



การพัฒนาเตาสุริยะอุณหภูมิสูง

Development of High Temperature Solar Collector

จันทร์เพ็ญ โทมัส¹ Ian Thomas¹ และ เอกพรรณ สวัสดิ์ชิตัง^{1,*}

¹ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

*Corresponding Author, E-mail: ekaphan@kku.ac.th

บทคัดย่อ

โครงการเตาสุริยะอุณหภูมิสูงในปีที่ 1 นี้ ได้ทำการปรับปรุงระบบเตาสุริยะเดิมที่ได้สร้างขึ้นที่ภาควิชาฟิสิกส์ โดยได้รื้อส่วนเสาตั้งแผงกระจกสะท้อนแสงแผ่นราบขนาด 4 เมตร x 3 เมตร ที่ใช้ติดตามดวงอาทิตย์และทำขึ้นใหม่ เสาตั้งแผงกระจก ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ เสายึดแผงกระจก สำหรับการหมุนในแนวมุมสูง (ก้ม-เงย) ส่วนเพลาสําหรับหมุนแผงกระจก ในแนวมุมราบ (ซ้าย-ขวา) และฐาน เนื่องจากเสาตั้งแผงกระจก เดิมใช้แกนเพลามีขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.8 เซนติเมตร และยาวเพียง 30 เซนติเมตร ฐานเป็นเหล็กท่อเหล็กชุบสังกะสี (Galvanized steel pipe) มีน้ำหนักเบา ทำให้แผงกระจก โยกไม่เสถียรและมีความสูงไม่พอ เมื่อหมุนแผงกระจก ให้ก้มลงแผงกระจก จะติดพื้น การหมุนในแนวมุมราบในลักษณะซ้าย-ขวาใช้การหมุนแกนเพลาดูโดยใช้ตลับลูกปืนเม็ดกลมสัมผัสเชิงมุม (Angular Contact Ball Bearings) รุ่น 7004-B-TVR: $d = 20$ มิลลิเมตร เสาตั้งที่ทำขึ้นใหม่ได้ออกแบบสูงกว่าเดิมโดยใช้แกนเหล็กเพลายาว 1.5 เมตร ยึดกับฐานไม่หมุน ส่วนที่หมุนคือเปลือกเพลาดูได้ปรับปรุงตลับลูกปืนสัมผัสเชิงมุมไปเป็นตลับลูกปืนรุ่นเตเปอร์ (Tapered bearing) สองตัว ใส่ทั้งข้างบนและข้างล่าง เพื่อให้การหมุนง่ายขึ้น บูตยางเปลี่ยนเป็นวัสดุไนลอนชุบเปอร์ลินสวมแกนเพลาดู เพื่อช่วยให้แกนเพลาดูตรงกลางของเปลือกเพลาดู ส่วนฐานได้เพิ่มเหล็กแผ่นและเสริมฐานซีเมนต์เพื่อเพิ่มความเสถียร และได้ปรับปรุงเสาตั้งส่วนหัวเพลาดูที่ใช้ยึดกับแผงกระจก สําหรับหมุนแผงกระจก ในแนวมุมสูงในลักษณะก้ม-เงย เสาตั้งที่ออกแบบและสร้างขึ้นใหม่มีความเสถียร นอกจากนี้ได้มีการเปลี่ยนมอเตอร์สําหรับการหมุนแผงกระจก ในแนวมุมราบ โดยใช้มอเตอร์ที่มีกำลังสูงขึ้นกว่าเดิม และได้ทดสอบการหมุนแผงกระจก พบว่ามีความเสถียร หมุนง่ายทั้งในแนวมุมสูงในลักษณะก้ม-เงย และในแนวมุมสูงในลักษณะซ้าย-ขวา และแข็งแรงดี

ABSTRACT

In the first year of the solar furnace project, we modified the old solar furnace built at the Department of Physics by replacing the support for the 4m x 3m flat mirror (heliostat) used to track the sun. The support consisted of three main parts: the hinge attached to the mirror to allow the mirror to move in the up-down direction, the vertical axle to allow the mirror to move in the left-right direction, and the base. Since the previous support used a small diameter (about 3.8cm) vertical axle with a length of only about 30cm, and galvanized steel pipe for the base which was not heavy, the old support was unstable, wobbly and not tall enough. When the mirror was lowered to a small altitude, the mirror hit the floor. Rotation in the left-right direction was by rotating the axle with the help of angular contact ball bearings (7004-B-TVR: $d = 20$ mm). The new support was designed to be taller, with an axle of 1.5m attached to a non-rotating base. The rotating part was the outer cover of the

axle. The angular contact ball bearings were improved to be tapered bearings for the top and bottom bearings for freer motion. Boots made from Superlene Nylon6 were used around the axle to ensure the axle remained central in the outer cover. The base was made from thicker steel plate and a concrete slab added to make the mirror more stable. The axle attached to the back of the mirror, to allow it to rotate in the up-down direction, was also improved. The new support for the mirror was much stronger and stable. In addition, the motor used to rotate the mirror in the left-right direction was changed to one that was more powerful than the previous one. Testing showed that the mirror moved more easily in both the up-down and left-right directions and was more stable.

คำสำคัญ: เตาสุริยะ พลังงานทดแทน

Keywords: Solar furnace, Alternative energy

1. บทนำ

ในสังคมโลกที่มีความเจริญก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยี โดยเฉพาะเทคโนโลยีไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ ความต้องการโลหะบริสุทธิ์มีความสำคัญเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะซิลิกอนซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำที่ใช้อย่างแพร่หลายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ และในเซลล์สุริยะ การเตรียมโลหะบริสุทธิ์นั้นต้องใช้พลังงานความร้อนที่อุณหภูมิสูง ซึ่งเตาเผาส่วนใหญ่จะใช้พลังงานจากกระแสไฟฟ้า ในภาวะวิกฤติน้ำมันแพงรวมไปถึงทรัพยากรพลังงานจากฟอสซิลมีการขุดนำมาใช้มากทำให้ร่อยหรอลงทุกวัน แสงอาทิตย์เป็นพลังงานธรรมชาติที่มีอยู่มากมายมหาศาลและจะยังคงมีอีกหลายชั่วอายุคน เป็นพลังงานที่สะอาดและมีปริมาณมากตลอดปีในประเทศไทย การพัฒนาเตาสุริยะอุณหภูมิสูงที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้น่าจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ลดต้นทุนค่าใช้จ่าย ช่วยสภาพเศรษฐกิจของประเทศไทยได้

โครงการพัฒนาเตาสุริยะอุณหภูมิสูงนี้เป็นหนึ่งในโครงการย่อยในชุดโครงการ “พลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์เพื่อการเตรียมโลหะบริสุทธิ์” โดยโครงการย่อยอีกโครงการคือ “การสกัดซิลิกาและซิลิกอนจากแกลบโดยใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์” ซึ่งมีรองศาสตราจารย์ ดร. เอกพรธม สวัสดิ์ตั้ง เป็นหัวหน้าโครงการและเป็นหัวหน้าชุดโครงการ ในโครงการนี้มีเป้าหมายที่จะสร้างเตาสุริยะอุณหภูมิสูงที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ถึง 650 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการสกัดซิลิกาและซิลิกอนจากแกลบในโครงการย่อยอีกโครงการ เพื่อความสะดวกในการใช้งานสำหรับการเผา ลักษณะของเตาจะมีจานรวมแสงอาทิตย์ที่อยู่หนึ่งโดยให้รวมแสงไปยังบริเวณเล็กๆ นอกแกน

ของจาน โดยจานรวมแสงนี้จะรับแสงสะท้อนจากกระจกราบซึ่งจะเคลื่อนตามดวงอาทิตย์ แสงอาทิตย์ที่สะท้อนจากจานรวมแสงจะไปรวมกันที่ท่อเผาสารซึ่งตั้งอยู่บนพื้นที่ตำแหน่งโฟกัสของจานรวมแสง

เป้าหมายของโครงการวิจัยนี้เป็นโครงการสองปี คือปรับปรุงระบบเตาสุริยะนี้ในทั้งสามส่วนหลัก คือ ตัวติดตามดวงอาทิตย์ ตัวรวมแสง และตัวรับแสง ซึ่งในปีแรกของโครงการเน้นที่การปรับปรุงระบบตัวติดตามดวงอาทิตย์ในส่วนของกลไกการหมุนโดยเฉพาะส่วนที่เป็นเสาตั้งซึ่งอันเดิมเตี้ยเกินไปและมีฐานเล็กไม่แข็งแรงทำให้โยกเวลาหมุนแผงกระจกสะท้อนแสงแผ่นราบ การเสริมโครงสร้างเพื่อไม่ให้แผ่นกระจกแอ่นตัว และสร้างตัวรับแสงใหม่ ส่วนในปีที่สองเน้นการปรับปรุงการควบคุมแผงกระจกสะท้อนแสงแผ่นราบที่ใช้ติดตามดวงอาทิตย์โดยเปลี่ยนจากการใช้การเปรียบเทียบกับสัญญาณจากตัวด้านทานแสงสองตัวในแต่ละแกนเป็นการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในแต่ละวันที่ได้จากการคำนวณเป็นการกำหนดระบบของการหมุนของแผงกระจกสะท้อนแสงแผ่นราบ ออกแบบและสร้างตัวรวมแสงอาทิตย์ใหม่เพื่อแก้ปัญหาของระบบเดิมโดยออกแบบให้สามารถปรับมุมกระจกได้ ใช้วัสดุเหล็กน้อยลงเพื่อลดน้ำหนักของจานรวมแสงและมีความโปร่งใสมักผ่านได้

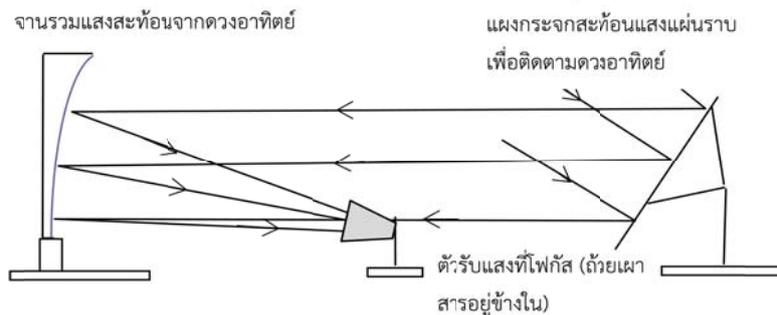
2. วิธีดำเนินการวิจัย

ระบบเตาสุริยะอุณหภูมิสูงที่พัฒนาขึ้นมีผังส่วนประกอบดังในรูปที่ 1 การวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงระบบเตาสุริยะอุณหภูมิสูงเดิมที่สร้างขึ้นโดยอิศรา โคคุทาและคณะ (อิศรา

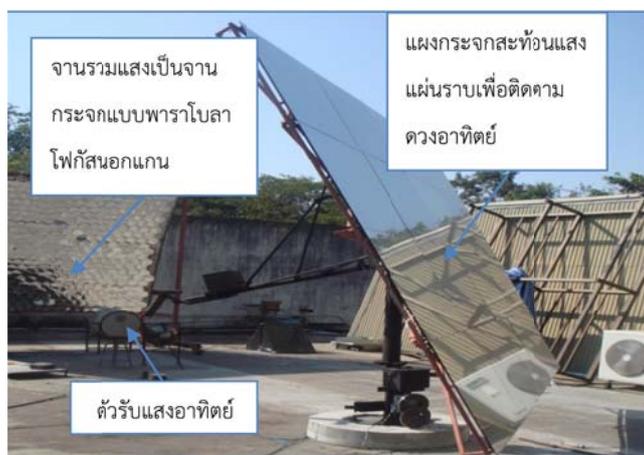
และคณะ, 2548) และตัวรวมแสงที่คักรินทร์ วีรณศิลป์ และคณะ (คักรินทร์และคณะ, 2550) แสดงในรูปที่ 2 ซึ่งกระจกหกเหลี่ยมบางแผ่นของตัวรวมแสงหลุดออกดังรูปที่ 3 เนื่องจากพื้นหลังของงานพาราโบลาแตก ส่วนระบบแกนเฟืองและกลไกการหมุนแผงกระจกฯ เพื่อติดตามดวงอาทิตย์ขึ้นสนิมไม่สามารถใช้งานได้ และส่วนกรวยตัวรับแสงรวมอันเดิมทำจากสเตนเลสสะท้อนแสงไม่ค่อยดี และไม่มีส่วนรองรับท่อใส่สารตัวอย่าง ส่วนขาตั้งของแผงกระจกฯ เพื่อติดตามดวงอาทิตย์และฐานซีเมนต์ส่วนที่สร้างขึ้นใหม่ในโครงการเนื่องจากอันเดิมขาดมีความสูงไม่มากและมีฐานเล็กทำให้โยกเวลาลมพัด ในปีแรกของโครงการวิจัยได้ปรับปรุงระบบตัวติดตามดวงอาทิตย์โดยร้อยละ ยึดแผงกระจกสะท้อนแสงแผ่นราบทั้งหมด สร้างระบบเสาตั้งและเสายึดกระจกใหม่ ทำฐานซีเมนต์เพื่อให้ตัวติดตามดวงอาทิตย์มีความมั่นคงมากขึ้นขณะที่หมุน เปลี่ยนมอเตอร์และเฟือง ทำวงจรควบคุมการเคลื่อนที่ของแผงกระจกในแนวมุมสูง (ก้ม-เงย) และในแนวมุมราบ (ซ้าย-ขวา) ใหม่ทั้งหมด โดยวงจรใหม่นี้สามารถ

ขับเคลื่อนแผงกระจกสะท้อนแสงแผ่นราบได้โดยการควบคุมด้วยมือและได้เตรียมส่วนที่จะควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์โดยได้เตรียมเต้าเสียบสำหรับการต่อสายเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่จะพัฒนาในโครงการปีที่ 2 ส่วนตัวรับแสงได้ทำเป็นกรวยกลมมีรูด้านหลังพร้อม โครงสำหรับใส่ท่อเพื่อใส่สารที่จะเผา อุณหภูมิที่วัดได้อยู่ที่ประมาณ 400 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่เพียงพอสำหรับเผา สาร ที่รองศาสตราจารย์ ดร. เอกพรรณ สวัสดิ์ชิตัง ซึ่งเป็นหัวหน้าโครงการย่อยเรื่อง “การสกัดซิลิกาและซิลิกอนจากแกลบโดยใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์” และเป็นหัวหน้าชุดโครงการต้องการอุณหภูมิถึง 700 องศาเซลเซียส

ในงานวิจัยนี้เป็นผลการดำเนินงานของโครงการประกอบด้วย เสาตั้งแผงกระจกสะท้อนแสงแผ่นราบใหม่ ซึ่งเป็นโครงสร้างส่วนที่ยึดและหมุนแผงกระจกสะท้อนแสงแผ่นราบที่ใช้ติดตามดวงอาทิตย์ มอเตอร์สำหรับหมุนแผงกระจกในแนวซ้าย-ขวาและก้ม-เงย ตัวปิดสำหรับป้องกันมอเตอร์ไม่ให้เปียกฝน วงจรควบคุมมอเตอร์ด้วยมือ และกรวยตัวรับแสง



รูปที่ 1 ผังของระบบเตาสุริยะอุณหภูมิสูง



รูปที่ 2 ระบบเตาสุริยะอุณหภูมิสูง แสดงภาพจานรวมแสง พาราโบลาอันเดิม ตัวรับแสงอาทิตย์อันเดิม และแผงกระจกฯ ในการติดตามดวงอาทิตย์เดิม ส่วนขาตั้ง ตัวฐานและกลไกการหมุนแผงกระจกฯ เป็นส่วนที่สร้างใหม่



รูปที่ 3 รูปของงานรวมแสงเดิมที่เป็นแบบพาราโบล่าไฟก้านนอกแกน แสงโครงสร้างเหล็ก และแผ่นกระจกที่เริ่มแตกและบางส่วนหลุดออก

2.1 เสาตั้งแผงกระจกในตัวติดตามดวงอาทิตย์

เสาตั้งแผงกระจกฯ เพื่อติดตามดวงอาทิตย์ที่ออกแบบทำใหม่ขึ้นนี้มีความสูงกว่าเสาตั้งเดิมโดยใช้แกนเหล็กเพลายาว 1.5 เมตร ยึดกับฐานไม้หมุน ส่วนที่หมุนคือเสื่อเพล่า ปรับปรุงตั้บลูกปืนธรรมดาเปลี่ยนไปใช้ตั้บลูกปืนรุ่นเตเปอร์ (Tapered bearing) สองตัว ใส่ทั้งข้างบนและข้างล่างเพื่อให้หมุนได้ง่ายขึ้น ใช้บูตยางเปลี่ยนเป็นทำจากวัสดุไนลอนซูปเปอร์อินสวามแกนเพล่าเพื่อช่วยให้แกนเพล่าอยู่ตรงกลางของเสื่อเพล่า ส่วนฐานจะเพิ่มเหล็กแผ่นและเสริมฐานซีเมนต์เพื่อเพิ่มความเสถียร เสาตั้งแผงกระจกประกอบด้วย หัวยึดแผงกระจกสำหรับหมุนทั้งแผงในแนวมุมสูง (ก้ม-เงย) และส่วนเพล่าสำหรับหมุนแผงกระจกสะท้อนแสงแผ่นราบในแนวมุมราบ (ซ้าย-ขวา) และฐาน

2.2 มอเตอร์สำหรับหมุนแผงกระจกสะท้อนแสงแผ่นราบในแนวมุมราบและแนวมุมสูง

เมื่อจะติดตามดวงอาทิตย์ ปกติใช้แนวมุมสูง (ก้ม-เงย) และแนวมุมราบ (ซ้าย-ขวา) เพื่อกำหนดตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ดังนั้น วิธีที่ง่ายที่สุดในการกำหนดมุมทั้งสองของอุปกรณ์ติดตามให้เหมือนกัน แนวมุมสูง (ก้ม-เงย) คือมุมจากในแนวระดับ และแนวมุมราบ (ซ้าย-ขวา) คือมุมจากทิศเหนือไปทางทิศตะวันออก การทำให้แผงกระจกราบฯ เพื่อติดตามดวงอาทิตย์เคลื่อนไหวได้ในสองทิศทางต้องใช้มอเตอร์สองตัว ตัวหนึ่งทำให้แผงกระจกราบฯ เพื่อติดตามดวงอาทิตย์เคลื่อนรอบในแนวมุมตั้งหรือแนวตั้ง และอีกตัวทำให้แผงกระจกราบฯ เคลื่อนที่ในแนวชั้นข้างบนและลงข้างล่างรอบในแนวระดับ เนื่องจากมอเตอร์อะซิมุท (แนวมุมราบ, ซ้าย-ขวา) ต้องหมุนทั้งแผงกระจกราบฯ และเสาตั้งเหล็ก ต้องมีกำลังมากกว่ามอเตอร์อัลติจูด (แนวมุมสูง, ก้ม-เงย) ซึ่งทำให้แผงกระจกราบฯ เคลื่อนที่อย่างเดียว

2.3 ตัวปิดสำหรับป้องกันมอเตอร์ไม่ให้เปียกฝน

เสาตั้งและแผงกระจกฯ เพื่อติดตามดวงอาทิตย์นั้นหนักมากและต้องอยู่บนลานหลังคาของภาควิชาฟิสิกส์ มข. ซึ่งได้รับทั้งแสงอาทิตย์ ลม และฝน ดังนั้นจึงต้องดูแลป้องกันระบบเชิงกลและระบบไฟฟ้า ดังนั้นจึงทำตัวปิดสำหรับมอเตอร์อะซิมุท และมอเตอร์อัลติจูด ซึ่งทำจากเหล็กกล้าและพลาสติกป้องกันระบบไฟฟ้าและมอเตอร์ทั้งสอง งานรวมแสงพาราโบล่าไฟก้านนอกแกนเดิมดังรูปที่ 4 จะมีหลังคาที่ป้องกันกระจกทั้งหลายจากฝน และตัวรับแสงพาราโบลาน้ำหนักไม่มากเพื่อเคลื่อนย้ายง่าย เมื่อเวลาไม่ใช้แล้ว

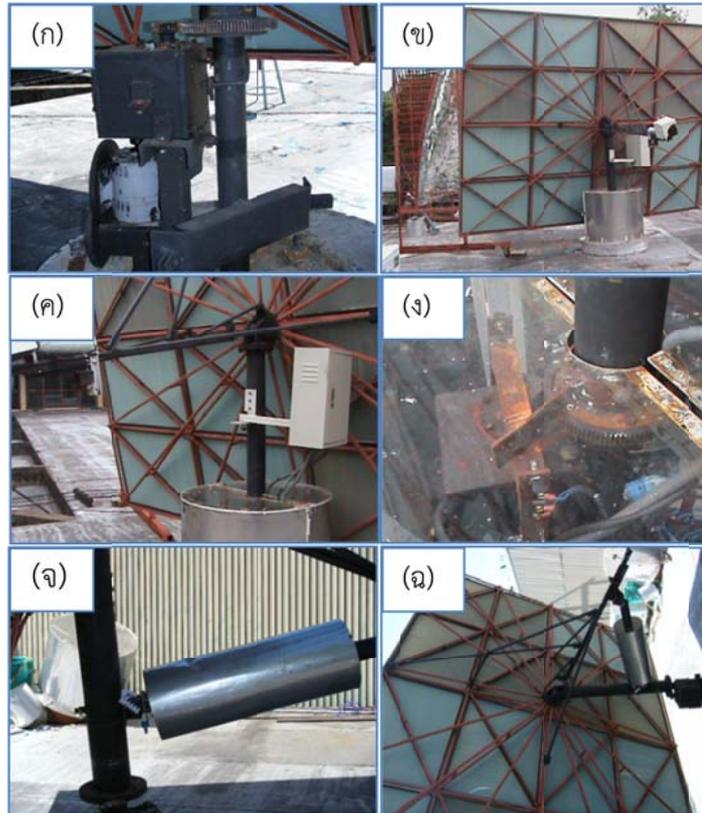
2.4 วงจรไฟฟ้าควบคุมมอเตอร์ด้วยมือ

เพื่อติดตามดวงอาทิตย์ได้ ดังนั้นจึงต้องทำให้มอเตอร์อะซิมุทและมอเตอร์อัลติจูดเปิดและปิดได้อย่างง่ายๆ พร้อมกับควบคุมทิศทางทั้งหมด ในแผงกระจกฯ เพื่อติดตามดวงอาทิตย์ ในระบบรุ่นแรก ใช้ไตรแอกหลายตัว (triacs) ควบคุมความเร็ว และรีเลย์หลายตัว (relays เครื่องเปิด-ปิดสวิตช์ไฟด้วยแม่เหล็ก) ในการควบคุมทิศทางกระแสในมอเตอร์ทั้งสอง แผงกระจกฯ เพื่อติดตามดวงอาทิตย์เคลื่อนที่จนถึงแสงที่โฟโตรีซิสเตอร์ข้างบนกับข้างล่าง และข้างซ้ายกับข้างขวา ของแผงกระจกฯ สะท้อนแสงในรูปพาราโบลามีสัญญาณเท่ากันจึงหยุดเคลื่อนที่ สภาวะสัญญาณเท่ากันนี้เกิดความผิดพลาดในวงจรขยายสัญญาณทั้งสอง เกิดปัญหาขึ้นเพราะว่ากำลังของมอเตอร์อะซิมุทซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับมุมความผิดพลาด ดังนั้นมอเตอร์ไม่มีกำลังทำให้ไม่สามารถติดตามดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการได้ อย่างไรก็ตามกำลังของมอเตอร์มีกำลังน้อยๆ เมื่อสภาพของแสงอาทิตย์อยู่ใกล้กับตำแหน่งที่ต้องการ และมอเตอร์หยุดก่อนเนื่องจากความเสียดทานเชิงกลที่เกิดขึ้น

2.5 กรวยรับแสง

ตัวสะท้อนแสงพาราโบลาที่จุดโฟกัสถูกแทนที่ด้วยกรวยรับแสง ซึ่งสามารถรับรังสีของแสงที่ไม่ขนานได้ การแก้ปัญหานี้ทำได้ด้วยการเปลี่ยนตัวรับแสงที่เป็นตัวสะท้อนพาราโบลาเดิมให้เป็นตัวสะท้อนแบบกรวย พร้อมด้วยเตาทรงกระบอกอยู่ที่

กึ่งกลาง ด้วยแนวคิดที่ว่าแสงตกกระทบที่เป้าหมายแบบทรงกระบอก หรือสะท้อนจากผนังด้านในของกรวยมายังเป้าหมาย วิธีที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าในการลดความผิดพลาดลงได้คือการใช้ตัวสะท้อนแสงแบบพาราโบลา



รูปที่ 4 (ก) มอเตอร์แวนูมรราบ (อะซิμού) (ข) – (ง) ตัวปิดสำหรับมอเตอร์อะซิμού (จ) – (ฉ) ตัวปิดสำหรับมอเตอร์แวนูมสูง (อัลติจูด)

3. ผลของการวิจัย

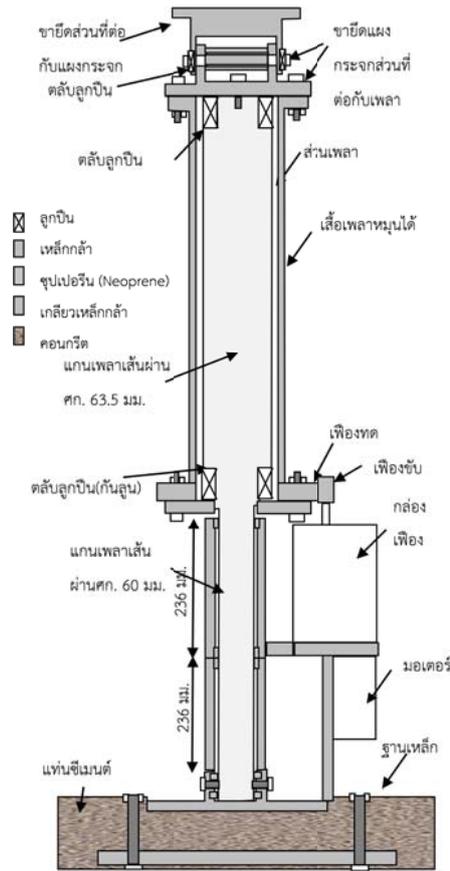
ในหัวข้อนี้จะอธิบายรายละเอียดในส่วนเสาตั้งแผงกระจกสะท้อนแสงแผ่นราบเพื่อติดตามดวงอาทิตย์ใหม่ (เรียกย่อๆ แผงกระจกฯ) ดังแสดงในรูปที่ 5-9 มอเตอร์สำหรับหมุนแผงกระจกในแวนูมรราบ (อะซิμού, ซ้าย-ขวา) และแวนูมสูง (อัลติจูด, ก้ม-เงย) ตัวปิดป้องกันมอเตอร์ไม่ให้ถูกแดดและฝน วงจรไฟฟ้าควบคุมมอเตอร์ด้วยมือ และกรวยรับแสง

3.1 เสาตั้งแผงกระจกฯ เพื่อติดตามดวงอาทิตย์

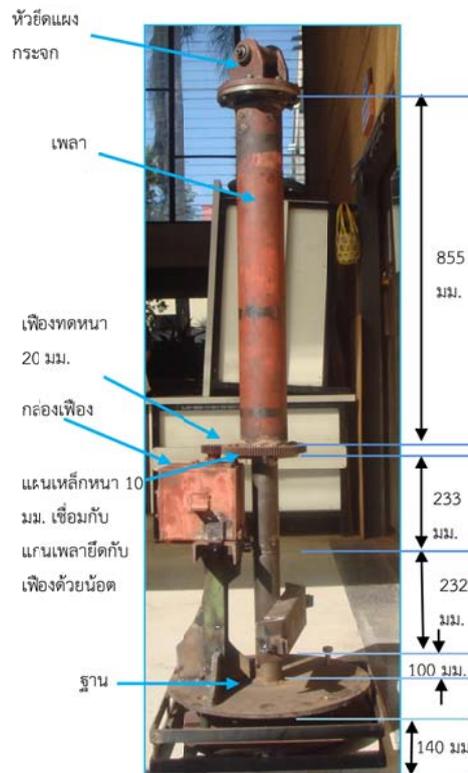
3.1.1 หัวยึดแผงกระจกฯ

ในส่วนของหัวยึดแผงกระจกฯ ซึ่งแบบเดิมใช้เพียงสลักเป็นแกนสวมอยู่ในลูกปืนและเพลานอกโดยใช้คลิปล็อคเพลามาให้สลักเลื่อนหลุดออก ทำให้มีช่องว่าง

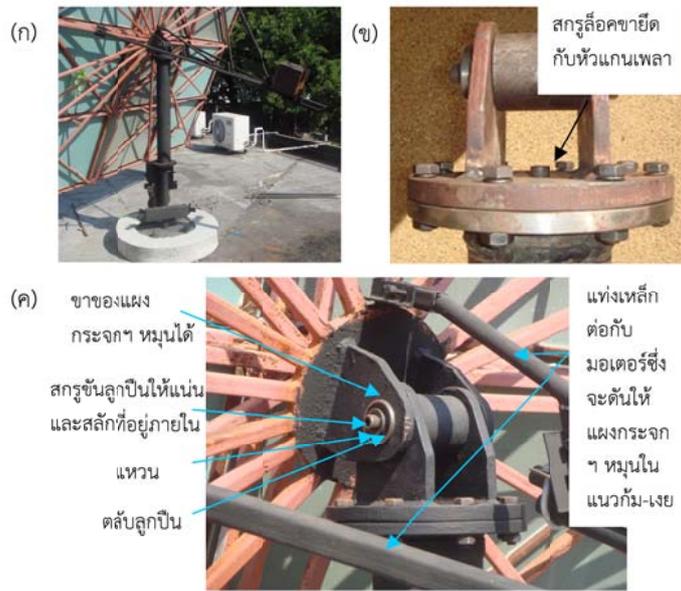
ระหว่างสลักลูกปืนและเพลานอก เป็นผลให้แผงกระจกโคลงเคลงไม่แน่น การหมุนแผงกระจกฯ ในแวนูมสูง (ก้ม-เงย) จึงมีความคลาดเคลื่อน การยึดชิ้นส่วนเสาความยืดหยุ่นถอดประกอบยาก ทำให้ลำบากแก่การบำรุงรักษาปรับปรุงชิ้นส่วน ในโครงการนี้จึงได้ทำส่วนหัวยึดแผงกระจกฯ ขึ้นใหม่โดยใช้สกรูช่วยในการล็อคลูกปืนเข้ากับแกนสลักและเพิ่มบูตพลาสติกบูตเปอรินสวมระหว่างแกนสลักกับบูตเหล็กหรือเพลานอก นอกจากนี้ในส่วนที่เป็นแท่นหัวของเสื่อเพลลาเพื่อยึดกับหัวเพลลาของเสาตั้งได้เพิ่มน็อตจากเดิม 4 ตัวเป็น 8 ตัว และเพิ่มสกรูตรงกลางอีกหนึ่งตัวเพื่อยึดกับแกนเพลลาของเสาตั้งดังรูปที่ 5 และ 6



รูปที่ 5 ผังภาพโครงสร้างของขาตั้งแผงกระจกฯ เพื่อตัวติดตามดวงอาทิตย์



รูปที่ 6 ขาตั้งแผงกระจกฯ เพื่อติดตามดวงอาทิตย์



รูปที่ 7 (ก) ขาดังแผงกระจกฯ เพื่อติดตามดวงอาทิตย์ใหม่ที่ติดตั้งแล้ว (ข) ขายึดแผงกระจกฯ (ระหว่างสร้าง) และ (ค) ขายึดแผงกระจกฯ เมื่อติดตั้งยึดกับขาของแผงกระจกฯ

รูปที่ 7 แสดงรายละเอียดของชิ้นส่วนต่างๆ ของเสายึดแผงกระจกฯ ซึ่งสามารถถอดออกได้หากจำเป็น ตัวสลักทำจากเหล็กเพลากลึงเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มม. ยาว 123 มม. กิ่งปลายหัวทำยาวออกยาว 13.5 มม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มม. เพื่อสวมเข้าไปในตลับลูกปืนขนาด 20 มม. ส่วนที่กว้างกว่าของสลักจะทะลุเข้าไปในส่วนเสาดัดแผงกระจกฯ เล็กน้อย แหวนที่ใช้รองน็อตยึดตลับลูกปืนเลือกให้มีขนาดเท่ากับร่องในของตลับลูกปืน เพื่อให้การขันน็อตได้แน่นขึ้น และใช้น็อตมีร่องหัวเป็นหกเหลี่ยมขึ้นด้วยประแจหกเหลี่ยม บูตพลาสติกซูเปอร์ริ่นช่วยเติมให้ระยะระหว่างบูตเหล็กอันนอกซึ่งทำจากเหล็กแปงกับแกนสลักมีความแน่นหนา เสายึดแผงกระจกฯ ชุดใหม่นี้มีความแข็งแรง สามารถหมุนแผงกระจกฯ ในแนวมุมสูง (ก้ม-เงย)

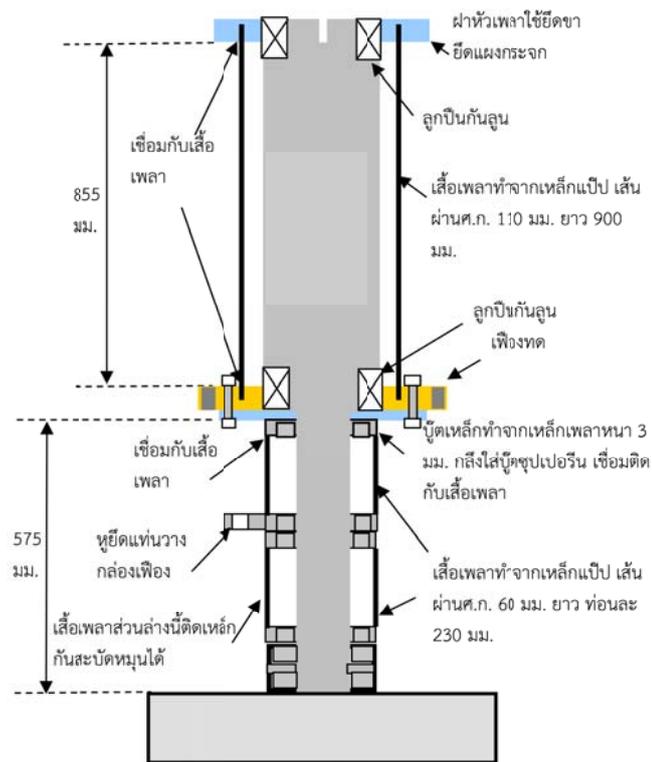
3.1.2 ส่วนเพลลาของเสาดังและการติดตั้งกล่องเฟือง

ส่วนเพลลาของเสาดังซึ่งได้ทำขึ้นใหม่ให้มีความสูงมากขึ้น มีความแข็งแรงและความเสถียรมากขึ้นกว่าเดิมสามารถแบ่งเป็นสองส่วน คือส่วนเพลลาบนซึ่งอยู่เหนือเฟืองทดและส่วนเพลลาล่างซึ่งอยู่ใต้เฟืองทดดังรูปที่ 5 และ 6 ตลอดเสาดังใช้เหล็กแกนเพลลาเดี่ยวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 63.5 มม. ยาว 150 ซม.

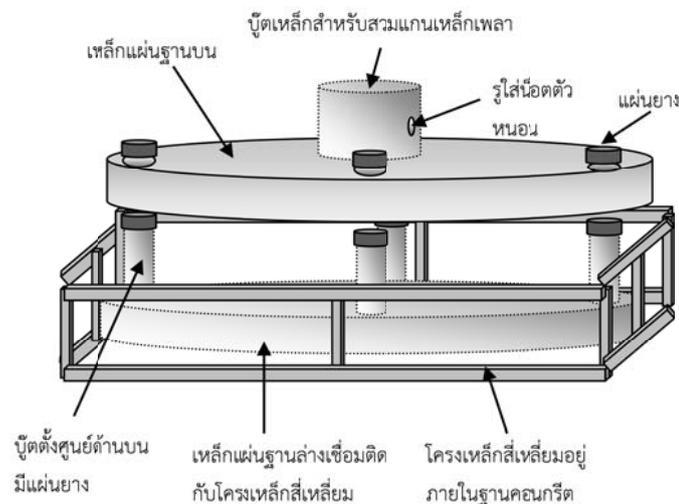
นำมาลึงให้ได้ดังรูปที่ 8 เพื่อให้ใส่ลูกปืนกันลุนซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 35 มม. แกนเพลลาส่วนล่างกลึงออกเล็กน้อยให้เหลือเส้นผ่าศูนย์กลาง 34 มม. ยาวประมาณ 585 มม. โดยที่แกนเพลลาจะยึดให้อยู่หนึ่งทางด้านบนด้วยสกรูติดกับแท่นของเสายึดแผงกระจก ส่วนปลายด้านล่างยึดกับเหล็กแผ่นฐาน

3.1.3 เหล็กแผ่นฐาน

เหล็กแผ่นฐานที่ทำขึ้นใหม่ประกอบด้วย 2 ส่วน คือเหล็กแผ่นฐานบน และเหล็กแผ่นฐานล่าง ดังแสดงในรูปที่ 9 เหล็กแผ่นฐานทั้งสองทำจากเหล็กแผ่นหนา 12.7 มม. (4 หุน) เส้นผ่านศูนย์กลาง 500 มม. โดยแผ่นฐานบนวางอยู่เหนือแผ่นฐานล่างประมาณ 140 มม. เหล็กแผ่นฐานล่างเชื่อมติดกับโครงเหล็กกรอบสี่เหลี่ยมซึ่งจะฝังอยู่ในคอนกรีตเพื่อเพิ่มความแข็งแรงและทำให้จุดศูนย์กลางมวลของตัวติดตามดวงอาทิตย์ต่ำลงซึ่งจะทำให้มีความเสถียรมากขึ้น ตรงกลางของแผ่นฐานบนมีบูตเหล็กสูง 100 มม. เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 34 มม. มีรูพร้อมเกลียวสำหรับใส่น็อตตัวหนอนขนาด 10 มม. 2 ตัว เพื่อยึดหัวเพลลาด้านล่าง



รูปที่ 8 ภาพตัดตามยาวแสดงเสื่อเพลาส่วนบนเหนือเฟืองทดและส่วนล่างส่วนที่หมุนได้ คือ เสื่อเพลาส่วนบนและเสื่อเพลาอันล่างสุด เสื่อเพลาอันกลางยึดกับแทนวางกล่องเฟืองและมอเตอร์จึงหมุนไม่ได้



รูปที่ 9 ลักษณะของเหล็กแผ่นฐานของแผงกระจกฯ แสดงแผ่นฐานบนแยกออกเพื่อให้เห็นชัดเจน แผ่นฐานบนยึดติดกับแผ่นฐานล่างด้วยน็อตขนาดใหญ่รวมสี่ตัว

3.2 มอเตอร์สำหรับหมุนแผงกระจกฯ ในแนวซ้าย-ขวาและก้ม-เงย

มอเตอร์ทั้งสองดังแสดงในรูป 10 เป็นมอเตอร์ขนาด 220 VAC โดยมอเตอร์แนวราบ (azimuth motor) จะมีกำลังมากกว่าเนื่องจากจะต้องหมุนกระจกไปตามดวงอาทิตย์

(heliostats) ในขณะที่มอเตอร์แนวตั้ง (altitude motor) เป็นตัวควบคุมการเคลื่อนที่ขึ้นลงของกระจก ทำการถ่วงน้ำหนักของกระจกด้วยเหล็กถ่วงเพื่อให้สมดุลการส่งกำลังไฟฟ้ามายังมอเตอร์ จะควบคุมการเปิดปิดโดยสวิทซ์ไฟฟ้ากระแสสูง สวิทซ์และวงจรไฟฟ้าอื่นๆจะอยู่ในตู้ควบคุมไฟ



มอเตอร์แนวมุมราบ



มอเตอร์แนวมุมตรง

รูปที่ 10 มอเตอร์ 2 ตัว ใช้เคลื่อนที่แม่เหล็กจาก เพื่อติดตามดวงอาทิตย์ในแนวมุมราบและแนวมุมสูง

3.3 ตู้ปิดป้องกันมอเตอร์ไม่ให้ถูกแดดและฝน

ตู้ปิดป้องกันมอเตอร์แนวราบและมอเตอร์แนวตั้งไม่ให้ถูกแดดและฝนดังแสดงในรูปที่ 11 ทำจากแผ่นอะคริลิกใส ด้านบน (ในภาพแผ่นกระดาษยังไม่ลอกออก) ด้านข้างทำจาก

แผ่นอลูมิเนียม ทำเป็นทรงกระบอกกลม สำหรับมอเตอร์แนวราบ ส่วนมอเตอร์แนวตั้งทำในลักษณะเดียวกันแต่มีแผ่นอะคริลิกใส ด้านข้างสองด้าน ปิดหัวท้ายทรงกระบอกกลมในแนวนอน



รูปที่ 11 ตู้ปิดป้องกันมอเตอร์แนวมุมราบและมอเตอร์แนวมุมสูงไม่ให้ถูกแดดและฝน

3.4 วงจรไฟฟ้าควบคุมมอเตอร์ด้วยมือ

วงจรรีเลย์ควบคุมมอเตอร์ดังรูปที่ 12 ประกอบอยู่ในกล่องพลาสติกมีสวิทช์สี่สวิทช์ดังรูปที่ 13 ซึ่งควบคุมมอเตอร์แนวราบสำหรับการเคลื่อนที่ไปทางซ้ายและไปทางขวา และมอเตอร์แนวมุมสูงสำหรับการเคลื่อนที่ขึ้นบนและลงล่าง เพื่อหมุนมอเตอร์ทั้งสองด้วยมือให้แม่เหล็กจาก หมุนซ้าย-ขวา ก็ม-เงย ส่วนประกอบส่วนอื่นมีตู้ควบคุมไฟที่ทำจากโลหะ ซึ่งภายในบรรจุรีเลย์ 4 ตัว ที่ใช้ไฟกระแสตรง 12 VDC และมีสวิทช์แม่เหล็ก 2 ตัว ที่ใช้ไฟกระแสสลับ 220 VAC ซึ่งส่งสัญญาณไปควบคุมมอเตอร์แนวมุมราบ (สายไฟ 3 เส้น) และมอเตอร์แนวมุมสูง (สายไฟ 4 เส้น)

3.5 การสร้างตัวรวมแสงอาทิตย์ (Focal concentrator)

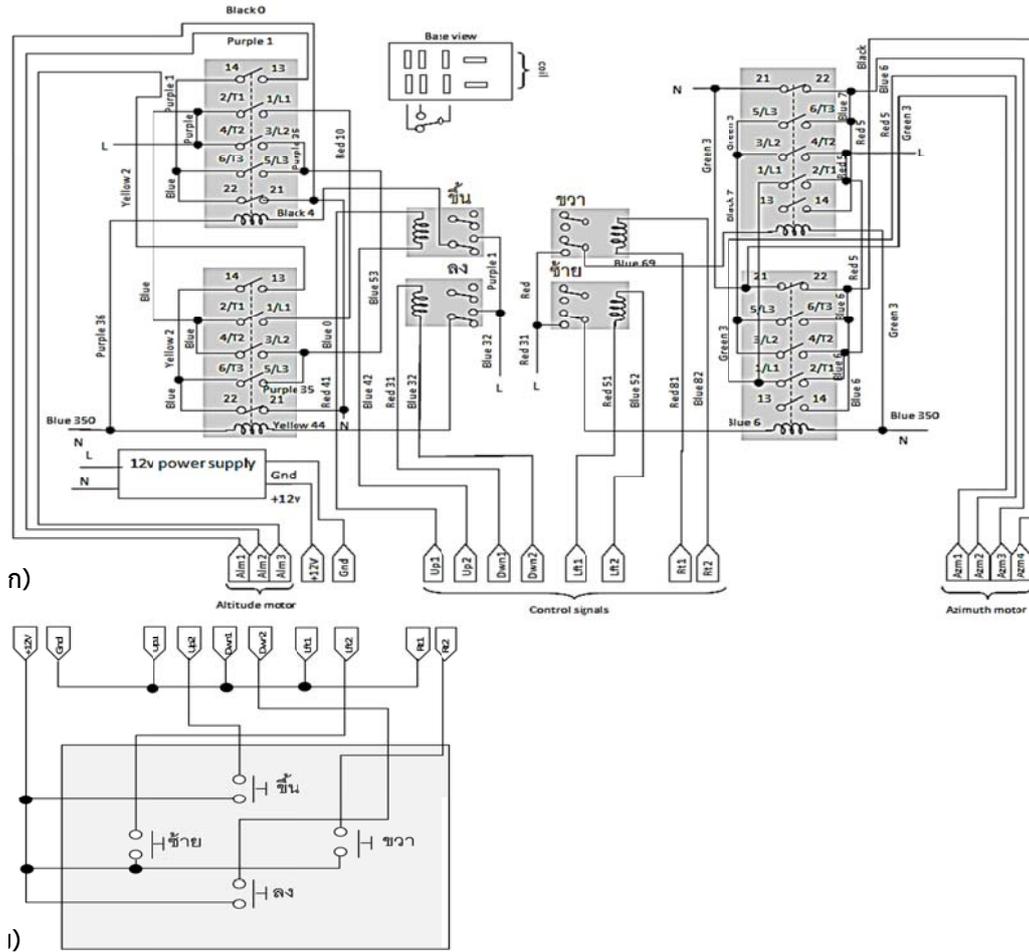
ตัวรวมแสงอาทิตย์ดังแสดงในรูปที่ 14 ประกอบด้วยโครงเหล็กแปดเหลี่ยมต่อกับกระจกสี่เหลี่ยมคางหมูจำนวน 8 บาน กระจกเหล่านี้สะท้อนแสงอาทิตย์จากกระจกสะท้อนแสง

แบบเฟรสนเอลไปยังท่อเหล็กซึ่งเป็นบริเวณที่สามารถวางถ้วยบรรจุวัสดุที่จะเผา

4. สรุปผลการวิจัย

ได้สร้างเสาหลักที่ตั้งแผงกระจกสะท้อนแสงแนวราบเพื่อติดตามดวงอาทิตย์ (heliostat) ซึ่งควบคุมการติดตามดวงอาทิตย์ได้ด้วยมือ และได้สร้างตัวรวมแสงที่โฟกัสแสงอาทิตย์ที่สะท้อนมาจากจานสะท้อนแสงพาราโบลา

ระบบยังไม่สามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้เอง ระบบอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งทำให้ติดตามดวงอาทิตย์ได้จะถูกสร้างในโครงการระยะที่สอง ส่วนอื่นๆ ที่เหลือของระบบเตาสุริยะที่จะสร้างใหม่คือ จานรวมแสงสะท้อนแบบเฟรสนเอล จานตัวเดิมเป็นจานที่โค้งทรงพาราโบลาซึ่งเป็นการยากมากในการสร้างให้กระจกสะท้อนแสงทุกบานสะท้อนแสงจากแผงกระจกสะท้อนแสงแนวราบเพื่อติดตามดวงอาทิตย์ไปที่จุดโฟกัสเดียวกัน



รูปที่ 12 (ก) วงจรไฟฟ้าควบคุมมอเตอร์ (ข) วงจรควบคุมมอเตอร์ภายในกล่องพลาสติก



รูปที่ 13 กล่องพลาสติกมี 4 สวิตช์ควบคุมการหมุนของมอเตอร์ด้วยมือ



รูปที่ 14 ส่วนประกอบของตัวรวมแสงอาทิตย์

ระบบติดตามดวงอาทิตย์อันเก่าใช้โฟโตรีซิสเตอร์ 2 ตัว ติดตั้งตรงขอบด้านซ้ายและขวาของจานรวมแสงแบบพาราโบลา โฟกัสนอกแกน และระบบเคลื่อนที่มอเตอร์ในแนวมุมราบ (azimuth) ที่แผงกระจกฯ เพื่อติดตามดวงอาทิตย์จนกว่าสัญญาณความเข้มของแสงเท่ากัน ทำคล้ายๆ กัน โฟโตรีซิสเตอร์ 2 ตัว ติดตั้งตรงขอบด้านบนและล่างของจานรวมแสงแบบพาราโบลาโฟกัสนอกแกน และระบบเคลื่อนที่มอเตอร์ในแนวมุมสูงที่แผงกระจกฯ เพื่อติดตามดวงอาทิตย์จนกว่าสัญญาณความเข้มของแสงเท่ากัน ทำให้แสงอาทิตย์ที่สะท้อนเข้าสู่จานรวมแสงแบบพาราโบลาโฟกัสนอกแกนได้อย่างถูกต้อง นอกจากนี้ปัญหาที่พบในระบบเก่าคือ เมื่อมีเมฆในท้องฟ้าจะเกิดความสับสนในระบบ ทำให้แผงกระจกเคลื่อนที่ได้เองและชี้ห่างจากดวงอาทิตย์ทำให้ระบบไม่สามารถหาทางกลับมาชี้ที่ดวงอาทิตย์ได้อีก

ในการแก้ปัญหานี้ได้ คาดว่าจะเปลี่ยนหลักการของระบบติดตามดวงอาทิตย์ไปสู่หลักการคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ณ เวลาปัจจุบันของการทดลอง และให้แผงกระจกฯ ติดตามดวงอาทิตย์อยู่ ณ ทิศทางที่ดีที่สุดเพื่อจะสะท้อนแสงอาทิตย์เข้าสู่จานพาราโบลา โดยไม่ต้องวัดความเข้มของแสง ระบบนี้จะติดตามดวงอาทิตย์ต่อไปเรื่อยๆ แม้ว่าจะมีเมฆบนท้องฟ้า ระบบนี้จะซับซ้อนกว่าระบบอิเล็กทรอนิกส์แบบอนาล็อกตัวเดิม

การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือการออกแบบและสร้างงานสะท้อนแสงพาราโบลาใหม่ เพื่อแก้ปัญหาที่พบในการทำงานให้โค้งทรงพาราโบลา จึงเปลี่ยนไปใช้กระจกเงาราบซึ่งเป็นองค์ประกอบย่อยของงานพาราโบลาเฟรสเนล ที่จะทำมุมให้แสงอาทิตย์ที่มาจากแผงกระจกเงาติดตามดวงอาทิตย์ไปโฟกัสรวมที่ตัวสะท้อนรวมความเข้มของแสงไปยังเตาเผา แต่เดิมกระจกเงาย่อยที่ใช้ในการสร้างให้เป็นกระจกโค้งทำจากกระจกเงาราบสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือหกเหลี่ยมด้านเท่าและมีขนาดเล็ก (ประมาณ 6 ซม.) จึงเปลี่ยนไปใช้กระจกย่อยเป็นกระจกเงาราบหกเหลี่ยมด้านเท่าที่ใหญ่ขึ้นเพราะว่ากระจกหกเหลี่ยมด้านเท่าย่อยเหล่านี้ใกล้เคียงกับกระจกย่อยรูปวงกลมที่สุด และเนื่องจากปัญหาในการปรับมุมของกระจกย่อยทุกบานกับการที่ต้องติดตาม

เพื่อยึดกระจกในระบบเก่า ระบบใหม่จึงใช้สกรูยึดแต่ละมุมของแผ่นกระจก เพื่อใช้สามารถยึดหมุนในการปรับมุมรับแสง

การทำระบบติดตามดวงอาทิตย์ตามแบบใหม่ที่เสนอนี้สามารถส่งผลให้ติดตามดวงอาทิตย์ได้จริงและโฟกัสแสงอาทิตย์เข้าสู่ตัวรวมแสงได้ดีกว่าเดิม นอกจากนี้ระบบแบบนี้ยังไม่ซับซ้อนและทำให้ระบบเตาสุริยะดีกว่าระบบที่มีอยู่เดิม

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยขอนแก่นเป็นอย่างสูงที่ได้ให้การสนับสนุนโครงการวิจัยนี้ ภายใต้ทุนวิจัยประเภทอุดหนุนทั่วไป ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2550-2551 โดยโครงการในปีแรกนี้เน้นที่การปรับปรุงส่วนติดตั้งแผงกระจกเงาราบติดตามดวงอาทิตย์

เอกสารอ้างอิง

- อิสรา โคตุทา เอกพรรณ สวัสดิ์ชิตัง วิทยา อมรกิจบำรุง และเอียน โทมัส. (2548). การออกแบบตัวรวมแสงและตัวรับแสงอาทิตย์. วารสารวิจัย มข. (บศ.) 5(1): 106-111.
- อิสรา โคตุทา. (2549). เตาสุริยะอุณหภูมิสูง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- ศักรินทร์ วีรณศิลป์ เอกพรรณ สวัสดิ์ชิตัง และเอียน โทมัส. (2550). การสร้างผิวสะท้อนแสงสำหรับเตาสุริยะอุณหภูมิสูง เอกสารบทความประกอบการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 33 (วทท. 33: 2550) “วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อประเทศไทยที่ยั่งยืน” วันที่ 18 - 20 ตุลาคม 2550 ณ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช.
- Pol Duwez. (1956). “The Solar Furnace It uses the sun’s rays for high temperature research”, in Engineering and Science, Vol XIX, February, 1956, 13-16, <http://calteches.library.caltech.edu/165/1/Duwez.pdf> ค้นเมื่อ 15 July 2008
- Hans Rau. (1964). Solar Energy, Translated by Maxim Schur, edited and revised by D.J. Duffin. New York: The Macmillan Company.
- William B. Stine and Michael Geyer. (2001). Power From the Sun, www.powerfromthesun.net, 8 August 2009.

