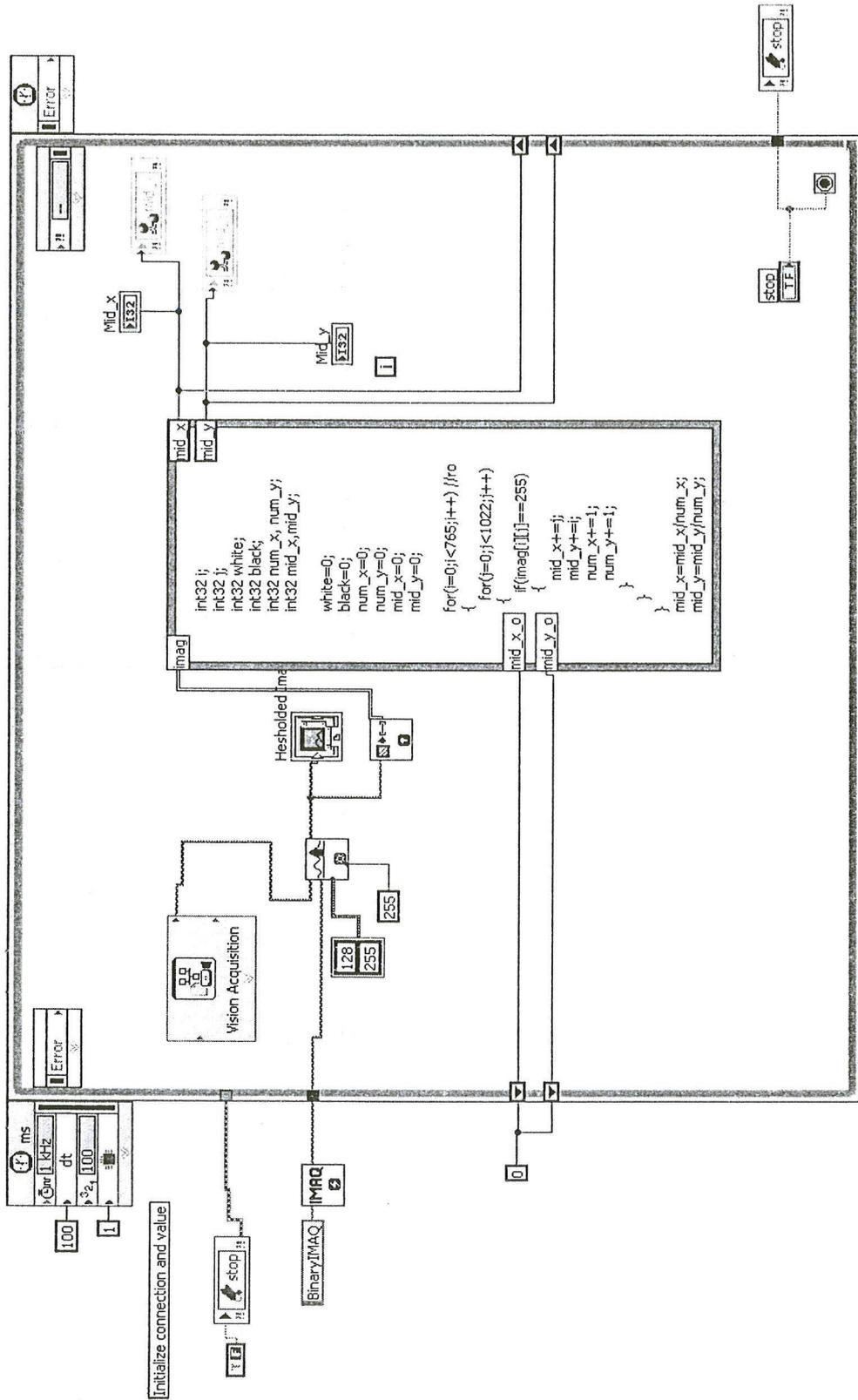
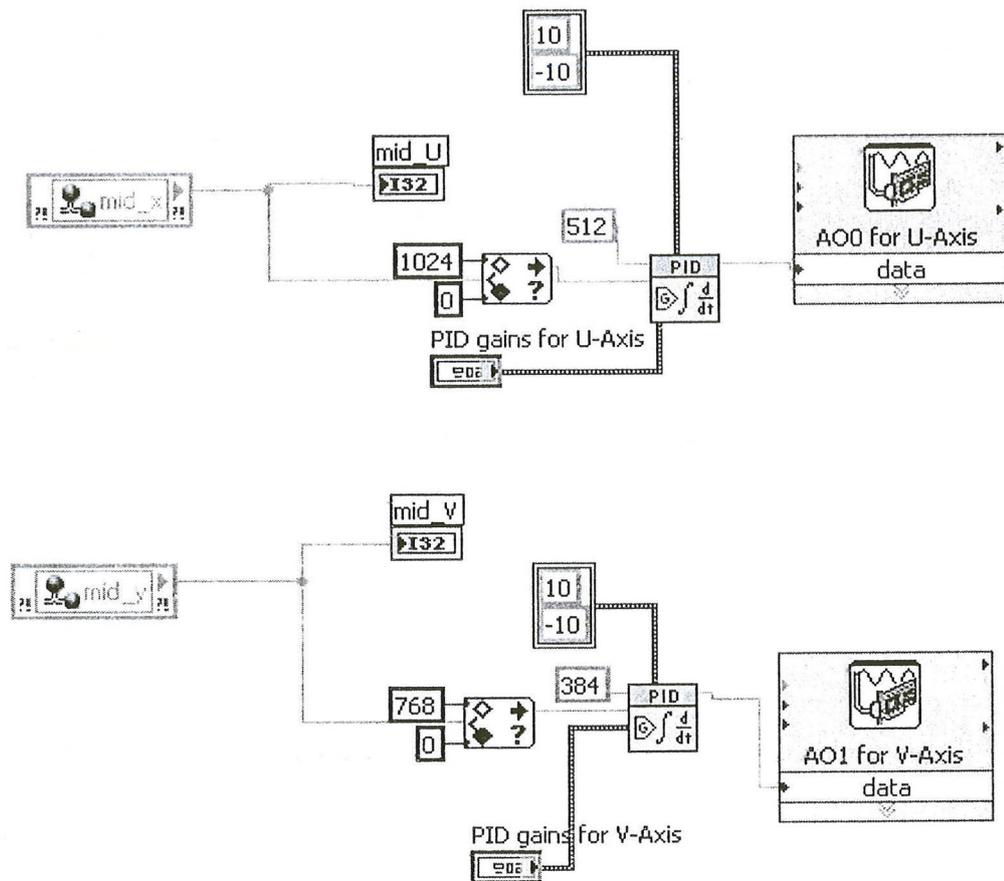


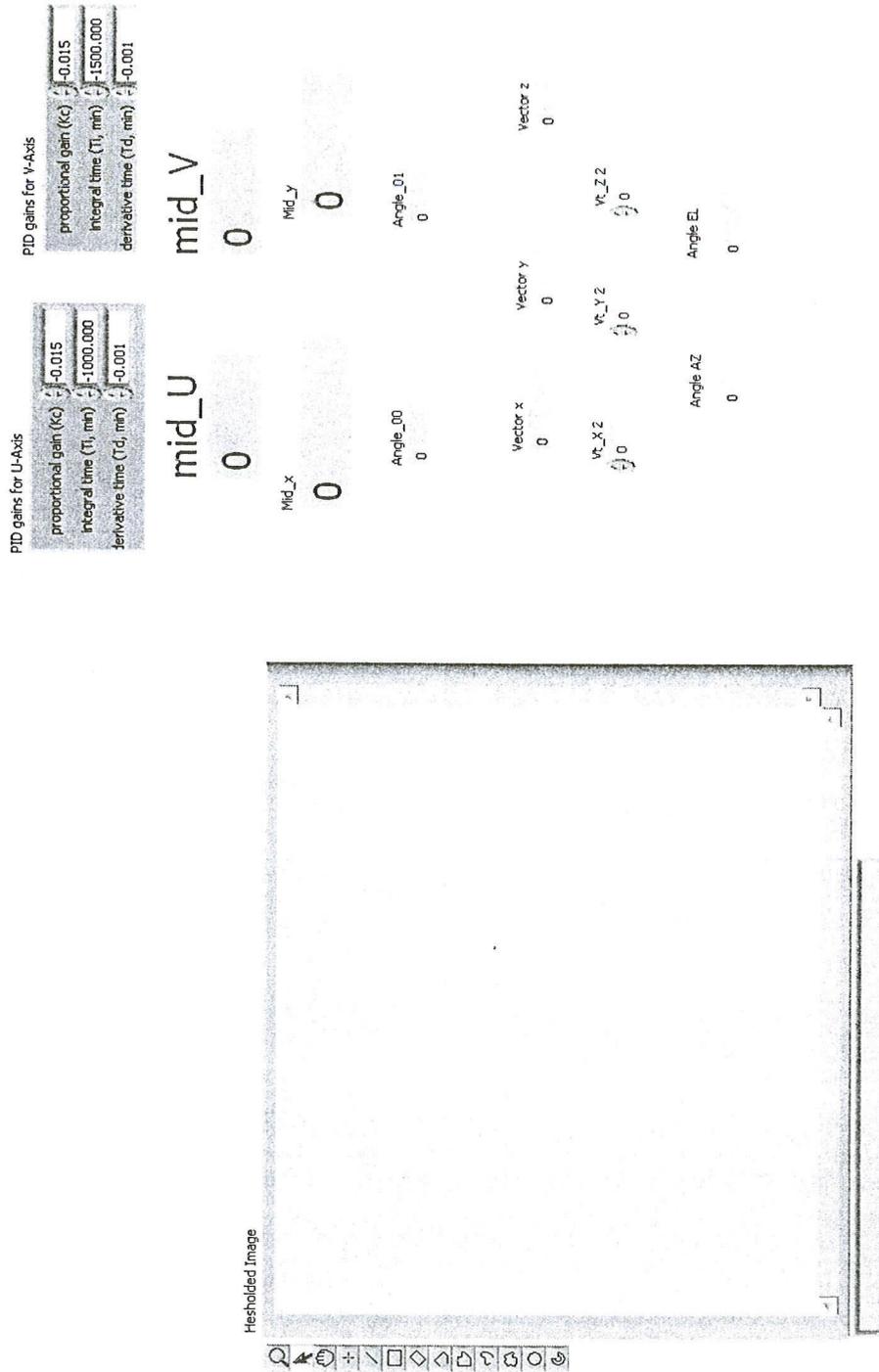
ภาคผนวก ก.  
โค้ดโปรแกรมที่ใช้ใน  
การควบคุม



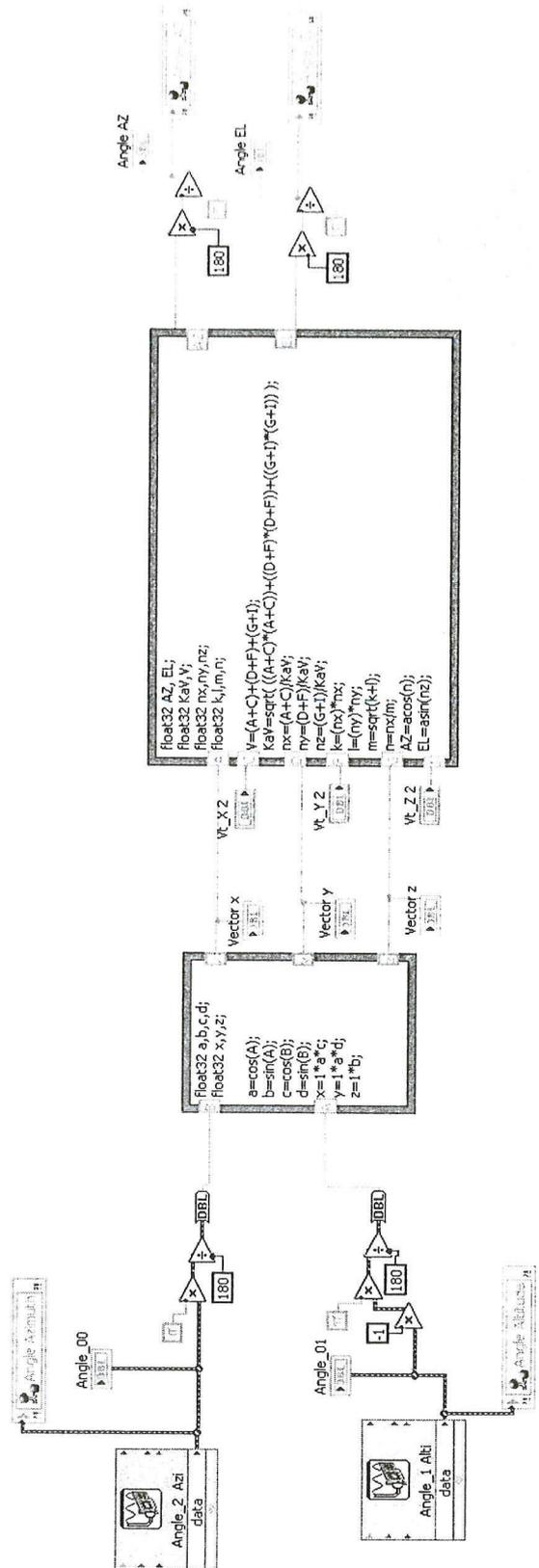
รูปที่ ก.1 บล็อกไดอะแกรมการประมวลผลภาพและหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์



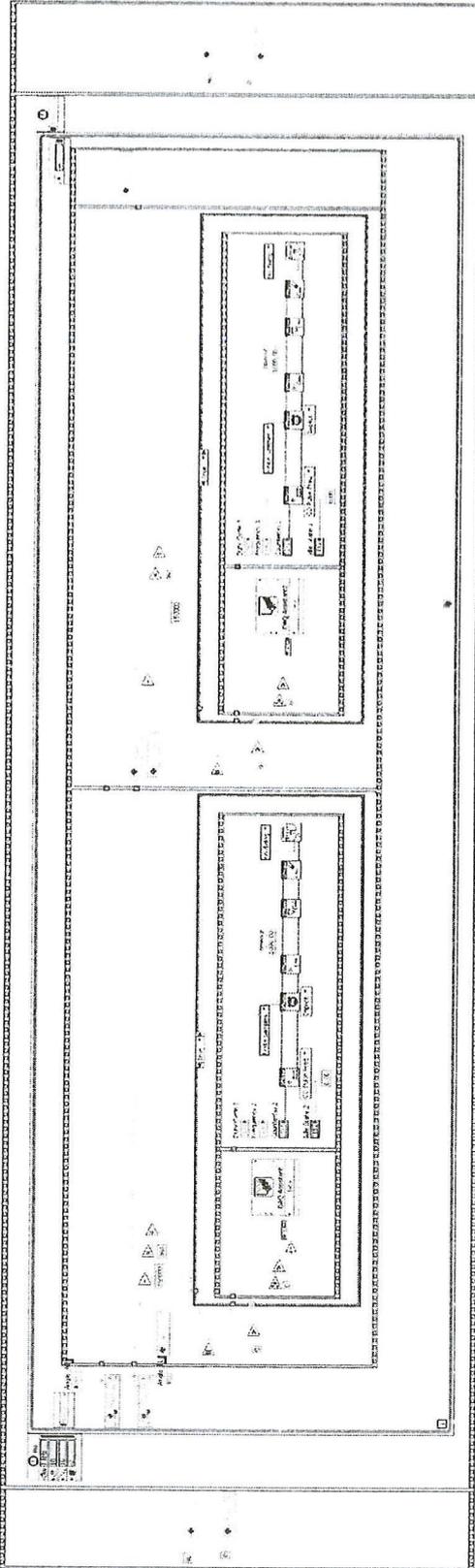
รูปที่ ก.2 โค้ดควบคุมการหมุนของมอเตอร์ของระบบติดตามดวงอาทิตย์



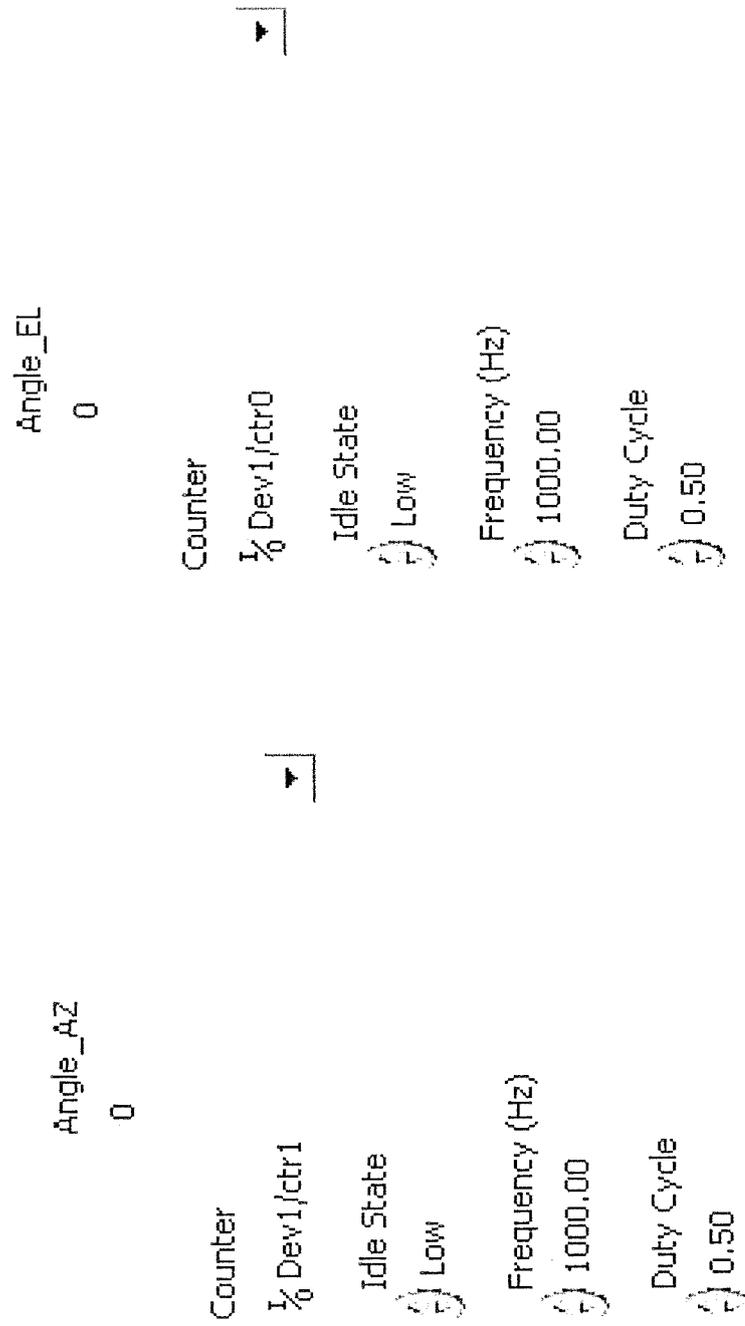
รูปที่ ๓.3 Front Panelของระบบติดตามแสงอาทิตย์



รูปที่ ก.4 บล็อกไดอะแกรมการหามุมในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์



รูปที่ ก.5 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมระบบสะท้อนแสงอาทิตย์



รูปที่ ก.6 Front Panelของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์

**ภาคผนวก ข.**  
**ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่**



EC-9

Prince of Songkla University

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 9

9th Engineering Conference  
2-3 พฤษภาคม 2554

ณ โรงแรมเมอร์ลิน บีช รีสอร์ท (หาดไร่ตริงค์) จังหวัดภูเก็ต

ผู้ให้การสนับสนุน





คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ขอมอบเกียรติบัตรนี้เพื่อแสดงว่า

อริราช ประดิษฐ์ถักย มนุศักดิ์ งานทอง

ได้เข้าร่วมงานสัมมนาอบรมเรื่อง

การออกแบบด้วยภาพสำหรับระบบขีดตามดางอาทิตย์

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 9 (FEO-9)

วันที่ 2 - 3 พฤษภาคม 2554

ณ โรงแรมเมอริสัน บีช รีสอร์ท (หาดไทรตรงค์) จังหวัดภูเก็ต

ให้ไว้ ณ วันที่ 2 พฤษภาคม 2554

(รองศาสตราจารย์ ดร.จรัญ นุชกาญจน์)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์



## การควบคุมด้วยภาพสำหรับระบบติดตามดวงอาทิตย์

### Image-Guided Control For Sun Tracking System

ยวิราช ประดิษฐ์อภัย<sup>1</sup> และมนุศักดิ์ จานทอง<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่ 1 ถ.รังสิต – นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

ติดต่อ: โทร 0-2549-3433 โทรสาร 0-2549-3432

E-mail: Atirat\_190325@yahoo.co.th

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการควบคุมด้วยภาพสำหรับระบบติดตามดวงอาทิตย์ ซึ่งได้ออกแบบโครงสร้างของระบบติดตามดวงอาทิตย์ให้มีองศาอิสระเท่ากับ 2 โดยใช้เซอร์โวมอเตอร์ในการขับเคลื่อนและใช้เอ็นโคเดอร์วัดตำแหน่งการหมุน นอกจากนี้ยังใช้กล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมในการตรวจจับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ส่วนระบบควบคุมได้ใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยควบคุมระบบ โดยใช้ซอฟต์แวร์ LabVIEW และตัวควบคุมแบบพีไอดี โดยในการทดลองจะแบ่งการทดลองออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกจะเป็นการทดลองเพื่อที่จะศึกษาผลตอบสนองของระบบและความแม่นยำในการติดตาม โดยใช้หลอดไฟแทนดวงอาทิตย์ จากการทดลองพบว่าระบบมี Peak time ( $T_p$ ) = 0.5 วินาที, Settling time ( $T_s$ ) = 1.5 วินาที และมี Steady state error  $\pm 3$  พิกเซล ส่วนที่สองจะเป็นการทดลองติดตามดวงอาทิตย์เพื่อที่จะดูว่าระบบสามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้หรือไม่และมีความคลาดเคลื่อนเท่าไร จากการทดลองพบว่าระบบสามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้จริงและมี Steady state error  $\pm 5$  พิกเซล

คำหลัก การควบคุมด้วยภาพ, ระบบติดตามดวงอาทิตย์, ตัวควบคุมแบบพีไอดี

#### Abstract

This paper presents an image – guided control for sun tracking system. It's structure has 2 DOF or 2 axes, which DC servo motors and encoders were used to drive each axis and to measure the position of rotation, respectively. Moreover, an industrial camera was used to detect the sun position. LabVIEW software and PID controller were used to control the tracking position. The experiments can be divided into 2 parts firstly to test the system response and the accuracy of the tracking by using the electric bulb as the sun. It was found that 0.5 s peak time, 1.5 s settling time and  $\pm 3$  pixel of steady state error could be achieved. Secondly, to test the actual sun tracking and it was found that the system worked well and with  $\pm 5$  pixel error.

**Keywords:** Image – Guided Control, Sun Tracking System, PID Controller.

## 1. บทนำ

ปัจจุบันวิกฤตพลังงานยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด จะเห็นได้จากราคาน้ำมันที่ประชาชนต้องจ่ายให้กับรถยนต์ ราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยที่เพิ่มสูงขึ้น และรวมไปถึงราคาแก๊สที่จะปรับราคาเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นพลังงานทางเลือกจึงเป็นพลังงานที่ไม่อาจจะมองข้ามได้อีกแล้ว พลังงานทางเลือกที่พบเห็นกันมากได้แก่ พลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าทดแทนการใช้น้ำมันและแก๊ส เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตที่ได้รับแสงอาทิตย์ปริมาณมากต่อวัน ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงนำเสนอโครงการวิจัยที่เกี่ยวกับการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับแสงอาทิตย์

ในการศึกษาการควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นระบบที่ได้รับความนิยมในการนำมาศึกษาการควบคุม เนื่องจากระบบติดตามดวงอาทิตย์ เป็นระบบที่มีวิธีการควบคุมหลายวิธี เช่น วิธีการใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ วิธีการใช้อุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งเชิงดิจิทัลด้วยซีพีแอลดี วิธีการคำนวณหาพิกัดตำแหน่งของดวงอาทิตย์ด้วยการคำนวณจากสมการคณิตศาสตร์ เป็นต้น จึงเหมาะแก่การนำมาศึกษาเพื่อออกแบบตัวควบคุม

ตัวควบคุมที่ใช้ในการควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ ในปัจจุบันมีมากมาย เช่น ตัวควบคุมพีไอดี (PID control) ตัวควบคุมแบบสถานะป้อนกลับ (State feedback control) โดยใช้ฮาร์ดแวร์ในการควบคุม เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Micro – controller) และ พีแอลซี (PLC) เป็นต้น

บทความนี้ นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมสำหรับระบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยใช้การควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback - control) และใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีมาใช้ในการควบคุม

Aracil และคณะ [1] นำเสนอระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้ตัวตรวจรู้ที่ถูกทำมาด้วยเทคโนโลยี MEMS ส่วนอัลกอริทึมที่ใช้ในการควบคุมนั้นได้ใช้การพิจารณาสถานะอูดุณิยมหาวิทยาลัย ผลการทดลอง ระบบมีประสิทธิภาพและความแม่นยำสูง

Roth และ คณะ [2] ได้สร้างระบบจักรกลไฟฟ้าในการหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ โดยใช้ระบบวัดตำแหน่งดวงอาทิตย์แบบอัตโนมัติด้วย Four-quadrant photodiode และวัดการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ด้วย Pyrheliometer ส่วนระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของระบบจักรกลไฟฟ้าแบบอัตโนมัติได้ใช้การควบคุมแบบวงปิด และมีตัวต้นกำลังเป็นดีซีมอเตอร์ ผลการทดลอง ระบบติดตามดวงอาทิตย์มีประสิทธิภาพดี

ธนภัทร พรหมวัฒน์ภักดีและคณะ [3] เสนอระบบติดตามดวงอาทิตย์จากอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งเชิงดิจิทัลด้วยซีพีแอลดี โดยในการติดตามดวงอาทิตย์ใช้หลักการบังเงาของฉากกัน มีโฟโตทรานซิสเตอร์เป็นตัวตรวจจับรังสีตรงของดวงอาทิตย์ การวางตำแหน่งโฟโตทรานซิสเตอร์ออกแบบให้สามารถตรวจจับรังสีตรงของดวงอาทิตย์ครอบคลุมตลอดทั้ง 2 แนว ส่วนการควบคุมจะใช้การควบคุมแบบซีพีแอลดี (Complex programmable logic - device) ผลการทดลอง ระบบติดตามดวงอาทิตย์มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยประมาณ 2.5 องศา

ศักดิ์สิทธิ์ บัวเงินและคณะ [4] เสนอระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ โดยในการติดตามดวงอาทิตย์ระบบจะใช้ภาพดวงอาทิตย์ซึ่งรับมาจากกล้องดิจิทัลเว็บแคมและใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผลภาพ ส่วนการควบคุมจะใช้การควบคุมแบบไมโครคอนโทรลเลอร์ (Micro - controller) ผลการทดลอง ระบบสามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้จริง

งานวิจัยระบบติดตามดวงอาทิตย์ [1] จะเห็นว่าตัวควบคุมสามารถควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ได้ แต่ระบบติดตามดวงอาทิตย์ดังกล่าวไม่ได้ใช้วิธีติดตามดวงอาทิตย์แบบเวลาจริง (Real - time) เพื่อให้เกิดความหลากหลายในระบบการควบคุม ผู้วิจัยจึงได้นำระบบภาพโดยใช้กล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมมาใช้ในการติดตามดวงอาทิตย์

งานวิจัย [2] และ [3] เป็นการควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ใช้วิธีติดตามดวงอาทิตย์แบบเวลาจริงและสามารถควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ได้

งานวิจัย [4] เป็นระบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยใช้ภาพจากกล้องดิจิทัลเว็บแคมในการติดตามดวงอาทิตย์ แต่เนื่องจากกล้องดิจิทัลเว็บแคมมีความละเอียดต่ำและมีการส่งข้อมูลที่ช้า ดังนั้นผู้วิจัย จึงได้เลือกใช้กล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมซึ่งมีความละเอียดและประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลสูง เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพที่ดีขึ้นในการใช้ข้อมูลภาพในการควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์

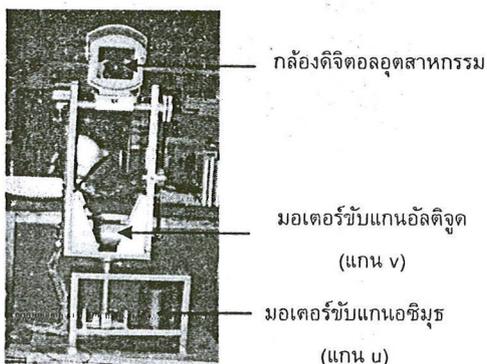
## 2. โครงสร้างของระบบติดตามดวงอาทิตย์

โครงสร้างของระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลองจะออกแบบให้มีแกนที่เคลื่อนที่ได้ 2 แกน คือ แกน  $u$  และแกน  $v$  เพื่อให้สอดคล้องกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏบนโลกซึ่งจะมีมุมที่เกี่ยวข้อง 2 มุม คือ ละติจูดและ อลติจูด ตามลำดับ แกน  $u$

จะใช้ดีซีเซอร์โวมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนผ่านทาง Timing belt อัตราทด 2:1 ระยะพิทช์ 2 mm. มีขอบการเคลื่อนที่ 180 องศา โดยใช้ลิ้มิตสวิทช์เป็นตัวกำหนดขอบเขตการเคลื่อนที่ ส่วนแกน v จะใช้ดีซีเซอร์โวมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนผ่านทาง Timing belt อัตราทด 3.33:1 ระยะพิทช์ 2 mm. มีขอบการเคลื่อนที่ 200 องศา โดยใช้ลิ้มิตสวิทช์เป็นตัวกำหนดขอบเขตการเคลื่อนที่ โดยบนเพลลาแกน v จะมีกลิ้งดิจิตอลอุตสาหกรรมติดตั้งอยู่เพื่อที่ใช้เป็นตัวตรวจจับตำแหน่งของดวงอาทิตย์

โครงสร้างของระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลองจะประกอบไปด้วยส่วนสำคัญดังนี้ (ดังรูปที่ 1)

1. กลิ้งดิจิตอลอุตสาหกรรมยี่ห้อ BASLER ชนิด Area Scan ขนาดภาพ 1034x779 พิกเซล, ด้วยอัตราการเก็บภาพ 30 fps.
2. ดีซีเซอร์โวมอเตอร์ยี่ห้อ Yaskawa รุ่น Minertia motor F series
3. ฟุเลย์อัตราทด 3.33:1 ระยะพิทช์ 2mm. ขับแนวแกนอัลติจูดและขนาดอัตราทด 2:1 ระยะพิทช์ 2mm. ขับแนวแกนอิมูท
4. มอเตอร์ไดรฟ์ยี่ห้อ Copley Controls Corp. รุ่น Accelus โมเดล ASP - 090 - 18 และ ASP - 090 - 36
5. ลิ้มิตสวิทช์ยี่ห้อ Omron (Photomicrosensor) รุ่น CE-GX47/G7
6. การ์ด DAQ PCI ยี่ห้อ NI รุ่น PCI-6221



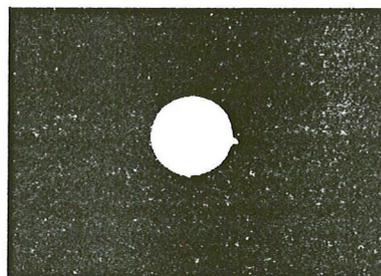
รูปที่ 1 โครงสร้างของระบบติดตามดวงอาทิตย์

### 3. การประมวลผลภาพ

ในการทดลอง ระบบรับภาพดวงอาทิตย์มาจากกลิ้งดิจิตอลอุตสาหกรรมซึ่งภาพที่ได้จะเป็นภาพสี จากนั้นนำภาพสีที่ได้มาเปลี่ยนให้เป็นภาพขาว-ดำ แล้วยกภาพขาว-ดำที่ได้ให้สีขาวเป็นสีของวัตถุที่ต้องการและสีดำเป็นสีของพื้นหลัง โดยภาพที่ได้จากกลิ้งจะเป็นภาพเคลื่อนไหวที่มีขนาด 24 fps. จากนั้นนำข้อมูลภาพที่ได้มาแปลงและจัดเก็บอยู่ในรูปแบบของข้อมูลอาร์เรย์ (Array) เพื่อใช้ในการหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์

#### 3.1 การทำไบนารีไรซ์ (Binarization)

การทำไบนารีไรซ์ เป็นการนำค่าสีในระดับภาพสีเทา (Gray - level) ที่ได้จากกลิ้งดิจิตอลอุตสาหกรรมของพิกเซลทั้งหมดมาเปรียบเทียบกับค่าเทรชโฮล (Threshold) ที่ตั้งไว้ และเก็บค่าพิกเซลใหม่ทุกพิกเซล ซึ่งการทดลองนี้จะตั้งค่าเทรชโฮล อยู่ที่ 128 คือ ถ้าค่าสีในระดับภาพสีเทา มีค่าระหว่าง 0-127 จะได้ค่าสีในระดับภาพสีเทา ใหม่เป็น 0 และถ้าค่าสีในระดับภาพสีเทา มีค่าระหว่าง 128-255 จะได้ค่าสีในระดับภาพสีเทา ใหม่เป็น 255 ดังนั้นเมื่อทำไบนารีไรซ์แล้วค่าสีในระดับภาพสีเทา ที่ได้จะมีค่าเป็น 0 หรือ 255 เท่านั้น ดังรูปที่ 2 และรูปที่ 3

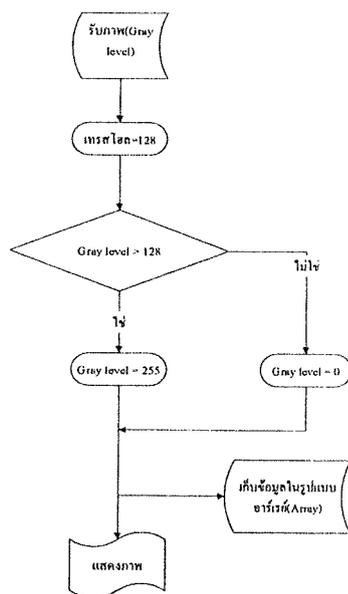


```

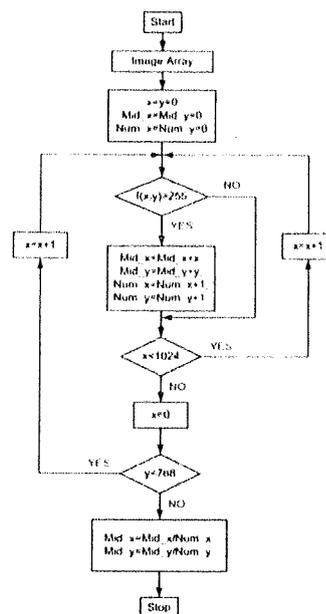
00000000000000000000000000000000
00000000000000002552550000000000
00000000000025525525525500000000
00000000000025525525525500000000
00000000000000255255000000000000
00000000000000000000000000000000

```

รูปที่ 2 ภาพที่ผ่านการไบนารีไรซ์



รูปที่ 3 แผนผังแสดงการทำไบนาไรซ์



รูปที่ 4 แผนผังการหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์

3.2 การเก็บข้อมูลในรูปอาร์เรย์ (Array)

การเก็บข้อมูลในรูปของอาร์เรย์ คือการเก็บข้อมูลในลักษณะเมตริก (Matrix) โดยแต่ละพิกเซลจะใช้ (x,y) ในการระบุตำแหน่ง ขนาดของเมตริกจะขึ้นอยู่กับจำนวนพิกเซลของกล้อง เช่น ในการทดลองใช้กล้องที่มีพิกเซล 1024x768 ดังนั้นจะได้ขนาดของเมตริกเป็น

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} (0,0) & \dots & 0,1023 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 767 & \dots & 767,1023 \end{bmatrix}$$

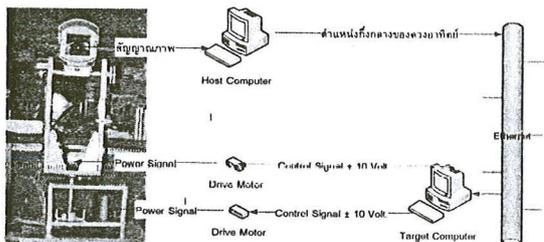
3.3 การหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์

ในการหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์จะเริ่มจากการตรวจสอบข้อมูลที่จัดเก็บไว้ในอาร์เรย์ โดยจะทำการตรวจสอบพิกเซลทีละแถวในแกน x ไปจนหมดแถวแล้วค่อยเริ่มแถว y ถัดไป ถ้าข้อมูลในพิกเซลใดมีค่าสีในระดับภาพสีเทา เป็น 255 ให้นำค่า x โดยจะเริ่มทำตั้งแต่พิกเซลที่ 0-1023 และทำเช่นเดียวกันในแนว y โดยจะเริ่มทำตั้งแต่พิกเซลที่ 0-767 เมื่อทำการนับจำนวนพิกเซลที่เป็นสีขาวในภาพแล้วก็จะทำการหาค่าเฉลี่ยของภาพออกมาเป็นพิกัดพิกเซลแล้วจะได้พิกัด (x,y) ซึ่งเป็นจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ ดังรูปที่ 4

4. การควบคุม

การควบคุมการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ใช้คอมพิวเตอร์จำนวน 2 เครื่อง โดยคอมพิวเตอร์เครื่องแรกเรียกว่าคอมพิวเตอร์หลัก (Host computer) ทำหน้าที่นำข้อมูลภาพดวงอาทิตย์ที่ได้จากกล้องดิจิตอลอุตสาหกรรมมาประมวลผลทางภาพเพื่อหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ที่อยู่ในภาพ โดยข้อมูลที่รับมาจากกล้องนั้นมีขนาด 1024x768 พิกเซล และมีความเร็วในการเก็บข้อมูล 24 fps ซึ่งขั้นตอนในการประมวลผลภาพเพื่อที่จะหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3 เมื่อได้ค่าจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ก็จะส่งค่านี้ไปยังคอมพิวเตอร์อีกตัวที่เรียกว่าคอมพิวเตอร์เป้าหมาย (Target computer) ผ่านทางอีเทอร์เน็ต (Ethernet) คอมพิวเตอร์เครื่องที่สองจะทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของระบบติดตามดวงอาทิตย์หรือควบคุมการหมุนของมอเตอร์ทั้งสองตัวให้ขับโครงสร้างของระบบและทำให้จุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการประมวลผลภาพอยู่ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของภาพ คือ  $x = 512$  และ  $y = 384$  สำหรับอัลกอริทึม (Algorithm) ในการควบคุมนั้นได้ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID-Controller) คอมพิวเตอร์ทั้งสองจะมีโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นเป็นตัวสั่งการทำงาน โดยที่โปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้ได้ใช้ซอฟต์แวร์ LabVIEW เป็นเครื่องมือในการพัฒนา สำหรับคอมพิวเตอร์หลัก โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะทำงานบน MS Windows XP ส่วน

คอมพิวเตอร์เป้าหมายจะใช้ระบบปฏิบัติการเวลาจริง (Real-time operating system) ของซอฟต์แวร์ LabVIEW ที่เรียกว่า Real-time Target OS. ดังรูปที่ 5



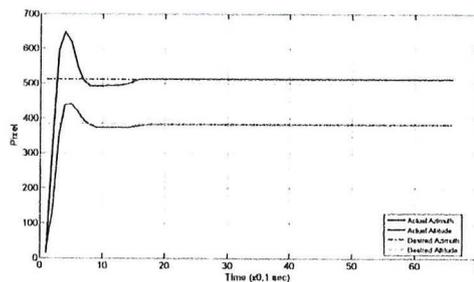
รูปที่ 5 โครงสร้างการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง

## 5. การทดลองและผลการทดลอง

### 5.1 การทดลองศึกษาผลตอบสนองของระบบ

การทดลองนี้จะใช้หลอดไฟแทนดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นการทดลองเพื่อที่จะดูการตอบสนองของระบบและความแม่นยำในการติดตาม ในการทดลองจะใช้หลอดไส้เกลียว Hitachi 220 โวลท์ 25 วัตต์ ค่าความสว่าง 220 lm เป็นตัวส่ง ในการทดลองจะเริ่มต้นให้ตำแหน่งกึ่งกลางภาพของดวงไฟที่ได้จากกล้องดิจิตอล อุตสาหกรรมอยู่ที่ตำแหน่ง  $x = 13, y = 22$  โดยมีเป้าหมายต้องการให้ตำแหน่งกึ่งกลางภาพดวงไฟอยู่ที่ตำแหน่ง  $x = 512, y = 384$  ในการทดลองนี้ใช้การควบคุมแบบพีไอดี (PID Controller) โดยจะกำหนดค่าพารามิเตอร์ดังนี้ แกน  $x$  กำหนดให้  $K_c = 0.008, T_i = 2000, T_d = 0.001$  และแกน  $y$  กำหนดให้  $K_c = 0.010, T_i = 1500, T_d = 0.001$

จากการทดลองจะได้ผลการทดลอง ดังรูปที่ 6

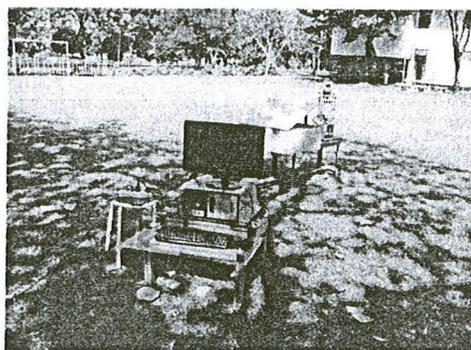


รูปที่ 6 ลักษณะการตอบสนองของระบบโดยใช้หลอดไฟ

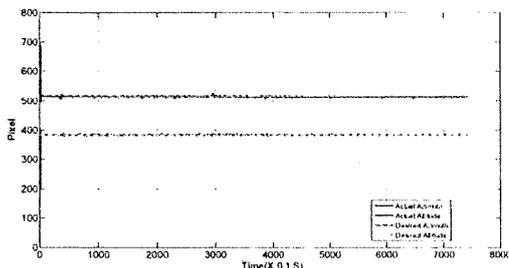
ผลการทดลอง แกน  $x$  จะได้ Peak time ( $T_p$ ) = 0.4 sec, Settling time ( $T_s$ ) = 1.4 sec (คิดที่  $\pm 2\%$ ), Rise time ( $T_r$ ) = 0.15 sec, Percent overshoot (%OS) = 26.56% และแกน  $y$  จะได้ Peak time ( $T_p$ ) = 0.5 sec, Settling Time ( $T_s$ ) = 1.5 sec (คิดที่  $\pm 2\%$ ), Rise time ( $T_r$ ) = 0.2 sec, Percent overshoot (%OS) = 15.10%

### 5.2 การทดลองติดตามดวงอาทิตย์

การทดลองติดตามดวงอาทิตย์เป็นการทดลองเพื่อทดสอบว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ได้สร้างขึ้นมาสามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้จริงหรือไม่ และมีความคลาดเคลื่อนเท่าไร ซึ่งในการทดลองจะติดตั้งลิ้มกรองแสง Hi cool R65 จำนวน 6 ชั้นที่หน้าเลนส์กล้องดิจิตอลเพื่อลดความเข้มของแสง ในการทดลองนี้ใช้การควบคุมแบบพีไอดี (PID Controller) โดยจะกำหนดค่าพารามิเตอร์ดังนี้ แกน  $x$  กำหนดให้  $K_c = 0.008, T_i = 2000, T_d = 0.001$  และแกน  $y$  กำหนดให้  $K_c = 0.010, T_i = 1500, T_d = 0.001$  ดังรูปที่ 7 และรูปที่ 8



รูปที่ 7 การทดลองติดตามดวงอาทิตย์



รูปที่ 8 ลักษณะการตอบสนองของระบบติดตามดวงอาทิตย์

การทดลองติดตามดวงอาทิตย์เพื่อทดสอบการทำงานจริง เริ่มทดลองเวลา 09.00 น -12.00 น วันที่ 13 ธันวาคม 2553 ณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ภายใต้สภาพท้องฟ้ามีเมฆน้อยและมีดวงอาทิตย์ปรากฏตลอดวัน (Clear Sky) พบว่าระบบสามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้จริง มีความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 5 พิกเซล

## 6.สรุปผลการทดลอง

การทดลองศึกษามลตอบสนองของระบบ ดังรูปที่ 6 จะเห็นว่าแกนนอสมุขมีระยะเวลาการเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ 1.4 วินาทีและแกนนอลติจุดมีระยะเวลาการเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ 1.5 วินาที ซึ่งเป็นเวลาที่ใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาผลตอบสนองของระบบจะเห็นว่าแกนนอสมุขจะเกิด Overshoot มากกว่าแกนนอลติจุดก่อนเข้าสู่สภาวะคงตัว นั้นหมายความว่าแกนนอสมุขจะเคลื่อนที่ออกจากจุดศูนย์กลางมากกว่าก่อนเข้าสู่สภาวะคงตัวและระบบมีความคลาดเคลื่อน  $\pm 3$  พิกเซล ส่วนผลการทดลองติดตามดวงอาทิตย์ ดังรูปที่ 9 ระบบสามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้จริง มีความคลาดเคลื่อน  $\pm 5$  พิกเซล ความแม่นยำในการทดลองจะขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้าขณะทำการทดลอง ระบบจะมีความแม่นยำสูงหากสภาพท้องฟ้ามีเมฆน้อยและมีดวงอาทิตย์ปรากฏตลอดวัน

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีและสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Aracil, C., Quero, J.M., Castaner, L., Osuna, R., & Franquelo, L.G., "Tracking System for Solar Power Plants", IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 39, no. 2, 2006.
- [2] Roth, P., Georgiev, A. & Boudinov, H. "Design and Construction of a System for Sun-Tracking", Renewable Energy, vol. 29, 2004.
- [3] ธนภัทร พรหมวัฒน์ภักดีและคณะ, "ระบบติดตามดวงอาทิตย์จากอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งเชิงดิจิทัลด้วยซีพียูแอลดี", [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://www.are101.org/book/A7.pdf> (23 ธันวาคม 2553).
- [4] คักดีสิทธิ์ บัวเงินและคณะ, "ระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ", [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://thestar.spu.ac.th/content/627/12724.php> (23 ธันวาคม 2553).



