

การศึกษาระบบติดตามดวงอาทิตย์

A STUDY OF SUN TRACKING SYSTEM

นางสาวกมลชนก ดีเมฆ

นาสภิตติพิศ

นายชยุต

ดีเมฆ

เจียรวัฒนานุกุล

เบ็ญแก้วกระจ่าง

โครงการพิเศษเป็นความร่วมมือของภาควิชาการศึกษาด้านคณิตศาสตร์ วิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๕๖

การศึกษาระบบติดตามดวงอาทิตย์  
A STUDY OF SUN TRACKING SYSTEM

นางสาวกมลชนก ดีเมฆ  
นายกิตติพิศ เจียรวัฒนานุกูล  
นายชยุต เบี้ยแก้วกระจ่าง

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2556

# **A STUDY OF SUN TRACKING SYSTEM**

**Miss. KAMONCHANOK DEEMEK**

**Mr. KITTIPHOT                      JIANWATTANANUKUL**

**Mr. CHAYUT                         BIAKEAWKRACHANG**




**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OR SCIENCE  
IN APPLIED PHYSICS  
FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2013**

หัวข้อโครงการพิเศษ      โมเดลของระบบติดตามดวงอาทิตย์  
A STUDY OF SUN TRACKING SYSTEM

ชื่อนักศึกษา                      นางสาวกมลชนก ดีเมฆ  
   นายกิตติพิศ              เจียรวัฒนานุกุล  
   นายชยุต                      เบี้ยแก้วกระจ่าง

ปริญญา                              วิทยาศาสตร์บัณฑิต  
สาขาวิชา                            ฟิสิกส์  
อาจารย์ที่ปรึกษา                    รองศาสตราจารย์สาหร่าย เล็กชะอุ่ม

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้  
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์  
ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.อาภาภรณ์ สกุกการะเวก	
ดร.ณัฐพร พรหมรส	
ดร. กิรยุทธ์ ศรีนวลจันทร์	
รศ.สาหร่าย เล็กชะอุ่ม	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาระบบติดตามดวงอาทิตย์
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกมลชนก ดีเมฆ
	นายกิตติพิศ เจียรวัฒนานุกูล
	นายชยุต เบี้ยแก้วกระจ่าง
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. สาหรัย เล็กชะอุม

### บทคัดย่อ

การศึกษาระบบติดตามดวงอาทิตย์ ประกอบด้วยการสร้างและออกแบบโมเดลขนาดเล็กซึ่งมีมอเตอร์ RC Servo Motor 2 ตัว รุ่น MG995 ซึ่งมีความเร็วในการหมุน 0.20 sec/60 degree ที่ 4.8 V และโปรแกรม ARM-7 มอเตอร์ตัวที่ 1 ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ในแนวอะซิมูท และมอเตอร์ตัวที่ 2 ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ในแนวอัลติจูด การทดสอบระบบติดตามดวงอาทิตย์ แบ่งออกเป็น 2 ตอน คือ ตอนแรกการทดสอบความแม่นยำของมอเตอร์ทั้งในแนวอะซิมูทและในแนวอัลติจูดเพื่อทดสอบความคลาดเคลื่อนในทางทฤษฎีเทียบกับการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมและตอนที่สองการทดสอบการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์เพื่อการหาตำแหน่งความเข้มแสงที่ใช้ในการติดตามดวงอาทิตย์และหาความคลาดเคลื่อนของ LDR ที่ใช้เป็นตัวตรวจจับความเข้มแสง และพบว่าตำแหน่งความเข้มแสงที่กำหนดให้กับมอเตอร์ของ LDR ตัวที่ 1 , 2 , 3 , 4 เท่ากับ 850 , 825 , 900 , 800 ตามลำดับและความคลาดเคลื่อนของตัวตรวจจับความเข้มแสง LDR ตัวที่ 1 , 2 , 3 , 4 เท่ากับ 12.05% , 16.65% , 19.21% , 15.92% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเราสามารถนำการศึกษาในเรื่องนี้ไปพัฒนาต่อยอดเพื่อที่จะประยุกต์ใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ร่วมแสงหรือ เครื่องยนต์สเตอร์ริงได้ต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ : พลังงานทดแทน , ระบบติดตามดวงอาทิตย์

<b>Title</b>	A STUDY OF SUN TRACKING SYSTEM
<b>Students</b>	Miss. Kamonchanok Deemek Mr. Kittiphot Jianwattananukul Mr. Chayut Biakeawkrachang
<b>Degree</b>	Bachelor of Science
<b>Major Program</b>	Physics
<b>Academic Year</b>	2013
<b>Advisor</b>	Assist Prof. Sarai Lekchaum

### ABSTRACT

A study of sun tracking system includes a creation and design of small prototype with 2 RC Servo motors : MG995 a speed rotation 0.20 sec/60 degree at 4.8 V and ARM-7 program. The first motor is used to control movement in a horizontal and the second motor is used to control movement in a vertical. The test of sun tracking system is divided in two steps. Step1 is test of accuracy of motors in vertical and horizontal for testing a deviation in theory compared to program that we used for controlling. Step 2 is testing of operation of sun tracking system to find a position of light intensity that is used in this system and to find the error movement of LDR (Light Depending Resistance) that used as light detector. The result showed that positions of light intensity used to determine the motors of LDR 1 , 2 , 3 , 4 were 850 , 825 , 900 , 800 , respectively and the error of used LDR as light intensity detector 1,2,3,4 were 12.05% , 16.65% , 19.21% , 15.92% , respectively. It is shown that in the future we can develop this project for application of other devices such as solar cell and stirling engine .

**Keywords :** Solar track , Renewable energy

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาของอาจารย์สาโรจน์ ชูอำไพ ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณนายสมภัทร แพรกนกแก้ว เจ้าหน้าที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ให้ความรู้ในเรื่องของบอร์ด Arm-7 และคอยให้คำปรึกษาในการเลือกใช้วัสดุและมอเตอร์

ขอขอบคุณเพื่อนๆนักศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ทุกๆท่านที่ให้ความสนใจและคอยช่วยเหลือในด้านคำปรึกษา ความรู้ในการใช้โปรแกรม Solid works

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่เมตตาประสิทธิ์ประสาทวิชาและให้การอบรมสั่งสอนตั้งแต่การศึกษาภาคบังคับจนถึงปัจจุบัน

ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์สาหร่าย เล็กชะอุ่ม ที่คอยสอนทุกอย่างทั้งในด้านวิชาความรู้ และในด้านการใช้ชีวิต

กราบขอบพระคุณ พ่อ แม่ และญาติพี่น้องทุกท่านที่คอยอุปการะทุนการศึกษาเล่าเรียนและเป็นกำลังใจด้วยดีตลอดมา

นางสาวกมลชนก ดีเมฆ

นายกิตติพิศ เจียรวัฒนานุกุล

นายชยุต เบ็ญแก้วกระจ่าง

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	IX
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>4</b>
2.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	4
2.2 ประเภทรังสีที่ผิวโลกและมวลอากาศ	4
2.3 ระบบควบคุมการติดตามดวงอาทิตย์	8
2.4 เซอร์โวมอเตอร์	9
2.5 บอร์ดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM-7	11
2.6 แอลดีอาร์	16
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b>	
3.1 การศึกษาระบบติดตามดวงอาทิตย์	20
3.2 การสร้างและออกแบบระบบติดตามดวงอาทิตย์	21
3.3 การสร้างและออกแบบโปรแกรมติดตามดวงอาทิตย์ผ่านบอร์ด	23
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล</b>	
4.1 การทดสอบและวิเคราะห์ความแม่นยำของค่ามุมในแนว	43
แกนอะซิมุทและแนวแกนอัลติจูดของโมเดลของระบบติดตามดวงอาทิตย์	

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 การทดสอบและวิเคราะห์การติดตามดวงอาทิตย์ด้วยเซ็นเซอร์ LDR แกนอะซิมูทและแนวแกนอัลติจูดของโมเดลของระบบติดตามดวงอาทิตย์	87
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	104
เอกสารอ้างอิง	

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
2.1	รังสีตรง	4
2.2	รังสีกระจาย	5
2.3	รังสีรวม	5
2.4	สัดส่วนของความหนาของบรรยากาศที่รังสีตรงส่องผ่าน ต่อความหนาของบรรยากาศ	5
2.5	แสดงมุมซิมิทที่เกิดจากดวงอาทิตย์	6
2.6	แสดงทิศทางมุมอะซิมุทและทิศทางมุมอัลติจูด	6
2.7	แสดงเส้นละติจูด	7
2.8	แสดงมุมชั่วโมง	7
2.9	แสดงมุมอัลติจูดดวงอาทิตย์	7
2.10	แสดงมุมอะซิมุทพื้นดิน	8
2.11	แสดงส่วนประกอบต่างๆของมอเตอร์	10
2.12	จุดอ้างอิงสัญญาณความกว้างของพัลส์	11
2.13	แสดงแผนภาพแกนกลาง ARM	12
2.14	แสดงรูปของแอลดีอาร์ทั่วไป	14
2.15	โครงสร้างภายในของไอซี LPC2138	15
2.16	แสดงรูปของแอลดีอาร์ทั่วไป	17
2.17	แสดงโครงสร้างของแอลดีอาร์	17
2.18	ตัวอย่างกราฟแสดงความไวต่อแสงความถี่ต่างๆของ LDR ทั้ง 2 แบบ เมื่อเทียบกับความไวของตาคน	18
2.19	ผลของการเปลี่ยนความเข้มแสงในทันทีทันใดกับ LDR	19
3.1	แผนภาพแสดงการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์	20
3.2	แสดงโมเดลของระบบติดตามดวงอาทิตย์	21
3.3	ตัวอุปกรณ์ LDR	21
3.4	Power Supply ชนิด Regulator Module 5VDC/3AMP	22
3.5	แสดงโครงสร้างทางกล ก) ส่วนเคลื่อนที่แนวอัลติจูด ข) ส่วนเคลื่อนที่แนวอะซิมุท	22
3.6	แสดงบอร์ด CP-JR ARM7 LPC2138 EXP	23

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.7 (ก) แสดงส่วนประกอบของบอร์ด CP-JR ARM7 LPC2138 EXP หมายเลข 1- 4	23
3.7 (ข) แสดงส่วนประกอบของบอร์ด CP-JR ARM7 LPC2138 EXP หมายเลข 5 – 10	24
3.8 การสร้าง New Project	24
3.9 สร้างไฟล์เคอร์สำหรับเก็บไฟล์ต่างๆของ Project	25
3.10 การเซฟชื่องาน	25
3.11 การเลือกใช้เบอร์ของ MCU	25
3.12 การตอบรับ Copy และ Add file Startup code	26
3.13 แสดงชื่อไฟล์ที่ Add ใน Project Workspace	26
3.14 วิธีการเพิ่มกรู๊ป	27
3.15 การเปลี่ยน ลบ เพิ่ม Project , Groups	27
3.16 การเปิด File new... เพื่อเขียน Source Code	27
3.17 การเซฟไฟล์ภาษา C	28
3.18 ขั้นตอนการ Add file Source Code”main.c”	28
3.19 แสดงไฟล์ “main.com”	28
3.20 การคอมไพล์ของโปรแกรม Keil	29
3.21 การใช้งาน โปรแกรม Philips LPC2000 Flash Utility	29
3.22 การกำหนดค่าของPLL,VPB โดยใช้ Configuration wizard	30
3.23 แสดงขาของ 7 Segment ชนิด Common Cathode	32
3.24 แสดงตำแหน่งการต่อสายไฟ	32
3.25 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมที่ควบคุมการหมุนของมอเตอร์	42
4.1 ส่วนประกอบอุปกรณ์ในการทดสอบหาค่าความแม่นยำความกว้างพัลส์	44
4.2 คาบเวลาและจุดอ้างอิงตำแหน่งองศาของเซอร์โวมอเตอร์	45
4.3 แสดง code ภาษาซีควบคุมการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์ในตำแหน่งมุม 0°-180°	46
แนวแกนอะซิมุท	
4.4 เครื่องมือเครื่องวงกลม	47
4.5 แสดงคาบเวลาที่ใช้เท่ากับ 20 ms	60
4.6 กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของมุมในแต่ละองศาที่แนวแกนอะซิมุท	86
4.7 กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของมุมในแต่ละองศาที่แนวแกนอัลติจูด	87
4.8 แสดงการจัดอุปกรณ์ในการทดลอง	88

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 แสดงวงจร Divider	97
4.10 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดัน วันที่14-03-2557	99
4.11 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดัน วันที่15-03-2557	<b>99</b>
4.12 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดัน วันที่15-03-2557	100
4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับค่าคลาดเคลื่อนของ LDR ตัวที่1	103
4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับค่าคลาดเคลื่อนของ LDR ตัวที่ 2	103
4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับค่าคลาดเคลื่อนของ LDR ตัวที่ 3	104
4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับค่าคลาดเคลื่อนของ LDR ตัวที่ 4	104

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงผลการวัดมุมที่ได้จากค่าความกว้างพัลส์ที่ป้อนให้กับ โปรแกรม ในแนวแกนอะซิมุท	47
4.2 แสดงผลการวัดมุมที่ได้จากค่าความกว้างพัลส์ที่ป้อนให้กับ โปรแกรม ในแนวแกนอัลติจูด	53
4.3 แสดงภาพความกว้างสัญญาณพัลส์ที่ได้จาก Oscilloscope ในแนวแกนอะซิมุท	60
4.4 แสดงภาพความกว้างสัญญาณพัลส์ที่ได้จาก Oscilloscope ในแนวแกนอัลติจูด	67
4.5 แสดงความคลาดเคลื่อนระหว่างทฤษฎีกับผลการทดลองในแนวแกนอะซิมุท	73
4.6 แสดงความคลาดเคลื่อนระหว่างทฤษฎีกับผลการทดลองในแนวแกนอัลติจูด	79
4.7 แสดงค่าแรงดันที่ตกคร่อม LDR ขณะรับแสงที่ 9:00 น.- 16:00 น. ณ วันที่ 14/03/2557	89
4.8 ค่าที่ได้จาก Hyperterminal ของ LDR แต่ละตัว ที่ 9:00 น.- 16:00 น. ณ วันที่ 14/03/2557	90
4.9 ค่า $V_{out}$ ที่คำนวณได้จากสมการที่ 4.3 (ทฤษฎี) ที่ 9:00 น.- 16:00 น. ณ วันที่ 14/03/2557	90
4.10 ค่า $V_{RI}$ ที่คำนวณได้จากสมการ 4.4 (ทฤษฎี) ที่ 9:00 น.- 16:00 น. ณ วันที่ 14/03/2557	91
4.11 แสดงค่าแรงดันที่ตกคร่อม LDR ขณะรับแสง ที่ 9:00 น.- 16:00 น. ณ วันที่ 15/03/2557	92
4.12 ค่าที่ได้จาก Hyperterminal ของ LDR แต่ละตัว ที่ 9:00 น.- 16:00 น. ณ วันที่ 15/03/2557	92
4.13 ค่า $V_{out}$ ที่คำนวณได้จากทฤษฎี ที่ 9:00 น.- 16:00 น. ณ วันที่ 15/03/2557	93
4.14 ค่า $V_{RI}$ ที่คำนวณได้จากการทดลอง ที่ 9:00 น.- 16:00 น. ณ วันที่ 15/03/2557	94
4.15 แสดงค่าแรงดันที่ตกคร่อม LDR ขณะรับแสง ที่ 9:00 น.- 16:00 น. ณ วันที่ 16/03/2557	94
4.16 ค่าที่ได้จาก Hyperterminal ของ LDR แต่ละตัว ที่ 9:00 น.- 16:00 น. ณ วันที่ 16/03/2557	95
4.17 ค่า $V_{out}$ ที่คำนวณได้จากทฤษฎี ที่ 9:00 น.- 16:00 น. ณ วันที่ 16/03/2557	96
4.18 ค่า $V_{out}$ ที่คำนวณได้จากทฤษฎี ที่ 9:00 น.- 16:00 น. ณ วันที่ 16/03/2557	96
4.19 แสดงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของ LDR ของวันที่ 14/03/2557	101
4.20 แสดงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของ LDR ของวันที่ 15/03/2557	101
4.21 แสดงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของ LDR ของวันที่ 16/03/2557	102

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันการศึกษาเรื่องของการนำพลังงานทางเลือกมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นที่สนใจมาก และพลังงานทางเลือกที่ได้รับความนิยม คือพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานแสงอาทิตย์จัดเป็นหนึ่งในพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพสูง ปราศจากมลพิษทางสิ่งแวดล้อม อีกทั้งเกิดใหม่ได้ไม่สิ้นสุด และยังเป็นต้นกำเนิดของพลังงานน้ำ พลังงานเคมีในอาหาร และเป็นต้นกำเนิดพลังงานคลื่น นอกจากนี้ พลังงานความร้อนใต้พิภพก็ยังถือว่ามีรากฐานมาจากความร้อนจากดวงอาทิตย์อีกด้วย ดังนั้น พลังงานแสงอาทิตย์หรือรังสีอาทิตย์หากนำมาใช้ร่วมกับเทคโนโลยีการผลิตกระแสไฟฟ้าในปัจจุบัน นับได้ว่ามีความน่าสนใจเป็นอย่างมาก ซึ่งปัจจุบันการสร้างอุปกรณ์เปลี่ยนแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ไปสู่รูปแบบพลังงานไฟฟ้า มีการศึกษามากมาย อาทิเช่น เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cells) รางพาราโบลา จานสะท้อนแบบพาราโบลา (Parabolic reflector) แต่เนื่องจากดวงอาทิตย์มีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ดังนั้นอุปกรณ์ต่างๆที่เปลี่ยนแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ไปสู่รูปแบบพลังงานไฟฟ้าจึงมีข้อจำกัดในเรื่องของประสิทธิภาพ ด้วยเหตุผลที่กล่าวไว้ข้างต้นในปัจจุบันจึงได้มีการศึกษาและนำระบบติดตามดวงอาทิตย์ (Sun-tracking System) มาใช้ ร่วมกับอุปกรณ์ที่เปลี่ยนแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ไปสู่รูปแบบพลังงานไฟฟ้า

ระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ใช้ร่วมกับจานพาราโบลาจะใช้หลักการติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าในแต่ละวันโดยอัตโนมัติ โดยใช้ซอฟต์แวร์ในการควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ซึ่งซอฟต์แวร์จะทำหน้าที่ประมวลผลความเข้มของแสง และจะสั่งงานมายัง เซ็นเซอร์ตรวจวัดแสง ทำให้จานพาราโบลาหมุนเข้าหาแสงอาทิตย์ตลอดเวลา จึงทำให้พื้นผิวของจานพาราโบลาอยู่ในมุมที่ได้รับแสงอาทิตย์เต็มที่ ระบบติดตามดวงอาทิตย์มีการทำงานติดตามดวงอาทิตย์ 2 แบบ คือ 1. แบบแกนเดียว (มุมอะซิมุต หรือ มุมอัลติจูด) 2. แบบสองแกน (มุมอะซิมุต และ มุมอัลติจูด) เป็นต้น ดังนั้นระบบติดตามดวงอาทิตย์จึงมีความสำคัญในการช่วยเพิ่มการทำงานและประสิทธิภาพของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ให้สูงขึ้น

โครงการวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะออกแบบและสร้าง โมเดลของระบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยมุ่งเน้นนำไปใช้ประโยชน์ร่วมกับจานพาราโบลาเพื่อรับและรวมความเข้มจากแสงดวงอาทิตย์

เพื่อนำไปใช้ประยุกต์เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนให้กับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า  
ได้ต่อไปในอนาคต

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. สร้างและออกแบบระบบควบคุมและติดตามดวงอาทิตย์
2. ศึกษารูปแบบและการทำงานของมอเตอร์เพื่อนำมาใช้กับระบบติดตามดวงอาทิตย์
3. ศึกษาและสร้างโปรแกรมควบคุมตำแหน่งติดตามดวงอาทิตย์ ผ่านบอร์ดควบคุม ARM-7

โดยใช้ภาษาซี

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. สร้างระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยอัตโนมัติโดยใช้ RC Sero motor
2. ออกแบบโปรแกรมควบคุมมอเตอร์เพื่อใช้ในการควบคุมและสั่งการให้มอเตอร์หมุนตามมุมอะซิมุตและมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์

## 1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานของมุมอะซิมุต มุมอัลติจูด ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์
2. ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับหลักการทำงานของ RC Servo motor มอเตอร์เบื้องต้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ Board ARM-7 วงจรแหล่งจ่ายไฟ
3. ออกแบบและสร้างวงจรขับเคลื่อน RC Servo motor จำนวน สองชุดพร้อมชุดทดสอบ และวงจรแหล่งจ่ายไฟที่เหมาะสม กลายเป็นกล่องควบคุมดีซี เซอร์โวมอเตอร์
4. สร้างโปรแกรมควบคุม RC Servo motor เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการติดตามดวงอาทิตย์ โดยใช้ภาษาซี
5. ติดตั้งดีซี เซอร์โวมอเตอร์ พร้อมทั้งกล่องควบคุมที่สร้างขึ้น
6. ทดสอบการทำงานและประสิทธิภาพของโมเดลของระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ควบคุมแบบอัตโนมัติที่สร้างขึ้นและหาความละเอียดและแม่นยำ สูงสุดที่สามารถเคลื่อนได้

ตารางที่ 1.1 แนวทางการดำเนินการ

แผนการ ดำเนินการ	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1. เสนอ งานวิจัย												
2. ศึกษาหา ข้อมูล												
3. ศึกษา เครื่องต้นแบบ												
4. จัดอุปกรณ์ และวัสดุ												
5. ออกแบบ และสร้าง												
6. ทดสอบ ประสิทธิภาพ												
7. วิเคราะห์ผล การทดลอง												
8. สรุปผลและ จัดทำรูปเล่ม												

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับความรู้เรื่องของพลังงานทดแทนและนำไปสู่การพัฒนาตนเองและสังคม
2. ได้รับความรู้ในเรื่องของโครงสร้างพื้นฐานมอเตอร์ RC SERVO MOTOR และวิธีการคำนวณเพื่อเลือกใช้มอเตอร์ให้เข้ากับงานที่ต้องการ
3. ได้รับความรู้ในเรื่องของการใช้โปรแกรมควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ของ RC SERVO MOTOR
4. ได้รับความรู้ในเรื่องของการใช้ บอร์ด ARM-7 โปรแกรมเดี่ยว และวงจรรีเลย์ทรอนิกส์

## บทที่ 2

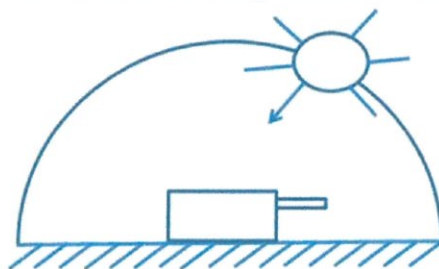
# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

“แสงอาทิตย์” เป็นแหล่งพลังงานธรรมชาติที่มีขนาดใหญ่ที่สุด เป็นพลังงานสะอาดและมีอยู่ทั่วไป แต่การนำมาใช้ประโยชน์อาจยังมีข้อจำกัดอยู่บ้างเนื่องจากแสงอาทิตย์มีเฉพาะในตอนกลางวันตลอดจนมีความเข้มของแสงที่ไม่แน่นอน เพราะขึ้นอยู่กับสภาพอากาศและฤดูกาลที่เปลี่ยนไปแสงอาทิตย์เกิดจากปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์ในดวงอาทิตย์ เมื่อแสงอาทิตย์เดินทางมาถึงนอกชั้นบรรยากาศของโลก จะมีความเข้มของแสงโดยเฉลี่ยประมาณ 1,350 วัตต์/ตารางเมตร แต่ว่าจะลงมาถึงพื้นโลก พลังงานบางส่วนต้องสูญเสียไปเมื่อผ่านชั้นบรรยากาศต่างๆ ที่ห่อหุ้มโลก เช่น ชั้นโอโซน ชั้นไอน้ำ ชั้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ความเข้มของแสงลดลงเหลือประมาณ 1,000 วัตต์/ตารางเมตร (หรือประมาณร้อยละ 70) ปริมาณแสงอาทิตย์ที่ได้รับบนพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง จะมีปริมาณสูงสุดเมื่อพื้นที่นั้นทำมุมตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ ดังนั้นหากต้องการให้พื้นที่ใดรับแสงอาทิตย์ได้มากที่สุดต่อวัน ก็จะต้องปรับพื้นที่รับแสงนั้นๆ ตามการเคลื่อนที่ของแสงอาทิตย์ ซึ่งจะเคลื่อนที่จากทิศตะวันออกไปสู่ทิศตะวันตกเสมอ นอกจากนั้น จากการศึกษาของโลโก้ ทำให้ซีกโลกเหนือหันหน้าเข้าหาดวงอาทิตย์ในฤดูร้อน และซีกโลกใต้หันหน้าเข้าหาดวงอาทิตย์ในฤดูหนาว ดังนั้นเราจึงต้องปรับมุมพื้นที่รับแสงนั้นๆ ในแนวเหนือใต้ (มุมก้มและมุมเงย) ให้สอดคล้องตามฤดูกาลด้วย เพื่อให้พื้นที่นั้นๆ รับแสงอาทิตย์ได้มากที่สุดตลอดทั้งปีประเทศไทยตั้งอยู่ระหว่างเส้นขนานที่ 6-10 องศาเหนือ จะได้รับแสงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี ประมาณ 4-5 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตารางเมตร/วัน ซึ่งหากสามารถปรับพื้นที่รับแสงให้ติดตามแสงอาทิตย์ได้ตลอดเวลาแล้ว คาดว่าจะสามารถรับแสงได้เพิ่มขึ้นอีกประมาณ 1.3-1.5 เท่า

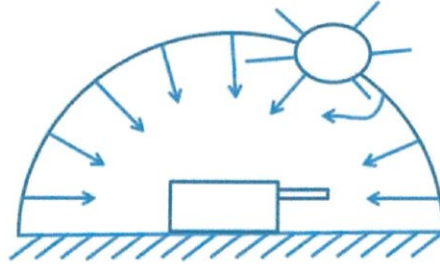
### 2.2 ประเภทรังสีที่ผิวโลกและมวลอากาศ

1. รังสีตรง(Beam or Direct Radiation) คือ รังสีที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรงและตกลงบนผิวรับรังสี มีทิศทางแน่นอนที่เวลาหนึ่งเวลาใด ทิศทางของรังสีตรงอยู่ในแนวลำแสงอาทิตย์



รูปที่ 2.1 แสดงรังสีตรง

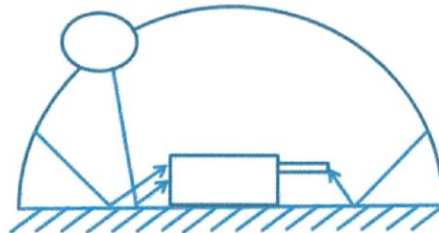
2. รังสีกระจาย(Diffuse Radiation) คือ รังสีอาทิตย์ส่วนที่ถูกสะท้อนจากบรรยากาศของโลกและวัตถุต่าง ๆ ที่อยู่ในทางเดินของแสงก่อนตกกระทบผิวรับรังสี รังสีกระจายนี้มาจากทุกทิศทางของท้องฟ้า



รูปที่2.2 แสดงรังสีกระจาย

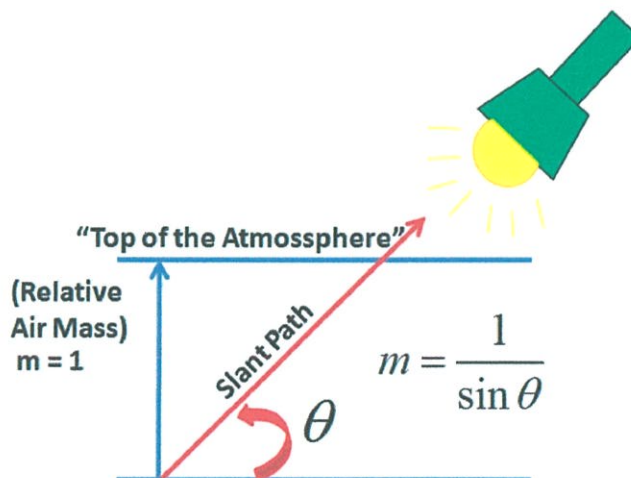
3. รังสีรวม(Total or Global Radiation) คือ ผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจายที่ตกกระทบผิวรับรังสี ในกรณีที่ผิวรับรังสีเป็นแผ่นราบที่วางเอียงกับแนวระดับ รังสีรวมจะประกอบด้วยรังสีตรงจากท้องฟ้า รังสีกระจายจากท้องฟ้าและผิวโลก เรียกรังสีรวมนี้ว่า Total Radiation

ถ้าสำหรับกรณีที่ผิวรับรังสีเป็นแผ่นราบที่วางในแนวระดับ รังสีรวมจะมาจากครึ่งทรงกลมท้องฟ้าไม่มีส่วนที่มาจากผิวโลก เรียกรังสีรวมในกรณีนี้ว่า Global Radiation



รูปที่2.3 แสดงรังสีรวม

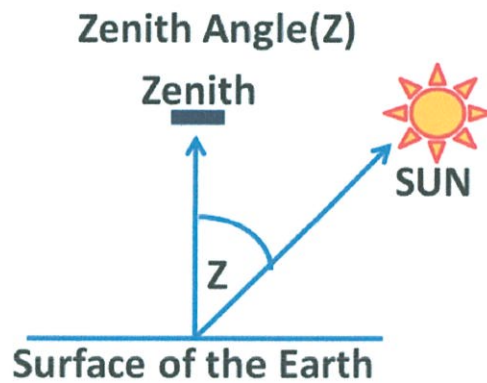
#### 4. มวลอากาศ (Air Mass)



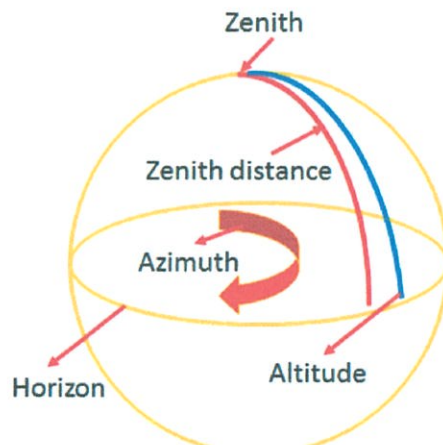
รูปที่2.4 สัดส่วนของความหนาของบรรยากาศที่รังสีตรงส่องผ่าน ต่อความหนาของบรรยากาศ

$$m = \sec \theta_z$$

คือ สัดส่วนของความหนาของบรรยากาศที่รังสีตรงส่องผ่าน ต่อความหนาของบรรยากาศเมื่อดวงอาทิตย์อยู่ที่ตำแหน่งเหนือศีรษะ บริเวณนอกบรรยากาศกำหนดให้มวลอากาศมีค่าเท่ากับศูนย์ ถ้ามุมซีนิธมีค่าระหว่าง 0 องศา ถึง 70 องศา จะสามารถหาค่ามวลอากาศที่ระดับน้ำทะเลได้จากความสัมพันธ์ที่ระดับน้ำทะเล เมื่อดวงอาทิตย์อยู่เหนือศีรษะ (= 0 องศา) จะได้มวลอากาศเท่ากับ 1 และเมื่อมุมซีนิธเท่ากับ 60 องศา มวลอากาศจะเท่ากับ 2



รูปที่ 2.5 แสดงมุมซีนิทที่เกิดจากดวงอาทิตย์



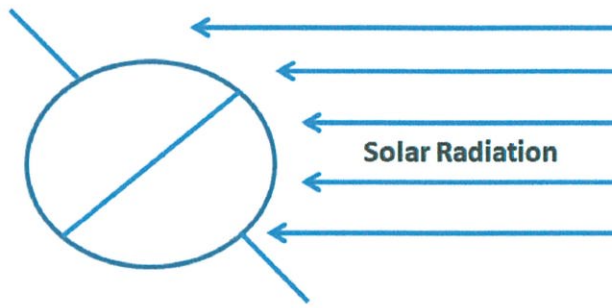
รูปที่ 2.6 แสดงทิศทางมุมอะซิมุทและทิศทางมุมอัลติจูด

#### 5. ทิศทางของรังสีตรง

ความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตระหว่างระนาบของโลกที่เวลาใด ๆ กับรังสีตรง หรือตำแหน่งของดวงอาทิตย์เมื่อเทียบกับระนาบ สามารถอธิบายได้โดยใช้มุมต่าง ๆ ดังนี้

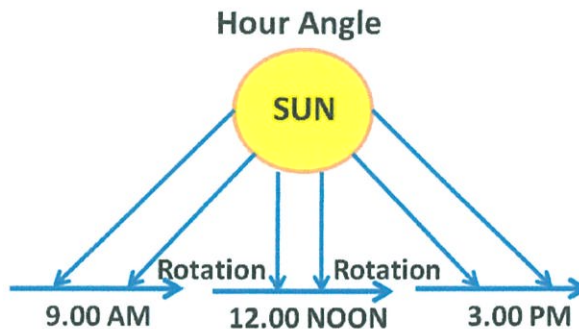
1. ละติจูด (Latitude) คือ มุมที่อยู่ทางทิศเหนือหรือทิศใต้ของเส้นศูนย์สูตร เมื่อวัดไปทางทิศเหนือ กำหนดให้มีค่าเป็นบวก และเป็นลบเมื่อวัดไปทางทิศใต้ ละติจูดมีค่าอยู่ระหว่าง -90 องศาถึง 90 องศา

Latitude ( $\phi$ ) on the earth effects the angle of solar radiation & contributes to climate Zones on earth (Polar climate near poles and tropical climate near the equator)



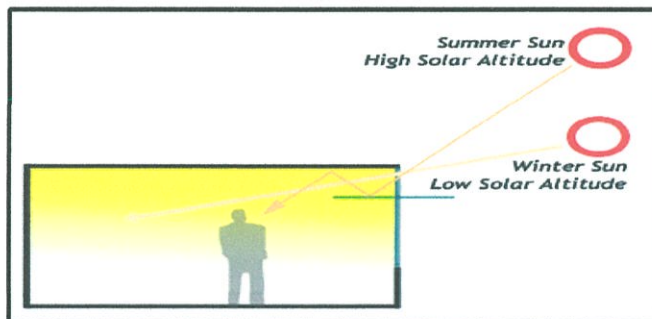
รูปที่ 2.7 แสดงเส้นละติจูด

2. มุมชั่วโมง (Hour Angle) คือ มุมที่แทนตำแหน่งของดวงอาทิตย์จากเมอริเดียนท้องถิ่นไปทาง ตะวันออกหรือตะวันตก มีค่าเป็นลบในช่วงเวลาก่อนเที่ยงสุริยะ และเป็นบวกหลังเที่ยงสุริยะ โดยมีค่า 15 องศาต่อชั่วโมง



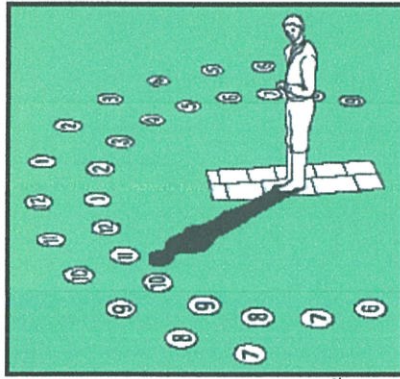
รูปที่ 2.8 แสดงมุมชั่วโมง

3. มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ (Solar Altitude Angle) คือมุมระหว่างพื้นราบกับแนวลำแสงอาทิตย์



รูปที่ 2.9 แสดงมุมอัลติจูดดวงอาทิตย์

4. มุมอะซิมุทพื้นดิน (Surface Azimuth Angle) คือมุมระหว่างทิศใต้กับทิศทางการหันหน้าของแผง รับรังสีอาทิตย์ มีค่าอยู่ในช่วง -180 องศา ถึง 180 องศา โดยเป็นศูนย์เมื่อหันไปทางทิศใต้ เป็นบวกเมื่อหัน ไปทางตะวันตก และเป็นลบเมื่อหันไปทางตะวันออก



รูปที่ 2.10 แสดงมุมอะซิมูทพื้นดิน

5. มุมอะซิมูทดวงอาทิตย์ (Solar Azimuth Angle) คือมุมระหว่างระนาบแนวตั้งของดวงอาทิตย์และระนาบของเมอริเดียนท้องถิ่น โดยกำหนดให้วัดจากทิศใต้ของระนาบแนวตั้งดวงอาทิตย์ไปทางตะวันตกมีค่าเป็นบวก วัดไปทางตะวันออกมีค่าเป็นลบ และมีค่าเป็นศูนย์ที่ทิศใต้มุมอะซิมูทดวงอาทิตย์มีค่าอยู่ในช่วง - 180 องศา ถึง 180 องศา

### 2.3 ระบบควบคุมการติดตามดวงอาทิตย์

ระบบควบคุมการติดตามดวงอาทิตย์จะมีตำแหน่งหรือทิศทางของดวงอาทิตย์เป็นตัวควบคุมทิศทางของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบจะมีการตรวจจับทิศทางของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับทิศทางจริงของดวงอาทิตย์ตลอดเวลาเมื่อมีความแตกต่างของทิศทางทั้งสองเกิดขึ้น ตัวเปรียบเทียบทิศทางจะส่งสัญญาณออกไปควบคุมให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์หมุนไปตามทิศทางของดวงอาทิตย์เพื่อลดความแตกต่างของทิศทางทั้งสอง ความผิดพลาดในการติดตามดวงอาทิตย์ของระบบนั้นจะขึ้นอยู่กับความไวของตัวเปรียบเทียบ ทิศทางของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับทิศทางจริงของดวงอาทิตย์

โครงสร้างของ โมเดลของระบบติดตามดวงอาทิตย์ ระบบควบคุมการติดตามดวงอาทิตย์จะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆที่สำคัญดังนี้คือ

1. ระบบตรวจจับและเปรียบเทียบทิศทาง
2. ระบบควบคุม
3. ระบบต้นกำลังขับเคลื่อนชิ้นงาน

1. ระบบตรวจจับและเปรียบเทียบทิศทาง อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับทิศทางของดวงอาทิตย์และแผงเซลล์โดยทั่วไปจะเป็น อุปกรณ์ที่มีความไวต่อแสง เช่น Photovoltaic device, Photoconductive device เป็นต้น สำหรับการเปรียบเทียบทิศทางจะอาศัยความเข้มของแสงที่ตกกระทบอุปกรณ์ไวแสง ซึ่งทำได้สองวิธีคือ

- (1). การวางอุปกรณ์ไวแสงให้มีทิศต่างกัน
- (2). การบังให้เกิดเงา

2. ระบบควบคุม จะทำหน้าที่รับสัญญาณจากตัวเปรียบเทียบทิศทางเพื่อใช้ในการควบคุมให้ตัวต้นกำลัง ขับเคลื่อนชิ้นงานไปอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้ระนาบชิ้นงานตั้งฉากกับทิศทางของดวงอาทิตย์ระบบควบคุมจะประกอบไปด้วย

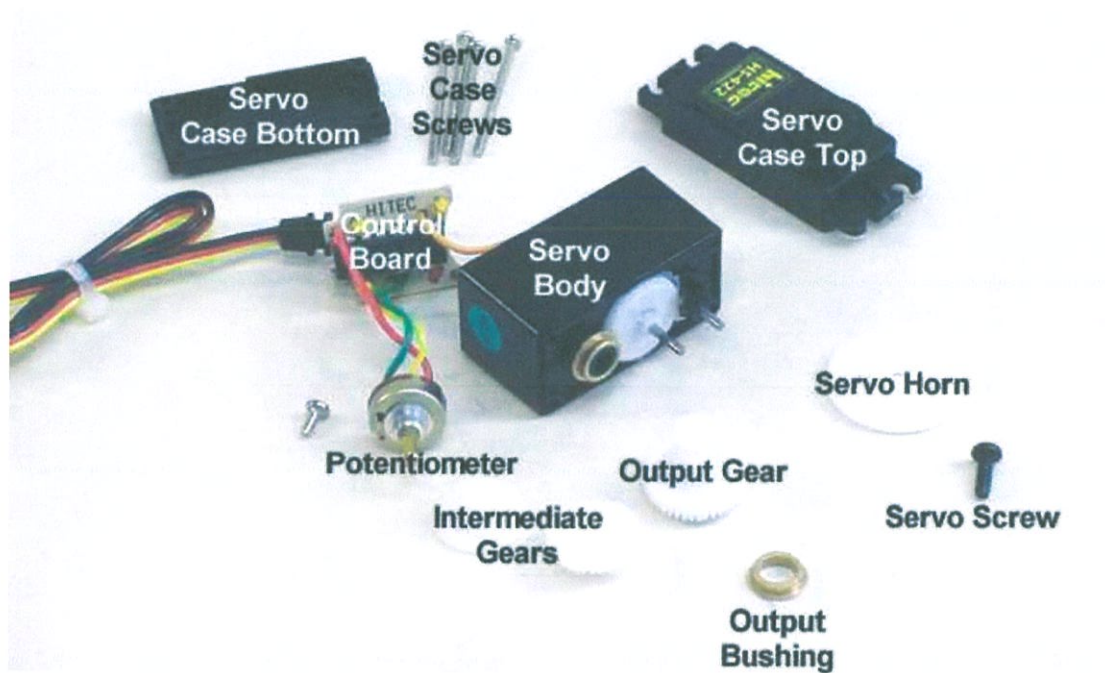
- (1). หน่วยรับสัญญาณ จะทำหน้าที่รับสัญญาณจากตัวเปรียบเทียบ
- (2). หน่วยขยายและปรับปรุงสัญญาณ อาจจะทำหน้าที่เพียงขยายสัญญาณที่ได้รับเข้าหรืออาจมีการปรับปรุงสัญญาณ
- (3). หน่วยขยายกำลัง จะทำหน้าที่ขยายกระแสและแรงดันเพื่อให้มีกำลังเพียงพอสำหรับการขับนำตัวต้นกำลัง
- (4). หน่วยควบคุมทิศทาง จะทำหน้าที่ควบคุมทิศทางการขับนำของตัวต้นกำลัง โดยอาศัยข้อมูลจากตัวเปรียบเทียบทิศทาง

3. ระบบต้นกำลังขับเคลื่อนชิ้นงาน ระบบต้นกำลังขับเคลื่อนจะทำหน้าที่ขับเคลื่อนชิ้นงาน โดยได้รับ การควบคุมจาก ระบบควบคุม ซึ่งระบบต้นกำลังขับเคลื่อนประกอบไปด้วย มอเตอร์ไฟฟ้า และเฟือง โดยมอเตอร์ไฟฟ้า ที่ใช้โดยทั่วไปจะใช้มอเตอร์กระแสตรง เนื่องจากควบคุมความเร็วได้ ง่ายเหมาะกับแหล่งพลังงานที่มีคือกระแส ไฟตรงจากแบตเตอรี่

## 2.4 เซอร์โวมอเตอร์

คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC motor) ที่ถูกประกอบรวมกับ ชุดเกียร์ และส่วนควบคุม ต่างๆ ไว้ในโมดูลเดียวกัน หรือภายในกล่องพลาสติกเดียวกัน โดยมอเตอร์ชนิดนี้จะมีสายต่อใช้งานเพียง 3 เส้นเท่านั้น คือ VCC,GNDและ สายสัญญาณควบคุม(Control Line) ซึ่งสามารถควบคุมให้มอเตอร์หมุนซ้าย หรือ ขวาได้จากสายสัญญาณเพียงเส้นเดียว โดยสัญญาณที่ใช้ควบคุมนี้จะเป็นสัญญาณ พัลส์วีดมอด (PWM) แบบ TTL Level ระดับแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์นี้จะอยู่ในช่วงประมาณ 4 ถึง 6 โวลต์ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมอเตอร์แต่ละตัว ข้อดีของมอเตอร์ชนิดนี้ก็คือจะมีขนาดเล็กน้ำหนักเบา , ให้แรงบิดสูง , กินพลังงานน้อย และสามารถควบคุม ด้วยแรงดันลอจิกที่เป็น TTL ได้โดยตรงไม่จำเป็นต้องต่อวงจรขับ(Driver) อื่นๆ เพราะมอเตอร์ชนิดนี้จะมีวงจรควบคุมบรรจุไว้ภายในอยู่แล้ว ซึ่งมอเตอร์ชนิดนี้สามารถควบคุมให้หมุนไปในตำแหน่ง หรือ ทิศทางองศาที่ต้องการได้ โดยอาศัยสัญญาณความกว้างพัลส์ ที่ป้อนให้มอเตอร์ แต่เซอร์โวมอเตอร์นี้จะหมุนได้แค่เพียงในช่วงประมาณ 180° หรือ ครึ่งรอบเท่านั้น หรือ บางรุ่นอาจหมุนได้ถึง 210° แต่จะไม่สามารถหมุนเป็นวงรอบได้เนื่องจากโครงสร้างภายในจะประกอบด้วย ตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ (VR) ที่ทำหน้าที่ตรวจสอบตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ และ ตัวต้านทานนี้จะถูกยึดติดกับแกนหมุนของมอเตอร์ ซึ่งจากการที่ตัวต้านทานปรับค่านี้ไม่สามารถหมุนเป็นวงรอบได้ ดังนั้น เซอร์โวมอเตอร์จึงถูกออกแบบให้หมุนได้เพียงแค่ประมาณ 180 องศา หรือ ครึ่งรอบเท่านั้น เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับตัวต้านทานปรับค่าได้ แต่ถ้าหากเราต้องการให้มอเตอร์หมุนเป็นวงรอบ (360°) นั้นก็สามารถทำได้ โดยจะต้องทำการปรับแต่ง (Modify) คัดแปลงชิ้นส่วนบางอย่างของมอเตอร์

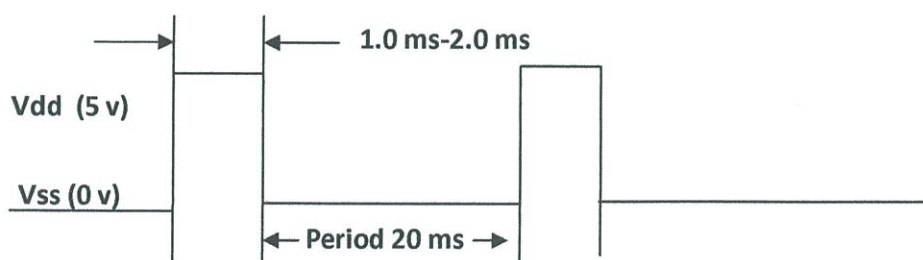
## ส่วนประกอบต่างๆของ Servo Motor

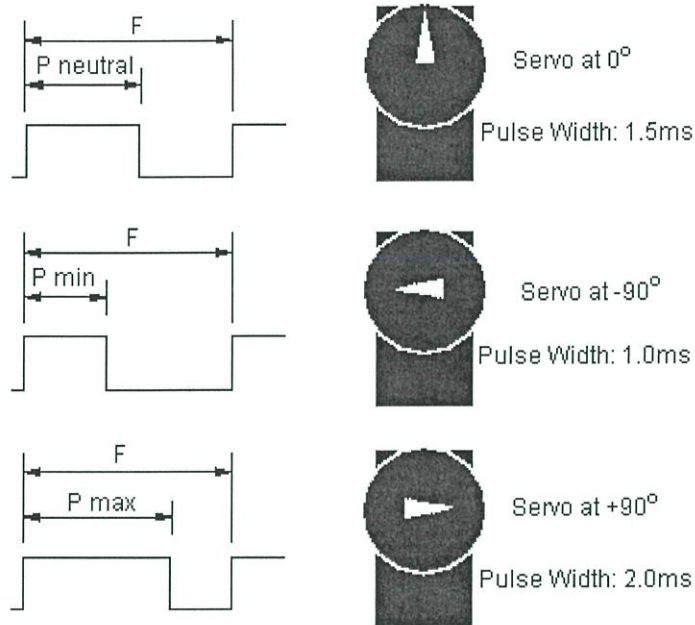


รูปที่ 2.11 แสดงส่วนประกอบต่างๆของพอลิเมอร์

### หลักการทำงานของ Servo motor

การควบคุมการทำงานของ เซอร์โวมอเตอร์ ทำได้โดย การป้อนสัญญาณความกว้างพัลส์ ให้กับมอเตอร์ซึ่งตำแหน่งและทิศทางการหมุนของมอเตอร์นี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของความกว้างของพัลส์นั้นๆ โดยทั่วไปแล้ว ความกว้างของสัญญาณพัลส์ จะมีจุดให้อ้างอิง 3 จุด ดังรูป คือ





รูปที่ 2.12 จุดอ้างอิงสัญญาณความกว้างของพัลส์

- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1.5 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม 0 องศา หรือจุดกึ่งกลางของมอเตอร์
- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม - 90 องศา หรือในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา
- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 2 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม + 90 องศา หรือในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

## 2.5 บอร์ดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM-7

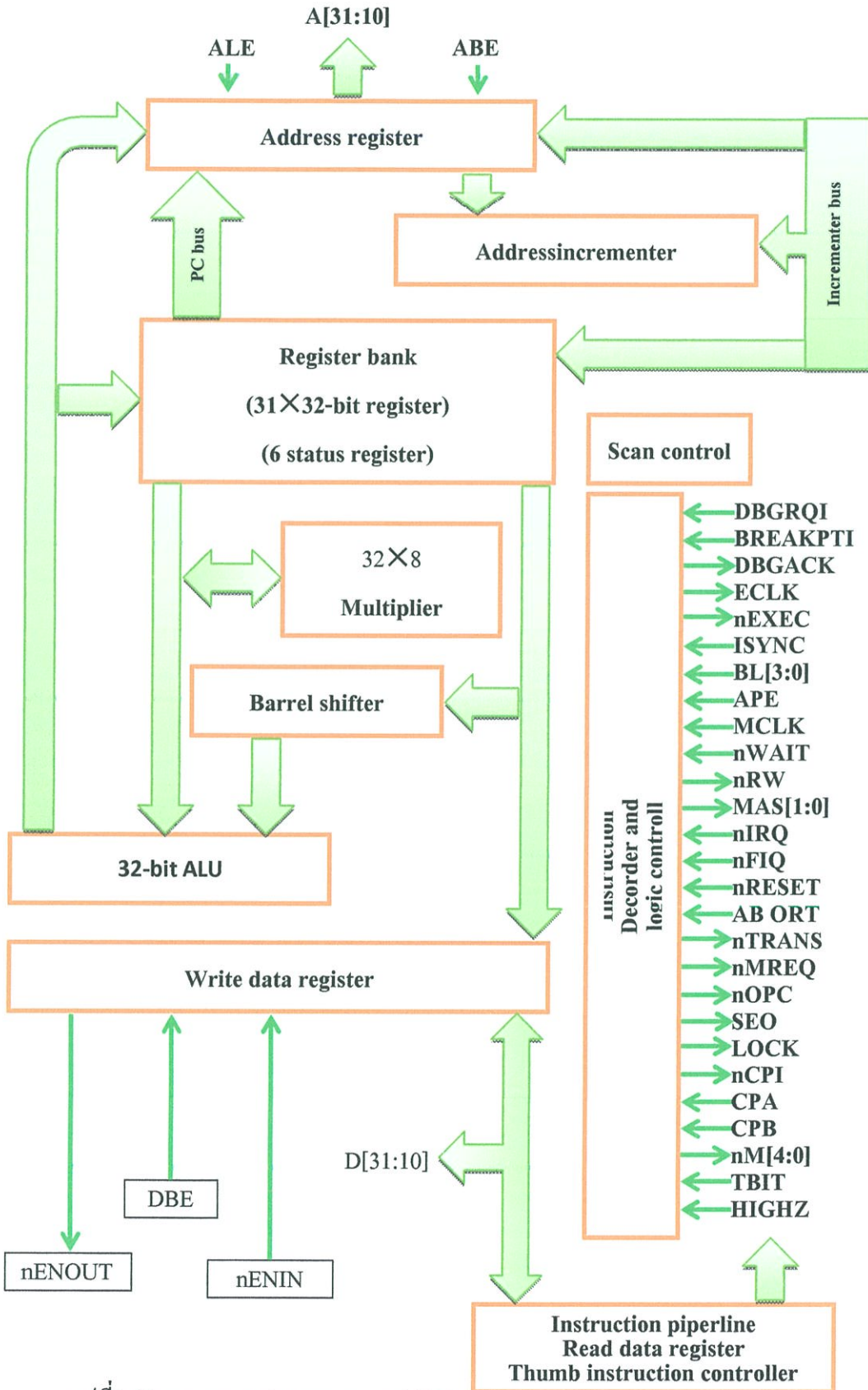
ARM เป็นสถาปัตยกรรมแบบ RISC ซึ่งมีคุณสมบัติพื้นฐานคือ

1. A load-store architecture (register – register architecture)
2. Uniform  $16 \times 32$ -bit register file มีรีจิสเตอร์รูปแบบเดียวกัน 16 ตัว 32 บิต
3. Mostly single-cycle execution คำสั่งเกือบทั้งหมดสามารถทำงานเสร็จภายใน 1 cycle
4. Uniform and fixed length instruction fields ขนาดของคำสั่งคงที่และมีรูปแบบเดียว

ความสามารถที่เพิ่มขึ้นของ ARM

1. T : Thumb instruction สนับสนุนการทำงานแบบ 16 บิต
2. D : Debug สนับสนุนการดีบั๊ก
3. M : fast multiply สนับสนุนการคูณเร็ว

4. I : EmbeddedICE มีโมดูลเพื่อสนับสนุนการดีบั๊กภายใน CPU ในส่วนนี้จะเพิ่มฟังก์ชันที่ช่วยในการดีบั๊กโปรแกรมให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.13 แผนภาพแสดงแกนกลาง ARM

## ARM7 from Phillips LPC2xxx

## LPC213x selection guide

Type	Memory		Serial interfaces			ADC/DAC options		Enhanced UARTs, ADC, FAS T I/OS, and BOD	Packages
	Flash (KB)	SRAM (KB)	PC	UART	SPI and SSP	ADC channels (10-bit)	DAC channels (10-bit)		
LPC2131	32	8	2	2	1	8			LQFP64
LPC2131/01	32	8	2	2	1	8	1	.	LQFP64
LPC2332	64	16	2	2	1	8	1		LQFP64, HVQFN64
LPC2132/01	64	16	2	2	1	8	1	.	LQFP64, HVQFN64
LPC2134	128	16	2	2	1	16	1		LQFP64
LPC2134/01	128	16	2	2	1	16	1	.	LQFP64
LPC2136	256	32	2	2	1	16	1		LQFP64
LPC2136/01	256	32	2	2	1	16	1	.	LQFP64
LPC2138	512	32	2	2	1	16	1		LQFP64, HVQFN64
LPC2138/01	512	32	2	2	1	16	1	.	LQFP64, HVQFN64

## LPC214x selection guide

Type	Memory		Serial interfaces					ADC/DAC options		Package s
	Flash (KB)	SRAM (KB)	USB 2.0 (12Mbps)	USB DMA	PC	UART	SPI/SSP	ADC channels (10-bit)	DAC channels (10-bit)	
LPC2141	32	8	1		2	2	2	6		LQFP64
LPC2142	64	16	1		2	2	2	6	1	LQFP64
LPC2144	128	16	1		2	2	2	14	1	LQFP64
LPC2146	256	40	1	1	2	2	2	14	1	LQFP64
LPC2148	512	40	1	1	2	2	2	14	1	LQFP64

## LPC211x selection guide

Type	Memory		I/O pins	10-bit A/D converter channels	CAN bus	Serial interfaces			Temperature Range ( °c )	Packages
	Flash	SRAM				PC-bus	UART	SPI		
LPC2114	128 KB	16KB	46	4		1	2	2	-40 to +85	LQFP64
LPC2114	128KB	16KB	46	4	2	1	2	2	-40 to+85	LQFP64

### LPC211x selection guide

Type	Memory		I/O pins	10-bit A/D Converter channels	External memory interfacer	Serial interface			Temperature range (°C)	Package
	Flash	SRAM				PC-bus	UART	SPI		
LPC2210	0 KB	16 KB	76	8	*	1	2	2	-40 to +85	LQFC144
LPC2212	128 KB	16 KB	112	8	*	1	2	2	-40 to +85	LQFC144
LPC2214	256 KB	16 KB	112	8	*	1	2	2	-40 to +85	LQFC144

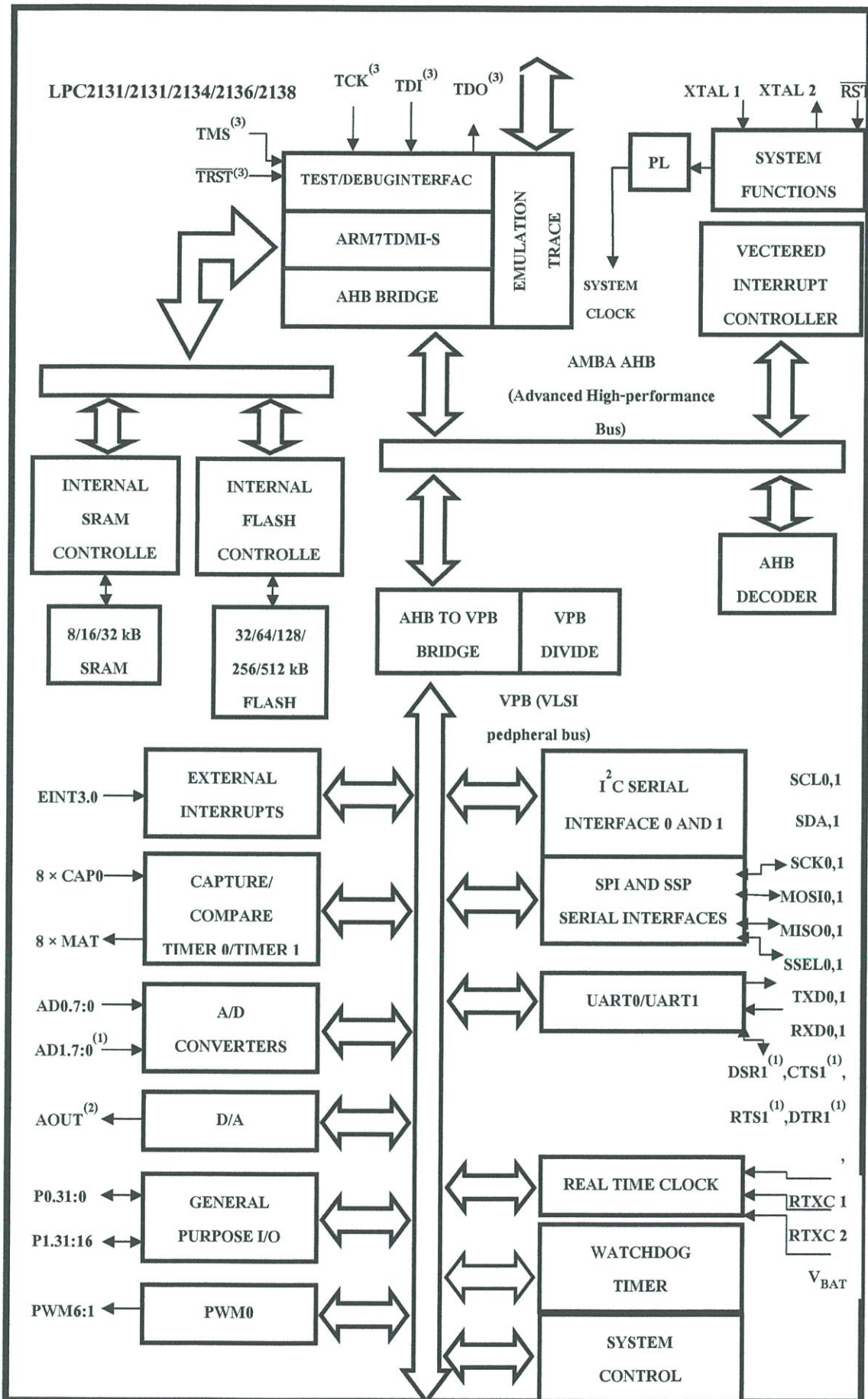
### LPC229xx selection guide

Type	Memory		I/O pins	10-bit A/D Converter channels	CAN bus	Serial interface			Temperature range (°C)	Package
	Flash	SRAM				PC-bus	UART	SPI		
LPC2290	0 KB	16 KB	76	8	2	1	2	2	-40 to +85	LQFC144
LPC2292	256 KB	16 KB	112	8	2	1	2	2	-40 to +85	LQFC144 TFBGA144
LPC2294	256 KB	16 KB	112	8	4	1	2	2	-40 to +85	LQFC114

### LPC23xx selection guide

Type	Memory		Serial								ACD/DAC options		package	
	Flash (KB)	SRAM (KB)	10/100 Ethernet	USB 2.0 (12 Mbps)	CAN	UART	PC	PS	SPI	SSP	SD/MMC	ADC channels (10-bit)		DAC channels (10-bit)
LPC2364FBD100	128	34	1(RMII)	1	2	4	3	1	1	2	N	6	1	LQFP100
LPC2366FBD100	256	58	1(RMII)	1	2	4	3	1	1	2	N	6	1	LQFP100
LPC2368FBD100	512	58	1(RMII)	1	2	4	3	1	1	2	Y	6	1	LQFP100
LPC2378FBD144	512	58	1(RMII)	1	2	4	3	1	1	2	Y	6	1	LQFP144

รูปที่ 2.14 แสดงตารางคุณสมบัติของไอซีตระกูลLPC2xXX



รูปที่ 2.15 แสดงโครงสร้างภายในของไอซี LPC2138

## คุณสมบัติไอซี LPC2138

### 1. หน่วยความจำ

- 32 KB on-chip Static RAM
- 512 KB on-chip Flash Program Memory

2. โปรแกรมผ่านชิปได้ทันทีผ่าน In-System/In-Application Programming(ISP/IAP) โดยใช้ซอฟต์แวร์ boot-loader ภายในชิป

3. วงจร A/D 2 ชุด 8 channel ความละเอียดขนาด 10 บิต

4. วงจร D/A 1 ตัว ความละเอียดขนาด 10 บิต

5. วงจร timer ขนาด 32 บิต 2 ชุด (4 capture , 4 compare channel)

6. PWM (Pulse width modulation) 6 เอาท์พุท

7. Real Time Clock สามารถติดต่อกับคริสตอลความถี่ 32 kHz และแบตเตอรี่ภายนอก และ

### Watchdog

8. วงจรสื่อสารแบบอนุกรม UART 2 ชุด

9. วงจรสื่อสารอนุกรม I<sup>2</sup>C ความเร็วสูง (400 kbits/s)

10. วงจรสื่อสารแบบอนุกรม SPI และ SSP

11. วงจร Phase lock loop ภายในเพื่อคุณค่าสัญญาณนาฬิกาภายในความถี่สูงสุดถึง 60 MHz

12. Vectored Interrupt Controller ที่สามารถกำหนดลำดับความสำคัญและกำหนดแอดเดรสของ

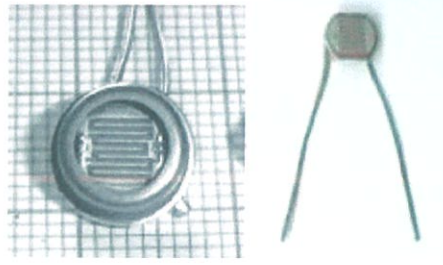
### เวกเตอร์ได้

13. ใช้แหล่งจ่ายไฟชุดเดียวขนาด 3.0 -3.6 โวลท์

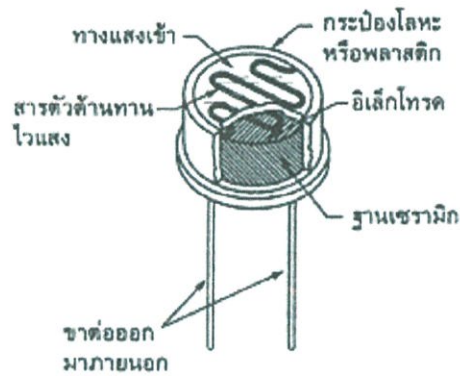
14. มี I/O pin ที่รับแรงดัน 5 โวลท์ได้ 47

## 2.6 แอลดีอาร์ (LDR)

แอลดีอาร์ (LDR : Light Dependent Resistor) คือความต้านทานชนิดที่ไวต่อแสงกล่าวคือ ตัวความต้านทานนี้สามารถเปลี่ยนสภาพทางความนำไฟฟ้าได้เมื่อมีแสงมาตกกระทบบางครั้งเรียกว่า โฟโตรีซิสเตอร์ หรือ โฟโตคอนดักเตอร์เป็นตัวต้านทานที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำประเภท แคดเมียมซัลไฟด์หรือแคดเมียมซีลีไนด์ซึ่งทั้งสองตัวนี้ก็เป็นสารประเภทกึ่งตัวนำเอามาฉาบลงบนแผ่นเซรามิกที่ใช้เป็นฐานรองแล้วต่อขาจากสารที่ฉาบไว้ออกมา



รูปที่ 2.16 แสดงรูปของแอลดีอาร์ทั่วไป

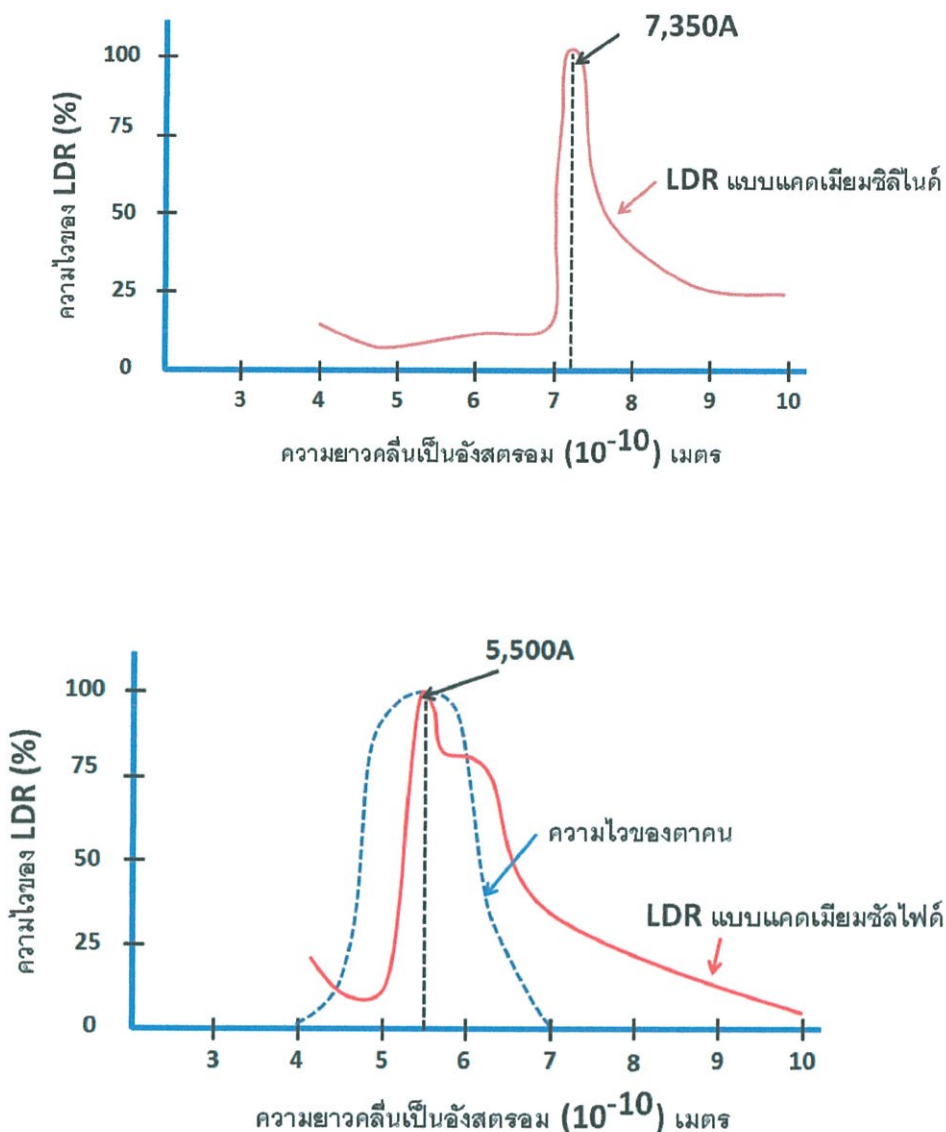


รูปที่ 2.17 แสดงโครงสร้างของแอลดีอาร์

รูปร่างของ LDR ในรูปที่ 2.17 ส่วนที่ขดเป็นแนวเล็กลงีดำทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานไวแสงและแนวสีดำ นั้นจะแบ่งพื้นที่ของตัวมันออกเป็น 2 ข้าง สีทองนั้น เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ทำหน้าที่สัมผัสกับตัวต้านทานไวแสง เป็นที่สำหรับต่อขาออกมาภายนอกหรือเรียกว่าอิเล็กโทรด ที่เหลือก็จะเป็นฐานเซรามิกและอุปกรณ์สำหรับห่อหุ้ม ซึ่งมีได้หลายแบบ

#### 1. สมบัติทางแสง

การทำงานของ LDR เพราะว่าเป็นสารกึ่งตัวนำ เวลาที่มีแสงตกกระทบลงไปก็จะถ่ายทอดพลังงานให้กับสารที่ฉาบอยู่ทำให้เกิดโฮลกับอิเล็กตรอนวิ่งกันพล่านการที่มีโฮลกับอิเล็กตรอนอิสระนี้มากก็เท่ากับ ความต้านทานลดลงนั่นเองยิ่งความเข้มของแสงที่ตกกระทบมากเท่าไรความต้านทานก็ยิ่งลดลงมากเท่านั้น



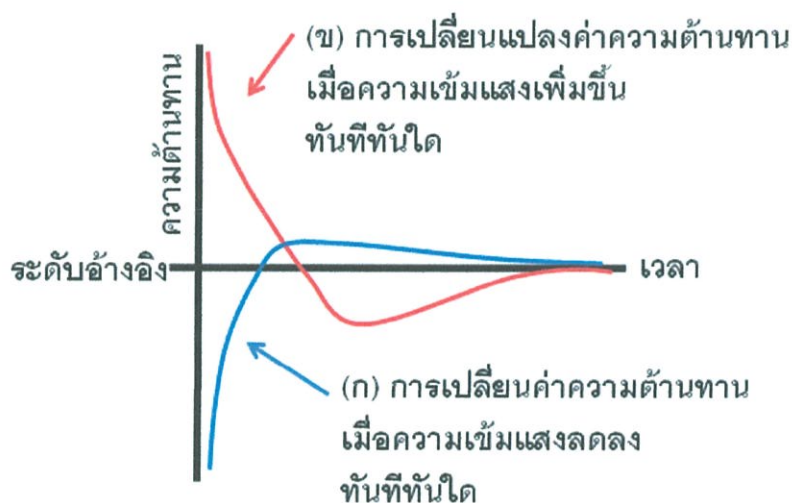
รูปที่ 2.18 กราฟแสดงความไวต่อแสงความถี่ต่างๆ ของ LDR ทั้ง 2 แบบ เมื่อเทียบกับความไวของตาคน

ในส่วนตัวว่าแสงตกกระทบนั่น มิใช่ว่าจะเป็นแสงอะไรก็ได้ เฉพาะแสงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 4,000 อังสตรอม ( 1 อังสตรอม เท่ากับ 10<sup>-10</sup> เมตร ) ถึงประมาณ 10,000 อังสตรอมเท่านั้นที่จะใช้ได้ ( สายตาคน จะเห็นได้ ในช่วงประมาณ 4,000 อังสตรอม ถึง 7,000 อังสตรอม ) ซึ่งคิดแล้วก็ยังเป็นช่วงคลื่นเพียงแคบ ๆ เมื่อเทียบกับการทำงาน ของอุปกรณ์ไวแสง ประเภทอื่นๆ แต่ถึงอย่างไรแสงในช่วงคลื่นนี้ก็มิอยู่ในแสงอาทิตย์ แสงจากหลอดไฟแบบไส้ และ แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ด้วย หรือถ้าจะคิดถึงความยาวคลื่น ที่ LDR จะตอบสนองไวที่สุดแล้ว ก็มีอยู่หลาย ความยาวคลื่น โดยทั่วไป LDR ที่ทำจากแคดเมียมซัลไฟด์ จะไวต่อแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 5,000 กว่า อังสตรอม. ซึ่งเราจะเห็นเป็นสีเขียวไปจนถึงสีเหลือง สำหรับบางตัวแล้ว ความยาวคลื่นที่ไวที่สุดของมันใกล้เคียงกับความยาวคลื่นที่ไวที่สุดของตาคนมาก ( ตาคนไวต่อความยาว

คลื่น ประมาณ 5,550 อังสตรอม ) จึงมักจะทำให้ทำเป็นเครื่องวัดแสง ในกล้องถ่ายรูป ถ้า LDR ทำจาก แคดเมียมซัลไฟด์ก็จะไวต่อความยาวคลื่นในช่วง 7,000 กว่า อังสตรอม ซึ่งไปอยู่ในช่วงอินฟราเรดแล้ว

## 2. ผลตอบสนองทางไฟฟ้า

อัตราส่วนระหว่างความต้านทานของ LDR ในขณะที่ไม่มีแสงกับขณะที่มีแสง อาจจะเป็นได้ตั้งแต่ 100 เท่า 1,000 เท่า หรือ 10,000 เท่า แล้วแต่รุ่น แต่โดยทั่วไปแล้วค่าความต้านทานในขณะที่ไม่มีแสงจะอยู่ในช่วงประมาณ 0.5 MW ขึ้นไป ในที่มีคสณิทธอาจขึ้นไปได้มากกว่า 2 MW และ ในขณะที่มีแสงจะเป็นประมาณ 10 - 20kW ลง ไป อาจจะเหลือเพียงไม่กี่โอห์ม หรือ ไม่ถึง โอห์มก็ได้ ทนแรงดันสูงสุดได้ไม่ต่ำกว่า 100 V และ กำลังสูญเสีย อย่างต่ำประมาณ 50 mW



รูปที่ 2.19 ผลของการเปลี่ยนความเข้มแสงในทันทีทันใดกับ LDR

นอกเหนือจากลักษณะสมบัติต่างๆ เหล่านี้แล้วยังมีอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญ คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากความเข้มแสง เปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน ซึ่งจะดูตัวอย่างได้ในรูปที่ 2.19 ถ้า LDR ได้รับแสงที่มีความเข้มสูงค้างเส้น (ก) ความต้านทานจะมีค่าต่ำและในทันทีที่ความเข้มของแสงถูกลดลงเหลือเพียงระดับอ้างอิง ความต้านทานก็จะค่อยๆ เพิ่มขึ้น ไปจนถึงค่าความต้านทาน ที่มันควรจะเป็นในระดับอ้างอิง แต่แทนที่มันจะไปหยุดอยู่ระดับอ้างอิง มันกลับเพิ่มเลยขึ้นไปอีกแล้วจึงจะลดลงมาอยู่ในระดับอ้างอิง เหมือนกับว่าเบรกมันไม่ค่อยดี และในทำนองเดียวกันถ้าเก็บมันไว้ในที่ความเข้มแสงน้อยๆ แล้วเปลี่ยนความเข้มเป็นระดับอ้างอิงทันที ดังในรูป (ข) ความต้านทานก็จะลด เลยต่ำลงมาจากระดับอ้างอิงแล้วจึงขึ้นไปใหม่ ยิ่งความเข้มของแสงเท่ากัน LDR แบบแคดเมียมซัลไฟด์ จะใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะที่มันควรจะเป็นน้อยกว่า แบบแคดเมียมซัลไฟด์ แต่ก็จะมีวงเลี้ยวไปไกลกว่าด้วย และอีกอย่างหนึ่งความเร็วในการเปลี่ยนระดับความต้านทานจากค่าหนึ่ง ไปอีกค่าหนึ่งช้ามาก ซึ่งจะอยู่ในช่วงของมิลลิวินาทีหรือ บางทีก็เป็นวินาทีเลยจึงทำให้ LDR ใช้ได้กับงานความถี่ต่ำๆ เท่านั้น

## บทที่ 3

# วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยนี้เป็นการสร้างชุดติดตามดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ในแนวแกน X-Y โดยใช้ เซอร์โวมอเตอร์ในการควบคุมการหมุน โดยจะแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

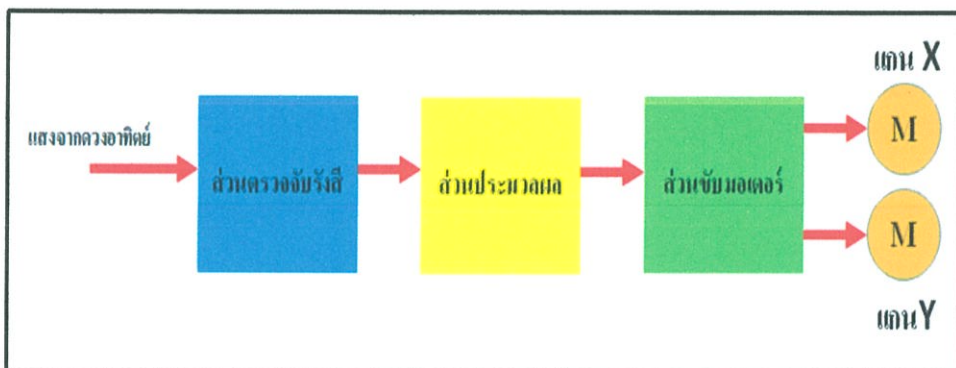
3.1 การศึกษาระบบติดตามดวงอาทิตย์

3.2 การสร้างและออกแบบ โมเดลของระบบติดตามดวงอาทิตย์

3.3 การสร้างและออกแบบ โปรแกรมติดตามดวงอาทิตย์ผ่านบอร์ดควบคุม ARM-7 โดยใช้ โปรแกรมเคียวและ โปรแกรม Philips LPC2000 FlashUtility

3.4 การทดสอบและวิเคราะห์ระบบติดตามดวงอาทิตย์

### 3.1 การศึกษาระบบติดตามดวงอาทิตย์

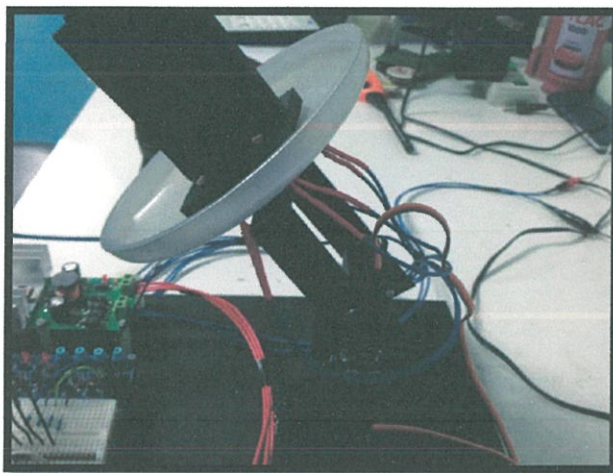


รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์

ระบบติดตามดวงอาทิตย์นี้จะใช้งานได้เฉพาะในช่วงที่มีแสงอาทิตย์หรือในช่วงกลางวัน เมื่อมีแสงอาทิตย์ผ่านเข้ามาในส่วนตรวจจับรังสีจะทำการแปลงความเข้มแสงที่ได้นี้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าและจากนั้นก็ถูกส่งเข้าไปยังส่วนประมวลผลเพื่อทำการประมวลผลด้วยโปรแกรมที่ได้สร้างขึ้นจากนั้นส่วนประมวลผลจะส่งข้อมูลที่ประมวลผลแล้วไปที่ส่วนขับมอเตอร์หรือเรียกว่า Drive Motor เพื่อป้อนสัญญาณไฟฟ้าให้กับคีมอเตอร์ตามที่ได้ประมวลผลมาแล้วจากนั้นเซอร์โวมอเตอร์จะหมุนไปตามทิศทางของดวงอาทิตย์ได้

### 3.2 การสร้างและออกแบบโมเดลระบบติดตามดวงอาทิตย์

เครื่องติดตามดวงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นอาศัยหลักการบังเงาในการติดตามรังสีตรงดวงอาทิตย์ โดยมี RC SERVO MOTOR ทำหน้าที่ขับเคลื่อนอุปกรณ์ตรวจจับสนีจากดวงอาทิตย์ที่วัดจากตัว LDR ให้หันหน้าเข้าหาและตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ตลอดเวลา



รูปที่ 3.2 แสดงโมเดลของระบบติดตามดวงอาทิตย์

ในส่วนของการออกแบบจะแยกออกเป็น 3 ส่วนคือส่วนของวงจรตรวจจับสนีตรงดวงอาทิตย์ ส่วนของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์และส่วนของโครงสร้างทางกลของเครื่องติดตามดวงอาทิตย์

#### 1. อุปกรณ์ตรวจจับสนีตรงดวงอาทิตย์

Technology: Metal Oxide

Package Type: Surface Mount

Resistance: 50 – 100 K Ohm

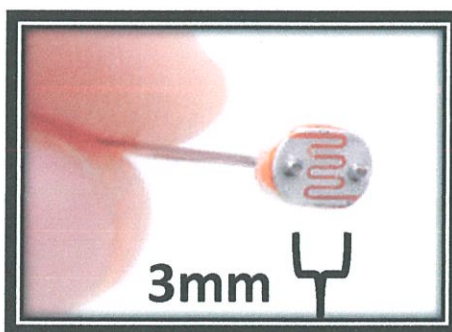
Rated Power: 50 mW

Operating Temperature:  $-30 \sim 70^{\circ}\text{C}$

Max Voltage: 100 V

Dark Resistance: 5M Ohm

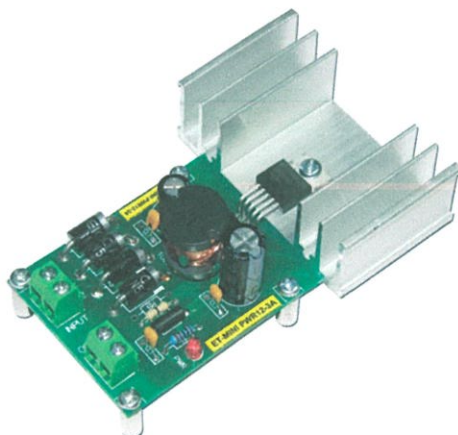
Spectrum Peak Value: 540nm



รูปที่ 3.3 ตัวอุปกรณ์ LDR

## 2. วงจรขั้วมอเตอร์

ในที่นี้ใช้ Power Supply ชนิด Regulator Module 5VDC/3AMP ให้ OUTPUT 5VDC/3AMP : INPUT VOLT 9 - 35 VDC

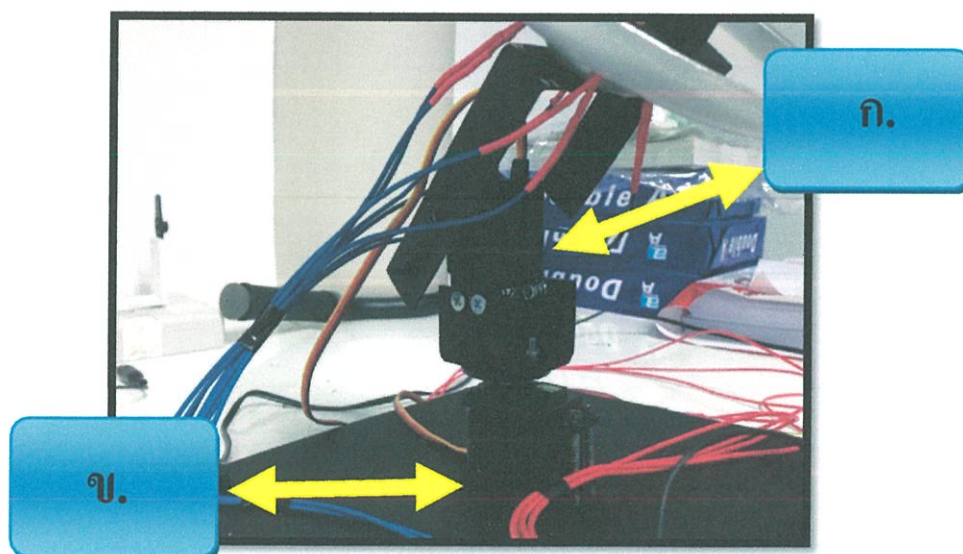


รูปที่ 3.4 Power Supply ชนิด Regulator Module 5VDC/3AMP

## 3. โครงสร้างทางกลของโมเดลของเครื่องติดตามดวงอาทิตย์

โครงสร้างทางกลของเครื่องติดตามดวงอาทิตย์หมายถึงอุปกรณ์ที่ประกอบขึ้นเป็นระบบของเครื่องติดตามดวงอาทิตย์ได้แก่ส่วนเคลื่อนที่แนวอะซิมูทและส่วนเคลื่อนที่แนวอัลติจูดซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ส่วนเคลื่อนที่แนวอัลติจูด
2. ส่วนเคลื่อนที่แนวอะซิมูท



รูปที่ 3.5 แสดง โครงสร้างทางกล ก) ส่วนเคลื่อนที่แนวอัลติจูด

ข) ส่วนเคลื่อนที่แนวอะซิมูท

### 3.3 การสร้างและออกแบบโปรแกรมติดตามดวงอาทิตย์ผ่านบอร์ดควบคุม ARM-7 โดยใช้โปรแกรมเคียวและ โปรแกรม Philips LPC2000 FlashUtility

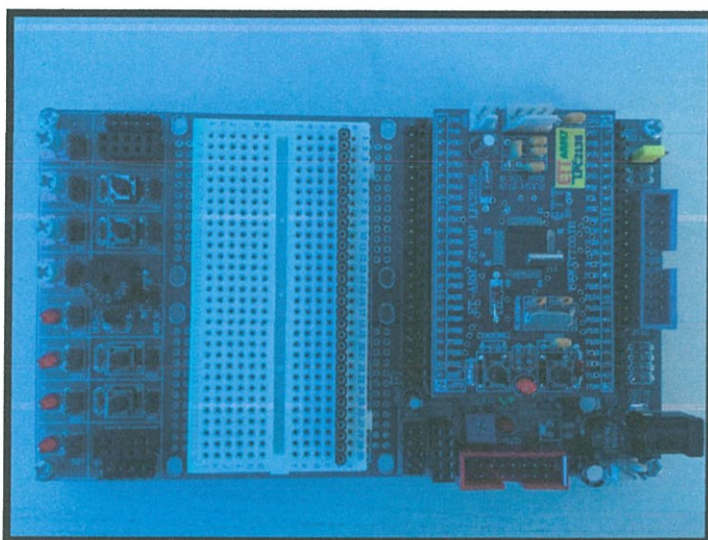
#### 1. Hardware

- รายละเอียดเกี่ยวกับการใช้งานแผงวงจร LPC2138

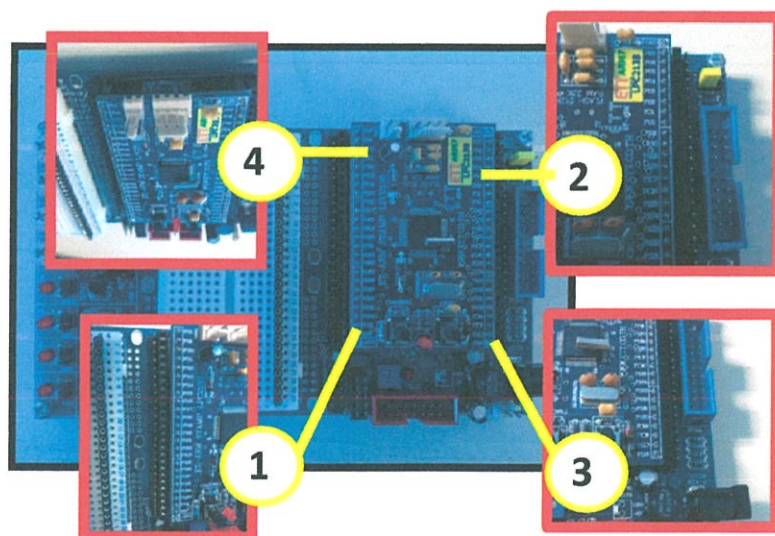
#### 2. Software

- แนะนำวิธีการสร้าง Project ใหม่- แนะนำวิธีการใช้โปรแกรม Philips LPC2000 FlashUtility – การกำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆก่อนจะเริ่มเขียนโปรแกรม

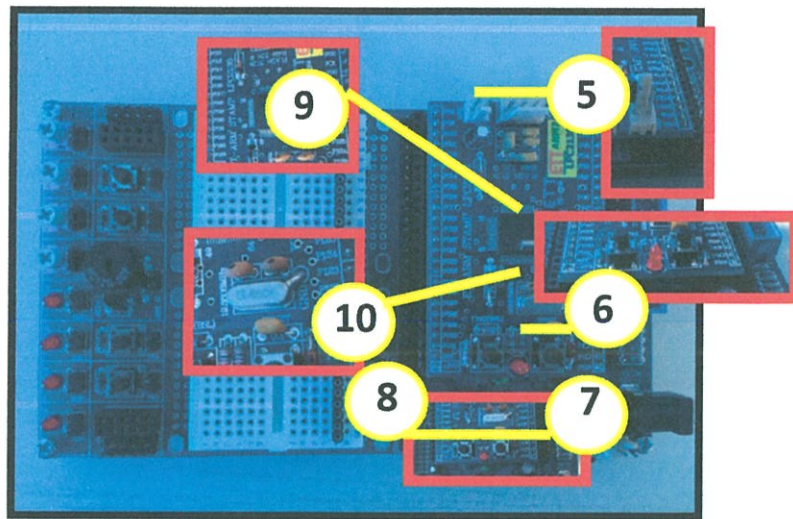
#### 1. Hardware



รูปที่ 3.6 แสดงบอร์ด CP-JR ARM7 LPC2138 EXP



รูปที่ 3.7 (ก) แสดงส่วนประกอบของบอร์ด CP-JR ARM7 LPC2138 EXP หมายเลข 1- 4



รูปที่ 3.7 (ข) แสดงส่วนประกอบของบอร์ด CP-JR ARM7 LPC2138 EXP หมายเลข 5 - 10

หมายเลข 1 คือ ขั้วต่อ Port0 [8-31] จำนวน 23 บิต

หมายเลข 2 คือ ขั้วต่อ Port0 [0-7] จำนวน 7 บิต

หมายเลข 3 คือ ขั้วต่อ Port1 [16-31] จำนวน 15 บิต

หมายเลข 4 คือ ขั้วต่อ RS232 สำหรับใช้งาน และ Download Hex File ให้ CPU

หมายเลข 5 คือ ขั้วต่อ Power ขนาด +5VDC และ GND เพื่อจ่ายให้กับบอร์ด

หมายเลข 6 คือ LED แสดงสถานะของแหล่งจ่ายไฟ Power ของบอร์ด

หมายเลข 7 คือ Switch RESET สำหรับสั่ง Reset การทำงานของ CPU

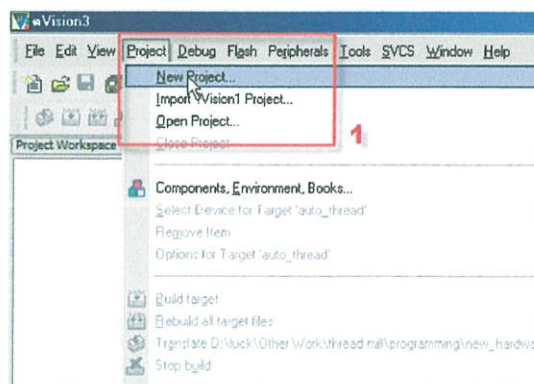
หมายเลข 8 คือ Switch LOAD ใช้ร่วมกับ Switch RESET เพื่อ Download Hex ให้ CPU

หมายเลข 9 คือ CPU เบอร์ LPC2138 ของ Philips ซึ่งเป็น CPU ประจำบอร์ด

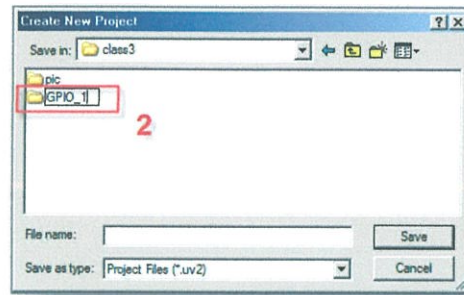
หมายเลข 10 คือ Crystal 19.6608 MHz สำหรับป้อนให้เป็นสัญญาณนาฬิกาของ LPC2138

## 2. Software

1. เปิด Keil ขึ้นมา แล้วไปที่ Project --->New Project

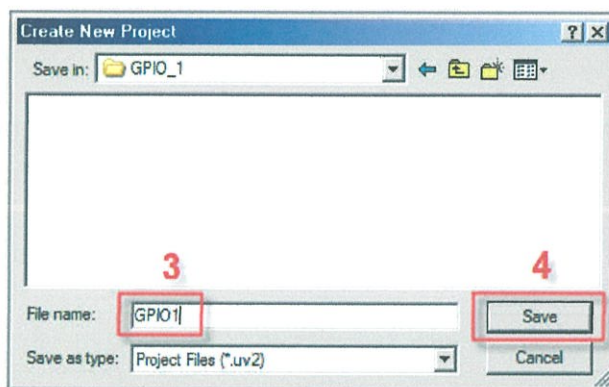


รูปที่ 3.8 การสร้าง New Project



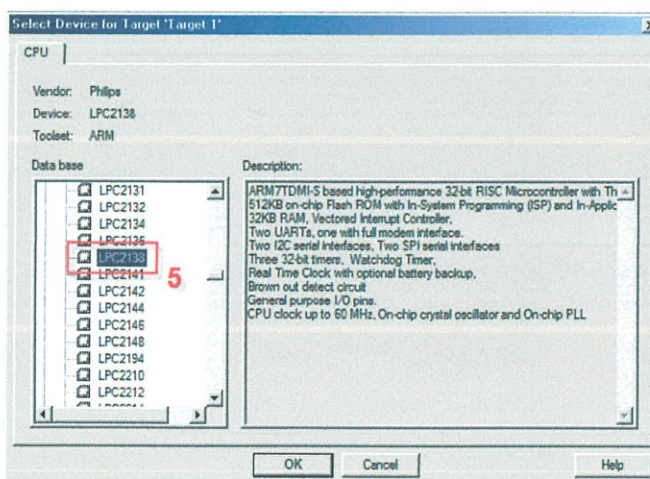
รูปที่ 3.9 สร้างโฟลเดอร์สำหรับเก็บไฟล์ต่างๆของ Project

2. จากนั้นสร้างโฟลเดอร์สำหรับเก็บรวบรวมไฟล์ต่างๆของ Project ขึ้นมาโดยแนะนำให้กำหนดชื่อให้สอดคล้องกับงานที่ทำและเพื่อความเป็นระเบียบในตัวอย่างนี้ตั้งเป็น GPIO\_1 (หมายเลข 2)



รูปที่ 3.10 การเซฟชื่องาน

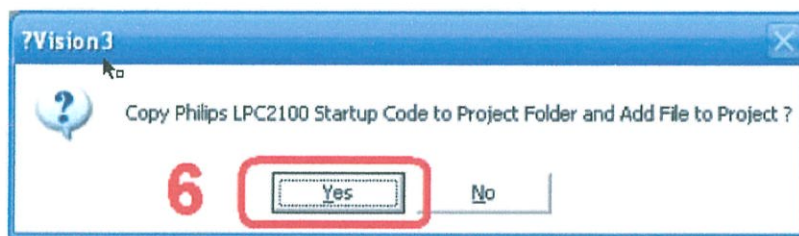
3. หลังจากที่ทำการกำหนดชื่อ Project (หมายเลข 3) เรียบร้อยแล้ว ให้คลิกที่ Save (หมายเลข 4)



รูปที่ 3.11 การเลือกใช้เบอร์ของ MCU

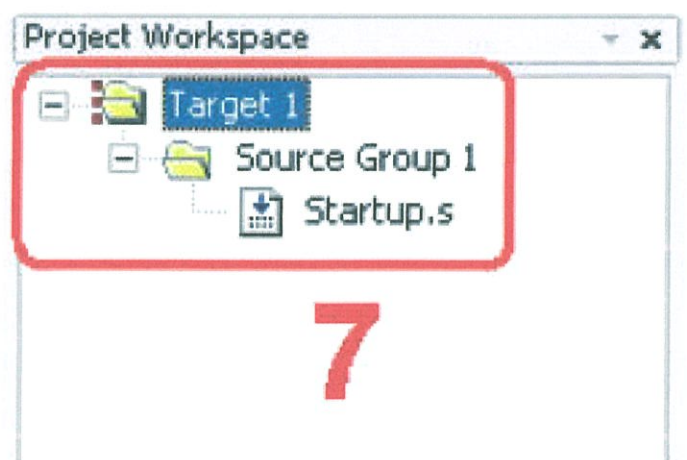
4. เมื่อตั้งชื่อ Project แล้ว โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างขึ้นมาให้เลือกเบอร์ของ MCU ที่จะใช้งานกับ Project ในที่นี้เลือกเบอร์ Philips LPC2138 (หมายเลข 5) แล้วคลิกเลือกที่ “OK”

5. เมื่อเลือกเบอร์ CPU แล้ว  $\mu$ Vision3 IDE จะถามว่าต้องการ Copy และ Add file Startup code ไปที่ Project Folder หรือไม่ ตอบ Yes เพื่อยอมรับ (หมายเลข 6) ซึ่งตัว Startup code นี้คือไฟล์ซึ่งบรรจุโปรแกรมภาษา แอสเซมบลี สำหรับใช้กำหนดค่าเริ่มต้นการทำงาน หรือค่า Configurations ของ MCU ก่อนที่จะสั่งให้ MCU กระโดดไปเริ่มต้นทำงานตามโปรแกรมที่ผู้ใช้เขียนขึ้นใน Main Program



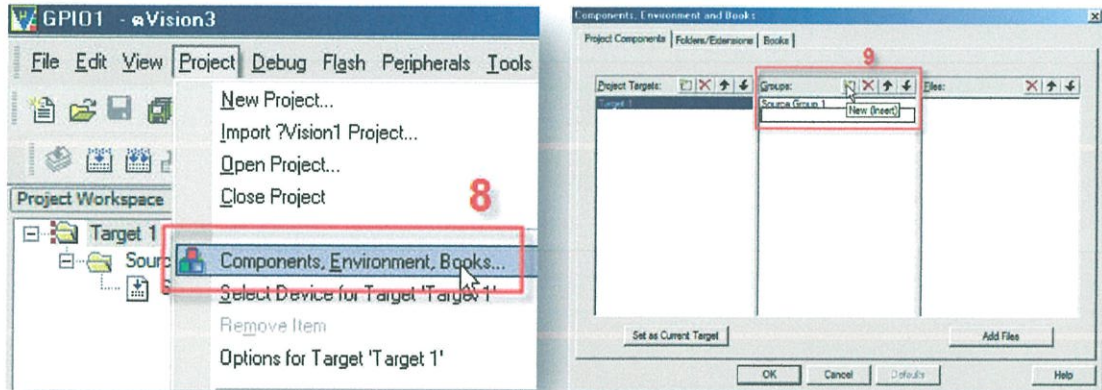
รูปที่ 3.12 การตอบรับ Copy และ Add file Startup code

6. เมื่อทำการสั่ง Add file Startup code เสร็จเรียบร้อยแล้ว จะได้ผลลัพธ์ (หมายเลข 7) ซึ่งโปรแกรมจะแสดงชื่อไฟล์ที่ Add ให้เห็น ใน Project Workspace



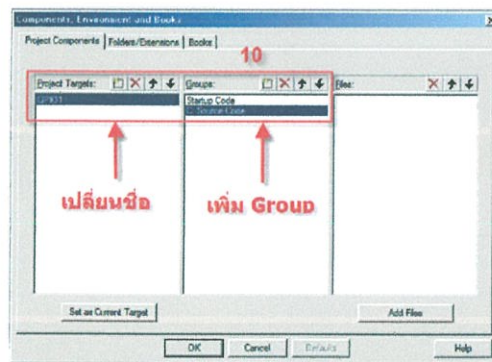
รูปที่ 3.13 แสดงชื่อไฟล์ที่ Add ใน Project Workspace

7. เมื่อสร้าง Project เรียบร้อยแล้ว จากนั้นก็ทำการสร้าง Group ซึ่งจะทำให้เป็นระเบียบ อาจจะแบ่งตามที่เราเข้าใจ ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยไปที่ Project Components, Environment, Books... (หมายเลข 8) เมื่อปรากฏหน้าต่างขึ้นมา ก็ให้เพิ่มกลุ่ม (หมายเลข 9) โดยตั้งชื่อตามความเหมาะสม

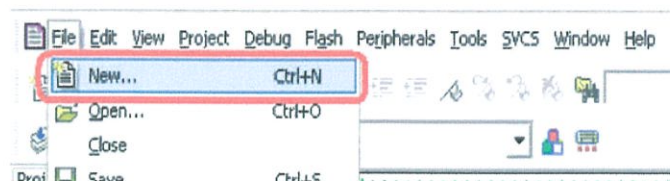


รูปที่ 3.14 วิธีการเพิ่มกรุป

8. (หมายเลข 10) หรือท่านสามารถเปลี่ยนชื่อ ลบ เพิ่ม Project Targets, Groups ได้เช่นกัน  
 9. เมื่อเราสร้าง Group แล้วก็ทำการเขียน Source Code ใน Text Editor ซึ่ง μVision3 ได้เตรียมไว้เรียบร้อยแล้ว โดยไปที่ File New...

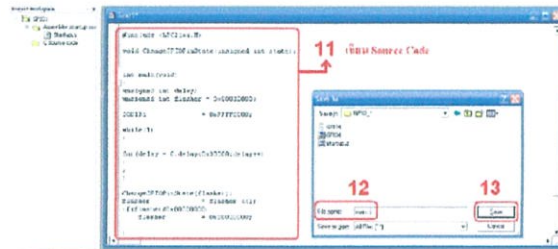


รูปที่ 3.15 การเปลี่ยน ลบ เพิ่ม Project , Groups



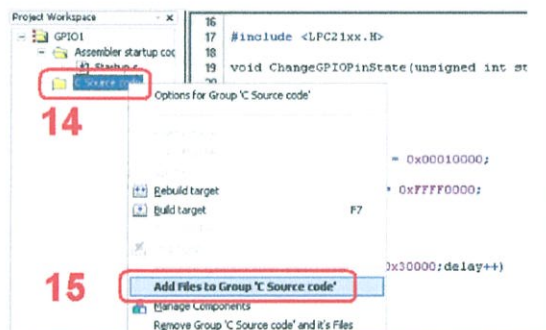
รูปที่ 3.16 การเปิด File new... เพื่อเขียน Source Code

10. ให้ทำการเขียน Source Code ภาษา C ที่ Text Editor (หมายเลข 11) ดังตัวอย่าง Source Code ด้านล่างนี้ แล้วทำการ Save โดยไปที่ File Save As... เลือกเก็บไว้ใน Directory ของ GPIO\_1 การตั้งชื่อให้ดังตามความเหมาะสม ในที่นี้ตั้งเป็น main.c (หมายเลข 12) จากนั้นทำการ Save File ภาษา C ไว้ (หมายเลข 13)



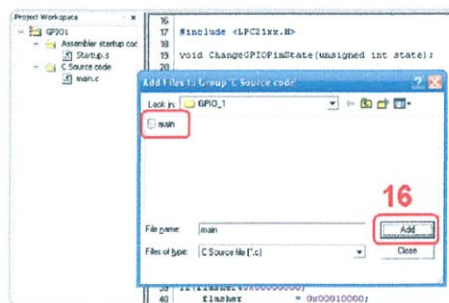
รูปที่ 3.17 การเซฟไฟล์ภาษา C

11. หลังจากสร้าง Group และ Source Code แล้ว ต้องทำการ Add file Source Code "main.c" เข้ามาที่ Group ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ เลือก Group ที่ต้องการจะเพิ่มไฟล์เข้าไป คลิกขวาที่ Group (หมายเลข 14) ในที่นี้เลือก C Source code Add Files to Group 'C Source code' (หมายเลข 15) จากนั้นจะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมา ให้ไปที่เราเก็บ main.c ไว้



รูปที่ 3.18 ขั้นตอนการ Add file Source Code "main.c"

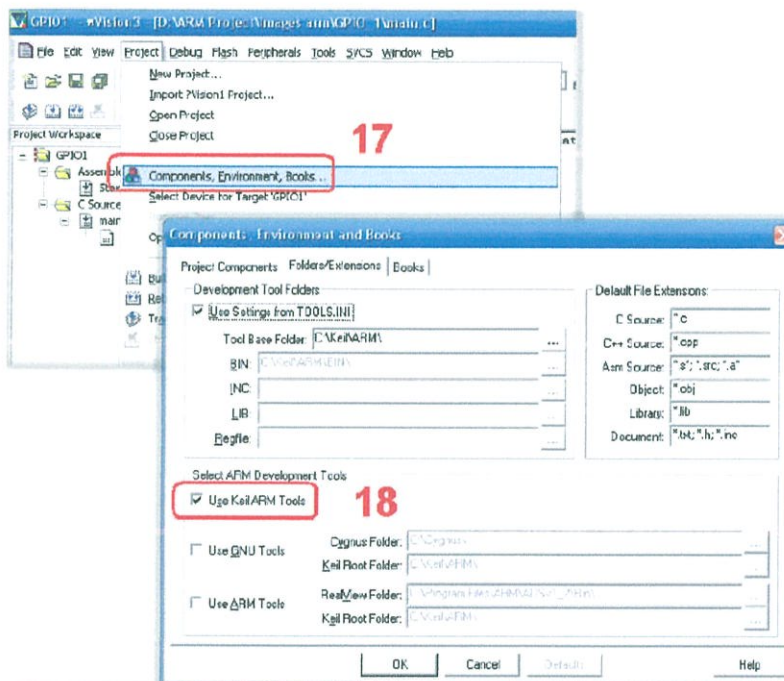
12. แล้วคลิก Add (หมายเลข 16) โปรเจคดังกล่าวที่ Project Workspace จะมี "main.c" เพิ่มเข้ามาที่ Group 'C Source code'



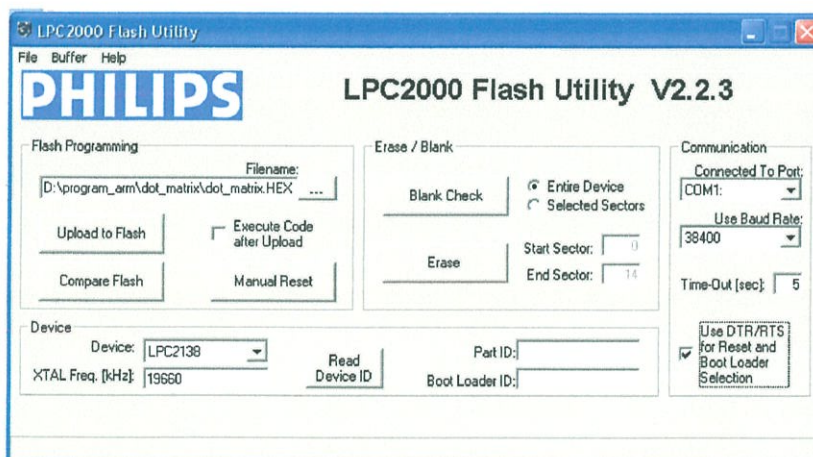
รูปที่ 3.19 แสดงไฟล์ "main.com"

13. การคอมไพล์ (Compile) นั้นสามารถเรียกใช้ Compiler ของ Keilเอง หรือให้Link ไป Compile ด้วย GCC, ADS, หรือ RVDS ก็ได้ โดยการกำหนดค่าให้ไปที่ Project Components, Environment, Books... (หมายเลข 17) ดังแสดงในรูปที่ 11 แล้วจะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมา ให้เลือกที่แท็บ Folders/Extensions จะเห็นว่าค่าติดตั้งเดิมจะใช้ Keil ARM Tool (หมายเลข 18)

14. การใช้งานโปรแกรม Philips LPC2000 Flash Utility ซึ่งใช้ในการดาวน์โหลดข้อมูลลงในชิปไมโครคอนโทรลเลอร์กลุ่ม รีเซ็ต โหลด จากนั้นจะปรากฏแถบดังรูป



รูปที่ 3.20 การคอมไพล์ของโปรแกรม Keil



รูปที่ 3.21 การใช้งานโปรแกรม Philips LPC2000 Flash Utility

การกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์

-Phase Lock Loop (PLL)

สัญญาณนาฬิกาของไมโครคอนโทรลเลอร์

$$CCLK = M \times FOSC \text{ or } CCLK = FCCO / (2 \times P)$$

ความถี่ของวงจร CCO

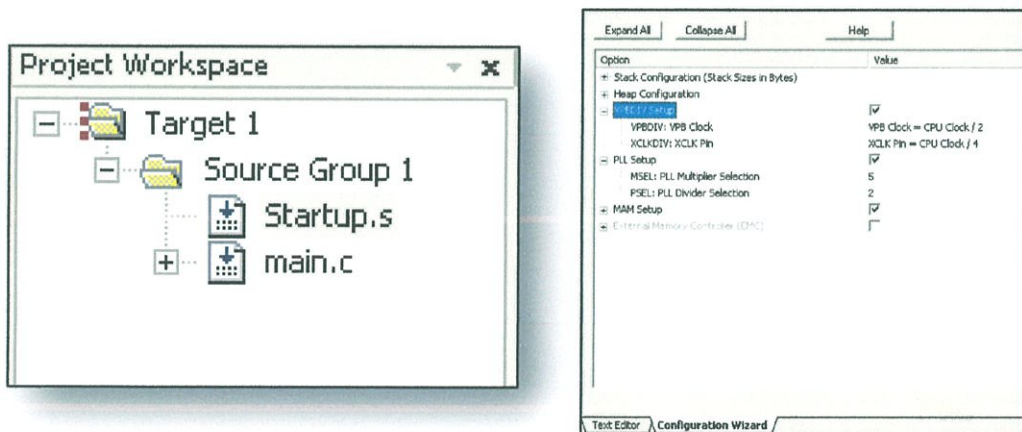
$$FCCO = CCLK \times 2 \times P \text{ or } FCCO = FOSC \times M \times 2 \times P$$

ตัวอย่าง การคำนวณ PLL โดยแผงวงจรที่ใช้ในการทดลองมี External crystal ความถี่ 19.6608 MHz ถ้าต้องการไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานที่ความถี่สูงสุดคือ 60 MHz จะต้องใช้ค่า M เป็นเท่าไร? ส่วนค่า P = 1,2,4,8 ค่าใดสามารถสร้าง FCCO ได้

วิธีทำ จากสมการเนื่องจาก CCO ทำงานในช่วงความถี่ 156 MHz – 320 MHz

ดังนั้นค่า P ที่สามารถสร้าง FCCO ได้ คือ 2

การกำหนดค่าของ PLL, VPB โดยใช้ Configuration wizard



รูปที่ 3.22 การกำหนดค่าของ PLL, VPB โดยใช้ Configuration wizard

ตัวอย่างการเรียนรู้ก่อนที่จะ control motor

การเขียน โปรแกรมเปิด/ปิดหลอด LED ขา P1.31

```
void main(void)
```

```
{
```

```
inti;
```

//เป็นการประกาศตัวแปร i

```
PINSEL0 = 0x00000000;
```

} //เป็นการประกาศพอร์ต GPIO

```
PINSEL2 = 0x00000000;
```

```
IODIR0 = 0xF8000000;
```

} //เป็นการประกาศ OUTPUT ,INPUT

```

IODIR1 = 0xFE000000;
IOCLR0 = 0xFFFFFFFF;
IOCLR1 = 0xFFFFFFFF;
delay_ms(100);
for(i=0;i<1000;i++)
{
IOCLR0 = 0x20000000;
IOSET1 = 0x80000000;
delay_ms(100);
IOCLR1 = 0x80000000;
delay_ms(100);
}
}

```

**ของขาพอร์ต**

//เป็นการกำหนดสถานะ LOW ของขาพอร์ต

//คำสั่งดีเลย์

//คำสั่งให้ไฟติดที่ 100 mS  
และให้ไฟดับที่ 100 ms

การเขียนโปรแกรมไฟวิ่งจากบนลงล่างและจากล่างขึ้นบนวนซ้ำไปเรื่อยๆ

```

void main(void)
{
inti=0,ms=50;
unsigned long led;
PINSEL0 = 0x00000000;
PINSEL2 = 0x00000000;
IODIR0 = 0xF8000000;
IODIR1 = 0xFE000000;
IOCLR0 = 0xFFFFFFFF;
IOCLR1 = 0xFFFFFFFF;
while(1)
{
for(led=0x80000000;led>0x01000000;led>>=1)
{
IOCLR0 = 0x20000000;
IOSET1 = led;
delay_ms(ms);
IOCLR1 = led;
delay_ms(ms);
}
}
}

```

//เป็นการประกาศพอร์ต GPIO

//เป็นการประกาศ OUTPUT , INPUT ของขาพอร์ต

//เป็นการกำหนดสถานะ LOW ของขาพอร์ต

//เป็นการทำให้ไฟติดดับตั้งแต่  
P1.31 - P1.25

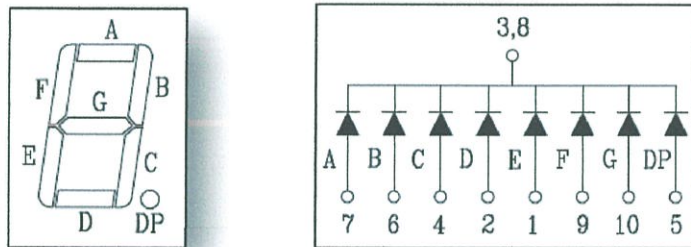
```

}
for(led=0x02000000;led<0x80000000;led<<=1)
{
    IOCLR0 = 0x20000000;
    IOSET1 = led;
    delay_ms(ms);
    IOCLR1 = led;
    delay_ms(ms);
}
}
}
}

```

//เป็นการทำให้ไฟติดดับตั้งแต่ P1.25 - P1.31

การเรียนรู้ 7 Segment



รูปที่ 3.23 แสดงขาของ 7 Segment ชนิด Common Cathode

ตำแหน่งการต่อสายไฟ

pin	7Seg
P1.16	a
P1.17	b
P1.18	c
P1.19	d
P1.20	e
P1.21	f
P1.22	g
P1.23	.

ตัวที่ 1

pin	7Seg
P1.24	a
P1.25	b
P1.26	c
P1.27	d
P1.28	e
P1.29	f
P1.30	g
P1.31	.

ตัวที่ 2

รูปที่ 3.24 แสดงตำแหน่งการต่อสายไฟ

การเขียนโปรแกรมแสดงผลการนับเลขตั้งแต่ 0-9 แล้วย้อนกลับไป 9-1 โดยใช้ 7 Segment

```

#include <LPC213x.H>
void delay_ms(unsigned long int count)
} //เป็นคำสั่งดีเลย์

```

```

{
inti,j; //เป็นคำสั่งดีเลย์
for(i=0;i<count;i++)
for(j=0;j<6664;j++) } //เป็นคำสั่งดีเลย์
}
void main(void)
{
inti=0,ms=1000;
PINSEL2 = 0X00000000; //เป็นการประกาศพอร์ต GPIO
IODIR1 = 0XFFFF0000; //เป็นการกำหนดสถานะOUTPUTของขาพอร์ต
IOCLR1 = 0XFFFFFFFF; //เป็นการกำหนดสถานะ LOW ของขาพอร์ต
while(1)
{
IOSET1 = 0X003F0000; delay_ms(ms);// SET ให้ขาที่16,17,18,19,20,21 ตัด
IOCLR1 = 0X00FF0000; //กำหนดสถานะ LOW ให้16,17,18,19,20,21,22 ไฟดับ
IOSET1 = 0X00060000; delay_ms(ms); // SET ให้ขาที่17,18ตัด
IOCLR1 = 0X00FF0000;
IOSET1 = 0X005B0000; delay_ms(ms); // SET ให้ขาที่16,17,19,20,22ตัด
IOCLR1 = 0X00FF0000;
IOSET1 = 0X004F0000; delay_ms(ms); // SET ให้ขาที่16,17,18,19,22ตัด
IOCLR1 = 0X00FF0000;
IOSET1 = 0X00660000; delay_ms(ms); // SET ให้ขาที่17,18,21,22ตัด
IOCLR1 = 0X00FF0000;
IOSET1 = 0X006D0000; delay_ms(ms); // SET ให้ขาที่16,18,19,21,22ตัด
IOCLR1 = 0X00FF0000;
IOSET1 = 0X007D0000; delay_ms(ms); // SET ให้ขาที่16,18,19,20,21,22ตัด
IOCLR1 = 0X00FF0000;
IOSET1 = 0X00070000; delay_ms(ms); // SET ให้ขาที่16,17,18ตัด
IOCLR1 = 0X00FF0000;
IOSET1 = 0X007F0000; delay_ms(ms); // SET ให้ขาที่16,17,18,19,20,12,22ตัด
IOCLR1 = 0X00FF0000;

```

```

IOSET1 = 0X006F0000;    delay_ms(ms); // SET ให้ขาที่ 16,17,18,19,21,22 ตัด
IOCLR1 = 0X00FF0000;
IOSET1 = 0X007F0000;    delay_ms(ms); // SET ให้ขาที่ 16,17,18,19,20,21,22 ตัด
IOCLR1 = 0X00FF0000;
IOSET1 = 0X00070000;    delay_ms(ms); // SET ให้ขาที่ 16,17,18 ตัด
IOCLR1 = 0X00FF0000;
IOSET1 = 0X007D0000;    delay_ms(ms); // SET ให้ขาที่ 16,18,19,20,21,22 ตัด
IOCLR1 = 0X00FF0000;
IOSET1 = 0X006D0000;    delay_ms(ms); // SET ให้ขาที่ 16,18,19,21,22 ตัด
IOCLR1 = 0X00FF0000;
IOSET1 = 0X00660000;    delay_ms(ms); // SET ให้ขาที่ 17,18,21,22 ตัด
IOCLR1 = 0X00FF0000;
IOSET1 = 0X004F0000;    delay_ms(ms); // SET ให้ขาที่ 16,17,18,19,22 ตัด
IOCLR1 = 0X00FF0000;
IOSET1 = 0X005B0000;    delay_ms(ms); // SET ให้ขาที่ 16,17,19,20,22 ตัด
IOCLR1 = 0X00FF0000;
IOSET1 = 0X00060000;    delay_ms(ms); // SET ให้ขาที่ 17,18 ตัด
IOCLR1 = 0X00FF0000;
}
}

```

การเขียน โปรแกรมการติดตามดวงอาทิตย์ใน ส่วนของมอเตอร์ทั้งสองตัว โดยใช้ LDR ในการหาตำแหน่ง

```

#include <LPC213x.H>
#include <stdio.h>
int v,v1,val[5],ch=0,x=500,y=500; } //ประกาศตัวแปร
int x,y;
void delay_ms(long int ms)
{
long int i,j;
for(i=0;i<ms;i++)
for(j=0;j<6555;j++); } //ฟังก์ชันดีเลย์

```

```

}
void uart0_init(unsigned int baudrate)
{
    unsigned short u0dl;
    u0dl = 58982400/(16*baudrate);
    PINSEL0 |= 0X00000005;
    U0LCR = 0X83;
    U0DLL = u0dl & 0XFF;
    U0DLM = (u0dl>>8);
    U0LCR = 0X03;
}

int putchar (int ch)
{
    while(!(U0LSR & 0X20));
    return (U0THR = ch);
}

int getchar (void)
{
    while(!(U0LSR & 0X01));
    return (U0RBR);
}

void read_adc0(void)
{
    PINSEL1 |= 0x15440000;
    AD0CR &= 0x00000000;
    AD0CR |= 0x00000001;
    AD0CR |= 0x00000A00;
    AD0CR &= 0xFFF1FFFF;
    AD0CR |= 0x00200000;
    AD0CR &= 0xF8FFFFFF;
}

```

//ฟังก์ชัน UART

//ฟังก์ชัน UART

//เป็นฟังก์ชันในการส่งข้อมูลออก

//เป็นฟังก์ชันในการรับข้อมูลเข้ามา

//เป็นการเปิดใช้งานพอร์ต A2D

A2D ตัวที่ 0.0 ใช้งานที่ P0.27 ซึ่งแสดงค่าที่  
ตัวแปร val[0]

```

AD0CR |= 0x01000000;
{
v = AD0DR;
} while ((v & 0x80000000) == 0);
val[0] = ((v >> 6) & 0x03FF);
AD0CR &= 0x00000000;
AD0CR |= 0x00000002;
AD0CR |= 0x00000A00;
AD0CR &= 0xFFFF1FFFF;
AD0CR |= 0x00200000;
AD0CR &= 0xF8FFFFFF;
AD0CR |= 0x01000000;
do
{
v = AD0DR;
} while ((v & 0x80000000) == 0);
val[1] = ((v >> 6) & 0x03FF);

```

A2D ตัวที่ 0.1 ใช้งานที่ P0.28 ซึ่งแสดงค่า  
ที่ตัวแปร val[1]

```

AD0CR &= 0x00000000;
AD0CR |= 0x00000004;
AD0CR |= 0x00000A00;
AD0CR &= 0xFFFF1FFFF;
AD0CR |= 0x00200000;
AD0CR &= 0xF8FFFFFF;
AD0CR |= 0x01000000;
do
{
v = AD0DR;
} while ((v & 0x80000000) == 0);
val[2] = ((v >> 6) & 0x03FF);

```

A2D ตัวที่ 0.2 ใช้งานที่ P0.29 ซึ่งแสดงค่า  
ที่ตัวแปร val[2]

```

AD0CR &= 0x00000000;
AD0CR |= 0x00000008;
AD0CR |= 0x00000A00;
AD0CR &= 0xFFFF1FFFF;
AD0CR |= 0x00200000;
AD0CR &= 0xF8FFFFFF;
AD0CR |= 0x01000000;
do
{
    v = AD0DR;
} while ((v & 0x80000000) == 0);
val[3] = ((v >> 6) & 0x03FF);

```

A2D ตัวที่ 0.3 ใช้งานที่ P0.30 ซึ่งแสดงค่า  
ที่ตัวแปร val[3]

A2D ตัวที่ 0.3 ใช้งานที่ P0.30 ซึ่งแสดงค่า  
ที่ตัวแปร val[3]

```

void main(void)
{
    uart0_init(19200); // เรียกใช้งานฟังก์ชัน UART
    PINSEL0 |= 0x00008000; //เป็นการเปิดใช้งานพอร์ต PWM2
    PINSEL1 |= 0x00000400; //เป็นการเปิดใช้งานพอร์ต PWM5
    PWMPR = 59; //ที่เก็บค่าสัญญาณนาฬิกาเพื่อเป็นตัวหาร
    PWMPCR = 0x00002500; //เป็นการทำให้ PWM2 กับ PWM5 เป็น OUTPUT
    PWMMCR = 0x00000006; //เป็นการรีเซ็ตค่าของ PWM2 กับ PWM5
    PWMMR0 = 20000; //กำหนดพัลส์ในช่วงการทำงานของมอเตอร์ที่ 20ms
    PWMMR2 = x; //กำหนดให้ PWM2 = x
    PWMLER |= 0x00000004; //เป็นการเคลียร์สถานะของ PWM2
    PWMMR5 = y; //กำหนดให้ PWMr = y
    PWMLER |= 0x00000020; //เป็นการเคลียร์สถานะของ PWM5
    PWMTCR = 0x00000002; //เป็นการเก็บค่าจำนวนนับของสัญญาณนาฬิกา
    PWMTCR = 0x00000009;
    while(1) // คำสั่งวนลูป
    {
        read_adc0(); //เรียกใช้ฟังก์ชัน A2D
    }
}

```

```
printf("%d %d %d %dr\n",val[0],val[1],val[2],val[3]); //เป็นฟังก์ชันที่เขียนเพื่อส่งข้อมูล  
ออกไปมากกว่า 1 ตัวอักษร
```

```
delay_ms(50); //เป็นคำสั่งที่ 50 ms
```

```
if(((val[0]>100)&&(val[1]>100))&&(500<=y<=2500))
```

{

```
y=y+10;
```

//ถ้า A2D ที่อ่านได้ค่า val[0] และ  
val[1] มากกว่า 100 ให้มอเตอร์แกน  
ตั้งหมุนบวกขึ้นทีละ 10  $\mu$ s

```
PWMMR5 = y;
```

```
PWMLER |= 0x00000020;
```

```
PWMTCR = 0x00000002;
```

```
PWMTCR = 0x00000009;
```

```
}
```

//ถ้า A2D ที่อ่านได้ค่า val[0] และ  
val[1] มากกว่า 100 ให้มอเตอร์แกน  
ตั้งหมุนบวกขึ้นทีละ 10  $\mu$ s

```
if(((val[3]>100)&&(val[2]>100))&&(500<=y<=2500))
```

```
{
```

```
y=y-10;
```

```
PWMMR5 = y;
```

```
PWMLER |= 0x00000020;
```

```
PWMTCR = 0x00000002;
```

```
PWMTCR = 0x00000009;
```

```
}
```

//ถ้า A2D ที่อ่านได้ค่า val[3] และ  
val[2] มากกว่า 100 ให้มอเตอร์แกน  
ตั้งหมุนลดลงทีละ 10  $\mu$ s

```
else if(((val[0]>100)&&(val[1]>100)&&(val[2]>100)&&(val[3]>100))&&(500<=y<=2500))
```

```
{
```

```
y=y;
```

```
PWMMR5 = y;
```

```
PWMLER |= 0x00000020;
```

```
PWMTCR = 0x00000002;
```

```
PWMTCR = 0x00000009;
```

```
}
```

//แล้วถ้า A2D ที่อ่านได้ค่า val[0] val[1] val[3] และ  
val[3] มากกว่า 100 ให้มอเตอร์แกนตั้งหยุดอยู่ที่  
ตำแหน่งเดิม

```
if(((val[0]>100)&&(val[3]>100))&&(500<=x<=2500))
```

```
{
```

```
x=x-10;
```

```
PWMMR2 = x;
```

//ถ้า A2D ที่อ่านได้ค่า val[0] และ  
val[3] มากกว่า 100 ให้มอเตอร์แกน

```

PWMLER |= 0x00000004;
PWMTTCR = 0x00000002;
PWMTTCR = 0x00000009;
}
if(((val[1]>100)&&(val[2]>100))&&(500<=x<=2500))
{
x=x+10;
PWMMR2 = x;
PWMLER |= 0x00000004;
PWMTTCR = 0x00000002;
PWMTTCR = 0x00000009;
}
else if(((val[0]>100)&&(val[1]>100)&&(val[2]>100)&&(val[3]>100))&&(500<=x<=2500))
{
x=x;
PWMMR2 = x;
PWMLER |= 0x00000004;
PWMTTCR = 0x00000002;
PWMTTCR = 0x00000009;
}
if((val[0]>100)&&((500<=x<2500)&&(500<=y<=2500)))
{
y=y+10;
PWMMR5 = y;
PWMLER |= 0x00000020;
x=x-10;
PWMMR2 = x;
PWMLER |= 0x00000004;
PWMTTCR = 0x00000002;
PWMTTCR = 0x00000009;
}

```

นอนหมุนลดลงทีละ 10  $\mu$ s  
 //ถ้า A2D ที่อ่านได้ค่า val[1] และ val[2] มากกว่า 100 ให้มอเตอร์แกน นอนหมุนบวกขึ้นทีละ 10  $\mu$ s  
 //ถ้า A2D ที่อ่านได้ค่า val[1] และ val[2] มากกว่า 100 ให้มอเตอร์แกน นอนหมุนบวกขึ้นทีละ 10  $\mu$ s  
 //แล้วถ้า A2D ที่อ่านได้ค่า val[0] val[1] val[2] และ val[3] มากกว่า 100 ให้มอเตอร์แกนตั้งหยุดอยู่กับที่ ตำแหน่งเดิม  
 //ถ้า A2D ที่อ่านได้ค่า val[0] มากกว่า 100 ให้มอเตอร์แกน ตั้งหมุนบวกขึ้นทีละ 10  $\mu$ s และมอเตอร์แกนนอนหมุนลดลงทีละ 10  $\mu$ s

```

if((val[1]>100)&&((500<=x<2500)&&(500<=y<=2500)))
{
y=y+10;
PWMMR5 = y;
PWMLER |= 0x00000020;
x=x+10;
PWMMR2 = x;
PWMLER |= 0x00000004;
PWMTCR = 0x00000002;
PWMTCR = 0x00000009;
}
if((val[2]>100)&&((500<=x<2500)&&(500<=y<=2500)))
{
y=y-10;
PWMMR5 = y;
PWMLER |= 0x00000020;
x=x+10;
PWMMR2 = x;
PWMLER |= 0x00000004;
PWMTCR = 0x00000002;
PWMTCR = 0x00000009;
}
if((val[3]>100)&&((500<=x<2500)&&(500<=y<=2500)))
{
y=y-10;
PWMMR5 = y;
PWMLER |= 0x00000020;
x=x-10;
PWMMR2 = x;
PWMLER |= 0x00000004;
PWMTCR = 0x00000002;

```

//ถ้า A2D ที่อ่านได้ค่า val[1] มากกว่า 100 ให้มอเตอร์แกนตั้งหมุนบวกขึ้นทีละ 10  $\mu$ s และมอเตอร์แกนนอนหมุนบวกขึ้นทีละ 10  $\mu$ s

//ถ้า A2D ที่อ่านได้ค่า val[1] มากกว่า 100 ให้มอเตอร์แกนตั้งหมุนบวกขึ้นทีละ 10  $\mu$ s และมอเตอร์แกนนอนหมุนบวกขึ้นทีละ 10  $\mu$ s

//ถ้า A2D ที่อ่านได้ค่า val[2] มากกว่า 100 ให้มอเตอร์แกนตั้งหมุนลดลงทีละ 10  $\mu$ s และมอเตอร์แกนนอนหมุนบวกขึ้นทีละ 10  $\mu$ s

//ถ้า A2D ที่อ่านได้ค่า val[3] มากกว่า 100 ให้มอเตอร์แกนตั้งหมุนลดลงทีละ 10  $\mu$ s และมอเตอร์แกนนอนหมุนลดลงทีละ 10  $\mu$ s

```

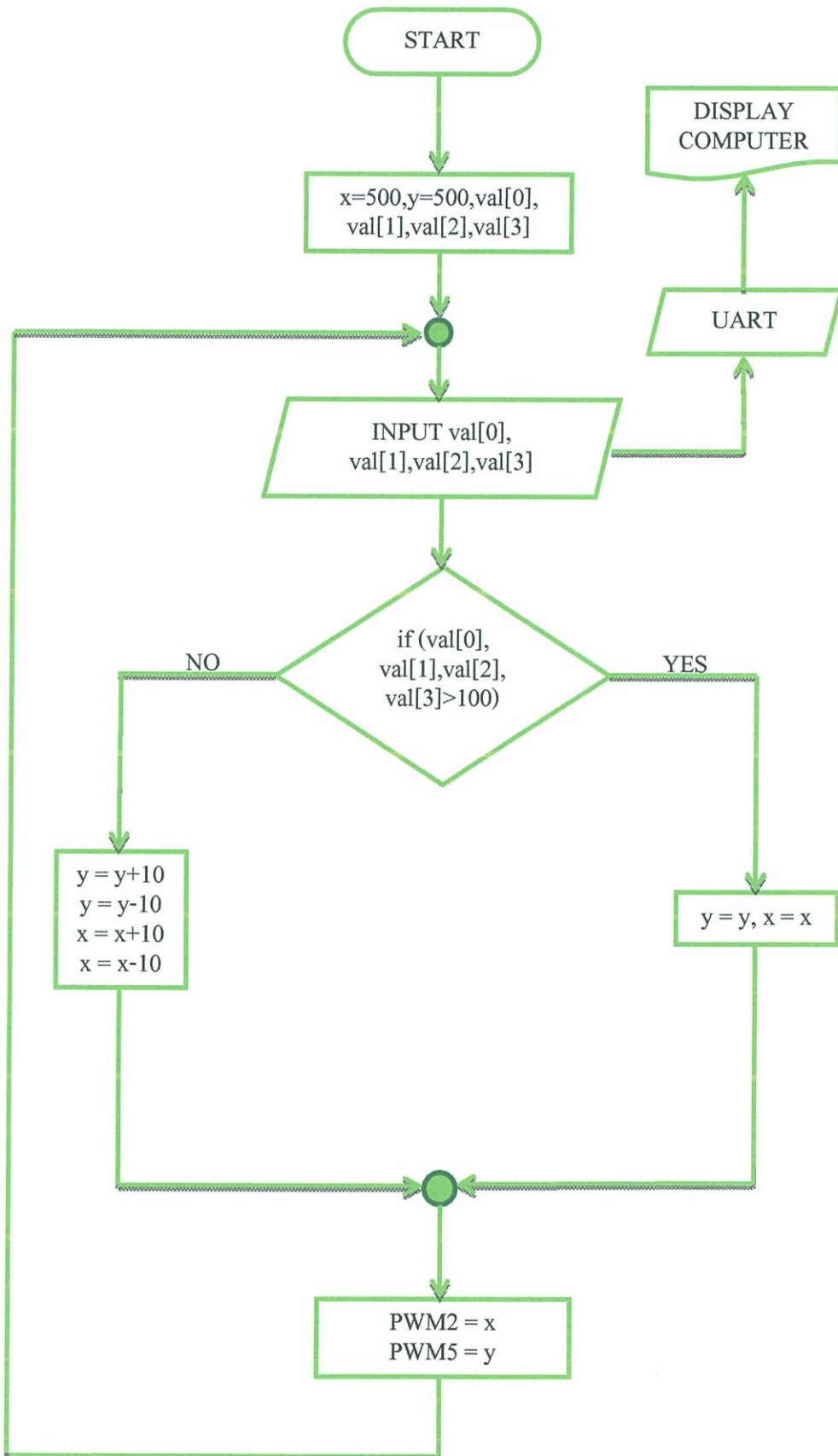
PWMTCR = 0x00000009;
}
else
if(((val[0]>100)&&(val[1]>100)&&(val[2]>100)&&(val[3]>100))&&((500<=x<=2500)&&(500
<=y<2500)))
{
    y=y;
    PWMMR5 = y;
    PWMLER |= 0x00000020;
    x=x;
    PWMMR2 = x;
    PWMLER |= 0x00000004;
    PWMTCR = 0x00000002;
    PWMTCR = 0x00000009;
}
else
{
    x=1500;
    PWMMR2 = x;
    PWMLER |= 0x00000004;
    y=1500;
    PWMMR5 = y;
    PWMLER |= 0x00000020;
    PWMTCR = 0x00000002;
    PWMTCR = 0x00000009;
}
}
}

```

//แล้วถ้า A2D ที่อ่านได้ค่า val[0] val[1] val[2] และ val[3] มากกว่า 100 ให้มอเตอร์แกนตั้งและแกนนอนหยุดอยู่ที่ตำแหน่งเดิม

//แล้วถ้า A2D ที่อ่านได้ค่า val[0] val[1] val[2] และ val[3] มากกว่า 100 ให้มอเตอร์แกนตั้งและแกนนอนหยุดอยู่ที่ตำแหน่งเดิม

//เมื่อไม่มีแสงเข้ามามอเตอร์ทั้งแกนตั้งและแกนนอนจะกลับไปตำแหน่ง 1500  $\mu$ s



รูปที่ 3.25 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมที่ควบคุมการหมุนของมอเตอร์

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

การทดสอบและวิเคราะห์ผลของโมเดลระบบติดตามดวงอาทิตย์ จะแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ตอนที่ 4.1 การทดสอบและวิเคราะห์ความแม่นยำของค่ามุมในแนวแกนอะซิมุทและแนวแกน อัลติจูดของระบบติดตามดวงอาทิตย์

ตอนที่ 4.2 การทดสอบและวิเคราะห์การติดตามดวงอาทิตย์ด้วยเซ็นเซอร์ LDR

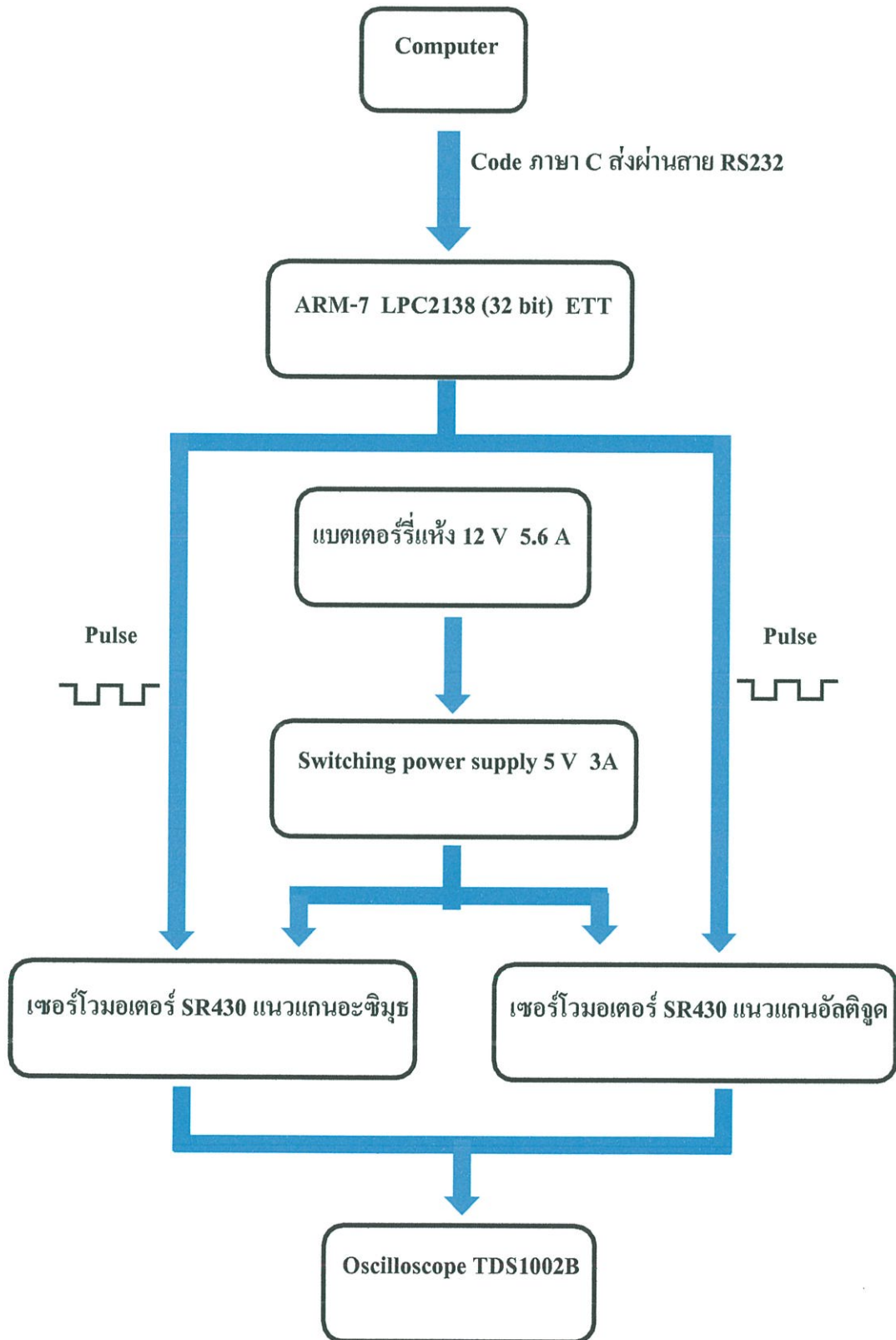
#### 4.1 การทดสอบและวิเคราะห์ความแม่นยำของค่ามุมในแนวแกนอะซิมุทและแนวแกนอัลติจูดของโมเดลของระบบติดตามดวงอาทิตย์

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM-7 LPC2138 (32 bit) ETT
2. Switching power supply 5 V 3A
3. เซอร์โวมอเตอร์ SR430 จำนวน 2 ตัว
4. แบตเตอรี่แห้ง 12 V 5.6 A และเครื่องวงกลม
5. Oscilloscope TDS1002B

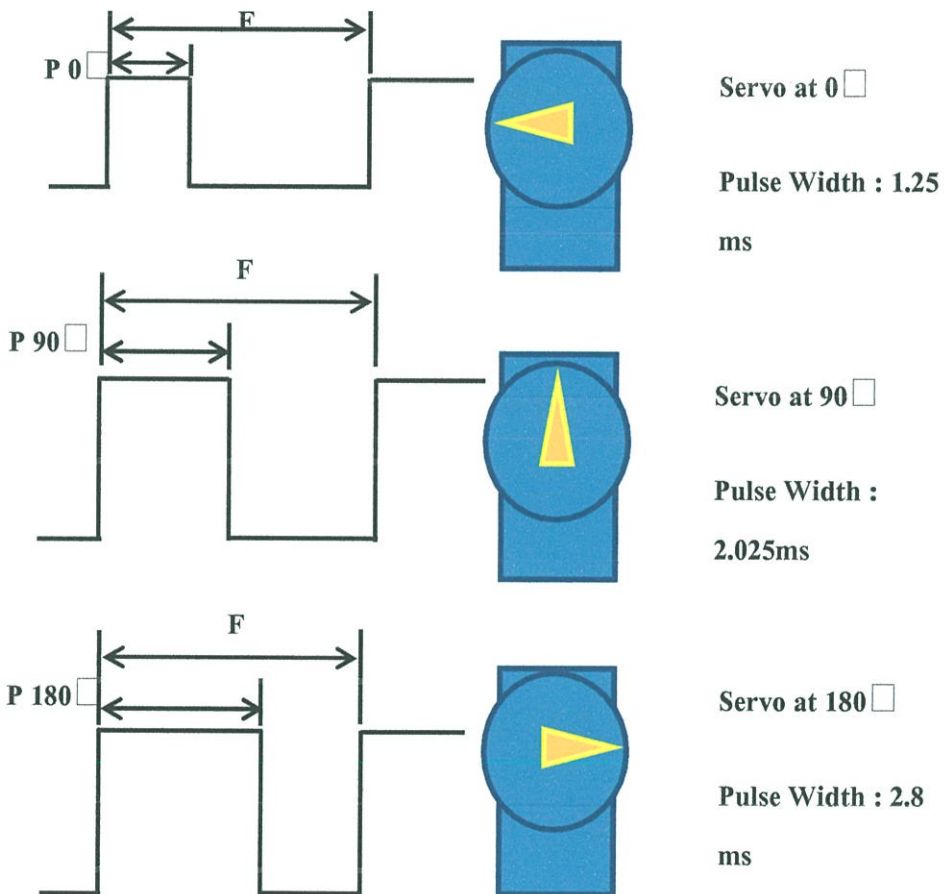
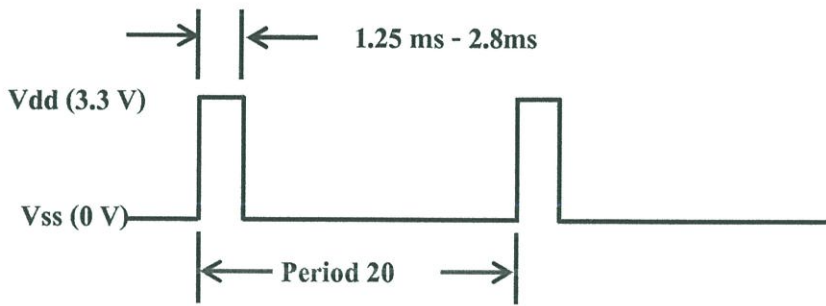
2. การทดสอบและวิเคราะห์ค่าความแม่นยำความกว้างพัลส์ที่กำหนดโดยโปรแกรมเพื่อเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อน มุม  $0^{\circ}$ - $180^{\circ}$  กับเครื่องมือเครื่องวงกลมที่ใช้วัดมุมอะซิมุทและมุมอัลติจูดของระบบติดตามดวงอาทิตย์

1. จัดอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.1
2. กำหนดจุดอ้างอิงดังรูปที่ 4.2 และคำนวณความกว้างพัลส์ที่ใช้ในการป้อนพัลส์ให้กับเซอร์โวมอเตอร์
3. เขียนโปรแกรมสั่งการเซอร์โวมอเตอร์แนวแกนอะซิมุท ดังรูปที่ 4.3 และอัปเดตโปรแกรมรูปที่ 4.3 เข้าบอร์ด ARM-7
4. อ่านค่ามุมจากเครื่องมือเครื่องวงกลมพร้อมทั้งบันทึกค่ามุมที่อ่านได้ลงในตารางที่ 4.1
5. ทำซ้ำในข้อที่ 3. อีก 2 ครั้ง
6. ในแนวแกนอัลติจูด ทำซ้ำข้อ 3 -5 บันทึกผลในตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบอุปกรณ์ในการทดสอบหาค่าความแม่นยำความกว้างพัลส์

จุดอ้างอิงเซอร์โวมอเตอร์



รูปที่ 4.2 คาบเวลาและจุดอ้างอิงตำแหน่งองศาของเซอร์โวมอเตอร์

การคำนวณสัญญาณความกว้างพัลส์ที่ 1°

จากจุดอ้างอิงในรูปที่ 4.2 สัญญาณความกว้างพัลส์ ที่ 0° - 180° มีขนาด 28 ms

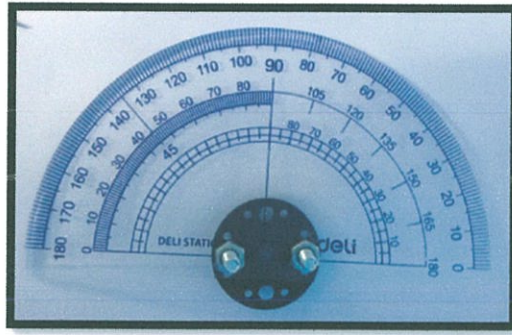
ดังนั้น สัญญาณความกว้างพัลส์ที่เพิ่มขึ้น 1° จะเท่ากับ  $\frac{1550\mu s \times 1^\circ}{180^\circ} = 8.61111\mu s$

```

#include <LPC213x.H>
#include <stdio.h>
float x=500,a=0;
void delay_ms(long int ms)
{
    long int i,j;
    for(i=0;i<ms;i++)
        for(j=0;j<6555;j++);
}
void main(void)
{
    int x=0,y=0;
    PINSEL0 |= 0x00028000;    //Enable pin 0.7 , 0.8 as PWM 2,4
    PWMPR = 59;              //Load prescaler 1 usec
    PWMPCR = 0x00001400;    //PWM channel 2,4 single edge control, output enabled
    PWMMCR = 0x00000020;    //On match with timer reset the counter
    PWMMR0 = 20000;         //set cycle rate to 20000 ticks = 20 msec
    PWMMR2 = x;             //set rising edge of PWM2 to x ticks
    PWMMR4 = y;             //set rising edge of PWM4 to y ticks
    PWMLER = 0x00000015;    //enable shadow latch for match 0,2,4
    PWMTCR = 0x00000002;    //Reset counter and prescaler
    PWMTCR = 0x00000009;    //enable counter and PWM, release counter from reset
    while(1)
    {
        if(a<180,a++)
        {
            x=500+(11.11111111*a);
            delay_ms(8000);
            PWMMR2 = x;
            PWMLER = 0x00000014;
        }
    }
}

```

รูปที่4.3 แสดง code ภาษาซีควบคุมการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์  
ในตำแหน่งมุม 0°-180° แนวแกนอะซิมูท



รูปที่ 4.4. เครื่องมือเครื่องวงกลม

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวัดมุมที่ได้จากค่าความกว้างพัลส์ที่ป้อนให้กับ โปรแกรมในแนวแกนอะซิม

มูธ

องศา (กำหนด เอง) (°)	ความกว้างของ พัลส์(μs)	องศาที่ได้จากการนำความกว้างพัลส์ป้อนใส่โปรแกรม แล้วอ่านค่าจากเครื่องวงกลมที่ติดตั้งอยู่บนมอเตอร์(°)			ค่าเฉลี่ย (°)
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	
0	500.000000	0.00	0.00	0.00	0.00
1	511.111111	1.00	1.00	1.00	1.00
2	522.222222	2.00	2.00	2.00	2.00
3	533.333333	3.00	3.00	3.00	3.00
4	544.444444	4.00	4.00	4.00	4.00
5	555.555556	5.00	5.00	5.00	5.00
6	566.666667	6.00	6.00	6.00	6.00
7	577.777778	7.00	8.00	7.00	7.33
8	588.888889	8.00	9.00	8.50	8.50
9	600.000000	9.00	10.00	10.00	9.67
10	611.111111	10.00	11.00	11.00	10.67
11	622.222222	11.00	12.00	12.00	11.67
12	633.333333	12.50	13.00	13.00	12.83
13	644.444444	13.50	15.00	14.00	14.17
14	655.555556	14.50	5.50	15.00	11.67
15	666.666667	15.50	17.00	16.00	16.17
16	677.777778	17.00	18.00	17.00	17.33
17	688.888889	18.00	19.00	19.00	18.67

18	700.000000	19.00	20.00	20.00	19.67
19	711.111111	20.00	21.00	21.00	20.67
20	722.222222	21.00	22.00	22.00	21.67
21	733.333333	22.00	23.00	23.00	22.67
22	744.444444	23.00	24.00	24.00	23.67
23	755.555556	24.50	25.00	25.00	24.83
24	766.666667	25.50	26.00	26.00	25.83
25	777.777778	27.00	27.00	27.00	27.00
26	788.888889	28.00	28.50	28.00	28.17
27	800.000000	29.00	30.00	29.50	29.50
28	811.111111	30.00	31.00	31.00	30.67
29	822.222222	30.00	32.00	32.00	31.33
30	833.333333	31.00	33.00	33.00	32.33
31	844.444444	32.50	35.00	34.00	33.83
32	855.555556	34.00	35.50	35.00	34.83
33	866.666667	35.00	36.00	36.00	35.67
34	877.777778	36.00	37.50	37.00	36.83
35	888.888889	37.00	39.00	37.50	37.83
36	900.000000	38.00	39.50	38.00	38.50
37	911.111111	39.00	40.50	39.00	39.50
38	922.222222	49.00	41.00	40.00	43.33
39	933.333333	41.50	42.50	42.00	42.00
40	944.444444	42.50	44.00	43.00	43.17
41	955.555556	44.00	45.00	44.00	44.33
42	966.666667	45.00	46.00	45.00	45.33
43	977.777778	46.00	47.00	46.00	46.33
44	988.888889	47.00	48.00	47.00	47.33
45	1000.000000	48.00	49.00	49.00	48.67
46	1011.111111	49.00	50.00	50.00	49.67
47	1022.222222	50.00	51.00	51.00	50.67
48	1033.333333	51.00	52.00	52.00	51.67

49	1044.444444	52.50	53.00	53.00	52.83
50	1055.555556	53.50	54.00	54.00	53.83
51	1066.666667	55.00	55.00	55.00	55.00
52	1077.777778	56.00	51.00	56.00	54.33
53	1088.888889	57.00	53.00	57.00	55.67
54	1100.000000	58.00	55.00	58.50	57.17
55	1111.111111	59.00	57.00	59.00	58.33
56	1122.222222	60.00	59.00	60.00	59.67
57	1133.333333	61.00	61.00	61.00	61.00
58	1144.444444	62.00	62.00	62.00	62.00
59	1155.555555	63.00	63.00	63.00	63.00
60	1166.666667	64.00	64.00	64.00	64.00
61	1177.777778	65.00	65.00	65.00	65.00
62	1188.888889	66.00	66.00	66.00	66.00
63	1200.000000	67.00	67.00	67.00	67.00
64	1211.111111	68.00	68.00	68.00	68.00
65	1222.222222	69.00	69.00	69.00	69.00
66	1233.333333	70.00	70.00	70.00	70.00
67	1244.444444	71.00	71.00	71.00	71.00
68	1255.555555	72.00	72.00	72.00	72.00
69	1266.666667	72.50	72.50	73.00	72.67
70	1277.777778	73.50	74.00	74.00	73.83
71	1288.888889	74.00	74.50	75.00	74.50
72	1300.000000	75.00	75.50	76.00	75.50
73	1311.111111	76.00	76.00	77.00	76.33
74	1322.222222	77.00	77.00	78.00	77.33
75	1333.333333	78.00	78.00	79.00	78.33
76	1344.444444	79.00	79.00	80.00	79.33
77	1355.555555	80.00	80.50	81.00	80.50
78	1366.666667	81.00	81.00	82.00	81.33
79	1377.777778	82.00	83.00	83.00	82.67

80	1388.888889	83.00	84.00	84.00	83.67
81	1400.000000	84.50	85.00	85.00	84.83
82	1411.111111	85.00	86.00	86.00	85.67
83	1422.222222	85.50	87.00	87.00	86.50
84	1433.333333	86.50	87.50	87.50	87.17
85	1444.444444	87.00	88.00	88.50	87.83
86	1455.555555	88.00	89.00	89.50	88.83
87	1466.666667	89.00	90.00	90.00	89.67
88	1477.777778	90.00	91.00	91.00	90.67
89	1488.888889	91.00	92.00	92.00	91.67
90	1500.000000	91.50	93.00	93.00	92.50
91	1511.111111	93.00	93.50	94.00	93.50
92	1522.222222	94.00	94.00	95.00	94.33
93	1533.333333	95.00	95.00	96.00	95.33
94	1544.444444	95.50	96.00	97.00	96.17
95	1555.555555	96.50	97.50	97.50	97.17
96	1566.666667	97.00	98.50	98.50	98.00
97	1577.777778	98.00	99.00	99.00	98.67
98	1588.888889	99.00	99.50	100.00	99.50
99	1600.000000	100.00	100.00	101.00	100.33
100	1611.111111	101.00	101.00	102.00	101.33
101	1622.222222	102.00	102.00	103.00	102.33
102	1633.333333	103.00	103.00	104.00	103.33
103	1644.444444	104.00	104.00	105.00	104.33
104	1655.555555	105.00	105.00	105.50	105.17
105	1666.666667	105.50	106.00	106.00	105.83
106	1677.777778	106.00	107.00	107.00	106.67
107	1688.888889	107.00	108.00	108.00	107.67
108	1700.000000	108.00	109.00	109.00	108.67
109	1711.111111	109.00	110.00	110.00	109.67
110	1722.222222	110.00	111.00	111.00	110.67

111	1733.333333	111.50	111.50	111.50	111.50
112	1744.444444	112.00	112.00	112.00	112.00
113	1755.555555	113.00	113.00	113.00	113.00
114	1766.666667	114.00	114.00	114.00	114.00
115	1777.777778	115.00	115.00	115.00	115.00
116	1788.888889	116.00	116.00	116.00	116.00
117	1800.000000	117.00	117.00	117.00	117.00
118	1811.111111	118.00	118.00	117.50	117.83
119	1822.222222	119.00	119.00	118.50	118.83
120	1833.333333	120.00	120.00	119.00	119.67
121	1844.444444	121.00	121.00	119.50	120.50
122	1855.555555	121.50	122.00	120.00	121.17
123	1866.666667	123.00	123.00	121.50	122.50
124	1877.777778	124.00	124.00	122.50	123.50
125	1888.888889	124.50	124.50	123.50	124.17
126	1900.000000	126.00	125.50	124.00	125.17
127	1911.111111	126.50	126.00	125.00	125.83
128	1922.222222	128.00	127.00	126.00	127.00
129	1933.333333	128.50	128.00	127.00	127.83
130	1944.444444	129.50	129.00	128.00	128.83
131	1955.555555	130.50	130.00	129.00	129.83
132	1966.666667	131.50	131.00	130.00	130.83
133	1977.777778	132.50	132.00	131.00	131.83
134	1988.888889	133.00	133.00	132.00	132.67
135	2000.000000	134.50	134.50	133.00	134.00
136	2011.111111	136.00	135.50	134.00	135.17
137	2022.222222	137.00	137.00	135.00	136.33
138	2033.333333	138.00	138.00	136.50	137.50
139	2044.444444	139.00	139.00	137.50	138.50
140	2055.555555	140.00	140.00	138.50	139.50
141	2066.666667	140.50	141.00	139.00	140.17

142	2077.777778	142.00	142.00	140.00	141.33
143	2088.888889	143.00	143.00	141.00	142.33
144	2100.000000	144.00	144.00	142.00	143.33
145	2111.111111	145.00	145.00	143.00	144.33
146	2122.222222	146.00	146.00	144.00	145.33
147	2133.333333	147.00	147.00	145.00	146.33
148	2144.444444	148.00	148.00	146.00	147.33
149	2155.555555	149.00	149.00	148.00	148.67
150	2166.666667	150.00	150.00	148.50	149.50
151	2177.777778	151.00	150.50	149.50	150.33
152	2188.888889	152.50	151.50	150.00	151.33
153	2200.000000	154.00	152.50	152.00	152.83
154	2211.111111	155.00	153.50	153.00	153.83
155	2222.222222	156.00	154.50	154.00	154.83
156	2233.333333	157.00	156.00	155.00	156.00
157	2244.444444	158.00	157.00	156.00	157.00
158	2255.555555	158.50	158.00	157.00	157.83
159	2266.666666	160.00	159.00	158.00	159.00
160	2277.777778	161.00	161.00	159.00	160.33
161	2288.888889	162.00	161.00	160.00	161.00
162	2300.000000	163.00	162.00	161.00	162.00
163	2311.111111	164.00	162.50	162.00	162.83
164	2322.222222	165.00	163.50	163.00	163.83
165	2333.333333	166.00	165.00	164.50	165.17
166	2344.444444	167.50	166.00	166.00	166.50
167	2355.555555	168.50	167.00	167.00	167.50
168	2366.666666	170.00	168.00	168.00	168.67
169	2377.777778	170.50	169.00	169.00	169.50
170	2388.888889	171.50	170.00	170.00	170.50
171	2400.000000	173.00	171.00	171.00	171.67
172	2411.111111	174.00	172.00	172.50	172.83

173	2422.222222	175.00	173.00	173.50	173.83
174	2433.333333	176.00	174.50	175.00	175.17
175	2444.444444	177.00	175.50	175.50	176.00
176	2455.555555	178.00	176.50	176.00	176.83
177	2466.666666	179.00	177.00	177.00	177.67
178	2477.777778	180.00	178.00	178.00	178.67
179	2488.888889	181.00	179.00	178.50	179.50
180	2500.000000	182.00	180.00	180.00	180.67

ตารางที่ 4. 2 แสดงผลการวัดมุมที่ได้จากค่าความกว้างพัลส์ที่ป้อนให้กับโปรแกรมในแนวแกนอัลติจูด

องศา (กำหนด เอง) (°)	ความกว้างของ พัลส์(μs)	องศาที่ได้จากการนำความกว้างพัลส์ป้อนใส่โปรแกรมแล้ว อ่านค่าจากเครื่องวงกลมที่ติดตั้งอยู่บนมอเตอร์(°)			ค่าเฉลี่ย (°)
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	
0	500.000000	0.00	0.00	0.00	0.00
1	511.111111	0.70	0.80	0.65	0.72
2	522.222222	2.00	2.00	1.50	1.83
3	533.333333	3.00	3.00	3.00	3.00
4	544.444444	4.00	4.00	4.50	4.17
5	555.555556	5.00	5.00	5.00	5.00
6	566.666667	6.30	6.00	6.00	6.10
7	577.777778	7.00	8.00	7.00	7.33
8	588.888889	8.00	9.00	8.50	8.50
9	600.000000	9.00	10.00	10.00	9.67
10	611.111111	10.00	11.00	11.00	10.67
11	622.222222	11.00	12.00	12.50	11.83
12	633.333333	12.50	13.00	13.00	12.83
13	644.444444	13.00	13.00	14.00	13.33
14	655.555556	14.00	5.50	15.00	11.50
15	666.666667	15.00	17.00	16.00	16.00

องศา (กำหนด เอง)(°)	ความกว้างของ พัลส์( $\mu$ s)	องศาที่ได้จากการนำความกว้างพัลส์ป้อนใส่โปรแกรมแล้ว อ่านค่าจากเครื่องวงกลมที่ติดตั้งอยู่บนมอเตอร์(°)			ค่าเฉลี่ย (°)
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	
16	677.777778	16.00	18.00	17.00	17.00
17	688.888889	17.00	19.00	18.00	18.00
18	700.000000	18.50	20.00	20.00	19.50
19	711.111111	19.00	21.00	19.00	19.67
20	722.222222	20.00	22.00	21.00	21.00
21	733.333333	21.00	23.00	23.00	22.33
22	744.444444	22.00	24.00	24.00	23.33
23	755.555556	23.00	25.00	25.00	24.33
24	766.666667	23.50	26.00	26.00	25.17
25	777.777778	24.00	27.00	27.00	26.00
26	788.888889	25.00	28.50	28.00	27.17
27	800.000000	27.00	29.00	29.50	28.50
28	811.111111	28.00	29.00	30.00	29.00
29	822.222222	29.00	30.00	30.00	29.67
30	833.333333	30.00	31.00	30.00	30.33
31	844.444444	31.00	31.00	32.00	31.33
32	855.555556	32.00	33.00	32.00	32.33
33	866.666667	33.00	34.00	33.00	33.33
34	877.777778	34.00	37.50	37.00	36.17
35	888.888889	35.00	36.00	36.00	35.67
36	900.000000	36.00	36.00	36.50	36.17
37	911.111111	37.00	38.00	39.00	38.00
38	922.222222	38.00	39.00	39.00	38.67
39	933.333333	39.00	41.00	41.00	40.33
40	944.444444	40.00	41.00	41.00	40.67
41	955.555556	41.00	42.00	42.00	41.67
42	966.666667	42.00	43.00	43.00	42.67
43	977.777778	43.00	44.00	44.00	43.67

44	988.888889	44.00	45.00	45.00	44.67
45	1000.000000	45.00	46.00	46.00	45.67
46	1011.111111	46.00	47.00	47.00	46.67
47	1022.222222	47.00	48.00	48.00	47.67
48	1033.333333	48.00	49.00	49.00	48.67
49	1044.444444	49.00	50.00	50.00	49.67
50	1055.555556	50.00	51.00	51.00	50.67
51	1066.666667	51.00	52.00	52.00	51.67
52	1077.777778	52.00	53.00	53.00	52.67
53	1088.888889	53.00	54.00	54.00	53.67
54	1100.000000	54.00	55.00	55.00	54.67
55	1111.111111	55.00	56.00	56.00	55.67
56	1122.222222	56.00	57.00	57.00	56.67
57	1133.333333	57.00	58.00	58.00	57.67
58	1144.444444	58.00	59.00	59.00	58.67
59	1155.555555	59.00	60.00	60.00	59.67
60	1166.666667	60.00	61.00	61.00	60.67
61	1177.777778	61.00	62.00	62.00	61.67
62	1188.888889	62.00	63.00	63.00	62.67
63	1200.000000	63.00	64.00	64.00	63.67
64	1211.111111	64.00	65.00	65.00	64.67
65	1222.222222	65.00	66.00	66.00	65.67
66	1233.333333	66.00	67.00	67.00	66.67
67	1244.444444	67.00	68.00	68.00	67.67
68	1255.555555	68.00	69.00	69.00	68.67
69	1266.666667	69.00	70.00	70.00	69.67
70	1277.777778	70.00	71.00	71.00	70.67
71	1288.888889	71.00	72.00	72.00	71.67
72	1300.000000	72.00	73.00	73.00	72.67
73	1311.111111	73.00	74.00	74.00	73.67
74	1322.222222	74.00	75.00	75.00	74.67

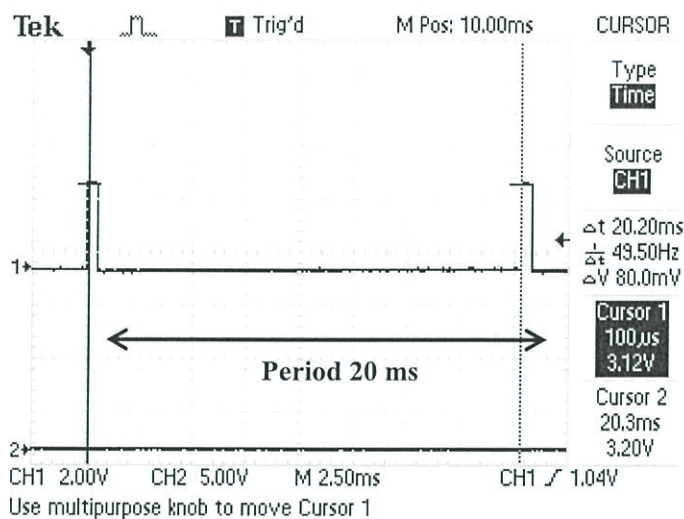
75	1333.333333	75.00	76.00	76.00	75.67
76	1344.444444	76.00	77.00	77.00	76.67
77	1355.555555	77.00	78.00	78.00	77.67
78	1366.666667	78.00	79.00	79.00	78.67
79	1377.777778	79.00	80.00	80.00	79.67
80	1388.888889	80.00	81.00	81.00	80.67
81	1400.000000	81.50	82.00	82.00	81.83
82	1411.111111	82.00	83.00	83.00	82.67
83	1422.222222	83.00	84.00	84.00	83.67
84	1433.333333	84.00	85.00	85.00	84.67
85	1444.444444	85.00	86.00	86.00	85.67
86	1455.555555	86.00	87.00	87.00	86.67
87	1466.666667	87.00	88.00	88.00	87.67
88	1477.777778	88.00	89.00	89.00	88.67
89	1488.888889	89.00	90.00	90.00	89.67
90	1500.000000	90.00	91.00	91.00	90.67
91	1511.111111	91.00	92.00	92.00	91.67
92	1522.222222	92.00	93.00	93.00	92.67
93	1533.333333	93.00	94.00	94.00	93.67
94	1544.444444	94.00	95.00	95.00	94.67
95	1555.555555	95.50	96.00	96.00	95.83
96	1566.666667	96.00	97.00	97.00	96.67
97	1577.777778	97.00	98.00	98.00	97.67
98	1588.888889	98.00	99.00	99.00	98.67
99	1600.000000	99.00	100.00	100.00	99.67
100	1611.111111	100.00	101.00	101.00	100.67
101	1622.222222	101.00	102.00	102.00	101.67
102	1633.333333	102.00	103.00	103.00	102.67
103	1644.444444	103.00	104.00	104.00	103.67
104	1655.555555	104.00	105.00	105.00	104.67
105	1666.666667	105.50	106.00	106.00	105.83

106	1677.777778	106.00	107.00	107.00	106.67
107	1688.888889	107.00	108.00	108.00	107.67
108	1700.000000	108.00	109.00	109.00	108.67
109	1711.111111	109.00	110.00	110.00	109.67
110	1722.222222	110.00	111.00	111.00	110.67
111	1733.333333	111.50	112.00	112.00	111.83
112	1744.444444	112.00	113.00	113.00	112.67
113	1755.555555	113.00	114.00	114.00	113.67
114	1766.666667	114.00	115.00	115.00	114.67
115	1777.777778	115.00	116.00	116.00	115.67
116	1788.888889	116.00	117.00	117.00	116.67
117	1800.000000	117.00	118.00	118.00	117.67
118	1811.111111	118.00	119.00	119.00	118.67
119	1822.222222	119.00	120.00	120.00	119.67
120	1833.333333	120.00	121.00	121.00	120.67
121	1844.444444	121.00	122.00	122.00	121.67
122	1855.555555	121.50	123.00	123.00	122.50
123	1866.666667	123.00	124.00	124.00	123.67
124	1877.777778	124.00	125.00	125.00	124.67
125	1888.888889	124.50	126.00	126.00	125.50
126	1900.000000	126.00	127.00	127.00	126.67
127	1911.111111	126.50	128.00	128.00	127.50
128	1922.222222	128.00	129.00	129.00	128.67
129	1933.333333	128.50	130.00	130.00	129.50
130	1944.444444	129.50	131.00	131.00	130.50
131	1955.555555	130.50	132.00	132.00	131.50
132	1966.666667	132.00	133.00	133.00	132.67
133	1977.777778	132.50	134.00	134.00	133.50
134	1988.888889	134.00	135.00	135.00	134.67
135	2000.000000	135.00	136.00	136.00	135.67
136	2011.111111	136.00	137.00	137.00	136.67

137	2022.222222	137.00	138.00	138.00	137.67
138	2033.333333	138.00	139.00	139.00	138.67
139	2044.444444	139.00	140.00	140.00	139.67
140	2055.555555	140.00	141.00	141.00	140.67
141	2066.666667	140.50	142.00	142.00	141.50
142	2077.777778	142.00	143.00	143.00	142.67
143	2088.888889	143.00	144.00	144.00	143.67
144	2100.000000	144.00	145.00	145.00	144.67
145	2111.111111	145.00	146.00	146.00	145.67
146	2122.222222	146.00	147.00	147.00	146.67
147	2133.333333	147.00	148.00	148.00	147.67
148	2144.444444	148.00	149.00	149.00	148.67
149	2155.555555	149.00	150.00	150.00	149.67
150	2166.666667	150.00	151.00	151.00	150.67
151	2177.777778	151.00	152.00	152.00	151.67
152	2188.888889	152.50	153.00	153.00	152.83
153	2200.000000	153.00	154.00	154.00	153.67
154	2211.111111	154.00	155.00	155.00	154.67
155	2222.222222	155.00	156.00	156.00	155.67
156	2233.333333	156.00	157.00	157.00	156.67
157	2244.444444	157.00	158.00	158.00	157.67
158	2255.555555	158.50	159.00	159.00	158.83
159	2266.666666	159.00	160.00	160.00	159.67
160	2277.777778	160.00	161.00	161.00	160.67
161	2288.888889	161.00	162.00	162.00	161.67
162	2300.000000	162.00	163.00	163.00	162.67
163	2311.111111	163.00	164.00	164.00	163.67
164	2322.222222	164.00	165.00	165.00	164.67
165	2333.333333	165.00	166.00	166.00	165.67
166	2344.444444	166.50	167.00	167.00	166.83
167	2355.555555	167.50	168.00	168.00	167.83

168	2366.666666	168.00	169.00	169.00	168.67
169	2377.777778	169.50	170.00	170.00	169.83
170	2388.888889	170.00	171.00	171.00	170.67
171	2400.000000	171.00	172.00	172.00	171.67
172	2411.111111	172.00	173.00	173.00	172.67
173	2422.222222	173.00	174.00	174.00	173.67
174	2433.333333	174.00	175.00	175.00	174.67
175	2444.444444	175.00	176.00	176.00	175.67
176	2455.555555	176.00	177.00	177.00	176.67
177	2466.666666	177.00	178.00	178.00	177.67
178	2477.777778	178.00	179.00	179.00	178.67
179	2488.888889	179.00	180.00	180.00	179.67
180	2500.000000	180.00	181.00	181.00	180.67

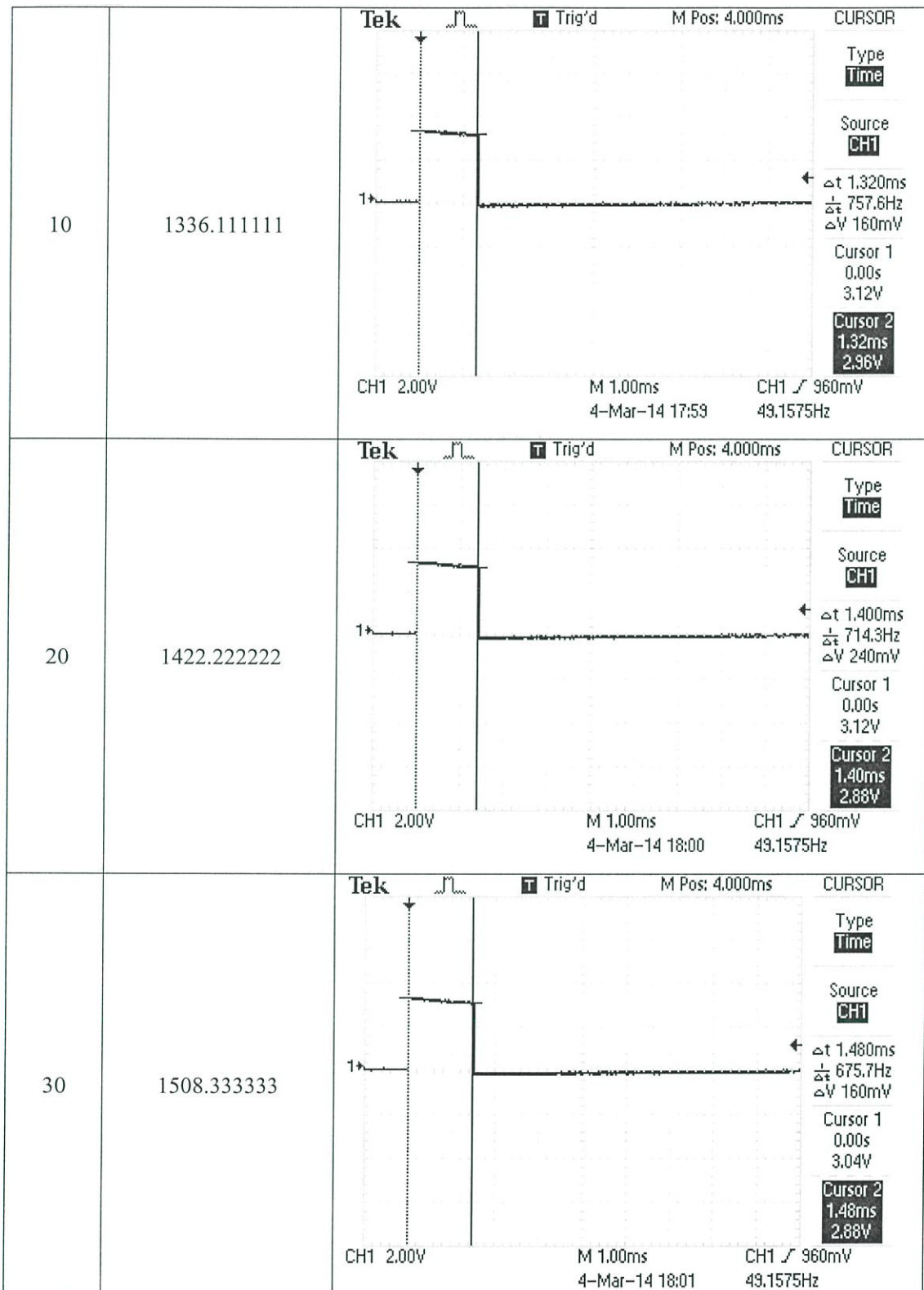
3. บันทึกภาพสัญญาณความกว้างพัลส์ที่ได้จากการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์ในแนวแกนอะซิมูทและแนวแกนอัลติจูด

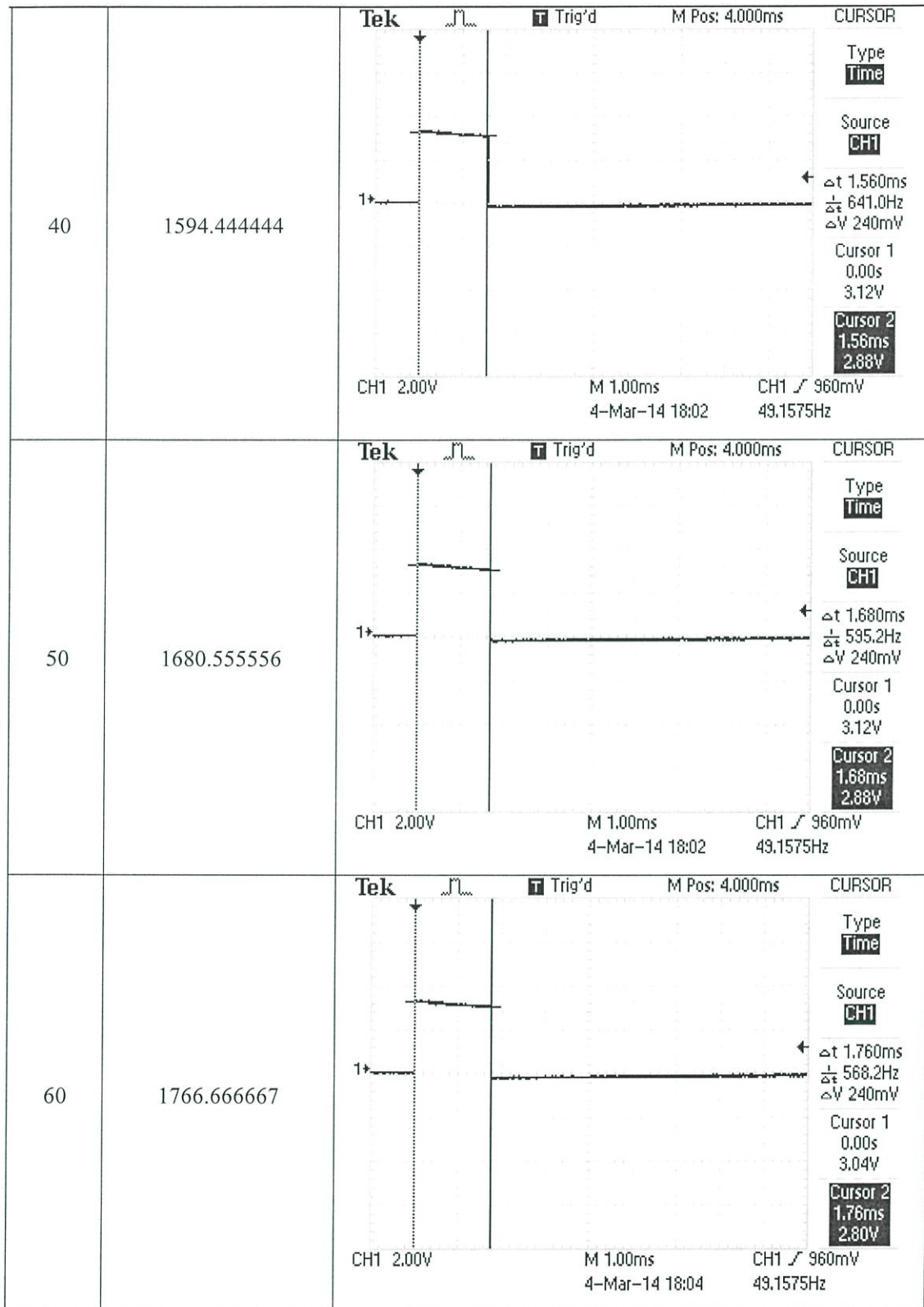


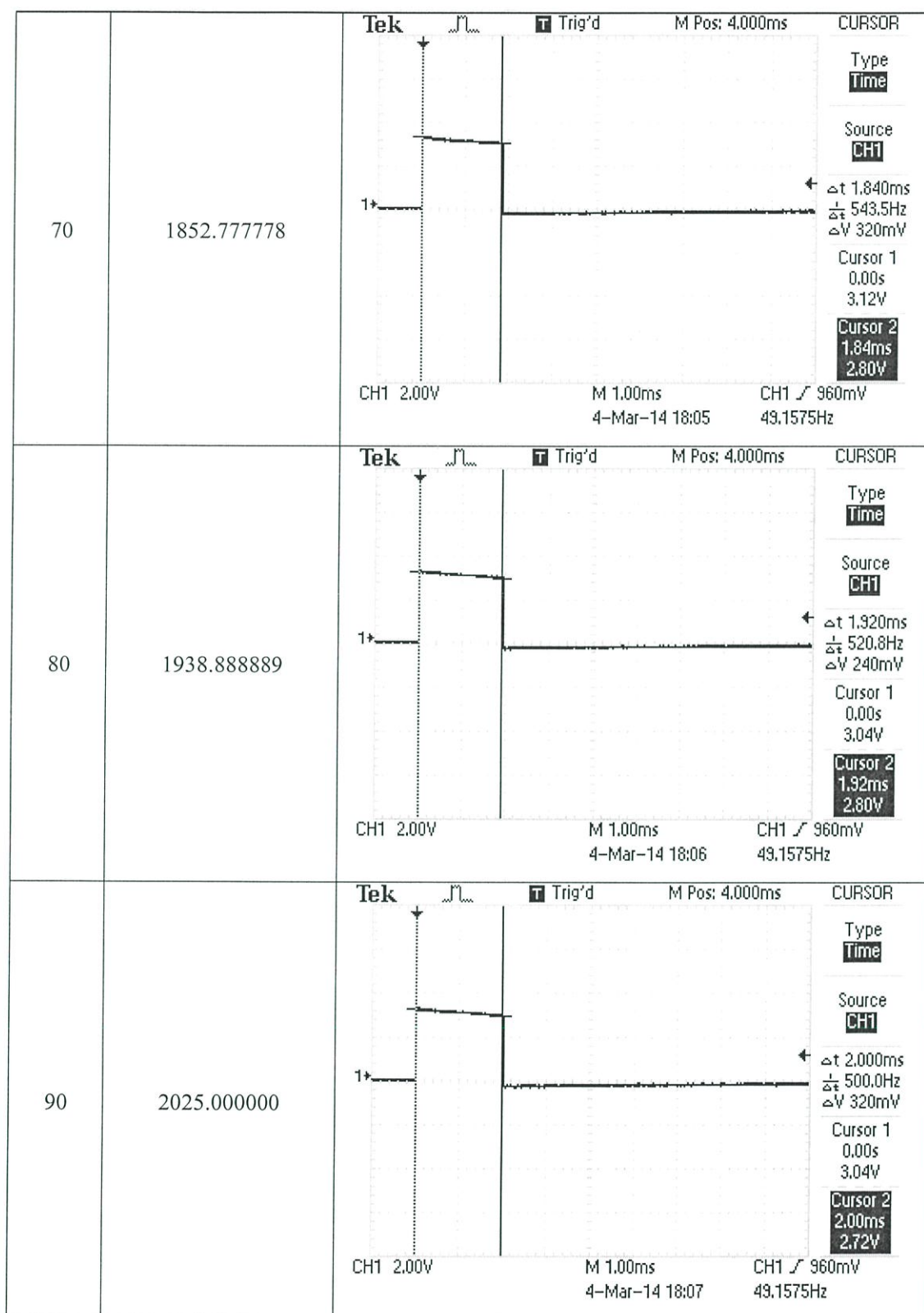
รูปที่ 4.5 แสดงคาบเวลาที่ใช้เท่ากับ 20 ms

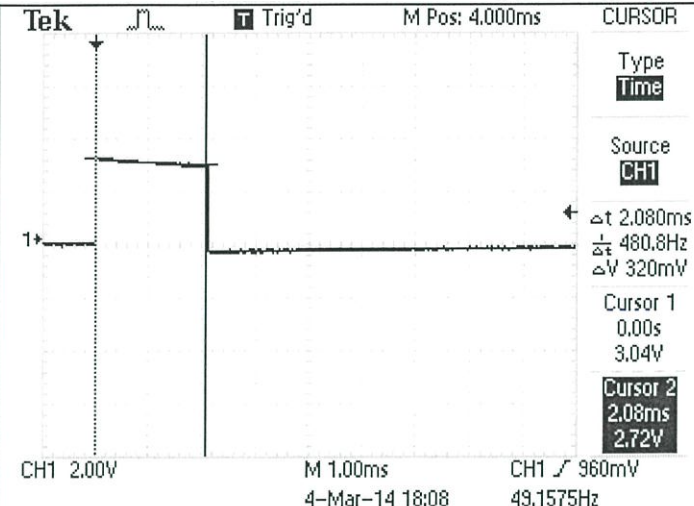
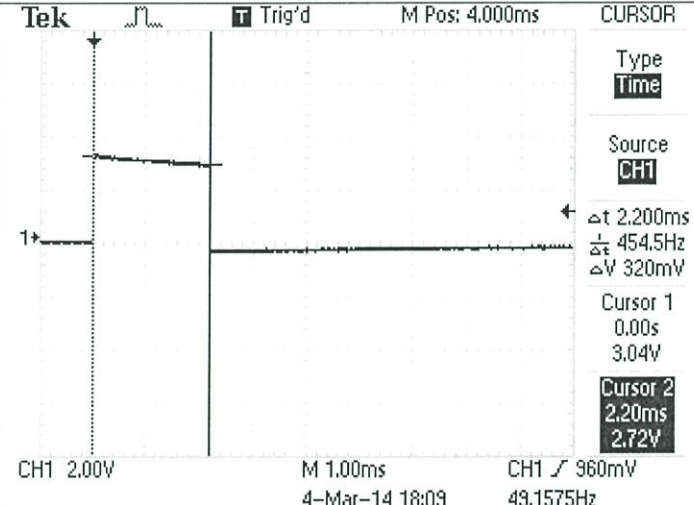
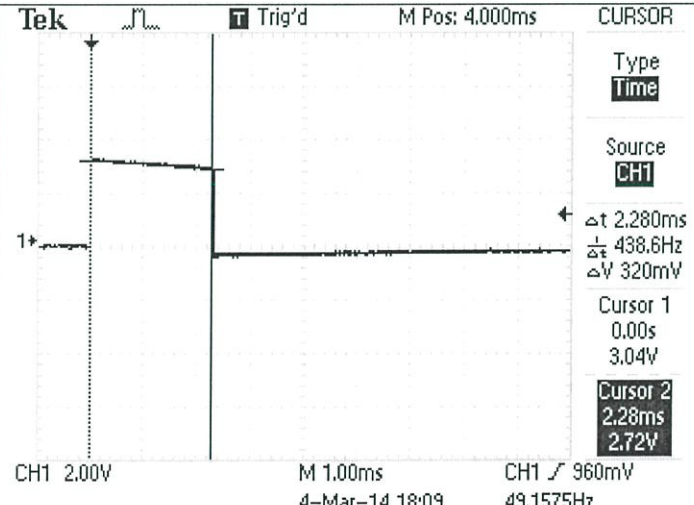
ตารางที่ 4. 3 แสดงภาพความกว้างสัญญาณพัลส์ที่ได้จาก Oscilloscope ในแนวแกนอะซิมูท

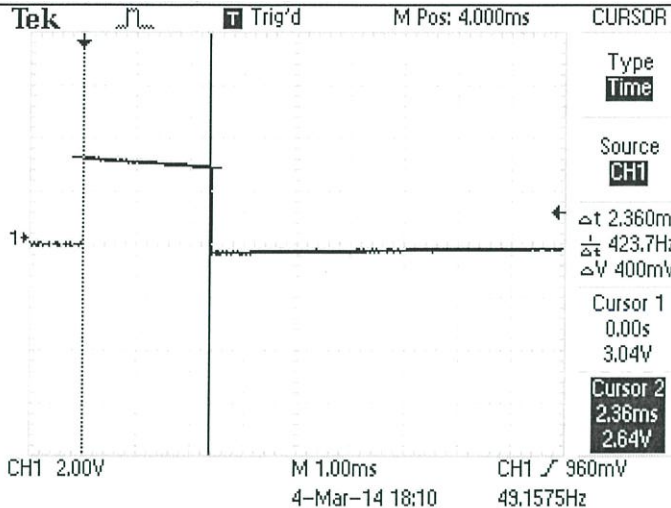
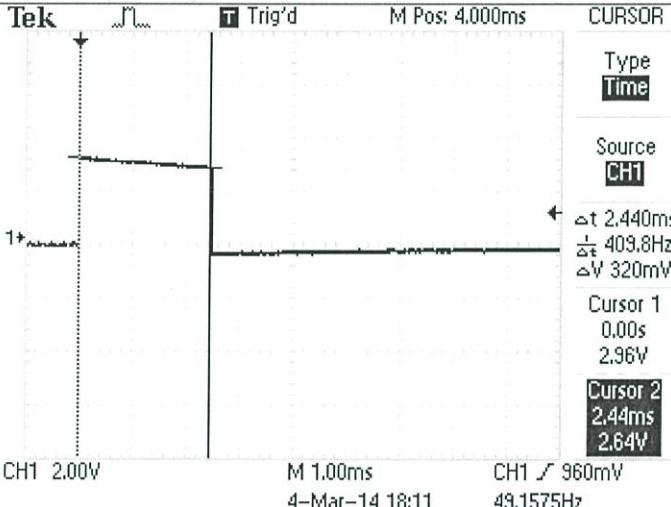
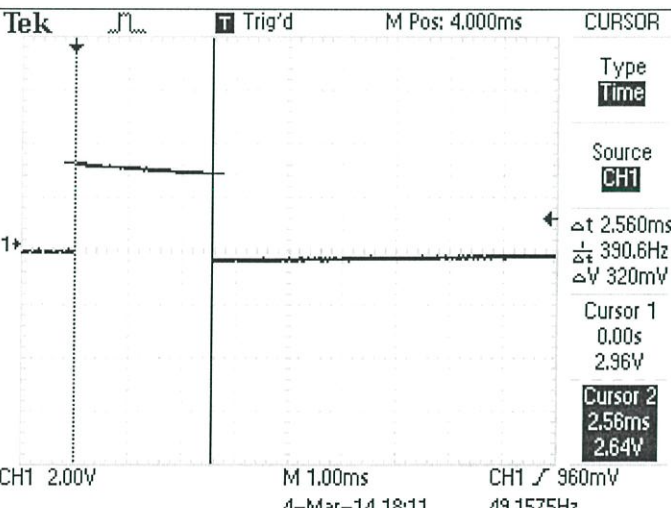
ความกว้างของพัลส์ที่องศาแต่ละค่า		ภาพที่ได้จากออสซิลโลสโคป
มุม(°)	ความกว้างของพัลส์( $\mu$ s)	
0	1250.000000	<p>Tek Trig'd M Pos: 4.000ms CURSOR</p> <p>Type Time</p> <p>Source CH1</p> <p><math>\Delta t</math> 1.240ms</p> <p><math>\frac{\Delta V}{\Delta t}</math> 806.5Hz</p> <p><math>\Delta V</math> 160mV</p> <p>Cursor 1 0.00s 3.12V</p> <p>Cursor 2 1.24ms 2.96V</p> <p>CH1 2.00V M 1.00ms CH1 / 960mV</p> <p>4-Mar-14 17:44 49.1575Hz</p>
ความกว้างของพัลส์ที่องศาแต่ละค่า		ภาพที่ได้จากออสซิลโลสโคป
มุม(°)	ความกว้างของพัลส์( $\mu$ s)	

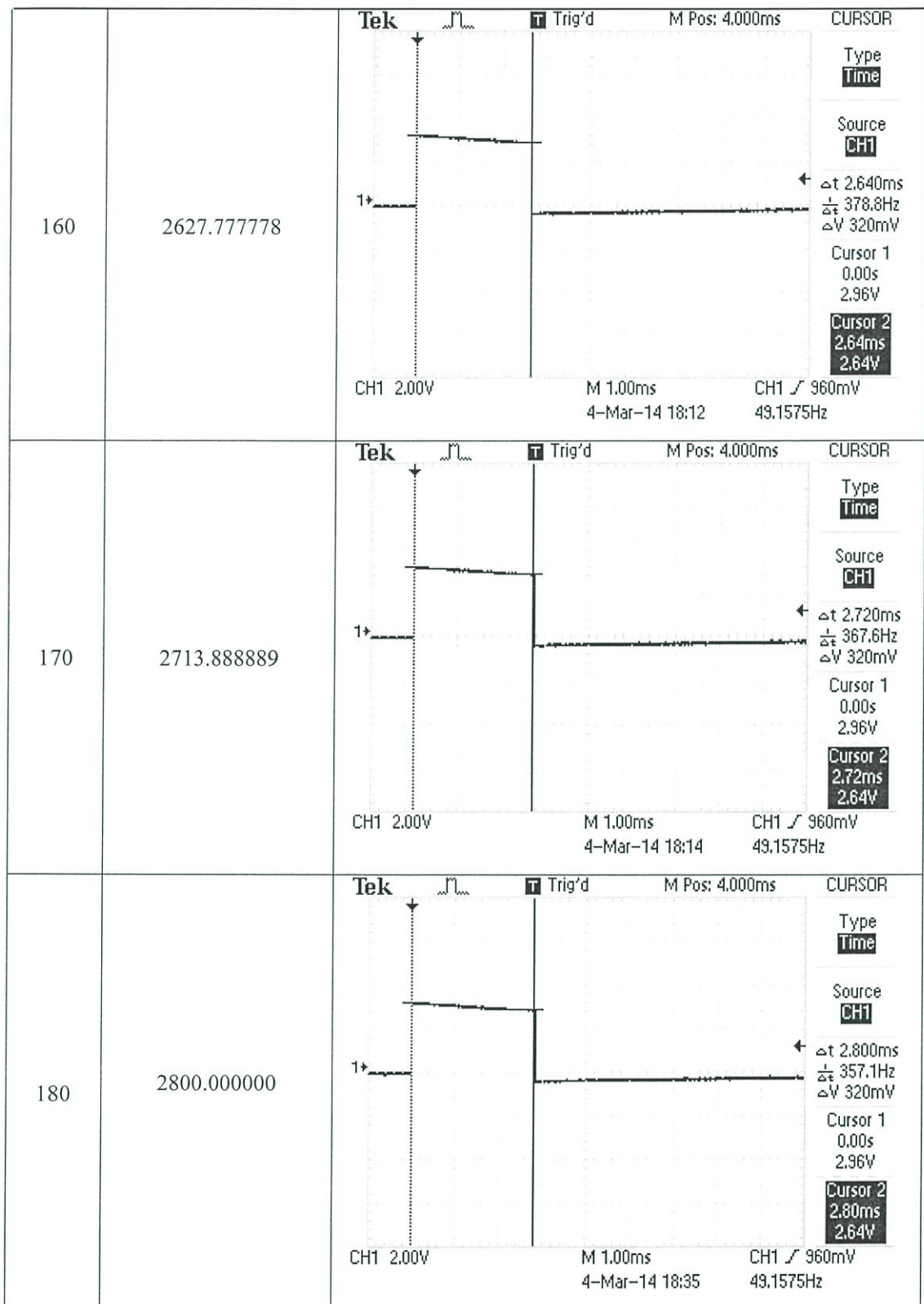






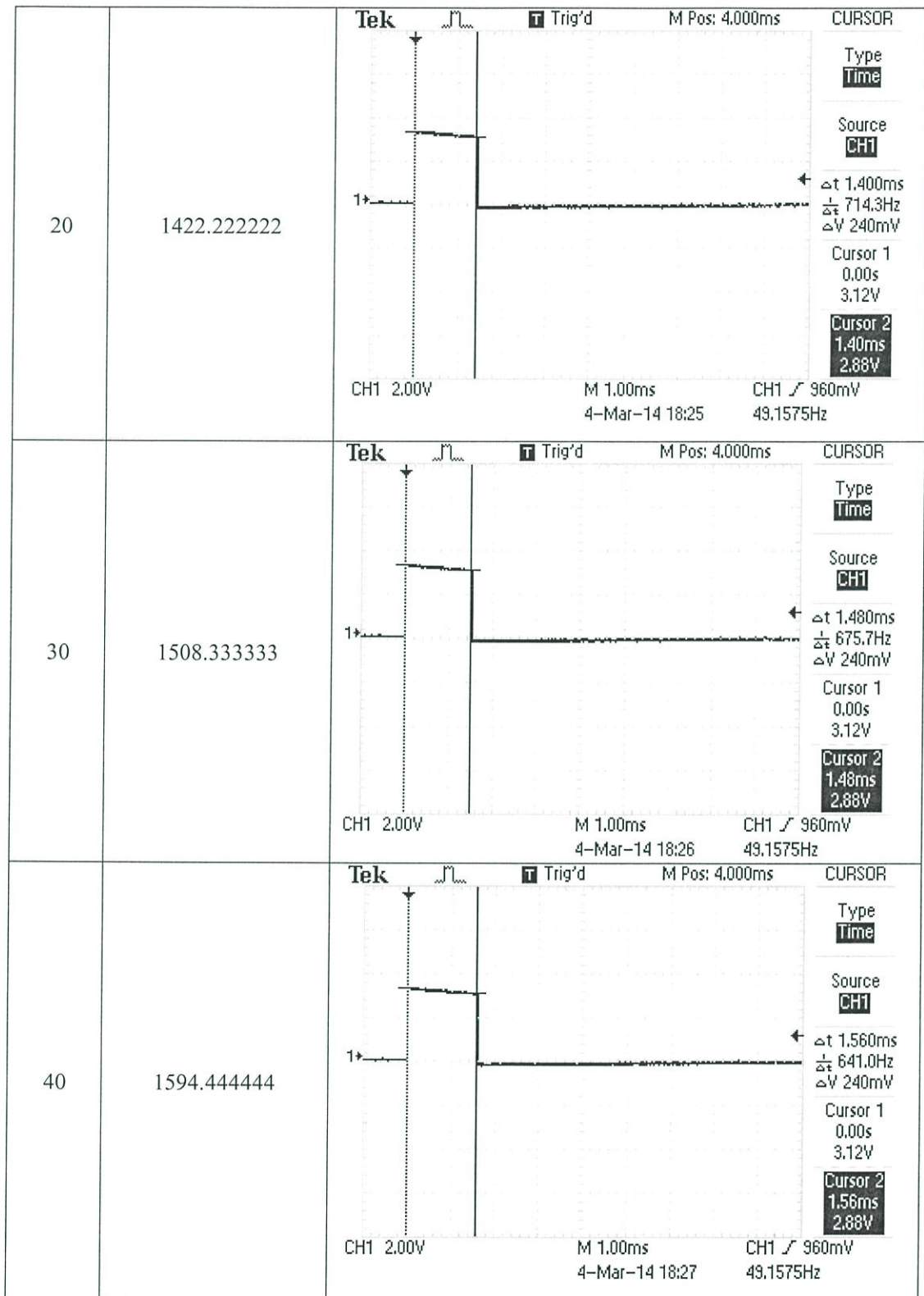
100	2111.111111	 <p>Tek <span style="float: right;">M Pos: 4.000ms</span> CURSOR</p> <p>Type <b>Time</b></p> <p>Source <b>CH1</b></p> <p><math>\Delta t</math> 2.080ms  <math>\frac{1}{\Delta t}</math> 480.8Hz  <math>\Delta V</math> 320mV</p> <p>Cursor 1  0.00s  3.04V</p> <p>Cursor 2  2.08ms  2.72V</p> <p>CH1 2.00V <span style="float: right;">M 1.00ms</span> CH1 <math>\swarrow</math> 960mV  4-Mar-14 18:08 <span style="float: right;">49.1575Hz</span></p>
110	2197.222222	 <p>Tek <span style="float: right;">M Pos: 4.000ms</span> CURSOR</p> <p>Type <b>Time</b></p> <p>Source <b>CH1</b></p> <p><math>\Delta t</math> 2.200ms  <math>\frac{1}{\Delta t}</math> 454.5Hz  <math>\Delta V</math> 320mV</p> <p>Cursor 1  0.00s  3.04V</p> <p>Cursor 2  2.20ms  2.72V</p> <p>CH1 2.00V <span style="float: right;">M 1.00ms</span> CH1 <math>\swarrow</math> 960mV  4-Mar-14 18:09 <span style="float: right;">49.1575Hz</span></p>
120	2283.333333	 <p>Tek <span style="float: right;">M Pos: 4.000ms</span> CURSOR</p> <p>Type <b>Time</b></p> <p>Source <b>CH1</b></p> <p><math>\Delta t</math> 2.280ms  <math>\frac{1}{\Delta t}</math> 438.6Hz  <math>\Delta V</math> 320mV</p> <p>Cursor 1  0.00s  3.04V</p> <p>Cursor 2  2.28ms  2.72V</p> <p>CH1 2.00V <span style="float: right;">M 1.00ms</span> CH1 <math>\swarrow</math> 960mV  4-Mar-14 18:09 <span style="float: right;">49.1575Hz</span></p>

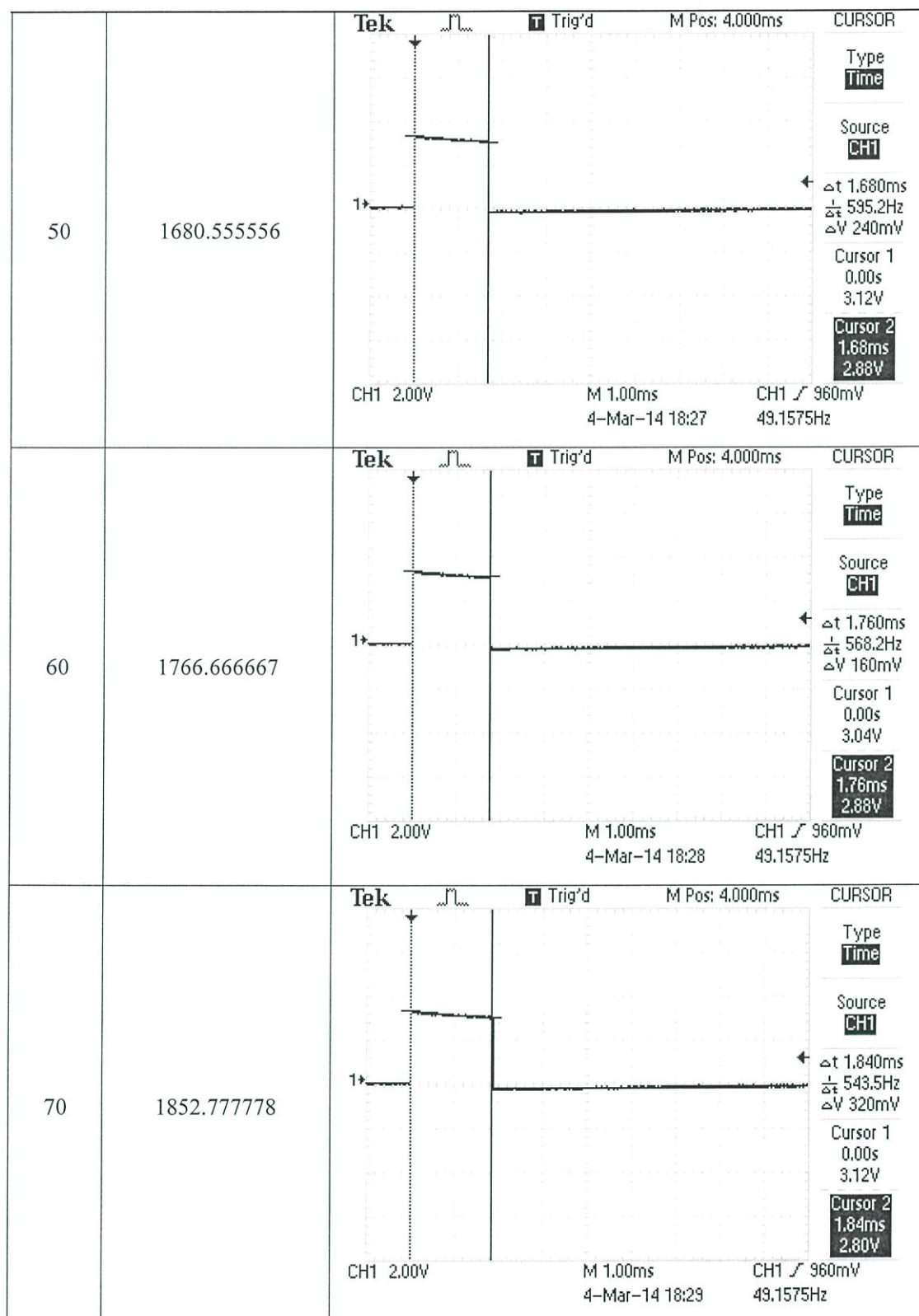
130	2369.444444	 <p>Tek Trig'd M Pos: 4.000ms CURSOR</p> <p>Type Time</p> <p>Source CH1</p> <p><math>\Delta t</math> 2.360ms  <math>\frac{1}{\Delta t}</math> 423.7Hz  <math>\Delta V</math> 400mV</p> <p>Cursor 1  0.00s  3.04V</p> <p>Cursor 2  2.36ms  2.64V</p> <p>CH1 2.00V M 1.00ms CH1 / 960mV  4-Mar-14 18:10 49.1575Hz</p>
140	2455.555556	 <p>Tek Trig'd M Pos: 4.000ms CURSOR</p> <p>Type Time</p> <p>Source CH1</p> <p><math>\Delta t</math> 2.440ms  <math>\frac{1}{\Delta t}</math> 409.8Hz  <math>\Delta V</math> 320mV</p> <p>Cursor 1  0.00s  2.96V</p> <p>Cursor 2  2.44ms  2.64V</p> <p>CH1 2.00V M 1.00ms CH1 / 960mV  4-Mar-14 18:11 49.1575Hz</p>
150	2541.666667	 <p>Tek Trig'd M Pos: 4.000ms CURSOR</p> <p>Type Time</p> <p>Source CH1</p> <p><math>\Delta t</math> 2.560ms  <math>\frac{1}{\Delta t}</math> 390.6Hz  <math>\Delta V</math> 320mV</p> <p>Cursor 1  0.00s  2.96V</p> <p>Cursor 2  2.56ms  2.64V</p> <p>CH1 2.00V M 1.00ms CH1 / 960mV  4-Mar-14 18:11 49.1575Hz</p>

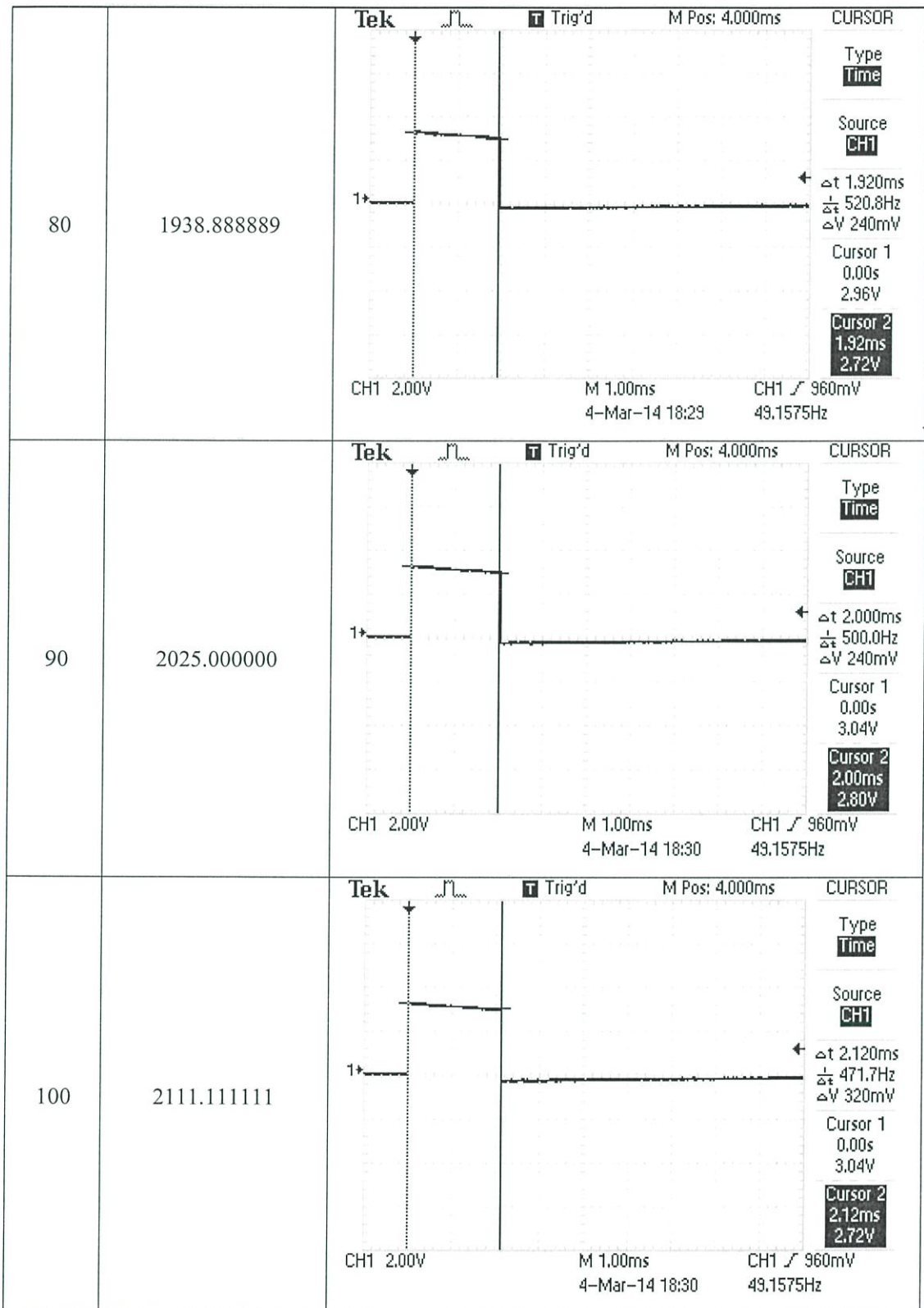


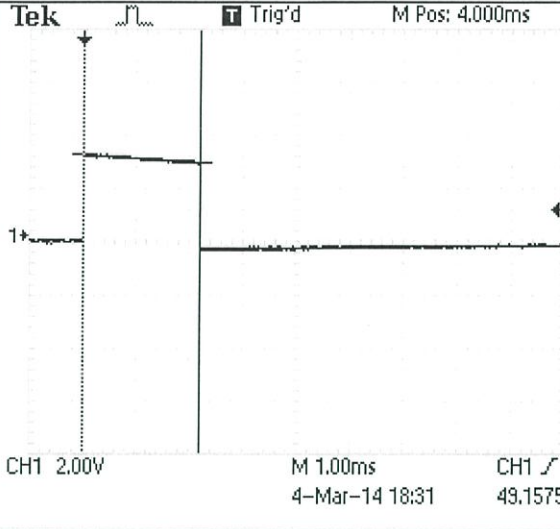
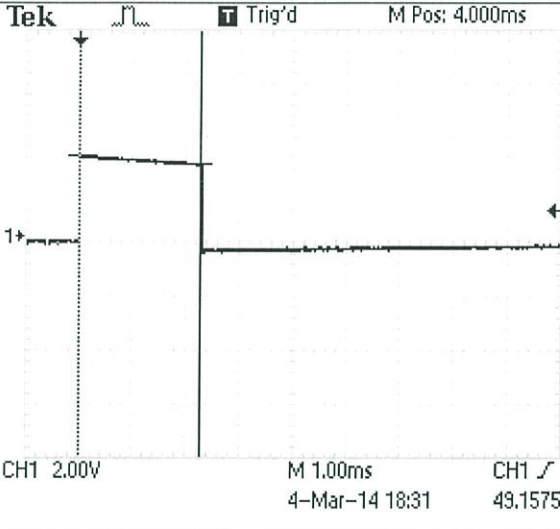
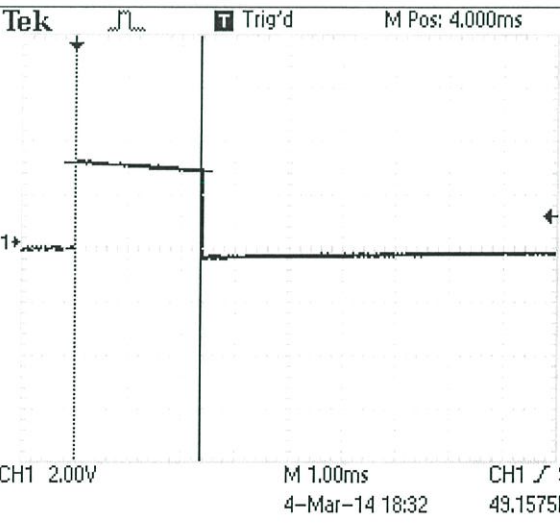
ตารางที่ 4. 4 แสดงภาพความกว้างสัญญาณพัลส์ที่ได้จาก Oscilloscope ในแนวแกนฮิลติจูด

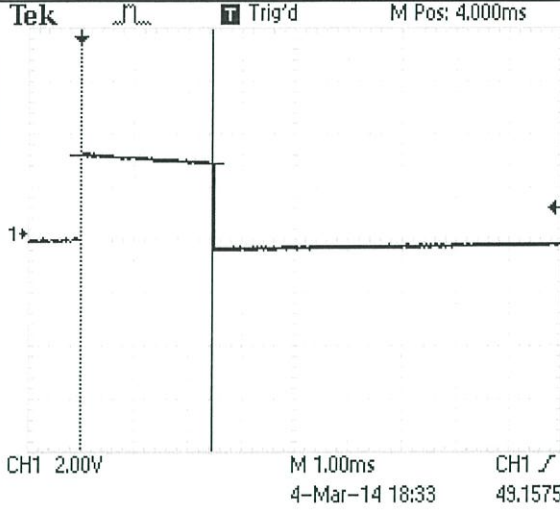
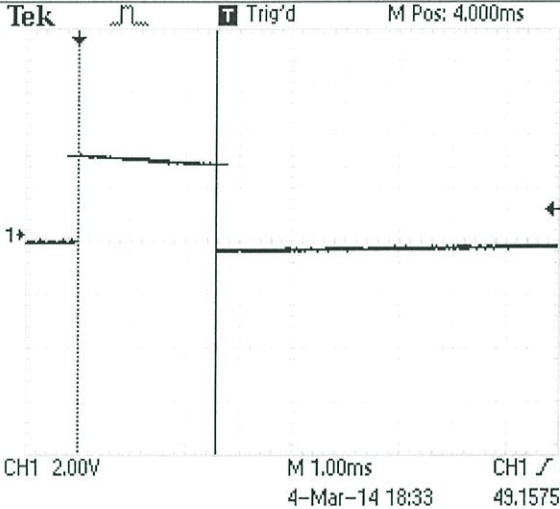
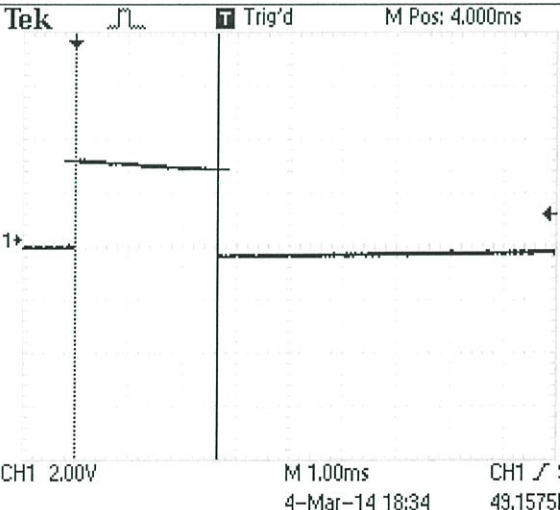
ความกว้างของพัลส์ที่องศาแต่ละค่า		ภาพที่ได้จากออสซิลอสโคป
มุม(°)	ความกว้างของพัลส์(μs)	
0	1250.000000	<p>Tek Trig'd M Pos: 4.000ms CURSOR</p> <p>Type Time</p> <p>Source CH1</p> <p>Δt 1.240ms  <math>\frac{1}{\Delta t}</math> 806.5Hz  ΔV 160mV</p> <p>Cursor 1  0.00s  3.12V</p> <p>Cursor 2  1.24ms  2.96V</p> <p>CH1 2.00V M 1.00ms CH1 960mV  4-Mar-14 18:23 49.1575Hz</p>
10	1336.111111	<p>Tek Trig'd M Pos: 4.000ms CURSOR</p> <p>Type Time</p> <p>Source CH1</p> <p>Δt 1.320ms  <math>\frac{1}{\Delta t}</math> 757.6Hz  ΔV 240mV</p> <p>Cursor 1  0.00s  3.12V</p> <p>Cursor 2  1.32ms  2.88V</p> <p>CH1 2.00V M 1.00ms CH1 960mV  4-Mar-14 18:25 49.1575Hz</p>

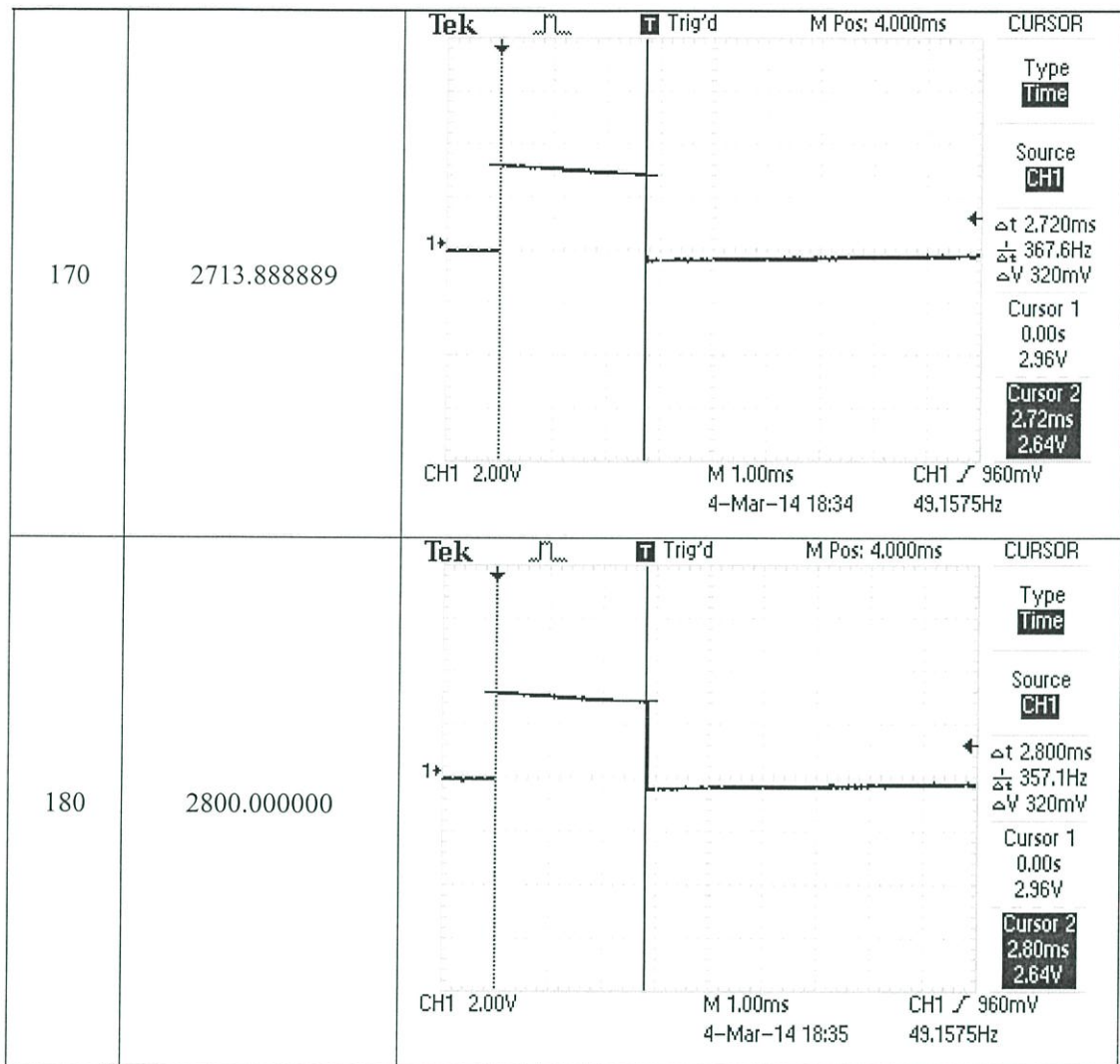






110	2197.222222	 <p>Tek Trig'd M Pos: 4.000ms CURSOR</p> <p>Type Time</p> <p>Source CH1</p> <p><math>\Delta t</math> 2.200ms  <math>\frac{\Delta t}{\Delta V}</math> 454.5Hz  <math>\Delta V</math> 320mV</p> <p>Cursor 1  0.00s  3.04V</p> <p>Cursor 2  2.20ms  2.72V</p> <p>CH1 2.00V M 1.00ms CH1 960mV  4-Mar-14 18:31 49.1575Hz</p>
120	2283.333333	 <p>Tek Trig'd M Pos: 4.000ms CURSOR</p> <p>Type Time</p> <p>Source CH1</p> <p><math>\Delta t</math> 2.280ms  <math>\frac{\Delta t}{\Delta V}</math> 438.6Hz  <math>\Delta V</math> 400mV</p> <p>Cursor 1  0.00s  3.04V</p> <p>Cursor 2  2.28ms  2.64V</p> <p>CH1 2.00V M 1.00ms CH1 960mV  4-Mar-14 18:31 49.1575Hz</p>
130	2369.444444	 <p>Tek Trig'd M Pos: 4.000ms CURSOR</p> <p>Type Time</p> <p>Source CH1</p> <p><math>\Delta t</math> 2.360ms  <math>\frac{\Delta t}{\Delta V}</math> 423.7Hz  <math>\Delta V</math> 400mV</p> <p>Cursor 1  0.00s  3.04V</p> <p>Cursor 2  2.36ms  2.64V</p> <p>CH1 2.00V M 1.00ms CH1 960mV  4-Mar-14 18:32 49.1575Hz</p>

140	2455.555556	 <p>Tek Trig'd M Pos: 4.000ms CURSOR</p> <p>Type Time</p> <p>Source CH1</p> <p><math>\Delta t</math> 2.440ms  <math>\frac{\Delta t}{\Delta V}</math> 409.8Hz  <math>\Delta V</math> 400mV</p> <p>Cursor 1  0.00s  3.04V</p> <p>Cursor 2  2.44ms  2.64V</p> <p>CH1 2.00V M 1.00ms CH1 / 960mV  4-Mar-14 18:33 49.1575Hz</p>
150	2541.666667	 <p>Tek Trig'd M Pos: 4.000ms CURSOR</p> <p>Type Time</p> <p>Source CH1</p> <p><math>\Delta t</math> 2.560ms  <math>\frac{\Delta t}{\Delta V}</math> 390.6Hz  <math>\Delta V</math> 320mV</p> <p>Cursor 1  0.00s  2.96V</p> <p>Cursor 2  2.56ms  2.64V</p> <p>CH1 2.00V M 1.00ms CH1 / 960mV  4-Mar-14 18:33 49.1575Hz</p>
160	2627.777778	 <p>Tek Trig'd M Pos: 4.000ms CURSOR</p> <p>Type Time</p> <p>Source CH1</p> <p><math>\Delta t</math> 2.640ms  <math>\frac{\Delta t}{\Delta V}</math> 378.8Hz  <math>\Delta V</math> 320mV</p> <p>Cursor 1  0.00s  2.96V</p> <p>Cursor 2  2.64ms  2.64V</p> <p>CH1 2.00V M 1.00ms CH1 / 960mV  4-Mar-14 18:34 49.1575Hz</p>



ตารางที่ 4.5 แสดงความคลาดเคลื่อนระหว่างทฤษฎีกับผลการทดลองในแนวแกนอะซิมุท

องศา(กำหนดเอง) (°)	ความกว้างของ พัลส์(μs)	ค่าเฉลี่ย มุม(°)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน แนวแกนอะซิมุท
0	500.0000000	0	0.00
1	511.1111110	1	0.00
2	522.2222220	2	0.00
3	533.3333330	3	0.00
4	544.4444440	4	0.00
5	555.5555560	5	0.00
6	566.6666670	6	0.00

7	577.77777800	7.33	4.50
8	588.88888900	8.5	5.88
9	600.00000000	9.67	6.93
10	611.11111100	10.67	6.28
11	622.22222200	11.67	5.74
12	633.33333300	12.83	6.47
13	644.44444400	14.17	8.26
14	655.55555600	13.67	2.41
15	666.66666700	16.17	7.24
16	677.77777800	17.33	7.67
17	688.88888900	18.67	8.94
18	700.00000000	19.67	8.49
19	711.11111100	20.67	8.08
20	722.22222200	21.67	7.71
21	733.33333300	22.67	7.37
22	744.44444400	23.67	7.06
23	755.55555600	24.83	7.37
24	766.66666700	25.83	7.08
25	777.77777800	27	7.41
26	788.88888900	28.17	7.70
27	800.00000000	29.5	8.47
28	811.11111100	30.67	8.71
29	822.22222200	31.33	7.44
30	833.33333300	32.33	7.21
31	844.44444400	33.83	8.37
32	855.55555600	34.83	8.13
33	866.66666700	35.67	7.49
34	877.77777800	36.83	7.68
35	888.88888900	37.17	5.84
36	900.00000000	37.83	4.84
37	911.11111100	38.83	4.71

38	922.22222200	39.67	4.21
39	933.33333300	41.17	5.27
40	944.44444400	42.33	5.50
41	955.55555600	43.33	5.38
42	966.66666700	44.33	5.26
43	977.77777800	45.33	5.14
44	988.88888900	46.33	5.03
45	1000.00000000	47.67	5.60
46	1011.11111100	48.67	5.49
47	1022.22222200	49.67	5.38
48	1033.33333300	50.67	5.27
49	1044.44444400	51.67	5.17
50	1055.55555600	52.67	5.07
51	1066.66666700	53.67	4.97
52	1077.77777800	53	1.89
53	1088.88888900	54.33	2.45
54	1100.00000000	55.83	3.28
55	1111.11111100	57	3.51
56	1122.22222200	58.33	3.99
57	1133.33333300	59.67	4.47
58	1144.44444400	60.67	4.40
59	1155.55555500	61.67	4.33
60	1166.66666700	62.67	4.26
61	1177.77777800	63.67	4.19
62	1188.88888900	64.67	4.13
63	1200.00000000	65.67	4.07
64	1211.11111100	66.67	4.00
65	1222.22222200	67.67	3.95
66	1233.33333300	68.67	3.89
67	1244.44444400	69.67	3.83
68	1255.55555500	70.67	3.78

69	1266.66666700	71.5	3.50
70	1277.77777800	72.67	3.67
71	1288.88888900	73.5	3.40
72	1300.00000000	74.5	3.36
73	1311.11111100	75.33	3.09
74	1322.22222200	76.33	3.05
75	1333.33333300	77.33	3.01
76	1344.44444400	78.33	2.97
77	1355.55555500	79.5	3.14
78	1366.66666700	80.33	2.90
79	1377.77777800	81.67	3.27
80	1388.88888900	82.67	3.23
81	1400.00000000	83.83	3.38
82	1411.11111100	84.67	3.15
83	1422.22222200	85.67	3.12
84	1433.33333300	86.33	2.70
85	1444.44444400	87.17	2.49
86	1455.55555500	88.17	2.46
87	1466.66666700	89	2.25
88	1477.77777800	90	2.22
89	1488.88888900	91	2.20
90	1500.00000000	92	2.17
91	1511.11111100	92.83	1.97
92	1522.22222200	93.67	1.78
93	1533.33333300	94.67	1.76
94	1544.44444400	95.67	1.75
95	1555.55555500	96.83	1.89
96	1566.66666700	97.67	1.71
97	1577.77777800	98.33	1.35
98	1588.88888900	99.17	1.18
99	1600.00000000	100	1.00

100	1611.11111100	101	0.99
101	1622.22222200	102	0.98
102	1633.33333300	103	0.97
103	1644.44444400	104	0.96
104	1655.55555500	104.83	0.79
105	1666.66666700	105.83	0.78
106	1677.77777800	106.67	0.63
107	1688.88888900	107.67	0.62
108	1700.00000000	108.67	0.62
109	1711.11111100	109.67	0.61
110	1722.22222200	110.67	0.61
111	1733.33333300	111.5	0.45
112	1744.44444400	112	0.00
113	1755.55555500	113	0.00
114	1766.66666700	114	0.00
115	1777.77777800	115	0.00
116	1788.88888900	116	0.00
117	1800.00000000	117	0.00
118	1811.11111100	117.83	0.14
119	1822.22222200	118.83	0.14
120	1833.33333300	119.67	0.28
121	1844.44444400	120.5	0.41
122	1855.55555500	121.17	0.68
123	1866.66666700	122.5	0.41
124	1877.77777800	123.5	0.40
125	1888.88888900	124.17	0.67
126	1900.00000000	125.17	0.66
127	1911.11111100	125.83	0.93
128	1922.22222200	127	0.79
129	1933.33333300	127.83	0.92
130	1944.44444400	128.83	0.91

131	1955.55555500	129.83	0.90
132	1966.66666700	131	0.76
133	1977.77777800	131.83	0.89
134	1988.88888900	133	0.75
135	2000.00000000	134.17	0.62
136	2011.11111100	135.17	0.61
137	2022.22222200	136.33	0.49
138	2033.33333300	137.5	0.36
139	2044.44444400	138.5	0.36
140	2055.55555500	139.5	0.36
141	2066.66666700	140.17	0.59
142	2077.77777800	141.33	0.47
143	2088.88888900	142.33	0.47
144	2100.00000000	143.33	0.47
145	2111.11111100	144.33	0.46
146	2122.22222200	145.33	0.46
147	2133.33333300	146.33	0.46
148	2144.44444400	147.33	0.45
149	2155.55555500	148.67	0.22
150	2166.66666700	149.5	0.33
151	2177.77777800	150.33	0.45
152	2188.88888900	151.33	0.44
153	2200.00000000	152.5	0.33
154	2211.11111100	153.5	0.33
155	2222.22222200	154.5	0.32
156	2233.33333300	155.67	0.21
157	2244.44444400	156.67	0.21
158	2255.55555500	157.83	0.11
159	2266.66666600	158.67	0.21
160	2277.77777800	160	0.00
161	2288.88888900	160.67	0.21

162	2300.00000000	161.67	0.20
163	2311.11111100	162.5	0.31
164	2322.22222200	163.5	0.31
165	2333.33333300	164.83	0.10
166	2344.44444400	166.17	0.10
167	2355.55555500	167.17	0.10
168	2366.66666600	168	0.00
169	2377.77777800	169.17	0.10
170	2388.88888900	170	0.00
171	2400.00000000	171	0.00
172	2411.11111100	172.17	0.10
173	2422.22222200	173.17	0.10
174	2433.33333300	174.5	0.29
175	2444.44444400	175.33	0.19
176	2455.55555500	176.17	0.10
177	2466.66666600	177	0.00
178	2477.77777800	178	0.00
179	2488.88888900	178.83	0.10
180	2500.00000000	180	0.00

ตารางที่ 4.6 แสดงความคลาดเคลื่อนระหว่างทฤษฎีกับผลการทดลองในแนวแกนอัลติจูด

องศา(กำหนดเอง) (°)	ความกว้างของ พัลส์( $\mu$ s)	ค่าเฉลี่ย มุม(°)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน แนวแกนอัลติจูด
0	500.00000000	0	0.00
1	511.11111100	0.92	8.70

2	522.22222200	1.83	9.29
3	533.33333300	3	0.00
4	544.44444400	4.17	4.08
5	555.55555600	5	0.00
6	566.66666700	6.1	1.64
7	577.77777800	7.33	4.50
8	588.88888900	8.5	5.88
9	600.00000000	9.67	6.93
10	611.11111100	10.67	6.28
11	622.22222200	11.83	7.02
12	633.33333300	12.83	6.47
13	644.44444400	13.33	2.48
14	655.55555600	13.5	3.70
15	666.66666700	16	6.25
16	677.77777800	17	5.88
17	688.88888900	18	5.56
18	700.00000000	19.5	7.69
19	711.11111100	19.67	3.41
20	722.22222200	21	4.76
21	733.33333300	22.33	5.96
22	744.44444400	23.33	5.70
23	755.55555600	24.33	5.47
24	766.66666700	25.17	4.65
25	777.77777800	26	3.85
26	788.88888900	27.17	4.31
27	800.00000000	28.5	5.26
28	811.11111100	29	3.45
29	822.22222200	29.67	2.26
30	833.33333300	30.33	1.09

31	844.44444400	31.33	1.05
32	855.55555600	32.33	1.02
33	866.66666700	33.33	0.99
34	877.77777800	36.17	6.00
35	888.88888900	35.67	1.88
36	900.00000000	36.17	0.47
37	911.11111100	38	2.63
38	922.22222200	38.67	1.73
39	933.33333300	40.33	3.30
40	944.44444400	40.67	1.65
41	955.55555600	41.67	1.61
42	966.66666700	42.67	1.57
43	977.77777800	43.67	1.53
44	988.88888900	44.67	1.50
45	1000.00000000	45.67	1.47
46	1011.11111100	46.67	1.44
47	1022.22222200	47.67	1.41
48	1033.33333300	48.67	1.38
49	1044.44444400	49.67	1.35
50	1055.55555600	50.67	1.32
51	1066.66666700	51.67	1.30
52	1077.77777800	52.67	1.27
53	1088.88888900	53.67	1.25
54	1100.00000000	54.67	1.23
55	1111.11111100	55.67	1.20
56	1122.22222200	56.67	1.18
57	1133.33333300	57.67	1.16
58	1144.44444400	58.67	1.14
59	1155.55555500	59.67	1.12

60	1166.66666700	60.67	1.10
61	1177.77777800	61.67	1.09
62	1188.88888900	62.67	1.07
63	1200.00000000	63.67	1.05
64	1211.11111100	64.67	1.04
65	1222.22222200	65.67	1.02
66	1233.33333300	66.67	1.00
67	1244.44444400	67.67	0.99
68	1255.55555500	68.67	0.98
69	1266.66666700	69.67	0.96
70	1277.77777800	70.67	0.95
71	1288.88888900	71.67	0.93
72	1300.00000000	72.67	0.92
73	1311.11111100	73.67	0.91
74	1322.22222200	74.67	0.90
75	1333.33333300	75.67	0.89
76	1344.44444400	76.67	0.87
77	1355.55555500	77.67	0.86
78	1366.66666700	78.67	0.85
79	1377.77777800	79.67	0.84
80	1388.88888900	80.67	0.83
81	1400.00000000	81.83	1.01
82	1411.11111100	82.67	0.81
83	1422.22222200	83.67	0.80
84	1433.33333300	84.67	0.79
85	1444.44444400	85.67	0.78
86	1455.55555500	86.67	0.77
87	1466.66666700	87.67	0.76
88	1477.77777800	88.67	0.76

89	1488.88888900	89.67	0.75
90	1500.00000000	90.67	0.74
91	1511.11111100	91.67	0.73
92	1522.22222200	92.67	0.72
93	1533.33333300	93.67	0.72
94	1544.44444400	94.67	0.71
95	1555.55555500	95.83	0.87
96	1566.66666700	96.67	0.69
97	1577.77777800	97.67	0.69
98	1588.88888900	98.67	0.68
99	1600.00000000	99.67	0.67
100	1611.11111100	100.67	0.67
101	1622.22222200	101.67	0.66
102	1633.33333300	102.67	0.65
103	1644.44444400	103.67	0.65
104	1655.55555500	104.67	0.64
105	1666.66666700	105.83	0.78
106	1677.77777800	106.67	0.63
107	1688.88888900	107.67	0.62
108	1700.00000000	108.67	0.62
109	1711.11111100	109.67	0.61
110	1722.22222200	110.67	0.61
111	1733.33333300	111.83	0.74
112	1744.44444400	112.67	0.59
113	1755.55555500	113.67	0.59
114	1766.66666700	114.67	0.58
115	1777.77777800	115.67	0.58
116	1788.88888900	116.67	0.57
117	1800.00000000	117.67	0.57

118	1811.11111100	118.67	0.56
119	1822.22222200	119.67	0.56
120	1833.33333300	120.67	0.56
121	1844.44444400	121.67	0.55
122	1855.55555500	122.5	0.41
123	1866.66666700	123.67	0.54
124	1877.77777800	124.67	0.54
125	1888.88888900	125.5	0.40
126	1900.00000000	126.67	0.53
127	1911.11111100	127.5	0.39
128	1922.22222200	128.67	0.52
129	1933.33333300	129.5	0.39
130	1944.44444400	130.5	0.38
131	1955.55555500	131.5	0.38
132	1966.66666700	132.67	0.51
133	1977.77777800	133.5	0.37
134	1988.88888900	134.67	0.50
135	2000.00000000	135.67	0.49
136	2011.11111100	136.67	0.49
137	2022.22222200	137.67	0.49
138	2033.33333300	138.67	0.48
139	2044.44444400	139.67	0.48
140	2055.55555500	140.67	0.48
141	2066.66666700	141.5	0.35
142	2077.77777800	142.67	0.47
143	2088.88888900	143.67	0.47
144	2100.00000000	144.67	0.46
145	2111.11111100	145.67	0.46
146	2122.22222200	146.67	0.46

147	2133.33333300	147.67	0.45
148	2144.44444400	148.67	0.45
149	2155.55555500	149.67	0.45
150	2166.66666700	150.67	0.44
151	2177.77777800	151.67	0.44
152	2188.88888900	152.83	0.54
153	2200.00000000	153.67	0.44
154	2211.11111100	154.67	0.43
155	2222.22222200	155.67	0.43
156	2233.33333300	156.67	0.43
157	2244.44444400	157.67	0.42
158	2255.55555500	158.83	0.52
159	2266.66666600	159.67	0.42
160	2277.77777800	160.67	0.42
161	2288.88888900	161.67	0.41
162	2300.00000000	162.67	0.41
163	2311.11111100	163.67	0.41
164	2322.22222200	164.67	0.41
165	2333.33333300	165.67	0.40
166	2344.44444400	166.83	0.50
167	2355.55555500	167.83	0.49
168	2366.66666600	168.67	0.40
169	2377.77777800	169.83	0.49
170	2388.88888900	170.67	0.39
171	2400.00000000	171.67	0.39
172	2411.11111100	172.67	0.39
173	2422.22222200	173.67	0.39
174	2433.33333300	174.67	0.38
175	2444.44444400	175.67	0.38

176	2455.55555500	176.67	0.38
177	2466.66666600	177.67	0.38
178	2477.77777800	178.67	0.37
179	2488.88888900	179.67	0.37
180	2500.00000000	180.67	0.37

การวิเคราะห์และคำนวณ

#### 4.1 การวิเคราะห์และคำนวณเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของมุม

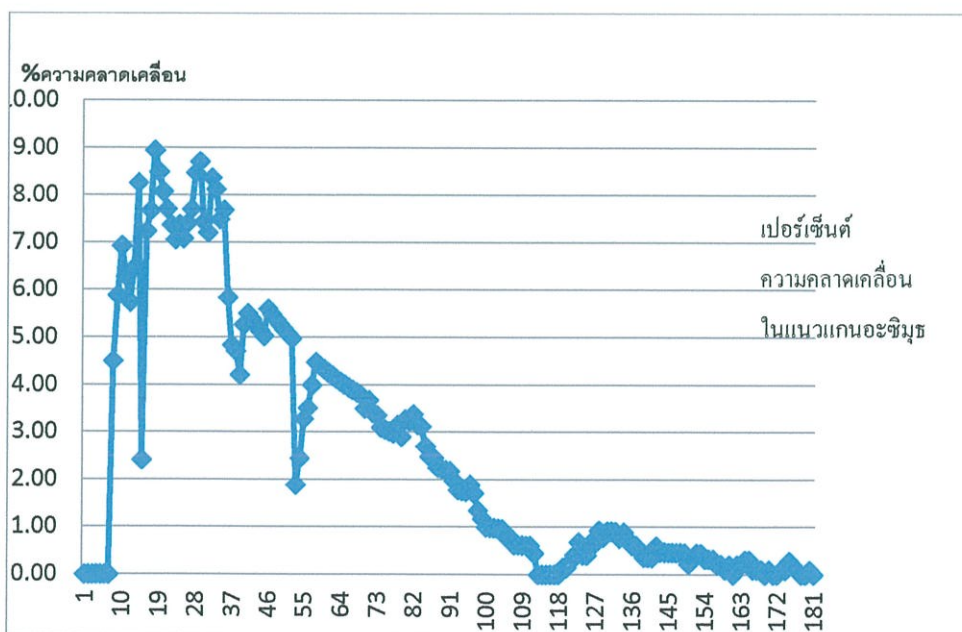
$$\text{เปอร์เซ็นต์ ความคลาดเคลื่อน} = \left| \frac{\text{ทฤษฎี} - \text{ปฏิบัติ}}{\text{ปฏิบัติ}} \right| \times 100\%$$

ตัวอย่างในมุมที่ 10

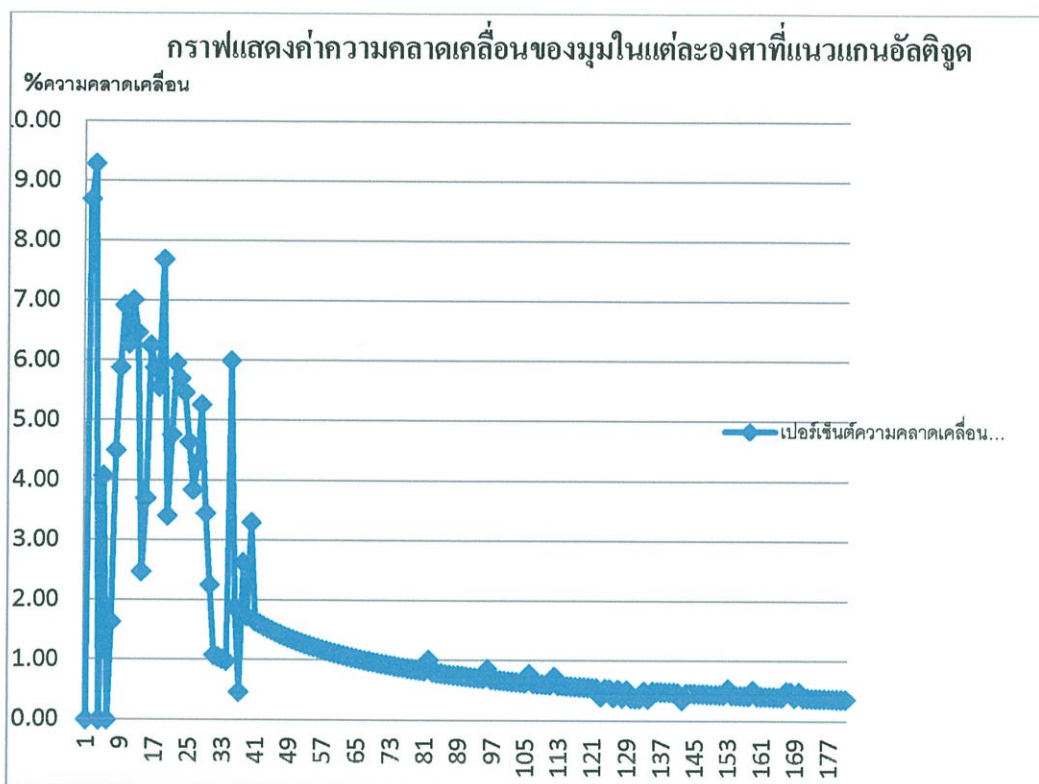
$$\text{เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน} = \left| \frac{10 - 10.67}{10.67} \right| \times 100\%$$

$$\therefore \text{เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน} = 6.7\%$$

กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมุมในแนวแกนอะซิมูทและแนวแกนอัลติจูด



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของมุมในแต่ละองศาที่แนวแกนอะซิมูท



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของมุมในแต่ละองศาที่แนวแกนอัลติจูด

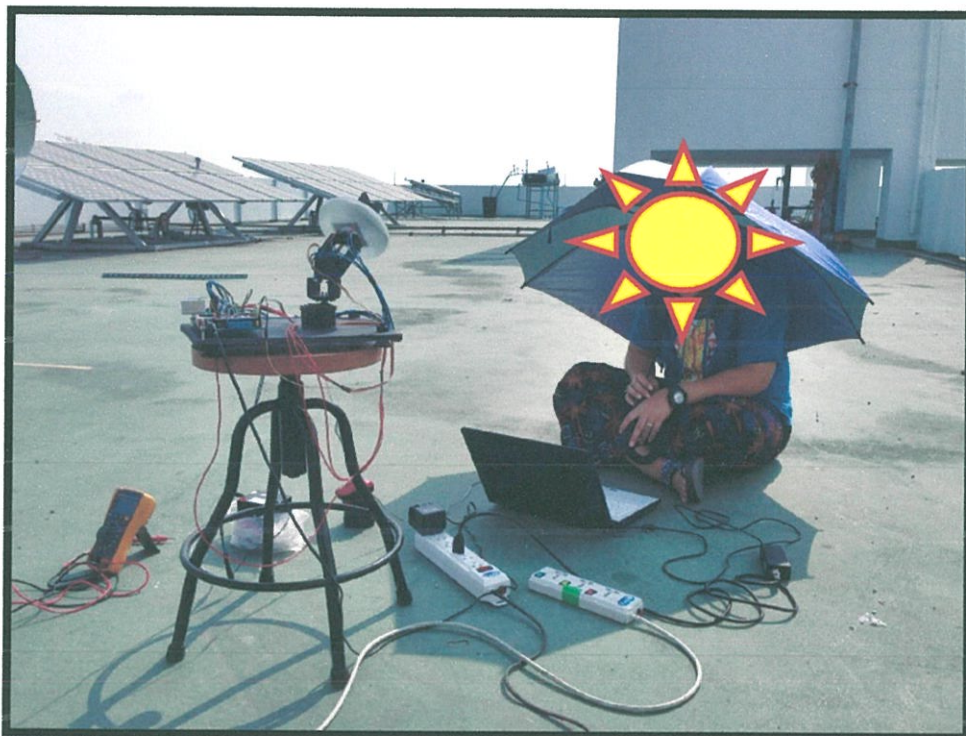
#### 4.2 การทดสอบและวิเคราะห์การติดตามดวงอาทิตย์ด้วยเซ็นเซอร์ LDR

##### 1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM-7 LPC2138 (32 bit) ETT
2. Switching power supply 5 V 3A
3. เซอร์โวมอเตอร์ SR430 จำนวน 2 ตัว
4. แบตเตอรี่แห้ง 12 V 5.6 A
5. มัลติมิเตอร์
6. NOTEBOOK
7. ฐานรองมอเตอร์และบอร์ด

2. การทดสอบและวิเคราะห์การติดตามดวงอาทิตย์ด้วยเซ็นเซอร์ LDR เพื่อที่จะหาช่วงของความเข้มแสงที่มากที่สุดในช่วงวันและความคลาดเคลื่อนของ LDR โดยจัดอุปกรณ์ดังรูป

- เริ่มบันทึกผลเมื่อเวลา 9.00 น. – 16.00 น. ทุกๆ 30 นาที
- ใช้มัลติมิเตอร์วัดค่าความต้านทานของ LDR ทั้ง 4 ตัว



รูปที่ 4.8 แสดงการจัดอุปกรณ์ในการทดลอง

ผลการทดลองการทดสอบและวิเคราะห์การติดตามดวงอาทิตย์ด้วยเซ็นเซอร์ LDR ที่ 9:00 น.-  
16:00 น.

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าแรงดันที่ตกคร่อมLDRขณะรับแสงที่ 9:00 น.- 16:00 น. ณ วันที่14/03/2557

Time	LDR1	LDR2	LDR3	LDR4	สภาพอากาศ
9:00	0.479	0.498	0.352	0.611	อากาศโปร่งใส
9:30	0.462	0.653	0.332	0.591	อากาศโปร่งใส
10:00	0.456	0.622	0.356	0.648	อากาศโปร่งใส
10:30	0.439	0.56	0.333	0.56	อากาศโปร่งใส
11:00	0.435	0.469	0.31	0.55	อากาศโปร่งใส
11:30	0.43	0.432	0.302	0.533	อากาศโปร่งใส
12:00	0.418	0.537	0.327	0.538	อากาศโปร่งใส
12:30	0.418	0.536	0.349	0.542	อากาศโปร่งใส
13:00	0.475	0.448	0.3	0.528	อากาศโปร่งใส
13:30	0.485	0.531	0.305	0.535	อากาศโปร่งใส
14:00	0.443	0.55	0.321	0.554	อากาศโปร่งใส
14:30	0.442	0.586	0.354	0.557	อากาศโปร่งใส
15:00	0.452	0.653	0.361	0.555	อากาศโปร่งใส
15:30	0.466	0.786	0.416	0.551	อากาศโปร่งใส
16:00	0.505	0.826	0.368	0.572	อากาศโปร่งใส

ตารางที่ 4.8 ค่าที่ได้จากโปรแกรม Hyperterminal ของ LDR แต่ละตัว ณ วันที่ 14/03/2557

Time	ค่าจาก Hyper terminal			
9:00	878	881	925	855
9:30	889	852	910	847
10:00	888	851	923	850
10:30	884	872	924	854
11:00	878	881	925	855
11:30	892	893	933	860
12:00	894	857	931	855
12:30	894	865	911	857
13:00	858	861	932	855

Time	ค่าจาก Hyper terminal			
13:30	876	853	931	859
14:00	888	859	928	849
14:30	886	865	925	851
15:00	882	819	912	831
15:30	878	775	895	825
16:00	874	763	887	843

ตารางที่ 4.9 ค่า  $V_{out}$  ที่คำนวณได้จากสมการที่ 4.3 (ทฤษฎี) ที่ 9:00 น.- 16:00 น. ณ วันที่ 14/03/2557

Time	$V_{out}$ ที่คำนวณได้จากสมการที่ 4.3 ของ R 1k			
	R1	R2	R3	R4
9:00	2.832	2.842	2.984	2.758
9:30	2.868	2.748	2.935	2.732
10:00	2.865	2.745	2.977	2.742
10:30	2.852	2.813	2.981	2.755
11:00	2.832	2.842	2.984	2.758
11:30	2.877	2.881	3.010	2.774
12:00	2.884	2.765	3.003	2.758
12:30	2.884	2.790	2.939	2.765
13:00	2.768	2.777	3.006	2.758
13:30	2.826	2.752	3.003	2.771
14:00	2.865	2.771	2.994	2.739
14:30	2.858	2.790	2.984	2.745
15:00	2.845	2.642	2.942	2.681
15:30	2.832	2.500	2.887	2.661
16:00	2.819	2.461	2.861	2.719

ตารางที่ 4.10 ค่า  $V_{RI}$  ที่คำนวณได้จากสมการ 4.4 (ทฤษฎี) ที่ 9:00 น.- 16:00 น. ณ วันที่ 14/03/2557

Time	$V_{RI}$ ที่คำนวณได้จากสมการ 4.4			
	LDR1	LDR2	LDR3	LDR4
9:00	0.468	0.458	0.316	0.542
9:30	0.432	0.552	0.365	0.568
10:00	0.435	0.555	0.323	0.558
10:30	0.448	0.487	0.319	0.545
11:00	0.468	0.458	0.316	0.542
11:30	0.423	0.419	0.290	0.526
12:00	0.416	0.535	0.297	0.542
12:30	0.416	0.510	0.361	0.535
13:00	0.532	0.523	0.294	0.542
13:30	0.474	0.548	0.297	0.529
14:00	0.435	0.529	0.306	0.561
14:30	0.442	0.510	0.316	0.555
15:00	0.455	0.658	0.358	0.619
15:30	0.468	0.800	0.413	0.639
16:00	0.481	0.839	0.439	0.581

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าแรงดันที่ตกคร่อม LDR ขณะรับแสง ณ วันที่ 15/03/2557

Time	LDR1	LDR2	LDR3	LDR4	สภาพอากาศ
9:00	0.907V	0.866V	0.835V	1.153V	อากาศไม่โปร่งใส มีเมฆมาก
9:30	1.155	1.184	1.061	1.294	อากาศไม่โปร่งใส มีเมฆมาก
10:00	0.469	0.639	0.525	0.626	อากาศโปร่งใส
10:30	มีฝนตก (เก็บผลการทดลองไม่ได้)				
11:00					
11:30	0.534	0.571	0.47	0.866	อากาศไม่โปร่งใส มีเมฆมาก
12:00	0.676	0.652	0.457	0.751	อากาศไม่โปร่งใส มีเมฆมาก
12:30	0.465	0.459	0.334	0.584	อากาศโปร่งใส
13:00	0.467	0.469	0.339	0.614	อากาศโปร่งใส

13:30	0.473	0.479	0.358	0.603	อากาศโปร่งใส
14:00	0.483	0.48	0.481	0.367	อากาศโปร่งใส
14:30	0.5	0.515	0.4	0.649	อากาศโปร่งใส
15:00	0.852	0.816	0.664	0.928	อากาศไม่โปร่งใส มีเมฆมาก
15:30	0.544	0.531	0.39	0.617	อากาศโปร่งใส
16:00	0.555	0.558	0.402	0.644	อากาศโปร่งใส

ตารางที่ 4.12 ค่าที่ได้จาก Hyperterminal ของ LDR แต่ละตัว ณ วันที่ 15/03/2557

Time	ค่าจาก Hyper terminal			
9:06	742	785	831	691
9:30	662	642	693	609
10:00	878	831	872	837
10:30	มีฝนตก (เก็บผลการทดลองไม่ได้)			
11:00				
11:30	818	827	879	691
12:00	823	834	870	712
12:30	878	883	921	837
13:00	878	881	923	832
13:30	866	806	911	781
14:00	874	877	919	839
14:30	868	867	912	831
15:00	764	773	821	735
15:30	856	859	912	835
16:00	846	852	895	821

ตารางที่ 4.13 ค่า  $V_{out}$  ที่คำนวณได้จากสมการที่ 4.3 (ทฤษฎี) ณ วันที่ 15/03/2557

$V_{out}$ ที่คำนวณได้จากสมการที่ 4.3 ของ R 1k			
R1	R2	R3	R4
2.394	2.532	2.681	2.229
2.135	2.071	2.235	1.965
2.832	2.681	2.813	2.700
มีฝนตก (เก็บผลการทดลองไม่ได้)			
มีฝนตก (เก็บผลการทดลองไม่ได้)			
2.639	2.668	2.835	2.210
2.655	2.690	2.806	2.297
2.832	2.848	2.971	2.700
2.832	2.842	2.977	2.684
2.794	2.600	2.939	2.519
2.819	2.829	2.965	2.706
2.800	2.797	2.942	2.681
2.465	2.494	2.648	2.371
2.761	2.771	2.942	2.694
2.729	2.748	2.887	2.648

ตารางที่ 4.14 ค่า  $V_{R1}$  ที่คำนวณได้จากสมการ 4.4 (ทฤษฎี) ที่ 9:00 น. - 16:00 น. ณ วันที่ 15/03/2557

$V_{R1}$ ที่คำนวณได้จากสมการ 4.4			
LDR1	LDR2	LDR3	LDR4
0.906	0.768	0.619	1.071
1.165	1.229	1.065	1.335
0.468	0.619	0.487	0.600
มีฝนตก (เก็บผลการทดลองไม่ได้)			
มีฝนตก (เก็บผลการทดลองไม่ได้)			
0.661	0.632	0.465	1.090
0.645	0.610	0.494	1.003
0.468	0.452	0.329	0.600

0.468	0.458	0.323	0.616
0.506	0.700	0.361	0.781
0.481	0.471	0.335	0.594
0.500	0.503	0.358	0.619
0.835	0.806	0.652	0.929
0.539	0.529	0.358	0.606
0.571	0.552	0.413	0.652

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าแรงดันที่ตกคร่อม LDR ขณะรับแสง ณ วันที่ 16/03/2557

Time	LDR1	LDR2	LDR3	LDR4	สภาพอากาศ
9:00	0.561	0.54	0.405	0.67	อากาศโปร่งใส
9:30	0.63	0.653	0.443	0.703	อากาศไม่โปร่งใส มีเมฆมาก
10:00	0.517	0.527	0.347	0.616	อากาศโปร่งใส
10:30	0.542	0.531	0.387	0.623	อากาศโปร่งใส
11:00	0.486	0.485	0.345	0.575	อากาศโปร่งใส
11:30	0.691	0.707	0.615	0.845	อากาศไม่โปร่งใส มีเมฆมาก
12:00	0.677	0.651	0.467	0.753	อากาศไม่โปร่งใส มีเมฆมาก
12:30	0.525	0.503	0.384	0.684	อากาศโปร่งใส
13:00	0.479	0.476	0.354	0.609	อากาศโปร่งใส
13:30	0.535	0.507	0.375	0.635	อากาศโปร่งใส
14:00	0.665	0.651	0.475	0.931	อากาศไม่โปร่งใส มีเมฆมาก
14:30	0.71	0.669	0.503	0.79	อากาศค่อนข้างโปร่งใส
15:00	0.569	0.557	0.428	0.719	อากาศโปร่งใส
15:30	0.694	0.707	0.695	1.053	อากาศค่อนข้างโปร่งใส
16:00	0.707	0.721	0.523	0.826	อากาศโปร่งใส

ตารางที่ 4.16 ค่าที่ได้จาก Hyperterminal ของ LDR แต่ละตัว ณ วันที่ 16/03/2557

Time	ค่าจาก Hyper terminal			
9:00	854	861	903	817
9:30	832	817	877	772

10:00	866	864	911	832
10:30	856	860	907	825
11:00	874	871	919	845
11:30	812	823	864	768
12:00	812	823	886	789
12:30	850	861	0.923	823
13:00	874	875	914	823
13:30	876	871	911	817
14:00	813	823	884	748
14:30	808	819	865	776
15:00	831	842	890	805
15:30	792	783	805	732
16:00	798	797	873	738

ตารางที่ 4.17 ค่า  $V_{out}$  ที่คำนวณได้จากสมการที่ 4.3 (ทฤษฎี) ณ วันที่ 16/03/2557

Time	$V_{out}$ ที่คำนวณได้จากสมการที่ 4.3 ของ R 1k			
	R1	R2	R3	R4
9:06	2.755	2.777	2.913	2.635
9:30	2.684	2.635	2.829	2.490
10:00	2.794	2.787	2.939	2.684
10:30	2.761	2.774	2.926	2.661
11:00	2.819	2.810	2.965	2.726
11:30	2.619	2.655	2.787	2.477
12:00	2.619	2.655	2.858	2.545
12:30	2.742	2.777	2.977	2.655
13:00	2.819	2.823	2.948	2.655
13:30	2.826	2.810	2.939	2.635
14:00	2.623	2.655	2.852	2.413
14:30	2.606	2.642	2.790	2.503
15:00	2.681	2.716	2.871	2.597

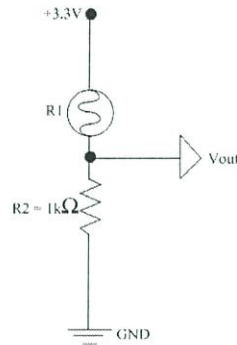
15:30	2.555	2.526	2.597	2.361
16:00	2.574	2.571	2.816	2.381

ตารางที่ 4.18 ค่า  $V_{out}$  ที่คำนวณได้จากทฤษฎี ที่ 9:00 น.- 16:00 น. ณ วันที่ 16/03/2557

Time	$V_{RI}$ ที่คำนวณได้จากสมการ 4.4			
	LDR1	LDR2	LDR3	LDR4
9:06	0.545	0.523	0.387	0.665
9:30	0.616	0.665	0.471	0.810
10:00	0.506	0.513	0.361	0.616
10:30	0.539	0.526	0.374	0.639
11:00	0.481	0.490	0.335	0.574
11:30	0.681	0.645	0.513	0.823
12:00	0.681	0.645	0.442	0.755
12:30	0.558	0.523	0.323	0.645
13:00	0.481	0.477	0.352	0.645
13:30	0.474	0.490	0.361	0.665
14:00	0.677	0.645	0.448	0.887
14:30	0.694	0.658	0.510	0.797
15:00	0.619	0.584	0.429	0.703
15:30	0.745	0.774	0.703	0.939
16:00	0.726	0.729	0.484	0.919

## 4.2 การวิเคราะห์และคำนวณหากระแสพร้อมหาค่าความคลาดเคลื่อนของ LDR แต่ละดวง

### 1. การคำนวณหาค่าโวลต์เตจที่ตกคร่อม LDR



รูปที่ 4.9 แสดงวงจร Divider

$$\text{จากทฤษฎี } V_{in} = IR \quad ; \quad R = R_1 + R_2$$

$$V_{in} = I(R_1 + R_2) \quad \text{----- (4.1)}$$

$$V_{out} = IR_2 \quad \text{----- (4.2)}$$

$$V_{out} = \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \times V_{in} \quad \text{----- (4.3)}$$

$$V_{out} = V_{R2}$$

$$\therefore V_{in} = V_{R1} + V_{R2} \quad \text{----- (4.4)}$$

จากค่าตัวเลขดิจิทัลที่ได้แปลงได้จากการทำงานของโปรแกรม Hyper terminal มีค่าตั้งแต่ 0 – 1023 ซึ่งตัวเลขดิจิทัลนี้คือค่าโวลต์ที่มีค่าตั้งแต่ 0V – 3.3V

ตัวอย่างค่าตัวเลขดิจิทัลที่อ่านได้จากโปรแกรม ในวันที่ 14-03-2557

ค่าที่โปรแกรมอ่านได้ เท่ากับ 878

$$\text{ดังนั้น } \text{ตัวเลขดิจิทัล } 1023 = 3.3V$$

$$\text{ตัวเลขดิจิทัล } 878 = X$$

$$X = \frac{878 \times 3.3V}{1023}$$

$$X = 2.832 V$$

$$V_{out} = 2.832 V$$

∴  $V_{out}$  มีค่าเท่ากับ 2.832 V

## 2. การคำนวณหากระแสที่ส่งเข้าบอร์ดควบคุม

จากตัวอย่าง โวลต์เตจที่ได้ใน 1. นั้นนำมาคำนวณหากระแส จากสูตร

$$V = IR \text{ ----- (4.5)}$$

V = ค่าความต่างศักย์ (V)

I = กระแส (A)

R = ค่าความต้านทาน ( $\Omega$ )

จากตัวอย่าง โวลต์เตจที่ได้ใน 1. นำไปแทนในสูตร  $V = IR$

จะได้  $V = IR$

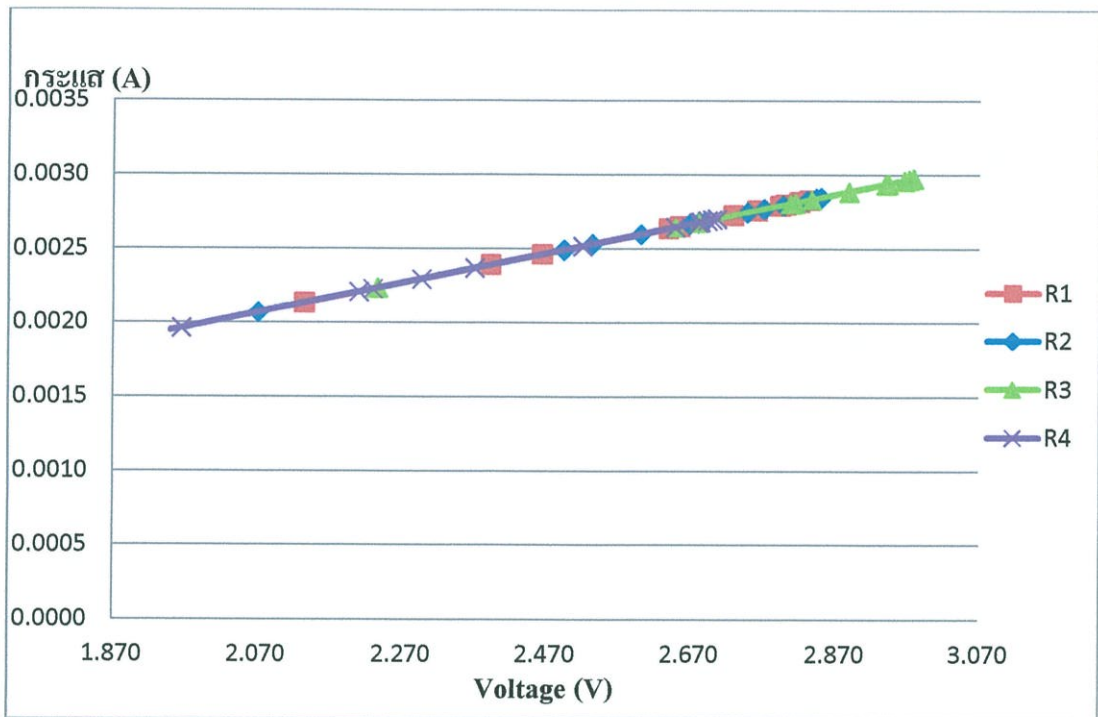
$$I = \frac{V}{R}$$

$$I = \frac{2.832 V}{1000 \Omega}$$

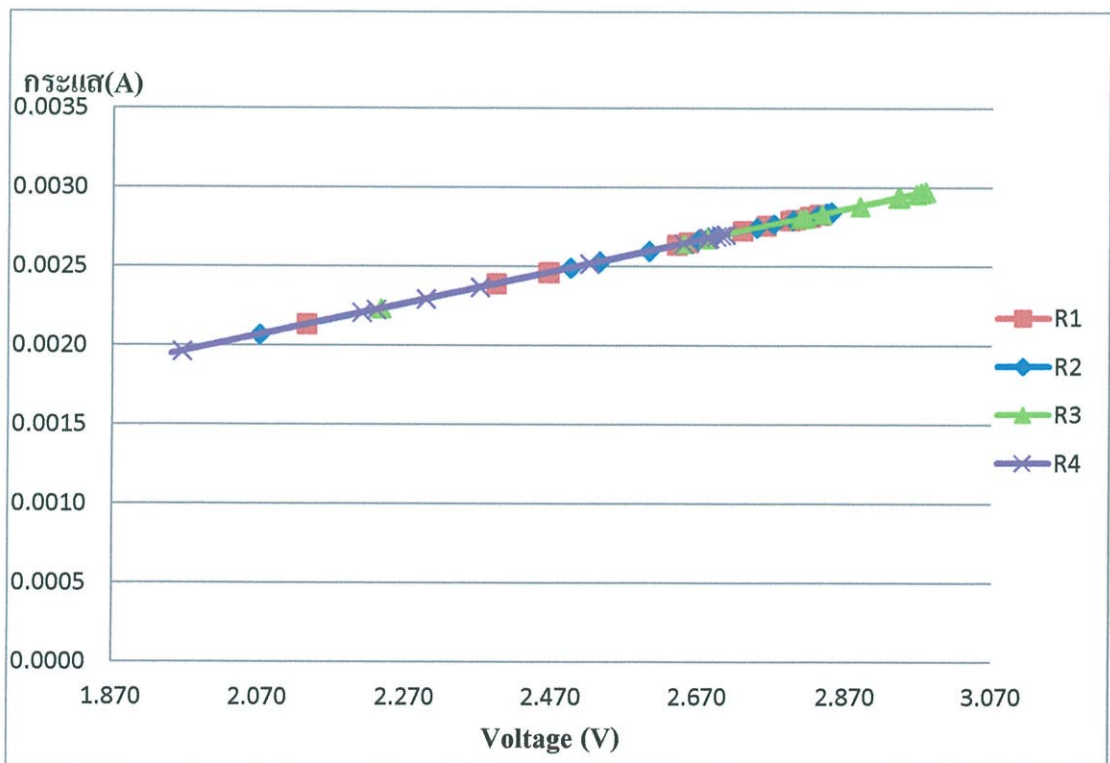
$$I = 0.0028 A$$

∴ กระแสที่เข้าบอร์ดควบคุมมีค่าเท่ากับ 0.0028A

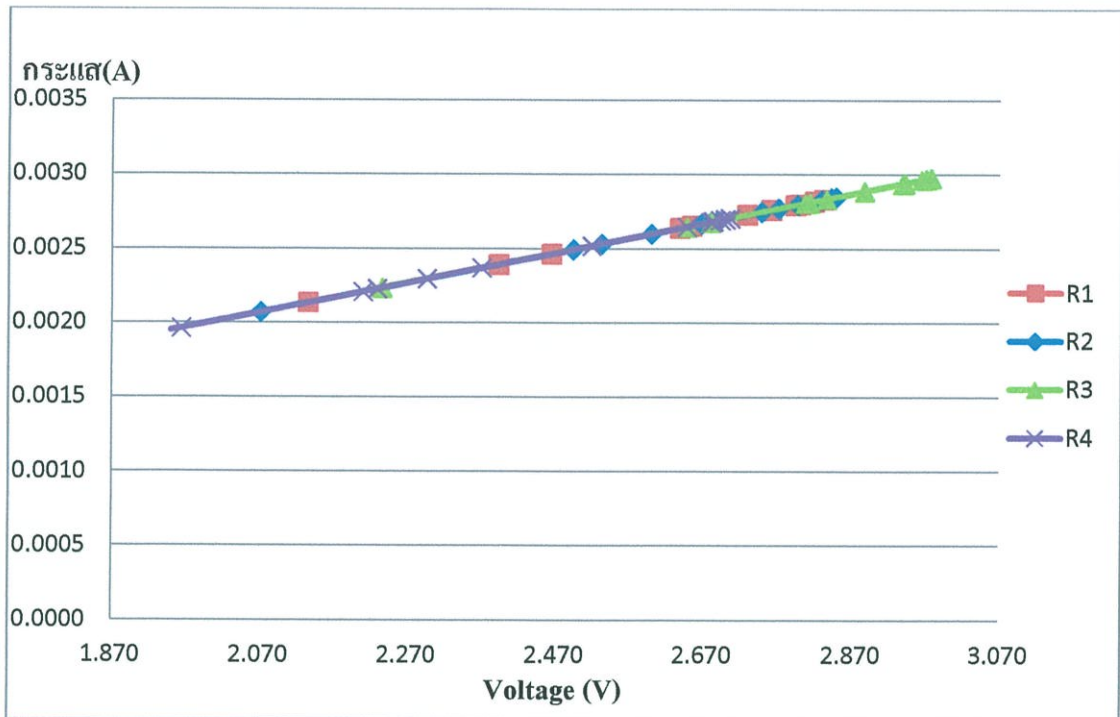
ดังนั้นผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของกระแสกับโวลต์เตจแสดงดังกราฟต่อไปนี้



รูปที่4.10 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดัน วันที่14-03-2557



รูปที่4.11 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดัน วันที่15-03-2557



รูปที่4.12 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดัน วันที่15-03-2557

#### 4.2.3. การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของ LDR จากค่าแรงดัน

$$\text{เปอร์เซ็นต์ ความคลาดเคลื่อน} = \left| \frac{\text{ทฤษฎี} - \text{ปฏิบัติ}}{\text{ปฏิบัติ}} \right| \times 100\%$$

ตัวอย่างการหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจาก LDR ตัวที่ 1 ในวันที่ 14-03-2557 เวลา 9:00น.

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน} = \left| \frac{0.468 - 0.479}{0.479} \right| \times 100\%$$

∴ เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของ LDR ตัวที่ 1 = 2.29 %

ตารางที่ 4.19 แสดงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของ LDR ของวันที่ 14/03/2557

เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของLDR			
LDR1(14/03/2557)	LDR2(14/03/2557)	LDR3(14/03/2557)	LDR4(14/03/2557)
2.35	8.02	10.19	11.30
6.44	15.53	9.79	3.94
4.50	10.80	9.39	13.88
2.14	13.02	4.10	2.65
7.53	2.33	1.98	1.47
1.73	2.93	3.87	1.35
0.45	0.28	9.24	0.73
0.45	4.91	3.52	1.20
12.05	16.65	2.15	2.64
2.23	3.27	2.70	1.12
1.70	3.81	4.53	1.32
0.01	13.02	10.70	0.39
0.63	0.78	0.81	11.60
0.37	1.78	0.74	15.92
4.82	1.54	19.21	1.51

ตารางที่ 4.20 แสดงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของ LDR ของวันที่ 15/03/2557

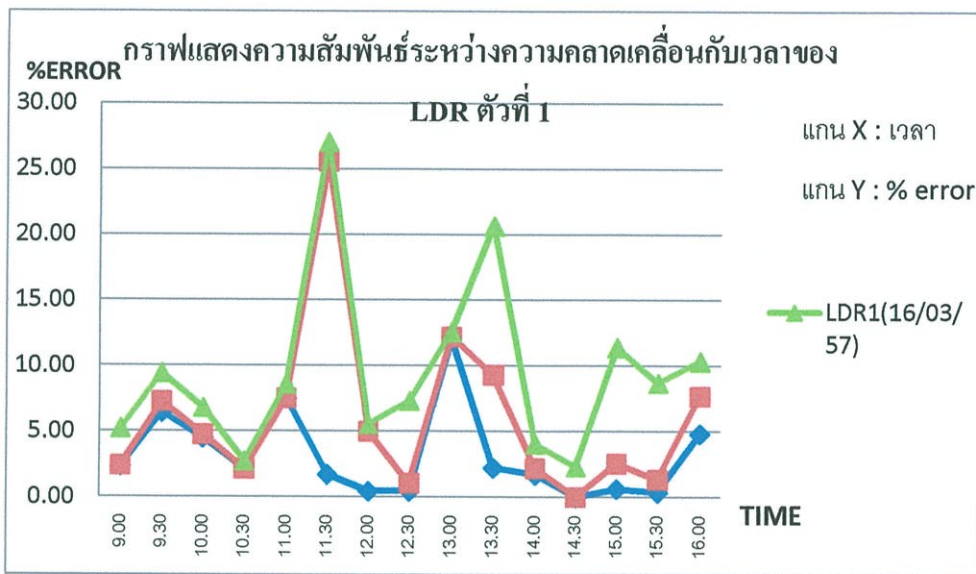
เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของLDR			
LDR1(15/03/2557)	LDR2(15/03/2557)	LDR3(15/03/2557)	LDR4(15/03/2557)
0.06	11.35	25.83	7.11
0.82	3.80	0.33	3.21
0.27	3.07	7.22	4.15
ฝนตกเก็บผลการทดลองไม่ได้			
23.84	10.73	1.17	25.90
4.56	6.49	8.00	33.59
0.59	1.61	1.49	2.74
0.16	2.33	4.84	0.35

7.07	46.14	0.92	29.46
0.49	1.88	30.25	61.73
0.00	2.29	10.48	4.57
1.94	1.17	1.87	0.11
0.97	0.37	8.19	1.71
2.88	1.14	2.71	1.18

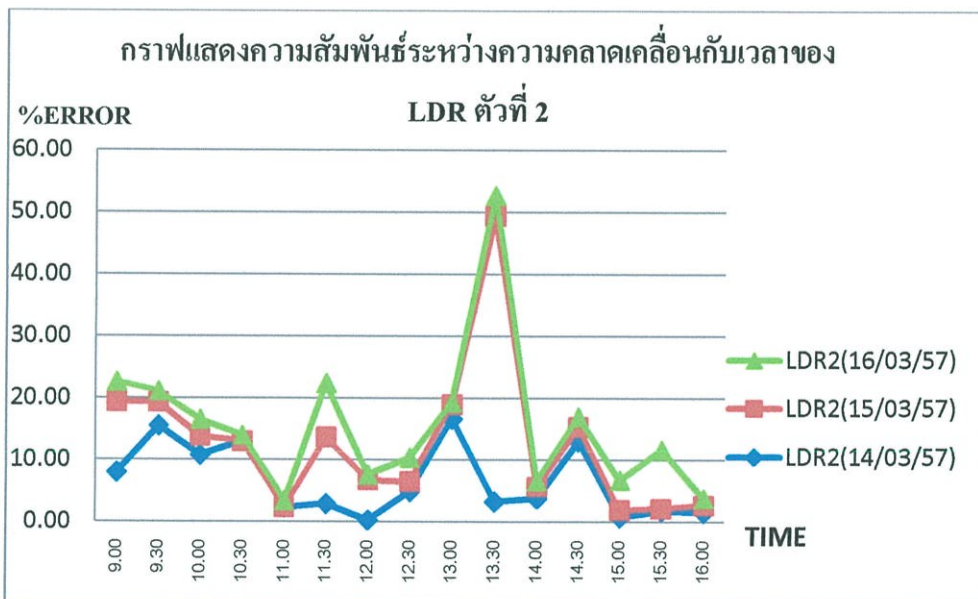
ตารางที่ 4.21 แสดงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของ LDR ของวันที่ 16/03/2557

เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของLDR			
LDR1(16/03/2557)	LDR2(16/03/2557)	LDR3(16/03/2557)	LDR4(16/03/2557)
2.82	3.23	4.42	0.82
2.20	1.76	6.31	15.17
2.04	2.67	4.12	0.02
0.61	0.98	3.31	2.52
1.10	1.10	2.76	0.14
1.50	8.75	16.60	2.65
0.54	0.90	5.37	0.24
6.30	3.89	15.89	5.68
0.34	0.30	0.67	5.94
11.37	3.29	3.66	4.65
1.87	0.90	5.60	4.72
2.32	1.63	1.33	0.86
8.85	4.82	0.24	2.19
7.37	9.50	1.18	10.85
2.66	1.11	7.48	11.30

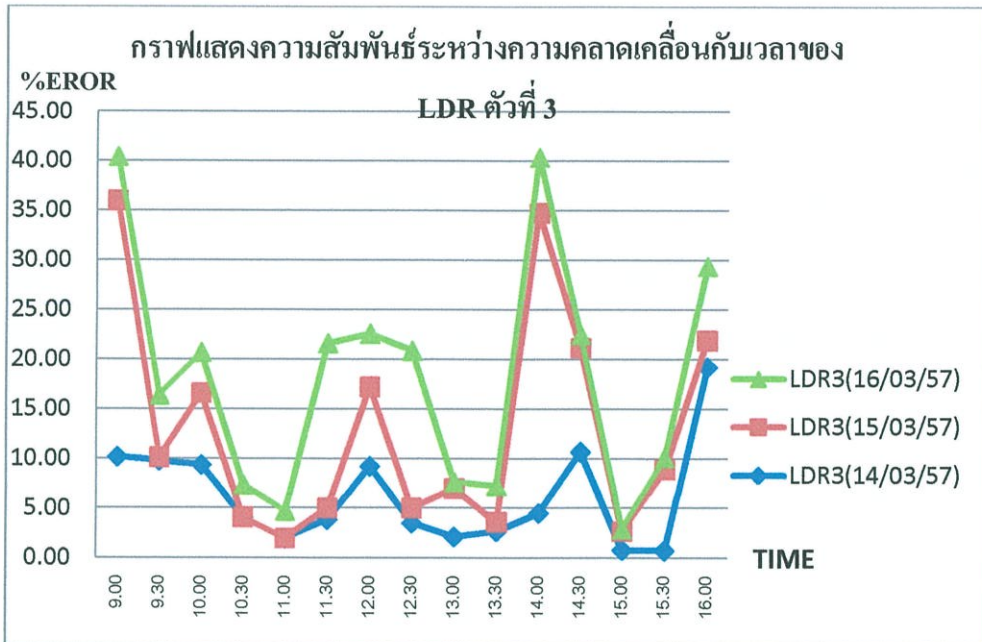
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับค่าคลาดเคลื่อนของ LDR แต่ละตัว



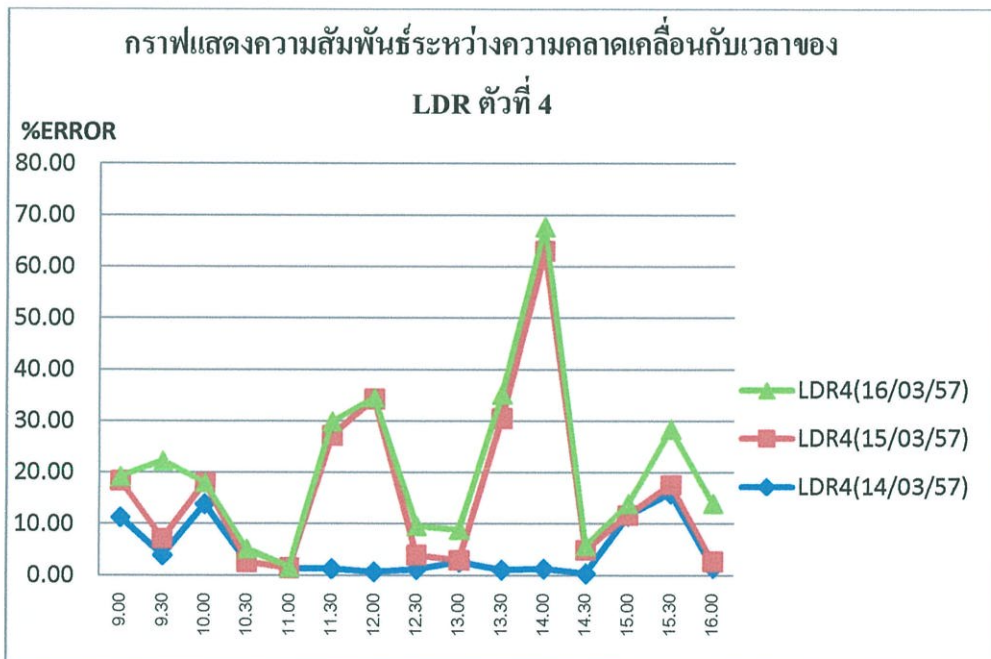
รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับค่าคลาดเคลื่อนของ LDR ตัวที่ 1



รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับค่าคลาดเคลื่อนของ LDR ตัวที่ 2



รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับค่าคลาดเคลื่อนของ LDR ตัวที่ 3



รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับค่าคลาดเคลื่อนของ LDR ตัวที่ 4

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์สามารถแบ่งการทดลองเป็นสองตอน คือ ตอนที่ 1 เป็นการวิเคราะห์มุมที่ตำแหน่งแต่ละองศาในทางทฤษฎีและจากการส่งการผ่าน Microcontroller สามารถบอกความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งมุมที่แนวแกนอะซิมุทกับอัลติจูดได้ และ ตอนที่ 2 ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดัน และวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของ LDR ที่ใช้ในการหาตำแหน่งให้กับ RC Servo motor ของ โมเดลระบบติดตามดวงอาทิตย์

#### วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดสอบและวิเคราะห์โมเดลระบบติดตามดวงอาทิตย์ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนการตรวจจับหาความเข้มแสงของ LDR ในทางปฏิบัติเมื่อเทียบกับทฤษฎียังมีความคลาดเคลื่อนที่สูงอยู่และในส่วนของโปรแกรมที่ใช้ในการส่งการควบคุมยังไม่ละเอียดเท่าที่ควร

#### ข้อเสนอแนะ

ในโครงสร้างส่วนตรวจจับรังสีควรจะมีการคำนวณเพื่อที่จะได้ความแม่นยำในการตรวจจับรังสีมากยิ่งขึ้น และควรต้องพัฒนาในส่วน โปรแกรมเพื่อให้ประสิทธิภาพในการติดตามดวงอาทิตย์สูงขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

[1] Selcuk University, Technical Science College , Multi-axes sun-tracking system with PLC control for photovoltaic panels in Turkey. Renewable Energy 34 (2009) 1119–1125

[2] มอเตอร์. เข้าถึงจาก:

<http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%A1%E0%B8%AD%E0%B9%80%E0%B8%95%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B9%8C> (วันที่ค้นข้อมูล: 22 สิงหาคม 2556)

[3] ข้อดี ข้อเสีย ของพลังงานแสงอาทิตย์. เข้าถึงจาก:

[http://apem-thermo2.blogspot.com/2009/12/blog-post\\_549.html](http://apem-thermo2.blogspot.com/2009/12/blog-post_549.html) (วันที่ค้นข้อมูล: 22 สิงหาคม 2556)

[4] DUAL AXIS SOLAR TRACKER. เข้าถึงจาก:

<http://www.slideshare.net/sweetswetansh/solar-tracker-report-swetansh> (วันที่ค้นข้อมูล: 22 สิงหาคม 2556)

[5] SERVO MOTOR CONTROL. เข้าถึงจาก:

<http://embedded-lab.com/blog/?p=4653> (วันที่ค้นข้อมูล: 22 สิงหาคม 2556)

[6] SERVO MOTOR CONTROL. เข้าถึงจาก:

<http://www.ocfreaks.com/lpc2148-pwm-programming-tutorial/> (วันที่ค้นข้อมูล: 22 สิงหาคม 2556)

[7] ปรกวนถามเกี่ยวกับ LDR กับ SERVO. เข้าถึงจาก:

<http://www.vcharkarn.com/vcafe/182125> (วันที่ค้นข้อมูล: 22 สิงหาคม 2556)

[8] Basic Servo Motor Controlling with Microchip PIC Microcontroller. เข้าถึงจาก:

<http://www.ermicro.com/blog/?p=771> (วันที่ค้นข้อมูล: 1 กันยายน 2556)

[9] การควบคุม SERVO MOTOR. เข้าถึงจาก:

[http://www.premierac.co.th/index.php?lay=boardshow&ac=webboard\\_show&WBntype=1&Category=premier-accoth&thispage=&No=1195843&anspage=2](http://www.premierac.co.th/index.php?lay=boardshow&ac=webboard_show&WBntype=1&Category=premier-accoth&thispage=&No=1195843&anspage=2) (วันที่ค้นข้อมูล: 1 กันยายน 2556)

[10] Light Depenting Resistor. เข้าถึงจาก:

[http://www.mwit.ac.th/~ponchai/CAI\\_electronics/image/LDR.HTM](http://www.mwit.ac.th/~ponchai/CAI_electronics/image/LDR.HTM) (วันที่ค้นข้อมูล: 1 กันยายน 2556)