

การพัฒนากระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการเรียนการสอน  
สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี สถาบันราชภัฏ

ปริญญานิพนธ์  
ของ  
รังสรรค์ เพ็งพัด

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษาดุขฎีบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา  
มีนาคม 2544  
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การพัฒนาบระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการเรียนการสอน  
สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี สถาบันราชภัฏ

บทคัดย่อ  
ของ  
รังสรรค์ เพ็งพัด

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษาดุขฎีบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา  
มีนาคม 2544

รังสรรค์ เพ็งพัฒน์. (2544). การพัฒนาระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการเรียนการสอน สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี สถาบันราชภัฏ. ปริญญาโท กศ.ด. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม : รองศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพงษ์ เจริญพิทย์, รองศาสตราจารย์ ดร. ณสรณ์ ผลโภค, รองศาสตราจารย์ ดร. สมสรร วงษ์น้อย.

การวิจัยครั้งนี้มีความมุ่งหมายเพื่อสร้างและพัฒนาระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์และสร้างบทปฏิบัติการรายวิชาพลังงานกับสิ่งแวดล้อม เพื่อใช้ในการเรียนการสอนสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี

ในการศึกษาตามความมุ่งหมายดังกล่าว ผู้วิจัยได้สร้างระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ แผงรับแสงแบบรวมแสงพาราโบลาจำนวน 2 แผง เครื่องจักรไอน้ำชนิดลูกสูบคู่และเครื่องสูบน้ำชนิดลูกสูบกระแทกเดี่ยว นำระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นมาทดลองเก็บข้อมูลที่หน้าอาคารสิรินธร ศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันราชภัฏเพชรบูรณ์ แล้วนำผลการทดลองไปสร้างเป็นบทปฏิบัติการรายวิชาพลังงานกับสิ่งแวดล้อมจำนวน 8 บทปฏิบัติการ ดังนี้ 1) หลอดรับแสงแบบสุญญากาศ 2) ผลการพาความร้อนของอากาศต่อการเก็บพลังงานของหลอดรับแสง 3) เครื่องมือวัด พลังงานแสงอาทิตย์ 4) การหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงแบบรวมแสง 5) การหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงแบบแผ่นราบ 6) การหาประสิทธิภาพของระบบเครื่องสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้พลังงานไฟฟ้า 7) ระบบเครื่องสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้ก๊าซหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงและ 8) การหาประสิทธิภาพ ของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

ผลการศึกษาพบว่า 1) ระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นนี้สามารถสูบน้ำ ได้ อัตราเฉลี่ย 6.34 ลิตรต่อนาที โดยสูบน้ำได้ในอัตราสูงสุด 12.67 ลิตรต่อนาที ที่เฮดสแตติกรวม 2.20 เมตร เมื่อเคลื่อนแผงรับแสงตามดวงอาทิตย์ และสูบน้ำได้อัตราเฉลี่ย 5.36 ลิตรต่อนาที โดยสูบน้ำได้ในอัตราสูงสุด 10.50 ลิตรต่อนาที ที่เฮดสแตติกรวม 2.20 เมตร เมื่อไม่เคลื่อนแผงรับแสงตามดวงอาทิตย์ (โดยวางแผงรับแสงในแนวตะวันตก - ตะวันออก) 2) ผลการประเมินบทปฏิบัติการทั้ง 8 บทปฏิบัติการ จากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 7 ท่าน ได้ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) เฉลี่ยระหว่าง 0.85 – 0.95 ทุกบทปฏิบัติการ แสดงว่าบทปฏิบัติการที่สร้างขึ้นมีคุณภาพ สามารถนำไปใช้ประกอบการสอนวิชาพลังงานกับสิ่งแวดล้อมได้

A DEVELOPMENT OF THE SOLAR – WATER PUMPING SYSTEM  
WITH INSTRUCTIONAL IMPLICATION FOR RAJABHAT INSTITUTE'S  
UNDERGRADUATE STUDENTS

AN ABSTRACT  
BY  
RANGSON PENGPAD

Presented in partial fulfillment of the requirements  
for the Doctor of Education degree in Science Education  
at Srinakharinwirot University

March 2001

Rangson Pengpad. (2001). *A development of the Solar – Water Pumping System with Instructional Implication for Rajabhat Institute's Undergraduate Students*. Dissertation, Ed.D. (Science Education). Bangkok : Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee : Assoc. Prof. Dr. Natthapong Charoenpit, Assoc. Prof. Dr.Nason Phonphok, Assoc. Prof. Dr. Somsan Wongyounoi.

The purposes of this research were to develop a Solar Water Pumping System (SWPS) and develop laboratory directions for instructional uses for undergraduate students.

To fulfill the purposes, solar thermal water pumping system was earlier developed, the SWPS consists of three parts ; two parabolic – trough concentrating solar collectors , double action piston steam engine and simplex reciprocating pump. SWPS was installed to collect relevant data at the Sirinthon Building of the Science and Applied Science Center , Rajabhat Phetchabun Institute. The eight laboratory directions for “ Energy and Environment ” were developed after the experimentation of the SWPS as follows : 1) Vacuum Tubular Collector , 2) Effects of Air Convection upon the Tubular Collector, 3) Solar Energy Instruments, 4) Efficiency of Concentrating Solar Collectors, 5) Efficiency of the Flat – plate Solar Collector, 6) Efficiency of the Electrical Energy Steam Engine for Water Pumping System, 7) The LPG Fuel Steam Engine for Water Pumping System and 8) Efficiency of Solar Water Pumping System.

The study revealed that : 1) The SWPS was able to pump water by an average rate of 6.34 liters per minute and with the maximum rate of 12.67 liters per minute at 2.20 meters total static head with tracking solar collectors. It was able to pump water by an average rate of 5.36 liters per minute and with the maximum rate of 10.50 liters per minute at 2.20 meters total static head with non tracking solar collectors (installed through the West – East direction). 2) The eight laboratory directions were evaluated utilizing the Index of Congruency (IOC) by seven experts. The average IOC in every laboratory direction was between 0.85 – 0.95. Thus, the laboratory directions were justify to utilize for science instruction on “ Energy and Environment ”.

ปริญญานิพนธ์  
เรื่อง

การพัฒนาระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการเรียนการสอนสำหรับนักศึกษา  
ระดับปริญญาตรี สถาบันราชภัฏ

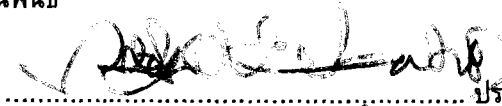
ของ  
นาย ริงสรณ์ เฟ็งพัด

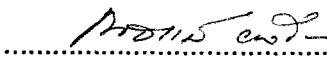
ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาการศึกษาคุณวุฒิปบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา  
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

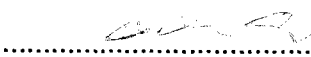
  
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิตาลาภรณ์)

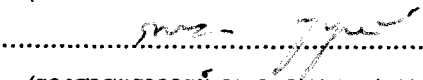
วันที่ ๑ เดือน ๓ ปี พ.ศ. ๒๕๕๕


คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

  
..... ประธาน  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ถนุกองษ์ เจริญพิทย์)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ณสรณ์ ผลโภค)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมสรร วงษ์อยู่น้อย)

  
..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม  
(รองศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา ชูครุวงศ์)

  
..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัญญา การพานิช)

## ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความอนุเคราะห์ช่วยเหลือเป็นอย่างดีของ  
รองศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพงษ์ เจริญพิทย์ รองศาสตราจารย์ ดร. ณสรร์ค ผลโภาค และ  
รองศาสตราจารย์ ดร. สมสรร วงษ์อยู่น้อย ในการให้คำปรึกษาและให้แนวทางในการวิจัยครั้งนี้ตลอด  
มา ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้เป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. กาญจนา ชูครุวงศ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.  
ปัญญา การพานิช ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำเพิ่มเติมในการร่วมเป็นกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชยันต์ บุญยรักษ์ รองศาสตราจารย์วิชาญ ก่องดาวงษ์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทองคำ ป้อคำ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประสิทธิ์ สิงหเดช ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทัศนีย์  
ศรีเพ็ชรพันธ์ุและดร.อรรธรณ ณรงค์สรรค์ ที่ได้ให้ความกรุณาแนะนำและตรวจแก้บทปฏิบัติการเป็น  
อย่างดี

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ สว่างลัย เฟ็งพัต และผู้ช่วยศาสตราจารย์ประเสริฐศรี  
เฟ็งพัต ที่เป็นกำลังสำคัญในการช่วยสร้างเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ พร้อมให้ที่พักพิงระหว่างการวิจัย  
ด้วยความอบอุ่น

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์บรรจง หมายมัน อธิการบดีสถาบันราชภัฏเพชรบูรณ์  
อาจารย์อุกฤษฏ์ พรรักษาดี ผู้อำนวยการศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ ที่กรุณา  
อนุเคราะห์ให้ใช้ ศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันราชภัฏเพชรบูรณ์เป็นสถานที่วิจัย

ขอขอบพระคุณอาจารย์วิลาวัลย์ จำรูญโรจน์ ที่ได้กรุณาช่วยตรวจแก้สำนวนและเสนอแนะ  
ข้อคิดเห็นที่มีประโยชน์ต่อการวิจัยเรื่องนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สุวัฒน์ บุศย์เมือง และอาจารย์อมรรัตน์ นิมพลินภานนท์ ที่ได้กรุณา  
ช่วยเหลือการจัดภาพและการนำเสนอการวิจัยได้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณเพื่อน ๆ วิทยาศาสตร์ศึกษาทุกคน ที่เป็นกำลังใจให้กันด้วยดีเสมอมา ตลอดจนผู้ที่  
เกี่ยวข้องที่ไม่สามารถเอ่ยนามในที่นี้ได้ ที่มีส่วนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงด้วยดี

ขอขอบพระคุณคุณไพฑูรย์ บานเย็นงาม คุณชุตติมา สุวรรณมณี ที่ได้ช่วยเหลือในการเป็นผู้ช่วย  
วิจัยและการพิมพ์งานวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายต้องขอขอบคุณ อาจารย์สมปอง เฟ็งพัต ภรรยา นางสาวอริยา เฟ็งพัต และนายอธิป  
เฟ็งพัต บุตร ที่เป็นกำลังใจช่วยเหลือในงานทุก ๆ ด้านทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

คุณค่าอันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอกราบบูชา คุณพ่อนิเวศ เฟ็งพัต  
คุณแม่หนูพร เฟ็งพัต ผู้ล่วงลับไปแล้ว คุณแม่หลอด เฟ็งพัต ตลอดจนครูอาจารย์และผู้มีพระคุณทุก  
ท่าน

รังสรรค์ เฟ็งพัต

# สารบัญ

| บทที่ | หน้า   |    |
|-------|--|----|
| 1     | บทนำ.....                                      | 1  |
|       | ภูมิหลัง.....                                  | 1  |
|       | ความมุ่งหมายของการวิจัย.....                   | 4  |
|       | ความสำคัญของการวิจัย.....                      | 4  |
|       | ขอบเขตของการวิจัย.....                         | 4  |
|       | นิยามศัพท์เฉพาะ.....                           | 5  |
| 2     | เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....            | 8  |
|       | รังสีของดวงอาทิตย์.....                        | 8  |
|       | ธรรมชาติของรังสีดวงอาทิตย์.....                | 8  |
|       | รังสีดวงอาทิตย์สู่โลก.....                     | 10 |
|       | แผงรับแสง.....                                 | 12 |
|       | แผงรับแสงแบบแผ่นราบ.....                       | 12 |
|       | แผงรับแสงแบบรวมแสง.....                        | 16 |
|       | การสูญเสียพลังงาน.....                         | 25 |
|       | การสะท้อนแสง.....                              | 25 |
|       | การพาความร้อน.....                             | 27 |
|       | การแผ่รังสีความร้อน.....                       | 27 |
|       | วัฏจักรอุณหภูมิ.....                           | 28 |
|       | กระบวนการแบบวัฏจักร.....                       | 29 |
|       | วัฏจักรแรงคิน.....                             | 29 |
|       | เครื่องยนต์ความร้อน.....                       | 31 |
|       | หลักการของเครื่องยนต์ความร้อน.....             | 31 |
|       | เครื่องจักรไอน้ำ.....                          | 32 |
|       | เครื่องสูบ.....                                | 41 |
|       | ลักษณะทั่วไปของเครื่องสูบ.....                 | 41 |
|       | ประเภทของเครื่องสูบเชิงกล.....                 | 41 |
|       | การเลือกใช้และการคำนวณเกี่ยวกับเครื่องสูบ..... | 52 |
|       | เขตแบบต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับเครื่องสูบ.....       | 53 |
|       | ระบบเครื่องสูบ.....                            | 56 |
|       | การคำนวณเกี่ยวกับเขตของเครื่องสูบ.....         | 56 |

## สารบัญ (ต่อ)

| บทที่   | หน้า |
|---|------|
| 2(ต่อ) วิธีสอนแบบทดลอง.....   | 58   |
| ความหมายของการทดลอง.....  | 58   |
| ความสำคัญของการสอนแบบทดลอง.....                                     | 59   |
| ลักษณะของกิจกรรมการเรียนการสอนแบบทดลอง.....                         | 59   |
| การออกแบบการทดลอง.....  | 59   |
| บทปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์.....                                     | 60   |
| ความหมายของบทปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์.....                          | 60   |
| จุดมุ่งหมายในการเรียนการสอนปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์.....            | 60   |
| ความสำคัญของการสอนปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์.....                     | 61   |
| ลักษณะของบทปฏิบัติการ.....  | 62   |
| การวิเคราะห์ความสอดคล้อง.....                                       | 63   |
| งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....  | 64   |
| งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพลังงานแสงอาทิตย์.....                      | 64   |
| งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์.....                | 66   |
| สมมติฐานในการวิจัย.....   | 69   |
| 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....   | 70   |
| การสร้างและพัฒนาระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์.....             | 70   |
| เครื่องจักรไอน้ำ.....   | 70   |
| เครื่องสูบน้ำ.....  | 86   |
| แผงรับแสง.....  | 93   |
| การสร้างและพัฒนามบทปฏิบัติการวิชาพลังงานกับสิ่งแวดล้อม.....         | 106  |
| ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับบทปฏิบัติการพลังงานกับสิ่งแวดล้อม.....   | 106  |
| สร้างบทปฏิบัติการ.....  | 107  |
| การประเมินบทปฏิบัติการก่อนนำไปใช้.....                              | 107  |
| ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....                                       | 108  |
| 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....   | 111  |
| ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์.....      | 111  |
| การหาประสิทธิภาพของหลอดรับแสงแบบเปลือย.....                         | 111  |
| การหาประสิทธิภาพของหลอดรับแสงแบบมีอากาศภายใน.....                   | 115  |
| การหาประสิทธิภาพของหลอดรับแสงแบบสุญญากาศ.....                       | 118  |
| การหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงแบบรวมแสงชนิดรางรวมแสง<br>พาราโบลา..... | 120  |

## สารบัญ (ต่อ)

| บทที่  |  | หน้า  |
|--------|--|---|
| 4(ต่อ) | การหาประสิทธิภาพของระบบการสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้พลังงานไฟฟ้า.....<br>การหาประสิทธิภาพของระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์.....<br>ผลการประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการ.....   | 126<br>130<br>137   |
| 5      | สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....<br>ความมุ่งหมายในการวิจัย.....<br>สมมติฐานในการวิจัย.....<br>วิธีดำเนินการวิจัย.....<br>การสร้างและพัฒนาระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์.....<br>การสร้างและพัฒนามบทปฏิบัติการ.....<br>สรุปผลการวิจัย.....<br>ผลการวิจัยระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์.....<br>สรุปผลการประเมินประคุณภาพบทปฏิบัติการ.....<br>อภิปรายผลการวิจัย.....<br>ข้อเสนอแนะ.....<br>ข้อเสนอแนะทั่วไป.....<br>ข้อเสนอแนะการวิจัย..... | 140<br>140<br>140<br>140<br>140<br>142<br>143<br>143<br>148<br>149<br>154<br>154<br>154 |
|        | บรรณานุกรม.....  | 156   |
|        | ภาคผนวก.....   | 162   |
|        | ประวัติย่อผู้วิจัย.....  | 275   |

## บัญชีตาราง

| ตาราง |  | หน้า |
|-------|--|------|
| 1     | รายการวัสดุเครื่องจักรไอน้ำ.....   | 72   |
| 2     | รายการวัสดุเครื่องสูบน้ำ.....  | 88   |
| 3     | รายการวัสดุแผงรับแสง.....  | 97   |
| 4     | ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....  | 108  |
| 5     | ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของหลอดรับแสงแบบเปลือย โดยวิธีน้ำนิ่ง.....  | 111  |
| 6     | ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของหลอดรับแสงแบบเปลือย โดยวิธีใช้มาตรการความร้อนแบบน้ำไหล.....                                  | 113  |
| 7     | ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของหลอดรับแสงแบบมีอากาศภายใน โดยวิธีน้ำนิ่ง.....  | 116  |
| 8     | ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของหลอดรับแสงแบบมีอากาศภายใน โดยวิธีใช้มาตรการความร้อนแบบน้ำไหล.....                            | 117  |
| 9     | ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของหลอดรับแสงแบบสุญญากาศ โดยวิธีน้ำนิ่ง.....  | 118  |
| 10    | ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของหลอดรับแสงแบบสุญญากาศ โดยวิธีใช้มาตรการความร้อนแบบน้ำไหล.....                                | 119  |
| 11    | ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงแบบรวมแสง ชนิดรางรวมแสงพาราโบลา โดยวิธีน้ำนิ่ง.....                                 | 121  |
| 12    | ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงแบบรวมแสง ชนิดรางรวมแสงพาราโบลา โดยวิธีใช้มาตรการความร้อนแบบน้ำไหล (ภาคเช้า).....   | 123  |
| 13    | ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงแบบรวมแสง ชนิดรางรวมแสงพาราโบลา โดยวิธีใช้มาตรการความร้อนแบบน้ำไหล (ภาคบ่าย).....   | 124  |
| 14    | ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบเครื่องสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้พลังงานไฟฟ้า เสดสแตติกรวม 1.00 เมตร.....          | 128  |
| 15    | ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบเครื่องสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้พลังงานไฟฟ้า เสดสแตติกรวม 1.80 เมตร.....          | 128  |
| 16    | ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบเครื่องสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้พลังงานไฟฟ้า เสดสแตติกรวม 2.00 เมตร.....          | 129  |
| 17    | ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ( เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ ) เสดสแตติกรวม 2.20 เมตร .....  | 130  |
| 18    | ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ( ไม่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ ) เสดสแตติกรวม 2.20เมตร..... | 134  |
| 19    | แสดงค่าดัชนีความสอดคล้องของแต่ละส่วนของบทปฏิบัติการที่ได้จากการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ.....                             | 137  |
| 20    | ผลสรุปการหาประสิทธิภาพของระบบการสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้พลังงานไฟฟ้า.....                                      | 146  |
| 21    | ผลสรุปการทดลองระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ (เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์).....  | 147  |
| 22    | ผลสรุปการทดลองระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ (ไม่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์).....                                     | 147  |

## บัญชีตาราง (ต่อ)

| ตาราง   | หน้า |
|---|------|
| 23 ผลสรุปการหาประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์..... | 148  |
| 24 แสดงค่าดัชนีความสอดคล้องเฉลี่ยในแต่ละบทปฏิบัติการ.....       | 149  |

## บัญชีภาพประกอบ

| ภาพประกอบ  | หน้า |
|--|------|
| 1 สเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์บริเวณเหนือบรรยากาศของโลกและสเปกตรัมของ<br>วัตถุดำที่มีอุณหภูมิ 5,777 เคลวิน ที่คำนวณโดยสมการของพลังค์.....  | 9    |
| 2 ตำแหน่งและการวางตัวของโลกที่อฟีเลียน (Aphelion, มิถุนายน) และเพอร์ลิฮิเลียน<br>(Perihilion, ธันวาคม) และแสดงมุมเซนิท (Zenith) ของดวงอาทิตย์, Z.....  | 10   |
| 3 การเปลี่ยนแปลงของรังสีดวงอาทิตย์ (ที่ตำแหน่งบนสุดของบรรยากาศ) ซึ่งขึ้นอยู่กับ<br>ละติจูดและช่วงเดือนต่าง ๆ .....   | 12   |
| 4 แสดงตำแหน่งต่าง ๆ ของดวงอาทิตย์ที่ อีควินอกซ์ (E), โซลสติสฤดูร้อน (S) และ<br>โซลสติสฤดูหนาว (W) ของละติจูดต่าง ๆ .....   | 13   |
| 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมเซนิท, ละติจูด, เติลลิเนชันของดวงอาทิตย์และมุมหัว<br>โหมงของดวงอาทิตย์ เมื่อวางแผงรับแสงในแนวราบที่ตำแหน่ง 0 โดยที่ OZ คือเส้นตั้ง<br>ฉากกับแผงและ Z คือ เซนิท (Zenith)..... | 14   |
| 6 แสดงการวางแผงรับแสงทำมุม $\theta$ กับแนวระดับ OC คือ เส้นตั้งฉากกับแผง.....  | 16   |
| 7 รังสีที่ขนานกับแกนของแผงรับแสงแบบพาราโบลา จะสะท้อนไปรวมกันที่จุดโฟกัส<br>ของพาราโบลา.....  | 17   |
| 8 พาราโบลาสามารถทำจากส่วนของวงกลมได้ ถ้ารัศมีของวงกลมยาวกว่าส่วนของวง<br>กลมมาก ๆ.....   | 17   |
| 9 รวบรวมแสงพาราโบลา.....   | 19   |
| 10 มุมทอเลอแรนซ์ของแผงรับแสงแบบ PTC.....   | 22   |
| 11 มุมทอเลอแรนซ์เฉลี่ยและส่วนของรังสีแพร่กระจายสำหรับแผงรับแสงแบบ PTC.....   | 22   |
| 12 พฤติกรรมของรังสีแพร่กระจายในแผงรับแสงแบบ PTC.....   | 23   |
| 13 สัมประสิทธิ์ปรับแก้ของแผงรับแสงแบบ PTC.....   | 24   |
| 14 ระบบหอดูดาวพลังงานแสงอาทิตย์ที่กระจกแต่ละแผ่นเป็นส่วนหนึ่งของพาราโบลา.....  | 24   |
| 15 แสดงการตกกระทบ การสะท้อนและการหักเหของแสง.....  | 25   |
| 16 การเปลี่ยนแปลงของระบบบนเส้นทางต่าง ๆ .....  | 29   |
| 17 (ก) เครื่องจักรไอน้ำอย่างง่าย (ข) วัฏจักรแรงคิน.....  | 30   |
| 18 แผนผังเครื่องยนต์ความร้อน.....  | 31   |
| 19 เครื่องจักรแนวราบ.....  | 33   |
| 20 เครื่องจักรในแนวตั้ง.....   | 33   |
| 21 เครื่องจักรตัววี (V).....   | 34   |
| 22 เครื่องจักรทำงานด้านเดียว.....  | 34   |

## บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

| ภาพประกอบ   | หน้า |
|---|------|
| 23 เครื่องจักรลูกสูบหมุน (Rotary engine).....   | 35   |
| 24 ส่วนประกอบของเครื่องจักรไอน้ำแบบลิ้นเลื่อน.....  | 36   |
| 25 ลักษณะการทำงานของเครื่องจักรไอน้ำแบบลิ้นกลม.....   | 37   |
| 26 ลักษณะของลิ้นลูกสูบ (ก) ลิ้นลูกสูบ ณ ตำแหน่งตรงกลาง (ข) ลิ้นลูกสูบ ณ ตำแหน่ง<br>ศูนย์ตายบนของลูกสูบ ไอน้ำกำลังเริ่มไหลเข้าห้องสูบด้านซ้าย..... | 38   |
| 27 ส่วนประกอบของเครื่องจักรไอน้ำ.....   | 38   |
| 28 วัฏจักรการทำงานของเครื่องจักรไอน้ำ.....  | 40   |
| 29 แผนผังจำแนกประเภทเครื่องสูบลูกสูบ.....   | 42   |
| 30 เครื่องสูบลูกสูบอัดแบบลูกสูบ (ก) แบบลูกสูบจุ่ม และ (ข) แบบลูกสูบแผ่น.....  | 44   |
| 31 เครื่องสูบลูกสูบกระแทกเดี่ยว.....  | 44   |
| 32 เครื่องสูบลูกสูบกระแทกคู่.....   | 45   |
| 33 เครื่องสูบลูกสูบแบบแผ่นไดอะแฟรม.....   | 46   |
| 34 เครื่องสูบลูกสูบโรตารีแบบเฟืองฟันนอก.....  | 47   |
| 35 เครื่องสูบลูกสูบโรตารีแบบเฟืองฟันใน.....   | 48   |
| 36 เครื่องสูบลูกสูบแบบโลบ (ก) แบบสองพู และ (ข) แบบสามพู.....  | 48   |
| 37 เครื่องสูบลูกสูบแบบใบพัดเคลื่อนเข้า – ออก.....   | 49   |
| 38 เครื่องสูบลูกสูบแบบสกรู.....   | 49   |
| 39 เครื่องสูบลูกสูบหนีศูนย์กลางแบบหอยโข่ง.....  | 50   |
| 40 เครื่องสูบลูกสูบหนีศูนย์กลางแบบท่อกระจายไหล.....   | 51   |
| 41 เครื่องสูบลูกสูบที่มีการไหลตามแนวแกน.....  | 51   |
| 42 เครื่องสูบลูกสูบที่มีการไหลแบบผสม.....   | 52   |
| 43 เเฮดแบบต่าง ๆ โดยที่ (ก) (ข) (ค) เป็นด้านดูด (Suction) หรือด้านเข้า และ<br>(ง) (จ) (ฉ) (ช) (ฌ) เป็นด้านปล่อย (Charge) หรือด้านออก.....         | 56   |
| 44 ระบบเครื่องสูบลูกสูบ (ก) ระบบดูด – ส่ง (ข) ระบบสูบส่ง (ค) ระบบไซฟอน.....   | 56   |
| 45 การออกแบบเครื่องจักรไอน้ำ.....   | 71   |
| 46 วัสดุที่สำคัญในการสร้างเครื่องจักรไอน้ำในส่วนที่เป็นกระบอกสูบ.....   | 73   |
| 47 ภาพตัดตามยาวของกระบอกสูบ มาตรฐาน 1 : 2.....  | 74   |
| 47 กระบอกสูบ ลูกสูบ และลิ้นเลื่อน.....  | 74   |
| 49 ลูกสูบประกอบกับก้านสูบ.....  | 75   |
| 50 ภาพด้านบนของเครื่องจักรไอน้ำ.....  | 76   |

## บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

| ภาพประกอบ  | หน้า |
|--|------|
| 51 ส่วนประกอบของก้านเยื้องศูนย์.....   | 77   |
| 52 ภาพด้านข้างของเครื่องจักรไอน้ำ.....   | 77   |
| 53 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักรไอน้ำ โดยพิจารณาจากการทำงานของ<br>ก้านเยื้องศูนย์ ขาเกี่ยว สลักลูกสูบ และลิ้นเลื่อน..... | 78   |
| 54 การทดสอบเครื่องจักรไอน้ำโดยใช้เครื่องสูบลม.....   | 80   |
| 55 เครื่องจักรไอน้ำหลังจากการปรับปรุงครั้งที่ 1.....   | 81   |
| 56 การทดสอบเครื่องจักรไอน้ำโดยใช้แรงดันไอน้ำ.....  | 82   |
| 57 การทำงานของเครื่องจักรไอน้ำโดยใช้แรงดันไอน้ำที่ได้จากท่อรวมแสงของแผงรับแสง<br>แบบรวมแสง.....                          | 83   |
| 58 กระบอกสูบและลูกสูบของเครื่องจักรไอน้ำชนิดลูกสูบเดี่ยว.....  | 84   |
| 59 เครื่องจักรไอน้ำชนิดลูกสูบเดี่ยวที่สร้างขึ้น.....   | 84   |
| 60 การทดสอบเครื่องจักรไอน้ำชนิดลูกสูบเดี่ยวกับแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวม<br>แสงสองแผง.....                            | 85   |
| 61 เครื่องจักรไอน้ำที่ได้รับการปรับปรุงเสร็จสิ้นและนำมาใช้ในการทดลองในงานวิจัย.....                                      | 86   |
| 62 ห้องสูบของเครื่องสูบน้ำ.....  | 89   |
| 63 ส่วนประกอบภายในของเครื่องสูบน้ำหรือปั๊มน้ำ.....   | 90   |
| 64 เครื่องสูบน้ำที่ต่อเชื่อมกับอุปกรณ์ต่าง ๆ.....  | 90   |
| 65 จังหวะการทำงานของเครื่องสูบน้ำ.....   | 91   |
| 66 เช็ควาล์วลิ้นกระต็อง.....   | 92   |
| 67 เช็ควาล์วที่ปรับปรุงแล้ว.....   | 92   |
| 68 การทดสอบการทำงานของเครื่องสูบน้ำ.....   | 93   |
| 69 ลักษณะของรูปพาราโบลา.....   | 95   |
| 70 ภาพตัดขวางของรางรวมแสงพาราโบลา.....   | 96   |
| 71 โครงไม้แบบพาราโบลา.....   | 99   |
| 72 โครงสร้างรองรับกระจกโค้งพาราโบลา.....   | 99   |
| 73 โครงสร้างรองรับแผงและขาตั้ง.....  | 100  |
| 74 การวางแผงรับแสงต้องให้แกนमुखสำคัญชี้ไปยังดวงอาทิตย์หรือระนาบทางเดินของ<br>แสงอาทิตย์ในวันนั้น ๆ.....                  | 101  |
| 75 การติดตั้งเครื่องจักรไอน้ำกับแผงรับแสงแบบรวมแสงพาราโบลา.....  | 102  |
| 76 หลอดรับแสง.....   | 103  |

## บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

| ภาพประกอบ  | หน้า |
|--|------|
| 77 แผงรับแสงที่พัฒนาเป็นแบบแผงคู่.....   | 104  |
| 78 การทดสอบแผงรับแสงกับเครื่องจักรไอน้ำ.....   | 105  |
| 79 แผนผังลำดับขั้นการพัฒนาระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์.....  | 106  |
| 80 แผนผังลำดับการพัฒนาบทปฏิบัติการพลังงานกับสิ่งแวดล้อม.....   | 108  |
| 81 การเปรียบเทียบสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ในระดับนอกระบบอากาศของโลกกับ<br>สเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ที่ผิวโลกระดับน้ำทะเล.....               | 173  |
| 82 ตำแหน่งต่าง ๆ บนผิวโลก.....   | 176  |
| 83 ตำแหน่งที่สำคัญบนทรงกลมท้องฟ้า.....   | 179  |
| 84 การบอกตำแหน่งของวัตถุท้องฟ้าในระบบเส้นขอบฟ้า.....   | 180  |
| 85 แสดงการโคจรดวงอาทิตย์และเส้นสุริยะวิถีเมื่อโลกอยู่ที่ตำแหน่ง 1 , 2 , 3 , 4<br>ดวงอาทิตย์ก็จะปรากฏตำแหน่ง A , B , C , D ตามลำดับ.....    | 181  |
| 86 การบอกตำแหน่งในระบบเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า.....  | 183  |
| 87 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีสนามไฟฟ้า E สนามแม่เหล็ก B และเวกเตอร์ของการแพร่ k<br>ตั้งฉากซึ่งกันและกัน.....                                  | 185  |
| 88 การไหลของพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในเวลา $\Delta t$ พลังงานภายในปริมาตรทรง<br>สี่เหลี่ยมไหลผ่านพื้นที่หน้าตัด A .....                | 186  |
| 89 คลื่นระนาบตกกระทบบนผิวร่วมระหว่างตัวกลางไดอิเล็กตริกสองตัวกลาง.....   | 188  |
| 90 ผลของการกระทำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อสนาม E ตั้งฉากกับระนาบตกกระทบ...  | 190  |
| 91 ผลการกระทำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อสนาม E อยู่ในระนาบตกกระทบ.....   | 192  |
| 92 การสะท้อนและการส่งผ่านของรังสีตกกระทบ.....  | 194  |
| 93 ชุดทดลองการวัดพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้มาตรวัดความร้อนแบบน้ำไหล.....  | 202  |
| 94 ชุดทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบต่าง ๆ.....   | 208  |
| 95 หลักการของเซลล์โฟโตโวลตาอิกแบบ P – N ประจุที่แสดงด้วยวงกลมไม่สามารถ<br>เคลื่อนที่ได้โดยอิสระ ส่วนประจุอื่น ๆ เคลื่อนที่ได้โดยอิสระ..... | 214  |
| 96 ไพราโนมิเตอร์และมาตรรังสี.....  | 216  |
| 97 การต่อวงจรเซลล์สุริยะกับมาตรฐานความต่างศักย์ .....  | 217  |
| 98 การต่อวงจรความต้านทานแสงกับมาตรฐานความต้านทาน.....  | 217  |
| 99 ชุดกล่องดำประกอบเทอร์มอมิเตอร์.....   | 218  |
| 100 การนำความร้อนผ่านผิวตัวนำทรงกระบอก.....  | 222  |
| 101 ชุดทดลองการหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงแบบรวมแสง.....   | 223  |

## บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

| ภาพประกอบ  | หน้า |
|--|------|
| 102 พื้นที่รับแสงอาทิตย์.....  | 224  |
| 103 พลังงานแสงอาทิตย์ผ่านหน้าต่างกระจก.....  | 226  |
| 104 การสะท้อนหลายครั้งในแผ่นกระจกที่ไม่พิจารณาการดูดกลืน.....                      | 228  |
| 105 กราฟคุณลักษณะของแผงรับพลังงานแบบอากาศร้อน.....                                 | 230  |
| 106 ชุดทดลองการหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงแบบแผ่นราบ.....                            | 231  |
| 107 วงจรไฟฟ้า.....   | 234  |
| 108 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ความร้อน.....  | 235  |
| 109 เครื่องสูบลมอัดกระแทกกลับ (ก) ไหลตามแนวรัศมี (ข) เครื่องสูบบลูบแบบลูบแผ่น..... | 237  |
| 110 เครื่องสูบลมอัดแบบหมุนทางเดียว.....  | 237  |
| 111 เครื่องสูบลมพัด (ก) ไหลตามแนวรัศมี (ข) ไหลตามแนวแกนหมุน.....                   | 238  |
| 112 ระบบเครื่องสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้พลังงานไฟฟ้า.....                   | 239  |
| 113 ส่วนประกอบของเครื่องจักรไอน้ำ.....   | 243  |
| 114 (ก) เครื่องสูบบลูบแบบลูบจุ่ม (ข) เครื่องสูบบลูบแบบลูบแผ่น.....                 | 244  |
| 115 เครื่องสูบบลูบแบบแผ่นไดอะแฟรม.....   | 245  |
| 116 ระบบเครื่องสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้ก๊าซหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง.....       | 246  |
| 117 ภาพหน้าตัดของรางรวมแสงพาราโบลา.....  | 249  |
| 118 เครื่องจักรไอน้ำลูบสูญญากาศ.....   | 250  |
| 119 เครื่องสูบลมอัดแบบหมุนทางเดียว.....  | 252  |
| 120 เครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์.....  | 255  |

# บทที่ 1

## บทนำ

### ภูมิหลัง

พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งในการดำรงชีวิตของมนุษย์ ที่นำไปสู่ความสะดวกสบายในชีวิตประจำวัน รวมถึงการพัฒนาคุณภาพชีวิตในด้านอื่น ๆ ให้ดีขึ้น การใช้ประโยชน์จากพลังงานขึ้นอยู่กับปัจจัยสองประการ คือ การมีแหล่งพลังงานและการมีเทคนิควิธีที่จะเปลี่ยนพลังงานให้อยู่ในรูปแบบที่เป็นประโยชน์โดยตรงต่อมนุษย์ เมื่อต้นคริสต์ศตวรรษที่ 1 มนุษย์เริ่มรู้จักทำกังหันวิดน้ำ และในคริสต์ศตวรรษที่ 12 ผู้คนในยุโรปตะวันตกรู้จักใช้กังหันลมเพื่อยกของหนัก สูบน้ำและบดเมล็ดพืช จากการใช้แรงงานธรรมชาติมาเป็นประโยชน์ได้นี้ ต่อมากลายเป็นรากฐานสำคัญของการปฏิวัติอุตสาหกรรมในคริสต์ศตวรรษที่ 16 ยุโรปซึ่งได้มีการประดิษฐ์เครื่องจักรไอน้ำมาใช้กันอย่างมีประสิทธิภาพ จากสมัยปฏิวัติอุตสาหกรรมเป็นต้นมาอัตราการใช้พลังงานของมนุษย์ได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (ลักษณะพรรณนันทน์ และ จรรยา บุญยุบล. 2529 : 1-2 )

ต่อมามนุษย์รู้จักการนำวัตถุบดอื่นมาเป็นต้นกำเนิดพลังงาน เช่น ก๊าซธรรมชาติ น้ำมันปิโตรเลียม นิวเคลียร์ เป็นต้น โดยเฉพาะน้ำมันปิโตรเลียมและก๊าซธรรมชาติ ได้มีการนำมาใช้เป็นจำนวนมากในปัจจุบัน

จากวิกฤตการณ์ด้านน้ำมันเมื่อปี พ.ศ.2516 ราคาน้ำมันเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ประเทศที่ส่งน้ำมันเป็นสินค้าออกได้รวมตัวกันตั้งองค์การควบคุมการผลิตและจำหน่ายน้ำมัน วิกฤตการณ์การขาดแคลนน้ำมันในครั้งนั้นมีผลกระทบต่อภาวะทางเศรษฐกิจ การเมืองและราคาสินค้าเป็นอย่างยิ่ง เป็นจุดเปลี่ยนแปลงที่ปลุกให้มนุษย์เกิดความตื่นตัวในเรื่องของการใช้พลังงานอย่างประหยัด คุ่มค่าและมีประสิทธิภาพมีการจัดหาแหล่งพลังงานต่าง ๆ มากขึ้น แทนที่จะหวังพึ่งแหล่งพลังงานฟอสซิลเพียงอย่างเดียว (จรรยา บุญยุบล. 2529:389)

วิกฤตการณ์ดังกล่าวทำให้ “พลังงาน” เป็นคำที่ประชาชนส่วนใหญ่ให้ความสนใจและติดตามความเคลื่อนไหวตลอดเวลา พลังงานนอกจากจะหมายถึงความสามารถในการทำงานแล้ว พลังงานยังหมายถึง เชื้อเพลิงทุกชนิดที่ก่อให้เกิดงานอีกด้วย เช่น น้ำมันเชื้อเพลิง ถ่านหิน ไฟฟ้า พลังน้ำ แร่ต้นกำเนิดพลังงานนิวเคลียร์ เป็นต้น (ธรรมชาติ ศิริวัฒนกุล.2529 : 33) การจำแนกประเภทของพลังงานตามลักษณะการใช้แบ่งได้ 2 ประเภท คือ พลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) เป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมุนเวียนกลับมาใช้ได้อีก ได้แก่ น้ำ แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล เป็นต้น และพลังงานไม่หมุนเวียน (non-renewable energy) เป็นพลังงานที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ได้แก่ เชื้อเพลิงฟอสซิล แร่ นิวเคลียร์ เป็นต้น (สุรีย์ แขวงโสภาและคนอื่น ๆ. 2531:3) ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์ด้านพลังงานจึงได้ให้ความสนใจทำการวิจัยกันอย่างกว้างขวางและลึกซึ้ง ทั้งในด้านของแหล่งพลังงาน การใช้ประโยชน์จากพลังงานและด้านอื่น ๆ โดยเฉพาะการศึกษาหาแหล่งพลังงานใหม่เพื่อลดอัตราการใช้และทดแทนพลังงานจากฟอสซิล แหล่งพลังงานที่นักวิทยาศาสตร์ให้ความสนใจเป็นพิเศษก็คือพลังงานหมุนเวียน

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ได้รับความสนใจในการค้นคว้าวิจัยอย่างกว้างขวางชนิดหนึ่ง เพราะเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและมีให้ใช้อย่างเหลือเฟือ ในการทำความร้อนหรือความเย็นจากพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานฟอสซิล เราต้องจ่ายเงินในการซื้อพลังงานเหล่านั้น ส่วนการทำความร้อนหรือความเย็นจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ได้มาโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายและไม่จำกัดในการใช้แต่อย่างใด แต่พลังงานจากดวงอาทิตย์ยากต่อการควบคุมที่จะทำให้สามารถใช้พลังงานได้อย่างสม่ำเสมอต่อเนื่อง ทั้งนี้เพราะพลังงานแสงอาทิตย์สามารถใช้ได้ดีในช่วงเวลากลางวันที่มีท้องฟ้าปลอดโปร่งเท่านั้น และอาจจะต้องลงทุนสูงในระยะเริ่มต้น ปัจจุบันก็ยังมีการพัฒนาเทคโนโลยีเกี่ยวกับแสงอาทิตย์เพื่อที่จะหาวิธีการควบคุมและลดค่าใช้จ่ายให้ถูกลง แม้ว่าค่าใช้จ่ายของการติดตั้งในช่วงเริ่มต้นจะแพงกว่าพลังงานฟอสซิล แต่ถ้าพิจารณาผลในระยะยาวแล้วจะถูกลงกว่า พลังงานแสงอาทิตย์สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cells) เป็นอุปกรณ์ในการเปลี่ยนพลังงานและยังเป็นพลังงานที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม เมื่อพิจารณาถึงปัญหาที่สัมพันธ์กับการใช้พลังงานแสงอาทิตย์แล้ว ยังมีความเชื่อว่าพลังงานแสงอาทิตย์จะเป็นพลังงานหลักที่จะนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในอนาคตต่อไป (Patrick and others.1993 : 305) ขณะนี้เครื่องรับพลังงานแสงอาทิตย์สามารถพัฒนาให้มีอุณหภูมิสูงได้ตั้งแต่ 100 – 1500 องศาเซลเซียส สำหรับเครื่องรับแสงอาทิตย์แบบจานพาราโบลา แต่ส่วนใหญ่แล้วเราใช้พลังงานที่อุณหภูมิในช่วง 100 – 600 องศาเซลเซียส (Gupta. 1987 : 1) ซึ่งจะเห็นได้ว่าสามารถทำให้อุณหภูมิสูงได้มากพอที่จะนำมาใช้งานในรูปแบบของพลังงานความร้อน (Solar thermal)

สำหรับสถานการณ์การใช้พลังงานของไทยในช่วงปี พ.ศ. 2513 – 2522 ต้องพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศถึง 80 % ของพลังงานทั้งหมด โดยเฉพาะการใช้น้ำมันปิโตรเลียม ในปีพ.ศ.2529 ใช้ 227,000 บาร์เรลต่อวัน (กุลธร ศิลปบรรเลง.2529 : 368 – 369) การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย (ปตท.) เปิดเผยถึงสถานการณ์น้ำมันในช่วง 9 เดือน (มกราคม - กันยายน) ของปี พ.ศ.2540 ที่ผ่านมามีว่า ความต้องการใช้ปิโตรเลียมของประเทศ (ไม่นับรวมที่นำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี) มีปริมาณเฉลี่ย 946,780 บาร์เรลต่อวัน เพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปีก่อนร้อยละ 6.9 (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน.2540 : 1) ในการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมัน ประเทศไทยนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นมีมูลค่า 149,747.5 ล้านบาท ซึ่งสูงเป็นอันดับ 5 รองจากเครื่องอุตสาหกรรมไฟฟ้า เครื่องจักร รถยนต์และเหล็ก (สำนักงานสถิติแห่งชาติ.2538 : 89) ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นสินค้าประเภทสิ้นเปลืองที่มีมูลค่านำเข้าค่อนข้างสูง

พลังงานสำคัญอีกประการหนึ่งก็คือ พลังงานไฟฟ้า จากการศึกษาข้อมูลในอดีตและแนวโน้มในอนาคตพบว่าอัตราการขยายตัวการใช้ไฟฟ้าจะสูงกว่าอัตราการขยายตัวทางเศรษฐกิจเล็กน้อย กล่าวคือ หากอัตราการขยายตัวทางเศรษฐกิจเท่ากับร้อยละ 1 อัตราการขยายตัวการใช้ไฟฟ้าจะประมาณร้อยละ 1.3 – 1.5 (เดชา อัครชนิยากร.2540 : 8 – 9)

สำหรับการใช้ไฟฟ้าในช่วง 9 เดือนแรก ของปีพ.ศ.2540 มีการใช้ไฟฟ้าอยู่ในระดับ 62,282 GWh.(Giga watt hour) ซึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 7.7 เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเดียวกันของปีพ.ศ. 2539 (สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ .2540 : 91 - 93)

จากความจำเป็นและข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พลังงานของประเทศดังกล่าว พบว่าประเทศไทยใช้พลังงานด้วยมูลค่ามหาศาล ต้องสูญเสียเงินตราต่างประเทศไปเป็นจำนวนมากในการซื้อพลังงาน เพราะประเทศไทยไม่มีแหล่งพลังงานที่เป็นของตัวเองอย่างเพียงพอ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่

นักวิชาการด้านพลังงานจะต้องศึกษาวิจัย หาดอกซ์ความรู้เกี่ยวกับพลังงานหลักซึ่งและกว้างขวางมากขึ้น ดังที่กฤษณพงศ์ กีรติกร ได้ให้ความเห็นไว้ในสรุปข่าวของกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน (2540 : 11) ว่าในอนาคตพลังงานที่มีอยู่จะต้องหมดไป จึงต้องมีการนำพลังงานทดแทนต่าง ๆ มาใช้ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานชีวมวล ฯลฯ เข้ามาใช้ทดแทน ประเทศไทย ได้มีการวางแผนที่จะใช้ ถ่านหินที่นำเข้าจากจีนและออสเตรเลีย พลังงานจากแสงอาทิตย์หรือพลังงานนิวเคลียร์มาใช้ทดแทน น้ำมันและก๊าซธรรมชาติในอีก 20 – 30 ปีข้างหน้า

จะเห็นได้ว่า พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่สำคัญแหล่งหนึ่งที่ควรจะศึกษา และนำมาใช้อย่างกว้างขวางสำหรับประเทศไทย ทั้งนี้เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนใกล้บริเวณ เส้นศูนย์สูตร ที่แควตล้อมด้วยเส้นรุ้งที่ 5 องศา 37 ลิปดาเหนือ ถึง 20 องศา 27 ลิปดาเหนือ และ เส้นแวงที่ 97 องศา 22 ลิปดาตะวันออก ถึง 105 องศา 37 ลิปดาตะวันออก ทำให้ ประเทศไทยได้รับแสงอาทิตย์ที่มีความเข้มสูงตลอดทั้งปี (รังสรรค์ เฟิงพัด.2539 : 193) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมอย่างยิ่งในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้

ดังนั้นในการจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์ จึงควรจะมีบทบาทที่จะสนับสนุนการแก้ปัญหา ด้านพลังงานดังได้กล่าวมาแล้ว โดยเฉพาะการให้การศึกษาด้านพลังงานแสงอาทิตย์แก่นักศึกษาที่เรียน ด้านวิทยาศาสตร์ของสถาบันราชภัฏควรจะมีควมรู้ด้านนี้ และมีการปฏิบัติอย่างจริงจังเพียงพอที่จะ เป็นพื้นฐานทำให้เกิดการขยาย และกระตุ้นให้เห็นความสำคัญของการศึกษาค้นคว้าด้านนี้ต่อไป เพราะ กระบวนการศึกษาค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์เป็นกระบวนการที่ผู้ศึกษาจะต้องลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง การจัดการเรียนการสอนที่มีประสิทธิภาพเป็นหัวใจสำคัญของการจัดการศึกษาวิทยาศาสตร์ ครู วิทยาศาสตร์ที่ดีจะต้องสามารถสร้างสรรค์สิ่งแควตล้อมเพื่อให้ทั้งครูและนักเรียนได้เรียนรู้ไปพร้อม ๆ กัน ครู และนักเรียนจะต้องขยายขอบเขตของความรู้ทั้งทางทฤษฎีและปฏิบัติการ

การศึกษาศาสตร์จึงมิใช่เป็นเพียงการเรียนรู้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ และไม่ใช่ว่าเพียง ความสามารถใช่วิธีการทางวิทยาศาสตร์เท่านั้น แต่ยังรวมหมายถึงการพัฒนาจิตปัญญาวิทยาศาสตรขึ้น ในตัวผู้เรียน คือการที่ตนมีจิตใจวิทยาศาสตร์ตลอดจนถึงการที่สังคมมีวัฒนธรรมทางวิทยาศาสตร์ อัน ได้แก่ ความใฝ่รู้ ความเป็นผู้มีเหตุผล ความไม่เชื่อง่าย เหลวไหล งามาย ความชอบพิสูจน์ ทดลอง ชอบค้นคว้าสืบค้นหาความจริง (พระธรรมปิฎก. 2540: 26) การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์จึงเป็น กระบวนการเรียนการสอนที่สร้างให้คนมีความคิด รักการเรียนรู้ มีหลักในการศึกษาค้นคว้าอย่าง เป็นระบบก่อนการตัดสินใจ มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์สิ่งใหม่ ๆ และมีความรู้ มีทักษะเพียงพอที่จะ ช่วยให้บุคคลนั้นสามารถแสวงหาความรู้ได้เองอย่างไม่มีที่สิ้นสุด ดังนั้น การเรียนวิทยาศาสตร์จะต้อง เน้นกระบวนการแสวงหาความรู้แบบวิทยาศาสตร์ให้ผู้เรียนรู้จักสังเกต การตั้งคำถาม การวิเคราะห์ การหาคำตอบ และการอธิบายให้เหตุผล โดยหลักสูตรการสอนด้านวิทยาศาสตร์จะต้องเน้นกระบวนการ เรียนรู้ และกระบวนการคิดแบบวิทยาศาสตร์ ทำให้ผู้เรียนเกิดความกระหายใคร่รู้จากปรากฏการณ์ ต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันและรู้จักใช้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์ในการดำรงชีวิต (อมรรวิชัย นาคทรพรพ. 2540 : 102)

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นว่า ควรจะมีการส่งเสริมให้จัดการเรียนการสอนอย่างจริงจังโดยเน้นทั้งทาง ทฤษฎีและการปฏิบัติการดังกล่าว โดยในการพัฒนาบทปฏิบัติการนั้นจะต้องมีการสร้างเครื่องมือและ เก็บข้อมูลเพื่อตรวจสอบการทำงานของเครื่องมือ แล้วนำข้อมูลที่ได้ออกไปจัดทำปฏิบัติการ ต่อจากนั้น จึงนำบทปฏิบัติการไปประเมิน โดยใช้วิธีวิเคราะห์ค่าดัชนีมีความสอดคล้อง (Index of congruency : IOC) ซึ่งผู้วิจัยเห็นว่าในการวิจัยครั้งนี้จะทำให้ได้บทปฏิบัติการด้านพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีคุณภาพ

เพียงพอ ที่จะทำให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจที่จะเป็นพื้นฐานในการศึกษากันควำด้านพลังงานแสงอาทิตย์ต่อไป

### ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อสร้างและพัฒนาระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์
2. เพื่อสร้างบทปฏิบัติการเรื่องเกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์ในรายวิชาพลังงานกับสิ่งแวดล้อมจากระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างและพัฒนาขึ้น

### ความสำคัญของการวิจัย

1. เป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์
2. เป็นแนวทางในการพัฒนาบทปฏิบัติการเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเกี่ยวกับพลังงานหมุนเวียนชนิดอื่น ๆ และเป็นบทปฏิบัติการที่สามารถประยุกต์หลักการและทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์มาใช้ได้อย่างเหมาะสม
3. ได้ข้อมูลเกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์ที่เป็นพื้นฐานในการนำไปใช้ในการพัฒนาเครื่องใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบอื่น ๆ ต่อไป
4. เป็นแนวทางในการศึกษา วิจัยการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ให้เป็นประโยชน์ ในด้านอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน
5. เป็นการกระตุ้นให้ผู้สนใจเกิดการค้นคว้า วิจัยในเรื่องพลังงานแสงอาทิตย์อย่างต่อเนื่องและนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

### ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยและพัฒนาทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้สถานที่บริเวณ ศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ อาคารสิรินธร สถาบันราชภัฏเพชรบูรณ์ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ ในการเก็บข้อมูลทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีขอบเขตการวิจัยดังนี้

1. การสร้างและทดลองใช้ระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนล้อเลื่อนที่สามารถเคลื่อนที่ได้
  - 1.1 สร้างแผงรับแสงแบบรวมแสง 2 แผง โดยมีพื้นที่รับแสงแผงละไม่น้อยกว่า 1 ตารางเมตร แผงรับแสงแบบรวมแสงที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ เป็นแผงรับแสงที่สะท้อนแสงไปตกบนท่อรับแสงที่วางอยู่ในแนวโฟกัสของแผงรับแสงซึ่งประกอบด้วยกระจกเงาทรงพาราโบลสะท้อนแสงอาทิตย์ ไปตกบนท่อรับแสง ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อ 2 ชั้น ชั้นในเป็นท่อโลหะสีดำ ชั้นนอกเป็นท่อแก้ว
  - 1.2 การสร้างเครื่องจักรไอน้ำ ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานกลในการสูบน้ำ เครื่องจักรไอน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นเครื่องจักรไอน้ำแบบลูกสูบ มีลิ้นเลื่อนเป็นอุปกรณ์ช่วยปิด - เปิด ไอน้ำ

1.3 การสร้างเครื่องสูบน้ำ ซึ่งจะทำหน้าที่สูบน้ำให้เคลื่อนที่จากตำแหน่งที่มีเฮดความดันต่ำไปยังเฮดความดันสูง เช่น เคลื่อนที่จากที่ต่ำ หรือ ไหลไปตามท่อ เป็นต้น เครื่องสูบน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นเครื่องสูบน้ำชนิดลูกสูบจุ่ม ประเภทเครื่องสูบน้ำประเภทเดี่ยว

1.4 ตัวแปรทางวิทยาศาสตร์ ปริมาณทางฟิสิกส์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่

1.4.1 ปริมาณความเข้มของแสง คือ ปริมาณพลังงานแสงที่ตกลงมาตั้งฉากกับพื้นที่หนึ่งตารางหน่วยต่อหนึ่งหน่วยเวลา โดยวัดได้ด้วยเครื่องไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer) มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร ( $\text{Watts m}^{-2}$ )

1.4.2 อุณหภูมิ เป็นการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องมือทั้งหมด โดยวัดด้วยเทอร์โมมิเตอร์และเทอร์มอคัปเปิล มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

1.4.3 ปริมาณของน้ำที่สูบน้ำได้ เป็นปริมาณน้ำที่สูบน้ำได้ที่ระดับความสูงต่าง ๆ จากเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ มีหน่วยเป็นลิตร

นอกจากนี้ยังเก็บข้อมูลอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการสร้างและการทดลองทั้งหมดเพื่อนำมาพิจารณาในด้านเศรษฐศาสตร์ด้วย โดยจะใช้เวลาเก็บรวบรวมข้อมูลหลังสร้างเสร็จแล้วอย่างน้อย 8 สัปดาห์

2. การสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการทางวิชาพลังงานกับสิ่งแวดล้อมตามหลักสูตรของสถาบันราชภัฏ จำนวน 8 บทปฏิบัติการ

## นิยามศัพท์เฉพาะ

1. แผงรับแสง (Solar collectors) หมายถึง อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเพื่อรับแสงอาทิตย์แล้วเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานความร้อน แผงรับแสงมี 2 แบบ คือ

1.1 แผงรับแสงแบบรวมแสง (Concentrating solar collector) หมายถึง แผงรับแสงอาทิตย์ที่มีกระจกสะท้อนแสงไปรวมกันที่จุดใดจุดหนึ่งหรือแนวใดแนวหนึ่ง โดยรังสีที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นรังสีตรง

1.2 แผงรับแสงแบบแผ่ราบ (Flat – plate solar collector) หมายถึง แผงรับแสงอาทิตย์ที่มีแผ่นรับแสงเป็นแผ่นระนาบ โดยรังสีที่ใช้อาจจะได้รับจากรังสีดวงอาทิตย์รวม

2. ท่อดูดกลืนแสง (Tubular absorber) หมายถึง อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับแสงจากแผงรับแสงแบบรวมแสง เพื่อเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานความร้อนให้กับของไหลทำงาน ในการวิจัยครั้งนี้ท่อดูดกลืนแสงทำด้วยท่อเหล็กทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว เคลือบผิวด้วยสีดำด้าน วางอยู่ในแนวโพกัสของรางรวมแสงพาราโบลา

3. หลอดรับแสง (Tubular collector) หมายถึง อุปกรณ์ประกอบรางรวมแสงพาราโบลา ที่ทำหน้าที่รับแสง ประกอบด้วยท่อดูดกลืนแสงสามอยู่ในหลอดแก้ว ในการวิจัยครั้งนี้มีหลอดรับแสง 3 แบบคือ

3.1 หลอดรับแสงแบบเปลือย หมายถึง หลอดรับแสงที่ไม่มีหลอดแก้วหุ้ม มีเฉพาะท่อดูดกลืนแสงเท่านั้น

3.2 หลอดรับแสงแบบมีอากาศ หมายถึง หลอดรับแสงที่มีหลอดแก้วหุ้มท่อดูดกลืนแสง และมีอากาศอยู่ภายในช่องระหว่างท่อดูดกลืนแสงกับหลอดแก้ว

3.3 หลอดรับแสงแบบสุญญากาศ หมายถึง หลอดรับแสงที่มีหลอดแก้วหุ้มท่อดูดกลืนแสงและสุญญากาศที่อยู่ในช่องระหว่างท่อดูดกลืนแสงกับหลอดแก้วออก

4. รังรวมแสงพาราโบลา (Parabolic – trough concentrating collector : PTC) หมายถึง แผงรับแสงแบบรวมแสงชนิดหนึ่ง ที่ประกอบด้วย (1) กระจกสะท้อนแสงเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า แล้วตัดด้านกว้างหรือด้านยาวให้โค้งเป็นรูปพาราโบลา (2) หลอดรับแสงวางอยู่ด้านในแนวโฟกัสของพาราโบลาขนานไปกับแนวราง ในการวิจัยครั้งนี้มีรังรวมแสงพาราโบลาที่สร้างขึ้น 2 ชุด โดยให้หลอดรับแสงเชื่อมต่อกัน พื้นที่รับแสงแต่ละแผงเท่ากับ 20,148 ตารางเซนติเมตร

5. เครื่องจักรไอน้ำ (Steam engine) หมายถึง เครื่องยนต์ความร้อนชนิดสันดาปภายนอกที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานความร้อนของไอน้ำเป็นพลังงานกล เครื่องจักรไอน้ำที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นเครื่องจักรไอน้ำชนิดลูกสูบชัก 2 ลูก เคลื่อนที่อยู่ในกระบอกสูบในแนวเดียวกัน ปิด – เปิด ช่องไอน้ำด้วยลิ้นเลื่อนที่มีกลไกเคลื่อนลิ้นด้วยระบบเยื้องศูนย์ เพื่อให้ลิ้นอยู่ในตำแหน่งที่พร้อมจะนำไอน้ำเข้า และระบายไอน้ำออกจากกระบอกสูบเสมอ

6. เครื่องสูบน้ำ (Water pump) หมายถึง กลอุปกรณ์ที่ทำให้น้ำเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่มีเสถียรภาพความดันต่ำไปยังตำแหน่งที่มีเสถียรภาพความดันสูงกว่า เครื่องสูบน้ำที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นเครื่องสูบน้ำอัดกระแทกเดี่ยวแบบลูกสูบจุ่ม ระยะชักสูงสุดของลูกสูบ 4.50 เซนติเมตร ในหนึ่งรอบของการเคลื่อนที่ของลูกสูบสามารถสูบน้ำได้ 36.19 ลูกบาศก์เซนติเมตร

7. หม้อต้มน้ำไฟฟ้า (Electrical boiler) หมายถึง หม้อต้มน้ำที่ใช้ไฟฟ้าเป็นพลังงานในการทำให้น้ำกลายเป็นไอ เพื่อนำไปใช้กับเครื่องจักรไอน้ำ ประกอบด้วยตัวทำความร้อน (Heater) ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นโลหะไร้สนิมต่อกับขั้วไฟฟ้า ทั้งสองขั้ววางประกบกัน ห่างกันเล็กน้อย จุ่มอยู่ในน้ำที่มีขดแก้วหนาเป็นภาชนะรองรับ ที่ฝาขดติดตั้งขั้วไฟฟ้าของตัวทำความร้อน และมีช่องไอน้ำออก เพื่อต่อไปยังเครื่องจักรไอน้ำ กดฝาขดให้แนบสนิทกับปากขดด้วยคานและสลักเกลียว เพื่อไม่ให้ไอน้ำรั่วเมื่อมีความดันในขดแก้ว

8. ระบบเครื่องสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้พลังงานไฟฟ้า (Electrical energy steam engine for water pumping system) หมายถึง ระบบเครื่องสูบน้ำที่ประกอบด้วย หม้อต้มน้ำไฟฟ้าเป็นแหล่งกำเนิดไอน้ำ แล้วเครื่องจักรไอน้ำทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกล และส่งถ่ายพลังงานไปยังเครื่องสูบน้ำ

9. ระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar – water pumping system) หมายถึง ระบบเครื่องสูบน้ำที่ประกอบด้วย รังรวมแสงพาราโบลาเป็นแหล่งกำเนิดไอน้ำให้กับเครื่องจักรไอน้ำ แล้วเครื่องจักรไอน้ำจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกล และส่งผ่านพลังงานไปทางก้านสูบสู่อุปกรณ์สูบน้ำ

10. ของไหลทำงาน (Working – fluid) หรือ สารทำงาน (Working substances) หมายถึง ของไหลที่ทำหน้าที่พาความร้อนจากแผงรับแสงไปใช้งาน ในการวิจัยครั้งนี้ใช้น้ำเป็นสารทำงาน

11. รังสีตรง (Direct radiation) หมายถึง รังสีที่ส่งตรงมาจากดวงอาทิตย์ถึงเครื่องรับบนผิวโลก

12. รังสีแพร่กระจาย (Diffuse radiation) หมายถึง รังสีที่แพร่กระจายจากแนวรัศมีเดิมเนื่องจากรังสีที่ผ่านตัวกลางต่าง ๆ แล้วทำให้เกิดการกระเจิงเบนไปจากแนวเดิม

13. รังสีดวงอาทิตย์รวม (Global solar radiation) หมายถึง รังสีทั้งหมดที่ตกกระทบบนเครื่องรับรังสี ซึ่งจะเป็นรังสีที่รวมทั้งรังสีตรงและรังสีแพร่กระจาย

14. พลังงานทางเข้า (Input energy) หมายถึง พลังงานที่ให้แก่ระบบต่างๆ เพื่อให้ระบบทำงานได้ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้พลังงานทางเข้าจะอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์

15. พลังงานทางออก (Output energy) หมายถึง งานที่ระบบทำได้หลังจากที่ให้พลังงานเข้าสู่ระบบ ในการวิจัยครั้งนี้พลังงานทางออกจะอยู่ในรูปของ พลังงานความร้อน พลังงานกล

16. ประสิทธิภาพของหลอดรับแสง (Tubular collector efficiency) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างพลังงานทางออกของหลอดรับแสง หรือปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำในหลอดรับแสงมีอุณหภูมิสูงขึ้นกับพลังงานทางเข้า หรือพลังงานแสงอาทิตย์ที่หลอดรับแสงได้รับ

17. ประสิทธิภาพของแผงรับแสง (Solar collector efficiency) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างพลังงานทางออกต่อพลังงานทางเข้าของแผงรับแสง โดยที่พลังงานทางออกของแผงรับแสงคำนวณจากปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับเมื่อน้ำไหลผ่านแผง และพลังงานทางเข้าคำนวณจากความเข้มแสงที่วัดโดยเครื่องไพราโนมิเตอร์ หรือเครื่องไพร์เฮลิโอมิเตอร์

18. ประสิทธิภาพของระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar - water pumping system efficiency) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างพลังงานทางออกต่อพลังงานทางเข้าของระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ โดยที่พลังงานทางออกคำนวณจากงานในการนำน้ำขึ้นไปได้สูงเท่ากับเฮดสแตติกกรวม และพลังงานทางเข้าคำนวณจากความเข้มแสงที่วัดโดยเครื่องไพราโนมิเตอร์ และเครื่องไพร์เฮลิโอมิเตอร์

19. บทปฏิบัติการ (Laboratory direction) หมายถึง เอกสารที่ผู้เรียนและผู้สอนใช้เป็นคู่มือในการเรียนการสอนปฏิบัติการในรายวิชาพลังงานกับสิ่งแวดล้อม ตามหลักสูตรของสถาบันราชภัฏที่เกี่ยวข้องกับพลังงานแสงอาทิตย์จากระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. รังสีของดวงอาทิตย์
2. แผงรับแสง
3. การสูญเสียพลังงาน
4. วัฏจักรอุณหภูมิวัต
5. เครื่องยนต์ความร้อน
6. เครื่องสูบ
7. วิธีสอนแบบทดลอง
8. บทปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์
9. การวิเคราะห์ความสอดคล้อง
10. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 1. รังสีของดวงอาทิตย์

##### 1.1 ธรรมชาติของรังสีดวงอาทิตย์

รังสี (Radiation) คือ รูปแบบของพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาสัมบูรณ์ อยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถเคลื่อนที่ผ่านสุญญากาศได้

ดวงอาทิตย์จะให้พลังงานออกมาจากปฏิกิริยาฟิวชันเทอร์โมนิวเคลียร์ ที่เกิดขึ้นบริเวณแกนกลางของดวงอาทิตย์ ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ  $8 \times 10^6 - 40 \times 10^6$  เคลวิน และถ่ายเทพลังงานออกมาถึงพื้นผิวของดวงอาทิตย์หรือโฟโตสเฟียร์ (Photosphere) ดังนั้นพลังงานรังสีของดวงอาทิตย์ส่วนใหญ่จะแผ่ออกมาจากบริเวณนี้ โดยที่สเปกตรัมของรังสีส่วนใหญ่จะมีความยาวคลื่นประมาณ 0.15 – 4.0 ไมโครเมตร และรังสีที่มีความเข้มสูงสุดคือรังสีที่มีความยาวคลื่น 0.474 ไมโครเมตร

รังสีของดวงอาทิตย์ที่แผ่ออกมา ณ บริเวณเหนือบรรยากาศของโลก สามารถจำแนกเป็นชนิดต่าง ๆ โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของรังสีทั้งหมดได้ดังนี้

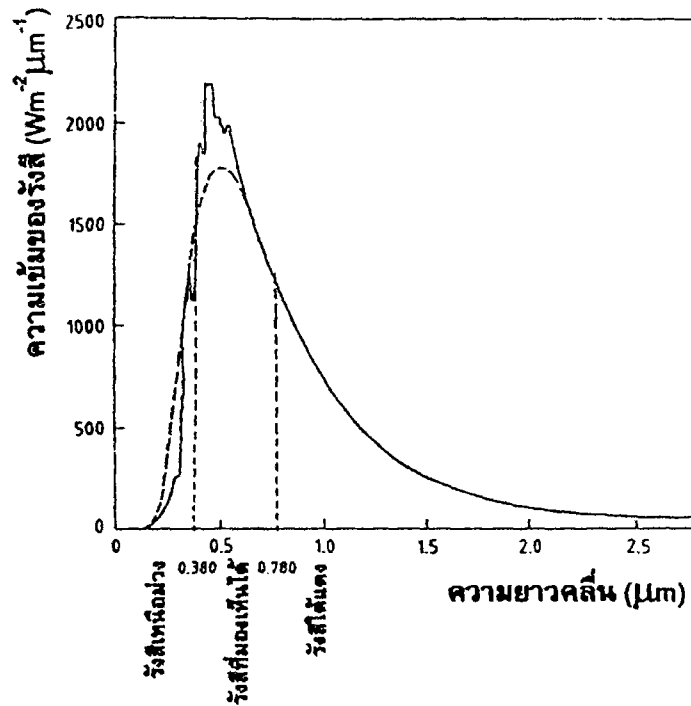
- 1) รังสีเหนือม่วง (Ultraviolet) มีประมาณ 9 %
- 2) รังสีที่มองเห็นได้ (Visible) มีประมาณ 45 %
- 3) รังสีใต้แดง (Infrared) มีประมาณ 46 %

(Henderson-Sellers and Robinson. 1986 : 36-38 ; Magal. 1990 : 20) ดังภาพประกอบ 1

รังสีดวงอาทิตย์ที่แผ่มายังโลก จะถูกสะท้อนกลับสู่อวกาศประมาณ 35 % โดยบรรยากาศ เมฆ และผิวโลก ส่วนที่เหลือประมาณ 65 % จะถูกดูดกลืนโดยบรรยากาศและผิวโลก หรืออาจทำให้กระเจิง (Scatter) โดยอนุภาคต่างๆในบรรยากาศ รังสีดวงอาทิตย์ที่ตรวจวัดที่ผิวโลก แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

1) รังสีตรง ( Direct radiation ) คือรังสีที่ส่งตรงมาจากดวงอาทิตย์มาถึงเครื่องรับบนผิวโลกโดยตรง

2) รังสีแพร่กระจาย หรือรังสีท้องฟ้า ( Diffuse or Sky radiation ) คือรังสีที่แพร่กระจายจากแนวรังสีเดิม เนื่องจากรังสีผ่านตัวกลางต่างๆแล้วทำให้เกิดการกระเจิงเบนจากแนวทางเดิม



ภาพประกอบ 1 สเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์บริเวณเหนือบรรยากาศของโลกและสเปกตรัมของวัตถุดำที่มีอุณหภูมิ 5,777 เคลวิน ที่คำนวณโดยสมการของพลังค์

โดยปกติแล้วรังสีดวงอาทิตย์ที่มาถึงผิวโลกมักจะเป็นรังสีที่รวมทั้งสองชนิดพร้อมๆกัน เราเรียกรังสีรวมทั้งหมดที่มาถึงผิวโลกว่า รังสีดวงอาทิตย์รวม (Global solar radiation)

ในการศึกษาเกี่ยวกับรังสีดวงอาทิตย์เรามีค่าที่พิจารณากันโดยทั่วไป คือ ค่าคงที่สุริยะ (Solar constant) และรังสีดวงอาทิตย์บนพื้นโลก (Insolation)

ค่าคงที่สุริยะ คือ ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นที่ 1 หน่วยในเวลา 1 หน่วย ที่บริเวณขอบนอกของบรรยากาศของโลก มีค่าประมาณ 1,367.0 วัตต์ต่อตารางเมตร (Winter, Vant-Hull and Sizmann. 1991 : 18 ; Norton. 1992 : 29)

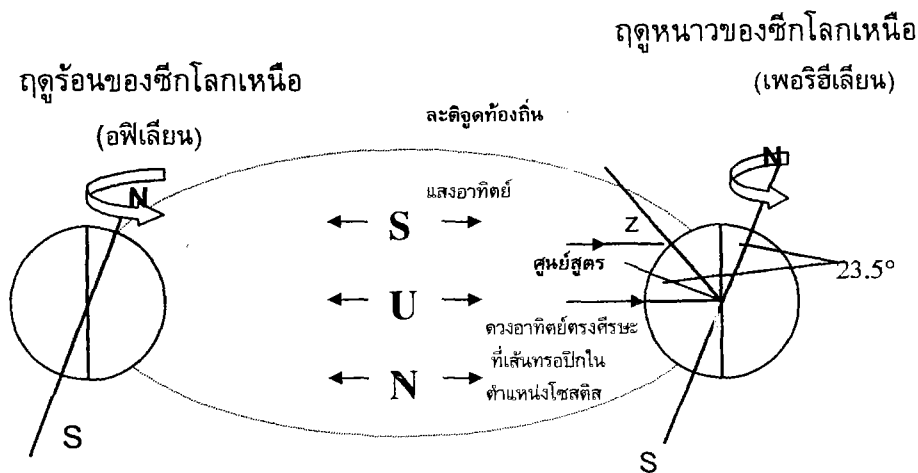
รังสีดวงอาทิตย์บนพื้นโลก คือ ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนพื้นที่ที่ขนานกับพื้นโลก 1 หน่วยในเวลา 1 หน่วย ดังนั้นรังสีดวงอาทิตย์บนพื้นโลกในแต่ละบริเวณจะมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

- 1) ค่าคงที่สุริยะ
- 2) ระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์
- 3) มุมตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์บนพื้นโลก
- 4) ปริมาณพลังงานที่สูญเสียไปในบรรยากาศ

1.2 รั้งสี่ดวงอาทิตย์สู่โลก

โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ในรอบปีจะมีวงโคจรเป็นวงรี โดยค่าความรี (Eccentricity) ของวงโคจร จะวัดได้ จากความแตกต่างของระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ในรอบปี (Henderson - Sellers & Robinson. 1986 : 39-40) ในปัจจุบันโลกจะอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด (Perihelion) ในช่วงที่ซีกโลกเหนือเป็นฤดูหนาว ค่าความรีของวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ มีค่าน้อยมาก ดังนั้นค่าความรีของวงโคจรของโลก จึงมีอิทธิพลต่อการรับรังสีของโลกน้อย สิ่งที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลของโลกก็คือความเอียงของแกนหมุนของโลก แกนหมุนของโลกคือเส้นตรงที่ลากผ่านจุดศูนย์กลางของโลกและเชื่อมโยงระหว่างขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ของโลก โดยจะเอียงทำมุม 23.5 องศา กับเส้นตั้งฉากกับระนาบวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์และแกนหมุนนี้จะวางตัวในทิศทางเดิมเมื่อเทียบกับแกนแลกซีของเรา ผลก็คือ ฤดูกาลจะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณและความเข้มของรังสีของดวงอาทิตย์ที่โลกได้รับที่ตำแหน่งบนสุดของบรรยากาศ หรือในที่สุดก็คือตำแหน่งบนผิวโลก

การเอียงของแกนหมุนของโลก เมื่อพิจารณาตามภาพประกอบ 2 แล้วจะเห็นได้ว่า ทั้งระยะเวลากลางวันและความสูงของดวงอาทิตย์ในท้องฟ้าเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาและตำแหน่งหรือเส้นรั้ง (Latitude circle) ตำแหน่งสุดท้ายที่เวลาเที่ยงวัน ดวงอาทิตย์จะอยู่ตรงศีรษะ คือตำแหน่งทรอปิกออฟแคนเซอร์ (Tropic of Cancer) ของโลก เมื่อโลกอยู่ในตำแหน่ง โชลสตีสฤดูร้อน (Summer solstice) และตำแหน่งทรอปิกออฟแคปริคอร์น (Tropic of Capricorn) เมื่อโลกอยู่ในตำแหน่ง โชลสตีสฤดูหนาว (winter solstice) ในวงโคจร เมื่อโลกอยู่ในตำแหน่งทั้งสอง จากภาพประกอบ 2 จะเห็นได้ว่า ถ้าพื้นที่เหนือเส้นอาร์คติก (Arctic circle) เป็นกลางวันตลอด 24 ชั่วโมงแล้ว พื้นที่ใต้เส้นแอนตาร์คติก (Antarctic circle) ลงไปจะเป็นกลางคืนตลอด 24 ชั่วโมงและตรงข้ามกันถ้าพื้นที่เหนือเส้นอาร์คติกเป็นกลางคืนตลอด 24 ชั่วโมง พื้นที่ใต้เส้นแอนตาร์คติกก็จะเป็นกลางวันตลอด 24 ชั่วโมงเช่นเดียวกัน เมื่อโลกเคลื่อนที่ไปอยู่ที่ตำแหน่งอิควินอกซ์ (Equinox) ในเวลาเที่ยงวัน ดวงอาทิตย์จะอยู่เหนือศีรษะของผู้ที่อยู่บริเวณเส้นศูนย์สูตร ซึ่งตรงกับวันที่ 22 มีนาคมและ 23 กันยายน ความสูงของดวงอาทิตย์ในท้องฟ้าปกติแล้วจะบอกในรูปของมุมเซนิต (Zenith angle : Z) ซึ่งก็คือมุมระหว่างรั้งสี่ดวงอาทิตย์กับแนวตั้งของท้องถิ่นนั้นๆ และหาได้โดยสมการ



ภาพประกอบ 2 ตำแหน่งและการวางตัวของโลกที่อพีเลียน (Aphelion, มิถุนายน) และเพอริฮีเลียน (Perihelion, ธันวาคม) และแสดงมุมเซนิต (Zenith) ของดวงอาทิตย์, z

$$\cos Z = \sin \lambda \sin \delta + \cos \lambda \cos \delta \cos t \quad (1)$$

ซึ่ง  $\lambda$  คือละติจูดของท้องถิ่นนั้นๆ  $\delta$  คือ เดคลิเนชัน (Declination) ของดวงอาทิตย์ และ  $t$  คือ มุมชั่วโมง (Hour angle) โดยที่มุมชั่วโมงจะเป็นศูนย์ในเวลาเที่ยงวันของท้องถิ่น และเพิ่มขึ้น  $\pi / 12$  ( $15^\circ$ ) ทุกๆ ชั่วโมงก่อนหรือหลังเที่ยงวัน กำหนดให้  $H$  คือ ความยาวครึ่งวัน (Half day length) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ 1 โดยที่ตำแหน่งดวงอาทิตย์ขึ้นและตก  $\cos Z = 0$  ( $Z = \pi / 2$  หรือ  $90^\circ$ )

$$\cos H = -\tan \lambda \tan \delta \quad (2)$$

ปริมาณพลังงานที่ตกลงบนพื้นที่ตามแนวราบ ที่ตำแหน่งบนสุดของบรรยากาศ  $I_0$  จะมีความสัมพันธ์กับ  $Z$  โดยที่

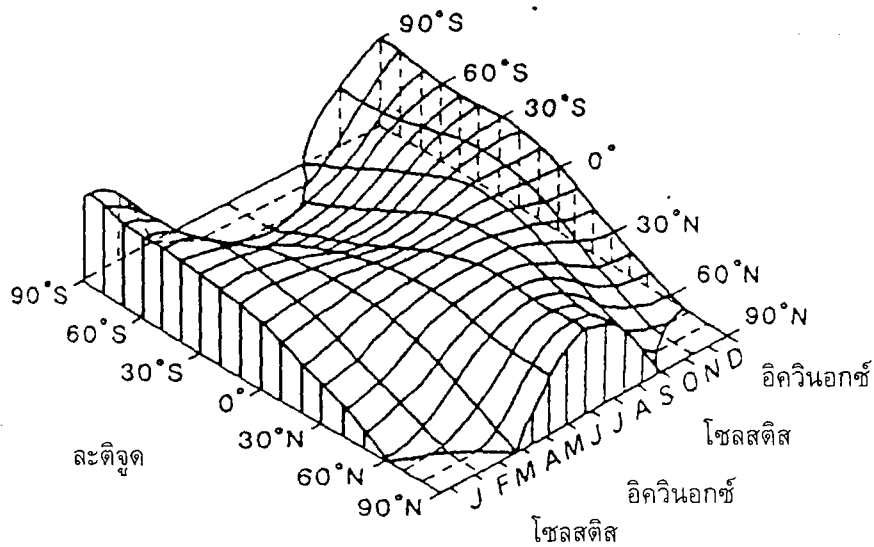
$$I_0 = S_F (d / d')^2 \cos z \quad (3)$$

ซึ่ง  $S_F$  คือ ค่าคงที่สุริยะ และ  $d / d'$  คือ สัมประสิทธิ์เพื่อแก้ค่าความเปลี่ยนแปลงระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ โดยที่  $d$  คือ ระยะทางเฉลี่ยระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ และ  $d'$  คือ ระยะทางในขณะนั้น เมื่อรวมสมการ (1) และ (3) และรวมจาก  $-H$  ถึง  $+H$  ซึ่งก็คือรังสีดวงอาทิตย์ที่แผ่ออกมาตลอดทั้งวัน ที่ตำแหน่งบนสุดของบรรยากาศจะได้

$$I_{DT} = \frac{86400}{\pi} S_F (d / d')^2 (H \sin \lambda \sin \delta + \cos \lambda \cos \delta \sin t) \quad (4)$$

โดยที่  $H$  เป็นมุมเรเดียน

พลังงานจากดวงอาทิตย์ ซึ่งแผ่มาที่ตำแหน่งบนสุดของบรรยากาศของโลก จะเปลี่ยนแปลงไปตามละติจูดและแต่ละช่วงเวลาในรอบปี ดังแสดงในภาพประกอบ 3 จะเห็นได้ว่า พลังงานรังสีจากดวงอาทิตย์ บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรจะไม่มากเท่ากับค่าสูงสุดที่ได้รับที่ตำแหน่งขั้วโลก แต่พลังงานบริเวณนี้ค่อนข้างจะคงที่ตลอดทั้งปี ส่วนพลังงานรังสีจากดวงอาทิตย์ บริเวณขั้วโลกนั้นจะมีค่าเป็นศูนย์ ในขณะที่ขั้วโลกเป็นเวลากลางคืนตลอด และจะได้รับพลังงานมากที่สุดในช่วงที่ขั้วโลกเป็นกลางวันตลอด



ภาพประกอบ 3 การเปลี่ยนแปลงของรังสีดวงอาทิตย์ (ที่ตำแหน่งบนสุดของบรรยากาศ) ซึ่งขึ้นอยู่กับ ละติจูดและช่วงเดือนต่างๆ

## 2. แผงรับแสง

แผงรับแสง (Solar collectors) คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวพลังงานแสงอาทิตย์ให้อยู่ในรูปของพลังงานความร้อน โดยทั่วไปมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบแผ่นราบ และ แบบรวมแสง

2.1 แผงรับแสงแบบแผ่นราบ (Flat - plate solar collectors) ประกอบด้วยส่วนสำคัญ คือ ผิวที่ดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์แล้วเปลี่ยนเป็นความร้อนถ่ายเทไปยังของไหลทำงาน (Working fluid) ปกติมักจะเป็นอากาศหรือน้ำ (Norton .1992 : 81)

การคำนวณหาความเข้มของพลังงานบนแผงรับแสงแบบแผ่นราบนั้นพลังงานที่ตกกระทบจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับทิศทางและมุมที่เอียงเข้ารับแสงด้วย จึงจำเป็นที่จะต้องหาความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางการวางตัวของแผงรับแสงและปริมาณพลังงานแสงแดดที่ได้รับเพื่อที่จะทำให้แผงรับแสงมีประสิทธิภาพสูงสุดในช่วงเวลาที่ต้องการหรือตลอดทั้งปี

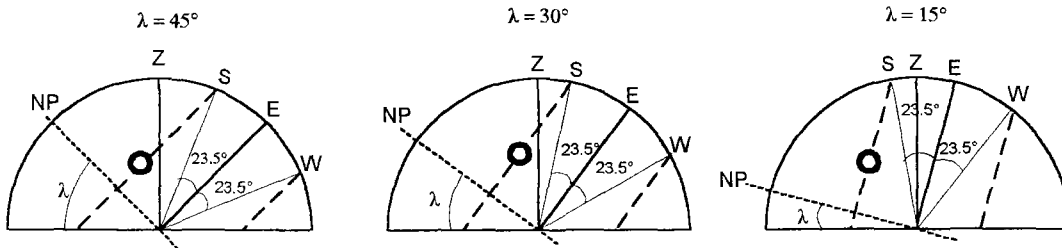
เนื่องจากแกนหมุนของโลกเอียงทำมุมประมาณ 23.5 องศา กับเส้นตั้งฉากกับระนาบทางโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ ดังนั้นเมื่อโลกโคจรไปตามแนวทางรอบดวงอาทิตย์ในรอบปี ลำแสงจากดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งบนผิวโลกจะทำมุมกับผิวโลกที่ตำแหน่งนั้นต่างกันไปตามฤดูกาล แล้วแต่ว่าโลกจะอยู่ที่ตำแหน่งใดบนเส้นทางโคจร นั่นคือขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ดวงอาทิตย์ปรากฏบนท้องฟ้า ซึ่งที่สำคัญมีอยู่ 3 ตำแหน่ง คือ

1. อีควินอกซ์ (Equinox) คือจุดตัดระหว่างระนาบศูนย์สูตรของโลกกับระนาบทางโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ มีอยู่ 2 จุด คือ เวนร์นอลอีควินอกซ์ (Vernal equinox) ประมาณวันที่ 21 มีนาคม และ ออตัมนอลอีควินอกซ์ (Autumnal equinox) ประมาณวันที่ 23 กันยายน

2. โซลสติสฤดูร้อน (Summer Solstice) คือตำแหน่งที่แกนของโลกเอียงเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด หรือดวงอาทิตย์อยู่ทางเหนือสุดในท้องฟ้าสำหรับซีกโลกเหนือ ประมาณวันที่ 22 มิถุนายน

3. โซลสติสฤดูหนาว (Winter solstice) คือตำแหน่งที่แกนของโลกเอียงออกจากดวงอาทิตย์มากที่สุด หรือดวงอาทิตย์จะปรากฏอยู่ทางใต้สุดในท้องฟ้าสำหรับซีกโลกเหนือ ประมาณวันที่ 22 ธันวาคม

จะเห็นว่าการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ในรอบปีหนึ่งนั้น จะทำให้เห็นดวงอาทิตย์



ภาพประกอบ 4 แสดงตำแหน่งต่างๆของดวงอาทิตย์ที่ อีควินอกซ์ (E) , โซลสติสฤดูร้อน (S) และ โซลสติสฤดูหนาว (W) ของละติจูดต่างๆ

เคลื่อนที่ไปเหนือสุดและลงใต้สุดในท้องฟ้าปีละครั้งในช่วงห่างกันประมาณ 47 องศา (Meinel and Meinel, 1976: 87) จึงทำให้ลำแสงของดวงอาทิตย์ที่มาตกกระทบบนพื้นโลกมีมุมเปลี่ยนแปลงไปด้วย นั่นคือ การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ทำให้ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในท้องฟ้าและค่าเดคลิเนชัน (Declination) ของดวงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา

นอกจากนั้นปัจจัยอีกอย่างหนึ่งที่ทำให้ลำแสงจากดวงอาทิตย์ทำมุมกับผิวโลกเป็นมุมต่าง กันก็คือ ละติจูด (Latitude) ของตำแหน่งต่างๆบนพื้นโลกที่ต้องการเอาพลังงานแสงแดดมาใช้ งาน ถ้า ละติจูดของตำแหน่งนั้นมีค่ามากขึ้น นั่นคือตำแหน่งที่พิจารณาอยู่ก่อนไปทางขั้วโลกใต้มาก ลำแสงที่มา ตกกระทบบนพื้นโลกก็จะเอียงทำมุมกับแนวตั้งของตำแหน่งนั้นมากด้วย (ภาพประกอบ 4 )

2.1.1 ความเข้มของพลังงานแสงแดดบนแผงในแนวระดับ

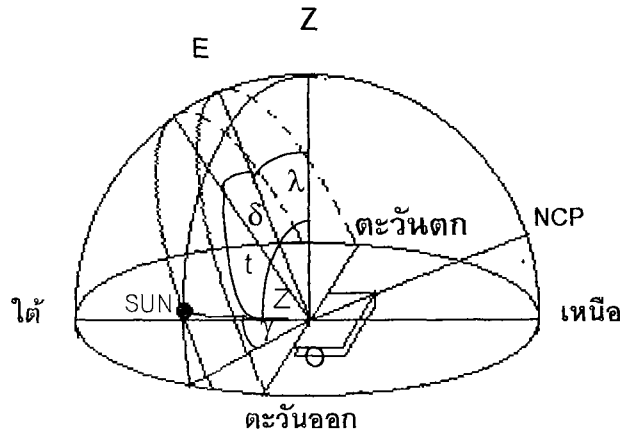
พลังงานแสงแดดที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นโลกสามารถศึกษาได้ 2 วิธี คือ การวัด รังสีโดยตรงและการคำนวณจากสูตรทางฟิสิกส์ รังสีของแสงอาทิตย์ที่มาตกกระทบบนพื้นโลกนั้นเป็นรังสี รวมของแสงอาทิตย์ (Global solar radiation) Q , ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ รังสีตรง (Direct solar radiation) I , เป็นรังสีที่ได้จากลำแสงของดวงอาทิตย์โดยตรง และรังสีจากการแพร่ (Diffuse solar radiation) D , เป็นรังสีที่ได้จากการกระเจิงของแสงเมื่อผ่านบรรยากาศ ซึ่งคิดครึ่งทรงกลมท้องฟ้า ความ สัมพันธ์อธิบายได้ด้วยสมการ (McVeigh, 1977 : 98)

$$Q = D + I \sin \gamma \tag{5}$$

เมื่อ  $\gamma$  คือ อลติจูดของดวงอาทิตย์ (Solar altitude) เหนือระดับขอบฟ้า โดยทั่วไปเรานิยามว่า

$$D = aQ_m$$

และ 
$$I \sin \gamma = \frac{bQ_m S}{S_m}$$



ภาพประกอบ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมเซนนิท (zenith distance angle)  $z$  , ละติจูด (Latitude)  $\lambda$  , เดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ (solar declination)  $\delta$  , และมุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์ (Solar hour angle)  $t$  , เมื่อวางแผงรับแสงในแนวราบที่ตำแหน่ง  $O$  โดยที่  $OZ$  คือ เส้นตั้งฉากกับแผงและ  $Z$  คือ เซนนิท (Zenith)

โดยที่  $a, b$  = พารามิเตอร์ (Parameter) ที่ไม่มีหน่วยขึ้นอยู่กับสภาพตำแหน่งบนพื้นโลก

$Q_m$  = รังสีทั่วโลกสูงสุด (Maximum global radiation) นอกบรรยากาศ หรือขณะปราศจากเมฆหมอก

$S$  = ช่วงระยะเวลาที่ได้รับแสงอาทิตย์จริง ๆ

$S_m$  = ช่วงระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์ปรากฏอยู่ในท้องฟ้า

นั่นคือ 
$$Q = Q_m \left( a + \frac{bS}{S_m} \right) \quad (6)$$

ให้ความเข้มของพลังงานรังสีที่ตกบนแผงในแนวราบเป็น  $I(c)$  และความเข้มของพลังงานรังสี เมื่อวางแผงในแนวตั้งฉากกับลำแสงเป็น  $I(z)$

จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง  $I(c)$  และ  $I(z)$  ดังนี้

$$I(c) = I(z) \cos z$$

เมื่อ  $z$  คือ มุมเซนิท (Zenith distance angle) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของละติจูดของตำแหน่งที่วางแผงบนพื้นโลก เดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ (Solar declination) , และมุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์  $t$  , (ภาพประกอบ 5) โดยที่ (Meinel and Meinel.1976 : 88)

$$\cos z = \sin \lambda \sin \delta + \cos \lambda \cos \delta \cos t \quad (7)$$

2.1.2 ความเข้มของพลังงานแสงแดดเมื่อวางแผงทำมุมใด ๆ กับแนวระดับ สำหรับซีกโลกเหนือเราจะพิจารณาเมื่อวางแผงรับแสงแบบแผ่นราบ หันหน้าให้เอียงไปทางทิศใต้และตั้งอยู่กับการเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ โดยทำมุมเอียง  $\theta$  กับแนวระดับ นั่นคือมุมที่วัดจากเซนิท ไปยังเส้นตั้งฉากกับแผง (ภาพประกอบ 6) สมการของมุมระหว่างดวงอาทิตย์หรือลำแสงของดวงอาทิตย์กับเส้นตั้งฉากกับแผงรับ  $\beta$  คือ

$$\cos \beta = \sin(\lambda - \theta) \sin \delta + \cos(\lambda - \theta) \cos \delta \cos t \quad (8)$$

ในกรณีที่วางเอียงเป็นมุมเท่าละติจูด นั่นคือ  $\theta = \lambda$  สมการ (8) จะกลายเป็น

$$\cos \beta = \cos \delta \cos t \quad (9)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสงเมื่อวางแผงทำมุม  $\theta$  กับแนวระดับ  $I(\theta)$  และเมื่อวางแผงตั้งฉากกับลำแสง  $I(z)$  จะได้

$$I(\theta) = I(z) \cos \beta \quad (10)$$

จากสมการ (6) และ (10) จะได้ว่า

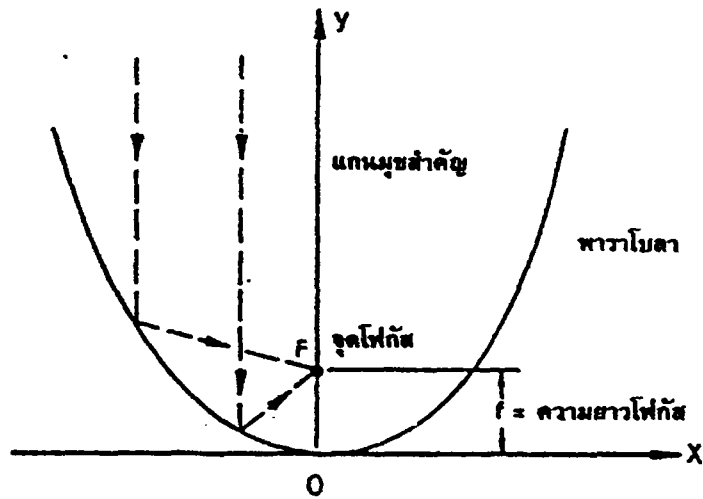
$$\frac{I(c)}{\cos Z} = \frac{I(\theta)}{\cos \beta}$$

$$I(\theta) = I(c) \frac{\cos \beta}{\cos Z} \quad (11)$$

แทนค่าสมการ (7) , (8) ในสมการ (11) ได้

$$I(\theta) = I(c) \left[ \frac{\sin(\lambda - \theta) \sin \delta + \cos(\lambda - \theta) \cos \delta \cos t}{\sin \lambda \sin \delta + \cos \lambda \cos \delta \cos t} \right] \quad (12)$$



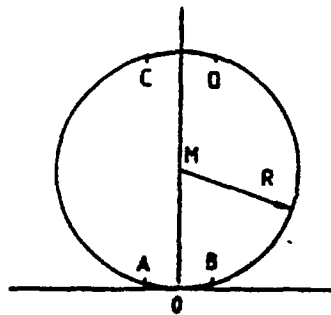


ภาพประกอบ 7 รัศมีที่ขนานกับแกนของแฉงรับแสงแบบพาราโบลา จะสะท้อนไปรวมกันที่จุดโฟกัสของพาราโบลา

จากภาพประกอบ 7 รูปพาราโบลาอธิบายด้วยสมการ

$$y = \frac{x^2}{4f} \quad (14)$$

ระยะทางจากจุดโฟกัส F ถึงจุดยอด (Vertex) O หรือ OF ก็คือ ความยาวโฟกัส f ของพาราโบลา พาราโบลาจะสามารถแทนด้วยส่วนโค้งเล็ก ๆ ของวงกลมได้ ดังส่วนโค้งที่แสดงในภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 8 พาราโบลาสามารถทำจากส่วนของวงกลมได้ถ้ารัศมีของวงกลมยาวกว่าส่วนของวงกลมมาก ๆ

ตามภาพประกอบ 8 ส่วนโค้งของวงกลมรัศมี R สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$X^2 + (Y - R)^2 = R^2 \quad (15)$$

หรือ

$$Y = \pm R \left[ 1 - \frac{X^2}{R^2} \right] + R$$

ถ้าส่วนของวงกลมมีขนาดเล็กจะได้  $X^2 / R^2 < 1$  เมื่อพิจารณาเทอมที่มีรากกำลังสอง โดย Binomial จะได้

$$\left[ 1 - \frac{X^2}{R^2} \right]^{1/2} \approx 1 - \frac{X^2}{2R^2} \quad (16)$$

และจะได้

$$Y = \pm \left[ R - \frac{X^2}{2R} \right] + R \quad (17)$$

เมื่อพิจารณาส่วนโค้ง AB จะสามารถอธิบายสมการ

$$Y = \frac{X^2}{2R} \quad (18)$$

เปรียบเทียบสมการ (14) กับ (18) จะเห็นได้ชัดเจนว่า สมการ (18) อธิบายพาราโบลาที่  $f = R/2$  และต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขที่ว่า  $X^2 / R^2 < 1$  จากผลดังกล่าวนี้ใช้ประโยชน์ในการทำแผงรับแสงแบบรวมแสงได้ เพราะการทำเป็นรูปวงกลมจะทำให้ติดตั้งง่ายกว่ารูปพาราโบลา ในทำนองเดียวกันรูปทรงพาราโบลาก็สามารถทำจากส่วนของทรงกลมได้

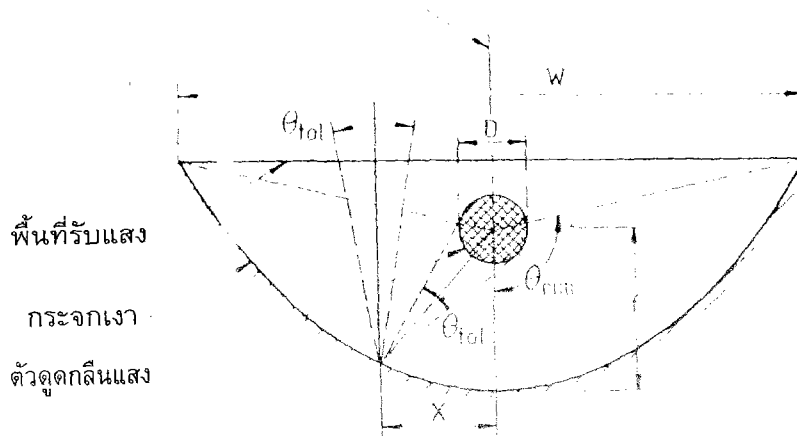
ในการใช้งานของแผงรับแสงแบบนี้จะต้องให้แกนของกระจกสะท้อนแสง ชี้ไปยังดวงอาทิตย์ ซึ่งไม่เหมือนกับแผ่นราบ ความแตกต่างที่สำคัญระหว่างแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นราบกับแบบรวมแสงอีกอย่างหนึ่งก็คือ แผงรับแสงชนิดรวมแสงนั้นสามารถใช้งานกับรังสีตรง (Direct solar radiation) เท่านั้น

สำหรับตัวดูดกลืน (Absorber) จะต้องสามารถเปลี่ยนรังสีดวงอาทิตย์ให้เป็นความร้อนให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และสามารถถ่ายเทไปยังของไหลทำงานได้ดี

แผงรวมแสงแบบพาราโบลาโดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 แบบใหญ่ ๆ คือ (1) แผงที่รวมแสงเป็นจุดไปยังจุดโฟกัส (Focal point) ของแผงรับแสง เรียกว่า จานรวมแสงพาราโบลา (Parabolic dish concentrating collectors) (2) แผงรวมแสงเป็นเส้นไปยังแนวโฟกัส (Focal line) ของแผงรับแสง

เรียกว่า รางรวมแสงพาราโบลา (Parabolic – trough concentrating collectors) (PTC) ในที่นี้จะพิจารณาในรายละเอียดของรางรวมแสงพาราโบลา

แกนमुखสำคัญ



ภาพประกอบ 9 รางรวมแสงพาราโบลา

รางรวมแสงพาราโบลา มีลักษณะเป็นรางหรือทรงกระบอกผ่าซีกที่มีหน้าตัดเป็นรูปพาราโบลา (ดังภาพประกอบ 9) และผิวหน้าเป็นกระจกเงาสท้อนแสง กระจกเงานี้จะทำหน้าที่สะท้อนแสงไปยังตัวดูดกลืน พิจารณาเมื่อวางรางรวมแสงให้อยู่ในแนวทิศที่แสงอาทิตย์ส่องมาหรือลำแสงขนานกับแกนमुखสำคัญ ดังนั้น จะทำให้แสงที่สะท้อนจากกระจกหรือลำแสงตรง ไปรวมกันที่ "ท่อดูดกลืนแสง" (Tubular absorber) ซึ่งจะได้ค่าสัดส่วนความเข้มแสง (Concentration ratio) เป็น (Norton.1992 :123)

$$C = W / \pi D \quad (19)$$

เมื่อ  $W$  เป็นความกว้างของรางรวมแสง และ  $D$  เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อดูดกลืนแสง โดยนิยาม สัดส่วนความเข้มแสง ว่า (Bansal and others.1990 : 194) สัดส่วนความเข้มแสง คือ สัดส่วนระหว่างพื้นที่ที่รับแสงต่อพื้นที่ของภาพดวงอาทิตย์

ท่อดูดกลืนแสงจะสามารถดูดกลืนแสงที่สะท้อนมาจากกระจกพาราโบลาได้ ในบางมุมที่จำกัดค่าหนึ่ง ขึ้นอยู่กับขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อดูดกลืนแสง มุมดังกล่าวนี้เรียกว่า มุมทอลเลอแรนซ์ (Tolerance angle),  $\theta_{tol}$  ซึ่งจะมีค่าเปลี่ยนไปตามตำแหน่งที่รังสีตกกระทบบนผิวของกระจก ส่วนมุมทอลเลอแรนซ์เฉลี่ย (Meantolerance angle),  $\theta_m$  จะหาได้จากค่าเฉลี่ยของมุมทอลเลอแรนซ์ที่เข้ามาอยู่ครึ่งหนึ่งของพื้นที่รับแสง,  $W/2$

รังสีดวงอาทิตย์บนพื้นโลก มีองค์ประกอบที่เป็นรังสีตรงและรังสีแพร่กระจายจะไปตกกระทบที่ตัวดูดกลืนจาก 2 ทาง คือ ทางตรงได้แก่ รังสีที่พุ่งเข้าสู่ตัวดูดกลืนโดยตรงและโดยอ้อม ได้แก่ รังสีที่สะท้อนจากการสะท้อนเพียงครั้งเดียวจากรวมแสงพาราโบลา สำหรับรังสีตรงอัตราพลังงานที่ตัวดูดกลืนได้รับจะสามารถหาได้จากสมการ

$$I_{U,B} = I_B \tau \alpha \frac{D}{W} + I_B \rho \tau \alpha \frac{W-D}{W} \quad (20)$$

เมื่อ  $I_{U,B}$  เป็นรังสีดวงอาทิตย์บนพื้นโลกที่ถูกดูดกลืนโดยตัวดูดกลืนจากรวมแสงพาราโบลา ในส่วนที่เป็นรังสีตรง ( $W \text{ m}^{-2}$ )  $I_B$  เป็นรังสีตรงของรังสีดวงอาทิตย์บนพื้นโลก ( $W \text{ m}^{-2}$ )  $\tau$ ,  $\alpha$ ,  $\rho$  เป็นค่าความส่องผ่าน (Transmittance) ค่าความดูดกลืน (Absorptance) ค่าความสะท้อน (Reflectance) ของแสงตามลำดับ โดยที่ด้านขวามือของสมการเทอมแรก เกิดจากรังสีทางตรงและเทอมที่สองเกิดจากรังสีทางอ้อม, ค่า  $I_{U,B} < I_B$  เสมอเนื่องจากค่าของ  $\tau$ ,  $\alpha$ ,  $\rho$  จะมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง สมการนี้สามารถเขียนใหม่ได้ว่า

$$I_{U,B} = (\tau \alpha \rho) \beta_B I_B \quad (21)$$

โดยที่

$$\beta_B = 1 + \frac{D}{W} \left( \frac{1}{\rho} - 1 \right) \quad (22)$$

$\beta_B$  เป็นสัมประสิทธิ์ปรับแก้ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์บนพื้นผิวโลกในส่วนของรังสีตรงโดยทางตรง ค่าของ  $\beta_B = 1$  เมื่อ  $\rho = 1$  แต่ในทางปฏิบัติแล้ว  $\rho < 1$  ดังนั้น  $\beta_B > 1$

สำหรับผลที่เกิดขึ้นจากส่วนของรังสีแพร่กระจายในรวมแสงพาราโบลา (PTC) ที่ถูกดูดกลืนโดยตัวดูดกลืน สามารถหาได้ด้วยสมการ

$$I_{U,D} = (\tau \alpha \rho) \beta_D g_{D,PTC} I_D \quad (23)$$

เมื่อ  $I_{U,D}$  เป็นรังสีดวงอาทิตย์บนพื้นโลกที่ถูกดูดกลืนโดยตัวดูดกลืนจากรวมแสงพาราโบลา ในส่วนที่เป็นรังสีแพร่กระจาย ( $W \text{ m}^{-2}$ )  $\beta_D$  เป็นสัมประสิทธิ์ปรับแก้ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์บนพื้นโลก ในส่วนรังสีแพร่กระจายโดยทางตรง  $g_{D,PTC}$  เป็นส่วนของรังสีแพร่กระจายที่มีผลจากแสงรวมแสงหรือโดยทางอ้อม  $I_D$  เป็นองค์ประกอบในส่วนที่เป็นรังสีแพร่กระจายของรังสีดวงอาทิตย์บนพื้นโลก ( $W \text{ m}^{-2}$ )

รังสีดวงอาทิตย์บนพื้นผิวโลกทั้งหมดที่ถูกดูดกลืนโดยตัวดูดกลืน หรือ  $I_U$  คือ ผลรวมของสมการ (21) และ (23)

$$I_U = \tau \rho \alpha r I_{eff} \quad (24)$$

โดยที่  $r$  เป็นแฟกเตอร์ที่เกิดจากการตัดกันของลำแสงแล้วทำให้เกิดการสูญเสียทางแสง ในแผงรวมแสง PTC อันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแสง  $I_{eff}$  เป็นรังสีดวงอาทิตย์บนพื้นโลกที่มีผลต่อพื้นที่รับแสงของแผงรวมแสงหาได้โดย

$$I_{eff} = \beta_B I_B + \beta_D g_{D,PTC} I_D \quad (25)$$

ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการคำนวณอุณหภูมิที่เกิดจากแผงรวมแสง PTC

ประสิทธิภาพเกี่ยวกับแสงของแผงรับแสงแบบ PTC,  $\eta_{opt}$  คือ สัดส่วนระหว่างรังสีดวงอาทิตย์บนพื้นโลกที่ถูกดูดกลืนโดยตัวดูดกลืน,  $I_U$  กับ รังสีดวงอาทิตย์บนพื้นโลกจากครึ่งซีกท้องฟ้าบนระนาบของแผงรับแสง,  $I_{tot}$  นั่นคือ

$$\eta_{opt} = \frac{I_U}{I_{tot}} \quad (26)$$

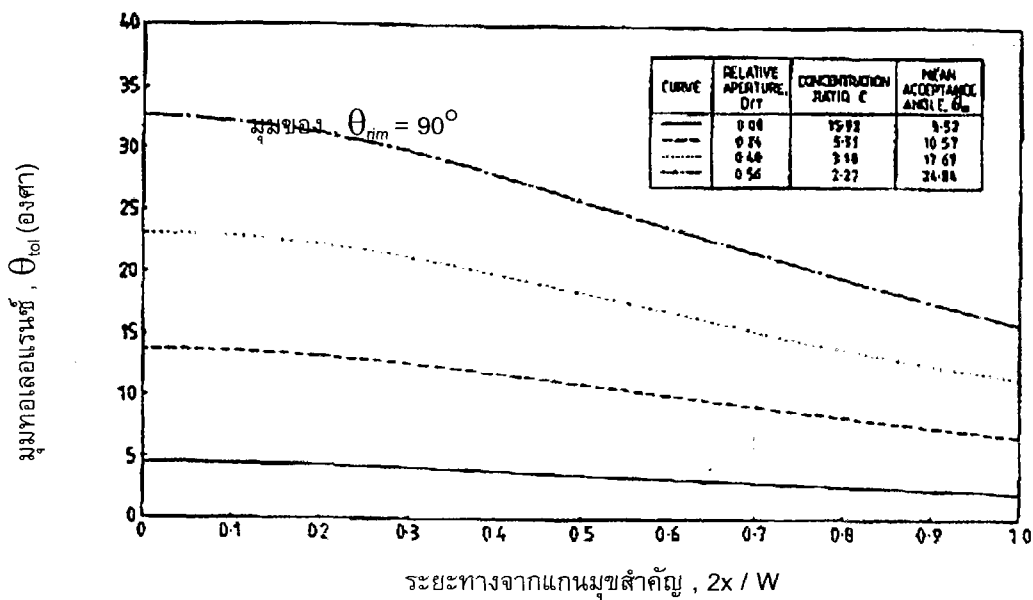
ดังนั้น

$$\eta_{opt} = \tau \rho \alpha r (\beta_B I_B + \beta_D g_{D,PTC} I_D) \quad (27)$$

คุณลักษณะต่าง ๆ ของแผงรับแสงแบบ PTC จะได้จากการคำนวณจากพฤติกรรมเกี่ยวกับแสง

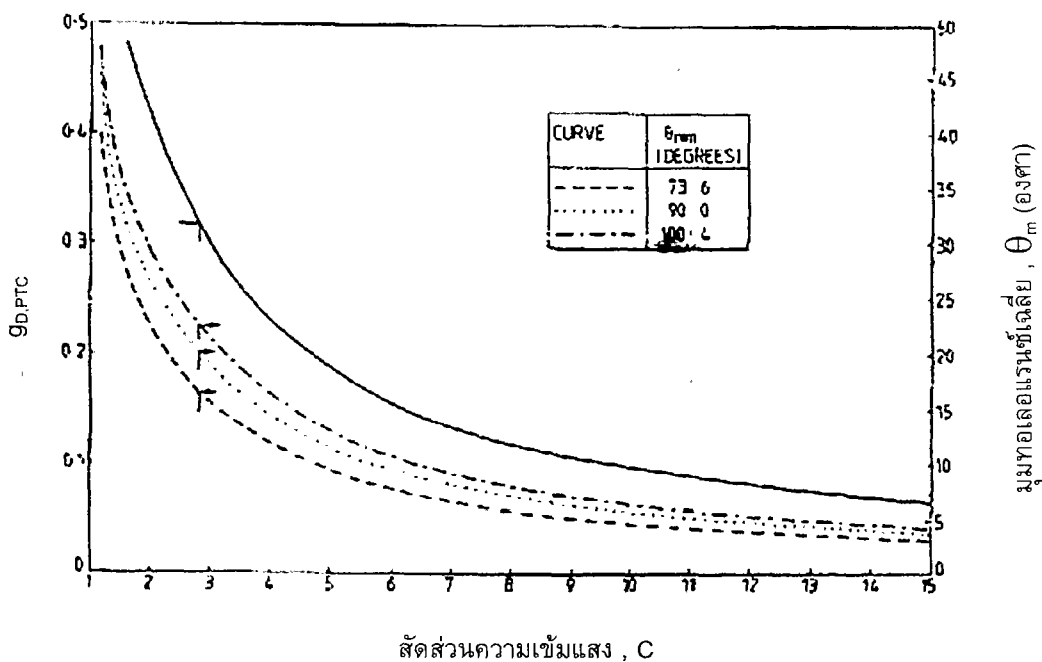
คุณลักษณะทางแสงของรางรวมแสงพาราโบลา

จากภาพประกอบ 10 การเปลี่ยนแปลงของมุมทอเลอแรนซ์  $\theta_{tol}$  บนครึ่งความกว้างของแผงรับแสงที่ตัวดูดกลืนมีเส้นผ่าศูนย์กลางแตกต่างกันในหัวสะท้อนแสงอันเดียวกันโดยที่มุมขอบ (Rim angle),  $\theta_{nm}$  มีค่าเท่ากับ 90 องศา



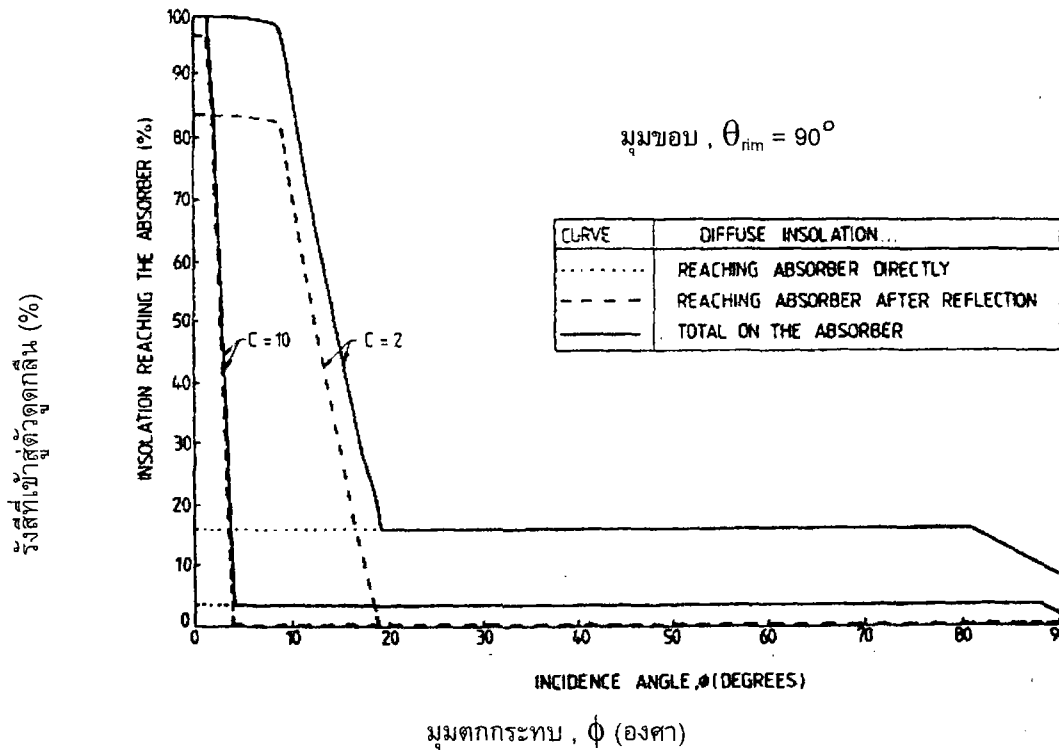
ภาพประกอบ 10 มุมทอเลอเรนซ์ของแผงรับแสงแบบ PTC

ภาพประกอบ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมทอเลอเรนซ์เฉลี่ย,  $\theta_m$  กับสัดส่วนความเข้มแสง, C ของรังรวมแสงพาราโบลาสำหรับมุมขอบ,  $\theta_{rim}$  ต่าง ๆ นอกจากนั้นกราฟเส้นทึบแสดงถึงส่วนของรังสีแพร่กระจายที่สะท้อนมาจากรังรวมแสงพาราโบลา,  $g_{D,PTC}$  บนข้อสมมติฐานว่ารังสีแพร่กระจายนั้นมาจากทุกทิศทางอย่างสม่ำเสมอ



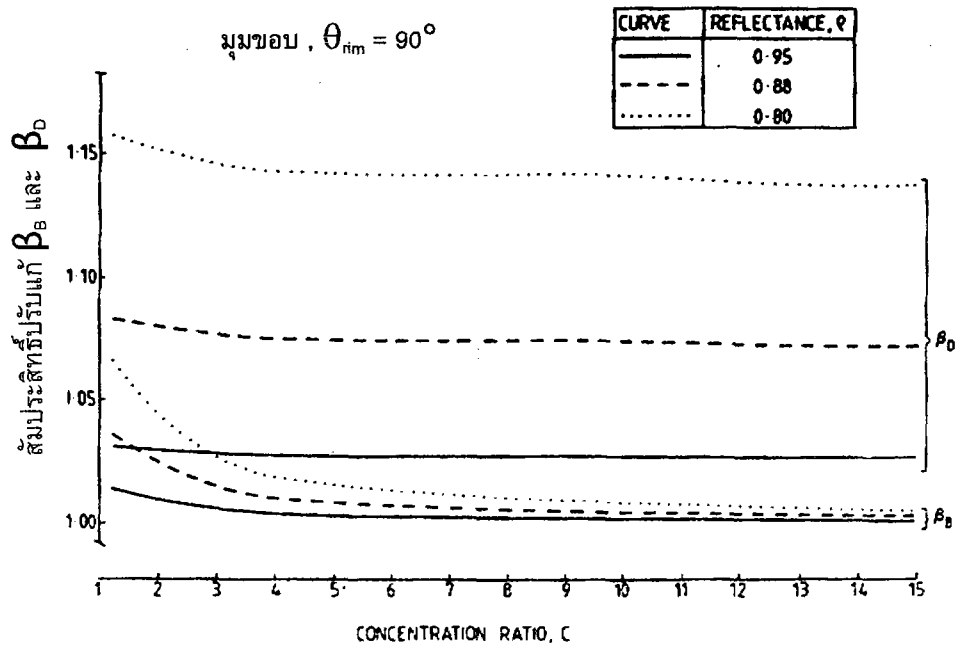
ภาพประกอบ 11 มุมทอเลอเรนซ์เฉลี่ย และส่วนของรังสีแพร่กระจายสำหรับแผงรับแสงแบบ PTC

การรับรังสีแพร่กระจายของตัวดูดกลืนจะขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบของรังสีตั้งในภาพประกอบ 12 ซึ่งพิจารณาจากสัดส่วนความเข้มแสงสองปริมาณ จะเห็นได้ว่า ถ้ารังสีตกกระทบอยู่ใกล้เส้นปกติรังสีกระจายทั้งหมดจะสะท้อนเข้าสู่ตัวดูดกลืน อย่างไรก็ตามถ้ามุมตกกระทบมากกว่ามุมวิกฤตซึ่งขึ้นอยู่กับสัดส่วนความเข้มแสงรังสีแพร่กระจายก็สามารถเข้าสู่ตัวดูดกลืนโดยตรง



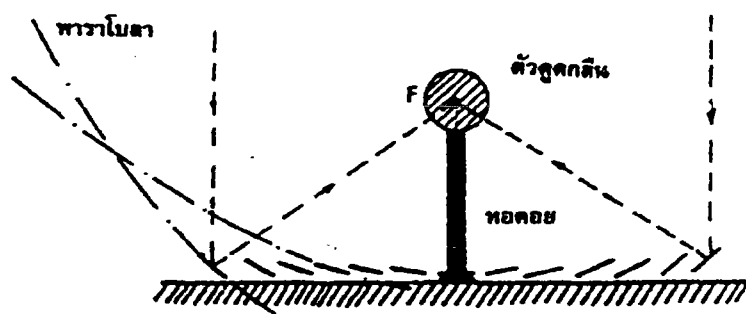
ภาพประกอบ 12 พฤติกรรมของรังสีแพร่กระจายในแผงรับแสงแบบ PTC

เส้นกราฟในภาพประกอบ 12 แสดงรายละเอียดของปริมาณรังสีที่ได้จากรังสีแพร่กระจายรวมเป็นพลังงานแสงอาทิตย์และสามารถนำไปใช้ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้  $\beta_D$  (ดูสมการ 23) ค่า  $\beta_D$  ต่าง ๆ กับค่าสัดส่วนความเข้มแสงแสดงไว้ในภาพประกอบ 13 โดยกำหนดค่าความสะท้อนของตัวสะท้อนสามค่า ในภาพประกอบ 13 ยังเป็นการแสดง ค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้  $\beta_D$  ด้วย จะเห็นได้ว่า ทั้ง  $\beta_B$  และ  $\beta_D$  มีค่ามากกว่าหนึ่งเล็กน้อยและพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้  $\beta_D$  ไม่ขึ้นอยู่กับมุมขอบของรางรวมแสง ดังนั้นค่าที่แสดงไว้ในภาพประกอบ 13 ใช้สำหรับมุมขอบ 90 องศา ยังสามารถใช้ได้กับค่ามุมขอบอื่น ๆ ด้วย



ภาพประกอบ 13 สัมประสิทธิ์ปรับแก้ของแผงรับแสงแบบ PTC

2.2.2 แผงรวมแสงแผ่นราบ (Flat reflectors) เป็นแผงที่รวมแสงจากกระจกแผ่นราบหลาย ๆ แผ่นที่วางทำมุมกับรังสีดวงอาทิตย์พอดี ทำให้รังสีดวงอาทิตย์สะท้อนไปรวมกันที่ตัวตุ้ดกึ่งกลมกระจกแผ่นราบเหล่านี้เรียกว่า เฮลิโอสแตต (Heliostats)



ภาพประกอบ 14 ระบบหอคอยพลังงานแสงอาทิตย์ที่กระจกแต่ละแผ่นเป็นส่วนหนึ่งของพาราโบลา

โดยปกติแผงรวมแสงชนิดนี้มักจะทำเป็นระบบขนาดใหญ่ที่มีหอคอยสูงสำหรับรวมพลังงาน เช่น โรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โซลาร์วัน (Solar One) ที่ บาร์สโรว์ (Barstow),

แคลิฟอร์เนีย (California) ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งผลิตกระแสไฟฟ้าได้ถึง 10 MW ด้วยหอคอยรวมพลังงานที่สูง 73 เมตร ความจุเฮลิโอสแตต 1818 แผ่นด้วยคอมพิวเตอร์

### 3. การสูญเสียพลังงาน

เมื่อรังสีจากดวงอาทิตย์มาตกกระทบกับแผงรับแสง จะมีการสูญเสียพลังงานไปบางส่วน อันเนื่องมาจากการสะท้อน การแผ่รังสีและการพาความร้อนเพื่อให้เข้าใจถึงธรรมชาติของสิ่งเหล่านี้เราจะได้กล่าวถึงโดยละเอียดตามลำดับดังนี้

#### 3.1 การสะท้อนแสง (Reflection of light)

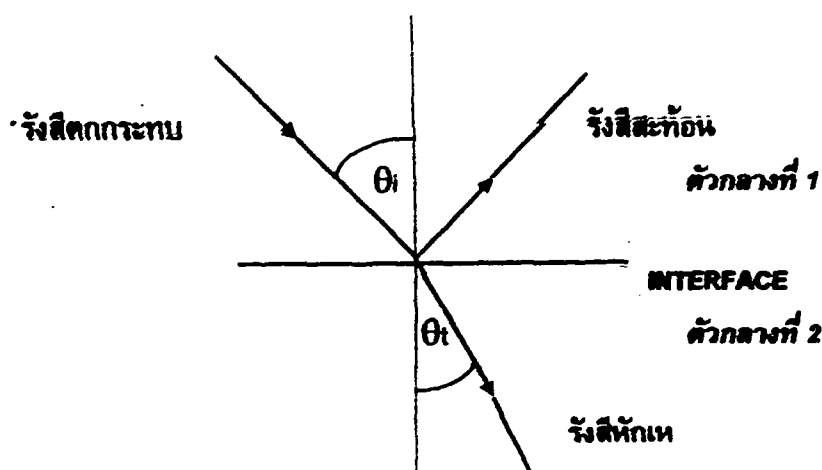
เมื่อแสงตกกระทบในตัวกลางที่มีดัชนีหักเห (Refractive index) ต่างกัน แสงบางส่วนจะเกิดการสะท้อนและบางส่วนจะหักเหที่ผิวร่วม (Interface) ดังแสดงภาพประกอบ 15 จากกฎของสเนลล์ (Snell's law) จะได้

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (28)$$

เมื่อ  $n_1$  = ดัชนีหักเหในตัวกลางที่ 1  
 $n_2$  = ดัชนีหักเหในตัวกลางที่ 2  
 $\theta_1$  = มุมตกกระทบในตัวกลางที่ 1  
 $\theta_2$  = มุมหักเหในตัวกลางที่ 2

สำหรับรังสีของดวงอาทิตย์ ตกกระทบบนผิวกระจกที่มีความสะท้อน (Reflectance)  $\rho$  จะได้รังสีที่สะท้อนออกจากผิวกระจกของแผงรับแสงทั้งหมด  $I_r$  เป็น

$$I_r = \rho I \quad (29)$$



ภาพประกอบ 15 แสดงการตกกระทบ การสะท้อนและการหักเหของแสง

พิจารณาความสะท้อน (Reflectance)  $\rho$  จากการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและสมการของ เฟรสเนล (Fresnel 's equation) จะได้ความสะท้อนในกรณีที่สนามไฟฟ้าตั้งฉากกับระนาบตกกระทบ  $\rho_N$  เป็น (Mickelson. 1992 : 59)

$$\rho_N = \left[ \frac{n_1 \cos \theta_i - n_2 \cos \theta_t}{n_1 \cos \theta_i + n_2 \cos \theta_t} \right]^2 \quad (30)$$

และในกรณีที่สนามไฟฟ้าขนานกับระนาบตกกระทบ  $\rho_T$  เป็น

$$\rho_T = \left[ \frac{n_2 \cos \theta_i - n_1 \cos \theta_t}{n_2 \cos \theta_i + n_1 \cos \theta_t} \right]^2 \quad (31)$$

ดังนั้นจากสมการ (28) , (30) และ (28) , (31) จะได้

$$\rho_N = \frac{\sin^2(\theta_i - \theta_t)}{\sin^2(\theta_i + \theta_t)} \quad (32)$$

$$\text{และ} \quad \rho_T = \frac{\tan^2(\theta_i - \theta_t)}{\tan^2(\theta_i + \theta_t)} \quad (33)$$

แสงแดดที่มากตกกระทบบนผิวกระจกของเครื่องรับแสงซึ่งถือว่าไม่นำความร้อนนั้น จะไม่มีการดูดกลืนแสงหรือดูดกลืนน้อยมาก และจะได้ความสะท้อนแสง  $\rho$  เมื่อมีมุมตกกระทบ  $\theta_i$  มุมหักเห  $\theta_t$  เป็น

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{2} (R_N + R_T) \\ \rho &= \frac{1}{2} \left[ \frac{\sin^2(\theta_i - \theta_t)}{\sin^2(\theta_i + \theta_t)} + \frac{\tan^2(\theta_i - \theta_t)}{\tan^2(\theta_i + \theta_t)} \right] \end{aligned} \quad (34)$$

นั่นคือความสะท้อนของแสง จะเป็นฟังก์ชันของมุมตกกระทบ และมุมหักเหของแสงเมื่อผ่านตัวกลางที่แสงแดดตกกระทบจะขึ้นอยู่กับดัชนีหักเหของตัวกลาง

ถ้าพิจารณาพลังงานแสงแดดที่สะท้อนต่อหน่วยเวลาเป็น  $E_{ref}$  บนแผงรับแสงพื้นที่  $A$  แล้วจะได้พลังงานแสงแดดที่สะท้อนเป็น

$$\begin{aligned} E_{ref} &= I_r A \\ &= I_p A \end{aligned} \quad (35)$$

$$E_{ref} = \frac{IA}{2} \left[ \frac{\sin^2(\theta_i - \theta_r)}{\sin^2(\theta_i + \theta_r)} + \frac{\tan^2(\theta_i - \theta_r)}{\tan^2(\theta_i + \theta_r)} \right] \quad (36)$$

### 3.2 การพาความร้อน (Convection of heat)

การพาความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง โดยอาศัยวัตถุหรือตัวพาความร้อนเป็นตัวเคลื่อนที่ เมื่อแผงรับแสงได้รับแสงแดดจะทำให้อุณหภูมิภายในแผงรับแสงสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศภายนอก ดังนั้นความร้อนภายในจึงถูกถ่ายเทออกมาสู่อากาศภายนอกโดยการนำความร้อน (Conduction of heat) ผ่านผนังโดยรอบและแผ่นกระจกของแผงรับแสงแล้วถ่ายเทให้กับอากาศโดยรอบด้วยการพาความร้อน ปริมาณความร้อนที่สูญเสียเนื่องจากการพาความร้อนหาได้ด้วยสมการ (Look and Sauer. 1989 : 376)

$$q_{conv} = hA\Delta T \quad (37)$$

โดยที่  $q_{conv}$  = ปริมาณความร้อนที่สูญเสียจากการพาความร้อนต่อหน่วยเวลา  
 $A$  = พื้นที่ของผิวที่เกิดการพาความร้อน  
 $\Delta T$  = ผลต่างระหว่างอุณหภูมิผิวนอกของแผงรับแสงกับอุณหภูมิของอากาศ  
 $h$  = สัมประสิทธิ์ของการพาความร้อน (Coefficient of convection)

สัมประสิทธิ์ของการพาความร้อนจากสมการ (37) จะเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น

1. ลักษณะรูปร่างของพื้นผิว
2. การวางตัวของพื้นผิว
3. ชนิดของตัวกลางที่ทำหน้าที่พาความร้อน
4. ความหนาแน่น ความหนืด ความร้อนจำเพาะและสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของตัวกลาง
5. ความเร็วของตัวกลางที่พาความร้อน
6. ขณะเกิดการพาความร้อนมีการระเหย การกลั่นตัวหรือไม่

### 3.3 การแผ่รังสีความร้อน (Thermal radiation)

การแผ่รังสี หมายถึง การปล่อยพลังงานออกมาแบบต่อเนื่องกันจากผิวของวัตถุ เรียกพลังงานที่ปล่อยออกมาว่า พลังงานรังสี (Radiant energy) ซึ่งอยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า วัตถุเมื่อมีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาสัมบูรณ์ วัตถุนั้นจะสามารถแผ่รังสีออกมาได้และความยาวคลื่นส่วนมากของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมาจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของวัตถุนั้น นั่นคือ วัตถุอุณหภูมิสูงจะแผ่รังสีให้ความยาวคลื่นส่วนมากสั้นกว่าวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำ วัตถุที่มีสมบัติดูดความร้อนได้ดีเมื่ออุณหภูมิต่ำ และแผ่รังสีได้ดีเมื่ออุณหภูมิสูง เรียกว่า วัตถุดำ (Black body) จากกฎของสเตฟาน – โบลต์ซมันน์ (Stefan – Boltzmann's law) กล่าวว่า "อัตราการแผ่รังสี จากวัตถุดำที่มีพื้นที่ จะแปรผันกับกำลังสี่ของอุณหภูมิสัมบูรณ์ของวัตถุนั้น" นั่นคือ (Look and Sauer.1989 : 377)

$$E = \sigma AT^4 \quad (38)$$

เมื่อ  $\sigma$  คือ ค่าคงที่ของสเตฟาน – โบลต์ซมันน์ (Stefan – Boltzmann's law)

$$\begin{aligned} \sigma &= 5.672 \times 10^{-12} \text{ W cm}^{-2} \text{ K}^{-4} \\ &= 5.672 \times 10^{-8} \text{ J m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ K}^{-4} \\ &= 5.672 \times 10^{-9} \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1} \text{ K}^{-4} \end{aligned}$$

ในขณะที่วัตถุกำลังแผ่รังสีความร้อน จะมีการดูดกลืนรังสีจากสิ่งแวดล้อมด้วย ถ้าอุณหภูมิของวัตถุเป็น  $T_1$  และอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมเป็น  $T_2$  อัตราการแลกเปลี่ยนพลังงานรังสีสุทธิระหว่างวัตถุและสิ่งแวดล้อม จะได้

$$q_{rad.} = \sigma A(T_1^4 - T_2^4) \quad (39)$$

ในกรณีที่วัตถุนั้นไม่เป็นวัตถุดำที่แท้จริง จะได้

$$q_{rad.} = \sigma A(T_1^4 - T_2^4) \epsilon \quad (40)$$

เมื่อ  $\epsilon$  คือ แฟกเตอร์สภาพเปล่งรังสี (Emissivity factor)

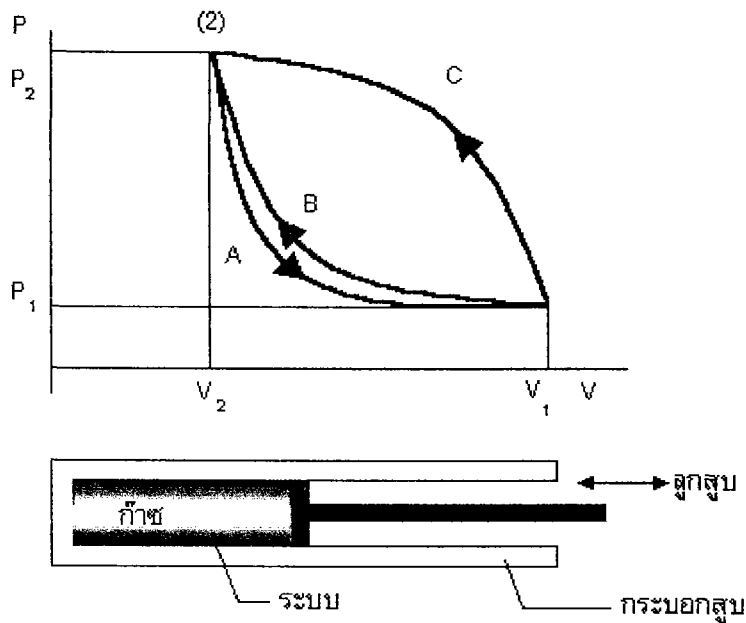
$q_{rad.}$  คือ ปริมาณพลังงานการแผ่รังสีต่อหน่วยเวลา

### 4. วัฏจักรอุณหพลวัต

วัฏจักรอุณหพลวัต (Thermodynamic cycle) คือกระบวนการหรืออนุกรมของกระบวนการที่ซึ่งมีสถานะเริ่มต้นและสถานะสุดท้ายเหมือนกัน (Shavit and Gutfinger.1995 : 8 ; Black and Hartley.1996 : 9)

#### 4.1 กระบวนการแบบวัฏจักร

กระบวนการแบบวัฏจักร (Cycle) เป็นกระบวนการแบบหนึ่งในอุณหพลศาสตร์ ซึ่งหมายความว่า เป็นกระบวนการหรือกิจกรรมวิธีที่ระบบมีการเปลี่ยนแปลงจากสภาวะเริ่มต้นแล้วมีการเปลี่ยนแปลงไปเรื่อย ๆ ตามกระบวนการต่าง ๆ จนในที่สุดระบบกลับมาสู่จุดเริ่มต้น เรียกว่า ครอบรอบ หรือ ครบวัฏจักร ส่วนเส้นทางกำหนดสภาวะทั้งหมดที่ระบบผ่านมานั้น เราเรียกว่า กระบวนการ (Process)

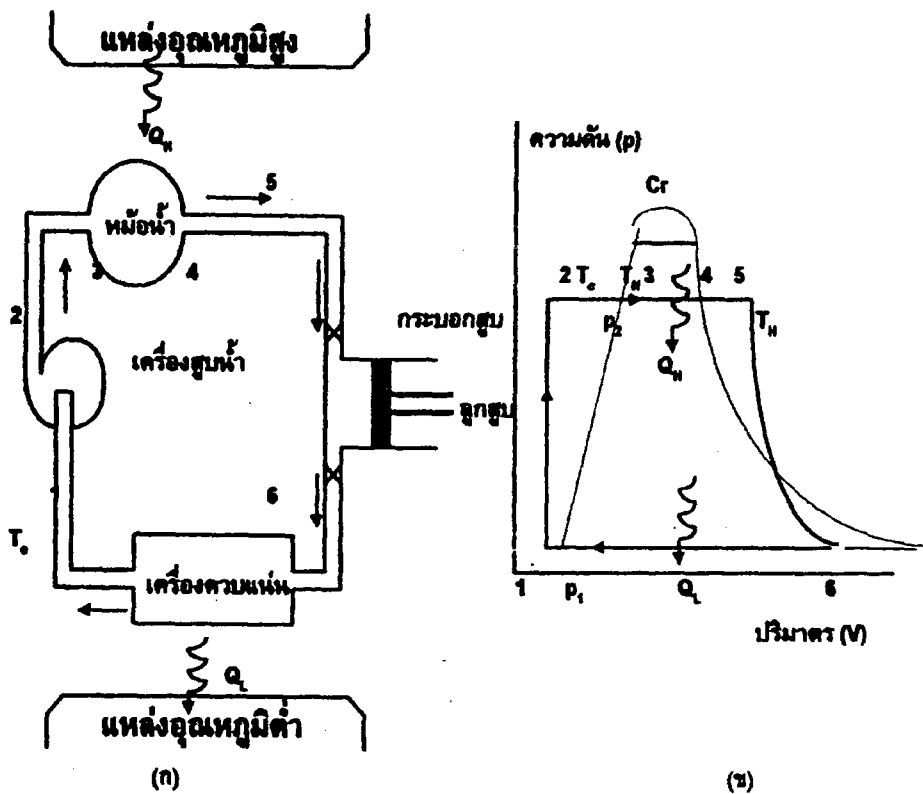


ภาพประกอบ 16 การเปลี่ยนแปลงของระบบบนเส้นทางต่าง ๆ

จากภาพประกอบ 16 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของสภาวะจากสภาวะ (1) ไปสู่สภาวะ (2) ของก๊าซหรือระบบในกระบอกสูบ โดยระบบได้ผ่านสภาวะต่าง ๆ บนกระบวนการ B หรือ C ในที่นี้จะพิจารณาสมบัติสองอย่าง คือ ความดัน ( $p$ ) และปริมาตร ( $V$ ) ที่สภาวะ (1) ระบบมีความดันเป็น  $p_1$  ปริมาตร  $V_1$  เมื่อระบบเปลี่ยนแปลงผ่านกระบวนการ B หรือ C โดยที่ระบบหรือก๊าซภายในลูกสูบกำลังถูกอัดให้มีปริมาตรน้อยลงและมีความดันเพิ่มขึ้น ไปสู่สภาวะ (2) ซึ่งมีความดันเป็น  $p_2$  ปริมาตรเป็น  $V_2$  ลูกสูบจึงหยุด พบว่า  $p_2 > p_1$  และ  $V_2 < V_1$  เมื่อลูกสูบเลื่อนกลับทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระบบผ่านทางกระบวนการ A จากสภาวะ (2) สู่สภาวะ (1) เหมือนเดิม เราเรียกว่า ระบบดำเนินครบวัฏจักร

#### 4.2 วัฏจักรแรงคิน

วัฏจักรแรงคิน (Rankine cycle) เป็นวัฏจักรในอุดมคติของวัฏจักรกำลังไอ (Vapour power cycle) สำหรับเครื่องจักรไอน้ำ (Steam engine) อย่างง่าย



ภาพประกอบ 17 (ก) เครื่องจักรไอน้ำอย่างง่าย (ข) วัฏจักรแรงดัน

การทำงานของเครื่องจักรไอน้ำเริ่มต้นจากน้ำในเครื่องควบแน่น (Condenser) ซึ่งมีความดันน้อยกว่าความดันบรรยากาศ และมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดปกติ ถูกเครื่องสูบน้ำ (Feed Water Pump) ตูดเข้าไปในหม้อน้ำ (Boiler) ทำให้น้ำมีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น จนกระทั่งกลายเป็นไอน้ำภายใต้สภาวะที่ความดันคงที่  $p_2$  แล้วไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูงนี้ ก็จะไหลเข้าไปในกระบอกลูกสูบและดันลูกสูบให้ขยายตัว โดยที่การขยายตัวในช่วงนี้เป็นแบบ แอเดียเบติก (Adiabatic) ทำให้อุณหภูมิและความดัน  $p_1$  เท่ากับสภาวะเริ่มต้น ซึ่งเป็นการทำงานครบหนึ่งรอบ วัฏจักรพอตี วัฏจักรของเครื่องจักรไอน้ำเรียกว่า วัฏจักรแรงดัน

วัฏจักรแรงดัน (ภาพประกอบ 17 (ข)) ประกอบด้วยกระบวนการดังนี้

- 1 → 2 น้ำถูกอัดตามกระบวนการแอเดียเบติก โดยเริ่มต้นจากน้ำที่มีความดันและอุณหภูมิต่ำ ถูกอัดเข้าไปในหม้อน้ำ โดยเครื่องสูบน้ำให้มีความดันและอุณหภูมิสูง
- 2 → 3 น้ำถูกต้มในหม้อน้ำที่ความดันสูงที่  $p_2$  จนกระทั่งเดือดและกลายเป็นไอ
- 3 → 4 ที่ความดันคงที่ ไอน้ำถูกทำให้เป็นไออิมตัว

- 4 --> 5 ที่ความดันคงที่ ไอน้ำซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดน้ำเดือด ถูกทำให้กลายเป็นไอน้ำ ที่มีความร้อนสูง ซึ่งเรียกว่า ไอร้อนยวดยิ่ง (Superheated steam) ที่อุณหภูมิ  $T_H$
- 5 --> 6 ไอน้ำผ่านเข้าไปในกระบอกสูบของเครื่องจักรไอน้ำขยายตัวแบบแอดิเยเบติก ความดันและอุณหภูมิลดลง กลายเป็นไอน้ำที่ผสมหยดน้ำ หรือที่เรียกว่า ไอเปียก (Wey steam)
- 6 --> 1 ที่ความดันคงที่  $p_1$  ไอน้ำถูกควบแน่นให้กลายเป็นของเหลวที่อุณหภูมิ  $T_C$

ในการทำงานตามกระบวนการ 2 --> 3 , 3 --> 4 , 4 --> 5 มีความร้อน  $Q_H$  จากแหล่งความร้อนอุณหภูมิสูงเข้าสู่ระบบ และช่วงของการควบแน่นให้ไอน้ำกลายเป็นน้ำ ตามกระบวนการ 6 --> 1 จะมีความร้อนบริเวณ  $Q_C$  ปลอยออกจากระบบไปยังแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ  $T_C$  ประสิทธิภาพของเครื่องจักรไอน้ำ ตามวัฏจักรแรงคิน จะหาได้จาก สมการ

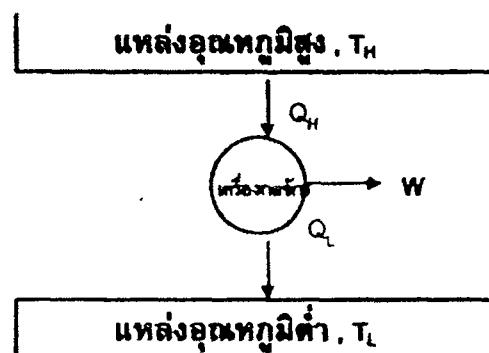
$$\eta = \frac{Q_H - Q_C}{Q_H} = 1 - \frac{Q_C}{Q_H}$$

จะเห็นได้ว่า ความดัน  $Q_C$  จะถูกปลอยทิ้งในกระบวนการควบแน่นเสมอ ดังนั้น ความร้อน  $Q_H$  จึงไม่สามารถเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกลได้ทั้งหมด ซึ่งเป็นไปตามกฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์

## 5. เครื่องยนต์ความร้อน

### 5.1 หลักการของเครื่องยนต์ความร้อน

เครื่องยนต์ความร้อน (Heat engine) คือ เครื่องยนต์ซึ่งทำงานโดยให้งานสุทธิ (Net positive work) เป็นบวก อันเป็นผลมาจากการถ่ายเทความร้อนจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิสูง โดยการถ่ายเทความร้อนบางส่วนสู่แหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ ขณะเดียวกันก็ทำงานในวัฏจักรอุณหพลวัตด้วย ตัวอย่างที่ดีของเครื่องยนต์ความร้อนคือ เครื่องจักรไอน้ำ (Look and Sauer.1989 : 132)



ภาพประกอบ 18 แผนผังเครื่องยนต์ความร้อน

จากภาพประกอบ 18 ความร้อน  $Q_H$  ออกจากแหล่งอุณหภูมิ  $T_H$  และผ่านเข้าสู่เครื่องจักร เครื่องยนต์ความร้อนทำงานได้  $W$  และปลดปล่อยความร้อนออกมา  $Q_L$  เข้าไปในแหล่งอุณหภูมิต่ำที่อุณหภูมิ  $T_L$  เครื่องยนต์ความร้อนนี้กำลังทำงานในวัฏจักรอุณหพลวัต ถ้าพิจารณาตามกฎข้อหนึ่ง จะได้

$$W = Q_H - Q_L > 0$$

ให้  $\eta$  คือประสิทธิภาพด้านความร้อน (Thermal efficiency) ของเครื่องกลจักร จะได้

$$\eta = \frac{\text{output}}{\text{input}}$$

ปริมาณนี้จะมีความหมายเมื่อ กระบวนการเป็นวัฏจักร บางครั้งมักจะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์สำหรับเครื่องยนต์ความร้อน จะได้

$$\eta = \frac{W}{Q_H} \times 100\%$$

## 5.2 เครื่องจักรไอน้ำ

เครื่องจักรไอน้ำ (Steam engine) ที่ใช้กันมาตั้งแต่เริ่มการปฏิวัติอุตสาหกรรม ระหว่างคริสต์ศตวรรษที่ 17 -18 ในยุโรป ประเทศอังกฤษได้นำเครื่องจักรไอน้ำไปใช้งานได้อย่างจริงจัง ปัจจุบันยังมีใช้กันอยู่ เครื่องจักรไอน้ำทำงานได้โดยการขยายตัว ลดความกดตันของไอน้ำลงในห้องสูบ ทำให้เกิดงานกลขึ้น

### 5.2.1 บทบาทของเครื่องจักรไอน้ำ

เครื่องจักรไอน้ำยังมีบทบาทอยู่พอสมควร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานต่าง ๆ ดังนี้

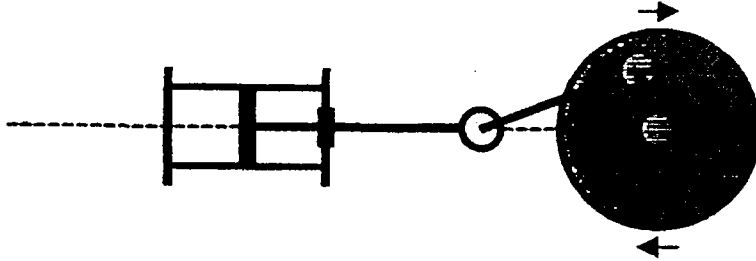
1. ใช้เป็นเครื่องช่วยขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำ เครื่องสูบน้ำกำลัง และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทั้งที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไอน้ำและกังหันไอน้ำ
2. ใช้ไอน้ำความดันต่ำ ที่ได้จากการขยายตัวออกในห้องสูบของเครื่องต้นกำลังเป็นตัวพาความร้อนไปใช้งานอื่นที่ต้องการไอน้ำความดันต่ำ
3. ใช้เป็นเครื่องมือดักเก็บความร้อนที่จะสูญเสียไปเปล่า ๆ โดยถ่ายเทความร้อนให้กับเครื่องกำเนิดไอน้ำ
4. ใช้ในหัวจักรไอน้ำของรถไฟเพื่อใช้ในการท่องเที่ยว ใช้ลากรถสินค้าและรถธรรมดาในเขตภูธร

## 5.2.2 การแบ่งประเภทของเครื่องจักรไอน้ำ

การแบ่งประเภทของเครื่องจักรไอน้ำ มีเกณฑ์การแบ่ง ดังนี้ (ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์, 2522 : 349-351)

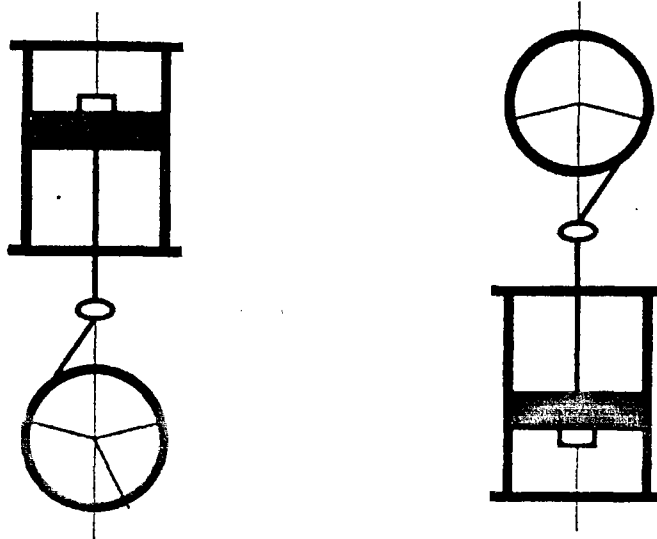
### 5.2.2.1 การแบ่งตามโครงสร้าง แบ่งได้ดังนี้

1. เครื่องจักรแนวราบ เป็นเครื่องจักรไอน้ำที่ประกอบด้วยกระบอกสูบและเพลลาข้อเหวี่ยงอยู่ในแนวระดับ (ภาพประกอบ 19)



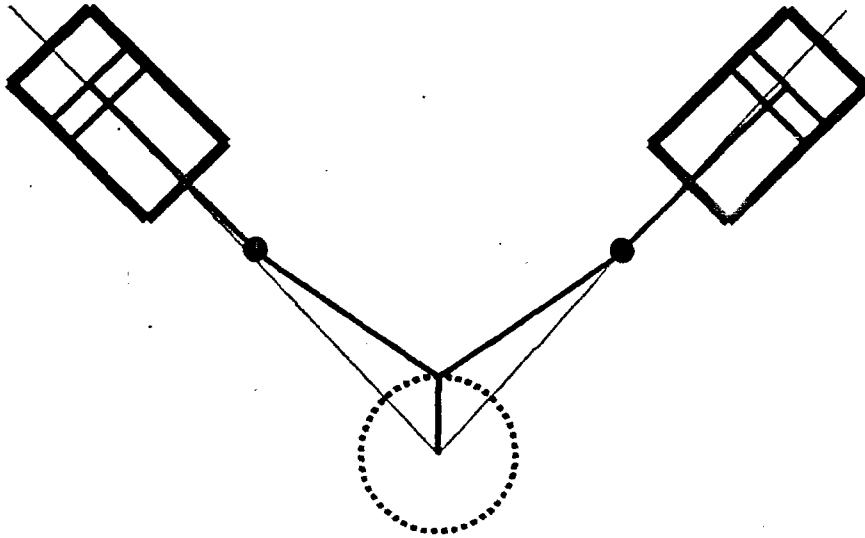
ภาพประกอบ 19 เครื่องจักรแนวราบ

2. เครื่องจักรแนวตั้ง เพลลาข้อเหวี่ยงอยู่บนหรือล่างกระบอกสูบในแนวตั้ง (ภาพประกอบ 20)



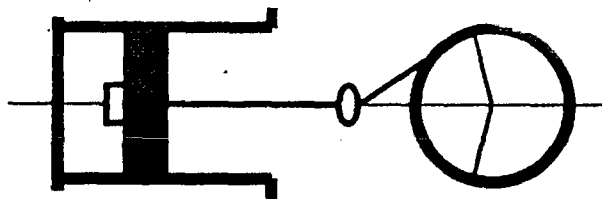
ภาพประกอบ 20 เครื่องจักรในแนวตั้ง

3. เครื่องจักรตัววี (V) ประกอบด้วยลูกสูบ 2 ชุด จัดวางเป็นรูปตัววี (V) โดยใช้เพลาค้อเหวี่ยงรวมกัน (ภาพประกอบ 21)



ภาพประกอบ 21 เครื่องจักรตัววี (V)

4. เครื่องจักรทำงานด้านเดียว หมายถึง เครื่องจักรที่ให้ไอน้ำดันลูกสูบ เฉพาะด้านหัวลูกสูบเท่านั้น (ภาพประกอบ 22)

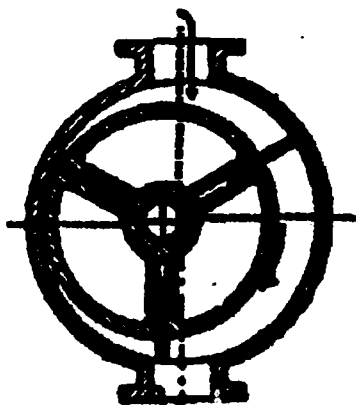


ภาพประกอบ 22 เครื่องจักรทำงานด้านเดียว

5. เครื่องจักรทำงานสองด้าน หมายถึง เครื่องจักรที่ให้ไอน้ำดันลูกสูบ ทั้งด้านหัวสูบและด้านก้านสูบ (ภาพประกอบ 19 - 21)

6. เครื่องจักรลูกสูบชัก หมายถึง เครื่องจักรที่มีลูกสูบเคลื่อนที่ไปมาเป็นเส้นตรงในระบบอกสูบ (ภาพประกอบ 19 - 22)

7. เครื่องจักรลูกสูบหมุน หมายถึง ลูกสูบของเครื่องจักรเคลื่อนที่แบบหมุนเป็นวงกลม หรือเส้นโค้งและเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกันตลอดเวลา (ภาพประกอบ 23)



ภาพประกอบ 23 เครื่องจักรลูกสูบหมุน (Rotary engine)

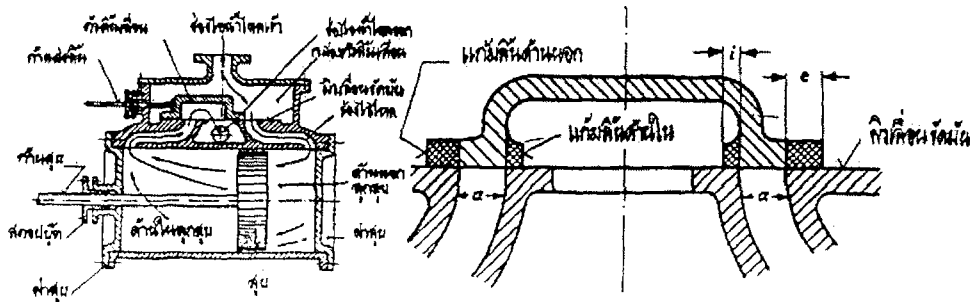
#### 5.2.2.2 การแบ่งตามสภาพการใช้งาน แบ่งได้ดังนี้

1. แบ่งตามการนำไอน้ำกลับไปใช้
  - 1) เครื่องจักรควบแน่น (Condensing steam engine) เป็นเครื่องจักรที่ให้ไอน้ำที่ใช้แล้วเข้าไปกลั่นตัวภายในเครื่องควบแน่น (condenser) ซึ่งมีความดันต่ำกว่าบรรยากาศ
  - 2) เครื่องจักรไม่ควบแน่น (Non – condensing steam engine) เครื่องจักรไอน้ำแบบนี้จะปล่อยไอน้ำทิ้งไปในบรรยากาศ จะไม่นำไอน้ำกลับมาใช้อีก
2. แบ่งตามจำนวนครั้งของการนำไอน้ำไปใช้
  - 1) เครื่องจักรไอน้ำทำงานครั้งเดียว หมายถึง เครื่องจักรที่ให้ไอน้ำเข้าตันลูกสูบเพียงครั้งเดียว แล้วปล่อยไปที่เครื่องควบแน่นหรือปล่อยทิ้งไป
  - 3) เครื่องจักรไอน้ำทำงานหลายครั้ง หมายถึง เครื่องจักรไอน้ำที่ใช้ไอน้ำจำนวนเดียวกันผ่านเข้าไปในกระบอกสูบหลายอัน
3. แบ่งตามทิศทางการไหลของไอน้ำ
  - 1) เครื่องจักรแบบไอน้ำไหลทางเดียว หมายถึง เครื่องจักรที่จัดเตรียมให้ทิศทางการไหลของไอน้ำ เกิดขึ้นในทิศทางเดียว
  - 2) เครื่องจักรแบบไอน้ำไหลสองทาง หมายถึง เครื่องจักรไอน้ำที่ออกแบบให้ใช้ทางเข้าและทางออกของไอน้ำร่วมกัน ซึ่งแล้วแต่จังหวะการทำงาน
4. เครื่องจักรแฝด หมายถึง เครื่องจักรที่มีกระบอกสูบที่มีขนาดเท่ากัน สองลูกวางเรียงกัน และเพลาช้อเหวี่ยง ทำมุมต่อกัน 90 องศา

#### 5.2.2.3 แบ่งตามลักษณะของลิ้นบังคับช่องไอน้ำ แบ่งได้ดังนี้ (บุญญศักดิ์ ใจจงกิจ, 2519 : 146 -155)

1. เครื่องจักรไอน้ำแบบลิ้นเลื่อน (Slide valve steam) เครื่องจักรไอน้ำแบบลิ้นเลื่อนนี้ ใช้ได้ดีกับไอน้ำความดันต่ำ ๆ ไม่เหมาะที่จะใช้กับไอน้ำความดันสูง เพราะมีแรงเสียดทานสูงและสึกหรอเร็ว ในกรณีความดันไอน้ำสูง ควรใช้เครื่องจักรไอน้ำแบบอื่น

ลักษณะการทำงานของเครื่องจักรไอน้ำชนิดนี้ เริ่มต้นที่จังหวะปล่อยให้ น้ำใหม่เข้าสู่ห้องสูบ จังหวะนี้ลูกสูบ จะอยู่ในตำแหน่งที่ปริมาตรห้องสูบเล็กที่สุด ไอน้ำที่ไหลเข้าไป จะดันลูกสูบให้แล่นขยายปริมาตรห้องสูบไปด้วยความดันไอน้ำคงที่ เมื่อแล่นไปสู่ระยะชัก คันบังคับลิ้นจะปิดลิ้นตันไม่ให้ไอน้ำไหลเข้าห้องสูบด้านเดิมอีกต่อไปและจะเปิดลิ้นไอน้ำอีกด้านหนึ่ง ให้ดันลูกสูบวิ่งกลับ ในขณะที่วิ่งกลับลูกสูบจะดันไอน้ำเก่าออกไปทางช่องที่ลิ้นเลื่อนเปิดให้ใหม่เป็นเช่นนี้กลับไปกลับมา เป็นวัฏจักร ลักษณะที่ไอน้ำผลัดกันแล่นเข้า - ออก ห้องลูกสูบทั้งสองข้างเช่นนี้ เรียกว่า เป็นกระแทกคู่ (Duplex)



(ก) เสื้อสูบ ลูกและลิ้นเลื่อน

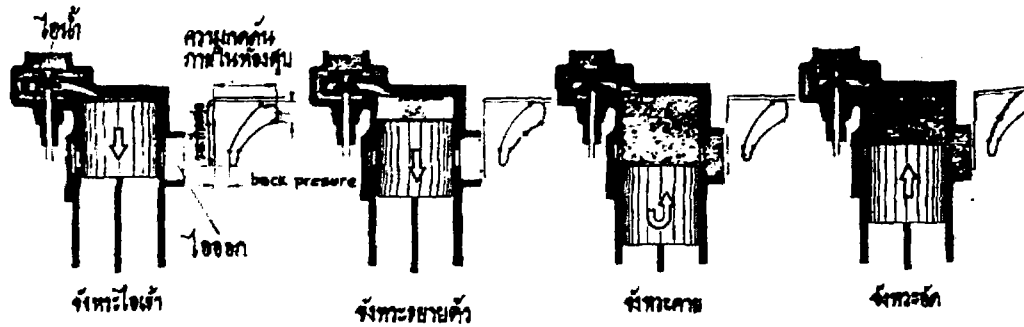
(ข) ภาพขยายตัวลิ้นเลื่อน

ภาพประกอบ 24 ส่วนประกอบของเครื่องจักรไอน้ำแบบลิ้นเลื่อน จากภาพประกอบ 24 กำหนดให้

- a เป็นความกว้างของช่องไอน้ำ
- e เป็นความกว้างของแก้มขอบนอกของลิ้นเลื่อน
- i เป็นความกว้างของแก้มขอบในของลิ้นเลื่อน

ระยะที่ลิ้นต้องแล่นไปทางซ้ายและขวาเท่ากัน คือ เท่ากับระยะ  $a + e$  ส่วนความกว้างของแก้มใน (i) มีไว้เพื่อช่วยคุ้มกันไม่ให้เปิดทางไหลออกจากห้องสูบเร็วเกินไป ก่อนที่ลูกสูบจะถูกดันให้แล่นไปสู่ระยะชักลิ้นจะปิดช่องไหลเข้าและไหลออกไว้หมด ทำให้ลูกสูบอัดไอน้ำที่เหลืออยู่ข้างเก่าให้แน่นมากขึ้น ที่ต้องกระทำเช่นนี้เพื่อให้ปริมาณไอน้ำที่ถูกอัดนั้นไปรองรับแรงกระแทกช่วยให้ลูกสูบช้าลงและยังช่วยไม่ให้มีแรงกระแทกอย่างหนักในขณะที่ลูกสูบแล่นถึงศูนย์ตาย นอกจากนี้ ยังช่วยให้ไอน้ำใหม่ที่กำลังจะไหลเข้าสู่ห้องสูบพบกับไอน้ำที่มีความดันและอุณหภูมิสูง จึงไม่ทำให้ไอน้ำต้องสูญเสียความร้อนไปมากจนทำให้กำลังลดลงไป

2. เครื่องจักรไอน้ำแบบลิ้นกลม (Poppet - valve) ลิ้นของเครื่องจักรไอน้ำชนิดนี้เหมือนกันกับลิ้นเครื่องยนต์ คือ มีลักษณะเป็นแผ่นกลมและมีก้านต่อตรงจุดศูนย์กลางตั้งฉากกับแผ่นคล้ายดอกเห็ด



ภาพประกอบ 25 ลักษณะการทำงานของเครื่องจักรไอน้ำแบบลิ้นกลม

การทำงานของเครื่องจักรไอน้ำแบบลิ้นกลม ในการควบคุมการปิด - เปิดลิ้นให้ถูกจังหวะจะต้องใช้เพลาราวลิ้น ซึ่งรับกำลังขับเคลื่อนจากเพลาช้อเหวียงของลูกสูบ การทำงานแบ่งเป็น 4 จังหวะ ดังนี้

จังหวะที่ 1 คือ จังหวะไอน้ำเข้า เป็นจังหวะที่ป้อนไอน้ำเข้าห้องสูบ ลิ้นจะเปิดก่อนที่ลูกสูบจะขึ้นถึงศูนย์ตายบนเพียงเล็กน้อยไอน้ำก็จะดันลูกสูบ ลงล่างด้วยความดันไอน้ำเต็มที่ กำลังของเครื่องจักรไอน้ำจะอยู่ที่จังหวะนี้ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการควบคุมการปิดเปิดลิ้นว่าจะคงที่และนานที่สุดได้เท่าใด

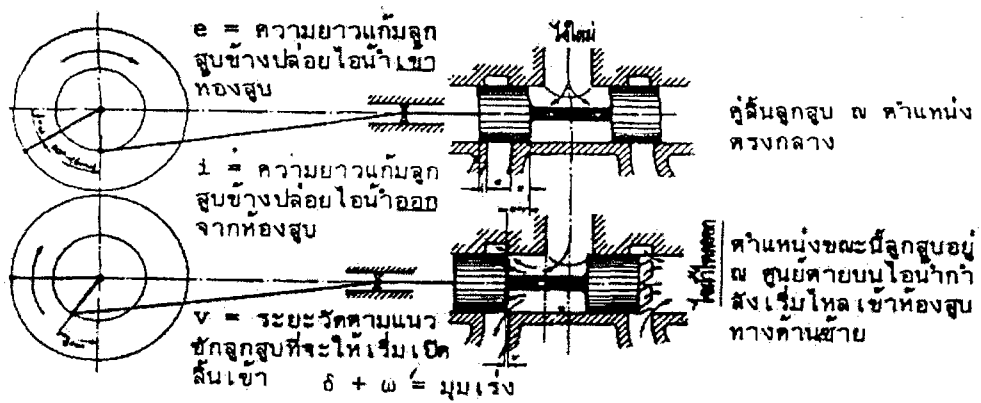
จังหวะที่ 2 คือ จังหวะขยายตัว หรือจังหวะกำลังลิ้นไอน้ำจะปิดสนิท ไอน้ำในห้องสูบจะขยายตัวลดความกดดันและดันลูกสูบลงล่าง

ทั้งจังหวะไอน้ำเข้าและจังหวะขยายตัวนี้ บางครั้งรวมกัน เรียกว่า จังหวะทำงาน

จังหวะที่ 3 คือ จังหวะคาย เป็นจังหวะที่ลูกสูบเริ่มจะแล่นขึ้นขับไอน้ำ ความดันต่ำออกจากห้องสูบทางช่องไอน้ำออกที่อยู่ข้างห้องสูบ

จังหวะที่ 4 คือ จังหวะอัด เป็นจังหวะที่ลูกสูบแล่นขึ้นเลยช่องไอน้ำออก แล้วอัดไอน้ำเก่าที่ขยายตัวและยังมีส่วนน้อยที่เหลืออยู่ในห้องสูบซึ่งเป็นไอน้ำที่อุณหภูมิทำให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้ไอน้ำใหม่ที่อุณหภูมิสูงไม่ลดลงมาก ขณะขยายตัวเข้าห้องสูบ นอกจากนั้น การมีความดันไอน้ำเก่าในห้องสูบจะช่วยลดแรงกระแทกของลูกสูบได้

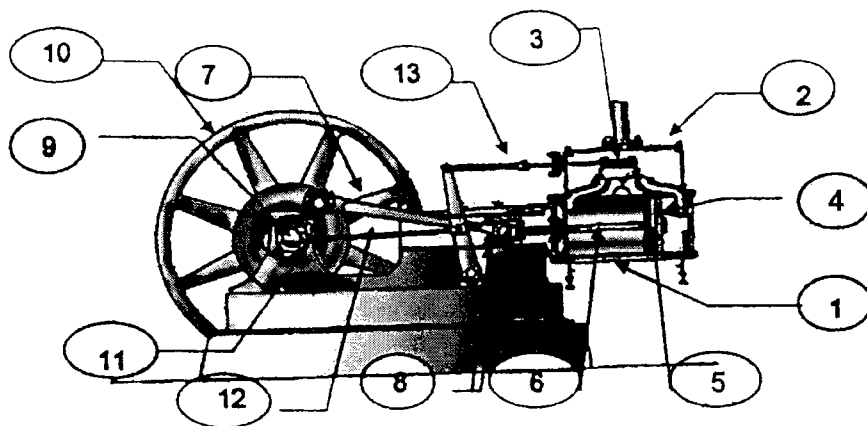
3. เครื่องจักรไอน้ำแบบลิ้นลูกสูบ (Piston - valve) ลักษณะของลิ้นลูกสูบ เป็นลิ้นทรงกระบอกคู่เชื่อมต่อกันด้วยแกนแข็งลักษณะคล้ายตีมเบลล์ แล่นชักไปมาเพื่อปิด - เปิดช่องไอน้ำในระบบกลิ้งซึ่งเชื่อมต่อกับช่องไอน้ำเข้าจากภายนอก ช่องไอน้ำเข้า - ออก ของกระบอกสูบและช่องไอน้ำออก โดยที่ช่องไอน้ำออกของลิ้นลูกสูบระบบนี้ จะมีสองช่องทาง ลิ้นลูกสูบนี้จะเคลื่อนที่ปิด - เปิด ช่องไอน้ำด้วยก้านขับลิ้น เช่นเดียวกับเครื่องจักรไอน้ำแบบลิ้นเลื่อน ลักษณะและจังหวะการทำงานก็เหมือนกัน



ภาพประกอบ 26 ลักษณะของลิ้นลูกสูบ (ก) ลิ้นลูกสูบ ณ ตำแหน่งตรงกลาง (ข) ลิ้นลูกสูบ ณ ตำแหน่งศูนย์ตายบนของลูกสูบ ไอน้ำกำลังเริ่มไหลเข้าห้องสูบด้านซ้าย

### 5.2.3 ส่วนประกอบของเครื่องจักรไอน้ำ

เครื่องจักรไอน้ำมีหลายประเภท แต่จะมีส่วนประกอบที่สำคัญคล้าย ๆ กันดังนี้ (ภาพประกอบ 27)



ภาพประกอบ 27 ส่วนประกอบของเครื่องจักรไอน้ำ

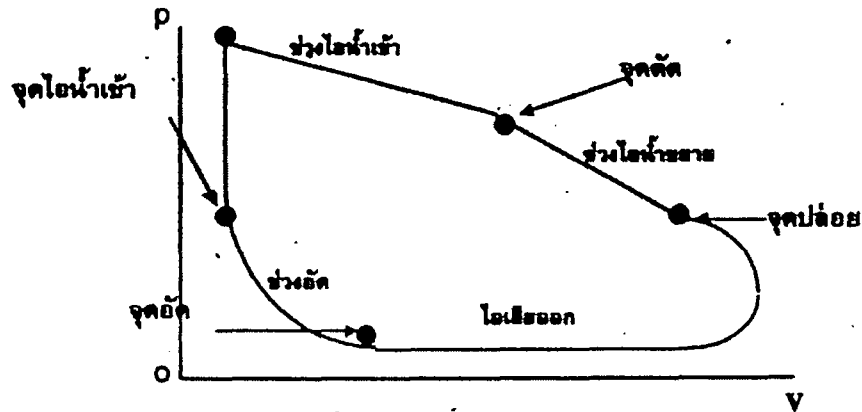
1. เรือนสูบ หรือ กระบอกสูบ (Cylinder) เป็นส่วนที่ลูกสูบเคลื่อนที่อยู่ใน โดยมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกกลม ผิวภายในขัดเรียบ เพื่อให้ลูกสูบเคลื่อนที่ได้คล่อง
2. ห้องลิ้น (Steam chest) เป็นห้องที่ลิ้นของเครื่องจักรเคลื่อนที่อยู๋ภายใน ห้องลิ้นมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกกลมหรือสี่เหลี่ยมติดอยู่ข้างเรือนสูบของเครื่องจักรแบบลิ้นเลื่อน และเจาะเป็นช่องสามช่อง ช่องกลางเป็นช่องไอเสีย อีกสองช่องที่เหลือเป็นช่องไอติและช่องไอติทั้งสองจะเชื่อมต่อกับกระบอกสูบ

3. ลิ้น (Valve) ลิ้นเครื่องจักรไอน้ำจะทำหน้าที่ ปิด - เปิด ไอน้ำ ให้ไหลเข้าและออกจากกระบอกสูบ
4. ลูกสูบ (Piston) ลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก ผิวรอบ ๆ เจาะเป็นร่องสำหรับใส่แหวน ตรงกลางเจาะรูยึดติดแน่นกับก้านสูบด้วยนอต มีหน้าที่รับกำลัง เนื่องจากการขยายตัวของไอน้ำ
5. แหวนลูกสูบ (Piston ring) ลักษณะเป็นวงแหวนโลหะ สวมอยู่ในร่องรอบลูกสูบ แหวนลูกสูบบมีหน้าที่ป้องกันไอน้ำ ไม่ให้เกิดการรั่วไหล
6. ก้านสูบ (piston rod) เป็นท่อนโลหะยาวทำด้วยเหล็กเหนียว ปลายหนึ่งยึดติดกับลูกสูบอีกปลายหนึ่งต่ออยู่กับข้อต่อ ทำหน้าที่ถ่ายทอดแรงและการเคลื่อนที่ของลูกสูบไปยังก้านต่อ
7. ก้านต่อ (Connecting rod) เป็นท่อนโลหะปลายหนึ่งเชื่อมโยงกับก้านสูบ ด้วยข้อต่อ อีกปลายหนึ่งต่ออยู่กับเพลาค้อเหวี่ยง ทำหน้าที่ถ่ายทอดแรงและการเคลื่อนที่ของลูกสูบไปยังเพลาค้อเหวี่ยง
8. ข้อต่อ (Crosshead) เป็นส่วนที่ต่อก้านสูบและก้านต่อเข้าด้วยกัน ข้อต่อจะวางอยู่ในกรอบนำทางข้อต่อ (Crosshead guide frame)
9. เพลาค้อเหวี่ยง (Crank shaft) เป็นเพลาลโลหะทำหน้าที่ถ่ายทอดแรงและการเคลื่อนที่ของลูกสูบ ซึ่งถ่ายทอดมาตามลำดับของการใช้งาน
10. ล้อช่วยแรง (Flywheel) เป็นล้อโลหะ มีน้ำหนักมาก ติดอยู่กับเพลาค้อเหวี่ยง ทำหน้าที่เก็บพลังงานในขณะที่ไอน้ำกำลังดันลูกสูบ และทำหน้าที่จ่ายพลังงานในช่วงเวลาที่ไล่ไอเสีย ซึ่งจะมีผลทำให้เพลาค้อเหวี่ยงหมุนด้วยความเร็วสม่ำเสมอ
11. วงเดือน (Eccentric) มีลักษณะเป็นลูกเบี้ยว หรือจานเยื้องศูนย์กลางติดกับเพลาค้อเหวี่ยง จะเกิดการหมุนเมื่อเพลาค้อเหวี่ยงหมุน หน้าที่ของวงเดือน คือ บังคับการปิด - เปิดของลิ้นได้ตามจังหวะที่ต้องการให้ไอน้ำเข้าหรือออกจากกระบอกสูบ
12. ขาวงเดือน (Eccentric rod) มีลักษณะคล้ายกันต่อของเครื่องจักร ปลายหนึ่งต่อกับวงเดือนอีกปลายหนึ่งต่อกับคั่นโยกก้านลิ้น (Rocker)
13. ก้านลิ้น (Valve rod) เป็นก้านที่ต่ออยู่กับล้อเลื่อน และคั่นโยกก้านลิ้น ทำหน้าที่รับการเคลื่อนที่จากวงเดือนเพื่อปิด - เปิด ลิ้นไอน้ำ

## 5.2.4 วิวัจักรการทำงาน of เครื่องจักรไอน้ำ

พิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาตรและความดันของไอน้ำในระบบอกสูบ

ตามภาพประกอบ 28



ภาพประกอบ 28 วิวัจักรการทำงาน of เครื่องจักรไอน้ำ

วิวัจักรการทำงาน of เครื่องจักรไอน้ำ เริ่มจากไอน้ำเข้าสู่ระบบอกสูบ เมื่อ ลิ้นเริ่มเปิดให้ไอน้ำเข้า (จุด Admission) ทำให้ไอน้ำมีความดันสูงขึ้น หลังจากนั้นลูกสูบจะถูกดันให้ เคลื่อนที่กลับปริมาตรระบบอกสูบเพิ่มขึ้นความดันลดลงเล็กน้อย จนกระทั่งถึงจุดตัด (Cut off) คือ ลิ้น จะปิดไม่ให้ไอน้ำเข้า ต่อจากนั้นไอน้ำจะขยายตัว (Expansion) ดันลูกสูบ จนถึงจุดปล่อย (Release) ลิ้นไอเสียเริ่มเปิด ปล่อยให้ไอเสียออกจากระบบอกสูบ ความดันลดลงจนกระทั่งมีค่าคงที่ค่าหนึ่ง ลูกสูบ เลื่อนไอเสียออก (Exhaust) ปริมาตรลดลง แล้วลิ้นไอเสียจะปิดลิ้นที่จุดอัด (Compression) ลูกสูบก็ จะเริ่มอัดในรอบใหม่ต่อไป

## 5.2.5 สมรรถนะของเครื่องจักรไอน้ำ

### 5.2.5.1 การหาค่ากำลังม้าที่เกิดขึ้นในระบบอกสูบ (Indicated horse power)

หาได้จาก (ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์.2522 : 366 )

$$Ihp = \frac{PLAN}{33,000} \quad \text{กำลังม้า}$$

- เมื่อ  $Ihp$  = กำลังม้าที่เกิดขึ้นในระบบอกสูบ (กำลังม้า)  
 $P$  = ความดันไอน้ำภายในระบบอกสูบ (ปอนด์ต่อ ตารางนิ้ว)  
 $L$  = ความยาวของระยะชักลูกสูบ (ฟุต)  
 $A$  = พื้นที่หน้าตัดด้านหัวลูกสูบ (ตารางนิ้ว)  
 $N$  = จำนวนรอบของการเคลื่อนที่ลูกสูบ (รอบต่อนาที)

### 5.2.5.2 การหาค่ากำลังม้าที่เพลลา

เมื่อทราบกำลังม้าที่ในกระบอกสูบ และความเสียดทานในส่วนต่าง ๆ แล้วจะได้

$$\begin{aligned} \text{กำลังม้าที่เพลลา (Bhp)} &= \text{กำลังม้าในกระบอกสูบ} - \text{ความเสียดทาน} \\ \text{Bhp} &= \text{Ihp} - \text{fhp} \\ \text{เมื่อ} \quad \text{fhp} &= \text{ความเสียดทาน} \end{aligned}$$

### 5.2.5.3 ประสิทธิภาพเครื่องกล

$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพเครื่องกล} &= \frac{\text{งานที่ได้ออกมา}}{\text{งานที่ให้เข้าไป}} = \frac{\text{Bhp}}{\text{Ihp}} \\ \therefore \eta &= \frac{\text{Bhp}}{\text{Ihp}} \end{aligned}$$

## 6. เครื่องสูบ

### 6.1 ลักษณะทั่วไปของเครื่องสูบ

เครื่องสูบ หรือ ปั๊ม (Pumps) เป็นเครื่องมือที่ใช้สูบของไหลจากจุดที่มีเฮดความกดตัน (Pressure head) ต่ำ ให้ส่งออกไปตามสายท่อด้วยความกดตันสูงกว่าเดิม (บุญญศักดิ์ โจจงกิจ. 2520 : 291)

โดยธรรมชาติของไหลทุกชนิด จะไหลจากจุดเฮดความดันสูงลงสู่จุดเฮดความดันต่ำเสมอ เช่น น้ำที่ตกจากที่สูงหรือจากหอดังสูง เป็นต้น แต่การที่จะทำให้สามารถไหลขึ้นถึงสูงจากข้างล่างได้ จำเป็นจะต้องใช้เครื่องสูบ “งานกล” (Mechanical work) ใส่เข้าไปในน้ำ ทำให้น้ำมีพลังงานมีความเร็วไหลขึ้นถึงสูงได้ เครื่องสูบจะต้องมีสองด้านเสมอ คือ ด้านดูด (Suction) และด้านปล่อย (Delivery) ด้านดูดจะดูดของไหลเข้าหาเครื่องสูบ เนื่องจากเครื่องสูบจะใส่ “งานกล” เข้าไปในของไหลนั้น โดยการหมุนของใบพัด หรือการอัดขับด้วยลูกสูบของเครื่องสูบ แล้วปล่อยให้ของไหลไหลออกไปทางด้านปล่อย เครื่องสูบจะทำงานเช่นนี้ต่อเนื่องกันไปตลอดเวลาที่ใช้งาน

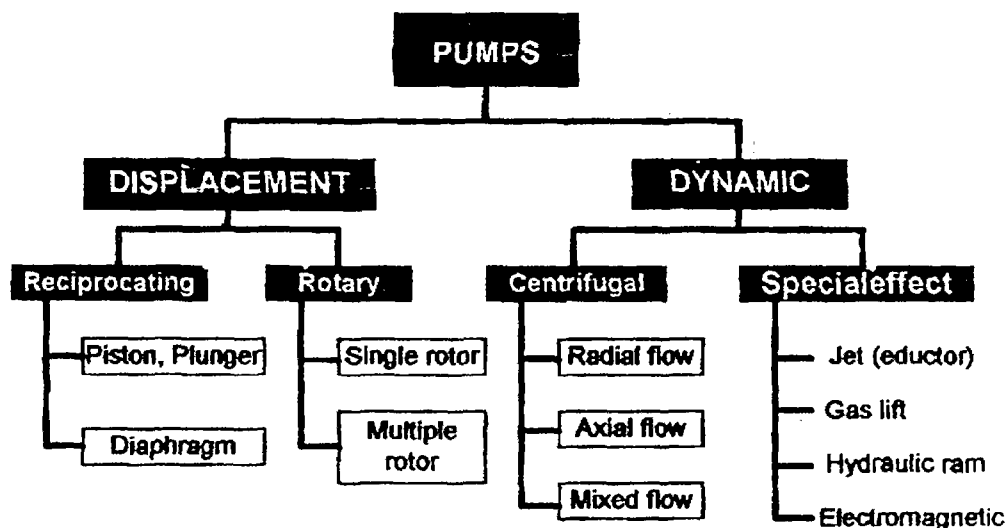
### 6.2 ประเภทของเครื่องสูบเชิงกล (Mechanical pump)

การจำแนกประเภทของเครื่องสูบตามหลักการทำงานของเครื่องสูบ แบ่งได้ 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ (Dickenson.1988 : 11)

6.2.1 เครื่องสูบอัด (Positive displacement pump)

6.2.2 เครื่องสูบพลวัต (Dynamic pump)

นอกจากนี้ ยังมีเครื่องสูบน้ำที่มีลักษณะพิเศษต่างกันไปอีกบ้าง เช่น เครื่องสูบน้ำเจต (Jet pump) เป็นต้น เมื่อพิจารณาอีกด้านหนึ่ง การทำงานของเครื่องสูบน้ำอัด ทำให้เกิดความดัน “อุทกสถิต” (Hydrostatic pressure) แต่เครื่องสูบน้ำหมุนศูนย์กลางจะทำให้เกิด “อุทกพลวัต” (Hydrodynamic) สูงขึ้น ดังนั้น การจำแนกประเภทของเครื่องสูบน้ำจึงอาจจะแยกเป็น เครื่องสูบน้ำอัด (Displacement pump) และ เครื่องสูบน้ำพลวัต (Dynamic pump) ดังแผนผังการจำแนกประเภทของเครื่องสูบน้ำ (ภาพประกอบ 29)



ภาพประกอบ 29 แผนผังจำแนกประเภทเครื่องสูบน้ำ

### 6.2.1 เครื่องสูบน้ำอัด (Positive displacement pumps)

เป็นเครื่องสูบน้ำที่ดันให้ของเหลวไหลออกทางท่อปล่อย วิธีดันของเหลวในลักษณะนี้จะมีปริมาณและการเคลื่อนที่ที่แน่นอน (Positive displacement) เสมอ กล่าวคือ ของเหลวจะไหลเข้าสู่เครื่องสูบน้ำในจังหวะที่เกิดความดันต่ำภายในเครื่องสูบน้ำ และจะไหลออกจากเครื่องสูบน้ำในจังหวะที่ลูกสูบหรือตัวหมุน (Rotor) อัดของเหลวให้เกิดความดันสูง โดยจะต้องดันของเหลวออกไปเท่ากับปริมาตรชักทุกครั้งไป เครื่องสูบน้ำอัดนี้ไม่จำเป็นต้องมีลักษณะเป็นลูกสูบเท่านั้น แต่ต้องมีลักษณะการทำงานเหมือนกัน นั่นคือ เครื่องสูบน้ำจะต้องดันของเหลวออกไปเท่ากับปริมาตรชักของเครื่องสูบน้ำ จึงถือว่าเป็น “เครื่องสูบน้ำอัด” สำหรับเครื่องสูบน้ำอัดแบบลูกสูบ ปริมาตรชักของเครื่องสูบน้ำมีค่าเท่ากับพื้นที่หน้าตัดของห้องสูบคูณด้วยระยะชักของลูกสูบ (บุญญศักดิ์ ใจจงกิจ. 2520 : 300)

เครื่องสูบน้ำอัดมี 2 ประเภท ใหญ่ ๆ คือ เครื่องสูบน้ำอัดกระแทกกลับ (Reciprocating pumps) และเครื่องสูบน้ำอัดแบบหมุนทางเดียว (Rotary pumps)

### 6.2.1.1 เครื่องสูบน้ำอัดกระแทกกลับ

เครื่องสูบน้ำอัดกระแทกกลับ คือ เครื่องสูบน้ำที่มีส่วนประกอบสำคัญที่ทำให้เกิดการดูดและการอัดเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมา เครื่องสูบน้ำแบบนี้เหมาะสำหรับสูบของเหลวปริมาณไม่มากแต่ต้องการความดันสูง และของเหลวที่ใช้กับเครื่องสูบน้ำแบบนี้จะต้องสะอาด ปราศจากของแข็งแขวนลอยอยู่ในของเหลว ถ้าดูตามลักษณะทำงานของเครื่องสูบน้ำแบบนี้ จะเห็นว่า ของเหลวที่ถูกดูดและถูกอัดออกจากเครื่องสูบน้ำจะไม่สม่ำเสมอ (Unsteady) แต่จะไหลเป็นจังหวะ (Pulsating) (นิรนาท.2537 : 161-162) เครื่องสูบน้ำอัดกระแทกกลับ ยังแบ่งได้ดังนี้

1. เครื่องสูบน้ำแบบขับตรง (Direct – acting pumps) เป็นเครื่องสูบน้ำแบบมีลูกสูบที่ใช้ไอน้ำ อากาศ หรือน้ำมันไฮดรอลิกเป็นตัวขับทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ แต่โดยปกติมักเป็นเครื่องสูบน้ำที่ขับด้วยไอน้ำ ลูกสูบจะแบ่งเป็นด้านไอน้ำและด้านของเหลว ต่อถึงกันด้วยก้านลูกสูบ บางครั้งจึงเรียกว่า เครื่องสูบน้ำ (Steam pumps)

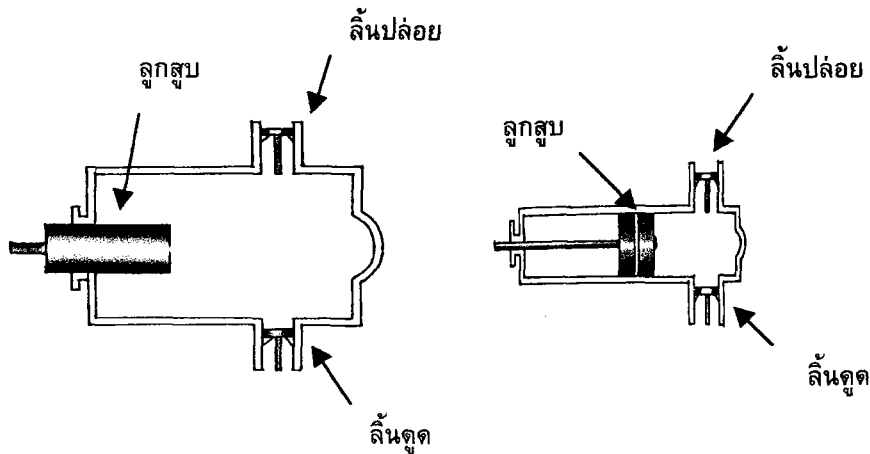
ส่วนประกอบของเครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบที่สำคัญ ได้แก่

- (1) ฐานเครื่องและกรอบโครงตัวเครื่องสูบน้ำ
- (2) กระบอกสูบพร้อมลูกสูบ
- (3) ตัวเลื่อนกำหนดระยะชักลูกสูบ หรือลูกสูบตีฟเฟอเรนเชียลพร้อมสตอปบูทลูกสูบ
- (4) กอล่งลิ้น ลิ้นดูด และลิ้นอัดปล่อย ที่ทั้งสองข้างของลูกสูบ ถ้าเป็นเครื่องสูบน้ำกระแทกคู่ (Duplex) จะต้องมีกอล่งลิ้นอย่างละ 2 ชุด

เครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบนี้ สามารถสูบส่งได้ระยะสูงมาก ความกดตันข้างปล่อยสามารถทำได้สูงถึง 1,000 บาร์เกจ หรือมากกว่าจะได้ปริมาณของเหลวที่สูบน้อย ความเร็วรอบในการทำงานประมาณ 100 – 300 รอบต่อนาที ประสิทธิภาพเชิงกล ( $\eta$ ) อยู่ในเกณฑ์สูงประมาณ 0.7 – 0.95 ถ้าต้องการความเร็วแล่นสูบให้เร็วขึ้น ก็สามารถทำได้โดยการลดระยะชักลูกสูบให้สั้นลง

วัสดุที่ใช้สร้างเครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบ โดยทั่วไปวัสดุที่ใช้สร้างฐานเครื่องสูบน้ำ กระบอกสูบ กอล่งลิ้น ชุดหัวก้านสูบ และลำแล่น ชุดหัวก้านสูบปกติจะสร้างด้วยเหล็กหล่อ เกรนละเอียด บูทลูกสูบ ลูกสูบและลิ้น มักทำด้วยบรอนซ์ชนิดที่ทนน้ำทะเลได้ สลักลูกสูบ ทำด้วยเหล็กไร้สนิม ก้านลูกสูบ ทำด้วยเหล็กเหนียวหล่อ เพลาข้อมือ ทำด้วยเหล็กเหนียวธรรมดาหรือเหล็กประสม

เครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบ จำแนกได้ตามลักษณะการสร้าง 2 ลักษณะ คือ “ลูกสูบจุ่ม” (Plunger pumps) และ “ลูกสูบแผ่น” (Piston pumps) เครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบจุ่มจะมีลูกสูบเป็นทรงกระบอกยาว และจุ่มลงไปใต้น้ำโดยตรง (ดังภาพประกอบ 30 ก) ส่วนเครื่องสูบน้ำแบบแผ่นจะมีลูกสูบสั้นกว่าตัวลูกสูบอาจมีกรอบโครง และมีแผ่นยาง หนึ่ง ไฟเบอร์ หรือวัสดุอื่น ๆ ปิดกันโครงนั้น (ดังภาพประกอบ 30 ข)

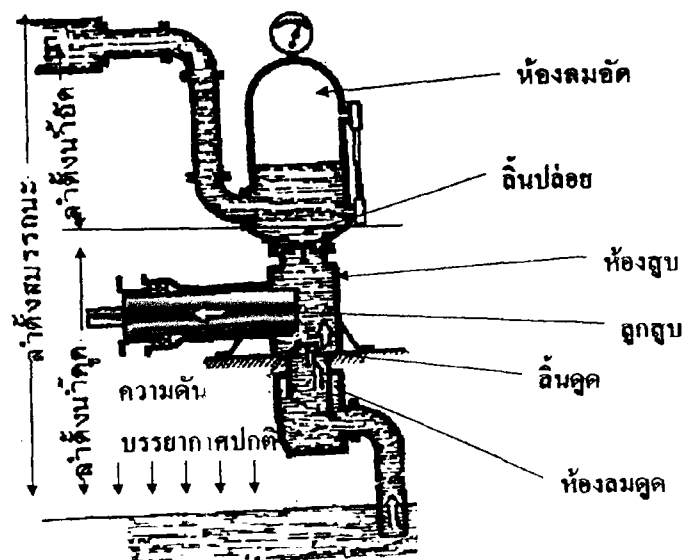


ภาพประกอบ 30 เครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบ (ก) แบบลูกสูบจุ่ม และ (ข) แบบลูกสูบแผ่น

นอกจากนั้น เครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบยังสามารถแบ่งโดยใช้เกณฑ์ทิศทางการเคลื่อนที่ของลูกสูบ มี 2 ลักษณะ ได้แก่ เครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบนอน (Horizontal) เป็นเครื่องสูบน้ำที่ลูกสูบเคลื่อนที่ในแนวระดับ และเครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบยืน (Vertical) เป็นเครื่องสูบน้ำที่ลูกสูบเคลื่อนที่ในแนวตั้ง

การจำแนกประเภทของเครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบที่สำคัญอีกแบบหนึ่งก็คือ การใช้จังหวะการทำงานของเครื่องสูบน้ำเป็นเกณฑ์ ได้แก่ เครื่องสูบน้ำกระแทกเดี่ยว (Simplex pumps) และเครื่องสูบน้ำกระแทกคู่ (Duplex pumps) (บุญญศักดิ์ ใจจงกิจ.2520 : 304)

1) เครื่องสูบน้ำกระแทกเดี่ยว คือ เครื่องสูบน้ำที่สามารถอัดปล่อย (Discharge) ได้หนึ่งครั้งในการเคลื่อนที่ของลูกสูบหนึ่งรอบ



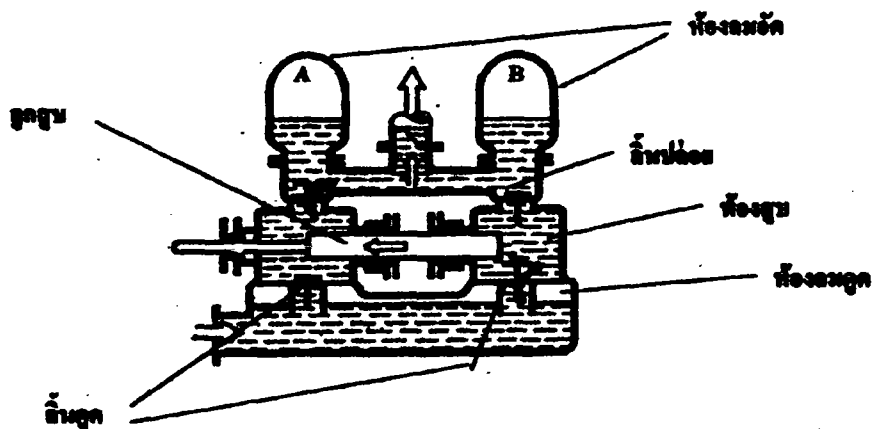
ภาพประกอบ 31 เครื่องสูบน้ำกระแทกเดี่ยว

จากภาพประกอบ 31 เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ไปทางซ้ายจะทำให้ห้องสูบลมมีปริมาตรมากขึ้น ความดันลดลง ทำให้ลิ้นดูดเปิดออก น้ำจะไหลเข้าห้องสูบและลิ้นปล่อยปิด จังหวะนี้ เรียกว่า จังหวะดูด เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ไปทางขวา ทำให้ปริมาตรในห้องสูบไม่เปลี่ยนแปลง ความดันเพิ่มขึ้นดันให้ลิ้นดูดเปิด เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ไปทางขวา จะทำให้ห้องสูบลมมีปริมาตรลดลง ความดันสูงขึ้น ดันให้ลิ้นปล่อยเปิดออก อัดน้ำให้ไหลผ่านลิ้นปล่อยไปสู่ห้องลมอัด อัดลมให้มีความดันสูงขึ้นทำให้น้ำไหลไปตามท่อปล่อยน้ำ จังหวะนี้เรียกว่า จังหวะอัด จะเห็นได้ว่าลิ้นดูดและลิ้นปล่อย ของเครื่องสูบลมประเภทเดี่ยวนี้จะเปิดและปิดสลับกัน ตามจังหวะดูดและอัดของเครื่องสูบลมตามลำดับ หรือการเคลื่อนที่หนึ่งรอบจะปล่อยน้ำออกมาได้หนึ่งครั้ง

ห้องลม (Air chamber) มีบทบาทสำคัญในการช่วยลดแรงอัดกระแทกในท่อปล่อยลงได้มากเพราะทันทีที่ลูกสูบแล่นไปสุดจังหวะ ลำตัวของน้ำในท่อปล่อยจะหยุด จนกว่าจะเริ่มจังหวะอัดต่อไป ขณะหยุดและตั้งอยู่ยกที่ ลำตัวของน้ำในท่อปล่อยจะมีความกดดันลงล่าง ปรากฏว่าเป็นแรงกระแทกเข้าไปในห้องลม ลมอัดในห้องลมจะสามารถรับแรงกระแทกนี้ได้ ทำให้ลิ้นปล่อยของเครื่องสูบลมไม่ต้องรับแรงกระแทก

ห้องลมดูดทางด้านดูดก็มีหน้าที่คล้ายกัน คือ ช่วยรับแรงกระแทกในขณะที่ลูกสูบแล่นไปสุดจังหวะดูด และน้ำหยุดไหลเข้าห้องสูบ เพราะการที่น้ำหยุดไหลกระทันหันจะทำให้เกิดแรงกระแทกทันทีในห้องดูดก็จะสามารถช่วยลดแรงกระแทกได้ ทำให้การไหลของน้ำไม่ชะงัก

2) เครื่องสูบลมประเภทคู่ คือ เครื่องสูบลมที่สามารถปล่อยได้สองครั้งในการเคลื่อนที่ของลูกสูบ หนึ่งรอบ (ภาพประกอบ 32)



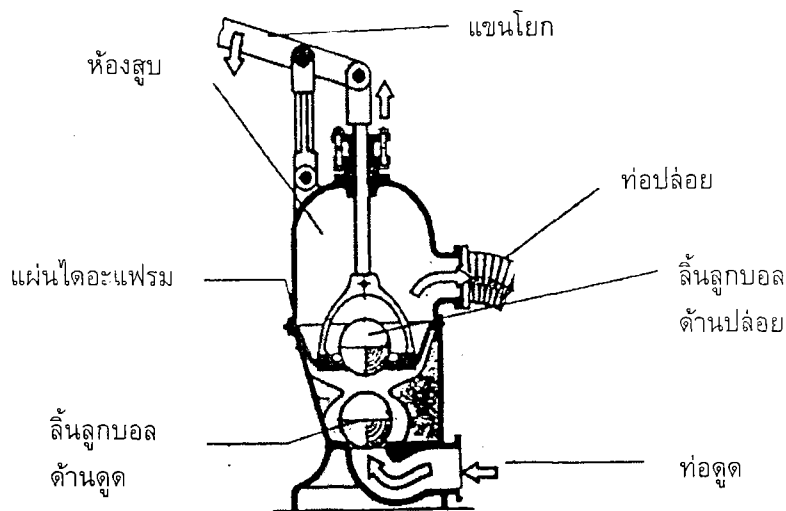
ภาพประกอบ 32 เครื่องสูบลมประเภทคู่

การทำงานจังหวะที่ 1 เมื่อลูกสูบเคลื่อนไปทางซ้าย ลิ้นปล่อยด้าน A จะเปิด ลิ้นดูดปิดทำให้น้ำไหลเข้าสู่ห้องลมอัด และไหลออกทางท่อปล่อย ในขณะที่เดียวกันลิ้นดูดด้าน B จะเปิด ลิ้นปล่อยปิดทำให้น้ำไหลเข้าสู่ห้องสูบ

การทำงานจังหวะที่ 2 ลูกสูบเคลื่อนไปทางขวา ลิ้นปล่อยด้าน A จะเปิด ลิ้นดูดจะเปิด ทำให้น้ำไหลเข้าห้องสูบ ในขณะที่เดียวกัน ลิ้นดูดด้าน B จะปิด ลิ้นปล่อยเปิด ทำให้น้ำไหลเข้าสู่ห้องลมอัดและไหลออกจากท่อปล่อย

จะเห็นได้ว่าการทำงานทั้งสองจังหวะของลูกสูบทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบ และมีการอัดปล่อยสองครั้งทั้งจังหวะที่ 1 และจังหวะที่ 2

2. เครื่องสูบบแบบไดอะแฟรม (Diaphragm pumps) เป็นเครื่องสูบที่ใช้แผ่นไดอะแฟรมทำงานแทนลูกสูบ โดยแผ่นนี้จะมีคุณสมบัติ (Flexible) ใต้ดี โคนขยับขึ้นลงได้ด้วยแขนดึง หรือแขนโยก (ภาพประกอบ 33)



ภาพประกอบ 33 เครื่องสูบบแบบแผ่นไดอะแฟรม

การทำงานของเครื่องสูบบแบบไดอะแฟรม จังหวะที่ 1 เมื่อแขนโยกเคลื่อนที่ขึ้น ลิ้นด้านปล่อยจะปิด ดันให้น้ำออกจากปล่อย ขณะเดียวกันลิ้นด้านดูดก็จะเปิดทำให้น้ำไหลเข้าห้องสูบด้านล่างของแผ่นไดอะแฟรม ฉะนั้น ในจังหวะนี้เครื่องสูบจะทำหน้าที่ทั้งดูดและปล่อยพร้อมกัน จังหวะที่ 2 แขนโยกเคลื่อนที่ลง ลิ้นด้านปล่อยจะเปิดออก ลิ้นด้านดูดจะเปิด ทำให้น้ำไหลผ่านลิ้นด้านปล่อยจากห้องสูบด้านล่างไปสู่ห้องสูบด้านบนบนแผ่นไดอะแฟรม ต่อเนื่องกันไป

เครื่องสูบบชนิดนี้ เหมาะที่จะใช้กับของเหลวที่มีของแข็งแขวนลอยในของเหลว เพราะถ้าใช้กับเครื่องสูบบแบบลูกสูบ อาจจะทำให้กระบอกสูบสึกกร่อนได้

วัสดุที่ใช้ในการทำแผ่นไดอะแฟรม มักทำด้วยวัสดุที่ไม่ใช่โลหะ เช่น แผ่นยาง ยางเทียม พลาสติกอ่อน หนัง เป็นต้น

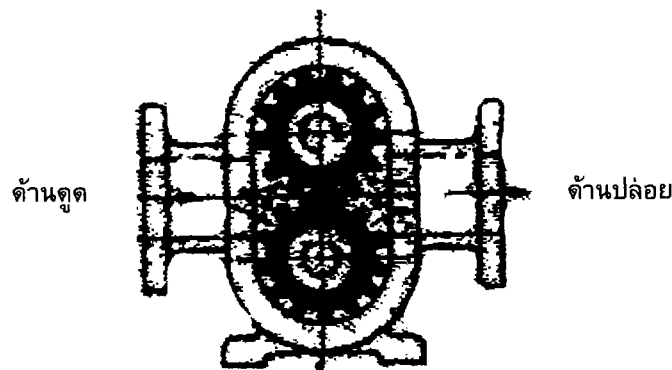
### 6.2.1.2 เครื่องสูบน้ำแบบหมุนทางเดียว (Rotary pumps)

เครื่องสูบน้ำแบบหมุนทางเดียว หรือเครื่องสูบน้ำโรตารี เป็นเครื่องสูบน้ำที่มีหลักการทำงานเช่นเดียวกับเครื่องสูบน้ำอัตรกระทกกลับ คือ ทำให้เกิดช่องว่าง (Cavities) ให้ของเหลวไหลเข้าสู่เครื่องสูบน้ำแล้วถูกอัดต่อไปยังด้านปล่อย เครื่องสูบน้ำแบบนี้ ต่างจากเครื่องสูบน้ำอัตรกระทกกลับตรงที่ลักษณะการอัด เครื่องสูบน้ำกระทกกลับจะอัดเป็นจังหวะ ๆ ทำให้ของเหลวไหลไม่สม่ำเสมอ แต่เครื่องสูบน้ำแบบหมุนทางเดียว ของเหลวจะไหลอย่างสม่ำเสมอ (นิรนาท.2537 : 166 - 171)

เครื่องสูบน้ำโรตารีจะมีเสื้อสูบ (Casing) อยู่กับที่ ภายในเสื้อสูบอาจจะมีเฟือง (Gear) ลูกเบี้ยว (Cam) ใบพัด (Vane) สกรู (Screw) หรืออื่น ๆ หมุนอยู่ โดยมีช่องว่างน้อยมาก ดังนั้นของเหลวที่จับกับเครื่องสูบน้ำโรตารีจึงต้องเป็นของเหลวที่สะอาด ไม่มีของแข็งแขวนลอย เครื่องสูบน้ำโรตารีแบ่งตามลักษณะของตัวหมุน (Rotor) ได้ดังนี้

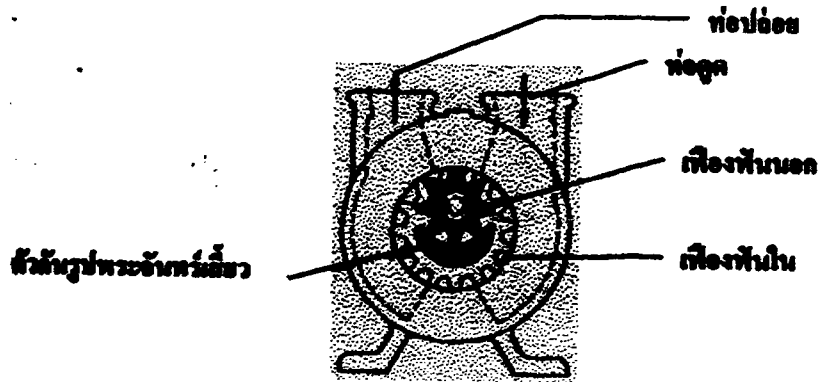
1. เครื่องสูบน้ำแบบเฟือง (Gear pumps) เป็นเครื่องสูบน้ำที่ประกอบด้วยเฟืองหรือเกียร์ ตั้งแต่สองตัวขึ้นไป หมุนขบกันแน่นอยู่ในห้องเสื้อสูบ ของเหลวด้านดูดจะถูกหมุนไปตามผิวเสื้อสูบในช่องระหว่างผิวฟันเฟืองกับผนังเสื้อสูบ จนกระทั่งถึงจุดในด้านปล่อย ชุดฟันเฟืองจะขบกันแน่นสนิท จึงทำให้ของเหลวไม่สามารถผ่านตรงกลางระหว่างฟันของเฟืองได้ ความดันด้านดูดและด้านปล่อยจะต่างกัน ไม่สามารถรั่วถึงกันได้ ปริมาณของเหลวที่สูบได้จะขึ้นอยู่กับขนาดและความลึกของช่องฟันเฟือง เฟืองที่ใช้ อาจจะเป็นเฟืองฟันตรง (Spur gear) หรือเฟืองฟันเฉียง (Helical gear) เครื่องสูบน้ำแบบเกียร์ ยังแบ่งเป็นแบบย่อย 2 แบบ ได้แก่

1) แบบเฟืองฟันนอก (External gears) เป็นแบบที่มีเฟืองฟันนอกสองตัวขบกัน (ภาพประกอบ 34) ฟันเฟืองด้านดูด ก จะพาของเหลวในช่องฟันเฟืองหมุนไปรอบ ๆ ผนังเสื้อสูบ จนถึงปล่อย ข ของเหลวจะถูกอัดทำให้ความดันสูงขึ้นและไหลออกทางด้านปล่อย



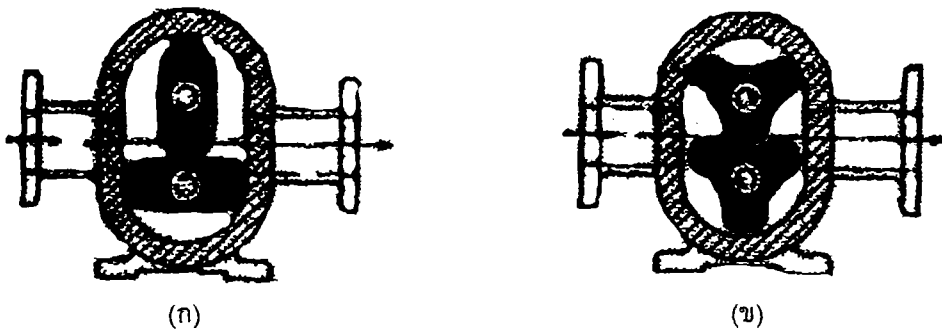
ภาพประกอบ 34 เครื่องสูบน้ำโรตารีแบบเฟืองฟันนอก

2) แบบเฟืองฟันใน (Internal gears) มีหลักการการทำงานเหมือนกับเครื่องสูบน้ำแบบเฟืองนอกทุกประการ เฟืองฟันนอกจะเป็นตัวขับ และเฟืองฟันในจะเป็นตัวตาม ส่วนที่มีลักษณะคล้ายพระจันทร์เสี้ยว นั้น นอกจากจะเป็นตัวทำให้เฟืองทั้งสองขบกันตลอดเวลาแล้ว ยังเป็นตัวกั้นไม่ให้ของเหลวไหลย้อนกลับจากด้านปล่อยไปยังด้านดูด (ภาพประกอบ 35)



ภาพประกอบ 35 เครื่องสูบล้อตารีแบบเฟืองฟันใน

2. เครื่องสูบบแบบโลบ (Lobular pumps) เป็นเครื่องสูบบแบบเฟืองที่มีฟันสองสามฟันนั่นเอง และต้องแปลงรูปร่างลักษณะให้เหมาะสมกับตัวหมุน อาจมีจำนวนพู (Lobe) เป็นสอง สาม สี่ หรือมากกว่าก็ได้ ตัวหมุน ต้องมีตัวขับซึ่งจะเป็นเฟืองอีกชุดหนึ่ง ทำให้พูของโรเตอร์มีจังหวะขบในแต่ละรอบของการหมุนของตัวหมุน ของเหลวจะถูกอัดจำนวนน้อยครั้งกว่าเครื่องสูบบแบบเฟือง แต่ในแต่ละครั้งจะมีปริมาตรมากกว่า (ภาพประกอบ 36)

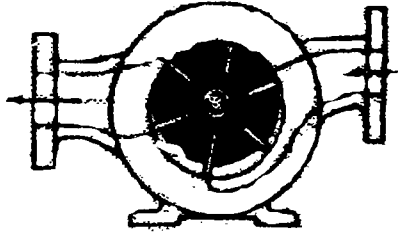


ภาพประกอบ 36 เครื่องสูบบแบบโลบ (ก) แบบสองพู และ (ข) แบบสามพู

3. เครื่องสูบบแบบใบพัด (Vane pumps) เป็นเครื่องสูบบที่ใช้ใบพัดในการอัดของเหลวจากด้านดูดไปยังด้านปล่อย โดยตัวหมุนและเสื้อสูบมีลักษณะเป็นทรงกระบอก ประกอบด้วยเยื้องศูนย์กลางกัน มีอยู่หลายแบบ ได้แก่

1) แบบใบพัดเคลื่อนเข้า - ออก (Sliding vane pumps) ตัวหมุนจะเจาะเป็นร่องมีแผ่นโลหะสอดอยู่ในร่อง แผ่นโลหะเลื่อนเข้าออกในร่องได้ การหมุนของตัวหมุนจะเหวี่ยงให้แผ่นโลหะหรือใบพัดนี้เลื่อนออกไปสัมผัสกับเสื้อสูบตลอดเวลา (ภาพประกอบ 37)

โดยปกติอัตราเร็วของการหมุนที่สามารถเหวี่ยงให้ใบพัดสัมผัสกับเสื้อสูบได้ตลอดเวลา นั้น จะต้องมี อัตราเร็วของการหมุนมากกว่า 600 รอบต่อนาที

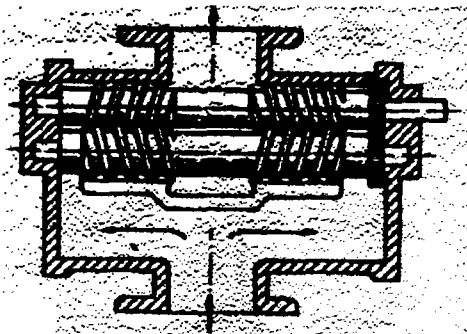


ภาพประกอบ 37 เครื่องสูบแบบใบพัดเคลื่อนเข้า - ออก

2) แบบใบพัดเหวี่ยง (Swing vane pumps) เครื่องสูบแบบนี้ จะติดตั้งใบพัดไว้กับแกนหมุนให้ใบพัดสามารถเหวี่ยงได้อิสระโดยอาศัยการหนีศูนย์กลาง ใบพัดจะถูกเหวี่ยงไปให้สัมผัสกับเสื้อสูบตลอดเวลา

3) แบบใบพัดยืดหยุ่น (Flexible vane pumps) ตัวหมุนและใบพัดของเครื่องสูบชนิดนี้ทำด้วยวัสดุยืดหยุ่น ได้แก่ ยาง ติดตั้งให้เยื้องศูนย์กลางกับเสื้อสูบ การทำงานของเครื่องสูบชนิดนี้จะอาศัยแรงหนีศูนย์กลางบ้าง แต่ส่วนใหญ่จะอาศัยแรงยืดหยุ่นของยางในการอัดของเหลว มีข้อดีก็คือสามารถสูบของเหลวที่มีของแข็งแขวนลอยได้ดี

4. เครื่องสูบแบบสกรู (Screw pumps) เครื่องสูบชนิดนี้ ใช้สกรูเป็นตัวอัดของเหลว การหมุนของตัวสกรูจะพาของเหลวไหลไปตามแนวแกนของสกรูจนถึงทางออก สกรู อาจจะเป็นสกรูเดี่ยว สองสกรู หรือสามสกรูก็ได้ (ภาพประกอบ 38)



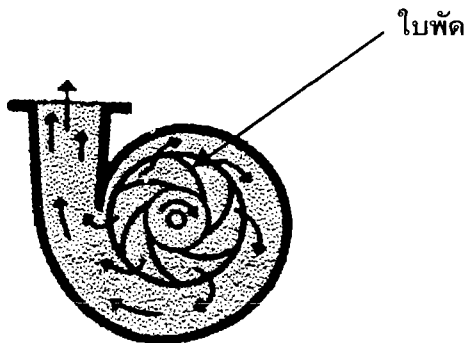
ภาพประกอบ 38 เครื่องสูบแบบสกรู

## 6.2.2 เครื่องสูบลววัต (Dynamic pumps)

เครื่องสูบลววัต เป็นเครื่องสูบลวที่ทำงานโดยการเร่งความเร็วของของเหลวหรือเพิ่มโมเมนตัมของของเหลว ที่เข้าเครื่องสูบลวให้สูงขึ้น โดยใบพัดของเครื่องสูบลวและหลังจากนั้นความเร็วที่เพิ่มขึ้นนี้ ก็จะเปลี่ยนไปในรูปของความดัน ทำให้ของเหลวไหลผ่านเครื่องสูบลวไปได้ จึงเรียกเครื่องสูบลวที่มีหลักการทำงานเช่นนี้ว่า “เครื่องสูบลววัต” (นිරนาท.2537 : 172,บุญญศักดิ์ โจจงกิจ.2520 : 326) แบบที่ใช้กันมากและรู้จักกันทั่วไป คือ เครื่องสูบลวหนีศูนย์กลาง (Centrifugal pumps) หรือที่เรียกว่า “เครื่องสูบลวหอยโข่ง” เครื่องสูบลววัตสามารถแบ่งตามลักษณะการไหลของของเหลวได้ 3 แบบ คือ (นිරนาท.2537 : 172)

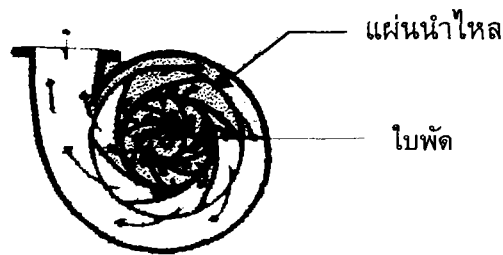
**6.2.2.1 การไหลตามแนวรัศมี (Radial flow) หรือแบบหนีศูนย์กลาง** ของเหลวจะไหลเข้าสู่เครื่องสูบลวที่จุดศูนย์กลางของใบพัด และถูกเร่งให้มีความเร็วสูงขึ้น หลังจากนั้นจะถูกใบพัดเหวี่ยงออกจากศูนย์กลางในแนวรัศมีและเคลื่อนที่ไปสู่ทางออกของเครื่องสูบลว ซึ่งเป็นการเปลี่ยนรูปของพลังงานจลน์บางส่วนไปเป็นความดัน เครื่องสูบลวชนิดนี้ยังสามารถแบ่งตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงของพลังงานได้ดังนี้

1. แบบก้นหอย (Valute - type) เครื่องสูบลวแบบนี้ใบพัด (Impeller) จะเหวี่ยงของเหลวไปยังเสื่อสูบลว ซึ่งมีลักษณะแบบหอยโข่ง เนื่องจากทางที่ของเหลวไหลภายในเสื่อสูบลวขยายใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ ความเร็วของของเหลวที่ถูกเหวี่ยงออกมาจะลดลง ในขณะที่เดียวกันความดันก็จะเพิ่มขึ้น คือ พลังงานจลน์ของของเหลวเปลี่ยนไปเป็นพลังงานศักย์นั่นเอง (ภาพประกอบ 39)



ภาพประกอบ 39 เครื่องสูบลวหนีศูนย์กลางแบบหอยโข่ง

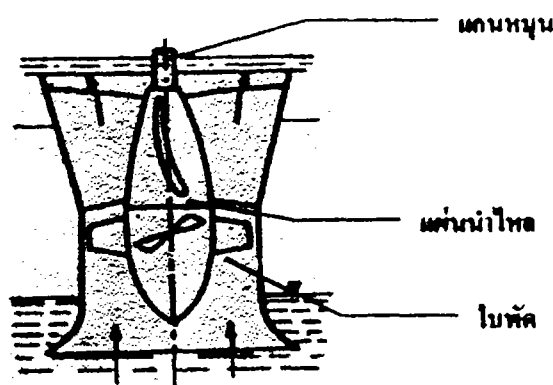
2. แบบท่อกระจายไหล (Diffuser - type) ลักษณะทั่วไปเหมือนแบบก้นหอยแต่มีแผ่นโลหะที่เรียกว่า “แผ่นนำไหล” (Guide vane) ติดอยู่รอบเสื่อสูบลว แผ่นนำไหลจะทำหน้าที่เป็นตัวกระจาย (Diffuser) คือ เปลี่ยนพลังงานการไหลไปเป็นความดันนอกจากนี้ ยังเป็นตัวควบคุมทิศทางการไหลด้วย (ภาพประกอบ 40)



ภาพประกอบ 40 เครื่องสูบน้ำชนิดศูนย์กลางแบบท่อกระจายไหล

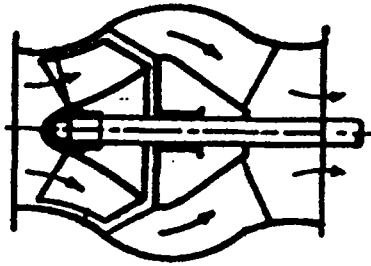
3. แบบกังหัน (Turbine - type) ประกอบด้วยกังหันที่มีใบพัดเล็ก ๆ ติดอยู่รอบ ๆ ใบพัดเหล่านี้จะหมุนไปรอบ ๆ ภายในช่องวงแหวน เมื่อของเหลวไหลเข้าสู่เครื่องสูบน้ำทางด้านเข้าที่ศูนย์กลางของเครื่องสูบน้ำ ของเหลวจะถูกใบพัดเหวี่ยงโดยแรงหนีศูนย์กลางออกไปยังช่องวงแหวนที่อยู่รอบนอก ช่องวงแหวนนี้จะถูกออกแบบให้ค่อยเปลี่ยนพลังงานจลน์ เป็นความดันด้วย

6.2.2.2 การไหลตามแนวแกนหมุน (Axial flow) เครื่องสูบน้ำแบบนี้ จะมีใบพัดแบบสกรู (Propeller) คล้ายใบจักรเรือ ซึ่งจะขับของเหลวให้แล่นในแนวแกนหมุนเพียงทางเดียว เมื่อของเหลวไหลผ่านใบพัดออกมา ก็จะกระทบกับแผ่นน้ำไหลต่อออกไป (ภาพประกอบ 41)



ภาพประกอบ 41 เครื่องสูบน้ำที่มีการไหลตามแนวแกน

6.2.2.3 การไหลแบบผสม (Mixed flow) เป็นการรวมเอาแบบการไหลตามแนวรัศมี และการไหลตามแนวแกนหมุนเข้าด้วยกัน กล่าวคือ ของเหลวจะต้องไหลผ่านช่องไหลในล้อใบพัดทั้งในแนวรัศมีและแนวขนานกับแกนหมุน ล้อใบพัดมีตัวใบหลายตัว ขอบช่องไหลเข้าและไหลออกจากล้อใบพัด เอียงเป็นมุมกับแนวแกนหมุน เมื่อของเหลวไหลพ้นออกมาจากใบพัด จะมีแผ่นน้ำไหลติดตั้งอยู่กับตัวถังเครื่องสูบน้ำน้ำไหลได้อย่างสม่ำเสมอ (ภาพประกอบ 42)



ภาพประกอบ 43 เครื่องสูบน้ำที่มีการไหลแบบผสม

### 6.3 การเลือกใช้และการคำนวณเกี่ยวกับเครื่องสูบน้ำ

#### 6.3.1 การเลือกใช้เครื่องสูบน้ำ ในการเลือกเครื่องสูบน้ำมาใช้ให้เหมาะสมกับงาน

จะต้องพิจารณาองค์ประกอบหลาย ๆ อย่าง ได้แก่ (นิรนาท.2537 : 189)

1. ชนิดของเครื่องสูบน้ำ
2. ขนาด ใต้แก่ เฮด และ อัตราการไหล
3. วัสดุหรือสารที่จะสูบน้ำ
4. อัตราพิกัดด้านความดันและอุณหภูมิ
5. ลักษณะการติดตั้ง
6. ลักษณะเฉพาะอื่น ๆ

สิ่งสำคัญที่จะต้องพิจารณาในอันดับแรก ๆ ก็คือ ชนิดและขนาดของเครื่องสูบน้ำ ที่ต้องการ ขนาดของเครื่องสูบน้ำนั้นเราจะพิจารณาในแง่ของ "อัตราการไหล" และ "เฮด"

อัตราการไหลของของเหลว ก็คือ ปริมาณของเหลวที่ไหลออกจากเครื่องสูบน้ำต่อเวลา หน่วยที่นิยมใช้กัน ใต้แก่ แกลลอนต่อนาที (Gallon per minute : gpm) และลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (Cubic meter per hour : m<sup>3</sup>/h)

เฮด (Head) หมายถึง พลังงานในรูปของความสูงของของเหลว ซึ่งเกี่ยวข้องกับ โดยตรงกับ "ความดัน" ของของเหลว ทั้งเฮดและความดัน สามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ เฮดมี หน่วยเป็นความสูงของของเหลว

ความดัน (Pressure) หมายถึง แรงต่อหน่วยพื้นที่ที่กระทำ ความดันที่ใช้เกี่ยวกับ เครื่องสูบน้ำมีหลายประเภท ดังนี้

ความดันศูนย์สัมบูรณ์ (Absolute zero pressure) หมายถึง ความดันศูนย์ ที่สุญญากาศ

ความดันสัมบูรณ์ (Absolute pressure) หมายถึง ความดันที่วัดได้จากการใช้ ตำแหน่ง "ความดันศูนย์สัมบูรณ์" เป็นตำแหน่งอ้างอิง

ความดันบรรยากาศ (Atmospheric pressure) หมายถึง แรงกดดันที่เกิดจากบรรยากาศที่อยู่รอบตัวเรากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

ความดันเกจ (Gauge pressure) หมายถึง ความดันที่วัดได้โดยการใช้ตำแหน่งความดันบรรยากาศเป็นตำแหน่งอ้างอิง

**6.3.2 ความสัมพันธ์ของเฮดกับความดัน** ดังได้กล่าวมาแล้วว่า เฮดเป็นพลังงานในรูปของความสูงของของเหลวจึงมักจะมีหน่วยเป็นฟุตของเหลว เมตรของเหลวหรืออื่น ๆ และมีการเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กันกับความดันด้วย

กำหนดให้  $h$  เป็น เฮด  $p$  เป็นความดัน และ  $\rho$  เป็นความหนาแน่นของของเหลว จะได้

$$h = \frac{p}{\rho}$$

ถ้าให้  $h$  มีหน่วยเป็น ฟุต  $p$  มีหน่วยเป็น ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และ  $\rho$  มีหน่วยเป็นปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต จะได้

$$h = \frac{144p}{\rho}$$

#### 6.4 เฮดแบบต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับเครื่องสูบลม

**6.4.1 เฮดความดัน** คือ เฮดซึ่งเกิดจากความดันภายในระบบ ในที่นี้ เฮดความดัน จะหมายถึง ความดันที่กระทำอยู่เหนือผิวของเหลว ซึ่งสามารถแปลงเป็นเฮด โดยใช้สูตรที่กล่าวมาแล้ว

**6.4.2 เฮดสแตติก** คือ เฮดซึ่งเกิดจากความสูงของลำของเหลวในท่อที่กระทำต่อเครื่องสูบลม แบ่งเป็น

**6.4.2.1 เฮดสแตติกด้านเข้า** มีค่าเท่ากับความสูงจากแนวศูนย์กลางเครื่องสูบลมไปยังผิวหน้าของของเหลวทางด้านเข้าของเครื่องสูบลม อาจมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้

1. ถ้าผิวหน้าของของเหลวสูงกว่าแนวศูนย์กลางของเครื่องสูบลม จะมีค่าเป็นบวก
  2. ถ้าผิวหน้าของของเหลวต่ำกว่าแนวศูนย์กลางของเครื่องสูบลม จะมีค่าเป็นลบ
- สำหรับค่าเฮดที่เป็นลบนี้เรามักใช้คำว่า "ลิฟท์" แทน เช่น สแตติกลิฟท์ 5 ฟุต เป็นต้น

**6.4.2.2 เฮดสแตติกด้านออก** มีค่าเท่ากับความสูงจากแนวศูนย์กลางของเครื่องสูบลมไปยังผิวหน้าของของเหลวด้านออกของเครื่องสูบลม

**6.4.2.3 เฮดสแตติกรวม** คือ ผลบวกของเฮดสแตติกด้านเข้าและด้านออก

**6.4.3 เฮดความเร็ว** คือ เฮด ที่เกิดจากการไหลของของเหลว ซึ่งการเคลื่อนที่ของของเหลวนี้ ทำให้ของเหลวมีพลังงานจลน์ เฮดความเร็ว ( $h_v$ ) คำนวณได้จาก

$$h_v = \frac{v^2}{2g}$$

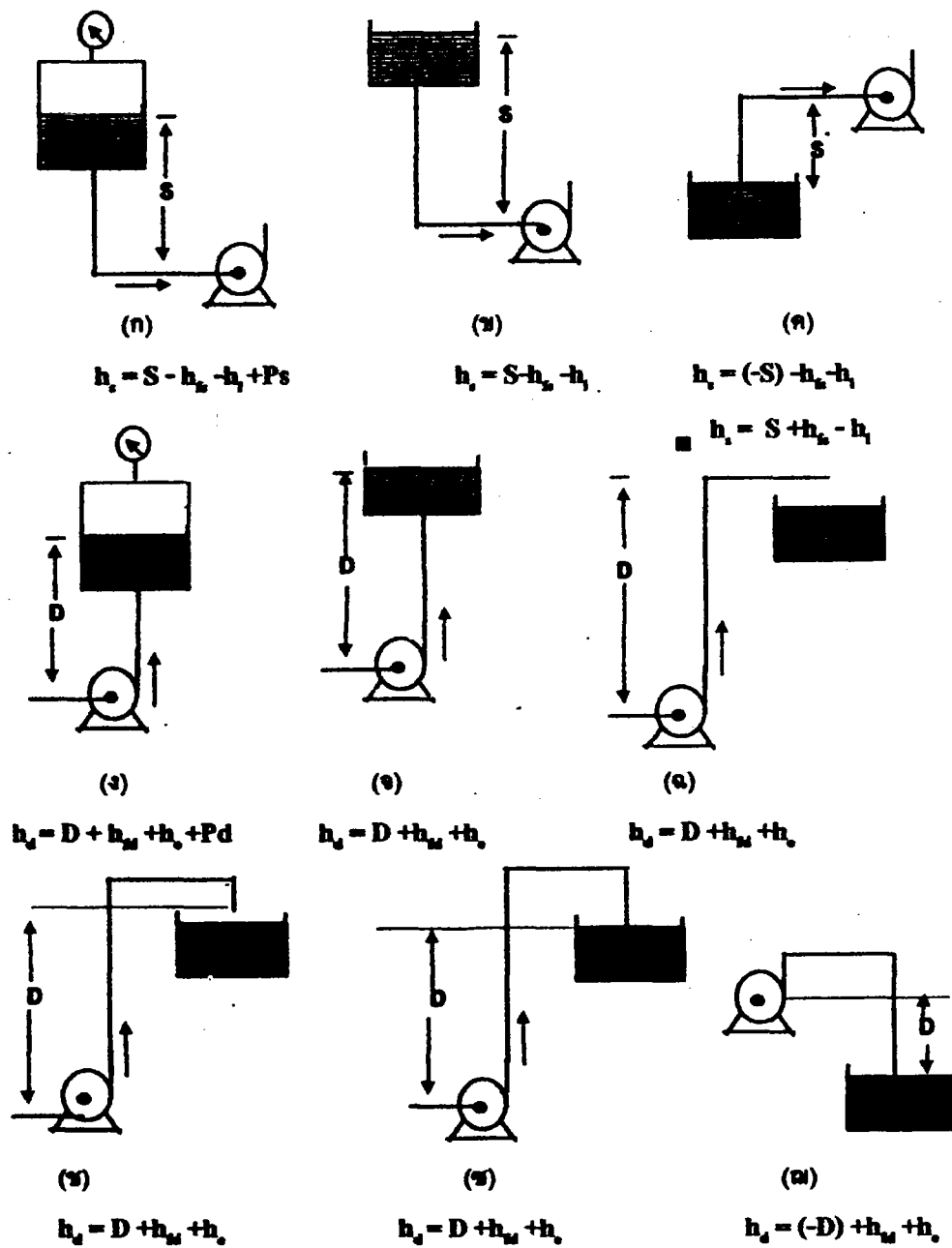
$v$  คือ ความเร็ว มีหน่วยเป็น ฟุตต่อวินาที หรือ เมตรต่อวินาที

$g$  คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง มีหน่วยเป็น ฟุตต่อวินาทีต่อวินาที ( $\text{ft s}^{-2}$ ) หรือ เมตรต่อวินาทีต่อวินาที ( $\text{ms}^{-2}$ )

**6.4.4 เฮดสูญเสีย** คือ เฮดที่เกิดจากการสูญเสียของพลังงาน เมื่อของเหลวไหลไปในท่อได้แก่

**6.4.4.1 เฮดเสียดทาน** เป็นเฮดที่เกิดจากแรงเสียดทานระหว่างของเหลวกับผิวท่อ ซึ่งแรงเสียดทานนี้จะต่อต้านการไหลของของเหลว

**6.4.4.2 เฮดสูญเสียอื่น ๆ** เช่น เฮดสูญเสียจากการเปลี่ยนทิศทางการไหล การเพิ่มหรือลดความเร็วทันทีทันใด ความยาวของท่อ ความหนืดของของเหลว เป็นต้น



ภาพประกอบ 43 เซตแบบต่าง ๆ โดยที่ (ก) (ข) (ค) เป็นด้านดูด (Suction) หรือด้านเข้าและ (ง) (จ) (ฉ) (ช) (ซ) (ฎ) เป็นด้านปล่อย (Charge) หรือด้านออก

จากภาพประกอบ 43 แสดงการหาเฮดรวมด้านดูดและด้านปล่อยโดยกำหนดให้

- |                           |                             |
|---------------------------|-----------------------------|
| $h_s$ = เฮดรวมด้านดูด     | $h_d$ = เฮดรวมด้านปล่อย     |
| $S$ = เฮดสถิตักด้านดูด    | $D$ = เฮดสถิตักด้านปล่อย    |
| $P_s$ = ความดันเกจด้านดูด | $P_d$ = ความดันเกจด้านปล่อย |

$h_{fs}$  = เฮดเสียดทานด้านดูด

$h_{fd}$  = เฮดเสียดทานด้านปล่อย

$h_j$  = เฮดสูญเสียด้านดูด

$h_e$  = เฮดสูญเสียด้านปล่อย

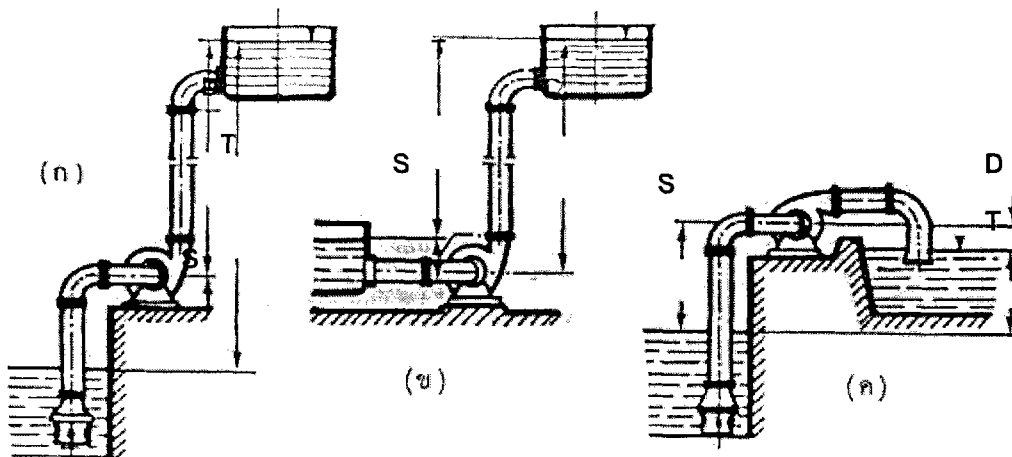
### 6.5 ระบบเครื่องสูบ

ระบบเครื่องสูบ (Pumping system) อาจจำแนกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ (บุญญศักดิ์ ใจจงกิจ. 2520 : 294-295)

6.5.1 ระบบ ดูด-ส่ง (Suction and delivery system) เป็นระบบที่ระดับของเหลวด้านดูดอยู่ต่ำกว่าระดับกึ่งกลาง เครื่องสูบ และระดับของเหลวด้านปล่อยอยู่สูงกว่าระดับกึ่งกลางเครื่องสูบ ดังภาพประกอบ 44 (ก) จะได้  $T = S + D$  เมื่อ  $T$  คือ เฮดสแตติกรวม

6.5.2 ระบบสูบส่ง (Delivery system) เป็นระบบที่ระดับของเหลวด้านดูดและด้านปล่อยอยู่สูงกว่าระดับกึ่งกลางเครื่องสูบ ดังภาพประกอบ 44 (ข) จะได้  $T = D - S$

6.5.3 ระบบไซฟอน (Suction or siphon system) เป็นระบบที่ระดับของเหลวด้านดูดและด้านปล่อยอยู่ต่ำกว่าระดับกึ่งกลางเครื่องสูบ ดังภาพประกอบ 44 (ค) จะได้  $T = S - D$



ภาพประกอบ 44 ระบบเครื่องสูบ (ก) ระบบดูด-ส่ง (ข) ระบบสูบส่ง (ค) ระบบไซฟอน

### 6.6 การคำนวณเกี่ยวกับเฮดของเครื่องสูบ

ในการนำเครื่องสูบมาใช้งาน หรือสร้างเครื่องสูบน้ำ จะต้องคำนวณหาค่าเฮดที่น้อยที่สุดที่เครื่องสูบสามารถทำงานได้ เราจะแบ่งการพิจารณา เฮดแต่ละด้านดังนี้

เฮดรวมด้านดูด = เฮดความดันด้านดูด + เฮดสแตติกด้านดูด + เฮดความเร็วด้านดูด  
+ เฮดสูญเสียด้านดูด

เฮดรวมด้านปล่อย = เฮดความดันด้านปล่อย + เฮดสแตติกด้านปล่อย  
+ เฮดความเร็วด้านปล่อย + เฮดสูญเสียด้านปล่อย

จะได้

$$\text{เฮดของเครื่องสูบลที่ต้องการ} = \text{เฮดรวมต้านปล่อย} - \text{เฮดรวมต้านดูด}$$

### 6.6.1 เนทโพซิทีฟซักชันเฮด

เนทโพซิทีฟซักชันเฮด (Net positive suction head : NPSH) คือ ปริมาณของพลังงานในตัวของเหลวที่แนวศูนย์กลางเครื่องสูบล แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

**6.6.1.1 NPSH ที่มีในระบบ (Available NPSH)** เป็นคุณสมบัติของระบบ ที่บ่งถึงปริมาณพลังงานที่สูงกว่าพลังงานจากความดันไอของของเหลว การที่ถือเอาความดันไอของของเหลวเป็นบรรทัดฐาน ก็เพราะไม่ต้องการให้การดูดของเครื่องสูบล้านดูด ทำให้เกิดความดันต่ำกว่าความดันไอของของเหลว ซึ่งจะทำให้ของเหลวนั้นกลายเป็นไอ และเกิดเป็นฟองของไอของเหลวปนกับของเหลว ฟองอากาศเหล่านี้จะแตกเมื่อมีความดันเพิ่มขึ้น ซึ่งเราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “คาวิเทชัน” (Cavitation)

**6.6.1.2 NPSH ที่ต้องการ (Desired NPSH)** เป็นคุณสมบัติของเครื่องสูบล หมายถึงพลังงานที่ต้องการในการเอาชนะความเสียดทานทางด้านดูด และทำให้ของเหลวไหลเข้าสู่เครื่องสูบล ในอัตราเร็วที่เพียงพอ ค่า เนทโพซิทีฟซักชันเฮดที่ต้องการขึ้นอยู่กับลักษณะการออกแบบเครื่องสูบล และอัตราการไหลของของเหลวด้วย

จากที่กล่าวมาแล้วพอสรุปได้ว่า ค่าเนทโพซิทีฟซักชันเฮดที่มีในระบบ จะต้องสูงกว่าค่าเนทโพซิทีฟซักชันเฮดที่ต้องการ

### 6.6.2 สมรรถนะของเครื่องสูบล

เครื่องสูบลจะมีสมรรถนะในการทำงานมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ ดังนี้ (กนก เดชวาสน์. 2537 : 202-205)

**6.6.2.1 กำลัง (Power)** กำลังที่เครื่องสูบลให้ออกมาหาได้จาก ผลคูณของอัตราการไหลของของเหลวที่ไหลออกจากเครื่องสูบล คูณกับความดันต้านปล่อยของเครื่องสูบล โดยปกติกำลังที่ให้กับเครื่องสูบล เพื่อให้เครื่องสูบลทำงานนั้นจะต้องสูงกว่า กำลังของเครื่องสูบลที่ให้ออกมา เนื่องจากการสูญเสียกำลังบางส่วนให้กับความเสียดทานและอื่น ๆ กำลังที่จะให้กับเครื่องสูบลขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพรวมของเครื่องสูบล

**6.6.2.2 ประสิทธิภาพ (Overall efficiency)** หมายถึง อัตราส่วนระหว่างงานที่ได้ออกมาต่องานที่ให้เข้าไปทั้งหมด ประสิทธิภาพรวมของเครื่องสูบลจะขึ้นอยู่กับค่าต่าง ๆ เช่น แรงเสียดทาน การรั่วซึม การไหลกลับ เป็นต้น อย่างไรก็ตามเครื่องสูบลชนิดเดียวกัน มักจะมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน

**6.6.2.3 ประสิทธิภาพทางปริมาตร (Volumetric efficiency)** หมายถึง ประสิทธิภาพในเชิงปริมาณของของเหลวที่ไหลออกจากเครื่องสูบล ประสิทธิภาพทางปริมาตรนี้ ขึ้นอยู่กับรูปร่างภายในเครื่องสูบล ความดันด้านดูดและด้านปล่อย ความหนืดของของเหลว ความเร็วรอบของการทำงาน เป็นต้น

**6.6.2.4 ความหนืด (Viscosity)** ความหนืดของของเหลวมีผลต่อทั้งประสิทธิภาพทางปริมาตร ประสิทธิภาพรวม แรงเสียดทาน และการเกิดคาวิเทชัน ถ้าของเหลวมีความหนืดสูงจะทำให้การรั่วซึมและการไหลกลับเกิดขึ้นน้อยผลก็คือ ประสิทธิภาพทางปริมาตรจะเพิ่มขึ้น แต่แรงเสียดทานก็จะ

สูงด้วย ในทำนองกลับกันถ้าของเหลวมีความหนืดต่ำ แรงเสียดทานก็จะต่ำลง ในขณะที่การรั่วซึมและการไหลกลับจะมีมากขึ้น

**6.6.2.5 ความดันด้านดูด** ถ้าความดันด้านดูดรวมต่ำกว่า ความดันไอของของเหลวแล้ว ของเหลวที่ถูกดูดเข้าไปในเครื่องสูบจะมีลักษณะเป็นฟองปนเข้าไปกับของเหลว และฟองเหล่านี้จะแตก เมื่อความดันเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดปัญหาการสันตะเหือนและการสึกกร่อนของเครื่องสูบ

## 7. วิธีสอนแบบทดลอง

### 7.1 ความหมายของการทดลอง

การทดลองเป็นหัวใจของวิทยาศาสตร์ ในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ก็เช่นเดียวกัน วิธีสอนแบบทดลองก็จะเป็นหัวใจของการสอนวิทยาศาสตร์ การทดลองมีทั้งการทดลองในห้องปฏิบัติการ และการทดลองภาคสนาม

สแตฟฟอร์ด และคณะ (สว๊คม์ นิยมคำ. 2531 : 246 ; อ้างอิงมาจาก Stafford et al. 1977 : 5,7) ได้ให้ความหมายของการทดลองไว้ว่า การทดลองเป็นการสร้างเหตุการณ์ หรือสถานการณ์จำลองขึ้นอย่างหนึ่ง เพื่อจะได้สังเกตผลที่เกิดขึ้นภายใต้การควบคุมเงื่อนไขต่าง ๆ ไว้แล้ว และเพื่อว่าจะสามารถทดสอบซ้ำได้ นักวิทยาศาสตร์ทำการทดลองเพื่อจะสำรวจ หรือเพื่อดูว่าจะมีอะไรเกิดขึ้นบ้างภายใต้สถานการณ์อย่างนี้ ทำการทดลองเพื่อจะทดสอบสมมติฐาน รูปแบบ หรือโมเดลที่คิดไว้ การทดลองจะทำให้ได้ข้อมูล และข้อมูลนี้คือ จุดประสงค์ของการทดลอง

คอลเล็ตต์ และชีเยพเพตา (Collette and Chiappetta. 1994 : 197) ได้ให้ความเห็นว่าการทดลองหรืองานในห้องปฏิบัติการ (Laboratory work) เป็นรูปแบบการสอนเฉพาะที่เป็นการบูรณาการส่วนต่าง ๆ ของการสอนวิทยาศาสตร์ รูปแบบกิจกรรมนี้ทำให้ผู้เรียนได้เกี่ยวข้องกับประสบการณ์ตรง ซึ่งให้เขาได้สัมผัสกับวิทยาศาสตร์ ทั้งในทางความคิดและการค้นพบ งานในห้องปฏิบัติการยังเป็นการทำให้หมโนคติและหลักการทางวิทยาศาสตร์ปรากฏเป็นรูปธรรมได้ แม้ว่าการทดลองในห้องปฏิบัติการมีศักยภาพที่ทำให้เกิดการเรียนรู้ที่หลากหลายอย่างมีคุณค่าก็ตาม แต่การทดลองก็ยังต้องการครูวิทยาศาสตร์ที่มีความเชี่ยวชาญในการออกแบบการทดลองที่มีคุณค่าเพียงประสงค์

สว๊คม์ นิยมคำ (2531 : 585) กล่าวว่า การทดลองเป็นการสำรวจค้นหา สิ่งที่เราไม่รู้มาก่อน ด้วยการใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์ที่สุด การสำรวจค้นหานั้นอาจจะเป็นการสำรวจค้นหามโนคติของสิ่งต่าง ๆ หลักการ กฎ ทฤษฎี หรือโมเดลวิทยาศาสตร์ วิธีการค้นหานั้นอาจจะมีการตั้งสมมติฐานหรืออาจจะไม่มีสมมติฐานก็ได้ การค้นหานั้นอาจจะมีการทดลองแบบแบ่งกลุ่ม ควบคุมเปรียบเทียบหรือไม่ก็ได้ แต่การทดลองทุกประเภทจะประกอบด้วยกิจกรรม 2 ขั้นตอน คือ กิจกรรมภาคออกแบบการทดลอง กับกิจกรรมขั้นปฏิบัติทดลอง

ภพ เลหาไพบูลย์ (2534 : 138) ได้ให้นิยามของการทดลองไว้ว่า หมายถึงกระบวนการปฏิบัติการเพื่อหาคำตอบหรือทดสอบสมมติฐานที่ตั้งไว้ ในการทดลองจะประกอบด้วยกิจกรรม 3 ขั้นตอน คือ การออกแบบการทดลอง การปฏิบัติการทดลองและการบันทึกผลการทดลอง

ดังนั้น จากความเห็นและความหมายของการทดลอง พอสรุปได้ว่าการทดลองเป็นกระบวนการในการค้นคว้า หาความรู้ ตรวจสอบข้อเท็จจริง ในทางวิทยาศาสตร์ ที่ต้องอาศัยทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และเป็นวิธีการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ที่จำเป็น โดยประกอบด้วยกิจกรรมที่สำคัญ 3 ขั้นตอน คือ การออกแบบการทดลอง การปฏิบัติการทดลอง และการบันทึกผลการทดลอง

## 7.2 ความสำคัญของการสอนแบบทดลอง

1. เป็นการสอนเพื่อจัดประสบการณ์ในการทดลอง และการปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ให้กับผู้เรียน
2. ทำให้ผู้เรียนเกิดประสบการณ์ในการทำงานตามขั้นตอนของกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
3. ทำให้ผู้เรียนดำเนินการทดลองโดยใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ใช้วิธีวิทยาศาสตร์ และสามารถประเมินการทดลองของตนเองได้

## 7.3 ลักษณะของกิจกรรมการเรียนรู้การสอนแบบทดลอง

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้การสอนแบบทดลองแบ่งเป็น 3 ลักษณะ ตามปริมาณการแนะแนวของครู ดังนี้ (สวัฑม์กั นิยมค้ำ. 2531 : 586-587)

**7.3.1 การทดลองเชิงวิทยาศาสตร์ (Experiment)** เป็นการทดลองเพื่อสำรวจค้นหาสิ่งที่ไม่รู้มาก่อนแบบนักวิทยาศาสตร์ โดยเริ่มต้นจากการตั้งปัญหา แล้วให้ผู้เรียนหาทางแก้ปัญหา และดำเนินการทดลองทุกขั้นตอนด้วยตนเอง การทดลองลักษณะนี้จะทำให้ผู้เรียนพัฒนาความคิดสูงสุด มีกระบวนการทางวิทยาศาสตร์มากที่สุด เกิดเจตคติทางวิทยาศาสตร์สูงสุด แต่เป็นการสอนที่ยากที่สุดเช่นกัน

**7.3.2 การทดลองเชิงฝึกหัด (Laboratory exercise)** เป็นการทดลองตามแบบฝึกหัดที่ครูหรือตำราได้อธิบายวิธีทำไว้แล้ว ผู้เรียนเป็นเพียงผู้ปฏิบัติทดลองตามขั้นตอนต่าง ๆ ในที่สุดก็จะพบคำตอบตามที่ครูหรือตำราบอกไว้ ดังนั้นการทดลองลักษณะนี้จึงเป็นเพียงการทดลองยืนยันในสิ่งที่รู้มาแล้วเท่านั้น

**7.3.3 การทดลองแบบจำกัดการแนะแนวทาง (Guided experiment)** เป็นการทดลอง ที่มีลักษณะอยู่ระหว่างการทดลองเชิงวิทยาศาสตร์ กับการทดลองเชิงฝึกหัด บทบาทการคิดและการทำยังอยู่ที่ผู้เรียน ส่วนครูอยู่ในฐานะที่ปรึกษา ให้คำแนะนำช่วยเหลือเท่าที่จำเป็น เป็นการก้าวออกจากการทดลองที่ทำตามคู่มือไปสู่การทดลองแบบนักวิทยาศาสตร์มากขึ้น

## 7.4 การออกแบบการทดลอง

โจเซฟและคณะ (สวัฑม์กั นิยมค้ำ. 2531 : 250-251 ; อ้างอิงมาจาก Joseph et al. 1976 : 56) ได้กล่าวถึงสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงในการออกแบบการทดลองไว้ 4 ประการ ดังนี้

1. คำถามเกี่ยวกับตัวปัญหาและวัตถุประสงค์ของการทดลอง การทดลองจะต้องมีปัญหาหรือวัตถุประสงค์
2. วิธีการทดลอง จะทำการทดลองอย่างไรจึงจะตอบปัญหาและบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ วิธีการทดลองอาจจะมีหลายวิธี ซึ่งจะเลือกวิธีใดก็ขึ้นอยู่กับบริบทในขณะนั้น แต่การทดลองจะต้องระบุตัวแปรอิสระ และตัวแปรตามให้ชัดเจน
3. การบันทึกผลการทดลอง ผลการทดลองบางอย่างได้จากการวัดบางอย่างได้จากการสังเกต ซึ่งจะใช้แบบฟอร์มที่แตกต่างกัน
4. การลงข้อสรุป จะต้องตรงกับผลการทดลองและมีความหมายถูกต้อง ข้อควรคำนึงดังกล่าวนี้ จะต้องมีความสัมพันธ์กันและการประเมินการทดลองก็ต้องประเมินผลทั้ง 4 ประการนี้ การออกแบบการทดลองเสมือนเป็นพิมพ์เขียว (Blue print) ของวิธีการทดลองที่จะทำให้เรามองเห็นภาพทั้งหมด

## 8. บทปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

### 8.1 ความหมายของบทปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

ตามพจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ.2525 ไม่ได้ให้ความหมายของคำว่า " บทปฏิบัติการ " ไว้โดยตรง แต่ให้ความหมายของคำว่า " บท " ไว้ว่าหมายถึงข้อความเรื่องหนึ่ง ๆ หรือตอนหนึ่ง ๆ และความหมายของคำว่า " ปฏิบัติการ " ไว้ว่าหมายถึงทำงานตามหน้าที่ ที่ทดลองเพื่อพิสูจน์ข้อเท็จจริงตามทฤษฎีหรือฝึกงานเพื่อทำให้เกิดความชำนาญเป็นต้น เช่น ห้องปฏิบัติการ ดังนั้น " บทปฏิบัติการ " ตามพจนานุกรม จึงน่าจะหมายถึง ข้อความหรือเรื่องราวที่ใช้เป็นแนวทางในการทดลองข้อเท็จจริงตามทฤษฎีหรือฝึกฝนการปฏิบัติเพื่อให้เกิดทักษะ

จากการศึกษาเอกสาร มีผู้ให้ความหมายที่เกี่ยวข้องกับบทปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ไว้ดังนี้ แอนเดอร์สัน (Anderson. 1976 : 59 – 60) กล่าวถึงกิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์พอสรุปได้ว่า การปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เป็นการเปิดโอกาสให้มีการเรียนรู้ถึงวิธีการคิดอย่างมีหลักเกณฑ์ เพื่อนำไปสู่การแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน ช่วยให้เกิดความรู้สึกรับซึ่งต่อบทบาทของนักวิทยาศาสตร์ ในการค้นหาความรู้และเข้าใจถึงขอบข่ายของวิชาวิทยาศาสตร์

ลูเนตตาและคณะ (Lunetta and et.al. 1981 : 22 – 25) กล่าวถึงกิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สรุปได้ว่า กิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์มีส่วนช่วยให้นักเรียนมีความเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ช่วยส่งเสริมพัฒนาการทางสติปัญญา ช่วยให้เกิดมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์และช่วยพัฒนาเจตคติต่อวิทยาศาสตร์

### 8.2 จุดมุ่งหมายในการเรียนการสอนปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

ฮอฟสไตน์และลูเนตตา (Hofstein and Lunetta. 1982 : 203) ได้ให้จุดมุ่งหมายของการเรียนการสอนปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ สรุปได้ดังนี้

1) เพื่อปลูกฝังให้ผู้เรียนเกิดความสนใจ เจตคติ ความพึงพอใจ ความมีใจกว้างและความอยากรู้อยากเห็นในทางวิทยาศาสตร์

2) เพื่อพัฒนาความคิดริเริ่มสร้างสรรค์และความสามารถในการแก้ปัญหาของผู้เรียน

3) เพื่อส่งเสริมความคิดแบบวิทยาศาสตร์และวิธีการทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน

4) เพื่อพัฒนาความเข้าใจเกี่ยวกับมโนทัศน์และความสามารถทางสติปัญญาของผู้เรียน

5) เพื่อพัฒนาความสามารถทางปฏิบัติของผู้เรียน

สมาคมครูฟิสิกส์แห่งอเมริกา (America Association of Physics Teachers. 1997 : 546) ได้สรุปจุดประสงค์ของการปฏิบัติการทางฟิสิกส์เบื้องต้นไว้ดังนี้

1) เพื่อให้มีศิลป์ในการทดลอง (The art of experimentation) : การปฏิบัติการเบื้องต้นจะประสานสัมพันธ์กับประสบการณ์ของผู้เรียนด้วยกระบวนการทดลอง รวมถึงการออกแบบการค้นคว้า

2) เพื่อพัฒนาทักษะการทดลองและการวิเคราะห์ (Experimental and analytical skills) : การปฏิบัติการจะช่วยพัฒนาทักษะพื้นฐานและการใช้เครื่องมือในการทดลองทางฟิสิกส์และการวิเคราะห์ข้อมูลอย่างกว้าง ๆ

3) เพื่อให้เกิดมโนทัศน์ในการเรียนฟิสิกส์ (Conceptual learning) : การปฏิบัติจะช่วยให้ผู้เรียนเกิดมโนทัศน์พื้นฐานที่สำคัญ ๆ ทางฟิสิกส์ดีขึ้น

4) เพื่อให้เข้าใจความรู้พื้นฐานในทางฟิสิกส์ (Understanding the basic of knowledge) : การ

ปฏิบัติการจะช่วยให้นักเรียนเข้าใจวิธีการสังเกตโดยตรงทางผัสสัมผัสและสามารถแยกแยะระหว่างการอ้างอิงในเชิงทฤษฎีกับผลที่ได้จากการทดลอง

5) เพื่อพัฒนาทักษะในการเรียนรู้ร่วมกัน (Developing collaborative learning skills) : การปฏิบัติการจะช่วยให้ผู้เรียนพัฒนาทักษะการเรียนรู้ร่วมกันซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้เกิดความสำเร็จในการดำเนินชีวิต

ดังนั้นในการกำหนดหรือออกแบบการปฏิบัติการก็ควรจะต้องออกแบบให้สอดคล้องกับจุดประสงค์ดังกล่าวมาแล้ว

### 8.3 ความสำคัญของการสอนปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

บุญชม ศรีสะอาด (2528 : 278 – 279) ได้สรุปประโยชน์และความสำคัญของการสอนแบบปฏิบัติการไว้ว่า

- 1) ผู้สอนมีอิสระที่จะให้ความช่วยเหลือแก่ผู้เรียนที่ต้องการความช่วยเหลือ
- 2) สามารถจัดให้ผู้เรียนเป็นรายบุคคลหรือเป็นกลุ่มย่อยได้
- 3) ผู้เรียนสามารถศึกษากิจกรรม วิธีปฏิบัติจากสื่อที่สามารถเรียนด้วยตนเองได้
- 4) เป็นเทคนิควิธีที่เป็นรากฐานของการแก้ปัญหา
- 5) ช่วยให้ผู้เรียนได้เรียนรู้การสรุปครอบคลุม (generalization) ไปในสถานการณ์ใหม่ได้
- 6) ผู้เรียนได้สืบเสาะหาความรู้และค้นพบความรู้ด้วยตนเอง
- 7) เพิ่มพูนความสามารถการทำงานให้มีประสิทธิภาพและมีทักษะมากขึ้น
- 8) ช่วยพัฒนาเจตคติทางวิทยาศาสตร์

ไพฑูริย์ สินลารัตน์ (2536 : 95 – 96) สรุปความสำคัญของการสอนแบบปฏิบัติการเป็น 2 ส่วนคือ

- 1) ความสำคัญในแง่ของการศึกษา การสอนแบบฝึกปฏิบัติทำให้เป็นการศึกษาที่สมบูรณ์ผสมผสานกันทั้งทฤษฎีและปฏิบัติ เป็นการสอนที่ให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากของจริงและลงมือทำด้วยตนเอง
- 2) ความสำคัญในแง่ของผู้สอน การสอนแบบฝึกปฏิบัติช่วยให้ผู้เรียนได้ตี บรรลุวัตถุประสงค์ในด้านการนำไปใช้ ทำให้ผู้สอนมีโอกาสเห็นผลการสอนของตนทันทีว่าผู้เรียนปฏิบัติได้จริงหรือไม่ ผู้เรียนจึงมีโอกาสปรับปรุงได้ทันที

แอนเดอร์สัน (Anderson. 1976 : 59 – 60) กล่าวว่า การปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ เป็นการเปิดโอกาสให้มีการเรียนรู้ถึงวิธีการคิดอย่างมีกฎเกณฑ์ เพื่อนำไปสู่การแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน ช่วยให้เกิดความรู้สึกซาบซึ้งต่อบทบาทของนักวิทยาศาสตร์และช่วยให้เข้าใจขอบข่ายของวิชาวิทยาศาสตร์ดีขึ้น

ลูเนตตาและคนอื่นๆ (Lunetta and others. 1981 : 22 – 25) กล่าวว่า การปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์มีส่วนช่วยให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ช่วยส่งเสริมพัฒนาการทางสติปัญญา ช่วยให้ผู้เรียนเกิดมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ และโดยเฉพาะช่วยพัฒนาเจตคติต่อวิทยาศาสตร์ในทางที่ดี

จะเห็นได้ว่า การปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์นั้นเป็นกิจกรรมของการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ ถ้าการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ไม่มีการปฏิบัติการแล้ว การเรียนการสอนนั้นก็จะเป็นการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่ไม่สมบูรณ์ เพราะการปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ช่วยให้ผู้เรียนได้เพิ่มพูนความรู้ทางวิทยาศาสตร์ มีทักษะในการทดลองปฏิบัติการและพัฒนาเจตคติทางวิทยาศาสตร์อีกด้วย

#### 8.4 ลักษณะของบทปฏิบัติการ

ลักษณะของบทปฏิบัติการที่ใช้ในกิจกรรมการทดลองทางวิทยาศาสตร์มีส่วนประกอบสำคัญดังต่อไปนี้

1. ชื่อบทปฏิบัติการ เป็นส่วนที่บอกให้ทราบถึงลักษณะที่ต้องการให้ฝึกปฏิบัติการ
2. คำชี้แจง เป็นส่วนที่อธิบายความมุ่งหมายและความสำคัญของกิจกรรมปฏิบัติการ โดยกล่าวให้เห็นภาพกว้าง ๆ ของการปฏิบัตินั้น ๆ
3. จุดมุ่งหมาย เป็นส่วนที่ระบุจุดมุ่งหมายที่สำคัญของการปฏิบัตินั้น ๆ ซึ่งประกอบด้วยจุดมุ่งหมาย 2 ประเภท คือ
  - 3.1 จุดมุ่งหมายทั่วไป เป็นส่วนที่บอกถึงจุดมุ่งหมายปลายทาง
  - 3.2 จุดมุ่งหมายเชิงพฤติกรรม เป็นส่วนที่ชี้บ่งให้ผู้เรียนได้แสดงพฤติกรรมที่กำหนดโดยสังเกตและวัดได้ และเป็นไปตามเกณฑ์ที่คาดหวัง
4. เนื้อหา เป็นส่วนที่ระบุเนื้อหาหรือมโนคติของการปฏิบัตินั้น ๆ เป็นการอธิบายให้ผู้สอนทราบว่า อะไรเป็นสาระสำคัญที่ผู้เรียนควรจะได้รับและเข้าใจจากการปฏิบัติการ
5. สื่อ เป็นส่วนที่ระบุถึงวัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็นในการดำเนินการปฏิบัติการ
6. เวลาที่ใช้ เป็นส่วนที่ระบุระยะเวลาโดยประมาณว่า ปฏิบัตินั้นควรจะใช้เวลานาน้อยเพียงใด
7. ขั้นตอนการดำเนินกิจกรรม เป็นส่วนที่ระบุวิธีการปฏิบัติการเพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ขั้นตอนการดำเนินการดังกล่าวมีดังนี้
  - 7.1 ขั้นนำ เป็นการเตรียมความพร้อมของผู้เรียนก่อนเริ่มการปฏิบัติการทดลอง
  - 7.2 ขั้นกิจกรรม เป็นส่วนที่ให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการปฏิบัติการทดลอง คิด ตัดสินใจ ซึ่งช่วยทำให้ผู้เรียนได้แสดงออกในการจัดทำกิจกรรม ได้แสดงความคิดเห็นกับเพื่อนในกลุ่ม ตลอดจนแลกเปลี่ยนประสบการณ์ซึ่งกันและกัน ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และเกิดประสบการณ์
  - 7.3 ขั้นอภิปราย เป็นส่วนที่ผู้เรียนจะได้มีโอกาสนำเสนอประสบการณ์ที่ได้จากการปฏิบัติการทดลองมาวิเคราะห์ เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ชัดเจนและแม่นยำ ฝึกให้รับฟังความคิดเห็นซึ่งกันและกัน มีความใจกว้าง ซึ่งจะช่วยพัฒนาเจตคติทางวิทยาศาสตร์ไปด้วย
  - 7.4 ขั้นสรุป เป็นส่วนที่ผู้สอนและผู้เรียนประมวลข้อความรู้ที่ได้จากการปฏิบัติการทดลอง และการอภิปราย นำมาสรุปหาสาระและใจความสำคัญ เพื่อช่วยให้ผู้เรียนสามารถนำไปใช้ในชีวิตประจำวันและสังคมต่อไป
8. การประเมินผล ในส่วนนี้จะเป็นการทดสอบผู้เรียนหลังจบการปฏิบัติการทดลองแต่ละการทดลองแล้วว่ามีความรู้ความเข้าใจในสิ่งที่เรียนหรือปฏิบัติการทดลองเพียงใด
9. ภาคผนวก เป็นส่วนที่ให้ความรู้กับผู้สอน ซึ่งประกอบด้วยคำเฉลยของแบบทดสอบปฏิบัติการ ความรู้เพิ่มเติมในแต่ละบท

ในการสร้างบทปฏิบัติการเพื่อให้เป็นแนวทางในการทดลองปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์นั้น อาจมีรูปแบบแตกต่างกันไปตามระดับความรู้ความสามารถของผู้เรียน อาจจะมีบางส่วนที่ผู้เรียนต้องค้นคว้าเอง ศึกษาเพิ่มเติมเองหรือแม้กระทั่งออกแบบการทดลองเอง ส่วนประกอบของบทปฏิบัติการจึงอาจจะลดลงหรือปรับปรุงให้เหมาะสมกับเนื้อหาวิชา โดยเฉพาะในรายวิชาฟิสิกส์หรือวิทยาศาสตร์กายภาพ ส่วนประกอบสำคัญของบทปฏิบัติการโดยทั่วไปประกอบด้วย (ภาควิชาฟิสิกส์. 2523 : 1-1 – 1-9) (กวี กิตติวรเชษฐ 2535 : 25 – 32) (ภาควิชาฟิสิกส์. 2542 : 1-1 – 1-7)

1. ซ็อบทปฏิบัติกร เป็นส่วนที่บอกถึงส่วนประกอบหรือกระบวนการที่สำคัญในการทดลอง
2. จุดประสงค์ เป็นส่วนที่บอกถึงเป้าหมายหรือผลสัมฤทธิ์จากปฏิบัติการ
3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เป็นความรู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการทดลองครั้งนี้เพื่อเป็นพื้นฐานในการทำความเข้าใจกับการทดลอง
4. เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง เป็นส่วนที่จะต้องใช้อปฏิบัติการทดลอง
5. วิธีทดลอง เป็นขั้นตอนหรือลำดับในการทดลองซึ่งผู้ทดลองอาจจะปรับเปลี่ยนได้ตามความคิดสร้างสรรค์ของตนเอง
6. ผลการทดลองและการคำนวณ เป็นส่วนที่ใช้แสดงผล สื่อความหมายและแปลผลการทดลอง ผู้ทดลองสามารถออกแบบการบันทึกผลได้หลายหลาก
7. คำถามท้ายบทปฏิบัติการ เป็นการตรวจสอบความเข้าใจทั้งทฤษฎีกระบวนการทดลองและความคิดสร้างสรรค์ต่างๆจากการทดลอง

## 9. การวิเคราะห์ความสอดคล้อง

ในการพัฒนาบทปฏิบัติการมีหลายขั้นตอน แต่ก่อนที่จะนำไปใช้จะต้องทำให้มั่นใจได้ว่าบทปฏิบัติการนั้นมีคุณภาพตรงตามจุดประสงค์ของการสร้างบทปฏิบัติการ วิธีการหนึ่งที่จะเป็นตัวชี้วัดว่าบทปฏิบัติการนั้นมีคุณภาพก็คือ การนำบทปฏิบัติการที่สร้างขึ้นไปให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินว่าบทปฏิบัติการนั้นมีคุณภาพตามคุณสมบัติที่ดีของบทปฏิบัติการหรือตามจุดประสงค์หรือไม่ ซึ่งหมายถึงความสอดคล้องระหว่างเนื้อหาในแต่ละส่วนของบทปฏิบัติการกับคุณสมบัติหรือวัตถุประสงค์ของการสร้างบทปฏิบัติการนั้นๆ ซึ่งจะบอกได้ด้วยค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of congruency : IOC) แล้วนำผลการประเมินความสอดคล้องของผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่านมาวิเคราะห์ความสอดคล้อง

การวิเคราะห์ความสอดคล้องดังกล่าว มีขั้นตอนดังนี้ (ณัฐพงษ์ เจริญพิทย์. 2543 : 234 – 235)

1. ให้ผู้เชี่ยวชาญอย่างน้อย 3 ท่าน พิจารณาทบทปฏิบัติการว่าจะสามารถนำไปใช้ได้หรือสอดคล้องตามวัตถุประสงค์หรือไม่ โดยใช้เกณฑ์พิจารณาดังนี้

|          |     |                          |
|----------|-----|--------------------------|
| ให้คะแนน | +1  | เมื่อแน่ใจว่าสอดคล้อง    |
| ให้คะแนน | 0   | เมื่อไม่แน่ใจว่าสอดคล้อง |
| ให้คะแนน | - 1 | เมื่อแน่ใจว่าไม่สอดคล้อง |

2. นำผลการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญมาคำนวณค่าเฉลี่ยโดยใช้สูตร

$$IOC = \frac{\sum R}{N}$$

|       |          |                                   |
|-------|----------|-----------------------------------|
| เมื่อ | IOC      | เป็นค่าดัชนีความสอดคล้อง          |
|       | $\sum R$ | เป็นผลรวมของคะแนนจากผู้ทรงคุณวุฒิ |
|       | N        | เป็นจำนวนของผู้ทรงคุณวุฒิ         |

3. ประเด็นที่มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไปแสดงว่าบทปฏิบัติการในประเด็นนั้นมีความสอดคล้อง

คล่องเหมาะสม ถ้า IOC ต่ำกว่า 0.50 ก็ต้องปรับปรุงบทปฏิบัติการในประเด็นนั้นให้ดีขึ้น  
เนื่องจาก IOC จากการดำเนินการข้างต้นเป็นค่าของแต่ละประเด็น ดังนั้นถ้าจะหาค่า  
IOC เฉลี่ยของทั้งบทปฏิบัติการจะใช้สูตร

$$\overline{IOC} = \frac{\sum IOC}{k}$$

เมื่อ  $\overline{IOC}$  เป็นค่าดัชนีความสอดคล้องเฉลี่ย  
 $\sum IOC$  เป็นผลรวมของค่าดัชนีความสอดคล้องในแต่ละประเด็นในบทปฏิบัติการหนึ่ง  
 $k$  เป็นจำนวนประเด็นในแต่ละบทปฏิบัติการ

ดังนั้นการวิเคราะห์ความสอดคล้องจึงเป็นกระบวนการหนึ่งที่ใช้ในการประเมินเพื่อหาคุณภาพของบทปฏิบัติการก่อนที่จะนำบทปฏิบัติการไปใช้

## 10. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 10.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพลังงานแสงอาทิตย์

รังสรรค์ เพ็งพัด (2524 : บทความย่อ) ได้ศึกษาผลของมุมเอียงที่มีต่อเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ โดยได้ทำการสร้างเครื่องกลั่นน้ำชนิดขึ้นบันได มีพื้นที่รับแสง 1 ตารางเมตร จำนวน 3 เครื่องโดยทำมุม 10 20 และ 30 องศากับแนวระดับ ณ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ระหว่างวันที่ 22 มิถุนายน 2524 ถึง 10 ตุลาคม 2524 ปรากฏว่า เครื่องกลั่นน้ำมุม 10 องศาให้ปริมาณน้ำกลั่นเฉลี่ยสูงสุด และเครื่องที่กลั่นน้ำได้สูงสุดคือเครื่องกลั่นมุม 30 องศา

มุสดี รอบรู้ (2527 : บทความย่อ) ได้ศึกษาการกระจายพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย โดยศึกษาค่าความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์รายวัน จากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา จำนวน 18 สถานี ตั้งแต่ พ.ศ. 2506 - 2510 สรุปได้ว่า ความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์รายวันมีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 10.00 - 14.00 น. ค่าความแปรปรวนของพลังงานแสงอาทิตย์มีมากในช่วงเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนตุลาคม ค่าความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงที่ได้รับลำแสงตั้งฉากในเดือนเมษายน และเดือน สิงหาคม กับเดือนที่ลำแสงทำมุมเอียงที่สุดคือเดือนธันวาคม และเดือนมกราคม จะมีค่าความเข้มต่างกันไม่มาก ค่าเฉลี่ยของความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละเดือนมีค่าต่างกันไม่มาก

นฤมล สมพลเดช (2535 : บทความย่อ) ได้ศึกษาเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับใช้ในครัวเรือน จากตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบขนาด 1 x 2 ตารางเมตร ประกอบตัวสะสมความร้อนขนาด 209 ลิตร โดยหุ้มถังสะสมความร้อนด้วย ไมโครไฟเบอร์ เส้นใยมะพร้าว และ แกลบ ปรากฏว่า แกลบเป็นวัสดุที่เป็นฉนวนดีกว่า ไมโครไฟเบอร์ และใยมะพร้าวอย่างมีนัยสำคัญ และประกอบกับการประเมินต้นทุนการผลิตแล้ว แกลบมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน

เปี่ยมศักดิ์ ไพบูลย์ (2536 : 313) ได้ศึกษาการจัดการและการใช้พลังงานภายในอาคาร ชุมสายโทรศัพท์ สุรวงศ์ พบว่าระบบปรับอากาศใช้พลังงานไฟฟ้า 47.5 % ระบบเรกติฟายดีใช้พลัง

งานไฟฟ้า 42.7 % ระบบแสงสว่างใช้พลังงานไฟฟ้า 5.5 % ลิฟท์ใช้พลังงานไฟฟ้า 1.4 % เครื่องสูบน้ำ ใช้พลังงานไฟฟ้า 2.1 % และเครื่องอัดอากาศแห้ง ใช้พลังงานไฟฟ้า 0.8 %

เคียร์เนย์ (Kearney. 1987 : 37 ) ได้ศึกษาเกี่ยวกับสถานีไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ที่แดกเกตต์ (Daggett ) แคลิฟอร์เนีย (California) , สหรัฐอเมริกา (U.S.A.) ซึ่งสร้างขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1984 โดยออกแบบให้ผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 14.7 MW แผงรับแสงมีพื้นที่ 71,680 ตารางเมตร แบบ พาราโบล่าโฟกัสเป็นเส้นตรง (Parabolic trough line - focus) ให้พลังงานความร้อนในถังเก็บที่อุณหภูมิประมาณ 307 องศาเซลเซียส เมื่อนำไอน้ำไปใช้จะมีความดัน 3.79 Mpa ที่อุณหภูมิ 247 องศาเซลเซียส

เดมีโอ และ สตีทซ์ (Demeo and Steitz 1990 : 29 - 31) ได้ศึกษาโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่บาร์สโตว์, แคลิฟอร์เนีย ซึ่งได้ทำงานระหว่าง เมษายน 1982 ถึง กันยายน 1988 ชื่อ โซลาร์วัน (Solar One) ซึ่งมีแผงรวมแสงแบบกระจกแผ่นราบสะท้อนไปยังหอคอยรวมแสงด้วยกระจกสะท้อนแสง 1818 แผ่น พื้นที่ 72,648 ตารางเมตร ทำให้เกิดไอน้ำวอดยิ่งที่ความดัน 1,450 psi และอุณหภูมิ 510 องศาเซลเซียส ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 10.8 MW ให้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดในหนึ่งวัน 112 MWh โซลสติสฤดูร้อน (summer solstice) และ 48 MWh โซลสติสฤดูหนาว (Winter solstice)

โมฮันตี และ โบอิกซ์ (Mohanty and Bouix 1989 : 42 ) ได้ทดสอบแผงรับแสงแบบ TONIN TONISOL ในภูมิภาคเขตร้อนชื้น พบว่ามีประสิทธิภาพสูงเพราะการเคลือบผิวของตัวดูดกลืนดี ไม่มีรูรั่วที่จะให้อากาศชื้นเข้าไปได้ หลังจากได้ทำการทดลองเป็นเวลา 10 เดือน ได้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ระหว่าง 52 - 64 % ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำและรังสีตกกระทบ

บลังโก และ มานูเอล (Blanco and Manuel 1994 : 4858) ได้วิเคราะห์พลังงานของการสะท้อนแสงในระบบงานรวมแสง อาทิตย์ เนื่องจากเห็นว่า การทำให้พลังงานแสงอาทิตย์มีความเข้มข้น เป็นสิ่งจำเป็นในระบบการใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ โดยได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์วิเคราะห์พฤติกรรมพลังงานของแผงรับแสงแบบรวมแสง ได้ทดลองกับ แบบหกเหลี่ยมขนาดใหญ่ ( A large scale hexagonal) ประกอบกับ แผงรับแบบรวมแสง (Parabolic concentrator) ที่ พลาตาฟอร์มาโซลาที่อัลมาเรีย (Plataforma Solar the Almaria) ทำให้โปรแกรมใช้ได้ ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวนี้ จะนำไปใช้ได้จะต้องเรียนรู้ด้านการทดลองและอภิปรายกันก่อน

แคนเนฟฟ์ (Kaneff. 1994:4 - 5) แห่งศูนย์วิจัยพลังงานมหาวิทยาลัยแห่งชาติออสเตรเลีย (Australian National University) ได้ทำการศึกษาวิจัย การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ได้จากกระจกรวมแสงทรงพาราโบล่า มีระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยเป็นการพัฒนาครั้งที่สาม (Third Generation Solar Generator, System : SG 3) ซึ่งประกอบด้วย งานรวมแสงทรงพาราโบล่าที่มีพื้นที่รับแสง 400 ตารางเมตร สามารถผลิตไอน้ำให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 50 กิโลวัตต์ ได้เริ่มทำการทดลองเมื่อวันที่ 15 มิถุนายน 2537 โดยศึกษาพารามิเตอร์ต่าง ๆ รวมทั้งประสิทธิภาพของการเปลี่ยนพลังงานจากรังสีตรงเป็นไอน้ำของเครื่องรับพลังงานและการเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานไอน้ำ มีตัวประกอบ (factors) อื่น ๆ อีกหลายตัวประกอบที่จะต้องศึกษา เช่น การผ่านของแสงขณะมีเมฆ การสูญเสียในส่วนประกอบต่าง ๆ พฤติกรรมของโครงสร้างและแผ่นกระจกเงา ส่วนโปรแกรมที่จะต้องทดสอบในระยะยาวจะมุ่งไปส่วนประกอบในระยะยาวได้แก่ อายุการใช้งานของเครื่องรับแสงและการทำงาน พฤติกรรมภายใต้เงื่อนไขของสิ่งแวดล้อมทั้งหมดและประเมินผลเพื่อการปรับปรุงองค์ประกอบและระบบทั้งหลาย ผลการทดสอบปรากฏว่า การออกแบบมีความถูกต้อง

แม่นยำสำหรับระบบกระจกเงาทรงพาราโบล่าและมีขนาด รูปร่าง ความเข้มของพลังงานที่พื้นที่โฟกัสที่ดี การทำงานของเครื่องรับแสงและระบบไอน้ำเป็นไปตามคาดหวังตามที่ออกแบบไว้ ฉนวนของไอน้ำจากเครื่องดูดกลืนแสงไปยังห้องเครื่องจักรทำให้ลดการสูญเสียความร้อนจากเดิม  $7 \text{ kW}_{\text{thermal}}$  เป็น  $2 \text{ kW}_{\text{thermal}}$  ประสิทธิภาพของเครื่องรับสามารถปรับปรุงจาก 86 % เป็น 92 %

ซูฮาทา (Suhata. 1995 : 289-296) ได้ศึกษาเกี่ยวกับความสามารถและความยั่งยืนของการประยุกต์ใช้พลังงานทดแทนในพื้นที่ห่างไกลในเงื่อนไขภาคสนามจริงของสภาพภูมิอากาศเขตร้อน (Ability and reliability of renewable energy application in remote areas in real field condition of tropical climate ) โดยได้ทำการติดตั้งเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์รวมทั้งสิ้น 5 หน่วย ตั้งแต่เดือนเมษายน 2530 ที่ บอนเตอร์ แจมเบค แมงกุง ลาบูฮานลอมบอค ดาซันบารู ประเทศ อินโดนีเซีย เครื่องยนต์ที่ใช้เป็นแบบลูกสูบ 2 จังหวะซึ่งได้รับพลังงานจากแผงรับแสง แบบหลอดสูญญากาศจำนวน 140 หลอด ติดเป็นพื้นที่ 24 ตารางเมตร โดยใช้ ฟรีออน-11 (Freon-11) เป็นของไหลทำงาน ตั้งแต่ปี 2536 เป็นต้นมาใช้ ไอโซเพนเทน (Isopentane) แทน เครื่องยนต์ทำงานแบบอัตโนมัติโดยเริ่มต้นทำงานที่ พลังงานแสงอาทิตย์ 500 วัตต์ต่อตารางเมตร และหยุดทำงานประมาณ 250 วัตต์ต่อตารางเมตร ปรากฏว่าเครื่องสูบน้ำสามารถสูบน้ำได้สูงสุด 10 ลูกบาศก์เมตร ต่อชั่วโมงที่เขตการสูบน้ำ 100 เมตร ประสิทธิภาพสูงสุด 4%

จากงานวิจัยด้านพลังงานแสงอาทิตย์ที่กล่าวมาแล้วสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ การวิจัยที่เกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุณหภูมิต่ำและพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุณหภูมิสูงหรือมีความเข้มสูง ในการเลือกใช้พลังงานแสงอาทิตย์ประเภทใดก็ขึ้นอยู่กับงานที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์และตำแหน่งบนพื้นโลก พลังงานแสงอาทิตย์แบบอุณหภูมิต่ำจะใช้แผงรับแสงแบบแผ่นราบเป็นตัวรับแสง โดยลำแสงจะตกกระทบบนตัวดูดกลืนแสงโดยตรง เป็นการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส (Bansal, Kleemann and Meliss. 1990 : 55 – 56) ส่วนพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุณหภูมิสูงนั้น จะใช้แผงรับแสงแบบรวมแสง นั่นคือจะต้องมีตัวสะท้อนแสงไปรวมกันบนตัวดูดกลืนแสง นั่นคือจะต้องมีตัวสะท้อนแสงไปรวมกันบนตัวดูดกลืนแสงโดยเฉพาะถ้าทำให้ของไหลทำงานมีอุณหภูมิสูงถึง 500 องศาเซลเซียสได้ก็จะทำให้เครื่องยนต์ความร้อนเปลี่ยนความร้อนเป็นพลังงานกลได้ (Bansal, Kleemann and Meliss. 1990 : 188) ดังนั้นงานวิจัยส่วนใหญ่จึงพยายามเน้นที่จะนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ ประหยัดและคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ

## 10.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

วนา ชลประเวศ (2526 : บทคัดย่อ) ได้ศึกษาเปรียบเทียบวิธีสอนแบบใช้เกมกับวิธีสอนแบบปฏิบัติการทดลองที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยใช้กลุ่มตัวอย่างจากนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 จำนวน 90 คน โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มทดลอง 48 คน ใช้วิธีสอนแบบใช้เกม และกลุ่มควบคุม 45 คน ใช้วิธีสอนแบบปฏิบัติการทดลอง ผลการวิจัยพบว่า 1) การสอนด้วยการใช้เกมทำให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สูงกว่าการสอนแบบทดลอง ในทักษะการสังเกต ทักษะการจำแนกประเภท ทักษะการตั้งสมมติฐานและทักษะการจัดกระทำข้อมูล 2) การสอนด้วยการปฏิบัติการทดลอง ได้ผลมากกว่าการสอนโดยใช้เกม ในทักษะความสัมพันธ์ระหว่างมิติกับเวลา 3) วิธีสอนทั้งสองให้ผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะการวัด ทักษะการคำนวณ ทักษะการทดลองและทักษะการแปลความหมายจากข้อมูลไม่แตกต่างกัน

อรรถัย วิเศษสกุล (2534 : บทคัดย่อ) ได้ศึกษาผลของการปฏิบัติการเสริมความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์และการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ในชีวิตประจำวัน โดยใช้นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 จำนวน 60 คน เป็นกลุ่มตัวอย่าง ผลการวิจัยพบว่านักเรียนที่ทำบทปฏิบัติการเสริมความรู้ทางวิทยาศาสตร์มีผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์และด้านการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ในชีวิตประจำวันสูงกว่านักเรียนที่ไม่ได้ทำบทปฏิบัติการเสริมความรู้ทางวิทยาศาสตร์

สนอง ทองปาน (2540 : บทคัดย่อ) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง : กรณีศึกษาเพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ให้สัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมศึกษาโดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียตามค่าพารามิเตอร์ 8 ค่า เพื่อศึกษาความสามารถในการนำพลังงานคลื่นมาใช้เป็นพลังงานในการเติมอากาศให้กับระบบบำบัดน้ำเสียและเพื่อนำเสนอแนวทางในการปรับปรุงบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ให้สัมพันธ์กับการสอนสิ่งแวดล้อมศึกษา ผู้วิจัยได้สร้างระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเองในพื้นที่ 7 x 7 ตารางเมตร ด้านติดคลองแสนแสบของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตรในส่วนของพัฒนาบทปฏิบัติการ ผู้วิจัยได้นำเสนอแนวทางปรับปรุงบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ให้สัมพันธ์กับการสอนสิ่งแวดล้อมไว้ทั้งหมด 8 กิจกรรม โดยมีค่าดัชนีความสอดคล้องรายการกิจกรรมอยู่ระหว่าง 0.57 – 0.71 และค่าดัชนีความสอดคล้องเฉลี่ย 0.64

เปรมจิตร บุญสาย (2541 : บทคัดย่อ) ได้วิจัยและพัฒนาหลักสูตรวิชาชีววิทยาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย เรื่อง พื้นฐานทางเทคโนโลยีชีวภาพ ที่เน้นการปฏิบัติการทดลองโดยใช้ประโยชน์จากสารเหลือทิ้ง โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาหลักสูตรวิชาชีววิทยาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนการพัฒนาหลักสูตร 6 ขั้นตอน คือ 1)การศึกษาค้นคว้าและการสำรวจข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนาหลักสูตร 2)การสร้างเอกสารหลักสูตร 3)การประเมินหลักสูตรก่อนนำไปใช้ 4)การปรับปรุงหลักสูตรก่อนนำไปใช้ 5)การเตรียมบุคลากรและทดลองใช้หลักสูตร 6)การปรับปรุงหลักสูตรหลังทดลองใช้ จากการดำเนินการดังกล่าวสามารถสร้างบทปฏิบัติการได้ 5 สาขา 20 บทปฏิบัติการ แยกเป็นสาขาเทคโนโลยีการหมัก 7 บทปฏิบัติการ สาขาเทคโนโลยีของเสีย 3 บทปฏิบัติการ สาขาเทคโนโลยีการสร้างแหล่งวัตถุดิบใหม่ 4 บทปฏิบัติการ สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม 4 บทปฏิบัติการ สาขาวิศวกรรมเอนไซม์ 2 บทปฏิบัติการ หลังจากการปรับปรุงหลักสูตรแล้วนำไปทดลองสอนเป็นเวลา 1 ภาคเรียน โดยใช้นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 90 คน ของโรงเรียน ปรากฏผลสำเร็จอย่าง ปรากฏว่านักเรียนที่เรียนโดยใช้บทปฏิบัติการที่สร้างขึ้นมีผลการเรียน ด้านพุทธิพิสัย ด้านจิตพิสัยและด้านทักษะพิสัย ภายหลังจากทดลองสอนสูงกว่าก่อนการทดลองสอนและนักเรียนกลุ่มทดลองมีผลการเรียนทุกด้านดังกล่าวสูงกว่านักเรียนที่เรียนโดยหลักสูตรเดิมของ สสวท.

อรอุมา ละมุล (2541 : บทคัดย่อ) ได้ศึกษาและพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก ที่ใช้สอนในวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมสำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยมีความมุ่งหมายเพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนักจากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาผลการทดลองใช้เบื้องต้นกับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 และเพื่อหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ตามเกณฑ์ 80 / 80 ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยเป็น 3 ขั้นตอน คือ 1)การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ 2)พัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ โดยผ่านการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญ

จำนวน 5 ท่าน 3)ทดลองสอนเพื่อหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการกับนักเรียนโรงเรียนโคกกระเทียมวิทยาลัยจำนวน 30 คน ผลการวิจัยในส่วนของพัฒนาบทปฏิบัติการ ปรากฏว่าสามารถพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และคู่มือประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนักได้ 7 บท โดยค่าเฉลี่ยของความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับมากและบทปฏิบัติการมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์กำหนด คือ 80.11 / 80.27

ฐานีย์ เมธีพลกุล (2542 : บทคัดย่อ) ได้ศึกษาสำรวจปลาทะเลที่ทำเทียบเรือประมงชุมพร เพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการเสริมความรู้ชีววิทยาเรื่อง การจำแนกอันดับปลาทะเล โดยการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อสำรวจปลาทะเลที่ทำเทียบเรือประมงชุมพรสำหรับพัฒนาฐานข้อมูลด้านปลาทะเล และเพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการเสริมความรู้ชีววิทยาเรื่อง การจำแนกอันดับปลาทะเล ในส่วนของการพัฒนาบทปฏิบัติการเสริมความรู้ชีววิทยาเรื่องการจำแนกอันดับปลาทะเล ได้ทำการศึกษาจากนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่เรียนรายวิชาชีววิทยา (ว 441) ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2541 โดยการสุ่ม 1 คนจากโรงเรียนศรีราชาภัยกลุ่ม 10 คน จากโรงเรียนปากน้ำชุมพรวิทยาและกลุ่ม 15 คนจากโรงเรียนศรีราชาภัย ผลการศึกษาค้นคว้าในส่วนของพัฒนาบทปฏิบัติการ ได้บทปฏิบัติการที่ประกอบด้วยกิจกรรมต่าง ๆ 3 กิจกรรม คือ การศึกษาลักษณะสำคัญของปลาทะเล การเก็บรักษาตัวอย่างปลาทะเลและการจำแนกอันดับปลาทะเล จากการตรวจสอบคุณภาพบทปฏิบัติการเสริมความรู้ชีววิทยาเรื่องการจำแนกอันดับปลาทะเลด้านจุดประสงค์และเนื้อหาของกิจกรรมโดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่า จุดประสงค์ของกิจกรรมกับเนื้อหาของกิจกรรมมีความสอดคล้องเฉลี่ยเท่ากับ 1.0 และจากการศึกษาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการในการทดลองใช้กับนักเรียนพบว่า บทปฏิบัติการมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์

ศิริกานต์ ผาสุข (2543 : บทคัดย่อ) ได้ศึกษาพัฒนาบทปฏิบัติการวิชาเคมีผลิตภัณฑ์ธรรมชาติเรื่องการสกัดและแยกองค์ประกอบทางเคมีจากพืชสมุนไพรในท้องถิ่น สำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตร์ของสถาบันราชภัฏ การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสกัดและแยกองค์ประกอบทางเคมีและเพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการวิชาเคมีผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ เรื่องการสกัดและแยกองค์ประกอบทางเคมีจากพืชสมุนไพรในท้องถิ่น สำหรับนักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตร์ของสถาบันราชภัฏ ผู้วิจัยได้ดำเนินการเป็น 3 ขั้นตอน คือ 1)สำรวจพืชสมุนไพร 2)ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ 3)พัฒนาบทปฏิบัติการวิชาเคมีผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ จากผลการทดลองที่ได้และหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการด้วยการใช้ค่าดัชนีความสอดคล้อง ผลการวิจัยในส่วนของพัฒนาบทปฏิบัติการ ปรากฏว่า จากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ นำมาพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการเพื่อการเรียนการสอนได้ 8 บทปฏิบัติการ โดยมีค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างวัตถุประสงค์กับเนื้อหา วัตถุประสงค์กับวิธีการทดลองและวัตถุประสงค์กับคำถามท้ายการทดลอง ระหว่าง 0.56 ถึง 1.00 แสดงว่าบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพสำหรับนำไปใช้ทางด้านการเรียนการสอนได้

เซอร์ลิน (Serlin. 1977 : 5729 – A – 5730 – A) ได้ศึกษาผลของการเรียนโดยใช้วิธีปฏิบัติการแบบค้นพบ (Discovery laboratory) ที่มีต่อทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะการแก้ปัญหาและความสามารถในการคิดสร้างสรรค์ของนักศึกษาระดับปริญญาตรีที่เรียนวิชาแคลคูลัสเป็นพื้นฐานในหลักสูตรฟิสิกส์ โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็นกลุ่มทดลอง 2 กลุ่ม กลุ่มควบคุม 1 กลุ่ม เมื่อทำการทดสอบหลังการสอนปรากฏว่าแต่ละกลุ่มมีคะแนนไม่แตกต่างกันและปฏิบัติการแบบค้นพบ มีผลต่อการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักศึกษา แต่ไม่ปรากฏแตกต่างในด้านอื่น

ทำการทดสอบหลังการสอนปรากฏว่าแต่ละกลุ่มมีคะแนนไม่แตกต่างกันและปฏิบัติการแบบค้นพบ มีผลต่อการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักศึกษา แต่ไม่ปรากฏแตกต่างในด้านอื่น

ลูเนทา ฮอฟทีนและจีโอฟฟรี (Lunetta, Hoftain and Geoffrey. 1981 : 22 – 25) ได้ศึกษาผลของการทราบดีกประสงค์เชิงพฤติกรรมของการทดลองต่อการมีทักษะภาคปฏิบัติและต่อทักษะการคิดของนักเรียนที่เรียนฟิสิกส์ในโรงเรียนมัธยมศึกษา ผลการวิจัยพบว่า ทักษะภาคปฏิบัติในการทดลองของนักเรียนที่ทราบดีกประสงค์เชิงพฤติกรรมแตกต่างจากนักเรียนที่ไม่ทราบดีกประสงค์เชิงพฤติกรรม ทักษะการคิดของนักเรียนที่ทราบดีกประสงค์เชิงพฤติกรรม แตกต่างจากนักเรียนที่ไม่ทราบดีกประสงค์เชิงพฤติกรรม

ลูเวิร์ส (Louwerse. 1982 : 1915A) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลของการปฏิบัติการทดลองด้วยตนเองกับการสังเกตการสาธิตการทดลองของครูที่มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ เจตคติต่อวิชาวิทยาศาสตร์และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษา ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ใช้กลุ่มตัวอย่างจากนักเรียนเกรด 10 –12 ในรัฐฟลอริดาจำนวน 92 คน แล้วแบ่งเป็น 2 กลุ่ม โดยกำหนดเนื้อหาและการทดลองเหมือนกันกับผู้สอนคนเดียวกันทั้งสองกลุ่ม ปรากฏว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เจตคติต่อวิทยาศาสตร์และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่ปฏิบัติการทดลองด้วยตนเองและกลุ่มที่สังเกตการสาธิตการทดลองของครูไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จากงานวิจัยดังกล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่าการสอนแบบให้มีการปฏิบัติการหรือให้มีการทดลองนั้นจะให้ผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะและเจตคติทางวิทยาศาสตร์ดีขึ้นและในการสร้างบทปฏิบัติการเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ จะเห็นได้จากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญส่วนใหญ่มีความเห็นสอดคล้องกันในการพัฒนามบทปฏิบัติการ ดังนั้นในการจัดการเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ไม่ว่าสาขาใดก็ตามควรให้ผู้เรียนได้มีโอกาสได้ปฏิบัติการหรือทดลองให้มากที่สุดเพราะการเรียนรู้จากการกระทำนั้นจะเป็นการเรียนรู้ที่ถาวร

### สมมติฐานในการวิจัย

1. ระบบเครื่องสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สามารถเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานกลในการสูบน้ำได้
2. บทปฏิบัติการในรายวิชาพลังงานกับสิ่งแวดล้อม ตามหลักสูตรของสภากาชาดที่สร้างขึ้นจากระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์และประเมินโดยใช้วิธีการหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of congruency : IOC) แล้วแต่ละบทจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 0.5

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยและพัฒนาทางวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 2 ขั้นตอน คือ การสร้างและพัฒนาระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ และการสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการ วิชาพลังงานกับสิ่งแวดล้อม โดยผู้วิจัยได้ดำเนินการในแต่ละขั้นตอน ดังนี้

#### 1.การสร้างและพัฒนาระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

ผู้วิจัยได้สร้างและพัฒนาระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในการทดลอง และเก็บข้อมูลขึ้นเองเกือบทั้งระบบ โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ เครื่องจักรไอน้ำ เครื่องสูบน้ำและ เครื่องรับพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

##### 1.1 เครื่องจักรไอน้ำ

###### 1.1.1 การศึกษาเอกสาร

ปัจจุบันการใช้เครื่องจักรไอน้ำในงานต่าง ๆ ส่วนใหญ่จะเป็นโรงงานขนาดใหญ่และมี เชื้อเพลิงที่ได้จากระบบการผลิตเอง เช่น โรงสีข้าว ซึ่งใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง โรงเลื่อยใช้ขี้เลื่อย เป็นเชื้อเพลิง เป็นต้น เอกสารที่ใช้ในการศึกษาส่วนใหญ่จึงได้จากตำราด้านเทอร์โมไดนามิกส์ และ ตำราวิศวกรรมเกี่ยวกับความร้อนต่าง ๆ

จากการศึกษาเอกสาร เครื่องจักรไอน้ำสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ เครื่องจักรไอน้ำชนิดลูกสูบ และเครื่องจักรไอน้ำชนิดกังหัน เครื่องจักรไอน้ำชนิดลูกสูบเมื่อจำแนกตาม ลักษณะของลิ้นบังคับช่องไอน้ำแล้วจะแบ่งได้ 3 ลักษณะ (บุญญศักดิ์ ใจจงกิจ. 2519 : 146 – 155) คือ เครื่องจักรไอน้ำแบบลิ้นเลื่อน เครื่องจักรไอน้ำแบบลิ้นกลม และเครื่องจักรไอน้ำแบบลิ้นลูกสูบ

###### 1.1.2 การออกแบบ

1.1.2.1 หลักการ การสร้างเครื่องจักรไอน้ำครั้งนี้ เป็นการสร้างในขนาดของการนำไปใช้ ในระดับการเรียนการสอนปฏิบัติการด้านพลังงาน และด้านฟิสิกส์ และเป็นแนวทางในการนำไปเขียน บทปฏิบัติการ ฉะนั้นเครื่องจักรไอน้ำจะต้องมีขนาดพอเหมาะในการใช้งาน เคลื่อนที่และติดตั้งได้สะดวก

การนำแบบไปสร้างจะต้องทำได้ง่าย วัสดุที่ใช้จะต้องสามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น กระบวนการหรือเทคนิควิธีในการสร้างจะต้องทำได้ไม่ยุ่งยากเกินไป ต้องคำนึงถึงสภาพประกอบการ ในท้องถิ่นที่สามารถประดิษฐ์ขึ้นส่วนได้ตามความต้องการ มีเครื่องมือที่สามารถใช้ผลิตส่วนประกอบ ตามแบบได้อย่างละเอียดพอสมควร ในกรณีที่ไม่สามารถประดิษฐ์ขึ้นมาเองได้

การนำไปใช้งานหลังจากที่ประดิษฐ์เสร็จแล้วจะต้องคำนึงถึงสภาพแวดล้อมในการใช้ งาน กล่าวคือ ส่วนประกอบบางส่วนจะต้องทนต่อความดันของไอน้ำได้ ไม่เป็นสนิมกัดกร่อน และทน ต่อสภาพการใช้งานกลางแจ้ง เครื่องจักรไอน้ำนี้นำไปใช้กับพลังงานแสงอาทิตย์รังสีตรงซึ่งสามารถ เปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา เช่น อาจจะมีเมฆบดบังทำให้เครื่องจักรหยุดทำงานได้ ดังนั้น เครื่องจะต้อง เริ่มงานได้เองเมื่อมีความเข้มของรังสีเพียงพอ นั่นคือ จังหวะที่เครื่องจักรหยุดนั้นจะต้องเป็นจังหวะที่ สามารถเริ่มต้นทำงานใหม่ได้เสมอ

1.1.2.2 การคำนวณ กำหนดให้ความดันของไอน้ำภายในกระบอกสูบไม่เกิน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้วหรือ  $6.894 \times 10^5$  นิวตันต่อตารางเมตร หรือ พาสคัล (Pascal) ฉะนั้นแรงที่กระทำต่อผิวหน้าลูกสูบคำนวณได้จาก

แรงกระทำ = ความดันไอน้ำ x พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ

$$F = (p)(A)$$

F = เป็นแรงกระทำต่อลูกสูบ

p = เป็นความดันไอน้ำภายในกระบอกสูบ

A = เป็นพื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ

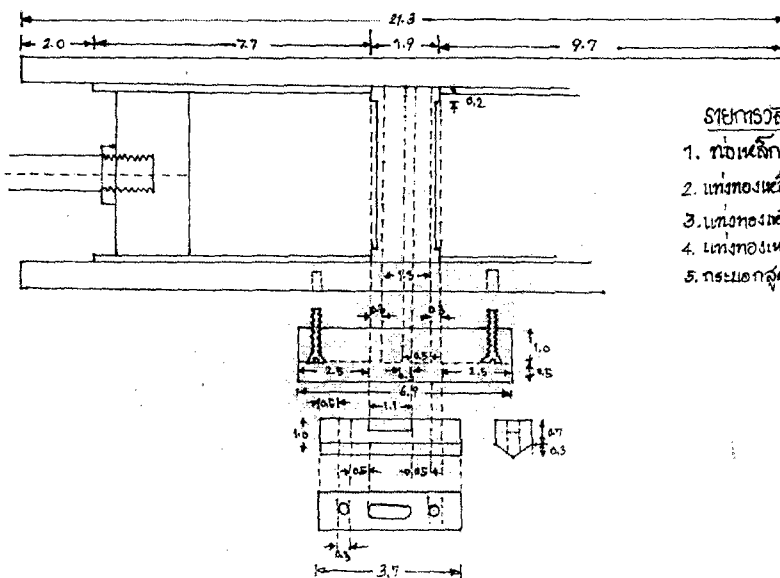
แรงที่คำนวณได้ก็จะเป็นแรงที่ใช้ในการสูบน้ำ โดยแรงนี้จะถูกส่งผ่านไปทางก้านสูบ และไปยังเครื่องสูบน้ำ กระบอกสูบที่ใช้ในการทำเครื่องจักรไอน้ำครั้งนี้ เป็นกระบอกสูบของเครื่องสูบน้ำแบบสูบชัก ซึ่งสามารถหาซื้อได้ทั่วไป มีลักษณะเป็นทรงกระบอกของเหล็องกลวงเส้นผ่าศูนย์กลาง 45 มิลลิเมตร พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ (A) จะหาได้จาก

$$\begin{aligned} A &= \pi r^2 \\ &= 1.59 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

ดังนั้น แรงที่กระทำต่อพื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ จะได้

$$\begin{aligned} F &= (6.894 \times 10^5) (1.59 \times 10^{-3}) \quad \text{N} \\ &= 1096.15 \quad \text{N} \end{aligned}$$

ออกแบบ 27 เมษายน 42



รายการวัสดุ

1. ท่อเหล็ก  $\phi$  6.0 cm. ยาว 26.0 cm.
2. แท่งทองเหลือง  $\square$  1.6 x 1.5 x 9.0 cm.
3. แท่งทองเหลือง  $\square$  1.0 x 1.0 x 5.0 cm.
4. แท่งทองเหลือง  $\phi$  5 cm. ยาว  $\approx$  2.5 cm.
5. กระบอกสูบทองเหลือง No. 45  $\phi$  4.5 cm. 2 ชิ้น

ภาพประกอบ 45 การออกแบบเครื่องจักรไอน้ำ

### 1.1.3 วัสดุอุปกรณ์

วัสดุที่นำมาใช้ต้องทนต่อแรงดันสูง ทนต่อการกัดกร่อนของสนิม เช่น กระจบอกสูบ ลูกสูบ จะต้องเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมและมีขนาดที่พอเหมาะ รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องจักรไอน้ำมี ดังนี้

#### 1.1.3.1 รายการวัสดุ ตามตาราง 1

ตาราง 1 รายการวัสดุเครื่องจักรไอน้ำ

| ที่ | รายการ   | จำนวน  | หมายเหตุ                                     |
|-----|--|--------|--|
| 1   | ท่อเหล็กทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 6.3 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 4.9 เซนติเมตร ความยาว 20.0 เซนติเมตร              | 1 ท่อน |  |
| 2   | กระจบอกสูบทองเหลืองทรงกระบอกกลางเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 4.9 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 4.5 เซนติเมตร ความยาว 7.7 เซนติเมตร | 2 ท่อน | เป็นกระจบอกสูบของเครื่องสูบน้ำแบบสูบชัก      |
| 3   | แท่งทองเหลืองขนาดต่าง ๆ  | 3 แท่ง | ใช้แบ่งกระจบอกสูบ ลูกสูบและใช้ในระยะเวลาวัลว |
| 4   | เหล็กเพลขาหัวเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.95 เซนติเมตร ยาว 1 เมตร  | 1 ท่อน |  |
| 5   | เหล็กแบนหน้าตัด 0.48 x 1.90 เซนติเมตร (3/16 x 3/8 นิ้ว)  | 1 เส้น |  |
| 6   | เหล็กรัดท่อ (U – camp)   | 4 อัน  |  |
| 7   | นอต และสลักเกลียว ชนิดและขนาดต่าง ๆ  | 1 ชุด  |  |

#### 1.1.3.2 เครื่องมือ เครื่องมือที่จำเป็นในการสร้าง ได้แก่

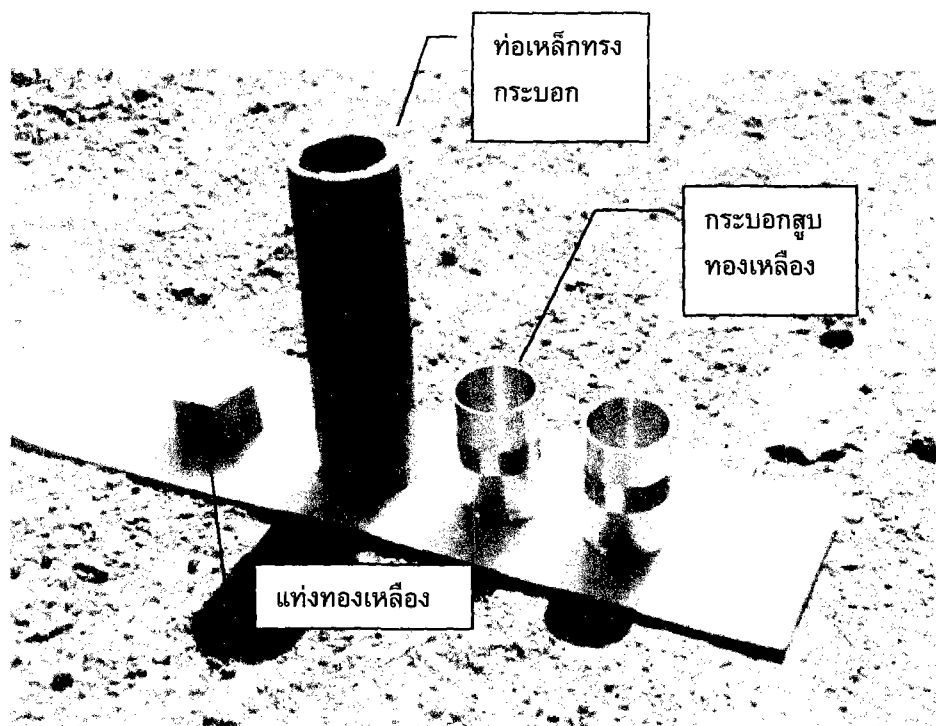
- 1) เครื่องกลึงโลหะ
- 2) ตู้เชื่อมไฟฟ้า
- 3) เลื่อยตัดเหล็ก หรือไฟเบอร์ตัดเหล็ก
- 4) เครื่องขัดและหินขัดเหล็ก
- 5) ประแจชนิดและขนาดต่าง ๆ
- 6) สว่านและดอกสว่านขนาดต่าง ๆ

### 1.1.4 วิธีสร้าง

วิธีสร้าง เครื่องจักรไอน้ำ มีขั้นตอนที่สำคัญดังนี้

#### 1.1.4.1 นำท่อเหล็กทรงกระบอกไปกลึงภายในให้เรียบจนได้เส้นผ่าศูนย์กลาง

4.9 เซนติเมตร

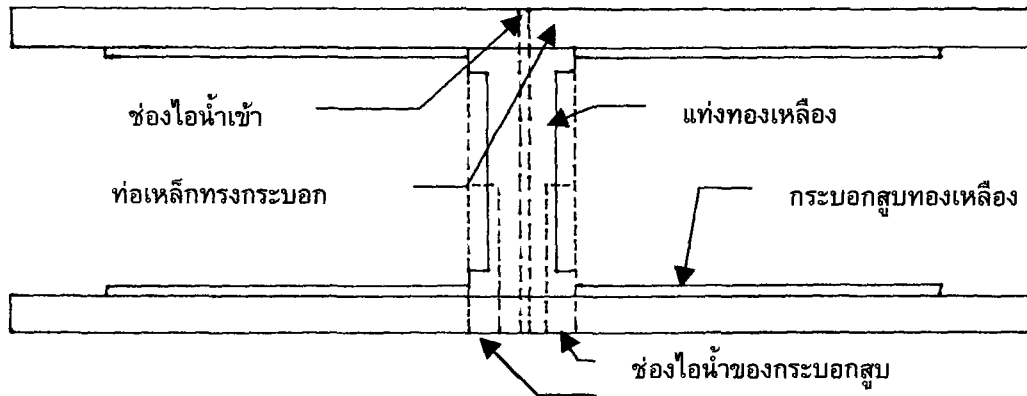


ภาพประกอบ 46 วัสดุที่สำคัญในการสร้างเครื่องจักรไอน้ำในส่วนที่เป็นกระบอกสูบ

1.1.4.2 กลึงแท่งทองเหลืองให้กลม โดยให้เส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อเหล็กทรงกระบอกและหนา 1.9 เซนติเมตร คว้านตรงกลางให้เป็นหลุมกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.1 เซนติเมตร ลึก 0.15 เซนติเมตร บนผิวหน้าตัดทั้งสองด้าน

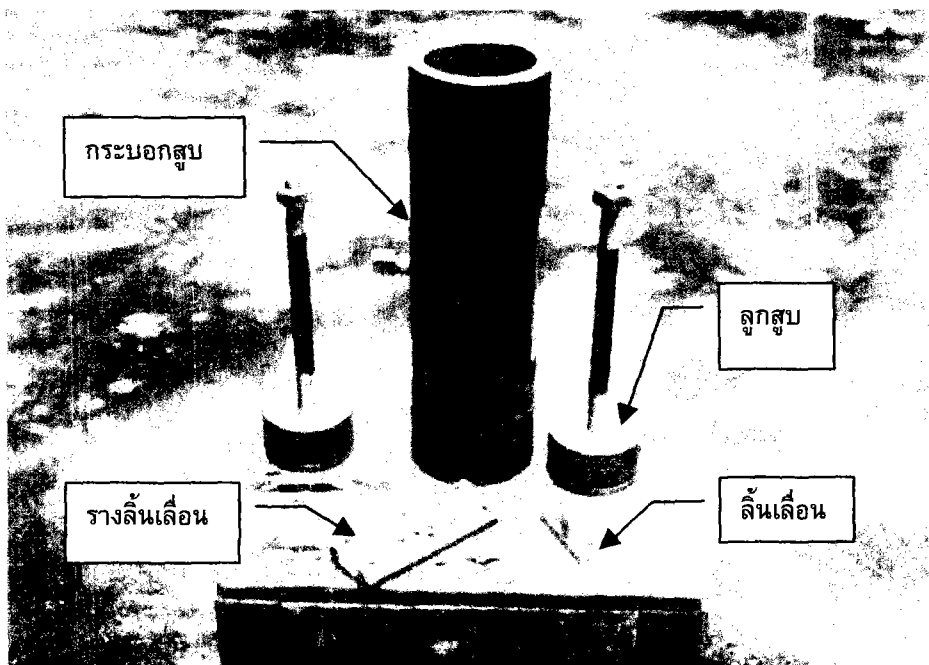
1.1.4.3 อัดแท่งทองเหลืองในข้อ 1.1.4.2 เข้าไปในท่อเหล็กในข้อ 1.1.4.1 โดยให้แท่งทองเหลืองอยู่กึ่งกลาง แท่งทองเหลืองจะทำหน้าที่แบ่งท่อเหล็กให้เป็นกระบอกสูบ 2 กระบอก

1.1.4.4 กลึงผิวนอกของกระบอกสูบทองเหลือง ให้พอดีแล้วอัดเข้าไปในท่อเหล็กทั้งสองด้านให้ชนกับแท่งทองเหลืองที่อัดเข้าไปก่อน หลังจากนั้นจึงกลึงผิวภายในกระบอกสูบทองเหลืองให้เรียบ



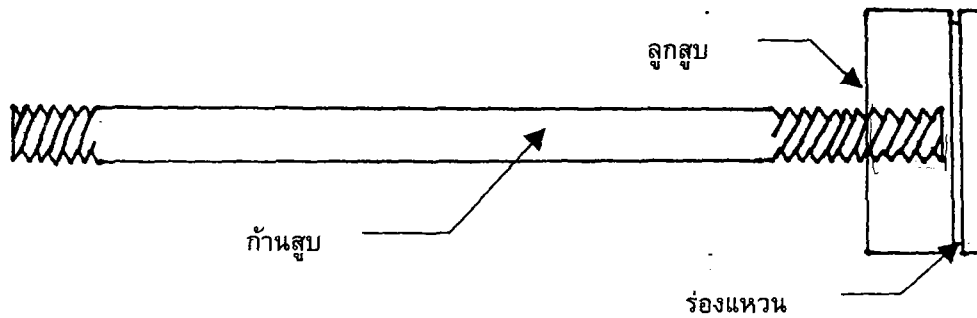
ภาพประกอบ 47 ภาพตัดตามยาวของกระบอกสูบ มาตรฐาน 1:2

1.1.4.5 ลูกสูบที่ทำจากแท่งทองเหลืองทรงกระบอกตันกลึงให้สวมเข้ากระบอกสูบได้พอดี ทำร่องแหวนรอบลูกสูบ ที่จุดศูนย์กลางหน้าตัดวงกลมด้านหนึ่งเจาะทำเป็นรูเกลียวสำหรับต่อก้านสูบ



ภาพประกอบ 48 กระบอกสูบ ลูกสูบ และลื่นเลื่อน

1.1.4.6 ก้านสูบ ทำด้วยเหล็กเพลลาขาวทรงกระบอกตัน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.0 เซนติเมตร ยาว 10.0 เซนติเมตร ปลายทั้งสองข้างทำเป็นสลักเกลียว (ทำเกลียวนอก) ให้สามารถขันเข้ากับรูเกลียวของลูกสูบได้พอดี ชุดลูกสูบและก้านสูบจะมี 2 ชุด



ภาพประกอบ 49 ลูกสูบประกอบกับก้านสูบ

1.1.4.7 รวงล้น ทำด้วยแท่งทองเหลือง ยาว 7.0 เซนติเมตร ทำร่องตรงกลางตลอดความยาว กว้าง 1.0 เซนติเมตร ลึก 0.6 เซนติเมตร เจาะรูบริเวณรอบขอบของรางสำหรับใส่สลักเกลียว 6 รู แล้วนำไปยึดติดกับบริเวณกึ่งกลางของกระบอกสูบตามแนวยาวด้วยสลักเกลียวดังกล่าว

1.1.4.8 เจาะช่องไอน้ำเข้าผ่านกึ่งกลางรางล้น และทะลุผ่านกระบอกสูบตรงกึ่งกลางแห่งทองเหลืองจนทะลุออกอีกด้านหนึ่งของกระบอกสูบด้วยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.3 เซนติเมตร

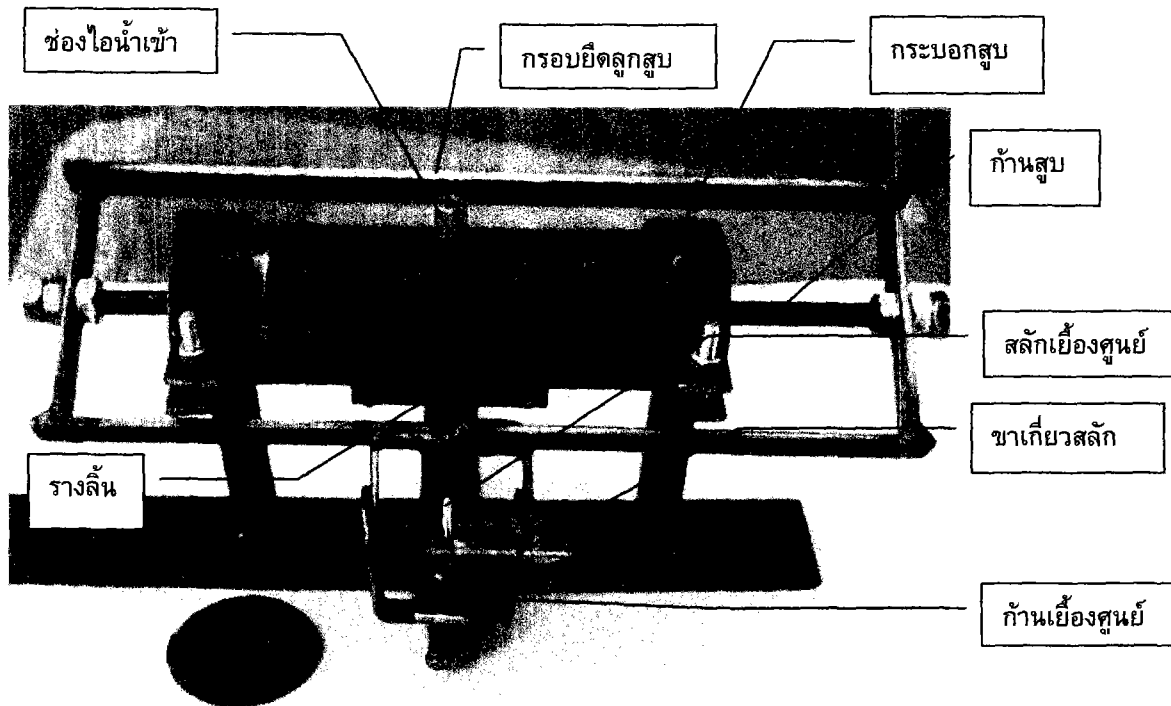
1.1.4.9 เจาะช่องไอน้ำของกระบอกสูบ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.3 เซนติเมตร ห่างจากช่องไอน้ำเข้า 0.5 เซนติเมตร จำนวน 2 ช่อง โดยเจาะผ่านรางล้นทะลุผ่านกระบอกสูบเข้าไปยังห้องลูกสูบทั้งสองข้าง ช่องไอน้ำจะทำหน้าที่นำไอน้ำเข้าและออกจากห้องลูกสูบ ช่องไอน้ำทั้งสามช่องจะเรียงตัวในแนวเดียวกันบริเวณกึ่งกลางรางล้น

1.1.4.10 ล้นเลื่อน ทำด้วยแท่งทองเหลืองสี่เหลี่ยมกว้าง 1.0 เซนติเมตร ยาว 3.7 เซนติเมตร หนา 0.6 เซนติเมตร ตรงกลางล้นมีปุ่มสำหรับเกี่ยวก้านเยื้องศูนย์ และกระเดื่องกดล้น ด้านตรงข้ามกับปุ่มเกี่ยวก้านเยื้องศูนย์เจาะเป็นร่องกว้าง 0.3 เซนติเมตร ยาว 1.1 เซนติเมตร ลึก 0.3 เซนติเมตร เพื่อทำหน้าที่นำไอน้ำเข้าห้องลูกสูบ เจาะรูทะลุล้นเลื่อน 2 รู ข้างร่องล้นทั้งสองด้าน เส้นผ่าศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร ห่างจากขอบร่อง 0.5 เซนติเมตร เพื่อเป็นช่องระบายไอน้ำออก

1.1.4.11 การสร้างกลไกเลื่อนล้นต้องให้ล้นหยุดอยู่ในตำแหน่งที่พร้อมที่จะนำไอน้ำเข้าห้องลูกสูบด้านใดด้านหนึ่งเสมอ หรือจะต้องอยู่ในตำแหน่งที่เฉพาะเท่านั้น โดยกลไก "เยื้องศูนย์" ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญ ดังนี้

- 1) กรอบยึดลูกสูบ มีลักษณะเป็นกรอบเหล็กยึดติดอยู่กับก้านสูบแต่ให้ก้านสูบมี

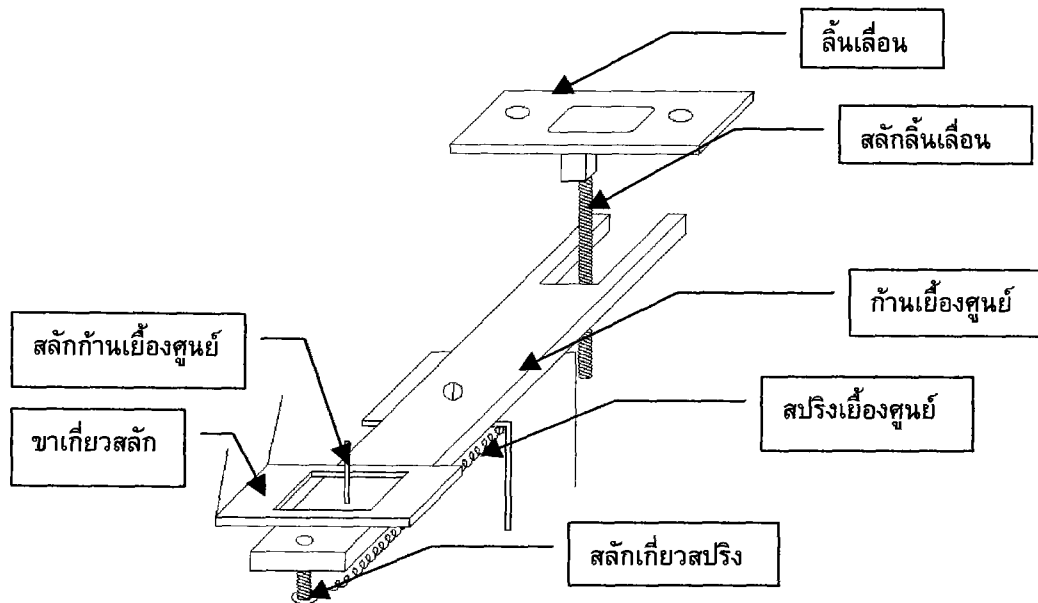
อิสระพอสมควร ทำหน้าที่ควบคุมให้ลูกสูบทั้งสองเคลื่อนที่ไปพร้อม ๆ กันตามแรงดันของไอน้ำ และเป็นที่ยึดขาเกี่ยวสลักก้านเยื้องศูนย์กลาง



ภาพประกอบ 50 ภาพด้านบนของเครื่องจักรไอน้ำ

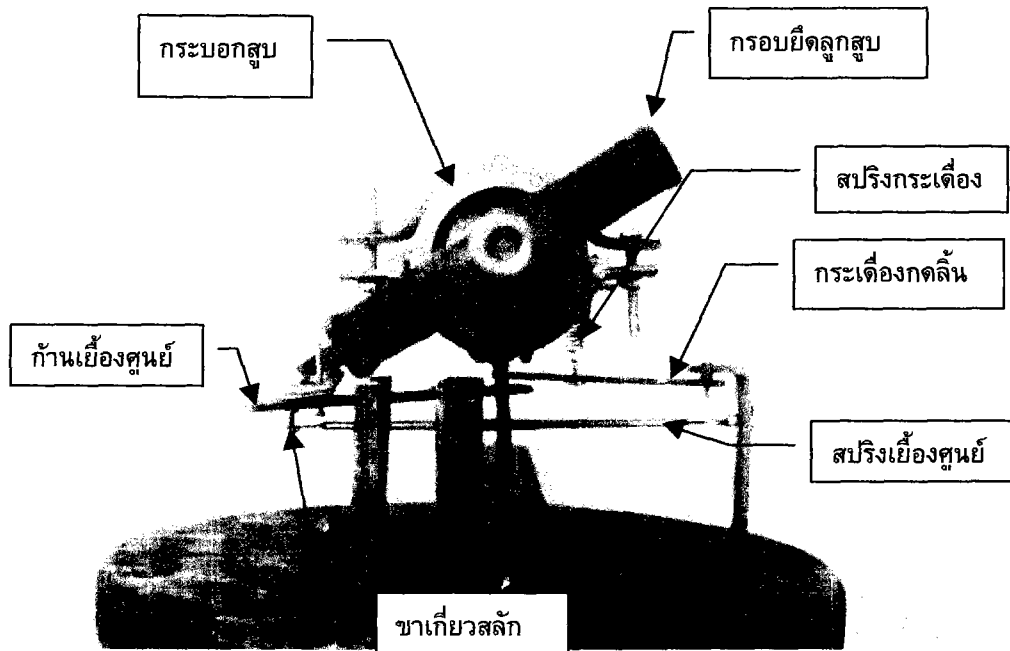
2) ขาเกี่ยวสลัก จะยึดติดอยู่กับกรอบยึดลูกสูบ มีช่องสวมลงบนสลักก้านเยื้องศูนย์กลาง เพื่อทำหน้าที่เลื่อนก้านเยื้องศูนย์กลาง

3) ก้านเยื้องศูนย์กลาง ประกอบด้วยเหล็กแบนปลายด้านหนึ่งผ่าเป็นง่ามสำหรับสวมสลักลื่นเลื่อน ปลายอีกด้านหนึ่งเจาะรูใส่สลักก้านเยื้องศูนย์กลาง ระหว่างปลายทั้งสองเจาะรูใส่สลักจุดหมุนที่ยึดติดกับฐานเครื่อง ในตำแหน่งก่อนไปทางปลายง่าม ด้านตรงข้ามกับสลักก้านเยื้องศูนย์กลางมีสลักอีกตัวหนึ่งสำหรับเกี่ยวสปริงเยื้องศูนย์กลาง



ภาพประกอบ 51 ส่วนประกอบของก้านเยื้องศูนย์

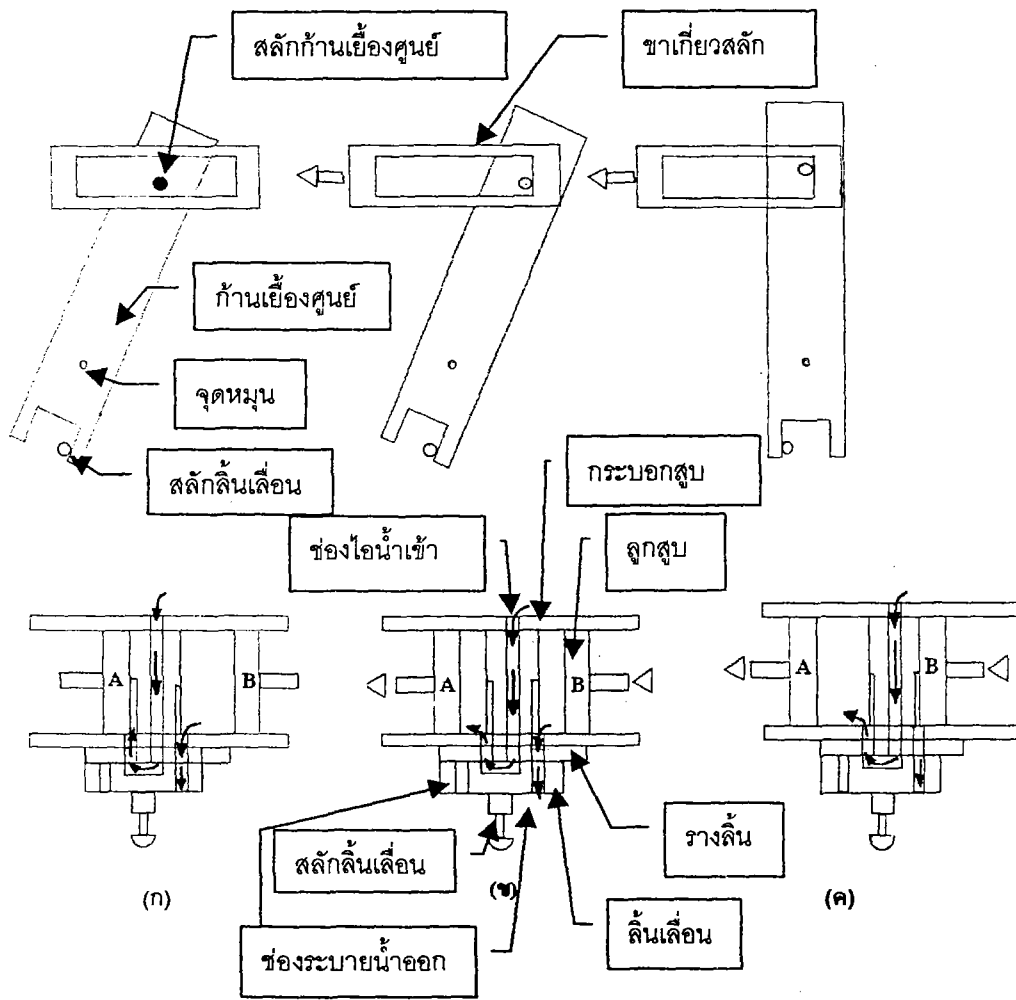
4) กระต๋องกดลื่น มีลักษณะเป็นแท่งเหล็กแบน ปลายด้านหนึ่งกดลงบนลื่นเลื่อน ปลายอีกด้านหนึ่งยึดไว้กับฐานเครื่อง แต่ให้กระต๋องกดลื่นมีอิสระ ตรงกลางกระต๋องกดลื่นเกี่ยวด้วย ลวดสปริง เพื่อดึงกระต๋องให้กดลงบนลื่นเลื่อนตลอดเวลา ซึ่งจะทำให้ลื่นเลื่อนสัมผัสกับรางลื่น และสามารถต่อต้านแรงดันของไอน้ำทำให้ไอน้ำไม่รั่วออกทางลื่น

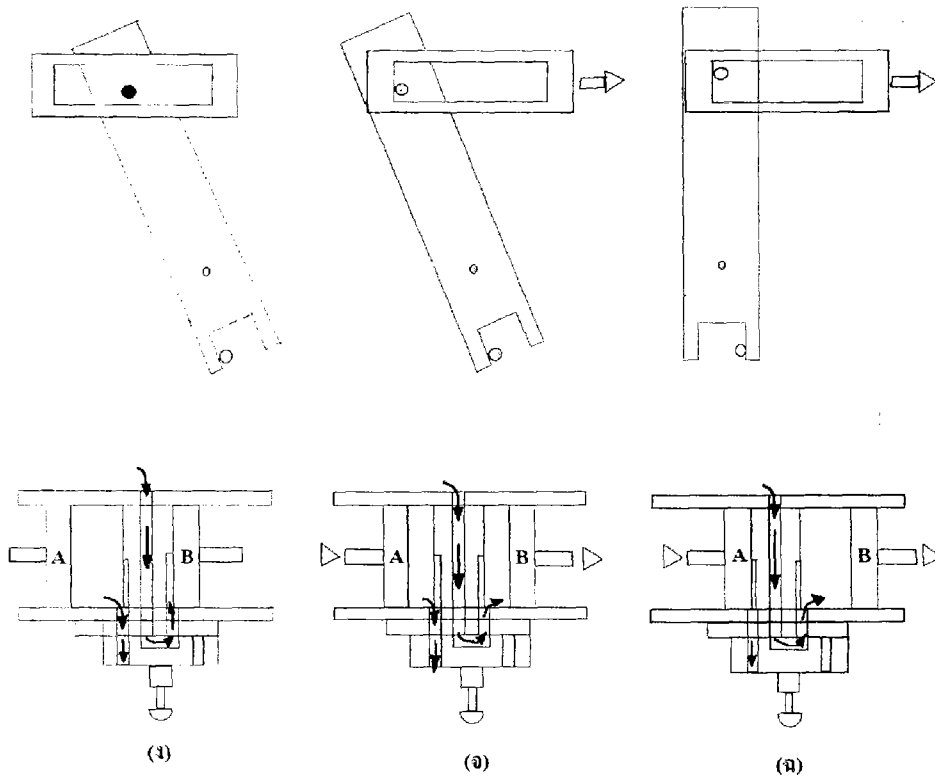


ภาพประกอบ 52 ภาพด้านข้างของเครื่องจักรไอน้ำ

1.1.5 การทำงาน

การทำงานของเครื่องจักรไอน้ำชนิดสองลูกสูบนี้ มี 2 จังหวะ คือ จังหวะกำลังและจังหวะคาย โดยลูกสูบแต่ละลูกสูบจะทำงานสลับจังหวะกันกล่าวคือ ขณะที่ลูกสูบหนึ่งเป็นจังหวะกำลัง อีกลูกสูบหนึ่งจะเป็นจังหวะคาย





ภาพประกอบ 53 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักรไอน้ำ โดยพิจารณาจากการทำงานของ  
 ก้านเยื้องศูนย์ขาเกี่ยวสลักลูกสูบและลิ้นเลื่อน

จังหวะที่ 1 จังหวะกำลัง เป็นจังหวะที่ร่อนลิ้นเลื่อนเคลื่อนที่มาครอบช่องไอน้ำ  
 เข้ากับช่องไอน้ำของกระบอกสูบ ทำให้ไอน้ำเข้าสู่ห้องลูกสูบและดันลูกสูบให้เคลื่อนที่ไป

จังหวะที่ 2 จังหวะคาย เป็นจังหวะที่ช่องระบายไอน้ำออกของลิ้นเลื่อนเคลื่อนที่  
 ไปตรงกับช่องไอน้ำของกระบอกสูบทำให้ไอน้ำในห้องลูกสูบพุ่งออกผ่านทางช่องไอน้ำของกระบอกสูบ  
 ออกทางช่องระบายไอน้ำออกของลิ้นเลื่อนสู่ภายนอก โดยลูกสูบจะเป็นตัวขับให้ไอน้ำพุ่งออกจาก  
 ห้องลูกสูบ

ขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักรไอน้ำ เมื่อพิจารณาจากภาพประกอบ 53 เป็นความ  
 สัมพันธ์ของก้านเยื้องศูนย์ขาเกี่ยวสลัก ลูกสูบและลิ้นเลื่อน ดังนี้

ขั้นที่ 1 ขาเกี่ยวสลักจะเกี่ยวสลักก้านเยื้องศูนย์ เมื่อมาถึงจุดกึ่งกลาง สปริงเยื้อง  
 ศูนย์เคลื่อนนำหน้าขาเกี่ยวสลัก ขณะเดียวกันก้านเยื้องศูนย์ด้านที่เป็นง่ามก็จะเกี่ยวสลักลิ้นเลื่อน ทำให้  
 ลิ้นเลื่อนเลื่อนไปทางลูกสูบ A ซึ่งจะทำให้ลูกสูบ A ทำงานในจังหวะที่ 1 ขณะเดียวกันลูกสูบ B  
 ก็ทำงานในจังหวะที่ 2 (ภาพประกอบ (ก))

ขั้นที่ 2 ขาเกี่ยวสลักเริ่มเคลื่อนที่กลับตามทิศของการเคลื่อนที่ของลูกสูบ จนกระทั่งกลับมาเกี่ยวสลักก้านเยื้องศูนย์อีกครั้งหนึ่ง ลูกสูบ A ยังทำงานในจังหวะที่ 1 และลูกสูบ B ก็ยังทำงานในจังหวะที่ 2 อยู่เช่นเดิม ดังนั้น ขาเกี่ยวสลักก็จะดึงสลักก้านเยื้องศูนย์มาตลอดเวลา (ภาพประกอบ (ข))

ขั้นที่ 3 ขาเกี่ยวสลักจะพา ก้านเยื้องศูนย์มาจนถึงจุดกึ่งกลาง ขาของก้านเยื้องศูนย์ด้านที่เป็นง่ามก็จะเริ่มเกี่ยวสลักลิ้นเลื่อนลูกสูบ A กำลังจะสิ้นสุดการทำงานในจังหวะที่ 1 และลูกสูบ B ก็กำลังจะสิ้นสุดการทำงานในจังหวะที่ 2 เช่นเดียวกัน (ภาพประกอบ (ค))

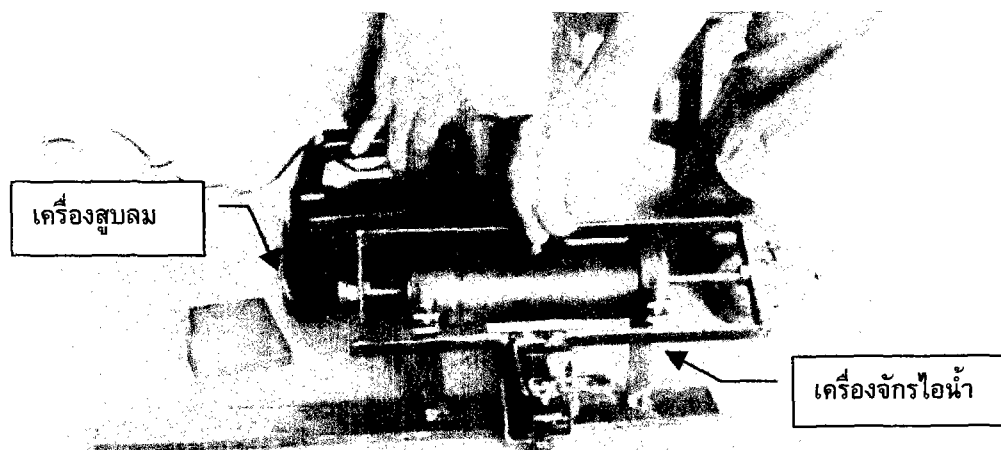
ขั้นที่ 4 จะทำงานเช่นเดียวกันกับขั้นที่ 1 แต่ลิ้นเลื่อนจะเลื่อนไปทางลูกสูบ B ทำให้ลูกสูบ B ทำงานในจังหวะที่ 1 หรือเป็นจังหวะกำลัง ขณะเดียวกันลูกสูบ A ก็จะทำงานในจังหวะที่ 2 หรือเป็นจังหวะคาย (ภาพประกอบ (ง))

ขั้นที่ 5 ทำงานเช่นเดียวกันกับขั้นที่ 2 แต่ลูกสูบ B จะทำงานในจังหวะที่ 1 และลูกสูบ A ทำงานในจังหวะที่ 2 (ภาพประกอบ (จ))

ขั้นที่ 6 ทำงานเช่นเดียวกันกับจังหวะที่ 3 และเป็นจังหวะที่ลูกสูบ B กำลังจะสิ้นสุดการทำงานในจังหวะที่ 1 ลูกสูบ A กำลังจะสิ้นสุดการทำงานในจังหวะที่ 2 (ภาพประกอบ (ฉ))

#### 1.1.6 การทดสอบครั้งที่ 1

เป็นการทดสอบเครื่องจักรไอน้ำ โดยใช้แรงดันลมแทนแรงดันไอน้ำ ปรากฏว่าเครื่องสามารถทำงานได้ ก้านสูบและกรอบยึดลูกสูบเคลื่อนที่กลับไป - กลับมา ตามจังหวะลิ้นเลื่อน



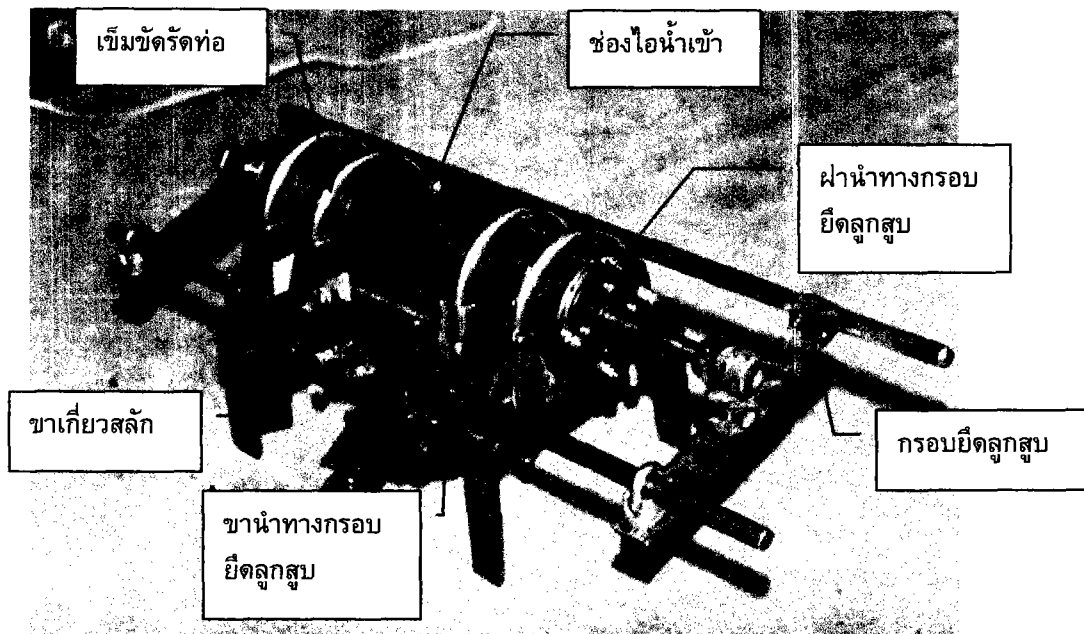
ภาพประกอบ 54 การทดสอบเครื่องจักรไอน้ำโดยใช้เครื่องสูบลม

### 1.1.6.1 ปัญหา จากการทดสอบพบว่า

- 1) การเคลื่อนที่ของลูกสูบในบางจังหวะยังติดขัดอยู่บ้าง
- 2) ขนาดของช่องเกี่ยวสลักของขาเกี่ยวสลักไม่สามารถปรับระยะได้ ทำให้จังหวะการทำงานของลูกสูบคลาดเคลื่อนทำงานได้ไม่เต็มที่
- 3) กระจบอกสูบและชุดเลื่อนลิ้นแยกติดตั้งจึงทำให้เป็นอุปสรรคต่อการติดตั้ง การปรับเครื่องทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ง่าย

### 1.1.6.2 การแก้ไขปรับปรุง

- 1) ทำฝาปิดกระจบอกสูบทั้งสองข้าง เจาะช่องตรงกลางให้พอดีกับก้านสูบเพื่อทำหน้าที่นำทางก้านสูบไม่ให้ก้านสูบโยกไปมาทำให้ลูกสูบติดขัดได้

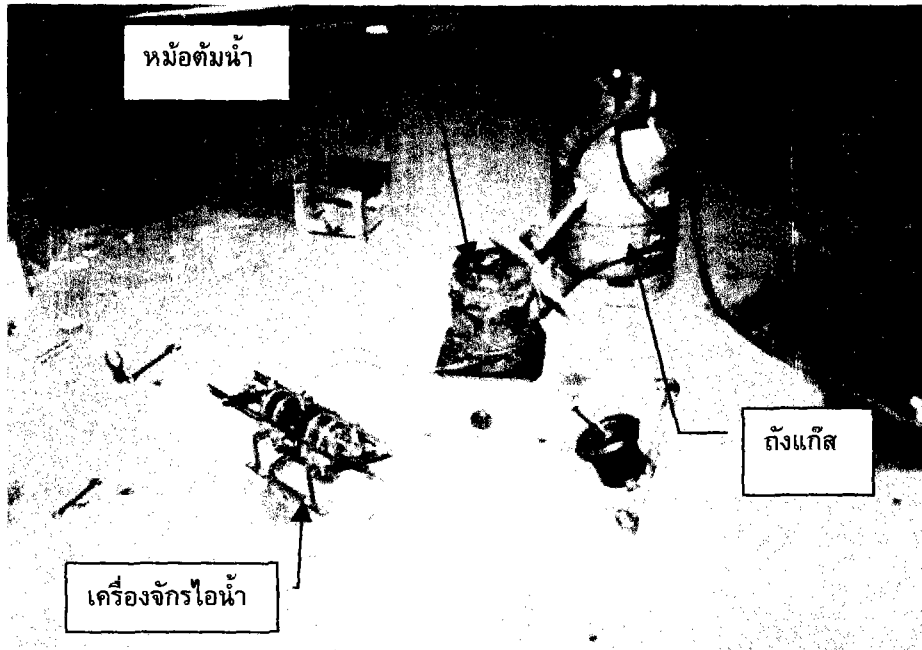


ภาพประกอบ 55 เครื่องจักรไอน้ำหลังจากการปรับปรุงครั้งที่ 1

- 2) ติดตั้งขาเกี่ยวสลักบนกรอบยืดลูกสูบ โดยสามารถปรับตำแหน่งและระยะห่างของขาเกี่ยวสลักทั้งสองขาได้
- 3) ใช้เข็มขัดรัดท่อติดตั้งชุดอุปกรณ์เลื่อนลิ้นบนกระจบอกสูบ ทำให้ง่ายต่อการปรับแต่งเครื่อง
- 4) ติดตั้งขานำทางกรอบยืดลูกสูบ เพื่อให้กรอบยืดลูกสูบเคลื่อนที่อย่างเที่ยงตรง ทำให้ขาเกี่ยวสลักก้านเยื้องศูนย์ทำงานแม่นยำขึ้น

### 1.1.7 การทดสอบครั้งที่ 2

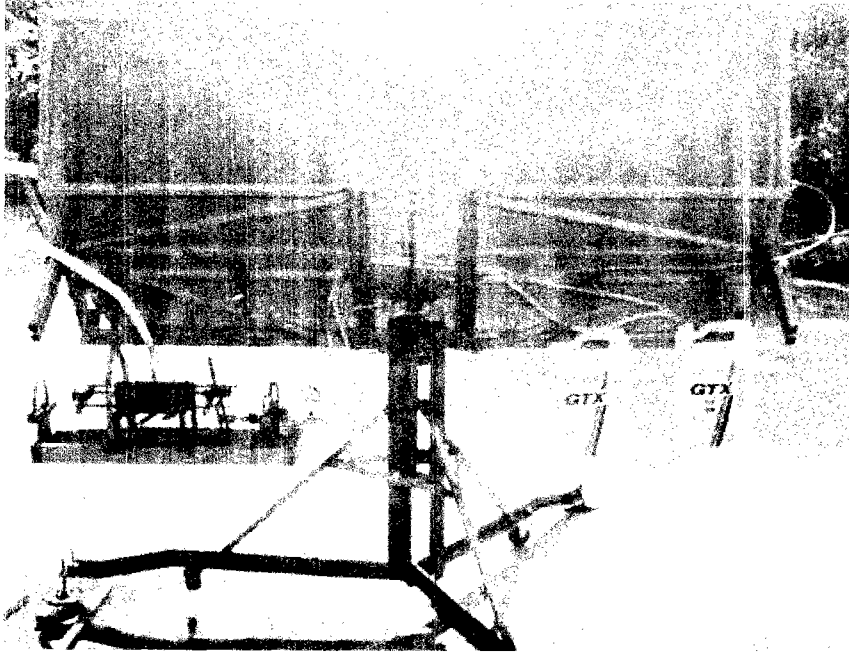
การทดสอบครั้งนี้ เมื่อใช้ความดันลมจากเครื่องปั๊มลมปรากฏว่า เครื่องทำงานได้ดี จึงได้ทำการทดลองกับแรงดันไอน้ำ โดยทำหม้อต้มน้ำที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง เครื่องจักรทำงานได้ดีมีความต่อเนื่อง



ภาพประกอบ 56 การทดสอบเครื่องจักรไอน้ำโดยใช้แรงดันไอน้ำ

### 1.1.8 การทดสอบครั้งที่ 3

นำเครื่องจักรไอน้ำ ไปใช้กับไอน้ำที่ได้จากท่อรวมแสงของแผงรับแสงแบบรวมแสง ปรากฏว่า เครื่องจักรไอน้ำสามารถทำงานได้



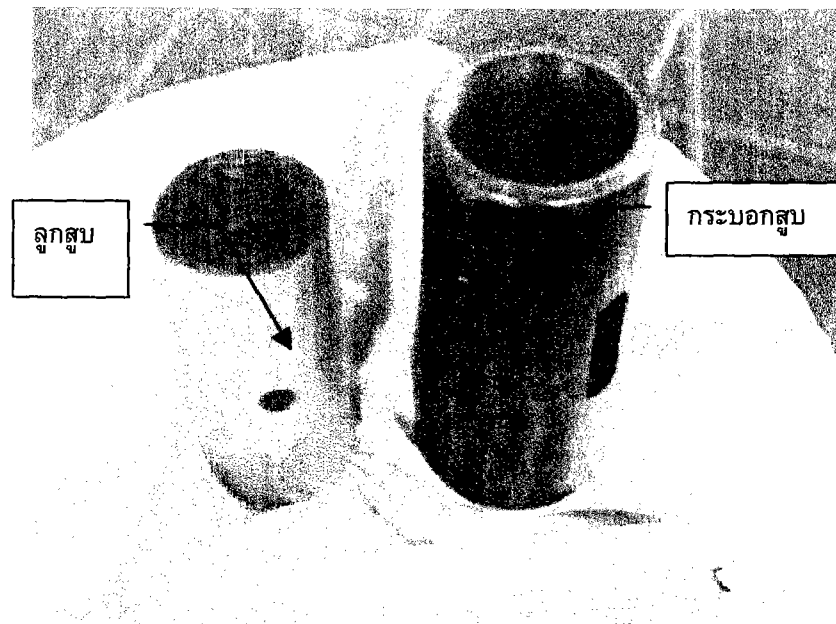
ภาพประกอบ 57 การทำงานของเครื่องจักรไอน้ำโดยใช้แรงดันไอน้ำที่ได้จากท่อรวมแสงของแผงรับแสงแบบรวมแสง

1.1.8.1 ปัญหา จากการทดสอบครั้งนี้พบว่า

- 1) มีไอน้ำรั่วออกทางก้านสูบเพราะลูกสูบหลวม
- 2) เมื่อเปลี่ยนวงแหวนโดยใช้วงแหวนยางสวมเข้ากับลูกสูบสามารถป้องกันการรั่วของไอน้ำได้ แต่ลูกสูบจะมีความผิดสูงทำให้ไอน้ำรั่วออกทางลิ้นเลื่อน เนื่องจากมีความดันในห้องสูบสูง

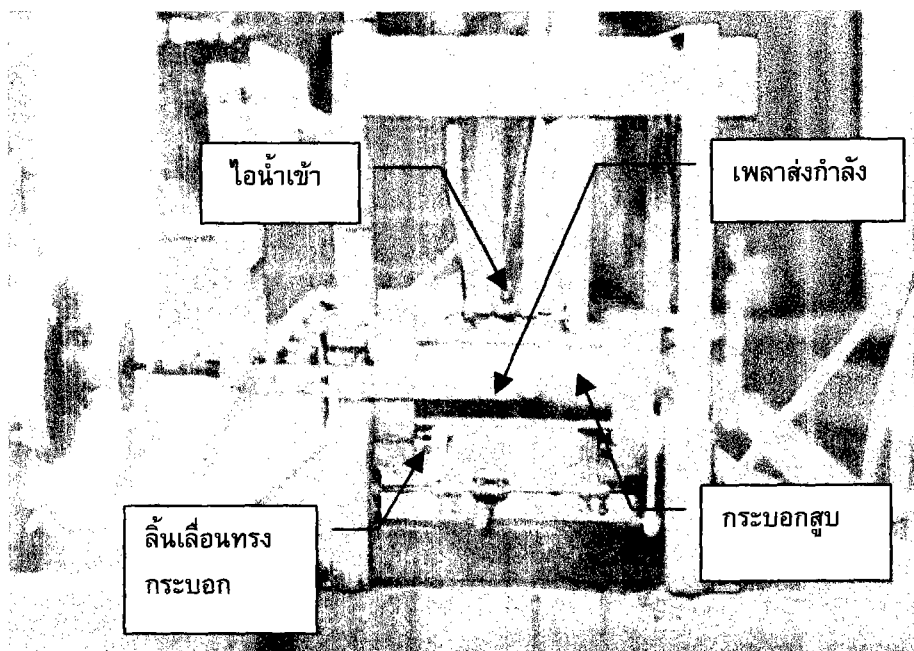
1.1.8.2 การแก้ไขปรับปรุง ในการแก้ไขปรับปรุงเครื่องจักรไอน้ำได้สร้างเครื่องจักรไอน้ำขึ้นมาใหม่ โดยพยายามที่จะแก้ไขข้อบกพร่องของเครื่องแรก ดังนี้

- 1) ครอบอกสูบ มีลักษณะเป็นครอบกวงมีลูกสูบทองเหลืองเคลื่อนที่อยู่ภายในโดยมีเพลาส่งกำลังจากกึ่งกลางลูกสูบและเจาะผ่านครอบอกสูบออกมาภายนอก



ภาพประกอบ 58 กระบอกสูบและลูกสูบของเครื่องจักรไอน้ำชนิดลูกสูบเดี่ยว

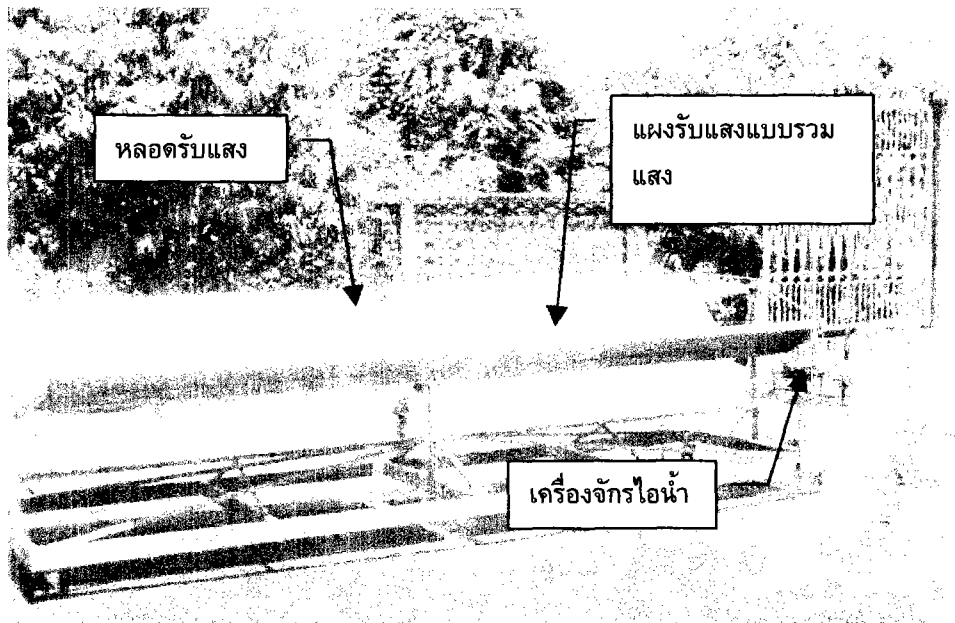
2) ระบบป้อนไอน้ำเข้า - ออกกระบอกสูบ ไอน้ำจะเข้าและออกด้านปลายกระบอกสูบทั้งสองข้าง โดยระบบลื่นลูกสูบทำหน้าที่ปิด - เปิด ช่องเข้า - ออกไอน้ำ



ภาพประกอบ 59 เครื่องจักรไอน้ำชนิดลูกสูบเดี่ยวที่สร้างขึ้น

### 1.1.9 การทดสอบครั้งที่ 4

การทดสอบครั้งนี้เป็นการทดสอบเครื่องจักรไอน้ำชนิดลูกสูบเดี่ยวที่สร้างขึ้นใหม่ จาก การแก้ไขปรับปรุงในการทดสอบครั้งที่ 3 โดยได้นำไปทดสอบกับแผงรับแสงแบบรวมแสงสองแผงต่อกัน ผลปรากฏว่า เครื่องจักรสามารถทำงานได้



ภาพประกอบ 60 การทดสอบเครื่องจักรไอน้ำชนิดลูกสูบเดี่ยวกับแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมแสงสองแผง

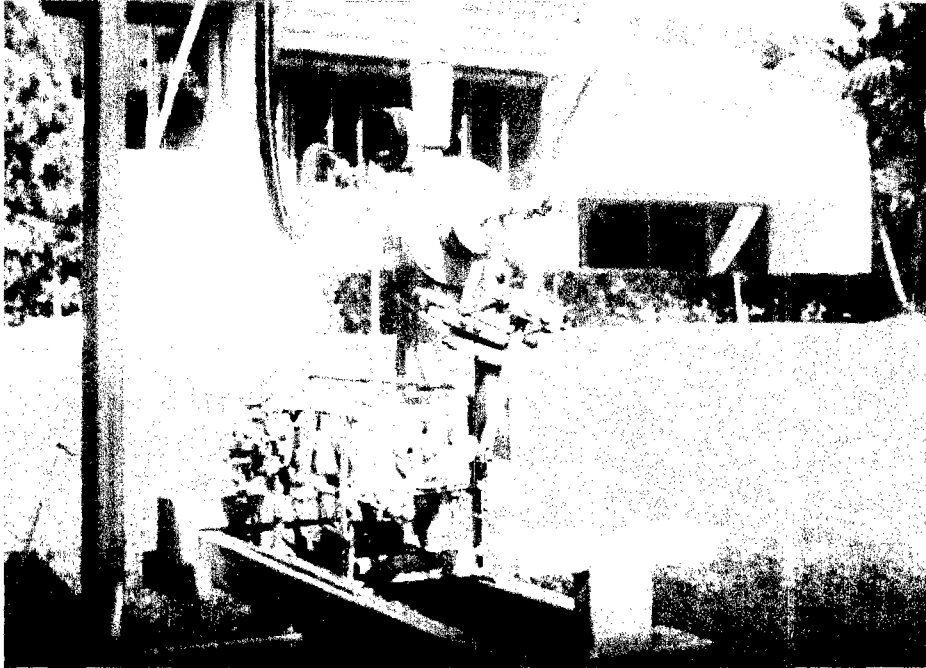
1.1.9.1 ปัญหา หลังจากการทดสอบแล้ว ปรากฏว่ายังมีปัญหาในการทำงานอยู่ดังนี้

- 1) การเคลื่อนที่ของลูกสูบช้า ทำให้จำนวนรอบของการทำงานของลูกสูบช้า เนื่องจากลูกสูบล้มมวลมาก
- 2) การรั่วของไอน้ำที่ล้นลูกสูบเกิดขึ้นมาก เนื่องจากเมื่อล้นทำงานเคลื่อนที่ไปมาทำให้เกิดการสีกหรือ
- 3) การปิด - เปิดของล้นลูกสูบไม่เที่ยงตรงเมื่อความถี่ในการทำงานสูง ๆ

1.1.9.2 การแก้ไขปรับปรุง ได้นำเครื่องแรกที่สร้างนำมาปรับปรุงข้อบกพร่องในบางส่วน ดังนี้

- 1) ใช้เส้นด้ายพันรอบลูกสูบในร่องแหวนแทนวงแหวนยางทำให้อุดรอยรั่วระหว่างลูกสูบกับกระบอกสูบได้ดีพอสมควรและมีความฝืดน้อยลง
- 2) ติดตั้งเซ็นควาล์วสำหรับหยุดน้ำมันหล่อลื่นลูกสูบ

3) ปรับปรุงระบบการเคลื่อนลิ้นเลื่อนใหม่ โดยต่อก้านลิ้นเลื่อนออกมาข้างนอกทำให้การปรับการทำงานของลิ้นเลื่อนและลูกสูบมีความเที่ยงตรงมากขึ้น



ภาพประกอบ 61 เครื่องจักรไอน้ำที่ได้รับการปรับปรุงเสร็จสิ้นและนำมาใช้ในการทดลองในงานวิจัย

## 1.2 เครื่องสูบน้ำ

### 1.2.1 การศึกษาเอกสาร

เครื่องสูบน้ำหรือปั๊ม เป็นเครื่องมือที่ใช้สูบของไหลจากจุดที่มีเฮดความดันต่ำไปยังตำแหน่งที่มีเฮดความดันสูงกว่าเดิม แต่โดยธรรมชาติของของไหลทุกชนิดจะไหลจากจุดที่มีเฮดความดันสูงไปยังจุดที่มีเฮดความดันต่ำเสมอ ดังนั้นการที่จะทำให้ของไหลไหลจากจุดที่มีเฮดความดันต่ำไปยังตำแหน่งที่มีเฮดความดันสูง เช่น การสูบน้ำขึ้นถังสูง จึงต้องให้พลังงานกลกับน้ำทำให้น้ำมีความเร็วไหลขึ้นถังสูงได้ เครื่องสูบน้ำจะมีสองด้าน คือ ด้านดูดและด้านปล่อย

การจำแนกประเภทของเครื่องสูบน้ำตามหลักการทำงานของเครื่องสูบน้ำ แบ่งได้ 2 ชนิด คือ

1) เครื่องสูบน้ำอัด (positive displacement pumps) เป็นเครื่องสูบน้ำที่ดันให้ของเหลวเคลื่อนที่ออกทางท่อปล่อยด้วยปริมาณและการเคลื่อนที่ที่แน่นอน นั่นคือทุก ๆ รอบของการเคลื่อนที่จะได้ปริมาตรของของเหลวเท่ากันเสมอ เครื่องสูบน้ำอัดแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ เครื่องสูบน้ำอัดกระแทกกลับและเครื่องสูบน้ำอัดแบบหมุนทางเดียว

2) เครื่องสูบน้ำพลวัต (dynamic pumps) เป็นเครื่องสูบน้ำที่ทำงานโดยการเร่งให้ของเหลวมีความเร็วเพิ่มขึ้นหรือเพิ่มโมเมนตัมของของเหลวที่เข้าเครื่องสูบน้ำให้สูงขึ้นโดยใบพัดของเครื่องสูบน้ำ ความเร็วที่เพิ่มขึ้นนี้จะเปลี่ยนเป็นรูปของความดัน ทำให้อของเหลวไหลผ่านเครื่องสูบน้ำไปได้ จึงเรียกเครื่องสูบน้ำที่มีหลักการทำงานเช่นนี้ว่า "เครื่องสูบน้ำพลวัต" ซึ่งแบ่งตามลักษณะการไหลของของเหลวได้ 3 แบบ

คือ การไหลตามแนวรัศมี การไหลตามแนวแกนหมุน และการไหลแบบผสม แบบที่ใช้กันมากและรู้จักกันทั่วไป คือ เครื่องสูบน้ำศูนย์กลางหรือเครื่องสูบน้ำหอยโข่ง ซึ่งเป็นแบบการไหลตามแนวรัศมี

### 1.2.2 การออกแบบ

1.2.2.1 หลักการ การสร้างเครื่องสูบน้ำจะต้องให้มีขนาดที่เหมาะสมสอดคล้องกับเครื่องจักรไอน้ำและสามารถทำงานได้ทันทีที่เครื่องจักรไอน้ำทำงาน มีแรงเสียดทานต่ำ ใช้พลังงานในการสูบน้ำเหมาะสมกับเครื่องจักรไอน้ำ

สามารถสร้างได้เองโดยใช้วัสดุในท้องถิ่น มีความทนทานต่อการใช้งานเพราะจะต้องนำไปติดตั้งกลางแจ้ง

1.2.2.2 การคำนวณ การเลือกแบบในการสร้างเครื่องสูบน้ำในการวิจัยครั้งนี้เป็นเครื่องสูบน้ำชนิดเครื่องสูบน้ำอัด ประเภทเครื่องสูบน้ำอัดกระแทกกลับ ลักษณะลูกสูบจุ่ม แบบเครื่องสูบน้ำกระแทกเดี่ยว และกำหนดให้เสตสแตติกรวม 3 เมตร ในที่นี้จะกำหนดให้เป็นเสตของเครื่องสูบน้ำด้วยเพราะเสตชนิดอื่น ๆ ถือว่ามีค่าน้อย

$$\text{จาก} \quad h = \frac{p}{\rho}$$

$$p = h\rho$$

|             |  |     |   |
|-------------|--|-----|---|
| เมื่อ       | $h$                                      | คือ | เสต มีหน่วยเป็น เมตร                                  |
|             | $p$                                      | คือ | ความดัน มีหน่วยเป็น นิวตันต่อตารางเมตร                |
|             | $\rho$                                   | คือ | ความหนาแน่นของน้ำ มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร |
| ถ้ากำหนดให้ | $h = 3 \text{ m}$                        |     |   |
|             | $\rho = 1 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ |     |   |
|             | $p = (3) (1 \times 10^3)$                |     |   |
|             | $= 3 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$      |     |   |
| หรือ        | $p = 3 \times 10^4 \text{ N m}^{-3}$     |     |   |

การคำนวณหาปริมาณของน้ำ

เนื่องจากเครื่องสูบน้ำที่สร้างขึ้นเป็นเครื่องสูบน้ำที่มีลักษณะเป็นลูกสูบจุ่ม แบบเครื่องสูบน้ำกระแทกเดี่ยว นั่นคือ สามารถอัดปล่อยได้หนึ่งครั้งในการเคลื่อนที่ของลูกสูบหนึ่งรอบ ปริมาณของน้ำที่สูบน้ำได้ในหนึ่งรอบของการทำงานหาได้จาก

$$\text{ปริมาณน้ำที่สูบน้ำได้} = \text{พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ} \times \text{ระยะชักของลูกสูบ}$$

$$v = Al$$

เครื่องที่สร้างขึ้นมีข้อกำหนดเฉพาะดังนี้

$$A = \text{เป็นพื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ} = 8.04 \text{ เซนติเมตร}$$

$$l = \text{เป็นระยะชักลูกสูบ} = 9.50 \text{ เซนติเมตร}$$

$v$  = เป็นปริมาณน้ำที่สูบได้ในหนึ่งรอบของการทำงาน

ดังนั้น  $v$  =  $8.04 \times 4.50$  ลูกบาศก์เซนติเมตร

นั่นคือ ปริมาณน้ำที่สูบได้ในแต่ละรอบ จึงมีค่าเท่ากับ  $36.19$  ลูกบาศก์เซนติเมตร ( $\text{cm}^3$ )

### 1.2.3 วัสดุอุปกรณ์

#### 1.2.3.1 รายการวัสดุ ตามตาราง 2

ตาราง 2 รายการวัสดุเครื่องสูบน้ำ

| ที่ | รายการ  | จำนวน     | หมายเหตุ                         |
|-----|---|-----------|----------------------------------|
| 1   | ท่อเหล็กทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 8.80 เซนติเมตร ภายใน 8.00 เซนติเมตร ยาว 8.00 เซนติเมตร | 1 ท่อน    | ใช้ทำห้องสูบ                     |
| 2   | แผ่นเหล็กกลมเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 8.80 เซนติเมตร หนา 0.50 เซนติเมตร                            | 1 แผ่น    | ใช้ปิดห้องสูบ                    |
| 3   | วงแหวนเหล็ก เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 12.00 เซนติเมตร ภายใน 8.00 เซนติเมตร หนา 0.50 เซนติเมตร      | 1 วง      | ใช้ทำหน้าแปนห้องสูบ              |
| 4   | วงแหวนเหล็ก เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 12.00 เซนติเมตร ภายใน 3.20 เซนติเมตร หนา 0.50 เซนติเมตร      | 1 วง      | ให้ทำหน้าแปนและเป็นช่องลูกสูบ    |
| 5   | วงแหวนเหล็ก เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 6.00 เซนติเมตร ภายใน 3.20 เซนติเมตร หนา 1.50 เซนติเมตร       | 1 วง      | ใช้ทำฝาเกลียวอัดวงแหวนยางกันรั่ว |
| 6   | แท่งทองเหลืองทรงกระบอกตันเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.20 เซนติเมตร ยาว 7.00 เซนติเมตร                     | 1 ท่อน    | ใช้ทำลูกสูบ                      |
| 7   | เช็ควาล์ว และท่อต่อปลายเกลียว   | 7 ตัว     |                                  |
| 8   | มาตรน้ำ   | 1 เครื่อง |                                  |
| 9   | ท่อน้ำและข้อต่อต่าง ๆ   | 1 ชุด     |                                  |
| 10  | วงแหวนยาง เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 3.80 เซนติเมตร ภายใน 3.20 เซนติเมตร                            | 1 วง      |                                  |
| 11  | ขวดน้ำอัดลม   | 1 ขวด     | ใช้ทำห้องลมอัด                   |
| 12  | มาตรความดัน   | 1 เครื่อง |                                  |

#### 1.2.3.2 เครื่องมือ เครื่องมือจำเป็นต้องใช้ได้แก่

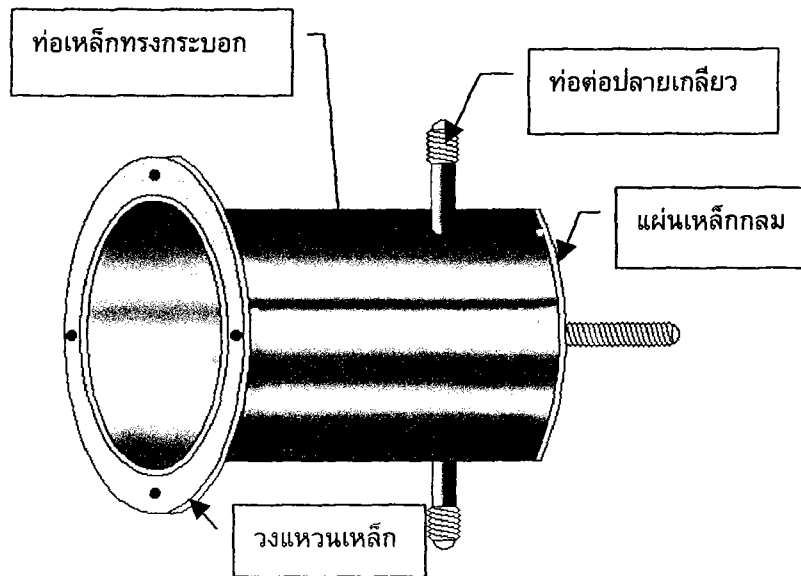
- 1) เครื่องกลึงโลหะ
- 2) ตู้เชื่อมไฟฟ้า
- 3) สว่านและดอกสว่าน
- 4) ประแจ

### 1.2.4 วิธีสร้าง

การสร้างเครื่องสูบน้ำมีขั้นตอนที่สำคัญดังนี้

1.2.4.1 นำแผ่นเหล็กกลม (รายการที่ 2 ข้อ 1.2.3.1) ไปปิดปลายท่อเหล็กทรงกระบอก (รายการที่ 1 ข้อ 1.2.3.1) แล้วเชื่อมโดยรอบ

1.2.4.2 นำวงแหวนเหล็ก (รายการที่ 3 ข้อ 1.2.3.1) ไปสวมเข้ากับท่อเหล็กทรงกระบอกที่ปลายด้านหนึ่ง แล้วเชื่อมให้วงแหวนติดกับท่อเหล็กเป็นหน้าแปลนสำหรับยึดกับหน้าแปลนของช่องลูกสูบ



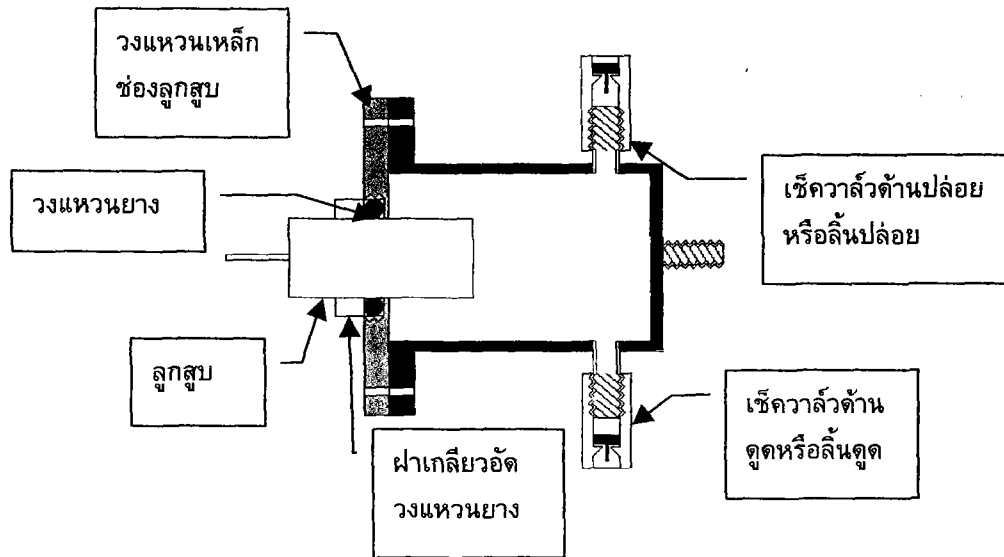
ภาพประกอบ 62 ห้องสูบของเครื่องสูบน้ำ

1.2.4.3 เจาะรูห้องสูบ 2 รู ตรงข้ามกันแล้วนำท่อต่อปลายเกลียวมาเชื่อมติด ใช้สำหรับติดตั้งเซ็นควาล์ว

1.2.4.4 นำวงแหวนเหล็ก (รายการที่ 4 ข้อ 1.2.3.1) มากิ่งทำร่องวงแหวนยางและทำเกลียว เพื่อทำเป็นช่องลูกสูบ

1.2.4.5 นำวงแหวนเหล็ก (รายการที่ 5 ข้อ 1.2.3.1) มากิ่งเป็นฝาและทำเกลียวอัดเข้าไปในร่องวงแหวนยางให้สวมเข้าได้พอดีกับเกลียวในข้อ 1.2.4.4

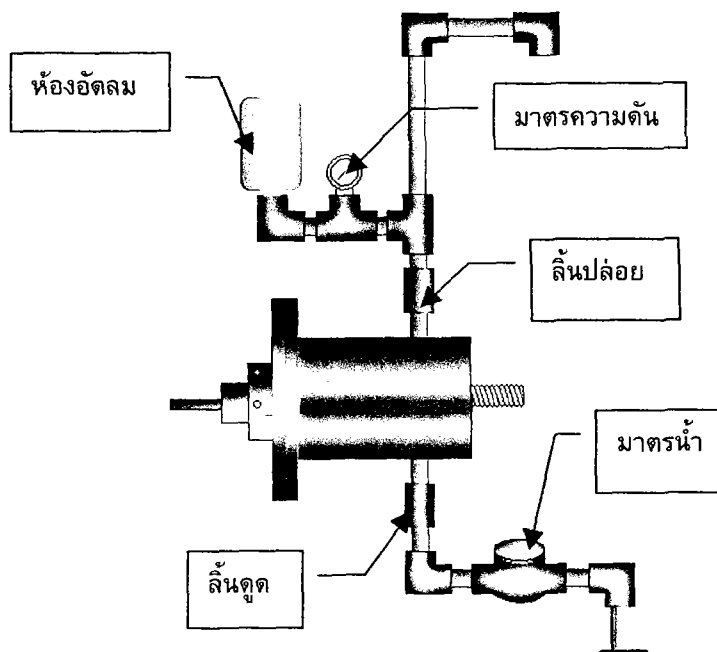
1.2.4.6 กิ่งลูกสูบทองเหลืองให้กลมสวมเข้าพอดีกับช่องลูกสูบ



ภาพประกอบ 63 ส่วนประกอบภายในของเครื่องสูบน้ำหรือปั้มน้ำ

1.2.4.7 นำขวดน้ำอัดลมต่อกับช่องพลาสติกเป็นห้องอัดลมและต่อเชื่อมกับมาตรความดัน แล้วนำไปต่อกับล้นปล่อยทางต้านปล่อย

1.2.4.8 นำมาตรน้ำไปต่อกับล้นตูดทางด้านตูดเพื่อวัดปริมาณน้ำ

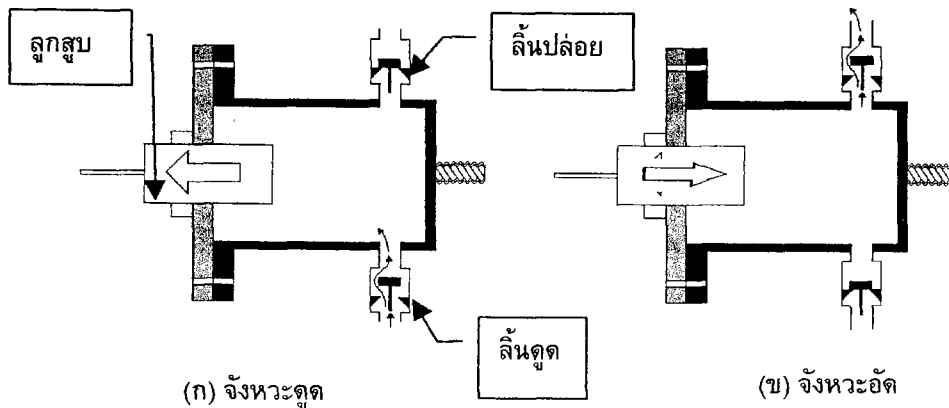


ภาพประกอบ 64 เครื่องสูบน้ำที่ต่อเชื่อมกับอุปกรณ์ต่าง ๆ

### 1.2.5 การทำงาน

เครื่องสูบน้ำที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้เรียกว่าเครื่องสูบน้ำประเภทเดี่ยว เป็นเครื่องสูบน้ำอัตโนมัติแบบลูกสูบจุ่ม มีการทำงาน 2 จังหวะ ดังนี้

จังหวะที่ 1 จังหวะดูด เป็นจังหวะที่ลูกสูบเคลื่อนที่ออกจากห้องสูบน้ำทำให้ห้องสูบน้ำมีปริมาตรมากขึ้น ความดันภายในห้องสูบน้ำลดลง ความดันจากภายนอกมากกว่าจะดันให้น้ำไหลผ่านลิ้นดูดซึ่งจะเปิดออกเข้าไปยังห้องสูบน้ำ ด้วยปริมาตรเท่ากับ พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ คูณด้วยระยะชักของลูกสูบ ลิ้นปล่อยจะปิด เรียกว่า จังหวะดูด



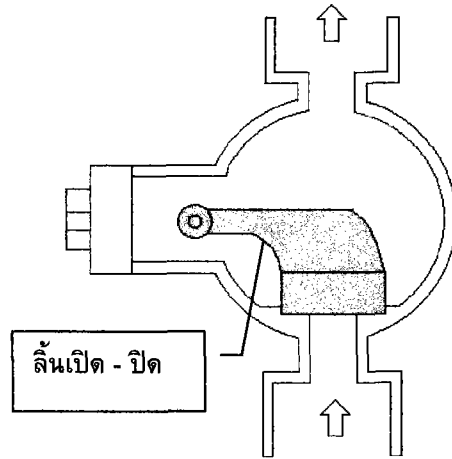
ภาพประกอบ 65 จังหวะการทำงานของเครื่องสูบน้ำ

จังหวะที่ 2 จังหวะอัด เป็นจังหวะที่ลูกสูบเคลื่อนที่เข้าไปในห้องสูบน้ำทำให้ปริมาตรในห้องสูบน้ำลดลง น้ำในห้องสูบน้ำจะมีความดันสูงขึ้น ดันให้ลิ้นดูดปิดและลิ้นปล่อยเปิด ทำให้น้ำไหลออกทางลิ้นปล่อย เรียกว่า จังหวะอัด

### 1.2.6 การทดสอบครั้งที่ 1

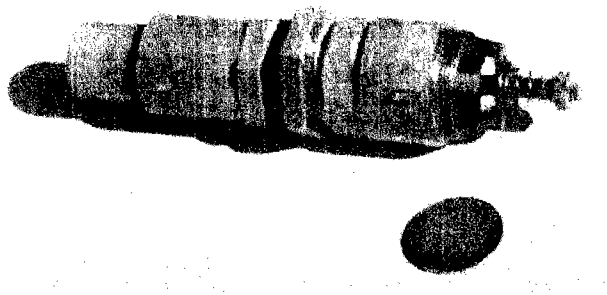
ในการทดลองครั้งนี้ ได้ทดสอบกับเครื่องจักรไอน้ำ เป็นต้นกำลังให้กับเครื่องสูบน้ำปรากฏว่า ลูกสูบทำงานได้ดีและต้องหยุดน้ำมันหล่อลื่นให้ลูกสูบสม่ำเสมอ น้ำไม่รั่ว

1.2.6.1 ปัญหา ลิ้นเปิด - ปิดของเช็ควาล์ว ทำงานช้า เพราะลิ้นจะเปิด - ปิดตามแรงดันของน้ำถ้าเครื่องจักรไอน้ำทำงานด้วยความถี่สูง ลิ้นจะปิดไม่ทันทำให้น้ำไหลย้อนกลับได้



ภาพประกอบ 66 เซ็คควาล์วลิ้นกระเดื่อง

1.2.6.2 การแก้ไขปรับปรุง เพื่อให้การเปิด - ปิด ของลิ้นของเซ็คควาล์วมีความไวต่อการทำงานและเที่ยงตรงขึ้นได้ทำการแก้ไขโดยติดสปริงที่ลิ้น สปริงจะช่วยให้การปิดดีขึ้น ส่วนการเปิดก็ใช้แรงดันน้ำตามปกติ



ภาพประกอบ 67 เซ็คควาล์วที่ปรับปรุงแล้ว

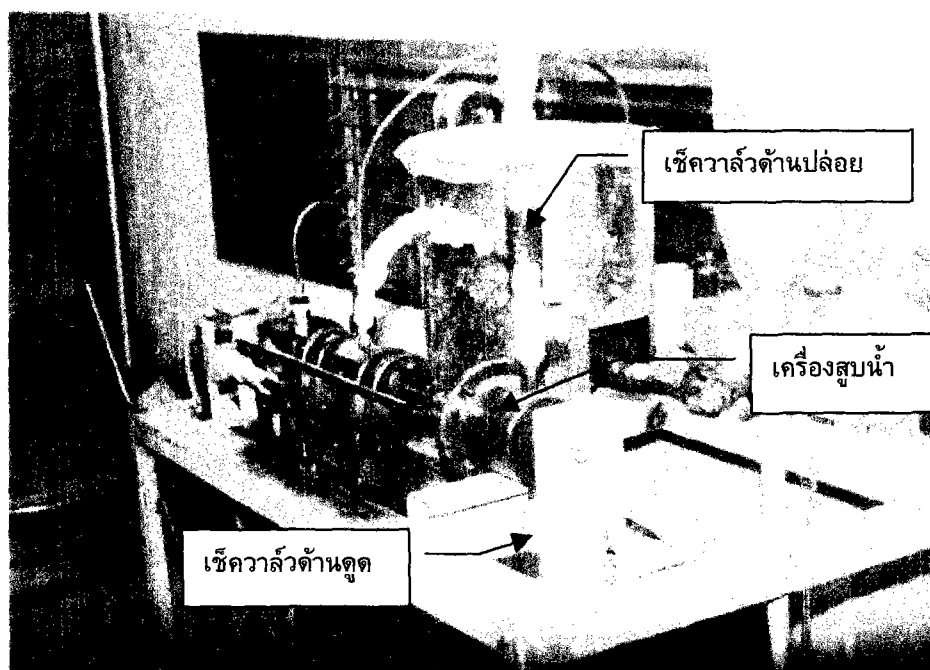
### 1.2.7 การทดสอบครั้งที่ 2

การทดสอบครั้งนี้ใช้เครื่องจักรไอน้ำที่ได้ไอน้ำจากหม้อน้ำที่ต้มด้วยเตาแก๊ส ผลปรากฏว่า

1.2.7.1 เครื่องสูบน้ำ ทำงานได้ดี น้ำไม่รั่วออกทางลูกสูบเพราะสามารถปรับได้ ฝาเกลียว  
อึดวางแหวนยาง

1.2.7.2 ลิ้นเปิด – ปิดของเช็ควาล์ว มีความไวต่อการไหลของน้ำ เปิด – ปิด เทียงตรง  
และสนิทไม่รั่วซึม ทำให้น้ำค้างอยู่ในระบบได้นาน ซึ่งจะทำให้การเริ่มต้นสูบน้ำกระทำได้ดีทันทีเมื่อเครื่อง  
จักรไอน้ำทำงาน

ดังนั้นหลังจากการทดสอบครั้งนี้ก็สามารถนำเครื่องสูบน้ำนี้ไปใช้ในการวิจัย



ภาพประกอบ 68 การทดสอบการทำงานของเครื่องสูบน้ำ

## 1.3 แผงรับแสง

### 1.3.1 การศึกษาเอกสาร

แผงรับแสง คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ให้อยู่ในรูปของพลังงาน  
ความร้อน โดยทั่วไปมีอยู่ 2 แบบ คือ

1.3.1.1 แผงรับแสงแบบแผ่นราบ (flat – plate solar collectors) จะนำมาใช้เมื่อต้องการ  
ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงอุณหภูมิต่ำไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส ส่วนใหญ่จะใช้ในการทำน้ำร้อน  
และการตากแห้ง ประกอบด้วยส่วนสำคัญ คือ ผิวดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์และของไหลทำงาน  
(working fluid) โดยปกติมักจะเป็นอากาศหรือน้ำ เมื่อผิวดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ก็จะเป็นความร้อนและจะถ่ายเทไปยังของไหลทำงาน ความเข้มของพลังงานบนแผงรับแสงแบบนี้นอกจากจะขึ้นอยู่กับ

ความสามารถในการดูดกลืนของผิวดูดกลืนรังสีแล้วยังขึ้นอยู่กับ การป้องกันการสูญเสียพลังงานและทิศทางการติดตั้งมุมรับแสงของแผงด้วย

1.3.1.2 แผงรับแสงแบบรวมแสง (concentrating solar collectors) เมื่อต้องการทำให้ของไหลทำงานมีอุณหภูมิสูง ตั้งแต่ 500 องศาเซลเซียสขึ้นไป จำเป็นจะต้องทำให้แสงความเข้มสูงซึ่งสามารถทำได้โดยการรวมแสงจากพื้นที่ที่กว้างไปยังพื้นที่เล็กลง แผงรับแสงชนิดนี้จะสามารถใช้งานได้กับรังสีตรงเท่านั้น แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1) แผงรวมแสงแบบพาราโบล่า (parabolic concentrating) ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ตัวสะท้อนแสง (reflectors) ซึ่งอาจจะเป็นกระจกเงาหรือแผ่นสะท้อนแสงอื่น ๆ และตัวรับแสง หรือ ตัวดูดกลืน (absorbers) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานความร้อนแล้วถ่ายเทไปยังของไหลทำงาน แผงรวมแสงแบบพาราโบล่ายังแบ่งได้อีก 2 แบบ

1) จานรวมแสงพาราโบล่า เป็นแผงที่รวมแสงไปรวมกันที่จุดโฟกัสของจานทรงพาราโบล่า

2) รางรวมแสงพาราโบล่า เป็นแผงที่สะท้อนแสงขนานเข้าสู่แนวโฟกัสซึ่งเป็นตำแหน่งที่วางตัวดูดกลืนแสง

2) แผงรวมแสงแบบแผ่นราบสะท้อนแสง (flat reflectors) เป็นการรวมแสงจากแผ่นสะท้อนแสงแผ่นราบหลาย ๆ แผ่น ที่วางทำมุมกับรังสีดวงอาทิตย์ในตำแหน่งที่แสงสะท้อนไปรวมกันที่ตัวดูดกลืนพอดี แผ่นสะท้อนแสงเหล่านี้ เรียกว่า เฮลิโอสแตต (heliostats)

### 1.3.2 การออกแบบ

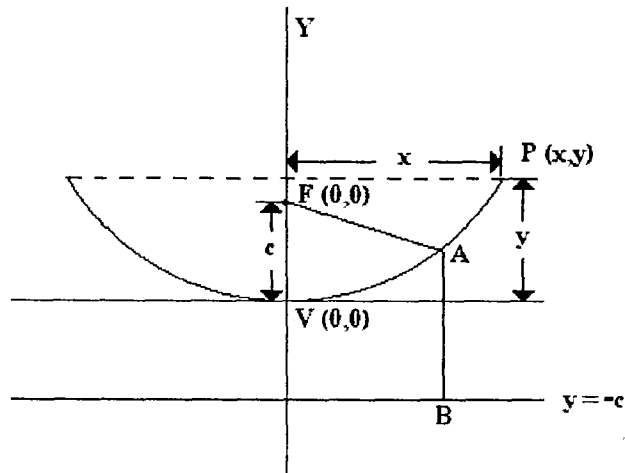
1.3.2.1 หลักการ แผงรับแสง จะเป็นชนิดรวมแสง ประเภทที่ตัวสะท้อนแสงเป็นพาราโบล่า แบบรางรวมแสงสามารถรวมพลังงานแสงอาทิตย์ให้มีพลังงานและความเข้มมากพอที่จะทำให้น้ำกลายเป็นไอไปต้มน้ำของเครื่องจักรไอน้ำทำให้เครื่องจักรไอน้ำทำงานได้

มีกลไกในการเคลื่อนย้ายการปรับทิศทางและตำแหน่งของการรับรังสีดวงอาทิตย์ได้ง่ายและรวดเร็ว มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะทำให้แผ่นสะท้อนแสงคงสภาพการใช้งานอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในส่วนของหลอดรับแสง ประกอบด้วย ท่อดูดกลืนแสง ต้องเป็นท่อโลหะที่นำความร้อนได้ดีทนต่อแรงดันสูงมีขนาดที่สามารถบรรจุน้ำได้มากพอสมควร ผิวโลหะสามารถติดแน่นกับสีดำด้านได้ดี อีกส่วนหนึ่ง คือ หลอดแก้วที่ใช้สวมหุ้มท่อดูดกลืนแสง เพื่อป้องกันการพาความร้อนของท่อดูดกลืนแสง

1.3.2.2 การคำนวณ การคำนวณเพื่อสร้างแผงรับแสงแบบรางรวมแสงพาราโบล่า มีดังนี้ การคำนวณเพื่อสร้างรูปพาราโบล่าที่เหมาะสมกับแผ่นสะท้อนแสงปริมาณพลังงานที่หลอดรับแสงจะได้รับ

พาราโบล่า คือ เซตของจุดทุกจุดบนระนาบ ซึ่งอยู่ห่างจากเส้นคงที่เส้นหนึ่ง และจุดคงที่จุดหนึ่งเป็นระยะทางเท่ากันเสมอ



ภาพประกอบ 69 ลักษณะของรูปพาราโบลา

เส้นตรงที่เรียกว่า เส้นไดเรกตริกซ์  $y = -c$

จุดคงที่เรียกว่า จุดโฟกัส คือ  $F(0, c)$  หรือ ระยะโฟกัส  $(f) = c$

นั่นคือ  $FA = AB$  ตลอดเส้นทางที่  $A$  เคลื่อนที่ไปตามเส้นโค้งพาราโบลา

ที่จุดยอด (vertex) คือ  $v(0, 0)$  จะได้

สมการไดเรกตริกซ์ :  $y = -c$

สมการแกนพาราโบลา :  $x = 0$

สมการพาราโบลาเมื่อ  $c > 0$  คือ

$$x^2 = 4cy$$

หรือ

$$y = \frac{x^2}{4c} = \frac{x^2}{4f}$$

จากการพิจารณาความเหมาะสมในด้านขนาดของกระจกสะท้อนแสง ความเข้มของแสงที่ได้ โอกาสที่เกิดความคลาดเคลื่อนของรังสีที่จะสะท้อนไปตกบนหลอดรับแสง การเก็บรักษาแสงในการวิจัยครั้งนี้จึงเลือกความยาวโฟกัสหรือระบบโฟกัสของพาราโบลาเท่ากับ 30 เซนติเมตร

ดังนั้น สมการพาราโบลาของกระจกสะท้อนแสง จึงเป็น

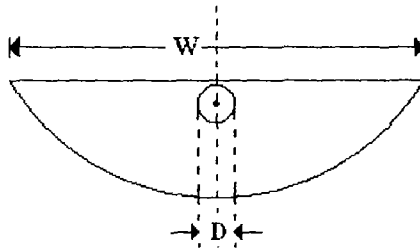
$$y = \frac{x^2}{(4)(30)}$$

|                       |
|-----------------------|
| $y = \frac{x^2}{120}$ |
|-----------------------|

การคำนวณสัดส่วนความเข้มแสงของแผงรวมแสงแบบรางรวมแสงพาราโบลา

จาก 
$$C = \frac{W}{\pi D}$$

เมื่อ C = สัดส่วนความเข้มแสง  
 W = ความกว้างของแผงรับแสง  
 D = เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อดูดกลืนแสง



ภาพประกอบ 70 ภาพตัดขวางของรางรวมแสงพาราโบลา

ในการวิจัยครั้งนี้ ได้ความกว้างของแผงรับแสง (W) เท่ากับ 109.50 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของท่อดูดกลืนแสง (D) เท่ากับ 2.54 เซนติเมตร ดังนั้นจึงได้ สัดส่วนความเข้มแสง (C) เป็น

$$c = \frac{109.50}{2.54\pi} = 13.72$$

### 1.3.3 วัสดุอุปกรณ์

#### 1.3.3.1 รายการวัสดุ ตามตาราง 3

#### ตาราง 3 รายการวัสดุแผนผังรับแสง

| ที่ | รายการ   | จำนวน  | หมายเหตุ                    |
|-----|--|--------|-----------------------------|
|     | แผนผังรับแสง   |        |                             |
| 1   | กระดาษกราฟ   | 2 แผ่น | ใช้เขียนกราฟพาราโบลา        |
| 2   | ไม้อัดหนา 6 มิลลิเมตร  | 1 แผ่น | ทำแบบพาราโบลา               |
| 3   | กระจกเงาพลาสติก กว้าง 120 เซนติเมตร ยาว 184 เซนติเมตร                  | 1 แผ่น |                             |
| 4   | ท่อเหล็กสี่เหลี่ยม หรือ เหล็กกล่องไม้ขีด 1" x 2" ยาว 39 เซนติเมตร      | 6 ท่อน | ใช้ทำโครงพาราโบลา           |
| 5   | ท่อเหล็กสี่เหลี่ยม หรือ เหล็กกล่องไม้ขีด 1" x 2" ยาว 59 เซนติเมตร      | 3 ท่อน |                             |
| 6   | ท่อเหล็กสี่เหลี่ยม 1" x 1" ยาว 180 เซนติเมตร                           | 5 ท่อน | ยึดโครงพาราโบลา             |
| 7   | ท่อเหล็กสี่เหลี่ยม 1" x 1" ยาว 30 เซนติเมตร                            | 4 ท่อน | ฐานหลอด                     |
| 8   | ท่อเหล็กสี่เหลี่ยม $\frac{3}{4} \times \frac{3}{4}$ " ยาว 78 เซนติเมตร | 6 ท่อน | โยงแผน                      |
| 9   | ท่อเหล็กสี่เหลี่ยม $\frac{3}{4} \times \frac{3}{4}$ " ยาว 65 เซนติเมตร | 3 ท่อน | โยงฐานแผน                   |
| 10  | เหล็กฉาก 1 $\frac{1}{4}$ " ยาว 100 เซนติเมตร                           | 6 ท่อน | ฐานสี่เหลี่ยม               |
| 11  | เหล็กฉาก 2" ยาว 55 เซนติเมตร   | 2 ท่อน | ยึดฐานแผน                   |
| 12  | เหล็กฉาก 2" ยาว 70 เซนติเมตร   | 2 ท่อน | ขาตั้งแผน                   |
| 13  | เหล็กเส้นแบน $\frac{3}{4}$ " x 1/8" ยาว 125 เซนติเมตร                  | 3 เส้น | ฐานรองรับกระจกโค้ง พาราโบลา |
| 14  | เหล็กเส้นแบน $\frac{3}{4}$ " x 1/8" ยาว 45 เซนติเมตร                   | 4 เส้น | ฐานหลอด                     |
| 15  | ล้อเหล็ก   | 3 ล้อ  |                             |
| 16  | ปลอกรัดท่อรูปตัวยู (U - camp)  | 2 ตัว  |                             |
| 17  | สลักเกลียว เส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{1}{2}$ " ยาว 60 เซนติเมตร           | 1 ตัว  | ใช้ปรับมุมเงยของแผน         |
| 18  | ตุ๊กตาลูกปืนรองเพลลา เส้นผ่าศูนย์กลาง 1"                               | 2 ตัว  | รองเพลลาปรับทิศ             |
| 19  | ตุ๊กตาลูกปืนรองเพลลา เส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{2}{3}$ "                  | 2 ตัว  | รองเพลลาปรับมุมเงย          |
| 20  | ท่อสตีม เส้นผ่าศูนย์กลาง 1" ยาว 200 เซนติเมตร                          | 1 ท่อน | ท่อดูดกเงินแสง              |
| 21  | หลอดแก้ว เส้นผ่าศูนย์กลาง 1" ยาว 190 เซนติเมตร                         | 1 ท่อน |                             |
|     | แผนผังรับแสงชนิดแผ่นคู่  |        |                             |
| 22  | เหล็กกล่องไม้ขีด 1" x 2" ยาว 124 เซนติเมตร                             | 4 ท่อน | โครงพาราโบลา                |
| 23  | เหล็กกล่องไม้ขีด 1" x 2" ยาว 180 เซนติเมตร                             | 4 ท่อน | คานยึดโครงพาราโบลา          |
| 24  | เหล็กกล่องไม้ขีด 1" x 2" ยาว 80 เซนติเมตร                              | 3 ท่อน | เสาของแผน                   |

ตาราง 3 (ต่อ)

| ที่ | รายการ  | จำนวน   | หมายเหตุ                           |
|-----|---|---------|------------------------------------|
| 25  | เหล็กท่อนสี่เหลี่ยม 1" x 1" ยาว 180 เซนติเมตร                   | 6 ท่อน  | คานยึดโครงพาราโบลา<br>และคานยึดเสา |
| 26  | ท่อเหล็กสี่เหลี่ยม 1" x 1" ยาว 195 เซนติเมตร                    | 4 ท่อน  | คานโยงฐานกันโยก                    |
| 27  | ท่อเหล็กสี่เหลี่ยม 1" x 1" ยาว 45 เซนติเมตร                     | 10 ท่อน | คานยึดฐานกันโยก                    |
| 28  | เหล็กฉาก 1" ยาว 50 เซนติเมตร                                    | 4 ท่อน  | แขนแขวนแผง                         |
| 29  | เหล็กกล่องไม้ขีด 1 $\frac{1}{2}$ " x 3" ยาว 390 เซนติเมตร       | 2 ท่อน  | ฐานรองรับแผง                       |
| 30  | เหล็กกล่องไม้ขีด 1 $\frac{1}{2}$ " x 3" ยาว 102 เซนติเมตร       | 5 ท่อน  | เหล็กยึดฐาน                        |
| 31  | นอตและสลักเกลียว เส้นผ่าศูนย์กลาง 3/8 " ยาว 6 เซนติเมตร         | 8 ตัว   | ยึดแผงกับแขน                       |
| 32  | เหล็กเส้นกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{1}{4}$ " ยาว 116 เซนติเมตร | 4 เส้น  | ยึดโครงพาราโบลา                    |
| 33  | ท่อสตีม เส้นผ่าศูนย์กลาง 1" ยาว 200 เซนติเมตร                   | 2 ท่อน  | ท่อตูดกลืนแสง                      |
| 34  | หลอดแก้ว เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 $\frac{1}{2}$ " ยาว 190 เซนติเมตร   | 2 ท่อน  |                                    |
| 35  | กระจกเงาพลาสติก กว้าง 120 เซนติเมตร ยาว 184 เซนติเมตร           |         |                                    |

## 1.3.3.2 เครื่องมือ ที่จำเป็น ได้แก่

- 1) เลื่อยตัดเหล็ก
- 2) เครื่องเชื่อมไฟฟ้า
- 3) สว่าน
- 4) ประแจ
- 5) เครื่องขัดเจียร์

## 1.3.4 วิธีสร้าง

1.3.4.1 เขียนเส้นกราฟพาราโบลาลงในกระดาษกราฟ โดยกำหนดให้ความยาวโฟกัสของพาราโบลาเท่ากับ 30 เซนติเมตร และให้ความยาวของเส้นกราฟเท่ากับความกว้างของแผ่นกระจกสะท้อนแสง

1.3.4.2 นำแผ่นกราฟพาราโบลาไปเขียนลงบนไม้อัด แล้วตัดไม้อัดตามแนวโค้งเป็นพาราโบลา 2 แผ่น นำไม้อัดที่ตัดแล้วมาโยงต่อกันด้วยไม้หน้า 1" x 1" เพื่อทำเป็นแบบในการสร้างโครงเหล็กพาราโบลา

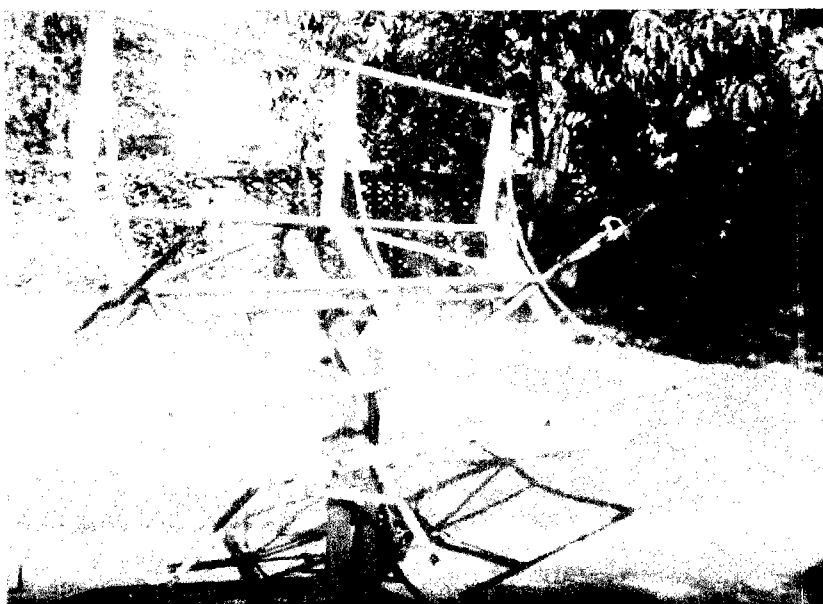


ภาพประกอบ 71 โครงไม้แบบพาราโบลา

1.3.4.3 นำท่อเหล็กสี่เหลี่ยม 1" x 2" ยาว 59 เซนติเมตร 1 ท่อน และยาว 39 เซนติเมตร 2 ท่อน มาทาบตามแนวโค้งของไม้แบบพาราโบลา แล้วเชื่อมต่อกันทำทั้งหมด 3 ชุด เพื่อใช้เป็นโครงสร้างรองรับ แผ่นกระจกสะท้อนแสง

1.3.4.4 นำเหล็กเส้นแบน 3/4" x 1/8" ยาว 125 เซนติเมตร ทาบลงบนไม้แบบพาราโบลาแล้วตัดตามแนวโค้ง ต่อจากนั้นจึงนำไปติดตั้งบนโครงสร้างตามข้อ 1.3.4.3 ทั้ง 3 ชุด

1.3.4.5 ยึดโครงเหล็กทั้ง 3 ชุด ตามข้อ 1.3.4.3 ด้วยเหล็กท่อสี่เหลี่ยม 1" x 1" ยาว 180 เซนติเมตร จำนวน 5 ท่อน ก็จะได้โครงสร้างรองรับแผ่นกระจกพาราโบลา แล้วจึงนำแผ่นกระจกพาราโบลามาติดตั้งบนโครงสร้างนี้

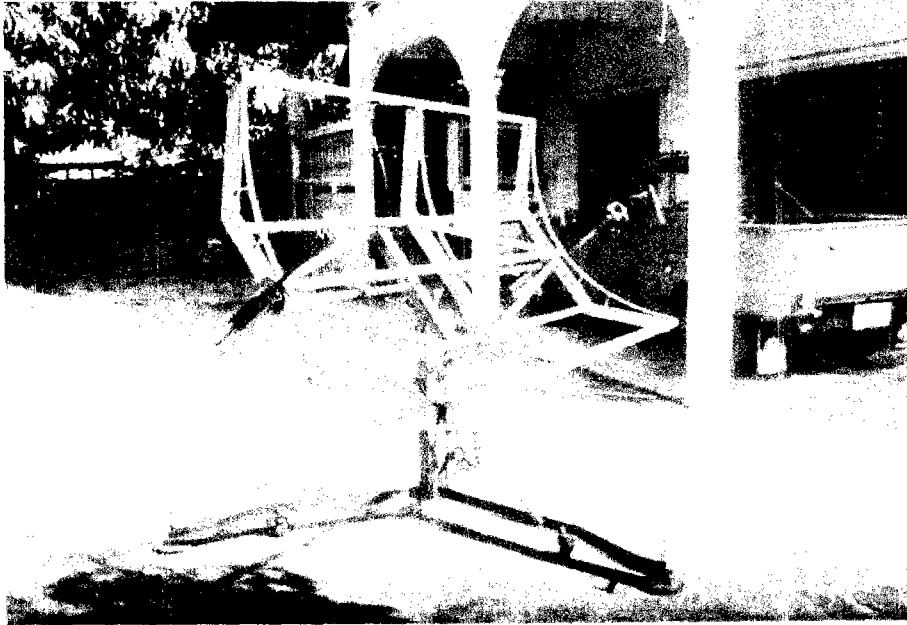


ภาพประกอบ 72 โครงสร้างรองรับกระจกโค้งพาราโบลา

1.3.4.6 ติดตั้งเหล็กฉาก 2" x 2" ยาว 55 เซนติเมตร 2 ท่อน ตรงกลางฐานของโครงสร้างพาราโบลาในข้อ 1.3.4.5 เพื่อติดตั้งเรือนลูกปืนเพลลาและเพลลา สำหรับปรับค่าระดับความสูงเชิงมุม (altitude) ของแผง

1.3.4.7 นำเหล็กฉาก 1 $\frac{1}{2}$ " มาเชื่อมประกบกันได้ 3 คู่แล้วนำเหล็กฉากทั้ง 3 คู่ มาเชื่อมต่อและทำมุม 120 องศา ซึ่งกันและกันเพื่อทำเป็นฐานรองรับแผงติดตั้งลูกล้อเหล็กและขาตั้งทั้งสามขา

1.3.4.8 นำเหล็กฉาก 2" ยาว 70 เซนติเมตร มาเชื่อมตั้งบนฐานสามเหลี่ยมในข้อ 1.3.4.7 เพื่อเป็นขาตั้งและใช้ติดตั้งเรือนลูกปืนเพลลา สำหรับปรับค่าแอสิมัท (azimuth) ของแผง



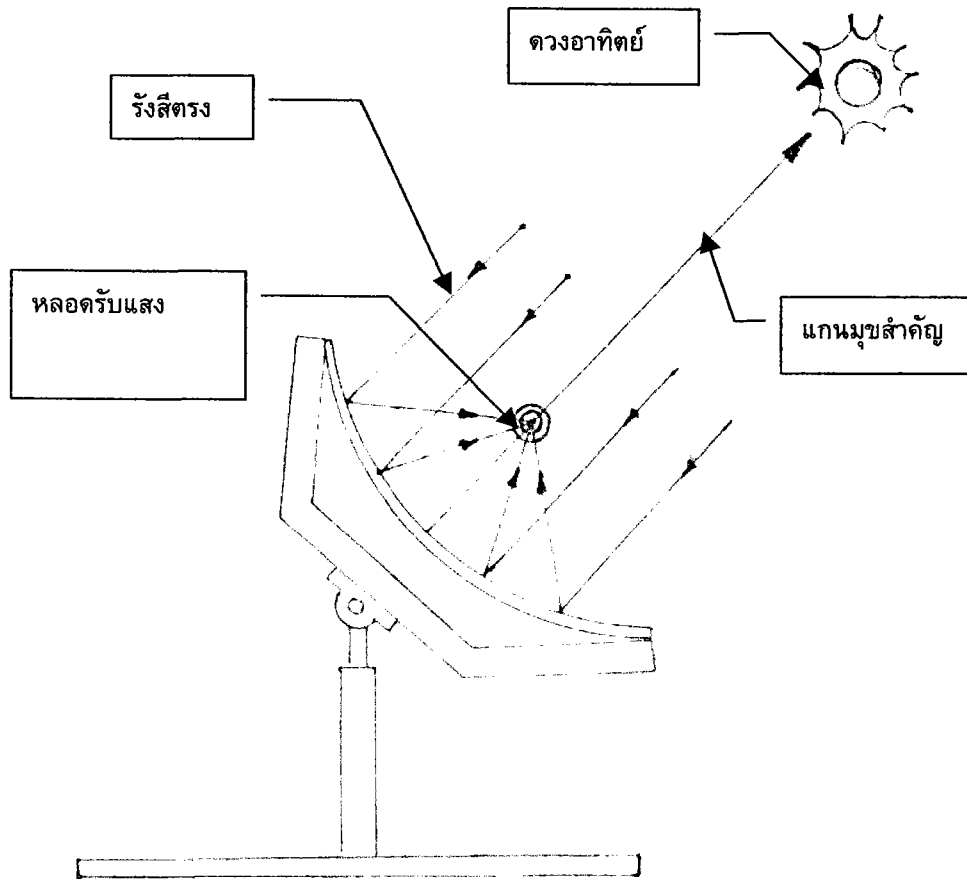
ภาพประกอบ 73 โครงสร้างรองรับแผงและขาตั้ง

1.3.4.9 ติดตั้งสลักเกลียว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/2" ยาว 60 เซนติเมตร กับแผงพาราโบลาเพื่อใช้ปรับค่าระดับความสูงเชิงมุม

1.3.4.10 ติดตั้งฐานรองหลอดและหลอดรับแสงตามแนวเส้นโฟกัสของพาราโบลา

### 1.3.5 การทำงาน

แผงรับแสงแบบรวมแสงพาราโบลานี้ จะสามารถทำงานได้กับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์เท่านั้น หรือขณะที่ท้องฟ้าโปร่งไม่มีเมฆหมอก ดังนั้นในการวางแผงรับแสงจะต้องวางให้แกนमुखสำคัญของพาราโบลาชี้ไปที่ดวงอาทิตย์หรืออยู่ในระนาบทางเดินของดวงอาทิตย์ในวันนั้น ๆ

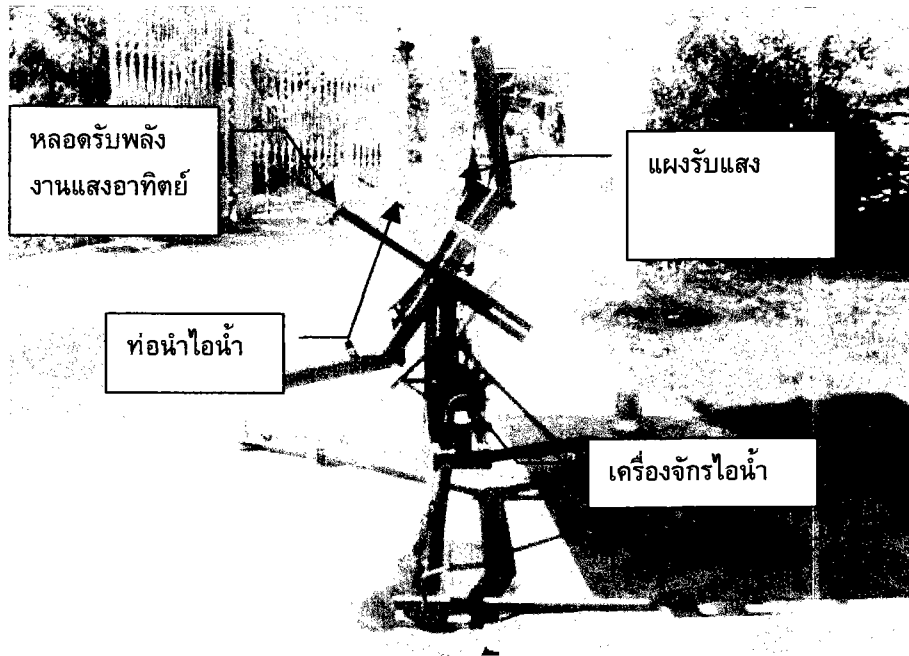


ภาพประกอบ 74 การวางแผงรับแสงต้องให้แก๊นमुखสำคัญซึ่งไปยังดวงอาทิตย์หรือระนาบ  
ทางเดินของแสงอาทิตย์ในวันนั้น ๆ

เมื่อรังสีตรงจากดวงอาทิตย์พุ่งชนานกับแก๊นमुखสำคัญมาตกกระทบบนกระจกเงาโค้งพาราโบลา รังสีก็จะถูกสะท้อนจากทุกจุดบนกระจกไปรวมกันที่หลอดรับแสง ซึ่งประกอบด้วย ท่อดูดกลืนแสง สวมอยู่ภายในหลอดแก้วใส ท่อดูดกลืนแสงก็จะร้อนขึ้น ทำให้น้ำที่อยู่ภายในท่อกลายเป็นไอได้

### 1.3.6 การทดสอบครั้งที่ 1

นำเครื่องจักรไอน้ำ ติดตั้งกับคานด้านหลังแผงรับแสง แล้วต่อท่อทองแดงหุ้มฉนวนนำไอน้ำ จากหลอดรับพลังงานมาเข้าเครื่องจักรไอน้ำ เมื่อทดลองปรับให้แสงอาทิตย์ไปรวมกันที่หลอดรับแสง ปรากฏว่า เครื่องจักรไอน้ำเริ่มทำงานได้ด้วยไอน้ำจากหลอดรับแสง



ภาพประกอบ 75 การติดตั้งเครื่องจักรไอน้ำกับแผงรับแสงแบบรวมแสงพาราโบลา

#### 1.3.6.1 ปัญหาจากการทดลองครั้งนี้พบว่า

- 1) แผงรับแสง มีขนาดเล็ก หลอดรับแสงสั้น เมื่อน้ำเข้าไปในท่อดูดกลืนแสง ทำให้อุณหภูมิภายในท่อลดลงอย่างรวดเร็ว ไอน้ำลดลง เครื่องจักรหยุดการทำงานต้องรอเวลาอีกระยะหนึ่ง ดังนั้นจึงทำให้เครื่องจักรไอน้ำทำงานไม่ต่อเนื่อง
- 2) เมื่อน้ำในท่อดูดกลืนแสงเดือด ทั้งน้ำและไอน้ำก็จะพุ่งออกทางท่อน้ำไอ้ ทำให้เครื่องจักรไอน้ำทำงานช้าลงหรือหยุดการทำงาน
- 3) แผงรับแสงจะโยกสั่นในขณะที่เครื่องจักรไอน้ำทำงาน

1.3.6.2 การแก้ไขปรับปรุง จากปัญหาข้างต้นได้มีการแก้ไขโดยเพิ่มพื้นที่รับพลังงานแสงอาทิตย์มากขึ้นเป็นสองเท่าของแผงรับแสงเครื่องแรก โดยสร้างเป็น 2 แผง ติดต่อกันตามยาว ทำให้หลอดรับแสงมีความยาวเป็นสองเท่าของหลอดรับแสงเดิมเช่นเดียวกับไอน้ำในท่อดูดกลืนแสง ก็จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเพราะมีเวลาและระยะทางมากขึ้นในการรับพลังงานแสงอาทิตย์ เมื่อบ้อนน้ำเข้าไปในท่อดูดกลืนแสงจะทำให้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในท่อดูดกลืนแสงเกิดขึ้นไม่มาก เพราะมวลของไอน้ำในท่อมักมีมากขึ้นและมีความจุความร้อนมากขึ้น ดังนั้นจึงมีไอน้ำเข้าสู่เครื่องจักรไอน้ำตลอดเวลา

ระหว่างท่อดูดกลืนแสงที่เชื่อมต่อกันจะกันด้วยแผ่นเหล็กไร้สนิมเจาะรูให้ไอน้ำผ่านได้ ทั้งนี้เพื่อป้องกันน้ำที่จะพุ่งออกตามไอน้ำไปยังเครื่องจักรไอน้ำ ทำให้เครื่องจักรไอน้ำหยุดการทำงาน นอกจากนั้น ยังทำให้ไอน้ำที่ผ่านไปยังท่อที่สองกลายเป็นไอน้ำได้

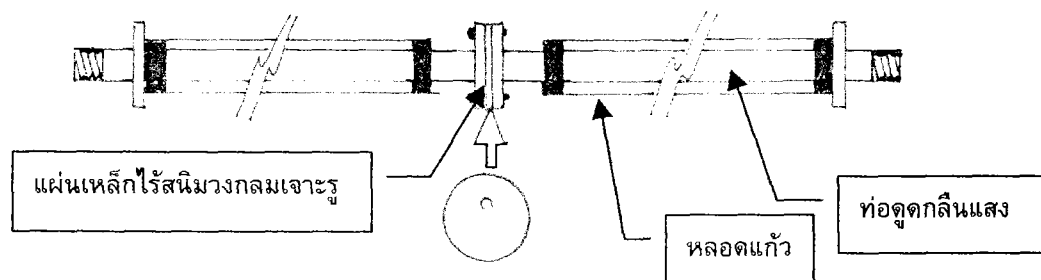
ในการแก้ไขการโยกสั่นของแผงรับแสงในขณะที่เครื่องจักรไอน้ำทำงานนั้น ได้สร้างฐานรองรับแผงให้มั่นคงและมีเสถียรเพิ่มมากขึ้น มีเหล็กเชื่อมยึดตามจุดต่าง ๆ ที่จะทำให้เกิดการโยกสั่น

การสร้างแผงรับแสง มีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1) ทำแผงรับแสงแบบรวมแสงพาราโบลา จำนวน 2 แผง โดยมี

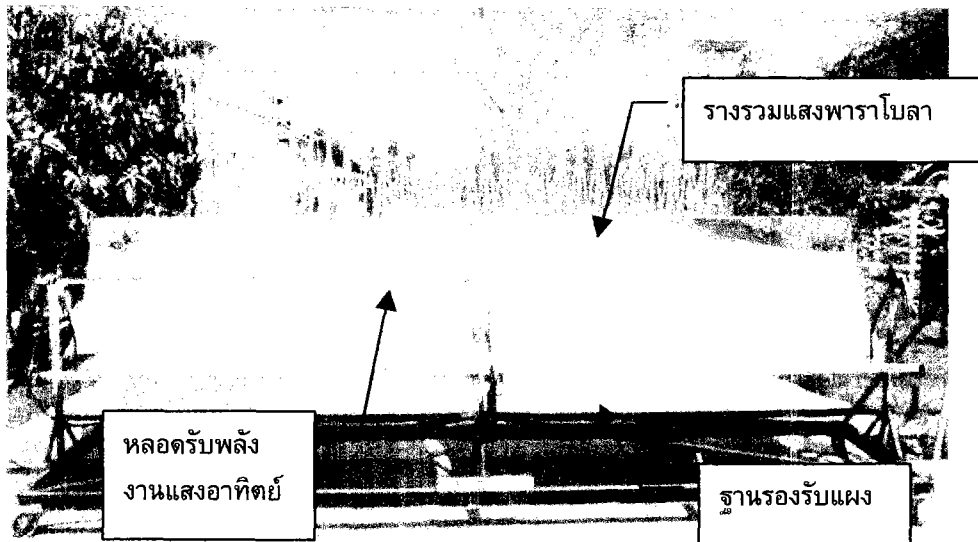
ขั้นตอนการสร้างเช่นเดียวกับการสร้างครั้งแรกตามข้อ 1.3.4.1 – 1.3.4.10

2) หลอดรับแสง ประกอบด้วย ท่อดูดกลืนแสงที่พันด้วยลวดดำด้านทนความร้อนสูงสอดไว้ภายในหลอดแก้วปิดปลายทั้งสองข้างด้วยกาวซิลิโคน ปลายที่เชื่อมต่อกันของท่อดูดกลืนแสง จะมีหน้าแปนวงกลมที่ยึดด้วยสลักเกลียวและนอต 4 ตัว ระหว่างหน้าแปนทั้งสองจะกันด้วยแผ่นเหล็กไร้สนิมวงกลมเจาะรู



ภาพประกอบ 76 หลอดรับแสง

3) ทำฐานรองรับแผง มีลักษณะเป็นกรอบสี่เหลี่ยมผืนผ้า ทำด้วยท่อเหล็กสี่เหลี่ยมหรือเหล็กกล่องไม้ขีดขนาด 1 1/2 " x 3 " ที่มุมทั้งสี่ติดล้อเหล็ก ตรงกึ่งกลางด้านกว้างติดตั้งเสา 3 เสาเพื่อรองรับแผงและหลอดรับแสง โดยที่แผงสามารถปรับมุมเงยหรือค่าระดับความสูงเชิงมุมได้ ส่วนการปรับทิศนั้นจะใช้ล้อเลื่อน



ภาพประกอบ 77 แผงรับแสงที่พัฒนาเป็นแบบแผงคู่

### 1.3.7 การทดสอบครั้งที่ 2

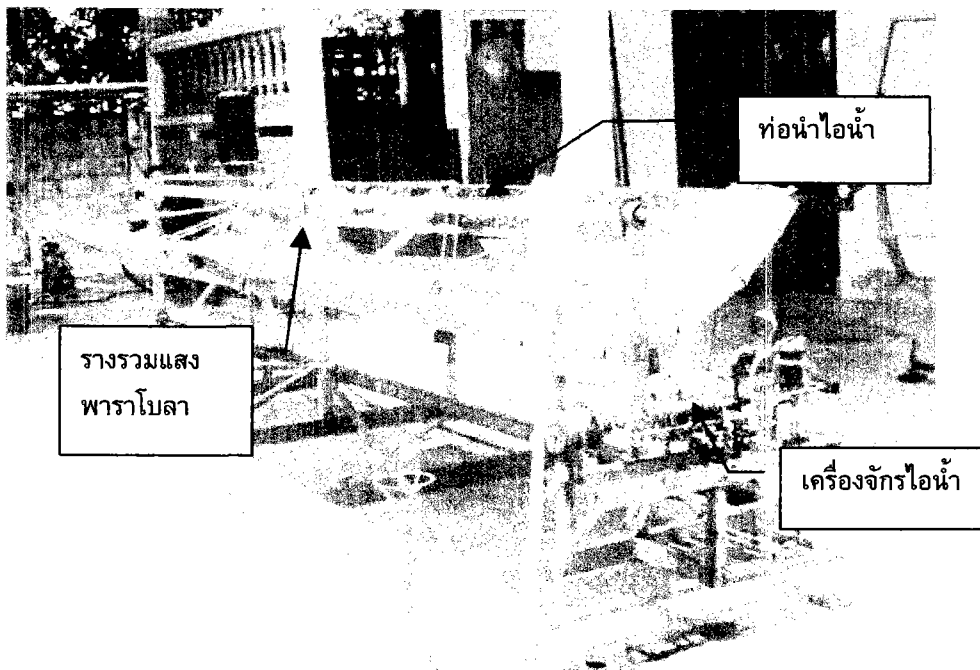
การทดสอบครั้งนี้ได้นำเครื่องจักรไอน้ำมาทดลองติดตั้งต่อกับปลายหลอดรับแสง ต่อท่อไอน้ำซึ่งเป็นท่อทองแดงหุ้มใยแก้ว เป็นฉนวนป้องกันความร้อนระหว่างหลอดรับแสงกับเครื่องจักรไอน้ำ เมื่อปรับแผงให้รับพลังงานแสงอาทิตย์ปรากฏว่า

1.3.7.1 มีไอน้ำในท่อดูดกลืนแสงมากขึ้นเพียงพอที่จะทำให้เครื่องจักรไอน้ำทำงานอย่างต่อเนื่องนานพอสมควร

1.3.7.2 ไอน้ำที่เข้าสู่เครื่องจักรไอน้ำมีน้ำผสมน้อยลงมีไอน้ำมากขึ้น เพราะมีแผ่นกั้นระหว่างท่อดูดกลืนแสงทั้งสองส่วนที่ผ่านไปยังท่อที่สองจึงมีเฉพาะไอน้ำผ่านรูที่เจาะไว้เท่านั้น

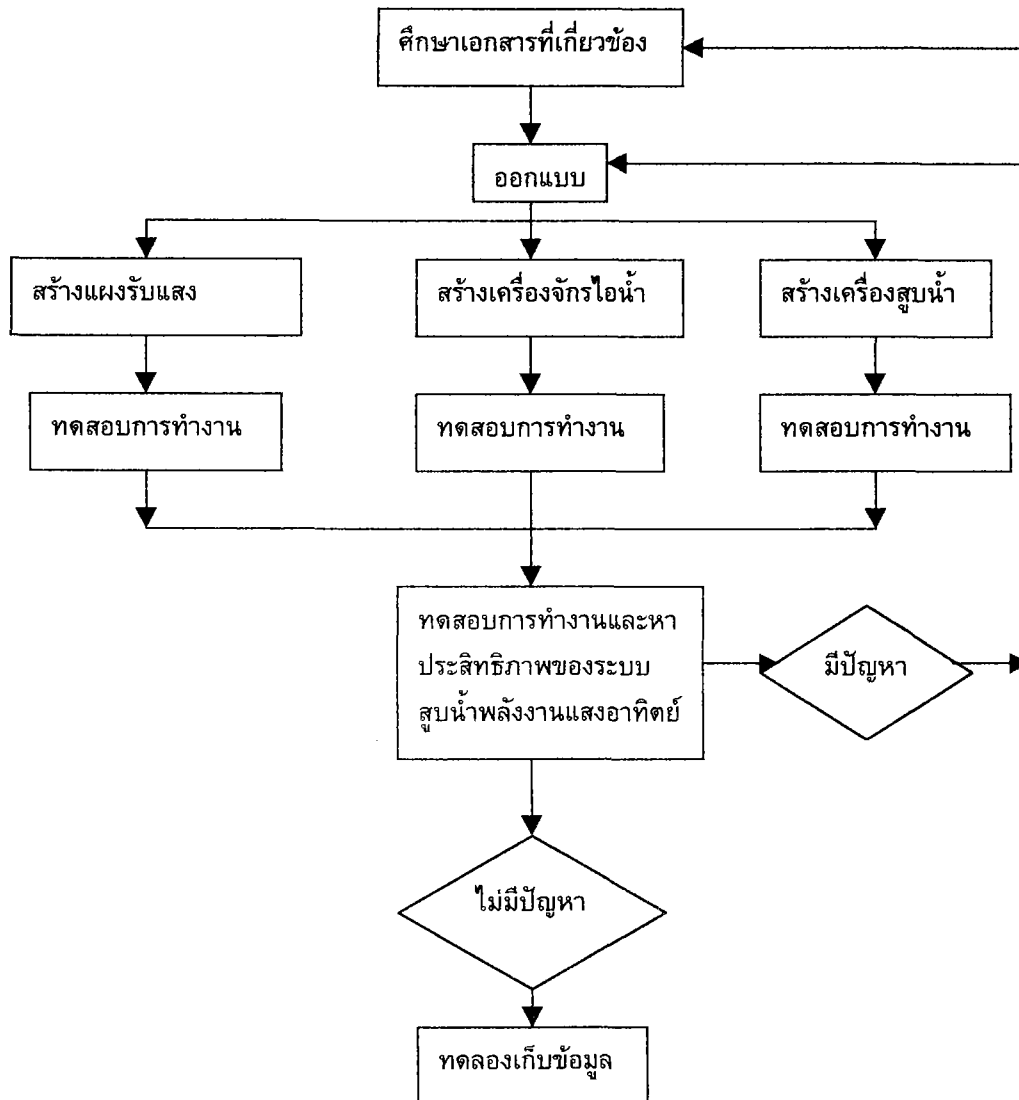
1.3.7.3 เนื่องจากมีฐานที่แข็งแรง มีการยึดโยงโครงสร้างที่มั่นคง เมื่อเครื่องจักรทำงานจึงทำให้แผงรับแสงสั่นสะเทือนน้อยลงจนไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของแผงรับแสง

ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงใช้แผงรับแสงชนิดที่เป็นรางรวมแสงพาราโบลา 2 แผง ติดต่อกันตามยาวมีหลอดรับแสงที่เชื่อมต่อกัน



ภาพประกอบ 78 การทดสอบแผงรับแสงกับเครื่องจักรไอน้ำ

ในการพัฒนาระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์สรุปเป็นผังการดำเนินการได้ดังนี้



ภาพประกอบ 79 แผนผังลำดับขั้นการพัฒนาบระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

## 2. การสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการวิชาพลังงานกับสิ่งแวดล้อม

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ดำเนินการต่อจากการสร้างและพัฒนาชุดทดลองการสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการสร้างและพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการต่อไป ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

### 2.1 ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับ บทปฏิบัติการพลังงานกับสิ่งแวดล้อม

1. เอกสารเกี่ยวกับวิธีการสอนแบบทดลองทำให้เราเข้าใจขั้นตอนในการจัดกิจกรรมการทดลองที่มีประสิทธิภาพและได้รับคุณค่าสูงสุด
2. เอกสารเกี่ยวกับหลักการประเมินบทปฏิบัติการโดยเทคนิคการวิเคราะห์ดัชนีความสอดคล้อง (IOC)

## 2.2 สร้างบทปฏิบัติการ

บทปฏิบัติการทดลองเป็นแนวทางให้ผู้เรียนได้ฝึกปฏิบัติการทดลองเพื่อเป็นการตรวจสอบ ทฤษฎีที่ได้เรียนมาและเป็นการค้นหาความรู้ใหม่ๆสำหรับผู้เรียนด้วย นอกจากนี้ยังเป็นการฝึกทักษะ กระบวนการวิทยาศาสตร์ไปด้วย ดังนั้นบทปฏิบัติการจึงต้องมีรายละเอียดในหัวข้อต่างๆคือ

1. จุดประสงค์
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
3. เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง
4. วิธีการทดลอง
5. ผลการทดลองและการคำนวณ
6. คำถามท้ายบทปฏิบัติการ

บทปฏิบัติการของรายวิชาพลังงานกับสิ่งแวดล้อมที่สร้างขึ้นมีทั้งหมด 8 บทปฏิบัติการ คือ

บทปฏิบัติการที่ 1 หลอดรับแสงแบบสุญญากาศ

บทปฏิบัติการที่ 2 ผลการพาความร้อนของอากาศต่อการเก็บพลังงานของหลอดรับ พลังงานแสงอาทิตย์

บทปฏิบัติการที่ 3 เครื่องมือวัดพลังงานแสงอาทิตย์

บทปฏิบัติการที่ 4 การหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงแบบรวมแสง

บทปฏิบัติการที่ 5 การหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงแบบแผ่นราบ

บทปฏิบัติการที่ 6 การหาประสิทธิภาพของระบบเครื่องสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้ พลังงานไฟฟ้า

บทปฏิบัติการที่ 7 ระบบเครื่องสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้ก๊าซหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง

บทปฏิบัติการที่ 8 การหาประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

## 2.3 การประเมินบทปฏิบัติการก่อนนำไปใช้

ขั้นตอนของการประเมินบทปฏิบัติการก่อนนำไปใช้ในการเรียนการสอน มีรายละเอียด ดังนี้

1. การประเมินบทปฏิบัติการ ใช้วิธีการวิเคราะห์ความสอดคล้องซึ่งหมายถึงความสอดคล้องระหว่างคุณสมบัติที่ดีของบทปฏิบัติการในแบบประเมินกับเนื้อหาในบทปฏิบัติการ โดยพิจารณา มาตรฐานความสอดคล้อง (Index of congruency : IOC) จาก

$$IOC = \frac{\sum R}{N}$$

เมื่อ IOC เป็นดัชนีความสอดคล้องมีค่าอยู่ระหว่าง - 1 ถึง + 1

$\sum R$  เป็นผลรวมของการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญ

$N$  เป็นจำนวนผู้เชี่ยวชาญ

การพิจารณาค่า IOC นี้จะต้องมีไม่ต่ำกว่า 0.5 จึงจะถือว่ามีความสอดคล้อง



ตาราง 4 (ต่อ)

| ระยะเวลา<br>กิจกรรม   | พ.ศ.2542       |               |              |              |              | พ.ศ.2543     |                |               |              |              |              |
|---|----------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
|   | มี.ค.<br>เม.ย. | พ.ค.<br>มี.ย. | ก.ค.<br>ส.ค. | ก.ย.<br>ต.ค. | พ.ย.<br>ธ.ค. | ม.ค.<br>ก.พ. | มี.ค.<br>เม.ย. | พ.ค.<br>มี.ย. | ก.ค.<br>ส.ค. | ก.ย.<br>ต.ค. | พ.ย.<br>ธ.ค. |
| การสร้างอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้   |                | ←→            |              |              |              |              |                |               |              |              |              |
| 3) จัดหาจัดซื้อวัสดุ<br>อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้าง<br>เครื่องจักร                                 |                | ←→            |              |              |              |              |                | →             |              |              |              |
| 4) สร้างตามแบบที่ได้<br>ออกแบบไว้   |                | ←→            |              |              |              |              |                |               |              |              |              |
| 5) ทดสอบการทำงาน<br>และปรับปรุง 4 ครั้ง   |                | ←→            |              |              |              |              |                | →             |              |              |              |
| 6) นำเครื่องที่สร้างและ<br>ปรับปรุงเรียบร้อยแล้วไปเก็บ<br>ข้อมูลหาปริมาณต่าง ๆ ทาง<br>ฟิลิกส์         |                |               |              |              |              |              |                |               | ←→           |              |              |
| 1.2 เครื่องสูบน้ำ   |                |               |              |              |              |              |                |               |              |              |              |
| 1) ศึกษาเอกสารรูปแบบ<br>และออกแบบเครื่องสูบน้ำที่มีขนาด<br>และรูปแบบที่เหมาะสมกับเครื่อง<br>จักรไอน้ำ | ←→             |               |              |              |              |              |                |               |              |              |              |
| 2) สำรววัสดุอุปกรณ์<br>ที่มีจำหน่ายในตลาด เพื่อนำข้อ<br>มูลมาปรับปรุงแบบอีกครั้งหนึ่ง                 |                | ←→            |              |              |              |              |                |               |              |              |              |
| 3) จัดหาจัดซื้อวัสดุ<br>อุปกรณ์ต่าง ๆ ตามแบบที่ออก<br>ไว้   |                |               | ←→           |              |              |              |                |               |              |              |              |
| 4) สร้างเครื่องสูบน้ำตาม<br>แบบ   |                |               | ←→           |              |              |              |                |               |              |              |              |
| 5) ทดสอบการทำงาน<br>และปรับปรุง 2 ครั้ง   |                |               | ←→           | →            |              |              |                |               |              |              |              |
| 6) นำไปประกอบกับ<br>เครื่องจักรไอน้ำแล้วเก็บข้อมูล  |                |               |              |              |              |              |                |               | ←→           |              |              |



## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้มีความมุ่งหมายสำคัญ 2 ประการ คือ เพื่อสร้างและพัฒนาระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์และเพื่อสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการในเรื่องที่เกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์ในรายวิชาพลังงานและสิ่งแวดล้อมโดยใช้เครื่องมืออุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น ดังนั้นในการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลจึงแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่เป็นข้อมูลทางวิทยาศาสตร์จากเครื่องมือและอุปกรณ์ของระบบเครื่องสูบน้ำ และส่วนที่เป็นข้อมูลทางการศึกษาจากบทปฏิบัติการที่สร้างขึ้น

#### 1. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

##### 1.1 การหาประสิทธิภาพของหลอดรับแสงแบบเปลือย

หลอดรับแสงแบบเปลือยที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย ท่อเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.60 เซนติเมตร ยาว 200 เซนติเมตร เคลือบผิวด้วยสีดำ ทำหน้าที่เป็น "ท่อดูดกลืนแสง" ที่ปลายท่อติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิ

##### 1.1.1 โดยวิธีน้ำนิ่ง

วิธีการทดลอง บรรจุน้ำในหลอดให้เต็มแล้วนำไปวางไว้กลางแสงแดดในแนวทิศเหนือใต้ตามแนวระนาบ วัดอุณหภูมิของน้ำที่เปลี่ยนไปแล้วนำไปคำนวณหาพลังงานความร้อนที่น้ำได้รับ นำไปเปรียบเทียบกับค่าพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งหาได้จากความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์รวมที่วัดโดยเครื่องไพราโนมิเตอร์และนำไปคำนวณหาประสิทธิภาพของหลอดรับแสงได้

ตาราง 5 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของหลอดรับแสงแบบเปลือย โดยวิธีน้ำนิ่ง

|  |   |       |                     |
|--|---|-------|---------------------|
| ความยาวของท่อดูดกลืนแสง (l)                        | = | 2.00  | เมตร (m)            |
| เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อดูดกลืนแสง (d)               | = | 0.026 | เมตร (m)            |
| พื้นที่รับแสงของท่อดูดกลืนแสง ( $A = l \times d$ ) | = | 0.052 | ตารางเมตร ( $m^2$ ) |
| มวลของน้ำในท่อดูดกลืนแสง (m)                       | = | 900   | กรัม (g)            |

| ครั้งที่ | เวลาที่เริ่มทดลอง | ระยะเวลา (t)<br>s | อุณหภูมิของน้ำ<br>°C |                | พลังงานทางออก<br>( $Q_o$ )<br>J | ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์รวม<br>(I)<br>$Wm^{-2}$ | พลังงานทางเข้า<br>( $Q_i$ )<br>J | ประสิทธิภาพของหลอด<br>( $Q_o / Q_i$ )<br>% |
|----------|-------------------|-------------------|----------------------|----------------|---------------------------------|---|----------------------------------|--|
|          |                   |                   | T <sub>1</sub>       | T <sub>2</sub> |                                 |   |                                  |  |
|          |                   |                   | 1                    | 1020           |                                 |   |                                  |  |
| 2        | 1030              | 600               | 31.5                 | 32.0           | 1,881                           | 550   | 17,160                           | 10.96                                      |
| 3        | 1040              | 600               | 32.0                 | 33.5           | 5,643                           | 720   | 22,464                           | 25.51                                      |

ตาราง 5 (ต่อ)

| ครั้งที่ | เวลาที่เริ่มทดลอง | ระยะเวลา (t) s | อุณหภูมิของน้ำ °C |       | พลังงานทางออก ( $Q_o$ ) J | ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์รวม $I$ $Wm^{-2}$ | พลังงานทางเข้า ( $Q_i$ ) J | ประสิทธิภาพของหลอด ( $Q_o / Q_i$ ) % |
|----------|-------------------|----------------|-------------------|-------|---------------------------|---|----------------------------|--------------------------------------|
|          |                   |                | $T_1$             | $T_2$ |                           |   |                            |                                      |
|          |                   |                | 4                 | 1050  |                           |   |                            |                                      |
| 5        | 1100              | 10             | 34.0              | 34.5  | 1,881                     | 480   | 14,976                     | 12.56                                |
| 6        | 1110              | 10             | 34.5              | 36.5  | 7,524                     | 730   | 22,776                     | 33.03                                |
| 7        | 1120              | 10             | 36.5              | 37.5  | 3,762                     | 910   | 28,392                     | 13.25                                |
| 8        | 1130              | 10             | 37.5              | 37.0  | -1,881                    | 530   | 16,536                     | 11.37                                |
| 9        | 1140              | 10             | 37.0              | 39.0  | 7,524                     | 730   | 22,776                     | 33.03                                |
| 10       | 1150              | 10             | 39.0              | 39.5  | 1,881                     | 860   | 26,832                     | 7.01                                 |
| 11       | 1200              | 10             | 39.5              | 40.0  | 1,881                     | 950   | 29,640                     | 6.34                                 |
| 12       | 1210              | 10             | 40.0              | 40.5  | 1,881                     | 870   | 27,144                     | 6.92                                 |

ประสิทธิภาพเฉลี่ย = 14.62 %

หมายเหตุ :

1. พลังงานทางออก คือ ปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับ หาได้จาก

$$Q_o = mc(T_2 - T_1)$$

- เมื่อ
- $Q_o$  = ปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับ (จูล : J)
  - $m$  = มวลของน้ำในท่อดูดกลืนแสง (กรัม : g)
  - $c$  = ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (จูลต่อกรัมต่อเคลวิน :  $J g^{-1} K^{-1}$ )  
=  $4.18 J g^{-1} K^{-1}$
  - $T_1$  = อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ (เคลวิน : K)
  - $T_2$  = อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำ (เคลวิน : K)

2. พลังงานทางเข้า คือ ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนท่อดูดกลืนแสงจะเป็นรังสีดวงอาทิตย์รวม ซึ่งหาได้จาก

$$Q_i = IAt$$

|       |       |   |  |
|-------|-------|---|--|
| เมื่อ | $Q_i$ | = | พลังงานทางเข้า (จูล : J)                                       |
|       | $L$   | = | ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์รวม (วัตต์ต่อตารางเมตร : $Wm^{-2}$ ) |
|       | $A$   | = | พื้นที่รับแสงของท่อดูดกลืนแสง (ตารางเมตร : $m^2$ )             |
|       | $t$   | = | ระยะเวลาที่แสงตกกระทบบนท่อดูดกลืนแสง (วินาที : s)              |

3. ประสิทธิภาพของหลอดรับแสง หาได้จาก

$$\eta = \frac{Q_o}{Q_i} \times 100$$

เมื่อ  $\eta$  = ประสิทธิภาพของหลอดรับแสง

4. ประสิทธิภาพเฉลี่ย หาได้จากค่าประสิทธิภาพของหลอดในแต่ละช่วงเวลา รวมกันแล้วหารด้วย จำนวนช่วงเวลา

### 1.1.2 โดยวิธีใช้มาตรความร้อนแบบน้ำไหล

วิธีทดลอง นำหลอดรับแสงไปวางไว้กลางแจ้งในทิศเหนือใต้ ตามแนวระนาบแล้วปล่อยให้ให้น้ำไหลผ่านท่อดูดกลืนแสงด้วยอัตราการไหลสม่ำเสมอค่าหนึ่ง วัดอุณหภูมิของน้ำก่อนไหลเข้าท่อดูดกลืนแสงและอุณหภูมิน้ำหลังจากผ่านท่อดูดกลืนแสง แล้ววัดปริมาณของน้ำที่ไหลผ่านท่อเพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น วัดความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์รวมโดยเครื่องไพราโนมิเตอร์ เพื่อนำไปคำนวณหาพลังงานแสงอาทิตย์ และคำนวณหาประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนของหลอดรับแสง

ตาราง 6 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของหลอดรับแสงแบบเปลือย โดยวิธีใช้มาตรความร้อนแบบน้ำไหล

|  |   |                           |
|--|---|---------------------------|
| ความยาวของท่อดูดกลืนแสง (l)                        | = | 2.00 เมตร (m)             |
| เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อดูดกลืนแสง (d)               | = | 0.026 เมตร (m)            |
| พื้นที่รับแสงของท่อดูดกลืนแสง ( $A = l \times d$ ) | = | 0.052 ตารางเมตร ( $m^2$ ) |

| ครั้งที่ | เวลาที่เริ่มทดลอง | ระยะเวลา (t) s | อุณหภูมิของน้ำ $^{\circ}C$ |       | มวลของน้ำที่ไหลผ่านท่อ (m) | พลังงานทางออก ( $Q_o$ ) J | รังสีดวงอาทิตย์รวม         |                            | ประสิทธิภาพของหลอดรับแสง % |
|----------|-------------------|----------------|----------------------------|-------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|          |                   |                | $T_i$                      | $T_o$ |                            |                           | ความเข้ม ( $l$ ) $Wm^{-2}$ | พลังงานทางเข้า ( $Q_i$ ) J |                            |
| 1.1      | 1100              | 252            | 32.0                       | 35.0  | 1000                       | 12540                     | 744.99                     | 9762.29                    | 128.45                     |
| 1.2      | 1110              | 263            | 32.0                       | 36.0  | 1000                       | 14630                     | 767.91                     | 10501.91                   | 139.31                     |
| 1.3      | 1120              | 247            | 33.0                       | 36.0  | 1000                       | 10450                     | 773.64                     | 9936.62                    | 105.71                     |

ประสิทธิภาพเฉลี่ย 124.31 %

ตาราง 6 (ต่อ)

| ครั้งที่                  | เวลาที่เริ่มทดลอง | ระยะเวลา<br>(t)<br>s | อุณหภูมิของน้ำ<br>°C |                | มวลของ<br>น้ำที่ไหล<br>ผ่านท่อ<br>(m) | พลังงาน<br>ทางออก<br>(Q <sub>o</sub> )<br>J | รังสีดวงอาทิตย์<br>รวม                  |  | ประสิทธิภาพ<br>ของ<br>หลอดรับ<br>แสง<br>% |
|---------------------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------|---------------------------------------|---|---|--|---|
|                           |                   |                      | T <sub>i</sub>       | T <sub>o</sub> |                                       |   | ความ<br>เข้ม<br>(I)<br>Wm <sup>-2</sup> | พลังงาน<br>ทางเข้า<br>(Q <sub>i</sub> )<br>J |   |
|                           |                   |                      |                      |                |                                       |   |   |  |   |
| 2.1                       | 1155              | 953                  | 33.0                 | 40.5           | 1000                                  | 31350                                       | 825.21                                  | 40894.35                                     | 76.66                                     |
| 2.2                       | 1310              | 935                  | 35.0                 | 42.0           | 1000                                  | 29260                                       | 813.75                                  | 39564.70                                     | 73.95                                     |
| 2.3                       | 1335              | 785                  | 34.5                 | 40.0           | 1000                                  | 22990                                       | 785.10                                  | 32047.79                                     | 71.74                                     |
| ประสิทธิภาพเฉลี่ย 74.11 % |                   |                      |                      |                |                                       |   |   |  |   |
| 3.1                       | 1400              | 1817                 | 35.0                 | 43.0           | 1000                                  | 33440                                       | 750.72                                  | 70930.68                                     | 47.14                                     |
| 3.2                       | 1432              | 1438                 | 35.0                 | 42.5           | 1000                                  | 31350                                       | 687.68                                  | 51421.89                                     | 60.97                                     |
| 3.3                       | 1504              | 1364                 | 35.0                 | 42.0           | 1000                                  | 29260                                       | 590.26                                  | 41865.81                                     | 69.89                                     |
| ประสิทธิภาพเฉลี่ย 59.33 % |                   |                      |                      |                |                                       |   |   |  |   |
| 4.1                       | 1535              | 951                  | 36.0                 | 44.0           | 300                                   | 10032                                       | 458.45                                  | 22671.40                                     | 44.25                                     |
| 4.2                       | 1548              | 1000                 | 36.0                 | 43.0           | 300                                   | 8778  | 343.84                                  | 17879.66                                     | 49.09                                     |
| 4.3                       | 1615              | 990                  | 35.5                 | 42.0           | 300                                   | 8151  | 326.65                                  | 16875.82                                     | 48.47                                     |
| ประสิทธิภาพเฉลี่ย 47.27 % |                   |                      |                      |                |                                       |   |   |  |   |

ประสิทธิภาพเฉลี่ยทั้งหมด = 76.25 %

หมายเหตุ :

1. พลังงานทางออก คือ ปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับ หาได้จาก

$$Q_o = mc(T_o - T_i)$$

- เมื่อ
- $Q_o$  = พลังงานทางออก (จูล : J)
  - $m$  = มวลของน้ำที่ไหลผ่านท่อดูดกลืนแสง (กรัม : g)
  - $c$  = ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (จูลต่อกรัมต่อเคลวิน : J g<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>)  
= 4.18 J g<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>
  - $T_i$  = อุณหภูมิของน้ำก่อนไหลเข้าท่อดูดกลืนแสง (เคลวิน : K)
  - $T_o$  = อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำ (เคลวิน : K)

2. พลังงานทางเข้า คือ ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ท่อดูดกลืนแสงได้รับ ซึ่งจะเป็นรังสีดวงอาทิตย์รวม ซึ่งหาได้จาก

$$Q_i = IAt$$

|       |       |   |  |
|-------|-------|---|--|
| เมื่อ | $Q_i$ | = | พลังงานทางเข้า (จูล : J)                                       |
|       | $L$   | = | ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์รวม (วัตต์ต่อตารางเมตร : $Wm^{-2}$ ) |
|       | $A$   | = | พื้นที่รับแสงของท่อดูดกลืนแสง (ตารางเมตร : $m^2$ )             |
|       | $t$   | = | ระยะเวลาที่แสงตกกระทบบนท่อดูดกลืนแสง (วินาที : s)              |

### 3. ประสิทธิภาพของหลอดรับแสง หาได้จาก

$$\eta = \frac{Q_o}{Q_i} \times 100$$

เมื่อ  $\eta$  = ประสิทธิภาพของหลอดรับแสง

4. ประสิทธิภาพเฉลี่ยรวม หาได้จากค่าประสิทธิภาพเฉลี่ย ในแต่ละครั้งรวมกันแล้วหารด้วยจำนวนครั้งที่ทดลอง

## 1.2 การหาประสิทธิภาพของหลอดรับแสงแบบมีอากาศภายใน

หลอดรับแสงแบบมีอากาศภายในที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ประกอบด้วย ท่อดูดกลืนแสงซึ่งมีลักษณะเป็นท่อเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.6 เซนติเมตร ยาว 175 เซนติเมตร เคลือบผิวด้วยสีดำด้าน สอดอยู่ที่กลางภายในหลอดแก้วโปร่งใส ใช้กาวซิลิโคนอุดช่องระหว่างหลอดแก้วกับท่อดูดกลืนแสง นำท่อทองแดงเชื่อมต่อระหว่างอากาศภายในและภายนอกหลอดแก้วให้อากาศสามารถถ่ายเทระหว่างอากาศภายในและภายนอกหลอดแก้วได้ ติดตั้งเทอร์มอมิเตอร์ที่ปลายท่อดูดกลืนแสง เพื่อวัดอุณหภูมิของน้ำ

### 1.2.1 โดยวิธีน้ำนิ่ง

วิธีทดลอง บรรจุน้ำในท่อดูดกลืนแสง ปิดจุกป้องกันน้ำรั่วให้เรียบร้อยแล้วนำไปวางไว้กลางแสงแดดวัดอุณหภูมิของน้ำเป็นช่วง ๆ ต่อเนื่องกัน แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับเปรียบเทียบกับพลังงานแสงอาทิตย์ ที่หาได้จากความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์รวมซึ่งวัดโดยไพราโนมิเตอร์เพื่อหาประสิทธิภาพในการเก็บและการถ่ายเทพลังงานของหลอด

ตาราง 7 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของหลอดรับแสง แบบมีอากาศภายใน โดยวิธีน้ำนิ่ง

|  |   |       |                     |
|--|---|-------|---------------------|
| ความยาวของท่อดูดกลืนแสง (l)                        | = | 1.75  | เมตร (m)            |
| เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อดูดกลืนแสง (d)               | = | 0.026 | เมตร (m)            |
| พื้นที่รับแสงของท่อดูดกลืนแสง ( $A = l \times d$ ) | = | 0.045 | ตารางเมตร ( $m^2$ ) |
| มวลของน้ำในท่อดูดกลืนแสง (m)                       | = | 820   | กรัม (g)            |

| ครั้งที่ | ช่วงระหว่างเวลา | ระยะเวลา (t) min | อุณหภูมิของน้ำ $^{\circ}C$ |       | พลังงานทางออก ( $Q_o$ ) J | ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์รวม (I) $Wm^{-2}$ | พลังงานทางเข้า ( $Q_i$ ) J | ประสิทธิภาพของหลอด ( $Q_o/Q_i$ ) % |
|----------|-----------------|------------------|----------------------------|-------|---------------------------|---|----------------------------|------------------------------------|
|          |                 |                  | $T_1$                      | $T_2$ |                           |   |                            |                                    |
| 1        | 1020 - 1030     | 10               | 30.0                       | 31.0  | 3,762                     | 620   | 16,740                     | 22.47                              |
| 2        | 1030 - 1040     | 10               | 31.0                       | 31.5  | 1,818                     | 550   | 14,850                     | 12.66                              |
| 3        | 1040 - 1050     | 10               | 31.5                       | 33.5  | 7,524                     | 720   | 19,440                     | 38.7                               |
| 4        | 1050 - 1100     | 10               | 33.5                       | 34.5  | 3,762                     | 320   | 8,640                      | 43.54                              |
| 5        | 1100 - 1110     | 10               | 34.5                       | 35.0  | 1,818                     | 480   | 12,960                     | 14.51                              |
| 6        | 1110 - 1120     | 10               | 35.0                       | 37.0  | 7,524                     | 730   | 19,710                     | 38.17                              |
| 7        | 1120 - 1130     | 10               | 37.0                       | 38.5  | 5,643                     | 910   | 24,570                     | 22.96                              |
| 8        | 1130 - 1140     | 10               | 38.5                       | 38.5  | -0                        | 530   | 14,310                     | 0                                  |
| 9        | 1140 - 1150     | 10               | 38.5                       | 39.0  | 1,818                     | 730   | 19,710                     | 9.54                               |
| 10       | 1150 - 1200     | 10               | 39.0                       | 41.0  | 7,524                     | 860   | 23,220                     | 32.40                              |
| 11       | 1200 - 1210     | 10               | 41.0                       | 42.0  | 3,762                     | 950   | 25,650                     | 14.66                              |
| 12       | 1210 - 1220     | 10               | 42.0                       | 42.0  | -0                        | 870   | 23,490                     | 0                                  |

ประสิทธิภาพเฉลี่ย = 20.80 %

หมายเหตุ : การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ใช้วิธีการเดียวกับหมายเหตุได้ตาราง 5

### 1.2.2 โดยวิธีใช้มาตรฐานความร้อนแบบน้ำไหล

วิธีทดลอง ทำเช่นเดียวกันกับ วิธีทดลองในหัวข้อ 1.1.2

ตาราง 8 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของหลอดรับแสง แบบมีอากาศภายในโดยวิธีใช้มาตรฐานความร้อนแบบน้ำไหล

|   |   |       |                             |
|---|---|-------|-----------------------------|
| ความยาวของท่อดูดกลืนแสง (l)               | = | 1.75  | เมตร (m)                    |
| เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อดูดกลืนแสง (d)      | = | 0.026 | เมตร (m)                    |
| พื้นที่รับแสงของท่อดูดกลืนแสง (A = l x d) | = | 0.045 | ตารางเมตร (m <sup>2</sup> ) |

| ครั้งที่                   | เวลาที่เริ่มทดลอง | ระยะเวลา (t) s | อุณหภูมิของน้ำ °C |                | มวลของน้ำที่ไหลผ่านท่อ (m) g | พลังงานทางออก (Q <sub>o</sub> ) J | รังสีดวงอาทิตย์รวม            |                                    | ประสิทธิภาพของหลอดรับแสง % |
|----------------------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|----------------------------|
|                            |                   |                | T <sub>i</sub>    | T <sub>o</sub> |                              |                                   | ความเข้ม (I) Wm <sup>-2</sup> | พลังงานทางเข้า (Q <sub>i</sub> ) J |                            |
| 1.1                        | 1100              | 289            | 32.0              | 35.5           | 1000                         | 14630                             | 744.99                        | 11195.64                           | 130.68                     |
| 1.2                        | 1110              | 279            | 32.0              | 35.0           | 1000                         | 12540                             | 767.91                        | 11140.81                           | 112.56                     |
| 1.3                        | 1120              | 287            | 32.0              | 36.0           | 1000                         | 16720                             | 773.64                        | 11545.79                           | 144.81                     |
| ประสิทธิภาพเฉลี่ย 129.35 % |                   |                |                   |                |                              |                                   |                               |                                    |                            |
| 2.1                        | 1155              | 819            | 33.0              | 40.0           | 1000                         | 29260                             | 825.21                        | 35144.25                           | 83.26                      |
| 2.2                        | 1310              | 875            | 35.0              | 42.0           | 1000                         | 29260                             | 813.75                        | 37025.79                           | 79.03                      |
| 2.3                        | 1335              | 855            | 34.5              | 40.5           | 1000                         | 25080                             | 785.10                        | 34905.56                           | 71.85                      |
| ประสิทธิภาพเฉลี่ย 78.04 %  |                   |                |                   |                |                              |                                   |                               |                                    |                            |
| 3.1                        | 1400              | 1680           | 35.0              | 45.0           | 1000                         | 41800                             | 750.72                        | 65582.58                           | 63.74                      |
| 3.2                        | 1432              | 1634           | 35.0              | 44.0           | 1000                         | 37620                             | 687.68                        | 58430.72                           | 64.38                      |
| 3.3                        | 1504              | 1363           | 35.0              | 43.0           | 1000                         | 33440                             | 590.26                        | 41835.12                           | 79.93                      |
| ประสิทธิภาพเฉลี่ย 69.35 %  |                   |                |                   |                |                              |                                   |                               |                                    |                            |
| 4.1                        | 1535              | 1076           | 36.0              | 47.0           | 300                          | 13794                             | 458.45                        | 25651.35                           | 53.77                      |
| 4.2                        | 1548              | 1126           | 37.0              | 49.0           | 300                          | 15048                             | 343.84                        | 20132.49                           | 74.74                      |
| 4.3                        | 1615              | 1314           | 36.0              | 45.0           | 300                          | 11286                             | 326.65                        | 22319.17                           | 50.57                      |
| ประสิทธิภาพเฉลี่ย 59.69 %  |                   |                |                   |                |                              |                                   |                               |                                    |                            |

ประสิทธิภาพเฉลี่ยรวม = 84.10 %

หมายเหตุ : การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ใช้วิธีการเดียวกับหมายเหตุได้ตาราง 5

### 1.3 การหาประสิทธิภาพของหลอดรับแสงแบบสุญญากาศ

หลอดรับแสงแบบสุญญากาศ ประกอบด้วย ท่อดูดกลืนแสง มีลักษณะเป็นท่อเหล็กทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.60 เซนติเมตร ยาว 190 เซนติเมตร เคลือบผิวด้วยสีดำด้าน สอดอยู่กึ่งกลางภายในหลอดแก้วโปร่งใสปิดปลายหลอดแก้วทั้งสองข้างด้วยกาวซิลิโคน ต่อท่อระหว่างช่องภายในหลอดแก้วกับภายนอก สำหรับดูดอากาศออกให้ภายในหลอดแก้วเป็นสุญญากาศ

#### 1.3.1 โดยวิธีน้ำนิ่ง

วิธีทดลอง บรรจุน้ำในท่อดูดอากาศกลืนแสงให้เต็ม ที่ปลายท่อด้านหนึ่งติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิ ปิดปลายทั้งสองข้างไม่ให้น้ำไหลออกแล้วนำไปวางไว้กลางแสงแดดในแนวทิศเหนือได้ตามแนวระนาบ วัดอุณหภูมิของน้ำเป็นระยะ เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับและเปรียบเทียบกับพลังงานแสงอาทิตย์ ที่หาได้จากความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์รวมที่วัดโดยไพราโนมิเตอร์เพื่อหาประสิทธิภาพของหลอดรับแสง

ตาราง 9 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของหลอดรับแสง แบบสุญญากาศโดยวิธีน้ำนิ่ง

|  |   |       |                     |
|--|---|-------|---------------------|
| ความยาวของท่อดูดกลืนแสงหลอด (l)                    | = | 1.90  | เมตร (m)            |
| เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อดูดกลืนแสง (d)               | = | 0.026 | เมตร (m)            |
| พื้นที่รับแสงของท่อดูดกลืนแสง ( $A = l \times d$ ) | = | 0.049 | ตารางเมตร ( $m^2$ ) |
| มวลของน้ำในท่อดูดกลืนแสง (m)                       | = | 900   | กรัม (g)            |

| ครั้งที่ | ช่วงระหว่างเวลา | ระยะเวลา (t)<br>min | อุณหภูมิของน้ำ<br>°C |       | พลังงานทางออก ( $Q_o$ )<br>J | ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์รวม (I)<br>$Wm^{-2}$ | พลังงานทางเข้า ( $Q_i$ )<br>J | ประสิทธิภาพของหลอด ( $Q_o/Q_i$ )<br>% |
|----------|-----------------|---------------------|----------------------|-------|------------------------------|--|-------------------------------|---------------------------------------|
|          |                 |                     | $T_1$                | $T_2$ |                              |  |                               |                                       |
| 1        | 1020 - 1030     | 10                  | 26.5                 | 28.0  | 5,643                        | 620  | 18,228                        | 30.95                                 |
| 2        | 1030 - 1040     | 10                  | 28.0                 | 29.0  | 3,762                        | 550  | 16,170                        | 23.26                                 |
| 3        | 1040 - 1050     | 10                  | 29.0                 | 31.0  | 7,524                        | 720  | 21,168                        | 35.54                                 |
| 4        | 1050 - 1100     | 10                  | 31.0                 | 32.0  | 3,762                        | 320  | 9,408                         | 39.98                                 |
| 5        | 1100 - 1110     | 10                  | 32.0                 | 33.0  | 3,762                        | 480  | 14,112                        | 26.65                                 |
| 6        | 1110 - 1120     | 10                  | 33.0                 | 35.5  | 9,405                        | 730  | 21,462                        | 43.82                                 |
| 7        | 1120 - 1130     | 10                  | 35.5                 | 37.0  | 5,643                        | 910  | 26,754                        | 21.09                                 |
| 8        | 1130 - 1140     | 10                  | 37.0                 | 37.0  | 0                            | 530  | 15,582                        | 0                                     |
| 9        | 1140 - 1150     | 10                  | 37.0                 | 38.5  | 5,643                        | 730  | 21,462                        | 26.29                                 |
| 10       | 1150 - 1200     | 10                  | 38.5                 | 40.0  | 5,643                        | 860  | 25,284                        | 22.31                                 |
| 11       | 1200 - 1210     | 10                  | 40.0                 | 42.0  | 7,524                        | 950  | 27,930                        | 26.93                                 |
| 12       | 1210 - 1220     | 10                  | 42.0                 | 42.5  | 1,881                        | 870  | 25,578                        | 7.35                                  |

ประสิทธิภาพเฉลี่ย = 25.18 %

หมายเหตุ : การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ใช้วิธีการเดียวกับหมายเหตุได้ตาราง 5

### 1.3.2 โดยวิธีใช้มาตรความร้อนแบบน้ำไหล

วิธีทดลอง ทำเช่นเดียวกับ วิธีทดลองในหัวข้อ 1.1.2

ตาราง 10 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของหลอดรับแสง แบบสูญญากาศโดยวิธีใช้มาตรความร้อนแบบน้ำไหล

ความยาวของท่อดูดกลืนแสง (l) = 1.90 เมตร (m)  
 เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของท่อดูดกลืนแสง (d) = 0.026 เมตร (m)  
 พื้นที่รับแสงของท่อดูดกลืนแสง ( $A = l \times d$ ) = 0.049 ตารางเมตร (m<sup>2</sup>)

| ครั้งที่                   | เวลาที่เริ่มทดลอง | ระยะเวลา (t) s | อุณหภูมิของน้ำ °C |                | มวลของน้ำที่ไหลผ่านท่อ (m) g | พลังงานทางออก (Q <sub>o</sub> ) J | ปริมาณแสงแดดจากไพราโนมิเตอร์  |                                    | ประสิทธิภาพของหลอดรับแสง % |
|----------------------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|----------------------------|
|                            |                   |                | T <sub>i</sub>    | T <sub>o</sub> |                              |                                   | ความเข้ม (I) Wm <sup>-2</sup> | พลังงานทางเข้า (Q <sub>i</sub> ) J |                            |
| 1.1                        | 1100              | 272            | 32.0              | 37.0           | 1000                         | 20900                             | 744.99                        | 10537.08                           | 198.35                     |
| 1.2                        | 1110              | 271            | 32.0              | 37.0           | 1000                         | 20900                             | 767.91                        | 10821.36                           | 193.14                     |
| 1.3                        | 1120              | 268            | 32.5              | 37.0           | 1000                         | 18810                             | 773.64                        | 10781.43                           | 174.47                     |
| ประสิทธิภาพเฉลี่ย 188.65 % |                   |                |                   |                |                              |                                   |                               |                                    |                            |
| 2.1                        | 1155              | 879            | 33.0              | 42.5           | 1000                         | 39710                             | 825.21                        | 37718.92                           | 105.28                     |
| 2.2                        | 1310              | 884            | 36.0              | 45.0           | 1000                         | 37620                             | 813.75                        | 37406.62                           | 100.57                     |
| 2.3                        | 1335              | 887            | 36.0              | 43.0           | 1000                         | 29260                             | 785.10                        | 36211.97                           | 80.80                      |
| ประสิทธิภาพเฉลี่ย 95.55 %  |                   |                |                   |                |                              |                                   |                               |                                    |                            |
| 3.1                        | 1400              | 1551           | 36.0              | 46.0           | 1000                         | 41800                             | 750.72                        | 60546.77                           | 69.04                      |
| 3.2                        | 1432              | 1413           | 36.5              | 46.0           | 1000                         | 39710                             | 687.68                        | 50527.91                           | 78.59                      |
| 3.3                        | 1504              | 1462           | 37.0              | 45.0           | 1000                         | 33440                             | 590.26                        | 44873.77                           | 74.52                      |
| ประสิทธิภาพเฉลี่ย 74.05 %  |                   |                |                   |                |                              |                                   |                               |                                    |                            |
| 4.1                        | 1535              | 1206           | 38.0              | 48.0           | 300                          | 12540                             | 458.45                        | 28750.49                           | 43.62                      |
| 4.2                        | 1548              | 997            | 38.0              | 50.0           | 300                          | 15048                             | 343.84                        | 17826.02                           | 84.42                      |
| 4.3                        | 1615              | 1047           | 38.0              | 48.0           | 300                          | 12540                             | 326.65                        | 17784.00                           | 70.51                      |
| ประสิทธิภาพเฉลี่ย 66.18 %  |                   |                |                   |                |                              |                                   |                               |                                    |                            |

ประสิทธิภาพเฉลี่ยรวม = 106.10 %

หมายเหตุ : การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ใช้วิธีการเดียวกับหมายเหตุใต้ตาราง 5

#### 1.4 การหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงแบบรวมแสงชนิดรางรวมแสงพาราโบลา

แผงรับแสงแบบรวมแสงที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ เป็นแผงรับพลังงานแบบรางรวมแสงพาราโบลา (Parabolic – trough concentrating collectors : PTC) จำนวน 2 แผง ซึ่งแต่ละแผงประกอบด้วย หลอดรับแสงแบบมีอากาศภายใน ที่มีท่อดูดกลืนแสงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.60 เซนติเมตร ยาว 184 เซนติเมตร เคลือบด้วยสีดำด้านอยู่ภายในหลอดแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.50 เซนติเมตร ยาว 184 เซนติเมตร หลอดรับแสงดังกล่าววางอยู่ในแนวเส้นโฟกัสของรางแสงพาราโบลา รางรวมแสงนี้ทำจากกระจกเงาพลาสติกกรุสียุโรปสีเหลืองมันผ้า กว้าง 120 เซนติเมตร ยาว 184 เซนติเมตร วางอยู่บนโครงสร้างพาราโบลาซึ่งมีความยาวโฟกัส 30 เซนติเมตร โดยที่ด้านกว้างของแผ่นกระจกเงาจะโค้งเป็นรูปพาราโบลา

##### 1.4.1. โดยวิธีน้ำนิ่ง

วิธีทดลอง บรรจุน้ำให้เต็มท่อดูดกลืนแสง ติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ที่ปลายท่อเพื่อวัดอุณหภูมิของน้ำ วางแผงรับแสงโดยให้แกนमुखสำคัญของพาราโบลาชี้ไปยังดวงอาทิตย์ รังสีตรงจากดวงอาทิตย์ที่ขนานกับแกนमुखสำคัญจะสะท้อนกระจกไปรวมกันบนท่อดูดกลืนแสง วัดอุณหภูมิของน้ำเป็นช่วง ๆ เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งหาได้จากความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์รวมที่วัดโดยไพราโนมิเตอร์ และรังสีตรงที่วัดโดยไพร์เฮลิโอมิเตอร์ เพื่อหาประสิทธิภาพในการเก็บและการถ่ายเทพลังงานของหลอด

ตาราง 11 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงแบบรวมแสง ชนิดรวมแสงพาราโบลา โดยวิธีน้ำนิ่ง

|  |   |       |                             |
|--|---|-------|-----------------------------|
| ความยาวของท่อดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ (2l)         | = | 3.68  | เมตร (m)                    |
| เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ (d) | = | 0.026 | เมตร (m)                    |
| พื้นที่รับแสงของท่อ (A = 2l x d)                   | = | 0.096 | ตารางเมตร (m <sup>2</sup> ) |
| ความยาวของพื้นที่รับแสงของรวมแสง (2L)              | = | 3.68  | เมตร (m)                    |
| ความกว้างของพื้นที่รับแสงของรวมแสง (D)             | = | 1.09  | เมตร (m)                    |
| พื้นที่รับแสงของรวมแสง (B = L x D)                 | = | 4.01  | ตารางเมตร (m <sup>2</sup> ) |
| มวลของน้ำในท่อดูดกลืนแสง (m)                       | = | 1529  | กรัม (g)                    |

| ครั้งที่ | เวลาที่เริ่มทดลอง | ระยะเวลา (t) min | อุณหภูมิของน้ำ °C |                | พลังงานทางออก (Q <sub>o</sub> ) k J | รังสีดวงอาทิตย์รวม                          |                                  | รังสีตรง                                    |                                  | ประสิทธิภาพของแผง (%) |
|----------|-------------------|------------------|-------------------|----------------|-------------------------------------|---|----------------------------------|---|----------------------------------|-----------------------|
|          |                   |                  | T <sub>1</sub>    | T <sub>2</sub> |                                     | ความเข้ม (I <sub>1</sub> ) Wm <sup>-2</sup> | ทางเข้า 1 (Q <sub>i1</sub> ) k J | ความเข้ม (I <sub>2</sub> ) Wm <sup>-2</sup> | ทางเข้า 2 (Q <sub>i2</sub> ) k J |                       |
| 1        | 1115              | 14               | 36.0              | 92.5           | 361.10                              | 600   | 48.384                           | 500   | 1643.880                         | 0.213                 |
| 2        | 1145              | 12               | 37.0              | 92.5           | 354.71                              | 610   | 42.163                           | 550   | 1549.944                         | 0.222                 |
| 3        | 1210              | 13               | 37.0              | 92.5           | 354.71                              | 600   | 44.928                           | 500   | 1526.460                         | 0.225                 |

ประสิทธิภาพ = 0.220 %

หมายเหตุ :

1. พลังงานทางออก คือ ปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับ หาได้จากสมการ

$$Q_o = mc(T_2 - T_1)$$

|       |       |   |  |
|-------|-------|---|--|
| เมื่อ | $Q_o$ | = | พลังงานทางออก คือ ปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับ (จูล : J )                            |
|       | $m$   | = | มวลของน้ำในท่อดูดกลืนแสง (กรัม : g )   |
|       | $c$   | = | ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (จูลต่อกรัมเคลวิน : J g <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ) |
|       |       | = | 4.18 J g <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>   |
|       | $T_1$ | = | อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ (เคลวิน : K )   |
|       | $T_2$ | = | อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำ (เคลวิน : K )  |

2. ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ท่อดูดกลืนแสงได้รับจะได้จากรังสีดวงอาทิตย์รวม ซึ่งวัดโดยเครื่องไพราโนมิเตอร์ และรังสีตรง ซึ่งวัดโดยเครื่องไพโรเฮลิโอมิเตอร์

รังสีดวงอาทิตย์รวมจะตกลงบนท่อดูดกลืนแสงโดยตรงด้วยความเข้ม  $I_1$  ดังนั้นพลังงานแสงอาทิตย์ที่ท่อดูดกลืนแสงได้รับจากรังสีดวงอาทิตย์รวม จะหาได้จาก

$$Q_{i1} = I_1 A t$$

เมื่อ  $Q_{i1}$  = พลังงานทางเข้า 1 คือ พลังงานแสงอาทิตย์จากรังสีดวงอาทิตย์รวมที่ตกลงบนท่อดูดกลืนแสง (จุล : J)

$I_1$  = ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์รวม (วัตต์ต่อตารางเมตร :  $Wm^{-2}$ )

$A$  = พื้นที่รับแสงของท่อดูดกลืนแสง (ตารางเมตร :  $m^2$ )

$t$  = ระยะเวลาที่แสงตกกระทบบนท่อดูดกลืนแสง (วินาที : s)

ส่วนรังสีตรง จะตกกระทบกับกระจกเงาโค้งพาราโบลาของรางรวมแสงแล้วสะท้อนไปรวมกันที่ท่อดูดกลืนแสงด้านล่างด้วยความเข้ม  $I_2$  ที่วัดโดยเครื่องไพโรเฮลิโอมิเตอร์ พลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมดที่สะท้อนไปรวมกันที่ท่อดูดกลืนแสง จะหาได้จาก

$$Q_{i2} = I_2 t (B - A)$$

เมื่อ  $Q_{i2}$  = พลังงานทางเข้า 2 คือ พลังงานแสงอาทิตย์จากรังสีที่ตกกระทบบนกระจกเงาโค้งพาราโบลา (จุล : J)

$I_2$  = ความเข้มของรังสีตรง (วัตต์ต่อตารางเมตร :  $Wm^{-2}$ )

$t$  = ระยะเวลาที่แสงตกกระทบบนรางรวมแสง (วินาที : s)

$A$  = พื้นที่แสงของท่อดูดกลืนแสง (ตารางเมตร :  $m^2$ )

$B$  = พื้นที่รับแสงของรางรวมแสงพาราโบลา (ตารางเมตร :  $m^2$ )

3. ประสิทธิภาพของแผงรับแสงแบบรวมแสงชนิดรางรวมแสงพาราโบลา จะหาได้จาก

$$\eta = \frac{Q_o}{Q_{i1} + Q_{i2}} \times 100$$

เมื่อ  $\eta$  = ประสิทธิภาพในการรับและถ่ายเทพลังงานของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมแสง (%)

#### 1.4.2 โดยวิธีใช้มาตรความร้อนแบบน้ำไหล

วิธีทดลอง วางแผงรับแสงพาราโบลาโดยให้แกนमुखสำคัญของพาราโบลาชี้ไปยังดวงอาทิตย์ ปล่อยให้ให้น้ำไหลผ่านท่อดูดกลืนแสงด้วยอัตราการไหลสม่ำเสมอค่าหนึ่ง วัดค่าอุณหภูมิของน้ำก่อนไหลเข้าท่อและหลังจากไหลผ่านท่อแล้ว จับเวลาที่น้ำไหลผ่านท่อดูดกลืนแสงได้ 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร วัดความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์รวม และรังสีแพร่กระจาย โดยเครื่องไพโรโนมิเตอร์แล้วคำนวณหาความเข้มของรังสีตรง และพลังงานแสงอาทิตย์

ตาราง 12 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของแผงรับแสง แบบรวมแสงชนิดรวมแสงพาราโบลา โดยวิธีใช้น้ำทำความร้อนแบบน้ำไหล (ภาคเช้า)

|   |   |       |                     |
|---|---|-------|---------------------|
| ความยาวของท่อดูดกลืนแสง (2l)                        | = | 3.68  | เมตร (m)            |
| เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อดูดกลืนแสง (d)                | = | 0.026 | เมตร (m)            |
| พื้นที่รับแสงของท่อดูดกลืนแสง ( $A = 2l \times d$ ) | = | 0.096 | ตารางเมตร ( $m^2$ ) |
| ความยาวของพื้นที่รับแสงของรางรวมแสง (2L)            | = | 3.68  | เมตร (m)            |
| ความกว้างของพื้นที่รับแสงของรางรวมแสง (D)           | = | 1.09  | เมตร (m)            |
| พื้นที่รับแสงของรางรวมแสง ( $B = L \times D$ )      | = | 4.01  | ตารางเมตร ( $m^2$ ) |
| มวลของน้ำที่ไหลผ่านท่อดูดกลืนแสง (m)                | = | 1000  | กรัม (g)            |

| ครั้งที่                  | เวลาที่เริ่มทดลอง | ระยะเวลา (t) S | อุณหภูมิของน้ำ °C |       | พลังงานทางออก ( $Q_0$ ) J | รังสีดวงอาทิตย์รวม           |                                    | รังสีตรง                     |                                    | ประสิทธิภาพของแผงรับแสง% |
|---------------------------|-------------------|----------------|-------------------|-------|---------------------------|------------------------------|------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|--------------------------|
|                           |                   |                | $T_i$             | $T_o$ |                           | ความเข้ม ( $I_1$ ) $Wm^{-2}$ | พลังงาน 1 ทางเข้า 1 ( $Q_{11}$ ) J | ความเข้ม ( $I_2$ ) $Wm^{-2}$ | พลังงาน 2 ทางเข้า 2 ( $Q_{12}$ ) J |                          |
| 1.1                       | 1100              | 17.65          | 29.5              | 36.5  | 29260                     | 722.06                       | 1223.46                            | 592.06                       | 40859.16                           | 69.53                    |
| 1.2                       | 1105              | 17.42          | 29.5              | 36.5  | 29260                     | 727.79                       | 1217.10                            | 597.79                       | 40717.04                           | 69.78                    |
| 1.3                       | 1106              | 17.25          | 29.5              | 36.5  | 29260                     | 727.79                       | 1205.23                            | 597.79                       | 40319.69                           | 70.46                    |
| ประสิทธิภาพเฉลี่ย 69.91 % |                   |                |                   |       |                           |                              |                                    |                              |                                    |                          |
| 2.1                       | 1108              | 22.52          | 29.5              | 37.0  | 31350                     | 727.79                       | 1573.43                            | 597.79                       | 52637.65                           | 57.83                    |
| 2.2                       | 1111              | 23.37          | 29.5              | 38.0  | 35530                     | 733.52                       | 1645.68                            | 603.52                       | 55148.06                           | 62.56                    |
| 2.3                       | 1112              | 23.09          | 29.5              | 38.5  | 37620                     | 739.26                       | 1638.66                            | 609.26                       | 55004.70                           | 66.42                    |
| ประสิทธิภาพเฉลี่ย 62.27 % |                   |                |                   |       |                           |                              |                                    |                              |                                    |                          |
| 3.1                       | 1120              | 34.00          | 30.0              | 43.5  | 56430                     | 739.26                       | 2412.93                            | 609.26                       | 80994.36                           | 67.66                    |
| 3.2                       | 1122              | 33.60          | 30.0              | 43.5  | 56430                     | 756.45                       | 2440.00                            | 626.45                       | 82300.10                           | 66.59                    |
| 3.3                       | 1124              | 33.77          | 30.0              | 44.0  | 58520                     | 762.18                       | 2470.92                            | 632.18                       | 83473.18                           | 68.09                    |
| ประสิทธิภาพเฉลี่ย 67.44 % |                   |                |                   |       |                           |                              |                                    |                              |                                    |                          |
| 4.1                       | 1130              | 45.33          | 30.5              | 48.0  | 73150                     | 756.45                       | 3291.82                            | 626.45                       | 111031.7                           | 63.99                    |
| 4.2                       | 1132              | 45.87          | 31.0              | 49.0  | 75240                     | 762.18                       | 3356.26                            | 632.18                       | 113382.1                           | 64.45                    |
| 4.3                       | 1134              | 45.00          | 31.0              | 49.0  | 75240                     | 767.91                       | 3317.36                            | 637.91                       | 112240.0                           | 65.11                    |
| ประสิทธิภาพเฉลี่ย 64.51 % |                   |                |                   |       |                           |                              |                                    |                              |                                    |                          |
| 5.1                       | 1136              | 58.76          | 31.0              | 51.0  | 83600                     | 762.18                       | 4299.41                            | 632.18                       | 145243.8                           | 55.90                    |
| 5.2                       | 1138              | 58.05          | 31.0              | 52.0  | 87780                     | 779.37                       | 4343.27                            | 649.37                       | 147391.0                           | 57.85                    |
| 5.3                       | 1140              | 58.74          | 31.5              | 53.0  | 89870                     | 779.37                       | 4394.90                            | 649.37                       | 149142.9                           | 58.53                    |
| ประสิทธิภาพเฉลี่ย 57.42 % |                   |                |                   |       |                           |                              |                                    |                              |                                    |                          |
| 6.1                       | 1150              | 65.15          | 32.0              | 59.5  | 114950                    | 808.02                       | 5053.70                            | 678.02                       | 172717.2                           | 64.66                    |
| 6.2                       | 1152              | 65.01          | 33.0              | 60.0  | 112860                    | 819.48                       | 5114.37                            | 686.48                       | 175259.4                           | 62.57                    |
| 6.3                       | 1154              | 64.88          | 33.0              | 60.0  | 112860                    | 819.48                       | 5104.14                            | 689.48                       | 174908.9                           | 62.70                    |
| ประสิทธิภาพเฉลี่ย 63.31 % |                   |                |                   |       |                           |                              |                                    |                              |                                    |                          |
| 7.1                       | 1200              | 72.91          | 33.0              | 61.5  | 119130                    | 790.83                       | 5535.31                            | 660.83                       | 188388.4                           | 61.43                    |

ตาราง 12 (ต่อ)

| ครั้งที่                  | เวลาที่เริ่มทดลอง | ระยะเวลา (t) S | อุณหภูมิของน้ำ °C |                | พลังงานทางออก (Q <sub>o</sub> ) J | รังสีดวงอาทิตย์รวม                          |  | รังสีตรง                                    |  | ประสิทธิภาพของแผงรับแสง% |
|---------------------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|-----------------------------------|---|--|---|--|--------------------------|
|                           |                   |                | T <sub>i</sub>    | T <sub>o</sub> |                                   | ความเข้ม (I <sub>1</sub> ) Wm <sup>-2</sup> | พลังงาน 1 ทางเข้า 1 (Q <sub>11</sub> ) J | ความเข้ม (I <sub>2</sub> ) Wm <sup>-2</sup> | พลังงาน 2 ทางเข้า 2 (Q <sub>12</sub> ) J |                          |
| 7.2                       | 1203              | 73.09          | 33.0              | 62.0           | 121220                            | 790.83                                      | 5548.98                                  | 660.83                                      | 188853.5                                 | 62.36                    |
| 7.3                       | 1205              | 73.52          | 33.0              | 62.0           | 121220                            | 785.10                                      | 5541.18                                  | 655.10                                      | 188317.2                                 | 62.53                    |
| ประสิทธิภาพเฉลี่ย 62.10 % |                   |                |                   |                |                                   |   |  |   |  |                          |
| 8.1                       | 1210              | 89.8           | 34.0              | 67.5           | 140030                            | 785.10                                      | 6768.19                                  | 655.10                                      | 230017.5                                 | 59.14                    |
| 8.2                       | 1213              | 90.44          | 34.0              | 67.0           | 137940                            | 773.64                                      | 6716.92                                  | 643.64                                      | 227603.9                                 | 58.87                    |
| 8.3                       | 1216              | 89.45          | 34.0              | 67.5           | 140030                            | 779.37                                      | 6692.60                                  | 649.37                                      | 227116.7                                 | 59.89                    |
| ประสิทธิภาพเฉลี่ย 59.30 % |                   |                |                   |                |                                   |   |  |   |  |                          |
| 9.1                       | 1220              | 110.75         | 34.5              | 77.0           | 177650                            | 779.37                                      | 8286.26                                  | 649.37                                      | 281198.2                                 | 61.37                    |
| 9.2                       | 1225              | 110.56         | 35.0              | 77.5           | 177650                            | 758.10                                      | 8332.87                                  | 655.10                                      | 283193.0                                 | 60.94                    |
| 9.3                       | 1230              | 109.09         | 35.0              | 78.0           | 179740                            | 796.56                                      | 8342.10                                  | 666.56                                      | 284316.5                                 | 61.42                    |
| ประสิทธิภาพเฉลี่ย 61.24 % |                   |                |                   |                |                                   |   |  |   |  |                          |

ประสิทธิภาพเฉลี่ยทั้งหมด = 63.05 %

ตาราง 13 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของแผงรับแสง แบบรวมแสงชนิดรางรวมแสงพาราโบลา โดยวิธีใช้มาตรความร้อนแบบน้ำไหล (ภาคบ่าย)

| ครั้งที่                  | เวลาที่เริ่มทดลอง | ระยะเวลา (t) s | อุณหภูมิของน้ำ °C |                | พลังงานทางออก (Q <sub>o</sub> ) J | รังสีดวงอาทิตย์รวม                          |  | รังสีตรง                                    |  | ประสิทธิภาพของแผงรับแสง% |
|---------------------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|-----------------------------------|---|--|---|--|--------------------------|
|                           |                   |                | T <sub>i</sub>    | T <sub>o</sub> |                                   | ความเข้ม (I <sub>1</sub> ) Wm <sup>-2</sup> | พลังงาน 1 ทางเข้า 1 (Q <sub>11</sub> ) J | ความเข้ม (I <sub>2</sub> ) Wm <sup>-2</sup> | พลังงาน 2 ทางเข้า 2 (Q <sub>12</sub> ) J |                          |
| 1.1                       | 1500              | 18.22          | 32.0              | 36.0           | 16720                             | 550.14                                      | 962.27                                   | 420.14                                      | 29931.09                                 | 54.12                    |
| 1.2                       | 1502              | 17.85          | 32.0              | 35.5           | 14630                             | 521.49                                      | 893.63                                   | 391.49                                      | 27323.46                                 | 51.85                    |
| 1.3                       | 1504              | 18.47          | 32.0              | 35.0           | 12540                             | 521.49                                      | 924.66                                   | 391.49                                      | 28272.51                                 | 42.95                    |
| ประสิทธิภาพเฉลี่ย 49.64 % |                   |                |                   |                |                                   |   |  |   |  |                          |
| 2.1                       | 1506              | 24.10          | 32.0              | 40.5           | 35530                             | 521.49                                      | 1206.52                                  | 391.49                                      | 36890.49                                 | 93.26                    |
| 2.2                       | 1508              | 24.16          | 32.0              | 40.0           | 33440                             | 521.49                                      | 1209.52                                  | 391.49                                      | 36982.34                                 | 87.56                    |
| 2.3                       | 1510              | 23.81          | 32.0              | 40.0           | 33440                             | 510.03                                      | 1165.80                                  | 380.03                                      | 35379.57                                 | 91.50                    |
| ประสิทธิภาพเฉลี่ย 90.77 % |                   |                |                   |                |                                   |   |  |   |  |                          |
| 3.1                       | 1512              | 32.88          | 32.0              | 40.0           | 33440                             | 475.64                                      | 1501.36                                  | 345.64                                      | 44436.36                                 | 72.79                    |
| 3.2                       | 1514              | 33.41          | 32.0              | 40.0           | 33440                             | 475.64                                      | 1525.56                                  | 345.64                                      | 45152.64                                 | 71.64                    |
| 3.3                       | 1516              | 33.13          | 32.0              | 32.0           | 29260                             | 475.94                                      | 1512.78                                  | 345.64                                      | 44774.23                                 | 63.21                    |
| ประสิทธิภาพเฉลี่ย 69.21 % |                   |                |                   |                |                                   |   |  |   |  |                          |
| 4.1                       | 1518              | 45.80          | 32.5              | 44.5           | 50160                             | 446.99                                      | 1965.33                                  | 316.99                                      | 56766.19                                 | 85.41                    |
| 4.2                       | 1520              | 45.61          | 32.5              | 45.0           | 52250                             | 475.64                                      | 2082.64                                  | 345.64                                      | 61640.58                                 | 82.00                    |

ตาราง 13 (ต่อ)

| ครั้งที่                   | เวลาที่เริ่มทดลอง | ระยะเวลา (t) s | อุณหภูมิของน้ำ °C |                | พลังงานทางออก (Q <sub>o</sub> ) J | รังสีดวงอาทิตย์รวม                          |  | รังสีตรง                                    |   | ประสิทธิภาพของแผงรับแสง% |
|----------------------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|-----------------------------------|---|--|---|---|--------------------------|
|                            |                   |                | T <sub>i</sub>    | T <sub>o</sub> |                                   | ความเข้ม (I <sub>1</sub> ) Wm <sup>-2</sup> | พลังงาน 1 ทางเข้า 1(Q <sub>1</sub> ) J | ความเข้ม (I <sub>2</sub> ) Wm <sup>-2</sup> | พลังงาน 2 ทางเข้า 2 (Q <sub>2</sub> ) J |                          |
| 4.3                        | 1522              | 45.83          | 33.0              | 46.0           | 54340                             | 481.38                                      | 2117.90                                | 351.38                                      | 62964.81                                | 83.49                    |
| ประสิทธิภาพเฉลี่ย 83.63 %  |                   |                |                   |                |                                   |   |  |   |   |                          |
| 5.1                        | 1532              | 54.54          | 34.0              | 50.0           | 66880                             | 446.99                                      | 2340.38                                | 326.99                                      | 69731.37                                | 92.80                    |
| 5.2                        | 1534              | 54.73          | 34.0              | 49.0           | 62700                             | 429.80                                      | 2258.20                                | 309.80                                      | 66295.31                                | 91.46                    |
| 5.3                        | 1536              | 54.58          | 34.0              | 48.0           | 58520                             | 424.07                                      | 2221.98                                | 304.07                                      | 64890.65                                | 87.20                    |
| ประสิทธิภาพเฉลี่ย 90.48 %  |                   |                |                   |                |                                   |   |  |   |   |                          |
| 6.1                        | 1540              | 67.46          | 35.0              | 51.0           | 66880                             | 401.15                                      | 2597.89                                | 281.15                                      | 74157.52                                | 87.13                    |
| 6.2                        | 1544              | 67.01          | 35.0              | 52.0           | 71060                             | 401.15                                      | 2580.56                                | 281.15                                      | 73662.84                                | 93.20                    |
| 6.3                        | 1548              | 67.31          | 35.0              | 53.0           | 75240                             | 406.88                                      | 2629.14                                | 286.88                                      | 75500.84                                | 96.30                    |
| ประสิทธิภาพเฉลี่ย 92.21 %  |                   |                |                   |                |                                   |   |  |   |   |                          |
| 7.1                        | 1550              | 74.24          | 35.0              | 50.5           | 64790                             | 389.68                                      | 2777.30                                | 279.68                                      | 81186.46                                | 77.16                    |
| 7.2                        | 1552              | 73.66          | 35.6              | 53.0           | 72732                             | 389.68                                      | 2755.60                                | 279.68                                      | 80552.19                                | 87.31                    |
| 7.3                        | 1554              | 73.38          | 36.0              | 55.0           | 79420                             | 395.42                                      | 2785.50                                | 285.42                                      | 81890.21                                | 93.79                    |
| ประสิทธิภาพเฉลี่ย 86.08 %  |                   |                |                   |                |                                   |   |  |   |   |                          |
| 8.1                        | 1600              | 90.81          | 36.0              | 57.0           | 87780                             | 383.95                                      | 3347.22                                | 273.95                                      | 97272.11                                | 87.24                    |
| 8.2                        | 1602              | 90.21          | 36.0              | 54.5           | 77330                             | 378.22                                      | 3275.48                                | 268.22                                      | 94608.09                                | 79.00                    |
| 8.3                        | 1604              | 99.44          | 36.0              | 51.0           | 62700                             | 361.03                                      | 3134.56                                | 251.03                                      | 88769.87                                | 68.22                    |
| ประสิทธิภาพเฉลี่ย 78.15 %  |                   |                |                   |                |                                   |   |  |   |   |                          |
| 9.1                        | 1608              | 100.70         | 36.5              | 61.0           | 102410                            | 332.38                                      | 3213.17                                | 232.38                                      | 91495.90                                | 108.13                   |
| 9.2                        | 1615              | 100.00         | 37.0              | 61.5           | 102410                            | 275.07                                      | 2640.69                                | 185.07                                      | 72363.01                                | 136.54                   |
| 9.3                        | 1620              | 115.62         | 37.0              | 62.0           | 104500                            | 280.80                                      | 3116.77                                | 190.80                                      | 86256.79                                | 116.92                   |
| ประสิทธิภาพเฉลี่ย 120.53 % |                   |                |                   |                |                                   |   |  |   |   |                          |

ประสิทธิภาพเฉลี่ยทั้งหมด = 84.18 %

หมายเหตุ :

1. การทดลองเก็บข้อมูลในตาราง 11 ทำการทดลองระหว่างเวลา 10.00 น. – 12.30 น.  
การทดลองเก็บข้อมูลในตาราง 12 ทำการทดลองระหว่างเวลา 15.00 น. – 16.20 น.
2. พลังงานทางออก คือ ปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น หาได้จาก

$$Q_o = mc(T_o - T_i)$$

เมื่อ  $Q_o$  = พลังงานทางออก (จูล : J )  
 $m$  = มวลของน้ำที่ไหลผ่านท่อดูดกลืนแสง (กรัม : g)

$$\begin{aligned}
 c &= \text{ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (จุลต่อกรัมเคลวิน : J g}^{-1} \text{ K}^{-1}) \\
 &= 4.18 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1} \\
 T_i &= \text{อุณหภูมิของน้ำก่อนไหลเข้าท่อตุ๊กกิ้งแสง (เคลวิน : K)} \\
 T_o &= \text{อุณหภูมิของน้ำหลังจากไหลผ่านท่อตุ๊กกิ้งแสง (เคลวิน : K)}
 \end{aligned}$$

3. พลังงานทางเข้า คือ ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ท่อตุ๊กกิ้งแสงได้รับ ซึ่งจะมี 2 ส่วน ได้แก่ พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์รวมตกกระทบโดยตรงบนท่อตุ๊กกิ้งแสง และพลังงานจากรังสีตรงสะท้อนรวมแสงพาราโบลาเข้าสู่ท่อตุ๊กกิ้งแสง

พลังงานแสงอาทิตย์ที่ท่อตุ๊กกิ้งแสงได้รับจากรังสีดวงอาทิตย์รวม หรือพลังงานทางเข้า  $Q_1$  หาได้จาก

$$Q_{i1} = I_1 A t$$

เมื่อ  $Q_{i1}$  = พลังงานทางเข้า 1 (จุล : J)

$$I_1 = \text{ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์รวม (วัตต์ต่อตารางเมตร : Wm}^{-2})$$

$$A = \text{พื้นที่รับแสงของท่อตุ๊กกิ้งแสง (ตารางเมตร : m}^2)$$

$$t = \text{ระยะเวลาที่แสงตกกระทบบนท่อตุ๊กกิ้งแสง (วินาที : s)}$$

พลังงานแสงอาทิตย์ที่ท่อตุ๊กกิ้งแสงได้รับ จากรังสีตรงที่สะท้อนจากรวมแสงพาราโบลา หรือ พลังงานทางเข้า 2 หาได้จาก

$$Q_{i2} = I_2 (B - A) t$$

เมื่อ  $Q_{i2}$  = พลังงานทางเข้า 2 (J)

$$I_2 = \text{ความเข้มของรังสีตรง (Wm}^{-2})$$

$$A = \text{พื้นที่เงาของท่อตุ๊กกิ้งแสงบนรวมแสงพาราโบลา (m}^2)$$

$$B = \text{พื้นที่รับแสงของรวมแสงพาราโบลา (m}^2)$$

$$t = \text{ระยะเวลาที่แสงตกกระทบบนรวมแสง (s)}$$

4. ประสิทธิภาพของแผงรับแสง ชนิดรวมแสงพาราโบลา หาได้จาก

$$\eta = \frac{Q_o}{Q_{i1} + Q_{i2}} \times 100$$

เมื่อ  $\eta$  = ประสิทธิภาพของแผงรับแสงชนิดรวมแสงพาราโบลา

1.5 การหาประสิทธิภาพของระบบการสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้พลังงานไฟฟ้า  
ระบบการสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้พลังงานประกอบด้วย ส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ

**1.5.1 หม้อต้มน้ำไฟฟ้า** เป็นหม้อต้มน้ำที่สร้างขึ้นเองประกอบด้วย ภาชนะบรรจุน้ำมีลักษณะเป็นขวดแก้วหนาหุ้มด้วยฉนวนป้องกันความร้อนถ่ายเทออกมาทั้งหมด บรรจุอยู่ในโครงไม้ที่ใช้สังกะสีหุ้มอีกชั้นหนึ่ง อีกส่วนหนึ่ง คือ ตัวกำเนิดความร้อน (Heater) ติดตั้งอยู่บนฝาปิดขวดแก้วซึ่งทำจากไม้เนื้อแข็งหนา ตัวกำเนิดความร้อนประกอบด้วย แผ่นโลหะไร้สนิม (Stainless steel) วางขนานกันแต่ละแผ่นก็จะต่อเข้ากับขั้วไฟฟ้า เมื่อจุ่มแผ่นโลหะขั้วไฟฟ้าลงไปในน้ำ กระแสไฟฟ้าก็จะไหลผ่านน้ำระหว่างแผ่นขั้วทั้งสองทำให้น้ำได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นจนในที่สุดน้ำก็จะเดือดกลายเป็นไอพุ่งออกทางท่อไอน้ำซึ่งต่อเชื่อมกับช่องไอน้ำเข้าของเครื่องจักรไอน้ำ

**1.5.2 เครื่องจักรไอน้ำ** ในการวิจัยครั้งนี้เป็นเครื่องจักรไอน้ำชนิดลูกสูบคู่ ประกอบด้วย ลูกสูบทองเหลือง 2 ลูก เคลื่อนที่อยู่ที่ปลายกระบอกลูกสูบทองเหลือง อันเดียวกันทั้งสองข้าง ระหว่างกึ่งกลางกระบอกลูกสูบมีจุกทองเหลืองปิดกันและเจาะเป็น “ช่องไอน้ำเข้า” ตรงกึ่งกลางแท่งทองเหลืองนี้ ไอน้ำจะเข้าและออกจากกระบอกลูกสูบทาง “ช่องไอน้ำของกระบอกลูกสูบ” ที่เจาะทะลุผ่านทั้งสองข้าง เมื่อไอน้ำพุ่งเข้าทางช่องไอน้ำเข้า ไอน้ำก็จะเข้าไปในกระบอกลูกสูบทางช่องไอน้ำของกระบอกลูกสูบ โดยผ่านทางลิ้นเลื่อน ไอน้ำก็จะดันลูกสูบให้เคลื่อนที่ ลิ้นเลื่อนจะทำหน้าที่เปลี่ยนทิศทางการไอน้ำให้เข้าไปในกระบอกลูกสูบทั้งสองข้างสลับกันไปมา โดยขณะที่ไอน้ำพุ่งเข้ากระบอกลูกสูบด้านหนึ่งก็จะดันลูกสูบทำให้ห้องสูบขยายตัวขึ้น ขณะเดียวกันลูกสูบอีกด้านหนึ่งก็จะดันไอน้ำออกทางช่องไอน้ำของกระบอกลูกสูบ เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่สู่ระยะชัก กลไกเคลื่อนลิ้นก็จะเคลื่อนลิ้นให้ไอน้ำพุ่งเข้าอีกด้านหนึ่งทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่กลับไปตามตลอดเวลา

**1.5.3 เครื่องสูบน้ำ** เป็นเครื่องสูบน้ำประเภทเครื่องสูบน้ำอัดกระแทกกลับชนิดกระแทกเดี่ยว แบบลูกสูบจุ่ม ประกอบด้วย ห้องสูบเป็นท่อเหล็กทรงกระบอกลูกสูบมีช่องลิ้นดูด และลิ้นปล่อยอยู่ด้านข้าง ปลายด้านหนึ่งปิด ปลายอีกด้านหนึ่งมีฝาปิดที่เจาะเป็นช่องลูกสูบกึ่งกลางฝา ลูกสูบทำด้วยแท่งทองเหลืองทรงกระบอกลูกสูบ ขณะที่ลูกสูบเคลื่อนที่ออก ลิ้นดูดจะเปิดน้ำ ลิ้นปล่อยจะปิดน้ำ จะไหลเข้าห้องสูบและเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่เข้าไปในห้องสูบ น้ำในห้องสูบก็จะดันให้ลิ้นดูดปิดและลิ้นปล่อยเปิด น้ำก็จะไหลออกทางลิ้นปล่อย ดังนั้น ในหนึ่งรอบของการเคลื่อนที่ของลูกสูบน้ำก็จะถูกดูด

วิธีทดลอง ต่อท่อไอน้ำระหว่างหม้อต้มน้ำไฟฟ้ากับเครื่องจักรไอน้ำ เติมน้ำในหม้อต้มน้ำไฟฟ้า จำนวน 600 ลูกบาศก์เซนติเมตร นำฟลายที่มีตัวกำเนิดความร้อนติดอยู่ปิดให้สนิท หมุนสลักเกลียวตรึงฝาให้แน่น ต่อตัวกำเนิดความร้อนกับไฟฟ้า 220 โวลต์ น้ำในหม้อต้มน้ำไฟฟ้าก็จะเดือดกลายเป็นไอน้ำที่มีความดันสูงพุ่งไปตามท่อไอน้ำไปยังช่องไอน้ำเข้าของเครื่องจักรไอน้ำ ทำให้เครื่องจักรไอน้ำและเครื่องสูบน้ำทำงานได้ วัตถุประสงค์ไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวกำเนิดความร้อนและจับเวลาที่เครื่องทำงาน แล้วนำไปคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในการทำให้เกิดไอน้ำ เปรียบเทียบกับพลังงานที่ใช้ในการสูบน้ำของเครื่องสูบน้ำ เพื่อหาประสิทธิภาพของระบบเครื่องสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้พลังงานไฟฟ้าต่อไป

ตาราง 14 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบเครื่องสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้พลังงานไฟฟ้า

เฮดสแตติกรวม (h) = 1.00 เมตร (m)

| ครั้งที่ | เวลา<br>(t)<br>s | ไฟฟ้า                  |   | ปริมาตรน้ำ<br>ที่สูบได้<br>(V)<br>lit | มวลของน้ำ<br>ที่สูบได้<br>(m)<br>kg | พลังงาน<br>ที่ใช้ในการ<br>สูบน้ำ<br>(Q <sub>p</sub> )<br>J | ประสิทธิ<br>ภาพ (η)<br>% |
|----------|------------------|------------------------|---|---------------------------------------|-------------------------------------|--|--------------------------|
|          |                  | กระแสไฟฟ้า<br>(I)<br>A | พลังงานไฟฟ้า<br>(Q <sub>e</sub> )<br>MJ |                                       |                                     |  |                          |
| 1        | 780              | 6.30                   | 1.08                                    | 96                                    | 96                                  | 940.80   | 0.087                    |
| 2        | 765              | 7.60                   | 1.28                                    | 96                                    | 96                                  | 940.80   | 0.073                    |

ประสิทธิภาพเฉลี่ย = 0.08 %

ตาราง 15 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบเครื่องสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้พลังงานไฟฟ้า

เฮดสแตติกรวม (h) = 1.80 เมตร (m)

| ครั้งที่ | เวลา<br>(t)<br>s | ไฟฟ้า                  |   | ปริมาตรน้ำ<br>ที่สูบได้<br>(V)<br>lit | มวลของน้ำ<br>ที่สูบได้<br>(m)<br>kg | พลังงาน<br>ที่ใช้ในการ<br>สูบน้ำ<br>(Q <sub>p</sub> )<br>J | ประสิทธิ<br>ภาพ (η)<br>% |
|----------|------------------|------------------------|---|---------------------------------------|-------------------------------------|--|--------------------------|
|          |                  | กระแสไฟฟ้า<br>(I)<br>A | พลังงานไฟฟ้า<br>(Q <sub>e</sub> )<br>MJ |                                       |                                     |  |                          |
| 1        | 868              | 6.9                    | 1.31                                    | 99                                    | 99                                  | 1746.36  | 0.133                    |
| 2        | 869              | 6.5                    | 1.24                                    | 99                                    | 99                                  | 1746.36  | 0.140                    |

ประสิทธิภาพเฉลี่ย = 0.136 %

ตาราง 16 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบเครื่องสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้พลังงานไฟฟ้า

เฮดสแตติกกรม (h) = 2.00 เมตร (m)

| ครั้งที่ | เวลา (t)<br>s | ไฟฟ้า                  |                                 | ปริมาตรน้ำ<br>ที่สูบได้<br>(V)<br>lit | มวลของน้ำ<br>ที่สูบได้<br>(m)<br>kg | พลังงาน<br>ที่ใช้ในการ<br>สูบน้ำ<br>( $Q_p$ )<br>J | ประสิทธิ<br>ภาพ ( $\eta$ )<br>% |
|----------|---------------|------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|--|---------------------------------|
|          |               | กระแสไฟฟ้า<br>(I)<br>A | พลังงานไฟฟ้า<br>( $Q_e$ )<br>MJ |                                       |                                     |  |                                 |
| 1        | 888           | 6.5                    | 1.26                            | 92                                    | 92                                  | 1803.20  | 0.143                           |
| 2        | 867           | 6.9                    | 1.31                            | 97                                    | 97                                  | 1901.20  | 0.145                           |

ประสิทธิภาพเฉลี่ย = 0.144 %

หมายเหตุ :

1. พลังงานไฟฟ้า หาได้จาก

$$Q_e = VIt$$

- เมื่อ  $Q_e$  = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการต้มน้ำ (จูล : J)  
 $V$  = แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ใช้กับหม้อต้มน้ำไฟฟ้า (โวลต์ : V)  
 $I$  = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวกำเนิดความร้อน (แอมแปร์ : A)  
 $t$  = เวลาที่ระบบสูบน้ำทำงาน

2. พลังงานที่เครื่องสูบน้ำใช้ในการสูบน้ำ หาได้จาก

$$Q_p = mgh$$

- เมื่อ  $Q_p$  = พลังงานที่ใช้ในการสูบน้ำ (จูล : J)  
 $m$  = มวลของน้ำที่สูบได้ (กิโลกรัม : kg)  
 $g$  = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (เมตรต่อวินาที<sup>2</sup> :  $ms^{-2}$ )  
 $h$  = เฮดสแตติกกรม (เมตร : m)

3. ประสิทธิภาพของระบบเครื่องสูบน้ำทั้งระบบ

$$\eta = \frac{Q_p}{Q_e}$$

- เมื่อ  $\eta$  = ประสิทธิภาพของระบบเครื่องสูบน้ำ

### 1.6 การหาประสิทธิภาพของระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ แผงรับแสง เครื่องจักรไอน้ำและเครื่องสูบน้ำรายละเอียดของส่วนประกอบและการพัฒนาทั้งสามส่วนได้กล่าวไว้อย่างละเอียดในบทที่ 3 แล้ว

วิธีทดลอง ต่อท่อดูดกลืนแสงด้านไอน้ำออกของหลอดรับแสงของแผงรับแสงแบบพาราโบลาเข้ากับช่องไอน้ำของเครื่องจักรไอน้ำซึ่งติดตั้งเครื่องสูบน้ำไว้แล้วปรับทิศทางและค่าระดับความสูงเชิงมุมของแผงรับแสง ให้รังสีตรงของแสงอาทิตย์สะท้อนรวมแสงพาราโบลาไปตกลงบนท่อดูดกลืนแสงพอดีค่อย ๆ ปล่อยน้ำเข้าไปในท่อดูดกลืนแสงทางด้านตรงข้ามกับด้านไอน้ำออก พลังงานแสงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนโดยท่อดูดกลืนแสง จะทำให้น้ำในท่อดูดกลืนแสงเดือดกลายเป็นไอน้ำและพุ่งออกมาทางด้านไอน้ำออกผ่านท่อน้ำไอน้ำไปยังช่องไอน้ำเข้าของเครื่องจักรไอน้ำเข้าไปภายในห้องสูบน้ำให้ลูกสูบน้ำงานวัดความเข้มแสงที่ตกกระทบบนแผงรับแสงด้วยเครื่องจักรไพราโนมิเตอร์ เพื่อนำไปคำนวณหาพลังงานทั้งหมดที่ตกบนแผงรับพลังงาน บันทึกปริมาณน้ำที่สูบน้ำได้ในแต่ละเฮกสแตติกรวม

ตาราง 17 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ (เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์)

$$\text{เฮกสแตติกรวม (h)} = 2.20 \text{ เมตร}$$

ทดลอง 5 ธันวาคม 2543

| ครั้งที่ | เวลาที่เริ่มทดลอง | ระยะเวลา (t) s | ปริมาณน้ำที่สูบน้ำได้ |                                      | พลังงานทางออก การสูบน้ำ ( $Q_o$ ) J | ปริมาณแสงอาทิตย์                 |                            | ประสิทธิภาพ $Q_o / Q_i$ |
|----------|-------------------|----------------|-----------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|----------------------------|-------------------------|
|          |                   |                | ปริมาตร (V) lit       | อัตราการสูบน้ำ lit min <sup>-1</sup> |                                     | ความเข้มแสง (I) Wm <sup>-2</sup> | พลังงานทางเข้า ( $Q_i$ ) J |                         |
| 1        | 0930              | 600            | 55                    | 5.50                                 | 1210                                | 770                              | 1852620                    | 0.065                   |
| 2        | 0940              | 600            | 76                    | 7.60                                 | 1672                                | 770                              | 1852620                    | 0.090                   |
| 3        | 0945              | 300            | 39                    | 7.80                                 | 858                                 | 770                              | 926310                     | 0.092                   |
| 4        | 1010              | 780            | 96                    | 7.38                                 | 2112                                | 770                              | 2408406                    | 0.087                   |
| 5        | 1015              | 300            | 42                    | 8.40                                 | 924                                 | 870                              | 1046610                    | 0.088                   |
| 6        | 1018              | 180            | 20                    | 6.67                                 | 440                                 | 770                              | 555786                     | 0.079                   |
| 7        | 1030              | 660            | 86                    | 7.82                                 | 1892                                | 770                              | 2037882                    | 0.092                   |
| 8        | 1107              | 2220           | 200                   | 5.41                                 | 4400                                | 770                              | 6854694                    | 0.064                   |
| 9        | 1140              | 180            | 26                    | 8.67                                 | 572                                 | 870                              | 627966                     | 0.091                   |
| 10       | 1126              | 1380           | 133                   | 5.78                                 | 2926                                | 820                              | 4537716                    | 0.064                   |
| 11       | 1300              | 2160           | 247                   | 6.86                                 | 5434                                | 820                              | 7102512                    | 0.076                   |
| 12       | 1317              | 1020           | 141                   | 8.29                                 | 3102                                | 770                              | 3149454                    | 0.098                   |
| 13       | 1330              | 240            | 22                    | 5.50                                 | 484                                 | 770                              | 741048                     | 0.065                   |

ตาราง 17 (ต่อ)

| ครั้งที่   | เวลาที่เริ่มทดลอง | ระยะเวลา (t) s | ปริมาณน้ำที่สูบได้ |                                   | พลังงานทางออก การสูบน้ำ ( $Q_o$ ) J | ปริมาณแสงอาทิตย์                 |                            | ประสิทธิภาพ $Q_o / Q_i$ |
|--|-------------------|----------------|--------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|----------------------------|-------------------------|
|  |                   |                | ปริมาตร (V) lit    | อัตราการสูบ $\text{lit min}^{-1}$ |                                     | ความเข้มแสง (I) $\text{Wm}^{-2}$ | พลังงานทางเข้า ( $Q_i$ ) J |                         |
| 14   | 1340              | 300            | 29                 | 5.80                              | 638                                 | 820                              | 986460                     | 0.064                   |
| 15   | 1345              | 600            | 75                 | 7.50                              | 1650                                | 820                              | 1972920                    | 0.083                   |
| 16   | 1455              | 1380           | 160                | 6.96                              | 3520                                | 820                              | 4537716                    | 0.077                   |
| 17   | 1515              | 720            | 76                 | 6.33                              | 1672                                | 770                              | 2223144                    | 0.075                   |
| ประสิทธิภาพเฉลี่ย = 0.079 %<br>ปริมาณน้ำที่สูบได้ = 6.71 ลิตร / นาที |                   |                |                    |                                   |                                     |                                  |                            |                         |
| ทดลอง 6 ธันวาคม 2543   |                   |                |                    |                                   |                                     |                                  |                            |                         |
| 1  | 0945              | 180            | 16                 | 5.33                              | 352                                 | 670                              | 483606                     | 0.072                   |
| 2  | 0950              | 180            | 14                 | 4.67                              | 308                                 | 770                              | 555786                     | 0.055                   |
| 3  | 1055              | 240            | 32                 | 8.00                              | 704                                 | 720                              | 692928                     | 0.101                   |
| 4  | 1057              | 120            | 11                 | 5.50                              | 242                                 | 720                              | 346464                     | 0.069                   |
| 5  | 1100              | 180            | 17                 | 5.67                              | 374                                 | 870                              | 627966                     | 0.059                   |
| 6  | 1105              | 120            | 12                 | 6.00                              | 264                                 | 770                              | 370524                     | 0.071                   |
| 7  | 1112              | 120            | 13                 | 6.50                              | 286                                 | 770                              | 370524                     | 0.077                   |
| 8  | 1120              | 300            | 22                 | 4.40                              | 484                                 | 720                              | 866160                     | 0.055                   |
| 9  | 1150              | 300            | 22                 | 4.40                              | 484                                 | 720                              | 866160                     | 0.055                   |
| 10   | 1203              | 300            | 25                 | 5.00                              | 550                                 | 720                              | 866160                     | 0.063                   |
| 11   | 1210              | 120            | 9                  | 4.50                              | 198                                 | 670                              | 322404                     | 0.061                   |
| 12   | 1216              | 240            | 12                 | 3.00                              | 264                                 | 670                              | 644808                     | 0.040                   |
| 13   | 1224              | 60             | 10                 | 10.00                             | 220                                 | 720                              | 173232                     | 0.126                   |
| 14   | 1230              | 180            | 24                 | 8.00                              | 528                                 | 720                              | 519696                     | 0.101                   |
| 15   | 1241              | 120            | 15                 | 7.50                              | 330                                 | 820                              | 394584                     | 0.083                   |
| 16   | 1245              | 120            | 16                 | 8.00                              | 352                                 | 820                              | 394584                     | 0.892                   |
| 17   | 1250              | 360            | 22                 | 3.67                              | 484                                 | 820                              | 1183752                    | 0.040                   |
| 18   | 1321              | 180            | 19                 | 6.33                              | 418                                 | 820                              | 591876                     | 0.070                   |
| 19   | 1330              | 180            | 19                 | 6.33                              | 418                                 | 770                              | 555786                     | 0.075                   |
| 20   | 1350              | 600            | 63                 | 6.30                              | 1386                                | 770                              | 1852620                    | 0.074                   |
| 21   | 1352              | 120            | 16                 | 8.00                              | 352                                 | 770                              | 370524                     | 0.095                   |
| 22   | 1355              | 300            | 34                 | 6.80                              | 748                                 | 720                              | 866160                     | 0.086                   |
| 23   | 1403              | 480            | 49                 | 6.13                              | 1078                                | 770                              | 1482096                    | 0.072                   |
| 24   | 1407              | 240            | 19                 | 4.75                              | 418                                 | 670                              | 644808                     | 0.064                   |
| ปริมาณน้ำที่สูบได้ = 5.74 ลิตร / นาที<br>ประสิทธิภาพเฉลี่ย = 0.073 % |                   |                |                    |                                   |                                     |                                  |                            |                         |

ตาราง 17 (ต่อ)

ทดลอง 16 ธันวาคม 2543

| ครั้งที่<br>ที่  | เวลาที่เริ่ม<br>ทดลอง | ระยะเวลา<br>(t)<br>s | ปริมาณน้ำที่สูบได้    |  | พลังงาน<br>ทางออก<br>( $Q_o$ )<br>J | ปริมาณแสงอาทิตย์                        |                                      | ประสิทธิ<br>ภาพ<br>$Q_o / Q_i$<br>% |
|--|-----------------------|----------------------|-----------------------|--|-------------------------------------|---|--------------------------------------|-------------------------------------|
|  |                       |                      | ปริมาตร<br>(V)<br>lit | อัตรา<br>การสูบ<br>lit min <sup>-1</sup> |                                     | ความเข้ม<br>แสง (I)<br>Wm <sup>-2</sup> | พลังงาน<br>ทางเข้า<br>( $Q_i$ )<br>J |                                     |
| 1  | 1015                  | 180                  | 27                    | 9.00                                     | 582.12                              | 900                                     | 649620                               | 0.089                               |
| 2  | 1021                  | 120                  | 7                     | 3.50                                     | 150.92                              | 950                                     | 433080                               | 0.034                               |
| 3  | 1025                  | 300                  | 17                    | 3.40                                     | 366.52                              | 950                                     | 1142850                              | 0.032                               |
| 4  | 1050                  | 180                  | 12                    | 4.00                                     | 258.72                              | 950                                     | 685710                               | 0.037                               |
| 5  | 1100                  | 240                  | 12                    | 3.00                                     | 258.72                              | 800                                     | 769920                               | 0.033                               |
| 6  | 1115                  | 480                  | 57                    | 7.10                                     | 1228.92                             | 950                                     | 1828560                              | 0.067                               |
| 7  | 1125                  | 1320                 | 131                   | 5.95                                     | 2824.36                             | 950                                     | 5028540                              | 0.561                               |
| 8  | 1148                  | 780                  | 68                    | 5.20                                     | 1466.08                             | 900                                     | 2815020                              | 0.052                               |
| 9  | 1210                  | 960                  | 120                   | 7.50                                     | 2587.20                             | 950                                     | 3657120                              | 0.070                               |
| 10   | 1235                  | 360                  | 57                    | 9.50                                     | 1228.92                             | 950                                     | 137142                               | 0.089                               |
| ประสิทธิภาพเฉลี่ย = 0.106 %<br>ปริมาณน้ำที่สูบได้ = 6.19 ลิตร / นาที |                       |                      |                       |  |                                     |   |                                      |                                     |
| ทดลอง 20 ธันวาคม 2543  |                       |                      |                       |  |                                     |   |                                      |                                     |
| 1  | 0930                  | 180                  | 13                    | 4.33                                     | 286                                 | 770                                     | 555786                               | 0.051                               |
| 2  | 0955                  | 300                  | 21                    | 4.20                                     | 462                                 | 770                                     | 926310                               | 0.049                               |
| 3  | 1017                  | 180                  | 19                    | 6.33                                     | 418                                 | 770                                     | 555786                               | 0.075                               |
| 4  | 1036                  | 840                  | 102                   | 7.29                                     | 2244                                | 770                                     | 2593668                              | 0.086                               |
| 5  | 1115                  | 360                  | 76                    | 12.67                                    | 1672                                | 820                                     | 1183752                              | 0.141                               |
| 6  | 1130                  | 180                  | 15                    | 5.00                                     | 330                                 | 420                                     | 303156                               | 0.108                               |
| 7  | 1150                  | 300                  | 17                    | 3.40                                     | 374                                 | 370                                     | 445110                               | 0.084                               |
| ประสิทธิภาพเฉลี่ย = 0.085 %<br>ปริมาณน้ำที่สูบได้ = 6.74 ลิตร / นาที |                       |                      |                       |  |                                     |   |                                      |                                     |

หมายเหตุ :

1. วางแผงรับแสงโดยให้แกนमुखสำคัญของแผงรวมแสงพาราโบลาชี้ไปยังดวงอาทิตย์ (เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์)
2. พลังงานทางออกคือ พลังงานที่ใช้ในการสูบน้ำโดยเครื่องสูบน้ำ หาได้จาก

$$Q_o = mgh$$

- เมื่อ
- $Q_o$  = พลังงานทางออก (จูล : J)
  - $m$  = มวลของน้ำที่สูบน้ำได้ (กิโลกรัม : kg)
  - $g$  = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (เมตรต่อวินาที<sup>2</sup> : ms<sup>-2</sup>)  
เท่ากับ 10 m s<sup>-2</sup>
  - $h$  = เหนือระดับน้ำรวม (เมตร : m)

3. พลังงานทางเข้าคือ พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงรับแสง หาได้จาก

$$Q_i = IAt$$

- เมื่อ
- $Q_i$  = พลังงานทางเข้า (จูล : J)
  - $I$  = ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ (วัตต์ต่อตารางเมตร : Wm<sup>-2</sup>)
  - $A$  = พื้นที่รับแสงของแผงรับแสง (ตารางเมตร : m<sup>2</sup>) เท่ากับ 4.01 m<sup>2</sup>
  - $t$  = ระยะเวลาที่แสงตกกระทบบนแผงรับพลังงาน (วินาที : s)

4. ประสิทธิภาพของระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ หาได้จาก

$$\eta = \frac{Q_o}{Q_i} \times 100$$

- เมื่อ
- $\eta$  = ประสิทธิภาพของระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ (%)

ตาราง 18 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ (ไม่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์)

เฮดสแตติกรวม (h) = 2.20 เมตร

ทดลอง 9 ธันวาคม 2543

| ครั้งที่   | เวลาที่เริ่มทดลอง | ระยะเวลา (t) s | ปริมาณน้ำที่สูบได้ |  | พลังงานทางออก ( $Q_o$ ) J | ปริมาณแสงอาทิตย์                 |                            | ประสิทธิภาพ $Q_o / Q_i$ % |
|--|-------------------|----------------|--------------------|--|---------------------------|----------------------------------|----------------------------|---------------------------|
|  |                   |                | ปริมาตร (V) lit    | อัตราการสูบ การสูบ lit min <sup>-1</sup> |                           | ความเข้มแสง (I) Wm <sup>-2</sup> | พลังงานทางเข้า ( $Q_i$ ) J |                           |
| 1  | 1005              | 540            | 41                 | 4.56                                     | 902                       | 770                              | 1667358                    | 0.054                     |
| 2  | 1014              | 1260           | 100                | 4.76                                     | 2200                      | 770                              | 3890502                    | 0.056                     |
| 3  | 1035              | 480            | 32                 | 4.00                                     | 704                       | 770                              | 1482096                    | 0.047                     |
| 4  | 1043              | 480            | 66                 | 8.25                                     | 1452                      | 770                              | 1482096                    | 0.097                     |
| 5  | 1050              | 420            | 61                 | 8.71                                     | 1342                      | 820                              | 1381044                    | 0.097                     |
| 6  | 1055              | 180            | 14                 | 4.67                                     | 308                       | 820                              | 591876                     | 0.052                     |
| 7  | 1100              | 240            | 16                 | 4.00                                     | 352                       | 770                              | 741048                     | 0.047                     |
| 8  | 1215              | 2880           | 188                | 3.92                                     | 4136                      | 770                              | 8892576                    | 0.046                     |
| ประสิทธิภาพเฉลี่ย = 0.062 %<br>ปริมาณน้ำที่สูบได้ = 4.79 ลิตร / นาที       |                   |                |                    |  |                           |                                  |                            |                           |
| ทดลอง 11 ธันวาคม 2543  |                   |                |                    |  |                           |                                  |                            |                           |
| 1  | 0900              | 360            | 26                 | 4.33                                     | 572                       | 720                              | 1039392                    | 0.055                     |
| 2  | 0936              | 420            | 36                 | 5.14                                     | 792                       | 770                              | 1296834                    | 0.061                     |
| 3  | 0940              | 240            | 19                 | 4.75                                     | 418                       | 770                              | 714048                     | 0.056                     |
| 4  | 0950              | 480            | 20                 | 2.50                                     | 440                       | 820                              | 1578336                    | 0.027                     |
| 5  | 1020              | 420            | 40                 | 5.71                                     | 880                       | 870                              | 1465254                    | 0.060                     |
| 6  | 1120              | 480            | 33                 | 4.13                                     | 726                       | 870                              | 1674576                    | 0.043                     |
| 7  | 1145              | 300            | 27                 | 5.40                                     | 594                       | 770                              | 926310                     | 0.064                     |
| 8  | 1205              | 1320           | 64                 | 2.91                                     | 1408                      | 770                              | 4075764                    | 0.034                     |
| 9  | 1230              | 1080           | 80                 | 4.44                                     | 1760                      | 820                              | 3551256                    | 0.049                     |
| 10   | 1248              | 720            | 68                 | 5.67                                     | 1496                      | 820                              | 2367504                    | 0.063                     |
| 11   | 1250              | 2040           | 214                | 6.29                                     | 4708                      | 770                              | 6298908                    | 0.074                     |
| ประสิทธิภาพเฉลี่ย = 0.053 %<br>ปริมาณน้ำที่สูบได้เฉลี่ย = 4.78 ลิตร / นาที |                   |                |                    |  |                           |                                  |                            |                           |
| ทดลอง 13 ธันวาคม 2543  |                   |                |                    |  |                           |                                  |                            |                           |
| 1  | 1035              | 660            | 166                | 10.50                                    | 3578.96                   | 600                              | 1587960                    | 0.225                     |
| 2  | 1100              | 720            | 85                 | 7.00                                     | 1832.60                   | 850                              | 2454120                    | 0.746                     |
| 3  | 1113              | 1380           | 88                 | 3.80                                     | 1897.28                   | 900                              | 4980420                    | 0.038                     |
| 4  | 1135              | 240            | 42                 | 10.50                                    | 905.52                    | 900                              | 866160                     | 0.104                     |
| 5  | 1140              | 120            | 7                  | 3.50                                     | 150.92                    | 900                              | 433080                     | 0.034                     |
| 6  | 1144              | 1020           | 85                 | 5.00                                     | 1832.60                   | 900                              | 3681180                    | 0.049                     |

ตาราง 18 (ต่อ)

| ครั้งที่                                    | เวลาที่เริ่มทดลอง | ระยะเวลา (t) s | ปริมาณน้ำที่สูบได้ |                                   | พลังงานทางออก ( $Q_o$ ) J | ปริมาณแสงอาทิตย์                 |                            | ประสิทธิภาพ $Q_o / Q_i$ % |
|---|-------------------|----------------|--------------------|-----------------------------------|---------------------------|----------------------------------|----------------------------|---------------------------|
|   |                   |                | ปริมาตร (V) lit    | อัตราการสูบ $\text{lit min}^{-1}$ |                           | ความเข้มแสง (I) $\text{Wm}^{-2}$ | พลังงานทางเข้า ( $Q_i$ ) J |                           |
| 7   | 1204              | 180            | 18                 | 6.00                              | 388.08                    | 950                              | 685710                     | 0.056                     |
| 8   | 1212              | 120            | 14                 | 7.00                              | 301.84                    | 950                              | 457140                     | 0.060                     |
| 9   | 1218              | 120            | 17                 | 8.50                              | 366.50                    | 950                              | 457140                     | 0.080                     |
| 10  | 1224              | 420            | 39                 | 5.60                              | 840.84                    | 950                              | 1599990                    | 0.052                     |
| 11  | 1315              | 180            | 23                 | 7.67                              | 506                       | 820                              | 591876                     | 0.085                     |
| 12  | 1352              | 420            | 53                 | 7.57                              | 1166                      | 770                              | 1296834                    | 0.089                     |
| 13  | 1425              | 540            | 45                 | 5.00                              | 990                       | 720                              | 1559088                    | 0.063                     |
| 14  | 1430              | 300            | 29                 | 5.80                              | 638                       | 720                              | 866160                     | 0.073                     |
| 15  | 1450              | 240            | 23                 | 5.75                              | 506                       | 720                              | 692928                     | 0.073                     |
| 16  | 1510              | 720            | 69                 | 5.75                              | 1518                      | 720                              | 2078784                    | 0.073                     |
| ประสิทธิภาพเฉลี่ย = 0.119 %                 |                   |                |                    |                                   |                           |                                  |                            |                           |
| ปริมาณน้ำที่สูบได้เฉลี่ย = 6.53 ลิตร / นาที |                   |                |                    |                                   |                           |                                  |                            |                           |

หมายเหตุ :

1. พลังงานแสงอาทิตย์โดยให้แก่นमुखสำคัญของรางรวมแสงพาราโบล่าอยู่ในระนาบทางเดินของดวงอาทิตย์ประจำวัน (ไม่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์)

2. พลังงานที่ใช้ในการสูบน้ำโดยเครื่องสูบ หาได้จาก

$$Q_o = mgh$$

เมื่อ  $Q_o$  = พลังงานทางออก (จูล : J)  
 $m$  = มวลของน้ำที่สูบได้ (กิโลกรัม : kg)  
 $g$  = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (เมตรต่อวินาที<sup>2</sup> : ms<sup>-2</sup>)  
 $h$  = เสดสแต่ติกรวม (เมตร : m)

3. พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงรับพลังงาน หาได้จาก

$$Q_i = IAt$$

เมื่อ  $Q_i$  = พลังงานทางเข้า (จูล : J)  
 $I$  = ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ (วัตต์ต่อตารางเมตร : Wm<sup>-2</sup>)  
 $A$  = พื้นที่รับแสงของแผงรับแสง (ตารางเมตร : m<sup>2</sup>)  
 $t$  = ระยะเวลาที่แสงตกกระทบบนแผงรับพลังงาน (วินาที : s)

4. ประสิทธิภาพของระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ หาได้จาก

$$\eta = \frac{Q_o}{Q_i} \times 100$$

เมื่อ  $\eta$  = ประสิทธิภาพของระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ (%)

## 2. ผลการประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการ

ผู้วิจัยได้สร้างบทปฏิบัติการเพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนวิชาพลังงานกับสิ่งแวดล้อม ในเรื่องเกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์ หลังจากการสร้างและรวบรวมผลการทดลองระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ จำนวน 8 บทปฏิบัติการ จากนั้นจึงนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินโดยใช้แบบประเมินดัชนีความสอดคล้อง (IOC) แล้วนำผลการประเมินมาวิเคราะห์

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญด้านต่าง ๆ ได้แก่ ด้านฟิสิกส์พลังงาน 3 ท่าน ด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา 2 ท่านและด้านหลักสูตรและการสอน 2 ท่าน มีผลการวิเคราะห์ดังตารางต่อไปนี้

ตาราง 19 แสดงค่าดัชนีความสอดคล้องของแต่ละส่วนของบทปฏิบัติการที่ได้จากการประเมินโดย

ผู้เชี่ยวชาญ

| คุณสมบัติของบทปฏิบัติการ                         | บทปฏิบัติการที่ |             |             |             |             |             |             |             |
|--|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|  | 1               | 2           | 3           | 4           | 5           | 6           | 7           | 8           |
| 1. จุดประสงค์                                    |                 |             |             |             |             |             |             |             |
| 1.1 มีความชัดเจน                                 | 1.00            | 0.86        | 0.71        | 0.86        | 1.00        | 1.00        | 1.00        | 1.00        |
| 1.2 ปฏิบัติได้จริง                               | 1.00            | 1.00        | 1.00        | 1.00        | 1.00        | 1.00        | 1.00        | 1.00        |
| 1.3 ประเมินผลได้                                 | 0.86            | 1.00        | 0.86        | 1.00        | 1.00        | 0.86        | 1.00        | 1.00        |
| <b>ค่าดัชนีความสอดคล้องเฉลี่ย</b>                | <b>0.95</b>     | <b>0.95</b> | <b>0.86</b> | <b>0.95</b> | <b>1.00</b> | <b>0.95</b> | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> |
| 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง                            |                 |             |             |             |             |             |             |             |
| 2.1 เนื้อหามีความถูกต้องชัดเจน                   | 1.00            | 1.00        | 0.57        | 0.71        | 0.71        | 1.00        | 1.00        | 1.00        |
| 2.2 ครบถ้วนสมบูรณ์                               | 0.57            | 0.86        | 0.29        | 0.43        | 0.71        | 1.00        | 0.86        | 1.00        |
| 2.3 เนื้อหามีความต่อเนื่องและเกี่ยวข้องกัน       | 0.71            | 0.86        | 0.71        | 0.71        | 0.86        | 1.00        | 0.71        | 1.00        |
| 2.4 ความสั้นยาวพอเหมาะที่จะเป็นพื้นฐานในการทดลอง | 1.00            | 0.86        | 0.57        | 1.00        | 0.71        | 1.00        | 0.86        | 1.00        |
| 2.5 เนื้อหาเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด                | 1.00            | 1.00        | 0.86        | 1.00        | 0.71        | 0.71        | 0.86        | 0.86        |
| 2.6 มีความยากง่ายเหมาะสมกับระดับของนักศึกษา      | 0.86            | 0.86        | 0.86        | 0.71        | 0.71        | 0.86        | 0.86        | 1.00        |
| 2.7 การใช้ภาษาเข้าใจง่ายสละสลวยไม่วกวน           | 0.71            | 0.57        | 0.57        | 0.71        | 0.86        | 1.00        | 1.00        | 1.00        |
| <b>ค่าดัชนีความสอดคล้องเฉลี่ย</b>                | <b>0.98</b>     | <b>0.86</b> | <b>0.63</b> | <b>0.71</b> | <b>0.75</b> | <b>0.94</b> | <b>0.88</b> | <b>0.98</b> |
| 3. เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง                  |                 |             |             |             |             |             |             |             |
| 3.1 เหมาะสมกับระดับผู้เรียน                      | 0.86            | 0.86        | 1.00        | 1.00        | 0.86        | 0.86        | 0.86        | 0.86        |

ตาราง 19 (ต่อ)

| คุณสมบัติของบทปฏิบัติการ             | บทปฏิบัติการที่ |             |             |             |             |             |             |             |
|--------------------------------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                      | 1               | 2           | 3           | 4           | 5           | 6           | 7           | 8           |
| 3.2 ครบถ้วนสำหรับใช้ในการ            |                 |             |             |             |             |             |             |             |
| ทดลอง                                | 1.00            | 0.86        | 1.00        | 0.86        | 1.00        | 0.86        | 0.86        | 1.00        |
| 3.3 เหมาะสมกับเรื่องที่ทำกร          |                 |             |             |             |             |             |             |             |
| ทดลอง                                | 1.00            | 1.00        | 1.00        | 1.00        | 0.86        | 0.71        | 1.00        | 1.00        |
| 3.4 มีความแปลกใหม่น่าสนใจ            | 0.71            | 0.86        | 1.00        | 0.86        | 1.00        | 0.86        | 0.86        | 1.00        |
| <b>ค่าดัชนีความสอดคล้องเฉลี่ย</b>    | <b>0.89</b>     | <b>0.89</b> | <b>1.00</b> | <b>0.93</b> | <b>0.93</b> | <b>0.82</b> | <b>0.89</b> | <b>0.97</b> |
| 4. วิธีการทดลอง                      |                 |             |             |             |             |             |             |             |
| 4.1 มีลำดับขั้นตอนการทดลองเหมาะสม    |                 |             |             |             |             |             |             |             |
| ชัดเจน                               | 0.86            | 1.00        | 0.86        | 0.86        | 0.71        | 0.86        | 1.00        | 1.00        |
| 4.2 ใช้ภาษาในการอธิบายเข้าใจง่าย     |                 |             |             |             |             |             |             |             |
| และปฏิบัติได้                        | 1.00            | 0.86        | 0.86        | 0.71        | 0.86        | 0.86        | 0.86        | 0.57        |
| 4.3 เหมาะสมกับเรื่องที่ทำกร          |                 |             |             |             |             |             |             |             |
| ทดลอง                                | 1.00            | 1.00        | 1.00        | 1.00        | 1.00        | 0.86        | 1.00        | 1.00        |
| 4.4 เหมาะสมกับเวลาที่กำหนด           | 0.86            | 0.86        | 0.86        | 0.86        | 0.57        | 0.71        | 0.71        | 0.86        |
| 4.5 สอดคล้องกับเครื่องมือและ         |                 |             |             |             |             |             |             |             |
| อุปกรณ์การทดลอง                      | 1.00            | 1.00        | 0.86        | 1.00        | 1.00        | 0.86        | 0.86        | 1.00        |
| 4.6 ส่งเสริมทักษะการปฏิบัติการ       |                 |             |             |             |             |             |             |             |
| ทดลอง                                | 0.86            | 1.00        | 1.00        | 1.00        | 1.00        | 1.00        | 1.00        | 1.00        |
| 4.7 มีส่วนทำให้เกิดความคิดสร้าง      |                 |             |             |             |             |             |             |             |
| สรรค์ใหม่ ๆ                          | 0.86            | 0.86        | 1.00        | 0.86        | 0.86        | 1.00        | 1.00        | 1.00        |
| 4.8 นักศึกษาทุกคนมีส่วนร่วมใน        |                 |             |             |             |             |             |             |             |
| กิจกรรมการทดลอง                      | 0.57            | 0.57        | 0.71        | 0.57        | 0.57        | 1.00        | 0.86        | 0.86        |
| 4.9 ทำให้เกิดมโนคติ (concept)        |                 |             |             |             |             |             |             |             |
| ในเนื้อหาที่ทดลองมากขึ้น             | 1.00            | 1.00        | 1.00        | 1.00        | 1.00        | 1.00        | 1.00        | 1.00        |
| 4.10 ส่งเสริมให้มีเจตคติที่ดีต่อวิชา |                 |             |             |             |             |             |             |             |
| วิทยาศาสตร์                          | 1.00            | 1.00        | 1.00        | 1.00        | 1.00        | 1.00        | 1.00        | 1.00        |
| 4.11 สอดคล้องกับวิธีการสอนที่ให้ผู้  |                 |             |             |             |             |             |             |             |
| เรียนเป็นสำคัญ                       | 1.00            | 1.00        | 1.00        | 1.00        | 1.00        | 1.00        | 1.00        | 1.00        |
| <b>ค่าดัชนีความสอดคล้องเฉลี่ย</b>    | <b>0.91</b>     | <b>0.92</b> | <b>0.92</b> | <b>0.89</b> | <b>0.87</b> | <b>0.92</b> | <b>0.94</b> | <b>0.94</b> |
| 5. ผลการทดลองและการคำนวณ             |                 |             |             |             |             |             |             |             |
| 5.1 สอดคล้องกับวิธีการทดลอง          | 1.00            | 1.00        | 1.00        | 1.00        | 1.00        | 1.00        | 1.00        | 1.00        |
| 5.2 ชัดเจนและเข้าใจง่าย              | 0.86            | 0.71        | 0.71        | 0.71        | 0.71        | 0.71        | 0.86        | 0.71        |
| 5.3 เหมาะสมกับข้อมูลที่ได้จากการ     |                 |             |             |             |             |             |             |             |
| ทดลอง                                | 1.00            | 1.00        | 1.00        | 0.86        | 1.00        | 1.00        | 1.00        | 1.00        |

ตาราง 19 (ต่อ)

| คุณสมบัติของบทปฏิบัติการ                                    | บทปฏิบัติการที่ |             |             |             |             |             |             |             |
|---|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|   | 1               | 2           | 3           | 4           | 5           | 6           | 7           | 8           |
| 5.4 สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ต่อ<br>ได้ง่าย                 | 0.86            | 0.86        | 0.86        | 1.00        | 1.00        | 1.00        | 1.00        | 1.00        |
| ค่าดัชนีความสอดคล้องเฉลี่ย                                  | <b>0.93</b>     | <b>0.89</b> | <b>0.89</b> | <b>0.89</b> | <b>0.93</b> | <b>0.93</b> | <b>0.97</b> | <b>0.93</b> |
| 6. คำถามท้ายบทปฏิบัติการ                                    |                 |             |             |             |             |             |             |             |
| 6.1 เหมาะสมสอดคล้องกับเรื่องที่ทำ<br>การทดลอง               | 0.57            | 0.71        | 0.57        | 0.86        | 0.86        | 0.71        | 0.57        | 1.00        |
| 6.2 มีจำนวนข้อพอเหมาะ                                       | 0.71            | 0.71        | 0.57        | 0.57        | 0.71        | 0.86        | 0.71        | 0.71        |
| 6.3 ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และ<br>การออกแบบการทดลองใหม่ ๆ | 0.86            | 1.00        | 1.00        | 0.86        | 1.00        | 0.71        | 0.57        | 1.00        |
| 6.4 ส่งเสริมการค้นคว้าหาความรู้<br>เพิ่มเติม                | 1.00            | 1.00        | 1.00        | 0.86        | 1.00        | 1.00        | 0.86        | 0.86        |
| 6.5 ส่งเสริมการคิดแก้ปัญหา                                  | 0.86            | 0.86        | 0.86        | 0.86        | 1.00        | 0.86        | 0.71        | 1.00        |
| 6.6 ส่งเสริมการคิดวิเคราะห์                                 | 0.86            | 0.86        | 1.00        | 0.86        | 1.00        | 1.00        | 0.71        | 1.00        |
| 6.7 ส่งเสริมทักษะกระบวนการ<br>วิทยาศาสตร์                   | 1.00            | 0.86        | 1.00        | 1.00        | 1.00        | 1.00        | 0.86        | 1.00        |
| ค่าดัชนีความสอดคล้องเฉลี่ย                                  | <b>0.84</b>     | <b>0.86</b> | <b>0.86</b> | <b>0.84</b> | <b>0.96</b> | <b>0.88</b> | <b>0.71</b> | <b>0.94</b> |

## บทที่ 5

### สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยและพัฒนาทางวิทยาศาสตร์ โดยผู้วิจัยได้สร้างและพัฒนาระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ความร้อน แล้วนำสิ่งประดิษฐ์ดังกล่าวนี้ไปศึกษาและรวบรวมข้อมูลทางวิทยาศาสตร์เพื่อหาประสิทธิภาพของสิ่งประดิษฐ์ หลังจากนั้นจึงได้นำผลการวิเคราะห์ข้อมูลไปสร้างเป็นบทปฏิบัติการ แล้วนำบทปฏิบัติการที่สร้างขึ้นไปให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินโดยวิธีการหาค่าดัชนีความสอดคล้อง เพื่อใช้ในการเรียนการสอนวิชาพลังงานกับสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นรายวิชาหนึ่งในโปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมของหลักสูตรสถาบันราชภัฏและวิชาอื่นๆในทางอุณหพลศาสตร์ ผลการศึกษาค้นคว้าและสาระสำคัญพอจะสรุปได้ดังนี้

#### ความมุ่งหมายในการวิจัย

1. เพื่อสร้างและพัฒนาระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์
2. เพื่อสร้างบทปฏิบัติการเรื่องที่เกี่ยวข้องกับพลังงานแสงอาทิตย์ในรายวิชาพลังงานกับสิ่งแวดล้อมจากระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างและพัฒนาขึ้น

#### สมมติฐานในการวิจัย

1. ระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์สามารถเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานกลในการสูบน้ำได้
2. บทปฏิบัติการในรายวิชาพลังงานกับสิ่งแวดล้อมตามหลักสูตรของสถาบันราชภัฏที่สร้างขึ้นจากระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์และประเมินโดยใช้วิธีการหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of congruency : IOC) แล้ว แต่ละบทจะต้องมีค่าดัชนีความสอดคล้องไม่ต่ำกว่า 0.5

#### วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการเรียนการสอนสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี สถาบันราชภัฏ ในครั้งนี้เป็นการวิจัยและพัฒนาทางวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การสร้างและพัฒนาระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ และบทปฏิบัติการวิชาพลังงานกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการโดยสรุปดังนี้

#### 1. การสร้างและพัฒนาระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

ในการสร้างและพัฒนาระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์นั้นมีการดำเนินการดำเนินงานดังนี้

##### 1.1 ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง

เพื่อเป็นการทำความเข้าใจในระบบการทำงานของกลไกของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์และข้อมูลเกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์จึงต้องศึกษาเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

- 1.1.1 งานวิจัยและข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์ เช่น ปริมาณความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ในรอบปี ค่าความยาวนานของแสงแดดในแต่ละวันและข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง เป็นต้น

1.1.2 เอกสารตำราที่เกี่ยวกับดาราศาสตร์ โลกและดวงอาทิตย์ เพื่อศึกษาเรื่องราวเกี่ยวกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในท้องฟ้า โลก และการโคจรของโลกในช่วงฤดูกาลต่าง ๆ สมบัติของแสง และความรู้เกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น

1.1.3 เอกสารตำราและงานวิจัยที่เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อศึกษาวิธีการที่จะนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ วิธีการเก็บเกี่ยวพลังงานแสงอาทิตย์แบบต่าง ๆ รวมทั้งเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้กับพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น

1.1.4 เอกสารตำราเกี่ยวกับเครื่องยนต์ความร้อน เพื่อศึกษารูปแบบการทำงาน และประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ความร้อนแบบต่าง ๆ

1.1.5 เอกสารตำราเกี่ยวกับเครื่องสูบน้ำ เพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะคุณสมบัติการทำงาน และประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำชนิดต่าง ๆ เพื่อที่จะสามารถเลือกนำมาใช้ได้อย่างเหมาะสมกับงาน

## 1.2 การออกแบบ

หลังจากการศึกษาเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างระบบเครื่องสูบน้ำแล้ว จึงได้นำความรู้ที่ได้มาออกแบบในส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบ ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบเครื่องสูบน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่ แผงรับแสง เครื่องจักรไอน้ำ และเครื่องสูบน้ำ

1.2.1 การออกแบบแผงรับแสง เพื่อให้พลังงานแสงอาทิตย์มีความเข้มข้นพอที่จะทำให้น้ำกลายเป็นไอได้ จะต้องใช้แผงรับแสงชนิดรวมแสงที่มีรูปทรงเป็นรางรวมแสงพาราโบลา มีกลไกเคลื่อนย้ายเพื่อปรับทิศทางและค่าระดับความสูงเชิงมุมของแผงได้ จากการคำนวณโดยใช้กระจกสะท้อนแสงที่มีในตลาด จะได้ความยาวโฟกัสของพาราโบลาที่เหมาะสมเท่ากับ 30 เซนติเมตร และเลือกใช้ท่อดูดกลืนแสงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร เมื่อตัดกระจกเป็นรูปพาราโบลาแล้ว จะได้ความกว้างของพื้นที่รับแสงเท่ากับ 109.5 เซนติเมตร จึงทำให้ได้สัดส่วนความเข้มข้นแสงเท่ากับ 13.72

1.2.2 การออกแบบเครื่องจักรไอน้ำ การออกแบบเครื่องจักรไอน้ำได้คำนึงถึงขนาดที่พอเหมาะสำหรับการเรียนการสอนปฏิบัติการ นำแบบไปสร้างได้ง่าย มีวัสดุที่สามารถหาได้ในท้องถิ่น เทคนิควิธีการสร้างไม่ยุ่งยากเกินไปมีความคงทนถาวรต่อสภาพความกดดันสูงการทำงานของเครื่องจักรจะต้องเริ่มต้นทำงานได้เองเมื่อมีไอน้ำเข้าไปในกระบอกสูบ นั่นคือเครื่องจักรจะต้องหยุดทำงานในตำแหน่งที่พร้อมจะเริ่มต้นทำงานใหม่ได้ การออกแบบเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นแบบที่มีสองลูกสูบ มีกระบอกสูบลวางตัวอยู่ในแนวเดียวกัน ลูกสูบมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.5 เซนติเมตร ระยะชัก 3 เซนติเมตร มีลิ้นเลื่อนทำหน้าที่ปิด - เปิด ไอน้ำเข้าไปในกระบอกสูบระบบลิ้นเลื่อน เป็นระบบ "เยื้องศูนย์" ทำให้ลิ้นเลื่อนอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้ไอน้ำพร้อมที่จะเข้าสู่กระบอกสูบด้านใดด้านหนึ่งเสมอ

1.2.3 การออกแบบเครื่องสูบน้ำ เนื่องจากการทำงานของเครื่องจักรไอน้ำจะส่งกำลังเคลื่อนที่กลับไปกลับมาในทิศทางเดียว ฉะนั้นการออกแบบเครื่องสูบน้ำจะต้องให้สอดคล้องกับการทำงานของเครื่องจักรไอน้ำ จึงได้เลือกแบบในการสร้างเครื่องสูบน้ำเป็นเครื่องสูบน้ำชนิดเครื่องสูบน้ำอัดประเภทเครื่องสูบน้ำอัดกระแทกกลับ ลักษณะลูกสูบจุ่ม แบบเครื่องสูบน้ำกระแทกเดี่ยว และกำหนดให้เฮดสแตติกครวมเท่ากับ 3 เมตร หรือเทียบเท่ากับความดัน  $3 \times 10^4$  นิวตันต่อตารางเมตร ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของลูกสูบเท่ากับ 3.20 เซนติเมตร ระยะชักของลูกสูบ 4.50 เซนติเมตร ดังนั้นในการทำงานหนึ่งรอบจึงสามารถสูบน้ำได้ 36.19 ลูกบาศก์เซนติเมตร

### 1.3 ทดสอบการทำงานและหาประสิทธิภาพของระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

ได้ทำการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ทุก ๆ ช่วงของการพัฒนาหรือเป็นการทดสอบย่อยแล้วนำอุปกรณ์ดังกล่าวมาประกอบกันแล้วจึงทำการทดสอบทั้งระบบและปรับปรุงเป็นระยะ ๆ จนเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์สามารถทำงานได้

### 1.4 ทดลองเก็บข้อมูล

ได้เก็บข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับปริมาณทางฟิสิกส์ เช่น อุณหภูมิ ความเข้มแสง ปริมาณน้ำที่สูบน้ำได้ เป็นต้น โดยทำการเก็บข้อมูล บริเวณศูนย์วิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันราชภัฏเพชรบูรณ์

## 2. การสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการ

การสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการนี้เป็นบทปฏิบัติการในรายวิชาพลังงานกับสิ่งแวดล้อม เรื่องที่เกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นบทปฏิบัติการที่ได้ดำเนินการต่อจากการสร้างและพัฒนา ระบบเครื่องสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แล้ว โดยมีขั้นตอนการดำเนินการพอสรุปได้ดังนี้

### 2.1 ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการ

เอกสารที่ใช้ประกอบการสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการวิชาพลังงานกับสิ่งแวดล้อม มีดังนี้

2.1.1 เอกสาร ตำราและงานวิจัยเกี่ยวกับการสอนแบบทดลองการสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการเพื่อให้เข้าใจขั้นตอนการสร้างและพัฒนาเอกสารบทปฏิบัติการและแนวคิดเกี่ยวกับการสอนแบบทดลองที่จะทำให้ผู้เรียนได้รับความรู้ ทักษะและเจตคติที่ดี

2.1.2 เอกสารและตำราเกี่ยวกับการวัดผลและการประเมินผล เพื่อนำไปใช้ในการประเมินบทปฏิบัติการที่สร้างขึ้นโดยการให้ผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ประเมิน ในการวิจัยครั้งนี้จะใช้เทคนิคการวิเคราะห์ดัชนีความสอดคล้อง

### 2.2 สร้างบทปฏิบัติการ

เมื่อได้พัฒนาเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์และได้ทดลองการทำงาน พร้อมกับศึกษาเอกสารเกี่ยวกับบทปฏิบัติการแล้ว จึงได้ทำการสร้างบทปฏิบัติการ โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

2.2.1 ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ทำการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลและตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่สร้างขึ้น

2.2.2 กำหนดเนื้อหาสาระในแต่ละบทปฏิบัติการโดยมีหัวข้อที่สำคัญ ได้แก่ จุดประสงค์ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เครื่องมือและอุปกรณ์ วิธีการทดลอง ผลการทดลอง การคำนวณและคำถามท้ายบทปฏิบัติการ

2.2.3 สร้างบทปฏิบัติการที่ใช้ในรายวิชาพลังงานกับสิ่งแวดล้อมขึ้นมาทั้งสิ้น 8 บทปฏิบัติการ ได้แก่

- บทปฏิบัติการที่ 1 หลอดรับแสงแบบสุญญากาศ
- บทปฏิบัติการที่ 2 ผลการพาความร้อนของอากาศต่อการเก็บพลังงานของหลอดแสง
- บทปฏิบัติการที่ 3 เครื่องมือวัดพลังงานแสงอาทิตย์
- บทปฏิบัติการที่ 4 การหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงแบบรวมแสง
- บทปฏิบัติการที่ 5 การหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงแบบแผ่ราบ

บทปฏิบัติการที่ 6 การหาประสิทธิภาพของระบบเครื่องสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้พลังงานไฟฟ้า

บทปฏิบัติการที่ 7 ระบบเครื่องสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้ก๊าซหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง

บทปฏิบัติการที่ 8 การหาประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

### 2.3 ประเมินบทปฏิบัติการ

เพื่อให้บทปฏิบัติการที่สร้างขึ้นมีความถูกต้อง ชัดเจนในทุก ๆ ประเด็น สามารถนำไปปฏิบัติได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงต้องนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญประเมิน เพื่อหาจุดอ่อนและนำไปแก้ไขก่อนจะนำไปใช้จริง โดยมีกระบวนการพอสังเขปดังนี้

2.3.1 การประเมินบทปฏิบัติการครั้งนี้ใช้วิธีการวิเคราะห์ความสอดคล้อง โดยพิจารณาหาดัชนีความสอดคล้อง (IOC) จาก

$$IOC = \frac{\Sigma R}{N}$$

เมื่อ  $IOC$  เป็นค่าดัชนีความสอดคล้องมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง +1  
 $\Sigma R$  เป็นผลรวมของการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญ  
 $N$  เป็นจำนวนผู้เชี่ยวชาญ

การพิจารณาค่า IOC จะต้องไม่ต่ำกว่า 0.5 จึงจะถือว่ามีความสอดคล้อง

2.3.2 กำหนดผู้เชี่ยวชาญในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ด้านฟิสิกส์พลังงาน 3 ท่าน ด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา 2 ท่าน ด้านหลักสูตรและการสอน 2 ท่าน รวมทั้งสิ้น 7 ท่าน

### 2.4 นำบทปฏิบัติการไปใช้หลังจากได้ปรับปรุงตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

โดยขอบเขตของการวิจัยครั้งนี้ไม่ได้นำบทปฏิบัติการไปใช้ในการเรียนการสอนจริงเพียงแต่กำหนดในแผนผังการพัฒนาบทปฏิบัติการไว้ว่า ควรนำเอาไปใช้แล้วนำการประเมินผล หากค่าผลสัมฤทธิ์ด้านต่าง ๆ อีกครั้งหนึ่ง

## สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยมี 2 ส่วน คือ ส่วนที่เกี่ยวกับระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ และส่วนที่เกี่ยวข้องกับบทปฏิบัติการในแต่ละส่วน พอสรุปได้ดังนี้

### 1. ผลการวิจัยระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

#### 1.1 ประสิทธิภาพของหลอดรับแสงแบบเปลือย

หลอดรับแสงแบบเปลือย ประกอบด้วย ท่อเหล็กกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.60 เซนติเมตร ยาว 200 เซนติเมตร เคลือบผิวด้วยสีดำ

##### 1.1.1 โดยวิธีน้ำนิ่ง

ทดลองหาประสิทธิภาพการดูดกลืนแสง หรือการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็น

พลังงานความร้อนโดยการบรรจุน้ำในท่อให้เกือบเต็ม แล้วนำไปวางไว้กลางแสงแดดวัดอุณหภูมิของน้ำที่เปลี่ยนไปและวัดความเข้มแสงด้วยไพราโนมิเตอร์ นำมาเปรียบเทียบหาค่าประสิทธิภาพของหลอดรับแสงได้

การทดลองครั้งนี้ (จากตาราง 5) เก็บข้อมูลระหว่างเวลา 10.20 - 12.20 น. ทุก ๆ 10 นาที ผลปรากฏว่า อุณหภูมิสูงสุดของน้ำในท่อ  $40.5^{\circ}\text{C}$  ปริมาณพลังงานความร้อนสูงสุด 7,524 จูล ที่ช่วงเวลา 11.10 - 11.20 น. และ 11.40 - 11.50 น. จากข้อมูลจะเห็นได้ว่ามีบางช่วงที่คำนวณได้ค่าปริมาณความร้อนที่หลอดรับพลังงานได้รับเป็นลบ แสดงว่า หลอดรับพลังงานคายความร้อนออก ซึ่งเป็นช่วงที่มีเมฆบังและมีลมพัดจากการคำนวณค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 14.62 %

#### 1.1.2 โดยวิธีใช้มาตรฐานความร้อนแบบน้ำไหล

ทดลองหาประสิทธิภาพโดยนำหลอดรับแสงไปวางไว้กลางแสงแดดในแนวราบทิศเหนือใต้ แล้วปล่อยให้ น้ำไหลผ่านด้วยอัตราการไหลแตกต่างกัน 4 ระดับ ทำการทดลองระดับละ 3 ครั้ง

การทดลองครั้งนี้ (จากตาราง 5) เก็บข้อมูลระหว่างเวลา 11.00 - 16.30 น. ผลปรากฏว่าปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับสูงสุด 33,440 จูล ณ เวลา 14.00 น. มีประสิทธิภาพเฉลี่ยรวม 76.25 %

### 1.2 ประสิทธิภาพของหลอดรับแสง แบบมีอากาศภายใน

หลอดรับแสงแบบมีอากาศภายใน ประกอบด้วย ท่อดูดกลืนแสงทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.6 เซนติเมตร ยาว 175 เซนติเมตร เคลือบผิวด้วยสีดำด้านหุ้มด้วยหลอดแก้วโปรงใส มีท่อระบายอากาศระหว่างภายในกับภายนอกหลอดแก้ว

#### 1.2.1 โดยวิธีน้ำนิ่ง

การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพในการดูดกลืนแสงของหลอดทำโดยการบรรจุน้ำเข้าไปในท่อดูดกลืนแสงให้มีช่องว่างในท่อเล็กน้อยแล้วนำไปวางไว้กลางแสงแดด สังเกตและบันทึกข้อมูลอุณหภูมิของน้ำที่เปลี่ยนไป พร้อมกับวัดความเข้มของแสงแดดโดยไพราโนมิเตอร์

การทดลองครั้งนี้ (จากตาราง 6) ได้เก็บข้อมูลระหว่างเวลา 10.20 - 12.20 น. ทุกๆ 10 นาทีตลอดช่วงการทดลอง ผลปรากฏว่าอุณหภูมิสูงสุดของน้ำในท่อดูดกลืนแสงวัดได้  $42^{\circ}\text{C}$  ปริมาณพลังงานความร้อนสูงสุด 7,524 จูล ในช่วงเวลา 10.40 - 10.50 น. และ 11.10 - 11.20 น. และ 11.50 - 12.00 น. จากข้อมูลจะเห็นได้ว่ามีบางช่วงปริมาณความร้อนที่น้ำในท่อดูดกลืนแสงได้รับมีค่าเป็นศูนย์ หรือ อุณหภูมิของท่อดูดกลืนแสงไม่เปลี่ยนแปลง แสดงว่า ในช่วงนั้นปริมาณความร้อนที่ท่อดูดกลืนแสงได้รับและปริมาณความร้อนที่ท่อดูดกลืนแสงปลดปล่อยออกมาเท่ากัน จากการคำนวณหาประสิทธิภาพในการรับและถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำในท่อดูดกลืนแสงได้ค่าประสิทธิภาพโดยเฉลี่ย 20.80 %

#### 1.2.2 โดยวิธีใช้มาตรฐานความร้อนแบบน้ำไหล

ทดลองโดยการนำหลอดรับแสงแบบมีอากาศภายในวางไว้กลางแสงแดดในแนวราบทิศเหนือ - ใต้ แล้วปล่อยให้ น้ำไหลผ่านด้วยอัตราการไหลที่แตกต่างกัน 4 ระดับ ระดับละ 3 ครั้ง

การทดลองครั้งนี้ (จากตาราง 7) เก็บข้อมูลระหว่างเวลา 11.00 - 16.30 น. ผลปรากฏว่าปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับสูงสุด 41,800 จูล ณ เวลา 14.00 น. ประสิทธิภาพเฉลี่ยรวม 84.10 %

### 1.3 ประสิทธิภาพของหลอดรับแสง แบบสุญญากาศ

หลอดรับแสงแบบสุญญากาศ ประกอบด้วย ท่อดูดกลืนแสง เป็นท่อเหล็กทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.6 เซนติเมตร ยาว 190 เซนติเมตร เคลือบผิวด้วยสีดำด้าน หุ้มด้วยหลอดแก้วโปร่งใส สูบอากาศที่อยู่ในช่องว่างระหว่างท่อดูดกลืนแสงกับผิวหลอดด้านในออก เพื่อป้องกันการพาความร้อนของอากาศจากผิวท่อดูดกลืนแสงสู่ผิวของหลอดแก้ว

#### 1.3.1 โดยวิธีน้ำนิ่ง

การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพในการดูดกลืนและถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำที่อยู่ภายในท่อดูดกลืนแสง ใช้วิธีบรรจุน้ำเข้าไปในท่อดูดกลืนแสงแล้วนำไปวางไว้กลางแสงแดดในทิศเหนือ - ใต้ขนานกับพื้นดิน สังเกตและบันทึกอุณหภูมิของน้ำในท่อและวัดความเข้มแสงโดยใช้ไพราโนมิเตอร์

เก็บข้อมูล (จากตาราง 9) ระหว่างเวลา 10.20 - 12.20 น. บันทึกข้อมูลทุก ๆ 10 นาทีปรากฏว่า ได้อุณหภูมิของน้ำในท่อดูดกลืนแสงสูงสุด  $42.5^{\circ}\text{C}$  ปริมาณความร้อนสูงสุดที่น้ำในท่อดูดกลืนแสงได้รับในช่วง 10 นาที คือ 9,405 จูล ในช่วงเวลา 11.10 - 11.20 น. จากตารางบันทึกข้อมูลจะเห็นได้ว่า ช่วงเวลา 11.30 - 11.40 น. อุณหภูมิของน้ำในท่อดูดกลืนแสงไม่เปลี่ยนแปลง แสดงว่า อัตราการดูดกลืนและการปล่อยพลังงานของหลอดรับแสงเท่ากันในช่วงนี้ ซึ่งเป็นช่วงที่มีเมฆบดบัง จากการคำนวณประสิทธิภาพของหลอดรับแสงแบบสุญญากาศเฉลี่ยเท่ากับ 25.18 %

#### 1.3.2 โดยใช้มาตรการความร้อนแบบน้ำไหล

ทดลองโดยนำหลอดรับแสงแบบสุญญากาศวางไว้กลางแสงแดดในแนวราบทิศเหนือ ใต้ แล้วปล่อยให้น้ำไหลผ่านด้วยอัตราการไหลที่แตกต่างกัน 4 ระดับ ระดับละ 3 ครั้ง การทดลองครั้งนี้ (จากตาราง 10) เก็บข้อมูลระหว่างเวลา 11.00 - 16.30 น. ผลปรากฏว่าปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับสูงสุด 41,800 จูล ณ เวลา 14.00 น. ประสิทธิภาพเฉลี่ยรวม 106.10 %

### 1.4 ประสิทธิภาพของแผงรับแสง แบบรวมแสงชนิดรางรวมแสงพาราโบลา

แผงรับแสงแบบรวมแสง ชนิดรางรวมแสงพาราโบลา ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีจำนวน 2 แผง แต่ละแผงประกอบด้วย หลอดรับแสงแบบมีอากาศภายในซึ่งมีท่อดูดกลืนแสงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.60 เซนติเมตร ยาว 184 เซนติเมตร หลอดรับแสงนี้วางอยู่ในแนวเส้นโฟกัสของรางรวมแสงพาราโบลาซึ่งมีพื้นที่รับแสง 200.56 เซนติเมตร

#### 1.4.1 โดยวิธีน้ำนิ่ง

การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของแผงด้วยวิธีการบรรจุน้ำเข้าไปในท่อดูดกลืนแสงเกือบเต็มท่อให้เหลือช่องอากาศเพียงเล็กน้อย ปรับทิศทางของแผงให้แสงสะท้อนจากกระจกเงาพาราโบลาคกรวมกันตามแนวหลอดรับแสง จับเวลาตั้งแต่ปรับทิศทางของแผงได้พอดีและบันทึกค่าอุณหภูมิเริ่มต้น จนกระทั่งได้อุณหภูมิของน้ำสูงสุดพร้อมกับวัดความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์รวม ด้วยเครื่องไพราโนมิเตอร์ และวัดความเข้มของรังสีตรงด้วยเครื่องไพโรเฮลิโอมิเตอร์ แล้วนำค่าต่าง ๆ มาคำนวณหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงแบบรวมแสง

การทดลอง (จากตาราง 11) กระทำซ้ำกัน 3 ครั้ง ระหว่างเวลา 11.15 - 12.23 น. ปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของแผงรับแสงแบบรวมแสงเฉลี่ยเท่ากับ 0.22 %

#### 1.4.2 โดยใช้มาตรฐานความร้อนแบบน้ำไหล

ทดลองโดยนำแผงรับแสงแบบรวมแสงชนิดรางรวมแสงพาราโบลาไปวางกลางแสงแดดโดยให้แกนमुखสำคัญของรางพาราโบลาชี้ไปที่ดวงอาทิตย์ตลอดระยะเวลาการทดลอง หรือปรับให้แสงจากรางพาราโบลาสะท้อนไปรวมกันที่หลอดรับแสงเสมอ แล้วปล่อยให้ น้ำไหลผ่านด้วยอัตราการไหลที่แตกต่างกัน 9 ระดับ ระดับละ 3 ครั้ง ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ ทำการเก็บข้อมูล 2 ช่วง คือ

ภาคเช้า (จากตาราง 12) ระหว่างเวลา 11.00 – 12.30 น. ผลปรากฏว่าปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับสูงสุด 179,740 จูล ณ เวลา 12.30 น. ประสิทธิภาพเฉลี่ยรวม 63.05 %

ภาคบ่าย (จากตาราง 13) ระหว่างเวลา 15.00 – 16.20 น. ผลปรากฏว่าปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับสูงสุด 104,500 จูล ณ เวลา 16.20 น. ประสิทธิภาพเฉลี่ยรวม 84.18%

#### 1.5 ประสิทธิภาพของระบบการสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้พลังงานไฟฟ้า

ระบบการสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้พลังงานไฟฟ้า ประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือ (1) หม้อต้มน้ำไฟฟ้า ที่ใช้ในการทดลองเป็นหม้อต้มน้ำที่สามารถบังคับให้น้ำออกทางท่อน้ำไอน้ำของหม้อต้มน้ำได้เพียงทางเดียว ตัวกำเนิดความร้อนของหม้อต้มน้ำมีลักษณะเป็นขั้วไฟฟ้าจุ่มอยู่ในน้ำในหม้อต้มน้ำ เมื่อน้ำในหม้อต้มน้ำแห้ง ตัวกำเนิดความร้อนก็จะหยุดทำงาน (2) เครื่องจักรไอน้ำ เป็นเครื่องจักรไอน้ำชนิดลูกสูบคู่วางอยู่ในแนวเดียวกัน มีระบบกลไกเคลื่อนลิ้นปิด - เปิด ไอน้ำเข้าไปในกระบอกสูบ และความดันของไอน้ำทำให้ลูกสูบทำงานสลับกัน (3) เครื่องสูบน้ำ เป็นเครื่องสูบน้ำประเภทเครื่องสูบน้ำอัดกระแทกกลีบชนิดกระแทกเดี่ยวแบบลูกสูบจุ่ม

การทดลอง เริ่มต้นจากต่อเชื่อมท่อน้ำไอน้ำระหว่างช่องไอน้ำออกจากหม้อต้มน้ำไปยังช่องไอน้ำเข้าของเครื่องจักรไอน้ำ เติมน้ำลงไป ในหม้อต้ม 600 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อกระแสไฟฟ้าให้ไหลผ่านตัวกำเนิดความร้อน เมื่อเกิดไอน้ำขึ้นทำให้เครื่องจักรไอน้ำทำงาน ก็จะเริ่มจับเวลาและวัดค่ากระแสไฟฟ้า จนกระทั่งน้ำในหม้อต้มหมด หรือเครื่องสูบน้ำหยุดทำงาน วัดปริมาณน้ำที่สูบได้ แล้วนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบการสูบน้ำประเภทนี้ทั้งระบบ ปรับความสูงของเฮดสแตตติกรวม 3 ระดับ คือ 1.00 เมตร 1.80 เมตร และ 2.00 เมตร

การทดลองในแต่ละเฮดสแตตติกรวม ทำซ้ำ 2 ครั้ง ปรากฏผลสรุปตามตารางต่อไปนี้ (จากตาราง 14 – 16)

ตาราง 20 ผลสรุปการหาประสิทธิภาพของระบบการสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้พลังงานไฟฟ้า

| เฮดสแตตติกรวม<br>m | ปริมาตรน้ำที่สูบได้โดยเฉลี่ย<br>lit/min | ประสิทธิภาพเฉลี่ย<br>% |
|--------------------|---|------------------------|
| 1.00               | 7.45                                    | 0.080                  |
| 1.80               | 6.83                                    | 0.136                  |
| 2.00               | 6.48                                    | 0.144                  |

## 1.6 ประสิทธิภาพของระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ประกอบด้วย ส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ แผงรับแสงแบบรวมแสงพาราโบลา เครื่องจักรไอน้ำชนิดลูกสูบคู่ และเครื่องสูบน้ำประเภทเครื่องสูบน้ำอัดกระแทกกลับชนิดกระแทกเดี่ยวแบบลูกสูบจุ่ม การทดลองเริ่มต้นจากการต่อเชื่อมท่อนำไอน้ำจากหลอดรับแสงของแผงรับแสงไปยังช่องไอน้ำเข้าของเครื่องจักรไอน้ำ แล้วปรับทิศทางและค่าระดับความสูงเชิงมุมให้ลำแสงที่เป็นรังสีตกของดวงอาทิตย์สะท้อนจากกระจกโค้งพาราโบลาไปรวมกันที่หลอดรับแสงของแผงรับแสง จับเวลาที่เครื่องทำงานสูบน้ำ วัดปริมาณความเข้มแสงในช่วงที่เครื่องทำงานสูบน้ำ วัดปริมาณความเข้มแสงในช่วงที่เครื่องทำงาน และปริมาณน้ำที่เครื่องสูบน้ำสูบได้ โดยในการทดลองครั้งนี้ กำหนดเขตทดสอบที่ 2.20 เมตร การทดลองแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ

1.6.1 ปรับแผงรับแสงให้เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ตลอดเวลา ทำการทดลอง 4 วัน ผลการทดลองสรุปได้ ดังนี้ (จากตาราง 17)

ตาราง 21 ผลสรุปการทดลองระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ (เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์)

| ผลการทดลอง      | ปริมาณน้ำที่สูบได้สูงสุด |                                      | ปริมาณน้ำที่สูบได้<br>เฉลี่ย<br>lit min <sup>-1</sup> | ประสิทธิภาพ<br>เฉลี่ย<br>% |
|-----------------|--------------------------|--------------------------------------|---|----------------------------|
|                 | เวลา                     | อัตราการสูบ<br>lit min <sup>-1</sup> |   |                            |
| วันเดือนปี      |                          |                                      |   |                            |
| 5 ธันวาคม 2543  | 11:40                    | 8.67                                 | 6.71  | 0.079                      |
| 6 ธันวาคม 2543  | 12:24                    | 10.00                                | 5.74  | 0.073                      |
| 16 ธันวาคม 2543 | 12:35                    | 9.50                                 | 6.19  | 0.106                      |
| 20 ธันวาคม 2543 | 11:15                    | 12.67                                | 6.74  | 0.085                      |

1.6.2 วางแผงรับแสงในทิศตะวันออก – ตะวันตก หรือปรับให้แกนमुखสำคัญอยู่ในระนาบทางเดินของดวงอาทิตย์ประจำวัน ทำการทดลอง 3 วัน ผลการทดลองพอสรุปได้ดังนี้ (จากตาราง 18)

ตาราง 22 ผลสรุปการทดลองระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ (ไม่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์)

| ผลการทดลอง      | ปริมาณน้ำที่สูบได้สูงสุด |                                      | ปริมาณน้ำที่สูบได้<br>เฉลี่ย<br>lit min <sup>-1</sup> | ประสิทธิภาพ<br>เฉลี่ย<br>% |
|-----------------|--------------------------|--------------------------------------|---|----------------------------|
|                 | เวลา                     | อัตราการสูบ<br>lit min <sup>-1</sup> |   |                            |
| วันเดือนปี      |                          |                                      |   |                            |
| 9 ธันวาคม 2543  | 10:50                    | 8.71                                 | 4.79  | 0.062                      |
| 11 ธันวาคม 2543 | 12:50                    | 6.29                                 | 4.78  | 0.053                      |
| 13 ธันวาคม 2543 | 10:35                    | 10.50                                | 6.53  | 0.119                      |
|                 | 11:35                    | 10.50                                |   |                            |

ตาราง 23 ผลสรุปการหาประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

| การวางแผนรับพลังงาน<br>แสงอาทิตย์ | ปริมาณน้ำที่สูบน้ำได้เฉลี่ย<br>(lit / min) | ประสิทธิภาพเฉลี่ย<br>% |
|-----------------------------------|--|------------------------|
| เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์           | 6.34                                       | 0.086                  |
| วางในแนวทิศตะวันออก - ตก          | 5.36                                       | 0.078                  |

## 2. สรุปผลการประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการ

จากตาราง 19 จะเห็นว่าคุณสมบัติของบทปฏิบัติการที่ให้ผู้เชี่ยวชาญ พิจารณาทั้ง 6 ประเด็น ซึ่งได้แก่ 1) จุดประสงค์ 2) ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 3) เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง 4) วิธีการทดลอง 5) ผลการทดลองและการคำนวณ และ 6) คำถามท้ายบทปฏิบัติการ มีความโดดเด่นในรายละเอียดของแต่ละด้าน ซึ่งจะเสนอตามลำดับหัวข้อ กล่าวคือ ในด้านจุดประสงค์พบว่าสามารถปฏิบัติได้จริง (ข้อ 1.2) มีค่าดัชนีความสอดคล้องเป็น 1.0 ในทุกบทปฏิบัติการ ในด้านทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เนื้อหามีความถูกต้องชัดเจน (ข้อ 2.1) มีค่าดัชนีความสอดคล้องเป็น 1.0 ถึง 5 บทปฏิบัติการ (บทที่ 1,2,6,7,8) ในด้านเครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง มีความเหมาะสมกับเรื่องที่ทำการทดลอง (ข้อ 3.3) มีค่าดัชนีความสอดคล้องเป็น 1.0 ถึง 6 บทปฏิบัติการ ในด้านวิธีการทดลอง พบว่า ทำให้เกิดมโนคติ (concept) ในเนื้อหาที่ทดลองมากขึ้น (ข้อ 4.9) ส่งเสริมให้มีเจตคติที่ดีต่อวิชาวิทยาศาสตร์ (ข้อ 4.10) และสอดคล้องกับวิธีสอนที่ให้ผู้เรียนเป็นสำคัญ (ข้อ 4.11) โดยมีค่าดัชนีความสอดคล้องเป็น 1.00 ในทุกบทปฏิบัติการ ในด้านผลการทดลองและการคำนวณ พบว่าสอดคล้องกับวิธีการทดลอง (ข้อ 5.1) มีค่าดัชนีความสอดคล้องเป็น 1.0 ในทุกบทปฏิบัติการ และในด้านคำถามท้ายบทปฏิบัติการ พบว่าเป็นการส่งเสริมทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ มีค่าดัชนีความสอดคล้องเป็น 1.0 ถึง 6 บทปฏิบัติการ (บทที่ 1,3,4,5,6,8) ส่วนประเด็นอื่น ๆ ในแต่ละด้าน (6 ด้าน) มีค่าดัชนีความสอดคล้องไม่ต่ำกว่า 0.50 ในทุกบทปฏิบัติการ ยกเว้น ในด้านทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในหัวข้อเรื่องความครบถ้วนสมบูรณ์ (ข้อ 2.2) ในบทปฏิบัติการที่ 3 และ 4 มีค่าดัชนีความสอดคล้อง เป็น 0.29 และ 0.43 ตามลำดับ

จากตาราง 19 พบว่าค่าดัชนีความสอดคล้องเฉลี่ยของประเด็นที่พิจารณา (ทั้ง 6 ประเด็น) ในทุกบทปฏิบัติการ (1 - 8) มีค่าดัชนีความสอดคล้องไม่ต่ำกว่า 0.63 ส่วนใหญ่มีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.8 - 0.9 และมีค่าดัชนีความสอดคล้องเฉลี่ยเป็น 1.00 ในประเด็นจุดประสงค์ในบทปฏิบัติการที่ 5,7,8 ประเด็นเครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองในบทปฏิบัติการที่ 3

จากตารางแสดงค่าดัชนีความสอดคล้องในแต่ละส่วนของบทปฏิบัติการที่ผู้เชี่ยวชาญประเมิน พอลจะสรุปหาค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ในแต่ละบทปฏิบัติการ ได้ดังนี้

$$\overline{IOC} = \frac{\sum IOC}{k}$$

|       |                  |   |   |
|-------|------------------|---|---|
| เมื่อ | $\overline{IOC}$ | = | ค่าดัชนีความสอดคล้องเฉลี่ย                      |
|       | $\sum IOC$       | = | ผลรวมของค่าดัชนีความสอดคล้องในแต่ละบทปฏิบัติการ |
|       | $k$              | = | จำนวนประเด็นที่พิจารณาประเมิน                   |

ตาราง 24 แสดงค่าดัชนีความสอดคล้องเฉลี่ยในแต่ละบทปฏิบัติการ

| บทปฏิบัติการที่ | ชื่อบทปฏิบัติการ  | ค่าดัชนีความสอดคล้องเฉลี่ย |
|-----------------|---|----------------------------|
| 1               | หลอดรับแสงแบบสูญญากาศ   | 0.92                       |
| 2               | ผลการพาความร้อนของอากาศต่อการเก็บพลังงานของหลอดรับแสง                                   | 0.90                       |
| 3               | เครื่องมือวัดพลังงานแสงอาทิตย์  | 0.85                       |
| 4               | การหาประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมแสง                                     | 0.87                       |
| 5               | การหาประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่ราบ                                     | 0.90                       |
| 6               | การหาประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำด้วยเครื่องสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้พลังงานไฟฟ้า | 0.90                       |
| 7               | ระบบเครื่องสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้ก๊าซหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง                     | 0.89                       |
| 8               | การหาประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์                                       | 0.95                       |

## อภิปรายผลการวิจัย

## ตอนที่ 1 การสร้างและพัฒนาระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

## 1.1 การหาประสิทธิภาพของหลอดรับแสงแบบเปลือย

1.1.1 โดยวิธีน้ำนิ่ง จากผลการทดลอง (ตาราง 4) ปรากฏว่า น้ำในท่อดูดกลืนแสงมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากท่อดูดกลืนแสงรับแสงได้โดยตรงไม่ต้องผ่านสิ่งกีดขวาง ในขณะที่เดียวกันการพาความร้อนของอากาศที่ผ่านท่อดูดกลืนแสงก็มีโอกาสเกิดขึ้นได้มาก ดังนั้นถ้าไม่มีการเคลื่อนไหวของอากาศบริเวณท่อดูดกลืนแสง อุณหภูมิของท่อก็จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ในทำนองเดียวกันถ้ามีลมหรืออากาศเคลื่อนไหวเกิดขึ้น การพาความร้อนของอากาศบริเวณท่อก็จะเกิดขึ้นได้มากและรวดเร็ว จึงทำให้อุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกับในช่วงระหว่างเวลา 11:30–11:40 น. อุณหภูมิของหลอดรับแสงลดลง แสดงว่าหลอดรับแสงคายความร้อนให้กับอากาศโดยรอบ ความเข้มแสงลดลง

### 1.1.2 โดยวิธีใช้มาตรการความร้อนแบบน้ำไหล จากผลการทดลอง (ตาราง 6)

ปรากฏว่า การทดลองครั้งที่ 1(1.1 – 1.3) ได้ประสิทธิภาพเฉลี่ยถึง 124.31% ครั้งที่ 2(2.1 – 2.3) ได้ประสิทธิภาพเฉลี่ย 74.11% ครั้งที่ 3(3.1 – 3.1) ได้ประสิทธิภาพเฉลี่ย 59.33% และครั้งที่ 4(4.1 – 4.3) ได้ประสิทธิภาพเฉลี่ย 47.27% โดยประสิทธิภาพเฉลี่ยทั้งหมด 76.25% ในการทดลองครั้งนี้กำหนดให้อัตราการไหลของน้ำลดลงเรื่อย ๆ นั่นคือครั้งที่ 1 อัตราการไหลของน้ำจะไหลเร็วที่สุดและครั้งที่ 4 จะไหลช้าที่สุด ประสิทธิภาพของหลอดรับแสงก็จะลดลงเช่นเดียวกันซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของโมฮันตีและโบอิก (Mohanty and Bouix. 1989 : 42) ที่พบว่าประสิทธิภาพของแผงรับแสงขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำและรังสีตกกระทบ เนื่องจากเมื่ออัตราการไหลของน้ำช้าลง จะสังเกตได้ว่าอุณหภูมิของน้ำในท่อดูดกลืนแสงจะสูงขึ้นทำให้ท่อดูดกลืนแสงสูญเสียความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีมากขึ้นตามสมการ  $E = \sigma T^4$  เมื่อ E คือพลังงานที่แผ่ออกมาจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสัมบูรณ์ T ซึ่งเป็นกฎของ สเตฟาน – โบลต์ซมานน์ (Looh and Sauer. 1989 : 377) จากการทดลองครั้งที่ 1 ปรากฏว่าได้ประสิทธิภาพเฉลี่ย 124.31% แสดงว่าพลังงานทางออกมากกว่าพลังงานทางอื่นอีกนอกจากพลังงานแสงอาทิตย์จากการสังเกตแหล่งความร้อนที่หลอดรับแสงได้รับน่าจะมาจากการแผ่รังสีความร้อนของพื้นคอนกรีตซึ่งเป็นบริเวณที่ทำการทดลอง เพราะเมื่อนำเทอร์มอมิเตอร์ไปวัดอุณหภูมิที่ผิวพื้นแล้วมีอุณหภูมิสูงถึง 40 องศาเซลเซียส

### 1.2 การหาประสิทธิภาพของหลอดรับแสงแบบมีอากาศภายใน

#### 1.2.1 โดยวิธีน้ำนิ่ง จากผลการทดลอง (ตาราง 7) จะเป็นได้ว่า อุณหภูมิของน้ำ

ในท่อดูดกลืนแสงเปลี่ยนแปลงช้ากว่าแบบเปลือยและความร้อนจะถูกเก็บไว้ในน้ำนานกว่า จะเห็นว่าช่วงเวลา 11:30 – 11:40 น. และ 12:10 – 12:20 น. อุณหภูมิของน้ำในท่อไม่เปลี่ยนแปลงทั้ง ๆ ที่ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ลดลงแสดงว่าความร้อนของน้ำภายในท่อไม่ถ่ายเทออกสู่อากาศภายนอก จึงทำให้ประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงกว่าแบบเปลือย การพาความร้อนของอากาศภายในหลอดแก้ว(ระหว่างผิวนอกของท่อดูดกลืนแสงกับผิวในของหลอดแก้ว) เกิดขึ้นเล็กน้อยเพราะอากาศภายในหลอดแก้วค่อนข้างเบาบาง

#### 1.2.2 โดยวิธีใช้มาตรการความร้อนแบบน้ำไหล จากผลการทดลอง (ตาราง 8) การ

ทดลองครั้งที่ 1(1.1 – 1.3) ได้ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ย 129.35% ครั้งที่ 2(2.1 – 2.3) ได้ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ย 78.04% ครั้งที่ 3(3.1 – 3.3) ได้ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ย 69.35% ครั้งที่ 4(4.1 – 4.3) ได้ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ย 59.69% จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของหลอดรับแสงลดตามอัตราการไหลของน้ำเช่นเดียวกับ 1.1.2 และด้วยเหตุผลเดียวกัน แต่ประสิทธิภาพเฉลี่ยรวมจะสูงกว่าแบบเปลือยเพราะสามารถเก็บกักรักษาความร้อนของน้ำได้ดีกว่า

### 1.3 การหาประสิทธิภาพของหลอดรับแสงแบบสุญญากาศ

#### 1.3.1 โดยวิธีน้ำนิ่ง จากการทดลอง (ตาราง 9) พบว่า หลอดรับแสงแบบ

สุญญากาศมีประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงกว่าหลอดรับแสงชนิดอื่น ๆ สามารถเก็บกักความร้อนได้ดี จะเห็นได้จากอุณหภูมิของน้ำไม่เปลี่ยนแปลงเพียงช่วงเดียวคือเวลา 11:30 – 11:40 น.ทั้งที่รังสีดวงอาทิตย์ลดลง ประสิทธิภาพเฉลี่ย 25.18% ซึ่งสูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากการสูญเสียความร้อนออกสู่อากาศภายนอกของท่อดูดกลืนแสงมีน้อย เพราะไม่มีอากาศภายในที่จะเป็นตัวพาความร้อนออกสู่หลอดแก้วภายนอก

ความร้อนที่หลอดได้รับจะทำให้ท่อดูดกลืนแสงมีอุณหภูมิสูงขึ้นและถ่ายเทไปยังน้ำภายในท่อ ส่วนการสูญเสียก็จะเกิดจากการแผ่รังสีของท่อดูดกลืนแสงเมื่อท่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น

1.3.2 โดยวิธีใช้มาตรความร้อนแบบน้ำไหล จากผลการทดลอง (ตาราง 10) ปรากฏว่า ได้ประสิทธิภาพสูงมาก โดยที่การทดลองครั้งที่ 1(1.1 – 1.3) ได้ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ย 188.65% ครั้งที่ 2(2.1 – 2.3) ได้ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ย 95.55% ครั้งที่ 3(3.1 – 3.3) ได้ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ย 74.05% ครั้งที่ 4(4.1 – 4.3) ได้ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ย 66.18% ซึ่งประสิทธิภาพก็ลดลงตามอัตราการไหลของน้ำเช่นเดียวกันกับทั้งสองแบบข้างต้นและมีประสิทธิภาพครั้งที่ 1 สูงกว่า 100% ก็ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกับข้อ 1.1.2 ที่กล่าวมาแล้ว

#### 1.4 การหาประสิทธิภาพของแผงรับแสง แบบรวมแสงชนิดรวมแสงพาราโบล่า

1.4.1 โดยวิธีน้ำนิ่ง จากผลการทดลอง (ตาราง 11) ปรากฏว่า ประสิทธิภาพของแผงรับแสงค่อนข้างต่ำ แต่จะสังเกตได้ว่า อุณหภูมิของน้ำในท่อดูดกลืนแสงสูงมาก โดยอุณหภูมิสุดท้ายของน้ำเท่ากับ 92.5 องศาเซลเซียส จึงน่าจะเป็นสาเหตุของการสูญเสียความร้อนของท่อดูดกลืนแสง ทั้งโดยการแผ่รังสี การพาความร้อนและการนำความร้อน เพราะความแตกต่างของอุณหภูมิของท่อดูดกลืนแสงกับอากาศสูงมากทำให้มีการถ่ายเทความร้อนมาก

1.4.2 โดยวิธีใช้มาตรความร้อนแบบน้ำไหล จากผลการทดลอง (ตาราง 12 – 13) จะสังเกตเห็นว่า ในภาคเช้า (ตาราง 12) ความเข้มแสงค่อนข้างคงที่และปรับอัตราการไหลของน้ำ ปรากฏว่าเมื่อน้ำไหลเร็ว ประสิทธิภาพจะสูงและน้ำไหลช้าประสิทธิภาพจะต่ำ ส่วนในภาคบ่าย (ตาราง 12) ความเข้มของแสงเปลี่ยนแปลงมาก เมื่อเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำก็อาจจะไม่ทำให้ประสิทธิภาพเปลี่ยนแปลงมากนัก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของโมฮันตีและโบอิก ดังได้กล่าวไว้ในข้อ 1.1.2

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพเฉลี่ยทั้งหมดภาคเช้า (ตาราง 12) ได้ 63.05% และภาคบ่ายได้ 84.18% นั่นคือประสิทธิภาพในภาคบ่ายสูงกว่าภาคเช้า เมื่อสังเกตอุณหภูมิของน้ำโดยเฉลี่ยและความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์โดยเฉลี่ยแล้ว ภาคเช้าจะสูงกว่าภาคบ่าย ดังนั้นจากข้อสมมติฐานที่ว่าถ้าท่อดูดกลืนแสงยังมีอุณหภูมิสูงมากการสูญเสียความร้อนก็มากขึ้นด้วย จึงน่าจะเป็นจริงตามที่กล่าวไว้ในข้อ 1.1.2

#### 1.5 การหาประสิทธิภาพของระบบการสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้พลังงานไฟฟ้า

จากผลการทดลอง ปรากฏว่า ได้ค่าประสิทธิภาพของการทำงานค่อนข้างต่ำ ซึ่งสาเหตุหลักมาจากการสูญเสียพลังงานในระบบมาก ตั้งแต่การทำให้น้ำกลายเป็นไอน้ำ การสูญเสียความร้อนออกทางผิวหม้อต้มน้ำ การสูญเสียความร้อนให้กับอากาศภายนอกของเครื่องจักรไอน้ำและการสูญเสียในรูปของไอน้ำทางช่องไอน้ำออกของเครื่องจักรไอน้ำ ดังนั้น ประสิทธิภาพการทำงานจึงต่ำ

#### 1.6 การหาประสิทธิภาพของระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

จากสรุปผลการทดลอง (ตาราง 23) ปรากฏว่า ประสิทธิภาพการสูบน้ำของระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นค่อนข้างต่ำ แต่อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์นั้นโดยทั่วไปจะนำมาใช้ไม่ได้มากเท่าใดนัก แม้แต่เซลล์สุริยะที่เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่สามารถเก็บรวบรวมพลังงานแสงอาทิตย์ได้ดีที่สุด ยังมีประสิทธิภาพเพียง 10% เท่านั้น โดยที่แสงต้องมีความเข้มถึง 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร (Bansal, Kleemann and Meliss. 1990 : 249)

สาเหตุที่ทำให้เครื่องสูบน้ำมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ ที่สำคัญมาจากการสูญเสียความร้อนที่หลอดรับแสง เนื่องจากหลอดรับแสงจะต้องทำหน้าที่รวมแสงที่สะท้อนมาจากกระจกโค้งพาราโบลา ทำให้แสงที่ตกบนหลอดรับแสงมีความเข้มข้นสูง หลอดรับแสงจึงมีอุณหภูมิสูงมากและแตกต่างจากอุณหภูมิของอากาศค่อนข้างสูงทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากหลอดรับแสงสู่บรรยากาศมากน้อยตามความแตกต่างของอุณหภูมิ เมื่อไอน้ำผ่านท่อไอน้ำสู่เครื่องจักรไอน้ำก็จะสูญเสียความร้อนอีกส่วนหนึ่ง ถ้าสามารถทำฉนวนหุ้มได้ก็จะลดการสูญเสียได้ ดังเช่น แคนเนฟฟี (Kaneff, 1994 : 4 - 5) ได้ปรับปรุงฉนวนระหว่างเครื่องดูดกลืนแสงกับเครื่องจักรทำให้ลดการสูญเสียพลังงานจากเดิม 7 กิโลวัตต์เหลือการสูญเสียเพียง 2 kW เท่านั้น จากการทำเครื่องจักรไอน้ำทำด้วยโลหะ จึงสามารถนำความร้อนได้ดี ความร้อนจากไอน้ำก็จะสูญเสียผ่านทางเครื่องจักรไอน้ำ การสูญเสียพลังงานที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งที่ไม่อาจจะแก้ไขได้คือ การสูญเสียความร้อนไปกับไอน้ำที่พุ่งออกทางช่องไอน้ำออกของเครื่องจักรไอน้ำหลังจากที่ไอน้ำได้ทำงานในเครื่องจักรไอน้ำแล้ว แต่อาจจะลดการสูญเสียได้โดยนำไอน้ำไปควบแน่นให้เป็นน้ำร้อนแล้วนำเข้าไปในท่อดูดกลืนแสงอีกครั้งหนึ่ง ถ้าสามารถลดการสูญเสียพลังงานดังกล่าวข้างต้นได้น่าจะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์สูงขึ้นได้ แม้ผู้วิจัยได้ปรับปรุงและพัฒนาทดลองใช้หลายครั้งจนสามารถทำงานได้ในระดับหนึ่ง แต่ด้วยข้อจำกัดของเวลา สภาพลมฟ้าอากาศและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างแผงรับแสง เครื่องจักรไอน้ำและเครื่องสูบน้ำ จึงอาจทำให้การพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์มีข้อจำกัดไปด้วย

เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาวิจัยของซุฮาทา (Suhata, 1995 : 289 - 296) ที่พบว่า เครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ความร้อน สามารถสูบน้ำได้ในอัตราสูงสุด 166.67 ลิตรต่อนาที ประสิทธิภาพสูงสุด 4% ในขณะที่ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ สูบน้ำได้อัตราสูงสุด 12.67 ลิตรต่อนาที ประสิทธิภาพสูงสุด 0.145% อย่างไรก็ตามถ้าเปรียบเทียบอัตราการสูบน้ำต่อพื้นที่รับแสง 1 ตารางเมตรแล้ว เครื่องสูบน้ำของซุฮาทาจะสูบน้ำได้ในอัตรา 6.94 ลิตรต่อตารางเมตรต่อนาที (พื้นที่รับแสง 24 ตารางเมตร) และเครื่องสูบน้ำที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้สูบน้ำได้ในอัตรา 3.16 ลิตรต่อตารางเมตรต่อนาที (พื้นที่รับแสง 4.01 ตารางเมตร) ซึ่งต่างกันประมาณ 2 เท่า ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ของไหลทำงานที่แตกต่างกัน โดยซุฮาทาใช้ฟร็อน -11 และไอโซเพนเทน ซึ่งมีจุดเดือดต่ำเป็นของไหลในการทำงาน แต่ในการวิจัยครั้งนี้ใช้น้ำซึ่งมีจุดเดือดสูงกว่าเป็นของไหลทำงาน ซึ่งในการใช้น้ำเป็นของไหลทำงานนั้นต้องทำให้น้ำเดือดกลายเป็นไอน้ำอุณหภูมิสูงไปทำให้อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ไอน้ำไหลผ่านมีอุณหภูมิสูงไปด้วย การสูญเสียพลังงานของอุปกรณ์เหล่านั้นก็สูงไปด้วยตามกฎของ สเตฟาน - โบลต์ซมานน์ จึงน่าจะเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีประสิทธิภาพต่ำกว่าของซุฮาทา

อย่างไรก็ตาม ในการสร้างและพัฒนาระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ผู้วิจัยมุ่งเน้นที่จะให้เครื่องสูบน้ำดังกล่าวสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานกลได้ แล้วนำผลจากการสร้าง พัฒนาและทดลองใช้ไปสร้างเป็นบทปฏิบัติการเพื่อใช้ในการเรียนการสอนตามความมุ่งหมายของการวิจัยที่ว่า "เพื่อสร้างบทปฏิบัติการเรื่องเกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์ในรายวิชาพลังงานกับสิ่งแวดล้อม จากระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างและพัฒนาขึ้น" ซึ่งก็บรรลุตามความมุ่งหมายดังกล่าวแล้ว

## ตอนที่ 2 การสร้างและพัฒนาทปฏิบัติการวิชาพลังงานกับสิ่งแวดล้อม

จากประเด็นที่ให้ผู้เชี่ยวชาญพิจารณาหาค่าดัชนีความสอดคล้องทั้ง 6 ประเด็น ซึ่งเป็นประเด็นหลักของการสร้างทปฏิบัติการ พบว่า ส่วนใหญ่จะมีค่าดัชนีความสอดคล้อง ไม่ต่ำกว่า 0.50 กล่าวคือ มีค่าดัชนีความสอดคล้องเป็น 0.57, 0.71, 0.86, และ 1.00 จะมีเพียงบางประเด็นเท่านั้นที่มีค่าดัชนีความสอดคล้องเป็น 0.29 และ 0.43 ซึ่งได้แก่ประเด็นที่ 2 (ข้อ 2.2) ความครบถ้วนสมบูรณ์ของทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (บทที่ 3 และ 4) และผู้วิจัยได้ดำเนินการแก้ไขเพิ่มเติมให้สมบูรณ์ตามที่ผู้เชี่ยวชาญเสนอแล้ว ซึ่งเมื่อพิจารณาโดยภาพรวมของแต่ละประเด็น (ตาราง 19) พบว่าทุกประเด็นมีค่าดัชนีความสอดคล้องไม่ต่ำกว่า 0.57 ในทุกบทปฏิบัติการและในประเด็นที่ ผู้เชี่ยวชาญพิจารณาทั้ง 6 ประเด็น (ตาราง 19) พบว่า ประเด็นที่ 4 วิธีการทดลองมีค่าดัชนีความสอดคล้อง 1.0 มากที่สุด ถึง 3 ประเด็นย่อยกล่าวคือ บทปฏิบัติการที่สร้างและพัฒนาขึ้นนี้ทำให้เกิดมโนคติ (concept) ในเนื้อหาที่ทดลองมากขึ้น ส่งเสริมให้มีเจตคติที่ดีต่อวิชาวิทยาศาสตร์ และสอดคล้องกับวิธีสอนที่ให้ผู้เรียนเป็นสำคัญ ประเด็นย่อยทั้ง 3 ประเด็นสอดคล้องกับการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ ที่เน้นว่าวิธีสอนแบบทดลองเป็นหัวใจของการสอนวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นการสำรวจค้นหา สิ่งที่เราไม่รู้มาก่อนด้วยการใช้ทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์ที่สุด ซึ่งอาจเป็นการสำรวจค้นหามโนคติของสิ่งต่าง ๆ (สุวัฒน์ นิยมคำ 2531 : 585) ขณะเดียวกันงานในห้องปฏิบัติการยังเป็นการทำให้ มโนคติและหลักการทางวิทยาศาสตร์ปรากฏเป็นรูปธรรมได้ (Collette and Chiappetta.1994 : 197) นอกจากนี้การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์เป็นกระบวนการเรียนการสอนที่สร้างให้คนมีความคิด รักการเรียนรู้ มีหลักการในการศึกษา มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์สิ่งใหม่ ๆ และมีความรู้ มีทักษะเพียงพอที่จะช่วยให้บุคคลนั้นสามารถแสวงหาความรู้ได้เองอย่างไม่มีที่สิ้นสุด (อมรวิชัย นาครทรรพ 2540 :102) และยังรวมถึงการพิจารณา จิตปัญญาวิทยาศาสตร์ขึ้นในตัวผู้เรียน อันได้แก่ ความใฝ่รู้ ความมีเหตุผล ความไม่เชื่อง่าย เหลวไหล งามงาย ความชอบพิสูจน์ ทดลองชอบค้นคว้าสืบค้นหาความจริง (พระธรรมปิฎก 2540 : 26) ซึ่งก็คือการมีเจตคติที่ดีต่อวิชาวิทยาศาสตร์นั่นเอง นอกจากนี้บทปฏิบัติการทั้ง 8 บท ยังเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญซึ่งสอดคล้องกับหลักการของการปฏิรูปการศึกษา ที่ให้ความสำคัญกับผู้เรียนโดยถือว่าผู้เรียนทุกคนมีศักยภาพในการเรียนรู้ แม้จะใช้เวลาหรือวิธีการในการเรียนรู้แตกต่างกันก็ตาม

จากตาราง 24 พบว่าบทปฏิบัติการทุกบทมีค่าดัชนีความสอดคล้องเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 0.85 ซึ่งสูงกว่าค่าดัชนีความสอดคล้องทั่วไปที่ใช้เกณฑ์ 0.50 และสอดคล้องกับสมมติฐาน ที่ว่าบทปฏิบัติการ ทุกบทจะมีค่าดัชนีความสอดคล้องไม่ต่ำกว่า 0.50 อธิบายได้ว่า ที่เป็นเช่นนี้เพราะบทปฏิบัติการทุกบทที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารเกี่ยวกับบทปฏิบัติการทั้งในส่วนวิธีการสอนแบบทดลอง การจัดกิจกรรมการทดลอง หลักการประเมินบทปฏิบัติการโดยเทคนิคการวิเคราะห์ดัชนีความสอดคล้อง เพื่อเกิดแนวความคิดในการสร้างบทปฏิบัติการแล้วนำข้อมูลที่ได้จากการสร้างและพัฒนาาระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง ออกแบบการทดลอง ปฏิบัติการทดลอง บันทึกผลการทดลอง สังเกตและเก็บข้อมูลโดยละเอียดเพื่อหาคำตอบหรือทดสอบสมมติฐานที่ตั้งไว้ ตามนิยามของการทดลอง (ภพ เลหาโพบูลย์ 2534 : 138) มาสร้างบทปฏิบัติการวิชาพลังงานกับสิ่งแวดล้อม แล้วนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญพิจารณาประเมินหรือหาค่าความสอดคล้อง หลังจากนั้นจึงนำมาปรับปรุงตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญก่อนนำไปใช้จริง จากลำดับของการสร้างและพัฒนา

บทปฏิบัติการ ดังกล่าว จึงเป็นผลให้บทปฏิบัติการทั้ง 8 บทมีค่าดัชนีความสอดคล้องเฉลี่ยสูงทั้งหมด กล่าวคือ มีค่าดัชนีความสอดคล้องเฉลี่ยระหว่าง 0.85 – 0.95

อย่างไรก็ตามผู้วิจัยไม่ได้นำบทปฏิบัติการที่สร้างขึ้นนี้ไปใช้ในการเรียนการสอนจริง เพราะการวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดขอบเขตเพียงให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินคุณภาพโดยการหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของผู้เชี่ยวชาญเท่านั้น เมื่อนำไปใช้จริงอาจมีปัญหาอุปสรรคต่าง ๆ ซึ่งจะต้องทำการวิจัยและพัฒนาต่อไป

ผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลต่าง ๆ และพัฒนาบทปฏิบัติการจากเครื่องมือและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์และนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 7 ท่าน ซึ่งแต่ละท่านมีความรู้ความสามารถเฉพาะด้าน กล่าวคือ ด้านฟิสิกส์พลังงาน 3 ท่าน ด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา 2 ท่าน และด้านหลักสูตรและการสอน 2 ท่าน ทำการประเมินแล้วปรากฏว่าได้ค่าความสอดคล้องเฉลี่ยสูงกว่า 0.5 และเมื่อพิจารณาค่าความสอดคล้องเฉลี่ยในแต่ละบทปฏิบัติการแล้ว มีค่าสูงกว่า 0.5 เช่นเดียวกัน ซึ่งแสดงว่าบทปฏิบัติการดังกล่าวมีประสิทธิภาพสามารถนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน วิชาพลังงานกับสิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างดี

## ข้อเสนอแนะ

### 1. ข้อเสนอแนะทั่วไป

จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้รับความรู้และประสบการณ์เพิ่มขึ้นมากมายหลาย ๆ ด้าน ทำให้เรามองเห็นว่ามีองค์ความรู้ต่าง ๆ อีกมากที่ยังรอการศึกษาวิจัยอยู่ ผู้วิจัยจึงใคร่ขอเสนอแนะดังต่อไปนี้

1.1 ควรมีการส่งเสริมการเรียนการสอนในเชิงค้นคว้าวิจัย และการปฏิบัติการจริงให้มากขึ้น โดยใช้สถานการณ์จริงในการเรียนการสอน

1.2 ควรสนับสนุนการวิจัยด้านพลังงานอย่างกว้างขวาง เพราะพลังงานเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งในการดำรงชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบัน

1.3 ควรให้ความสำคัญในการพัฒนาหลักสูตรด้านพลังงานเพื่อนำไปใช้ในการเรียนการสอนในทุกระดับชั้นการศึกษา ซึ่งจะทำให้ผู้เรียนเกิดจิตสำนึกที่ดีในการใช้พลังงาน

### 2. ข้อเสนอแนะการวิจัย

สำหรับผู้ที่มีความสนใจที่จะวิจัยด้านพลังงานทดแทนโดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์ในเรื่องเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

2.1 เนื่องจากการเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ จะทำงานได้กับรังสีตรงเท่านั้น เมื่อมีเมฆบังรังสีดวงอาทิตย์ เครื่องก็จะหยุดทำงานทันที ดังนั้น จึงควรมีระบบอุณหภูมิก่อนเข้าเครื่องโดยใช้แผงรับแสงแบบแผ่นราบ ในการอุณหภูมิก่อนที่น้ำจะไหลเข้าท่อตุกกลืนแสงของแผงรับแสงแบบรวมแสง

2.2 ควรมีระบบการป้องกันน้ำเข้าไปในหลอดรับแสง ให้พอเหมาะที่น้ำจะกลายเป็นไอพอดิ ถ้าป้อนน้ำมากอุณหภูมิในท่อตุกกลืนแสงของหลอดรับพลังงานก็จะลดลง ทำให้มีปริมาณไอน้ำน้อยและตรงกันข้ามกับถ้าป้อนน้ำเข้าน้อย ก็จะทำให้เกิดไอน้ำในท่อตุกกลืนแสงน้อยเช่นเดียวกัน

2.3 ควรป้องกันการสูญเสียพลังงานในระบบโดยเฉพาะพลังงานความร้อน ควรมีฉนวนป้องกันการสูญเสียความร้อนโดยเฉพาะจากเครื่องจักรไอน้ำ

2.4 การนำบทปฏิบัติการที่สร้างขึ้นไปทดลองใช้และวัดการเรียนรู้ด้านต่างๆ ของผู้เรียน เช่น ด้านความรู้ ทักษะและเจตคติทางวิทยาศาสตร์

2.5 ควรพัฒนาบทปฏิบัติการในการวิจัยอื่น ๆ ทางวิทยาศาสตร์ให้กว้างขวางยิ่งขึ้นโดยเฉพาะบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่ส่งเสริมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์จากภูมิปัญญาไทยและบริบทของท้องถิ่น

บรรณานุกรม

### บรรณานุกรม

- กนก เฉชาวาสน์. (2537). "การเลือกและหาสมรรถนะของ Positive Displacement Pump," ใน *ระบบท่อ วาล์ว บีม*. หน้า 199-205. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- กวี กิตติวเรษฐ. (2535). *ปฏิบัติการฟิสิกส์ทั่วไป*. เชียงใหม่ : สถาบันราชภัฏเชียงใหม่.
- กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. (2540, ธันวาคม). "ไทยจัดสัมมนาพลังงานทดแทน," *สรุปข่าวพลังงาน*. 22(27) : 11.
- \_\_\_\_\_. (2540, ธันวาคม). "สถานการณ์น้ำมันในช่วง 9 เดือนของปี 2540," *สรุปข่าวพลังงาน*. 22(27) : 1.
- กุลธร ศิลปบรรเลง. (2529). "พลังงานในภาคอุตสาหกรรม," ใน *พลังงาน*. หน้า 367-378. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จรววย บุญยุบล. (2529). "พลังงานในอนาคต," ใน *พลังงาน*. หน้า 389-400. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ใจทิพย์ เชื้อรัตนพงษ์. (2539). *การพัฒนาหลักสูตร : หลักการและแนวปฏิบัติ*. กรุงเทพฯ : อลิอันเพลส.
- ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์. (2522). *เทคโนโลยีไอน้ำ*. กรุงเทพฯ : ศึกษาสัมพันธ์.
- จูปันย์ เมธิ์พลกุล. (2542). *การสำรวจปลาทะเลที่ท่าเทียบเรือประมงชุมพรเพื่อพัฒนาระบบบทปฏิบัติการ เสริมความรู้ชีววิทยาเรื่องการจำแนกอันดับปลาทะเล*. ปริญญาานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- ณัฐพงษ์ เจริญพิทย์. (2543). *การวัดผลการเรียนวิทยาศาสตร์*. กรุงเทพฯ : ดิสนัฟเวอร์
- เดชา อัครชนียากร. (2540, ตุลาคม) "ปรับแผนผลิตไฟฟ้ารับภาวะเศรษฐกิจถดถอย," *ข่าว กฟผ.* 27(10) : 8.
- ทองเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2537). *การออกแบบและระบบพลังงานความร้อน*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ธรรมชาติ ศิริวัฒน์กุล. (2529). "แหล่งพลังงานธรรมชาติ," ใน *พลังงาน*. หน้า 33-78. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นฤมล สมพลเดช. (2535). *การประยุกต์เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับใช้ในครัวเรือน*. วิทยานิพนธ์ วท.ม. วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยมหิดล. ถ่ายเอกสาร.
- นันทิยา บุญเคลือบ. (2540, ตุลาคม-ธันวาคม). "มาตรฐานการศึกษาวิทยาศาสตร์," *วารสาร สสวท*. 25(99) : 7-12.
- นිරนาท(นามแฝง).(2537 ก). "การเลือกขนาดของบีม," ใน *ระบบท่อ วาล์ว บีม* : หน้า 189-194. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- \_\_\_\_\_. (2537 ข). "บีมโรตารี," ใน *ระบบท่อ วาล์ว บีม*. หน้า 166-171. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- \_\_\_\_\_. (2537 ค). "บีมหอยโข่ง," ใน *ระบบท่อ วาล์ว บีม*. หน้า 172-183. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- \_\_\_\_\_. (2537 ง). "PUMP," ใน *ระบบท่อ วาล์ว บีม*. หน้า 161-165. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- บุญชม ศรีสะอาด. (2528). *พัฒนาหลักสูตรและการสอน*. มหาสารคาม : ภาควิชาพื้นฐานการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มหาสารคาม.

- บุญญศักดิ์ ใจจงกิจ. (2519). *เครื่องจักรไอน้ำและหม้อน้ำ*. กรุงเทพฯ ฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- \_\_\_\_\_. (2520). *เครื่องสูบลมและเครื่องอัดลม*. กรุงเทพฯ ฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ประหยัด จิระวรพงศ์. (2527). *หลักการและทฤษฎีเทคโนโลยีทางการศึกษา*. พิษณุโลก : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ พิษณุโลก.
- เปรมจิตร์ บุญสาย. (2541). *การพัฒนาหลักสูตรวิชาชีพวิทยาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย เรื่อง พื้นฐานทางเทคโนโลยีชีวภาพที่เน้นการปฏิบัติการทดลองโดยใช้ประโยชน์จากสารเหลือทิ้ง*. ปรินญานิพนธ์ กศ.ด. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ ฯ : บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- เปี่ยมศักดิ์ ไพบูลย์. (2536). *การจัดการและการใช้พลังงานอย่างประหยัดในอาคารชุมชนสายโทรศัพท์สุวรรณคี*. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. กรุงเทพฯ ฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.
- มุสดี รอบรู้. (2527). *การวิเคราะห์การกระจายของพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย*. ปรินญานิพนธ์ กศ.ม. กรุงเทพฯ ฯ : บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ . ถ่ายเอกสาร.
- พระธรรมปฏิภน (ป.อ.ปยุตโต). (2540). *คนไทยกับเทคโนโลยี*. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ ฯ : มูลนิธิพุทธธรรม.
- พัฒนา ภาวนันท์. (2526). "คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและแสง," ใน *เอกสารการสอนชุดวิชา วิทยาศาสตร์ 1*. หน้า837-912. กรุงเทพฯ ฯ : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- ไพฑูรย์ สินลารัตน์. (2536). "ทิศทางของหลักสูตร-การศึกษาไทย ถึงเวลาของหลักสูตรเชิงรุก," ใน *ประมวลบทความหลักสูตรสาระร่วมสมัย*. กรุงเทพฯ ฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ภาพ เลหาไพบูลย์. (2534). *การสอนวิทยาศาสตร์ในโรงเรียนมัธยมศึกษา*. เชียงใหม่ : เชียงใหม่คอมเมอร์เชียล.
- \_\_\_\_\_. (2537). *แนวการสอนวิทยาศาสตร์*. กรุงเทพฯ ฯ : ไทยวัฒนาพานิช.
- ภาควิชาฟิสิกส์. (2533). *ฟิสิกส์-1 คู่มือการปฏิบัติการพื้นฐาน*. เชียงใหม่ : ธนบรรณการพิมพ์.
- ภาควิชาฟิสิกส์. (2542). *ปฏิบัติการฟิสิกส์ Phy 181*. กรุงเทพฯ ฯ : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. อัดสำเนา.
- มนตรี พิรุณเกษตร. (2537). *อุณหพลศาสตร์ 1*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ ฯ : นำอักษรการพิมพ์. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. (2537). *เทคโนโลยีและสื่อการสอน หน่วยที่ 9-12*. นนทบุรี : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- ระวี ภาวิไล. (2522). *ดาราศาสตร์และอวกาศ*. กรุงเทพฯ ฯ : คีปนิตสยาม.
- รังสรรค์ เฟิงพิต. (2524). *การศึกษาผลของมุมเอียงต่อเครื่องกลั่นพลังสุริยะ*. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (การสอนฟิสิกส์) บัณฑิตวิทยาลัยเชียงใหม่. อัดสำเนา.
- \_\_\_\_\_. (2539). *อุคุนิยมวิทยาทั่วไป*. เพชรบูรณ์ : สถาบันราชภัฏเพชรบูรณ์.
- ลำเจียก ปิยะนุช. (2532). *ดาราศาสตร์*. กรุงเทพฯ ฯ : ตำรา-เอกสารวิชาการ หน่วยศึกษานิเทศก์ กรมการฝึกหัดครู. (ฉบับที่ 22).
- วนา ชลประเวส. (2526). *การศึกษาเปรียบเทียบวิธีการสอนแบบโต้เกมกับวิธีการสอนแบบปฏิบัติการทดลอง ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1*. วิทยานิพนธ์ ค.ม. (การมัธยมศึกษา) กรุงเทพฯ ฯ : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. อัดสำเนา.
- วิชัย ดิสสระ. (2533). *การพัฒนาหลักสูตรและการสอน*. กรุงเทพฯ ฯ : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

- ศลักษณ์ ทรรพนันท์ และ จรวย บุญยุบล. (2529). "มนุษย์กับการใช้พลังงาน," ใน พลังงาน. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศิริกานต์ ผาสุก. (2543). *การพัฒนาบทปฏิบัติการวิชาเคมีผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ เรื่องการสกัดและแยกองค์ประกอบทางเคมี จากพืชสมุนไพรในท้องถิ่น สำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตร์ของสถาบันราชภัฏ*. ปรินซ์นิพนธ์ กศ.ต. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- สนอง ทองปาน. (2540). *การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง : กรณีศึกษาเพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ให้สัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมศึกษา*. ปรินซ์นิพนธ์ กศ.ต. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- สมนึก รมณีย์พิกุล. (2524). *เทอร์โมไดนามิกส์*. พิษณุโลก : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒพิษณุโลก.
- สะออน ปทุมเทวาภิบาล. (2522). *แก๊สเทอร์โมไดนามิกส์*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : อักษรเจริญทัศน์.
- สุรีย์ แขวงโสภา และคนอื่นๆ. (2531). พลังงาน. กรุงเทพฯ : อักษรเจริญทัศน์.
- สุวัฒน์ นิยมคำ. (2531). *ทฤษฎีและแนวทางการปฏิบัติในการสอนวิทยาศาสตร์แบบสืบเสาะหาความรู้ เล่ม 1-2*. กรุงเทพฯ : เจเนอรัลบุ๊กส์ เซนเตอร์.
- สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. (2540, ตุลาคม-ธันวาคม). "สถานการณ์พลังงานในช่วง 9 เดือนแรกของปี 2540," *วารสารนโยบายพลังงาน*. 38:73-93.
- สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2538, ธันวาคม). "มูลค่าสินค้าขาเข้า สินค้าขาออกและสินค้าส่งกลับ จำแนกตามหมวดสินค้า พ.ศ. 2538," *วารสารสถิติรายไตรมาส*. 43(4) : 89.
- อมรวิชัย นาคทรรพ. (2540). *ความฝันของแผ่นดิน*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ตะวันออก.
- อรรถัย วิเศษสกุล. (2534). *ผลของบทปฏิบัติการเสริมสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่มีผลต่อผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ในชีวิตประจำวัน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนโพ้นทองวิทยายน จังหวัดร้อยเอ็ด*. วิทยานิพนธ์ ศศ.ม. (การสอนวิทยาศาสตร์). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.
- อรอุมา ละมุล. (2541). *การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติ ในการดูดซับโลหะหนักที่ใช้สอนในวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6*. ปรินซ์นิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- American Association of Physics Teachers. (1997, December). "Goals of the introductory Physics Laboratory," *The Physics Teachers*. (35) : 546-548.
- Anderson, Roger O. (1976). *The Experience of Science : A new Perspective for Laboratory Teaching*. New York : Teacher College Press Columbia University.
- Bansal N.K., Kleemann, Manfred and Meliss, Micheal. (1990). *Renewable Energy Sources and Conversion Technology*. New Delhi : Tata McGraw – Hill.
- Black, William Z. and Hartley, James G. (1996). *Thermodynamics : SI version*. 3<sup>rd</sup> ed. New York : HarperCollins.

- Blanco Muriel, Manuel Jesus. (1994.March). "Energy Analysis of Reflective Light Concentrating Systems," *Dissertation Abstracts*. DAI – B 54/09, p.4858.
- Collette, Alfred T. and Chiappetta, Eugene L. (1994). *Science Instruction in the Middle and Secondary Schools*. 3<sup>rd</sup> ed. New York : Macmillan.
- Demeo, Edgar A. and Steitz, Peter. (1990). "The U.S. Electric Utility Industry,s Activities in Solar and Wind Energy Survey and Perspective," *Advance in Solar Energy*. 6 : 1-40.
- Dick Christophor. (1988). *Pumping Manual* . 8<sup>th</sup> ed. Surrey : The Trade & Technical.
- Ditchburn, R.W. (1963). *Light*. 2<sup>nd</sup> ed. London : Blackie & son.
- Gupta, B.P. (1987). "Status and Proggess in Solar Thermal Research and Technology," in *Proggess in Solar Engineering*. p. 1-5. New York : Hemisphere.
- Hecht, Eugene and Zajac, Alfred. (1974). *Optics*. Massachusetts : Addison-Wesley.
- Henderson-Sellers, Ann and Robinson, Peter J. (1986). *Contemporary Climatology*. Burnt Mill : Longman Group.
- Jenkins, Francis A., and White, Harvey E. (1976). *Fundamentals of Optics*. 4<sup>th</sup> ed. McGraw-Hill.
- Kaneff, Stephen. (1994, Spring) "Solar Generator's – ANU's 400 m<sup>2</sup> Paraboloidal Concentrator," *Solar Proggess*. 15(3) : 4-5 .
- Kearney, D.W. (1987). "Early Experience with Solar Electric Generating Station I at Daggett, California," in *Proggess in Solar Engineering*. New York : Hermisphere.
- Keitz, H.A.E. (1971). *Light Calculation and Measurements*. 2<sup>nd</sup> ed. London : Macmillan.
- Look, Jr., Dwight C. and Sauer, Jr., Harry J. (1989). *Thermodynamics*. Rolla : University of Missouri-Rolla.
- Louwerse, Fances H. (1982.december). "A Comparison of the Effects of Individual Experiments and Teacher Demonstration of Experiments on Selected Learning Outcomes Secondary School Science," *Dissertation Abstracts International*. (43) : 1915 A.
- Lunetta, Vincent N., Hofstein, Avi and Geoffrey, Gidding. (1981.January). "Evaluating Science Laboratory Skills," *The Science Teacher*. (48) : 22-25.
- Magal, B S. (1990). *Solar Power Engineering*. New Delhi : Tata McGraw Hill.
- McVeigh, J.C. (1977). *Sun Power : And Instruction to the Applications of Solar Energy*. Oxford : Pergamon.
- Meinel. Aden B., and Meinel, Marjorie P. (1976). *Applied Solar Energy : An Introduction*. Massachusetts : Addision-Wesley.
- Mickelson, Alan Rolf. (1992). *Physical Optics*. New York : Van Nostrand Reinhold.
- Mohanty, B., and Bouix, P. (1989). *Testing of Energy Equipment in Tropical Humid Climate : Solar Collector TONIN Tonisol*. Bangkok : Asian Institute of Technology.
- Nag, PK. (1981). *Engineering Thermodynamics*. New Delhi : Tata McGraw-Hill.
- Norton, Brian. (1992). *Solar Energy Thermal Technology*. New York : Springer – Verlag.

- Patrick, Steven., Patrick, Dale R. and Fardo, Stephen W. (1993). *Energy Conversation Guide Book*.  
Liburn : The Fairmont.
- Reihl, Herbert. (1978). *Introduction to the Atmosphere*. New York : McGraw-Hill.
- Schad, Jerry. (1996). *Physical Science – A Unified Approach*. Washington : Brooks/Cole.
- Serlin, C.R. (1977), March). "The Effects of Discovery Laboratory on the Science Process,  
Problem – Solving ang Creative Thinking Ability of Undergraduate," Dissertation Abstracts  
International. p 5729-A-5730-A.
- Shavit, Arthur and Gutfinger, Chaim. (1995). *Thermodynamics : Form Concepts to Applications*.  
London : Prentice Hall.
- Suhata, Nyoman. (1995). "Ability and Reliability of Renewable Energy Application in Remote Areas  
In Real Condition of Tropical Climate," In *ASEAN Energy and Technology Conference*. p.289-296.  
Bangkok : Central Plaza Hotel.
- Winter, Carl-Jochen. Vant-Hull, Lorin L. and Sizmann, Rudolf. (1991). *Solar Power Plant :  
Fundamental, Technology, System, Economics*. Berlin : Springer-Verlag.
- Woodruft, Everett B., Lammers, Herbert B. and Lammers, Thomas F. (1992). *Steam-Plant Operation*.  
6<sup>th</sup> ed. New York : McGraw-Hill.
-

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
รายนามผู้เชี่ยวชาญประเมินดัชนีความสอดคล้อง  
สำเนาหนังสือขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

## รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ

1. ชื่อ – สกุล รองศาสตราจารย์วิชาญ ก่องตวงษ์ วุฒิทางการศึกษา วท.ม. (การสอนฟิสิกส์)  
สังกัด สำนักงานสภาสถาบันราชภัฏ กระทรวงศึกษาธิการ สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม  
จังหวัด พิษณุโลก เป็นผู้เชี่ยวชาญด้าน ฟิสิกส์พลังงาน
2. ชื่อ – สกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประสิทธิ์ สิงหเดช วุฒิทางการศึกษา วท.ม. (การสอนฟิสิกส์)  
สังกัด สำนักงานสภาสถาบันราชภัฏ กระทรวงศึกษาธิการ สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม  
จังหวัด พิษณุโลก เป็นผู้เชี่ยวชาญด้าน ฟิสิกส์พลังงาน
3. ชื่อ – สกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทองคำ บ่อคำ วุฒิทางการศึกษา กศ.ม. (ฟิสิกส์)  
สังกัด สำนักงานสภาสถาบันราชภัฏ กระทรวงศึกษาธิการ สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม  
จังหวัด พิษณุโลก เป็นผู้เชี่ยวชาญด้าน ฟิสิกส์พลังงาน
4. ชื่อ – สกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริญญา การพานิช ตำแหน่ง อธิการบดีสถาบันราชภัฏ  
เพชรบุรี วุฒิทางการศึกษา ปริญญาเอก(วิทยาศาสตร์ศึกษา) สังกัด สำนักงานสภา  
สถาบันราชภัฏ กระทรวงศึกษาธิการ สถาบันราชภัฏเพชรบุรี จังหวัด เพชรบุรี  
เป็นผู้เชี่ยวชาญด้าน วิทยาศาสตร์ศึกษา
5. ชื่อ – สกุล รองศาสตราจารย์ ดร.ชยันต์ บุญยรักษ์ วุฒิทางการศึกษา ปริญญาเอก  
(วิทยาศาสตร์ศึกษา) สังกัด ทบวงมหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัด พิษณุโลก  
เป็นผู้เชี่ยวชาญด้าน วิทยาศาสตร์ศึกษา
6. ชื่อ – สกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทัศนีย์ ศรีเพชรพันธ์ วุฒิทางการศึกษา ค.ม. (การศึกษา  
วิทยาศาสตร์) สังกัด สำนักงานสภาสถาบันราชภัฏ กระทรวงศึกษาธิการ สถาบันราชภัฏ  
เพชรบูรณ์ จังหวัดเพชรบูรณ์ เป็นผู้เชี่ยวชาญด้าน หลักสูตรและการสอนวิทยาศาสตร์
7. ชื่อ – สกุล ดร.อรรวรรณ ณรงค์สรศักดิ์ ตำแหน่ง ผู้ประสานงานโครงการจัดตั้ง  
คณะบัณฑิตวิทยาลัย วุฒิทางการศึกษา ค.ต. (หลักสูตรและการสอน) สังกัดสำนักงานสภา  
สถาบันราชภัฏ กระทรวงศึกษาธิการ สถาบันราชภัฏเพชรบูรณ์ จังหวัด เพชรบูรณ์  
เป็นผู้เชี่ยวชาญด้าน หลักสูตรและการสอน



ที่ ทม ๑๐๑๒/ ๓๕๔๓

บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท ๒๓ กรุงเทพฯ ๑๐๑๑๐

พศจิกายน ๒๕๔๓

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน อธิการบดีสถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมิน

เนื่องด้วย นายรังสรรค์ เฟื่องพัด นิสิตระดับปริญญาเอก สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การพัฒนาระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการเรียนการสอนสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี สถาบันราชภัฏ” โดยมี รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์ เจริญพิทย์ รองศาสตราจารย์ ดร.ณสรศักดิ์ ผลโลก และ รองศาสตราจารย์ ดร.สมสรร วงษ์อยู่น้อย เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในกรณีนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ รองศาสตราจารย์วิชาญ ก่องดาวงษ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทองคำ บ่อคำ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประสิทธิ์ สิงห์เดช เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินดัชนี ความสอดคล้อง

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์จากท่าน ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นายรังสรรค์ เฟื่องพัด ซึ่งเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง มา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. ๖๖๔-๑๐๐๐ ต่อ ๕๗๒๖, ๕๖๔๔

โทรสาร. ๒๕๘-๔๑๑๕



บัณฑิตวิทยาลัย  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
สุขุมวิท ๒๓ กรุงเทพฯ ๑๐๑๑๐

ที่ ทม ๑๐๑๒/ ๐๕๗

๒๕ ธันวาคม ๒๕๕๓

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน อธิการบดี สถาบันราชภัฏเพชรบุรี

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมิน

เนื่องด้วย นายรังสรรค์ เฟื่องพัด นิสิตระดับปริญญาเอก สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การพัฒนาระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการเรียนการสอนสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี สถาบันราชภัฏ” โดยมี รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์ เจริญพิทย์ รองศาสตราจารย์ ดร.ณสรศักดิ์ ผลโภาค และ รองศาสตราจารย์ ดร.สมสรร วงษ์อยู่น้อย เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในกรณีนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ ท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินดัชนีความสอดคล้อง

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์จากท่าน ได้โปรดพิจารณาเป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นายรังสรรค์ เฟื่องพัด ซึ่งจะ เป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง มา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. ๖๖๔-๑๐๐๐ ต่อ ๕๗๒๖, ๕๖๔๔

โทรสาร. ๒๕๘-๔๑๑๕

ที่ ทม ๑๐๑๒/ ๓๘๔๖



บัณฑิตวิทยาลัย  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
สุขุมวิท ๒๓ กรุงเทพฯ ๑๐๑๑๐

พฤษภาคม ๒๕๔๓

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน อธิการบดีมหาวิทยาลัยนเรศวร

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมิน

เนื่องด้วย นายรังสรรค์ เฟื่องพัด นิสิตระดับปริญญาเอก สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การพัฒนาระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการเรียนการสอนสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี สถาบันราชภัฏ” โดยมี รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์ เจริญพิทย์ รองศาสตราจารย์ ดร.ณสรศักดิ์ ผลโภค และ รองศาสตราจารย์ ดร.สมสร วังษ์อยู่น้อย เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในกรณีนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ รองศาสตราจารย์ ดร.ชยันต์ บุญยรักษ์ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินดัชนี ความสอดคล้อง

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์จากท่าน ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นายรังสรรค์ เฟื่องพัด ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง มา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ปฏิบัติราชการแทนอธิการบดี

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. ๖๖๔-๑๐๐๐ ต่อ ๕๖๒๖, ๕๖๔๔



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท ๒๓ กรุงเทพฯ ๑๐๑๑๐

พฤษภาคม ๒๕๕๓

ที่ ทม ๑๐๑๒/ ๓๕๕๓

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน อธิการบดีสถาบันราชภัฏเพชรบูรณ์

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมิน

เนื่องด้วย นายรังสรรค์ เพ็งพิศ นิสิตระดับปริญญาเอก สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การพัฒนาระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการเรียนการสอนสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี สถาบันราชภัฏ” โดยมี รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์ เจริญพิทย์ รองศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรศักดิ์ ผลโกศล และ รองศาสตราจารย์ ดร.สมสรร วงษ์อยู่น้อย เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในกรณีนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทัศนีย์ ศรีเพชรพันธ์ คณบดีคณะวิทยาศาสตร์ และ อาจารย์ ดร.อรพรรณ ณรงค์สรศักดิ์ ผู้ประสานงานโครงการจัดตั้งคณะบัณฑิตวิทยาลัย เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินดัชนี ความสอดคล้อง

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์จากท่าน ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญให้นายรังสรรค์ เพ็งพิศ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. ๖๖๔-๑๐๐๐ ต่อ ๕๗๒๖, ๕๖๔๔

โทรสาร. ๒๕๘-๔๑๑๕

ภาคผนวก ข

สำเนาหนังสือขออนุญาตใช้สถานที่และเครื่องมือในการวิจัย



ภาคผนวก ค  
ปฏิบัติการของบรรยากาศที่มีต่อรังสีดวงอาทิตย์

## ปฏิบัติการของบรรยากาศที่มีต่อรังสีดวงอาทิตย์

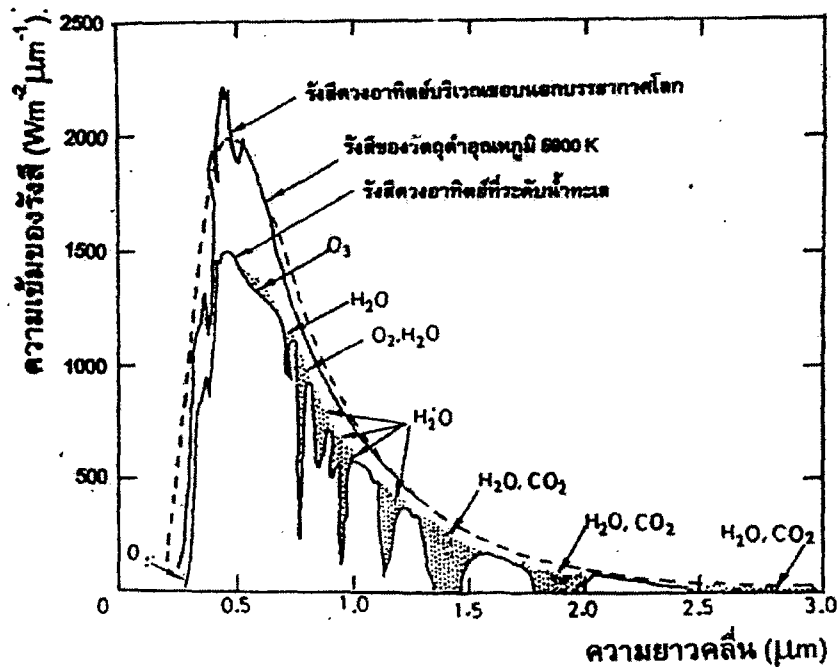
เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ผ่านเข้ามาในบรรยากาศ รังสีดวงอาทิตย์จะถูกกระทำโดยบรรยากาศด้วยกลไกต่าง ๆ ที่ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของรังสี เช่น พลังงาน ความยาวคลื่น ทิศทางการเคลื่อนที่ เป็นต้น กลไกดังกล่าวได้แก่

### การกระเจิง (Scattering)

เกิดขึ้นเมื่อรังสีของดวงอาทิตย์กระทบกับอนุภาคขนาดเล็ก ๆ ซึ่งมีอยู่ในบรรยากาศมากมาย แล้วทำให้เกิดรังสีกระจายไปทุกทิศทุกทาง โดยรังสีที่กระเจิงไปจะไม่มีการเปลี่ยนรูปพลังงาน หรือสูญเสียพลังงาน นั่นคือความยาวคลื่นก่อนชนกับหลังชนจะเท่ากัน รังสีคลื่นสั้นจะมีโอกาสกระเจิงได้ดีกว่ารังสีคลื่นยาว การกระเจิงจะมีหลายแบบ คือ

1 การกระเจิงแบบเรย์เลย์ (Rayleigh scattering) เป็นการกระเจิงที่เกิดขึ้นเมื่ออัตราส่วนระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวทำกระเจิงหรือโมเลกุลของก๊าซหรืออนุภาคในบรรยากาศกับความยาวคลื่นของรังสีมีค่าน้อยกว่า  $1/10$  การกระเจิงของรังสี หรือความน่าจะเป็นของการกระเจิงของรังสีความถี่  $f$  แปรผกผันกับ  $f^4$  ดังนั้นแสงความถี่สูงซึ่งมีความยาวคลื่นสั้นจะกระเจิงได้มากกว่าแสงที่มีความถี่ต่ำหรือความยาวคลื่นยาว ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากการกระเจิงแบบนี้ เช่น การมองเห็นท้องฟ้าเป็นสีครามหรือสีน้ำเงินในขณะที่ท้องฟ้าแจ่มใสนั้น บรรยากาศจะประกอบด้วยโมเลกุลของก๊าซซึ่งมีขนาดเล็กเป็นส่วนใหญ่ นั่นคือเส้นผ่าศูนย์กลางของโมเลกุลของก๊าซจะสั้นกว่าความยาวคลื่น แต่ในขณะที่ดวงอาทิตย์ขึ้นหรือตก หรือบริเวณที่มีฝุ่นละอองมาก ๆ จะเห็นท้องฟ้าเป็นสีส้มหรือสีแดง ซึ่งเกิดจากแสงของดวงอาทิตย์ จะต้องเดินทางผ่านบรรยากาศเป็นระยะทางไกลกว่าเมื่อดวงอาทิตย์ขึ้นสูงจากขอบฟ้าหรือขณะที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือศีรษะ ทำให้โอกาสที่แสงอาทิตย์จะตกกระทบฝุ่นละอองขนาดใหญ่มีมากขึ้น และฝุ่นละอองขนาดใหญ่นี้เองที่เป็นสาเหตุให้แสงสีแดงกระเจิงได้ดีกว่าแสงสีน้ำเงิน จึงทำให้เรามองเห็นท้องฟ้าขณะที่ดวงอาทิตย์ขึ้นหรือตก หรือบริเวณที่มีฝุ่นละอองหนาแน่นเป็นสีแดง

2 การกระเจิงแบบมี (Mie scattering) เป็นการกระเจิงที่เกิดขึ้นเมื่อรังสีที่มาตกกระทบมีความยาวคลื่นพอ ๆ กับเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวทำกระเจิง ตัวทำกระเจิงในกรณีนี้ได้แก่ ioni และผงฝุ่นต่าง ๆ



ภาพประกอบ 81 การเปรียบเทียบสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ในระดับนอกบรรยากาศของโลก กับสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ที่ผิวโลกระดับน้ำทะเล

3 การกระเจิงแบบไม่เลือก (Nonselective scattering) เป็นการกระเจิงที่เกิดขึ้นเมื่อความยาวคลื่นของรังสีตกกระทบสั้นกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางตัวทำกระเจิงอนุภาคในบรรยากาศที่ทำให้เกิดการกระเจิงชนิดนี้ต้องมีขนาดใหญ่ เช่น หยดน้ำ ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 5 - 100 ไมโครเมตร ดังนั้นแสงทุกสีจะกระเจิงได้ทั้งหมดในปริมาณที่เท่า ๆ กัน นั่นคือจะทำให้เรามองเห็นเมฆและหมอกเป็นสีขาว

#### การดูดกลืน (Absorption)

เกิดขึ้นเนื่องจากการที่มีพลังงานแสงตกกระทบบนอะตอมของก๊าซต่าง ๆ ในบรรยากาศ แล้วระดับพลังงานที่ตกกระทบพอดีกับระดับพลังงานของอิเล็กตรอน ในอะตอมที่ทำให้อิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับพลังงาน ดังนั้นก๊าซแต่ละชนิดจะดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์เฉพาะบางความยาวคลื่นเท่านั้น เช่น ออกซิเจนและโอโซน จะดูดกลืนรังสีเหนือม่วงได้ดี ไออน้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์จะดูดกลืนรังสีได้แดงได้ดี เป็นต้น (ภาพประกอบ 81)

โอโซนในบรรยากาศมีความเข้มข้นสูงสุดที่ระดับความสูงประมาณ 25 - 30 กิโลเมตร และดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ได้ดีมากในช่วงรังสีเหนือม่วงหรือความยาวคลื่นระหว่าง 0.2 - 0.29 ไมโครเมตรแล้วยังมีส่วนสัมพันธ์กับการดูดกลืนรังสีในช่วง 0.29 - 0.34 ไมโครเมตรด้วย ส่วนในช่วงความยาวคลื่น 0.44 - 0.7 ไมโครเมตร โอโซนจะดูดกลืนได้น้อย ไออน้ำในบรรยากาศสามารถดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ได้ดีตั้งแต่ความยาวคลื่นประมาณ 2.3 ไมโครเมตร เป็นต้นไป ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 0.7 - 2.3 ไมโครเมตร ไออน้ำก็สามารถดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ได้เป็นบางช่วงความยาวคลื่น

ออกซิเจนดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ในบริเวณสเปกตรัมที่มีความยาวคลื่น 0.726 ไมโครเมตร และคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 2.2 ไมโครเมตร ขึ้นไป ได้ดีมาก และยังเลือกดูดกลืนรังสีบางช่วงความยาวคลื่นในช่วง 0.7 – 2.2 ไมโครเมตร ได้ด้วย

#### การสะท้อน (Reflection)

เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ผ่านมาถึงบรรยากาศของโลก นอกจากจะมีการกระเจิงและการดูดกลืนรังสีแล้ว บรรยากาศและโลกยังมีการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ในบางส่วนได้ด้วย จะเห็นได้ว่าบรรยากาศและโลกจะสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ได้ถึง 35% และผ่านเข้ามาในบรรยากาศและโลกเพียง 65 % พื้นผิวแต่ละชนิดจะสะท้อนรังสีได้มากหรือน้อยแตกต่างกันไป ซึ่งอัตราส่วนระหว่างปริมาณรังสีที่สะท้อนจากผิวกับปริมาณรังสีตกกระทบทั้งหมด เรียกว่า อัลบิโด (Albedo) ของผิวพื้น ดังนั้นค่าอัลบิโดจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 1 แต่โดยปกติแล้วมักจะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ในแต่ละช่วงความยาวคลื่นของรังสีจะมีค่าอัลบิโดไม่เท่ากัน เช่นรังสีที่มีความยาวคลื่น 0.4 - 0.7 ไมโครเมตร จะมีค่าอัลบิโดประมาณ 5 - 10 % ความยาวคลื่นใต้แดงถึง 1.5 ไมโครเมตร จะมีค่าอัลบิโดประมาณ 30 - 50 % เป็นต้น

ภาคผนวก ง  
การกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก  
การบอกตำแหน่งวัตถุท้องฟ้า

## การกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก

ระบบการบอกตำแหน่งบนผิวโลกนั้น เป็นระบบที่ใช้ในการกำหนดตำแหน่ง สถานที่ หรือวัตถุบนผิวโลก เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกันในการสื่อสาร โดยมีแนวคิดพื้นฐานว่าโลกมีลักษณะเป็นทรงกลมตัน หมุนรอบแกนสมมติแกนหนึ่งใช้เวลา 24 ชั่วโมง หรือ 1 วันต่อหนึ่งรอบ ในการกำหนดตำแหน่งนั้นจะบอกด้วยระบบพิกัดจาก 2 ปริมาณ คือ ค่าลองจิจูด (longitude) และค่าละติจูด (latitude) ตำแหน่งต่าง ๆ ที่สำคัญบนพื้นโลก คือ (Schad.1996 : 29-30)

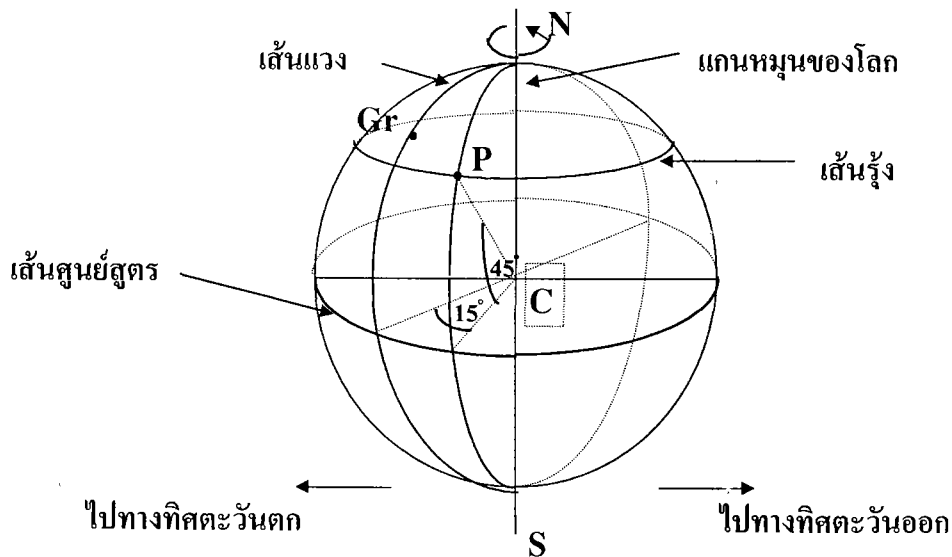
ขั้วโลก (Earth's poles) เป็นจุดบนผิวโลกที่แกนหมุน ซึ่งผ่านจุดศูนย์กลางของโลกและผ่านขั้วโลก ขั้วโลกมี 2 ขั้ว คือ ขั้วโลกเหนือ (North pole : N) และขั้วโลกใต้ (South pole:S)

วงกลมใหญ่ (Great circles) ของทรงกลมใด ๆ หมายถึง วงกลมบนผิวของทรงกลม ที่มีจุดศูนย์กลางร่วมกันกับทรงกลมนั้น หรือเป็นวงกลมที่มีระนาบผ่านจุดศูนย์กลางของทรงกลม

เส้นศูนย์สูตร (Equator) คือ วงกลมใหญ่ของโลกที่มีระนาบตั้งฉากกับแกนหมุนของโลก และแบ่งโลกออกเป็นซีกโลกเหนือและซีกโลกใต้

เส้นรุ้ง (Parallels of latitude) คือ วงกลมเล็กของโลกที่มีระนาบขนานกับระนาบของเส้นศูนย์สูตร

เส้นแวง (Meridians of longitude) คือ วงกลมใหญ่ของโลกที่ลากผ่านขั้วเหนือและขั้วใต้ ตั้งฉากกับเส้นศูนย์สูตรโดยทั่วไปมักจะพิจารณาเพียงครึ่งวงกลม



ภาพประกอบ 82 ตำแหน่งต่าง ๆ บนผิวโลก

เส้นไพรม์เมริเดียน (Prime meridian) คือ เส้นแวงที่ลากผ่านหอดูดาวเมืองกรีนวิช (Greenwich) ประเทศอังกฤษ ซึ่งถือว่าเป็นเส้นแวงเส้นที่ 0 องศา ในการวัดค่าลองจิจูดของตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นโลก

ในการกำหนดตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง หรือในแผนที่นั้น จะบอกด้วย ค่า 2 ค่า คือ  
ค่าลองจิจูด และค่าละติจูด ซึ่งมีนิยาม ดังนี้

ค่าลองจิจูดของตำแหน่งใด ๆ หมายถึง ระยะทางเชิงมุมที่จุดศูนย์กลางของโลก โดยวัดจาก  
เส้นไพรม์ เมอริเดียน ไปตามเส้นศูนย์สูตรจนกระทั่งถึงจุดตัดระหว่างเส้นแวงที่ผ่านตำแหน่งนั้น ๆ กับ  
เส้นศูนย์สูตร ค่าลองจิจูดมีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 180 องศาวัดไปทางทิศตะวันออกและตะวันตก เส้นแวงที่  
180 องศา เรียกว่า เส้นแบ่งเขตวันที่ระหว่างชาติ (International date line)

ค่าละติจูดของตำแหน่งใด ๆ หมายถึง ระยะทางเชิงมุมที่จุดศูนย์กลางของโลก โดยวัดจาก  
เส้นศูนย์สูตรไปตามเส้นแวงที่ผ่านตำแหน่งนั้น ๆ ไปจนถึงตำแหน่งนั้น ค่าละติจูดมีค่าอยู่ระหว่าง 0-90 องศา  
วัดไปทางทิศเหนือและใต้

จากภาพประกอบ 82 ตำแหน่ง P บนพื้นโลกจะมีค่า ลองจิจูด 15 องศาตะวันออก และ  
ค่าละติจูด 45 องศาเหนือ

## การบอกตำแหน่งวัตถุท้องฟ้า

### 1. ทรงกลมท้องฟ้า

ดวงดาวและวัตถุต่าง ๆ รวมถึง ดวงอาทิตย์ที่ปรากฏอยู่ในท้องฟ้า รวมเรียกว่า วัตถุท้องฟ้า (Celestial bodies) วัตถุท้องฟ้าแต่ละชนิด จะมีระหว่างจากโลกในตำแหน่งที่แตกต่างกัน แต่เนื่องจากข้อจำกัดในประสิทธิภาพของดวงตา ซึ่งไม่สามารถกำหนดความแตกต่างของระยะทางของวัตถุเหล่านั้นได้ ท้องฟ้าโดยเฉพาะเวลากลางคืนเดือนมืดมีดวงดาวอยู่ทั่วไปทุกทิศทุกทาง จึงปรากฏต่อมนุษย์ หรือผู้สังเกตการณ์ (Observer) เป็นดังผิวของทรงกลมหิม่า ซึ่งห่อหุ้มเขาอยู่โดยรอบ ซีกหนึ่งของทรงกลมนั้นอยู่เหนือแผ่นดินที่เขาอยู่นอกซีกหนึ่งอยู่ใต้พื้นดินทรงกลมดังกล่าวนี้ เรียกว่า ทรงกลมท้องฟ้า (Celestial Sphere) ดวงดาวและวัตถุทั้งหลายถือได้ว่าติดอยู่ที่ผิวของทรงกลมท้องฟ้า นี้ ทรงกลมท้องฟ้าปรากฏว่าหมุนไปรอบ ๆ ผู้สังเกตการณ์ ซึ่งอยู่บนพื้นโลกด้วยอัตราวันละรอบปรากฏการณ์นี้เป็นผลจากการหมุนรอบตัวเองของโลกไปวันละรอบนั่นเอง ทรงกลมท้องฟ้านี้เป็นเพียงสิ่งสมมติขึ้นแต่ก็มีประโยชน์ในการกำหนดตำแหน่ง และรูปแบบข้อมูลทางดาราศาสตร์เป็นอย่างยิ่ง ทรงกลมท้องฟ้ามีคุณสมบัติพื้นฐานดังนี้ (ระวีภาวิไล, 2522 : 27-60)

1. ทรงกลมท้องฟ้า เป็นทรงกลมสมมติที่มีโลกเป็นจุดศูนย์กลางของทรงกลม มีรัศมีเป็นอนันต์ (Infinity)
  2. ไม่ว่าผู้สังเกตการณ์จะไปอยู่ ณ ตำแหน่งใด จะเป็นพื้นผิวโลก หรือที่จุดใจกลางของโลก หรือในอวกาศนอกโลกก็เหมือนว่า เขายังคงอยู่ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมท้องฟ้าเสมอ
  3. ดาวเคราะห์ ดาวฤกษ์ ดวงอาทิตย์ และวัตถุท้องฟ้าอื่น ๆ เสมือนว่าติดอยู่บนผิวภายในทรงกลมท้องฟ้า สำหรับดวงจันทร์ ดวงอาทิตย์ ดาวเคราะห์ และดาวหางนั้น มีการเคลื่อนที่ไปบนผิวทรงกลม แต่ดาวฤกษ์ และแกแลกซี ส่วนใหญ่ถือได้ว่าติดอยู่ที่ผิวของทรงกลม
  4. ทรงกลมท้องฟ้าหมุนไปรอบแกน ซึ่งผ่านจุดศูนย์กลางของทรงกลม และอยู่ในแนวเดียวกับแกนหมุนของโลก ด้วยอัตราวันละรอบซึ่งเป็นผลเนื่องมาจาก การหมุนรอบตัวเองของโลก ดังนั้นวัตถุท้องฟ้าต่าง ๆ จะปรากฏหมุนไปรอบผู้สังเกตการณ์บนโลกวันละรอบจากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตกเราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเคลื่อนที่ประจำวัน (Diurnal motion หรือ Daily motion)
  5. ผู้สังเกตการณ์ซึ่งอยู่คนละตำแหน่ง ถ้าชี้หรือเล็งไปยังดาวดวงเดียวกัน แนวที่ชี้หรือเล็งนั้นจะเป็นเส้นตรงที่ขนานกัน
  6. ระยะทางระหว่างจุดสองจุดบนผิวทรงกลม เช่น ระยะทางระหว่างดาวฤกษ์ สองดวง เราจะกำหนดด้วยมุมระหว่างรัศมีซึ่งลากจากตำแหน่งผู้สังเกตการณ์ ไปยังจุดกำหนดตำแหน่งของดวงดาวทั้งสอง โดยปกติเราจะมองเห็นทรงกลมท้องฟ้าเพียงครึ่งทรงกลมเท่านั้น ตำแหน่งต่าง ๆ บนทรงกลมท้องฟ้าที่สำคัญ มีดังนี้ (ลำเจียก ปิยะนุช, 2532 : 25-30)
- ขั้วฟ้า (Celestial poles) คือ จุดที่อยู่บนทรงกลมท้องฟ้าที่ตรงกับขั้วเหนือและขั้วใต้ของโลก เมื่อต่อแกนหมุนของโลกออกไปก็จะพบกับขั้วฟ้าที่ผิวของทรงกลมท้องฟ้า ฉะนั้นขั้วฟ้าจึงมี 2 ขั้ว คือ ขั้วฟ้าเหนือ (North celestial pole : NCP) ซึ่งตรงกับขั้วเหนือของโลก และขั้วฟ้าใต้ (South celestial pole : SCP)

จุดเซนิท (Zenith) คือ จุดบนทรงกลมท้องฟ้าที่อยู่ตรงศีรษะของผู้สังเกตการณ์ หรือบางครั้งเรียกว่าจุดเหนือศีรษะ

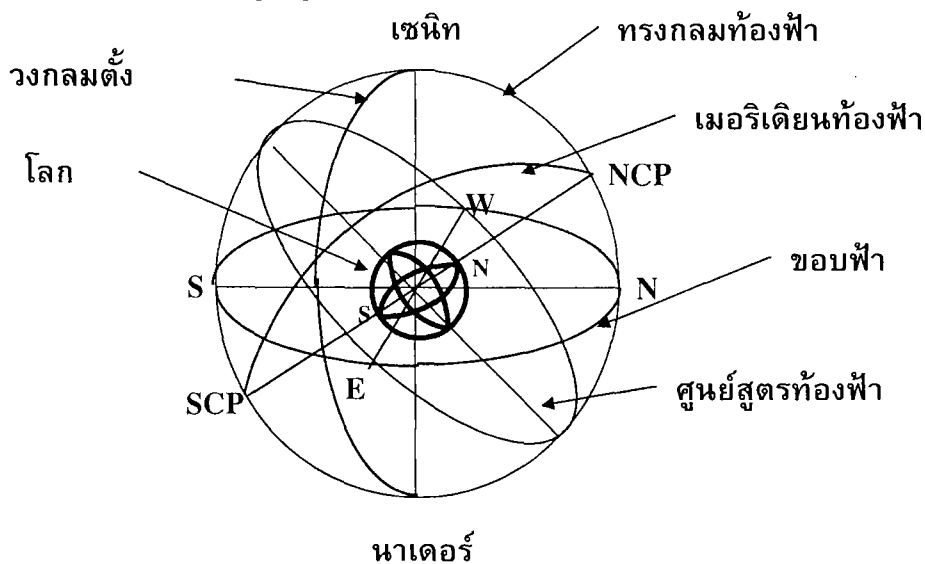
จุดนาเดอ์ (Nadir) คือ จุดบนทรงกลมท้องฟ้าที่อยู่ตรงข้ามกับจุดเซนิท

เส้นขอบฟ้า (Horizon) เป็นวงกลมใหญ่ของทรงกลมท้องฟ้าที่มีระนาบตั้งฉากกับเส้นที่ลากเชื่อมต่อระหว่างเซนิทและนาเดอ์

วงกลมตั้ง (Vertical circles) เป็นวงกลมใหญ่ของทรงกลมท้องฟ้าที่ลากผ่านจุดเซนิทและนาเดอ์ตั้งฉากกับเส้นขอบฟ้า

เส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า (Celestial equator) เป็นวงกลมใหญ่ของทรงกลมท้องฟ้าที่มีระนาบตั้งฉากกับแกนหมุนของทรงกลมท้องฟ้าและอยู่ในระนาบเดียวกันกับระนาบของเส้นศูนย์สูตรของโลก

เส้นเมริเดียนท้องฟ้า (Celestial meridian) เป็นวงกลมใหญ่ของทรงกลมท้องฟ้าที่ลากผ่านจุดขั้วฟ้าเหนือและขั้วฟ้าใต้ ตั้งฉากกับเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า

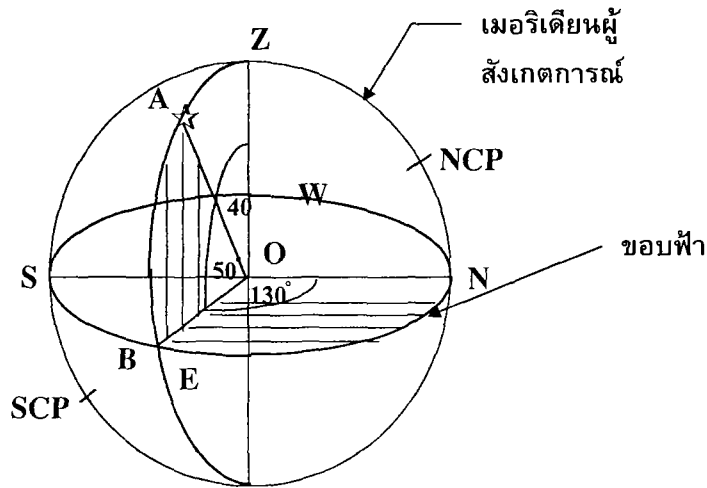


ภาพประกอบ 83 ตำแหน่งที่สำคัญบนทรงกลมท้องฟ้า

## 2. การบอกตำแหน่งวัตถุท้องฟ้าในทรงกลมท้องฟ้า

ในการบอกตำแหน่งของวัตถุท้องฟ้าในทรงกลมท้องฟ้า นั้น มีระบบบอกตำแหน่งอยู่ 4 ระบบ ได้แก่ ระบบเส้นขอบฟ้า ระบบเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า ระบบเส้นสุริยะวิถี และระบบระนาบกาแล็กซี่ทางช้างเผือก แต่ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้มีเพียงสองระบบแรก ดังนั้น ในที่นี้จะกล่าวถึงระบบเส้นขอบฟ้า และระบบเส้นศูนย์สูตรเท่านั้น

**2.1 ระบบเส้นขอบฟ้า (The horizon coordinate system)** เป็นระบบการบอกตำแหน่งที่ใช้เส้นขอบฟ้าและวงกลมตั้งที่ผ่านขั้วฟ้าเหนือหรือเส้นเมริเดียนของผู้สังเกตการณ์ (Observer meridian) เป็นเส้นอ้างอิง โดยจะบอกตำแหน่งของวัตถุท้องฟ้าเป็นค่าแอดิมัท (Azimuth) และค่าระดับความสูงเชิงมุม (Altitude) หรือ ค่าระยะเซนิท (Zenith distance)



ภาพประกอบ 84 การบอกตำแหน่งของวัตถุท้องฟ้า ในระบบเส้นขอบฟ้า

จากภาพประกอบ 84 N, E, S, W คือ จุดทิศเหนือตะวันออก ใต้ ตะวันตกบนเส้นขอบฟ้า ตามลำดับ O คือตำแหน่งของผู้สังเกตการณ์บนพื้นโลก Z คือ จุดเซนิทของผู้สังเกตการณ์ A คือ ตำแหน่งของวัตถุท้องฟ้าที่สังเกตการณ์ B คือ ตำแหน่งที่วงกลมตั้งผ่านวัตถุท้องฟ้าที่ตัดกับเส้นขอบฟ้า

เส้นเมริเดียนของผู้สังเกตการณ์ (Observer meridian) เป็นเส้นเมริเดียนท้องฟ้าที่ผ่านจุดเซนิทและทิศเหนือ-ใต้

ค่าแอสซิมาท หมายถึง ค่าของมุมที่วัดจากทิศเหนือไปทางทิศตะวันออก ตามแนวเส้นขอบฟ้าจนถึงจุดที่ วงกลมตั้งที่ลากผ่านวัตถุท้องฟ้าที่สังเกตการณ์มาตัดกับเส้นขอบฟ้า ค่าแอสซิมาท มีค่าระหว่าง 0 ถึง 360 องศา ปัจจุบันนิยมวัดได้ทั้งสองทิศ คือ วัดไปทางทิศตะวันออก ระหว่าง 0 ถึง 180 องศาตะวันออก และวัดไปทางทิศตะวันตก ระหว่าง 0 ถึง 180 องศาตะวันตก

ค่าระดับความสูงเชิงมุม หมายถึง ค่าของมุมที่วัดจากจุดตัดระหว่างเส้นขอบฟ้ากับวงกลมตั้งที่ผ่านวัตถุท้องฟ้า นั้น ไปตามแนววงกลมตั้งจนถึงตำแหน่งวัตถุท้องฟ้าที่สังเกตการณ์ มีค่าระหว่าง 0 ถึง +90 องศา เมื่อวัตถุท้องฟ้าอยู่เหนือเส้นขอบฟ้า และ 0 ถึง -90 องศา เมื่อวัตถุท้องฟ้าอยู่ใต้เส้นขอบฟ้า

ค่าระยะเซนิท หมายถึง ค่าของมุมที่วัดจากจุด เซนิทไปตามวงกลมตั้งที่ผ่านวัตถุท้องฟ้า จนถึงตำแหน่งวัตถุท้องฟ้า นั้น มีค่าระหว่าง 0 ถึง 90 องศา

$$\text{Zenith distance} = 90^\circ - \text{Altitude}$$

ตัวอย่างจากภาพประกอบ 84 ตำแหน่งของดาว A อยู่ที่ แอสซิมาท 130 องศาตะวันออก (130° E) หรือมุม NOB ระดับความสูงเชิงมุม + 50 องศา (+50 °) หรือมุม 50°A หรือระยะเซนิท 40 องศา (40°) หรือ มุม ZOA



จุดยอดตำหนัก อีควินอกซ์ คือ ตำแหน่งปรากฏที่ดวงอาทิตย์กำลังเคลื่อนที่ผ่านเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า จากซีกฟ้าเหนือไปยังซีกฟ้าใต้ ซึ่งตรงกับวันที่ 23 กันยายน (ตำแหน่ง B ในภาพประกอบ 85)

โซลสติส ฤดูร้อน (Summer solstice) คือ ตำแหน่งปรากฏที่ดวงอาทิตย์ขึ้นไปสูงสุดทางซีกฟ้าเหนือ ตรงกับวันที่ 22 มิถุนายน (ตำแหน่ง A ในภาพประกอบ 85)

โซลสติส ฤดูหนาว (Winter solstice) คือ ตำแหน่งปรากฏที่ดวงอาทิตย์ลงไปต่ำสุดทางซีกฟ้าใต้ ตรงกับวันที่ 22 ธันวาคม (ตำแหน่ง C ในภาพประกอบ 85)

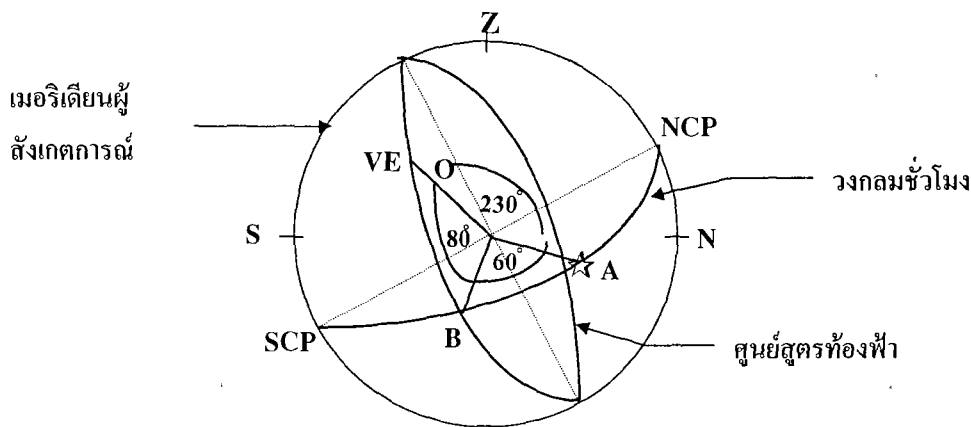
วงกลมชั่วโมง (Hour circles) คือ วงกลมใหญ่ของทรงกลมท้องฟ้าที่ลากผ่านขั้วฟ้าทั้งสอง และผ่านวัตถุท้องฟ้าที่สังเกตการณ์ ซึ่งก็คือ เส้นเมริเดียนท้องฟ้านั่นเอง แต่ที่เรียกววงกลมชั่วโมงก็เพราะวงกลมเหล่านี้จะเคลื่อนที่ไปพร้อมกับการหมุนของทรงกลมท้องฟ้า ในอัตรา 15 องศาต่อชั่วโมง ตามอัตราเร็วของการหมุนรอบตัวเองของโลก

มุมชั่วโมง (Hour angles) คือ มุมที่วัดจากเส้นเมริเดียนของผู้สังเกตการณ์ไปทางทิศตะวันตก (ทิศเดียวกันกับทิศของการหมุนของทรงกลมท้องฟ้า) ตามเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า จนถึงวงกลมชั่วโมงที่ผ่านวัตถุท้องฟ้าที่สังเกตการณ์ มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 360 องศา และมุมชั่วโมงของวัตถุท้องฟ้าใด ๆ จะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาเสมอ

โดยปกติการวัดค่ามุมชั่วโมงมักจะวัดในหน่วยของเวลา คือ ชั่วโมง นาที และวินาที โดยกำหนดจากการหมุนรอบตัวเองครบ 1 รอบของทรงกลมท้องฟ้าเท่ากับ 360 องศา ใช้เวลา 24 ชั่วโมง ดังนั้นจึงสามารถเปรียบเทียบหน่วยเวลากับมุมได้ดังนี้

$$24^h = 360^\circ \quad 1^h = 15^\circ$$

$$1^m = 15' \quad 1^s = 15''$$



ภาพประกอบ 86 การบอกตำแหน่งในระบบเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า

จากภาพประกอบ 86 พิจารณาตำแหน่งของดาว A มีวงกลมชั่วโมงตัดเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้าที่ B จุดเวอร์นัลอีควินอกซ์อยู่ที่ VE ขณะที่ผู้สังเกตการณ์อยู่ที่ O ทิศเหนืออยู่ที่ N ทิศใต้อยู่ที่ S และจุดเซนินอยู่ที่ Z

ค่าไรท์แอสเซนชัน (แทนด้วย “α”) หมายถึง ค่าของมุมที่วัดจากจุดเวอร์นัลอีควินอกซ์ ไปตามเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า จากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก หรือในทิศทวนเข็มนาฬิกา เมื่อมองเข้ามาทางขั้วฟ้าเหนือ จนถึงตำแหน่งที่วงกลมชั่วโมงที่ผ่านวัตถุท้องฟ้ามาตัดกับเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้ามีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 360 องศา โดยปกติจะวัดในหน่วยของชั่วโมง นาที และวินาที ตั้งแต่ 0 ถึง 24 ชั่วโมง

ค่าเดคลิเนชัน (แทนด้วย "δ") หมายถึง ค่าของมุมที่วัดจากเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า ไปตามวงกลมชั่วโมงที่ผ่านวัตถุท้องฟ้า จนถึงตำแหน่งของวัตถุท้องฟ้า นั้น มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 90 องศา และจะเป็นบวก (+) เมื่อวัดไปทางขั้วฟ้าเหนือ เป็นลบ (-) เมื่อวัดไปทางขั้วฟ้าใต้

ตัวอย่าง ในภาพประกอบ 86 ตำแหน่งของดาว A มีค่าไรท์แอสเซนชันเท่ากับ 80 องศา หรือ 5 ชั่วโมง 20 นาที หรือมุม (VE)  $\hat{O}B$  ค่าเดคลิเนชันเท่ากับ +60 องศา หรือมุม  $A\hat{O}B$  แสดงว่าดาว A อยู่ขั้วฟ้าเหนือมุมชั่วโมงของดาว A เท่ากับ  $230^\circ$  หรือ 15 ชั่วโมง 20 นาที แต่มุมชั่วโมงของดาว A จะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ส่วนค่าไรท์แอสเซนชันและค่าเดคลิเนชันของดาวจะมีค่าคงที่ ดังนั้นการบอกตำแหน่งของดาว A จึงสามารถเขียนสั้นได้ว่าดาว A มีตำแหน่งอยู่ที่  $\alpha = 5^h 20^m$  และ  $\delta = +60^\circ$

ภาคผนวก จ  
สมการเฟรสเนล

## สมการเฟรสเนล (Fresnel equations)

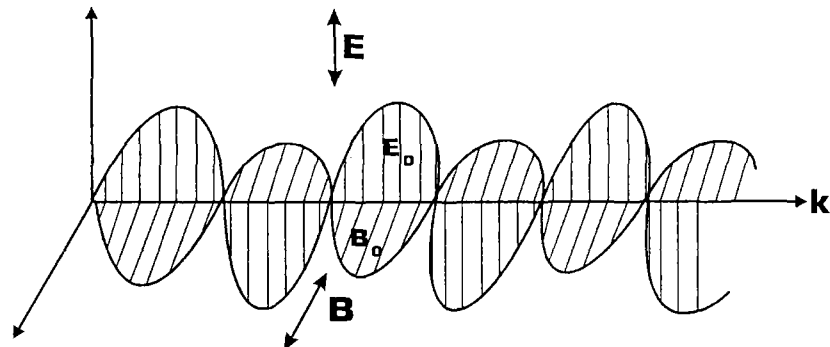
### 1. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Waves)

จากสมการของแมกซ์เวล (Maxwell's equation) ที่อธิบายเกี่ยวกับคลื่น ทำให้เราทราบว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เกิดจากการเปลี่ยนแปลงแบบฮาร์มอนิก ของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่ตั้งฉากซึ่งกันและกันโดย ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะตั้งฉากกับ ทิศทางของสนามทั้งสอง การเปลี่ยนแปลงของสนามทั้งสองอธิบายได้ด้วยสมการ

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 e^{j(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - \omega t)} \quad (1)$$

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_0 e^{j(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - \omega t)} \quad (2)$$

โดยที่  $\mathbf{E}$  และ  $\mathbf{B}$  เป็นสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กตามลำดับ  $E_0$  และ  $B_0$  เป็นแอมพลิจูด องค์ประกอบทั้งสองของคลื่นจะแพร่ออกไปพร้อมกันในทิศทางของเวกเตอร์ของการแพร่ (propagation vector)  $\mathbf{k}$  ด้วยความถี่เชิงมุม  $\omega$  โดยความยาวคลื่นและอัตราเร็วที่เท่ากัน นอกจากนี้ ทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้ายังบอกเราว่า สนามของ แอมพลิจูด มีความสัมพันธ์กันโดย  $E_0 = cB_0$  เมื่อ  $c$  คืออัตราเร็วของคลื่น ณ เวลา ( $t$ ) และตำแหน่งเฉพาะใด ๆ ( $\mathbf{r}$ )  $E = cB$



ภาพประกอบ 87 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีสนามไฟฟ้า  $\mathbf{E}$  สนามแม่เหล็ก  $\mathbf{B}$  และเวกเตอร์ของการแพร่  $\mathbf{k}$  ตั้งฉากซึ่งกันและกัน

ในสเปซอิสระ (Free space) ความเร็ว  $c$  จะมีค่าเท่าที่เป็น

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \quad (3)$$

เมื่อ  $\epsilon_0$  เป็น สภาพยอม ของสุญญากาศ (Permittivity of vacuum) สำหรับสนามไฟฟ้า และ  $\mu_0$  เป็นสภาพให้ซึมได้ของสุญญากาศ (Permeability of vacuum) สำหรับสนามแม่เหล็ก

การเคลื่อนที่ของคลื่นเป็นการถ่ายเทพลังงาน ความหนาแน่นของพลังงาน (Energy density) (Joule/cubic meter) ของสนามไฟฟ้าในสเปซอิสระ คือ

$$U_E = \frac{1}{2} \epsilon_0 \cdot E^2 \quad (4)$$

และความหนาแน่นของพลังงาน ของสนามแม่เหล็กในสเปสอิสระ คือ

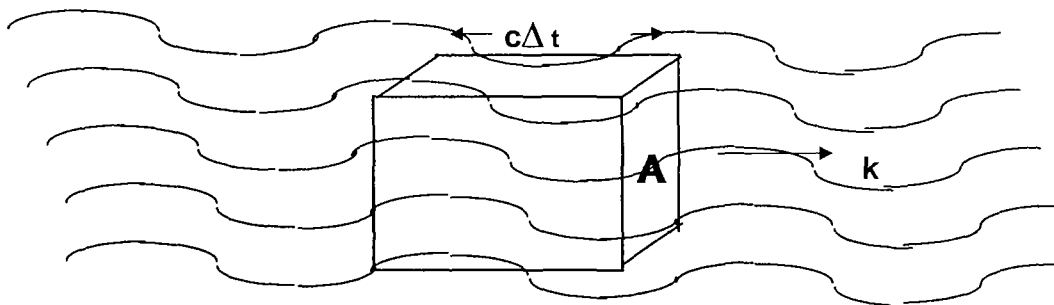
$$\begin{aligned} U_B &= \frac{1}{2\mu_0} B^2 \\ &= \frac{1}{2\mu_0} \left( \frac{E}{c} \right)^2 = \left( \frac{\epsilon_0 \mu_0}{2} \right) E^2 = U_E \quad (5) \end{aligned}$$

ความหนาแน่นของพลังงานรวม คือ

$$\begin{aligned} U &= U_E + U_B = 2U_E = 2U_B \\ \text{หรือ} \quad U &= \epsilon_0 E^2 = \left( \frac{1}{\mu_0} \right) B^2 \quad (6) \end{aligned}$$

พิจารณาอัตราของพลังงานต่อเวลา ที่ถูกนำไปโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ กำลัง (power) ในเวลา  $\Delta t$  พลังงานถูกนำผ่านพื้นที่ภาคตัดขวาง  $A$  คือพลังงานที่มีความสัมพันธ์กับปริมาตร  $\Delta V$  ของปริมาตรสี่เหลี่ยมของความยาว  $c\Delta t$  ดังนั้น

$$\text{กำลัง} = \frac{\text{พลังงาน}}{\text{เวลา}} = \frac{U\Delta V}{\Delta t} = \frac{U(Ac\Delta t)}{\Delta t} = UcA \quad (7)$$



ภาพประกอบ 88 การไหลของพลังงาน ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในเวลา  $\Delta t$   
พลังงานภายใน ปริมาตรทรงสี่เหลี่ยม ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัด  $A$

หรือ กำลังที่ถ่ายเทไปต่อพื้นที่เป็น  $S$  คือ

$$S = Uc \quad (8)$$

สามารถอธิบาย ความหนาแน่นของพลังงาน  $U$  ในรูปของ  $E$  และ  $B$  จากสมการ (3) และ (6)

$$U = \sqrt{U} \sqrt{U} = (\sqrt{\epsilon_0} E) \left( \frac{B}{\sqrt{U_0}} \right) = \frac{\epsilon_0 EB}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = \epsilon_0 c EB \quad (9)$$

แทนค่าใน (8)

$$S = \epsilon_0 c^2 EB \quad (10)$$

กำลังต่อหน่วยพื้นที่เมื่อกำหนดทิศทางการแพร่ แล้วเรียกว่า พอยนติ้ง เวกเตอร์ (Poynting vector) ซึ่งทิศทางเดียวกันกับผลคูณเวกเตอร์ของ  $E$  และ  $B$  ดังนั้น

$$S = \epsilon_0 c^2 E \times B \quad (11)$$

เนื่องจากสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ขนาดของพอยนติ้งเวกเตอร์ก็เป็นฟังก์ชันที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาอย่างรวดเร็วด้วย ส่วนมากค่าเฉลี่ยเวลาของกำลังที่ปล่อยออกมาต่อหน่วยพื้นที่ จะถูกกำหนดปริมาณนี้เรียกว่า ความหนาแน่นของฟลักซ์รังสี (Radiant flux density หรือ irradiance)  $I$

$$I = \langle |S| \rangle = \epsilon_0 c^2 \langle E_0 B_0 \sin^2(k \cdot r \pm \omega t) \rangle$$

ที่ใช้วงเล็บ  $\langle \rangle$  แสดงว่า เฉลี่ยเวลา และแสดงสนามเป็นฟังก์ชันไซน์ ค่าเฉลี่ยของฟังก์ชัน  $\sin^2\theta$  หรือ  $\cos^2\theta$  ในคาบหนึ่งคิดง่าย ๆ ก็คือ  $1/2$  ดังนั้น

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{2} \epsilon_0 c^2 E_0 B_0 \\ &= \frac{1}{2} \epsilon_0 c E_0^2 \\ &= \frac{1}{2} \left( \frac{c}{\mu_0} \right) B_0^2 \end{aligned} \quad (12)$$

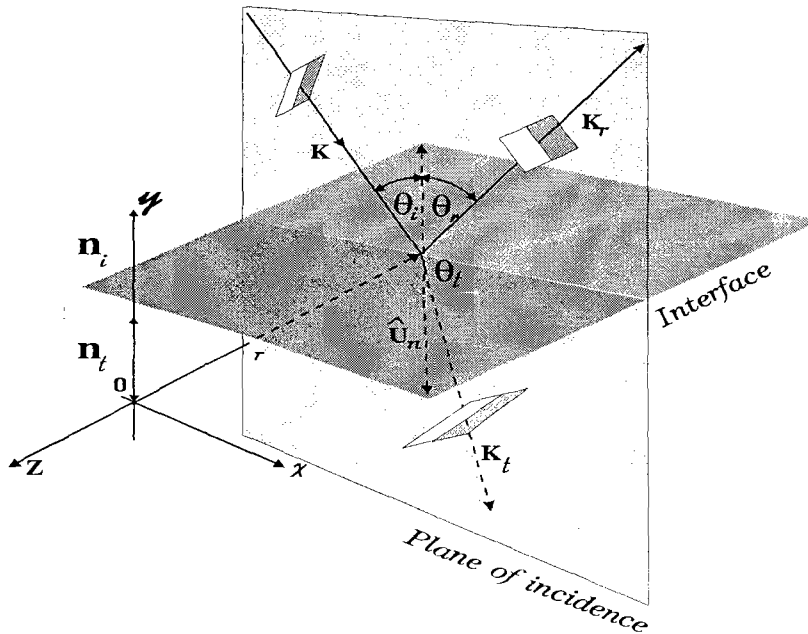
## 2. คลื่นที่ผิวร่วม

ให้คลื่นแสงตกกระทบเป็นแสงเอกรงค์ที่เป็นคลื่นระนาบ ดังนั้นสนาม  $E$  จะอยู่ในรูป

$$E_i = E_{0i} \exp [j (k_i \cdot r - \omega t)] \quad (13)$$

หรือ 
$$E_i = E_{0i} \cos (k_i \cdot r - \omega t) \quad (14)$$

สมมติว่า  $E_{oi}$  ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา หรือเป็นคลื่นเชิงเส้น หรือ มีระนาบโพลาไรซ์ กำหนดให้เวลาเริ่มต้น  $t=0$  ตำแหน่งเริ่มต้น  $O$  ในสเปซที่  $r=0$



ภาพประกอบ 89 คลื่นระนาบตกกระทบบนผิวร่วมระหว่างตัวกลางไดอิเล็กตริกสองตัวกลาง

เราสามารถเขียนคลื่นสะท้อนและคลื่นส่งผ่าน ได้ดังนี้

$$E_r = E_{or} \cos(k_r \cdot r - \omega_r t + \epsilon_r) \quad (15)$$

และ 
$$E_t = E_{ot} \cos(k_t \cdot r - \omega_t t + \epsilon_t) \quad (16)$$

เมื่อ  $\epsilon_r$  และ  $\epsilon_t$  เป็นค่าคงที่เฟส (phase constants)

ดัชนีหักเหของตัวกลางทั้งสองเป็น  $n_1$  และ  $n_2$

พิจารณารณีที่ความเข้มสนามไฟฟ้า  $E$  อยู่ในแนวสัมผัสกับผิวร่วม ซึ่งจะต้องผ่านผิวร่วม ไปอย่างต่อเนื่อง อีกประการหนึ่ง องค์ประกอบในแนวสัมผัสรวมของ  $E$  บนด้านหนึ่งของผิว จะต้องเท่ากับอีกด้านหนึ่ง ดังนั้น ถ้า  $u_n$  เป็นเวกเตอร์หน่วยที่ตั้งฉากกับผิวร่วมแล้ว

$$u_n \times E_i + u_n \times E_r = u_n \times E_t \quad (17)$$

หรือ 
$$u_n \times E_{oi} \cos(k_i \cdot r - \omega_i t) + u_n \times E_{or} \cos(k_r \cdot r - \omega_r t + \epsilon_r) \\ = u_n \times E_{ot} \cos(k_t \cdot r - \omega_t t + \epsilon_t) \quad (18)$$

ความสัมพันธ์นี้เป็นไปได้ที่เวลาใด ๆ และจุดใด ๆ บนผิวร่วม ( $y=b$ )

## 2. แสดงวิธีการหาสมการเฟรสเนล

พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างเฟสของ  $E_i(r, t)$ ,  $E_r(r, t)$  และ  $E_t(r, t)$  ซึ่งเป็นสนามไฟฟ้าของรังสีตกกระทบ รังสีสะท้อนและรังสีหักเหตามลำดับ โดยมีแอมพลิจูด  $E_{oi}$ ,  $E_{or}$  และ  $E_{ot}$  กำหนดให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นเอกกรงค์ระนาบ (Plane monochromatic wave) ซึ่งตกกระทบบานฉวาระหว่างสองตัวกลาง อย่างไรก็ตาม โพลาริเซชัน ของคลื่น จะแยกสนาม  $E$  และ  $B$  เป็นองค์ประกอบที่ขนานและตั้งฉากกับระนาบตกกระทบ (Plane of incidence) ซึ่งจะพิจารณาแยกกัน ดังนี้ (Hecht and Zajac. 1974 : 72-74) (Mickelson. 1992 : 56-59)

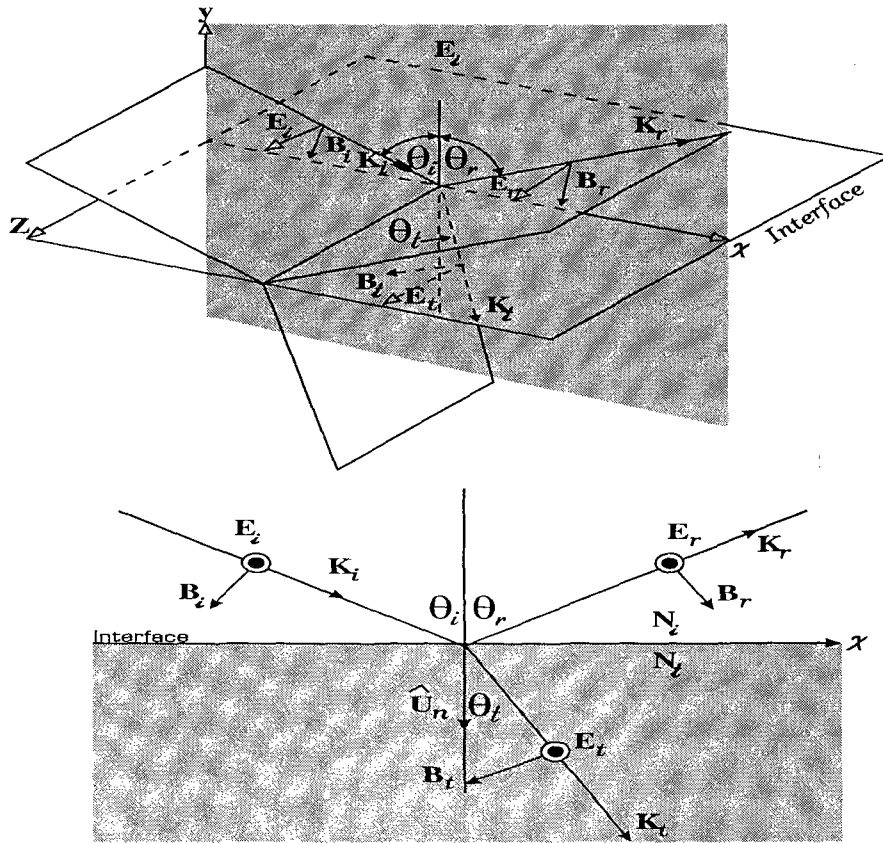
กรณีที่ 1  $E$  ตั้งฉากกับระนาบตกกระทบ จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่า  
 $E = vB$  ดังนั้น

$$k \times E = vB \quad (19)$$

นั่นคือ  $E$ ,  $B$  และ เวกเตอร์หน่วยของการแพร่  $k$  มีความสัมพันธ์ในรูปของกฎมือขวา ถ้าเราใช้ความต่อเนื่องขององค์ประกอบในแนวสัมผัสของสนาม  $E$  ที่ผิวขอบเขตระหว่างตัวกลาง ณ เวลาและตำแหน่งใด ๆ จะได้

$$E_{oi} + E_{or} = E_{ot} \quad (20)$$

ซึ่งตัดโคไซน์ (cosine) ออก โดยจะเน้นที่สนามเวกเตอร์อยู่ที่ผิวหรือ  $y = 0$  เพื่อให้มองเห็นชัดเจนขึ้น เป็นข้อสังเกตด้วยว่าขณะที่  $E_r$  และ  $E_t$  ตั้งฉากกับระนาบตกกระทบอย่างสมมาตร ทั้ง  $E_r$  และ  $E_t$  จะชี้ไปที่บริเวณผิวร่วม (interface) เมื่อ  $E_i$  ตกกระทบ ทิศทางของสนาม  $B$  จะเป็นไปตามสมการ (19)



ภาพประกอบ 90 ผลของการกระทำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อสนาม  $E$  ตั้งฉากกับระนาบตกกระทบ

ขณะที่องค์ประกอบในแนวสัมผัสของ  $E$  สามารถข้ามผ่านผิวขอบเขตระหว่างตัวกลางไปได้อย่างต่อเนื่อง องค์ประกอบในแนวตั้งฉากของ  $E$  จะไม่สามารถผ่านไปได้ แทนที่องค์ประกอบในแนวตั้งฉากด้วย  $\epsilon E$  เหมือนกันทั้งสองด้านของผิวร่วม ในทำนองเดียวกันองค์ประกอบในแนวตั้งฉากของ  $B$  เป็นไปอย่างต่อเนื่อง ทำให้องค์ประกอบในแนวสัมผัส เป็น  $\mu^{-1} B$  ในที่นี้ ผลกระทบของตัวกลางทั้งสองจะปรากฏให้เห็นโดยสภาพให้ซึมได้ของแม่เหล็ก  $\mu_1$  และ  $\mu_2$

พิจารณาฝั่งขอบเขตที่ง่าย โดยเฉพาะการสะท้อนจากผิวของตัวนำ ดังนั้น ความต่อเนื่องขององค์ประกอบในแนวสัมผัสของ  $B/\mu$  กำหนดว่า

$$-\frac{B_i}{\mu_1} \cos \theta_i + \frac{B_r}{\mu_1} \cos \theta_r = -\frac{B_t}{\mu_2} \cos \theta_t \tag{21}$$

โดยที่ด้านซ้ายและด้านขวาเป็นขนาดรวมของ  $B/\mu$  ขนานกับผิวร่วมในตัวกลางตกกระทบและตัวกลางหักเหตามลำดับ ทิศทางบวกเป็นการเพิ่มของ  $X$  ดังนั้น องค์ประกอบของ  $B_i$  และ  $B_t$  จึงมีเครื่องหมายลบจากสมการ (19) จะได้

$$B_i = E_i / v_i \tag{22}$$

$$B_r = E_r / v_r \tag{23}$$

และ

$$B_t = E_t / v_t \tag{24}$$

$$B_r = E_r / v_r \quad (23)$$

และ  $B_t = E_t / v_t \quad (24)$

แต่  $v_i = v_r$  และ  $\theta_i = \theta_r$  ดังนั้น สมการ (21) เขียนได้

$$\frac{1}{\mu_1 v_i} (E_i - E_r) \cos \theta_i = \frac{1}{\mu_2 v_i} E_t \cos \theta_i \quad (25)$$

พิจารณาสมการ (14), (15) และ (16) จะเห็นได้ว่าโคไซน์ ในนั้นจะเท่ากับ 1 เมื่อ  $y = 0$  ดังนั้นจะได้

$$\frac{n_1 \cdot (E_{oi} - E_{or}) \cos \theta_i}{\mu_1} = \frac{n_2 \cdot E_{ot} \cos \theta_i}{\mu_2} \quad (26)$$

รวมกับสมการ (14) ได้

$$\left( \frac{E_{or}}{E_{oi}} \right)_N = \frac{\frac{n_1 \cdot \cos \theta_i}{\mu_1} - \frac{n_2 \cdot \cos \theta_i}{\mu_2}}{\frac{n_1 \cdot \cos \theta_i}{\mu_1} + \frac{n_2 \cdot \cos \theta_i}{\mu_2}} \quad (27)$$

และ  $\left( \frac{E_{ot}}{E_{oi}} \right)_N = \frac{2 n_1 \cdot \cos \theta_i}{\mu_1 + \frac{n_2 \cdot \cos \theta_i}{\mu_2}}$  (28)

ตัวห้อย N แสดงถึงกรณีที่  $E$  ตั้งฉากกับระนาบตกกระทบ สมการ (27), (28) เป็นสมการทั่วไปที่สมบูรณ์ ซึ่งใช้กับตัวกลางที่เป็นเนื้อเดียว (homogeneous) และมีคุณสมบัติเหมือนกัน (isotropic) ทั้งสองสมการดังกล่าวเรียกว่า สมการเฟรสเนล (Fresnel equations) สมการนี้สามารถนำไปใช้กับตัวกลางที่เป็น ไดอิเล็กทริก (dielectric) ซึ่ง  $\mu_1 \approx \mu_2 \approx \mu_0$  จะได้สมการใหม่เป็น

$$r_N \equiv \left( \frac{E_{or}}{E_{oi}} \right)_N = \frac{n_1 \cos \theta_i - n_2 \cos \theta_t}{n_1 \cos \theta_i + n_2 \cos \theta_t} \quad (29)$$

และ  $t_N \equiv \left( \frac{E_{ot}}{E_{oi}} \right)_N = \frac{2 n_1 \cos \theta_i}{n_1 \cos \theta_i + n_2 \cos \theta_t}$  (30)

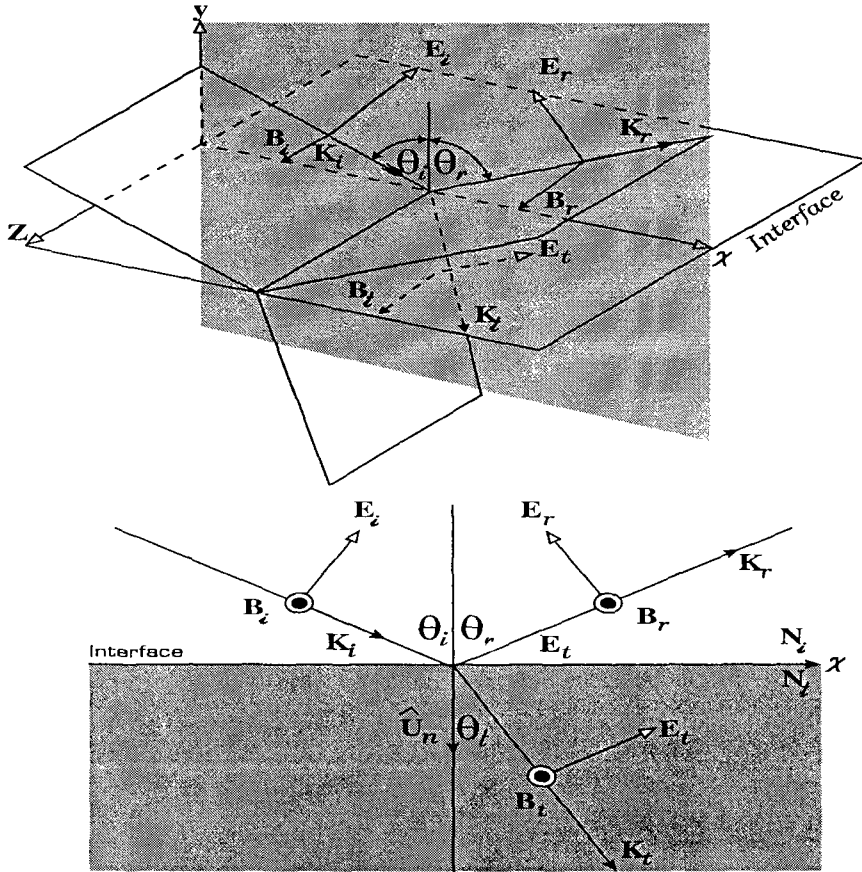
โดยที่  $r_N$  เป็นสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนของแอมพลิจูด (Amplitude reflexion coefficient) และ  $t_N$  เป็นสัมประสิทธิ์ของการหักเหของแอมพลิจูด (Amplitude transmission coefficient)

กรณีที่ 2  $E$  ขนาน และ  $B$  ตั้งฉากกับระนาบตกกระทบ เราสามารถหาสมการได้เมื่อสนาม  $E$  อยู่ในระนาบตกกระทบ ความต่อเนื่องขององค์ประกอบในแนวสัมผัสของ  $E$  ในแต่ละด้านของผิวขอบเขต (boundary) คือ

$$E_{oi} \cos \theta_i - E_{or} \cos \theta_r = E_{ot} \cos \theta_t \quad (31)$$

ในทำนองเดียวกันกับที่ได้ทำมาแล้ว ความต่อเนื่องขององค์ประกอบในแนวสัมผัสของ  $\mathbf{B}/\mu$  คือ

$$\frac{1}{\mu_1} E_{oi} + \frac{1}{\mu_1} E_{or} = \frac{1}{\mu_2} E_{oi} \quad (32)$$



ภาพประกอบ 91 ผลการกระทำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อสนาม E อยู่ในระนาบตกกระทบ

รังสีตกกระทบและรังสีสะท้อนอยู่ในตัวกลางเดียวกัน จะทำให้  $v_i = v_r$  และ  $\theta_i = \theta_r$  เมื่อนำไปแทนค่า จะได้สมการเฟรสเนลเพิ่มขึ้น คือ

$$r_T = \left( \frac{E_{or}}{E_{oi}} \right)_T = \frac{\frac{\mu_2 \cdot \cos \theta_i}{\mu_1} - \frac{\mu_1 \cdot \cos \theta_t}{\mu_2}}{\frac{\mu_2 \cdot \cos \theta_i}{\mu_1} + \frac{\mu_1 \cdot \cos \theta_t}{\mu_2}} \quad (33)$$

$$\text{และ } t_T = \left( \frac{E_{O_i}}{E_{O_i}} \right)_T = \frac{\frac{2 n_1 \cdot \cos \theta_i}{\mu_1}}{\frac{n_1 \cdot \cos \theta_t}{\mu_1} + \frac{n_2 \cdot \cos \theta_i}{\mu_2}} \quad (34)$$

ตัวห้อย T แสดงถึงกรณีที่มีสนาม  $E$  อยู่ในระนาบตกกระทบ เมื่อตัวกลางทั้งสองทำให้ผิวร่วมเป็นไดอิเล็กตริก สัมประสิทธิ์แอมพลิจูดจะกลายเป็น

$$r_T = \frac{n_2 \cos \theta_i - n_1 \cos \theta_t}{n_1 \cos \theta_t + n_2 \cos \theta_i} \quad (35)$$

$$t_T = \frac{2 n_1 \cos \theta_t}{n_1 \cos \theta_t + n_2 \cos \theta_i} \quad (36)$$

เมื่อนำกฎของสเนล (Snell's law) มาพิจารณาประกอบกับ สมการเฟรสเนล สำหรับตัวกลางที่เป็นไดอิเล็กตริกจะได้

$$r_N = - \frac{\sin (\theta_i - \theta_t)}{\sin (\theta_i + \theta_t)} \quad (37)$$

$$r_T = + \frac{\tan (\theta_i - \theta_t)}{\tan (\theta_i + \theta_t)} \quad (38)$$

$$t_N = + \frac{2 \sin \theta_t \cos \theta_i}{\sin (\theta_i + \theta_t)} \quad (39)$$

$$t_T = + \frac{2 \sin \theta_t \cos \theta_i}{\sin (\theta_i + \theta_t) \cos (\theta_i - \theta_t)} \quad (40)$$

### 3. ความสะท้อนและความส่งผ่าน (Reflectance and Transmittance)

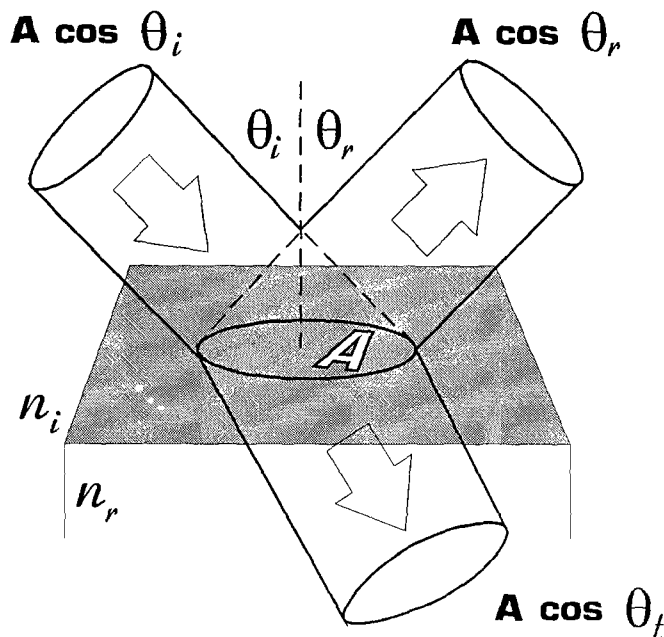
พิจารณากำลังต่อหน่วยพื้นที่ ที่ผ่านผิวหน้าในสุญญากาศ ซึ่งเรียกว่า พอยน์ดิงเวกเตอร์ คือ (Hecht and Zajac, 1974 : 79-80.)

$$\mathbf{S} = \epsilon_0 c^2 \mathbf{E} \times \mathbf{B} \quad (41)$$

และความหนาแน่นของฟลักซ์รังสี ( $\text{W/m}^2$ ) เป็น

$$I = \langle S \rangle = 1/2 \epsilon_0 c E_0^2 \quad (42)$$

นี่คือ พลังงานเฉลี่ยต่อหน่วยเวลาที่ผ่านหนึ่งหน่วยพื้นที่ ที่ตั้งฉากกับ  $s$



ภาพประกอบ 92 การสะท้อนและการส่งผ่านของรังสีตกกระทบ

พิจารณาจากภาพประกอบ 92 ให้  $I_i$ ,  $I_r$  และ  $I_t$  เป็นความหนาแน่นฟลักซ์ที่ตกกระทบ สะท้อน และส่งผ่านตามลำดับ ส่วนของพลังงานที่ตกกระทบในแนวตั้งฉากบนหน่วยพื้นที่ของผิว ขอบเขตต่อวินาที คือ  $I_i \cos \theta_i$  ในทำนองเดียวกัน  $I_r \cos \theta_r$  และ  $I_t \cos \theta_t$  ก็เป็นพลังงานต่อวินาที ที่ออกจากหน่วยพื้นที่ของผิวขอบเขตที่ตั้งฉากบนแต่ละด้าน ความสะท้อน (Reflectance)  $\rho$  คือ สัดส่วนของการสะท้อนต่อการตกกระทบของฟลักซ์ (หรือ กำลัง)

$$\rho \equiv \frac{I_r \cos \theta_r}{I_i \cos \theta_i} = \frac{I_r}{I_i} \quad (43)$$

ขณะที่ ความส่งผ่าน (Transmittance)  $\tau$  คือ สัดส่วนของการส่งผ่านต่อการตกกระทบของฟลักซ์ และมีค่าเป็น

$$\tau \equiv \frac{I_t \cos \theta_t}{I_i \cos \theta_i} \quad (44)$$

จากสมการ (42) และ (43) จะได้

$$\rho \equiv \frac{I_r}{I_i} = \frac{1/2 \epsilon_r v_r E_{or}^2}{1/2 \epsilon_i v_i E_{oi}^2} \quad (45)$$

จากการตกกระทบและการสะท้อนของคลื่นอยู่ในตัวกลางเดียวกันทำให้  $v_r = v_i$  และ  $\epsilon_r = \epsilon_i$  ดังนั้น

$$\rho = \left( \frac{E_{or}}{E_{oi}} \right)^2 = r^2 \quad (46)$$

ในทำนองเดียวกัน สมมติว่า  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_0$

$$\tau = \frac{n_2 \cos \theta_t \left( \frac{E_{ot}}{E_{oi}} \right)^2}{n_1 \cos \theta_i} = \left( \frac{n_2 \cos \theta_t}{n_1 \cos \theta_i} \right)^2 t^2 \quad (47)$$

โดยที่  $\mu_0 \epsilon_i = 1/v_i^2$  และ  $\mu_0 v_i \epsilon_i = n_2/c$

จากภาพประกอบ 92 เป็นการแสดงให้เห็นถึงการอนุรักษ์พลังงาน โดยพลังงานทั้งหมดที่ตกลงบนพื้นที่ A ต่อหนึ่งหน่วยเวลา ต้องเท่ากับพลังงานที่ไหลออกจากพื้นที่ A ต่อหนึ่งหน่วยเวลา เช่นเดียวกัน นั่นคือ

$$I_i A \cos \theta_i = I_r A \cos \theta_r + I_t A \cos \theta_t \quad (48)$$

เมื่อพิจารณาค่า  $\rho$  และ  $\tau$  ในรูปขององค์ประกอบจะได้

$$\rho_N = r_N^2 \quad (49)$$

$$\rho_r = r_r^2 \quad (50)$$

$$\tau_N = \frac{(n_2 \cos \theta_t)^2 t_N^2}{n_1 \cos \theta_i} \quad (51)$$

และ 
$$\tau_T = \frac{(n_2 \cos \theta_t)^2 t_T^2}{n_1 \cos \theta_i} \quad (52)$$

#### 4. การสะท้อนของแสงที่ไม่โพลาไรซ์

เมื่อพิจารณาแสงที่เป็นโพลาไรซ์ กรณีที่สนามไฟฟ้า  $E$  ตั้งฉากกับระนาบตกกระทบ จะได้ค่าความสะท้อนเป็น

$$\rho_N = r_N^2 = \left[ \frac{-\sin(\theta_i - \theta_t)}{\sin(\theta_i + \theta_t)} \right]^2 = \frac{\sin^2(\theta_i - \theta_t)}{\sin^2(\theta_i + \theta_t)} \quad (53)$$

และกรณีที่สนามไฟฟ้า  $E$  อยู่ในระนาบตกกระทบ จะได้ค่าความสะท้อนเป็น

$$\rho_T = r_T^2 = \left[ \frac{\tan(\theta_i - \theta_t)}{\tan(\theta_i + \theta_t)} \right]^2 = \frac{\tan^2(\theta_i - \theta_t)}{\tan^2(\theta_i + \theta_t)} \quad (54)$$

แสงในธรรมชาติไม่เป็นแสงโพลาไรซ์ หรือก็คือเป็นการรวมของคลื่นโพลาไรซ์หลาย ๆ คลื่น แต่ละคลื่นอาจจะแยกเป็นองค์ประกอบต่าง ๆ ด้วยความสมมาตรแล้ว จำนวนของแต่ละองค์ประกอบจะเท่ากัน ความสะท้อนของผิวสำหรับธรรมชาติของแสงจะให้ได้ด้วยครึ่งหนึ่งของ  $\rho_N$  บวกกับอีกครึ่งหนึ่งของ  $\rho_T$  หรือ

$$\rho = \frac{1}{2}\rho_N + \frac{1}{2}\rho_T = \frac{1}{2} \left[ \frac{\sin^2(\theta_i - \theta_t)}{\sin^2(\theta_i + \theta_t)} + \frac{\tan^2(\theta_i - \theta_t)}{\tan^2(\theta_i + \theta_t)} \right] \quad (55)$$

ภาคผนวก ฉ  
หลักสูตรสภาสถาบันราชภัฏ

## หลักสูตรสภาสถาบันราชภัฏ

### สายวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์

#### โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

#### จุดประสงค์เฉพาะ

1. เพื่อผลิตบัณฑิต ให้มีความรู้ความสามารถในการจัดการ และปฏิบัติงานด้านสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีคุณภาพ
2. เพื่อให้บัณฑิต เกิดความตระหนักในการอนุรักษ์ และแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม ทั้งในระดับบุคคลและชุมชนได้อย่างเหมาะสม
3. เพื่อให้บัณฑิตมีความสามารถในการเผยแพร่ความรู้ ข้อมูลและข่าวสารสิ่งแวดล้อมต่อสังคม
4. เพื่อพัฒนาบุคลากรที่มีคุณภาพตอบสนองความต้องการของหน่วยงานทั้งของรัฐและเอกชน

#### คุณสมบัติเฉพาะโปรแกรมวิชา

สำเร็จการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย หรือ เทียบเท่าในโปรแกรมวิชาเอกที่สถาบันผู้รับเข้ากำหนด

#### โครงสร้างหลักสูตร

หน่วยกิตรวมตลอดหลักสูตรไม่น้อยกว่า 147 หน่วยกิต โดยมีสัดส่วนหน่วยกิตแต่ละหมวดวิชาและแต่ละกลุ่มวิชาดังนี้

|   |             |
|---|-------------|
| 1. หมวดวิชาพื้นฐานทั่วไป                        | 40 หน่วยกิต |
| 1.1 กลุ่มวิชาภาษาและการสื่อสาร                  | 10 หน่วยกิต |
| 1.2 กลุ่มวิชามนุษยศาสตร์                        | 10 หน่วยกิต |
| 1.3 กลุ่มวิชาสังคมศาสตร์                        | 10 หน่วยกิต |
| 1.4 กลุ่มวิชาคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี | 10 หน่วยกิต |
| 2. หมวดวิชาเฉพาะด้าน                            | 97 หน่วยกิต |
| 2.1 กลุ่มวิชาเนื้อหา                            | 75 หน่วยกิต |
| 2.2 กลุ่มวิชาวิทยาการจัดการ                     | 15 หน่วยกิต |
| 2.3 กลุ่มวิชาปฏิบัติการและฝึกประสบการณ์วิชาชีพ  | 7 หน่วยกิต  |
| 3. หมวดวิชาเลือกเสรี                            | 10 หน่วยกิต |

## รายวิชา 4063105 พลังงานกับสิ่งแวดล้อม

รายวิชา 4063105 พลังงานกับสิ่งแวดล้อม เป็นรายวิชาบังคับ แขนงวิชาสิ่งแวดล้อมทั่วไป กลุ่มวิชาเนื้อหา (เลือก) หมวดวิชาเฉพาะด้าน ซึ่งมีคำอธิบายรายวิชาดังต่อไปนี้

**4063105 พลังงานกับสิ่งแวดล้อม 3 หน่วยกิต ทฤษฎี 2 ชั่วโมง ปฏิบัติ 2 ชั่วโมง**

### **Energy and Environment**

ความสำคัญของพลังงานต่อชีวิต ต่อระบบนิเวศและต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม พลังงานในอาหาร สถานการณ์และวิกฤตการณ์พลังงานของโลก ผลกระทบของการใช้พลังงานต่อสิ่งแวดล้อมการใช้และการอนุรักษ์พลังงาน นโยบายพลังงานของประเทศไทย

ภาคผนวก ช  
บทปฏิบัติการวิชาพลังงานกับสิ่งแวดล้อม

## บทปฏิบัติการที่ 1

### หลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบสุญญากาศ

#### 1. จุดประสงค์

- 1.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติของหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบสุญญากาศ
- 1.2 เพื่อศึกษาวิธีวัดพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้หลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบสุญญากาศ

#### 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1 ผิวเลือกรังสี

การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในงานในส่วนที่เป็นพลังงานความร้อนนั้น มักจะต้องทำให้ส่วนที่รับแสงนั้นมีอุณหภูมิสูงเป็นพิเศษซึ่งจะต้องใช้อุปกรณ์พิเศษเช่นเดียวกัน ไม่ว่าจะเป็นรังสีโดยตรงหรือรังสีที่โฟกัสไปยังวัสดุรับแสง อุณหภูมิตัวรับจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งการสูญเสียความร้อนเท่ากับความร้อนที่ได้รับจากแสงแดด การสูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสีจากวัตถุร้อนจะอยู่ในช่วงรังสีใต้แดง (infrared) ช่วงคลื่นที่สูญเสียรังสีมากที่สุดคือ 10 ไมโครเมตร ถ้าวัตถุร้อนมีอุณหภูมิเหนืออุณหภูมิห้องและที่ 5 ไมโครเมตร ถ้าอุณหภูมิสูง 300 องศาเซลเซียส ถ้าผิวของวัตถุถูกเตรียมไว้ให้ดูดกลืนพลังงานแสงแดด แต่เปล่งรังสีใต้แดงเป็นบางส่วนออกจากวัตถุดำ ซึ่งอาจเป็นไปได้ที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการทำความร้อนด้วยแสงแดด โดยการลดการสูญเสียความร้อนและเป็นไปได้ที่จะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น

การสูญเสียความร้อน โดยการแผ่รังสี จะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวและอุณหภูมิสัมบูรณ์ยกกำลังสี่หรือ

$$E = \sigma AT^4$$

- เมื่อ
- E คือ อัตราการแผ่รังสี
  - $\sigma$  คือ ค่าคงที่ของสเตฟาน-โบลต์ซมานน์ (Stefan – Boltmann constant)
  - A คือ พื้นที่ผิวที่แผ่รังสี
  - T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของผิววัตถุ

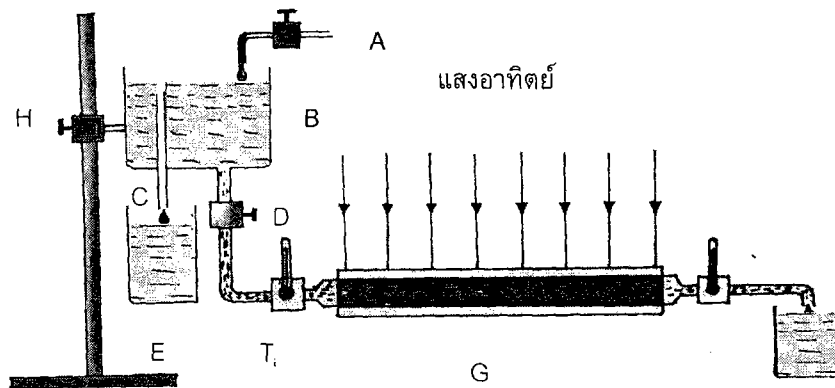
การดูดกลืนรังสีของผิวดำจะดูดกลืนรังสีได้มาก ในทำนองเดียวกันก็จะคายรังสีได้มากเช่นเดียวกัน แต่รังสีที่แผ่ออกมาที่อุณหภูมิของตัวรับแสงแดด อยู่ในช่วงซึ่งยาวกว่า รังสีที่ถูกดูดกลืน จึงเป็นไปได้ที่จะพัฒนาผิวเลือกรังสีที่มีประสิทธิภาพ

จากข้อเท็จจริงที่ว่าผิวโลหะวาวสะท้อนแสงได้ดี ดังนั้นเมื่อวัตถุร้อนจึงแผ่รังสีเพียงเศษส่วนของที่แผ่โดยวัตถุดำเมื่อผิวโลหะถูกเคลือบด้วยสารกึ่งตัวนำสีดำ ด้วยความหนา  $10^{-4}$  ถึง  $10^{-5}$  เซนติเมตร ก็จะได้ผิวเลือกรังสีสีดำต้านนอกหนาราวหนึ่งเท่าของความยาวคลื่นแสงที่มองเห็นได้ แต่มีค่า 1/5 หรือ 1/10 ของความยาวคลื่นรังสีใต้แดง ซึ่งจะทำให้ดูดกลืนรังสีแสงแดดช่วงคลื่น 0.3 – 2.5 ไมโครเมตร จนเกือบหมด แต่ไม่ดูดหรือคายรังสีมากนักในช่วงรังสีใต้แดง การแผ่รังสีใต้แดงขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของผิวที่ถูกฉาย ถ้าผิวนี้วาวดังโลหะเงิน (Ag) อะลูมิเนียม (Al) หรือนิกเกิล (Ni) การแผ่รังสีใต้แดงจะต่ำ นอกจาก

นั้นคุณสมบัติของการเลือกรังสียังขึ้นอยู่กับลักษณะผิวของหลุมดำที่ใช้ฉาบ ถ้าผิวมีลักษณะขรุขระด้วยหลุมเล็ก ๆ ขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่นของรังสีแสงแดด ผิวนั้นจะดูดกลืนรังสีในช่วงขอบวัตถุดำ แต่ถ้าหลุมเล็ก ๆ นี้มีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นรังสีได้แดง ผิวนั้นจะไม่ดูดหรือคายรังสี ดังนั้นความบางของผิวฉาบและหลุมเล็ก ๆ นี้เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการเตรียมผิวเลือกรังสี นอกจากนั้นการฉาบผิวเลือกรังสีจะต้องให้มีอายุการใช้งานได้นาน ทนต่อการสึกกร่อน ความชื้น และสภาพดินฟ้าอากาศ

## 2.2 มาตรการความร้อนแบบน้ำไหล (flow calorimeter)

มาตรการความร้อนแบบน้ำไหล เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณความร้อน ซึ่งประกอบด้วยท่อน้ำโลหะหรือตัวนำความร้อน ทำหน้าที่รับและถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำในท่อ ทำให้น้ำในท่อมืดอุณหภูมิสูงขึ้นได้



ภาพประกอบ 93 ชุดทดลองการวัดพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้มาตรการความร้อนแบบน้ำไหล

ถ้ากำหนดให้หลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์ G ทำหน้าที่เป็นมาตรการความร้อนแบบน้ำไหลเพื่อวัดปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนหลอดนั้น หลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วยท่อเหล็ก ผิวด้านนอกฉาบพ่นด้วยสีดำต้านทานความร้อน ท่อเหล็กดังกล่าวนี้หุ้มด้วยหลอดแก้วโดยที่ช่องว่างระหว่างผิวด้านนอกของท่อเหล็กกับผิวด้านในของหลอดแก้วเป็นสุญญากาศ ทั้งนี้เพื่อป้องกันการพาความร้อนออกจากท่อเหล็ก

หลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์ต่อกับถังจ่ายน้ำ B โดยเติมน้ำเข้าถังด้วยวาล์ว A ให้น้ำในถังอยู่ที่ระดับปลายท่อ C เสมอ เพื่อรักษาระดับความดันน้ำในท่อ เมื่อเปิดวาล์ว D น้ำก็จะไหลผ่านท่อเข้าสู่หลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์ลงสู่ถัง F ในระหว่างที่น้ำไหลผ่านท่อน้ำก็จะรับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ผ่านท่อเหล็กกับแสงทำให้อุณหภูมิมีค่าขึ้นน้ำออก  $T_o$  สูงกว่าอุณหภูมิมีค่าขึ้นน้ำเข้า  $T_i$  นำปริมาณน้ำที่ได้จากถัง F และอุณหภูมิมาคำนวณจากสมการ

$$Q = ms(T_i - T_o)$$

|       |       |  |
|-------|-------|--|
| เมื่อ | $Q$   | เป็นปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับจากท่อเหล็ก                    |
|       | $m$   | เป็นมวลของน้ำที่ไหลผ่านท่อ                                   |
|       | $s$   | เป็นความร้อนจำเพาะของน้ำ                                     |
|       | $T_o$ | เป็นอุณหภูมิของน้ำหลังจากไหลผ่านหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์แล้ว |
|       | $T_i$ | เป็นอุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์           |

ถ้ากำหนดให้  $Q_i$  เป็นปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากเครื่องไพราโนมิเตอร์ จะสามารถหาประสิทธิภาพของหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์  $\eta$  ได้จาก

$$\eta = \frac{Q}{Q_i} \quad (56)$$

### 3. เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

|   |   |         |
|---|---|---------|
| 3.1 หลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบสุญญากาศ | 1 | หลอด    |
| 3.2 ชุดถังจ่ายน้ำ                       | 1 | ชุด     |
| 3.3 กระจกตวง                            | 1 | ใบ      |
| 3.4 ถังรับน้ำ                           | 2 | ใบ      |
| 3.5 ไพราโนมิเตอร์                       | 1 | เครื่อง |
| 3.6 เทอร์มอมิเตอร์                      | 2 | อัน     |

### 4. วิธีการทดลอง

#### ตอนที่ 1

- 4.1 ต่อชุดถังจ่ายน้ำเข้ากับหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบสุญญากาศซึ่งจะทำหน้าที่เป็นมาตรฐานความร้อนแบบน้ำไหล (ดังภาพประกอบ)
- 4.2 นำหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ประกอบเรียบร้อยแล้ว ไปวางรับแสงอาทิตย์ โดยวางให้หลอดอยู่ในแนวระดับสูงจากพื้น 50 เซนติเมตร และตั้งฉากกับลำแสง
- 4.3 ปล่อยน้ำเข้าถัง B ด้วยวาล์ว A จนกระทั่งน้ำในถังล้นออกทางปลายท่อ C ไปยังถังรับน้ำ E
- 4.4 เปิดวาล์ว D ให้น้ำไหลผ่านหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์ไปยังถังรับน้ำ F ในอัตราการไหล (flow rate) คงที่ค่าหนึ่ง
- 4.5 บันทึกอุณหภูมิของน้ำก่อนไหลเข้าหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์ ( $T_i$ ) และหลังจากไหลผ่านหลอดแล้ว ( $T_o$ ) เมื่ออุณหภูมิทั้งสองตำแหน่งคงที่
- 4.6 คำนวณอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านหลอดรับพลังงานโดยจับเวลาและวัดปริมาตรน้ำที่ไหลลงถึงเก็บน้ำ F ด้วยกระจกตวง
- 4.7 ปรับอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านหลอดรับพลังงานโดยปรับระดับความสูงของถังจ่ายน้ำ B แล้วทดลองซ้ำจากข้อ 4.3 – 4.6

4.8 นำข้อมูลที่ได้อ่านไปคำนวณหาพลังงานแสงอาทิตย์ที่หลอดรับแล้วนำไปเปรียบเทียบกับพลังงานที่ได้จากการวัดโดยไพราโนมิเตอร์

4.9 คำนวณหาประสิทธิภาพของหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์

## ตอนที่ 2

ทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 แต่การวางหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์ให้วางในแนวระดับตามทิศตะวันออก – ตะวันตก

## 5. ผลการทดลองและการคำนวณ

ตอนที่ 1 หลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์วางตั้งฉากกับลำแสง

ตาราง 1.1 ผลการทดลองเมื่อวางหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์ตั้งฉากกับลำแสง

ความยาวของหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์ (l) = .....เซนติเมตร

เส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์ (d).....เซนติเมตร

พื้นที่รับแสงของหลอด = l x d .....ตารางเซนติเมตร

| ครั้งที่ | เวลา น. | ช่วง<br>เวลา<br>s | อุณหภูมิของน้ำ                  |                                | ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านหลอด    |           | ปริมาณความร้อน<br>Q=<br>ms(T <sub>i</sub> -T <sub>o</sub> ) | ความเข้มจากการคำนวณ(I <sub>1</sub> )<br>Q/พื้นที่/<br>เวลา | ความเข้มที่วัดจากไพราโนมิเตอร์<br>(I <sub>2</sub> ) | ประสิทธิภาพของหลอด |
|----------|---------|-------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------|---|--|---|--------------------|
|          |         |                   | เข้า<br>(T <sub>i</sub> )<br>°C | ออก<br>(T <sub>o</sub> )<br>°C | ปริมาตร<br>cm <sup>3</sup> | มวล<br>kg |   |  |   |                    |
|          |         |                   |                                 |                                |                            |           |   |  |   |                    |

ประสิทธิภาพเฉลี่ย = .....%

ตอนที่ 2 หลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์วางตามแนวทิศตะวันออก – ตะวันตก

ตาราง 1.2 ผลการทดลองเมื่อวางหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์ในแนวตะวันออก – ตะวันตก

| ครั้งที่ | เวลา น. | ช่วง<br>เวลา<br>s | อุณหภูมิของน้ำ                  |                                | ปริมาณน้ำที่<br>ไหลผ่านหลอด  |           | ปริมาณ<br>ความร้อน<br>Q=<br>ms(T <sub>f</sub> -T <sub>o</sub> ) | ความเข้ม<br>จากการ<br>คำนวณ(I <sub>1</sub> )<br>Q/พื้นที่/<br>เวลา | ความเข้ม<br>ที่วัดจาก<br>ไพราโน<br>มิเตอร์<br>(I <sub>2</sub> ) | ประ<br>สิทธิภาพ<br>ของ<br>หลอด |
|----------|---------|-------------------|---------------------------------|--------------------------------|------------------------------|-----------|---|--|---|--------------------------------|
|          |         |                   | เข้า<br>(T <sub>i</sub> )<br>°C | ออก<br>(T <sub>o</sub> )<br>°C | ปริมา-<br>ตร cm <sup>3</sup> | มวล<br>kg |   |  |   |                                |
|          |         |                   |                                 |                                |                              |           |   |  |   |                                |

ประสิทธิภาพเฉลี่ย = .....%

## 6. คำถามท้ายบทปฏิบัติการ

- 6.1 จงอธิบายลักษณะของดวงอาทิตย์และสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์
- 6.2 บรรยากาศของโลกดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงคลื่นใดและมีกระบวนการอย่างไรบ้าง อธิบาย
- 6.3 ประสิทธิภาพของหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับปัจจัยใดบ้าง
- 6.4 จงออกแบบวิธีการทดลองหาประสิทธิภาพของหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์นอกเหนือจากที่ได้ทดลองมาแล้วในบทปฏิบัติการนี้
- 6.5 หลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่เป็นหลอดสุญญากาศกับหลอดที่มีอากาศภายในมีความแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

## บทปฏิบัติการที่ 2

### ผลการพาความร้อนของอากาศต่อการเก็บพลังงานของ หลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์

#### 1. จุดประสงค์

- 1.1 เพื่อศึกษาผลการพาความร้อนของอากาศที่มีต่อหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์
- 1.2 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหลอดรับพลังงานแสงแบบต่าง ๆ

#### 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1 การพาความร้อน

การพาความร้อน (convection of heat) คือการถ่ายเทความร้อนจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งโดยอาศัยโมเลกุลของตัวกลางรับพลังงานความร้อนแล้วเคลื่อนที่ไป เมื่อท่อดูดกลืนแสงของหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ จะทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นมากกว่าอุณหภูมิของอากาศ ดังนั้นอากาศที่ห่อหุ้มอยู่รอบท่อดูดกลืนแสงหรือหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์ (แล้วแต่กรณี) จะพาความร้อนออกมาจากท่อหรือหลอดดังกล่าว ปริมาณความร้อนที่ถูกพาออกมาจากท่อหรือหลอดจะให้ได้ด้วยสมการ

$$q_{conv} = hA\Delta T \quad (2.1)$$

โดยที่  $q_{conv}$  คือ ปริมาณความร้อนที่สูญเสียจากการพาความร้อนต่อหน่วยเวลา  
 $A$  คือ พื้นที่ผิวที่เกิดการพาความร้อน  
 $\Delta T$  คือ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิของผิวท่อดูดกลืนหรือผิวหลอดรับแสงกับอุณหภูมิของอากาศในขณะทำการทดลอง  
 $h$  คือ สัมประสิทธิ์ของการพาความร้อน

สัมประสิทธิ์ของการพาความร้อนจากสมการ (2.1) จะเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ เช่น

- 1) ลักษณะรูปร่างของพื้นผิว
- 2) การวางตัวของพื้นผิว
- 3) ชนิดของตัวกลางที่พาความร้อน
- 4) ความหนาแน่น ความหนืด และความร้อนจำเพาะของตัวกลาง
- 5) ความเร็วของตัวกลางที่พาความร้อน
- 6) ขณะเกิดการพาความร้อนมีการระเหยหรือกลั่นตัวหรือไม่

เป็นต้น

## 2.2 ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์

วัตถุใด ๆ ที่ได้รับรังสีแสงอาทิตย์ อุณหภูมิของวัตถุนั้นจะสูงขึ้นจนกระทั่งความร้อนที่สูญเสียเท่ากับความร้อนที่ได้รับ อัตราการสูญเสียขึ้นอยู่กับ การแผ่รังสีโดยวัตถุร้อน การเคลื่อนไหวของอากาศ เย็นที่อยู่โดยรอบ ความร้อนจำเพาะของวัตถุที่มาอยู่ติดกัน ความร้อนที่ได้รับจะขึ้นอยู่กับความเข้มของรังสีแสงแดดและค่าการดูดกลืนจำเพาะของรังสีแสงแดดของผิววัตถุ โดยทั่วไปมีการเก็บพลังงานรังสีแสงแดดเพื่อให้ได้อุณหภูมิสูงขึ้นอยู่ 2 วิธี คือ โดยการปิดผิวตัวรับรังสีด้วยแผ่นวัสดุโปร่งใส เช่น แก้ว หรือพลาสติก และโดยการรวมรังสีแสงแดดจากพื้นที่กว้างไปยังพื้นที่รับแสงขนาดเล็ก

ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์อาจจำแนกประเภทอย่างง่าย ๆ เป็นตัวรับแผ่นราบซึ่งไม่รวมแสงกับตัวรับรวมแสง ตัวรับแผ่นราบมักจะใช้ติดตั้งอยู่กับที่ สามารถรับรังสีได้ทั้งรังสีกระจายและรังสีตรงจึงทำงานได้ทั้งวันที่มีแดดจ้าและมีเมฆ ส่วนตัวรับรวมแสงใช้ได้กับรังสีตรงเท่านั้นแต่สามารถทำให้อุณหภูมิสูงกว่าตัวรับแบบแผ่นราบมาก ในตัวรับทั้งสองแบบ ผิวรับควรมีสีดำให้มากที่สุดเพื่อดูดกลืนรังสีได้มากและสะท้อนกลับน้อย

ตัวรับจะดูดกลืนรังสีทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นแล้วถ่ายเทความร้อนให้กับของไหล เช่น อากาศหรือน้ำที่ไหลทางด้านหลังของตัวรับ ในการทดลองครั้งนี้ ใช้ท่อเหล็กเป็นตัวรับแสงและใช้น้ำเป็นของไหลที่ไหลผ่านท่อรับแสงซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวพาความร้อนไปใช้ ในขณะที่เดียวกันตัวรับที่ร้อนขึ้นนี้จะสูญเสียความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมโดยการพาด้วยกระแสอากาศ โดยการนำไปยังอากาศและไปยังส่วนที่เย็นกว่าของโครงสร้างที่ยึดกับตัวรับ และโดยการแผ่รังสีที่แผ่แดงที่อุณหภูมิ 100 ถึง 300 องศาเซลเซียส การแผ่รังสีสูงสุดจะอยู่ที่ความยาวคลื่น 8 – 10 ไมครอน ในช่วงรังสีที่แผ่แดง อุณหภูมิทำงานของตัวรับจะสูงขึ้นเมื่อมีการห่อหุ้มตัวรับรังสีด้วยแก้วหรือพลาสติกเหนือผิวรับรังสี โดยให้ช่องว่างระหว่างผิวตัวรับรังสีกับแก้วหรือพลาสติกมีอากาศไหลเข้าออกไม่ได้หรือสุญญากาศออกให้เป็นสุญญากาศก็ได้ แสงแดดที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 2.5 ไมครอน จะผ่านแก้วหรือพลาสติกใสนี้ได้แต่รังสีที่แผ่แดง ความยาวคลื่นยาวซึ่งแผ่โดยตัวรับจะไม่อาจผ่านแก้วหรือพลาสติกได้เพราะจะถูกดูดกลืนและสะท้อนอยู่ภายในอากาศเหนือแผ่นรับเป็นตัวนำความร้อนที่เลว ดังนั้นการสูญเสียความร้อนจึงลดลง

เมื่อรังสีแสงอาทิตย์ตกกระทบผิวรับอยู่เรื่อย ๆ อุณหภูมิจะสูงขึ้นและความร้อนที่สูญเสียจะมากขึ้น จนกระทั่งทำให้อัตราการสูญเสียความร้อนเท่ากับอัตราความร้อนที่ได้รับ ในสภาวะคงที่ดังกล่าวนี้จะได้ว่า

$$HA\tau\alpha = q_oA = q_\mu A + (q_r + q_a + q_c)A \quad (2.2)$$

|       |           |     |   |
|-------|-----------|-----|---|
| เมื่อ | $H$       | คือ | อัตราพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับต่อหน่วยพื้นที่ที่มีหน่วยเป็นแคลอรีต่อพื้นที่ต่อตารางเซนติเมตรหรือกิโลวัตต์ต่อตารางเมตร |
|       | $A$       | คือ | พื้นที่ทั้งหมดของตัวรับ   |
|       | $\tau$    | คือ | ค่าส่งแสงผ่านจำเพาะของแก้วหรือพลาสติก   |
|       | $\alpha$  | คือ | ค่าดูดกลืนจำเพาะของผิวรับ   |
|       | $q_o$     | คือ | อัตราการดูดกลืนพลังงานรังสีต่อพื้นที่ของตัวรับ  |
|       | $q_oA$    | คือ | อัตราซึ่งรังสีความร้อนถูกดูดกลืนบนพื้นที่ทั้งหมด  |
|       | $q_\mu A$ | คือ | อัตราพลังงานความร้อนที่เก็บใช้ได้ ซึ่งถ่ายเทจากตัวรับไปยัง  |

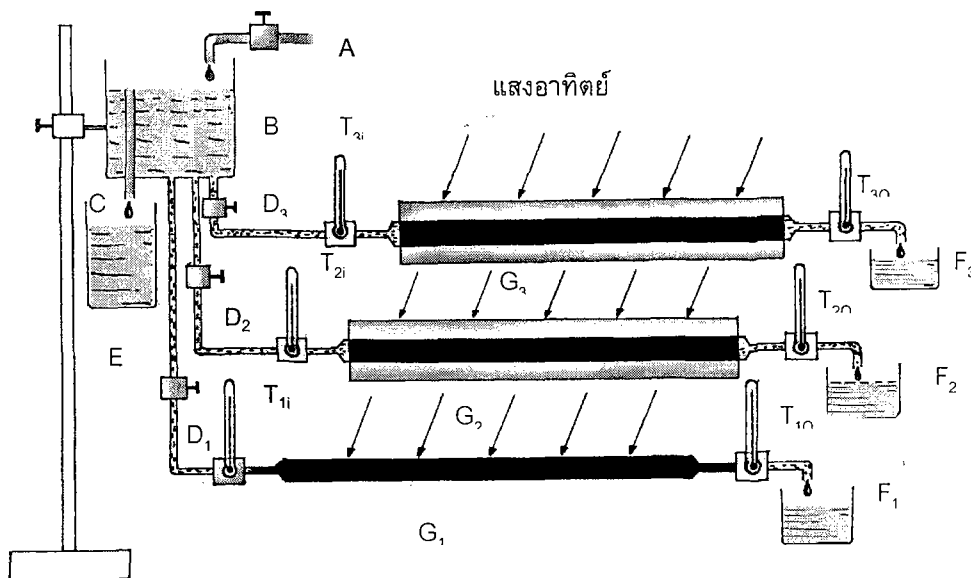
|         |     |  |
|---------|-----|--|
|         |     | ของไหลทำงานได้แก่ อากาศ หรือน้ำ  |
| $q_r A$ | คือ | อัตราการสูญเสียความร้อนจากตัวรับ โดยการแผ่รังสี  |
| $q_c A$ | คือ | อัตราการสูญเสียความร้อนจากตัวรับ โดยการพาและการนำไปยังอากาศโดยรอบ                                |
| $q_o A$ | คือ | อัตราการสูญเสียความร้อนจากตัวรับโดยการนำไปยังส่วนที่เย็นของระบบตัวรับผ่านฉนวนและวัสดุที่ใช้สร้าง |

ความร้อนที่รวบรวมนำไปใช้ได้  $q_\mu A$  หาได้จาก

$$q_\mu A = q_o A - (q_r + q_c + q_c) A \quad (2.3)$$

### 2.3 มาตรฐานความร้อนแบบน้ำไหล

ในหัวข้อนี้ให้ศึกษารายละเอียดในหัวข้อ 2.2 ของบทปฏิบัติการที่ 1 แต่ในการทดลองครั้งนี้จะศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบต่าง ๆ 3 แบบ ได้แก่ หลอดที่มีเฉพาะท่อดูดกลืนแสงไม่มีหลอดแก้วหุ้ม หลอดที่มีหลอดแก้วหุ้มท่อดูดกลืนแสงมีอากาศอยู่ภายในระหว่าง หลอดแก้วกับท่อดูดกลืนแสง และหลอดที่มีหลอดแก้วหุ้ม ระหว่างหลอดแก้วกับหลอดดูดกลืนเป็นสุญญากาศ



ภาพประกอบ 94 ชุดทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบต่าง ๆ

จากภาพประกอบ 94 หลอด  $G_1$  คือ หลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่มีหลอดแก้วหุ้ม  $G_2$  คือ หลอดที่มีหลอดแก้วหุ้มและมีอากาศอยู่ภายใน  $G_3$  คือ หลอดที่มีหลอดแก้วหุ้มและภายใน

เป็นสัญญาณภาค วัดอุณหภูมิของน้ำก่อนผ่านเข้าหลอด  $T_i$  และหลังจากผ่านหลอดแล้ว  $T_o$  ของแต่ละหลอดแล้วนำมาคำนวณหาปริมาณความร้อน  $Q$  จากสมการ

$$Q = ms(T_o - T_i) \quad (2.4)$$

เมื่อ  $m$  เป็นมวลของน้ำที่ไหลผ่านท่อ และ  $s$  เป็นความร้อนจำเพาะของน้ำ แล้วหาประสิทธิภาพ  $\eta$  ของหลอดแต่ละหลอดจากสมการ

$$\eta = \frac{Q}{Q_i} \quad (2.5)$$

เมื่อ  $Q_i$  คือ ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนหลอด

### 3. เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

- 3.1 หลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์ 3 หลอด คือ แบบไม่หุ้มหลอดแก้ว 1 หลอด  
แบบมีอากาศภายใน 1 หลอด แบบสุญญากาศ 1 หลอด
- 3.2 ชูตถึงจ่ายน้ำ 1 ชูต
- 3.3 กระบอกตวง 1 ใบ
- 3.4 ถังรับน้ำ 4 ใบ
- 3.5 ไพราโนมิเตอร์ 1 เครื่อง
- 3.6 เทอร์มอมิเตอร์ 6 อัน

### 4. วิธีการทดลอง

- 4.1 ต่อชูตถึงจ่ายน้ำเข้ากับหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 3 หลอด (ดังภาพประกอบ 2.1)
- 4.2 นำหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ประกอบเรียบร้อยแล้วไปวางรับแสงแดด โดยวางให้หลอดทั้งสามขนานกันสูงจากพื้น 50 เซนติเมตร ในแนวตะวันออก - ตะวันตก
- 4.3 ปล่อน้ำจากวาล์ว A เข้าถึง B จนกระทั่งน้ำในถังล้นออกมาทางท่อระบบ C ไปยังถัง E
- 4.4 เปิดวาล์ว  $D_1$ ,  $D_2$  และ  $D_3$  ให้น้ำไหลผ่านหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์  $G_1$ ,  $G_2$  และ  $G_3$  ตามลำดับปรับอัตราการไหลของน้ำให้คงที่
- 4.5 สังเกตอุณหภูมิของน้ำก่อนไหลเข้าหลอด ( $T_i$ ) และอุณหภูมิของน้ำหลังจากที่ไหลผ่านหลอดแล้ว ( $T_o$ ) จนกระทั่ง อุณหภูมิทั้งสองตำแหน่งคงที่แล้วจึงบันทึกผล
- 4.6 จับเวลาที่น้ำไหลผ่านหลอดและวัดปริมาตรของน้ำในถัง  $F_1$ ,  $F_2$  และ  $F_3$  เพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำ
- 4.7 ปรับอัตราการไหลของน้ำใหม่ โดยปรับระดับความสูงของถังจ่ายน้ำ B แต่จะต้องปรับระดับน้ำในถัง B ให้อยู่ที่ระดับปลายท่อ C เสมอ แล้วทดลองซ้ำตามวิธีการจากข้อ 4.3 - 4.6

- 4.8 นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาพลังงานแสงอาทิตย์ที่หลอดแต่ละหลอดได้รับ คำนวณหาประสิทธิภาพของหลอดแต่ละหลอดแล้วนำมาเปรียบเทียบกัน

## 5. ผลการทดลองและการคำนวณ

ตาราง 2.1 ผลการทดลองสำหรับหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่มีหลอดแก้วหุ้ม ( $G_1$ )

ความยาวของหลอด ( $l$ ) = .....เมตร

เส้นผ่าศูนย์กลางของหลอด ( $d$ ) = .....เมตร

พื้นที่รับแสงของหลอด ( $l \times d$ ) =  $A$  = .....ตารางเมตร

| ครั้งที่ | เวลาสิ้นสุด | ช่วงเวลา | อุณหภูมิของน้ำ       |                     | ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านหลอด    |           | ปริมาณความร้อน       | ความเข้ม                                     | ความเข้มที่วัดจากไพราโนมิเตอร์                       | ประสิทธิภาพของหลอด |
|----------|-------------|----------|----------------------|---------------------|----------------------------|-----------|----------------------|--|--|--------------------|
|          |             |          | เข้า ( $T_i$ )<br>°C | ออก ( $T_o$ )<br>°C | ปริมาตร<br>cm <sup>3</sup> | มวล<br>kg |                      |  |  |                    |
|          |             | s        |                      |                     |                            |           | $Q = ms (t_o - t_i)$ | จากการคำนวณ<br>( $l_1$ )<br>Wm <sup>-2</sup> | วัดจากไพราโนมิเตอร์<br>( $l_2$ )<br>Wm <sup>-2</sup> | ( $l_1/l_2$ )<br>% |
|          |             |          |                      |                     |                            |           | J                    |  |  |                    |

ประสิทธิภาพเฉลี่ย = .....%

ตาราง 2.2 ผลการทดลองสำหรับหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีหลอดแก้วหุ้มและมีอากาศภายใน(G<sub>2</sub>)

ความยาวของหลอด (l) = .....เมตร

เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของหลอด (d) = .....เมตร

พื้นที่รับแสงของหลอด (l x d) = A = .....ตารางเมตร

| ครั้งที่ | เวลาเริ่มต้น<br>น.<br>สิ้นสุด<br>น. | ช่วงเวลา<br>s | อุณหภูมิของน้ำ                  |                                | ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านหลอด    |           | ปริมาณความร้อน<br>Q = ms (t <sub>2</sub> -t <sub>1</sub> )<br><br>J | ความเข้มจาก<br>การคำนวณ<br>(I <sub>1</sub> )<br>Wm <sup>-2</sup> | ความเข้มที่วัดจาก<br>ไพราโนมิเตอร์<br>(I <sub>2</sub> )<br>Wm <sup>-2</sup> | ประสิทธิภาพของหลอด<br>(I <sub>1</sub> /I <sub>2</sub> )<br>% |
|----------|-------------------------------------|---------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------|---|--|---|--|
|          |                                     |               | เข้า<br>(T <sub>1</sub> )<br>°C | ออก<br>(T <sub>2</sub> )<br>°C | ปริมาตร<br>cm <sup>3</sup> | มวล<br>kg |   |  |   |  |
|          |                                     |               |                                 |                                |                            |           |   |  |   |  |

ประสิทธิภาพเฉลี่ย = .....%

ตาราง 2.3 ผลการทดลองสำหรับหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีหลอดแก้วหุ้มและภายในเป็นสุญญากาศ (G<sub>3</sub>)

ความยาวของหลอด (l) = .....เมตร

เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของหลอด (d) = .....เมตร

พื้นที่รับแสงของหลอด (l x d) = A = .....ตารางเมตร

| ครั้งที่ | เวลาสิ้นสุด<br>น. | ช่วงเวลา<br>s | อุณหภูมิของน้ำ                  |                                | ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านหลอด    |           | ปริมาณความร้อน<br>Q = ms (t <sub>2</sub> -t <sub>1</sub> )<br><br>J | ความเข้มจาก<br>การคำนวณ<br>(I <sub>1</sub> )<br>Wm <sup>-2</sup> | ความเข้มที่วัดจาก<br>ไพราโนมิเตอร์<br>(I <sub>2</sub> )<br>Wm <sup>-2</sup> | ประสิทธิภาพของหลอด<br>(I <sub>1</sub> /I <sub>2</sub> )<br>% |
|----------|-------------------|---------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------|---|--|---|--|
|          |                   |               | เข้า<br>(T <sub>1</sub> )<br>°C | ออก<br>(T <sub>2</sub> )<br>°C | ปริมาตร<br>cm <sup>3</sup> | มวล<br>kg |   |  |   |  |
|          |                   |               |                                 |                                |                            |           |   |  |   |  |

ประสิทธิภาพเฉลี่ย = .....%

## 6. คำถามท้ายบทปฏิบัติการ

- 6.1 การถ่ายเทความร้อนมีกี่วิธี อะไรบ้าง จงอธิบาย
- 6.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการพาความร้อนมีอะไรบ้าง จงอธิบาย
- 6.3 จะมีวิธีป้องกันการสูญเสียความร้อนจากหลอดรับพลังงานแสงได้อย่างไร
- 6.4 วัตถุโปร่งใสที่เป็นแก้วและเป็นพลาสติกมีคุณสมบัติที่เหมือนและแตกต่างกันอย่างไร
- 6.5 ให้ออกแบบวิธีการทดลองเปรียบเทียบการพาความร้อนของอากาศนอกจากที่ได้ทดลองมาแล้ว

## บทปฏิบัติการที่ 3

### เครื่องมือวัดพลังงานแสงอาทิตย์

#### 1. จุดประสงค์

- 1.1 เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องมือวัดพลังงานแสงอาทิตย์แบบต่าง ๆ
- 1.2 เพื่อเปรียบเทียบผลของการวัดพลังงานแสงอาทิตย์จากเครื่องมือวัดแบบไพราโนมิเตอร์ แบบเซลล์สุริยะ แบบกล่องดำ และแบบตัวต้านทานไวแสง (LDR : Light Dependent Resistor)

#### 2. ทฤษฎีเกี่ยวข้อง

ความรู้และข้อมูลเกี่ยวกับรังสีดวงอาทิตย์ที่โลกได้รับนั้นมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ต่อการนำไปใช้ในทางอุตุนิยมวิทยาและการประยุกต์ใช้ในงานอื่น ๆ เช่น งานที่เกี่ยวกับการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ เครื่องมือที่ใช้วัดรังสีดวงอาทิตย์มีหลายประเภท ดังนี้

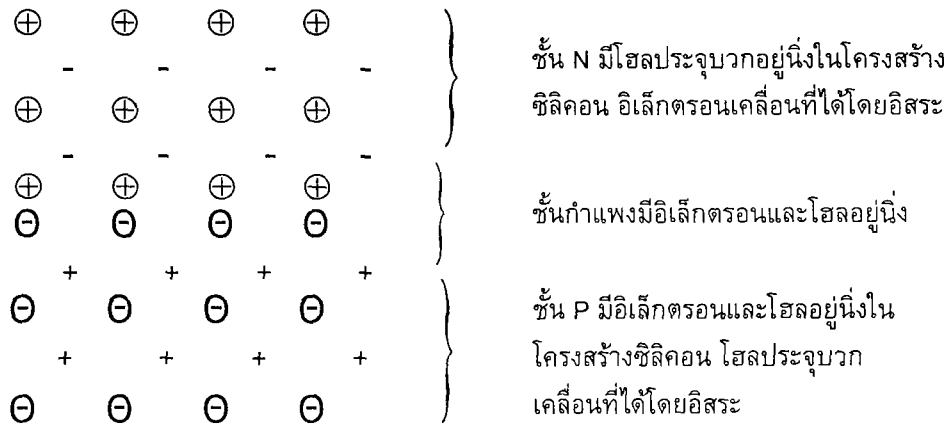
**2.1 ไพราโนมิเตอร์ (pyranometers)** เป็นเครื่องมือวัดรังสีดวงอาทิตย์ แบบที่วัดรังสีทุกความยาวคลื่น และมาจากทุกทิศทาง ประกอบด้วยเทอร์มอคัปเปิลเชื่อมต่อกับแผ่นโลหะสีดำ ส่วนอีกปลายหนึ่งเชื่อมต่อกับวงแหวนโลหะสีขาวหรือโลหะเงินแผ่นโลหะสีดำและวงแหวนโลหะสีขาวจะถูกครอบด้วยแก้วครึ่งทรงกลม เทอร์มอคัปเปิลจะต่อเข้ากับ โฟเทนซิมิเตอร์ เมื่อแผ่นโลหะสีดำรับรังสีของดวงอาทิตย์จะทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากการดูดกลืนรังสีของสีดำ ในขณะที่เดียวกันวงแหวนโลหะสีขาวก็จะสะท้อนรังสีทำให้อยู่ในอุณหภูมิปกติ อุณหภูมิของแผ่นโลหะทั้งสองจะแตกต่างกันมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ที่มาตกกระทบ โดยปกติจะต้องติดตั้งให้อุปกรณ์รับแสงอยู่ในแนวระดับ ทำให้สามารถรับรังสีดวงอาทิตย์ได้ทั้งรังสีตรงและรังสีท้องฟ้า

**2.2 เซลล์สุริยะ (solar cell)** นอกจากการเปลี่ยนพลังงานแสงแดดเป็นพลังงานความร้อนแล้วยังสามารถเปลี่ยนให้เป็นไฟฟ้าได้โดยตรง วิธีนี้มีข้อจำกัดเนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์ครึ่งหนึ่งเป็นรังสีในช่วงรังสีใต้แดง ซึ่งเป็นช่วงพลังงานไม่เพียงพอในการทำให้เกิดการเปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้าโดยวิธีโฟโตโวลตาอิก (photovoltaic) ได้

เซลล์โฟโตโวลตาอิก ใช้ชั้น P-N ในสารกึ่งตัวนำระหว่างชั้น P ซึ่งมีอนุภาคประจุบวกหรือโฮล (hole) และชั้น N ซึ่งมีอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ไปมาได้ เมื่อแสงตกกระทบผลึก อิเล็กตรอนจะถูกขับออกและจะไหลไปยังขั้วไฟฟ้าข้างหนึ่งแล้วไหลไปตามเส้นลวดตัวนำยังขั้วไฟฟ้าอีกข้างหนึ่ง ซึ่งจะรวมตัวกับโฮลประจุบวก ชั้นกันที่ขั้ว P-N จะป้องกันมิให้อิเล็กตรอนและโฮลประจุบวกรวมตัวกันโดยวิธีนี้ไม่มีการสิ้นเปลืองวัสดุและการทำงานของเซลล์จะต่อเนื่องกันไม่สิ้นสุด เซลล์ซิลิกอนเป็นตัวอย่างที่ดีที่ใช้ในการอธิบายโฟโตโวลตาอิกเพราะใช้แพร่หลาย

ซิลิคอน (Si) มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 4 เป็นผลึกบริสุทธิ์อะตอมจะเรียงตัวกันเป็นระเบียบและมีโครงสร้างสม่ำเสมอ ค่าการนำไฟฟ้าต่ำถ้าใช้ธาตุที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 5 เช่น อาร์เซนิก เป็นสารเจือปนใส่เข้าไปในซิลิคอนขณะหลอมตัว แล้วปล่อยให้เย็นตัวลงช้า ๆ ผลึกจะยังคงรูปแต่ต่ออะตอมของซิลิคอนในโครงสร้างผลึกจะถูกแทนที่โดยอะตอมของอาร์เซนิก วาเลนซ์อิเล็กตรอน 5 ตัวของอะตอมอาร์เซนิกจะใช้ในการยึดเหนี่ยวผลึก ดังเช่นในกรณีของวาเลนซ์อิเล็กตรอน 4 ตัว ใน

อะตอมซิลิคอน แต่อิเล็กตรอนตัวที่ 5 จะเคลื่อนที่ได้โดยอิสระและเป็นตัวนำไฟฟ้า ในทำนองเดียวกัน เมื่อใส่อะตอมที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 ตัว เช่น โบรอนเป็นสารเจือปนใส่เข้าไปในโครงสร้างผลึกมัน จะจับอิเล็กตรอนที่เพิ่มขึ้นอีกตัว และอิเล็กตรอนที่ถูกดึงออกจากโครงสร้างของอะตอมซิลิคอน จะทำให้เกิดโฮลประจุบวก ซึ่งเคลื่อนที่ได้โดยอิสระ แม้ว่าผลึกของซิลิคอนบริสุทธิ์จะเป็นฉนวน ซิลิคอนจะเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี เรียกว่า สารกึ่งตัวนำ (semi - conductor) เมื่อถูกเจือด้วยสารเจือปนเล็กน้อย



ภาพประกอบ 95 หลักการของเซลล์โฟโตโวลตาอิกแบบ P – N ประจุที่แสดงด้วยวงกลมไม่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยอิสระ ส่วนประจุอื่น ๆ เคลื่อนที่ได้โดยอิสระ

ในเซลล์โฟโตโวลตาอิก (ภาพประกอบ 95) ชั้น N ซึ่งมีประจุบวกที่อยู่นิ่งและอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้โดยอิสระ จะอยู่ติดกับชั้น P ซึ่งมีอิเล็กตรอนอยู่นิ่ง แต่โฮลประจุบวกเคลื่อนที่ได้โดยอิสระ ที่ขั้วผิวสัมผัสกับอิเล็กตรอนจากชั้น N จะแพร่ไปพบกับโฮลประจุบวกในชั้น P เดิมเมื่อชั้นทั้งสองเป็นกลางจะมีประจุบวกอยู่ด้านชั้น P ซึ่งจะลดการแพร่กระจายของโฮล ขั้วไฟฟ้าโลหะจะสัมผัสติดกับขั้ว P และ N ของผลึก

ถ้าแสงมีพลังงานเพียงพอถูกดูดกลืน แสงแต่ละโฟตอนจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนประจุลบและโฮลประจุบวก ในผลึกธรรมดาทั่วไปประจุทั้งสองนี้จะรวมตัวกันอีกทีและผลลัพธ์คือการเปลี่ยนแสงไปเป็นความร้อน แต่เนื่องจากมีศักย์กั้นระหว่างขั้ว P – N อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในชั้น P จะถูกขับไปยังขั้วไฟฟ้าอีกด้านหนึ่ง เมื่ออิเล็กตรอนและโฮลสะสมกันมากขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสองจะทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าและมีกระแสวิ่งในเส้นลวดที่ต่อกับขั้วไฟฟ้าทั้งสอง

**2.3 กล้องตา** เมื่อแสงแดดตกกระทบบนพื้นผิวสีดำซึ่งเป็นผิวที่ดูดกลืนแสงแดดเกือบหมดและสามารถคายรังสีออกมาได้มากเช่นเดียวกัน แต่รังสีที่แผ่ออกมานั้นจะมีความยาวคลื่นแสงในช่วงที่ตาเรามองเห็น (visible spectrum) เข้าไปก็จะแผ่รังสีในช่วงที่เป็นความร้อน (infrared spectrum) ออกมาจากความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการแผ่รังสีกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ของวัตถุจะได้

$$E = \sigma AT^4$$

|       |          |                                  |
|-------|----------|----------------------------------|
| เมื่อ | E        | คือ อัตราการแผ่รังสี             |
|       | $\sigma$ | คือ ค่าคงที่ของสเตฟาน - โบลต์มาน |
|       | A        | คือ พื้นที่ที่แผ่รังสี           |
|       | T        | คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์             |

จะเห็นได้ว่า อัตราการแผ่รังสีของวัตถุจะแปรตามอุณหภูมิสัมบูรณ์ของวัตถุยกกำลังสี่ ดังนั้นเมื่อวัดอุณหภูมิได้ ก็จะสามารถหาอัตราการแผ่รังสีของวัตถุได้

ลักษณะของ “กล่องดำ” ที่จะทำหน้าที่เป็นเครื่องวัดรังสี (radiometer) จะอาศัยหลักการดูดกลืนรังสีแสงแดด โดยผิวดำที่บรรจุอยู่ในกล่องโฟมและมีหน้าต่างกระจกใสรับแสงแดด วัตถุอุณหภูมิในกล่องด้วยเทอร์โมมิเตอร์ ซึ่งอุณหภูมินี้จะแปรผันไปตามปริมาณของรังสีแสงแดดที่มาตกกระทบบนผิวดำในกล่องโฟม นำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับเครื่องวัดรังสีแสงแดดที่เป็นมาตรฐาน

**2.4 ตัวต้านทานไวแสง** ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทไวต่อแสงหรือเปลี่ยนแปลงการทำงานของตัวเองตามปริมาณของแสงมีอยู่หลายอย่าง ตั้งแต่ LDR (Light dependent resistor) โฟโตโวลตาอิกเซลล์ (Photovoltaic cell) ซึ่งจ่ายแรงดันออกมาได้เมื่อรับแสง โฟโตไดโอด (Photodiode) โฟโตทรานซิสเตอร์ (Phototransistor) ไปจนถึง เอส ซี อาร์ ที่ทำงานด้วยแสง (LASCR : Light activated silicon controlled rectifier) ซึ่งใช้หลักการของสารกึ่งตัวนำทั้งนั้น อุปกรณ์ประเภทนี้มีโครงสร้างและลักษณะการทำงานง่ายที่สุด ได้แก่ LDR เพราะไม่ได้ใช้หลักการของรอยต่อ

**2.4.1 โครงสร้าง LDR** ตัว LDR ซึ่งมีชื่อเรียกกันอีกหลายชื่อ เช่น โฟโตคอนดักทีฟเซลล์ (Photoconductive cell) หรือตัวต้านทานไวแสง (LSR : Light sensitive resistor) ส่วนใหญ่ทำด้วยสารแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) หรืออาจจะใช้แคดเมียมซีลีไนด์ (CdSe) สารทั้งสองชนิดนี้เป็นสารประเภทกึ่งตัวนำ เอามาฉาบลงบนแผ่นเซรามิกที่ใช้เป็นฐานรอง แล้วต่อขาจากสารที่ฉาบไว้ออกมา

จากภาพประกอบ 98 ส่วนที่ขดเป็นแนวเล็ก ๆ สีขาวจะทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานไวแสง และแนวสีขาวยาวนั้นจะแบ่งพื้นที่ออกเป็นสองข้าง ถ้าดูของจริงลักษณะที่เป็นสีทองจะเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ทำหน้าที่สัมผัสกับตัวต้านทานไวแสง เป็นที่สำหรับต่อขาออกมาภายนอกหรือเรียกว่า อิเล็กโทรด

**2.4.2 สมบัติของแสง** เมื่อเวลามีแสงตกกระทบลงไปที่ LDR แสงจะถ่ายทอดพลังงานที่ฉาบอยู่ ทำให้เกิดโฮลและอิเล็กตรอนเคลื่อนที่มากก็เท่ากับความต้านทานลดลงนั่นเอง ยิ่งความเข้มของแสงที่ตกกระทบมากเท่าใด ความต้านทานก็จะยิ่งลดลงมากเท่านั้น

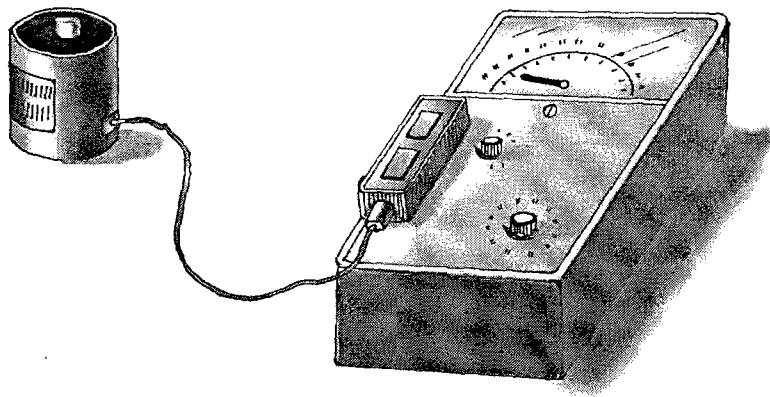
LDR จะตอบสนองต่อแสงบางความยาวคลื่นเท่านั้น กล่าวคือ จะอยู่ในช่วงประมาณ 0.4 ไมโครเมตร ถึงประมาณ 1.0 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นช่วงแคบ ๆ ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเท่านั้น แต่ถึงอย่างไรก็ตามแสงในช่วงคลื่นนี้ก็มิอยู่ในแสงอาทิตย์ แสงจากหลอดไฟแบบไส้ และแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ด้วย อัตราส่วนระหว่างความต้านทานของ LDR ในขณะที่ไม่มีความเข้มแสงกับในขณะที่มีความเข้มแสงอาจเป็นไปได้ตั้งแต่ 100 เท่า 1,000 เท่า หรือ 10,000 เท่า แล้วแต่รุ่น

### 3. เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

|   |   |         |
|---|---|---------|
| 3.1 ไพราโนมิเตอร์   | 1 | เครื่อง |
| 3.2 มาตรฐานรังสี (Radiometer) หรือ<br>มาตรฐานแสง (Photometer) | 1 | เครื่อง |
| 3.3 เซลล์สุริยะ   | 1 | ชุด     |
| 3.4 มาตรฐานกระแสไฟฟ้า (Ammeter)                               | 1 | เครื่อง |
| 3.5 มาตรฐานความต่างศักย์ (Voltmeter)                          | 1 | เครื่อง |
| 3.6 กล่องสีดำพร้อมเทอร์มอมิเตอร์                              | 1 | ชุด     |
| 3.7 ตัวต้านทานแสง (LDR)                                       | 1 | ชุด     |

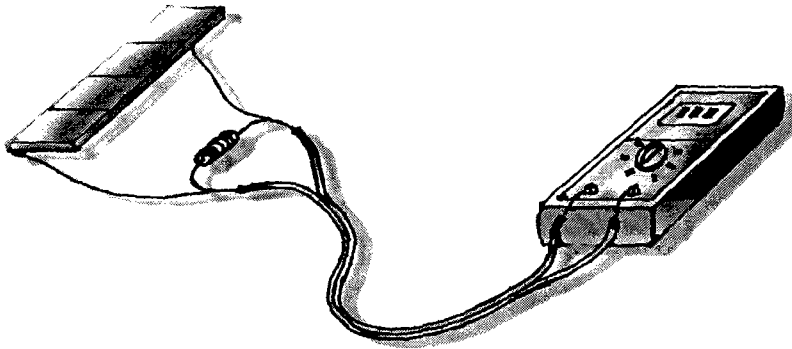
### 4. วิธีการทดลอง

4.1 ต่อวงจรไพราโนมิเตอร์ เข้ากับมาตรฐานรังสี



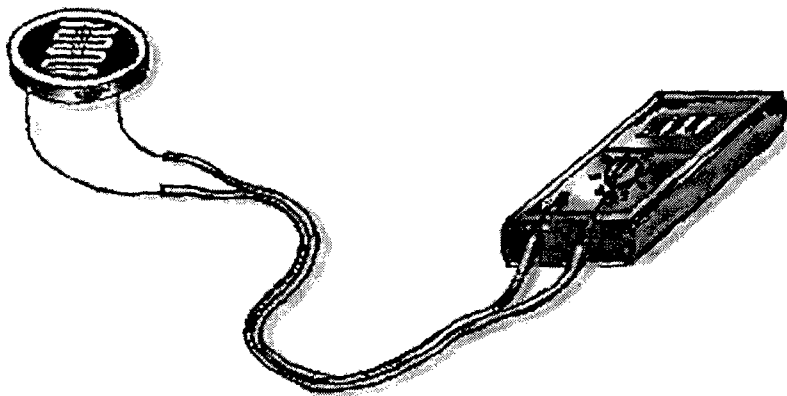
ภาพประกอบ 96 ไพราโนมิเตอร์และมาตรฐานรังสี

#### 4.2 ต่อวงจร เซลล์สุริยะกับมาตรกระแสไฟฟ้าและมาตรความต่างศักย์



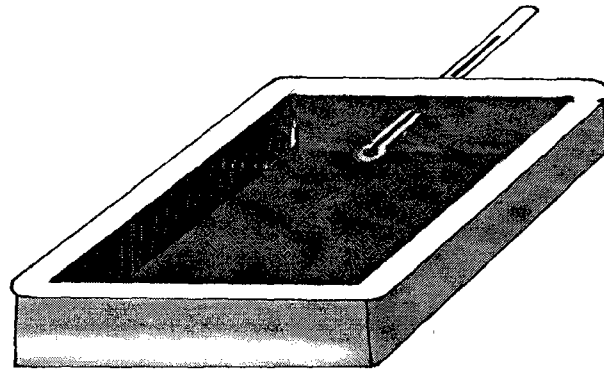
ภาพประกอบ 97 การต่อวงจรเซลล์สุริยะกับมาตรความต่างศักย์

#### 4.3 ต่อวงจรความต้านทานแสงเข้ากับมาตรความต้านทาน (Ohmmeter)



ภาพประกอบ 98 การต่อวงจรความต้านทานแสงกับมาตรความต้านทาน

#### 4.4 นำชุดไพราโนมิเตอร์ ชุดเซลล์สุริยะและชุดกล่องดำไปวางไว้กลางแดดในบริเวณเดียวกัน



ภาพประกอบ 99 ชุดกล่องดำประกอบเทอร์มอมิเตอร์

4.5 บันทึกค่าความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์จากมาตรรังสีของชุดไพราโนมิเตอร์ ค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าจากมาตรกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าของชุดเซลล์สุริยะ และค่าอุณหภูมิจากชุดกล่องดำในเวลาเดียวกันทุก ๆ 5 นาที

4.6 นำค่าที่ได้จากการบันทึกในข้อ 4.4 ไปเขียนกราฟกับเวลาแล้วนำกราฟที่ได้มาเทียบมาตรฐาน (calibrate) กับค่าที่วัดได้จากไพราโนมิเตอร์ว่าค่ากราฟที่ได้มีความสอดคล้องกับกราฟของไพราโนมิเตอร์หรือไม่

### 5. ผลการทดลองและคำนวณ

ตาราง 3.1 ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดชนิดต่าง ๆ

| วัน/เดือน/ปี | เวลา<br>s | ไพราโนมิเตอร์<br>( $W m^{-2}$ ) | LDR                     | เซลล์สุริยะ          | กล่องดำ<br>$^{\circ}C$ | หมายเหตุ |
|--------------|-----------|---------------------------------|-------------------------|----------------------|------------------------|----------|
|              |           |                                 | ความต้านทาน<br>$\Omega$ | ความต่างศักย์<br>(V) |                        |          |
|              |           |                                 |                         |                      |                        |          |

## 6. คำถามท้ายบทปฏิบัติการ

- 6.1 ถ้าต้องการจะวัดเฉพาะรังสีตรงของแสงอาทิตย์จะใช้เครื่องมืออะไรและมีวิธีวัดอย่างไร
- 6.2 รังสีดวงอาทิตย์จำแนกตามความยาวคลื่น มีกี่ประเภท อะไรบ้าง จงอธิบาย
- 6.3 จงหาวิธีการวัดรังสีพลังงานแสงอาทิตย์นอกเหนือจากการใช้เครื่องมือที่กล่าวมาแล้ว
- 6.4 ทำไมโลกของเราจึงไม่ได้รับอันตรายจากรังสีเหนือม่วงของแสงอาทิตย์ จงอธิบาย
- 6.5 จงอธิบายการเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (Green house effect)

## บทปฏิบัติการที่ 4

### การหาประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมแสง

#### 1. จุดประสงค์

- 1.1 เพื่อศึกษาหลักการการทำงานของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมแสง
- 1.2 เพื่อหาประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมแสง

#### 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมแสง (concentrating solar collector) แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมแสงจะให้อุณหภูมิสูงกว่าแบบแผ่ราบ ต้องหมุนตัวเพื่อติดตามดวงอาทิตย์และจะใช้ได้เฉพาะกับรังสีตรงเท่านั้น รังสีแสงแดดจะถูกรวมด้วยกระจกรวมแสงโค้งแบบพาราโบลา ซึ่งสามารถทำให้อุณหภูมิสูงได้ถึง 3,500 องศาเซลเซียส แต่ก็ขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ทางทัศนศาสตร์ของตัวรับแสง การหาอัตราพลังงานความร้อนจากรังสีแสงแดดของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมแสงหาได้ดังนี้

$$H_n A_c r s \alpha = q_o A_t = (q_u + q_r + q_A + q_c) A_t \quad (4.1)$$

|         |           |     |  |
|---------|-----------|-----|--|
| เมื่อ   | $H_n$     | คือ | อัตราของรังสีตรงต่อพื้นที่รับแสงโดยกระจกรวมแสงซึ่งตั้งฉากกับแสงแดด   |
|         | $A_c$     | คือ | พื้นที่ในแนวราบของกระจกรวมแสงหรือพื้นที่ของลำแสงที่ตกกระทบบนกระจกรับแสง  |
|         | $r$       | คือ | สัมประสิทธิ์การสะท้อนของกระจกสำหรับรังสีตรง  |
|         | $s$       | คือ | รูปลักษณะองค์ของตัวรับ ซึ่งเป็นตัวกำหนดเศษส่วนของรังสีตรง ประสิทธิภาพที่ตกกระทบแม้ว่า กระจกรวมแสง จะมีลักษณะต่างไปจากรูปทรงพาราโบลา ทรงกลม หรือทรงกระบอก |
| ดังนั้น | $r s$     | คือ | เศษส่วนของรังสีตรง ซึ่งตกกระทบกระจกรวมแสงและรวมที่เป้า   |
|         | $\alpha$  | คือ | สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของเป้า นั่นคือเศษส่วนของรังสีที่รวมตกกระทบเป้าแล้วถูกเปลี่ยนเป็นความร้อน   |
|         | $q_o$     | คือ | อัตราซึ่งรังสีความร้อนถูกดูดกลืนต่อพื้นที่โดยเป้า  |
|         | $A_t$     | คือ | พื้นที่ของเป้าที่รับแสง ปกติจะทำให้โดพอที่จะรับรังสีที่ถูกรวมส่วนใหญ่  |
| ดังนั้น | $q_o A_t$ | คือ | อัตราซึ่งความร้อนที่ถูกดูดกลืนโดยเป้า  |
|         | $q_u A_t$ | คือ | อัตราซึ่งความร้อนที่ถูกดูดกลืนโดยเป้าเปลี่ยนเป็นพลังงานที่ใช้ได้ในของเหลวที่ไหลหลังตัวรับ  |
|         | $q_r A_t$ | คือ | อัตราซึ่งเป้าสูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสี   |
|         | $q_a A_t$ | คือ | อัตราซึ่งเป้าสูญเสียความร้อนไปยังอากาศโดยรอบโดยการพาและการนำ   |

$q_c A_t$  คือ อัตราซึ่งเป่าสูญเสียนความร้อนโดยการนำ ไปยังโครงสร้างอื่น ๆ ของตัวรับ

สัดส่วนความเข้มข้นแสง (concentration ratio) หมายถึงอัตราส่วนระหว่างพื้นที่รับแสงแดดต่อพื้นที่ของเป่ารับแสงหรือพื้นที่ของภาพของดวงอาทิตย์บนตัวดูดกลืนแสง สำหรับกระจกรวมแสงที่สมบูรณ์ อัตราส่วนของพื้นที่ของกระจกรับแสงต่อขนาดของภาพดวงอาทิตย์บนเป่าจะมีค่าแน่นอน / แต่ปกติแล้วกระจกสะท้อนไม่เรียบจริงและภาพดวงอาทิตย์ก็ไม่เป็นวงกลมสม่ำเสมอ เป่าที่รับแสงมักจะโตพอที่จะรับรังสีรวมได้เกือบหมด วัสดุที่ใช้ทำเป่าหรือตัวดูดกลืนแสงก็จะเป็นโลหะตัวนำที่ดี ดังนั้นสัดส่วนความเข้มข้นแสง (c) จึงหาได้จาก

$$C = \frac{A_c}{A_t}$$

ขนาดของเป่าขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของขนาดและผิวกระจกรวมแสงถ้าหากเป็นพาราโบลาเป่าก็จะมีขนาดเล็กลง แต่ถ้าผิดเพี้ยนไปจากพาราโบลา บางส่วนของแสงจะรวมเลยเป่าหรือไม่อยู่ในเป่าจะต้องใช้เป่าโตขึ้น พื้นที่ของเป่ามักจะทำให้เล็กที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อลดการสูญเสียนความร้อน และทำให้ได้อุณหภูมิสูงขึ้น

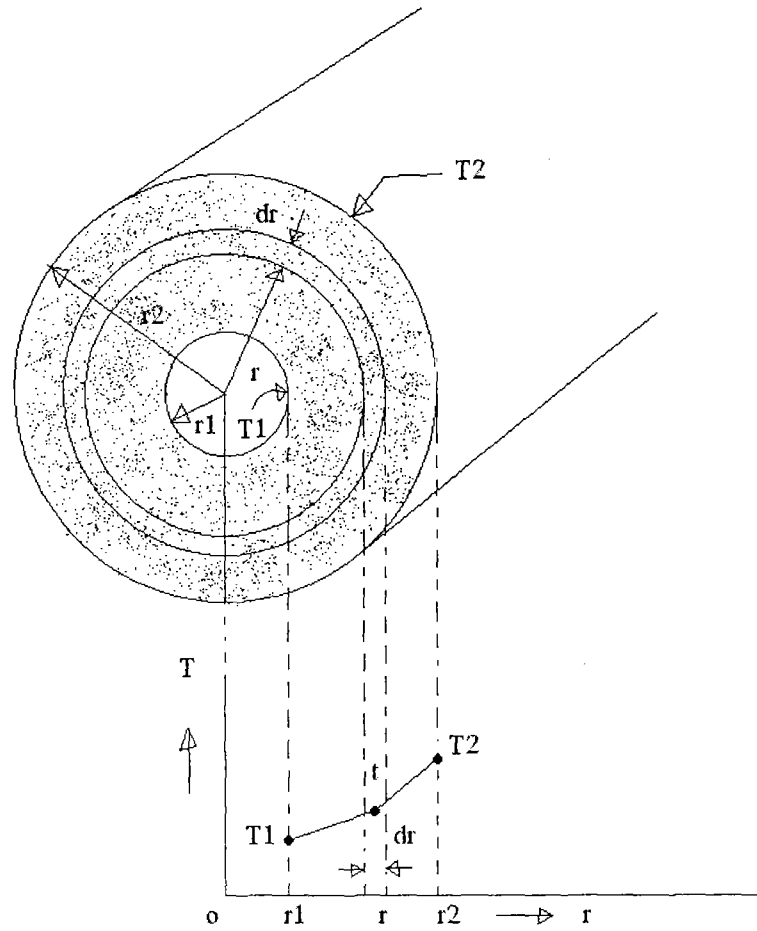
สัมประสิทธิ์การสะท้อนของแสง (reflection coefficient : r) จะมีค่าขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของผิวสะท้อน แผ่นแก้วที่ชุบด้วยเงินจนเรียบจะเป็นผิวสะท้อนที่ดีที่สุดและสะท้อนแสงเกือบทั้งหมดที่ตกกระทบผิวด้านฉากถ้าผิวนี้อยู่ด้านหน้าของกระจก แต่ถ้าผิวนี้อยู่ด้านหลังของกระจก จะมีการสูญเสียนความร้อนเนื่องจากการดูดกลืนของกระจกบ้างจึงสะท้อนแสงได้ประมาณ 92 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผิวของฟิล์มพลาสติกจะเรียบน้อยกว่ากระจกเมื่อฉาบด้วยโลหะสะท้อนจึงอาจจะทำให้แสงสะท้อนบางส่วนผิดเป่าไปบ้าง

รางรวมแสงพาราโบลา (Parabolic – Trough Concentrating) ถ้าเปรียบเทียบจานรวมแสงพาราโบลา (Parabolic Dish Concentrating) กับรางรวมแสงพาราโบลา พบว่า จานรวมแสงพาราโบลาจะให้อุณหภูมิสูงกว่า เพราะพื้นที่ของตัวดูดกลืนแสงหรือเป่ารับแสงมีขนาดเล็กกว่าการสูญเสียนความร้อนต่ำและสัดส่วนความเข้มข้นแสงสูง แต่ก็มีปัญหายากในการสร้างตัวดูดกลืนแสงและต้องหมุนตัวตามดวงอาทิตย์ตลอดเวลา ข้อได้เปรียบของรางรวมแสงพาราโบลา คือ สามารถสร้างให้ยาวได้ไม่จำกัดและอาจไม่ต้องหมุนตามดวงอาทิตย์ตลอดทั้งวันแต่อุณหภูมิ แต่อุณหภูมิจะต่ำกว่าจานพาราโบลา ถ้าความกว้างของรางรวมแสง พาราโบลา 1.8 เมตรและตัวดูดกลืนแสง กว้าง 2.5 เซนติเมตร สัดส่วนความเข้มข้นแสงจะมีค่าเท่ากับ 72 ถ้าเราต่อความยาวของรางออกไปก็จะได้ปริมาณความร้อนมากขึ้นแต่สัดส่วนความเข้มข้นแสงจะยังคงเดิม

## 2.2 การนำความร้อนของตัวนำทรงกระบอก (heat conduction through a cylinder)

กำหนดให้ผิวภายในและภายนอกของทรงกระบอกมีอุณหภูมิ  $T_1$  และ  $T_2$  ตามลำดับ และ  $T_1$  น้อยกว่า  $T_2$  สมมติว่าความร้อนไหลอย่างสม่ำเสมอในแนวทศรัศมีเท่านั้น เมื่อพิจารณา อัตราถ่ายเทความร้อนผ่านทรงกระบอกบาง ๆ  $d_r$  จะให้ได้ด้วยสมการ

$$Q = -KA \frac{dT}{dr} \quad (4.2)$$



ภาพประกอบ 100 การนำความร้อนผ่านผิวตัวนำทรงกระบอก

|       |       |   |
|-------|-------|---|
| เมื่อ | $Q$   | คือ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านท่อ              |
|       | $K$   | คือ สภาพนำความร้อนของท่อ (thermal conductivity) |
|       | $A$   | คือ พื้นที่ที่ความร้อนไหลผ่าน                   |
|       | $r$   | คือ รัศมี ณ ตำแหน่งใด ๆ ภายในเนื้อท่อ           |
|       | $r_1$ | คือ รัศมีภายในของท่อ                            |
|       | $r_2$ | คือ รัศมีภายนอกของท่อ                           |

ฉะนั้นจะได้

$$Q = -K2\pi r l \frac{dT}{dr} \quad (4.3)$$

เมื่อ  $l$  คือ ความยาวของท่อทรงกระบอก

หรือ

$$\int_{T=T_1}^{T=T_2} dT = \int_{r=r_1}^{r=r_2} - \frac{Q}{2\pi Kl} \frac{dr}{r}$$

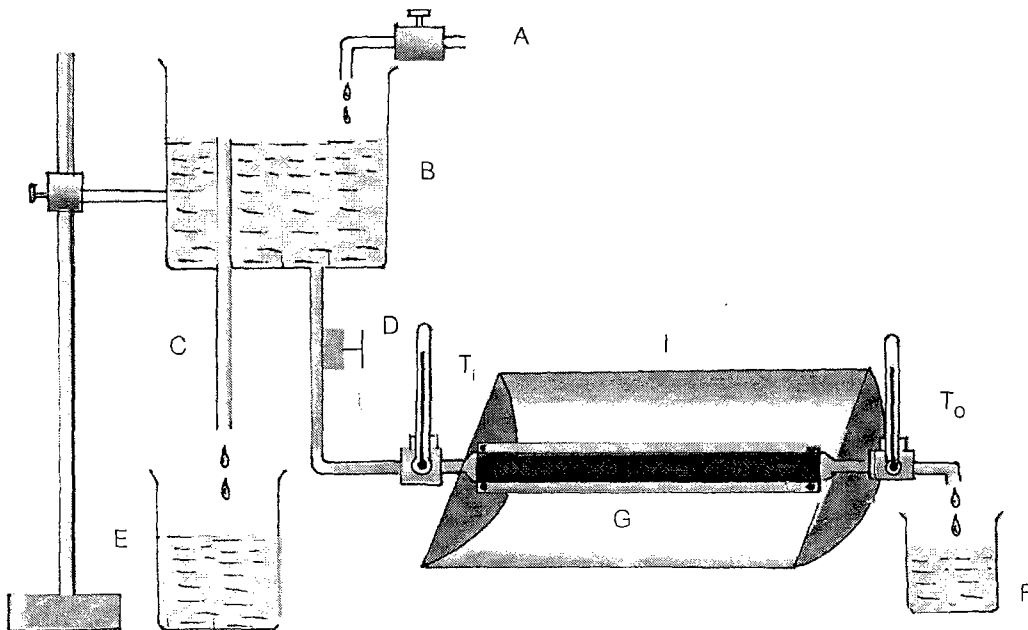
$$T_2 - T_1 = - \frac{Q}{2\pi Kl} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

$$Q = - \frac{2\pi Kl (T_2 - T_1)}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (4.4)$$

เครื่องหมายลบ (-) แสดงถึงทิศทางการไหลของความร้อนสวนทิศกับทิศทางของรัศมี คือ ความร้อนไหลจากภายนอกเข้าสู่ภายในท่อ

### 3. เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

- |   |   |         |
|---|---|---------|
| 3.1 หลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบสุญญากาศ | 1 | หลอด    |
| 3.2 ชุดถังจ่ายน้ำ                       | 1 | ชุด     |
| 3.3 กระบอกตวง                           | 1 | ใบ      |
| 3.4 ถังรับน้ำ                           | 2 | ใบ      |
| 3.5 ไพราโนมิเตอร์                       | 1 | เครื่อง |
| 3.6 ไพร์เฮลิโอมิเตอร์                   | 1 | เครื่อง |
| 3.7 เทอร์มอมิเตอร์                      | 2 | อัน     |
| 3.8 รางรวมแสงพาราโบลา                   | 1 | เครื่อง |



ภาพประกอบ 101 ชุดทดลองการหาประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมแสง

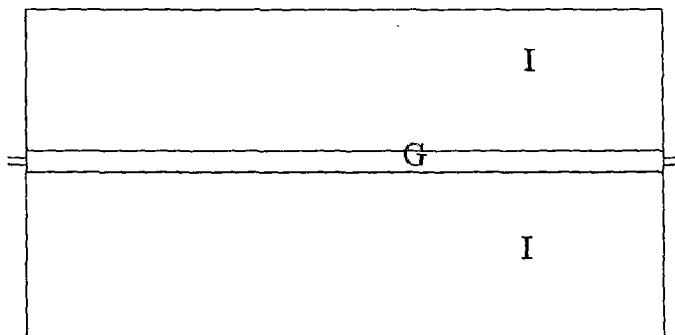
#### 4. วิธีการทดลอง

- 4.1 ประกอบหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบสุญญากาศ G (ดังภาพประกอบ 101) เข้ากับรางรวมแสงพาราโบลา (I) โดยให้หลอดรับพลังงานดังกล่าวอยู่ในแนวโฟกัสของรางรวมแสงพาราโบลา
- 4.2 ต่อท่อน้ำจากชุดถังจ่ายน้ำเข้ากับหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์
- 4.3 นำแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ประกอบแล้วไปวางรับแสงโดยให้แกนของพาราโบลารวมแสงชี้ไปที่ดวงอาทิตย์ในขณะนั้น รังสีตรงของแสงแดดก็จะสะท้อนกระจกพาราโบลาเข้าสู่หลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์ด้านล่างและรังสีรวมก็จะตกกระทบบนของหลอดรับพลังงาน
- 4.4 ปลอยน้ำจากวาล์ว A เข้าสู่ถัง B โดยให้น้ำอยู่ในระดับปากท่อ C เสมอ
- 4.5 เปิดวาล์ว D ให้น้ำไหลผ่านหลอดรับพลังงาน G ด้วยอัตราการไหลคงที่
- 4.6 บันทึกอุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์ ( $T_i$ ) และอุณหภูมิของน้ำหลังจากผ่านหลอดรับพลังงาน ( $T_o$ ) แล้วในขณะที่อุณหภูมิทั้งสองตำแหน่งคงที่
- 4.7 จับเวลาที่น้ำไหลผ่านหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์ ( $t$ ) วัดปริมาตรและมวลของน้ำที่ไหลผ่านหลอดในช่วงเวลา  $t$
- 4.8 บันทึกค่าความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์จากไพราโนมิเตอร์และไพร์เฮลิโอมิเตอร์ จะได้ค่ารังสีรวมและรังสีตรงตามลำดับ
- 4.9 ปรับอัตราการไหลของน้ำโดยวาล์ว D แล้วบันทึกข้อมูลตามข้อ 4.6 และ 4.7
- 4.10 คำนวณหาค่าปริมาณความร้อน  $Q$  จาก

$$Q = ms(T_o - T_i)$$

เมื่อ  $m$  คือ มวลของน้ำที่ไหลผ่านหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์  
 $s$  คือ ความร้อนจำเพาะของน้ำ

- 4.11 คำนวณหาค่าพื้นที่ที่แสงแดดตกกระทบบนแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ โดยคำนวณจากพื้นที่ที่ตั้งฉากกับลำแสง



ภาพประกอบ 102 พื้นที่รับแสงอาทิตย์

พื้นที่ I คือ พื้นที่หน้าตัดของรางรวมแสง

พื้นที่ G คือ พื้นที่ของหลอดรับพลังงาน

4.12 คำนวณหาพลังงานแสงแดดทั้งหมดที่หลอดรับพลังงานได้รับ โดยนำค่าที่อ่านได้จาก

ไพราโนมิเตอร์คู่กับ พื้นที่ G และค่าที่อ่านได้จากไพโรเฮลิโอมิเตอร์ คู่กับ พื้นที่ I แล้วนำ

ผลคูณทั้งสองมารวมกันเป็นพลังงานทั้งหมดที่หลอดรับพลังงานได้รับ ( $Q_t$ )

4.13 คำนวณหาประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมแสงจาก

$$\eta = \frac{Q}{Q_i} \quad (4.5)$$

## 5. ผลการทดลองและการคำนวณ

ตาราง 4.1 ผลการทดลองการหาประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมแสง

ความยาวของหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์ ( $l$ ) = ..... cm

เส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์ ( $d$ ) = ..... cm

พื้นที่รับแสงของหลอด ( $G$ ) =  $l \times d$  = ..... cm<sup>2</sup>

ความยาวของรางรวมแสง ( $L$ ) = ..... cm

ความกว้างของรางรวมแสง ( $D$ ) = ..... cm

พื้นที่หน้าตัดของรางรวมแสง ( $L \times D$ ) = ..... cm<sup>2</sup>

พื้นที่สะท้อนแสงของรางรวมแสง ( $I$ ) =  $(L \times D) - (l \times d)$  = ..... cm<sup>2</sup>

| ครั้งที่ | เวลา<br>น. | ช่วง<br>เวลา<br>(t) s | อุณหภูมิของ<br>น้ำ      |                        | มวล<br>ของน้ำ<br>ที่<br>ไหล<br>ผ่าน<br>หลอด<br>kg | ปริมาณ<br>ความร้อน<br>ต่อ<br>เวลา<br>( $Q/t$ ) | ความเข้มที่วัดจาก<br>ไพราโนมิเตอร์ |                | ความเข้มที่วัด<br>จากไพโรเฮลิโอ<br>มิเตอร์ |                | ปริมาณ<br>พลังงาน<br>แสงแดด<br>( $Q_t$ )=<br>( $l_1 \times G$ ) +<br>( $l_2 \times I$ ) | ประ<br>สิทธิภาพ<br>( $\eta$ )=<br>$\frac{Q}{Q_i}$ |
|----------|------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|---|--|------------------------------------|----------------|--|----------------|---|---|
|          |            |                       | เข้า<br>( $T_i$ )<br>°C | ออก<br>( $T_o$ )<br>°C |   |  | ความเข้ม<br>( $I_1$ )              | $l_1 \times G$ | ความ<br>เข้ม ( $I_2$ )                     | $l_2 \times I$ |   |   |
|          |            |                       |                         |                        |   |  |                                    |                |  |                |   |   |

ประสิทธิภาพเฉลี่ย = .....%

## 6. คำถามท้ายบทปฏิบัติการ

6.1 แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีกี่ประเภท อะไรบ้าง จงอธิบาย

6.2 เราสามารถรวมแสงให้มีความเข้มสูงขึ้นด้วยอุปกรณ์และวิธีการใดบ้าง

6.3 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมแสง มีอะไรบ้าง

6.4 เราสามารถทำรูปทรงของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแบบอื่นได้หรือไม่ นอกจากทรงพาราโบลา ถ้าได้จงอธิบายวิธีทำ

6.5 เราสามารถนำการรวมพลังงานแสงอาทิตย์ไปประยุกต์ใช้งานอะไรได้บ้าง

## บทปฏิบัติการที่ 5

### การหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงแผ่นราบ

#### 1. จุดประสงค์

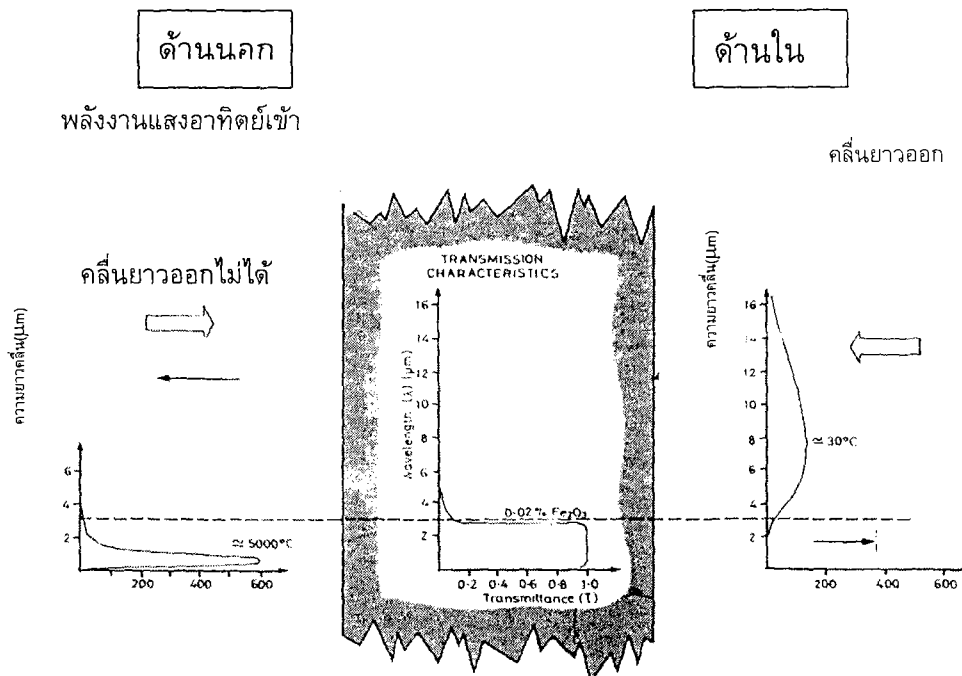
- 1.1 เพื่อศึกษากระบวนการในการสร้างและการทำงานของแผงรับแสงแบบแผ่นราบ
- 1.2 เพื่อหาประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนของแผงรับแสงแบบแผ่นราบ

#### 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1 การส่งผ่านวัสดุโปร่งใสของพลังงานแสงอาทิตย์

##### 2.1.1 ความส่งผ่านของสเปกตรัมต่าง ๆ

ความส่งผ่าน (transmittance) ของวัสดุโปร่งใสของสเปกตรัมต่าง ๆ ถูกกำหนดโดยองค์ประกอบทางเคมี โครงสร้างและการประสานของโมเลกุล พลาสติกหลายชนิดมีค่าความส่งผ่านของรังสีที่มองเห็นได้มากกว่า 0.85 แต่จะเห็นว่าค่าความส่งผ่านของรังสีใต้แดงจะอยู่ระหว่าง 0.01 – 0.77 คุณสมบัติที่พึงประสงค์ก็คือ ค่าความส่งผ่านของรังสีใต้แดงจะต้องต่ำและค่าความส่งผ่านของรังสีที่มองเห็นได้สูง ซึ่งกระจกใสจะสามารถช่วยกันรังสีใต้แดงได้ดีดังภาพประกอบ 103



ภาพประกอบ 103 พลังงานแสงอาทิตย์ผ่านหน้าต่างกระจก

### 2.1.2 ความส่งผ่านที่มุมเอียงต่าง ๆ

จากสูตรของเฟรสเนล สำหรับการสะท้อนของรังสีที่ไม่โพลาไรซ์ผ่านตัวกลาง 1 ซึ่งมีดัชนีหักเห  $n_1$  ไปยังตัวกลาง 2 ซึ่งมีดัชนีหักเห  $n_2$  จะได้

$$\rho_N = \frac{\sin^2(\theta_i - \theta_t)}{\sin^2(\theta_i + \theta_t)} \quad (1)$$

$$\rho_T = \frac{\tan^2(\theta_i - \theta_t)}{\tan^2(\theta_i + \theta_t)} \quad (2)$$

$$\rho = \frac{1}{2}(\rho_N + \rho_T) \quad (3)$$

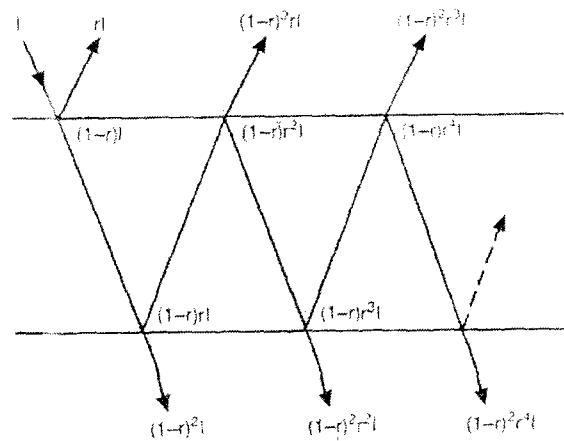
เมื่อ  $\rho_N$ ,  $\rho_T$  และ  $\rho$  เป็นค่าความสะท้อน (reflectance) ในกรณีที่สนามไฟฟ้าตั้งฉากกับระนาบตกกระทบ ขนานกับระนาบตกกระทบและค่าความสะท้อนรวมตามลำดับ  $\theta_i$  และ  $\theta_t$  เป็นมุมตกกระทบและมุมหักเหตามลำดับ จากกฎของ สเนลล์ ( Snell's law ) จะได้

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_t} \quad (4)$$

สำหรับรังสีที่ตกกระทบบนผิวร่วม (interface) หรือ และสมการ (1) และ (2) จะกลายเป็น

$$\rho_0 = \frac{(n-1)^2}{(n+1)^2}$$

ถ้าพิจารณาเมื่อมีแสงตกกระทบบนแผ่นกระจก รังสีของแสงจะเกิดการสะท้อนหลายครั้ง โดยไม่พิจารณาการสูญเสียเนื่องจากการดูดกลืน ดังแสดงในภาพประกอบ 103 ให้  $I$  เป็น ความเข้มของพลังงานรังสีตกกระทบบ  $\rho$  แทน  $\rho_N$  หรือ  $\rho_T$



ภาพประกอบ 104 การสะท้อนหลายครั้งในแผ่นกระจกที่ไม่พิจารณาการดูดกลืน

พิจารณาค่าความส่งผ่าน (transmittance)  $\tau$  กรณีที่สนามไฟฟ้าตั้งฉากกับระนาบตกกระทบ  
จะได้

$$\tau_N = (1 - \rho_N)^2 \sum_{n=0}^{\infty} \rho_N^{2n} = \frac{(1 - \rho_N)^2}{(1 - \rho_N^2)} = \frac{1 - \rho_N}{1 + \rho_N} \quad (5)$$

ในทำนองเดียวกันเมื่อพิจารณา กรณีที่สนามไฟฟ้าขนานกับระนาบตกกระทบ จะได้

$$\tau_T = (1 - \rho_T)^2 \sum_{n=0}^{\infty} \rho_T^{2n} = \frac{(1 - \rho_T)^2}{(1 - \rho_T^2)} = \frac{1 - \rho_T}{1 + \rho_T} \quad (6)$$

ดังนั้น ค่าความส่งผ่านของรังสีที่ไม่โพลาไรซ์อย่างง่าย ๆ จะหาได้จากค่าเฉลี่ยของส่วนประกอบของโพลาไรซ์ ตามสมการ (5) , (6)

$$\tau = \frac{1}{2}(\tau_N + \tau_T) = \frac{1}{2} \left[ \frac{1 - \rho_N}{1 + \rho_N} + \frac{1 - \rho_T}{1 + \rho_T} \right] \quad (7)$$

## 2.2 แผงรับแสงแบบแผ่นราบ

แผงรับแสง (solar energy collector) สร้างขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ในการเพิ่มปริมาณความร้อนจากรังสีแสงแดดที่ตกกระทบบนผิวโลก โดยมีทั้งแบบรวมแสง และแบบแผ่นราบ แผงรับแสงแบบแผ่นราบอย่างง่าย ๆ จะประกอบด้วยผิวดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ และส่วนที่ส่งพลังงานในรูปของความร้อนไปยังของไหลทำงาน (working fluid) ซึ่งปกติมักจะเป็นอากาศหรือน้ำ ความร้อนที่เพิ่มขึ้นโดยแผงรับพลังงาน ได้จากสมการ

$$Q_u = mc_p (T_o - T_i) \quad (8)$$

เมื่อ  $Q_u$  คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้ของไหลทำงาน มวล  $m$  (kg) ความจุความร้อนจำเพาะ  $c_p$  ( $J \text{ kg}^{-1} \text{ C}^{-1}$ ) มีอุณหภูมิเปลี่ยนจาก  $T_i$  เป็น  $T_o$  และจากสมการ ฮอทเทล - วิลลีย์ร์ - บลิสส์ (Hottel - Whillier - bliss equation) ซึ่งอธิบายถึงปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นของแผงรับแสง ภายใต้สถานะคงตัว คือ

$$Q_u = AF_R [I (\tau\alpha)_e - U_L (T_c - T_a)] \quad (9)$$

จากประสิทธิภาพของแผงรับแสง คือ สัดส่วนระหว่างความร้อนที่นำไปใช้ใน ช่วงใดเวลาใด ๆ กับพลังงานรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกบนแผงรับพลังงานในช่วงเวลาเดียวกัน นั่นคือ

$$\eta = \frac{Q_u}{IA} \quad (10)$$

จะนำจากสมการ (8) และ (10) จะได้ประสิทธิภาพ เป็น

$$\eta = mc_p \frac{(T_o - T_i)}{IA} \quad (11)$$

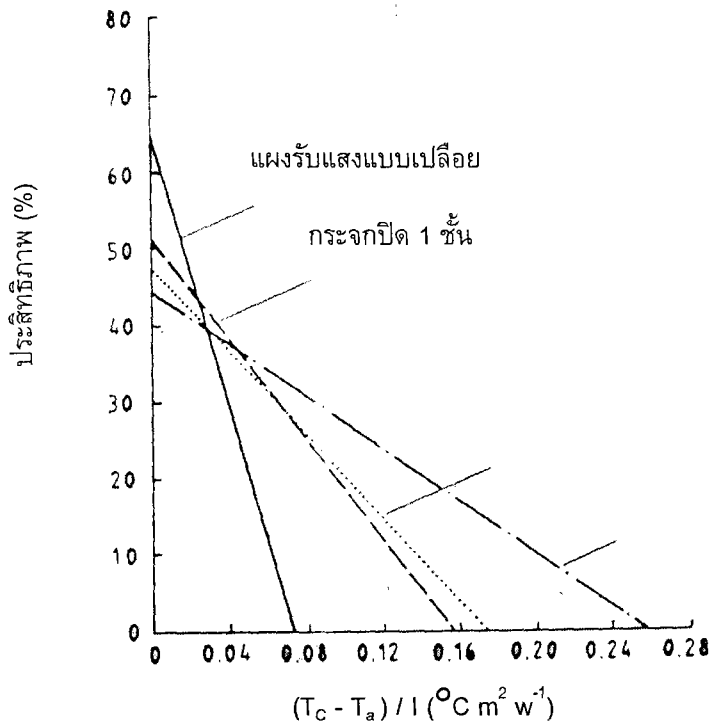
และจากสมการ (9) และ (10) จะได้

$$\eta = F_R (\tau\alpha)_e - F_R U_L \frac{(T_c - T_a)}{I} \quad (12)$$

โดยที่  $I$  เป็นความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ( $w \text{ m}^{-2}$ ) และ  $A$  คือพื้นที่รับแสง

วิธีการทดสอบภายใต้สถานะคงตัวของแผงรับแสงแบบแผ่นราบ สามารถหาค่า  $Q_u$  ได้จากสมการ (8) และวัดค่า  $I$ ,  $T_c$  (อุณหภูมิภายในแผงรับแสง) และ  $T_a$  (อุณหภูมิของอากาศ) เพื่อนำมา

เป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์ตามสมการ (9) โดยจะต้องนำแผงรับพลังงานไปทดสอบในตำแหน่งที่สะดวกต่อการหาปริมาณต่าง ๆ ดังกล่าวภายใต้สถานะคงตัว ประสิทธิภาพขณะใดขณะหนึ่ง สามารถคำนวณได้จากสมการ (11) แล้วนำไปเขียนกราฟกับ  $(T_c - T_a) / I$  เมื่อพิจารณาตามสมการ (12)  $F_R (T_c)_R$  คือจุดตัดบนแกนตั้ง และ  $-F_R U_L$  คือความชัน (slope) ของกราฟ พารามิเตอร์เหล่านี้จะไม่คงที่ เช่น  $U_L$  จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเร็วลม และ  $F_R$  จะเป็นฟังก์ชันของ  $U_L$  อย่างไรก็ตามถ้าให้แผงรับพลังงานทำงานในระยะยาวก็จะสามารถหาคุณลักษณะของแผงได้ โดยการเขียนกราฟตามสมการ (12) ดังตัวอย่างของแผงรับพลังงานแบบอากาศร้อนและไม่เลือกความถี่ ตามภาพประกอบ 105



ภาพประกอบ 105 กราฟคุณลักษณะของแผงรับพลังงานแบบอากาศร้อน

วัสดุที่ใช้เป็นตัวดูดกลืนแสงของแผงรับแสงระบบแผ่นราบ จะต้องมีความดูดกลืนรังสีสูง ปลดปล่อยพลังงานต่ำ เป็นตัวนำที่ดี และมีความร้อนคงที่หรือเก็บความร้อนได้ดี นอกจากนั้นควรมีน้ำหนักเบาและราคาถูก โดยปกติวัสดุที่นำมาใช้มักจะได้แก่ พลาสติกดำ หินสีดำ และถ่าน

ส่วนวัสดุที่ใช้ปกคลุมที่ดีควรมีค่าความส่งผ่านสูงสำหรับสเปกตรัมของแสงที่ตามองเห็นและค่าความส่งผ่านต่ำสำหรับช่วงรังสีใต้แดง คุณสมบัติอื่น ๆ ก็จะต้องดูดกลืนความร้อนต่ำ คงสภาพที่อุณหภูมิในการทำงาน ไม่ฉีกขาดง่าย ใช้ได้ในหลายสภาพอากาศและราคาต่ำ

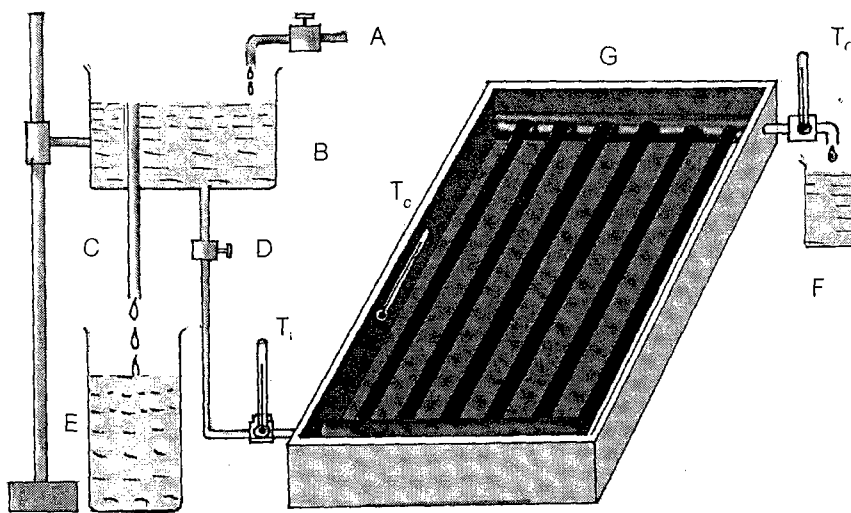
### 3. เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

|     |   |   |         |
|-----|---|---|---------|
| 3.1 | แผงทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นราบ | 1 | แผง     |
| 3.2 | ชุดถังจ่ายน้ำ                           | 1 | ชุด     |
| 3.3 | กระบอกตวง                               | 1 | ใบ      |
| 3.4 | ถังรับน้ำ                               | 2 | ใบ      |
| 3.5 | ไพราโนมิเตอร์                           | 1 | เครื่อง |
| 3.6 | เทอร์มอมิเตอร์                          | 3 | อัน     |

### 4. วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 วางแผงรับแสง โดยให้เส้นตั้งฉากกับแผงรับแสงอยู่ในระนาบทางเดินของดวงอาทิตย์

4.1 ต่อถังจ่ายน้ำเข้ากับแผงทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นราบที่มีกระจกปิดแผ่นดูกลืนแสงชั้นเดียวดังภาพประกอบ 106



ภาพประกอบ 106 ชุดทดลองการหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงแบบแผ่นราบ

- 4.2 นำชุดทดลองที่ประกอบตามข้อ 4.1 แล้วไปวางรับแสงอาทิตย์โดยให้แกนที่ตั้งฉากกับระนาบของแผงอยู่ในระนาบทางโคจรของดวงอาทิตย์ในวันนั้น หรือกล่าวคือลำแสงจะตั้งฉากผิวหน้าของแผงรับแสงในเวลาเที่ยงวัน
- 4.3 เปิดน้ำจากวาล์ว A ใส้ถึง B จนกระทั่งล้นท่อระบาย C
- 4.4 ปล่อยน้ำจากถังจ่ายน้ำที่วาล์ว D ให้ไหลผ่านแผงรับพลังงานด้วยอัตราการไหลคงที่
- 4.5 อ่านและบันทึกอุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าแผง ( $T_i$ ) ออกจากแผง ( $T_o$ ) และอุณหภูมิของอากาศภายในแผง ( $T_c$ ) หลังจากทีอุณหภูมิทั้งสามตำแหน่งคงที่พอสมควร

- 4.6 บันทึกความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ ( I ) จากไพราโนมิเตอร์ในเวลาเดียวกันกับการบันทึกอุณหภูมิในข้อ 4.5
- 4.7 ปรับอัตราการไหลของน้ำที่วาล์ว D แล้วดำเนินการทดลองตามข้อ 4.4 – 4.6
- 4.8 คำนวณหาค่าพลังงานที่ทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น จาก

$$Q_u = mc_p (T_o - T_i)$$

- 4.9 คำนวณหาค่าประสิทธิภาพของแผงรับแสง จาก

$$\eta = \frac{Q_u}{IA}$$

- 4.10 เขียนกราฟระหว่างประสิทธิภาพ  $\eta$  กับ  $(T_c - T_a) / I$

ตอนที่ 2 วางแผงรับแสงในแนวระดับ (ทดลองตามลำดับขั้นเช่นเดียวกับตอนที่ 1)

## 5. ผลการทดลองและการคำนวณ

ตอนที่ 1 วางแผงรับแสงโดยให้เส้นตั้งฉากกับแผงรับแสงอยู่ในระนาบทางเดินของดวงอาทิตย์

ตาราง 5.1 ผลการทดลองตอนที่ 1

ความยาวของแผงรับแสง (l) = ..... เมตร

ความกว้างของแผงรับแสง (w) = ..... เมตร

พื้นที่รับแสงของแผงรับแสง (l x w) = ..... ตารางเมตร

| ครั้งที่ | เวลา | ช่วง<br>เวลา<br>s | อุณหภูมิ    |             |             |             | ปริมาณน้ำที่ไหล<br>ผ่านแผง |           | ปริมาณ<br>ความร้อน<br>( $Q_u$ ) | ความเข้ม<br>แสงจาก<br>การวัด (I) | พลัง<br>งานที่<br>แผงได้<br>รับ (IA) | ประสิทธิภาพ<br>( $Q_u/IA$ ) | $\frac{T_c - T_a}{I}$ |
|----------|------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------------------|-----------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|
|          |      |                   | $T_i$<br>°C | $T_o$<br>°C | $T_c$<br>°C | $T_a$<br>°C | ปริมาตร<br>c.c.            | มวล<br>kg |                                 |                                  |                                      |                             |                       |
|          |      |                   |             |             |             |             |                            |           |                                 |                                  |                                      |                             |                       |

ประสิทธิภาพเฉลี่ย = .....%

ตอนที่ 2 วางแผนรับแสงในแนวระดับ

ตาราง 5.2 ผลการทดลองตอนที่ 2

| ครั้งที่ | เวลา<br>น. | ช่วง<br>เวลา<br>S | อุณหภูมิ    |             |             |             | ปริมาณน้ำที่ไหล<br>ผ่านแผง |           | ปริมาณ<br>ความร้อน<br>( $Q_u$ ) | ความเข้ม<br>แสงจาก<br>การวัด (I) | พลัง<br>งานที่<br>แผงได้<br>รับ (IA) | ประสิทธิ<br>ภาพ<br>( $Q_u/IA$ ) | $\frac{T_c - T_a}{I}$ |
|----------|------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------------------|-----------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|-----------------------|
|          |            |                   | $T_i$<br>°C | $T_o$<br>°C | $T_c$<br>°C | $T_a$<br>°C | ปริมาตร<br>c.c.            | มวล<br>kg |                                 |                                  |                                      |                                 |                       |
|          |            |                   |             |             |             |             |                            |           |                                 |                                  |                                      |                                 |                       |

ประสิทธิภาพเฉลี่ย = .....%

## 6. คำถามท้ายบทปฏิบัติการ

- 6.1 พลาสติกและกระจกมีคุณสมบัติเกี่ยวกับการส่งผ่าน (Transmittance) ของรังสีดวงอาทิตย์ แตกต่างกันอย่างใด
- 6.2 คุณสมบัติที่ดีของแผ่นโปร่งใสที่ใช้คลุมด้านหน้าของแผงรับแสงคืออะไร
- 6.3 ท่านจะเลือกวัสดุอะไรเพื่อเป็นฉนวนป้องกันความร้อนออกจากแผงรับแสงเพราะเหตุใดท่านจึงเลือกวัสดุชนิดนั้น
- 6.4 ประสิทธิภาพของแผงรับแสงแบบแผ่นงานขึ้นอยู่กับปัจจัยใดบ้าง
- 6.5 จงออกแบบแผงรับแสงแบบแผ่นราบที่ท่านคิดว่าดีที่สุดพร้อมที่ให้เกิดผลประกอบ

## บทปฏิบัติการที่ 6

### การหาประสิทธิภาพของระบบเครื่องสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำ ที่ใช้พลังงานไฟฟ้า

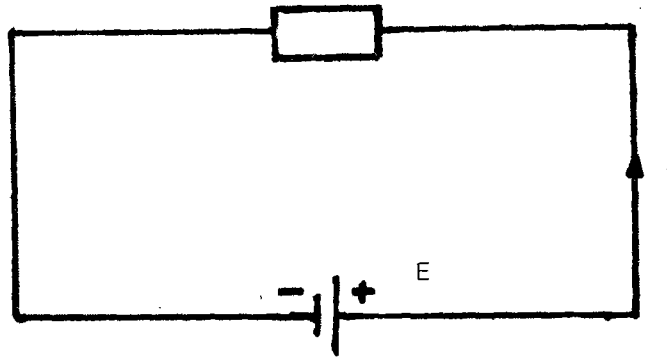
#### 1. จุดประสงค์

- 1.1 เพื่อศึกษาระบบการทำงานของเครื่องจักรไอน้ำ
- 1.2 เพื่อหาประสิทธิภาพของระบบเครื่องสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้พลังงานไฟฟ้า

#### 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1 พลังงานไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า

เมื่อต่อเครื่องใช้ไฟฟ้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าจะถูกส่งผ่านมายังเครื่องใช้ไฟฟ้า แล้วถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานรูปอื่น ตามชนิดของเครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น เมื่อต่อเตาไฟฟ้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก็จะได้พลังงานความร้อน หรือถ้าต่อหลอดไฟก็จะได้พลังงานแสงสว่าง เป็นต้น



ภาพประกอบ 107 วงจรไฟฟ้า

จากภาพประกอบ 107 เป็นวงจรไฟฟ้าที่ประกอบด้วยเครื่องใช้ไฟฟ้าต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กำหนดให้

- |   |  |
|---|--|
| I | เป็นกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเครื่องใช้ไฟฟ้า                    |
| t | เป็นระยะเวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านเครื่องใช้ไฟฟ้า            |
| Q | เป็นประจุไฟฟ้าที่ไหลผ่านเครื่องใช้ไฟฟ้า                    |
| V | เป็นความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างปลายทั้งสองของเครื่องใช้ไฟฟ้า |
| W | เป็นพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้ทำงาน                 |

จะได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$Q = It$$

$$W = QV$$

ดังนั้น 
$$W = ItV \quad (6.1)$$

ถ้า  $R$  เป็นความต้านทานของเครื่องใช้ไฟฟ้า ตามกฎของโอห์ม จะได้

$$V = IR \quad \text{หรือ} \quad I = \frac{V}{R} \quad (6.2)$$

จาก สมการ (6.1) จะได้

$$W = I^2 R t = \frac{V^2 t}{R} \quad (6.3)$$

พลังงานไฟฟ้าจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานรูปอื่นตามชนิดของเครื่องใช้ไฟฟ้านั้น ๆ พลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้ไปในหนึ่งหน่วยเวลาหรืออัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเรียกว่า กำลังไฟฟ้า แทนด้วย  $P$  จะได้

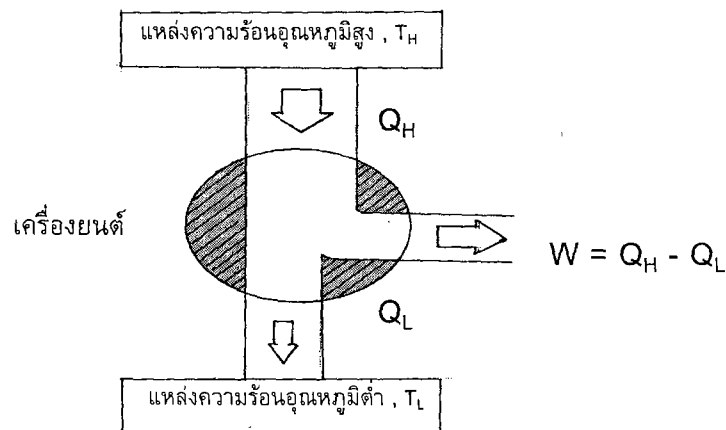
$$P = \frac{W}{t} \quad (6.4)$$

เมื่อแทนค่า  $W$  จะได้

$$P = VI = I^2 R = \frac{V^2}{R} \quad (6.5)$$

#### เครื่องยนต์ความร้อน

เครื่องยนต์ความร้อน (heat engine) หมายถึง เครื่องยนต์ที่เปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนให้เป็นงานกล ในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะหลักเกณฑ์ของเครื่องยนต์ความร้อนชนิดที่ทำงานเป็นวัฏจักร (cycle) หรือเป็นรอบ ๆ ที่ซ้ำกันเท่านั้น ซึ่งได้แก่ เครื่องจักรไอน้ำ เครื่องยนต์ดีเซล เครื่องยนต์แก๊สโซลีน เป็นต้น หลักการทำงานของเครื่องยนต์ประเภทนี้เป็นการทำงานด้วยการดูดเอาความร้อนจากแหล่งที่มีอุณหภูมิสูง แล้วเปลี่ยนความร้อนส่วนหนึ่งเป็นงานกลและคายความร้อนอีกส่วนหนึ่งให้แก่แหล่งอุณหภูมิต่ำ ดังภาพประกอบ 108



ภาพประกอบ 108 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ความร้อน

จากภาพประกอบ 108 แสดงการทำงานของเครื่องยนต์ความร้อนซึ่งทำงานเป็นวัฏจักร โดยที่ความร้อน  $Q_H$  เป็นปริมาณความร้อนที่เครื่องยนต์ได้รับจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิสูง  $T_H$  และ  $Q_L$  เป็นปริมาณความร้อนที่เครื่องยนต์คายออกให้แก่แหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ  $T_L$

เมื่อเครื่องยนต์หรือระบบทำงานครบรอบวัฏจักรนั้น สถานะสุดท้ายของระบบจะกลับมาอยู่ในสถานะเริ่มต้นเสมอ จึงเรียกเครื่องยนต์ชนิดนี้ว่า เครื่องยนต์ความร้อนที่ทำงานแบบย้อนกลับได้ พลังงานภายในของระบบหลังจากที่เครื่องยนต์ทำงานครบรอบหรือครบวัฏจักรจะมีค่าคงเดิมไม่เปลี่ยนแปลง จึงได้ผลตามกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ว่า  $W = \Delta Q$  ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า งานสุทธิที่เครื่องยนต์ความร้อนทำได้จะเท่ากับปริมาณความร้อนสุทธิที่เครื่องยนต์ความร้อนได้รับ

ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (thermal efficiency)

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ความร้อนที่ทำงานได้ในแต่ละวัฏจักร หมายถึง อัตราส่วนของงานสุทธิที่เครื่องยนต์ความร้อนทำได้กับพลังงานความร้อนที่ให้แก่เครื่องยนต์ นั่นคือ

ถ้าให้  $\eta$  เป็นประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์  
 $W$  เป็นงานสุทธิที่เครื่องยนต์ความร้อนทำได้  
 $Q_H$  เป็นพลังงานความร้อนที่ให้แก่เครื่องยนต์  
 $Q_L$  เป็นพลังงานความร้อนที่เครื่องยนต์คายออกทิ้ง

ดังนั้นประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ จะได้

$$\eta = \frac{W}{Q_H} \quad (6.6)$$

จาก  $W = \Delta Q = Q_H - Q_L$

ดังนั้น  $\eta = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H}$

$$\eta = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} \quad (6.7)$$

## 2.3 เครื่องสูบล

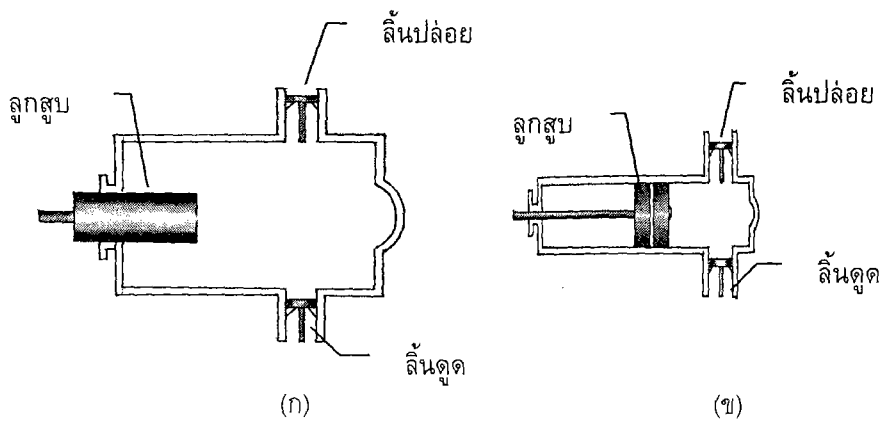
เครื่องสูบล หรือ ปั๊ม (pumps) เป็นเครื่องมือที่ใช้สูบลของไหลจากจุดที่มีเฮดความกดดัน (pressure head) ต่ำให้ส่งออกไปตามท่อด้วยความดันสูงกว่าเดิม เครื่องสูบลน้ำจะมีสองด้านเสมอคือ ด้านดูด (suction) และด้านปล่อย (delivery) ด้านดูดจะดูดของไหลเข้าหาเครื่องสูบล แล้วเครื่องสูบลจะส่งงานกลให้กับของไหลนั้น โดยการหมุนของใบพัดหรือการอัดขับด้วยลูกสูบลของเครื่องสูบล แล้วปล่อยให้ของไหลไหลออกไปทางด้านปล่อย เครื่องสูบลจะทำงานเช่นนี้ต่อเนื่องกันตลอดเวลาที่ใช้งาน การจำแนกประเภทของเครื่องสูบลตามหลักการการทำงานของเครื่องสูบลแบ่งได้ 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

### 2.3.1 เครื่องสูบลอัด (displacement pumps)

เป็นเครื่องสูบลที่ดันให้ของเหลวไหลออกจากท่อปล่อยโดยที่ของเหลวจะไหลเข้าสู่เครื่องสูบลในขณะที่เกิดความดันต่ำภายในเครื่องสูบลและจะไหลออกจากเครื่องสูบลในจังหวะที่ลูกสูบลหรือตัว

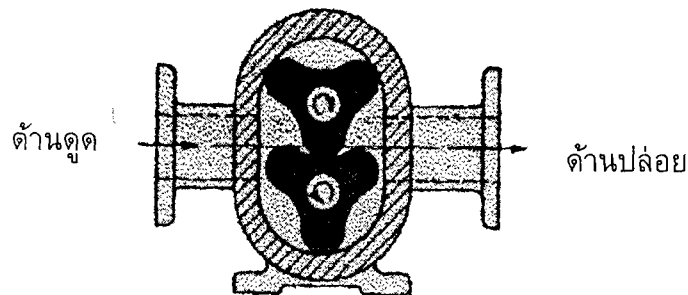
หมุน (rotor) วัดของเหลวให้เกิดความดันสูง เครื่องสูบน้ำจะต้องดันของเหลวออกไปเท่ากับปริมาตรชักของ เครื่องสูบน้ำสำหรับเครื่องสูบน้ำอันแบบลูกสูบปริมาตรชักของเครื่องจะมีค่าเท่ากับพื้นที่หน้าตัดของห้องสูบคูณ ด้วยระยะชักของลูกสูบ เครื่องสูบน้ำอัตโนมัติมีอยู่ 2 ลักษณะคือ

2.3.1.1 เครื่องสูบน้ำอัดกระแทกกลับ (reciprocating pumps) คือเครื่องสูบน้ำที่มี ส่วนประกอบสำคัญที่ทำให้เกิดการดูดและการอัดเคลื่อนที่กลับไปกลับมา เหมาะสำหรับสูบของเหลว ปริมาณไม่มากแต่ต้องการความดันสูง ของเหลวที่ถูกสูบด้วยเครื่องสูบน้ำชนิดนี้ จะต้องสะอาดปราศจาก ของแข็งแขวนลอย ของเหลวที่ถูกดูดและอัดออกจากเครื่องสูบน้ำ จะไหลไม่สม่ำเสมอ แต่จะไหลเป็นจังหวะ



ภาพประกอบ 109 เครื่องสูบน้ำอัดกระแทกกลับ (ก) แบบลูกสูบจุ่ม และ (ข) แบบลูกสูบแผ่น

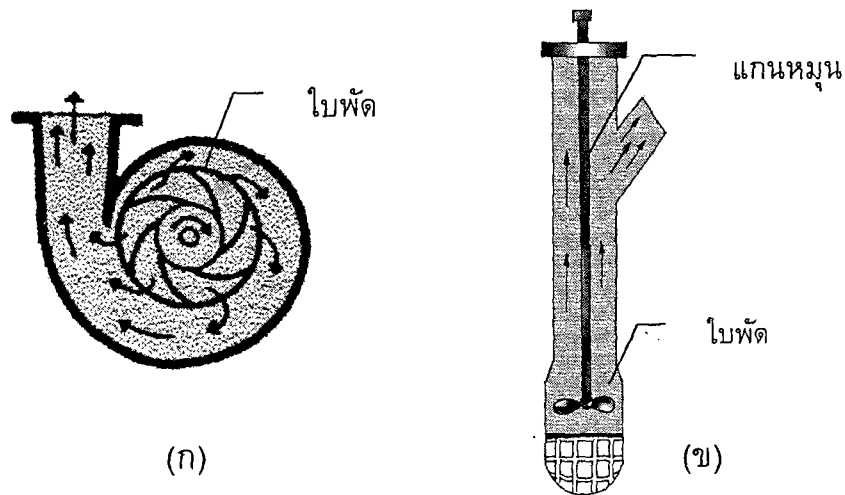
2.3.1.2 เครื่องสูบน้ำอัดแบบหมุนทางเดียว (rotor pumps) หรือเครื่องสูบน้ำโรตารี เป็น เครื่องสูบน้ำที่มีหลักการทำงานเช่นเดียวกับเครื่องสูบน้ำอัดกระแทกกลับคือทำให้เกิดช่องว่าง (cavities) ให้ ของเหลวไหลเข้าสู่เครื่องสูบน้ำแล้วถูกอัดต่อไปยังด้านปล่อย และของเหลวจะไหลอย่างสม่ำเสมอ ประกอบด้วยเสื้อสูบ (casing) อยู่กับที่ ภายในเสื้อสูบจะมีเฟือง ใบพัด สกรู หรืออื่น ๆ หมุนอยู่ โดยมีช่องว่าง น้อยมาก ดังนั้นของเหลวที่ใช้สูบต้องสะอาดไม่มีของแข็งแขวนลอย



ภาพประกอบ 110 เครื่องสูบน้ำอัดแบบหมุนทางเดียว

### 2.3.2 เครื่องสูบลวด (dynamic pumps)

เป็นเครื่องสูบลวดที่ทำงานโดยการเร่งความเร็วของของเหลวหรือเพิ่มโมเมนตัมของของเหลวที่เข้าเครื่องสูบลวดให้สูงขึ้นโดยใบพัดของเครื่องสูบลวดหลังจากนั้นความเร็วที่เพิ่มขึ้นก็จะเปลี่ยนรูปเป็นความดัน ทำให้ของเหลวไหลผ่านเครื่องสูบลวดไปได้ เครื่องสูบลวดแบบที่ใช้กันมากและรู้จักกันทั่วไป คือ เครื่องสูบลวดแบบหนีศูนย์กลาง (centrifugal pumps) หรือ เครื่องสูบลวดหอยโข่ง เครื่องสูบลวดแบ่งตามลักษณะการไหลของของเหลวได้สามลักษณะคือ การไหลตามแนวรัศมี (radial flow) การไหลตามแนวแกนหมุน (axial flow) และการไหลแบบผสม (mixed flow)



ภาพประกอบ 111 เครื่องสูบลวด (ก) ไหลตามแนวรัศมี (ข) ไหลตามแนวแกนหมุน

### 3. เครื่องมือและอุปกรณ์

|   |   |         |
|---|---|---------|
| 3.1 เตาดัดน้ำไฟฟ้า                          | 1 | เตา     |
| 3.2 มาตรฐานกระแสไฟฟ้า                       | 1 | เครื่อง |
| 3.3 เครื่องจักรไอน้ำชนิดลูกสูบ              | 1 | เครื่อง |
| 3.4 เครื่องสูบลวดอัดกระแทกกลับแบบลูกสูบจุ่ม | 1 | เครื่อง |

### 4. วิธีการทดลอง

- 4.1 ต่อมาตรฐานกระแสไฟฟ้ากับเตาดัดน้ำไฟฟ้า เพื่อวัดกระแสไฟฟ้าที่เตาไฟฟ้าใช้ในการเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนที่ใช้ต้มน้ำจนกลายเป็นไอ
- 4.2 ประกอบท่อไอน้ำระหว่างเตาดัดน้ำไฟฟ้ากับเครื่องจักรไอน้ำ
- 4.3 ต่อก้านส่งกำลังของเครื่องจักรไอน้ำเข้ากับก้านสูบของเครื่องสูบลวด
- 4.4 ปรับเฮดสแตติกในการสูบน้ำให้เหมาะสม
- 4.5 ต่อไฟฟ้าเข้ากับระบบเตาดัดน้ำไฟฟ้าแล้วปล่อยให้เครื่องทำงาน
- 4.6 บันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าและปริมาณน้ำที่สูบได้ทุก ๆ 10 นาที
- 4.7 คำนวณหาค่าพลังงานจากปริมาณน้ำที่สูบได้ จาก



ตาราง 2 เฮตสแตตกรวม (h) 1.50 เมตร

| ครั้งที่ | เวลา<br>(t)<br>s | ไฟฟ้า      |                               | ปริมาตรน้ำ<br>ที่สูบได้<br>lit | มวลของน้ำ<br>kg | พลังงานของ<br>เครื่องสูบน้ำ<br>( $W = mgh$ )<br>J | ประสิทธิ<br>ภาพ<br>% |
|----------|------------------|------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---|----------------------|
|          |                  | กระแส<br>A | พลังงาน<br>( $W = VIT$ )<br>J |                                |                 |   |                      |
|          |                  |            |                               |                                |                 |   |                      |

ตาราง 3 เฮตสแตตกรวม (h) 2.00 เมตร

| ครั้งที่ | เวลา<br>(t)<br>s | ไฟฟ้า      |                               | ปริมาตรน้ำ<br>ที่สูบได้<br>lit | มวลของน้ำ<br>kg | พลังงานของ<br>เครื่องสูบน้ำ<br>( $W = mgh$ )<br>J | ประสิทธิ<br>ภาพ<br>% |
|----------|------------------|------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---|----------------------|
|          |                  | กระแส<br>A | พลังงาน<br>( $W = VIT$ )<br>J |                                |                 |   |                      |
|          |                  |            |                               |                                |                 |   |                      |

## 6. คำถามท้ายบทปฏิบัติการ

- 6.1 พลังงานที่นำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าในประเทศไทยได้จากพลังงานประเภทใด และแต่ละประเภทมีปริมาณเท่าใด
- 6.2 อุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าเรียกว่าอะไรและมีหลักการทำงานอย่างไร
- 6.3 ไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับแตกต่างกันอย่างไร จงยกตัวอุปกรณ์ที่ใช้กับไฟฟ้าแต่ละชนิด
- 6.4 เราสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านได้ด้วยวิธีใดบ้างจงอธิบาย
- 6.5 การสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำพลังงานไฟฟ้า กับการสูบน้ำด้วยไดนาโม มีการเปลี่ยนพลังงาน แตกต่างกันอย่างไรบ้างและการสูบน้ำด้วยวิธีการทั้งสองน่าจะมีประสิทธิภาพแตกต่างกันอย่างไร

## บทปฏิบัติการที่ 7

### ระบบเครื่องสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้ก๊าซหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง

#### 1. จุดประสงค์

1.1 เพื่อหาประสิทธิภาพของระบบเครื่องสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้ก๊าซหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง

#### 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1 ก๊าซเชื้อเพลิง

ก๊าซเชื้อเพลิงได้มาจากก๊าซธรรมชาติและจากการผลิตหรือเป็นผลพลอยได้ของการผลิตเชื้อเพลิงเหลว เช่น น้ำมัน เป็นต้น และจากเชื้อเพลิงแข็ง ก๊าซเชื้อเพลิงนั้นมีข้อได้เปรียบเชื้อเพลิงแข็งและเชื้อเพลิงเหลวหลายประการ เช่น สันดาปอย่างสมบูรณ์ได้ง่ายและใช้อากาศส่วนเกินน้อย ควบคุมอุณหภูมิหรือความดันได้ง่าย โดยควบคุมปริมาณซึ่งทำได้ง่าย โดยทั่วไปมีซีแก๊สและปริมาณกำมะถันน้อยแต่มีข้อเสียก็คือ จะต้องเก็บในถังปิด ชนิดของก๊าซเชื้อเพลิงมีดังนี้

##### 2.1.1 ก๊าซธรรมชาติ (Natural gas)

คือก๊าซจากบ่อน้ำมัน ก๊าซจากบ่อก๊าซหรือก๊าซจากเหมืองถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติส่วนใหญ่เป็น มีเทน รองลงมาคือ อีเทน นอกนั้นเป็นก๊าซอื่น ๆ ซึ่งมีน้อยมาก เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจน ก๊าซธรรมชาติถูกอัดด้วยความดันสูงและส่งผ่านท่อจากบ่อน้ำมันหรือถูกทำให้เป็นของเหลวและเก็บเป็นก๊าซธรรมชาติเหลว LNG (Liquefied natural gas) โดยทำให้อุณหภูมิลดลงถึง - 118 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 13.5 บรรยากาศ มีเทน ซึ่งเป็นองค์ประกอบใหญ่จะกลายเป็นของเหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่า - 162 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ ซึ่งสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกสู่บริเวณที่ต้องการใช้ก๊าซเชื้อเพลิง

ก๊าซธรรมชาติเป็นก๊าซที่มีสีและกลิ่นน้อยมาก จะผสมตัวอยู่ส่วนบนสุดของบ่อน้ำมันหรือบ่อก๊าซ มีค่าความร้อนประมาณ 25 - 40 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร ก๊าซนี้อาจจะประกอบด้วยสารที่ไม่สันดาปเล็กน้อย เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน และไอน้ำ

ก๊าซส่วนมากที่ออกมาจากตัวแยกของเหลวและก๊าซที่บ่อน้ำมันยังคงมีสัดส่วนของไฮโดรคาร์บอนเหลวในสถานะไออยู่ด้วย จะมีปริมาณน้ำมันเบนซินน้อยกว่า 0.15 ลูกบาศก์เมตร ต่อ ก๊าซหนึ่ง 1,000 ลูกบาศก์เมตร สารประกอบไฮโดรคาร์บอนเบาในก๊าซชิ้นนั้นจะเป็นโพรเพน บิวเทน และเพนเทน มากที่สุด

##### 2.1.2 ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquefied petroleum gas)

ก๊าซปิโตรเลียมเหลวหรือ LPG หมายถึง ก๊าซที่ถูกนำมาทำให้เป็นของเหลว โดยก๊าซจะถูกอัดตัวให้เป็นของเหลวภายใต้ความดันสูง เพื่อความสะดวกต่อการเก็บและการขนส่ง เมื่อลดความดันของก๊าซเหลวลง ก๊าซเหลวก็จะกลายเป็นไอและสามารถนำไปใช้ได้ตามวัตถุประสงค์

ก๊าซปิโตรเลียมเหลว ได้จากการกลั่นแยกน้ำมันดิบหรือก๊าซธรรมชาติแล้วบรรจุภาชนะภายใต้ความดันสูง องค์ประกอบที่สำคัญของ LPG ได้แก่ โพรเพน และบิวเทน ซึ่งมีชื่อเรียกทางการค้าหลายชื่อ เช่น ก๊าซปิโตรเลียมเหลว ก๊าซหุงต้ม ก๊าซเหลว เป็นต้น LPG เป็น

ก๊าซไม่มีกลิ่น ฉะนั้นเพื่อความปลอดภัยจึงต้องเติมกลิ่นลงไป เพื่อเตือนให้ทราบกรณีก๊าซรั่ว สารที่เติมลงไปคือ เอทิลเมอร์แคปแทน (Ethylmercaptan) , ไทโอเฟนซัลไฟด์ (Thiophane sulphide) ฯลฯ โดยเติม 680 กรัมต่อ 1,000 แกลลอนของ LPG สารที่เติมลงไปนี้จะต้องไม่เป็นพิษหรือมีปฏิกิริยาทางเคมี และจะต้องแพร่กระจายปกติและไม่ละลายน้ำ นอกจากนั้นต้องเผาไหม้ได้สมบูรณ์ ไม่เหลือสิ่งที่เป็นพิษหรือกลิ่นไว้

LPG ได้จากธรรมชาติ ซึ่งขุดพบในบ่อน้ำมันหรือบ่อก๊าซและกลั่นตัวในโรงกลั่น LPG นอกจากจะมีองค์ประกอบสำคัญ คือ โพรเพน และบิวเทนแล้ว อาจมีสารประกอบอื่นร่วมอยู่ด้วย เช่น โพรพิลีนบิวเทน และไอโซบิวเทน ซึ่งมีน้ำหนักมากกว่าอากาศ อุณหภูมิติดไฟไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับสมบัติของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ผสมอยู่ LPG มีเลขออกเทนสูงกว่าน้ำมันเบนซิน จึงเหมาะกับเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนการอัดสูง จึงทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สูงขึ้น

LPG ไม่เป็นพิษกับการหายใจแต่จะทำให้เสียชีวิตได้หากมีการรั่วจากถังเก็บเนื่องจากไปแย่งอากาศในห้องทำให้ออกซิเจนไม่เพียงพอ

## 2.2 เครื่องจักรไอน้ำ

เครื่องจักรไอน้ำ (steam engine) เป็นเครื่องจักรความร้อนประเภทสันดาปภายนอก (external combustion) ที่มีหลักการทำงานโดยการขยายตัวและลดความดันของไอน้ำในกระบอกสูบ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของลูกสูบหรือเกิดพลังงานกลของลูกสูบ

### 2.2.1 ประเภทของเครื่องจักรไอน้ำ

2.2.1.1 เครื่องจักรแนวราบ เป็นเครื่องจักรไอน้ำที่ประกอบด้วย กระบอกสูบ เพลลาข้อเหวี่ยงและส่วนเคลื่อนที่ต่าง ๆ อยู่ในแนวระดับ

2.2.1.2 เครื่องจักรแนวตั้ง เป็นเครื่องจักรไอน้ำที่มีองค์ประกอบคล้ายกันกับเครื่องจักรแนวราบแต่การเคลื่อนที่ของลูกสูบจะอยู่ในแนวตั้ง นั่นคือชุดเพลลาข้อเหวี่ยงจะอยู่บนหรือล่างของกระบอกสูบในแนวตั้ง

2.2.1.3 เครื่องจักรตัววี (V) ประกอบด้วยลูกสูบ 2 ชุด จัดวางเป็นรูปตัววี (V) โดยใช้เพลลาข้อเหวี่ยงร่วมกัน

2.2.1.4 เครื่องจักรทำงานด้านเดียว หมายถึง เครื่องจักรที่ให้ไอน้ำเข้าสู่กระบอกสูบเฉพาะด้านหัวลูกสูบเท่านั้น

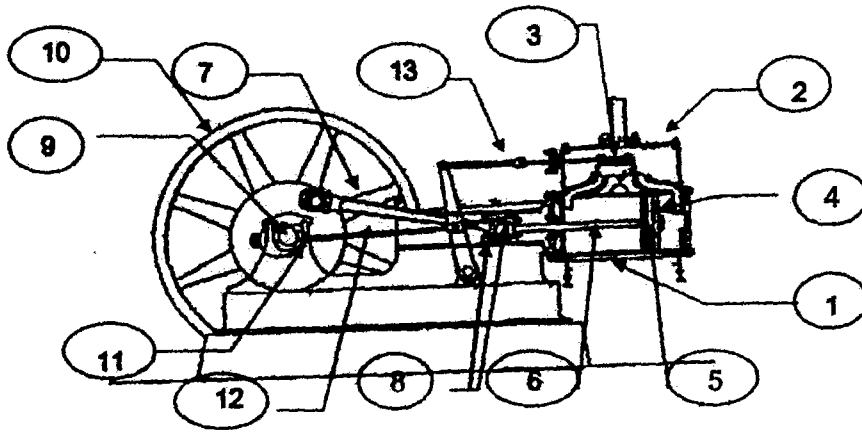
2.2.1.5 เครื่องจักรทำงานสองด้าน หมายถึง เครื่องจักรที่ให้ไอน้ำดันลูกสูบทั้งด้านหัวลูกสูบและด้านท้ายลูกสูบโดยดันสลับกัน

2.2.1.6 เครื่องจักรลูกสูบชัก หมายถึง เครื่องจักรที่มีลูกสูบเคลื่อนที่ไปมาเป็นเส้นตรงในกระบอกสูบ

2.2.1.7 เครื่องจักรลูกสูบหมุน หมายถึง เครื่องจักรที่มีลูกสูบเคลื่อนที่แบบหมุนเป็นวงกลมหรือโค้งและเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกัน

### 2.2.2 ส่วนประกอบของเครื่องจักรไอน้ำ

เครื่องจักรไอน้ำแต่ละประเภทอาจมีส่วนประกอบในรายละเอียดที่แตกต่างกัน แต่จะมีส่วนประกอบที่สำคัญคล้าย ๆ กัน ดังนี้



ภาพประกอบ 113 ส่วนประกอบของเครื่องจักรไอน้ำ

- 1) เรือนสูบหรือกระบอกสูบ (Cylinder) มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกกลมกลวง ผิวภายในขัดเรียบ
- 2) ห้องลั่น (Steam chest) เป็นห้องที่มีลิ้นเครื่องจักรอยู่ภายในและจะเจาะเป็นช่องสามช่อง ช่องกลางเป็นช่องไอเสียและที่เหลืออีกสองช่องเป็นช่องไอดี โดยจะต่อเชื่อมกับกระบอกสูบ
- 3) ลิ้น (Valve) จะทำหน้าที่ ปิด - เปิด ไอน้ำให้ไหลเข้าและออกจากกระบอกสูบ
- 4) ลูกสูบ (Piston) มีลักษณะผิวหน้าเป็นรูปทรงกระบอกกลม สวมพอดีกับกระบอกสูบ ผิวรอบ ๆ เจาะเป็นร่องสำหรับใส่แหวน ตรงกลางเจาะรูยึดติดแน่นกับก้านสูบด้วยนอต
- 5) แหวนลูกสูบ (Piston ring) เป็นแหวนโลหะสวมอยู่ในร่องรอบลูกสูบ ทำหน้าที่ป้องกันการรั่วไหลของไอน้ำภายในกระบอกสูบ
- 6) ก้านสูบ (Piston rod) เป็นท่อนโลหะยาว ปลายหนึ่งยึดติดกับลูกสูบ อีกปลายหนึ่งต่อกับข้อต่อทำหน้าที่ถ่ายทอดแรงและการเคลื่อนที่ของลูกสูบไปยังก้านต่อ
- 7) ก้านต่อ (Connecting rod) เป็นท่อนโลหะปลายหนึ่งเชื่อมโยงกับก้านสูบด้วยข้อต่อ อีกปลายหนึ่งยึดติดอยู่กับเพลาค้อเหวี่ยง ทำหน้าที่ถ่ายทอดแรงและการเคลื่อนที่ของลูกสูบไปยังเพลาค้อเหวี่ยง
- 8) ข้อต่อ (Crosshead) เป็นส่วนที่ต่อก้านสูบและก้านต่อเข้าด้วยกัน ข้อต่อจะเคลื่อนที่อยู่ในกรอบนำทางข้อต่อ (Crosshead guide frame)
- 9) เพลาค้อเหวี่ยง (Crank shaft) เป็นเพลาลูกสูบทำหน้าที่ถ่ายทอดแรงและการเคลื่อนที่ของลูกสูบออกไปใช้งาน
- 10) ล้อช่วย (Flywheel) เป็นล้อโลหะมีน้ำหนักมากติดอยู่กับเพลาค้อเหวี่ยง ทำให้เพลาค้อเหวี่ยงหมุนด้วยความเร็วสม่ำเสมอ

- 11) วงเดือน (Eccentric) มีลักษณะเป็นลูกเบี้ยวหรือจานเอียงศูนย์ ทำหน้าที่บังคับการปิด - เปิดลิ้น
- 12) ขาวงเดือน (Eccentric rod) มีลักษณะคล้ายกับก้านต่อของเครื่องจักร ปลายหนึ่งต่อกับวงเดือน อีกปลายหนึ่งต่อกับคันโยกก้านลิ้น(Rocker)
- 13) ก้านลิ้น (Valve rod) เป็นก้านที่ต่ออยู่กับกับลิ้นเลื่อน และคันโยกก้านลิ้น ทำหน้าที่รับอาการเคลื่อนที่จากวงเดือนเพื่อปิด - เปิดลิ้นไอน้ำ

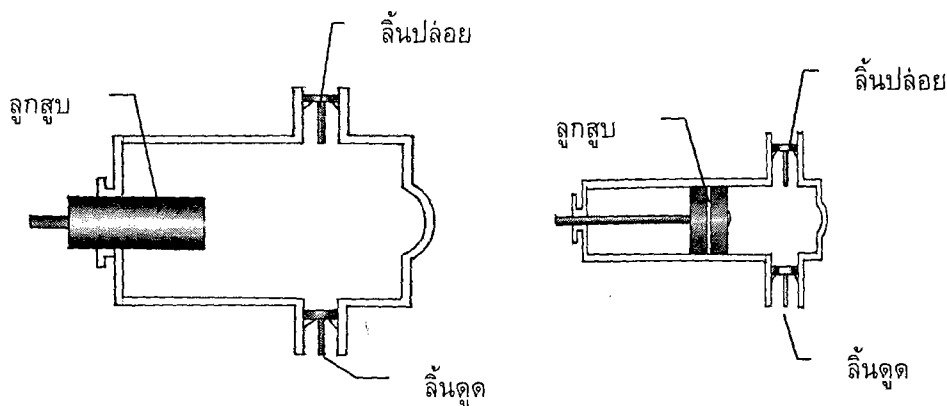
### 2.3 เครื่องสูบน้ำอัดกระแทกกลับ

เครื่องสูบน้ำอัดกระแทกกลับ (Reciprocating pumps) คือเครื่องสูบน้ำที่มีส่วนประกอบทำให้เกิดการดูดและการอัด เคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมา เหมาะสำหรับสูบของเหลวปริมาณไม่มากแต่ต้องการความดันสูงและของเหลวสะอาดเครื่องสูบน้ำอัดกระแทกกลับ แบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ ดังนี้

2.3.1 เครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบ เป็นเครื่องสูบน้ำที่สามารถสูบน้ำส่งได้ระยะสูงมาก ความดันข้างปล่อยสามารถทำได้สูงถึง 1,000 บาร์เกจ หรือมากกว่า จะได้ปริมาณของเหลวที่สูบน้ำน้อย ความเร็วรอบในการทำงานประมาณ 100 – 300 รอบต่อนาที ประสิทธิภาพเชิงกลอยู่ในเกณฑ์สูง ประมาณ 0.7 – 0.95

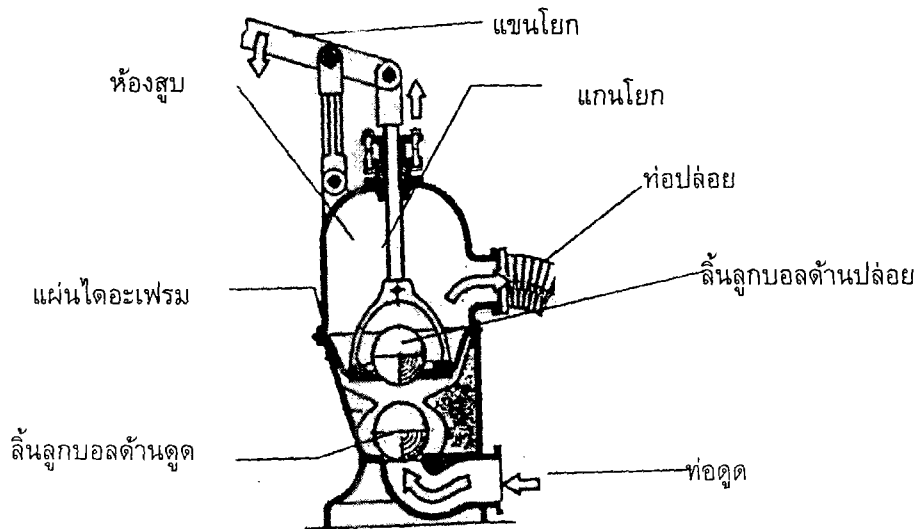
วัสดุที่ใช้สร้างเครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบโดยทั่วไป วัสดุที่ใช้สร้างฐานเครื่องสูบน้ำ ระบายออกสูบน้ำ ทำด้วยเหล็กหล่อ เกรนละเอียด บุกลูกสูบ ลูกสูบ ทำด้วยบรอนซ์ที่ทนน้ำทะเลได้ สลักลูกสูบทำด้วยเหล็กไร้สนิม ก้านสูบทำด้วยเหล็กเหนียวหล่อ

เครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบ จำแนกตามลักษณะการสร้างได้ 2 ลักษณะ คือ ลูกสูบจุ่ม (Plunger) และลูกสูบแผ่น (Piston) เครื่องสูบน้ำแบบจุ่มจะมีลูกสูบเป็นรูปทรงกระบอกยาวและจุ่มลงไปในส่วนที่ต้องการสูบโดยตรง ส่วนเครื่องสูบน้ำแบบแผ่นจะมีลูกสูบที่สั้นกว่า ลูกสูบอาจมีกรอบโครงและมีแผ่นยางหนัง ไฟเบอร์ หรือวัสดุอื่น ๆ ปิดกันโครงนั้นทำหน้าที่เป็นลูกสูบ



ภาพประกอบ 114 (ก) เครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบจุ่ม (ข) เครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบแผ่น

2.3.2 เครื่องสูบลมแบบไดอะแฟรม เป็นเครื่องสูบลมที่ใช้แผ่นไดอะแฟรมทำงานแทนลูกสูบ โดยแผ่นนี้มีความอ่อนตัวได้ดีโดยขยับขึ้นลงได้ด้วย แขนดิ่งหรือแขนโยก



ภาพประกอบ 115 เครื่องสูบลมแบบแผ่นไดอะแฟรม

การทำงานของเครื่องสูบลมแบบไดอะแฟรม

จังหวะที่ 1 เมื่อแกนโยกเคลื่อนที่ขึ้น ลิ้นด้านปล่อยจะปิด ดันให้น้ำปล่อยออกทางท่อปล่อย ขณะเดียวกันลิ้นด้านดูดก็จะเปิดทำให้น้ำไหลเข้าห้องสูบด้านล่างของแผ่นไดอะแฟรม ฉะนั้นในจังหวะนี้ เครื่องสูบลมจะทำหน้าที่ทั้งดูดและปล่อยพร้อมกัน

จังหวะที่ 2 เมื่อแกนโยกเคลื่อนที่ลง ลิ้นด้านปล่อยจะเปิดออกทำให้น้ำจากห้องสูบด้านล่างไหลเข้าสู่ห้องสูบด้านบนของแผ่นไดอะแฟรม ขณะเดียวกันลิ้นด้านดูดจะปิดป้องกันไม่ให้น้ำไหลกลับลงทางท่อดูด

เครื่องสูบลมชนิดนี้เหมาะที่จะใช้กับของเหลวที่มีของแข็งแขวนลอยในของเหลว เพราะถ้าใช้กับเครื่องสูบลมแบบลูกสูบ อาจจะทำให้กระบอกสูบสึกกร่อนได้

### 3. เครื่องมือและอุปกรณ์

|  |   |         |
|--|---|---------|
| 3.1 ชุดเตาแก๊สหุงต้ม                       | 1 | ชุด     |
| 3.2 หม้อความดันประกอบท่อไอน้ำ              | 1 | ชุด     |
| 3.3 เครื่องจักรไอน้ำ ชนิดลูกสูบ            | 1 | เครื่อง |
| 3.4 เครื่องสูบลมอัดกระแทกกลับแบบลูกสูบจุ่ม | 1 | เครื่อง |

#### 4. วิธีการทดลอง

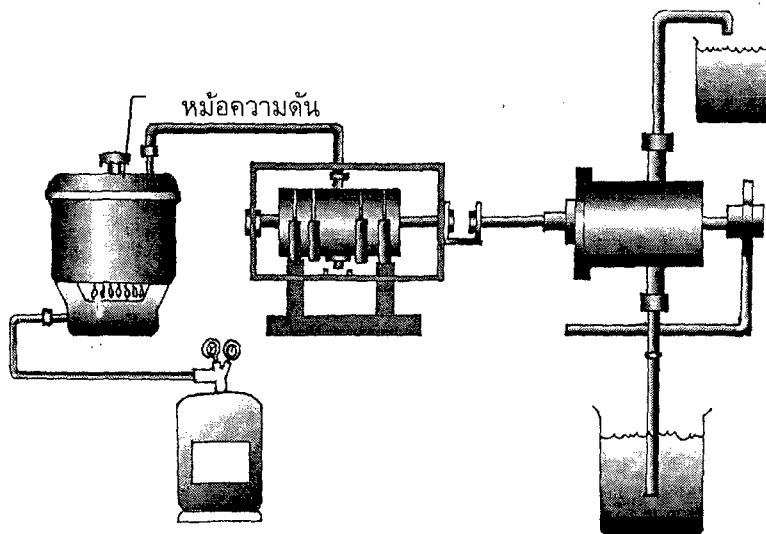
- 4.1 เติมน้ำในหม้อความดันประมาณครึ่งหม้อ แล้วปิดฝาหม้อให้สนิทไม่ให้ไอน้ำออกมาได้
- 4.2 เชื่อมต่อท่อไอน้ำระหว่างหม้อความดันกับเครื่องจักรไอน้ำแล้วนำไปวางบนเตาแก๊ซหุงต้ม
- 4.3 จุดไปที่เตาแก๊ซจนกระทั่งน้ำเดือดเป็นไอ แล้วปล่อยให้เครื่องทำงาน
- 4.4 ปรับเสตดแตดติกในการสูบน้ำให้เหมาะสม
- 4.5 เมื่อเครื่องสูบน้ำได้ประมาณ 15 นาที แล้วให้ทำการวัดปริมาณน้ำที่สูบน้ำได้ และปริมาณแก๊ซหุงต้มที่ใช้ไปในการสูบน้ำ
- 4.6 คำนวณหาค่าพลังงานของเครื่องสูบน้ำจากการทำงานในการสูบน้ำ จาก

$$E = mgh$$

|       |     |   |
|-------|-----|---|
| เมื่อ | $E$ | คือ พลังงานที่เครื่องจักรใช้ในการสูบน้ำ           |
|       | $m$ | คือ มวลของน้ำที่สูบน้ำได้                         |
|       | $g$ | คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง               |
|       | $h$ | คือ เสตดแตดติกรวมหรือความสูงที่น้ำถูกสูบน้ำขึ้นไป |

- 4.7 คำนวณหาค่าพลังงานที่ใช้ไปในการสูบน้ำโดยคำนวณจากมวลของแก๊ซหุงต้มที่ใช้ไปในการสูบน้ำ ด้วยการชั่งน้ำหนักของแก๊ซก่อนและหลังการทำงานของเครื่องสูบน้ำ
- 4.8 คำนวณหาค่าประสิทธิภาพของระบบเครื่องสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้แก๊ซหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง จาก

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{พลังงานที่เครื่องจักรใช้ในการสูบน้ำ}}{\text{พลังงานจากแก๊ซหุงต้มที่ใช้ไป}}$$



ภาพประกอบ 116 ระบบเครื่องสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้แก๊ซหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง

### 5. ผลการทดลองและการคำนวณ

ตาราง 1 เฮดสแตตติกรวม 1.00 เมตร

| ครั้งที่ | เวลา<br>s | ปริมาตร<br>น้ำ<br>lit | มวลของน้ำ<br>kg | พลังงานของ<br>เครื่องจักร<br>J | มวลของ<br>ก๊าซที่ใช้<br>g | พลังงาน<br>จากก๊าซ<br>J | ประสิทธิ<br>ภาพ<br>% |
|----------|-----------|-----------------------|-----------------|--------------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------|
| 1        |           |                       |                 |                                |                           |                         |                      |
| 2        |           |                       |                 |                                |                           |                         |                      |
| 3        |           |                       |                 |                                |                           |                         |                      |

ประสิทธิภาพเฉลี่ย.....%

ตาราง 2 เฮดสแตตติกรวม 1.50 เมตร

| ครั้งที่ | เวลา<br>s | ปริมาตร<br>น้ำ<br>lit | มวลของน้ำ<br>kg | พลังงานของ<br>เครื่องจักร<br>J | มวลของ<br>ก๊าซที่ใช้<br>g | พลังงาน<br>จากก๊าซ<br>J | ประสิทธิ<br>ภาพ<br>% |
|----------|-----------|-----------------------|-----------------|--------------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------|
| 1        |           |                       |                 |                                |                           |                         |                      |
| 2        |           |                       |                 |                                |                           |                         |                      |
| 3        |           |                       |                 |                                |                           |                         |                      |

ประสิทธิภาพเฉลี่ย.....%

ตาราง 3 เฮดสแตตติกรวม 2.00 เมตร

| ครั้งที่ | เวลา<br>s | ปริมาตร<br>น้ำ<br>lit | มวลของน้ำ<br>kg | พลังงานของ<br>เครื่องจักร<br>J | มวลของ<br>ก๊าซที่ใช้<br>g | พลังงาน<br>จากก๊าซ<br>J | ประสิทธิ<br>ภาพ<br>% |
|----------|-----------|-----------------------|-----------------|--------------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------|
| 1        |           |                       |                 |                                |                           |                         |                      |
| 2        |           |                       |                 |                                |                           |                         |                      |
| 3        |           |                       |                 |                                |                           |                         |                      |

ประสิทธิภาพ.....%

## 6. คำถามท้ายบทปฏิบัติการ

- 6.1 จงอธิบายการทำงานของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้ากังหันก๊าซ
- 6.2 จงอธิบายการเกิดก๊าซปิโตรเลียมในธรรมชาติ และแหล่งก๊าซปิโตรเลียมในประเทศไทยมีอยู่ที่ใดบ้าง นำไปใช้ประโยชน์อะไรบ้าง
- 6.3 การกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมมีกระบวนการอย่างไร
- 6.4 เครื่องยนต์สันดาปภายนอกและเครื่องยนต์สันดาปภายในแตกต่างกันอย่างไรจงอธิบาย
- 6.5 ก๊าซชีวภาพคืออะไร และมีวิธีการทำก๊าซชีวภาพใช้เองได้อย่างไรจงอธิบาย

## บทปฏิบัติการที่ 8

### การหาประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

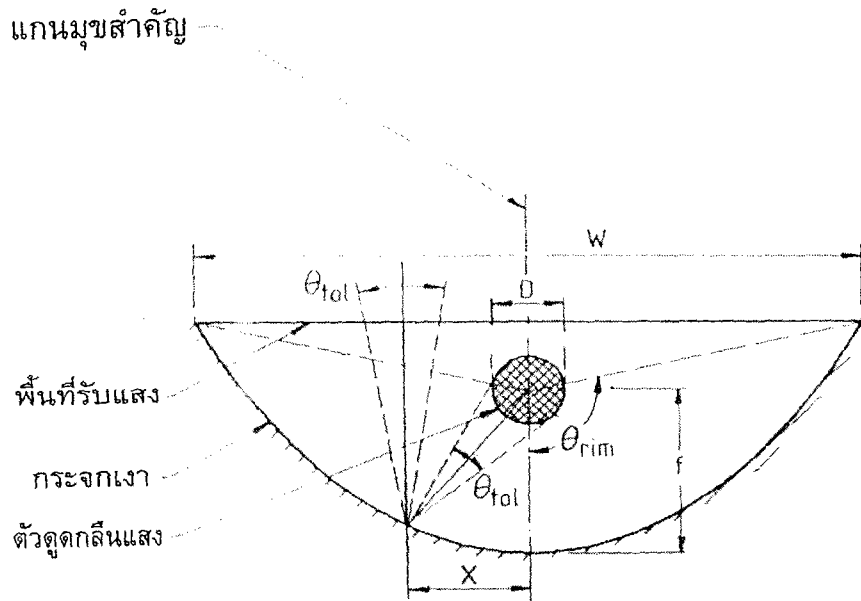
#### 1. จุดประสงค์

- 1.1 เพื่อศึกษาระบบการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งระบบ
- 1.2 เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งระบบ

#### 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1 รางรวมแสงพาราโบลา

รางรวมแสงพาราโบลา (Parabola – trough concentrating) มีลักษณะเป็นรางหรือทรงกระบอกผ่าซีกที่มีหน้าตัดเป็นรูปพาราโบลา



ภาพประกอบ 117 ภาพหน้าตัดของรางรวมแสงพาราโบลา

โดยผิวหน้าเป็นกระบอกเงาสะท้อนแสง กระบอกนี้จะทำหน้าที่สะท้อนแสงไปยังตัวดูดกลืน ถ้าวางรางรวมแสงให้อยู่ในแนวทิศที่ลำแสงขนานกับแกนमुखสำคัญ จะทำให้แสงที่สะท้อนจากกระบอก ไปรวมกันที่ท่อดูดกลืนแสง (Tubular absorber) ซึ่งจะได้สัดส่วนความเข้มแสง (Concentration ratio) เป็น

$$C = \frac{WI}{2\pi r l} = \frac{W}{\pi D} \quad (8.1)$$

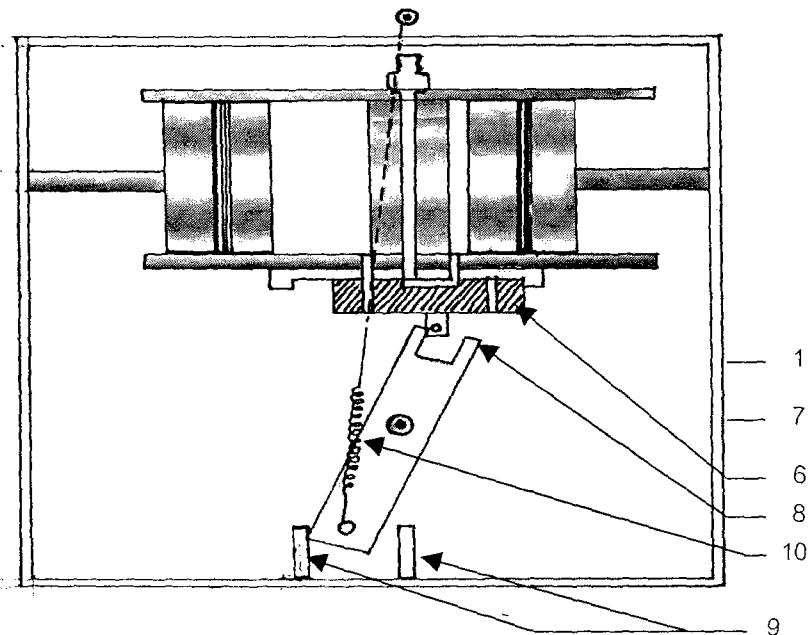
เมื่อ  $W$  เป็นความกว้างของรางรวมแสง และ  $r, D$  เป็นรัศมีและเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อดูดกลืนแสง ตามลำดับ  $l$  เป็นความยาวของรางรวมแสง โดยนิยาม "สัดส่วนความเข้มแสงคือ สัดส่วนระหว่างพื้นที่ที่รับแสงต่อพื้นที่ของภาพดวงอาทิตย์" ท่อดูดกลืนแสงจะสามารถดูดกลืนแสงที่สะท้อนมาจากกระจกพาราโบลาได้ในบางมุมที่จำกัดค่าหนึ่ง ขึ้นอยู่กับขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อดูดกลืนแสง มุมดังกล่าวนี้เรียกว่ามุมทอลเลอแรนซ์  $\theta_{tol}$  (Tolerance angle) ซึ่งจะมีค่าเปลี่ยนไปตามตำแหน่งที่รังสีตกกระทบตกบนผิวของกระจก ส่วนมุมทอลเลอแรนซ์เฉลี่ย  $\theta_m$  (Mean tolerance angle) จะหาได้จากค่าเฉลี่ยของมุมทอลเลอแรนซ์เพียงครั้งหนึ่งของพื้นที่รับแสง

รังสีดวงอาทิตย์บนพื้นโลกจะมีองค์ประกอบที่เป็นรังสีตรงและรังสีแพร่กระจาย จะไปตกกระทบที่ตัวดูดกลืนจาก 2 ทางคือ ทางตรงได้แก่รังสีที่มุ่งเข้าสู่ตัวดูดกลืนโดยตรง และทางอ้อมได้แก่รังสีที่สะท้อนจากการสะท้อนเพียงครั้งเดียวจากรางรวมแสงพาราโบลา

## 2.2 เครื่องจักรไอน้ำลูกสูบคู่

เครื่องจักรไอน้ำลูกสูบคู่ เป็นเครื่องจักรที่มีลูกสูบเคลื่อนที่ตามแนวราบ ไอน้ำจะไหลเข้า - ออกทางเดียวกับด้านหัวลูกสูบทั้งสอง ไอน้ำที่ใช้แล้วจะปล่อยทิ้งไปไม่นำมาควบแน่นอีก ระบบกลไก การเคลื่อนที่จะใช้ระบบ "การเยื้องศูนย์" กล่าวคือตำแหน่งของลิ้นเลื่อนจะทำหน้าที่นำไอน้ำเข้ากระบอกสูบด้านหนึ่ง ขณะเดียวกันก็ทำหน้าที่ปล่อยไอน้ำออกจากกระบอกสูบอีกด้านหนึ่ง โดยที่ลิ้นเลื่อนจะอยู่ในตำแหน่งแน่นอน ซึ่งเป็นผลมาจากระบบการเยื้องศูนย์ดังกล่าว

### 2.2.1 ส่วนประกอบของเครื่องจักรไอน้ำลูกสูบคู่ มีส่วนประกอบที่สำคัญ ดังนี้



ภาพประกอบ 118 เครื่องจักรไอน้ำลูกสูบคู่

- 1) กระบอกสูบ มีลักษณะเป็นท่อเหล็กทรงกระบอกกลม เส้นผ่าศูนย์กลางเป็นทรงแปดเหลี่ยมอยู่ภายในท่อ มีจุกทองเหลืองอยู่กึ่งกลางท่อ มีรูไอน้ำเข้าผ่านกึ่งกลางจุกทองเหลือง บริเวณของหน้าตัดของจุกทองเหลืองทั้งสองด้านมีรูไอน้ำเข้าและออกเจาะทะลุผ่านท่อเหล็กทรงกระบอก
- 2) ลูกสูบ มี 2 ลูก เคลื่อนที่อยู่ภายในกระบอกสูบ ทำด้วยทองเหลืองทรงกระบอกกลม มีร่องวงแหวนยาง (O – ring) และวงแหวนยางกันรั่ว
- 3) ก้านสูบ เป็นท่อนเหล็กทรงกระบอกตัน ปลายหนึ่งยึดติดกับลูกสูบอีกปลายหนึ่งยึดติดกับกรอบแข็งที่เชื่อมต่อระหว่างลูกสูบทั้งสอง
- 4) ช่องไอน้ำเข้า ลักษณะเป็นจุกทองเหลืองมีรูตรงกลางตรงกับรูไอน้ำเข้า ยึดติดกับกระบอกสูบ
- 5) กรอบยึดลูกสูบ เป็นโครงเหล็กแข็งยึดกับก้านสูบทั้งสองให้ก้านสูบเคลื่อนที่พร้อมกัน มีขาเกี่ยวสลักติดอยู่ที่โครงเหล็กสองขา
- 6) ลิ้นเลื่อน ทำด้วยทองเหลืองตรงกลางมีร่อง ทั้งสองข้างของร่อง มีรูทะลุให้ไอน้ำไหลผ่านได้ ด้านหลังมีสลักติดอยู่ ทำหน้าที่นำไอน้ำเข้าและระบายไอน้ำออกจากกระบอกสูบตามลำดับ
- 7) รางลิ้นเลื่อน ทำด้วยทองเหลืองเป็นร่องขนาดเท่ากับลิ้นเลื่อน มีรู 3 รู ที่ขนาดและระยะเท่ากับรูที่กระบอกสูบประกบติดกับกระบอกสูบให้รูทั้งสามตรงกัน
- 8) ก้านเลื่อนลิ้น ทำด้วยเหล็กแบน ปลายด้านหนึ่งเป็นง่ามสำหรับเกี่ยวสลักลิ้นเลื่อน และปลายอีกด้านหนึ่งมีสลักติดอยู่ มีแกนยึดตรงกลางหมุนได้คล่อง
- 9) ขาเกี่ยวสลัก จะติดอยู่กับกรอบยึดลูกสูบ ทำหน้าที่เกี่ยวสลักของก้านเลื่อนลิ้น
- 10) สปริงเยื้องศูนย์ ทำให้ก้านเลื่อนลิ้นอยู่ในตำแหน่งซ้ายหรือขวาเท่านั้น

### 2.2.2 หลักการทำงานของเครื่องจักร มีการทำงานอยู่ 2 จังหวะ ดังนี้

จังหวะที่ 1 ลิ้นเลื่อน เลื่อนมาอยู่ทางขวา ทำให้ไอน้ำไหลเข้ากระบอกสูบด้านขวามือ ดันให้ลูกสูบเคลื่อนไปทางขวา พร้อมกับกรอบยึดลูกสูบ ทำให้ขาเกี่ยวสลักเคลื่อนที่ไปเกี่ยวสลักที่ติดอยู่กับก้านเยื้องศูนย์ ก้านเยื้องศูนย์ด้านที่เป็นง่ามจะไปเกี่ยวกับสลักที่ติดอยู่กับลิ้นเลื่อนในตำแหน่งที่ก้านเยื้องศูนย์ “เสียสมดุล” เนื่องจากสปริงเยื้องศูนย์ ง่ามของก้านเยื้องศูนย์ก็จะเลื่อนลิ้นไปทางซ้าย ขณะที่ลิ้นเลื่อนอยู่ในตำแหน่งขวานี้รูไอน้ำของกระบอกสูบด้านซ้ายจะตรงกับรูระบายไอน้ำของลิ้นเลื่อนพอดี เมื่อลูกสูบด้านซ้ายเลื่อนไปทางขวาพร้อมกับลูกสูบด้านขวาก็จะดันไอน้ำออกผ่านทางรูระบายไอน้ำของลิ้นเลื่อน

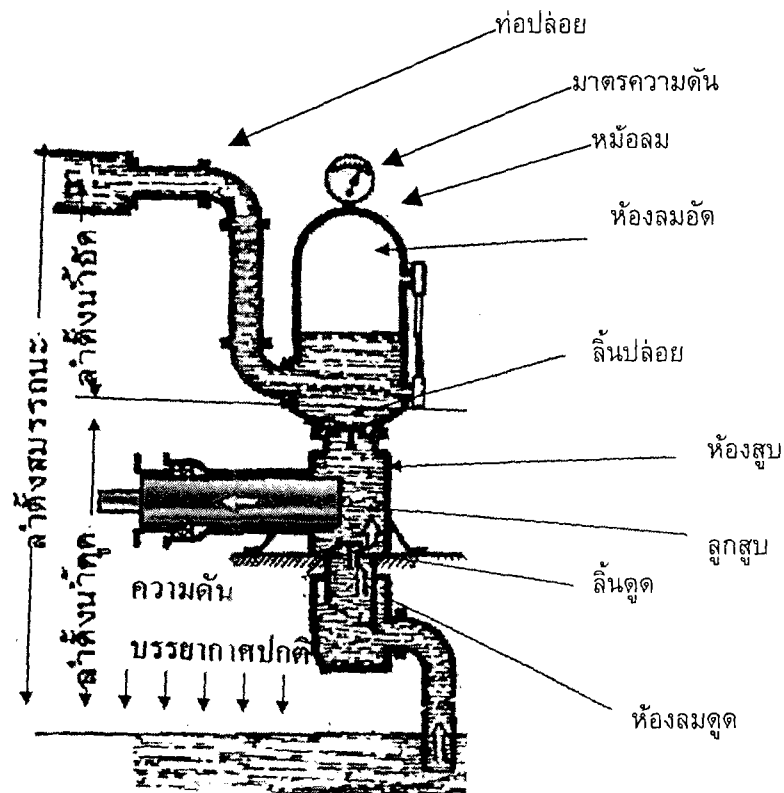
จังหวะที่ 2 เมื่อลิ้นเลื่อนเคลื่อนที่ไปทางซ้าย ร่องไอน้ำบนลิ้นเลื่อนก็จะครอบรูไอน้ำเข้าและรูไอน้ำของกระบอกสูบด้านซ้ายพอดี ทำให้ไอน้ำไหลเข้าสู่กระบอกสูบด้านซ้ายได้และไอน้ำก็จะดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ไปทางซ้ายพร้อมกับกรอบยึดลูกสูบ จนกระทั่งขาเกี่ยวสลักด้านขวาไปเกี่ยวสลักของก้านเยื้องศูนย์ ทำให้ก้านเยื้องศูนย์หมุนและปลายด้านที่เป็นง่ามก็จะไปเกี่ยวสลักของลิ้นเลื่อนซึ่งเป็นตำแหน่งที่ก้านเยื้องศูนย์จะเสียสมดุลอีกครั้งหนึ่ง ง่ามของก้านเยื้องศูนย์ก็จะเลื่อนลิ้นกลับไปอยู่ทางขวามือในทำนองเดียวกันกับจังหวะที่ 1 เมื่อลิ้นเลื่อนอยู่ที่ตำแหน่งซ้ายมือ ระบายไอน้ำด้านขวาของท่อส่งน้ำ

ลื่นลื่นก็จะเคลื่อนที่มาอยู่ตรงกับรูไอน้ำของกระบอกสูบด้านขวาพอดี เมื่อลูกสูบด้านขวาเคลื่อนไปทางซ้ายก็จะดันไอน้ำในกระบอกสูบให้ไหลพุ่งออก,ผ่านรูระบายไอน้ำของลื่นลื่น

เครื่องจักรไอน้ำก็จะทำงานอย่างต่อเนื่องตามจังหวะดังกล่าวข้างต้นและนำเอาอากาศเคลื่อนที่ของลูกสูบไปใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ ได้

### 2.3 เครื่องสูบน้ำประเภทเดี่ยว

เครื่องสูบน้ำประเภทเดี่ยว (Simplex pumps) เป็นเครื่องสูบน้ำชนิดเครื่องสูบน้ำอัดที่สามารถอัดปล่อยได้หนึ่งครั้งในการเคลื่อนที่ของลูกสูบหนึ่งรอบ



ภาพประกอบ 119 เครื่องสูบน้ำประเภทเดี่ยว

2.3.1 ส่วนประกอบของเครื่องสูบน้ำประเภทเดี่ยวประกอบด้วยส่วนสำคัญต่าง ๆ ดังนี้

- 1) ห้องสูบ เป็นกระเปาะทรงกระบอกกลวงมีช่องลูกสูบ ช่องลิ้นตุตอยู่ด้านล่างและช่องลิ้นปล่อยอยู่ด้านบน
- 2) ลูกสูบ เป็นโลหะทองเหลืองตันสามารถเคลื่อนที่เข้า - ออก ภายในห้องสูบ เพื่อปรับปริมาตรภายในห้องสูบ ด้านนอกของลูกสูบติดอยู่กับก้านสูบ
- 3) ลิ้นตุต ทำหน้าที่เปิดให้น้ำเข้าห้องสูบเมื่อความดันในห้องสูบลดลงและปิดไม่ให้น้ำไหลออกเมื่อห้องสูบมีความดันสูงขึ้น

- 4) ลื่นปล่อย ทำหน้าที่เปิดให้น้ำไหลจากห้องสูบลูไปยังห้องลมอัดและปิดไม่ให้น้ำจากห้องลมอัดไหลกลับเมื่อความดันห้องสูบลดลง
- 5) หม้อลม มีลักษณะเป็นถังทรงกระบอกมีช่องเชื่อมต่อกับห้องสูบลู และช่องทางน้ำออก ติดมาตรงความดันไว้ด้านบน ตรงห้องลมและมีท่อบอกระดับน้ำติดอยู่ข้าง ๆ
- 6) ท่อดูด เป็นท่อที่ติดอยู่กับช่องลื่นดูดเพื่อนำน้ำเข้าห้องสูบลู
- 7) ท่อปล่อย เป็นท่อที่ติดอยู่กับช่องทางน้ำออกของหม้อลม เพื่อนำน้ำส่งขึ้นไปในระดับที่สูงขึ้น

2.3.2 การทำงานของเครื่องสูบลูกระแทกเดี่ยว มีการทำงานอยู่ 2 จังหวะ ดังนี้ (ดูภาพประกอบ 119)

- 1) จังหวะดูด เมื่อลูกสูบลูเคลื่อนที่ไปทางซ้าย จะทำให้ห้องสูบลูมีปริมาตรมากขึ้น ความดันลดลงทำให้ลื่นดูดเปิดออกน้ำก็จะไหลเข้าห้องสูบลูขณะเดียวกันลื่นปล่อยจะปิด จังหวะนี้เรียกว่าจังหวะดูด
- 2) จังหวะอัด เมื่อลูกสูบลูเคลื่อนที่ไปซ้ายสุดทำให้ปริมาตรในห้องสูบลูคงที่ ความดันในห้องสูบลูจะเพิ่มขึ้นทำให้ลื่นดูดปิด เมื่อลูกสูบลูเคลื่อนที่ไปทางขวาทำให้ห้องสูบลูมีปริมาตรลดลง ความดันสูงขึ้นอีก น้ำในห้องสูบลูจะดันให้ลื่นปล่อยเปิดออกและไหลเข้าสู่ห้องลมอัด อัดลมให้มีความดันสูงขึ้น ดันให้น้ำไหลออกไปทางท่อปล่อยน้ำ จังหวะนี้เรียกว่า จังหวะอัด จะเห็นได้ว่า ลื่นดูดและลื่นปล่อยของเครื่องสูบลูกระแทกเดี่ยวจะเปิดและปิดสลับกันตามจังหวะดูดและอัดของเครื่องสูบลูตามลำดับหรือการเคลื่อนที่ของลูกสูบลูหนึ่งรอบจะปล่อยน้ำออกมาได้หนึ่งครั้ง

ห้องลมอัด ( air chamber ) มีบทบาทสำคัญในการช่วยลดแรงอัดกระแทกในท่อปล่อยลงได้มาก เพราะทันทีที่ลูกสูบลูแล่นไปสุดจังหวะอัด ลำตัวของน้ำในท่อปล่อยจะหยุดจนกว่าจะเริ่มจังหวะอัดต่อไป ขณะหยุดและตั้งอยู่กับที่ ลำตัวของน้ำในท่อปล่อยจะมีความกดดันลงล่าง ปรากฏเป็นแรงกระแทกเข้าไปในห้องลม ลมอัดในห้องลมจะสามารถรับแรงกระแทกนี้ได้ ทำให้ลื่นปล่อยของเครื่องสูบลูไม่ต้องรับแรงกระแทกน้ำมาก แรงกระแทกเช่นนี้มีชื่อทางเทคนิคว่า "ค้อนน้ำ" (water hammer)

ห้องลมดูดทางด้านดูดก็มีหน้าที่คล้ายกันคือ ช่วยรับแรงกระแทกในขณะที่ลูกสูบลูแล่นไปสุดจังหวะดูด และน้ำหยุดไหลเข้าห้องสูบลูซึ่งจะทำให้เกิดแรงกระแทกทันที ห้องลมดูดก็จะสามารถช่วยลดแรงกระแทกได้ทำให้การไหลของน้ำไม่ชะงัก

### 3. เครื่องมือและอุปกรณ์

|   |   |                   |
|---|---|-------------------|
| 3.1 หลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์                                  | 2 | หลอด เชื่อมต่อกัน |
| 3.2 แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมแสง                          | 2 | แผง               |
| 3.3 เครื่องจักรไอน้ำชนิดลูกสูบลูคู่                           | 1 | เครื่อง           |
| 3.4 เครื่องสูบลูประเภทลูกสูบลูชนิดเครื่องสูบลูอัดกระแทกเดี่ยว | 1 | เครื่อง           |
| 3.5 เครื่องไพร้เฮลิโอมิเตอร์                                  | 1 | เครื่อง           |
| 3.6 เครื่องไพราโนมิเตอร์                                      | 1 | เครื่อง           |
| 3.7 ถังจ่ายน้ำและถังเก็บน้ำ                                   | 2 | ถัง               |

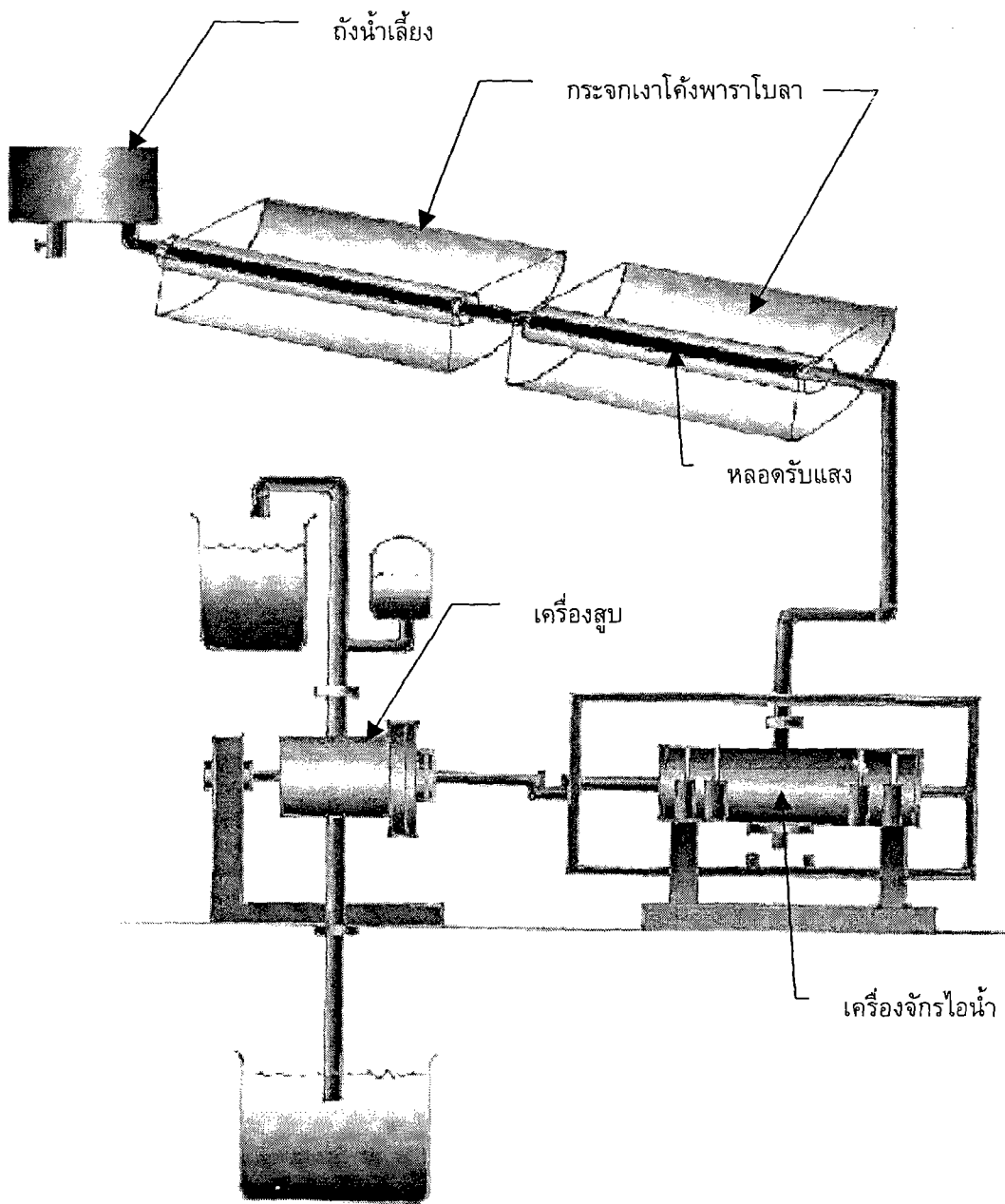
|                                  |   |     |
|----------------------------------|---|-----|
| 3.8 ท่อส่งน้ำ                    | 1 | ท่อ |
| 3.9 ถังน้ำเลี้ยงเครื่องจักรไอน้ำ | 1 | ถัง |

#### 4. วิธีการทดลอง

- 4.1 ประกอบหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์เข้ากับแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมแสงโดยให้หลอดรับพลังงานอยู่ในแนวโฟกัสของแผง
- 4.2 นำท่อนำไอน้ำมาต่อที่ปลายด้านหนึ่งของหลอดรับพลังงานกับเครื่องจักรไอน้ำ
- 4.3 ที่ปลายอีกด้านหนึ่งของหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์ต่อเข้ากับถังน้ำเลี้ยงเครื่องจักรไอน้ำ
- 4.4 ต่อก้านส่งแรงของเครื่องจักรไอน้ำเข้ากับก้านสูบของเครื่องสูบน้ำและต่อท่อจากด้านดูดของเครื่องสูบน้ำไปยังถังจ่ายน้ำและต่อจากด้านปล่อยไปยังถังรับน้ำที่ระดับความสูงค่าหนึ่ง
- 4.5 วางแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ โดยให้แกนमुखสำคัญของพาราโบลาชี้ไปยังดวงอาทิตย์
- 4.6 บันทึกความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรังสีรวมจากเครื่องไพราโนมิเตอร์และรังสีตรงจากเครื่องไพร์เฮลิโอมิเตอร์แล้วนำมาคำนวณหาพลังงานแสงอาทิตย์ที่แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์รับได้
- 4.7 วัดปริมาณน้ำที่สูบได้ในช่วงเวลาเดียวกันกับข้อ 4.6 พร้อมทั้งวัดระยะความสูงในการสูบน้ำหรือเฮดสแตติกรวม (total static head) แล้วคำนวณหาพลังงานที่ใช้ในการสูบน้ำขึ้นไปที่ระยะความสูงดังกล่าว
- 4.8 คำนวณหาประสิทธิภาพของระบบสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งระบบจาก

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{พลังงานที่ใช้ในการสูบน้ำ (ข้อ 4.7)}}{\text{พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกบนแผงรับแสง (ข้อ 4.6)}}$$

- 4.9 ปรับทิศทางแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยวางให้หลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในแนวทิศตะวันออก – ตะวันตก แล้วปรับให้แกนमुखสำคัญของพาราโบลาอยู่ในระนาบทางเดินของดวงอาทิตย์ประจำวัน แล้วบันทึกผลและคำนวณตามข้อ 4.6 – 4.8



ภาพประกอบ 120 เครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

## 5. ผลการทดลองและการคำนวณ

ตอนที่ 1 วางแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยให้แกนमुखสำคัญของแผงพาราโบลาคีไปยังดวงอาทิตย์

ตาราง 1 เฮดสแตตติกรวม = 2 เมตร

| ครั้งที่ | เวลา<br>เริ่มต้น<br>สิ้นสุด | ปริมาณ<br>น้ำที่สูบ<br>ได้ liters | มวลของ<br>น้ำที่สูบ<br>ได้ kg | พลังงาน<br>ของ<br>เครื่อง<br>จักรที่ใช้<br>สูบน้ำ J | ความเข้ม<br>ของรังสี<br>ดวง<br>อาทิตย์<br>รวม<br>$W/m^2$ | ความเข้ม<br>ของรังสี<br>ดวง<br>อาทิตย์<br>ตรง<br>$W/m^2$ | พลังงานที่<br>แผงรับพลัง<br>งานแสง<br>อาทิตย์ได้<br>รับ J | ประสิทธิ<br>ภาพของ<br>ระบบสูบน้ำ<br>ด้วยพลัง<br>งานแสง<br>อาทิตย์ % |
|----------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|---|--|--|---|---|
| 1        |                             |                                   |                               |   |  |  |   |   |
| 2        |                             |                                   |                               |   |  |  |   |   |
| 3        |                             |                                   |                               |   |  |  |   |   |

ประสิทธิภาพเฉลี่ย .....%

ตอนที่ 2 วางแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ในแนวตะวันออก - ตะวันตก โดยให้แกนमुखสำคัญของแผงพาราโบลาคีอยู่ในระนาบทางเดินของดวงอาทิตย์ประจำวัน

ตาราง 2 เฮดสแตตติกรวม = 2 เมตร

| ครั้งที่ | เวลา<br>เริ่มต้น<br>สิ้นสุด | ปริมาณ<br>น้ำที่สูบ<br>ได้ liters | มวลของ<br>น้ำที่สูบ<br>ได้ kg | พลังงาน<br>ของ<br>เครื่อง<br>จักรที่ใช้<br>สูบน้ำ J | ความเข้ม<br>ของรังสี<br>ดวง<br>อาทิตย์<br>รวม<br>$W/m^2$ | ความเข้ม<br>ของรังสี<br>ดวง<br>อาทิตย์<br>ตรง<br>$W/m^2$ | พลังงานที่<br>แผงรับพลัง<br>งานแสง<br>อาทิตย์ได้<br>รับ J | ประสิทธิ<br>ภาพของ<br>ระบบสูบน้ำ<br>ด้วยพลัง<br>งานแสง<br>อาทิตย์ % |
|----------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|---|--|--|---|---|
| 1        |                             |                                   |                               |   |  |  |   |   |
| 2        |                             |                                   |                               |   |  |  |   |   |
| 3        |                             |                                   |                               |   |  |  |   |   |

ประสิทธิภาพเฉลี่ย .....%

## 6. คำถามท้ายบทปฏิบัติการ

- 6.1 ประสิทธิภาพของรางรับพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับปัจจัยใด
- 6.2 จงออกแบบรางรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ท่านคิดว่ามีประสิทธิภาพสูงสุด
- 6.3 ประเทศไทยเหมาะกับการใช้พลังงานแสงอาทิตย์หรือไม่เพราะเหตุใด
- 6.4 นอกจากการนำรางรับพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้กับเครื่องจักรไอน้ำเพื่อทำเครื่องสูบน้ำแล้ว ท่านคิดว่าจะสามารถนำรางพลังงานแสงอาทิตย์ไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ใดได้บ้าง  
จงออกแบบและอธิบายการทำงานของอุปกรณ์ดังกล่าว
- 6.5 การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้ในปัจจุบันสามารถนำไปใช้ในลักษณะใดบ้าง  
จงอธิบาย

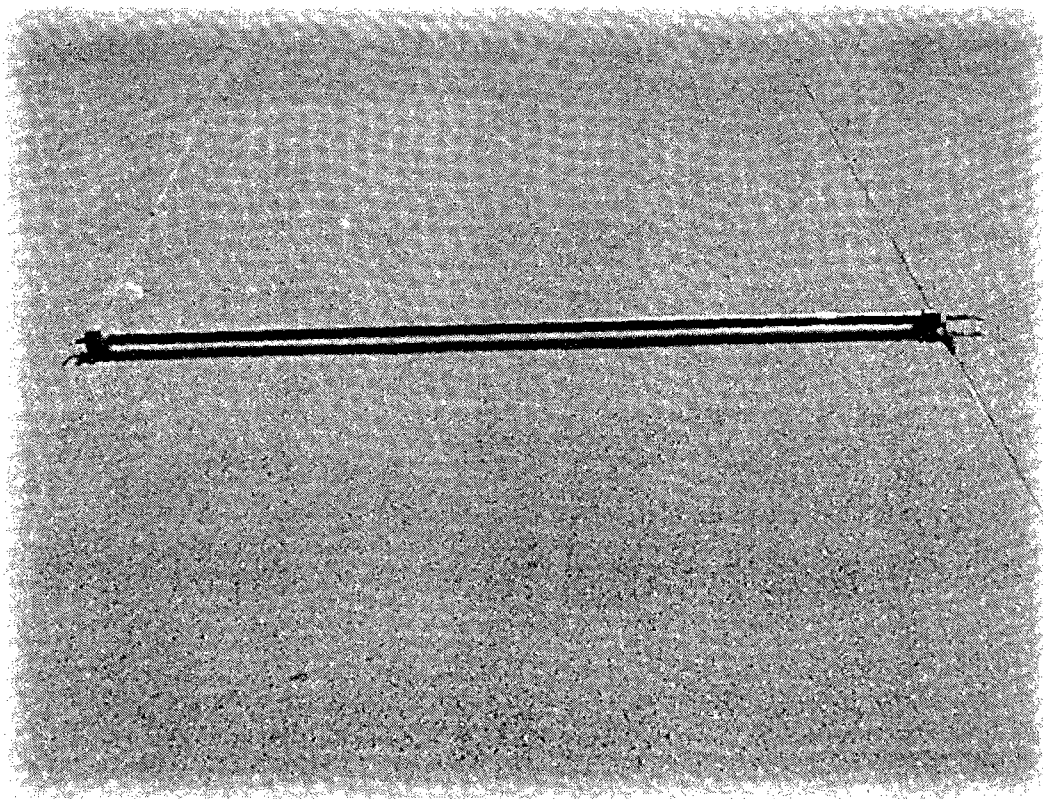
ภาคผนวก ข  
เครื่องมือและอุปกรณ์

## เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ มีทั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้ว ได้แก่ เครื่องมือวัดปริมาณต่าง ๆ และอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทดลอง ซึ่งมีรายการดังต่อไปนี้

### 1. หลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบสุญญากาศ

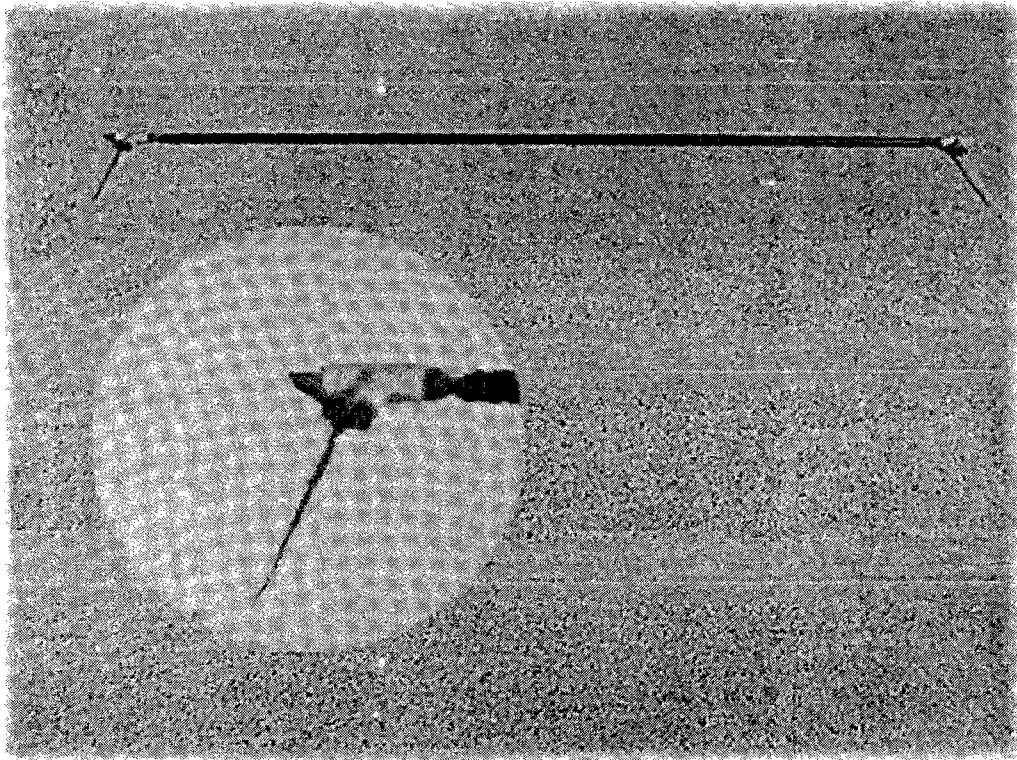
1.1 ลักษณะ ประกอบด้วยท่อเหล็กฟอสฟอรัสดำด้านทนความร้อนสอดใส่อยู่ในหลอดแก้ว และปิดช่องระหว่างปลายหลอดแก้วกับท่อเหล็กทั้งสองข้างด้วยกาวซิลิโคน ต่อท่อดูดอากาศระหว่างท่อเหล็กกับหลอดแก้วสำหรับต่อเข้ากับปั๊มสุญญากาศ



1.2 การนำไปใช้ ใช้ประกอบการทดลองในบทปฏิบัติการที่ 1 หลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบสุญญากาศและบทปฏิบัติการที่ 2 ผลการพาความร้อนของอากาศต่อการเก็บพลังงานของหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน

## 2. ท่อดูดกลืนแสงเปลือย

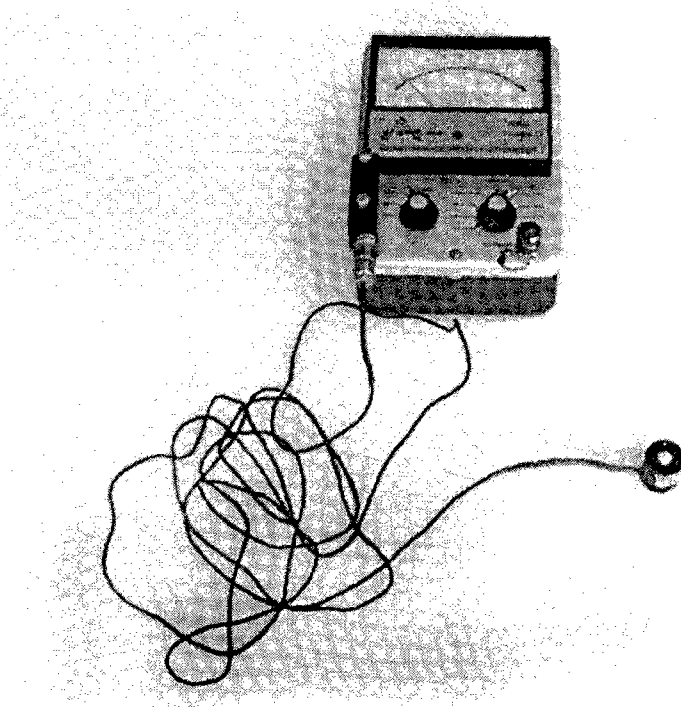
### 2.1 ลักษณะ เป็นท่อเหล็กพ่นสีดำด้านไม่มีหลอดแก้วหุ้ม



2.2 การนำไปใช้ ใช้ประกอบการทดลองในบทปฏิบัติการที่ 2 ผลการพาความร้อนของอากาศต่อการเก็บพลังงานของหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการรับพลังงานกับท่อที่หุ้มด้วยหลอดแก้ว

### 3. ไพราโนมิเตอร์กับมาตรรังสี

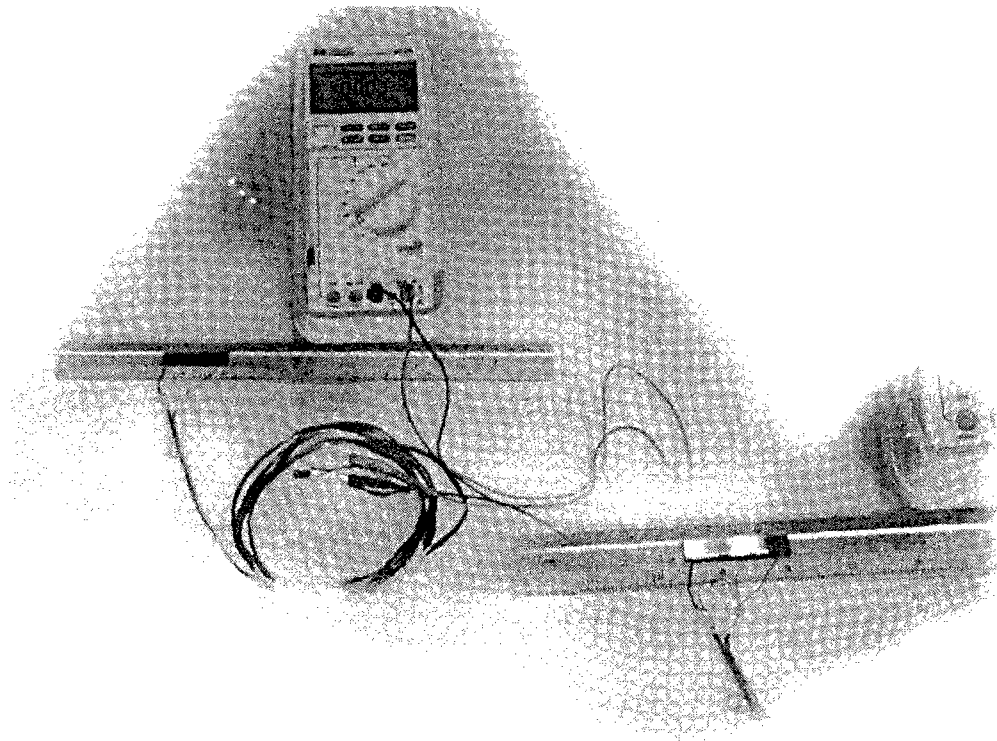
**3.1 ลักษณะ** เป็นเครื่องมือวัดรังสีดวงอาทิตย์แบบที่วัดรังสีทุกความยาวคลื่น ประกอบด้วยเทอร์มอคับเปิลที่ปลายด้านหนึ่งเชื่อมต่อกับแผ่นโลหะสีดำและอีกปลายหนึ่งเชื่อมต่อกับแผ่นโลหะสีขาว เมื่อแผ่นโลหะทั้งสองรับแสงพร้อมกันก็จะเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างปลายทั้งสองของเทอร์มอคับเปิลซึ่งต่อไปยังมาตรรังสี โดยที่ความต่างศักย์นี้จะแปรผันกับความเข้มแสงทำให้เราสามารถวัดความเข้มแสงได้



**3.2 การนำไปใช้** ใช้วัดความเข้มแสงในบทปฏิบัติการที่ 1 หลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบสุญญากาศ บทปฏิบัติการที่ 2 ผลการพาความร้อนของอากาศต่อการเก็บพลังงานของหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์ บทปฏิบัติการที่ 3 เครื่องมือวัดพลังงานแสงอาทิตย์ บทปฏิบัติการที่ 4 การหาประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแบบรวมแสง บทปฏิบัติการที่ 5 การหาประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นราบและบทปฏิบัติการที่ 8 การหาประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

#### 4. เซลล์สุริยะกับมาตรฐานความต่างศักย์

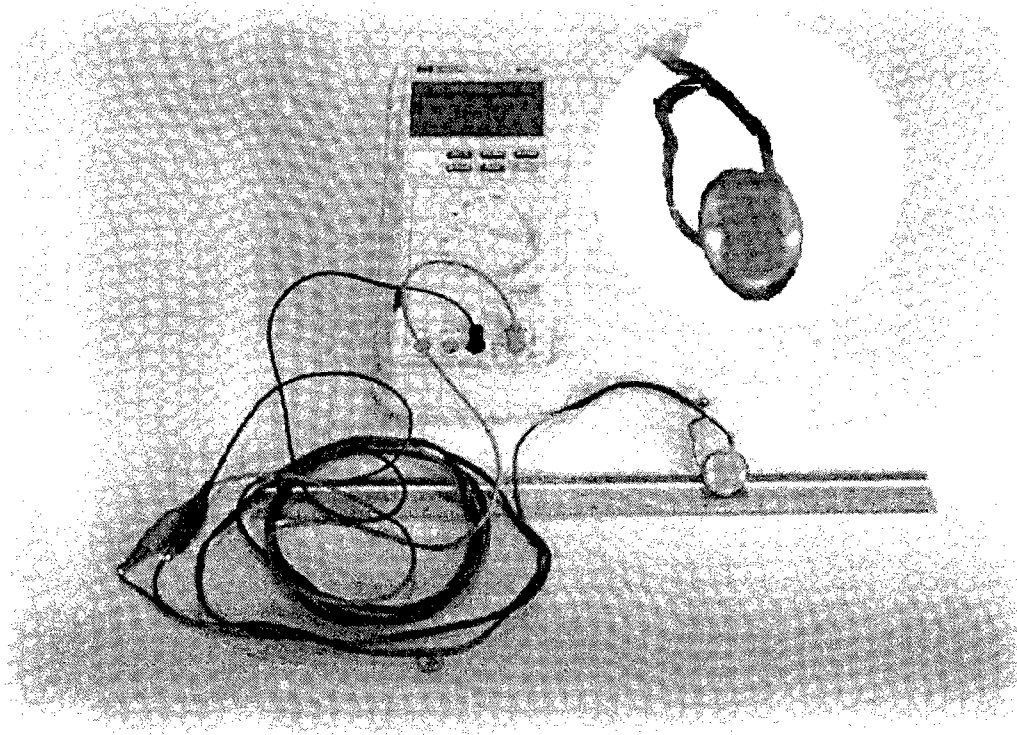
4.1 ลักษณะ เป็นแผ่นเซลล์สุริยะต่ออนุกรมกับตัวต้านทานแล้วนำมาตรฐานความต่างศักย์ต่อขนานกับตัวต้านทานเพื่อวัดศักย์ตกคร่อมที่ตัวต้านทาน



4.2 การนำไปใช้ ใช้วัดความเข้มของแสงอาทิตย์โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่วัดได้กับความเข้มของแสงที่วัดโดยไพราโนมิเตอร์ เปรียบเทียบกัน ใช้ในบทปฏิบัติการที่ 3 เครื่องมือวัดพลังงานแสงอาทิตย์

## 5. ตัวต้านทานแสง (LDR) กับมาตรฐานความต้านทาน

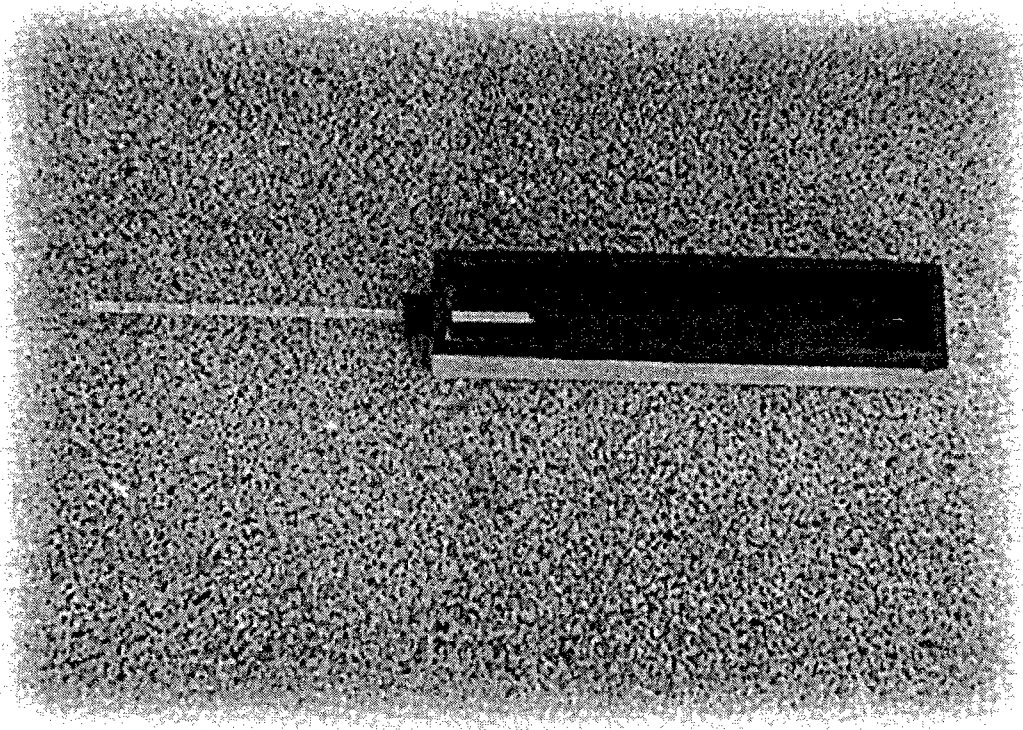
5.1 ลักษณะ เป็นตัวต้านทานที่เปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานได้เมื่อได้รับแสงที่มีความเข้มแตกต่างกัน ต่อขั้วทั้งสองของตัวต้านทานเข้ากับมาตรฐานความต้านทาน



5.2 การนำไปใช้ ใช้ทดลองวัดความเข้มแสงโดยวัดจากความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีแสงความเข้มต่าง ๆ มาตกกระทบ แล้วนำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่างความต้านทานกับความเข้มแสงจะได้กราฟคุณลักษณะของตัวต้านทานแสงตัวนั้น ใช้ในบทปฏิบัติการที่ 3 เครื่องมือวัดพลังงานแสงอาทิตย์

## 6. กล้องดำ

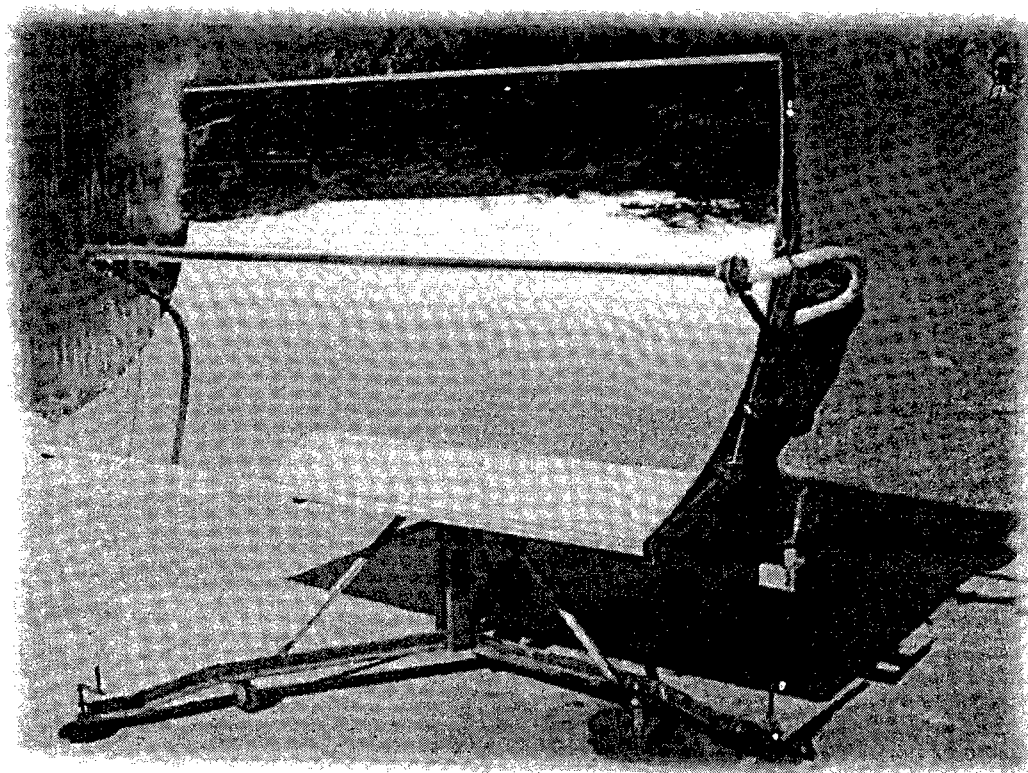
6.1 ลักษณะ เป็นกล่องสี่เหลี่ยมภายในทาสีดำเพื่อให้ดูดกลืนแสงได้เร็ว มีเทอร์โมมิเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิภายในกล่อง ด้านนอกกล่องหุ้มด้วยฉนวน ฝาปิดด้านบนเป็นกระจกโปร่งใส



6.2 การนำไปใช้ ใช้เป็นเครื่องมือในการวัดความเข้มแสงอาทิตย์โดยวัดอุณหภูมิภายในกล่องเปรียบเทียบกับความเข้มแสงที่วัดจากไพราโนมิเตอร์ แล้วนำค่าอุณหภูมิและความเข้มแสงที่วัดได้มาเขียนกราฟ ใช้ในบทปฏิบัติการที่ 3 เครื่องมือวัดพลังงานแสงอาทิตย์

## 7. แผงรวมแสงพาราโบลา

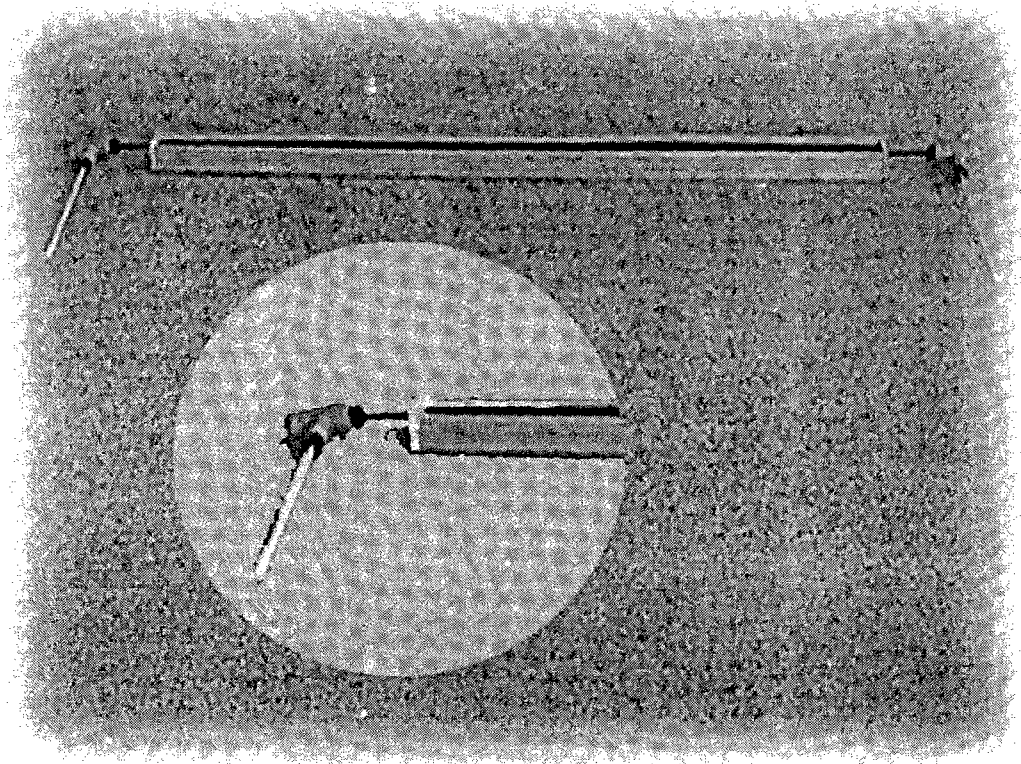
7.1 ลักษณะ เป็นรางกระจกสะท้อนแสงหน้าตัดรูปพาราโบลา วางหลอดรับพลังงานแสงอาทิตย์ตามแนวโฟกัสของพาราโบลา รังสีจากดวงอาทิตย์ที่ขนานกับแกนमुखสำคัญเมื่อตกกระทบกระจก ก็จะสะท้อนไปรวมกันที่หลอดรับพลังงาน



7.2 การนำไปใช้ ใช้ในบทปฏิบัติการที่ 4 การหาประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมแสงและบทปฏิบัติการที่ 8 การหาประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้รวมแสงต้มน้ำในท่อตุ๊กตกลินแสงให้กลายเป็นไอน้ำ

## 8. แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นราบ

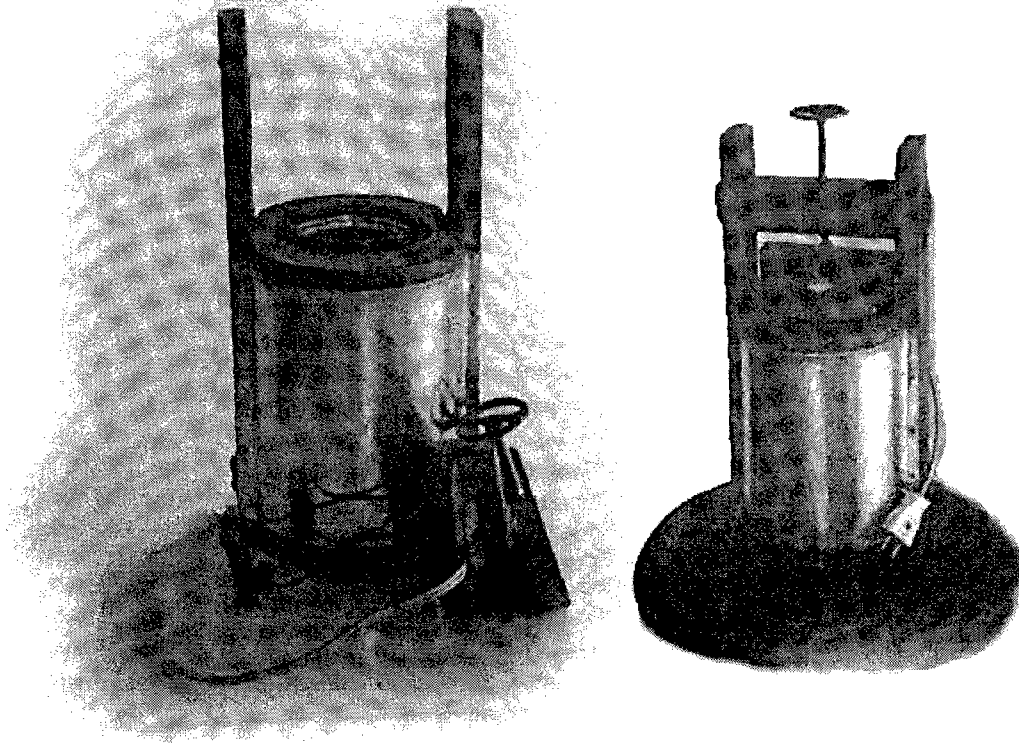
8.1 ลักษณะ เป็นท่อทองแดงเชื่อมติดกับแผ่นสังกะสีรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าสีดำ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวดูดกลืนแสงแล้วถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำในท่อทองแดง ทั้งหมดนี้บรรจุอยู่ในกล่องที่ด้านหน้ามีกระจกโปร่งใสปิด ด้านข้างและล่างมีฉนวนกันความร้อน ปลายทั้งสองข้างของท่อทองแดงโผล่ออกนอกกล่องเพื่อเป็นทางให้น้ำผ่าน



8.2 การนำไปใช้ ใช้ในบทปฏิบัติการที่ 5 ประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นราบ โดยการให้น้ำไหลผ่านท่อทองแดงแล้ววัดอุณหภูมิน้ำเข้าและออก แล้วนำไปคำนวณหาประมาณความร้อนที่น้ำได้รับ ก็จะสามารหาคความเข้มของพลังงานได้

## 9. หม้อต้มน้ำไฟฟ้า

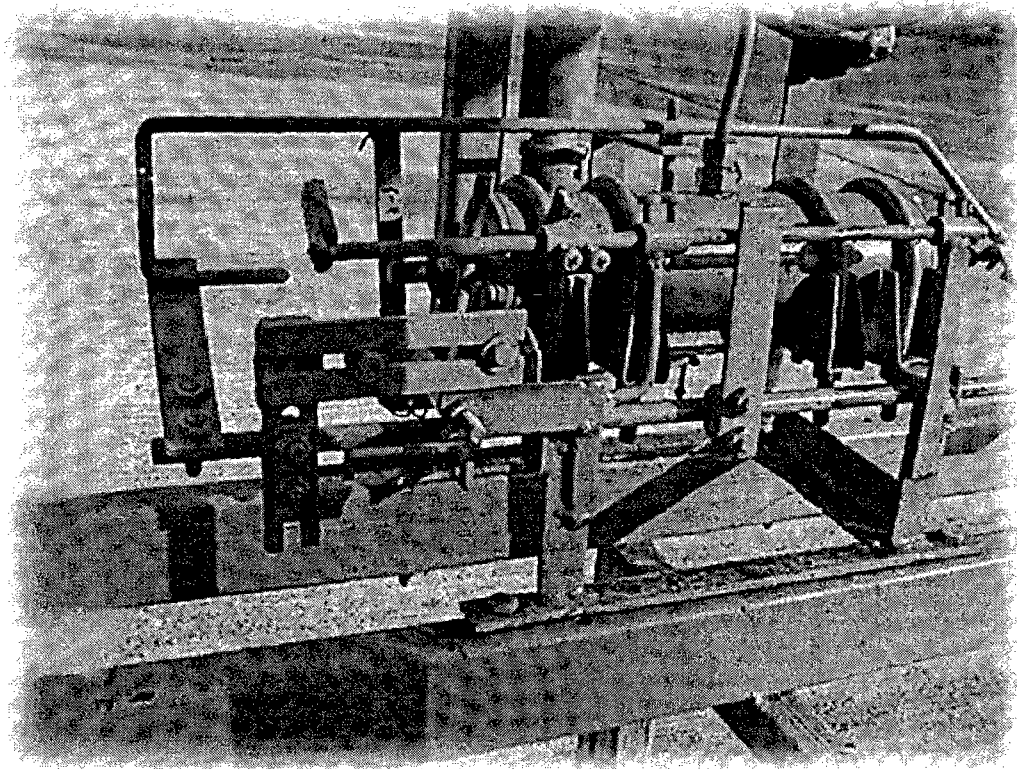
9.1 ลักษณะ เป็นหม้อต้มน้ำที่ประกอบด้วยตัวทำความร้อนซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นโลหะไร้สนิมต่อกับขั้วไฟฟ้าทั้ง 2 ขั้ว วางชิดกันแต่ไม่ติดกัน ขั้วทั้งสองติดตั้งอยู่ที่ฝาของขวดแก้วโดยที่ขวดแก้วนี้จะทำหน้าที่เป็นหม้อต้มน้ำ และที่ฝาขวดนี้จะมีท่อไอน้ำออกมีกลไกที่เป็นคานและสลักเกลียว กดให้ฝาขวดติดกับปากขวด ไม่ให้มีไอน้ำรั่วเมื่อเกิดความดันภายในขวดแก้ว



9.2 การนำไปใช้ ใช้กับบทปฏิบัติการที่ 6 การหาประสิทธิภาพของระบบเครื่องสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้พลังงานไฟฟ้า หม้อต้มน้ำไฟฟ้าจะทำหน้าที่ผลิตไอน้ำให้กับเครื่องจักรไอน้ำ โดยเมื่อจุ่มขั้วไฟฟ้าที่มีแผ่นโลหะไร้สนิมติดอยู่ทั้ง 2 ขั้วลงไปใต้น้ำกระแสไฟฟ้าก็จะไหลผ่านน้ำ ทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนกลายเป็นไอน้ำที่มีความดันสูง พุ่งออกทางท่อไอน้ำออก นำไปใช้ในเครื่องจักรไอน้ำได้

## 10. เครื่องจักรไอน้ำ

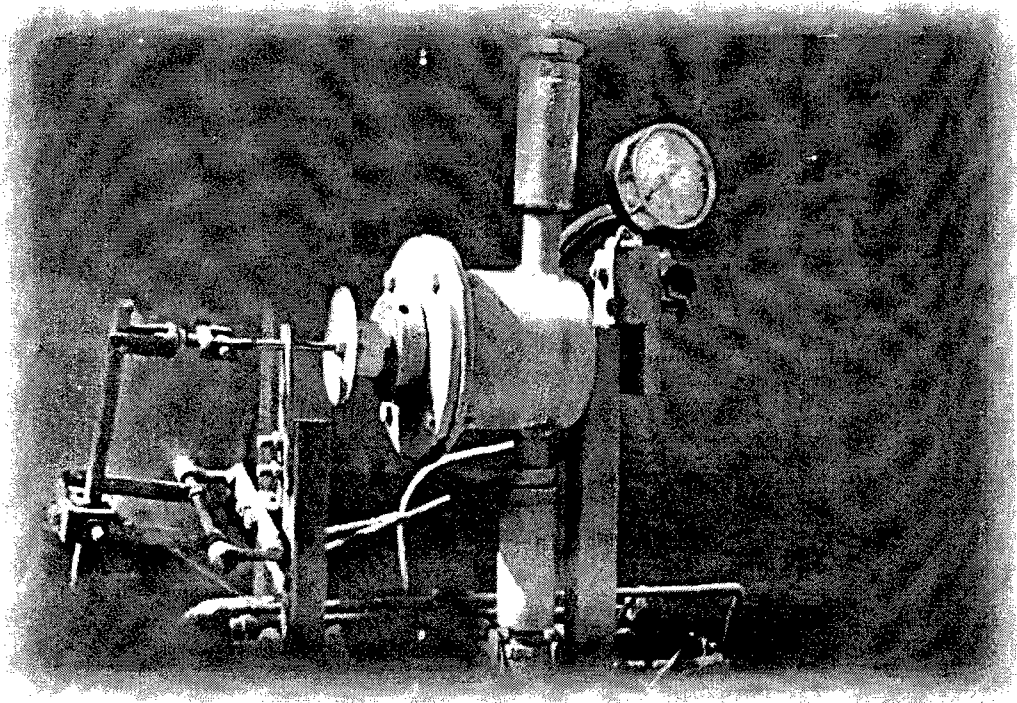
10.1 ลักษณะ เป็นเครื่องจักรไอน้ำชนิดลูกสูบ 2 ลูกสูบ อยู่ 2 ข้างของกระบอกลูกสูบ ไอน้ำจะเข้าสู่กระบอกลูกสูบทางช่องไอน้ำเข้าซึ่งอยู่บริเวณตรงกลางของกระบอกลูกสูบและไอน้ำจะเข้าและออกจากกระบอกลูกสูบแต่ละข้างด้วยระบบลิ้นเลื่อน (Slide valve)



10.2 การนำไปใช้ ใช้ทดลองในบทปฏิบัติการที่ 6 การหาประสิทธิภาพของระบบเครื่องสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้พลังงานไฟฟ้า บทปฏิบัติการที่ 7 ระบบเครื่องสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้ก๊าซหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงและบทปฏิบัติการที่ 8 การหาประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อนำไอน้ำจากแหล่งต่าง ๆ เข้าไปในกระบอกลูกสูบโดยการปิดเปิดของลิ้นเลื่อนไอน้ำก็จะดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่สลับกันกลับไป - มา

## 11. เครื่องสูบน้ำ

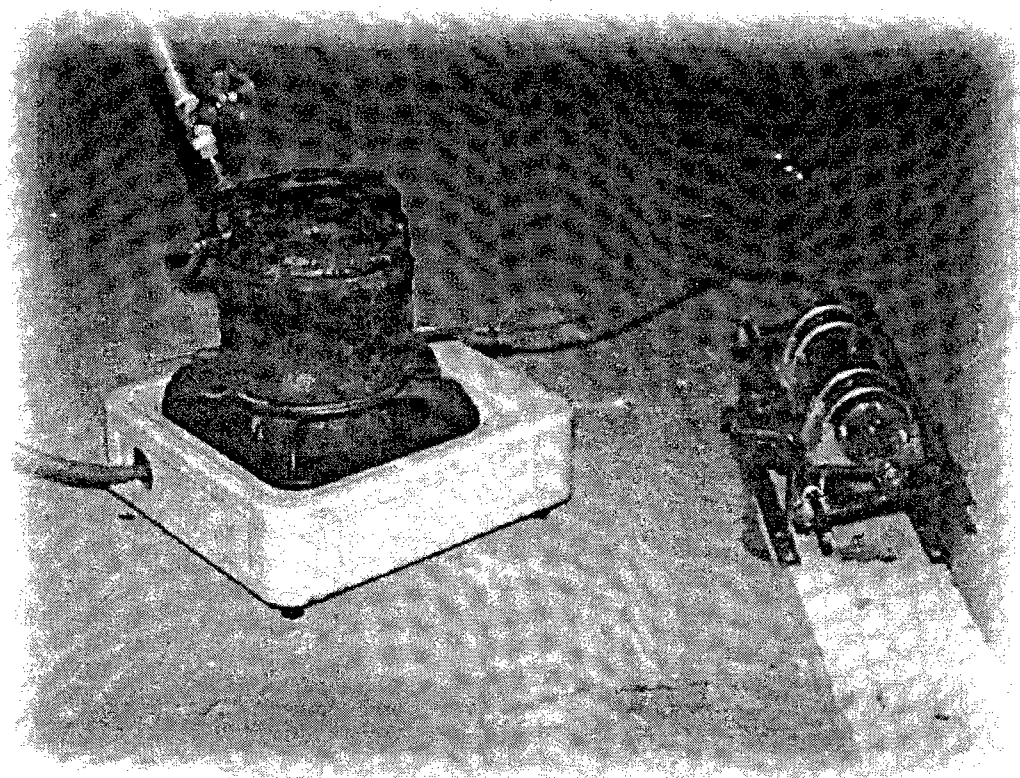
11.1 ลักษณะ เป็นเครื่องสูบน้ำชนิดลูกสูบจุ่ม ประกอบด้วยกระเปาะทรงกระบอกปลายด้านหนึ่งปิด ปลายอีกด้านหนึ่งมีฝาปิดและตรงกลางฝาจะมีช่องลูกสูบเคลื่อนที่เข้าออก ลูกสูบดังกล่าวทำด้วยแท่งทองเหลืองทรงกระบอกตัน บริเวณกลาง ๆ ของกระเปาะเจาะรูให้น้ำเข้าและออก โดยจะติดตั้งลิ้นดูดและลิ้นปล่อยที่ช่องน้ำเข้าและออก ตามลำดับ ลิ้นทั้งสองจะเป็นลิ้นที่ให้น้ำไหลทางเดียว (Check valve)



11.2 การนำไปใช้ ใช้ในการสูบน้ำในบทปฏิบัติการที่ 6 การหาประสิทธิภาพของระบบเครื่องสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้พลังงานไฟฟ้า บทปฏิบัติการที่ 7 ระบบเครื่องสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้ก๊าซหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง และบทปฏิบัติการที่ 8 การหาประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

## 12. เตาก๊าซและหม้อต้มความดันสูง

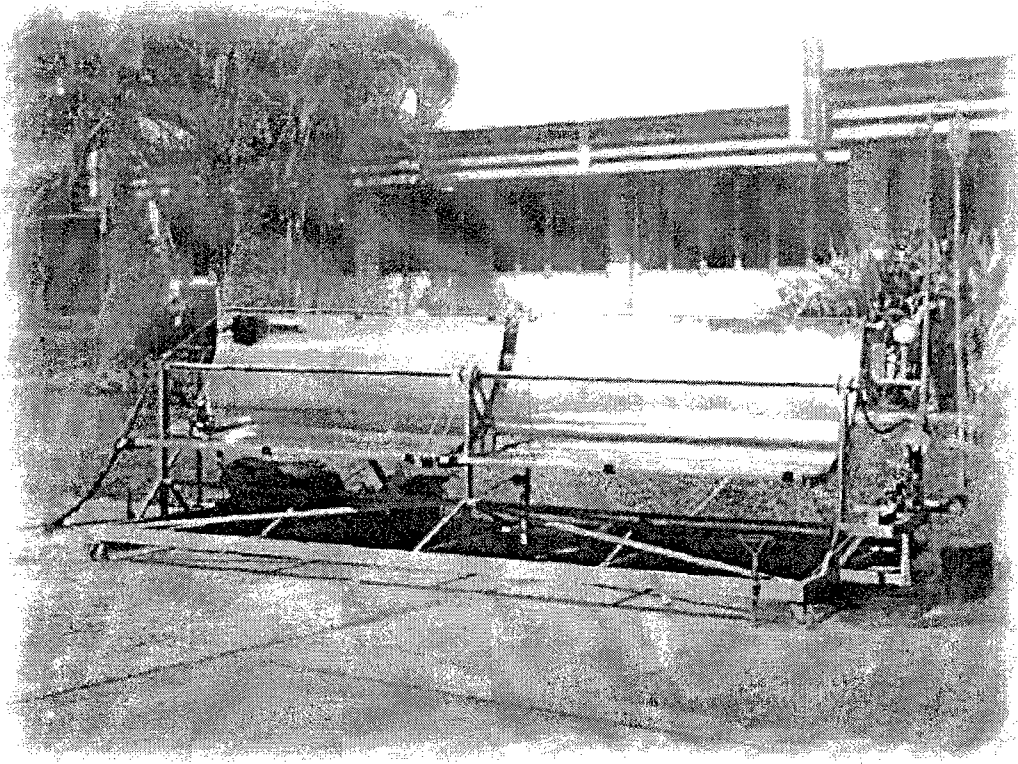
12.1 ลักษณะ เป็นเตาก๊าซที่ใช้ในการหุงต้มทั่ว ๆ ไป แต่มีฝาครอบกันลมและหม้อต้มความดันสูงเป็นหม้ออะลูมิเนียม หนา มีระบบคานและสลักเกลียวกดให้ฝาหม้อติดแน่นกับตัวหม้อ ไม่ให้อิอน้ำรั่ว ที่ฝาหม้อจะเป็นรูใส่ท่อไอน้ำ



12.2 การนำไปใช้ ใช้ในการทดลองของบทปฏิบัติการที่ 7 ระบบเครื่องสูบน้ำด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้ก๊าซหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง โดยจะทำหน้าที่เป็นแหล่งผลิตไอน้ำให้กับเครื่องจักรไอน้ำ

### 13. ระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

13.1 ลักษณะ เป็นเครื่องจักรที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานกลที่ใช้ในการสูบน้ำ ประกอบด้วยแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมแสง 2 แผง เครื่องจักรไอน้ำชนิดลูกสูบ 2 ลูกสูบ และเครื่องสูบน้ำชนิดลูกสูบจุ่ม



13.2 การนำไปใช้ ใช้ในบทปฏิบัติการที่ 8 การหาประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ โดยที่แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์จะรวมแสงไปยังหลอดรับพลังงานทำให้ท่อดูดกลืนแสงมีอุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อน้ำที่อยู่ภายในท่อให้กลายเป็นไอน้ำและพุ่งเข้าสู่เครื่องจักรไอน้ำ เครื่องจักรไอน้ำก็จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานความร้อนจากไอน้ำเป็นพลังงานกลในการเคลื่อนที่ของลูกสูบ ซึ่งเชื่อมโยงอยู่กับลูกสูบของเครื่องสูบน้ำ เครื่องสูบน้ำก็จะทำหน้าที่สูบน้ำจากบริเวณเขตความดันต่ำไปยังบริเวณเขตความดันสูง

ภาคผนวก ฅ  
แบบประเมินดัชนีความสอดคล้อง

**แบบประเมินดัชนีความสอดคล้อง**  
**ทุกบทปฏิบัติการ**

| รายการ  | คะแนนที่พิจารณา |       |       | ข้อเสนอแนะ |
|---|-----------------|-------|-------|------------|
|   | +1              | 0     | -1    |            |
| 1. จุดประสงค์   |                 |       |       |            |
| 1.1 มีความชัดเจน.....                                       | .....           | ..... | ..... | .....      |
| 1.2 ปฏิบัติได้จริง.....                                     | .....           | ..... | ..... | .....      |
| 1.3 ประเมินผลได้.....                                       | .....           | ..... | ..... | .....      |
| 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง                                       |                 |       |       |            |
| 2.1 เนื้อหามีความถูกต้องชัดเจน.....                         | .....           | ..... | ..... | .....      |
| 2.2 ครบถ้วนสมบูรณ์.....                                     | .....           | ..... | ..... | .....      |
| 2.3 เนื้อหามีความต่อเนื่องและเกี่ยวข้องกัน.....             | .....           | ..... | ..... | .....      |
| 2.4 ความสั้นยาวพอเหมาะที่จะเป็นพื้นฐานในการทดลอง.....       | .....           | ..... | ..... | .....      |
| 2.5 เนื้อหาเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด.....                      | .....           | ..... | ..... | .....      |
| 2.6 มีความยากง่ายเหมาะสมกับระดับของนักศึกษา.....            | .....           | ..... | ..... | .....      |
| 2.7 การใช้ภาษาเข้าใจง่าย สละสลวย ไม่วกวน.....               | .....           | ..... | ..... | .....      |
| 3. เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง                             |                 |       |       |            |
| 3.1 เหมาะสมกับระดับผู้เรียน.....                            | .....           | ..... | ..... | .....      |
| 3.2 ครบถ้วนสำหรับใช้ในการทดลอง.....                         | .....           | ..... | ..... | .....      |
| 3.3 เหมาะสมกับเรื่องที่ทำการศึกษา.....                      | .....           | ..... | ..... | .....      |
| 3.4 มีความแปลกใหม่น่าสนใจ.....                              | .....           | ..... | ..... | .....      |
| 4. วิธีการทดลอง   |                 |       |       |            |
| 4.1 มีลำดับขั้นตอนการทดลองเหมาะสมชัดเจน.....                | .....           | ..... | ..... | .....      |
| 4.2 ใช้ภาษาในการอธิบายเข้าใจง่ายและปฏิบัติได้.....          | .....           | ..... | ..... | .....      |
| 4.3 เหมาะสมกับเรื่องที่ทำการศึกษา.....                      | .....           | ..... | ..... | .....      |
| 4.4 เหมาะสมกับเวลาที่กำหนด.....                             | .....           | ..... | ..... | .....      |
| 4.5 สอดคล้องกับเครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง.....            | .....           | ..... | ..... | .....      |
| 4.6 ส่งเสริมทักษะการปฏิบัติการทดลอง.....                    | .....           | ..... | ..... | .....      |
| 4.7 มีส่วนทำให้เกิดความคิดสร้างสรรค์ใหม่ ๆ .....            | .....           | ..... | ..... | .....      |
| 4.8 นักศึกษาทุกคนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการทดลอง.....           | .....           | ..... | ..... | .....      |
| 4.9 ทำให้เกิดมโนคติ (concept) ในเนื้อหาที่ทดลองมากขึ้น..... | .....           | ..... | ..... | .....      |
| 4.10 ส่งเสริมให้มีเจตคติที่ดีต่อวิชาวิทยาศาสตร์.....        | .....           | ..... | ..... | .....      |
| 4.11 สอดคล้องกับวิธีการสอนที่ให้ผู้เรียนเป็นสำคัญ.....      | .....           | ..... | ..... | .....      |
| 5. ผลการทดลองและการคำนวณ                                    |                 |       |       |            |
| 5.1 สอดคล้องกับวิธีการทดลอง.....                            | .....           | ..... | ..... | .....      |
| 5.2 ชัดเจนและเข้าใจง่าย.....                                | .....           | ..... | ..... | .....      |

| รายการ   | คะแนนที่พิจารณา |       |       | ข้อเสนอแนะ |
|--|-----------------|-------|-------|------------|
|  | +1              | 0     | -1    |            |
| 5.1 เหมาะสมกับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง.....                   | .....           | ..... | ..... | .....      |
| 5.2 สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ต่อได้ง่าย.....                 | .....           | ..... | ..... | .....      |
| 6 คำถามท้ายบทปฏิบัติการ                                      |                 |       |       |            |
| 6.1 เหมาะสมสอดคล้องกับเรื่องที่ทำทดลอง.....                  | .....           | ..... | ..... | .....      |
| 6.2 มีจำนวนข้อพอเหมาะ.....                                   | .....           | ..... | ..... | .....      |
| 6.3 ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และการออกแบบการทดลองใหม่ ๆ..... | .....           | ..... | ..... | .....      |
| 6.4 ส่งเสริมการค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม.....                | .....           | ..... | ..... | .....      |
| 6.5 ส่งเสริมการคิดแก้ปัญหา.....                              | .....           | ..... | ..... | .....      |
| 6.6 ส่งเสริมการคิดวิเคราะห์.....                             | .....           | ..... | ..... | .....      |
| 6.7 ส่งเสริมทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์.....                   | .....           | ..... | ..... | .....      |

ประวัติย่อผู้วิจัย

## ประวัติย่อผู้วิจัย

|                      |  |
|----------------------|--|
| ชื่อ                 | นายรังสรรค์ เพ็งพัด  |
| เกิดวันที่           | 25 ธันวาคม พ.ศ. 2496   |
| สถานที่เกิด          | ต.ฝ่ายนาแซง อ.หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์  |
| สถานที่อยู่ปัจจุบัน  | 83/80 หมู่ 11 ถ.สระบุรี – หล่มสัก ต.สะเตียง อ.เมือง<br>จ.เพชรบูรณ์ 67000           |
| ตำแหน่งหน้าที่การงาน | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ระดับ 8   |
| สถานที่ทำงานปัจจุบัน | คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏเพชรบูรณ์                                   |
| ประวัติการศึกษา      |  |
| พ.ศ. 2507            | ประถมศึกษาปีที่ 4 จากโรงเรียนบ้านห้วยกอก   |
| พ.ศ. 2510            | ประถมศึกษาปีที่ 7 จากโรงเรียนเมตตาศึกษา  |
| พ.ศ. 2513            | มัธยมศึกษาปีที่ 3 จากโรงเรียนหล่มสัก “ศักดิ์วิทยาคาร”                              |
| พ.ศ. 2515            | ประกาศนียบัตรวิชาการศึกษา (ป.กศ.)<br>วิทยาลัยครูพิบูลสงคราม พิษณุโลก               |
| พ.ศ. 2517            | ประกาศนียบัตรวิชาการศึกษาชั้นสูง (ป.กศ.ชั้นสูง)<br>วิทยาลัยครูพิบูลสงคราม พิษณุโลก |
| พ.ศ. 2519            | การศึกษามัธยมศึกษา (กศ.บ.) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ<br>ประสานมิตร                |
| พ.ศ. 2524            | วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่                                   |
| พ.ศ. 2544            | การศึกษาดุษฎีบัณฑิต (กศ.ด.) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ                             |