

530.124

ก 113 ก

รายงานการวิจัย

เรื่อง

การพัฒนาสไลด์โบทัมสำหรับทำปฏิบัติการ
และการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์เรื่องคลื่น

ผู้วิจัย ผศ.ทนง อัครธีรานนท์

ภาควิชาหลักสูตรและการสอน

คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

เมษายน 2549

S 352637

รายงานการวิจัย
เรื่อง

การพัฒนาสโตรโบสโคปสำหรับทำปฏิบัติการ
และการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์เรื่องคลื่น

บทคัดย่อ

โดย

ผศ.ทนง อัครธีรานนท์

ภาควิชาหลักสูตรและการสอน
คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
เมษายน 2549

การวิจัยครั้งนี้มีความมุ่งหมายเพื่อพัฒนาสไตรโบสโคปสำหรับทำปฏิบัติการและการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์เรื่องคลื่น และเพื่อประเมินคุณภาพของสไตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น

สไตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้นได้รับการออกแบบให้มีศักยภาพในการทำการทดลองเกี่ยวกับคลื่น 6 การทดลอง และการประเมินคุณภาพกระทำโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน

ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

1. สไตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพใช้งานได้ตามทฤษฎีร้อยละ 100
2. สไตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพในระดับ “ ดีมาก ” สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด



DEVELOPMENT OF A STROBOSCOPE FOR PERFORMING AN EXPERIMENT,
TEACHING AND LEARNING ACTIVITIES IN PHYSICS ON WAVES.



AN ABSTRACT BY
THANONG AKKARATHEERANUN

DEPARTMENT OF CURRICULUM AND INSTRUCTION
FACULTY OF EDUCATION, SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY

APRIL 2006

This research aimed at developing stroboscope for performing an experiment, teaching and learning activities in Physics on waves and assessing the quality of the developed stroboscope.

The developed stroboscope was potentially designed to conduct six experiment on “ Wave ” and assess its quality by six experts.

The results of the research reveal that :

1. The developed stroboscope showed 100 percent of its theoretically functional effectiveness.

2. The quality of the developed stroboscope was at a “ very good ” level above the indicated criteria.



ประกาศคุณูปการ

งานวิจัยเรื่องการพัฒนาสโตรโบสโคปสำหรับทำปฏิบัติการและการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์เรื่องคลื่นฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้เนื่องจากได้รับความกรุณาในการให้คำปรึกษาเป็นอย่างดีจากรองศาสตราจารย์ โส สาสัตถ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณในความกรุณาไว้เป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. เสาวลักษณ์ รัตนวิษฐ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาในการเขียน Abstract ขอขอบคุณคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่สนับสนุนเงินทุนในการทำการวิจัย

ขอขอบคุณคุณศรัทธา กระฉ่อน ผู้ช่วยวิจัยที่ช่วยในการวิจัยและให้ความร่วมมืออย่างดียิ่ง ขอขอบคุณคุณชลอ ชีสังวร ผู้ช่วยวิจัยอีกคนหนึ่งที่มีส่วนช่วยเหลือในการสร้างสโตรโบสโคปและเตรียมอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อรับการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ

คุณค่าและประโยชน์ใด ๆ อันเกิดจากการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณของบิดามารดาและครูอาจารย์ทุกท่านที่เป็นผู้วางรากฐานทางการศึกษาให้กับผู้วิจัย

ทนง อัครธีรานนท์

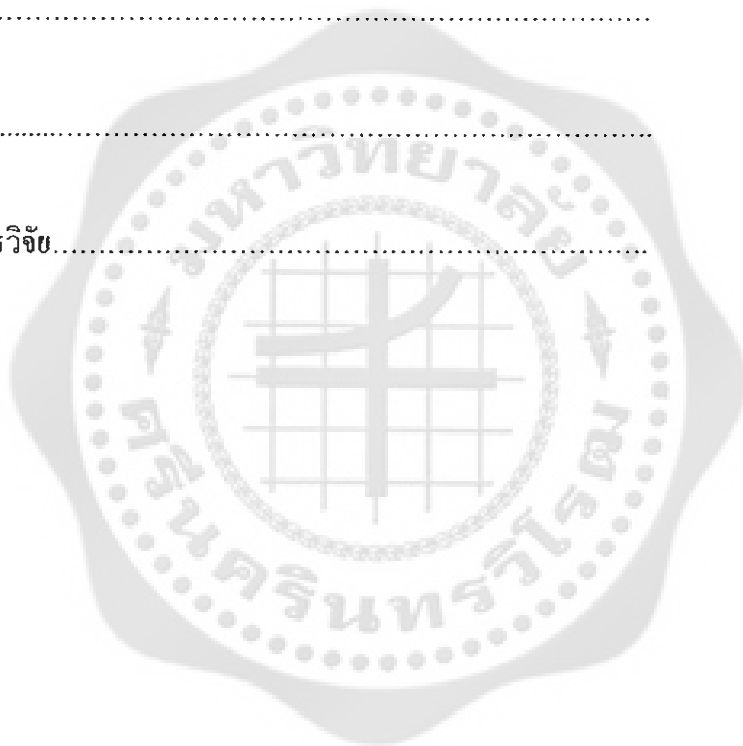
ผู้วิจัย

เมษายน 2549

สารบัญ

บทที่	หน้า
1. บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	4
ความสำคัญของการวิจัย.....	4
หน่วยงานที่สามารถนำผลการวิจัยไปใช้.....	5
ขอบเขตของการวิจัย.....	5
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	5
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับคลื่น.....	7
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาสโตรโบสโคป.....	20
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ทดแทนและสิ่งประดิษฐ์ทางวิทยาศาสตร์.....	32
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับปฏิบัติการวิทยาศาสตร์.....	34
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	36
3. วิธีการดำเนินการศึกษาค้นคว้า.....	38
ศึกษาข้อดี ข้อเสียของสโตรโบสโคปที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน.....	38
ออกแบบสโตรโบสโคปต้นแบบ.....	38
การคัดเลือกวัสดุอุปกรณ์.....	38
การสร้างสโตรโบสโคป.....	38
การสร้างคู่มือการสร้างและคู่มือการทำปฏิบัติการ.....	45
การทดสอบประสิทธิภาพของสโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น.....	46
4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	50
ผลการตรวจสอบประสิทธิภาพของสโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น.....	50
ผลการวิเคราะห์คุณภาพของสโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น.....	52
5. สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	59
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	59

บทที่	หน้า
5. (ต่อ) สมมติฐานการวิจัย.....	59
วิธีดำเนินการวิจัย.....	60
สรุปผลการวิจัย.....	60
อภิปรายผลการวิจัย.....	61
ข้อเสนอแนะ.....	64
บรรณานุกรม.....	65
ภาคผนวก.....	68
อภิธานศัพท์.....	86
ประวัติผู้ทำการวิจัย.....	89



บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 แสดงผลการประเมินลักษณะทางกายภาพทั่วไปของสไตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น.....	53
2 แสดงผลการประเมินลักษณะการใช้งานของสไตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น.....	54
3 แสดงผลการประเมินการบำรุงรักษาและการซ่อมแซมของสไตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น.....	55
4 แสดงผลการประเมินความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนของสไตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น.....	56
5 แสดงการประเมินคุณภาพทั้ง 4 ด้านโดยรวมของสไตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น.....	57
6 แบบประเมินคุณภาพของสไตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น โดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิชาชีพส์.....	83

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 แสดงอนุภาคเคลื่อนที่เป็นวงกลมด้วยอัตราเร็วคงที่.....	8
2 แสดงส่วนประกอบของคลื่น.....	10
3 แสดงการซ้อนทับกันของคลื่นคล 2 คลื่น.....	11
4 แสดงการซ้อนทับของคลื่นดลวงกลม 2 คลื่น.....	12
5 แสดงมุดกกระทบและมุดสะท้อน.....	13
6 แสดงทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น.....	13
7 แสดงการหักเหของคลื่น.....	15
8 แสดงการแทรกสอดของคลื่นต่อเนื่องวงกลม.....	17
9 แสดงแผนภาพการแทรกสอดของคลื่น.....	18
10 แสดงการเลี้ยวเบนของคลื่นผิวน้ำเมื่อผ่านขอบสิ่งกีดขวาง.....	19
11 แสดงการเลี้ยวเบนของคลื่นผิวน้ำที่มีความยาวคลื่นคงตัวแต่ความกว้างช่องเปิดต่างกัน.....	20
12 แสดงชุดดลคลื่น.....	20
13 แสดงการเกิดแถบมืดและแถบสว่างบนฉาก.....	21
14 แสดงการเกิดแถบมืดและแถบสว่างบนฉากขาว.....	21
15 แสดงคลื่นต่อเนื่องเส้นตรง.....	21
16 แสดงก้านโลหะมุดฉากมีลูกกลมติดอยู่.....	22
17 แสดงคลื่นต่อเนื่องวงกลม.....	22
18 แสดงหน้าคลื่นของคลื่นต่อเนื่องวงกลมและเส้นตรง.....	22
19 แสดงภาพเครื่องคิดเลข.....	23
20 แสดงภาพเครื่องคิดเลขพลิกกลับด้านหลังและเอาฝาปิดด้านหลังออก... ..	24
21 แสดงปุ่มเครื่องหมายเท่ากับเมื่อมองทางด้านหน้าและด้านหลัง.....	24
22 แสดงแสดงการต่อสายไฟ 2 สายเข้ากับลายวงจรเครื่องหมายเท่ากับ.....	25
23 แสดงการนำสายไฟทั้งสองเส้นจากเครื่องคิดเลขไปต่อกับรีดสวิตช์.....	25
24 แสดงภาพของรีดสวิตช์.....	26
25 แสดงส่วนประกอบของรีดสวิตช์.....	26
26 แสดงสโครโบสโคปแบบมือหมุน.....	27
27 แสดงหลักการของสโครโบสโคป.....	28

ภาพประกอบ	หน้า
28 แสดงการหมุนของสโตรโบสโคปช่องและ คลื่นผ่านไป 1 ลูกคลื่น.....	29
29 แสดงการหมุนของสโตรโบสโคปช่องและ คลื่นผ่านไป 2 ลูกคลื่น.....	30
30 แสดงการหมุนของสโตรโบสโคปช่องและ คลื่นผ่านไป 3 ลูกคลื่น.....	30
31 แสดงรายละเอียดวัสดุอุปกรณ์ของสโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น.....	40
32 แสดงแผนภาพส่วนประกอบของสโตรโบสโคป.....	41
33 แสดงหลักการส่วนวงจรนับและส่วนการแสดงผล.....	42
34 แสดงเครื่องคิดเลขทางด้านหน้า.....	43
35 แสดงเครื่องคิดเลขเมื่อพลิกกลับด้านหลังและเปิดออก.....	43
36 แสดงตำแหน่งเครื่องหมายเท่ากับของเครื่องคิดเลข.....	44
37 แสดงการต่อสายไฟกับลายวงจรของเครื่องหมายเท่ากับ.....	44
38 แสดงการต่อสายไฟที่มาจากเครื่องหมายเท่ากับเข้ากับรีดสวิตช์.....	45



บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

วิชาฟิสิกส์เป็นวิชาที่มีความสำคัญที่สุดวิชาหนึ่งของวิทยาศาสตร์ ศึกษาเกี่ยวกับความจริงที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจในปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้น สามารถค้นหาสาเหตุและผลที่เกิดขึ้น นอกจากนี้วิชาฟิสิกส์ยังเป็นพื้นฐานของการนำไปประยุกต์ในวิชาต่าง ๆ เช่นวิศวกรรมศาสตร์ แพทยศาสตร์ เป็นต้น ตลอดจนก่อให้เกิดการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีอย่างมากมาย แต่จากผลการแข่งขันโอลิมปิกวิทยาศาสตร์พบว่า ประเทศไทยมีจุดอ่อนอยู่ที่พื้นฐานการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ อันเป็นรากฐานของความสามารถในวิทยาศาสตร์แขนงอื่น และสำคัญที่สุดต่อสมรรถภาพในการพัฒนาเทคโนโลยี ประเทศไทยพัฒนาด้านเทคโนโลยีเองไม่ได้ เพราะไม่มีนักฟิสิกส์ประเภทประยุกต์ที่ดีและมีจำนวนมากพอ สิ่งนี้เป็นเหตุใหญ่ที่สุดที่ต้องแก้ไขโดยเร็ว (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี . 2543 : 9) นอกจากนี้จากการประเมินคุณภาพของกรมวิชาการ ในการจัดการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายปีการศึกษา 2540 พบว่าการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ที่ผ่านมาไม่บรรลุผล โดยรายวิชาฟิสิกส์มีผลคะแนนเฉลี่ยอยู่ในระดับพอใช้คิดเป็นร้อยละ 28.12 และคะแนนเฉลี่ยในเกณฑ์ที่ต้องปรับปรุงคิดเป็นร้อยละ 70 (สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ . 2543 : 14) ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานระดับคุณภาพการศึกษาปีการศึกษา 2540 ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายเขตการศึกษา 11 ในรายวิชาฟิสิกส์ของ วิมาน วรณคำ (2542 : 91 - 92) พบว่าคะแนนวิชาฟิสิกส์อยู่ในระดับคุณภาพที่ต้องปรับปรุงคิดเป็นร้อยละ 82.10 อยู่ในเกณฑ์พอใช้ร้อยละ 17.75 และอยู่ในเกณฑ์ดีเพียงร้อยละ 0.15

สาเหตุที่ทำให้นักเรียนประสบความล้มเหลว เนื่องจากในการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ ครูเน้นผลสุดท้าย คือการนำไปใช้แก้ปัญหาโจทย์และแบบฝึกหัด โดยมักใช้วิธีสอนเฉพาะการคำนวณและท่องจำ ไม่มีการสอนความรู้ความเข้าใจตลอดจนความคิดรวบยอด (สมนึก บุญพาไสว . 2534 : 19) และปัญหาในการเรียนการสอนส่วนหนึ่ง เกิดจากปัญหาการขาดแคลนครูอาจารย์ สื่ออุปกรณ์เทคโนโลยี และปัญหาจากสื่อการสอนที่มีคุณภาพต่ำ ไม่เหมาะสมเนื้อหา แสดงผลได้ไม่ชัดเจน (กรมสามัญ . 2540 : 37) และการเรียนการสอนส่วนใหญ่ผู้เรียนไม่ได้ทำการทดลอง ครูอาจารย์สอนแบบบรรยาย ทำให้ผู้เรียนขาดการฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ จากปัญหาดังกล่าววิธีที่จะพัฒนาการเรียนการสอนให้มีคุณภาพและประสิทธิภาพได้คือ การพัฒนาสื่อการเรียนการสอน เพราะสื่อการเรียนการสอนเป็นสิ่งที่จะนำความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ แต่จะเรียนรู้ได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระดับปฏิบัติ โดยเฉพาะในระดับชั้นมัธยมศึกษา

หลักสูตรวิทยาศาสตร์ ควรให้เด็กฝึกปฏิบัติให้มากขึ้น (ลีปนนท์ เกตุทัต .2541 : 15) ซึ่งการใช้สื่อการเรียนการสอนช่วยให้นักเรียนเกิดมโนคติทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นแก่นของความคิดได้อย่างรวดเร็ว ช่วยให้นักเรียนได้รับประสบการณ์ทั้งทางตรงและทางอ้อม เกิดความคงทนในการเรียนรู้ เป็นสื่อเชื่อมโยงระหว่างนามธรรมไปสู่รูปธรรม ทำให้เกิดความเข้าใจในสถานการณ์ทางวิทยาศาสตร์ดีขึ้น กระตุ้นให้เกิดความสนใจ ช่วยเพิ่มพูนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ช่วยให้นักเรียนเห็นคุณค่าและประโยชน์ขององค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์(ประนอม หมอกกระโทก . 2545 : 2)

ในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ สิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ ทักษะกระบวนการทดลอง เพราะทักษะต่างๆ ที่ใช้ในการทำการทดลอง จะช่วยเพิ่มพูนความรู้ความเข้าใจในวิชาวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนให้ดีขึ้น(ไซยยันต์ สิริโชติ . 2541 : 79) การทดลองก็คือแบบจำลองของปรากฏการณ์ธรรมชาติที่นำมาศึกษาในห้องเรียน เมื่อทำการทดลองสิ่งที่ปฏิบัติตามมาก็คือ การวัดและการเก็บข้อมูลปริมาณต่างๆ การเก็บข้อมูลปริมาณทางกายภาพต่างๆ จำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์ที่เก็บข้อมูลได้ถูกต้องและชัดเจน ข้อสำคัญเราไม่จำเป็นต้องซื้อเครื่องมือราคาแพงจากต่างประเทศ เพราะเราสามารถสร้างเครื่องมือขึ้นได้โดยใช้วัสดุในประเทศที่มีราคาถูกกว่า ดังนั้นวิธีการที่จะช่วยแก้ปัญหา นักเรียนขาดความรู้ความเข้าใจหลักการพื้นฐาน ตลอดจนความคิดรวบยอดและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ก็คือ การสร้างอุปกรณ์ขึ้นมา เพื่อช่วยให้มีอุปกรณ์เพียงพอในการเรียนการสอน และยังช่วยทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้อย่างกว้างขวางลึกซึ้งยิ่งขึ้น (Sharma . 1982 : 262 – 263)

จากประสบการณ์การสอนวิชาฟิสิกส์ในระดับมหาวิทยาลัยมากกว่า 25 ปี และได้มีโอกาสออกไปดูการเรียนการสอนตามโรงเรียนต่างๆ ทั้งในกรุงเทพมหานคร และต่างจังหวัดพบว่า วิชาฟิสิกส์โดยเฉพาะอย่างยิ่งเรื่องคลื่น มักทำให้ผู้เรียนรู้สึกว่าเป็นเรื่องที่ยาก เรียนไม่ค่อยเข้าใจ เพราะคลื่นส่วนใหญ่เรามองไม่เห็น เช่น คลื่นเสียงและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การเรียนและทำความเข้าใจจึงต้องใช้จินตนาการเข้ามาช่วยด้วย คนที่จินตนาการไม่เก่ง นึกภาพของสิ่งที่มองไม่เห็นไม่ออก จึงมักรู้สึกว่ายากไม่รู้เรื่อง ไม่เข้าใจ การที่จะทำให้การเรียนวิชาฟิสิกส์เรื่องคลื่นแล้วรู้สึกไม่ยากและสามารถเข้าใจได้ ควรเริ่มต้นจากให้ผู้เรียนศึกษาเรื่องคลื่นที่ตามองเห็นก่อน เช่น คลื่นน้ำ เป็นต้น โดยผู้เรียนควรได้ลงมือทำการวัดความถี่ของคลื่นน้ำ และศึกษาสมบัติต่างๆ ของคลื่นน้ำ เช่น การสะท้อน การเลี้ยวเบน การหักเห และการแทรกสอด เมื่อผู้เรียนเข้าใจเกี่ยวกับความถี่และสมบัติต่างๆ ของคลื่นน้ำ ซึ่งเป็นคลื่นที่ตามองเห็นดีแล้ว จึงค่อยเชื่อมโยงไปสู่คลื่นที่ตามองไม่เห็น ก็คือคลื่นเสียงและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่อไป การที่จะศึกษาเกี่ยวกับคลื่นน้ำ เช่น การวัดความถี่ของคลื่นน้ำ ควรให้ผู้เรียนได้มีโอกาสทำการทดลองวัดด้วยตัวเองจริงๆ แต่การลงมือวัดความถี่ของคลื่นน้ำโดยตรงเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก เพราะคลื่นน้ำมีลักษณะเป็นระลอกพริ้วต่อเนื่องกันไปไม่หยุดนิ่ง ดังนั้นเพื่อให้การวัดความถี่ของคลื่นน้ำทำได้ง่ายขึ้น ควรทำให้คลื่นน้ำหยุดนิ่ง ซึ่งเป็นสิ่งที่เป็นไปได้ แต่มีเครื่องมือชนิดหนึ่งที่ทำให้มองเห็นเสมือนว่า คลื่นน้ำหยุดนิ่ง

(แต่ขณะทดลองจริงจะสังเกตจากภาพของคลื่นน้ำบนฉากจะสะดวกกว่า) เครื่องมือนั้นเรียกว่า สโตรโบสโคป (Stroboscope) เมื่อสามารถทำให้ภาพของคลื่นน้ำบนฉากหยุดนิ่งได้แล้ว การวัดความถี่ของคลื่นน้ำก็ทำได้ไม่ยาก นอกจากนั้นยังทำให้การสังเกตและศึกษาปรากฏการณ์ต่างๆ ซึ่งเป็นสมบัติของคลื่น สามารถเห็นได้อย่างชัดเจน เมื่อผู้เรียนสามารถมองเห็นสิ่งที่จะศึกษาได้อย่างชัดเจน และยังทำการทดลองวัดความถี่ของคลื่นน้ำด้วยตนเองแล้ว ผู้เรียนน่าจะรู้สึกว่าการเรียนเรื่องคลื่นน้ำไม่เป็นเรื่องยากอีกต่อไป นอกจากนั้นแล้วเมื่อไปศึกษาเรื่องคลื่นเสียงและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นคลื่นที่มีสมบัติทำนองเดียวกับคลื่นน้ำ ผู้เรียนจะสามารถเชื่อมโยงความรู้ไปใช้ได้ และจะรู้สึกว่าการเรียนเรื่องคลื่นไม่ว่าจะมองเห็นด้วยตาหรือไม่ น่าจะไม่ใช่ว่าเรื่องเกินความสามารถของผู้เรียนอีกต่อไป

จากที่กล่าวมาจะเห็นว่าสโตรโบสโคป เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญยิ่งในการศึกษาเรื่องคลื่น แต่พบว่าสถานศึกษาและโรงเรียนต่างๆมักไม่มีสโตรโบสโคปที่มีประสิทธิภาพดีเอาไว้ใช้ เนื่องจากมีราคาแพงและมักต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ สโตรโบสโคปที่สถานศึกษาและโรงเรียนต่างๆ มีใช้จึงเป็นสโตรโบสโคปชนิดมือหมุน ซึ่งประสิทธิภาพไม่ดีพอ ไม่สามารถทำให้ภาพของคลื่นน้ำหยุดนิ่งได้ ทำให้เมื่อศึกษาเกี่ยวกับคลื่นน้ำ เช่นการวัดความถี่ทำได้ยาก ภาพของคลื่นน้ำบนฉากเลื่อนไปมา จนผู้ทำการศึกษา มักตาลายผลการวัดคลาดเคลื่อน ระยะเวลาหลังพบว่ามีการผลิตสโตรโบสโคปขึ้นใช้ทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ แต่ก็ยังมีราคาก่อนข้างสูงและประสิทธิภาพยังไม่ดีเท่าที่ควรเพราะการผลิตสโตรโบสโคปที่มีประสิทธิภาพดี ไม่ใช่สิ่งที่ทำได้ง่ายๆ ดังจะเห็นได้จากนิตยสาร The Physics Teacher ได้นำบทความของ Poul Thomson จาก University of California ลงในนิตยสารฉบับที่ 40 เดือนกุมภาพันธ์ 2545 ว่าการผลิตสโตรโบสโคปที่มีประสิทธิภาพดี ที่ทำให้ภาพของคลื่นน้ำที่เกิดจากถาดคลื่นหยุดนิ่งได้ เป็นสิ่งที่ทำได้ยาก และ Poul Thomson ก็ได้พยายามพัฒนา และได้เสนอรูปแบบของสโตรโบสโคปประสิทธิภาพดีที่ทำให้ภาพของคลื่นน้ำที่เกิดจากถาดคลื่นหยุดนิ่งได้ แต่รูปแบบของสโตรโบสโคปที่ Poul Thomson ได้เสนอไว้ยังค่อนข้างยุ่งยาก จากเหตุผลหลาย ๆ ประการดังที่กล่าวจึงพบว่า เมื่อสอนเรื่องคลื่นน้ำ ครูอาจารย์ในประเทศไทยส่วนมาก ไม่ให้ผู้เรียนทำการทดลองจริง และไม่สาธิตการทดลองให้ผู้เรียนได้ดู แต่ให้ผู้เรียนดูภาพของคลื่นจากหนังสือหรือแผ่นใส หรือที่ดียิ่งขึ้นไปอีกระดับก็คือดูภาพจากคอมพิวเตอร์ ดังนั้นในการเรียนเรื่องคลื่น จึงเป็นสิ่งที่ไม่น่าสนใจ น่าเบื่อ เรียนแล้วยาก เรียนแล้วไม่เข้าใจ

เพื่อที่จะแก้ปัญหาเหล่านี้ ควรหาวิธีให้โรงเรียนและสถานศึกษาต่างๆ มีสโตรโบสโคปที่มีประสิทธิภาพดี เอาไว้ใช้ในการเรียนการสอน ควรเป็นสโตรโบสโคปที่มีราคาถูก หรือโรงเรียนและสถานศึกษาต่างๆ สามารถผลิตขึ้นได้เองโดยใช้วัสดุอุปกรณ์ที่หาง่ายและมีอยู่แล้ว จะยังเป็นเรื่องที่ดีมาก เพราะผู้เรียนได้ทำจริงในสิ่งที่เรียน จึงสนุกกับการเรียน และเมื่อได้ลงมือทำจริง จะทำให้เกิดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เข้าใจในสิ่งที่เรียน ประสบความสำเร็จในการเรียน

จึงน่าจะเป็นการเรียนที่มีความสุข บรรลุตามวัตถุประสงค์ของการปฏิรูปการศึกษา และช่วย
ประหยัดงบประมาณของชาติเป็นอย่างมากอีกด้วย

จากประเด็นดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะพัฒนาและออกแบบสโตรโบสโคป
ให้มีคุณภาพดี สามารถใช้ในการทำปฏิบัติการวัดความยาวคลื่นและความถี่ของคลื่นน้ำที่เกิดจาก
ถาดคลื่นได้ สามารถใช้เป็นสื่อการสอนที่เมื่อใช้ร่วมกับถาดคลื่น สามารถแสดงและใช้สาธิต
สมบัติต่าง ๆ ของคลื่นน้ำ เช่น การสะท้อน การหักเห การเลี้ยวเบน การแทรกสอด ให้เห็นได้
อย่างชัดเจน

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาและสร้างสโตรโบสโคปที่มีประสิทธิภาพดี สามารถใช้สังเกตภาพ
ของคลื่นน้ำ (ที่เกิดจากชุดถาดคลื่น) บนฉาก (แถบมืดและแถบสว่าง) ให้มีลักษณะเสมือนว่าหยุด
นิ่งในเวลานานพอที่จะทำการวัดความยาวคลื่น และความถี่ของคลื่นน้ำที่เกิดจากชุดถาดคลื่นได้
2. เพื่อให้มีสโตรโบสโคปที่มีคุณภาพดี เอาไว้ใช้ทำปฏิบัติการวัดความยาวคลื่นและความถี่
ของคลื่นน้ำที่เกิดจากชุดถาดคลื่นได้
3. เพื่อให้มีสโตรโบสโคปที่มีคุณภาพดี เอาไว้ใช้作为สื่อการสอนที่เมื่อใช้ร่วมกับถาดคลื่น
สามารถแสดงและสาธิตสมบัติต่าง ๆ ของคลื่นน้ำ เช่น การสะท้อน การหักเห การแทรกสอด
การเลี้ยวเบน ให้เห็นได้อย่างชัดเจน
4. เพื่อพัฒนาและออกแบบสโตรโบสโคปที่มีคุณภาพดี แต่หลักการและวิธีสร้างไม่ยุ่งยาก
ซับซ้อนจนเกินไป ใช้วัสดุอุปกรณ์ที่ราคาไม่แพง หาได้ง่าย หรือให้สามารถนำวัสดุอุปกรณ์ที่
มหาวิทยาลัย โรงเรียนและสถานศึกษาต่าง ๆ มีอยู่แล้วเป็นส่วนใหญ่นำมาใช้ได้

ความสำคัญของการวิจัย

1. เพื่อให้มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มีสโตรโบสโคปที่มีคุณภาพดีเอาไว้ใช้ในการทำ
ปฏิบัติการและการเรียนการสอนเรื่องคลื่น
2. เพื่อประหยัดงบประมาณของคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในการ
จัดซื้อสโตรโบสโคปที่มีคุณภาพดี
3. เพื่อเป็นแนวทางสำหรับครูอาจารย์ที่สอนวิชาฟิสิกส์ ในมหาวิทยาลัย โรงเรียน และ
สถานศึกษาต่างๆ ให้สามารถสร้างสโตรโบสโคปที่มีคุณภาพดีไว้ใช้ในสถานศึกษาได้เองโดยไม่
ต้องซื้อในราคาแพงหรือต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ ช่วยให้ประเทศชาติประหยัดงบประมาณใน
การจัดซื้อสโตรโบสโคปที่มีคุณภาพดี

หน่วยงานที่สามารถนำผลการวิจัยไปใช้

มหาวิทยาลัย สถาบันการศึกษาต่าง ๆ โรงเรียน และหน่วยงานทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการผลิตอุปกรณ์วิทยาศาสตร์และการเรียนการสอนเรื่องคลื่น

ขอบเขตของการวิจัย

สโตรโบสโคปที่สร้างขึ้น สามารถนำไปใช้ในการทำปฏิบัติการวัดความยาวคลื่นและความถี่ของคลื่นน้ำ ซึ่งเป็นเรื่องหนึ่งของการทำปฏิบัติการฟิสิกส์ ของนิสิตหลักสูตรการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาเอกวิทยาศาสตร์ – ฟิสิกส์ และสามารถใช้ในการเรียนการสอน สารการเรียนรู้พื้นฐานและเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 2 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่องสมบัติของคลื่น โดยขอบเขตการวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

- ตอนที่ 1 การพัฒนาและออกแบบสร้างสโตรโบสโคปที่มีคุณภาพดีจำนวน 3 ชุด พร้อมคู่มือการใช้
- ตอนที่ 2 การตรวจสอบประสิทธิภาพ โดยนำไปทดลองใช้วัดความยาวคลื่นและความถี่ของคลื่นน้ำ และใช้สังเกตปรากฏการณ์ที่เป็นสมบัติของคลื่นว่าสามารถวัดได้อย่างดี และสามารถเห็นปรากฏการณ์ที่เป็นสมบัติของคลื่นอย่างชัดเจนหรือไม่
- ตอนที่ 3 การประเมินคุณภาพ โดยใช้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิชาฟิสิกส์ หรือวิทยาศาสตร์ หรือสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องที่มีประสบการณ์เกี่ยวกับวิชาฟิสิกส์อย่างน้อย 10 ปี จำนวน 5 ท่าน โดยเป็นผู้สอนวิชาฟิสิกส์ หรือวิทยาศาสตร์ หรือสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องในระดับมหาวิทยาลัยจำนวน 2 ท่าน เป็นผู้สอนวิชาฟิสิกส์ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจำนวน 2 ท่าน และเป็นผู้เชี่ยวชาญของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) จำนวน 1 ท่าน

นิยามศัพท์เฉพาะ

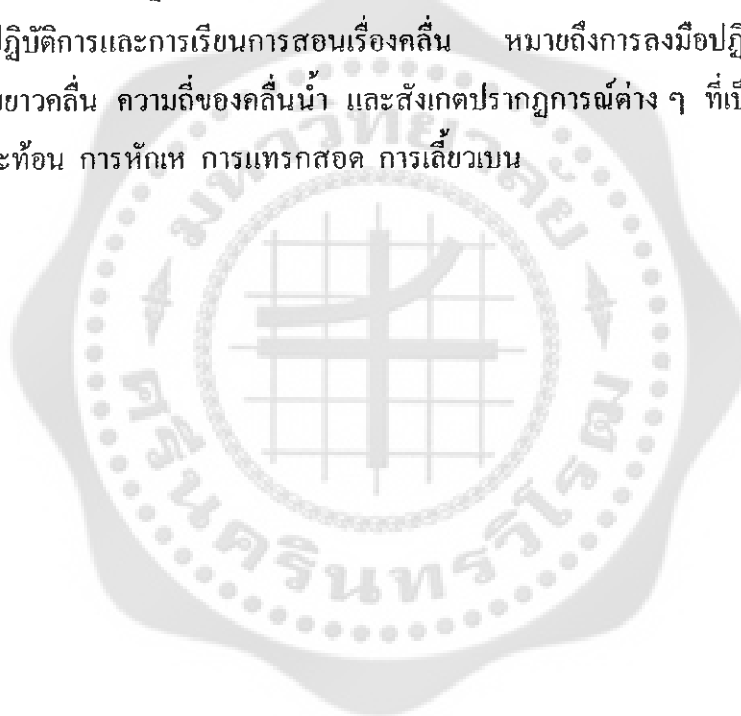
1. สโตรโบสโคป เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดหาความถี่ของคลื่นน้ำ มีลักษณะเป็นแผ่นกลมทึบแสง หมุนได้คล่องรอบแกน ขอบของแผ่นมีช่องแคบ ๆ จำนวนกี่ช่องก็ได้ ช่องแต่ละช่องอยู่ห่างเป็นระยะเท่า ๆ กัน มีหลักเกณฑ์ในการใช้คือ ถ้าหมุนสโตรโบสโคปครบ 1 รอบ แล้วคลื่นผ่านไปครบจำนวนเต็มลูกคลื่นพอดี (เช่น 1 ลูกคลื่น หรือ 2 ลูกคลื่น เป็นต้น) จะเห็นภาพของคลื่นน้ำที่เกิดจากถาดคลื่น เสมือนว่าอยู่นิ่ง

2. สโตรโบสโคปที่มีประสิทธิภาพดี หมายถึงสโตรโบสโคปที่สามารถปรับความถี่ของการหมุนแล้วมองเห็นภาพของคลื่นน้ำ (ที่เกิดจากถาดคลื่น) บนฉาก (แถบมืดและแถบสว่าง) ให้มีลักษณะเสมือนว่าหยุดนิ่งในเวลานานเพียงพอที่จะทำการวัดความยาวคลื่น และความถี่ของคลื่นน้ำได้

3. สโตรโบสโคปที่มีคุณภาพดี หมายถึงสโตรโบสโคปที่มีลักษณะสอดคล้องกับลักษณะของอุปกรณ์ที่ดีตามที่ โซ สาลินัน (2541 : 29 – 30) กล่าวไว้คือ

- 3.1 รูปร่างลักษณะต้องงูใจ
- 3.2 ต้องทำงานได้ตามที่ต้องการ
- 3.3 สะดวกในการใช้และปฏิบัติ
- 3.4 มีความคงทนถาวร
- 3.5 วัสดุที่ใช้ควรเป็นวัสดุที่หาได้ง่าย มีในท้องถิ่น
- 3.6 วัสดุที่ใช้ควรเป็นวัสดุราคาถูก
- 3.7 ควรใช้งานได้หลายอย่าง
- 3.8 สะดวกในการเก็บรักษา
- 3.9 มีเสถียรภาพดี
- 3.10 เวลาสาริตและปฏิบัติการทดลองมองเห็นและสังเกตได้ชัดเจน

4. การทำปฏิบัติการและการเรียนการสอนเรื่องคลื่น หมายถึงการลงมือปฏิบัติในการทำ การทดลองวัดความยาวคลื่น ความถี่ของคลื่นน้ำ และสังเกตปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เป็นสมบัติของ คลื่นน้ำ เช่น การสะท้อน การหักเห การแทรกสอด การเลี้ยวเบน



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่จะนำเสนอมีหัวข้อดังนี้

1. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับคลื่น
2. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาสโตร์ โปสโตร์
3. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ทดสอบและสิ่งประดิษฐ์ทางวิทยาศาสตร์
4. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับคลื่น

ในการศึกษาเกี่ยวกับคลื่น ควรทำความเข้าใจเกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย (simple harmonic motion) ก่อน โดยการศึกษาที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย เป็นแบบหนึ่งของการเคลื่อนที่แบบแกว่งกวัด (oscillate)

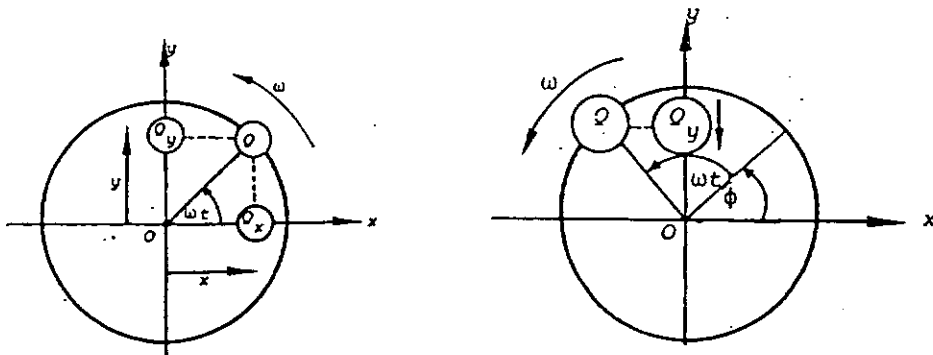
การเคลื่อนที่แบบแกว่งกวัด คือการเคลื่อนที่ใด ๆ ที่มี

- การเคลื่อนที่กลับไปกลับมาซ้ำทางเดิม
- ผ่านจุดคงที่
- ในช่วงเวลาที่เท่าๆ กัน

ลักษณะสำคัญของการเคลื่อนที่แบบแกว่งกวัด คือ แอมพลิจูด พลังงานรวม และเวลาครบรอบของการเคลื่อนที่มีค่าคงที่ ตัวอย่างของการเคลื่อนที่แบบแกว่งกวัด เช่น

- การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกา
- การเคลื่อนที่ของวัตถุที่ติดอยู่ที่ปลายสปริง
- การสั่นของโมเลกุลอากาศในขณะที่คลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านไป

การศึกษากการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ให้ง่ายจะพิจารณาจากเงาของอนุภาคที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมด้วยอัตราเร็วคงที่ ดังรูป 1



(ก)

(ข)

รูป 1 อนุภาคเคลื่อนที่เป็นวงกลมด้วยอัตราเร็วคงที่

กรณีแรก พิจารณากรณีมุมเริ่มต้นเป็นศูนย์ ($\phi = 0$)

พิจารณาเงาของ Q บนแกน y เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$y = A \sin \omega t$$

$$= A \sin \theta$$

มุมเฟส θ คือมุมที่แกน OQ ทำกับแกน +x ในขณะนั้น

กรณีที่ 2 มุมเริ่มต้นไม่เป็นศูนย์ ($\phi \neq 0$)

พิจารณาเงาของ Q บนแกน y เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$y = A \sin (\omega t + \phi)$$

ϕ คือ เฟสเริ่มต้น (initial phase) เมื่อ $t = 0$ พบว่า

$$\theta = \omega t$$

θ คือมุมที่แกน OQ ทำกับแกน +x เรียกว่า มุมเฟส (phase angle)

สรุปกรณีการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

กรณีมุมเริ่มต้น $\phi = 0$

สมการการกระจัด $y = A \sin \omega t$

$$v = \frac{\partial y}{\partial t} = \omega A \cos \omega t$$

$$a = \frac{\partial v}{\partial t} = -\omega^2 A \sin \omega t = -\omega^2 y$$

กรณี มุมเริ่มต้นไม่เป็นศูนย์ ($\phi \neq 0$)

สมการการกระจัด $y = A \sin (\omega t + \phi)$

$$v = \frac{\partial y}{\partial t} = \omega A \cos(\omega t + \phi)$$

$$a = \frac{\partial v}{\partial t} = -\omega^2 A \sin(\omega t + \phi) = -\omega^2 y$$

การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย มีรูปสมการเป็น

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \omega^2 y = 0$$

จากการศึกษาสามารถสรุปเกี่ยวกับคลื่นได้ว่า

- เป็นการถ่ายเทพลังงานจากแหล่งกำเนิดไปยังบริเวณรอบข้างโดยอาศัยสมบัติการสั่นหรือการแกว่งกวัด

- เป็นรูปแบบของการเคลื่อนที่ของพลังงานที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีคาบหรือมีรอบ โดยทั่วไปแบ่งคลื่นได้เป็น 2 ประเภท

1. คลื่นกล (mechanical waves) เป็นคลื่นที่แผ่ออกไปโดยต้องอาศัยตัวกลาง เช่น คลื่นเสียง คลื่นในเส้นเชือก คลื่นผิวน้ำ

2. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นคลื่นที่แผ่ออกไปโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง เช่น คลื่นแสง คลื่นวิทยุ คลื่นไมโครเวฟ

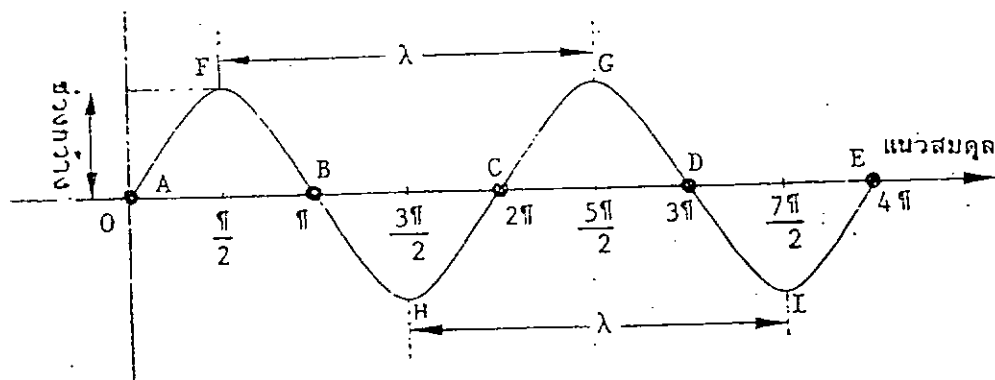
เมื่อพิจารณาคลื่นกลพบว่า

- เป็นคลื่นที่แผ่ออกไปโดยต้องอาศัยตัวกลาง
- ใช้คุณสมบัติความยืดหยุ่นของตัวกลาง
- คลื่นทำให้อนุภาคของตัวกลางเกิดการแกว่งกวัดรอบตำแหน่งสมดุลของมัน

ถ้าอนุภาคของตัวกลางแกว่งกวัดในทิศตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นเรียกว่า คลื่นตามขวาง (transverse waves) เช่น คลื่นในเส้นเชือก คลื่นผิวน้ำ

ถ้าอนุภาคของตัวกลางแกว่งกวัดในทิศของการเคลื่อนที่ของคลื่นเรียกว่า คลื่นตามยาว (longitudinal waves) เช่น คลื่นเสียง คลื่นที่เกิดจากการอัดตัวของสปริง

พบว่าคลื่นโดยทั่วไปเกิดจากการสั่นของแหล่งกำเนิด ทำให้อนุภาคของตัวกลางเกิดการแกว่งกวัดแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย จึงนำความรู้เรื่องการแกว่งกวัดแบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายมาใช้ได้ ดังนั้นลักษณะของคลื่นชนิดต่าง ๆ จึงเขียนแทนได้ด้วยกราฟรูปไซน์ หรือ กราฟรูปโคไซน์ โดยมีส่วนประกอบดังรูป 2



รูป 2 ส่วนประกอบของคลื่น

1. ยอดคลื่นหรือสันคลื่น หมายถึง ส่วนบนสุดของคลื่นแต่ละลูก
 2. ท้องคลื่น หมายถึง ส่วนล่างสุดของคลื่นแต่ละลูก
 3. ความยาวคลื่น (λ) หมายถึง ความกว้างของคลื่น 1 ลูก ซึ่งก็คือระยะห่างของตำแหน่งบนคลื่นที่มีลักษณะเดียวกันที่ติดต่อกัน เช่น ระยะจากสันคลื่นลูกหนึ่งถึงสันคลื่นลูกถัดไป
 4. การกระจัด (displacement) หมายถึง ระยะจากจุดใดๆ บนแนวคลื่นถึงแนวสมดุล
 5. ช่วงกว้างของคลื่น (amplitude) หมายถึง ระยะจากสันคลื่นหรือระยะจากท้องคลื่นถึงแนวสมดุล (การกระจัดที่มีค่ามากที่สุด)
 6. เฟสของคลื่น (phase) หมายถึง ค่าของมุมบนแนวสมดุลที่ใช้บอกตำแหน่ง หรือระยะกระจัดของอนุภาคของตัวกลาง ณ ตำแหน่งใดๆ ที่เวลาใดๆ บนคลื่น เช่น ตำแหน่งบนคลื่น F มีเฟสเป็น $90^\circ \left(\frac{\pi}{2} \right)$
 7. ตำแหน่งที่มีเฟสตรงกัน (inphase) หมายถึง ตำแหน่งบนคลื่นที่มีระยะห่างกันเป็นจำนวนเต็มเท่าของความยาวคลื่น เช่น $\lambda, 2\lambda, 3\lambda, \dots, n\lambda$ หรือมีเฟสต่างกัน $2\pi, 4\pi, 6\pi, \dots, 2n\pi$ เช่น A, C, E เป็นตำแหน่งบนคลื่นที่ inphase กัน
 8. ตำแหน่งบนคลื่นที่มีเฟสตรงกันข้าม หรือตำแหน่งบนคลื่นที่อยู่ห่างกัน $\lambda/2, 3\lambda/2, 5\lambda/2, \dots, (n + \frac{1}{2})\lambda$ หรือมีเฟสต่างกัน $\pi, 3\pi, 5\pi, \dots, (2n+1)\pi$ เช่น F และ H มีเฟสตรงกันข้าม
 9. ความถี่ (frequency = f) จำนวนลูกคลื่นที่ผ่านจุดใด ๆ ในหนึ่งหน่วยเวลา (รอบต่อวินาที หรือ Hz)
 10. คาบ (period = T) เวลาที่คลื่นเคลื่อนที่ได้ 1 รอบ หรือ เวลาที่คลื่นเคลื่อนที่ได้ 1 ความยาวคลื่น
- โดย
$$T = \frac{1}{f}$$

11. อัตราเร็วคลื่นหมายถึงระยะทางที่คลื่นเคลื่อนที่ได้ใน 1 หน่วยเวลา โดย

$$\text{อัตราเร็ว}(v) = \frac{\text{ระยะทางที่คลื่นเคลื่อนที่}}{\text{เวลา}}$$

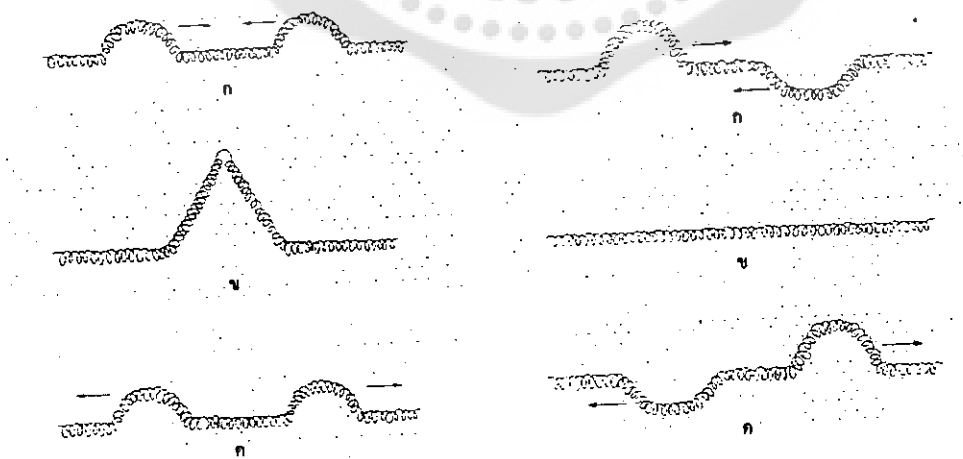
$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

การศึกษาสมบัติของคลื่นใช้อุปกรณ์คือชุดถาดคลื่น เมื่อแสงจากหลอดไฟส่องมาที่ผิวน้ำในถาดคลื่น ผิวน้ำส่วนที่โค้งขึ้นจะเสมือนเป็นเลนส์นูนรวมแสงเกิดเป็นแถบสว่างบนกระดาษได้ ถาดคลื่น ผิวน้ำส่วนที่โค้งลงจะเสมือนเป็นเลนส์เว้ากระจายแสงเกิดเป็นแถบมืดบนกระดาษได้ ถาดคลื่น

เมื่อใช้ชุดถาดคลื่นทดลองทำให้เกิด

- (1). คลื่นคลวงกลม
- (2). คลื่นวงกลมต่อเนื่อง
- (3). คลื่นคลเส้นตรง
- (4). คลื่นต่อเนื่องเส้นตรง

จากคลื่นต่อเนื่องจะทำให้เห็น “หน้าคลื่น” ซึ่งคือเส้นที่ลากผ่านตำแหน่งที่มีเฟสตรงกันเส้นแนวกลางของแถบสว่างซึ่งเกิดจากแนวของสันคลื่น และเส้นแนวกลางของแถบมืดซึ่งเกิดจากแนวของท้องคลื่นต่างก็เป็นหน้าคลื่น พบว่าหน้าคลื่นมีทิศตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น ระยะระหว่างหน้าคลื่นที่อยู่ติดกันจะเท่ากับความยาวคลื่น เมื่อคลื่นคลสองคลื่นที่เกิดจากการสลับขลควมาพบกันจะได้ผลเป็นดังรูป 3



รูป 3 การซ้อนทับกันของคลื่นคล 2 คลื่น

สิ่งที่พบจากการสังเกตคือ เมื่อคลื่นมาพบกันจะเกิด “คลื่นรวม” หรือ “คลื่นลัพธ์” ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การซ้อนทับของคลื่น ถ้าสะบัดในทิศเดียวกัน คลื่นคลทั้งสองจะทำให้อนุภาคของหลอดสปริงมีการกระจัดในทิศเดียวกันเมื่อเคลื่อนที่มาพบกัน คลื่นคลทั้งสองจะรวมกันเกิดการกระจัดลัพธ์มีขนาดมากกว่าการกระจัดเดิมของคลื่นแต่ละคลื่น เมื่อคลื่นทั้งสองผ่านพ้นกันไปแล้ว คลื่นคลแต่ละคลื่นจะมีลักษณะเหมือนเดิม และเคลื่อนที่ในทิศเดิม

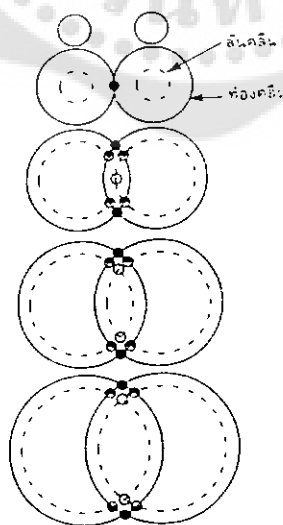
ถ้าสะบัดในทิศตรงกันข้าม คลื่นคลทั้งสองจะทำให้อนุภาคของหลอดสปริงมีการกระจัดในทิศตรงกันข้าม เมื่อเคลื่อนที่มาพบกันคลื่นคลทั้งสองจะรวมกันทำให้เกิดการกระจัดลัพธ์มีขนาดน้อยกว่าการกระจัดเดิมของคลื่นแต่ละคลื่น เมื่อคลื่นทั้งสองผ่านพ้นกันไปแล้วคลื่นคลแต่ละคลื่นจะมีลักษณะเหมือนเดิม และเคลื่อนที่ในทิศเดิม ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การซ้อนทับของคลื่น ซึ่งอธิบายใช้ “หลักการซ้อนทับของคลื่น” ดังนี้เมื่อคลื่น 2 ขบวนขึ้นไปมาพบกันที่จุดใดจุดหนึ่งจะเกิดการรวมกันของคลื่นที่จุดนั้น โดย

(ก) คลื่นลัพธ์ จะเกิดจากการรวมกันแบบเวกเตอร์ของการกระจัดของคลื่นทั้งสอง

(ข) ถ้าสันคลื่นพบกับสันคลื่น หรือท้องคลื่นพบกับท้องคลื่น คลื่นลัพธ์จะเป็นแบบ เสริมกันได้คลื่นลัพธ์ที่โตกว่าเดิม

(ค) ถ้าสันคลื่นพบกับท้องคลื่น คลื่นลัพธ์จะเป็นแบบ หักล้างกัน

ดังนั้นเมื่อคลื่นทั้งสองผ่านพ้นกันไปแล้ว คลื่นคลแต่ละคลื่นจะมีลักษณะเหมือนเดิม และเคลื่อนที่ในทิศเดิม ในกรณีคลื่นผิวน้ำที่เคลื่อนที่มาพบกันก็จะรวมกันได้เช่นกัน เช่นเมื่อแหล่งกำเนิดคลื่น 2 แหล่งทำให้เกิดคลื่นวงกลมที่เหมือนกันทุกประการ คือมีความถี่และเฟสตรงกัน จะสามารถเขียนแผนภาพแสดงการซ้อนทับของคลื่น ได้ดังรูป 4



รูป 4 การซ้อนทับของคลื่นดวงกลม 2 คลื่น

- แสดง การซ้อนทับของท้องคลื่นกับท้องคลื่น
- แสดง การซ้อนทับของสันคลื่นกับสันคลื่น
- □ แสดง การซ้อนทับของสันคลื่นกับท้องคลื่น

สมบัติของคลื่น

ที่พิจารณาผ่านมา คลื่นเคลื่อนที่ในตัวกลางเนื้อเดียวโดยไม่มีสิ่งกีดขวาง ถ้าคลื่นเคลื่อนที่จากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง หรือคลื่นเคลื่อนที่ในตัวกลางเนื้อเดียวกันแต่พบสิ่งกีดขวาง คลื่นจะเปลี่ยนพฤติกรรมอย่างไร ?

การสะท้อนของคลื่น (Reflection)

ถ้าคลื่นเคลื่อนที่ไปกระทบสิ่งกีดขวางจะเกิดการสะท้อนของคลื่น กรณีการสะท้อนของคลื่นในอวกาศคลื่นสามารถเขียนเป็นแผนภาพได้ดังรูป 5 หรือเขียนแผนภาพแสดงทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นตกกระทบ และคลื่นสะท้อนจะได้ ดังรูป 6



รูป 5 มุมตกกระทบและมุมสะท้อน

รูป 6 ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น

เส้นที่ลากตั้งฉากกับแผ่นกั้น ณ จุดที่คลื่นตกกระทบตกกระทบแผ่นกั้นเรียกว่า

เส้นแนวฉาก จากรูป 6

θ_1 = มุมที่หน้าคลื่นตกกระทบทำกับแผ่นกั้น

θ_2 = มุมที่หน้าคลื่นสะท้อนทำกับแผ่นกั้น

i_1 = มุมที่ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นตกกระทบทำกับเส้นแนวฉาก เรียกว่ามุมตกกระทบ

i_2 = มุมที่ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นสะท้อนทำกับเส้นแนวฉาก เรียกว่า มุมสะท้อน

พิจารณา $\triangle ABC$ และ $\triangle BCF$

$$\begin{aligned} \therefore \quad \angle BAC &= 90^\circ \\ \therefore \quad \theta_1 + a &= 90^\circ \\ \therefore \quad \angle FCB &= 90^\circ \\ \therefore \quad i_1 + a &= 90^\circ \\ \therefore \quad \theta_1 &= i_1 \end{aligned}$$

พิจารณา $\triangle CDE$ และ $\triangle CEF$

$$\begin{aligned} \therefore \quad \angle CED &= 90^\circ \\ \therefore \quad \theta_2 + b &= 90^\circ \\ \therefore \quad \angle DCF &= 90^\circ \\ \therefore \quad i_2 + b &= 90^\circ \\ \therefore \quad \theta_2 &= i_2 \end{aligned}$$

สรุปได้ว่า มุมที่ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นตกกระทบทำกับเส้นแนวฉาก จะเท่ากับ มุมที่หน้าคลื่นตกกระทบทำกับแผ่นกั้นเรียกมุมนี้ว่า มุมตกกระทบ

มุมที่ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นสะท้อนทำกับเส้นแนวฉาก จะเท่ากับ มุมที่หน้าคลื่นสะท้อนทำกับแผ่นกั้นเรียกมุมนี้ว่า มุมสะท้อน

จากการทดลองพบว่า

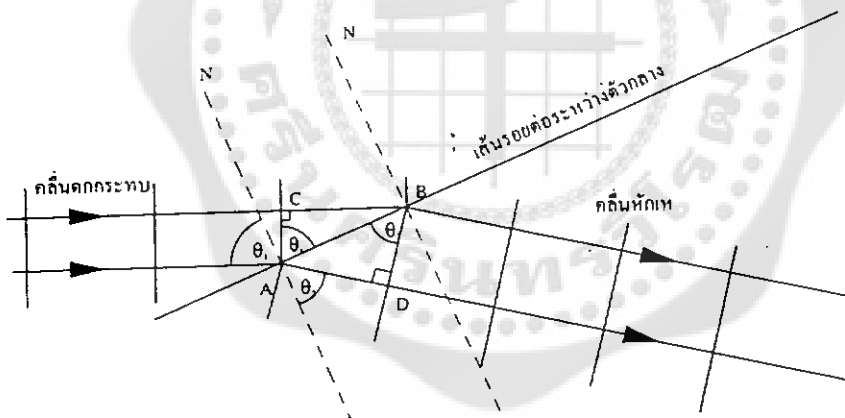
$$\begin{aligned} \theta_1 &= \theta_2 \\ \therefore \quad i_1 &= i_2 \end{aligned}$$

สรุปเป็นกฎการสะท้อนได้ว่า เมื่อเกิดการสะท้อนของคลื่น จะได้มุมตกกระทบ เท่ากับมุมสะท้อนเสมอ

การหักเหของคลื่น (Refraction)

เมื่อคลื่นตกกระทบสิ่งกีดขวางจะเกิดการสะท้อน แต่ถ้าคลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่จากตัวกลางหนึ่งเข้าไปในตัวกลางหนึ่งจะเกิดการหักเหของคลื่น เมื่อให้คลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่จากบริเวณน้ำลึกเข้าไปยังบริเวณน้ำตื้น จากการทดลองพบว่าการเปลี่ยนความลึกทำให้อัตราเร็วของคลื่นผิวน้ำเปลี่ยนไป ดังนั้น สามารถถือได้ว่า น้ำลึกและน้ำตื้นเป็นตัวกลางคนละชนิด

ถ้าคอนแรกทดลองให้ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นตกกระทบตั้งฉากกับรอยต่อ พบว่าคลื่นที่ผ่านเข้าไปในตัวกลางหนึ่ง มีความยาวคลื่นเปลี่ยนไป แต่ทิศการเคลื่อนที่ไม่เปลี่ยน ต่อมาให้คลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อระหว่างบริเวณน้ำลึกกับน้ำตื้น โดยทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นตกกระทบไม่ตั้งฉากกับรอยต่อ พบว่าคลื่นที่ผ่านเข้าไปในตัวกลางหนึ่งมีทิศการเคลื่อนที่เปลี่ยนไปและความยาวคลื่นเปลี่ยนไปด้วย การอธิบายผลการทดลองที่พบเมื่อมองผ่านสโตรโบสโคป พบว่าทั้งคลื่นในน้ำลึกและน้ำตื้นจะหยุดนิ่งพร้อมกันแสดงว่าความถี่ของคลื่นยังคงเท่าเดิม นั่นคือความถี่ที่แม้ว่าความยาวคลื่นจะเปลี่ยนไปแต่ $v = f \lambda$ ดังนั้นทำให้ทราบว่ายัตราเร็วของคลื่นจะเปลี่ยนไป (ไม่คงที่) ปรากฏการณ์ที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อระหว่างตัวกลางที่มีสมบัติต่างกันแล้วทำให้อัตราเร็วและทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นเปลี่ยนไป เรียกว่า การหักเห และคลื่นที่ผ่านรอยต่อระหว่างตัวกลางไปเรียกว่า คลื่นหักเห เขียนแผนภาพการหักเหของคลื่นได้ดังรูป 7



รูป 7 การหักเหของคลื่น

เมื่อคลื่นเกิดการหักเห ความถี่ (f) คงที่ แต่ความยาวคลื่นของคลื่นตกกระทบ ความยาวคลื่นของคลื่นหักเหเปลี่ยนไป คือ ไม่เท่ากัน และอัตราเร็วของคลื่นตกกระทบ อัตราเร็วของคลื่นหักเหเปลี่ยนไป คือ ไม่เท่ากัน ปริมาณเหล่านี้มีความสัมพันธ์กันหาได้โดยจากรูป 7

หน้าคลื่นของคลื่นตกกระทบทำมุม θ_1 กับรอยต่อ

หน้าคลื่นของคลื่นหักเหทำมุม θ_2 กับรอยต่อ

ให้ N เป็นเส้นแนวฉาก

ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นตกกระทบ ทำมุม θ_1 กับเส้นแนวฉาก

มุม θ_1 คือมุมตกกระทบ

ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นหักเหทำมุม θ_2 กับเส้นแนวฉาก มุม θ_2 คือ มุมหักเห

จากรูป

$$B = \lambda_1 \text{ (เป็นความยาวคลื่นในบริเวณน้ำลึก)}$$

$$AD = \lambda_2 \text{ (เป็นความยาวคลื่นในบริเวณน้ำตื้น)}$$

$$\text{พิจารณา } \triangle ABC \quad \sin \theta_1 = \frac{BC}{AB} = \frac{\lambda_1}{AB}$$

$$\text{พิจารณา } \triangle ABD \quad \sin \theta_2 = \frac{AD}{AB} = \frac{\lambda_2}{AB}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} &= \frac{\lambda_1 / AB}{\lambda_2 / AB} = \frac{\lambda_1}{AB} \times \frac{AB}{\lambda_2} \\ \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} &= \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\therefore v = f \lambda$$

ถ้าให้ v_1 เป็นอัตราเร็วของคลื่นในน้ำลึก

v_2 เป็นอัตราเร็วของคลื่นในน้ำตื้น

$\therefore$ คลื่นในน้ำลึกและน้ำตื้นมีความถี่เท่ากัน

$$\therefore v_1 = f \lambda_1$$

$$\text{และ} \quad v_2 = f \lambda_2$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{f \lambda_1}{f \lambda_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \quad (2)$$

จากสมการ(1) และ(2) จะได้

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \quad (3)$$

สมการ(3) อธิบายได้ว่าเมื่อคลื่นมีการหักเห อัตราส่วนระหว่างไซน์ของมุมตกกระทบกับไซน์ของมุมหักเห มีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างอัตราเร็วคลื่นในตัวกลางที่คลื่นตกกระทบกับอัตราเร็วคลื่นในตัวกลางที่คลื่นหักเห

การแทรกสอดของคลื่น (Interference)

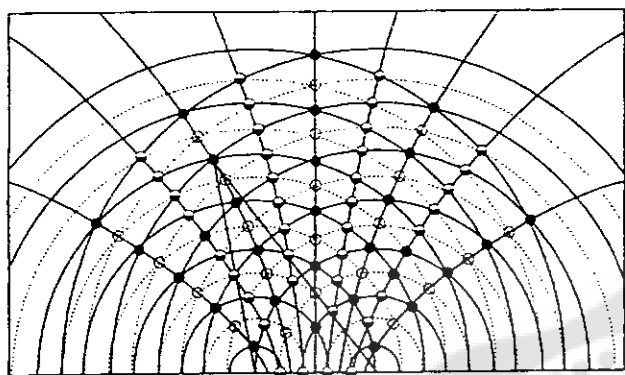
จากหลักการซ้อนทับกันของคลื่น ทราบแล้วว่าถ้าคลื่นคล 2 คลื่นมาพบกัน จะเกิดการรวมกัน ถ้าคลื่นที่มาพบกันเป็นคลื่นต่อเนื่องที่มีความถี่เท่ากันและมีเฟสตรงกัน ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจะทราบโดยทำการทดลองโดยใช้ถาดคลื่น และแหล่งกำเนิดอาพันธ์ (Coherent source) คือ แหล่งกำเนิดคลื่น ตั้งแต่ 2 แหล่งขึ้นไป ที่มีความถี่เท่ากันและมีเฟสตรงกัน หรือมีเฟสต่างกันคงตัวจากการทดลองใช้ถาดคลื่น และใช้แหล่งกำเนิดคลื่นวงกลมที่เกิดจากปุ่ม 2 ปุ่มของคันเคาะ เมื่อคลื่นวงกลมต่อเนื่อง 2 ขบวน ที่เหมือนกันมาพบกัน คลื่นทั้ง 2 ขบวน จะรวมกัน (ซ้อนทับกัน) จะมองเห็นเป็นแนวมืด แนวสว่าง สลับกัน เรียกว่าเกิดลวดลายการแทรกสอด (Interference pattern) และเรียก ปรากฏการณ์การซ้อนทับกันของคลื่น 2 ขบวนที่มาพบกันนี้ว่า การแทรกสอด ดังรูป 8



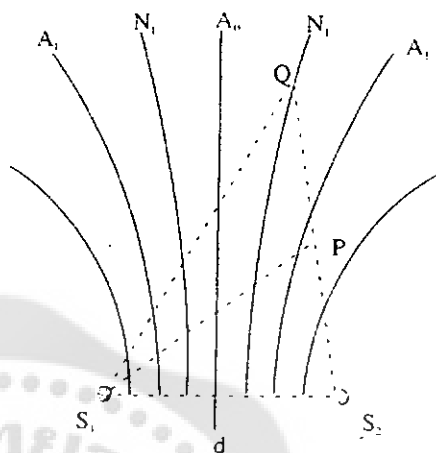
รูป 8 การแทรกสอดของคลื่นต่อเนื่องวงกลม

จากรูป 8 เป็นลวดลายการแทรกสอดคลื่นต่อเนื่องวงกลมต่อเนื่อง 2 ขบวนที่เหมือนกันมาพบกัน และซ้อนทับกันโดย เมื่อใดที่สันคลื่นพบกับท้องคลื่น ตำแหน่งนั้น แอมพลิจูดของคลื่นทั้งสองจะหักล้างกันทำให้ผิวน้ำไม่กระเพื่อมเรียกว่าเกิดการแทรกสอดแบบหักล้าง และเรียกตำแหน่งที่ผิวน้ำไม่กระเพื่อมหรือมีการกระจัดเป็นศูนย์ว่า บัพ (node)

สำหรับตำแหน่งที่สันคลื่นพบกับสันคลื่น และท้องคลื่นพบกับท้องคลื่น แอมพลิจูดของคลื่นทั้งสองจะเสริมกันทำให้ผิวน้ำ ๓ ตำแหน่งนั้นมีระดับสูงชันมากที่สุด หรือลดต่ำมากที่สุดตามลำดับ เรียกว่าเกิดการแทรกสอดแบบเสริม (constructive interference) และเรียกตำแหน่งที่ผิวน้ำกระเพื่อมมากที่สุดหรือมีการกระจัดมากที่สุดว่า ปฏิบัพ (antinode) เนื่องจากคลื่นทั้ง 2 ขบวนเคลื่อนที่มาพบกันอย่างต่อเนื่องจึงเกิด บัพ และปฏิบัพ อย่างต่อเนื่อง พบว่า เมื่อลากเส้นเชื่อมต่อบัพที่อยู่ติดกันไป จะได้แนวเส้นที่เรียกว่า เส้นบัพ (node line) และเมื่อลากเส้นเชื่อมต่อบัพที่อยู่ติดกันไป จะได้แนวเส้นที่เรียกว่า เส้นปฏิบัพ (antinode line) ทำให้เห็นเป็น ลวดลายการแทรกสอด ซึ่งแผนภาพของการแทรกสอดของคลื่นต่อเนื่องวงกลมแสดงดังรูป 9



(ก)



(ข)

รูป 9 แผนภาพการแทรกสอดของคลื่น

- แทนตำแหน่งที่ท้องคลื่นพบกับท้องคลื่น
- แทน ตำแหน่งที่สันคลื่นพบกับสันคลื่น
- ◐ แทน ตำแหน่งที่สันคลื่นพบกับท้องคลื่น

จากรูป 9 ถ้าพิจารณาเฉพาะเส้นบัพและปฏิบัพจะได้ดังรูป (ข)

โดย S_1 และ S_2 เป็นกำเนิดอาพันธ์

$A_0, A_1, A_2, \dots$ เป็นเส้นปฏิบัพ

$N_1, N_2, \dots$ เป็นเส้นบัพ

พิจารณาเส้นปฏิบัพ ทุกๆจุดบนเส้นปฏิบัพ คลื่นจะมีการแทรกสอดแบบเสริมกัน

นั่นคือ ท้องคลื่นพบกับท้องคลื่นและสันคลื่นพบกับสันคลื่นพอดี ดังนั้นผลต่างระหว่างระยะทางจากแหล่งกำเนิดคลื่นทั้งสองไปยังจุดใดๆบนเส้นปฏิบัพจะเท่ากับจำนวนเต็มเท่าของความยาวคลื่นเสมอ เช่น ที่จุด P ในรูป จะได้

$$S_1P - S_2P = n\lambda$$

เมื่อ $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

ในการทำเดียวกันพิจารณาเส้นทาง ทุกๆจุดบนเส้นทาง คลื่นจะมีการแทรกสอดแบบหักล้าง นั่นคือ สันคลื่นซ้อนทับกับท้องคลื่นพอดี ดังนั้นผลต่างระหว่างระยะทางจากแหล่งกำเนิดคลื่นทั้งสองไปยังจุดใดๆบนเส้นทางจะเท่ากับจำนวนเต็มบวกด้วยครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นเสมอ เช่นที่จุด Q ในรูปจะได้

$$S_1Q - S_2Q = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

เมื่อ $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

ปริมาณ $S_1P - S_2P$ และ $S_1Q - S_2Q$ เรียกว่า ความต่างระยะทาง (path difference)

หรือ (path - length difference) ขณะเกิดการแทรกสอด ในแนว S_1 และ S_2 ในรูป 9 รูป

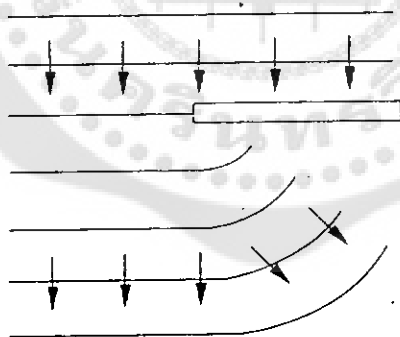
คลื่นที่ปรากฏขึ้นจะเสมือนอยู่นิ่งกับที่ เรียกว่า คลื่นนิ่ง (standing wave หรือ stationary wave)

คลื่นนิ่งของคลื่นหน้าตรงสามารถทำให้เกิดขึ้นได้ โดยให้คลื่นผิวน้ำที่มีหน้าคลื่นเส้นตรง

เคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดไปกระทบแถบกันขอบตรงที่ขนานกับหน้าคลื่น คลื่นที่สะท้อนกลับจะแทรกสอดกับคลื่นเดิมเกิดเส้นทางและปฏิบัพ

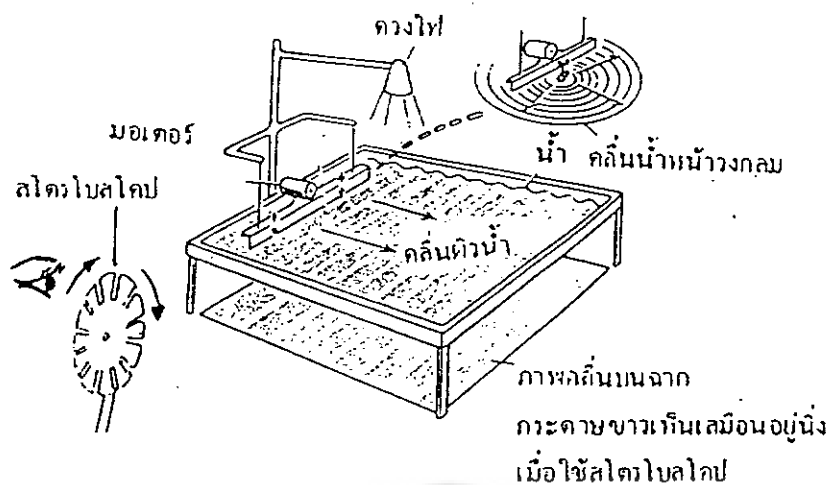
การเลี้ยวเบน (Diffraction) ของคลื่น

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่พบสิ่งกีดขวางจะสะท้อน แต่ถ้านำแผ่นกันขวางการเคลื่อนที่ของคลื่นแต่เพียงบางส่วน พบว่ามีคลื่นส่วนหนึ่งแผ่กระจายจากขอบของแผ่นกัน ดังรูป 10



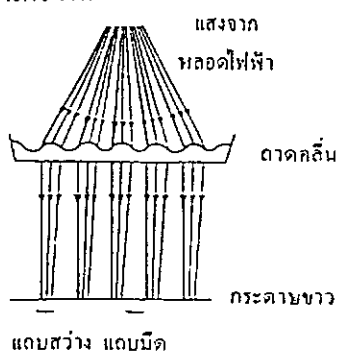
รูป 10 การเลี้ยวเบนของคลื่นผิวน้ำเมื่อผ่านขอบสิ่งกีดขวาง

การที่มีคลื่นปรากฏในบริเวณด้านหลังของแผ่นกันเช่นนี้ เรียกว่าการเลี้ยวเบน ถ้าเพิ่มความยาวคลื่นของคลื่นตกกระทบก็จะเห็นการเลี้ยวเบนเกิดมากขึ้น (คลื่นที่มีความถี่ต่ำ คือ λ มาก จะอ้อมสิ่งกีดขวางไปได้ไกลกว่าเมื่อใช้คลื่นที่มีความถี่สูง แสดงว่า เกิดการเลี้ยวเบนได้มากกว่า) เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ปะทะสิ่งกีดขวางที่มีช่องเปิดคลื่นจะเลี้ยวเบนเช่นกัน การเลี้ยวเบนเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นกับความกว้าง (d) ของช่องเปิดดังรูป 11

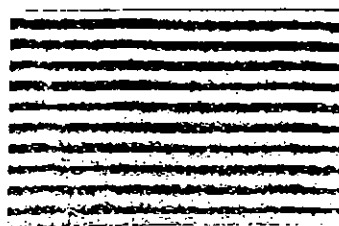


รูป 13 การเกิดแถบมืดและแถบสว่างบนฉาก

เมื่อมอเตอร์เล็ก ๆ ที่ติดอยู่บนแกนกำเนิดคลื่นหมุน จะทำให้แกนเกิดการสั่นขึ้นลง และถ้าจัดวางฉากที่กำลังสั่นให้พอดีสัมผัสกับผิวหน้า จะทำให้เกิดการรบกวนผิวหน้าในภาคคลื่น และจะเกิดระลอกของคลื่นผิวหน้าขึ้นที่ผิวหน้าของน้ำตื้นๆ ในภาคคลื่นที่จากตำแหน่งผิวหน้าที่ถูกรบกวนไปยังขอบของภาคคลื่น ซึ่งคลื่นผิวหน้าที่เกิดจากการสั่นขึ้นลงของฉาก จะทำให้ผิวหน้ามีลักษณะโค้งขึ้นโค้งลงสลับต่อเนื่องกันไป ผิวหน้าส่วนที่โค้งขึ้นจะทำหน้าที่คล้ายกับเป็นเลนส์นูน ซึ่งถ้าหลอดไฟที่อยู่ด้านบนของฉากส่องแสงลงมา เลนส์นูนที่ผิวหน้าจะทำหน้าที่รวมแสงให้เกิดเป็นแถบสว่างปรากฏบนฉากที่วางอยู่ที่พื้นด้านล่างได้ภาคคลื่น สำหรับผิวหน้าที่โค้งลงจะทำหน้าที่คล้ายกับเป็นเลนส์เว้า ซึ่งถ้าแสงจากหลอดไฟที่อยู่ด้านบนส่องลงมา เลนส์เว้าที่ผิวหน้าจะทำหน้าที่กระจายแสงออกไปเกิดเป็นแถบมืดปรากฏบนฉากดังรูป 13 แต่เพราะคลื่นผิวน้ำเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจากการสั่นขึ้นลงของฉาก ผิวหน้าในภาคจึงมีลักษณะโค้งขึ้นโค้งลงสลับกันไปตลอดผิวหน้าของน้ำ ดังนั้นแถบมืดและแถบสว่างบนฉากที่วางอยู่ที่ด้านล่างได้ภาคคลื่นจึงเกิดสลับกันซึ่งภาพแถบมืดแถบสว่างบนฉากที่เกิดขึ้นจากการสั่นของฉากจะมีลักษณะดังรูป 14 ซึ่งคลื่นจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงที่เรียกว่า คลื่นต่อเนื่องเส้นตรง ดังรูป 15

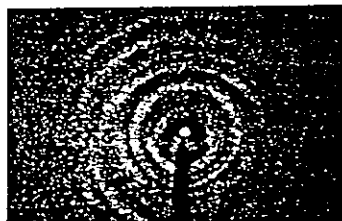


รูป 14 การเกิดแถบมืดและแถบสว่างบนฉากขาว



รูป 15 คลื่นต่อเนื่องเส้นตรง

แต่ถ้าต้องการศึกษากลิ่นวงกลมก็ทำได้โดยนำก้านโลหะมูมจากซึ่งมีลูกกลม(อาจเป็น โลหะหรือพลาสติกก็ได้) ติดอยู่ที่ปลายข้างหนึ่งซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 16

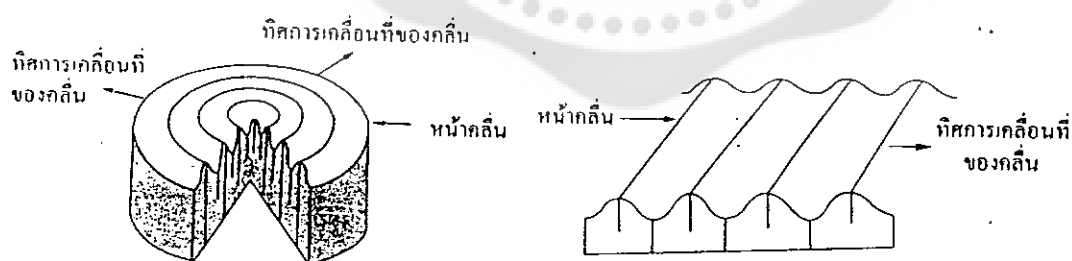


รูป 16 ก้านโลหะมูมจากซึ่งมีลูกกลมติดอยู่

รูป 17 กลิ่นต่อเนื่องวงกลม

โดยนำปลายก้านโลหะส่วนที่ไม่มีลูกกลมติดอยู่ไปเสียบที่คานซึ่งจะมีรูเล็กๆ เพื่อให้สามารถเสียบเข้าไปได้และจัดตำแหน่งคานให้ลอยอยู่เหนือผิวน้ำ แต่ให้ลูกกลมสัมผัสผิวน้ำ ดังนั้นเมื่อมอเตอร์ที่คานหมุน คานจะสั่นขึ้นลงทำให้ลูกกลมสั่นขึ้นลงกระทบผิวน้ำในลักษณะเป็นจุด กลิ่นผิวน้ำที่เกิดขึ้นจะเป็นระลอกกลิ่นวงกลมแผ่จากจุดกระทบไปยังขอบของภาตกลิ่น ซึ่งเมื่อแสงจากหลอดไฟฟ้าที่อยู่ด้านบนส่องลงมา ก็จะเห็นเป็นแถบมืดและแถบสว่างบนฉากในลักษณะเป็นวงกลมไล่จากวงเล็กและเป็นวงขยายใหญ่ขึ้นไปเรื่อยๆ จนถึงขอบภาต เกิดในลักษณะต่อเนื่องตลอดเวลาดังรูป 17 ซึ่งกลิ่นในลักษณะเช่นนี้เรียกว่า กลิ่นต่อเนื่องวงกลม

เมื่อกลิ่นต่อเนื่องแผ่ออกจากแหล่งกำเนิด แนวสั่นกลิ่นหรือแนวท้องกลิ่นที่มีเฟสตรงกัน เรียกว่า หน้ากลิ่น ดังนั้นเส้นกลางของแถบสว่างซึ่งเกิดจากแนวสั่นกลิ่น และเส้นกลางของแถบมืดซึ่งเกิดจากแนวท้องกลิ่น จึงใช้แทนหน้ากลิ่นได้ดังรูป 18 ก และ ข จากรูป 18 ใช้แนวแถบสว่างเป็นหน้ากลิ่น ซึ่งหน้ากลิ่นจะตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของกลิ่น และระยะห่างระหว่างหน้ากลิ่นที่อยู่ติดกันคือ ความยาวคลื่น



รูป 18 ก หน้ากลิ่นของกลิ่นต่อเนื่องวงกลม รูป 18 ข หน้ากลิ่นของกลิ่นต่อเนื่องเส้นตรง

2.2 วงจรนับ (ใช้เครื่องคิดเลข)

ตามปกติในการนับจะต้องใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นสำหรับการนับโดยเฉพาะ ซึ่งถ้าซื้อก็มีราคาแพง แต่ถ้าจะสร้างขึ้นใช้เองผู้สร้างต้องมีความรู้ความชำนาญทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ และก็ยังต้องมีราคาแพงอยู่ดี แต่มีอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่มักมีวงจรนับอยู่ภายในแต่ในปัจจุบันมีราคาถูก

มาก นั่นคือเครื่องคิดเลข ซึ่งมีราคาประมาณ 20 บาทขึ้นไป ซึ่งการใช้เครื่องคิดเลขมาใช้เป็นวงจรนับมีข้อดีคือ นอกจากจะมีจอแสดงผลตัวเลขการนับแล้ว ในปัจจุบันเมื่อมีการกดปุ่มต่าง ๆ จะมีเสียงให้ได้ยินอีกด้วย

การที่จะทดสอบว่าเครื่องคิดเลขมีวงจรนับอยู่ภายในหรือไม่ทำได้โดยเริ่มจาก

- (1) กดปุ่มเปิด (ON) ให้เครื่องคิดเลขพร้อมทำงาน
- (2) กดปุ่มเลข 1 (บนจอแสดงผลจะปรากฏเลข 1)
- (3) กดปุ่มเครื่องหมายบวก (+)
- (4) กดปุ่มเครื่องหมายเท่ากับ (=) 1 ครั้ง (บนจอยังคงแสดงผลเป็นเลข 1)
- (5) กดปุ่มเครื่องหมายเท่ากับ (=) อีก 1 ครั้ง (บนจอจะแสดงผลเป็นเลข 2)
- (6) กดปุ่มเครื่องหมายเท่ากับ (=) อีก 1 ครั้ง (บนจอจะแสดงผลเป็นเลข 3)
- (7) เมื่อกดปุ่มเครื่องหมายเท่ากับ ต่อไปอีก บนจอจะแสดงผลเป็นเลขที่เพิ่มขึ้นครั้งละ 1

ไปเรื่อย ๆ

ถ้าผลการดำเนินการเป็นไปตามที่กล่าวมา แสดงว่าเครื่องคิดเลขที่นำมาทดสอบมีวงจรนับอยู่ภายใน แต่ถ้าทุกๆ ครั้งที่มีการกดเครื่องหมายเท่ากับ (=) ตั้งแต่ขั้นตอนที่ 4 เป็นต้นไป จอแสดงผลยังคงแสดงผลเป็นเลข 1 แสดงว่าเครื่องคิดเลขที่นำมาทดสอบไม่มีวงจรนับอยู่ภายใน

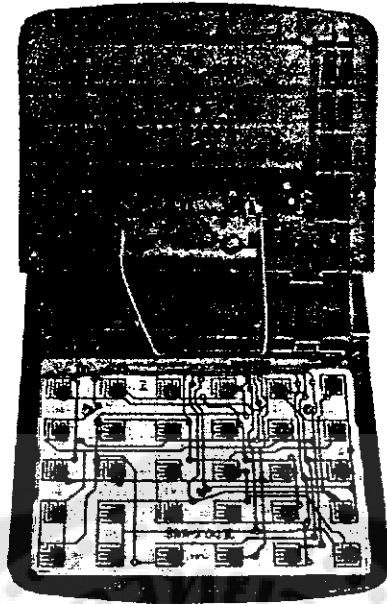
เมื่อได้เครื่องคิดเลขที่มีวงจรนับอยู่ภายในแล้ว การนำเครื่องคิดเลขนี้ไปใช้ประโยชน์เพื่อใช้นับสิ่งต่าง ๆ เช่นนับจำนวนรอบของการหมุน จะต้องมีการต่อสายไฟ 2 สายจากเครื่องหมายเท่ากับ (=) ภายในเครื่องคิดเลขออกมาภายนอก ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- (1) นำเครื่องคิดเลขที่ได้ทดสอบแล้วว่า มีวงจรนับอยู่ภายในมาดังรูป 19



รูป 19 ภาพเครื่องคิดเลข

(2) พลิกเครื่องคิดเลขไปที่ด้านหลัง ไขน็อตที่ด้านหลังของเครื่องคิดเลขออก ตามรูป 20 จะสังเกตเห็นว่ามีแผ่นพลาสติกใส ๆ และมีลายวงจรเป็นเส้นสลับกันไปมา

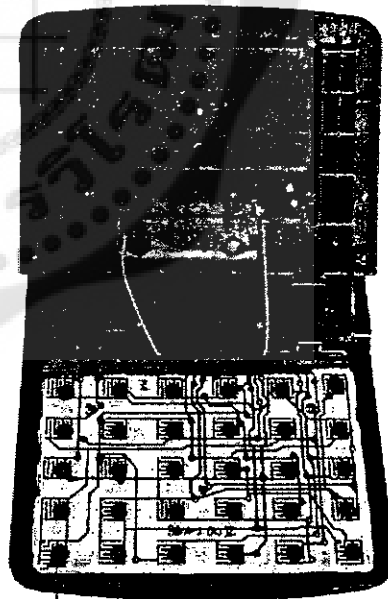


รูป 20 ภาพเครื่องคิดเลขพลิกกลับด้านหลังและเอาฝาปิดด้านหลังออก

(3) เมื่อเปิดด้านหลังเครื่องคิดแล้วให้หาตำแหน่งที่ต้องการใช้คือลายวงจรที่ตรงกับปุ่มเครื่องหมายเท่ากับ (=)



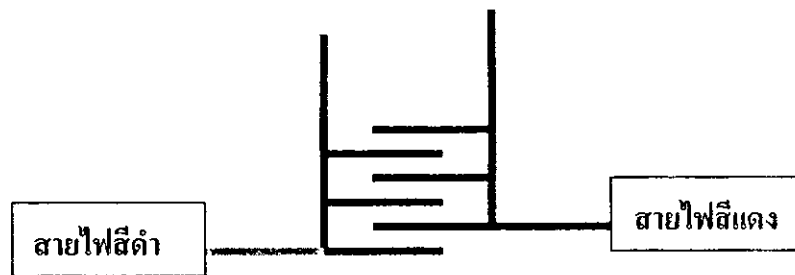
ปุ่มเครื่องหมายเท่ากับ
เมื่อมองทางด้านหน้า



ปุ่มเครื่องหมายเท่ากับ
เมื่อพลิกกลับด้านหลังและเปิดออก

รูป 21 แสดงปุ่มเครื่องหมายเท่ากับ เมื่อมองทางด้านหน้าและด้านหลัง

(4) ใช้สายไฟมาสัมผัสกับลวดวงจรตรงปุ่มเครื่องหมายเท่ากับ และใช้กาวชนิดคาร์บอนติดสายไฟกับลวดวงจรทั้งสองเส้น ตามรูป 22

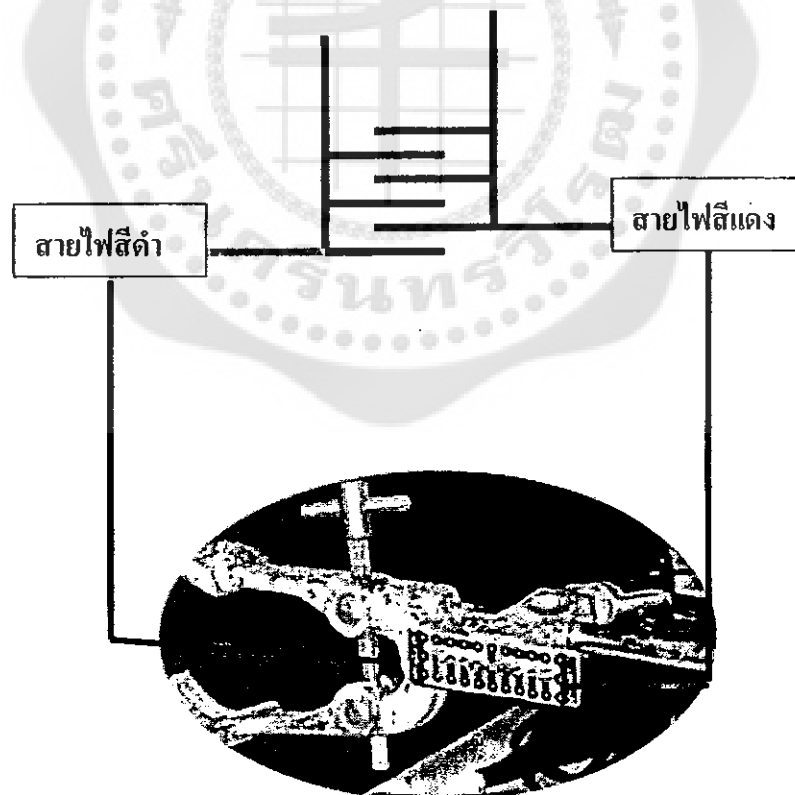


รูป 22 แสดงการต่อสายไฟ 2 สายเข้ากับลวดวงจรเครื่องหมายเท่ากับ

(5) ถ้านำปลายสายสีดำและสีแดงมาสัมผัสกันเองจะมีผลเหมือนกดปุ่มเครื่องหมายเท่ากับ

(6) ถ้านำปลายสายทั้งสองไปต่อกับสวิทช์ เมื่อกดสวิทช์ก็จะมีผลเหมือนกดปุ่มเครื่องหมายเท่ากับ โดยสวิทช์ที่ต่ออาจเป็นสวิทช์ที่เรียกว่า รีดสวิทช์ ซึ่งเป็นสวิทช์ที่จะทำงานเมื่อนำแท่งแม่เหล็กถาวรมาใกล้ๆ ก็ได้

(7) ในการวิจัยครั้งนี้ สายไฟทั้งสองเส้นจากเครื่องคิดเลขจะไปต่อกับรีดสวิทช์ โดยรีดสวิทช์จะยึดติดแน่นอยู่บนแผ่นวงจรสำเร็จรูป ดังรูป 23



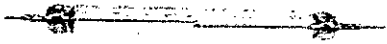
รูป 23 แสดงการนำสายไฟทั้งสองเส้นจากเครื่องคิดเลขไปต่อกับรีดสวิทช์

(8) ทดสอบการนับ โดยกดปุ่มเครื่องคิดเลข ปุ่มเลข 1 และเครื่องหมายบวก จากนั้นกดปุ่ม

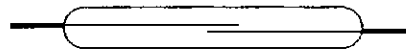
เครื่องหมายเท่ากับ เมื่อหมุนจานสโตรโบสโคป และแม่เหล็กผ่านรีดสวิตช์ เครื่องคิดเลขจะแสดงการนับ โดยแสดงเลข 1 2 3 เป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ

2.3 รีดสวิตช์ (reed switch)

เป็นสวิตช์ปิด – เปิดวงจรชนิดหนึ่งที่ควบคุมการทำงานโดยใช้สนามแม่เหล็กจากภายนอก เช่นจากแท่งแม่เหล็กถาวรเป็นตัวควบคุมการเปิดและปิดวงจร โดยทั่วไปรีดสวิตช์มีลักษณะดังรูป 24



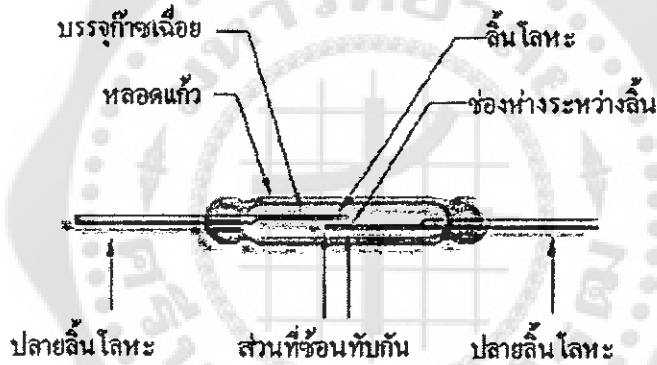
(ก) ภาพถ่ายของรีดสวิตช์



(ข) ภาพเขียนของรีดสวิตช์

รูป 24 ภาพของรีดสวิตช์

ส่วนประกอบของรีดสวิตช์แสดงดังรูป 25



รูป 25 ส่วนประกอบของรีดสวิตช์

ซึ่งประกอบด้วย หลอดแก้ว และลวดหรือชิ้นโลหะเล็กๆ หรือ รีด ปลายของลวดโลหะทั้งสองที่อยู่ภายนอกหลอดแก้ว เป็นส่วนที่ต่อออกไปใช้งาน หลอดแก้วใช้บรรจุลวดโลหะ ปลายทั้งสองของหลอดแก้วเป็นตัวยึดลวดโลหะไว้อย่างมั่นคง ภายในหลอดแก้วบรรจุก๊าชเฉื่อยเอาไว้ รีดหรือลวดโลหะทำด้วยสารแม่เหล็กอย่างอ่อน มักเป็นโลหะผสมระหว่างเหล็กกับนิเกิล ตามปกติในหลอดรีดสวิตช์ จะมีลวดโลหะอยู่ 2 อัน วางให้มีส่วนหนึ่งซ้อนกันแต่ไม่สัมผัสกันดังรูป 25 นั่นคือเมื่อนำไปต่ออยู่ในวงจรจะทำให้วงจรอยู่ในลักษณะเปิดวงจร กระแสไฟฟ้าจะผ่านรีดสวิตช์ไม่ได้ เมื่อมีสนามแม่เหล็กจากภายนอก เช่นจากแท่งแม่เหล็กถาวรมากระทำต่อรีดสวิตช์ ลวดโลหะทั้ง 2 อันจะมาสัมผัสกัน ซึ่งถ้าปลายทั้งสองของรีดสวิตช์ต่อเป็นส่วนหนึ่งของวงจรไฟฟ้า จะทำให้กระแสไฟฟ้าผ่านรีดสวิตช์ได้ นั่นคือวงจรอยู่ในลักษณะปิดวงจร

ดังนั้นในการทำกรวิจัยครั้งนี้ ได้นำรีดสวิตช์ มาทำงานร่วมกับแท่งแม่เหล็กถาวร และเครื่องคิดเลขที่ทำหน้าที่ในการนับรอบ โดยบัดกรีขาสองข้างของรีดสวิตช์ ให้ติดกับแผ่นวงจร

สำเร็จขนาดเล็ก เพื่อให้ยึดติดและวางตัวมั่นคงแน่นหนา และนำรีดสวิตช์ที่ติดอยู่กับแผ่นวงจรสำเร็จ ไปยึดติดกับแท่งอะลูมิเนียมที่มีช่องกลวงตรงกลางเพื่อให้สามารถสวมกับตัวหนีบยึด (clamp) ส่วนแท่งแม่เหล็กถาวรขนาดเล็ก จะติดไว้ที่ขอบของแผ่นจานสโตรโบสโคป โดยจัดวางตำแหน่งไว้ในแต่ละรอบของการหมุน แท่งแม่เหล็กถาวรขนาดเล็ก จะเคลื่อนที่เข้าไปใกล้รีดสวิตช์ 1 ครั้ง ทำให้แผ่นลิ้นโลหะทั้ง 2 อันมาติดกัน และกระแสไฟฟ้าจะผ่านรีดสวิตช์ไปได้ แต่ขาทั้งสองของรีดสวิตช์ต่อกับสายไฟฟ้า 2 เส้น ที่มาจากเครื่องหมายเท่ากับของเครื่องคิดเลข จึงมีผลเท่ากับการกดปุ่มเครื่องหมายเท่ากับ 1 ครั้ง และตัวเลขของเครื่องคิดเลข ก็จะมีตัวเลขเพิ่มขึ้นทีละหนึ่งไปเรื่อย ๆ จาก 1 เป็น 2 เป็น 3 , 4 ... ในทุก ๆ ครั้งที่แท่งแม่เหล็กถาวรเคลื่อนที่เข้าไปใกล้รีดสวิตช์ นั่นคือขณะนี้ทุกรอบการหมุนของแผ่นจานสโตรโบสโคป จะถูกบันทึกจำนวนรอบให้สามารถสังเกตดูได้จากหน้าจอแสดงผลของเครื่องคิดเลข

2.4 สโตรโบสโคป (Stroboscope)

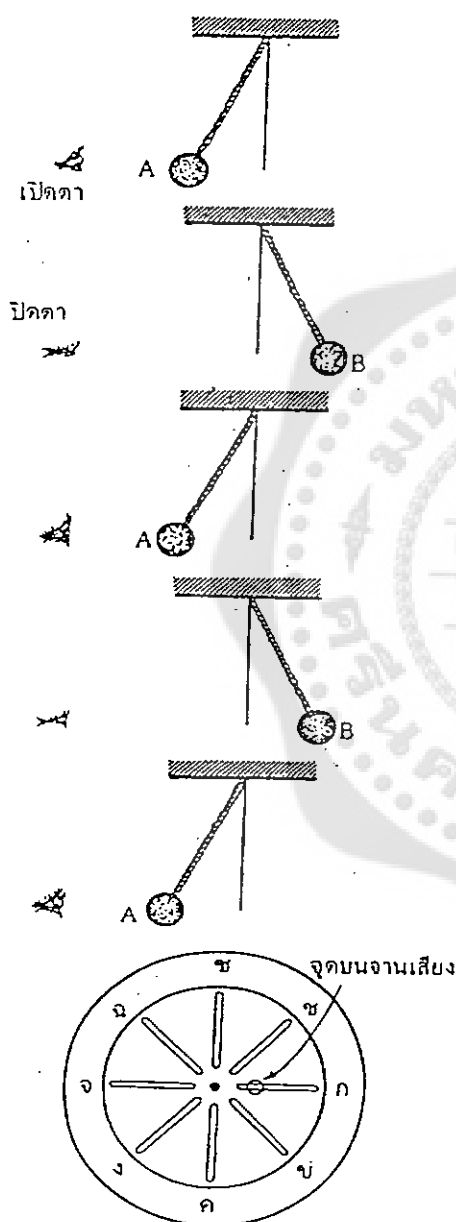
สโตรโบสโคปเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับหาความยาวคลื่นและความถี่ของการสั่น การหมุน หรือของคลื่นที่มองเห็นได้ เช่น คลื่นน้ำ สโตรโบสโคปแบบที่นิยมใช้มีลักษณะเป็นแผ่นจานกลมทึบแสง หมุนได้คล่องรอบแกน ขอบของแผ่นมีช่องเล็ก ๆ หลายช่อง แต่ละช่องอยู่ห่างเป็นระยะเท่า ๆ กัน ถ้าเป็นแบบใช้มือหมุน (hand stroboscope) จะมีช่องกลมใกล้แกนหมุน เพื่อใช้นิ้วสอดแล้วหมุนดังรูป 26



รูป 26 สโตรโบสโคปแบบมือหมุน

หลักการทำงานของสโตรโบสโคปเปรียบได้กับการมองลูกตุ้มที่กำลังแกว่ง ถ้ามองดูตลอดเวลา จะเห็นลูกตุ้มแกว่งไปมาโดยตลอด แต่ถ้าหลับตาเสียบ้าง แล้วลืมตาเฉพาะเมื่อลูกตุ้มแกว่งถึงตำแหน่งเดิมทุกครั้ง เช่นตำแหน่ง A ดังรูป 27 จะทำให้เข้าใจว่า ลูกตุ้มหยุดนิ่งอยู่ ณ ตำแหน่งเดิมตลอดเวลา แต่ถ้าเปิดตาตอนที่ลูกตุ้มจะมาถึงตำแหน่ง A หรือวัตถุเลยตำแหน่ง A ไปแล้ว ย่อมจะเห็นวัตถุนั้นย้ายที่ไปไม่ได้อยู่นิ่ง

ในทำนองเดียวกัน ถ้าแกว่งลูกตุ้มในห้องมืด แล้วเปิดไฟเป็นจังหวะที่เหมาะสม ก็จะเห็นเสมือนว่าลูกตุ้มอยู่นิ่งได้เช่นกัน การมองเห็นเหตุการณ์ผ่านช่องสโตรโบสโคปก็จะคล้ายกับการมองเห็นการแกว่งของลูกตุ้มดังกล่าวมาแล้ว เพราะขณะที่แผ่นจานของสโตรโบสโคปกำลังหมุน สายตาจะถูกแผ่นจานกั้นไว้ และจะมองเห็นได้เป็นจังหวะขณะมีสายตาตรงกับช่องเปิดเท่านั้น



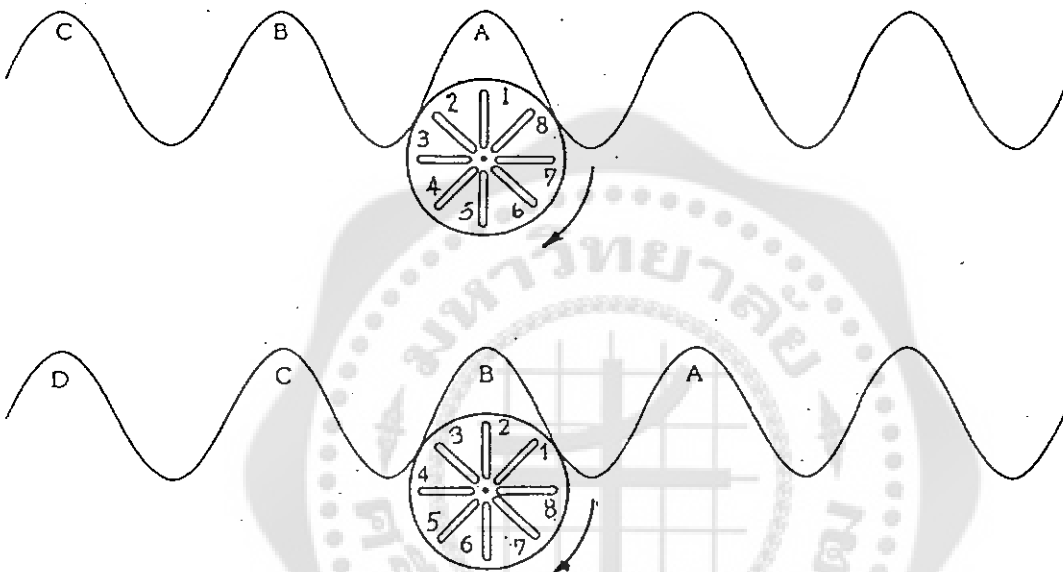
ถ้าหมุนแผ่นจานของสโตรโบสโคปด้วยความเร็วค่าหนึ่ง แล้วสังเกตเห็นวัตถุที่กำลังแกว่งเสมือนว่าหยุดนิ่ง แสดงว่าความเร็วของการหมุนของสโตรโบสโคปเท่ากับความเร็วของการแกว่งของวัตถุ เมื่อนำสโตรโบสโคปที่มี 1 ช่องไปสังเกตการหมุนของแผ่นจานเสียงที่ทำเครื่องหมายไว้ ถ้าช่วงเวลาที่สโตรโบสโคปหมุนครบ 1 รอบ เท่ากับช่วงเวลาที่แผ่นจานเสียงหมุนครบ 1 รอบจะสังเกตเห็นว่า เครื่องหมายที่ทำไว้บนจานเสียงเสมือนหยุดนิ่ง หรือคือเห็นเสมือนว่าแผ่นจานเสียงหยุดนิ่ง(ซึ่งที่จริงไม่ได้หยุดนิ่ง) แต่ถ้านำแผ่นจานของสโตรโบสโคปที่มีหลายช่องเช่นมี 8 ช่อง มาสังเกตการหมุนของแผ่นจานเสียงเดิม พบว่าแผ่นจานของสโตรโบสโคป สามารถหมุนช้าลงได้โดยหมุนเพียง $1/8$ รอบ ก็จะมองเห็นเสมือนว่าแผ่นจานเสียงหยุดนิ่ง ดังนั้น ถ้าทราบความถี่ของการหมุนของแผ่นจานสโตรโบสโคป ก็จะทราบความถี่ของการหมุนของแผ่นจานเสียงได้ เมื่อนำสโตรโบสโคป มาสังเกตคลื่นน้ำในถาดคลื่น ซึ่งเกิดจากการหมุนของมอเตอร์ มอเตอร์หมุน 1 รอบ ทำให้เกิดการเกาะ 1 ครั้ง และเกิดคลื่นออกไป 1 คลื่น ดังนั้น

$$\begin{aligned}\text{ความถี่การหมุนของมอเตอร์ (f)} &= \text{ความถี่ของการเคาะ (f)} \\ &= \text{ความถี่ของคลื่นที่เกิดขึ้น (f_w)}\end{aligned}$$

การหาความถี่ของคลื่นน้ำในถาดคลื่น โดยใช้สโตรโบสโคปที่มีจำนวนช่องเป็น N ช่อง ทำได้โดยถ้าหมุนสโตรโบสโคป ด้วยความถี่พอดีที่เห็นคลื่นเสมือนหยุดนิ่ง สมมุติเป็นกรณีที่กำลังเกิดพบว่า

ช่องที่ 1 เลื่อนออกไป ช่องที่ 2 เลื่อนมาแทน

เป็นจังหวะพอดีที่ คลื่น A ผ่านไป คลื่น B มาแทน (คลื่นผ่านไป 1 ลูก)



รูป 28 เค็มช่อง 1 ของสโตรโบสโคปอยู่ตรงกับสันคลื่น A ต่อมาสโตรโบสโคปหมุนพอดีช่อง 2 มาตรงกับสันคลื่น B แสดงว่าเวลาที่สโตรโบสโคปหมุน 1 ช่องเท่ากับเวลาที่คลื่นน้ำเคลื่อนที่ไป 1 ลูกคลื่น

ในกรณีนี้ คาบ (period) ของคลื่น 1 คาบ ผ่านไปในขณะที่สโตรโบสโคป หมุน 1 ช่อง ดังนั้นในกรณีนี้

$$T_w = T_s$$

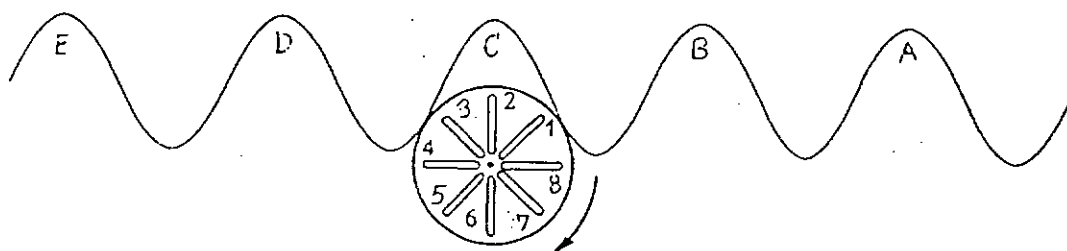
เมื่อ T_w = คาบของคลื่นน้ำ

T_s = เวลาที่สโตรโบสโคปเคลื่อนที่ไป 1 ช่อง

แต่ถ้าสโตรโบสโคป หมุนช้าลงแล้วสังเกตพบว่า

ช่องที่ 1 เลื่อนออกไป ช่องที่ 2 เลื่อนมาแทน

เป็นจังหวะพอดีที่ คลื่น A และ B ผ่านไป คลื่น C มาแทน (คลื่นผ่านไป 2 ลูก)



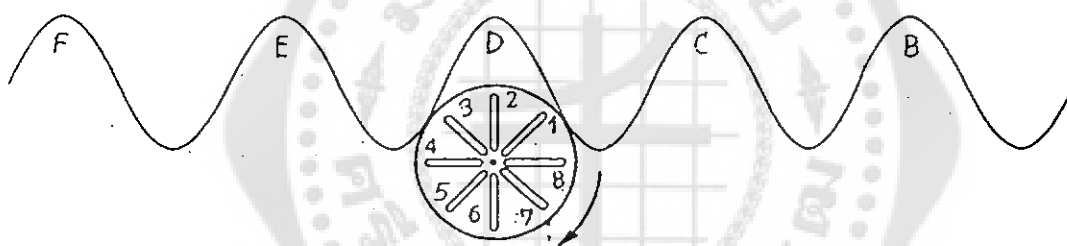
รูป 29 ช่อง 2 ของสโตรโบสโคปอยู่ตรงกับสันคลื่น C แสดงว่าเวลาที่สโตรโบสโคป
หมุนไป 1 ช่องเท่ากับเวลาที่คลื่นน้ำเคลื่อนที่ไป 2 ลูกคลื่น
ในกรณีนี้ 2 คาบ ของคลื่น ผ่านไปในขณะที่สโตรโบสโคป หมุน 1 ช่อง ดังนั้นในกรณีนี้

$$2T_w = T_s$$

แต่ถ้าสโตรโบสโคป หมุนช้าลงอีกแล้วสังเกตพบว่า

ช่องที่ 1 เลื่อนออกไป ช่องที่ 2 เลื่อนมาแทน

เป็นจังหวะพอดีที่ คลื่น A,B และ C ผ่านไป คลื่น D มาแทน (คลื่นผ่านไป 3 ลูก)



รูป 30 ช่อง 2 ของสโตรโบสโคปอยู่ตรงกับสันคลื่น D แสดงว่าเวลาที่สโตรโบสโคป
หมุนไป 1 ช่องเท่ากับเวลาที่คลื่นน้ำเคลื่อนที่ไป 3 ลูกคลื่น
ในกรณีนี้ 3 คาบ ของคลื่น ผ่านไปในขณะที่สโตรโบสโคป หมุน 1 ช่อง ดังนั้นในกรณีนี้

$$3T_w = T_s$$

และจะเกิดเหตุการณ์ในทำนองนี้ขึ้นได้อีก ซึ่งสรุปได้ว่า การที่จะเห็นเสมือนว่าคลื่นหยุดนิ่ง เขียน
เป็นสมการได้ว่า

$$nT_w = T_s \quad (4)$$

เมื่อ n เป็นเลขจำนวนเต็มที่มีค่าเป็น 1,2,3,.....

จากที่พิจารณาผ่านมาจะเห็นว่า สโตรโบสโคปหมุนเร็วที่สุดเมื่อ $n = 1$

ในการใช้สโตรโบสโคปหาความถี่ของคลื่นน้ำ เมื่อปรับอัตราการหมุนของสโตรโบสโคป
จนมองเห็นเสมือนว่าคลื่นหยุดนิ่ง สมมุติว่าในกรณีดังกล่าว

สโตรโบสโคปหมุนได้ m รอบ ในเวลา t วินาที
 หรือ สโตรโบสโคปหมุนได้ mN ช่อง ในเวลา t วินาที
 ดังนั้น สโตรโบสโคปหมุนได้ 1 ช่อง ในเวลา $\frac{t}{mN}$ วินาที

แต่เวลาที่สโตรโบสโคปหมุนได้ 1 ช่อง คือ T_S

ดังนั้น
$$T_S = \frac{t}{mN} \quad (5)$$

แทนค่าสมการ (2) ในสมการ (1) จะได้

$$nT_w = \frac{t}{mN}$$

$$T_w = \frac{t}{mnN} \quad (6)$$

แต่เพราะว่า

ดังนั้น

$$T = \frac{1}{f}$$

$$T_w = \frac{1}{f_w} = \frac{t}{mnN}$$

$$f_w = \frac{mnN}{t} \quad (7)$$

เพราะฉะนั้น

ถ้ากำหนดให้

$$T_S = \text{คาบของสโตรโบสโคป}$$

$$= \text{เวลาที่สโตรโบสโคปหมุนครบ 1 รอบ}$$

จากที่ สโตรโบสโคปหมุน m รอบ ในเวลา t วินาที

ดังนั้น สโตรโบสโคปหมุน 1 รอบ ในเวลา $\frac{t}{m}$ วินาที

นั่นคือ
$$T_S = \frac{t}{m} \quad (8)$$

และ
$$f_S = \frac{m}{t} \quad (9)$$

ดังนั้นสมการ (3) และ (4) สามารถเขียนได้เป็น

$$T_w = \frac{T_S}{mN}$$

หรือ
$$T_S = nNT_w \quad (10)$$

และ
$$f_w = nNf_S \quad (11)$$

ถ้าเป็นกรณีที่หมุนสโโครโบสโคปเร็วที่สุดแล้วเห็นคลื่นเสมือนว่าหยุดนิ่งและภาพของคลื่นยังคงเหมือนเดิมไม่เปลี่ยนไป แสดงว่าเป็นกรณีที่ $n = 1$ สมการ (6) , (7) , (10) และ (11) สามารถเขียนได้เป็น

$$T_w = \frac{t}{mN} \quad (12)$$

$$f_w = \frac{mN}{t} \quad (13)$$

$$T_S = NT_w \quad (14)$$

$$f_w = Nf_S \quad (15)$$

จากเอกสารที่เกี่ยวกับคลื่นพบว่า การศึกษาเรื่องราวเกี่ยวกับคลื่นน้ำเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยาก ถ้าผู้เรียนเอาแต่เรียนทฤษฎีโดยไม่เคยเห็นปรากฏการณ์ของคลื่นน้ำที่ชัดเจนจริงๆ ไม่เคยได้ทำปฏิบัติการหรือทำการทดลองจริงๆ การที่จะเข้าใจเรื่องนี้อย่างแท้จริงก็เป็นเรื่องยาก สิ่งที่จะเกิดขึ้นกับผู้เรียนก็เป็นได้เพียงท่องจำไปเท่านั้น ผู้วิจัยจึงมีความคิดที่จะพัฒนาสโโครโบสโคปขึ้น เพื่อให้ผู้เรียนมีโอกาสได้ลงมือปฏิบัติจริง ทำให้สามารถเรียนรู้และเข้าใจสมบัติต่างๆ ของคลื่นได้ง่ายและดียิ่งขึ้น และสามารถเชื่อมโยงความรู้จากคลื่นที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตา คือคลื่นน้ำ ไปสู่คลื่นที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตา คือคลื่นเสียง และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

3. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ทดแทนและสิ่งประดิษฐ์ทางวิทยาศาสตร์

ก. ความหมาย

มีผู้ให้ความหมายของอุปกรณ์ทดแทนและสิ่งประดิษฐ์ทางวิทยาศาสตร์ไว้หลายท่านเช่น ธงชัย ชิวปรีชาและคนอื่นๆ (2526 : 209) ให้ความหมายของอุปกรณ์ทดแทนว่าอุปกรณ์ทดแทนหมายถึงอุปกรณ์ที่ครูและนักเรียนร่วมกันสร้างขึ้นใช้เองจากวัสดุเหลือใช้ หรือวัสดุที่มีในท้องถิ่น เพื่อทดแทนอุปกรณ์ที่ต้องซื้อจากร้านขายอุปกรณ์วิทยาศาสตร์

สกุลรัตน์ พ่วงเดช (2529 : 33) ให้ความหมายของอุปกรณ์ทดแทนว่า อุปกรณ์ทดแทน

หมายถึงอุปกรณ์ที่ครู นักเรียน หรือสมาชิกในชุมชนได้สร้างขึ้น หรือร่วมมือกันสร้างขึ้นโดยใช้วัสดุเหลือใช้ วัสดุที่ได้เปล่า วัสดุที่มีราคาถูกในท้องถิ่น เพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอน เป็นการทดแทนอุปกรณ์ที่ต้องซื้อจากร้านขายอุปกรณ์

สมปัญญา ศรีภคานนท์ (2535 : 17) กล่าวว่าสิ่งประดิษฐ์ ทางวิทยาศาสตร์หมายถึงชิ้นงานที่มนุษย์ทำขึ้นจากวัสดุอุปกรณ์โดยใช้ความรู้ และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เป็นพื้นฐานในการคิดออกแบบ คัดแปลง ปรับปรุง ซ่อมแซมหรือสร้างขึ้นใหม่

ข. ความมุ่งหมายในการสร้างอุปกรณ์

ธงชัย ชิวปรีชา และคนอื่นๆ (2526 : 209-210) ได้กล่าวถึงความมุ่งหมายในการสร้างอุปกรณ์ทดแทนสรุปได้ 5 ประการคือ

1. เพื่อให้มีอุปกรณ์ที่เพียงพอกับจำนวนนักเรียน
2. เพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย
3. เพื่อให้สอดคล้องกับแผนการสอนของครู
4. เพื่อปลูกฝังค่านิยมให้นักเรียน คิดประดิษฐ์สิ่งของด้วยตนเอง
5. เพื่อฝึกให้นักเรียนมีความคิดสร้างสรรค์

ค. ลักษณะของอุปกรณ์และสิ่งประดิษฐ์ทางวิทยาศาสตร์ที่ดี

โซ สาลิณัน (2541 : 29-30) กล่าวว่าอุปกรณ์และสิ่งประดิษฐ์ทางวิทยาศาสตร์ที่ดีควรมีลักษณะพอสรุปได้ดังนี้

1. รูปร่างลักษณะต้องดูใจ เพื่อให้นักเรียนเกิดความสนใจ
2. ต้องทำงานได้ตามที่ต้องการ
3. สะดวกในการใช้ และปฏิบัติ ขณะใช้มีความคล่องตัว ไม่เกะกะ มีความปลอดภัย
4. มีความคงทนถาวร มีอายุการใช้งานได้นาน
5. วัสดุที่ใช้ควรหาได้ง่าย มีอยู่ในท้องถิ่นหรือเป็นวัสดุเหลือใช้
6. วัสดุที่ใช้ควรมีราคาถูกเพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย และสามารถสร้างได้จำนวนมาก
7. ควรใช้งานได้หลายอย่าง หรือใช้ทดลองได้หลายการทดลอง
8. ควรมีรูปร่างกะทัดรัดเพื่อสะดวกในการเก็บรักษา
9. ต้องมีเสถียรภาพที่จะได้ไม่ล้มง่าย ควรออกแบบให้มีจุดศูนย์ถ่วงอยู่ในฐานตั้ง

และถ้าใกล้ฐานจึงจะมีเสถียรสภาพดี

10. เวลาสาธิตหรือปฏิบัติการทดลองต้องให้ผู้เรียนมองเห็นและสังเกตได้ชัดเจน ดังนั้นอุปกรณ์ที่สร้างต้องไม่เล็กเกินไป ชิ้นส่วนประกอบต่างๆต้องไม่บ่งกัน

จากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ทดแทนและสิ่งประดิษฐ์ ทางวิทยาศาสตร์ผู้วิจัยจึงได้นำมาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาสโตร โบส โคปชั่น ให้มองดูแล้วรู้สึกว่าจะใช้ได้ง่าย นำใช้ไม่ยุ่งยากในการใช้งาน ผู้เรียนมีความรู้สึกละเขาสามารถใช้อุปกรณ์นี้ได้ไม่ยาก และไม่ทำให้

ชำรุด จึงเกิดความกล้านและไม่กลัวเครื่องมือ ทำให้อายากใช้ นอกจากนั้นแล้วสโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้นยังใช้วัสดุที่หาได้ง่าย มีราคาถูก หรือเป็นวัสดุที่มีอยู่แล้วเป็นส่วนใหญ่ แต่กลับใช้ทำการทดลองเกี่ยวกับคลื่นน้ำ และศึกษาสมบัติของคลื่นน้ำได้ดี ถูกต้อง และชัดเจนกว่าสโตรโบสโคปที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาด

4. เอกสารเกี่ยวกับปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

ก. ความหมายของปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

วิมล สำราญวานิช (2532 : 79-80) ให้ความหมายของการสอนปฏิบัติการ หรือการทดลองว่าหมายถึง การที่ผู้เรียนได้ลงมือกระทำ ได้ปฏิบัติ และเรียนรู้จากการทดลองด้วยตนเองภายใต้การแนะนำของครู ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้ผู้เรียนมีความเข้าใจ มีความรับผิดชอบ มีโอกาสปฏิบัติงานร่วมกัน ขณะปฏิบัติการทดลองได้มีโอกาสใช้อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์

บุญชม ศรีสะอาด (2541 : 68) ให้ความหมายของการสอนปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ว่า คือ การสอนให้ผู้เรียนมีโอกาสทำกิจกรรมการทดลอง โดยได้รับการแนะนำช่วยเหลืออย่างใกล้ชิดจากครู เป็นการฝึกการใช้ทฤษฎีโดยผ่านการทดลอง

ภพ เลหาไพบุลย์ (2542 : 167-168) ให้ความหมายการสอนแบบทดลองว่าเป็นการสอนเพื่อจัดประสบการณ์ในการทดลองและการปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ให้กับผู้เรียน ให้ผู้เรียนมีความเข้าใจเนื้อหาวิทยาศาสตร์ที่เป็นข้อเท็จจริง กฎ หลักการหรือทฤษฎีได้ถูกต้อง เป็นการทดลองเพื่อทดสอบหรือยืนยันสิ่งที่ทราบคำตอบแล้ว หรือเป็นการปฏิบัติการเพื่อเสาะแสวงหาความรู้ใหม่เป็นการหาแนวทางในการแก้ไขปัญหา หรือค้นหาคำตอบได้ด้วยตัวเองโดยใช้การทดลองเป็นศูนย์กลางในการเรียนการสอน

จากความหมายดังกล่าวสรุปได้ว่า การสอนปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์หมายถึง การสอนที่ให้ออกาสผู้เรียนได้ลงมือกระทำการทดลอง ได้ปฏิบัติด้วยตนเอง ได้มีโอกาสใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ โดยได้รับการแนะนำช่วยเหลืออย่างใกล้ชิดจากครูทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้เข้าใจเนื้อหาวิทยาศาสตร์ข้อเท็จจริง กฎ หลักการและทฤษฎีได้ถูกต้อง และสามารถทดสอบหรือยืนยันสิ่งที่ทราบคำตอบแล้ว หรือเพื่อเสาะแสวงหาความรู้ใหม่

ข. ความสำคัญของการสอนปฏิบัติการ

บุญชม ศรีสะอาด (2541 : 278 - 279) และไพฑูรย์ สีนลรัตน์ (2536 : 95 - 96) ได้สรุปความสำคัญของการสอนแบบปฏิบัติการเป็น 2 ส่วนคือ

1. ความสำคัญในแง่ของการศึกษา การสอนแบบฝึกปฏิบัติเป็นการสอนที่ผสมผสานกันทั้งทฤษฎีและปฏิบัติ เป็นการสอนที่ให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากของจริงหรือสื่อ และลงมือทำด้วยตนเองซึ่งเป็นรากฐานของการแก้ปัญหา ช่วยให้ผู้เรียนได้เรียนรู้และสามารถนำไปใช้ในสถานการณ์ใหม่ได้ จึงเป็นการศึกษาที่สมบูรณ์

2. ความสำคัญในแง่ของผู้สอน การสอนแบบฝึกปฏิบัติช่วยให้ผู้สอนมีโอกาสดูเห็นผลการสอนของตัวเองได้ทันทีว่า ผู้เรียนสามารถปฏิบัติได้จริงหรือไม่ ผู้สอนมีอิสระที่จะให้ความช่วยเหลือ เป็นการสอนที่ช่วยให้ผู้เรียนได้มีโอกาสปรับปรุงแก้ไขได้ทันที ช่วยให้ผู้สอนได้ประสพความสำเร็จในด้านการนำไปใช้

ค. ประโยชน์ของการสอนแบบปฏิบัติการ

จากการศึกษาเอกสารทางวิชาการของ ภพ เลหาไพบุลย์ (2542 : 170 - 171) บุญชม ศรีสะอาด (2541 : 69) และวิลล สำราญวานิช (2532 : 85 - 86) สามารถสรุปประโยชน์ของการสอนแบบปฏิบัติการได้ดังนี้

1. ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ตรง มีโอกาสฝึกทักษะในการทดลอง และใช้วิธีทางวิทยาศาสตร์ในการแก้ปัญหา
2. ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการสอน และได้เรียนรู้ผ่านประสาทสัมผัสหลายด้านโดยตรง
3. เป็นการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ค้นพบหลักการทางวิทยาศาสตร์ด้วยตนเองเนื่องจากผู้เรียนเป็นผู้ออกแบบการทดลอง ทำการสืบเสาะหาความรู้จากการทดลอง วิเคราะห์หาเหตุผล ตั้งสมมติฐานและทดสอบสมมติฐาน สรุปผลและวัดผลการปฏิบัติการทดลองด้วยตนเอง
4. ผู้เรียนมีความสามารถในการทำงานและมีทักษะมากขึ้น
5. ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างแท้จริงและจดจำได้นาน
6. การสอนแบบปฏิบัติการอาจดำเนินโดยผู้เรียนเป็นรายบุคคล หรือเป็นกลุ่มเล็กๆได้ ช่วยให้ผู้เรียนได้ฝึกทักษะการทำงานร่วมกัน
7. เปิดโอกาสให้ผู้เรียนแต่ละคนได้แสดงความคิดเห็นในการแก้ปัญหา รวมทั้งเป็นการฝึกการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ
8. ทำให้ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์และการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์

สรุปได้ว่าการสอนแบบปฏิบัติการหรือการสอนแบบทดลอง เป็นการสอนที่ผสมผสานกันทั้งทฤษฎีและปฏิบัติ ผู้เรียนมีโอกาสดูเห็นผลการเรียนรู้อย่างชัดเจน ผู้เรียนได้ค้นพบหลักการทางวิทยาศาสตร์ด้วยตนเอง เป็นการได้รับประสบการณ์ตรง ทำให้ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์และการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ โดยในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้สร้างคู่มือการทำปฏิบัติการทดลอง เกี่ยวกับคลื่นน้ำจำนวน 6 การทดลอง ซึ่งเป็นการทดลองที่ทำให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติจริง ช่วยให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้จากคลื่นที่สามารถมองเห็นได้

ด้วยตา คือกลิ่นน้ำ ไปสู่กลิ่นที่ไม่สามารถมองเห็น ได้ด้วยตา คือกลิ่นเสียง และกลิ่นแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้สามารถเรียนรู้และเข้าใจสมบัติต่าง ๆ ของกลิ่น ได้ง่ายและดียิ่งขึ้น

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ก.งานวิจัยในประเทศ

สนอง ทองปาน (2537 : 76 - 81) ได้พัฒนาเครื่องอัดขยายภาพขาวดำที่มีราคาถูกเพื่อใช้ทดแทนเครื่องอัดขยายภาพมาตรฐาน และได้เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับความสามารถในการอัดขยายภาพขาวดำของนักเรียน โดยใช้เครื่องอัดขยายภาพที่พัฒนาขึ้นกับที่ได้รับการสอนโดยใช้เครื่องอัดขยายภาพมาตรฐาน โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนไทรน้อย อำเภไทรน้อย จังหวัดนนทบุรีจำนวน 48 คน ผลการศึกษาพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับความสามารถในการอัดขยายภาพขาวดำของนักเรียน โดยใช้เครื่องอัดขยายภาพที่พัฒนาขึ้นกับที่ได้รับการสอนโดยใช้เครื่องอัดขยายภาพมาตรฐานไม่แตกต่างกัน แสดงว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ประโยชน์ทางการศึกษาทดแทนอุปกรณ์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดซึ่งมีราคาแพงได้

ศิริเพ็ญ จิงตระกูล (2542 : 174) ได้สร้างชุดการทดสอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ช่วยสอนวิชาวิทยาศาสตร์ในชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ผลการศึกษาพบว่าชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์มีประสิทธิภาพใช้งานได้ตามทฤษฎี ครูผู้สอนและนักเรียนมีเจตคติต่อชุดทดลองวงจรอิเล็กทรอนิกส์สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 80 ที่กำหนดไว้

ธนพรรษ เหมเชื้อ (2542 : 74) ได้ศึกษาเพื่อพัฒนาและหาประสิทธิภาพของสไลด์โฮโลแกรมจากโทรทัศน์ขาวดำ เพื่อใช้แสดงสัญญาณคลื่นทางไฟฟ้า ประกอบการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย และได้ให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์จำนวน 5 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญทางการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจำนวน 5 ท่านทำการประเมิน ผลการประเมินสรุปได้ว่า โฮโลแกรมจากโทรทัศน์ขาวดำที่พัฒนาขึ้นใช้งบประมาณในการจัดสร้างน้อยแต่มีคุณลักษณะด้านประสิทธิภาพและด้านส่งเสริมการเรียนรู้สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้

มงคล จงสุพรรณพงศ์ (2543 : 104) ได้พัฒนาชุดทดลองหลักการทำงานของมอเตอร์และเบนเนอเตอร์ เพื่อเป็นชุดทดลองประกอบการเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพปีที่สอง โรงเรียนเทคโนโลยีสยาม เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพมหานคร จำนวน 18 คน ผลการศึกษาพบว่าชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้ตามทฤษฎีทั้ง 7 การทดลอง ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้สูงกว่าร้อยละ 80 (ในด้านความรู้ ความเข้าใจ การนำไปใช้ และการเสาะแสวงหาความรู้) และมีเจตคติที่ดีต่อชุดทดลอง

ประนอม หมอกกระโทก (2545 : 73) ได้พัฒนาชุดทดลองเรื่องการเคลื่อนที่ในแนวตรงในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียน

ประสาทวิทยาคม อำเภอคำชะโนด จังหวัดนครราชสีมา จำนวน 15 คน ผลการศึกษาพบว่า ชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพทำงานได้ตามทฤษฎี นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

นพพร เสนีย์อุบล (2547 : 55) ได้พัฒนาชุดทดลองเรื่องโมเมนต์และการชนใน 1 มิติ สำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนโยธินบูรณะเพชรบุรี อำเภอเขาชัย จังหวัดเพชรบุรี จำนวน 15 คน ผลการศึกษาพบว่า ชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพสามารถทำงานได้ตามทฤษฎี นักเรียนมีคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนและมีเจตคติต่อชุดทดลองเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าเจตคติก่อนเรียน

ข. งานวิจัยต่างประเทศ

ดักลาส (Douglas. 1998 : 288-A) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้อุปกรณ์หรือเครื่องมือที่เป็นของจริงสำหรับการเปลี่ยนแปลงแนวความคิดในการเรียนรู้ โดยเปรียบเทียบการถ่ายทอดความรู้จากการอ่านเนื้อหาแบบวรรณคดีและการออกแบบอุปกรณ์ตามรายละเอียดเฉพาะเรื่องที่เคลื่อนไหวได้ นำไปสู่ ความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักสูตรทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษา จากการศึกษพบว่า การใช้อุปกรณ์ที่ผลิตขึ้นมาสาธิตและเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ได้จริงในภาคปฏิบัติ เป็นการขยายพื้นฐานความรู้และประสบการณ์ ทำให้เกิดความเข้าใจที่ถาวรและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ดีมาก

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศ สรุปได้ว่า อุปกรณ์การทดลองที่พัฒนาขึ้นหรือสร้างขึ้นมีประสิทธิภาพทางการศึกษาสูง ทำให้มีอุปกรณ์หลากหลายสามารถส่งเสริมการเรียนการสอนให้มีคุณภาพ ทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนส่วนใหญ่จะสูงกว่าการสอนแบบปกติ ช่วยให้ไม่จำเป็นต้องซื้ออุปกรณ์จากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพง และอุปกรณ์ที่สร้างหรือพัฒนาขึ้นใช้วัสดุในประเทศจึงมีราคาถูกกว่า ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พัฒนาสโตรโบสโคปขึ้นเพื่อให้ผู้เรียนได้เห็นปรากฏการณ์จริงเกี่ยวกับสมบัติต่าง ๆ ของคลื่นผิวน้ำด้วยตาของตัวเองแทนที่จะเฝ้าแต่ดูภาพในหนังสือซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันในปัจจุบัน หรือที่ดียิ่งขึ้นมีอีกเล็กน้อยก็เป็นการดูภาพเสมือนจริงของคลื่นน้ำที่สร้างขึ้นโดยคอมพิวเตอร์ ซึ่งก็ยังไม่ใช่ของจริงอยู่ดี นอกจากนั้นโดยใช้สโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น ผู้เรียนยังสามารถใช้ทำปฏิบัติการทดลองวัดความยาวคลื่นและความถี่ของคลื่นน้ำได้ด้วยตนเอง ซึ่งจะทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ เข้าใจในบทเรียนมากยิ่งขึ้น พร้อมทั้งยังได้ฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทำให้ผู้เรียนทราบกระบวนการแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแสวงหาความรู้ด้วยตนเองในกรณีอื่น ๆ ต่อไปได้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการศึกษาค้นคว้า

ในการวิจัยเรื่อง การพัฒนาสไตรโบสโคปสำหรับทำปฏิบัติการและการเรียนการสอนวิชา ฟิสิกส์เรื่องคลื่น ผู้วิจัยได้ดำเนินการเป็นสองขั้นตอนดังนี้

ตอนที่ 1 การสร้างและทดสอบประสิทธิภาพของสไตรโบสโคป

ตอนที่ 2 การประเมินคุณภาพของสไตรโบสโคป

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 การสร้างและทดสอบประสิทธิภาพของสไตรโบสโคป มีรายละเอียดดังนี้

1. ศึกษาข้อดี ข้อเสียของสไตรโบสโคปที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน และศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสไตรโบสโคป

2. ออกแบบสไตรโบสโคปต้นแบบ ซึ่งสไตรโบสโคปต้นแบบที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นจะมี ส่วนประกอบที่สำคัญอยู่สามส่วน ดังนี้คือ

2.1 ส่วนการหมุนของแผ่นจานสไตรโบสโคป

2.2 ส่วนการนับและการแสดงผล

2.3 ส่วนติดตั้งและอุปกรณ์ยึดจับ

3. การคัดเลือกวัสดุอุปกรณ์

ในการคัดเลือกวัสดุอุปกรณ์จะคำนึงถึงวัสดุอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้วตามสถานศึกษาเช่น แผ่นไม้ อัดที่นำมาทำเป็นแผ่นจานสไตรโบสโคป หรือตัวกล่องสไตรโบสโคป แท่งเหล็กขนาดเล็ก แท่ง เหล็กตันทรงกระบอกของที่ตั้ง (stand) ตัวหนีบยึด (clamp) ที่จับตัวหนีบยึด (clamp holder) แจ็ก ค้ำแรงชนิดติดแท่น ปากคีบจะเข้เล็กสีดำแดง และสายไฟเป็นต้น หรือถ้าจะต้องจัดซื้อต้องเป็น วัสดุอุปกรณ์ที่หาซื้อได้ง่ายมีจำหน่ายอยู่ทั่วไป ราคาไม่แพง เช่นมอเตอร์เกียร์ รีดสวิตช์ เครื่องคิด เลข แท่งแม่เหล็กขนาดเล็ก ตัวต้านทานปรับค่าได้ และแผ่น MDF (Medium Density Fibre Board) ซึ่งเป็นแผ่นที่มีลักษณะคล้ายไม้อัด มีน้ำหนักเบา มีความคงทนและคงสภาพ เมื่อปล่อยไว้จะไม่บิด งอตกเป็นแผ่นจานกลมและเลื่อยเจาะร่องได้ง่าย ไม่มีเสียง มีราคาใกล้เคียงกับไม้อัดทั่วไป

4. การสร้างสไตรโบสโคป ดำเนินการโดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ส่วนการหมุนของแผ่นจานสไตรโบสโคปซึ่งประกอบด้วย

4.1.1 แผ่นจานสไตรโบสโคปที่มีจำนวนช่องเท่าใดก็ได้ เช่น 8, 10 หรือ 12 ช่องเป็นต้น

4.1.2 มอเตอร์เกียร์มีเฟืองทดรอบอยู่ภายใน ความเร็วในการหมุนประมาณ 200 รอบต่อ นาทิ ใช้ได้กับไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 โวลต์ หรือ 24 โวลต์

4.1.3 ตัวต้านทานที่ปรับค่าได้อย่างต่อเนื่องขนาด 0 – 200 โอห์ม ใช้สำหรับควบคุมการหมุนเร็วช้าของมอเตอร์

4.2 ส่วนการนับและการแสดงผล ประกอบด้วย

4.2.1 รีดสวิตช์

4.2.2 แท่งแม่เหล็กถาวรขนาดเล็ก เช่น กว้าง 0.5 cm ยาว 1 cm

4.2.3 แท่งเหล็กรรรมดาขนาดเท่ากับแท่งแม่เหล็กถาวรขนาดเล็ก

4.2.4 เครื่องคิดเลข

4.3 ส่วนติดตั้งและอุปกรณ์ยึดจับประกอบด้วย

4.3.1 กล่องไม้อัดขนาด 12 นิ้ว x 8 นิ้ว x 2 นิ้ว

4.3.2 แท่งเหล็กตันทรงกระบอกของที่ตั้ง (stand)

4.3.3 ตัวหนีบยึด (clamp)

4.3.4 ที่จับตัวหนีบยึด (clamp holder)

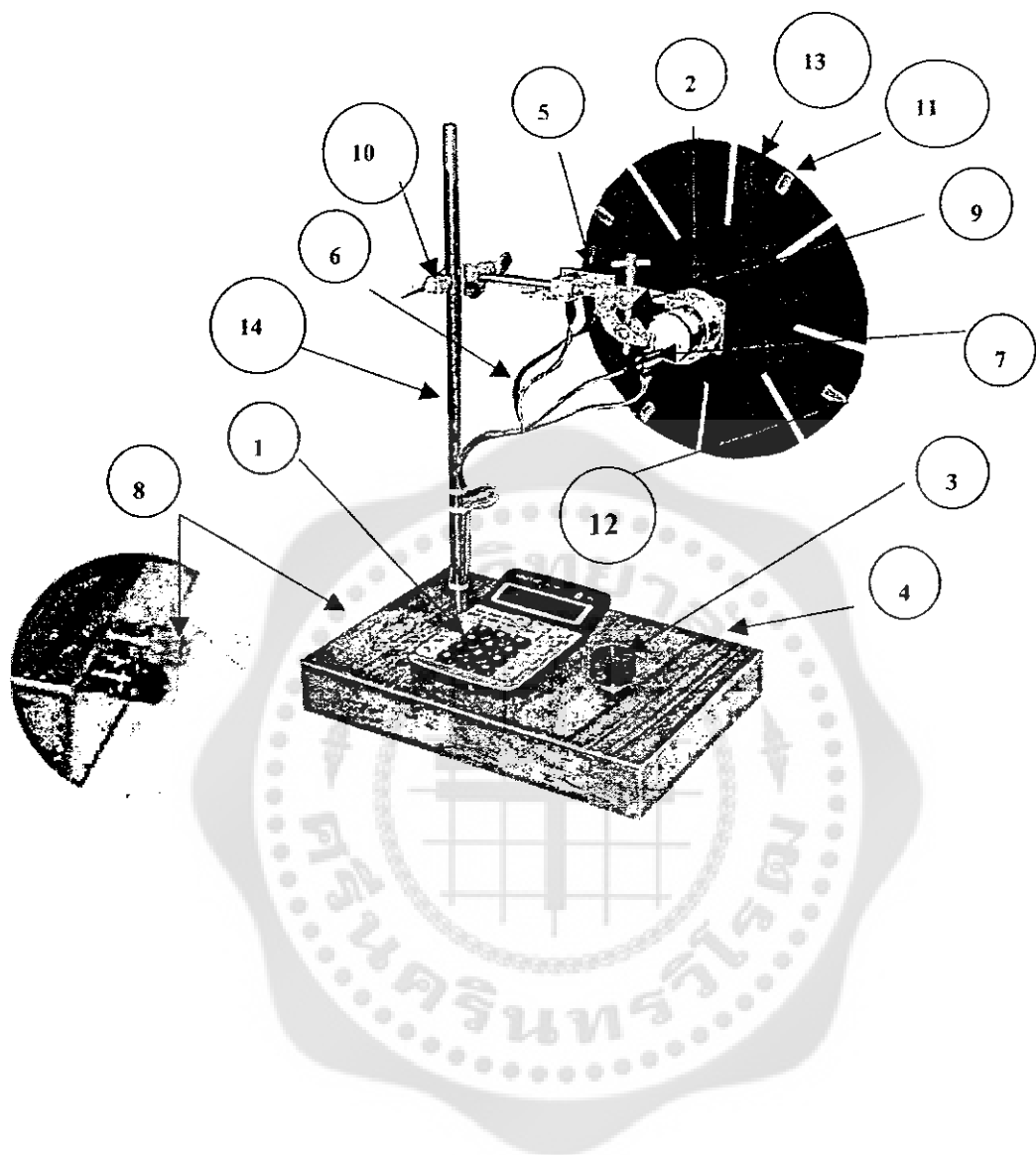
4.3.5 แจ็กดำแดงชนิดติดแท่น

4.3.6 ปากคีบปากจระเข้เล็กสีดำแดง

4.3.7 สายไฟ

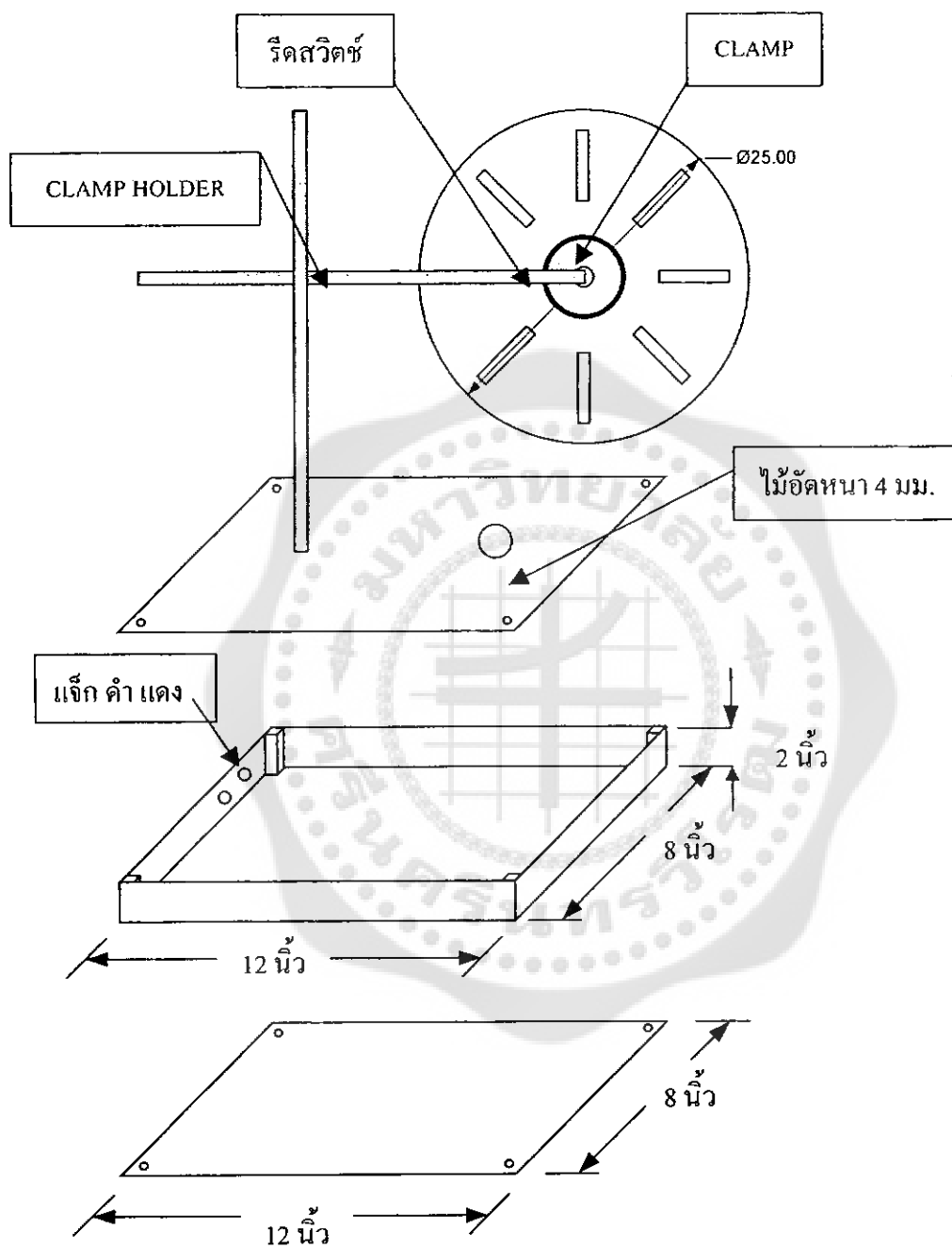
ซึ่งเมื่อนำวัสดุอุปกรณ์ทั้งหมดมาประกอบกันเป็นสโโครโบสโคปจะมีลักษณะดังรูป 31 และมีส่วนประกอบดังนี้

1. เครื่องคิดเลข ทำหน้าที่บอกรอบการหมุน
2. มอเตอร์เกียร์ 12 โวลต์ กระแสตรง
3. ตัวต้านทานปรับค่าได้ (200 โอห์ม)
4. กล่องไม้อัด หนา 4 mm
5. รีดสวิตช์
6. สายไฟ ขนาด 1 mm ยาว 30 cm
7. ปากคีบปากจระเข้เล็ก สีดำ แดง
8. แจ็กดำ แดง ชนิดติดแท่น
9. ตัวหนีบยึด (clamp)
10. ที่จับตัวหนีบยึด (clamp holder)
11. แม่เหล็กแท่งสี่เหลี่ยม 1 อัน
12. แท่งเหล็กสี่เหลี่ยม 3 อัน
13. แผ่นจานหมุน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 cm หนา 4 mm
14. แท่งเหล็กตันทรงกระบอกของที่ตั้ง (stand)



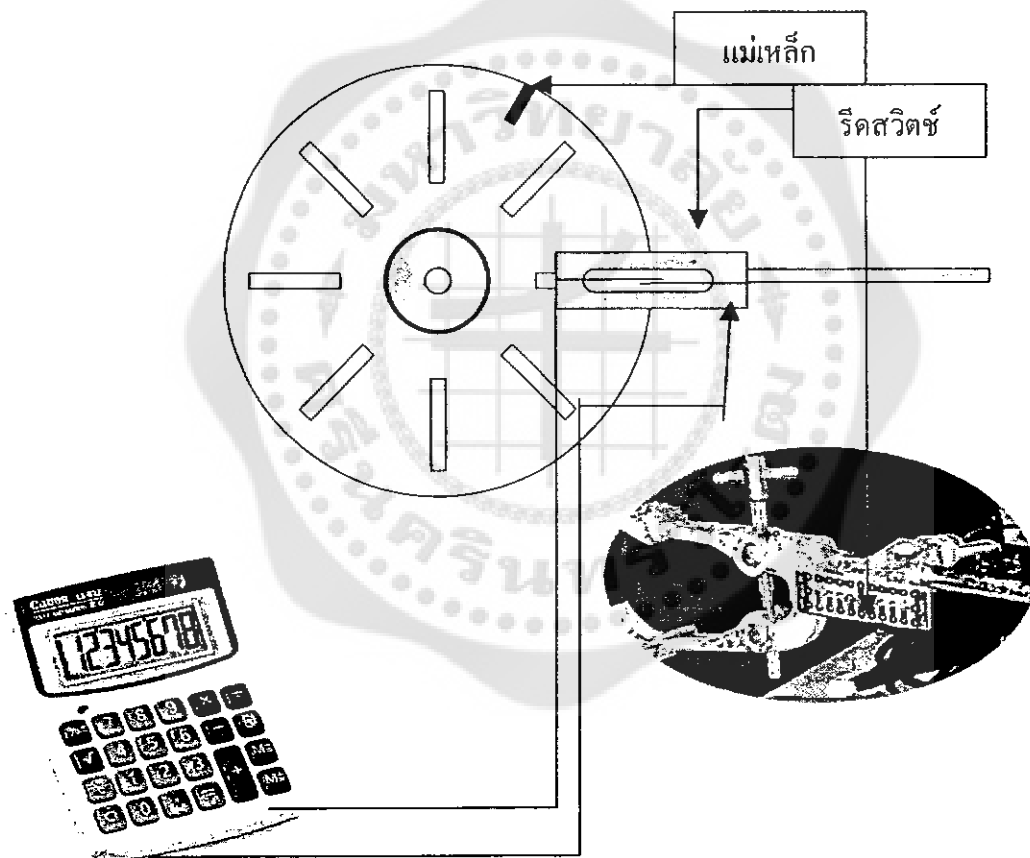
รูป 31 แสดงรายละเอียดวัสดุอุปกรณ์ของสโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น

และถ้าเป็นแผนภาพแสดงส่วนประกอบของสโตรโบสโกปจะได้ดังรูป 32



รูป 32 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของสโตรโบสโกป

สำหรับส่วนวงจรการนับและส่วนการแสดงผล ใช้เครื่องคิดเลขเป็นตัวนับจำนวนรอบ และแสดงผลเป็นตัวเลข ซึ่งมีหลักการทำงานโดยอาศัยจอแสดงผลของเครื่องตัวเลขเป็นตัวแสดงผลการนับ โดยที่แผ่นจานสโตรโบสโคปได้ทำการติดแท่งแม่เหล็กขนาดเล็กเอาไว้ที่ขอบแผ่นจานสโตรโบสโคป และติดรีดสวิตช์เอาไว้ที่แกนจับมอเตอร์ เมื่อแผ่นจานสโตรโบสโคปหมุน 1 รอบ แม่เหล็กที่ติดอยู่ที่แผ่นจานจะเคลื่อนที่ผ่านรีดสวิตช์ ทำให้ลื่นโลหะเล็กๆ ของรีดสวิตช์มาสัมผัสกัน ซึ่งเมื่อต่อสายไฟสองเส้นจากปลายของรีดสวิตช์มาที่ปุ่มกดเครื่องหมายเท่ากับของเครื่องคิดเลข จะเสมือนกับการกดปุ่มเท่ากับของเครื่องคิดเลข ซึ่งจะเป็นการนับจำนวนการหมุนของแผ่นจานสโตรโบสโคป ซึ่งส่วนวงจรการนับและส่วนแสดงผลมีลักษณะดังรูป 33



รูป 33 แสดงหลักการทำงานของส่วนวงจรการนับและส่วนการแสดงผล

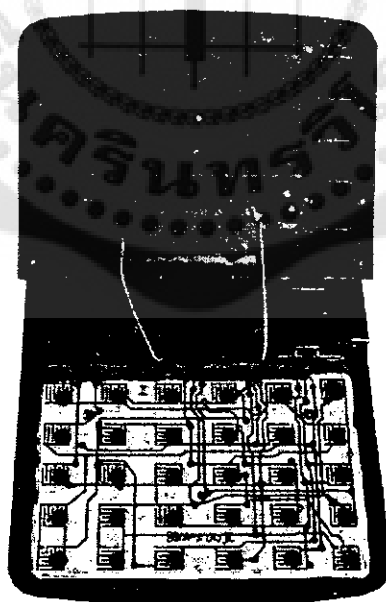
สำหรับการทำวงจรนับจากเครื่องคิดเลขมีขั้นตอนดังนี้

(1) นำเครื่องคิดเลขที่ได้ทดสอบแล้วว่ามิ้ววงจรนับอยู่ภายในมาดังรูป 34



รูป 34 แสดงเครื่องคิดเลขทางด้านหน้า

(2) พลิกเครื่องคิดเลขไปที่ด้านหลัง ไขน็อตที่ด้านหลังของเครื่องคิดเลขออก ตามรูป 35 จะสังเกตเห็นว่ามีแผ่นพลาสติกใส ๆ และมีลายวงจรเป็นเส้นสลับกันไปมา



รูป 35 แสดงเครื่องคิดเลขเมื่อพลิกกลับด้านหลังและเปิดออก

(2) เมื่อเปิดด้านหลังเครื่องคิดแล้วให้หาตำแหน่งที่ต้องการใช้คือลายวงจรที่ตรงกับปุ่ม
เครื่องหมายเท่ากับ (=) ดังรูป 36



ปุ่มเครื่องหมายเท่ากับ

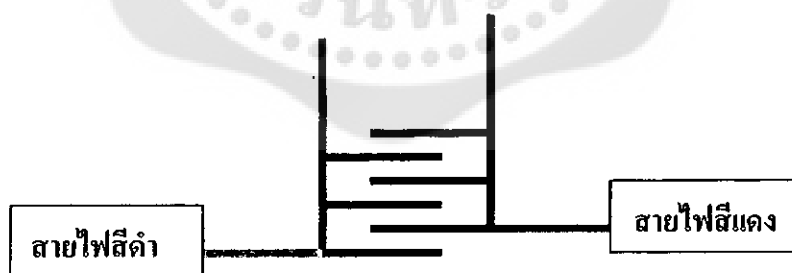
เมื่อมองทางด้านหน้า

ปุ่มเครื่องหมายเท่ากับ

เมื่อพลิกกลับด้านหลังและเปิดออก

รูป 36 แสดงตำแหน่งเครื่องหมายเท่ากับของเครื่องคิดเลข

(3) ใช้สายไฟมาสัมผัสกับลายวงจรตรงปุ่มเครื่องหมายเท่ากับ และใช้กาวชนิดคาร์บอน
ติดสายไฟกับลายวงจรทั้งสองเส้น ตามรูป 37

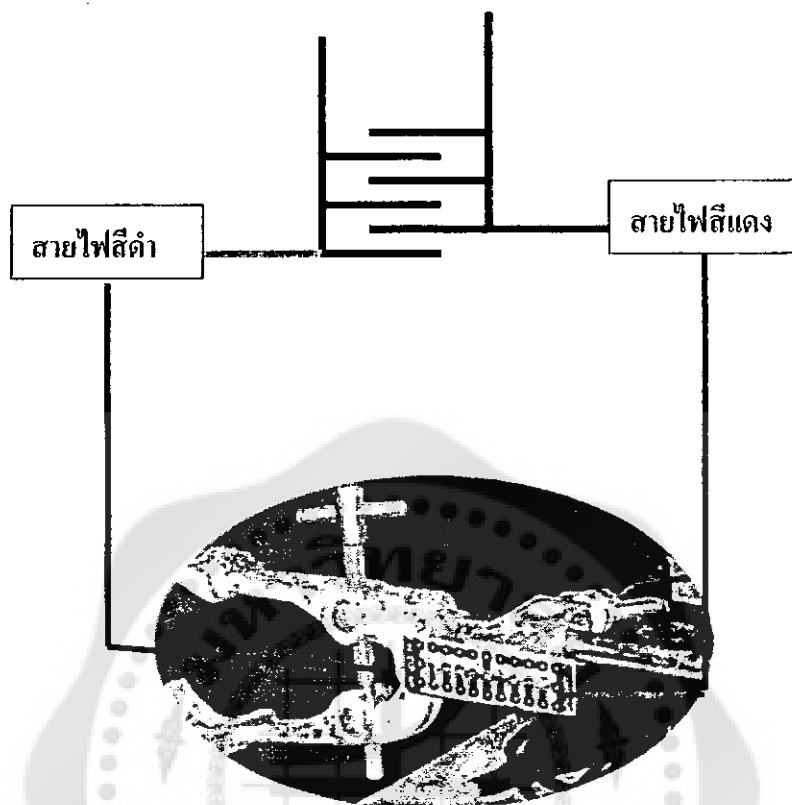


รูป 37 แสดงการต่อสายไฟกับลายวงจรของเครื่องหมายเท่ากับ

(5) ถ้านำปลายสายสีดำและสีแดงมาสัมผัสกันเองจะมีผลเหมือนกดปุ่มเครื่องหมายเท่ากับ

(6) ถ้านำปลายสายทั้งสองไปต่อกับสวิตช์ เมื่อกดสวิตช์ก็จะมีผลเหมือนกดปุ่มเครื่องหมาย
เท่ากับ โดยสวิตช์ที่ต่ออาจเป็นสวิตช์ที่เรียกว่า รีดสวิตช์ ซึ่งเป็นสวิตช์ที่จะทำงานเมื่อนำแท่ง
แม่เหล็กถาวรมาใกล้ ๆ ก็ได้

(7) ในการวิจัยครั้งนี้ สายไฟทั้งสองเส้นจากเครื่องคิดเลขจะไปต่อกับรีดสวิตช์ โดยรีดสวิตช์จะยึดติดแน่นอยู่บนแผ่นวงจรสำเร็จรูป ดังรูป 38



รูป 38 แสดงการต่อสายไฟที่มาจากเครื่องหมายเท่ากับเข้ากับรีดสวิตช์

(8) ทดสอบการนับ โดยกดปุ่มเครื่องคิดเลข ปุ่มเลข 1 และเครื่องหมายบวก จากนั้นกดปุ่มเครื่องหมายเท่ากับ เมื่อหมุนจานสโตรโบสโคป และแม่เหล็กผ่านรีดสวิตช์ เครื่องคิดเลขจะแสดงการนับ โดยแสดงเลข 1 2 3 เป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ

5. การสร้างคู่มือการสร้างและคู่มือการทำปฏิบัติการ

คู่มือการสร้างจะเป็นดังที่แสดงไว้ในข้อ 4 ส่วนคู่มือการทำปฏิบัติการได้ปรับปรุงให้สอดคล้องกับสโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้นแต่ยังคงประกอบด้วย การทดลอง 6 การทดลองคือ

- การทดลองที่ 1 เรื่องคลื่นน้ำ
- การทดลองที่ 2 เรื่องคลื่นการสะท้อนของคลื่น
- การทดลองที่ 3 เรื่องการหักเหของแสง
- การทดลองที่ 4 เรื่องการแทรกสอดของคลื่น
- การทดลองที่ 5 เรื่องการเลี้ยวเบนของคลื่น
- การทดลองที่ 6 เรื่องการวัดความถี่และความยาวของคลื่นน้ำ

โดยมีรายละเอียดของการทดลองในภาคผนวก ข

6. การทดสอบประสิทธิภาพของสไตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น

เมื่อได้ทำการพัฒนาสไตรโบสโคปขึ้นแล้วผู้วิจัยได้ทดสอบการทำงานโดยแบ่งการทดสอบออกเป็นสองส่วนคือ

ส่วนที่ 1 นำสไตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้นไปใช้ทำปฏิบัติการทดลองเกี่ยวกับคลื่นน้ำ และสมบัติของคลื่นน้ำทั้ง 6 การทดลอง ตามที่กล่าวในข้อ 5

ส่วนที่ 2 นำสไตรโบสโคปที่มีใช้หรือมีจำหน่ายในท้องตลาดทั้ง 2 แบบ คือ

แบบที่ 1 สไตรโบสโคปแบบใช้มือหมุน

แบบที่ 2 สไตรโบสโคปแบบคิจิคอล

ไปใช้ทำปฏิบัติการทดลองเช่นเดียวกับที่ทำในส่วนที่ 1 เพื่อเปรียบเทียบผลกับสไตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ปรับปรุงแก้ไขสไตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้นให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น แล้วจึงนำสไตรโบสโคปที่ปรับปรุงแล้วนี้ไปให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิทยาศาสตร์ หรือวิชาฟิสิกส์ หรือสาขาที่เกี่ยวข้องทำการประเมินคุณภาพ

ตอนที่ 2 การประเมินคุณภาพของสไตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญ ผู้วิจัยได้นำสไตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น และปรับปรุงแก้ไขเรียบร้อยแล้ว ไปให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิทยาศาสตร์ หรือวิชาฟิสิกส์ หรือสาขาที่เกี่ยวข้องที่มีประสบการณ์เกี่ยวกับวิชาฟิสิกส์ ไม่น่ากว่า 10 ปี จำนวน 5 ท่าน ประกอบด้วย

ผู้เชี่ยวชาญของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 1 ท่านคือ

1. รศ. โช สาสีฉั่น

ตำแหน่งงานคือ ผู้เชี่ยวชาญสาขาออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์การสอนวิทยาศาสตร์ สังกัดสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ประสบการณ์การทำงานที่เกี่ยวข้องทางด้านฟิสิกส์ 45 ปี

ผู้สอนในระดับอุดมศึกษา 2 ท่านคือ

2. ผศ. ปรีดา เพชรมีศรี

ตำแหน่งงานคือผู้ช่วยศาสตราจารย์ สังกัดภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสบการณ์การทำงานที่เกี่ยวข้องทางด้านฟิสิกส์ 30 ปี

3. ดร. สนอง ทองปาน

ตำแหน่งงานคือ อาจารย์สังกัดสาขาวิชาการมัธยมศึกษา ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสบการณ์การทำงานที่เกี่ยวข้องทางด้านฟิสิกส์ 18 ปี

ผู้สอนในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย 2 ท่านคือ

4. นายภูมิศ ศรีอุบล

ตำแหน่งงานคือ ครูเชี่ยวชาญระดับ 9 สังกัดโรงเรียนปากพลีวิทยาการ อําเภอ ปากพลี จังหวัดนครนายก ประสบการณ์การทำงานที่เกี่ยวข้องทางด้านฟิสิกส์ 32 ปี และเป็นผู้ได้รับคัดเลือกให้เป็น

4.1 ครูฟิสิกส์ดีเด่นประจำปี 2539 จากสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย ฯ

4.2 ผู้มีความรู้ ความสามารถ และมีความชำนาญการในการสอนวิชาฟิสิกส์ จากกรมสามัญศึกษา ประจำปี 2541

5. นายทองดี แยมสรวล

ตำแหน่งงานคือ ครู กศ.2 โรงเรียนคณะราษฎรบำรุงปทุมธานี สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาปทุมธานี เขต 1 สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ ประสบการณ์การทำงานที่เกี่ยวข้องทางด้านฟิสิกส์ 27 ปี และเป็นผู้ได้รับคัดเลือกให้เป็นครูแห่งชาติสาขาฟิสิกส์

ในการประเมินครั้งนี้ ผู้วิจัยได้สร้างแบบประเมินคุณภาพของสโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น โดยศึกษาวิธีการสร้างแบบประเมินจากเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น หนังสือเกี่ยวกับการวิจัย งานวิจัย และปริญญานิพนธ์ต่าง ๆ เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างแบบประเมินคุณภาพของสโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น โดยแบบประเมินคุณภาพที่สร้างขึ้นนี้ เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ตามวิธีของลิเคิร์ท (พวงรัตน์ ทวีรัตน์, 2538 : 114) กำหนดให้มีระดับการประมาณค่าดังนี้ ดีมาก ดี พอใช้ ต้องปรับปรุง และใช้ไม่ได้ โดยมีคะแนนเป็น 4, 3, 2, 1 และ 0 ตามลำดับ ซึ่งการประเมินครั้งนี้ผู้วิจัยได้สร้างแบบประเมินคุณภาพของสโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้นใน 4 ด้าน คือ

- | | |
|--|-------------|
| 1. ลักษณะทางกายภาพทั่วไป | จำนวน 5 ข้อ |
| 2. ลักษณะการใช้งาน | จำนวน 6 ข้อ |
| 3. การบำรุงรักษาและการซ่อมแซม | จำนวน 5 ข้อ |
| 4. ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน | จำนวน 8 ข้อ |

นอกจากนั้นแล้วในการประเมินยังได้มีส่วนให้ผู้เชี่ยวชาญได้แสดงความคิดเห็น และข้อเสนอแนะเพิ่มเติมอีกด้วย

การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อตรวจสอบคุณภาพของสโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น กระทำโดยนำคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน มาหาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) การคำนวณค่าเฉลี่ยดังกล่าวประเมินจากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญใน 4 ด้าน คือ

ลักษณะทางกายภาพทั่วไป

ลักษณะการใช้งาน

การบำรุงรักษาและการซ่อมแซม

ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน

โดยความหมายของการประเมินคุณภาพที่สอดคล้องกับคะแนนเฉลี่ยเป็นดังนี้

คะแนนเฉลี่ย 0.00 – 0.50 การประเมินคุณภาพอยู่ในระดับ ใช้ไม่ได้

คะแนนเฉลี่ย 0.51 – 1.50 การประเมินคุณภาพอยู่ในระดับ ต้องปรับปรุง

คะแนนเฉลี่ย 1.51 – 2.50 การประเมินคุณภาพอยู่ในระดับ พอใช้

คะแนนเฉลี่ย 2.51 – 3.50 การประเมินคุณภาพอยู่ในระดับ ดี

คะแนนเฉลี่ย 3.51 – 4.00 การประเมินคุณภาพอยู่ในระดับ ดีมาก

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกศึกษา สารการเรียนรู้พื้นฐานและเพิ่มเติม ตามสาระและมาตรฐานการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2544 สาระที่ 5: พลังงาน เนื้อหา กลั่นกล ซึ่งประกอบด้วย การทดลองจำนวน 6 การทดลอง ดังนี้คือ

การทดลองที่ 1 เรื่อง กลั่นน้ำ

การทดลองที่ 2 เรื่อง การสะท้อนของคลื่น

การทดลองที่ 3 เรื่อง การหักเหของคลื่น

การทดลองที่ 4 เรื่อง การแทรกสอดของคลื่น

การทดลองที่ 5 เรื่อง การเลี้ยวเบนของคลื่น

การทดลองที่ 6 เรื่อง การวัดความถี่และความยาวคลื่นของคลื่นน้ำ

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ทำโดยการหาคุณภาพของสโคร โปส โคลปที่พัฒนาขึ้น โดยนำคะแนนความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่านมาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S)

สถิติที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้มีการจัดกระทำข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติพื้นฐานดังต่อไปนี้

1. ค่าคะแนนเฉลี่ย ($\bar{X}$) ของความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ โดยคำนวณจากสูตร

(พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2540 : 137)

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

เมื่อ $\bar{X}$ แทน คะแนนเฉลี่ย

$\sum X$ แทน ผลรวมของคะแนนความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ

N แทน จำนวนของผู้เชี่ยวชาญ

2. ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) ของคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ
จำนวนจากสูตร (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2540 : 143)

$$S = \sqrt{\frac{N \sum X^2 - (\sum X)^2}{N(N-1)}}$$

เมื่อ	S	แทน	ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนน
	$\sum X$	แทน	ผลรวมของคะแนนความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ
	$\sum X^2$	แทน	ผลรวมคะแนนแต่ละตัวยกกำลังสอง
	N	แทน	จำนวนของผู้เชี่ยวชาญ
	X	แทน	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญแต่ละคน



บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยเรื่องการพัฒนาสไตรโบสโคปเพื่อใช้ในการทำปฏิบัติการและการเรียนการสอน วิชาฟิสิกส์เรื่องคลื่น ผู้วิจัยได้ดำเนินการเป็น 2 ขั้นตอน คือ

ตอนที่ 1 การสร้างและทดสอบประสิทธิภาพของสไตรโบสโคป

ตอนที่ 2 การประเมินคุณภาพของสไตรโบสโคปโดยผู้เชี่ยวชาญ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละตอนสรุปได้ดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 ผลการตรวจสอบประสิทธิภาพของสไตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้นใน 2 ส่วนคือ

ส่วนที่ 1 การนำไปทำปฏิบัติการทดลองเกี่ยวกับคลื่นน้ำและสมบัติของคลื่นน้ำ ตามคู่มือการทำปฏิบัติการทดลองจำนวน 6 การทดลอง ผลการตรวจสอบเป็นดังนี้

การทดลองที่ 1 เรื่องคลื่นน้ำ พบว่าสไตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้นใช้สังเกตคลื่นคลวงกลม คลื่นคลื่นตรงได้อย่างชัดเจน นอกจากนั้นสไตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้นยังสามารถปรับจนทำให้คลื่นต่อเนื่อง ซึ่งต้องเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาให้เสมือนอยู่นิ่งได้อย่างดี

การทดลองที่ 2 เรื่องการสะท้อนของคลื่น ซึ่งทางทฤษฎีบอกว่าเมื่อคลื่นตกกระทบวัตถุที่ทำหน้าที่เป็นผิวสะท้อน จะเกิดมุมตกกระทบและมุมสะท้อนขึ้น และมุมตกกระทบจะเท่ากับมุมสะท้อนเสมอ ซึ่งตามปกติถ้าศึกษาเรื่องนี้ด้วยตาเปล่าหรือสไตรโบสโคปที่มีคุณภาพไม่ดีพอ แทบจะไม่สามารถวัดมุมตกกระทบและมุมสะท้อนได้เลย หรือถ้าพยายามวัด ผลที่ได้จะคลาดเคลื่อนอย่างมาก แต่เมื่อทำการทดลองนี้โดยสังเกตผ่านสไตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น พบว่าสามารถสังเกตการทดลองได้อย่างชัดเจน และสามารถทำการวัดมุมตกกระทบและมุมสะท้อนได้ง่ายมาก และได้ผลสรุปตรงตามทฤษฎีคือ มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน

การทดลองที่ 3 การหักเหของคลื่น ซึ่งเป็นการสังเกตว่าคลื่นจะเกิดการหักเหเมื่อผ่านผิวรอยต่อระหว่างตัวกลางที่มีสมบัติต่างกัน เช่นบริเวณรอยต่อระหว่างน้ำลึกกับน้ำตื้น ถ้าสังเกตด้วยตาเปล่าหรือสไตรโบสโคปที่ไม่ดีพอ จะสังเกตเห็นความแตกต่างของคลื่นในบริเวณน้ำลึกกับน้ำตื้นที่อยู่ติดกันได้ยากมาก แต่เมื่อสังเกตการทดลองนี้ผ่านสไตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น จะสังเกตได้อย่างชัดเจนว่า ได้มีการหักเหเกิดขึ้นและความยาวคลื่นของคลื่นในบริเวณน้ำลึกจะยาวกว่าความยาวคลื่นของคลื่นตื้นเดียวกัน แต่ไปผ่านบริเวณน้ำตื้นได้อย่างชัดเจน

การทดลองที่ 4 การแทรกสอดของคลื่น ซึ่งเป็นการสังเกตว่าเมื่อคลื่นหลายคลื่นมาพบกันจะเกิดการรวมกันขึ้นได้ ซึ่งการรวมกันของคลื่นต่อเนื่องที่มาพบกันนี้เรียกว่าการแทรกสอดของคลื่น การรวมกันทั้งในลักษณะเสริมกันและหักล้างกันตามการทดลองนี้ เป็นการรวมกันของคลื่นต่อเนื่องวงกลมจากสองแหล่งกำเนิด ในการทดลองนี้ถ้าสังเกตด้วยตาเปล่าหรือสไตรโบสโคปที่มี

คุณภาพไม่ดีพอ จะเห็นไม่ชัดเจนและรู้สึกตาขยิบ แต่เมื่อสังเกตการทดลองนี้ด้วยสโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น จะเห็นการแทรกสอดเป็นลวดลายตัดกันที่สวยงามมาก และจะเห็นแนวการเสริมกันและหักล้างกันอย่างชัดเจน

การทดลองที่ 5 การเลี้ยวเบนของคลื่น ซึ่งเป็นการสังเกตว่าเมื่อคลื่นมาพบสิ่งกีดขวาง โดยสิ่งกีดขวางนั้นขวางกั้นคลื่นไว้เพียงบางส่วน พบว่าคลื่นส่วนหนึ่งแผ่จากขอบสิ่งกีดขวางไปทางด้านหลังของสิ่งกีดขวางนั้นในลักษณะเป็นส่วนโค้งของคลื่นวงกลม นั่นก็ก่อให้เกิดการเลี้ยวเบนขึ้น ซึ่งในการทดลองนี้การเลี้ยวเบนบริเวณด้านหลังขอบของสิ่งกีดขวางนั้นจะมีความเข้มข้นมาก นั่นก็ถ้าสังเกตการทดลองนี้ด้วยตาเปล่า หรือสโตรโบสโคปที่มีคุณภาพไม่ดีพอ แทบจะสังเกตการเลี้ยวเบนบริเวณด้านหลังขอบของสิ่งกีดขวางไม่เห็น แต่เมื่อสังเกตการทดลองนี้จากสโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น จะสังเกตการเลี้ยวเบนที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจน

การทดลองที่ 6 การวัดความยาวคลื่นและความถี่ของคลื่นน้ำ ซึ่งตามปกติคลื่นน้ำที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปหรือตามการทดลองนี้เกิดในภาควัสดุ คลื่นจะมีลักษณะเป็นคลื่นต่อเนื่องที่เคลื่อนที่ต่อกันไป ทำให้การวัดความยาวคลื่นทำได้ยากมาก หรือถ้าพยายามจะทำก็จะเกิดความคลาดเคลื่อนเป็นอย่างมาก แต่เมื่อทำการทดลองนี้โดยใช้สโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น เมื่อปรับความถี่การหมุนของแผ่นสโตรโบสโคปให้พอดีกับความถี่จริงของคลื่นน้ำ พบว่าจะมองเห็นคลื่นเสมือนหยุดนิ่ง ดังนั้นการทำการวัดความยาวคลื่นจะทำได้ง่ายมาก และเมื่ออ่านความถี่การหมุนของแผ่นสโตรโบสโคป จากตัวของสโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้นก็จะทำให้ทราบความถี่ของคลื่นน้ำได้อย่างแม่นยำ

ส่วนที่ 2 เป็นการนำสโตรโบสโคปที่มีใช้อยู่หรือมีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาด 2 แบบคือแบบใช้มือหมุน และแบบดิจิทัล มาทำการทดลองเช่นเดียวกับในส่วนที่ 1 ผลจากการทดลองเป็นดังนี้

แบบที่ 1 สโตรโบสโคปแบบใช้มือหมุน

เนื่องจากหลักการสำคัญของสโตรโบสโคปในการที่จะทำให้คลื่นที่กำลังเคลื่อนที่ให้มองเห็นเสมือนว่าอยู่นิ่งได้ ต้องมีการหมุนที่คงที่สม่ำเสมอได้ในทุกๆความถี่ที่ต้องการ ทั้งในกรณีหมุนช้าๆ หมุนเร็วปานกลาง หรือหมุนเร็วมาก ดังนั้นเมื่อใช้มือมาเป็นตัวหมุนแผ่นจานสโตรโบสโคป จึงเป็นไปได้ยากที่จะบังคับมือให้หมุนอย่างคงที่ ดังนั้นสโตรโบสโคปแบบใช้มือหมุนจึงไม่สามารถทำให้คลื่นเสมือนอยู่นิ่งได้ โดยเลื่อนไปเลื่อนมาตลอดเวลา ทำให้การสังเกตการทำปฏิบัติการทดลองไม่ชัดเจน และสิ่งที่พยายามจะวัดเช่น ความยาวคลื่น ความถี่ มุมตกกระทบ มุมสะท้อน คลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงเป็นอย่างมาก

แบบที่ 2 สไตรโบสโคปแบบดิจิตอล

ผู้วิจัยได้ทดลองนำเอาสไตรโบสโคปแบบดิจิตอลที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดซึ่งมีราคาสูงคือราคาเครื่องละ 7600 บาท มาใช้ทำการทดลองแต่เนื่องจากบริษัทที่สร้างสไตรโบสโคปแบบดิจิตอลที่จำหน่ายนี้ ไม่เข้าใจหลักการที่แท้จริงของสไตรโบสโคป จึงได้ใช้มอเตอร์แบบทั่วไปทำให้เมื่อมีการหมุนปุ่มปรับความเร็ว มอเตอร์จะมีการเปลี่ยนความเร็วไปมาอย่างรวดเร็ว ไม่สามารถปรับให้หนึ่งที่ความเร็วใดความเร็วหนึ่งได้ ประกอบกับบริษัทผู้สร้างไม่เข้าใจหลักการเกี่ยวกับทฤษฎีความเฉื่อย จึงได้ใช้แผ่นจานเหล็กมาทำเป็นแผ่นจานสไตรโบสโคป ทำให้แผ่นจานมีมวลมาก เมื่อมวลมากความเฉื่อยก็มาก ทำให้เมื่อมีการปรับให้แผ่นจานสไตรโบสโคปเพื่อให้มีความเร็วที่ระดับหนึ่งตามที่ต้องการ แต่ผลของความเฉื่อยทำให้แผ่นจานหมุนเลขระดับที่ต้องการไปทั้งในกรณีเร็วขึ้นและช้าลง ดังนั้นไม่ว่าพยายามปรับอย่างไร สไตรโบสโคปแบบดิจิตอลที่จำหน่ายอยู่ในท้องตลาดไม่สามารถปรับให้คลื่นเสมือนอยู่นิ่งได้ ผู้วิจัยได้ให้ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่าน และนักวิชาการของบริษัทที่จำหน่ายทำการทดลองปรับเพื่อบ่งชี้คลื่นให้เสมือนหยุดนิ่ง ปรากฏว่าไม่มีใครทำได้เลย

สรุปว่าในการทดสอบประสิทธิภาพในส่วนที่ 2 นี้ สไตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น มีคุณภาพดีกว่าสไตรโบสโคปทั้ง 2 แบบที่จำหน่ายในท้องตลาดเป็นอย่างมาก

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของสไตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น ซึ่งประเมินจากการนำความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน มาหาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) ซึ่งเป็นการประเมินคุณภาพใน 4 ด้านคือ

ลักษณะทางกายภาพทั่วไป

ลักษณะการใช้งาน

การบำรุงรักษาการซ่อมแซม

ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน

โดยมีรายละเอียดการวิเคราะห์ทั้งสี่ด้าน ดังนี้

ตาราง 1 แสดงผลการประเมินลักษณะทางกายภาพทั่วไปของสไตร โบส โคป ที่พัฒนาขึ้น

ข้อ	รายละเอียด	$\bar{X}$	S	สรุปผล
1	มีความแข็งแรงทนทาน	3.40	0.55	ดี
2	การออกแบบชิ้นส่วนเหมาะสมสามารถประกอบได้ง่าย	3.80	0.45	ดีมาก
3	การออกแบบเหมาะสม มีขนาดกะทัดรัด	3.40	0.55	ดี
4	การออกแบบอุปกรณ์มีความมั่นคง	3.20	0.84	ดี
5	ค่าผลการนับรอบเห็นชัดเจน	4.00	0	ดีมาก
ภาพรวม		3.56	0.48	ดีมาก

จากตาราง 1 สรุปผลการประเมินลักษณะทางกายภาพทั่วไปของสไตร โบส โคป ที่พัฒนาขึ้นได้ดังนี้

1. ลักษณะทางกายภาพทั่วไปของสไตร โบส โคป ที่พัฒนาขึ้นเมื่อพิจารณาโดยภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก (มีค่าเฉลี่ย 3.56)
2. ลักษณะทางกายภาพทั่วไปของสไตร โบส โคป ที่พัฒนาขึ้นเมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่าอยู่ในระดับดีมากสองข้อ คือข้อ 2 และข้อ 5 มีค่าคะแนนเฉลี่ย 3.80 และ 4.00 ตามลำดับ และอยู่ในระดับดี 3 ข้อคือข้อ 1, 3 และ 4 มีค่าคะแนนเฉลี่ย 3.40, 3.40 และ 3.20 ตามลำดับ

ตาราง 2 แสดงผลการประเมินลักษณะการใช้งานของสไตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น

ข้อ	รายละเอียด	$\bar{X}$	S	สรุปผล
1	การเตรียมอุปกรณ์และปฏิบัติการทดลองทำได้สะดวก	4.00	0	ดีมาก
2	มีการประสิทธิภาพในการทดลอง ผลการทดลองเชื่อถือได้	3.80	0.45	ดีมาก
3	ปลอดภัยในขณะที่ปฏิบัติการทดลอง	4.00	0	ดีมาก
4	มีความคล่องตัวในการใช้ และปฏิบัติการทดลองไม่เกะกะ	3.80	0.45	ดีมาก
5	ใช้ปฏิบัติการทดลองได้หลายการทดลอง	3.80	0.45	ดีมาก
6	เคลื่อนย้ายได้สะดวก และนำไปใช้นอกห้องปฏิบัติการได้	3.60	0.55	ดีมาก
ภาพรวม		3.83	0.38	ดีมาก

จากตาราง 2 สรุปผลการประเมินลักษณะการใช้งานของสไตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้นได้ดังนี้

1. ลักษณะการใช้งานของสไตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก (มีค่าเฉลี่ย 3.83)
2. ลักษณะการใช้งานของสไตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่าอยู่ในระดับดีมากหมดทั้ง 6 ข้อ มีค่าคะแนนเฉลี่ย 4.00, 3.80, 4.00, 3.80, 3.80 และ 3.60 ตามลำดับ

ตาราง 3 แสดงผลการประเมินการบำรุงรักษาและการซ่อมแซมของสไตรโบสโกปที่พัฒนาขึ้น

ข้อ	รายละเอียด	$\bar{X}$	S	สรุปผล
1	การบำรุงรักษาทำได้ง่าย	3.80	0.45	ดีมาก
2	สะดวกในการใช้และเก็บรักษา	3.80	0.45	ดีมาก
3	การจัดหาอุปกรณ์เพื่อซ่อมแซมทำได้สะดวก	3.60	0.55	ดีมาก
4	วัสดุอุปกรณ์ที่นำมาทำมีราคาถูก หาซื้อได้ง่าย	4.00	0	ดีมาก
5	การซ่อมแซมในแต่ละส่วนทำได้สะดวกไม่ทำให้อุปกรณ์อื่นๆเสียหาย	3.80	0.45	ดีมาก
		3.80	0.38	ดีมาก

จากตาราง 3 สรุปผลการประเมินการบำรุงรักษาและการซ่อมแซมของสไตรโบสโกปที่พัฒนาขึ้นได้ดังนี้

1. การบำรุงรักษาและการซ่อมแซมของสไตรโบสโกปที่พัฒนาขึ้น เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก (มีค่าเฉลี่ย 3.80)

2. การบำรุงรักษาและการซ่อมแซมของสไตรโบสโกปที่พัฒนาขึ้น เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่าอยู่ในระดับดีมากหมดทั้ง 5 ข้อ มีค่าคะแนนเฉลี่ย 3.80, 3.80, 3.60, 4.00 และ 3.80 ตามลำดับ

ตาราง 4 แสดงผลการประเมินความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนของ
สโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น

ข้อ	รายละเอียด	$\bar{X}$	S	สรุปผล
1	ช่วยให้สังเกตปรากฏการณ์ของคลื่นได้ชัดเจน	4.00	0	ดีมาก
2	ผู้เรียนสามารถเรียนรู้และเข้าใจในเนื้อหาเป็นรูปธรรม	3.80	0.45	ดีมาก
3	ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ง่าย เป็นการให้ประสบการณ์ตรง	3.80	0.45	ดีมาก
4	ผู้เรียนมีโอกาสนปฏิบัติและมีส่วนร่วม	3.80	0.45	ดีมาก
5	ผู้เรียนสามารถใช้เรียนเป็นรายบุคคลหรือเป็นกลุ่มได้	4.00	0	ดีมาก
6	ใช้เวลาในการทดลองน้อย และได้ผลการทดลองถูกต้อง เหมาะสมกับระดับผู้เรียน	3.80	0.45	ดีมาก
7	กิจกรรมต่างๆในการทดลองมีส่วนเสริมความรู้ความสามารถ และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	3.80	0.45	ดีมาก
8	เครื่องมือมีความเหมาะสมไม่อัตโนมัติจนเกินไปทำให้ผู้เรียน ได้ใช้ความรู้ความสามารถ ในการวัดและปฏิบัติการทดลอง มี ใช้เพียงกดปุ่มแล้วอ่านคำตอบ	3.80	0.45	ดีมาก
ภาพรวม		3.85	0.34	ดีมาก

จากตาราง 4 สรุปผลการประเมินความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนของสโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้นได้ดังนี้

1. ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนของสโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก (มีค่าเฉลี่ย 3.85)

2. ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนของสโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่าอยู่ในระดับดีมากหมดทั้ง 8 ข้อ มีค่าคะแนนเฉลี่ย 4.00, 3.80, 3.80, 3.80, 4.00, 3.80, 3.80, 3.80 และ 3.80 ตามลำดับ

ตาราง 5 แสดงการประเมินคุณภาพทั้ง 4 ด้าน โดยรวมของสโตร์ โบสโกปที่พัฒนาขึ้น

ด้านที่ประเมิน	ผลการพิจารณาคะแนนเฉลี่ยของผู้เชี่ยวชาญคนที่					$\bar{X}$	S	สรุปผล
	1	2	3	4	5			
1. ลักษณะทางกายภาพทั่วไป	4.00	3.80	3.60	3.00	3.40	3.56	0.38	ดีมาก
2. ลักษณะการใช้งาน	4.00	3.66	4.00	3.50	4.00	3.83	0.24	ดีมาก
3.การบำรุงรักษาและการซ่อมแซม	4.00	4.00	3.80	3.20	4.00	3.80	0.35	ดีมาก
4. ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน	4.00	4.00	4.00	3.25	4.00	3.85	0.33	ดีมาก
ภาพรวมเฉลี่ย	4.00	3.86	3.85	3.24	3.85	3.76	0.30	ดีมาก

จากตาราง 5 แสดงผลการประเมินคุณภาพของสโตร์ โบสโกปที่พัฒนาขึ้นทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ ด้านลักษณะทางกายภาพทั่วไป ด้านลักษณะการใช้งาน ด้านการบำรุงรักษาและการซ่อมแซม และด้านความเหมาะสม ด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน โดยภาพรวมมีค่าเฉลี่ย 3.76 จาก 4.00 ซึ่งอยู่ในระดับ “ดีมาก”

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

สำหรับความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติมของผู้เชี่ยวชาญ ผู้วิจัยได้รวบรวมและนำมาเรียงเป็นรายข้อได้ดังนี้

1. ควรทำข้อต่อยึดมอเตอร์ให้ติดกับเสาตั้งซึ่งติดอยู่กับฐานตั้งอุปกรณ์ เพื่อให้สามารถปรับมุมก้ม มุมเงย และสามารถบิดไปทางซ้าย ทางขวาได้ จะทำให้การปฏิบัติทำได้สะดวกยิ่งขึ้น
2. ควรใช้วัสดุมาตรฐานทำกล่องและฐานตั้ง จะทำให้ดูสวยงามและมีคุณค่ายิ่งขึ้น
3. ควรปรับปรุงมอเตอร์ที่ใช้ทำให้เกิดกลิ่น ซึ่งติดตั้งอยู่บนแกนกำเนิดคลื่นของถาดคลื่นด้วย ก็จะได้มากขึ้นอีก



บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะได้สรุปสาระสำคัญว่าด้วยความมุ่งหมายของการวิจัย วิธีดำเนินการ สรุปผลการวิจัย รวมทั้งการอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ (ซึ่งแยกเป็นข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ และข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อไป)

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาและสร้างสโครโบสโคปที่มีประสิทธิภาพดี สามารถใช้สังเกตภาพของคลื่นน้ำ (ที่เกิดจากชุดถาดคลื่น) บนฉาก (แถบมืดและแถบสว่าง) ให้มีลักษณะเสมือนว่าหยุดนิ่งในเวลานานพอที่จะทำการวัดความยาวคลื่น และความถี่ของคลื่นน้ำที่เกิดจากชุดถาดคลื่นได้
2. เพื่อให้มีสโครโบสโคปที่มีคุณภาพดี เอาไว้ใช้ในการปฏิบัติการ วัดความยาวคลื่นและความถี่ของคลื่นน้ำที่เกิดจากชุดถาดคลื่นได้
3. เพื่อให้มีสโครโบสโคปที่มีคุณภาพดี เอาไว้ใช้เป็นการสอน ที่เมื่อใช้ร่วมกับชุดถาดคลื่น สามารถแสดงและสาธิตสมบัติต่าง ๆ ของคลื่นน้ำ เช่น การสะท้อน การหักเห การแทรกสอด การเลี้ยวเบน ให้เห็นได้อย่างชัดเจน
4. เพื่อพัฒนาและออกแบบสโครโบสโคปที่มีคุณภาพดี แต่หลักการและวิธีสร้างง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อนจนเกินไป ใช้วัสดุอุปกรณ์ที่ราคาไม่แพง หาได้ง่าย หรือให้สามารถนำวัสดุอุปกรณ์ที่มหาวิทยาลัย โรงเรียนและสถานศึกษาต่าง ๆ มีอยู่แล้วเป็นส่วนใหญ่มาใช้ได้

สมมติฐานการวิจัย

1. สโครโบสโคปที่พัฒนาขึ้น สามารถใช้สังเกตภาพของคลื่นน้ำบนฉาก ให้มีลักษณะเสมือนว่าหยุดนิ่งในเวลานานพอที่จะทำการวัดความยาวคลื่นและความถี่ของคลื่นน้ำได้
2. สโครโบสโคปที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้สังเกตสมบัติต่าง ๆ ของคลื่นน้ำ เช่น การสะท้อน การหักเห การแทรกสอด การเลี้ยวเบน ให้เห็นได้อย่างชัดเจน
3. สโครโบสโคปที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพอยู่ในระดับดี (มีค่าเฉลี่ย 2.51 ขึ้นไปจาก 4.00) จากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนหลัก 2 ขั้นตอนคือ

ตอนที่ 1 การสร้างและทดสอบประสิทธิภาพของสไตรโบสโคป

ตอนที่ 2 การประเมินคุณภาพของสไตรโบสโคป

แต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

ตอนที่ 1 การสร้างและทดสอบประสิทธิภาพโดยรวมของสไตรโบสโคป มีรายละเอียดโดยสรุปดังนี้

1.1 การศึกษาข้อดีข้อเสียและจุดที่เป็นปัญหาของสไตรโบสโคปที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน และศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.2 การออกแบบสไตรโบสโคปต้นแบบ

1.3 การคัดเลือกวัสดุอุปกรณ์

1.4 การสร้างสไตรโบสโคป

1.5 การสร้างคู่มือการสร้างและคู่มือการทำปฏิบัติการ

1.6 การทดสอบประสิทธิภาพของสไตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น

ตอนที่ 2 การประเมินคุณภาพของสไตรโบสโคปโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน

สรุปผลการวิจัย

1. สไตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น สามารถใช้ทำการทดลองเกี่ยวกับคลื่นผิวน้ำและสมบัติของคลื่นผิวน้ำได้อย่างดีและชัดเจนทั้ง 6 การทดลอง และมีประสิทธิภาพดีกว่าสไตรโบสโคปที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดทั้ง 2 แบบ

2. สไตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้นมีหลักการและวิธีสร้างง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ใช้วัสดุอุปกรณ์ที่ราคาไม่แพง หาได้ง่าย และสามารถนำวัสดุอุปกรณ์ที่สถานศึกษาต่างๆมีอยู่แล้วเป็นส่วนใหญ่มาใช้ได้

3. สไตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพโดยภาพรวมอยู่ในระดับ “ ดีมาก ” (มีค่าเฉลี่ย 3.76 จาก 4.00) จากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน

อภิปรายผลการวิจัย

การอภิปรายผลการวิจัยเสนอตามลำดับดังนี้

1. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของสโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น

1.1 การสร้าง ผู้วิจัยได้ศึกษาสโตรโบสโคปที่ใช้ในการเรียนการสอนเกี่ยวกับคลื่นผิวน้ำในปัจจุบันทั้ง 2 แบบ พร้อมทั้งศึกษาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จากนั้นได้ปรับปรุง แก้ไข และพัฒนาสโตรโบสโคปให้ดียิ่งขึ้น พร้อมทั้งแก้ไขจุดอ่อน และจุดที่เป็นปัญหาของสโตรโบสโคปแบบเดิม ซึ่งจุดสำคัญที่ได้ทำการปรับปรุง แก้ไข และพัฒนา มีรายละเอียดพอสรุปได้ดังนี้

1.1.1 แผ่นจานหมุน ได้แก้ไขไม่ใช้แผ่นเหล็กซึ่งมีมวลหรือมีน้ำหนักมากทำให้เกิดผลของความเฉื่อยสูงจนมอเตอร์ไม่สามารถควบคุมให้มีความเร็วในการหมุนที่คงที่ได้ โดยเปลี่ยนมาใช้ไม้อัดหรือกระดาษอัด แต่ถ้าจะให้ดีที่สุดจะเป็นแผ่นที่เรียกว่า แผ่น MDF (Medium Density Fibre Board) ขนาด 4 มิลลิเมตร ซึ่งแผ่น MDF นี้ มีลักษณะคล้ายไม้อัดเป็นอย่างมาก แต่ดีกว่าไม้อัดธรรมดา คือ มีความคงทน และคงสภาพเมื่อปล่อยไว้จะไม่บิดงอ ตัดเป็นแผ่นและเลื่อยเจาะร่องได้ง่าย ไม่มีเสียง มีราคาใกล้เคียงกับไม้อัดทั่วไป

1.1.2 มอเตอร์ที่ใช้หมุนแผ่นจาน ใช้มอเตอร์เกียร์ซึ่งมีเฟืองทดรอบอยู่ภายใน ทำให้มีกำลังสูงในการต่อต้านผลของความเฉื่อยซึ่งเป็นผลจากการหมุนของแผ่นจาน ทำให้มีความเร็วสม่ำเสมอในการหมุน ซึ่งจะต่างจากการใช้มือหมุนเพราะว่ามือของคนไม่สามารถควบคุมให้หมุนอย่างสม่ำเสมอตลอดเวลาได้ และต่างจากมอเตอร์ที่ใช้หมุนจานของสโตรโบสโคปแบบดิจิทัลที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ซึ่งเป็นมอเตอร์ที่เน้นให้มีความเร็วในการหมุนสูง แต่ไม่มีกำลังในการต่อต้านผลของความเฉื่อยของแผ่นจานหมุนเหล็ก จึงทำให้ไม่สามารถปรับให้มีความเร็วสม่ำเสมอได้

1.1.3 วงจรการนับ ตามปกติวงจรการนับเป็นสิ่งที่ยุ่งยากมาก เพราะต้องใช้ระบบเซนเซอร์ (sensor) หรือระบบรับรู้ ทำงานร่วมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในการแสดงตัวเลขการนับ ดังนั้นจึงต้องการคนที่มีความรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์ค่อนข้างสูง ทำให้อาจารย์ตามโรงเรียนและสถาบันการศึกษาต่างๆ ส่วนใหญ่ไม่สามารถสร้างวงจรการนับขึ้นใช้เองได้ หรือแม้จะซื้อวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำเร็จรูปมาก็มักจะต่อใช้งานไม่ค่อยเป็น ผู้วิจัยได้พยายามทำให้ส่วนวงจรการนับง่ายขึ้นมาก โดยในส่วนของระบบเซนเซอร์ ผู้วิจัยได้ดัดแปลงโดยนำรีดสวิตช์มาทำงานร่วมกับแท่งแม่เหล็กถาวรขนาดเล็กมาทำหน้าที่เป็นระบบเซนเซอร์ โดยรีดสวิตช์จะรับรู้และทำการต่อวงจรทุกครั้งที่แท่งแม่เหล็กซึ่งติดอยู่ที่แผ่นจานสโตรโบสโคปหมุนมาผ่านใกล้ๆ รีดสวิตช์ และเมื่อแท่งแม่เหล็กเคลื่อนผ่านพ้นไป รีดสวิตช์จะกลับสู่สภาวะปกติของตัวเองคือตัดวงจร ทำให้คนที่ไม่มีความรู้เรื่องระบบเซนเซอร์ ก็สามารถนำความรู้ส่วนนี้ไปใช้งานได้เทียบเท่ากับระบบเซนเซอร์ ส่วนวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อการนับ ผู้วิจัยได้นำอุปกรณ์ง่ายๆ ราคาถูกซึ่งมีวงจรการนับอยู่ภายในอยู่แล้วเอามาใช้ นั่นคือเครื่องคิดเลข และการทำให้เครื่องคิดเลขสามารถทำการนับรอบ

การหมุนได้ ซึ่งก็ทำได้ง่ายมากเพียงต่อสายไฟสองสายจากตำแหน่งเครื่องหมายเท่ากับของเครื่องคิดเลขออกมา แล้วนำปลายทั้งสองนี้ไปต่อเข้ากับปลายทั้งสองเครื่องของรีดสวิตช์ เมื่อจะทำให้เครื่องคิดเลขแสดงผลการนับก็เพียงกดสวิตช์เครื่องคิดเลขให้เปิดขึ้น จากนั้นก็กดปุ่มเลข 1 แล้วตามด้วยเครื่องหมาย + แล้วกดเครื่องหมายเท่ากับ จากนั้นทุก ๆ ครั้งที่แม่เหล็กหมุนผ่านมาใกล้รีดสวิตช์ เครื่องคิดเลขจะนับเลขเพิ่มขึ้นทีละหนึ่ง คือจาก 1 เป็น 2 เป็น 3 ต่อไปเรื่อย ๆ ซึ่งเป็นการนับรอบการหมุนของแผ่นจานสโตรโบสโคปนั่นเอง จะเห็นว่าการดัดแปลงให้รีดสวิตช์ทำงานร่วมกับแท่งแม่เหล็กถาวรขนาดเล็กและเครื่องคิดเลข ทำให้คนทั่วไปที่มีความรู้ด้านอิเล็กทรอนิกส์น้อยมากก็สามารถสร้างวงจรนับขึ้นใช้ได้เอง และเป็นวงจรนับที่มีราคาถูกมาก

2. การประเมินคุณภาพของสโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น จากการทดสอบและประเมินผลโดยผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่านมีรายละเอียดโดยสรุปดังนี้

คุณภาพของสโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้นโดยภาพรวมอยู่ในระดับ “ดีมาก” มีค่าเฉลี่ย 3.76 จาก 4.00 และอธิบายผลแยกเป็นแต่ละด้านได้ดังนี้

2.1 ด้านลักษณะทางกายภาพทั่วไป มีการออกแบบชิ้นส่วนเหมาะสมสามารถประกอบได้ง่าย ค่าผลการนับรอบเห็นชัดเจนอยู่ในระดับ “ดีมาก” สำหรับความแข็งแรงทนทาน การออกแบบเหมาะสมมีขนาดกะทัดรัด และการติดตั้งอุปกรณ์มีความมั่นคงอยู่ในระดับ “ดี”

2.2 ด้านลักษณะการใช้งาน การเตรียมอุปกรณ์และปฏิบัติการทดลองทำได้สะดวก มีประสิทธิภาพในการทดลองผลการทดลองเชื่อถือได้ ปลอดภัยในขณะที่ปฏิบัติการทดลอง มีความคล่องตัวในการใช้และปฏิบัติการทดลอง ไม่เกะกะ ใช้ปฏิบัติการทดลองได้หลายการทดลอง เคลื่อนย้ายได้สะดวกและนำไปใช้นอกห้องทดลองได้อยู่ในระดับ “ดีมาก” หมดทุกหัวข้อ

2.3 ด้านการบำรุงรักษาและการซ่อมแซม ถือการบำรุงรักษาทำได้ง่าย สะดวกในการใช้และเก็บรักษา การจัดหาอุปกรณ์เพื่อซ่อมแซมทำได้สะดวก วัสดุอุปกรณ์ที่นำมาทำมีราคาถูกหาซื้อได้ง่าย การซ่อมแซมในแต่ละส่วนทำได้สะดวกไม่ทำให้อุปกรณ์อื่น ๆ เสียหายอยู่ในระดับ “ดีมาก” หมดทุกหัวข้อ

2.4 ด้านความเหมาะสมในการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน คือช่วยให้สังเกตปรากฏการณ์ของคลื่นได้ชัดเจน ผู้เรียนสามารถเรียนรู้และเข้าใจในเนื้อหาเป็นรูปธรรม ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ง่ายเป็นการให้ประสบการณ์ตรง ผู้เรียนมีโอกาสนในการปฏิบัติงานและมีส่วนร่วม ผู้เรียนสามารถใช้เป็นรายบุคคลหรือเป็นกลุ่มได้ ใช้เวลาในการทดลองน้อยและได้ผลการทดลองถูกต้องเหมาะสมกับระดับของผู้เรียน กิจกรรมต่างๆ ในการทดลองมีส่วนเสริมความรู้ความสามารถ และทักษะในกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เครื่องมือมีความเหมาะสมไม่อัตโนมัติจนเกินไปทำให้ผู้เรียนได้ใช้ความรู้ความสามารถในการวัดและปฏิบัติการทดลอง มีใช้เพียงกดปุ่มแล้วอ่านคำตอบอยู่ในระดับ “ดีมาก” หมดทุกหัวข้อ

ซึ่งจากการที่ผู้วิจัยได้พยายามปรับปรุง แก๊วจุดอ่อน และจุดที่เป็นปัญหาต่างๆ จนสามารถพัฒนาสโตรโบสโคปให้ใช้วัสดุอุปกรณ์ที่หาได้ง่าย ราคาไม่แพง มีหลักการและวิธีสร้างง่ายไม่ยุ่งยากซับซ้อนแต่กลับได้สโตรโบสโคปที่มีประสิทธิภาพดี สามารถใช้สังเกตภาพของคลื่นผิวน้ำบนฉาก สังเกตคุณสมบัติต่างๆ ของคลื่นน้ำได้อย่างชัดเจนและสามารถใช้วัดความยาวคลื่นและความถี่ของคลื่นน้ำได้ จนทำให้ผู้เชี่ยวชาญผู้ทำการตรวจสอบและประเมินเครื่องมือ ให้คำแนะนำไว้ในแบบประเมินในส่วนของการความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ เช่น

1. รศ.โซ สาลิณ ซึ่งเป็นที่ทราบโดยทั่วไปว่า เป็นผู้บุกเบิกเกี่ยวกับการสร้างและซ่อมอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ของประเทศไทย ปัจจุบันเป็นผู้เชี่ยวชาญของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ซึ่งมีประสบการณ์เกี่ยวกับด้านฟิสิกส์ถึง 45 ปี ให้ความคิดเห็นว่า “สโตรโบสโคปซึ่งออกแบบสร้างนี้มีคุณภาพดี สร้างได้ง่าย มีความเที่ยงตรง และแม่นยำ เชื่อถือได้ เหมาะสำหรับเป็นเครื่องมือทดลองในห้องปฏิบัติการได้อย่างดี วัสดุสำหรับใช้สร้างหาได้ง่าย ราคาถูก เหมาะสำหรับนักศึกษาและครูที่จะสร้างใช้ได้เลยโดยไม่ต้องกังวล”

2. อาจารย์ทองดี แยมสรวล ครูแห่งชาติสาขาฟิสิกส์ ซึ่งมีประสบการณ์ทางด้านฟิสิกส์ 27 ปี ให้ความเห็นว่า สโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้นนี้ “เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ง่าย สะดวก ทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้เรื่องคุณสมบัติของคลื่นได้อย่างดี และทำให้นักเรียนเกิดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์อีกด้วย และหากเผยแพร่โดยการจัดอบรมปฏิบัติการให้กับครูฟิสิกส์ได้เรียนรู้วิธีสร้างและการนำไปใช้ในการทดลอง จะเกิดประโยชน์กว้างขวางต่อวงการศึกษานี้”

3. อาจารย์ภูมิศ ศรีอุบล ครูเชี่ยวชาญระดับ 9 สังกัดโรงเรียนปากพลีวิทยาคาร อำเภอปากพลี จังหวัดนครนายก และเป็นครูฟิสิกส์ดีเด่นประจำปี 2539 จากสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยฯ และเป็นผู้มีความรู้ ความสามารถและมีความชำนาญการในการสอนวิชาฟิสิกส์จากกรมสามัญศึกษาประจำปี 2541 ซึ่งมีประสบการณ์กับงานด้านฟิสิกส์ 32 ปี ให้ความเห็นว่า สโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้นนี้ “เครื่องมือดังกล่าวจัดว่าเป็นสื่อประกอบการสอนที่มีคุณค่ายิ่ง ใช้หลักการไม่สลับซับซ้อน ง่ายต่อการสร้าง แข็งแรงทนทาน สะดวกต่อการนำไปใช้ และแสดงผลเป็นรูปธรรมได้อย่างชัดเจนและถูกต้องขอแสดงความชื่นชมในผลงาน”

4. ผศ.ปรีดา เพชรมีศรี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ผู้มีประสบการณ์เกี่ยวกับงานด้านฟิสิกส์ 30 ปี ให้ความเห็นว่า “เป็นชุดทดลองที่ทางโรงเรียน/อาจารย์ผู้สอน น่าจะจัดทำขึ้นเองได้ไม่ยาก ราคาไม่แพง วัดและคำนวณค่าเกี่ยวกับคลื่นผิวน้ำได้จริง”

สรุปได้ว่าสโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสม สามารถนำไปใช้ทำปฏิบัติการและการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์เรื่องคลื่นได้อย่างดีมาก

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะการนำผลการวิจัยไปใช้

1.1 ควรมีการฝึกอบรมการใช้สโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น ให้กับครูวิทยาศาสตร์และครูฟิสิกส์ในโรงเรียนและสถาบันการศึกษาต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้ทำปฏิบัติการและการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์เรื่องคลื่น ได้อย่างดีและมีประสิทธิภาพ

1.2 ควรมีการฝึกอบรมการสร้างสโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น ให้กับครูวิทยาศาสตร์และครูฟิสิกส์ในโรงเรียนและสถาบันการศึกษาต่าง ๆ เพื่อให้สามารถสร้างสโตรโบสโคปขึ้นใช้เป็นอุปกรณ์การทำปฏิบัติการและการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์เรื่องคลื่น

1.3 โรงเรียนและสถาบันการศึกษาต่าง ๆ ควรนำสโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้นนี้ไปเป็นต้นแบบผลิตขึ้นใช้ได้เอง เนื่องจากวัสดุและอุปกรณ์ต่าง ๆ มีราคาถูก สามารถจัดหาได้ง่าย หรือเป็นวัสดุอุปกรณ์ที่สถานศึกษาต่าง ๆ มีอยู่แล้วเป็นส่วนใหญ่ และวิธีการสร้างง่ายไม่ยุ่งยากซับซ้อน แต่กลับมีคุณภาพและประสิทธิภาพดีกว่าสโตรโบสโคปที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันคือแบบใช้มือหมุนและแบบดิจิทัล

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อไป

ถึงแม้ว่าสโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้นนี้ จะใช้ได้ดีกับการทำปฏิบัติการและการเรียนการสอนฟิสิกส์เรื่องคลื่น ในชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย และวิชาฟิสิกส์พื้นฐานในระดับอุดมศึกษา แต่เพื่อให้เครื่องมือมีความสามารถสูงขึ้น และสามารถนำไปใช้ในการทดลองในกรณีการหมุนของวัตถุที่หมุนด้วยความเร็วสูงเช่น นำไปใช้วัดความเร็วรอบการหมุนของพัดลม เป็นต้น จึงควรพัฒนาสโตรโบสโคปเพิ่มขึ้นอีกคือ

2.1 ต้องใช้ระบบเซนเซอร์ หรือระบบรับรู้ที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้รีดสวิตช์และแม่เหล็กถาวร เพราะในกรณีความเร็วการหมุนสูงมากรีดสวิตช์จะทำการตัดและต่อวงจรไม่ทัน

2.2 ต้องใช้วงจรการนับเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่แท้จริง และมีความเหมาะสม เพราะในกรณีความเร็วของการหมุนที่สูงมาก เครื่องคิดเลขจะทำการนับรอบไม่ทันทำให้บางจังหวะมีการขาดตอนได้

บรรณานุกรม

- กระทรวงศึกษาธิการ. (2540). ผลการดำเนินงานกรมสามัญศึกษาในรายงานประจำปี 2539. กรุงเทพฯ : กรมสามัญศึกษา.
- ก่องกัญจน์ ภัทรากาญจน์ และคณะ. (2525). ฟิสิกส์ระดับต้น. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า.
- โซ สาลีนัน. (2541). เทคโนโลยีพื้นฐานการสร้างสื่อการสอน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สุวีริยาสาส์น.
- ไชยยันต์ ศิริโชติ. (2541, มีนาคม-เมษายน). “การใช้ ADC ร่วมกับคอมพิวเตอร์ในการเก็บข้อมูลจากการวัด” วารสารวิทยาศาสตร์ สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ ปีที่ 52 (2) : 79.
- ธงชัย ชิวปรีชา และคนอื่นๆ. (2526). ความรู้เกี่ยวกับการใช้วัสดุอุปกรณ์และการสร้างอุปกรณ์ทดแทนการสอน. ในเอกสารการสอนชุดวิชาการสอนวิทยาศาสตร์ หน่วยที่ 8-15 หน้า 17 – 272. สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมธิราช.
- ชนพรหม เหมเชื้อ. (2542). การพัฒนาออสซิลโลสโคปจากโทรทัศน์ขาวดำ เพื่อใช้แสดงสัญญาณคลื่นทางไฟฟ้าประกอบการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร, อัดสำเนา.
- บุญชม ศรีสะอาด. (2541). การพัฒนาการสอน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ชมรมเด็ก.
- ประนอม หมอกกระโทก. (2545). การพัฒนาชุดทดลอง เรื่องการเคลื่อนที่ในแนวตรงในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ ศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- พวงรัตน์ ทวีรัตน์. (2540). วิธีการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ : สำนักทดสอบทางการศึกษา และจิตวิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.
- ภพ เลหาไพบูลย์. (2542). แนวการสอนวิทยาศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 3 : กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช.
- มงคล จงสุพรรณพงศ์. (2543). การพัฒนาชุดทดลองหลักการทำงานของมอเตอร์และเซนเซอร์เพื่อเป็นชุดทดลองประกอบการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

รันปรี ชิงห์ และเพ็ญจันทร์ ชิงห์. (2537). หลักวิชาฟิสิกส์เพื่อเตรียมสอบเข้ามหาวิทยาลัย.

กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิมล สำราญวานิช. (2532). การสอนวิชาวิทยาศาสตร์ในระดับมัธยมศึกษาตอนต้น. ขอนแก่น :

คณะศึกษาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วิมาน วรรณคำ. (2542). รายงานการประเมินคุณภาพการศึกษาระดับมัธยมศึกษา เขตการศึกษา 11

ปีการศึกษา 2540. นครราชสีมา : สำนักพัฒนาการศึกษาศาสนาและวัฒนธรรม

เขตการศึกษา 11.

ศิริเพ็ญ จิงตระกูล. (2542). การสร้างชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์ช่วยสอนวิชาวิทยาศาสตร์ในชั้น

มัธยมศึกษาตอนต้น. ปรินิพนธ์ กศ.ม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ประสานมิตร, อุดมศึกษา.

สกลรัตน์ พ่วงเดช. (2529). ผลการสอนวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพโดยใช้การสอนทดแทนกับ

อุปกรณ์ต้นแบบของ สสวท. เรื่อง โลกและดาวกับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย.

ปรินิพนธ์ กศ.ม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร,

อุดมศึกษา.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2525). หนังสือเรียนวิชาฟิสิกส์ เล่ม 3

(ว 023) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ : กรุงเทพมหานคร.

..... (2540). หนังสือเรียนวิชาฟิสิกส์ เล่ม 1 (ว 421) ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย.

พิมพ์ครั้งที่ 7 กรุงเทพฯ : กรุงเทพมหานคร.

..... (2543). มาตรฐานการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้กลุ่มวิชาวิทยาศาสตร์และ

เทคโนโลยี. กรุงเทพฯ : สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

..... (2544). หนังสือเรียนสาระการเรียนรู้พื้นฐานและเพิ่มเติมฟิสิกส์ เล่ม 2 กลุ่มสาระ

การเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ : กรุงเทพมหานคร.

สนอง ทองปาน. (2537). การศึกษาผลการใช้เครื่องอัดขยายภาพขาวดำที่พัฒนาขึ้นในการสอน

อัดขยายภาพสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น. ปรินิพนธ์ กศ.ม. กรุงเทพฯ :

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร, อุดมศึกษา.

สมนึก บุญพาไสว. (2534, มกราคม – มีนาคม). “การแก้ไขปัญหากับมโนคติในการเรียนการ

สอนวิชาฟิสิกส์” วารสาร สสวท. ปีที่ 45 (3) : 19.

สมปัญญา ศรีภณานนท์. (2537). การศึกษาความสามารถในการสร้างสิ่งประดิษฐ์และความคิด

สร้างสรรค์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่เรียนโดยใช้ชุดกิจกรรมสร้างสิ่งประดิษฐ์

กับชุดกิจกรรมซ่อมแซมแปลงสิ่งประดิษฐ์ทางวิทยาศาสตร์. ปรินิพนธ์ กศ.ม.

กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร, อุดมศึกษา.

- สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ. (2543). ความสามารถในการแข่งขันระดับนานาชาติ พศ. 2543. กรุงเทพฯ : บริษัท เซเวนพรีนติ้ง กรุ๊ป จำกัด.
- ลีปนันทน์ เกตุทัต. (2541). การประชุมเชิงปฏิบัติการระดมความคิดครูผู้สอนวิชาวิทยาศาสตร์ เรื่องวิสัยทัศน์การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ ยุคหลังปี ค.ศ. 2000. กรุงเทพฯ : สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กระทรวงศึกษาธิการ.
- Douglas, Macbeth. (1998, December). "On an Actual Apparatus for Conceptual Change," Science Education. 841 (2) : 228-255.
- Giancoli, Douglas C. (1995). Physics. 4th Edition, New Jersey : Prentive-Hall, Inc., 308-326.
- Kane, Joseph W. and Sternheim, Morton M. (1988). Physics. 3rd Edition, New York : John Wiley & Sons, 549 – 560.
- Sharna, R. C. (1982). Modern Science Teaching 3rd ed., Delhi : Neveen Shahdara, D.R. Printing Service.
- Thomson, Paul. (2002, February). "Wave - Generator with Synchronous Stroboscope," The Physics Teacher. 40 : 124.



ภาคผนวก ก

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิชาฟิสิกส์ หรือวิทยาศาสตร์ หรือสาขาที่เกี่ยวข้อง

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิชาฟิสิกส์ หรือวิทยาศาสตร์ หรือสาขาที่เกี่ยวข้องที่มีประสบการณ์เกี่ยวกับวิชาฟิสิกส์ ไม่นต่ำกว่า 10 ปี จำนวน 5 ท่าน ประกอบด้วย

ผู้เชี่ยวชาญของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 1 ท่านคือ

1. รศ. โข สาลีฉิน

ตำแหน่งงานคือ ผู้เชี่ยวชาญสาขาออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์การสอนวิทยาศาสตร์ สังกัดสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ประสบการณ์การทำงานที่เกี่ยวข้องทางด้านฟิสิกส์ 45 ปี

ผู้สอนในระดับอุดมศึกษา 2 ท่านคือ

2. ผศ. ปรีดา เพชรมีศรี

ตำแหน่งงานคือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สังกัดภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสบการณ์การทำงานที่เกี่ยวข้องทางด้านฟิสิกส์ 30 ปี

3. ดร. สนอง ทองปาน

ตำแหน่งงานคือ อาจารย์สังกัดสาขาวิชาการมัธยมศึกษา ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสบการณ์การทำงานที่เกี่ยวข้องทางด้านฟิสิกส์ 18 ปี

ผู้สอนในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย 2 ท่านคือ

4. นายภูมิศ ศรีอุบล

ตำแหน่งงานคือ ครูเชี่ยวชาญระดับ 9 สังกัดโรงเรียนปากพลีวิทยาคาร อตอ ปากพลี จังหวัดนครนายก ประสบการณ์การทำงานที่เกี่ยวข้องทางด้านฟิสิกส์ 32 ปี และเป็นผู้ได้รับคัดเลือกให้เป็น

4.1 ครูฟิสิกส์ดีเด่นประจำปี 2539 จากสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย ฯ

4.2 ผู้มีความรู้ ความสามารถ และมีความชำนาญการในการสอนวิชาฟิสิกส์ จากกรมสามัญศึกษา ประจำปี 2541

5. นายทองดี แยมสรวล

ตำแหน่งงานคือ ครู คศ.2 โรงเรียนคณะราษฎร์บำรุงปทุมธานี สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาปทุมธานี เขต 1 สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ ประสบการณ์การทำงานที่เกี่ยวข้องทางด้านฟิสิกส์ 27 ปี และเป็นผู้ได้รับคัดเลือกให้เป็นครูแห่งชาติสาขาฟิสิกส์

ภาคผนวก ข

คู่มือการทำปฏิบัติการทดลองเกี่ยวกับคลื่น 6 การทดลอง

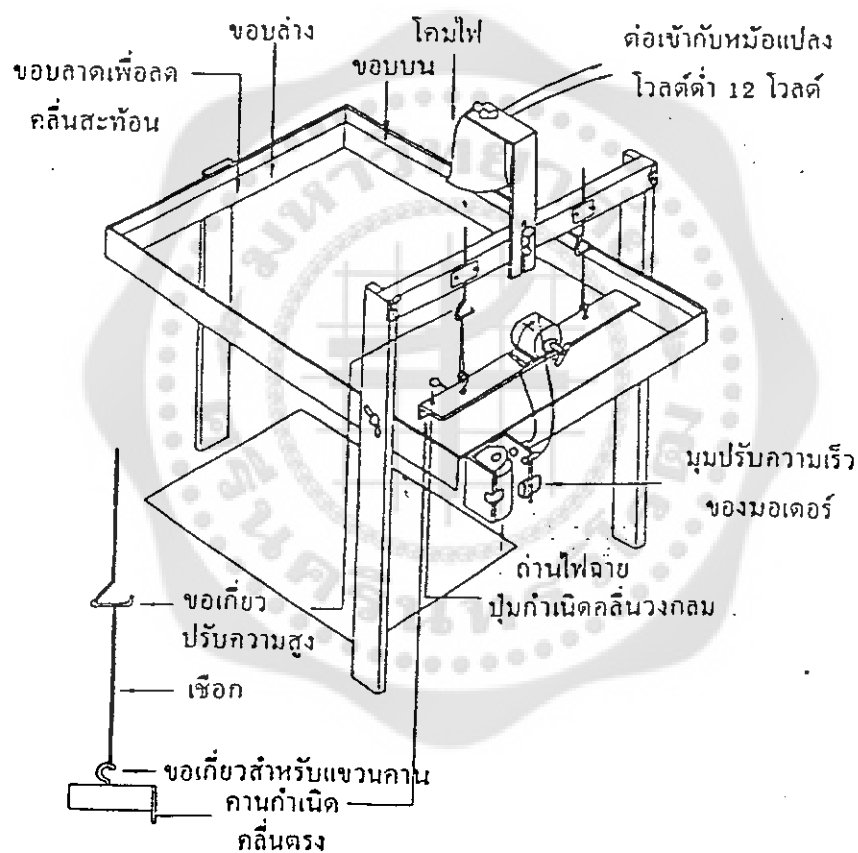
การทดลองที่ 1 คลื่นน้ำ

วัสดุอุปกรณ์

1. ชุดถาดคลื่น 1 ชุด
2. หม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์ต่ำ 1 เครื่อง
3. สโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น 1 เครื่อง

วิธีทดลอง

1. ประกอบชุดถาดคลื่น ดังรูป 1



รูป 1 แสดงการประกอบชุดถาดคลื่น

2. ใส่น้ำในถาดเล็กน้อย ปรับความสูงของขาตั้งเพื่อให้ถาดอยู่ในแนวระดับ เติมน้ำจนถึงระดับกึ่งกลางของขอบถาด ปรับให้ก้านัดคลื่นอยู่เหนือผิวน้ำประมาณ 1 cm

3. ต่อหลอดไฟเข้ากับหม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์ต่ำ 12 โวลต์
4. ใช้ปลายดินสอแตะผิวหนังบริเวณกลาง ๆ ถาด 1 ครั้ง สังเกตภาพที่ปรากฏบนแผ่นกระดาษที่วางไว้บนโต๊ะได้ถาคกลับ
5. ใช้ขอบด้านขวาของไม้โปรแทรกเตอร์แตะผิวหนังหนึ่งครั้ง สังเกตภาพที่ปรากฏบนแผ่นกระดาษ
6. ปรับปุ่มกำเนิดคลื่นน้ำหนึ่งอันที่อยู่กลางถาดให้แตะผิวหนังพอดี ต่อวงจรไฟฟ้าให้มอเตอร์หมุนซึ่งทำให้ปุ่มกำเนิดคลื่นส่งกระทุมน้ำตลอดเวลา ปรับให้มอเตอร์หมุนช้า ๆ ใช้สโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้นสังเกตภาพที่ปรากฏบนแผ่นกระดาษ ปรับให้มอเตอร์หมุนเร็วขึ้น และสังเกตภาพที่ปรากฏบนแผ่นกระดาษ
7. บิดปุ่มกำเนิดคลื่นทุกอันให้สูงขึ้นเกินขอบล่างของถาดกำเนิดคลื่น ปรับระดับของถาดกำเนิดคลื่นให้ขอบล่างแตะผิวหนังพอดีตลอดความยาวของถาด ปรับให้มอเตอร์หมุนช้า ๆ สังเกตภาพที่ปรากฏบนแผ่นกระดาษ แล้วปรับให้มอเตอร์หมุนเร็วขึ้นสังเกตภาพที่ปรากฏบนแผ่นกระดาษ

คำถาม

1. เมื่อใช้ปลายดินสอและขอบไม้โปรแทรกเตอร์แตะผิวหนังหนึ่งครั้ง แต่ละกรณีภาพของคลื่นบนแผ่นกระดาษเป็นอย่างไร
2. เมื่อใช้ปุ่มกำเนิดคลื่นและถาดกำเนิดคลื่นกระทุมน้ำตลอดเวลา แต่ละกรณีภาพของคลื่นบนแผ่นกระดาษเป็นอย่างไร
3. เมื่อปุ่มกำเนิดคลื่นและถาดกำเนิดคลื่นสั่นด้วยความถี่น้อยและมากขึ้น แต่ละกรณีภาพบนแผ่นกระดาษเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร
4. ถ้าสังเกตคลื่นน้ำในถาดคลื่นโดยตรง จะเห็นผิวหนังเป็นคลื่นหรือไม่
5. จากการศึกษากลิ่นน้ำที่ผ่านมา นั้น ทราบหรือไม่ว่าเพราะเหตุใดจึงศึกษาจากภาพของคลื่นน้ำ

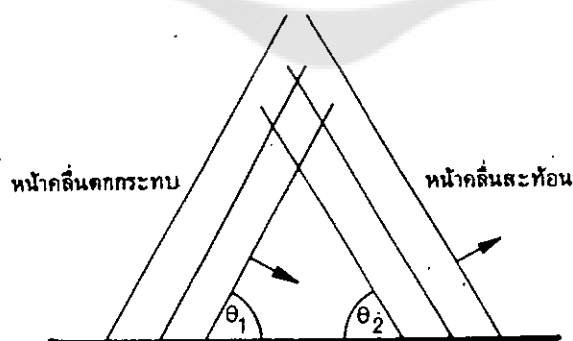
การทดลองที่ 2 การสะท้อนของคลื่น

วัสดุอุปกรณ์

1. ชุดถาดคลื่น 1 ชุด
2. หม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์ต่ำ 1 เครื่อง
3. สตโรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น 1 เครื่อง

วิธีทดลอง

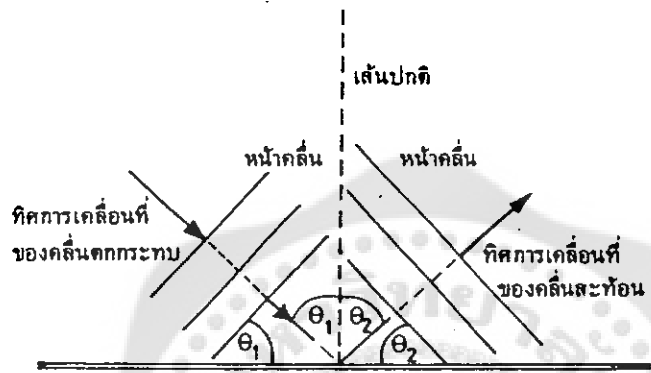
1. ประกอบชุดถาดคลื่นเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1
2. เติมน้ำลงในถาดคลื่นจนถึงระดับกึ่งกลางของขอบถาด
3. ขยกาน้ำเนื้คลื่นและปั้มน้ำเนื้คลื่นให้พ้นผิวน้ำ
4. วางกระดาษขาวไว้บนโต๊ะใต้ถาดคลื่น ต่อหลอดไฟเข้ากับหม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์ต่ำ 12 โวลต์
5. วางแผ่นสะท้อนหน้าตรงลงบริเวณกลาง ๆ ถาด โดยเอียงทำมุม 30 องศา กับแนวของถาดน้ำเนื้คลื่น
6. ใช้ดินสอขีดเส้นตามแนวขอบของแผ่นสะท้อนบนกระดาษขาวเพื่อแทนแนวของผิวสะท้อน
7. ใช้ขอบด้านขาวของไม้โปรแทรกเตอร์แตะผิวน้ำใกล้ ๆ กับถาดน้ำเนื้คลื่น เพื่อให้เกิดคลื่นเคลื่อนตรง โดยให้น้ำคลื่นขนานกับถาดน้ำเนื้คลื่น ขณะเดียวกันใช้สตโรโบสโคปที่พัฒนาขึ้นสังเกตการเคลื่อนที่ของคลื่น
8. ใช้ดินสอขีดเส้นบนกระดาษขาว ให้ขนานกับแถบสว่างของภาพคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อน



รูป 1 แสดงมุมที่หน้าคลื่นตกกระทบและหน้าคลื่นสะท้อนกระทำกับผิวสะท้อน

9. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 5, 6, 7 และ 8 โดยเปลี่ยนมุมที่แผ่นสะท้อนทำกับแนวของคาน
กำเนิดคลื่นเป็น 45 และ 60 องศา

10. วัดมุมที่หน้าคลื่นตกกระทบกระทำกับแผ่นสะท้อน (θ_1) และมุมที่หน้าคลื่นสะท้อน
กระทำกับแผ่นสะท้อน (θ_2) ที่ได้จากการฉายขาว บันทึกผลในตารางบันทึกผลการทดลอง



รูป 2 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อน

ตารางบันทึกผลการทดลอง

มุมที่ผิวสะท้อนทำกับแนวคานกำเนิดคลื่น	θ_1	θ_2
30°		
45°		
60°		

คำถาม

- มุมที่ผิวสะท้อนทำกับหน้าคลื่นตกกระทบมีค่าเท่าใดบ้าง
- ในการวางแผ่นสะท้อนแต่ละครั้ง มุม θ_1 และมุม θ_2 เป็นอย่างไร
- จากการทดลอง สรุปเป็นกฎการสะท้อนได้อย่างไร

การทดลองที่ 3 การหักเหของคลื่น

วัสดุอุปกรณ์

1. ชุดถาดคลื่น 1 ชุด
2. ชุดหม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์ต่ำ 1 เครื่อง
3. สโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น 1 เครื่อง

วิธีทดลอง

1. ประกอบชุดถาดคลื่นเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1
2. เติมน้ำลงในถาดคลื่นจนถึงระดับประมาณหนึ่งในสามของขอบลาด ปรับระดับขาตั้งถาดคลื่นให้ถาดคลื่นอยู่ในแนวราบ
3. วางกระดาษขาวไว้บนโต๊ะใต้ถาดคลื่น ค่อยงจรไฟฟ้าของหลอดไฟเข้ากับหม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์ต่ำ 12 โวลต์
4. วางแผ่นกระจกหนารูปสี่เหลี่ยมลงในถาดคลื่น ปรับความสูงของระดับน้ำให้พอดีท่วมโดยระดับน้ำสูงกว่าแผ่นกระจกที่วางลงไปประมาณ 1 - 2 มิลลิเมตร
5. ปรับระดับถาดคลื่นให้ตะกอนน้ำพอดี ค่อยงจรไฟฟ้าของมอเตอร์ให้มอเตอร์หมุนปรับความเร็วให้มอเตอร์หมุนช้า ๆ เพื่อทำให้เกิดคลื่นผิวน้ำ
6. ใช้สโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้นสังเกตการเคลื่อนที่ของคลื่นและความกว้างของแถบสว่างหนึ่งถึงแถบสว่างถัดไปทั้งบริเวณน้ำลึกและน้ำตื้น
7. เลื่อนแผ่นกระจกให้ทำมุมกับหน้าคลื่นเป็นมุมต่างๆ และให้สังเกตการเคลื่อนที่ของคลื่นและความกว้างของแถบสว่างหนึ่งถึงแถบสว่างถัดไปทั้งบริเวณน้ำลึกและน้ำตื้น

คำถาม

1. เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านผิวยอต่อระหว่างเขตน้ำลึกและเขตน้ำตื้น กรณีหน้าคลื่นขนานกับผิวยอต่อ ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นและความยาวคลื่นเปลี่ยนแปลงอย่างไร
2. เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านผิวยอต่อระหว่างเขตน้ำลึกและเขตน้ำตื้น กรณีหน้าคลื่นทำมุมกับผิวยอต่อ ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นและความยาวคลื่นเปลี่ยนแปลงอย่างไร

การทดลองที่ 4 การแทรกสอดของคลื่น

วัสดุอุปกรณ์

1. ชุดถาดคลื่น 1 ชุด
2. หม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์ต่ำ 1 ชุด
3. สตโรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น 1 เครื่อง

วิธีทดลอง

1. ประกอบชุดถาดคลื่นเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1
2. เติมน้ำลงในถาดคลื่นจนถึงระดับกึ่งกลางของขอบถาด
3. ต่อวงจรไฟฟ้าของหลอดไฟเข้ากับหม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์ต่ำ 12 โวลต์
4. วางกระดาษขาวไว้บนโต๊ะใต้ถาดคลื่น ปรับปุ่มกำเนิดคลื่นสองอันที่อยู่ห่างกันประมาณ 3 cm ให้แต่ละผิวน้ำพอดี ต่อวงจรไฟฟ้าให้มอเตอร์หมุนปรับให้มอเตอร์หมุนช้าๆ ใช้สตโรโบสโคปที่พัฒนาขึ้นสังเกตภาพการรวมกันของคลื่นวงกลมบนกระดาษขาว
5. ปิดปุ่มกำเนิดคลื่นขึ้นแล้วปรับให้ก้านกำเนิดคลื่นแต่ละผิวน้ำ ใช้แผ่นกั้นคลื่นที่มีขอบตรงวางลงในถาดคลื่น โดยให้ขอบแผ่นกั้นขนานกับหน้าคลื่น เลื่อนขอบแผ่นกั้นเข้าออกเพื่อให้ได้ภาพชัดเจน สังเกตภาพคลื่นที่ปรากฏบนแผ่นกระดาษ

คำถาม

1. จากภาพคลื่นวงกลมที่เกิดจากปุ่มกำเนิดคลื่นทั้งสอง จะมีตำแหน่งที่เกิดแถบมืด แถบมืดนี้เกิดขึ้นได้อย่างไร
2. ภาพคลื่นที่เกิดจากก้านกำเนิดคลื่นและแผ่นกั้นขอบตรงเป็นอย่างไร

การทดลองที่ 5 การเลี้ยวเบนของคลื่น

วัสดุอุปกรณ์

1. ชุดถาดคลื่น 1 ชุด
2. หม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์ต่ำ 1 ชุด
3. ชุดทดลองการเลี้ยวเบน 1 ชุด
4. สโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น 1 เครื่อง

วิธีทดลอง

1. ประกอบชุดถาดคลื่นเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1
2. เติมน้ำลงในถาดคลื่นจนถึงระดับกึ่งกลางของขอบลาด ปรับขาตั้งให้ถาดคลื่นอยู่ในแนวราบ
3. ต่อวงจรไฟฟ้าของหลอดไฟเข้ากับหม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์ต่ำ 12 โวลต์
4. วางกระดาษขาวไว้ใต้ถาดคลื่น ปรับให้คานำเน็คคลื่นแตะน้ำพอดี แล้วต่อวงจรมอเตอร์เข้ากับแหล่งจ่ายไฟ ปรับให้มอเตอร์หมุนช้า ๆ
5. วางแผ่นกั้นคลื่นลงในถาดคลื่น เลื่อนให้ปลายของแผ่นกั้นอยู่บริเวณกลาง ๆ ของถาดคลื่น ใช้สโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้นสังเกตการเคลื่อนที่ของคลื่นเมื่อผ่านขอบแผ่นกั้น
6. ปรับให้มอเตอร์หมุนเร็วขึ้น แล้วสังเกตการเคลื่อนที่ของคลื่น
7. ใช้แผ่นกั้นคลื่น 2 แผ่น โดยเปิดเป็นช่องว่างประมาณ 3 cm ไปกั้นคลื่น ปรับให้มอเตอร์หมุนเร็วต่างกัน แล้วสังเกตลักษณะของคลื่นน้ำทั้งหน้าและหลังแผ่นกั้น
8. เปลี่ยนขนาดของช่องเปิดเป็น 2 cm , 1 cm และน้อยกว่า 1 cm แล้วปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 7
9. ใช้แผ่นกั้นคลื่น 3 แผ่น กั้นหน้าคลื่นโดยเปิดช่องแคบ ๆ สองช่อง ให้ช่องทั้งสองห่างกันประมาณ 6 cm สังเกตลักษณะของคลื่นน้ำทั้งหน้าและหลังช่องเปิด

คำถาม

1. เมื่อใช้แผ่นกั้นคลื่นกั้นทางเดินของคลื่นบางส่วน คลื่นจะมีการเคลื่อนที่อย่างไร
2. เมื่อแผ่นกั้นคลื่นมีช่องเปิดเล็ก ๆ คลื่นจะมีลักษณะอย่างไรเมื่อความถี่คลื่นมีค่าต่าง ๆ กัน
3. เมื่อแผ่นกั้นคลื่นมีช่องเปิด 2 ช่อง คลื่นจะมีลักษณะอย่างไร

การทดลองที่ 6 การวัดความถี่และความยาวคลื่นของคลื่นน้ำ วัสดุอุปกรณ์

1. ชุดถาดคลื่น 1 ชุด
2. หม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์ต่ำ 1 เครื่อง
3. สตโรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น 1 เครื่อง

วิธีทดลอง

1. ประกอบชุดถาดคลื่นเช่นเดียวกับการทดลอง 1
2. เติมน้ำลงในถาดคลื่นให้ถึงระดับกึ่งกลางขอบถาด
3. ต่อหลอดไฟเข้ากับหม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์ต่ำ 12 โวลต์
4. วางแผ่นกระดาษขาวไว้บนโต๊ะใต้ถาดคลื่น
5. ใช้ก้านกำเนิดคลื่นเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นแล้วต่อวงจรไฟฟ้าให้มอเตอร์หมุน
6. ปรับให้มอเตอร์หมุนด้วยความถี่พอเหมาะ
7. หมุนปุ่มปรับให้สตโรโบสโคปหมุนช้า ๆ ก่อน แล้วค่อย ๆ ปรับให้หมุนเร็วขึ้นจนกระทั่งเห็นแถบสว่างบนแผ่นกระดาษหยุดนิ่ง จับเวลาที่สตโรโบสโคปหมุนได้ 20 รอบ บันทึกผลลงในตาราง
8. หลังจากที่ได้วัดอัตราการหมุนของสตโรโบสโคปเสร็จ โดยที่ยังมองคลื่นผ่านสตโรโบสโคป และยังเห็นแถบสว่างบนแผ่นกระดาษหยุดนิ่ง ให้นำเวอร์เนียไปวางบนกระดาษขาวใต้ถาดคลื่น เพื่อวัดความยาวของสี่ช่วงคลื่น ระยะนี้ต้องตั้งฉากกับหน้าคลื่น บันทึกผลลงในตาราง
9. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 6 , 7 และ 8 โดยเปลี่ยนความถี่ของการหมุนของมอเตอร์ ให้แตกต่างจากเดิมพอสมควร
10. คำนวณหาความยาวคลื่น ความถี่ของการหมุนของสตโรโบสโคป ความถี่และความเร็วของคลื่นน้ำ

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ครั้งที่	ระยะระหว่าง แถบสว่าง 5 แถบ (เมตร)	ช่วงเวลาที่สตโรโบสโคป หมุนครบ 20 รอบ (วินาที)	ความยาวคลื่น (เมตร)	ความถี่ของการ หมุน(รอบ/ วินาที)
1				
2				



แบบประเมินคุณภาพของสโรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น

แบบประเมินชุดนี้เป็นแบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิชาชีพสีกส์เกี่ยวกับคุณภาพของสโรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น

คำชี้แจง

แบบประเมินชุดนี้แบ่งออกเป็น 4 ตอน

ตอนที่ 1 วัตถุประสงค์ของแบบประเมิน

ตอนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับสถานะภาพของผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิชาชีพสีกส์ ประกอบด้วยคำถาม 4 ข้อ

ตอนที่ 3 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิชาชีพสีกส์ เกี่ยวกับคุณภาพของสโรโบสโคปที่พัฒนาขึ้นจำนวน 24 ข้อ แบ่งเป็น

- | | |
|--|-------|
| 1. ลักษณะทางกายภาพทั่วไป | 5 ข้อ |
| 2. ลักษณะการใช้งาน | 6 ข้อ |
| 3. การบำรุงรักษาและการซ่อมแซม | 5 ข้อ |
| 4. ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน | 8 ข้อ |

ตอนที่ 4 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติมของผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิชาชีพสีกส์

ตอนที่ 1 วัตถุประสงค์ของแบบประเมิน

แบบประเมินชุดนี้สร้างขึ้นเพื่อเป็นเครื่องมือในการวิจัย มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิชาชีพสีกส์ เกี่ยวกับคุณภาพของสโรโบสโคปที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น

แบบประเมินชุดนี้แบ่งการประเมินออกเป็น 4 ด้าน ดังนี้

1. ลักษณะทางกายภาพทั่วไป
2. ลักษณะการใช้งาน
3. การบำรุงรักษาและการซ่อมแซม
4. ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน

ตอนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับสถานะภาพของผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิชาฟิสิกส์

กรุณาเขียนเครื่องหมาย ✓ ลงในกรอบ □ หน้าข้อความที่ตรงกับความเป็นจริง และเติมข้อความลงในช่องว่าง

1. ชื่อ.....นามสกุล.....
2. ระดับการศึกษา
 - ☐ ปริญญาตรี
 - ☐ ปริญญาโท
 - ☐ ปริญญาเอก
 - ☐ อื่น ๆ (โปรดระบุ).....

3. ประสบการณ์การทำงานที่เกี่ยวข้องกับงานด้านฟิสิกส์.....ปี

4. ตำแหน่งงานในปัจจุบัน

ตำแหน่ง.....

สังกัด.....

ตอนที่ 3 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิชาฟิสิกส์ เกี่ยวกับคุณภาพของสโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น

ข้อแนะนำในการตอบแบบประเมิน

1. แบบประเมินในตอนที่ 3 มีทั้งหมด 24 ข้อ
2. โปรดเขียนเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องมาตราส่วนประเมินค่า 5 ระดับ ตามความคิดเห็นของท่านหลังจากทดสอบสโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น
3. ค่าระดับคะแนนกำหนดไว้ดังนี้

ผลการประเมินในระดับดีมาก	หมายถึง	4
ผลการประเมินในระดับดี	หมายถึง	3
ผลการประเมินในระดับพอใช้	หมายถึง	2
ผลการประเมินในระดับต้องปรับปรุง	หมายถึง	1
ผลการประเมินในระดับใช้ไม่ได้	หมายถึง	0

ตารางแบบประเมินคุณภาพของสโรโบสโคปที่พัฒนาขึ้น
โดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิชาชีพลิคส์

รายการประเมิน	ระดับการประเมิน				
	ดีมาก	ดี	พอใช้	ต้องปรับปรุง	ใช้ไม่ได้
1.ลักษณะทางกายภาพทั่วไป					
1.1 มีความแข็งแรงทนทาน					
1.2 การออกแบบชิ้นส่วนเหมาะสมสามารถประกอบได้ง่าย					
1.3 การออกแบบเหมาะสมมีขนาดกะทัดรัด					
1.4 การติดตั้งอุปกรณ์มีความมั่นคง					
1.5 ค่าผลการนับรอบเห็นชัดเจน					
2.ลักษณะการใช้งาน					
2.1 การเตรียมอุปกรณ์และปฏิบัติ การทดลองทำได้สะดวก					
2.2 มีประสิทธิภาพในการทดลอง ผลการทดลองเชื่อถือได้					
2.3 ปลอดภัยในขณะปฏิบัติการ ทดลอง					
2.4 มีความคล่องตัวในการใช้และ ปฏิบัติการทดลอง ไม่เกะกะ					
2.5 ใช้ปฏิบัติการทดลองได้หลาย การทดลอง					
2.6 เคลื่อนย้ายได้สะดวกและนำไป ใช้นอกห้องปฏิบัติการได้					

รายการประเมิน	ระดับการประเมิน				
	ดีมาก	ดี	พอใช้	ต้องปรับปรุง	ใช้ไม่ได้
3.การบำรุงรักษาและการซ่อมแซม					
3.1 การบำรุงรักษาทำได้ง่าย					
3.2 สะดวกในการใช้และเก็บรักษา					
3.3 การจัดหาอุปกรณ์เพื่อซ่อมแซมทำได้สะดวก					
3.4 วัสดุอุปกรณ์ที่นำมาทำมีราคาถูกหาซื้อได้ง่าย					
3.5 การซ่อมแซมในแต่ละส่วนทำได้สะดวก ไม่ทำให้อุปกรณ์ส่วนอื่นๆ เสียหาย					
4. ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน					
4.1 ช่วยให้สังเกตปรากฏการณ์ของคลื่นได้ชัดเจน					
4.2 ผู้เรียนสามารถเรียนรู้และเข้าใจเนื้อหาเป็นรูปธรรม					
4.3 ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ง่ายเป็นการให้ประสบการณ์ตรง					
4.4 ผู้เรียนมีโอกาสปฏิบัติและมีส่วนร่วม					
4.5 ผู้เรียนสามารถใช้เรียนเป็นรายบุคคลหรือเป็นกลุ่มได้					
4.6 ใช้เวลาในการทดลองน้อยและได้ผลการทดลองถูกต้องเหมาะสมกับระดับของผู้เรียน					

อภิธานศัพท์

กฎการสะท้อนของคลื่น: เมื่อเกิดการสะท้อนของคลื่น จะได้มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อนเสมอ
การกระจัด: (displacement) หมายถึงระยะจากจุดใดๆบนแนวคลื่นถึงแนวสมดุล

การเคลื่อนที่แบบแกว่งกวัด: การเคลื่อนที่ใด ๆ ที่มีการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาซ้ำทางเดิม ผ่านจุด
 คงที่ในช่วงเวลาที่เท่าๆ กัน

การทำปฏิบัติการและการเรียนการสอนเรื่องคลื่น: การลงมือปฏิบัติในการทำการทดลองวัดความยาว
 คลื่น ความถี่ของคลื่นน้ำ และสังเกตปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เป็นสมบัติของคลื่นน้ำ เช่น
 การสะท้อน การหักเห การแทรกสอด การเลี้ยวเบน

การแทรกสอดของคลื่น: เป็นปรากฏการณ์การซ้อนทับกันของคลื่น 2 ขบวนที่มาพบกัน คลื่นทั้ง 2
 ขบวนจะรวมกัน (ซ้อนทับกัน) มองเห็นเป็นแนวมืด แนวสว่าง สลับกัน

การเลี้ยวเบนของคลื่น: การที่คลื่นเคลื่อนที่พบสิ่งกีดขวางที่กั้นขวางการเคลื่อนที่ของคลื่นแต่เพียง
 บางส่วน แล้วมีคลื่นส่วนหนึ่งแผ่กระจายจากขอบของแผ่นกั้นไปปรากฏในบริเวณด้าน
 หลังของแผ่นกั้น

การสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์: การสอนที่ให้โอกาสผู้เรียนได้ลงมือกระทำการทดลอง ได้ปฏิบัติ
 ด้วยตนเอง ได้มีโอกาสใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์โดยได้รับการแนะช่วยเหลืออย่างใกล้ชิด
 จากครู ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ เข้าใจเนื้อหาวิทยาศาสตร์ ข้อเท็จจริง กฎ หลักการ
 และทฤษฎีได้ถูกต้อง และสามารถทดสอบหรือยืนยันสิ่งที่ทราบคำตอบแล้ว หรือเพื่อเสาะ
 แสวงหาความรู้ใหม่

การสะท้อนของคลื่น: เป็นการที่คลื่นเคลื่อนที่ไปกระทบสิ่งกีดขวางแล้วเปลี่ยนทิศทางสะท้อนกลับ
 มาในตัวกลางเดิม

การหักเหของคลื่น: เมื่อคลื่นเคลื่อนที่จากตัวกลางหนึ่งเข้าไปในตัวกลางหนึ่งจะเกิดการหักเหของ
 คลื่นโดยจะมีความยาวคลื่นเปลี่ยนไป แต่ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นอาจเปลี่ยนหรือไม่
 เปลี่ยน ขึ้นอยู่กับว่าทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นตกกระทบตั้งฉากกับรอยต่อหรือทำมุมกับ
 รอยต่อ

คลื่นกล: เป็นคลื่นที่แผ่ออกไปโดยต้องอาศัยตัวกลาง เช่น คลื่นเสียง คลื่นในเส้นเชือก คลื่นผิวน้ำ

คลื่นตามขวาง: (transverse waves) เป็นคลื่นที่เกิดขึ้นในกรณีที่ อนุภาคของตัวกลางแกว่งกวัดใน
 ทิศตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น เช่น คลื่นในเส้นเชือก คลื่นผิวน้ำ

คลื่นตามยาว: (longitudinal waves) เป็นคลื่นที่เกิดขึ้นในกรณีที่ อนุภาคของตัวกลางแกว่งกวัดใน
 ทิศของการเคลื่อนที่ของคลื่น เช่น คลื่นเสียง คลื่นที่เกิดจากการอัดตัวของสปริง

คลื่นผิวน้ำ: เป็นคลื่นที่เกิดจากการรบกวนผิวน้ำเกิดเป็นระลอกของคลื่นขึ้นที่ผิวน้ำของน้ำจากตำแหน่งผิวน้ำที่ถูกรบกวนแล้วแผ่ออกไป

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า: เป็นคลื่นที่แผ่ออกไปโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง เช่น คลื่นแสง คลื่นวิทยุ คลื่นไมโครเวฟ

ความถี่ของคลื่น: (frequency = f) จำนวนลูกคลื่นที่ผ่านจุดใด ๆ ในหนึ่งหน่วยเวลา (รอบต่อวินาที หรือ Hz)

ความยาวคลื่น: เป็นความกว้างของคลื่น 1 ลูก ซึ่งคือระยะห่างของตำแหน่งบนคลื่นที่มีลักษณะเดียวกันที่ติดต่อกัน เช่น ระยะจากสันคลื่นลูกหนึ่งถึงสันคลื่นลูกถัดไป

คาบ: (period) เป็นเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่ได้ 1 รอบ หรือ เวลาที่คลื่นเคลื่อนที่ได้ 1 ความยาวคลื่น

ช่วงกว้างของคลื่น: (amplitude) หมายถึงระยะจากสันคลื่นหรือระยะจากท้องคลื่นถึงแนวสมดุล (การกระจัดที่มีค่ามากที่สุด)

ถาดคลื่น: เป็นถาดที่พื้นของถาดทำด้วยแผ่นกระจกใส ขอบของถาดมีลักษณะลาดเอียงเพื่อลดการสะท้อนของคลื่นน้ำที่มาตกกระทบ ด้านบนมีหลอดไฟเพื่อส่องแสงลงมาจากน้ำที่อยู่ในถาด และมีมอเตอร์เล็ก ๆ ติดอยู่บนฐานถาดกั้นคลื่น เมื่อมอเตอร์เล็ก ๆ หมุน จะทำให้ถาดเกิดการสั่นขึ้นลง และถ้าจัดวางกาน้ำที่ก้นถาดให้พอดีสัมผัสกับผิวน้ำ จะทำให้เกิดการรบกวนผิวน้ำในถาดคลื่น และจะเกิดระลอกของคลื่นผิวน้ำขึ้นที่ผิวน้ำของน้ำในถาดเคลื่อนที่จากตำแหน่งผิวน้ำที่ถูกรบกวนไปยังขอบของถาดคลื่น

ท้องคลื่น: หมายถึงส่วนล่างสุดของคลื่นแต่ละลูก

บัพ: เมื่อคลื่นต่อเนื่อง 2 ขบวนที่เหมือนกันมาพบกันและซ้อนทับกันโดย เมื่อใดที่สันคลื่นพบกับท้องคลื่น ตำแหน่งนั้นแอมพลิจูดของคลื่นทั้งสองจะหักล้างกัน ทำให้ผิวน้ำไม่กระเพื่อม เรียกว่าเกิดการแทรกสอดแบบหักล้าง เป็นตำแหน่งที่ผิวน้ำไม่กระเพื่อม หรือมีการกระจัดเป็นศูนย์

ปฏิบัพ: เมื่อคลื่นต่อเนื่อง 2 ขบวนที่เหมือนกันมาพบกันและซ้อนทับกันโดย เป็นตำแหน่งที่สันคลื่นพบกับสันคลื่น และท้องคลื่นพบกับท้องคลื่น เป็นตำแหน่งที่ผิวน้ำกระเพื่อมมากที่สุดหรือมีการกระจัดมากที่สุด แอมพลิจูดของคลื่นทั้งสองจะเสริมกันทำให้ผิวน้ำ ณ ตำแหน่งนั้นมีระดับสูงขึ้นมากที่สุด หรือลดต่ำมากที่สุดตามลำดับ คือเป็นตำแหน่งที่เกิดการแทรกสอดแบบเสริม

เฟสของคลื่น: หมายถึงค่าของมุมบนแนวสมดุลที่ใช้บอกตำแหน่งหรือระยะกระจัดของอนุภาคของตัวกลาง ณ ตำแหน่งใด ๆ ที่เวลาใด ๆ บนคลื่น

ยอดคลื่น: หรือสันคลื่นหมายถึงส่วนบนสุดของคลื่นแต่ละลูก

รีดสวิตช์: เป็นสวิตช์ปิด – เปิดวงจรชนิดหนึ่งที่ควบคุมการทำงานโดยใช้สนามแม่เหล็กจากภายนอก เช่นจากแท่งแม่เหล็กถาวร

สโตรโบสโคป: เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดหาความถี่ของคลื่นน้ำ มีลักษณะเป็นแผ่นกลมทึบแสง หมุนได้คล่องรอบแกน ขอบของแผ่นมีช่องแคบ ๆ จำนวนกี่ช่องก็ได้ ช่องแต่ละช่องอยู่ห่างเป็นระยะเท่า ๆ กัน มีหลักเกณฑ์ในการใช้คือ ถ้าหมุนสโตรโบสโคปครบ 1 รอบ แล้วคลื่นผ่านไปครบจำนวนเต็มลูกคลื่นพอดี (เช่น 1 ลูกคลื่น หรือ 2 ลูกคลื่น เป็นต้น) จะเห็นภาพของคลื่นน้ำที่เกิดจากถาดคลื่น เสมือนว่าอยู่นิ่ง

สโตรโบสโคปที่มีคุณภาพ: หมายถึงสโตรโบสโคปที่มีลักษณะ รูปร่างงูใจ ทำงานได้ตามที่ต้องการ สะดวกในการใช้และปฏิบัติ มีความคงทนถาวร วัสดุที่ใช้ทำควรเป็นวัสดุที่หาได้ง่าย มีในท้องถิ่น มีราคาถูก

สโตรโบสโคปที่มีประสิทธิภาพ: หมายถึงสโตรโบสโคปที่สามารถปรับความถี่ของการหมุน แล้วมองเห็นภาพของคลื่นน้ำบนฉากให้มีลักษณะเสมือนว่าหยุดนิ่งในเวลานานเพียงพอที่จะทำการวัดความยาวคลื่น และความถี่ของคลื่นน้ำได้

สโตรโบสโคปแบบมือหมุน: (hand stroboscope) มีลักษณะเป็นแผ่นจานกลมทึบแสง หมุนได้คล่องรอบแกน ขอบของแผ่นมีช่องเล็ก ๆ หลายช่อง แต่ละช่องอยู่ห่างเป็นระยะเท่า ๆ กัน มีช่องกลมใกล้แกนหมุนเพื่อใช้นิ้วสอดแล้วหมุน

สันคลื่น: หรือยอดคลื่นหมายถึงส่วนบนสุดของคลื่นแต่ละลูก

หน้าคลื่น: เส้นที่ลากผ่านตำแหน่งที่มีเฟสตรงกัน เส้นแนวกลางของแถบสว่างซึ่งเกิดจากแนวของสันคลื่น และเส้นแนวกลางของแถบมืดซึ่งเกิดจากแนวของท้องคลื่นต่างก็เป็นหน้าคลื่น พบว่าหน้าคลื่นมีทิศตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น ระยะระหว่างหน้าคลื่นที่อยู่ติดกัน จะเท่ากับความยาวคลื่น

แหล่งกำเนิดคลื่นอาพันธ์: แหล่งกำเนิดคลื่นตั้งแต่ 2 แหล่งขึ้นไป ที่มีความถี่เท่ากันและมีเฟสตรงกัน หรือมีเฟสต่างกันคงตัว

อัตราเร็วคลื่น: เป็นระยะทางที่คลื่นเคลื่อนที่ได้ใน 1 หน่วยเวลา โดย $v = \lambda f$

อุปกรณ์ทดแทนและสิ่งประดิษฐ์ทางวิทยาศาสตร์: อุปกรณ์ที่ครู นักเรียน หรือสมาชิกในชุมชนร่วมมือกันสร้างขึ้น โดยใช้ความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เป็นพื้นฐานในการคิดออกแบบ ดัดแปลงปรับปรุงซ่อมแซมหรือสร้างขึ้นใหม่โดยใช้วัสดุเหลือใช้ วัสดุที่ได้เปล่า วัสดุที่มีราคาถูกในท้องถิ่น เพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอน เป็นการทดแทนอุปกรณ์ที่ต้องซื้อจากร้านขายอุปกรณ์

ประวัติผู้ทำการวิจัย

1. ชื่อ นายทนง อัครธีรานนท์

MR. THANONG AKKARATHEERANUN

2. รหัสประจำตัวนักวิจัยแห่งชาติ 00120226

3. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ระดับ 8

4. หน่วยงานที่อยู่ ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะศึกษาศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 114 ถ.สุขุมวิท ซอยสุขุมวิท 23

เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

โทร. 0-2664-1000 ต่อ 1353 โทรสาร 0-2664-1000 ต่อ 1305

5. ประวัติการศึกษา

กศ.บ. (เกษตรนิคม) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

กศ.ม. (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

6. สาขาวิชาการที่ชำนาญพิเศษ การสร้างและพัฒนาอุปกรณ์วิทยาศาสตร์

7. ประสบการณ์เกี่ยวกับการวิจัย

7.1 การป้องกันนิวตรอน (ปี 2521)

7.2 การผลิตแอลกอฮอล์จากการหมักกากวัตถุดิบจากพืชไร่ (ปี 2528)

7.3 สัมฤทธิ์ผลของนิสิตชั้นปีที่ 4 คณะศึกษาศาสตร์ องค์กรักษ์

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (ปี 2545)