

การเปรียบเทียบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่แบบ 2 แกนโดยใช้หลักการความโน้มถ่วงที่สุด
กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่

ปริญญานิพนธ์
ของ
รัตนพงศ์ เสาศิลา

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มีนาคม 2553

การเปรียบเทียบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่แบบ 2 แกนโดยใช้หลักการความโน้มถ่วงที่สุด
กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่

ปริญญานิพนธ์
ของ
รัตนพงศ์ เสาศิลา

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

มีนาคม 2553

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การเปรียบเทียบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่แบบ 2 แกนโดยใช้หลักการความโน้มถ่วงที่สุด
กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่

บทคัดย่อ
ของ
รัตนพงศ์ เสาศิลา

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มีนาคม 2553

รัตน์พงศ์ เสาศิลา (2553). การเปรียบเทียบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่แบบ 2 แกนโดยใช้หลักการความโน้มถ่วงที่สุดกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล).กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
คณะกรรมการควบคุม: ดร.ประชา บุญยานิชกุล, พันเอกผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวิวัชร วีระแก้ว.

วิทยานิพนธ์นี้ มุ่งพัฒนาการเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่มีการควบคุมการเคลื่อนที่แบบ 2 แกน ด้วยหลักการความโน้มถ่วงสูงสุด และเปรียบเทียบพลังงานแสงที่ได้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งอยู่กับที่

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบพลศาสตร์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นแบบมีระดับชั้นความเสรีอันดับที่ 2 ถูกใช้เพื่อจำลองการทำงานของชุดควบคุมการเคลื่อนที่แบบ 2 แกน และพบว่าสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างโน้มถ่วง ตามเงื่อนไข ขอบเขต เวลา และตำแหน่งที่กำหนด

ในการทดสอบชุดการเคลื่อนที่กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 6 watt 12 VDC มีการควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยการวัดระดับความเข้มแสงที่ตกกระทบ เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมของเซลล์แสงอาทิตย์ ทุก ๆ ชั่วโมง ระหว่างเวลา 08.00-17.00 น. พบว่าค่าพลังงานที่ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ สามารถผลิตพลังงานได้มากกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่อยู่กับที่ 79.01 % (0.02 kW-h) โดยไม่รวมพลังงานในส่วนที่ใช้สำหรับขับเคลื่อนชุดควบคุมการเคลื่อนที่

คำหลัก: แขนกล, ความโน้มถ่วงที่สุด, แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่, แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่

COMPARISON ACTIVE MOVING SOLAR CELL 2 AXIS BY
MINIMUM JERK WITH FIX SOLAR CELL

AN ABSTRACT
BY
RATANAPONG SAOSILA

Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Master of Engineering Degree in Mechanical Engineering
at Srinakharinwirot University

March 2010

Ratanapong Saosila. (2010). *Comparison Active Moving Solar Cell 2 Axis by Minimum Jerk with Fix Solar Cell*. Master thesis, M.Eng. (Mechanical Engineering).
Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee:
Dr.Pracha bunyawanichakul. Col.Asst.Prof. Dr.Tawiwat Veeraklaew.

This thesis aim to develop two-axis rotating solar cell that use minimum jerk method to control their movement and compare the energy regain to non-rotating solar cell.

Mathematical model of rotating-control system is formulated by non-linear dynamics system of 2nd order degree of freedom. This model is found to satisfy of various conditions (boundary, times and positions) of rotating-control system of solar cell.

Rotating-control system is equipped to the solar cell of 6 watt 12 VDC and test the energy production rate. The most optimum rotating position of solar cell for 1 hour period during 8 a.m. until 5 p.m. is calculated by means of solar light intensity. The energy production rate of two-axis rotating solar cell is found to be 79.01 % (0.02 kW-h) higher than fix solar cell. This production rate not includes the energy used to drive rotating-control system.

Keywords: Robot Arm, Minimum Jerk, Moving Solar cell, Fix Solar Cell

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย
จาก
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงด้วยดี จากความกรุณาของ ดร.ประชา บุญยวนิชกุล ประธานกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ และ พ.อ.ผศ.ดร.ทวิวัชร วีระแก้ว กรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำและให้ความช่วยเหลือ และแก้ไขความบกพร่อง อีกทั้งให้กำลังใจขณะดำเนินการทำปริญญานิพนธ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงตลอดไป

ขอขอบพระคุณ งบประมาณเงินรายได้บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่เป็นทุนสนับสนุนงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.สุรเชษฐ์ ชูติมา และ ผศ.เกียรติชัย รักษาชาติ ให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ตลอดจนเพื่อนร่วมงานทุกท่าน น้องๆ ร่วมรุ่น ในการสนับสนุนช่วยเหลือและให้กำลังใจ เป็นอย่างดีตลอดเวลา

รัตนพงศ์ เสาศิลา

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ขอบเขตของการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
สมการพื้นฐานในการควบคุมระบบพลศาสตร์เชิงเส้นโดยใช้หลักการ ความถี่พหุนามสูงสุด	3
เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell)	4
ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)	7
DH Parameters	10
สมการการหาค่าแรงบิดและค่ากำลังงาน	14
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
3 วิธีการดำเนินการวิจัย	18
การออกแบบโครงสร้าง	18
การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Computer programming)	21
การเขียนโปรแกรมควบคุม	24
การทดสอบการทำงาน	27
4 ผลการวิจัย	28
ผลการทดสอบ	28
ผลการแก้ปัญหาของความถี่พหุนามสูงสุดโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์	30
5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ	35
สรุปผล	35
ข้อเสนอแนะ	35

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
บรรณานุกรม.....	36
ภาคผนวก.....	38
ภาคผนวก ก.....	39
ภาคผนวก ข.....	52
ภาคผนวก ค.....	61
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	74

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 ตัวแปรที่ได้ตาม Model การเคลื่อนที่.....	22
2 แสดงผลพลังงานไฟฟ้าหน่วย กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง (kW-h).....	35
3 ค่าที่วัดได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ วันที่ 25 เดือน มิถุนายน พ.ศ.2552.....	53
4 ค่าที่วัดได้จากมอเตอร์บน วันที่ 25 เดือน มิถุนายน พ.ศ.2552.....	53
5 ค่าที่วัดได้จากมอเตอร์ล่าง วันที่ 25 เดือน มิถุนายน พ.ศ.2552.....	54
6 ค่าที่วัดได้จาก Microcontrollers วันที่ 25 เดือน มิถุนายน พ.ศ.2552.....	54
7 ค่าที่วัดได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ วันที่ 26 เดือน มิถุนายน พ.ศ.2552.....	55
8 ค่าที่วัดได้จากมอเตอร์บน วันที่ 26 เดือน มิถุนายน พ.ศ.2552.....	55
9 ค่าที่วัดได้จากมอเตอร์ล่าง วันที่ 26 เดือน มิถุนายน พ.ศ.2552.....	56
10 ค่าที่วัดได้จาก Microcontrollers วันที่ 26 เดือน มิถุนายน พ.ศ.2552.....	56
11 ค่าที่วัดได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ วันที่ 27 เดือน มิถุนายน พ.ศ.2552.....	57
12 ค่าที่วัดได้จากมอเตอร์บน วันที่ 27 เดือน มิถุนายน พ.ศ.2552.....	57
13 ค่าที่วัดได้จากมอเตอร์ล่าง วันที่ 27 เดือน มิถุนายน พ.ศ.2552.....	58
14 ค่าที่วัดได้จาก Microcontrollers วันที่ 27 เดือน มิถุนายน พ.ศ.2552.....	58
15 ค่าที่วัดได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ วันที่ 25 เดือน มิถุนายน พ.ศ.2552.....	59
16 ค่าที่วัดได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ วันที่ 26 เดือน มิถุนายน พ.ศ.2552.....	59
17 ค่าที่วัดได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ วันที่ 27 เดือน มิถุนายน พ.ศ.2552.....	60

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	5
2 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์.....	6
3 อุปกรณ์ของระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์.....	6
4 อุปกรณ์ของระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์.....	9
5 แสดงรายละเอียดของตำแหน่งตัวแปรต่าง ๆ ของ DH Parameters.....	10
6 แบบจำลองของหุ่นยนต์ 2 แขน.....	12
7 แผนภาพระยะวัดส่วนแขนท่อนบน.....	18
8 แผนภาพระยะวัดส่วนแขนท่อนล่าง.....	19
9 แสดงส่วนประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ แบบ 2 แกน.....	19
10 Microcontroller รุ่น BASIC Stamp 2sx และ ชุดรีเลย์ขยายกำลังไฟฟ้า.....	20
11 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	20
12 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่.....	21
13 แผนภาพการตั้งค่า DH Parameter.....	21
14 แสดงขั้นตอนการทำงานแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	23
15 แสดงการติดตั้ง โปรแกรม BASIC Stamp.....	24
16 แสดงหน้าต่างโปรแกรม BASIC Stamp.....	24
17 แสดงการเชื่อมต่อ PIN 13 และ PIN 14.....	25
18 แสดงการค่าตัวแปร VAR Word.....	25
19 แสดงการเริ่มเขียนโปรแกรม.....	25
20 แสดงการ Run โปรแกรม.....	26
21 แสดงการ Save File นามสกุล .bsx.....	26
22 แสดงการติดตั้งแผงเซลล์เคลื่อนที่แบบ 2 แกนในการทดสอบ.....	27
23 แสดงการติดตั้งแผงเซลล์เคลื่อนที่แบบ 2 แกนและแบบอยู่กับที่ในการทดสอบ..	27
24 แสดงกราฟผลแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้.....	28
25 แสดงกราฟผลกระแสไฟฟ้าที่วัดได้.....	29
26 แสดงกราฟผลกำลังไฟฟ้า.....	29
27 แผนภาพแสดงผลระยะจัดเทียบกับเวลาของมอเตอร์ตัวที่ 1.....	31
28 แผนภาพแสดงผลความเร็วเทียบกับเวลาของมอเตอร์ตัวที่ 1.....	31
29 แผนภาพแสดงผลแรงบิดมอเตอร์ตัวที่ 1.....	32

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
30 แผนภาพแสดงผลระยะจัดเทียบกับเวลาของมอเตอร์ตัวที่ 2.....	32
31 แผนภาพแสดงผลความเร็วเทียบกับเวลาของมอเตอร์ตัวที่ 2.....	33
32 แผนภาพแสดงผลความเร่งเชิงมุมมอเตอร์ตัวที่ 2.....	33

บทที่ 1

บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

นับเป็นเวลาหลายศตวรรษแล้วที่มนุษย์ได้ให้ความสนใจที่จะหาพลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ มาใช้แทนพลังงานน้ำมัน ที่นับวันจะมีราคาที่สูงขึ้นเรื่อยๆ และในอนาคตก็จะหมดไปในที่สุด สิ่งที่ยากที่สุดที่พยายามคิดค้นกัน ก็คือการใช้พลังงานสะอาดที่จะไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ หรือมลพิษต่อส่วนรวม และมีปริมาณหรือระยะเวลาที่ใช้ได้นานที่สุด

ดังนั้นพลังงานธรรมชาติ เช่นพลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์ จึงถูกนำมาใช้มากที่สุด พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งมาจากดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานขนาดใหญ่ ให้พลังงานแก่โลกมานานหลายพันล้านปีแล้ว และยังคงจะให้พลังงานอย่างนี้อีกต่อไปอีกหลายพันล้านปีเช่นกัน ซึ่งเราสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และนับว่าเป็นพลังงานสะอาด ที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แม้จะไม่มากพอที่จะใช้ทดแทนพลังงานที่ได้จากน้ำมันทั้งหมดก็ตาม แต่เมื่อนำมาใช้พร้อมกับพลังงานอื่นๆ และถ้าได้มีการพัฒนา นำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุด ก็สามารถลดการขาดแคลนได้ในอนาคต เซลล์แสงอาทิตย์ เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานอิเล็กทรอนิกส์เป็นพลังงานไฟฟ้า ไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อต่อพลังงานแสงอาทิตย์นั้นกับโหลดที่เหมาะสม

จากที่กล่าวมาการประยุกต์ใช้กลไก ของการเคลื่อนที่รับแสงอาทิตย์ตามองศาของดวงอาทิตย์ แบบสองแกน คือ แกน E-W (East - West) และ N-S (North - South) จะสามารถรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้มากกว่า เช่น งานวิจัยของ วัชร จิตต์เชื้อ และคณะ ที่ทดลองโดยใช้การคำนวณการเคลื่อนที่ตามระยะเวลามาตรฐานของการโคจร ของดวงอาทิตย์ ทุก 36 นาที ซึ่งผลการเปรียบเทียบค่าพลังงานมีค่าพลังงานเพิ่มขึ้นถึง 67% เมื่อเทียบกับแบบอยู่กับที่ ส่วนงานที่ทำการทดสอบอีกแบบคือ การทดสอบแบบเคลื่อนที่สองแกน โดยใช้หลักการแบบการถ่วงน้ำหนักของน้ำ ของกองพัฒนาพลังงานทดแทน ฝ่ายพัฒนาและแผนงานโรงไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ได้พลังงานสุทธิเพิ่มขึ้นถึง 20 %

โดยผู้วิจัยจะนำเรื่องของราคาค่าที่เหมาะสมสูงสุดของระบบพลศาสตร์มาใช้ในการศึกษาหาวิธีใช้พลังงานน้อยที่สุด (Minimum energy) หรือความต้องการประหยัดพลังงานนั่นเอง รูปแบบดังกล่าวนี้สามารถนำมาเขียนในรูปแบบ ของสมการทางคณิตศาสตร์ประกอบกับพลศาสตร์ที่โดยทั่วไปนั้น สามารถเขียนอยู่ในรูปของ สมการทางคณิตศาสตร์ ตามกฎข้อที่สองของนิวตันพร้อมทั้งเงื่อนไขข้อบังคับต่างๆ ที่พิจารณาร่วมกัน ในระบบเหล่านั้นด้วย ซึ่งการหาคำตอบสำหรับปัญหาการหาค่าความเหมาะสมสูงสุดของระบบควบคุม (Optimal control system) จำเป็นต้องใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข(Numerical method) ในการคำนวณ เพื่อให้ได้ คำถามที่ต้องการคำตอบหรือผลลัพธ์ที่ได้นั้น เพื่อต้องการหาค่าความเหมาะสมสูงสุดสำหรับการใช้งาน ซึ่งงานบางประเภทอาจต้องการผล

มากกว่าหนึ่งอย่าง เช่นการเคลื่อนที่ของแขนกลจับชิ้นงาน ที่เคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่ง ผลลัพธ์ที่ต้องการ คือการจับชิ้นงานและการเคลื่อนที่อย่างนี้มนวลที่สุดในขณะที่ใช้พลังงานน้อยที่สุด เช่นเดียวกับความต้องการผลลัพธ์ดังกล่าว จึงเป็นที่มาของการออกแบบการทดลองผลลัพธ์ที่ได้

จากการรวมความนิ่มนวลที่สุดและพลังงานน้อยที่สุด ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่แบบ 2 แกน ซึ่งจะเป็นการนำไปประยุกต์ใช้ และปรับปรุงการควบคุมการเคลื่อนที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ให้เกิดความเหมาะสมสูงสุดสำหรับการรับแสงของแผงเซลล์อาทิตย์

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนาชุดขับเคลื่อนและควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ 2 แนวแกนโดยใช้หลักการความนิ่มนวลสูงสุด

2.2 เพื่อเปรียบเทียบพลังงาน ที่ได้จากชุดขับเคลื่อนและควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ 2 แกน กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่

2.3 เพื่อเปรียบเทียบพลังงาน ที่ได้จากชุดขับเคลื่อนและควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ 2 แกน ที่ใช้จริงกับ แบบใช้หลักการความนิ่มนวลที่สุด (Minimum Jerk)

3. ขอบเขตของงานวิจัย

3.1 สร้างชุดควบคุมการเคลื่อนที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 6 Watt 12VDC โดยใช้การเคลื่อนที่แบบ 2 แนวแกน

3.2 ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB เพื่อวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสมที่สุด ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้หลักการความนิ่มนวลสูงสุด

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

4.1 ได้ชุดควบคุมการเคลื่อนที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 6 Watt 12 VDC

4.2 ได้จุดเหมาะสมสูงสุดสำหรับการควบคุมการเคลื่อนที่โดยใช้หลักการความนิ่มนวลสูงสุด

4.3 เป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. สมการพื้นฐานในการควบคุมระบบพลศาสตร์เชิงเส้นโดยใช้หลักการ ความหิมนวลสูงสุด

การกำหนดปัญหา (Problem Statement) ในระบบพลศาสตร์ที่เป็นสมการเชิงเส้น (Linear) และไม่เป็นสมการเชิงเส้น (Nonlinear) นั้นสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการอนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง (First Order Derivative Function) ได้ดังนี้

$$\dot{x}_i = f_i(x_1, \dots, x_n, u_1, \dots, u_m, t); \quad i = 1, \dots, n \quad (2.1)$$

โดยที่ $x \in R^n$, $u \in R^m$ เป็นตัวแปรที่เรียกว่า States, Control Input และ เวลา ตามลำดับ รูปแบบของปัญหาในที่นี้ก็คือการหาค่าของ Control Input $u(t)$ และ ตัวแปร State $x(t)$ ที่ทำให้วัตถุประสงค์ ที่ต้องการพลังงานน้อยที่สุด หรือความหิมนวลสูงสุดเป็นจริง ในการศึกษาวิจัยนี้ใช้กรณีที่มีเวลาและตำแหน่งที่แน่นอน (Fixed End Time and Fixed End Points) อย่างไรก็ตาม ทั้ง States และ Control Input จะต้องมีความต่อเนื่องที่จำเป็น ในการแก้ปัญหา โดยกำหนดเวลาเริ่มต้น $x(t_0) = x_0$, t_0 คือเวลาเริ่มต้น และเวลาสุดท้าย $x(t_f) = x_f$, t_f คือเวลา ณ จุดสุดท้ายที่พิจารณา

ฟังก์ชันของค่าความเหมาะสมสูงสุดของปัญหาคือการใช้พลังงานน้อยที่สุด เขียนอยู่ในรูปสมการดังนี้

$$J = \int_{t_0}^{t_f} \sum_{i=1}^m u_i^2 dt \quad (2.2)$$

ในรูปแบบที่คล้ายกันกับปัญหา การใช้พลังงานน้อยที่สุดกับปัญหาของความหิมนวลสูงสุด ได้มีข้อแตกต่างกัน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของแรงที่เทียบกับเวลา คือ อนุพันธ์อันดับที่สามที่เทียบกับเวลา หรือ ตัวแปรที่เป็นอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของ Control Input (u) ดังนั้น Jerk สามารถเขียนในรูปสมการของตัวแปรใหม่ได้ดังนี้

$$Jerk = \ddot{x} \propto \dot{u} \quad (2.3)$$

กำหนดให้

$$\dot{u} = \tilde{u} \quad (2.4)$$

จากสมการที่ 2.1 สามารถเขียนใหม่ได้ว่า

$$\dot{x}_i = f_i(x_1, \dots, x_{n+m}, \tilde{u}_1, \dots, \tilde{u}_m, t); i = 1, \dots, n + m \quad (2.5)$$

ในที่นี้ $\tilde{u}$ คือค่าตัวแปร Control Input ของระบบพลศาสตร์ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวแปรปัญหา การใช้พลังงานน้อยที่สุด สามารถเขียนฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหา ความน้มนวลที่สุด โดยวิธีทางอ้อม (Minimum Indirect Jerk Problem) ได้ดังนี้

$$J = \int_{t_0}^{t_f} \sum_{i=1}^m \tilde{u}_i^2 dt \quad (2.6)$$

ในลักษณะคล้ายกัน เมื่อเปรียบเทียบกับตัวแปรปัญหา การใช้พลังงานน้อยที่สุด สามารถเขียนฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหา ความน้มนวลที่สุดโดยวิธีทางตรง (Minimum Direct Jerk Problem) ได้ดังนี้

$$J = \int_{t_0}^{t_f} \sum_{i=1}^n \ddot{x}_i^2 dt \quad (2.7)$$

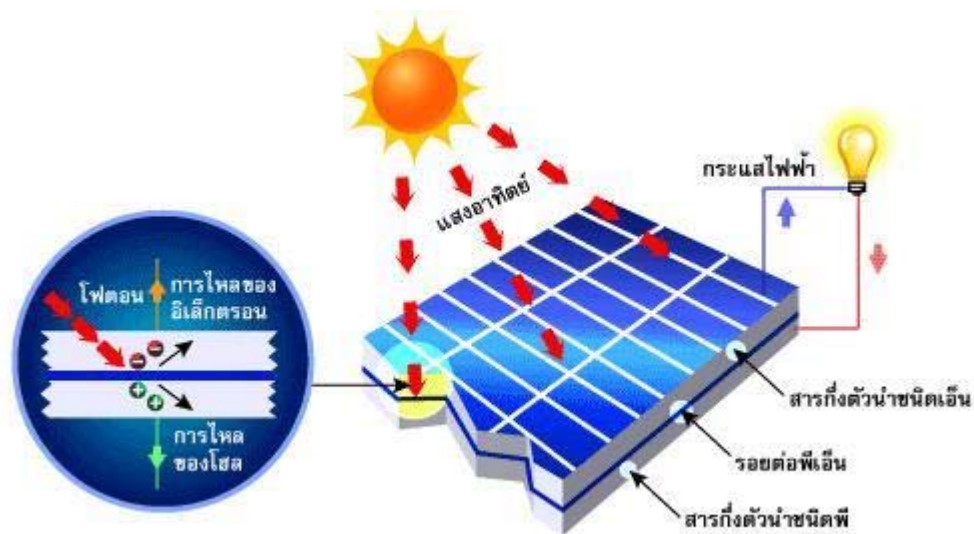
J เป็น Cost Function ของความกระด้าง (Jerks)

2. เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) เมื่อได้รับแสงจากดวงอาทิตย์หรือแสงจากหลอดไฟ เซลล์แสงอาทิตย์จะเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current : DC) ถือว่าพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากเซลล์แสงอาทิตย์นี้ เป็นพลังงานทดแทนชนิดหนึ่ง (Renewable Energy) ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาดและไม่สร้างมลภาวะใด ๆ ให้กับสิ่งแวดล้อมในขณะใช้งาน

2.1 กระบวนการกำเนิดไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

เริ่มจากแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบ (เรียกว่า อิเล็กตรอน) และประจุบวก (เรียกว่า โฮล) ซึ่งอยู่ภายในโครงสร้างรอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำ โดยโครงสร้างรอยต่อพีเอ็นนี้จะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์ เพื่อแยกพาหะไฟฟ้าชนิดอิเล็กตรอนให้ไหลไปที่ขั้วลบ และทำให้พาหะนำไฟฟ้าชนิดโฮลไหลไปที่ขั้วบวก ซึ่งทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงขึ้นที่ขั้วทั้งสอง เมื่อเราต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้า (เช่น หลอดไฟ มอเตอร์ เป็นต้น) ก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลออกจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นชนิดกระแสตรง ดังนั้น ถ้าต้องการจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ ต้องต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแปลงไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC)



ภาพประกอบ 1 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา: บริษัทไอนิคส์จำกัด. (2552). ความรู้เกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์. (Online).

2.2 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

1. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single Crystalline Silicon Solar Cell หรือ c-Si) ซิลิคอนเป็นวัสดุสารกึ่งตัวนำที่มีราคาสูงที่สุด เนื่องจากซิลิคอนเป็นธาตุที่มีมากที่สุดในโลกชนิดหนึ่ง สามารถถลุงได้จากหินและทราย เรานิยมใช้ธาตุซิลิคอนในงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ใช้ทำทรานซิสเตอร์และไอซี และเซลล์แสงอาทิตย์ เทคโนโลยี c-Si ได้รับความนิยมและใช้งานกันอย่างแพร่หลาย นิยมใช้งานในพื้นที่เฉพาะได้แก่ ในชนบทที่ไม่มีไฟฟ้าใช้เป็นหลัก

2. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิคอน (Polycrystalline Silicon Solar Cell หรือ pc-Si) จากความพยายามในการที่จะลดต้นทุนการผลิตของ c-Si จึงทำให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยี pc-Si ขึ้นเป็นผลให้ต้นทุนการผลิตของ pc-Si ต่ำกว่า c-Si ร้อยละ 10 อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยี pc-Si ก็ได้รับความนิยมและใช้งานกันอย่างแพร่หลายเช่นกัน

3. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell หรือ a-Si) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ธาตุซิลิคอนเช่นกัน แต่จะไม่ใช่ผลึก แต่ผลของสารอะมอร์ฟัสจะทำให้เกิดเป็นฟิล์มบางของซิลิคอน ซึ่งมีความบางประมาณ 300 นาโนเมตร ทำให้ไม่สิ้นเปลืองเนื้อวัสดุ น้ำหนักเบา การผลิตทำได้ง่าย และข้อดีของ a-Si คือไม่เกิดมลพิษกับสิ่งแวดล้อม จึงเหมาะที่จะประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อย เช่น เครื่องคิดเลข นาฬิกาข้อมือ วิทยุ ทรานซิสเตอร์ เป็นต้น



ภาพประกอบ 2 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา: บริษัทลีโอนิคส์จำกัด. (2552). *ความรู้เกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์*. (Online).

2.3 ส่วนประกอบและอุปกรณ์สำคัญในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้ากระแสตรง จึงนำกระแสไฟฟ้าไปใช้ได้เฉพาะกับอุปกรณ์ไฟฟ้า กระแสตรงเท่านั้น หากต้องการนำไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ ไฟฟ้ากระแสสลับหรือเก็บสะสมพลังงานไว้ใช้ต่อไป จะต้องใช้ร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ อีก โดยรวมเข้าเป็นระบบที่ผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ มีดังนี้



ภาพประกอบ 3 อุปกรณ์ของระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา: บริษัทลีโอนิคส์จำกัด. (2552). *ความรู้เกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์*. (Online).

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Module) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและมีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt) มีการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆ เซลล์มาต่อกันเป็นแถวหรือเป็นชุด (Solar Array) เพื่อให้ได้พลังงานไฟฟ้าใช้งานตามที่ต้องการ โดยการต่อกันแบบอนุกรม จะเพิ่มแรงดันไฟฟ้า และการต่อกันแบบขนาน จะเพิ่มพลังงานไฟฟ้า หากสถานที่ตั้งทางภูมิศาสตร์แตกต่างกัน ก็จะมีผลทำให้ปริมาณของค่าเฉลี่ยพลังงานสูงสุดในหนึ่งวันไม่เท่ากันด้วย รวมถึงอุณหภูมิก็มีผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า หากอุณหภูมิสูงขึ้น การผลิตพลังงานไฟฟ้าจะลดลง

2. เครื่องควบคุมการประจุ (Charge Controller) ทำหน้าที่ประจุกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสู่แบตเตอรี่ และควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าให้มีปริมาณเหมาะสมกับแบตเตอรี่ เพื่อยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ รวมถึงการจ่ายกระแสไฟฟ้าออกจากแบตเตอรี่ด้วย ดังนั้น การทำงานของเครื่องควบคุมการประจุ คือ เมื่อประจุกระแสไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่จนเต็มแล้ว จะหยุดหรือลดการประจุกระแสไฟฟ้า (มักจะมีคุณสมบัติในการตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า กรณีแรงดันของแบตเตอรี่ลดลงด้วย) ระบบพลังงานแสงอาทิตย์จะใช้เครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าในกรณีที่มีการเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ในแบตเตอรี่เท่านั้น

3. แบตเตอรี่ (Battery) ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ใช้เวลาที่ต้องการ เช่น เวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์ เวลากลางวัน หรือนำไปประยุกต์ใช้งานอื่นๆ แบตเตอรี่มีหลายชนิดและหลายขนาดให้เลือกใช้งานตามความเหมาะสม

4. เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) ทำหน้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้าจากกระแสตรง (DC) ที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เพื่อให้สามารถใช้ได้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับ แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ Sine Wave Inverter ใช้ได้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับทุกชนิด และ Modified Sine Wave Inverter ใช้ได้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับที่ไม่มีส่วนประกอบของมอเตอร์และหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่เป็น Electronic ballast

5. ระบบป้องกันฟ้าผ่า (Lightning Protection) ทำหน้าที่ป้องกันความเสียหายที่เกิดกับอุปกรณ์ไฟฟ้าเมื่อฟ้าผ่า หรือเกิดการเหนี่ยวนำทำให้เกิดความต่างศักย์สูง ในระบบทั่วไปมักไม่ใช้อุปกรณ์นี้ แต่จะใช้เฉพาะสำหรับระบบขนาดใหญ่และมีความสำคัญเท่านั้น รวมถึงต้องมีระบบสายดินที่มีประสิทธิภาพด้วย

3. ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) มาจากคำ 2 คำ คือคำว่า ไมโคร (Micro) หมายถึงขนาดเล็ก และคำว่า คอนโทรลเลอร์ (controller) หมายถึงตัวควบคุมหรืออุปกรณ์ควบคุม ดังนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ จึงหมายถึงอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก แต่ในตัวอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กนี้ ได้บรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ ที่คนโดยส่วนใหญ่คุ้นเคย กล่าวคือ ภายใน ไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้รวมเอาซีพียู หน่วยความจำ และพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในตัวถังเดียวกัน

นักออกแบบ พัฒนาผลิตภัณฑ์ ตลอดจนนักประดิษฐ์ทั้งหลายต่างหลีกเลี่ยงไม่ได้เลยที่จะต้องอาศัยวงจรอิเล็กทรอนิกส์เข้าไป มีส่วนเกี่ยวข้องในการควบคุม แต่ครั้งวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่นำมาต่ออนุกรมเพื่อความสามารถที่เราต้องการนั้นก็ใหญ่โตเสียเหลือเกิน ดูเหมือนจะขัดแย้งกับความต้องการของผู้บริโภค และหลักการออกแบบผลิตภัณฑ์

ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จึงเข้ามาเกี่ยวข้อง เพื่อรองรับกับความต้องการ นำไปควบคุมระบบที่ความสามารถที่เราต้องการโดยให้มีขนาดเล็กที่สุด แต่มีใช้เพียงแต่ขนาดเล็กเท่านั้น มันยังสามารถป้อนชุดคำสั่งให้สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติ ด้วยรูปแบบการเขียนโปรแกรมภาษาต่างๆ ตามความถนัด

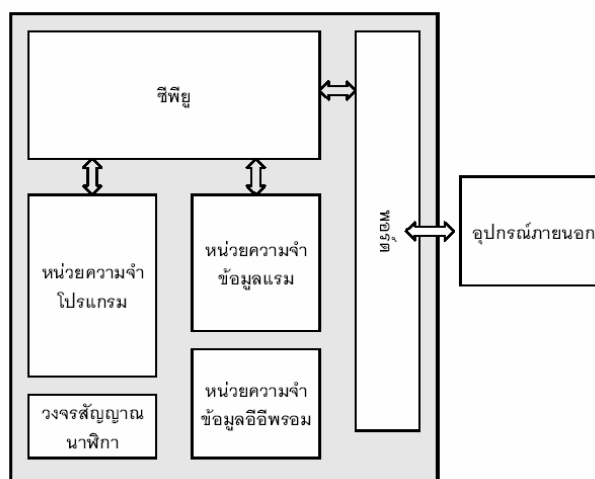
โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น สามารถแบ่งออกมาได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

1. หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU: Central Processing Unit)
2. หน่วยความจำ (Memory) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) เปรียบเสมือนฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ คือข้อมูลใดๆ ที่ถูกเก็บไว้ในนี้จะไม่สูญหายไปแม้ไม่มีไฟเลี้ยง อีกส่วนหนึ่ง คือหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) ใช้เป็นเหมือนกระดาษทด ในการคำนวณของซีพียู และเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงาน แต่หากไม่มีไฟเลี้ยง ข้อมูลก็จะหายไปคล้ายกับหน่วยความจำสำรอง (RAM) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วๆ ไป แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ หน่วยความจำข้อมูลจะมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำสำรอง ซึ่งข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยง และเป็นอีอีพรอม (EEPROM : Erasable Electrically Read-Only Memory) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง
3. ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (Port) มี 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) ส่วนนี้จะใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมาก ใช้ร่วมกันระหว่างพอร์ตอินพุต เพื่อรับสัญญาณ อาจจะด้วยการกดสวิตช์ เพื่อนำไปประมวลผลและส่งไปพอร์ตเอาต์พุต เพื่อแสดงผลเช่น การติดสว่างของหลอดไฟ เป็นต้น
4. ช่องทางเดินของสัญญาณ หรือบัส (BUS) คือเส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่าง ซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต เป็นลักษณะของสายสัญญาณ จำนวนมากอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแบ่งเป็นบัสข้อมูล (Data Bus) บัสแอดเดรส (Address Bus) และบัสควบคุม (Control Bus)
 - 4.1 บัสข้อมูล เป็นสายสัญญาณที่บรรจุข้อมูลเพื่อการประมวลผลทั้งหมด ขนาดของบัสข้อมูล จะขึ้นอยู่กับความสามารถประมวลผลของซีพียู สำหรับในงานทั่วๆ ไป ขนาดของบัสข้อมูลจะเป็น 8 บิต และในปัจจุบันได้มีการพัฒนาขึ้นมาจนถึง 16, 32 และ 64 บิต

4.2 บัสแอดเดรส เป็นสายสัญญาณที่บรรจุค่าตำแหน่งของหน่วยความจำ โดยการติดต่อกับหน่วยความจำนั้น ซีพียู จะกำหนดตำแหน่งที่ต้องการอ่านหรือเขียนก่อน ดังนั้นจำนวนสายสัญญาณของแอดเดรสจึงต้องมีจำนวนมาก เพราะยิ่งมากเท่าไร ก็จะเป็นการแสดง ขนาดของหน่วยความจำที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถติดต่อได้ โดยสามารถคำนวณได้จาก จำนวนแอดเดรสของหน่วยความจำ = 2 ยกกำลัง n (n คือจำนวนของเส้นทาง) ยกตัวอย่างเช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวหนึ่งมีสายแอดเดรส 10 เส้น ดังนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนี้ สามารถติดต่อกับหน่วยความจำได้ 2 ยกกำลัง 10 = 1,024 ตำแหน่ง หากต้องการทราบความจุของหน่วยความจำจริงๆ จะต้องทราบถึงขนาดของบัสข้อมูลก่อนว่าเป็นเท่าใด หากเป็น 8 บิต ความจุของหน่วยความจำที่มีสายแอดเดรส 10 เส้น จะเท่ากับ $8 \times 1024 = 8,192$ บิต และ 1 กิโลไบต์ เท่ากับ 1,024 ไบต์ ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ดังกล่าว จึงมีความจุของหน่วยความจำเท่ากับ 8,192 บิต หรือ 1,024 ไบต์ หรือ 1 กิโลไบต์

4.3 บัสควบคุม เป็นกลุ่มของสายสัญญาณควบคุมการติดต่อทั้งหมดของซีพียูกับหน่วยความจำและพอร์ต สำหรับสายสัญญาณเลือกควบคุมหลัก ได้แก่ สายสัญญาณเลือก-อ่าน-เขียนหน่วยความจำ สายสัญญาณเลือก อ่าน-เขียน ข้อมูล กับพอร์ต

5. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะขึ้นอยู่กับกำหนัดจังหวะ หากสัญญาณนาฬิกา มีความถี่สูง จังหวะการทำงานก็จะสามารถทำได้ดีขึ้น ส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น มีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย



ภาพประกอบ 4 โครงสร้างไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ที่มา: วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล; และ ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. (2521). *เปิดโลกไมโครคอนโทรลเลอร์กับเบสิกแอสเอ็ม 25X*. หน้า 20.

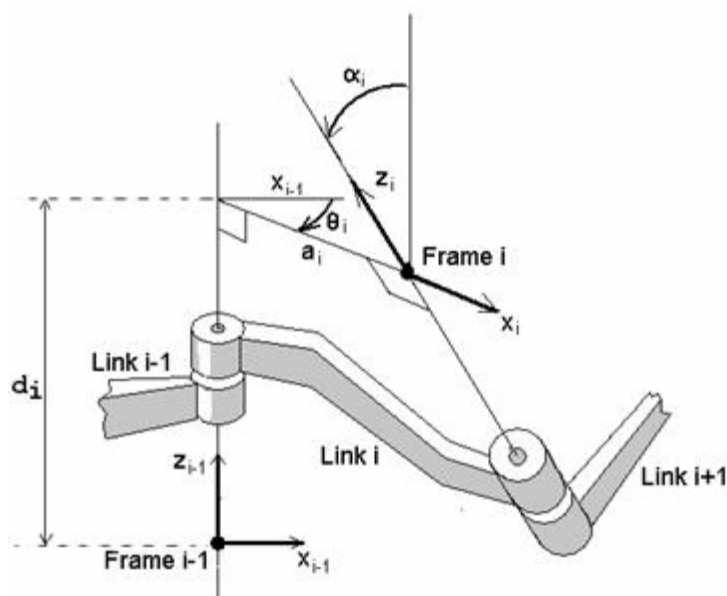
4. DH Parameters

DH Parameters ย่อมาจากคำว่า Denavit - Hartenberg Parameters เป็นการสร้างตัวแปรเพื่อนำมาใช้ในการหาสมการการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ซึ่งมีตัวแปรทั้งหมด 4 ตัวได้แก่

1. Link Length (a_i) คือ ระยะทางของ x_i ที่ตั้งฉากระหว่างแกน z_i ถึงแกน z_{i+1}
2. Link Twist (α_i) คือ มุมระหว่าง z_{i-1} และ z_i ที่มองจากหัวลูกศร x_{i-1} เข้าไป
3. Link Offset (d_i) คือ ระยะทางระหว่างแกน a_{i-1} ที่ตัดบนแกน z_i กับแกน a_i ที่ตัดบน

แกน z_i

4. Joint Angle (θ_i) คือ มุมระหว่างแกน x_{i-1} กับแกน x_i โดยพิจารณาบนแกน z_i
- จากคำอธิบายตัวแปรทั้ง 4 ตัวนั้น สามารถแสดงได้ดังภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 แสดงรายละเอียดของตำแหน่งตัวแปรต่างๆ ของ DH Parameters

ที่มา: Rachid Manseur. (2001, August). *Robotics and Image. Analysis Electrical and Computer Engineering University of West Florida*. (Online).

การหาเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

หลังจากที่ได้ค่า DH Parameters แล้ว ต่อไป ก็จะทำการศึกษาหาทรานส์ฟอร์มเมชันเมตริกซ์ (Transformation Matrix) ซึ่งเป็นเมตริกซ์ขนาด 4×4 ซึ่งภายในเมตริกซ์นี้ประกอบไปด้วยเมตริกซ์การหมุน และเวกเตอร์การเคลื่อนที่ โดยระบุค่าต่างๆ ของ DH Parameters ลงในสมการที่ 2.8

$$T_{i-1}^i = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i\cos\alpha_i & \sin\theta_i\sin\alpha_i & a_i\cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i\cos\alpha_i & -\cos\theta_i\sin\alpha_i & a_i\sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

โดย T คือ ทรานฟอร์มเมชันเมตริกซ์ (Transformation Matrix)

i คือ จำนวนแขน (Link)

a_i คือ Link Length

θ_i คือ Joint Angle

d_i คือ Link Offset

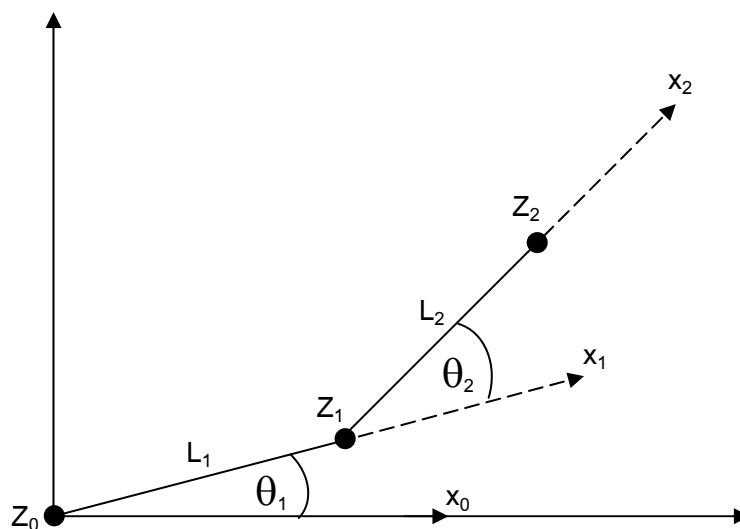
α_i คือ Link Twist

จากสมการที่ 2.8 จะได้เมตริกซ์การหมุน และเวกเตอร์การเคลื่อนที่ดังสมการที่ 2.9 และ 2.10 ตามลำดับ

$$\text{เมตริกซ์การหมุน} = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i\cos\alpha_i & \sin\theta_i\sin\alpha_i \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i\cos\alpha_i & -\cos\theta_i\sin\alpha_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

$$\text{เวกเตอร์การเคลื่อนที่} = \begin{bmatrix} a_i\cos\theta_i \\ a_i\sin\theta_i \\ d_i \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

หากหุ่นยนต์นั้นมีจำนวนแขน i แขน (Link) จะต้องนำค่าทรานฟอร์มเมชันเมตริกซ์ (T) มาคูณกันทางเมตริกซ์ เช่น หุ่นยนต์มีแขน 2 แขน ดังภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 แบบจำลองของหุ่นยนต์ 2 แขน

ที่มา: Rachid Manseur. (2001, August). *Robotics and Image. Analysis Electrical and Computer Engineering University of West Florida*. (Online).

จากภาพประกอบ 8 สามารถหาค่า DH Parameters โดยพิจารณาทีละแขน ได้ดังนี้

แขน	L_1	มี DH Parameters 4 ตัว ดังนี้
	a_i	มีค่า L_1
	θ_i	มีค่า $\theta_1(t)$
	d_i	มีค่า 0
	α_i	มีค่า 0
แขน	L_2	มี DH Parameters 4 ตัว ดังนี้
	a_i	มีค่า L_2
	θ_i	มีค่า $\theta_2(t)$
	d_i	มีค่า 0
	α_i	มีค่า 0

หลังจากหาค่า DH Parameters เสร็จแล้ว ต่อไปเป็นการหาค่าทรานฟอร์มเมชันเมตริกซ์ (Transformation Matrix) ได้ดังนี้

$$T_0^1 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & -\sin\theta_1 & 0 & L_1\cos\theta_1 \\ \sin\theta_1 & \cos\theta_1 & 0 & L_1\sin\theta_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

$$T_1^2 = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 & L_2\cos\theta_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & L_2\sin\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

$$T_0^2 = T_0^1 \cdot T_1^2 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1 + \theta_2) & -\sin(\theta_1 + \theta_2) & 0 & L_1\cos\theta_1 + L_2\cos(\theta_1 + \theta_2) \\ \sin(\theta_1 + \theta_2) & \cos(\theta_1 + \theta_2) & 0 & L_1\sin\theta_1 + L_2\sin(\theta_1 + \theta_2) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

จากสมการที่ 2.13 จะได้เวกเตอร์การเคลื่อนที่ (Translation vector) ของหุ่นยนต์ตามแนวพิกัด xyz ได้ดังนี้

1. แกน x มีเวกเตอร์การเคลื่อนที่ คือ $L_1\cos\theta_1 + L_2\cos(\theta_1 + \theta_2)$
2. แกน y มีเวกเตอร์การเคลื่อนที่ คือ $L_1\sin\theta_1 + L_2\sin(\theta_1 + \theta_2)$
3. แกน z มีเวกเตอร์การเคลื่อนที่ คือ 0 (ไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวแกน z)

เท่านี้ก็จะได้เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของแกนต่างๆ ของหุ่นยนต์ ในหัวข้อต่อไปจะกล่าวถึงทฤษฎีเกี่ยวกับแรงเสียดทาน เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ถึงการสั่นไหวของวัตถุ และการทำให้วัตถุไม่เกิดการสั่นไหว

5. สมการการหาค่าแรงบิดและค่ากำลังงาน

การคำนวณแรงบิด กำลังและประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

แรงบิด(Torque) = แรง x ระยะทาง

$$T = F \times R \quad (\text{N.M.})$$

$$\text{งานที่ได้จากแรงใน 1 รอบการหมุน} = F \times 2\pi r \quad (\text{Jule})$$

$$\text{กำลังที่เกิดขึ้น} \quad P = F \times 2\pi r \times N/60 \quad (\text{Jule/s})$$

$$P = (F \times r)(2\pi N/60) \quad (\text{Jule/s}) \quad (2.14)$$

$$\text{เมื่อความเร็วเชิงมุม} \quad \omega = 2\pi N/60 \quad (\text{Rad/s}) \quad (2.15)$$

$$\text{ดังนั้นกำลังที่เกิดขึ้น} \quad P = T \times \omega \quad (\text{Jule/s, W}) \quad (2.16)$$

$$\text{กำลังไฟฟ้า} \quad P = V \times I \quad (\text{W}) \quad (2.17)$$

$$\text{ประสิทธิภาพ} \quad \eta = (P_o/P_i) \times 100 \quad (2.18)$$

เมื่อ	F	คือ	แรง (N)
	R	คือ	ระยะทางจากจุดหมุนถึงแรง (M)
	N	คือ	ความเร็วรอบ (RPM)
	V	คือ	แรงดันไฟฟ้า (Volt)
	I	คือ	กระแสไฟฟ้า (Amp)
	P _o	คือ	กำลังด้านเอาต์พุต (Watt)
	P _i	คือ	กำลังด้านอินพุต (Watt)

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการสืบค้นข้อมูลและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับการดำเนินการวิจัย

ทรงกิต همهะ (2551) การเปรียบเทียบวิธีการหาค่าความโน้มถ่วงที่สุดโดยวิธีทางตรงและวิธีทางอ้อมของระบบพลศาสตร์ที่เป็นเชิงเส้น. ในงานวิจัยนี้ทั้งการใช้พลังงาน ที่น้อยที่สุด และความโน้มถ่วงที่สุดกับการกำหนดฟังก์ชันของความกระด้าง ซึ่งความโน้มถ่วงเป็นสิ่งที่ต้องการในหลายระบบพลศาสตร์ด้วยกัน อาทิเช่น ความโน้มถ่วงของการขับเคลื่อน ความโน้มถ่วงในการทำงานของหุ่นยนต์ที่เกี่ยวข้องกับวัสดุที่เปราะบาง เสียรูปทรงได้ง่าย แต่อย่างไรก็ตามได้มีนักวิจัยส่วนมากสนใจศึกษาเกี่ยวกับการใช้พลังงานน้อยที่สุด และนักวิจัยอีกหลายท่านได้ให้ความสนใจในเรื่องของ

ความนุ่มนวลของระบบหรือทั้งความนุ่มนวลและประหยัดพลังงาน ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยสนใจที่จะนำเสนอความสัมพันธ์ที่ง่าย ไม่ซับซ้อน และใกล้เคียงกันระหว่างการหาค่าความนุ่มนวลที่สุดทางตรง และการหาค่าความนุ่มนวลที่สุดทางอ้อม โดยกำหนดให้ระบบและตัวแปรขึ้นอยู่กับเวลา เพื่อเป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดในการแก้ปัญหา การหาค่าความเหมาะสมสูงสุดสำหรับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของความนุ่มนวลที่สุดทางตรงและความนุ่มนวลที่สุดทางอ้อมเป็นวิธีการหาค่าความเหมาะสมสูงสุดของระบบพลศาสตร์ร่วมกับการหาผลลัพธ์จากระเบียบวิธีทางตัวเลข ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้สมการการเคลื่อนที่ของวัตถุมวล 2 ก้อน คือ สปริง และตัวหน่วง เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อเปรียบเทียบวิธีการแก้ปัญหาความนุ่มนวลที่สุดโดยวิธีทางตรงและวิธีทางอ้อมว่าคำตอบที่ได้จากการคำนวณจะมีค่าผลเฉลยความนุ่มนวลที่สุดใกล้เคียงกันหรือไม่ จากการวิจัยพอสรุปได้ว่า ปัญหาความนุ่มนวลที่สุดโดยวิธีทางอ้อมให้ผลลัพธ์จากระเบียบวิธีทางตัวเลขได้อย่างเหมาะสม ง่ายกว่า เร็วกว่า และผลลัพธ์ที่ได้เหมือนกันกับปัญหาความนุ่มนวลที่สุดโดยวิธีทางตรง

จำนงค์ ผายสระน้อย (2551) ศึกษาวิธีการวิเคราะห์หาค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการรวมวิธีการความนุ่มนวลที่สุด (Minimum Jerk) และการใช้พลังงานน้อยที่สุด (Minimum Energy) ของระบบพลศาสตร์เชิงเส้น โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ ค่าความเหมาะสมที่สุดหาค่าตอบ คือได้ทั้งความนุ่มนวลสูงสุด และใช้พลังงานน้อยที่สุด ผลลัพธ์ที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับ กรณีการหาค่าความเหมาะสมสูงสุดด้วย วิธีความนุ่มนวลที่สุดและวิธีใช้พลังงานน้อยที่สุด เพียงอย่างเดียวการศึกษาอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยกำหนดให้ระบบการเคลื่อนที่มี 2 องศาอิสระ (Two Degree of Freedom) เป็นระบบสปริง มวล และตัวหน่วง (Spring-Mass and Damper) ในรูปแบบของ Fully Actuator) ของระบบพลศาสตร์ที่เป็นเชิงเส้น (Linear of Dynamic Systems) ทำให้ได้สมการการเคลื่อนที่ ในรูปแบบการหาค่าความเหมาะสมสูงสุดด้วยวิธีการแก้ปัญหาจากการรวมวิธีการหาค่าความนุ่มนวลสูงสุดกับวิธีการใช้พลังงานน้อยที่สุดเข้าด้วยกัน จากนั้นใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ MATLAB มาเป็นเครื่องมือช่วยวิเคราะห์และแสดงผลในลักษณะรูปแบบของกราฟ ผลที่ได้จากการศึกษาและวิจัยตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ ทำให้ได้ค่าความเหมาะสมสูงสุด คือได้ทั้งความนุ่มนวลที่สุดและใช้พลังงานน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับการหาค่าความเหมาะสมสูงสุดจากการใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เดียว ซึ่งจะเป็นแนวทางสำหรับการประยุกต์ใช้กับงานจริงต่อไป

วัชร จิตต์ซื่อ, พิสิฐ วัฒนสินไพศาล และ วิทวัส หยกรัตนศักดิ์ (2551) ชดเชยเคลื่อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบ 2 แกน โดยทำการออกแบบชุดขับเคลื่อนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบควบคุมด้วยการคำนวณองศาตามระยะเวลามาตรฐานของการโคจร ของดวงอาทิตย์เป็นสูตรคำนวณ โดยสั่งการให้มีการเปลี่ยนองศาแผงเซลล์ไปเป็นระยะทุกๆ 36 วินาที ที่ได้จากการคำนวณ แล้วทำการเปรียบเทียบ กับแบบเคลื่อนที่แกนเดียว และแบบติดอยู่กับที่

กองพัฒนาพลังงานทดแทน ฝ่ายพัฒนาและแผนงานโรงไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2550) เป็นระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบถ่วงน้ำหนัก ถูกออกแบบให้ทำงานตามดวงอาทิตย์แบบแกนเดียว (E-W) โดยจะขับอุปกรณ์รับแสงอาทิตย์ให้เคลื่อนที่โดยใช้หลักการถ่วงน้ำหนัก โดยใช้ปริมาณน้ำเป็นตัวถ่วงให้เกิดการเคลื่อนที่ไปทาง ซ้าย หรือ ทางขวา โดยอาศัยปั๊มน้ำขนาดเล็ก จำนวน 2 ตัว ทำหน้าที่สลับกันสำหรับถ่วงน้ำหนักน้ำไป – มาการสั่งให้ปั๊มน้ำทำงาน จะใช้ชุดเซนเซอร์พร้อมชุดควบคุมปั๊มน้ำ ชุดเซนเซอร์จะประกอบด้วย หลอด LED จำนวน 4 หลอด ทำหน้าที่เซนเซอร์ความเข้มของแสงอาทิตย์ กล่าวคือ เมื่อหลอด LED ได้รับแสงอาทิตย์จะเกิดไฟฟ้ากระแสตรงและแรงดันไฟฟ้าขึ้นในวงจร ซึ่งจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ ส่วนชุดควบคุม ประกอบด้วย แผงวงจรสำหรับสั่งให้ปั๊มน้ำทำงาน และใช้ Limit Switch สำหรับหยุดการติดตามดวงอาทิตย์เมื่อเคลื่อนที่ถึงตำแหน่งสุดท้ายที่ได้ออกแบบไว้ มีตัวหน่วงน้ำหนักเพื่อรักษาสมดุลย์ ช่วยลดการแกว่งของแผงที่เกิดจากลมพัด ประโยชน์ที่ได้รับจากระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยเปรียบเทียบกับระบบปกติที่ไม่มีระบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยทดสอบที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาดแผงละ 75 วัตต์ได้ 6 แผง รวมกำลังผลิต 450 วัตต์ ไฟฟ้าที่ผลิตได้ สุทธิที่ผลิตได้เพิ่มขึ้น ประมาณ 20 % ในกรณีกลับกัน สามารถลดจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลงได้ประมาณ 90 วัตต์ต่อชุด

พลอยไพลิน พิรมโสภะ, กิตติพัฒน์ ชัยรุ่งสาบโสภ, ชัยสิทธิ์ พัฒรวงกุล และ ทวีวัชร วีระแก้ว (2548) กล่าวถึง การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้พลังงานน้อยที่สุดกับการใช้ความโน้มถ่วงที่สุดในระบบพลศาสตร์โดยใช้หลักการของ แคลคูลัสความแปรปรวนหาเงื่อนไขของค่าต่ำที่สุดและสูงที่สุด และการใช้ระเบียบวิธีทางตัวเลข เพื่อนำมาแก้ปัญหาทั้งการใช้พลังงานน้อยที่สุด และการใช้ความโน้มถ่วงที่สุด จะเห็นได้ว่าปัญหาการใช้พลังงานน้อยที่สุด จะอยู่ในรูปของสมการเชิงเส้น (Linear) แต่ปัญหาของความโน้มถ่วงที่สุดนั้นไม่สามารถหาคำตอบ ในรูปแบบของสมการเชิงเส้นเนื่องจากเงื่อนไขและขอบเขต มิใช่เพียงพอ จึงได้นำระเบียบวิธีการทางตัวเลขที่มีชื่อเรียกว่า Linear Programming มาใช้ในการหาคำตอบ ซึ่งคำตอบที่ได้จากการพิจารณาค่าความโน้มถ่วงสูงสุดนั้นมีความใกล้เคียงกับการใช้พลังงานน้อยที่สุด เป็นฟังก์ชันของค่าความเหมาะสมสูงสุด กล่าวคือได้ทั้งค่าความโน้มถ่วงและการประหยัดพลังงาน

อนุชา ดีผาง, สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์ และ เจริญพร เลิศสถิตธนกร (2548) งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอเครื่องติดตามดวงอาทิตย์ แบบ 2 แกนคือแนวอนติจูดและแนวอะซิมุท โดยใช้หลักการบังเงาของฉากกัน มีโฟโตทรานสมิสเตอร์เป็นตัวตรวจจับรังสีตรงดวงอาทิตย์ ความสูงของฉากกันเป็นตัวกำหนดความไวหรือช่วงเวลาในการติดตาม ข้อดีของหลักการของเครื่องติดตามดวงอาทิตย์นี้คือ สามารถกำหนดช่วงเวลาในการติดตามของดวงอาทิตย์ลักษณะเป็นช่วงได้ ซึ่งช่วงเวลาอาจสั้นหรือมากกว่านี้ขึ้นอยู่กับ การออกแบบความสูงของฉากกันในอุปกรณ์ตรวจจับรังสีตรงดวงอาทิตย์โดยไม่ต้องมีการออกแบบวงจรเพิ่ม การวางตำแหน่งโฟโตทรานซิสเตอร์ออกแบบให้สามารถตรวจจับรังสีดวงอาทิตย์ครอบคลุมตลอดทั้งสองแนวและเข้าหาเป้าหมายได้ทันทีเริ่มทำงานจากการทดสอบพบว่าเครื่องติดตามดวงอาทิตย์มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยประมาณ 2.5 องศาหากคิดอัตรา

การเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์เฉลี่ยที่ 15 องศาต่อชั่วโมง ก็แสดงว่าเครื่องติดตามดวงอาทิตย์มีการคลาดเคลื่อนตามดวงอาทิตย์โดยเฉลี่ยทุก 10 นาที มีค่าในการทำงานของระบบประมาณ 37 องศาต่อวินาที และมีความไวในการเข้าหาจุดทำงาน 0.3 วินาที นอกจากนี้ยังพบว่าในช่วงเวลาที่แดดแรงจัดความคลาดเคลื่อนก็จะลดลง และในทางตรงข้ามเมื่อแสงแดดเริ่มอ่อนลงความคลาดเคลื่อนจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น

สันนิล कुमार อังรา, ทวีวัชร วีระเกล้า (2541) ในการใช้ทฤษฎีของระบบวิเคราะห์ปัญหาของการหาค่าต่ำสุดและสูงสุดที่เป็นที่ยอมรับแล้วว่า ระบบการเคลื่อนที่ที่อยู่ในรูปสมการเชิงอนุพันธ์อันดับสูงมีข้อได้เปรียบเป็นอย่างมาก ในเรื่องของการคำนวณ เมื่อนำผลลัพธ์มาเปรียบเทียบกับระบบเคลื่อนที่ ที่อยู่ในรูปสมการเชิงอนุพันธ์อันดับหนึ่งโดยเฉพาะ สมการการเคลื่อนที่ทางด้านวิศวกรรมเครื่องกล จะอยู่ในรูปของ สมการเชิงอนุพันธ์อันดับที่สองเสมอ อันเนื่องมาจากการใช้กฎข้อที่สองของนิวตันในบทความฉบับนี้ ได้นำเสนอข้อมูลเปรียบเทียบอย่างชัดเจน ในการคำนวณระหว่าง สมการการเคลื่อนที่ ที่อยู่ในรูปสมการชั้นสูงและสมการอนุพันธ์อันดับหนึ่งการที่จะเปรียบเทียบได้นั้นผู้วิจัย ได้สร้างซอฟต์แวร์ขึ้นมาด้วยวิธีตรงและวิธีอ้อม เพื่อสามารถยืนยันได้ว่าไม่ว่าสมการการเคลื่อนที่จะอยู่ในรูปแบบใดก็ตาม สามารถที่จะใช้โปรแกรมเดียวกันหาคำตอบเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การออกแบบโครงสร้าง

1.1 ผลการคำนวณโครงสร้าง

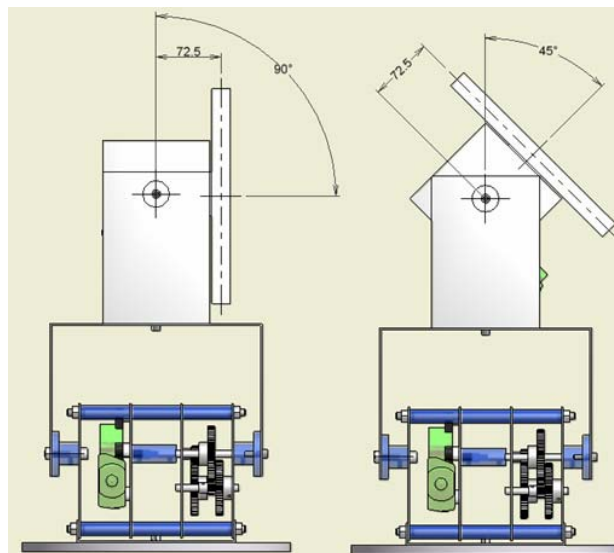
หาได้จากสูตร

$$\sum M_A = W \times L \quad (3.1)$$

1. ส่วนแขนท่อนบน

ที่ 90 องศา	$1\text{kg} \times 7.25\text{cm}$	=	7.25 kg.cm
-------------	-----------------------------------	---	----------------------

ที่ 45 องศา	$1\text{kg} \cdot \sin 45^\circ \times 7.25\text{cm}$	=	5.13 kg.cm
-------------	---	---	----------------------



ภาพประกอบ 7 แผนภาพระยะวัดส่วนแขนท่อนบน

2. ส่วนแขนท่อนล่าง

ที่ 45 องศา	$1.5\text{kg} \cdot \sin 45^\circ \times 36.25\text{cm}$	=	38.45kg.cm
-------------	--	---	---------------------

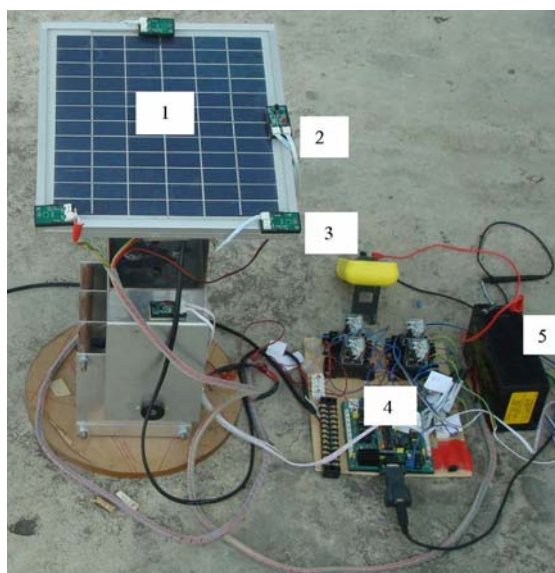
ที่ 15 องศา	$1.5\text{kg} \cdot \sin 15^\circ \times 36.25\text{cm}$	=	14.07kg.cm
-------------	--	---	---------------------



ภาพประกอบ 8 แผนภาพระยะวัดส่วนแขนท่อนล่าง

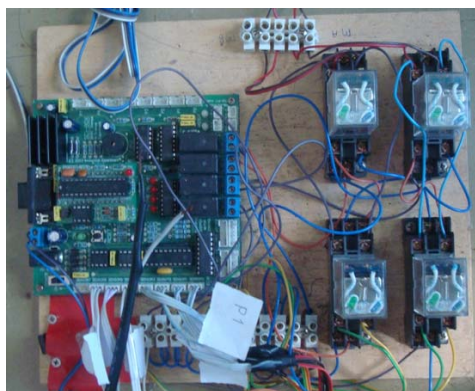
ดังนั้นจึงเลือกใช้ Motor Torque = 38.45kg.cm

1.2 โครงสร้างและส่วนประกอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ แบบ 2 แกน

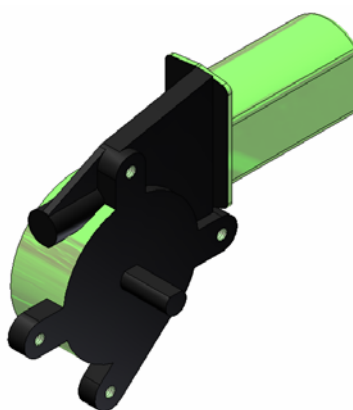


ภาพประกอบ 9 แสดงส่วนประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ แบบ 2 แกน

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 6 Watt 12VDC
2. เซนเซอร์วัดองศา
3. เซนเซอร์วัดความเข้มแสง
4. Microcontroller และ ชุดรีเลย์ขยายกำลังไฟฟ้า
5. แบตเตอรี่ 12 VDC 7 Amp



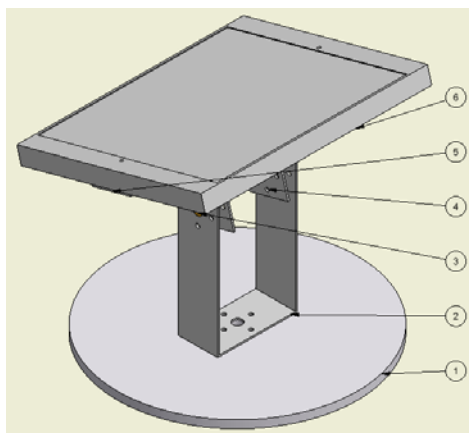
ภาพประกอบ 10 Microcontroller รุ่น BASIC Stamp 2sx และ ชุดรีเลย์ขยายกำลังไฟฟ้า



ภาพประกอบ 11 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

1.3 โครงสร้างและส่วนประกอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่

1. ฐาน
2. แผ่นอลูมิเนียมตัวยู
3. บูชทองเหลืองปรับองศา
4. แผ่นอลูมิเนียมตัวยู
5. แผ่นอลูมิเนียมตัวยู
6. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 6 Watt 12VDC

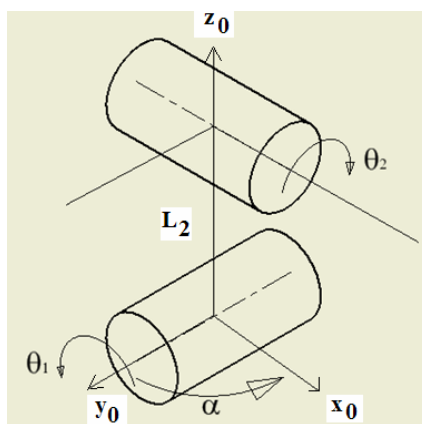


ภาพประกอบ 12 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่

2. การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Computer programming)

ใช้หลักการเชื่อมโยงกับกล่องเครื่องมือ (Toolbox) ของโปรแกรมแมทแล็บ (Matlab) ซึ่งได้พัฒนานำเอาอนุพันธ์อันดับสาม $\frac{d^3y}{dt^3} = \ddot{x}$ เท้ากับ ความนิ่มนวลสูงสุด (Minimum Jerk) มาใช้ร่วมกับฟังก์ชันของออปติไมซ์เซอร์ (Optimization solver) และฟังก์ชันแอฟมินคอน (Fmincon) ซึ่งเป็นกล่องเครื่องมือออปติไมซ์เซอร์ (Optimization toolbox) ที่มีอยู่แล้วในแมทแล็บเป็นฟังก์ชันหลักในการแก้ปัญหา (T.Veeraklaew 2005) ซึ่งฟังก์ชันต่างๆ ในแอฟมินคอน (Fmincon) จะทำหน้าที่ดังนี้ เมื่อรับอินพุต (Input) จาก user.m จะคืนค่าเงื่อนไขบังคับที่เป็นอีควอลิตี้คอนสเทรนต์ (Equality constraints) และอีนออีควอลิตี้คอนสเทรนต์ (Inequality constraints) ซึ่งแทนค่าออปติไมซ์เซอร์พารามิเตอร์ (Optimization parameter)

2.1 การหาสมการการเคลื่อนที่โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Matlab



ภาพประกอบ 13 แผนภาพการตั้งค่า DH Parameter

ตาราง 1 ตัวแปรที่ได้ตาม Model การเคลื่อนที่

Link(i)	$a_i(m)$	α_i	$d_i(m)$	$\theta_i(rad)$
1	0	0°	0	$\theta_1(x_1(t))$
2	L_2	-90°	0	$\theta_2(x_2(t))$

สมการการเคลื่อนที่เป็นสมการอนุพันธ์อันดับสองที่คำนวณได้จากโปรแกรม MATLAB โดยแทนค่าจากตาราง 1 $d_2 = 0, \alpha_1 = 0, \alpha_2 = -90, \theta_1 = x_1(t), \theta_2 = x_2(t)$ $x(t_0) = (0,0)^T$ $x(t_f) = (1.570, 3.141)^T$ เมื่อกำหนดให้ $t_0 = 0$ และ $t_f = 1.0$ จะผลคำนวณดังนี้

ค่า u_1 สมการอนุพันธ์อันดับสองของแกนที่ 1

$$u_1 = 2\ddot{\theta}_1 + \ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_1 m_2 L_2^2 + \ddot{\theta}_2 m_2 L_2^2 + \left(\frac{981}{100}\right) L_2 m_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) - \left(\frac{980}{100}\right) L_2 m_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \quad (3.2)$$

ค่า u_2 สมการอนุพันธ์อันดับสองของแกนที่ 2

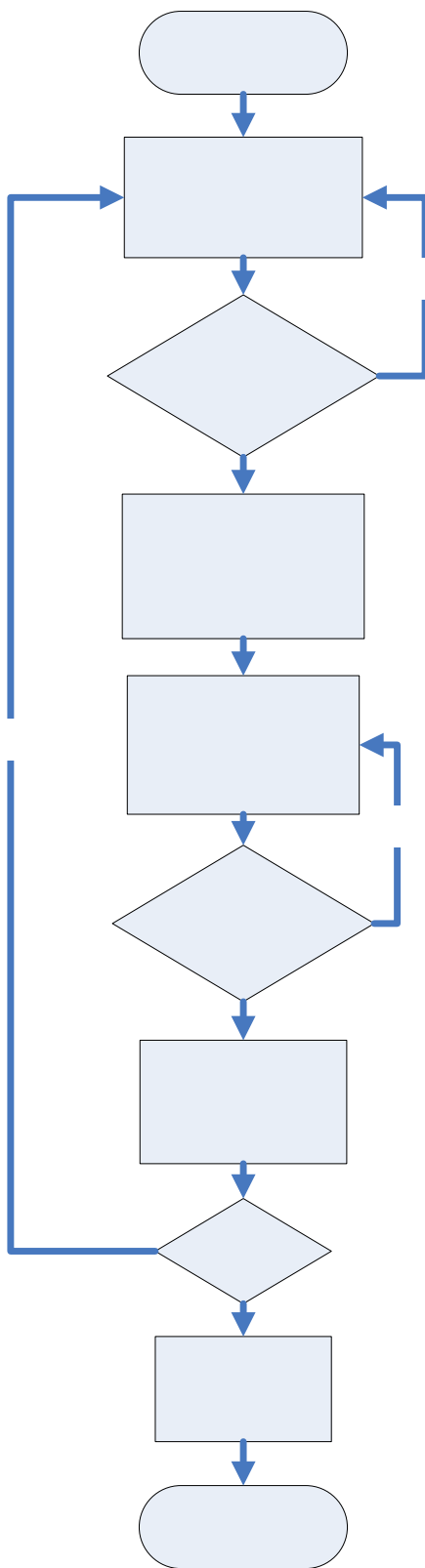
$$u_2 = (m_2 L_2^2 + 1)(\ddot{\theta}_1 + \ddot{\theta}_2) + \left(\frac{981}{100}\right) L_2 m_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \quad (3.3)$$

2.2 การออกแบบชุดควบคุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ แบบ 2 แกน

ออกแบบวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น BASIC Stamp 2sx ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ จำนวน 2 ตัว ซึ่งใช้ปริมาณแอมแปร์ของกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแบตเตอรี่ เป็นตัวควบคุมตามเงื่อนไขดังนี้

1. โปรแกรมเริ่มทำงานเวลาประมาณ 08.00 น.
2. เริ่มทำงานจากแกน เหนือ-ใต้ ก่อน โดยจะสแกนหาความเข้มสูงสุดของแสง หนึ่งรอบก่อน แล้วจึงสั่งให้หมุนมาที่ค่าสูงสุดอีกครั้งหนึ่งครั้ง
3. เริ่มทำงานจากแกน ออก-ตก โดยจะสแกนหาความเข้มสูงสุดของแสง หนึ่งรอบก่อน แล้วจึงสั่งให้หมุนมาที่ค่าสูงสุดอีกครั้งหนึ่งครั้ง
4. เมื่อโปรแกรมทำการหาจุดตำแหน่งของแสงทั้งสองแกนได้ ตามความถูกต้องแล้ว โปรแกรมจะเข้าสู่โหมด Time โหมด Time จะเป็น โหมดของเวลา ที่ได้ทำการตั้งเวลาไว้ 1 ชั่วโมง
5. เมื่อโปรแกรม Time ครบเวลา 1 ชั่วโมง จะทำการรีเซ็ตโปรแกรมไปยัง ลูปหัวข้อที่ 2 คือทำการรีเซ็ต แกนหมุนตามแสงใหม่อีกครั้ง เพื่อหาค่าความเข้มแสงสูงสุด
6. โปรแกรม จบการทำงานที่เวลาประมาณ 17.00 น.

2.3 ขั้นตอนการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ 2 แกน



ภาพประกอบ 14 แสดงขั้นตอนการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

3. กำหนดชื่อโปรแกรมระบบการเชื่อมต่อ PIN 13 และ PIN 14

```
' {$STAMP BS2sx}
' {$PBASIC 2.5}

' System I/O and constant , please do not make change
SD PIN 13 ' Sci-BOX serial communication port
LDRSD PIN 14 ' Sci-BOX serial communication port
BAUD CON 240 ' 9600bps constant
CMD CON $FE ' SLCD command constant
```

ภาพประกอบ 17 แสดงการเชื่อมต่อ PIN 13 และ PIN 14

4. ประกาศค่าตัวแปรที่จะใช้ในการทดลอง

```
' Variable defined
VALUE0 VAR Word ' VALUE as SENSOR0 variable
VALUE1 VAR Word ' VALUE as SENSOR0 variable

LDR0 VAR Word ' VALUE as SENSOR0 variable
LDR1 VAR Word ' VALUE as SENSOR0 variable
LDR2 VAR Word ' VALUE as SENSOR0 variable

SOUND PIN 12 ' Speaker
i VAR Byte
rate VAR Word
max_ldr VAR Word
max_ldr2 VAR Word
maxsenser VAR Word
```

ภาพประกอบ 18 แสดงการค่าตัวแปร VAR Word

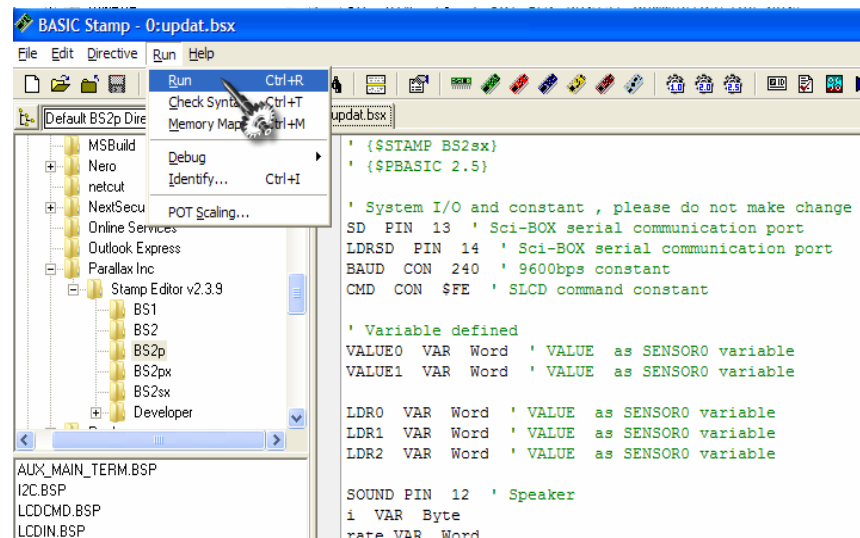
5. เริ่มเขียนโปรแกรมโดยกำหนดเงื่อนไขต่างๆ โดยเริ่มจาก start: และจบด้วย End:

```
start:
max_ldr=0
max_ldr2=0
rate=0

LOW SD : PAUSE 1 : HIGH SD ' Break signal
SEROUT SD,BAUD,[0] ' Request SENSOR0
SERIN SD,BAUD,[VALUE0.LOWBYTE,VALUE0.HIGHBYTE] ' Received data 2 byte to 1 word
LOW SD : PAUSE 1 : HIGH SD ' Break signal
SEROUT SD,BAUD,[1] ' Request SENSOR0
SERIN SD,BAUD,[VALUE1.LOWBYTE,VALUE1.HIGHBYTE] ' Received data 2 byte to 1 word
LOW SD : PAUSE 1 : HIGH SD ' Break signal
SEROUT SD,BAUD,[2] ' Request SENSOR0
SERIN SD,BAUD,[LDR0.LOWBYTE,LDR0.HIGHBYTE] ' Received data 2 byte to 1 word
LOW SD : PAUSE 1 : HIGH SD ' Break signal
```

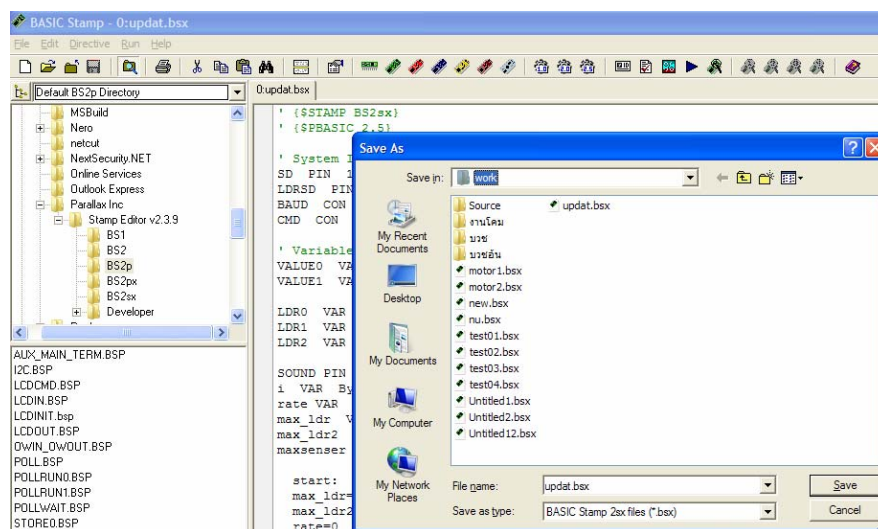
ภาพประกอบ 19 แสดงการเริ่มเขียนโปรแกรม

6. เมื่อเสร็จแล้วทำการ Run โปรแกรม ในโหมด Run หรือ Ctrl + R



ภาพประกอบ 20 แสดงการ Run โปรแกรม

7. ขั้นตอนสุดท้ายเมื่อโปรแกรมสมบูรณ์แล้วโดยผ่านการ Run เพื่อทดสอบแล้วทำการ Save File เป็นนามสกุล .bsx แล้วสามารถนำไปต่อใช้โดยผ่าน สายสำหรับ-ส่งข้อมูลทาง RS232 ระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์ได้เลย และสามารถแก้ไขโปรแกรมได้เลยโดยไม่ต้องแปลงข้อมูลลงไมโครคอนโทรลเลอร์เนื่องจาก BASIC Stamp สามารถสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ได้เลยโดยตรง (เป็นภาษาที่พัฒนาใหม่แล้ว)

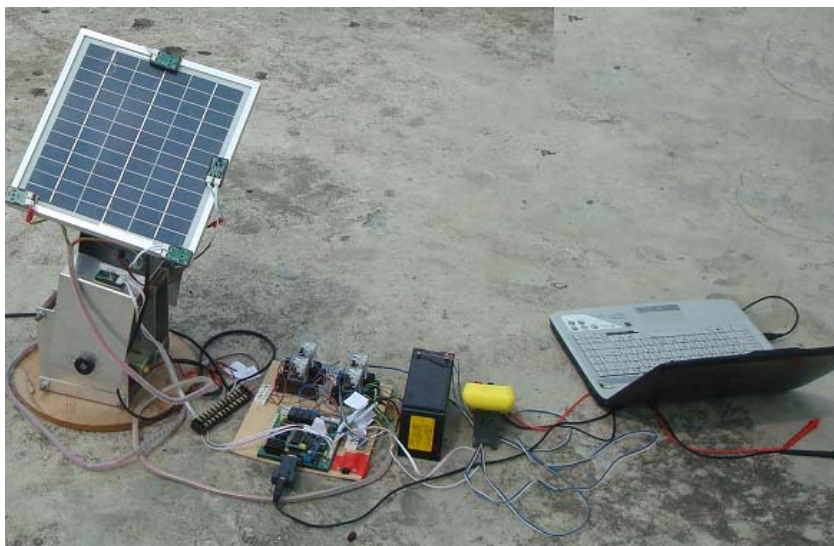


ภาพประกอบ 21 แสดงการ Save File นามสกุล .bsx

4. การทดสอบการทำงาน

4.1 บันทึกผลแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ 2 แกน

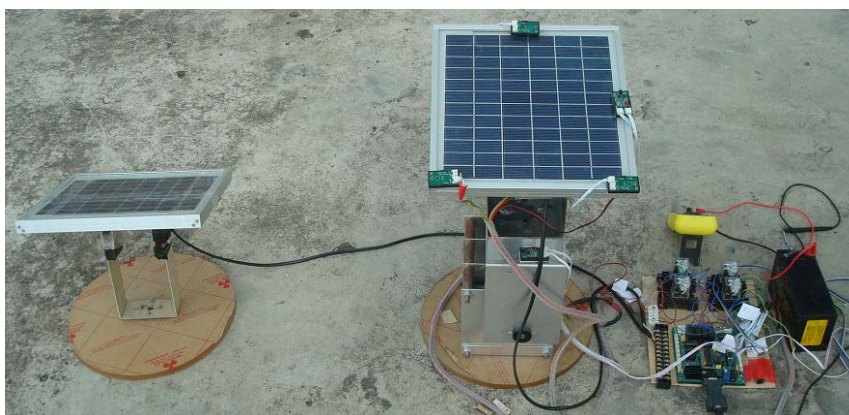
วัดค่าแรงดัน หน่วยวัดเป็น โวลต์ (Volt) ค่ากระแสไฟฟ้า หน่วยวัดเป็น มิลลิแอมป์ (mA) จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และชุดขับเคลื่อนทั้งหมด ได้แก่ มอเตอร์ขับเคลื่อน 2 ตัว ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ ควบคุม เพื่อนำมาหักลบกับ ในการหาพลังงานสุทธิที่เหลือ ทุกๆ 1 ชั่วโมง



ภาพประกอบ 22 แสดงการติดตั้งแผงเซลล์เคลื่อนที่แบบ 2 แกนในการทดสอบ

4.2 บันทึกผลแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่

วัดค่าแรงดัน หน่วยวัดเป็น โวลต์ (Volt) ค่ากระแสไฟฟ้า หน่วยวัดเป็น มิลลิแอมป์ (mA) จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แล้วบันทึกผล ทุกๆ 1 ชั่วโมง



ภาพประกอบ 23 แสดงการติดตั้งแผงเซลล์เคลื่อนที่แบบ 2 แกนและแบบอยู่กับที่ในการทดสอบ

บทที่ 4

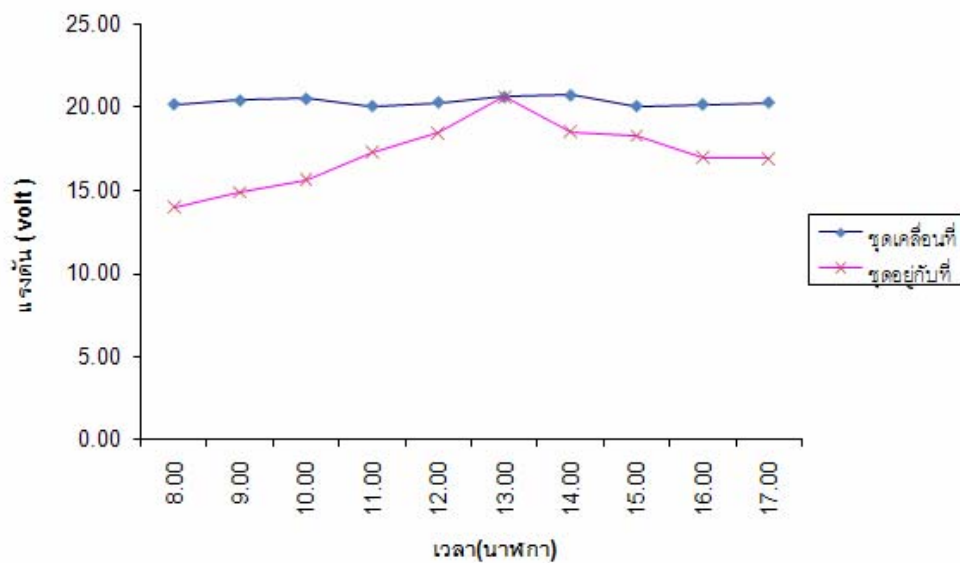
ผลการวิจัย

1. ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบในงานวิจัยนี้ ได้ทำการเปรียบเทียบผลของพลังงาน ที่ได้จากชุดขับเคลื่อน และควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ 2 แกน กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ และการหาแรงบิดที่ใช้หลักการความโน้มถ่วงที่สุด (Minimum Jerk) เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบของชุดขับเคลื่อนและควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ 2 แกน

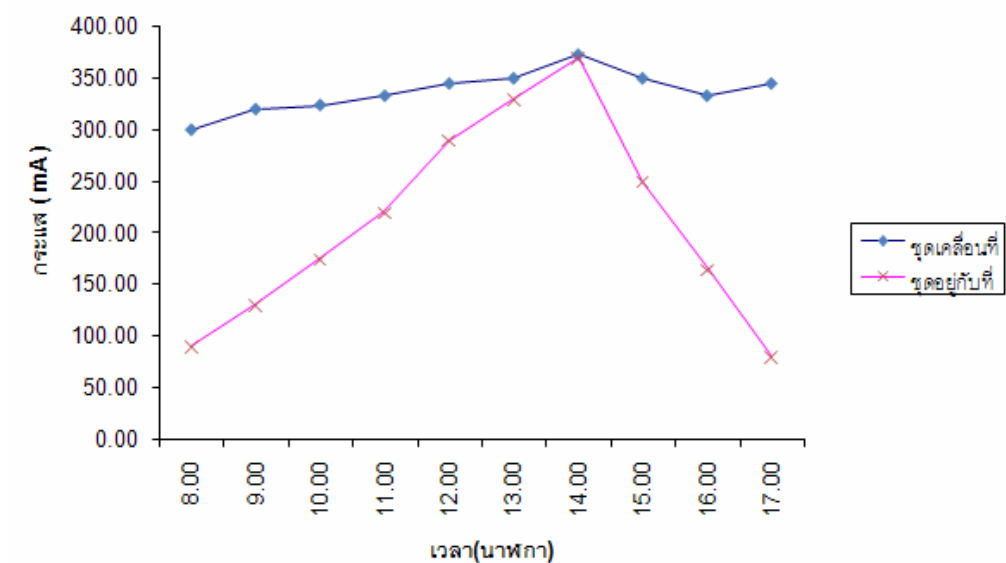
4.1 ผลการเปรียบเทียบพลังงานสุทธิชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ แบบ 2 แกน กับแบบอยู่กับที่

4.1.1 จากภาพประกอบ 24 เป็นการเปรียบเทียบการเก็บพลังงานของทั้งสองชุด พบว่าแรงดันไฟฟ้าของชุดเคลื่อนที่แบบ 2 แกนจะมีการเก็บพลังงานที่สม่ำเสมอเมื่อเทียบกับแบบอยู่กับที่ พลังงานจะมีการแปรผันตามการตั้งจากของแผงเซลล์แสงอาทิตย์



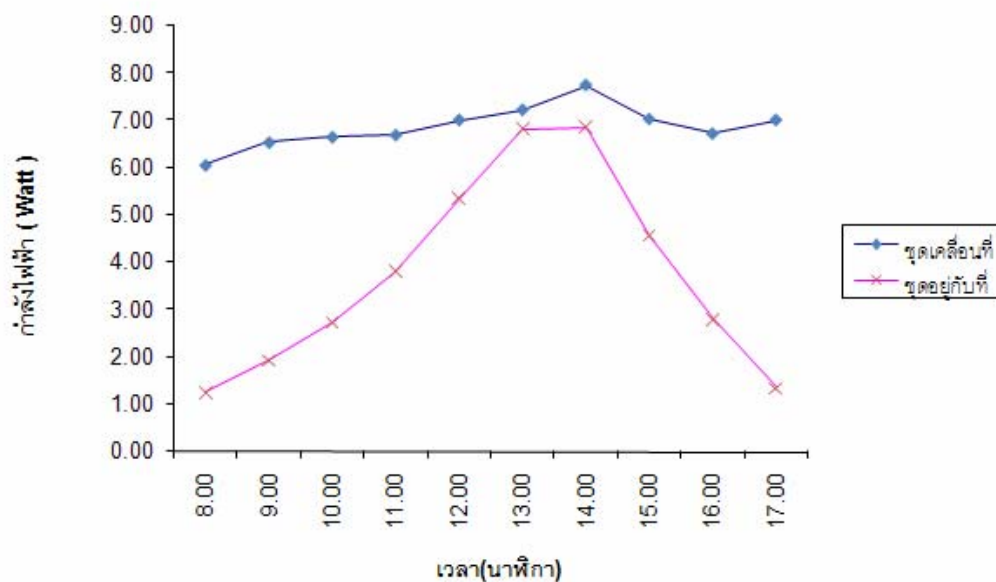
ภาพประกอบ 24 แสดงกราฟผลแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้

4.1.2 จากภาพประกอบ 25 เป็นการเปรียบเทียบการเก็บพลังงานของทั้งสองชุด พบว่ากระแสไฟฟ้าของชุดเคลื่อนที่แบบ 2 แกนจะมีการเก็บพลังงานที่สม่ำเสมอเมื่อเทียบกับแบบอยู่กับที่ พลังงานจะมีการแปรผันตามการตั้งจากของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และมีผลต่างในการเก็บพลังงาน มากกว่าแรงดันไฟฟ้า



ภาพประกอบ 25 แสดงกราฟผลกระแสไฟฟ้าที่วัดได้

4.1.3 จากภาพประกอบ 26 เป็นการเปรียบเทียบการเก็บพลังงานของทั้งสองชุดพบว่ากำลังไฟฟ้าไฟฟ้าของชุดเคลื่อนที่แบบ 2 แกนจะมีการเก็บพลังงานที่สม่ำเสมอเมื่อเทียบกับแบบอยู่กับที่ พลังงานจะมีการแปรผันตามการตั้งฉากของแผงเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพประกอบ 26 แสดงกราฟผลกำลังไฟฟ้า

2. ผลการแก้ปัญหาของความโน้มถ่วงสูงสุดโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

จากการที่ใช้โปรแกรมพัฒนาแล้ว มาแก้ปัญหาคความโน้มถ่วงสูงสุดโดยวิธีทางอ้อม (Minimum Indirect Jerk Problem) โดยได้นำระเบียบทางตัวเลข (Nonlinear programming) ซึ่งเป็นระเบียบวิธีการทางตัวเลขที่ใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมสูงสุดมาใช้ในการหาค่าตอบที่ต้องการ พัฒนาโปรแกรม โดย พ.อ.ผศ.ดร.ทวิวัชร วีระเกล้า

จากนั้นนำค่าตัวแปรต่างๆ ที่ได้จากการทดลองมาแก้ไขปัญหาคความโน้มถ่วงสูงสุดโดยวิธีทางอ้อมได้โดยการ กำหนดค่าตัวแปรลงไปในโปรแกรม MATLAB ที่พัฒนาแล้ว มีขั้นตอนดังนี้

จากสมการที่ 3.2 และ 3.3 ที่ใช้หน่วยของ MKS (เมตร กิโลกรัม วินาที) เมื่อกำหนดให้ตัวแปร มีค่าดังนี้

$$m_1 = 1.5\text{ kg}, L_1 = 0\text{ m}, \alpha_1 = 0^\circ, d_1 = 0\text{ m} \quad m_2 = 1\text{ kg}, L_2 = 0.29\text{ m}, \alpha_2 = -90^\circ, d_2 = 0\text{ m}$$

ใช้โปรแกรม MATLAB ทำการแก้ปัญหา หาค่า DH Parameter อีกครั้ง ได้สมการการเคลื่อนที่ เป็นสมการอนุพันธ์อันดับสอง ที่แทนค่าแล้ว

$$u_1 = 2.0841\ddot{\theta}_1 + 1.0841\ddot{\theta}_2 + 2.8449\sin(\theta_1 + \theta_2) - 2.8449\cos(\theta_1 + \theta_2) \quad (4.1)$$

$$u_2 = 1.0841\ddot{\theta}_1 + 1.0841\ddot{\theta}_2 + 2.8449\sin(\theta_1 + \theta_2) - 2.8449\cos(\theta_1 + \theta_2) \quad (4.2)$$

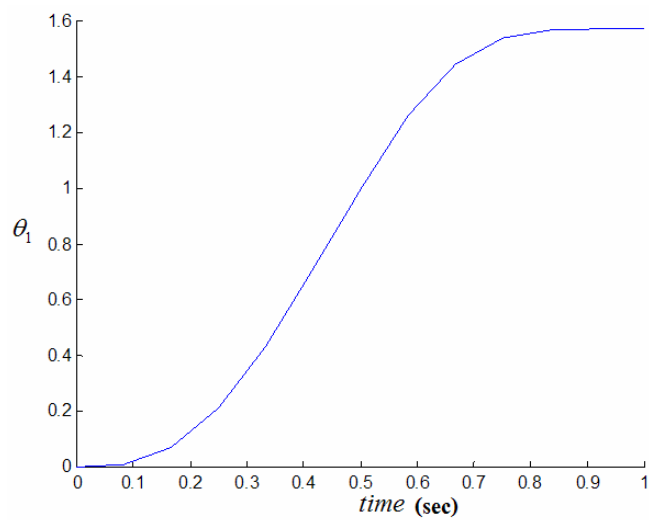
ปัญหาของความโน้มถ่วงสูงสุดเขียนใหม่ให้มี Jerk อยู่ในระบบ เป็นสมการอนุพันธ์อันดับสาม ได้ดังนี้

$$\ddot{u}_1 = 2.0841\ddot{\ddot{\theta}}_1 + 1.0841\ddot{\ddot{\theta}}_2 + 2.8449[\cos(\theta_1 + \theta_2)](\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) + 2.8449[\sin(\theta_1 + \theta_2)](\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \quad (4.3)$$

$$\ddot{u}_2 = 1.0841\ddot{\ddot{\theta}}_1 + 1.0841\ddot{\ddot{\theta}}_2 + 2.8449[\cos(\theta_1 + \theta_2)](\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) + 2.8449[\sin(\theta_1 + \theta_2)](\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \quad (4.4)$$

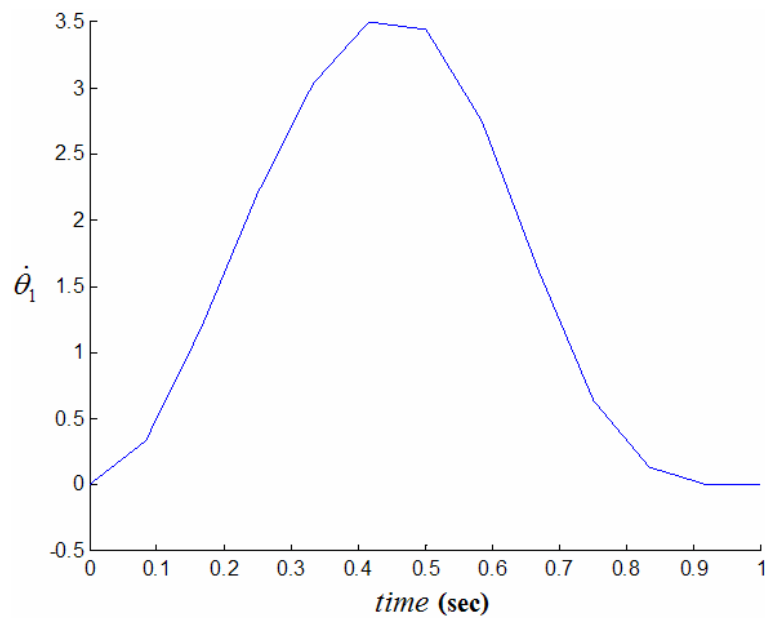
ซึ่งจะนำไปใช้โปรแกรม MATLAB คำนวณทำการแก้ปัญหา ได้ผลลัพธ์ดังนี้

จากภาพประกอบ 27 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะขจัด θ_1 เทียบกับเวลา time (sec) ซึ่งเป็นช่วงเวลาเริ่มต้น t_0 ถึงเวลาสุดท้าย t_f เป็นผลจากการหาค่าอนุพันธ์ของการเคลื่อนที่ เทียบกับเวลาตามสมการเชิงอนุพันธ์ ของการแก้ปัญหาคความโน้มถ่วงสูงสุด



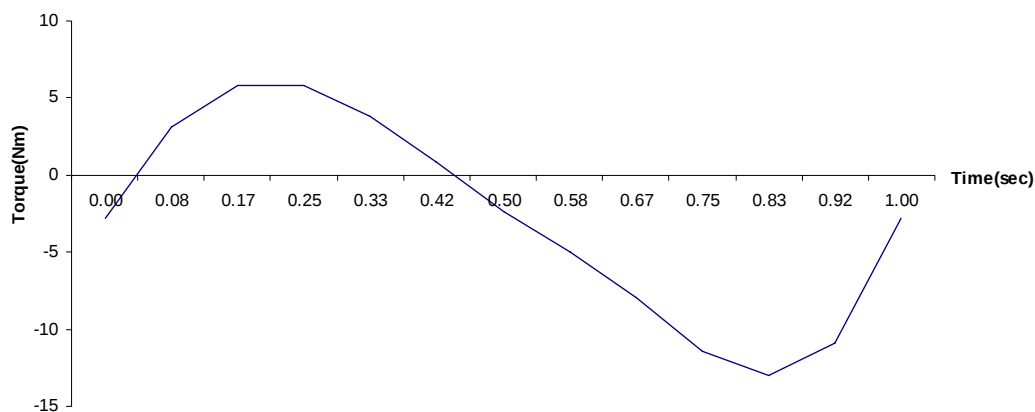
ภาพประกอบ 27 แผนภาพแสดงผลระยะจัดเทียบกับเวลาของมอเตอร์ตัวที่ 1

จากภาพประกอบ 28 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็ว $\dot{\theta}_1$ เทียบกับเวลา time (sec) ซึ่งเป็นช่วงเวลาเริ่มต้น t_0 ถึงเวลาสุดท้าย t_f เป็นผลจากการหาค่าอนุพันธ์ของความเร็ว เทียบกับเวลาตามสมการเชิงอนุพันธ์ของการแก้ปัญหาการใช้ความโน้มถ่วงสูงสุด



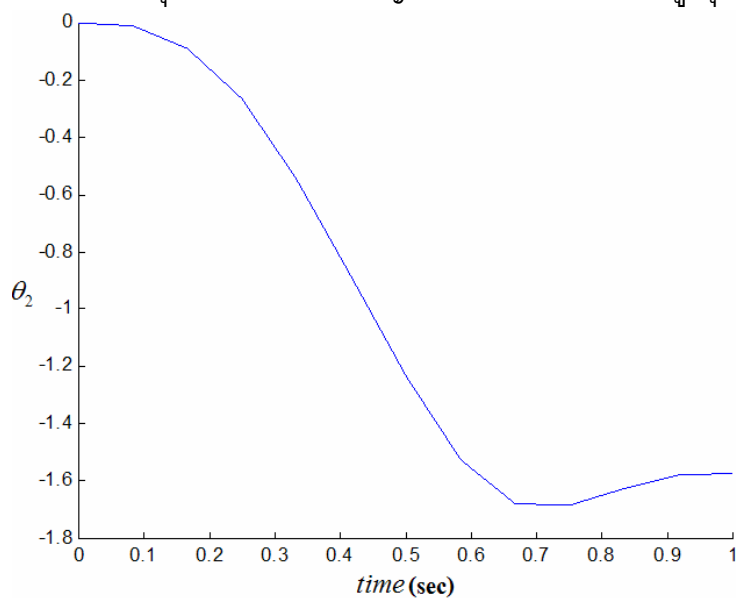
ภาพประกอบ 28 แผนภาพแสดงผลความเร็วเทียบกับเวลาของมอเตอร์ตัวที่ 1

จากภาพประกอบ 29 เป็นกราฟแสดงแรงบิดของมอเตอร์ตัวที่ 1 เทียบกับเวลา time (sec) ซึ่งเป็นช่วงเวลาเริ่มต้น t_0 ถึงเวลาสุดท้าย t_f นำค่าที่ได้จาก ระยะขจัด θ_1 และความเร็ว $\dot{\theta}_1$ แทนลงในสมการการเคลื่อนที่มอเตอร์ตัวที่ 1 โดยมีแรงบิดสูงสุดอยู่ที่ 5.0023 Nm.



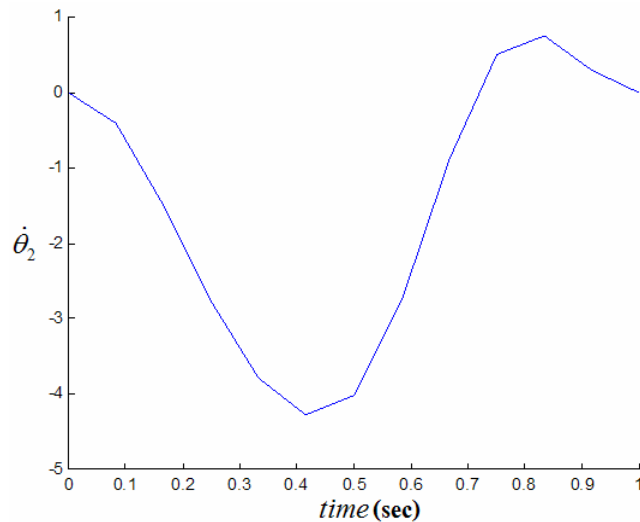
ภาพประกอบ 29 แผนภาพแสดงผลแรงบิดมอเตอร์ตัวที่ 1

จากภาพประกอบ 30 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะขจัด θ_2 เทียบกับเวลา time (sec) ซึ่งเป็นช่วงเวลาเริ่มต้น t_0 ถึงเวลาสุดท้าย t_f เป็นผลจากการหาค่าอนุพันธ์ของการเคลื่อนที่เทียบกับเวลาตามสมการเชิงอนุพันธ์ ของการแก้ปัญหาคำถามการใช้ความโน้มถ่วงสูงสุด



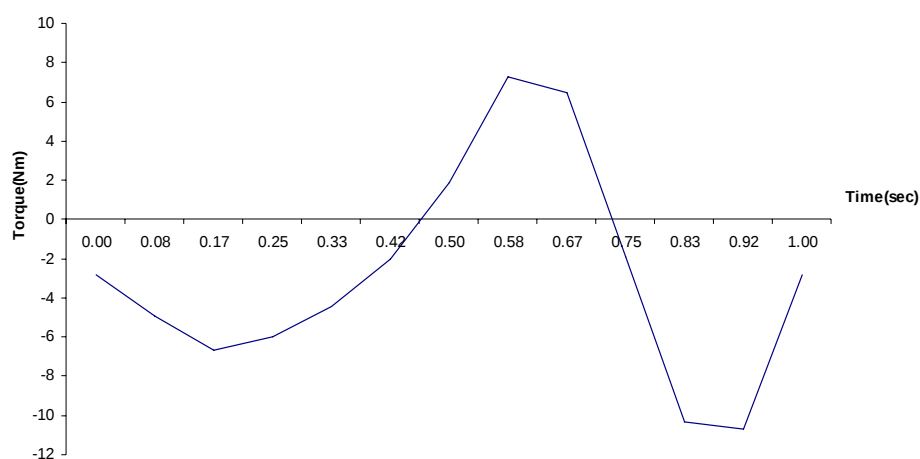
ภาพประกอบ 30 แผนภาพแสดงผลระยะขจัดเทียบกับเวลาของมอเตอร์ตัวที่ 2

จากภาพประกอบ 31 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็ว $\dot{\theta}_2$ เทียบกับเวลา time (sec) ซึ่งเป็นช่วงเวลาเริ่มต้น t_0 ถึงเวลาสุดท้าย t_f เป็นผลจากการหาค่าอนุพันธ์ของความเร็ว เทียบกับเวลาตามสมการเชิงอนุพันธ์ของการแก้ปัญหาการใช้ความโน้มถ่วงสูงสุด



ภาพประกอบ 31 แผนภาพแสดงผลความเร็วเทียบกับเวลาของมอเตอร์ตัวที่ 2

จากภาพประกอบ 32 เป็นกราฟแสดงแรงบิดของมอเตอร์ตัวที่ 2 เทียบกับเวลา time (sec) ซึ่งเป็นช่วงเวลาเริ่มต้น t_0 ถึงเวลาสุดท้าย t_f นำค่าที่ได้จาก ระยะขจัด θ_2 และความเร็ว $\dot{\theta}_2$ แทนลงในสมการการเคลื่อนที่มอเตอร์ตัวที่ 1 โดยมีแรงบิดสูงสุดอยู่ที่ 10.7071 Nm.



ภาพประกอบ 32 แผนภาพแสดงผลความแรงเชิงมุมมอเตอร์ตัวที่ 2

จากสมการการเคลื่อนที่ของแผงเซลล์แบบเคลื่อนที่ 2 แกน สามารถนำมาหาต้นกำลังใช้ในการขับเคลื่อนชุด มอเตอร์ขับเคลื่อนที่เหมาะสมสูงสุดได้ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Nonlinear programming) มาเป็นเครื่องมือช่วยในการแก้ปัญหา (Fix and time and end point) ซึ่งเป็นการกำหนดเงื่อนไข จุดเริ่มต้น และเงื่อนไขขอบเขตให้อยู่ในรูปของการเคลื่อนที่ และความเร็ว สามารถหาแรงบิดที่เหมาะสมสูงสุดจากภาพประกอบ 29 และ 32 นำมาเลือกใช้มอเตอร์มาเป็นต้นกำลัง และออกแบบระบบควบคุมได้อย่างเหมาะสม แล้วทำการสร้างโครงสร้างชุดขับเคลื่อนแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ 2 แกน ดังรายละเอียดแนบภาคผนวก

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

1. สรุปผล

ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์(Nonlinear programming) หาค่าความเหมาะสมสูงสุดของระบบพลศาสตร์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น กับชุดเคลื่อนที่แบบหมุน 2 แกน ที่มีระดับชั้นความเร็ว 2 ค่า พบว่าแกนสามารถเคลื่อนที่ได้มีมวล โดยมีการเคลื่อนที่เริ่มต้นช้าและเพิ่มความเร็วตามลำดับจนถึงจุดสุดท้าย จะลดความเร็วจนหยุดนิ่งที่จุดสุดท้าย แต่เนื่องจากจุดต่อของชุดขับเคลื่อนเป็นแบบเฟืองเกียร์ทด ที่เป็นแบบเฟืองฟันตรง ทำให้มีการสั่นของชุดเคลื่อนที่ เวลาเคลื่อนที่ สาเหตุเนื่องจากช่องว่างระหว่างฟันเฟืองของชุดเกียร์นั่นเอง

ชุดเคลื่อนที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบเคลื่อนที่ เมื่อเทียบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบอยู่กับที่ พบว่าสามารถเพิ่มพลังงานได้ ประมาณ 79.01 % หรือ 0.02 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง (kW-h) เมื่อลบจากพลังงาน ที่ใช้ในการขับเคลื่อนแล้ว ดังตาราง

ตาราง 2 แสดงผลพลังงานไฟฟ้าหน่วย กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง (kW-h)

ชื่อ	วันที่		
	25/06/09	26/06/09	27/06/09
1. ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ตามแสงสุริย	0.0596	0.0410	0.0634
1.1 มอเตอร์บน	0.0017	0.0016	0.0017
1.2 มอเตอร์ล่าง	0.0009	0.0009	0.0009
1.3 microcontroller	0.0066	0.0065	0.0066
1.4 ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์	0.0688	0.0501	0.0725
2.ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์อยู่กับที่สุริย	0.0375	0.0232	0.0216
3.ผลต่างพลังงาน	0.0221	0.0178	0.0219
4.อัตราร้อยละที่เพิ่มขึ้นของผลต่างพลังงาน (%)	58.933	76.724	101.38

2. ข้อเสนอแนะ

ในการพัฒนาต่อไป ควรแยกชุดขับเคลื่อนออกเป็น 2 ชุด คือชุดวัดหาตำแหน่งดวงอาทิตย์ และชุดขับเคลื่อนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อลดการใช้พลังงานมาก ๆ ที่จะต้องใช้ในการเคลื่อนที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งชุดเพื่อหาตำแหน่งดวงอาทิตย์ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับแผงชุดใหญ่ได้ และจะมีความคุ้มค่ามากกว่า เมื่อผลต่างของพลังงานมีมากขึ้น

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- [1] ทรงกิต เหมะ. การเปรียบเทียบวิธีการหาค่าความโน้มถ่วงที่สุดโดยวิธีทางตรงและวิธีทางอ้อมของระบบพลศาสตร์ที่เป็นเชิงเส้น. ปรินญานิพนธ์ วศ.ม. (เครื่องกล). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ; 2551.
- [2] จำนงค์ ผายสระน้อย. การศึกษาผลลัพธ์ที่ได้จากการรวมความโน้มถ่วงที่สุดและพลังงานน้อยที่สุดของระบบพลศาสตร์เชิงเส้น. ปรินญานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ; 2551.
- [3] วัชระ จิตต์ชื้อ, พิสิฐ วัฒนสินไพศาล; และ วิทวัส หยกรัตนศักดิ์. ชุดขับเคลื่อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบ 2 แกน. โครงการวิศวกรรมศาสตร์ วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ; 2551.
- [4] ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบถ่วงน้ำหนัก. (2550). กรุงเทพฯ: กองพัฒนาพลังงานทดแทนฝ่ายพัฒนาและแผนงานโรงไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย; 2550.
- [5] พลอยไพลิน พิรมโสภา; และ คนอื่นๆ. การศึกษาเปรียบเทียบพลังงานน้อยที่สุดกับการใช้ความโน้มถ่วงที่สุดในระบบพลศาสตร์โดยใช้หลักการของ แคลคูลัสความแปรปรวนหาเงื่อนไขของค่าต่ำที่สุดและสูงที่สุด และการใช้ระเบียบวิธีทางตัวเลข. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- [6] Tawiwat Veeraklaew, Sunil K.Agrawal. *Neighboring optimal Feedback Law of Hiher-Order Dynamic System. Journal of Dynamic Systems Measurement and Control, Transaction of the ASME*; 2002. Vol.124, No.3, 492-497.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
Code Programe

```
' {$STAMP BS2sx}
```

```
' {$PBASIC 2.5}
```

```
' System I/O and constant , please do not make change
```

```
SD PIN 13 ' Sci-BOX serial communication port
```

```
LDRSD PIN 14 ' Sci-BOX serial communication port
```

```
BAUD CON 240 ' 9600bps constant
```

```
CMD CON $FE ' SLCD command constant
```

```
' Variable defined
```

```
VALUE0 VAR Word ' VALUE as SENSOR0 variable
```

```
VALUE1 VAR Word ' VALUE as SENSOR0 variable
```

```
LDR0 VAR Word ' VALUE as SENSOR0 variable
```

```
LDR1 VAR Word ' VALUE as SENSOR0 variable
```

```
LDR2 VAR Word ' VALUE as SENSOR0 variable
```

```
SOUND PIN 12 ' Speaker
```

```
i VAR Byte
```

```
rate VAR Word
```

```
max_ldr VAR Word
```

```
max_ldr2 VAR Word
```

```
maxsenser VAR Word
```

```
start:
```

```
max_ldr=0
```

```
max_ldr2=0
```

```
rate=0
```

```
LOW SD : PAUSE 1 : HIGH SD ' Break signal
```

```
SEROUT SD,BAUD,[0] ' Request SENSOR0
```

```
SERIN SD,BAUD,[VALUE0.LOWBYTE,VALUE0.HIGHBYTE] ' Received data 2 byte to 1
```

```
word
```

```
LOW SD : PAUSE 1 : HIGH SD ' Break signal
```

```

SEROUT SD,BAUD,[1]      ' Request SENSOR0
SERIN  SD,BAUD,[VALUE1.LOWBYTE,VALUE1.HIGHBYTE] ' Received data 2 byte to 1
word

      LOW SD : PAUSE 1 : HIGH SD ' Break signal
SEROUT SD,BAUD,[2]      ' Request SENSOR0
SERIN  SD,BAUD,[LDR0.LOWBYTE,LDR0.HIGHBYTE] ' Received data 2 byte to 1
word

      LOW SD : PAUSE 1 : HIGH SD ' Break signal
SEROUT SD,BAUD,[3]      ' Request SENSOR0

SERIN  SD,BAUD,[LDR1.LOWBYTE,LDR1.HIGHBYTE] ' Received data 2 byte to 1
word

      IF (VALUE0>500)THEN
        VALUE0=0
      ELSEIF (VALUE0<500)THEN
        VALUE0=1
      ENDIF

      IF (VALUE1>500)THEN
        VALUE1=0
      ELSEIF (VALUE1<500)THEN
        VALUE1=1
      ENDIF

      maxsensor = LDR0+LDR1

      IF (maxsensor<50) THEN
        DEBUG "Start Program Sensor Limit = ",DEC maxsensor,CR
        'PAUSE 1000      ' Delay 100ms.
      ' DEBUG CLS ' Show data read
      GOTO start
    ELSE
      DEBUG "Run Program.....",DEC maxsensor,CR
      'PAUSE 1000      ' Delay 100ms.

```

'DEBUG CLS ' Show data read

```

DEBUG "Reset to 60-90" ,CR
  IF (VALUE0=0) AND (VALUE1=0) THEN
    ' DEBUG "0" ,CR
    GOTO c0
  ELSEIF (VALUE0=1) AND (VALUE1=0) THEN
    'DEBUG "90" ,CR
    FREQOUT SOUND,250,800
    GOTO c90
  ELSEIF (VALUE0=1) AND (VALUE1=1) THEN
    'DEBUG "180" ,CR
    GOTO c270
  ELSEIF (VALUE0=0) AND (VALUE1=1) THEN
    'DEBUG "270" ,CR
    GOTO c270
  ENDIF
ENDIF

```

c0:

```

PAUSE 300
HIGH 11
PAUSE 50
LOW 11
' PAUSE 1000

```

GOTO start

c270:

```

PAUSE 300

```

```

HIGH 11
PAUSE 400
LOW 11
'PAUSE 1000

```

```

GOTO start

```

```

c90: 'scan LDR

```

```

LOW SD : PAUSE 1 : HIGH SD ' Break signal
SEROUT SD,BAUD,[0] ' Request SENSOR0
SERIN SD,BAUD,[VALUE0.LOWBYTE,VALUE0.HIGHBYTE] ' Received data 2 byte to 1
word

```

```

LOW SD : PAUSE 1 : HIGH SD ' Break signal
SEROUT SD,BAUD,[1] ' Request SENSOR0
SERIN SD,BAUD,[VALUE1.LOWBYTE,VALUE1.HIGHBYTE] ' Received data 2 byte to 1
word

```

```

LOW SD : PAUSE 1 : HIGH SD ' Break signal
SEROUT SD,BAUD,[2] ' Request SENSOR0
SERIN SD,BAUD,[LDR0.LOWBYTE,LDR0.HIGHBYTE] ' Received data 2 byte to 1 word
LOW SD : PAUSE 1 : HIGH SD ' Break signal
SEROUT SD,BAUD,[3] ' Request SENSOR0
SERIN SD,BAUD,[LDR1.LOWBYTE,LDR1.HIGHBYTE] ' Received data 2 byte to 1 word
maxsensor = LDR0+LDR1

```

```

IF (VALUE0>500)THEN
    VALUE0=0
ELSEIF (VALUE0<500)THEN
    VALUE0=1
ENDIF

```

```

IF (VALUE1>500)THEN
    VALUE1=0
ELSEIF (VALUE1<500)THEN
    VALUE1=1
ENDIF
IF (maxsensor>max_ldr) THEN
    max_ldr=maxsensor
ELSEIF (maxsensor<max_ldr) THEN
    max_ldr=max_ldr
ENDIF

    DEBUG "Read data = [A]=",DEC maxsensor, " Max ",DEC max_ldr,CR
IF (VALUE0=0) AND (VALUE1=0) THEN
    ' DEBUG "0" ,CR
    GOTO sn0
ELSEIF (VALUE0=1) AND (VALUE1=0) THEN
    ' DEBUG "90" ,CR
    GOTO sn90

ELSEIF (VALUE1=1) THEN
FREQOUT SOUND,250,800
    'PAUSE 5000
    GOTO ldrmax
ENDIF
END

sn0:

PAUSE 80
HIGH 10
PAUSE 20
LOW 10
' PAUSE 300

```

```

GOTO c90
sn90:
    PAUSE 80
    HIGH 10
    PAUSE 20
    LOW 10
    ' PAUSE 1000

GOTO c90

ldrmax:

    'DEBUG "Goto Max Senser",CR

    LOW SD : PAUSE 1 : HIGH SD ' Break signal
    SEROUT SD,BAUD,[2]      ' Request SENSOR0
    SERIN SD,BAUD,[LDR0.LOWBYTE,LDR0.HIGHBYTE] ' Received data 2 byte to 1
word
    LOW SD : PAUSE 1 : HIGH SD ' Break signal
    SEROUT SD,BAUD,[3]      ' Request SENSOR0
    SERIN SD,BAUD,[LDR1.LOWBYTE,LDR1.HIGHBYTE] ' Received data 2 byte to 1
word
    LOW SD : PAUSE 1 : HIGH SD ' Break signal
    SEROUT SD,BAUD,[0]      ' Request SENSOR0
    SERIN SD,BAUD,[VALUE0.LOWBYTE,VALUE0.HIGHBYTE] ' Received data 2 byte
to 1 word
    LOW SD : PAUSE 1 : HIGH SD ' Break signal
    SEROUT SD,BAUD,[1]      ' Request SENSOR0
    SERIN SD,BAUD,[VALUE1.LOWBYTE,VALUE1.HIGHBYTE] ' Received data 2 byte
to 1 word

```

```

IF (VALUE0>500)THEN
    VALUE0=0
ELSEIF (VALUE0<500)THEN
    VALUE0=1
ENDIF

```

```

IF (VALUE1>500)THEN
    VALUE1=0
ELSEIF (VALUE1<500)THEN
    VALUE1=1
ENDIF

```

```

maxsensor = LDR0+LDR1

```

```

IF (maxsensor>max_ldr2) THEN
    max_ldr2=maxsensor
ELSEIF (maxsensor<max_ldr2) THEN
    max_ldr2=max_ldr2
ENDIF

```

```

IF (maxsensor >= max_ldr) THEN
GOTO st
ELSEIF (maxsensor >= max_ldr-2) THEN
GOTO st
ELSEIF (maxsensor >= max_ldr-4) THEN
GOTO st
ELSEIF (VALUE0=1) AND (VALUE1=0) THEN

```

```

'DEBUG "No sensor"

```

```

GOTO ldrmax2

```

```

ELSE

```

```

    DEBUG "Max Sensor =",DEC max_ldr,"-",DEC maxsensor,"****New Max SEnser
=",DEC max_ldr2,CR

```

```

PAUSE 80
HIGH 11
PAUSE 20
LOW 11
'PAUSE 1000
GOTO ldrmax

```

```

ENDIF

```

```

ldrmax2:

```

```

'DEBUG "Goto Max Senser",CR

```

```

LOW SD : PAUSE 1 : HIGH SD ' Break signal
SEROUT SD,BAUD,[2] ' Request SENSOR0
SERIN SD,BAUD,[LDR0.LOWBYTE,LDR0.HIGHBYTE] ' Received data 2 byte to 1
word

```

```

LOW SD : PAUSE 1 : HIGH SD ' Break signal
SEROUT SD,BAUD,[3] ' Request SENSOR0
SERIN SD,BAUD,[LDR1.LOWBYTE,LDR1.HIGHBYTE] ' Received data 2 byte to 1
word

```

```

LOW SD : PAUSE 1 : HIGH SD ' Break signal
SEROUT SD,BAUD,[0] ' Request SENSOR0
SERIN SD,BAUD,[VALUE0.LOWBYTE,VALUE0.HIGHBYTE] ' Received data 2 byte
to 1 word

```

```

LOW SD : PAUSE 1 : HIGH SD ' Break signal
SEROUT SD,BAUD,[1] ' Request SENSOR0
SERIN SD,BAUD,[VALUE1.LOWBYTE,VALUE1.HIGHBYTE] ' Received data 2 byte
to 1 word

```

```

IF (VALUE0>500)THEN
    VALUE0=0
ELSEIF (VALUE0<500)THEN

```

```

        VALUE0=1
    ENDIF

    IF (VALUE1>500)THEN
        VALUE1=0
    ELSEIF (VALUE1<500)THEN
        VALUE1=1
    ENDIF

    maxsensor = LDR0+LDR1

    IF (maxsensor >= max_ldr2) THEN
        GOTO st
    ELSEIF (maxsensor >= max_ldr2-2) THEN
        GOTO st
    ELSEIF (maxsensor >= max_ldr2-4) THEN
        GOTO st
    ELSEIF (VALUE0=0) AND (VALUE1=1) THEN

        'DEBUG "No sensor"

        GOTO start
    ELSE

        DEBUG "Max Sensor =",DEC max_ldr2,"-",DEC maxsensor,CR

        PAUSE 80
        HIGH 10
        PAUSE 20
        LOW 10
        'PAUSE 1000
        GOTO ldrmax2

    ENDIF

```

'-----mortor1-----'

st:

```

    LOW SD : PAUSE 1 : HIGH SD ' Break signal
    SEROUT SD,BAUD,[0]      ' Request SENSOR0
    SERIN SD,BAUD,[VALUE0.LOWBYTE,VALUE0.HIGHBYTE] ' Received data 2 byte
to 1 word

```

```

    LOW SD : PAUSE 1 : HIGH SD ' Break signal
    SEROUT SD,BAUD,[1]      ' Request SENSOR0
    SERIN SD,BAUD,[VALUE1.LOWBYTE,VALUE1.HIGHBYTE] ' Received data 2 byte
to 1 word

```

```

    LOW SD : PAUSE 1 : HIGH SD ' Break signal
    SEROUT SD,BAUD,[2]      ' Request SENSOR0
    SERIN SD,BAUD,[LDR0.LOWBYTE,LDR0.HIGHBYTE] ' Received data 2 byte to 1
word

```

```

    LOW SD : PAUSE 1 : HIGH SD ' Break signal
    SEROUT SD,BAUD,[3]      ' Request SENSOR0
    SERIN SD,BAUD,[LDR1.LOWBYTE,LDR1.HIGHBYTE] ' Received data 2 byte to 1
word

```

```

maxsenser = LDR0+LDR1

```

```

IF (VALUE0>500)THEN
    VALUE0=0
ELSEIF (VALUE0<500)THEN
    VALUE0=1
ENDIF

```

```

IF (VALUE1>500)THEN
    VALUE1=0
ELSEIF (VALUE1<500)THEN
    VALUE1=1
ENDIF

```

```

DEBUG "Read data = [A]=",DEC LDR0, " Read data = [B] ",DEC LDR1,CR

```

```
rate=LDR1-LDR0
```

```
DEBUG "Rate = ",DEC rate
```

```
PAUSE 1000      ' Delay 100ms.
```

```
DEBUG CLS ' Show data read
```

```
IF (rate>150) THEN
```

```
    PAUSE 1000
```

```
    DEBUG "Rate <120"
```

```
    LOW SD : PAUSE 1 : HIGH SD ' Break signal
```

```
    SEROUT SD,BAUD,[2]      ' Request SENSOR0
```

```
    SERIN SD,BAUD,[LDR0.LOWBYTE,LDR0.HIGHBYTE] ' Received data 2 byte to 1
```

```
word
```

```
    LOW SD : PAUSE 1 : HIGH SD ' Break signal
```

```
    SEROUT SD,BAUD,[3]      ' Request SENSOR0
```

```
    SERIN SD,BAUD,[LDR1.LOWBYTE,LDR1.HIGHBYTE] ' Received data 2 byte to 1
```

```
word
```

```
IF (LDR0>LDR1) THEN
```

```
    DEBUG "Senser A<B"
```

```
        PAUSE 80
```

```
        HIGH 10
```

```
        PAUSE 20
```

```
        LOW 10
```

```
        GOTO st
```

```
ELSEIF (LDR1>LDR0) THEN
```

```
    DEBUG "Senser A>B"
```

```
        PAUSE 80
```

```
        HIGH 11
```

```
        PAUSE 20
```

```
        LOW 11
```

```
        GOTO st
```

```
ELSEIF (LDR0<70)AND (LDR1<70) THEN  
GOTO start  
ENDIF
```

```
ELSE  
GOTO st  
ENDIF
```

ภาคผนวก ข
ตารางบันทึกผลการทดลอง

บันทึกผลงานวิจัยชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ แบบ 2 แกน

วันที่ 25 เดือน มิถุนายน พ.ศ.2552

ตาราง 3 ค่าที่วัดได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ลำดับ	เวลา		แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า	พลังงาน
	บันทึก	sec	Volt	mA	Watt	kW-h
1	8.00	3600.00	20.23	300.00	6.07	0.0061
2	9.00	3600.00	20.45	320.00	6.54	0.0065
3	10.00	3600.00	20.55	324.00	6.66	0.0067
4	11.00	3600.00	20.12	333.00	6.70	0.0067
5	12.00	3600.00	20.34	345.00	7.02	0.0070
6	13.00	3600.00	20.66	350.00	7.23	0.0072
7	14.00	3600.00	20.77	373.00	7.75	0.0077
8	15.00	3600.00	20.11	350.00	7.04	0.0070
9	16.00	3600.00	20.22	333.00	6.73	0.0067
10	17.00	3600.00	20.34	345.00	7.02	0.0070

ตาราง 4 ค่าที่วัดได้จากมอเตอร์บน

ลำดับ	เวลา		แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า	พลังงาน
	บันทึก	sec	Volt	mA	Watt	kW-h
1	8.00	100.00	13.06	451.00	5.89	0.0002
2	9.00	100.00	13.06	450.00	5.88	0.0002
3	10.00	101.00	13.65	452.00	6.17	0.0002
4	11.00	101.00	13.06	452.00	5.90	0.0002
5	12.00	100.00	13.06	451.00	5.89	0.0002
6	13.00	100.00	13.06	451.00	5.89	0.0002
7	14.00	101.00	13.05	453.00	5.91	0.0002
8	15.00	100.00	13.05	452.00	5.90	0.0002
9	16.00	101.00	13.05	453.00	5.91	0.0002
10	17.00	101.00	13.05	450.00	5.87	0.0002

ตาราง 5 ค่าที่วัดได้จากมอเตอร์ล่าง

ลำดับ	เวลา		แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า	พลังงาน
	บันทึก	sec	Volt	mA	Watt	kW-h
1	8.00	20.00	13.06	1,201.00	15.69	0.0001
2	9.00	20.00	13.06	1,201.00	15.69	0.0001
3	10.00	21.00	13.65	1,201.00	16.39	0.0001
4	11.00	22.00	13.06	1,201.00	15.69	0.0001
5	12.00	21.00	13.06	1,202.00	15.70	0.0001
6	13.00	20.00	13.06	1,202.00	15.70	0.0001
7	14.00	21.00	13.05	1,200.00	15.66	0.0001
8	15.00	20.00	13.05	1,201.00	15.67	0.0001
9	16.00	20.00	13.05	1,201.00	15.67	0.0001
10	17.00	20.00	13.05	1,200.00	15.66	0.0001

ตาราง 6 ค่าที่วัดได้จาก Microcontrollers

ลำดับ	เวลา		แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า	พลังงาน
	บันทึก	sec	Volt	mA	Watt	kW-h
1	8.00	3600.00	13.06	50.00	0.6530	0.0007
2	9.00	3600.00	13.06	50.00	0.6530	0.0007
3	10.00	3600.00	13.65	50.00	0.6825	0.0007
4	11.00	3600.00	13.06	50.00	0.6530	0.0007
5	12.00	3600.00	13.06	50.00	0.6530	0.0007
6	13.00	3600.00	13.06	50.00	0.6530	0.0007
7	14.00	3600.00	13.05	50.00	0.6525	0.0007
8	15.00	3600.00	13.05	50.00	0.6525	0.0007
9	16.00	3600.00	13.05	50.00	0.6525	0.0007
10	17.00	3600.00	13.05	50.00	0.6525	0.0007

วันที่ 26 เดือน มิถุนายน พ.ศ.2552

ตาราง 7 ค่าที่วัดได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ลำดับ	เวลา		แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า	พลังงาน
	บันทึก	sec	Volt	mA	Watt	kW-h
1	8.00	3600.00	19.90	350.00	4.3780	0.0044
2	9.00	3600.00	19.90	350.00	4.3780	0.0044
3	10.00	3600.00	19.90	330.00	5.3480	0.0053
4	11.00	3600.00	19.77	390.00	6.3360	0.0063
5	12.00	3600.00	19.76	370.00	4.5360	0.0045
6	13.00	3600.00	19.28	390.00	5.4520	0.0055
7	14.00	3600.00	19.23	385.00	5.1800	0.0052
8	15.00	3600.00	19.30	385.00	5.0960	0.0051
9	16.00	3600.00	19.25	380.00	4.7000	0.0047
10	17.00	3600.00	19.30	380.00	4.7000	0.0047

ตาราง 8 ค่าที่วัดได้จากมอเตอร์บน

ลำดับ	เวลา		แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า	พลังงาน
	บันทึก	sec	Volt	mA	Watt	kW-h
1	8.00	100.00	13.07	450.00	5.8815	0.0002
2	9.00	100.00	13.07	450.00	5.8815	0.0002
3	10.00	101.00	13.07	453.00	5.9207	0.0002
4	11.00	101.00	13.06	452.00	5.9031	0.0002
5	12.00	100.00	13.06	450.00	5.8770	0.0002
6	13.00	100.00	13.06	451.00	5.8901	0.0002
7	14.00	101.00	13.05	453.00	5.9117	0.0002
8	15.00	100.00	13.05	452.00	5.8986	0.0002
9	16.00	101.00	13.05	451.00	5.8856	0.0002
10	17.00	101.00	13.05	451.00	5.8856	0.0002

ตาราง 9 ค่าที่วัดได้จากมอเตอร์ล่าง

ลำดับ	เวลา		แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า	พลังงาน
	บันทึก	sec				
			Volt	mA	Watt	kW-h
1	8.00	20.00	13.07	1,200.00	15.6840	0.0001
2	9.00	20.00	13.07	1,200.00	15.6840	0.0001
3	10.00	21.00	13.07	1,201.00	15.6971	0.0001
4	11.00	22.00	13.06	1,201.00	15.6851	0.0001
5	12.00	21.00	13.06	1,202.00	15.6981	0.0001
6	13.00	20.00	13.06	1,202.00	15.6981	0.0001
7	14.00	21.00	13.05	1,200.00	15.6600	0.0001
8	15.00	20.00	13.05	1,201.00	15.6731	0.0001
9	16.00	20.00	13.05	1,201.00	15.6731	0.0001
10	17.00	20.00	13.05	1,201.00	15.6731	0.0001

ตาราง 10 ค่าที่วัดได้จาก Microcontrollers

ลำดับ	เวลา		แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า	พลังงาน
	บันทึก	sec				
			Volt	mA	Watt	kW-h
1	8.00	3600.00	13.07	50.00	0.6535	0.0007
2	9.00	3600.00	13.07	50.00	0.6535	0.0007
3	10.00	3600.00	13.07	50.00	0.6535	0.0007
4	11.00	3600.00	13.06	50.00	0.6530	0.0007
5	12.00	3600.00	13.06	50.00	0.6530	0.0007
6	13.00	3600.00	13.06	50.00	0.6530	0.0007
7	14.00	3600.00	13.05	50.00	0.6525	0.0007
8	15.00	3600.00	13.05	50.00	0.6525	0.0007
9	16.00	3600.00	13.05	50.00	0.6525	0.0007
10	17.00	3600.00	13.05	50.00	0.6525	0.0007

วันที่ 27 เดือน มิถุนายน พ.ศ.2552

ตาราง 11 ค่าที่วัดได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ลำดับ	เวลา		แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า	พลังงาน
	บันทึก	sec	Volt	mA	Watt	kW-h
1	8.00	3600.00	19.90	350.00	6.9650	0.0070
2	9.00	3600.00	19.90	350.00	6.9650	0.0070
3	10.00	3600.00	19.90	330.00	6.5670	0.0066
4	11.00	3600.00	19.77	390.00	7.7103	0.0077
5	12.00	3600.00	19.76	370.00	7.3112	0.0073
6	13.00	3600.00	19.28	390.00	7.5192	0.0075
7	14.00	3600.00	19.23	385.00	7.4036	0.0074
8	15.00	3600.00	19.30	385.00	7.4305	0.0074
9	16.00	3600.00	19.25	380.00	7.3150	0.0073
10	17.00	3600.00	19.30	380.00	7.3340	0.0073

ตาราง 12 ค่าที่วัดได้จากมอเตอร์บน

ลำดับ	เวลา		แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า	พลังงาน
	บันทึก	sec	Volt	mA	Watt	kW-h
1	8.00	100.00	13.06	451.00	5.8901	0.0002
2	9.00	100.00	13.06	450.00	5.8770	0.0002
3	10.00	101.00	13.65	452.00	6.1698	0.0002
4	11.00	101.00	13.06	452.00	5.9031	0.0002
5	12.00	100.00	13.06	451.00	5.8901	0.0002
6	13.00	100.00	13.06	451.00	5.8901	0.0002
7	14.00	101.00	13.05	453.00	5.9117	0.0002
8	15.00	100.00	13.05	452.00	5.8986	0.0002
9	16.00	101.00	13.05	453.00	5.9117	0.0002
10	17.00	101.00	13.05	450.00	5.8725	0.0002

ตาราง 13 ค่าที่วัดได้จากมอเตอร์ล่าง

ลำดับ	เวลา		แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า	พลังงาน
	บันทึก	sec	Volt	mA	Watt	kW-h
1	8.00	20.00	13.06	1,201.00	15.6851	0.0001
2	9.00	20.00	13.06	1,201.00	15.6851	0.0001
3	10.00	21.00	13.65	1,201.00	16.3937	0.0001
4	11.00	22.00	13.06	1,201.00	15.6851	0.0001
5	12.00	21.00	13.06	1,202.00	15.6981	0.0001
6	13.00	20.00	13.06	1,202.00	15.6981	0.0001
7	14.00	21.00	13.05	1,200.00	15.6600	0.0001
8	15.00	20.00	13.05	1,201.00	15.6731	0.0001
9	16.00	20.00	13.05	1,201.00	15.6731	0.0001
10	17.00	20.00	13.05	1,200.00	15.6600	0.0001

ตาราง 14 ค่าที่วัดได้จาก Microcontrollers

ลำดับ	เวลา		แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า	พลังงาน
	บันทึก	sec	Volt	mA	Watt	kW-h
1	8.00	3600.00	13.06	50.00	0.6530	0.0007
2	9.00	3600.00	13.06	50.00	0.6530	0.0007
3	10.00	3600.00	13.65	50.00	0.6825	0.0007
4	11.00	3600.00	13.06	50.00	0.6530	0.0007
5	12.00	3600.00	13.06	50.00	0.6530	0.0007
6	13.00	3600.00	13.06	50.00	0.6530	0.0007
7	14.00	3600.00	13.05	50.00	0.6525	0.0007
8	15.00	3600.00	13.05	50.00	0.6525	0.0007
9	16.00	3600.00	13.05	50.00	0.6525	0.0007
10	17.00	3600.00	13.05	50.00	0.6525	0.0007

บันทึกผลงานวิจัยชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์อยู่กับที่

วันที่ 25 เดือน มิถุนายน พ.ศ.2552

ตาราง 15 ค่าที่วัดได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ลำดับ	เวลา		แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า	พลังงาน
	บันทึก	sec	Volt	mA	Watt	kW-h
1	8.00	3600.00	14.01	90.00	1.2609	0.0013
2	9.00	3600.00	14.92	130.00	1.9396	0.0019
3	10.00	3600.00	15.68	175.00	2.7440	0.0027
4	11.00	3600.00	17.33	220.00	3.8126	0.0038
5	12.00	3600.00	18.48	290.00	5.3592	0.0054
6	13.00	3600.00	20.66	330.00	6.8178	0.0068
7	14.00	3600.00	18.55	370.00	6.8635	0.0069
8	15.00	3600.00	18.30	250.00	4.5750	0.0046
9	16.00	3600.00	17.01	165.00	2.8067	0.0028
10	17.00	3600.00	16.95	80.00	1.3560	0.0014

วันที่ 26 เดือน มิถุนายน พ.ศ.2552

ตาราง 16 ค่าที่วัดได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

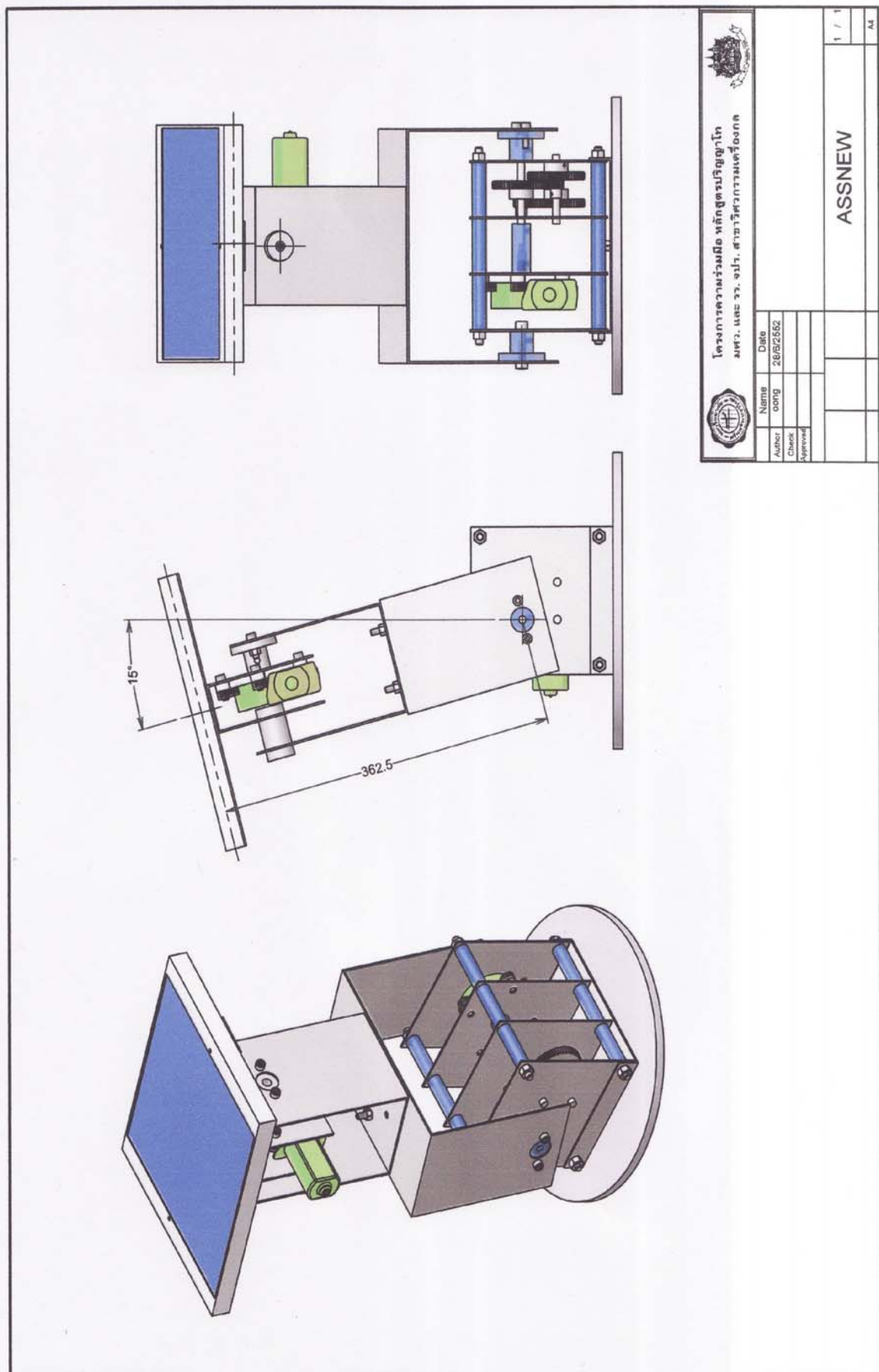
ลำดับ	เวลา		แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า	พลังงาน
	บันทึก	sec	Volt	mA	Watt	kW-h
1	8.00	3600.00	18.90	180.00	3.4020	0.0034
2	9.00	3600.00	18.90	180.00	3.4020	0.0034
3	10.00	3600.00	18.30	260.00	4.7580	0.0048
4	11.00	3600.00	18.40	240.00	4.4160	0.0044
5	12.00	3600.00	18.30	120.00	2.1960	0.0022
6	13.00	3600.00	18.70	80.00	1.4960	0.0015
7	14.00	3600.00	17.90	60.00	1.0740	0.0011
8	15.00	3600.00	18.10	40.00	0.7240	0.0007
9	16.00	3600.00	17.80	50.00	0.8900	0.0009
10	17.00	3600.00	17.80	50.00	0.8900	0.0009

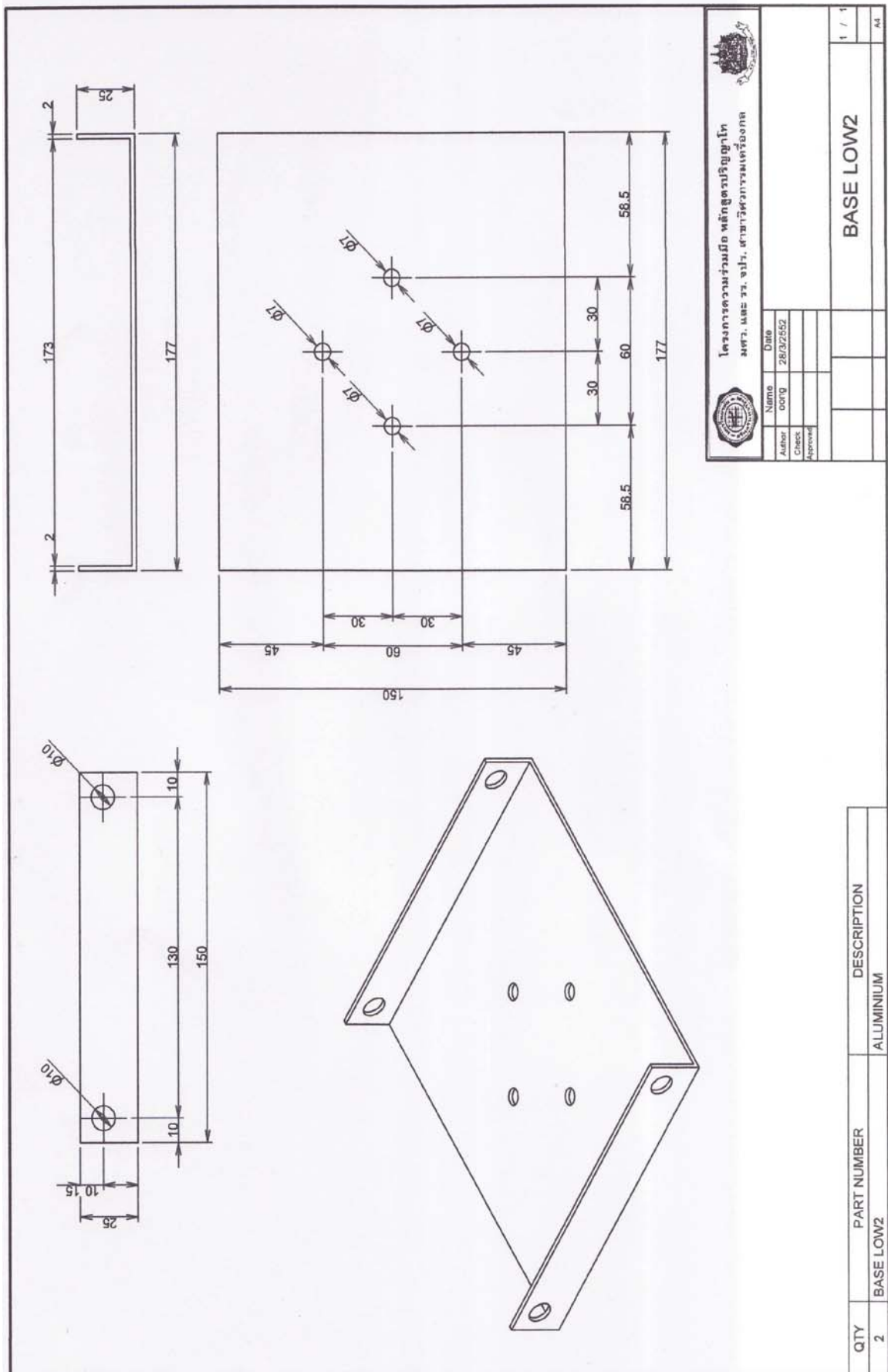
วันที่ 27 เดือน มิถุนายน พ.ศ.2552

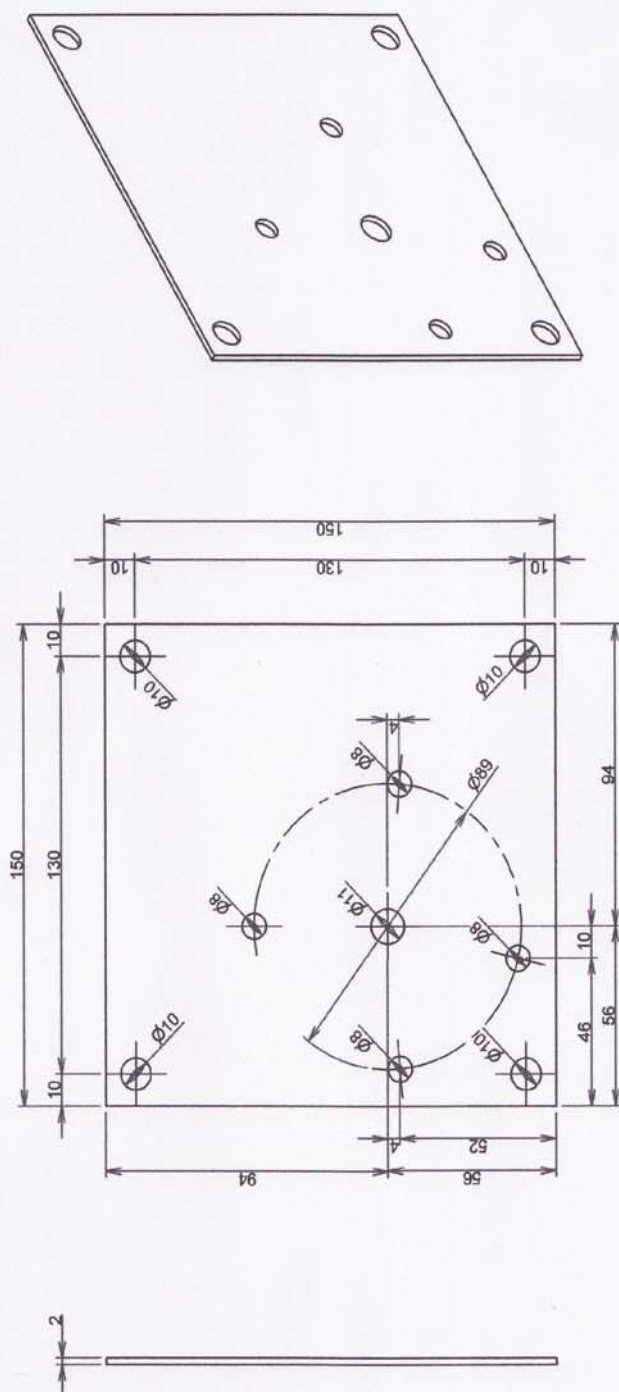
ตาราง 17 ค่าที่วัดได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ลำดับ	เวลา		แรงดัน Volt	กระแส mA	กำลังไฟฟ้า Watt	พลังงาน kW-h
	บันทึก	sec				
1	8.00	3600.00	18.90	280.00	5.2920	0.0053
2	9.00	3600.00	19.30	290.00	5.5970	0.0056
3	10.00	3600.00	18.70	295.00	5.5165	0.0055
4	11.00	3600.00	18.71	340.00	6.3614	0.0064
5	12.00	3600.00	19.09	340.00	6.4906	0.0065
6	13.00	3600.00	18.72	220.00	4.1184	0.0041
7	14.00	3600.00	17.90	220.00	3.9380	0.0039
8	15.00	3600.00	17.95	100.00	1.7950	0.0018
9	16.00	3600.00	17.85	80.00	1.4280	0.0014
10	17.00	3600.00	17.85	70.00	1.2495	0.0012

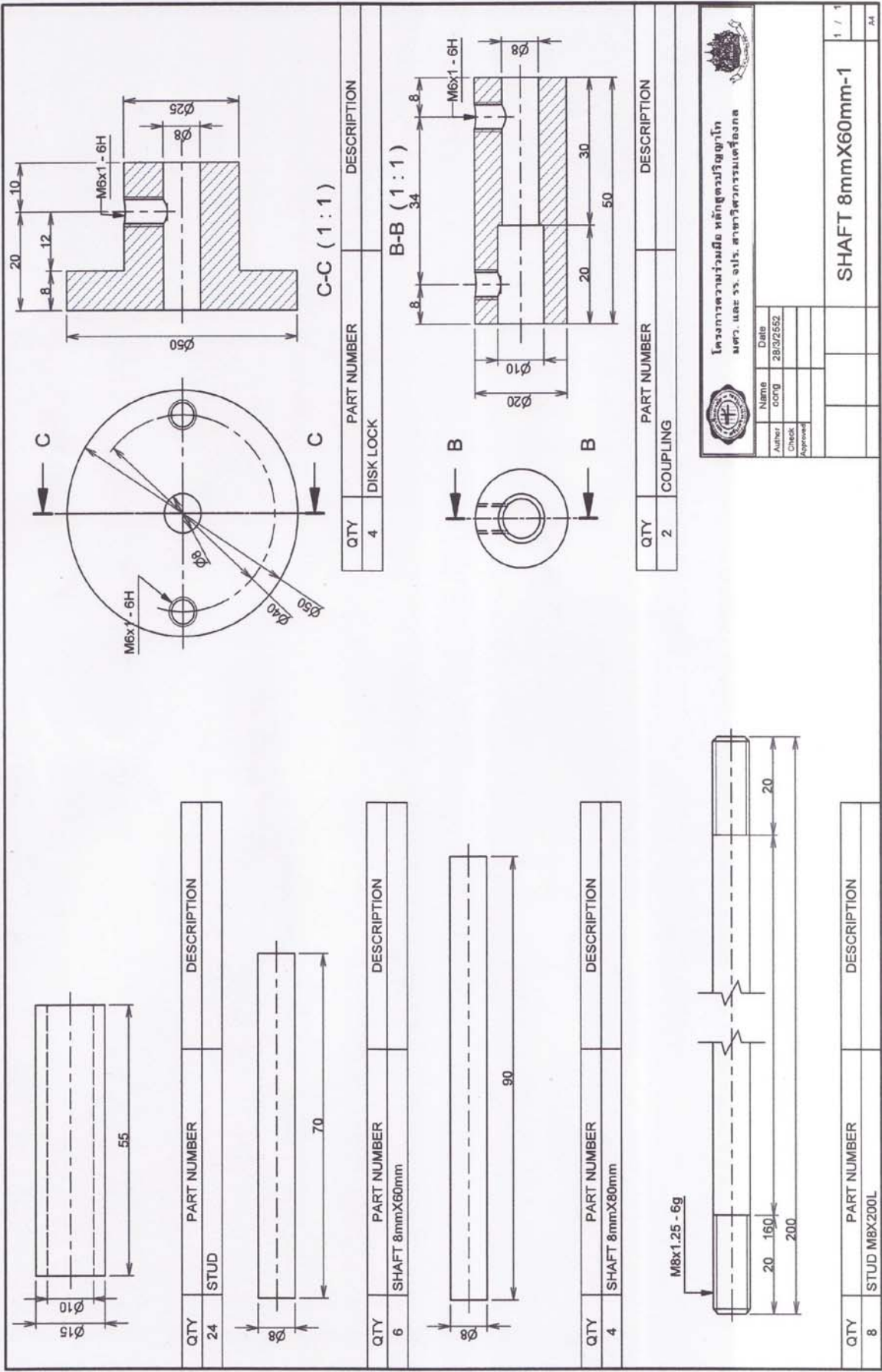
ภาคผนวก ค
แบบขนาดโครงสร้าง

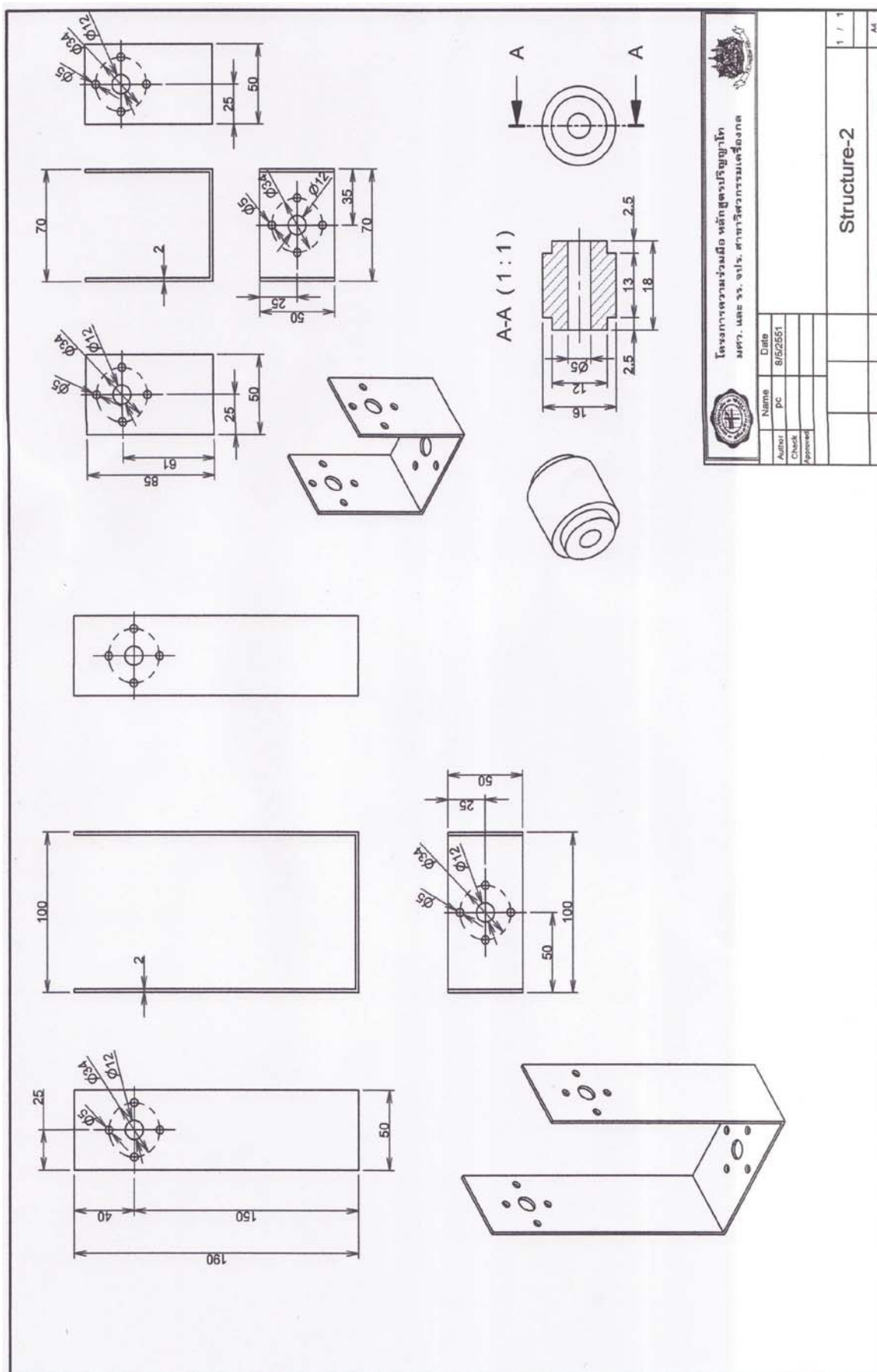


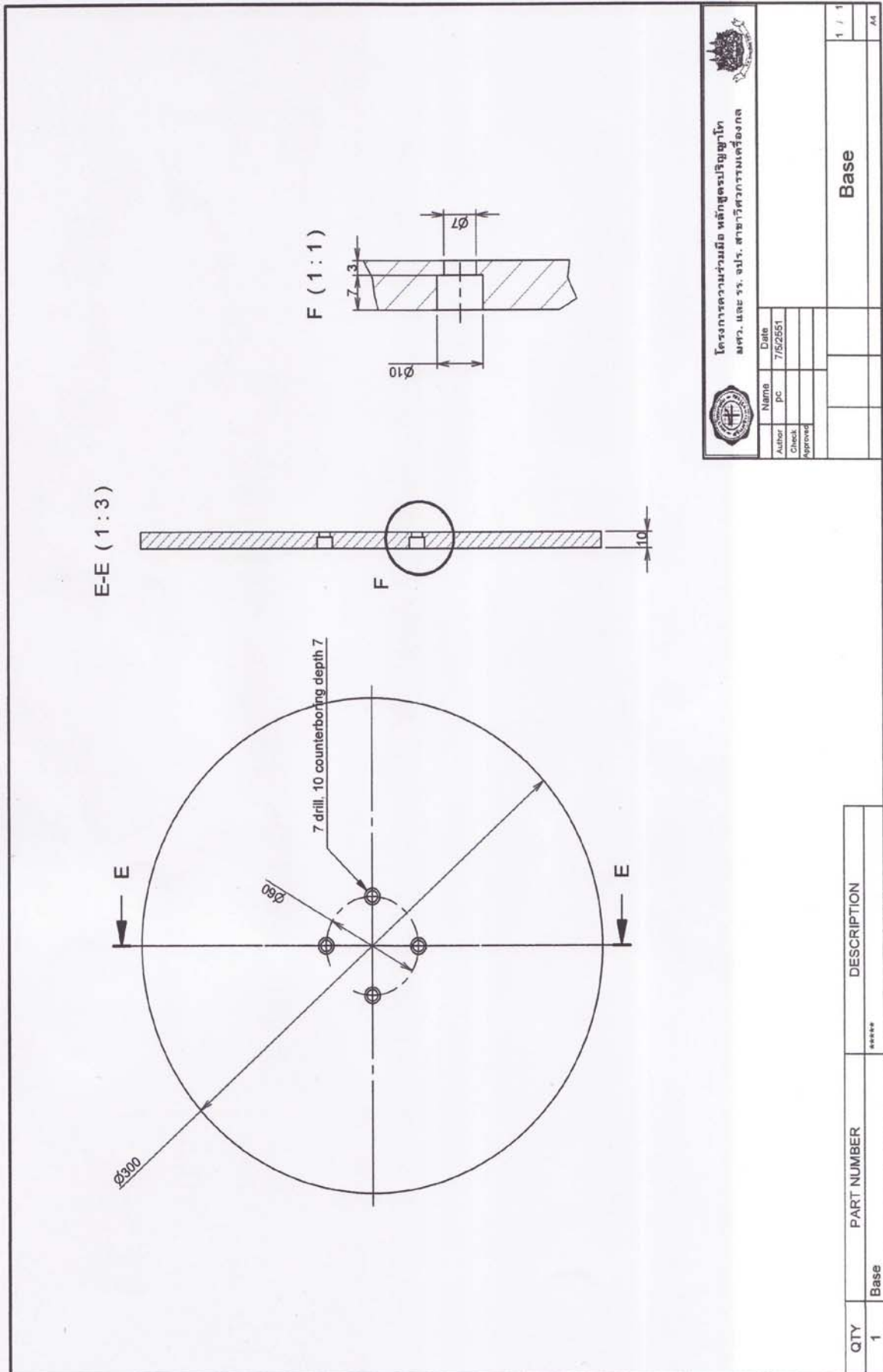


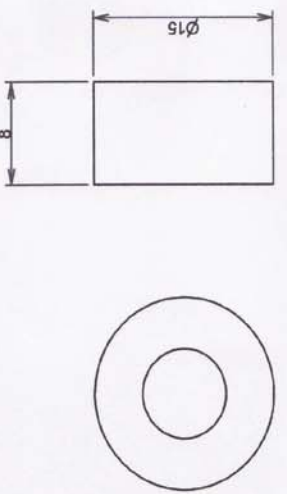
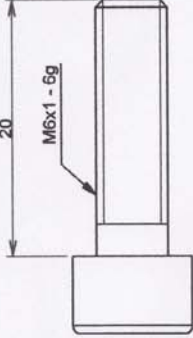
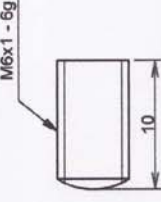


	1 / 1		AM
	PLATE GEAR MOTOR		
	Date 28/3/2552		
Author Check approved			







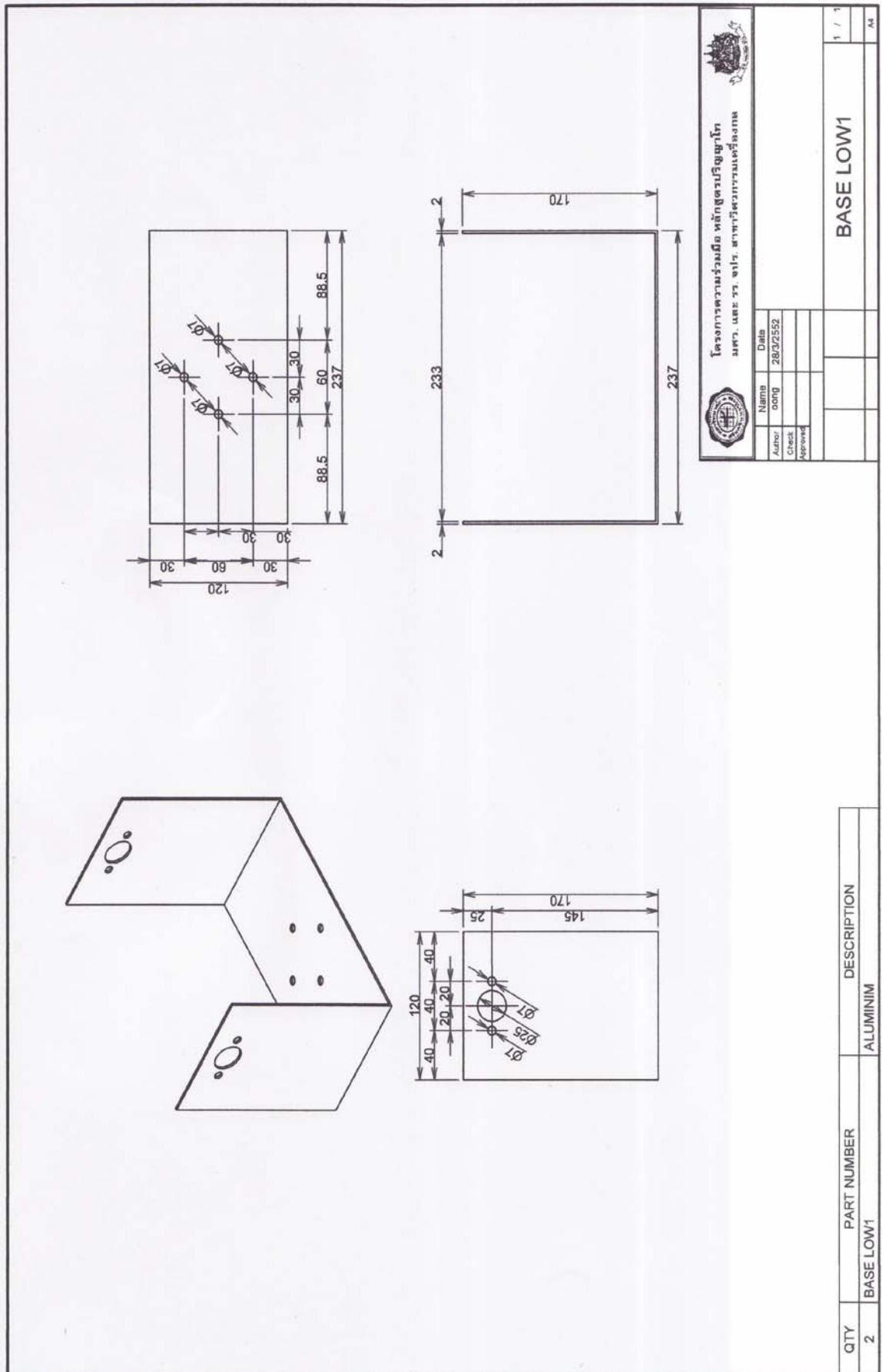
																	
<table border="1"><thead><tr><th>ITEM</th><th>QTY</th><th>PART NUMBER</th><th>DESCRIPTION</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>1</td><td>BUSH</td><td></td></tr></tbody></table>	ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION	1	1	BUSH		<table border="1"><thead><tr><th>ITEM</th><th>QTY</th><th>PART NUMBER</th><th>DESCRIPTION</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>1</td><td>local.JIS.26.610.8</td><td>Cylinder Head Cap Screw</td></tr></tbody></table>	ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION	1	1	local.JIS.26.610.8	Cylinder Head Cap Screw
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION														
1	1	BUSH															
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION														
1	1	local.JIS.26.610.8	Cylinder Head Cap Screw														
																	
<table border="1"><thead><tr><th>ITEM</th><th>QTY</th><th>PART NUMBER</th><th>DESCRIPTION</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>1</td><td>local.JIS.40.350.8</td><td>Hexagon Socket Set Screw - Oval Point</td></tr></tbody></table>	ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION	1	1	local.JIS.40.350.8	Hexagon Socket Set Screw - Oval Point	<table border="1"><thead><tr><th>ITEM</th><th>QTY</th><th>PART NUMBER</th><th>DESCRIPTION</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>1</td><td>local.JIS.89.20.8</td><td>Hex Nut</td></tr></tbody></table>	ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION	1	1	local.JIS.89.20.8	Hex Nut
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION														
1	1	local.JIS.40.350.8	Hexagon Socket Set Screw - Oval Point														
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION														
1	1	local.JIS.89.20.8	Hex Nut														



โครงการความร่วมมือ หลักสูตรปริญญาโท
มศว. และ รร. จปร. สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

Name	Date
pc	7/5/2551
pc	
pc	
pc	

ASS	
1	1
A4	



ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	รัตนพงศ์ เสาศิลา
วันเดือนปีเกิด	6 ธันวาคม 2523
สถานที่เกิด	อ.บุขันธ์ จ.ศรีสะเกษ
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	198/1 บ้านกันทรารมย์ ต.กันทรารมย์ อ.บุขันธ์ จ.ศรีสะเกษ 33140
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	วิศวกรฝ่ายขาย
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัทไทยเอเยนซีเอ็นยีเนียร์ริงจำกัด 9 อาคารวรสิน ชั้น 2-3 ซ.ยาสูบ2 ถ.วิภาวดีรังสิต แขวงจอมพล เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2542	มัธยมศึกษาปีที่ 6 จาก โรงเรียนราชดำริ แขวงดอกไม้ เขตประเวศ กรุงเทพฯ
พ.ศ. 2546	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร) จาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี
พ.ศ. 2553	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ