O-ES03

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ร่วมเซลล์แสงอาทิตย์

Development of Solar Tunnel Dryer combined with PV module generated electricity for blower within chamber applied to rural area

บงกช ประสิทธิ์* และ สหัถยา ทองสาร
วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000
* Corresponding author, E-mail address: micky_sert@hotmail.com (B. Prasit)

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน และอัตราการอบแห้งของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ของวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร เครื่องอบแห้งที่ใช้ทดลองประกอบด้วยชุดตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบซึ่งประกอบด้วยกระจกใสหนา 3 mm มีพื้นที่รับรังสีเท่ากับ 6,090 cm^2 และชุดตู้อบแห้งซึ่งมีห้องอบแห้งทำจากอลูมิเนียม ด้านบนปิดด้วยแผ่นกระจกใส ภายในมีถาดอลูมิเนียม 4 ถาดสำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์ มีพื้นที่ในการอบแห้งทั้งหมดเท่ากับ 5,850 cm^2 และมีฮีทเตอร์ขนาด 500 W จำนวน 2 ตัว จากการทดลองเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ โดยกำหนดอัตราการไหลของอากาศคงที่เท่ากับ 0.0167 kg/s และมีความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยอยู่ที่ 613.3 W/m^2 ชุดตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบจะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนอยู่ในช่วง 47.2%-58.3% (เฉลี่ย 51.85%) และอากาศไหลที่เข้าสู่บริเวณชุดตู้อบแห้งจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเฉลี่ย 12.45 ^{O}C โดยอุณหภูมิสูงสุด ณ ตำแหน่งกลางตู้อบแห้งเท่ากับ 51.25 ^{O}C เมื่อทำการทดลองอบกล้วยน้ำว้า 6.84 kg ความชื้นเริ่มต้นที่ 222.6 % (d.b.) เป็นเวลา 5 วัน วันละ 9 ชั่วโมง พบว่า กล้วยน้ำว้ามีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 31.1% (d.b.) คิดเป็นอัตราการอบแห้งเฉลี่ย 4.2% (d.b.) /hr โดยมีอัตราการอบแห้งสูงสุดเท่ากับ 11.9% (d.b.)/hr เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเท่ากับ 7.69% ลักษณะรูปร่าง สี และรสชาติของกล้วยน้ำว้าหลังจากการอบแห้งนั้น มีลักษณะไม่ต่างจากกล้วยตากที่จำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด โดยค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่อหน่วยมวลของน้ำที่ถูกระเหยสำหรับการอบแห้งกล้วยน้ำว้าเท่ากับ 4.07 บาทต่อกิโลกรัม เมื่อเปลี่ยนมาใช้เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าแทนระยะคืนทุนค่าใช้จ่ายพลังงานอยู่ที่ 3.8 ปี

คำสำคัญ : เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, เซลล์แสงอาทิตย์

บทนำ

ประเทศไทยมีศักยภาพในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เนื่องจากประเทศไทยมีแสงอาทิตย์เกือบตลอดทั้งปี โดยมีค่าพลังงานแสงอาทิตย์ประมาณ 17.0 $MJ/day.m^2$ เทคโนโลยีการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์มีการประยุกต์ใช้มานาน การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์แบบบังคับการไหลของอากาศเพื่อการอบแห้งสำหรับลดความชื้นซึ่งเป็นอีกแนวทางที่สามารถลดระยะเวลาในการลดความชื้นในเนื้อวัสดุให้เร็วกว่าตากแบบธรรมชาติ 2-3 เท่า เทคโนโลยีดังกล่าวใช้งานง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อนต้นทุนในการก่อสร้างต่ำ สามารถเข้าถึงเกษตรกร หรือผู้ประกอบการ รวมทั้งภาคอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี สำหรับการประยุกต์ใช้งานในพื้นที่จริงสามารถนำเซลล์แสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้ร่วมในการผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อจ่ายให้กับพัดลมเพื่อบังคับการไหลของอากาศ จะมีความเหมาะสมในพื้นที่ไฟฟ้าเข้าไม่ถึง รวมทั้งด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขณะทำงานจะมีอุณหภูมิโดยเฉลี่ย 50 - 60 ^{O}C ซึ่งถ้าสามารถนำความร้อนดังกล่าวมาใช้งานร่วมกับตัวรับรังสีดวงอาทิตย์เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับระบบฯ ในการไล่ความชื้นในเนื้อวัสดุได้เร็วกว่าระบบเดิมสำหรับการอบแห้ง และยังสามารถผลิตไฟฟ้าได้เพิ่มมากขึ้นหลังจากระบายความร้อนให้กับอุโมงค์อบแห้ง ซึ่งเป็นประเด็นที่สำคัญและน่าสนใจ การศึกษาผลของอุณหภูมิจากการใช้ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร การลดความชื้นในเนื้อวัสดุจะทำให้ทราบถึงสมรรถนะของเทคโนโลยีสำหรับการอบแห้งและความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้งาน สำหรับกรอบแนวคิดของโครงการวิจัยนี้ ถ้าสามารถนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาติดตั้งแทนตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ หรือด้านบนของระบบพลังงานความร้อนเสริม สมมุติฐาน คือระบบยังสามารถผลิตความร้อนให้กับอุโมงค์อบแห้งได้ซึ่งโดยปกติการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขณะเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้าอยู่นั้นความร้อนด้านหลังแผงเซลล์จะมีอุณหภูมิประมาณ 50 – 65 ^{O}C อีกทั้งตัวเซลล์แสงอาทิตย์ยังสามารถผลิตไฟฟ้า และจ่ายให้กับระบบอบแห้งในส่วนของพัดลมที่ใช้บังคับอากาศในการไล่ความร้อน และความชื้นภายในอุโมงค์อบแห้งออกทางด้านปลายของอุโมงค์อบแห้ง แนวคิดดังกล่าว นอกจากจะได้ความร้อนจากด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้ในกระบวนการอบแห้งแล้ว ยังส่งผลให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้เพิ่มมากขึ้นจากการระบายความร้อนด้านหลังแผงเซลล์ไปใช้ในการอบแห้งซึ่งเท่ากับว่าได้ทั้งความร้อน ไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นประเด็นที่น่าสนใจศึกษา และต้องรีบดำเนินการวิจัยอย่างเร่งด่วนเพื่อการนำเทคโนโลยีดังกล่าวประยุกต์ใช้ในชุมชน รัฐวิสาหกจชุมชน หรือภาคอุตสาหกรรมต่างๆ ที่มีการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรและมีการใช้พลังงานสิ้นเปลืองที่นับวันมีราคาสูงอย่างต่อเนื่อง และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเกิดผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมโลก

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

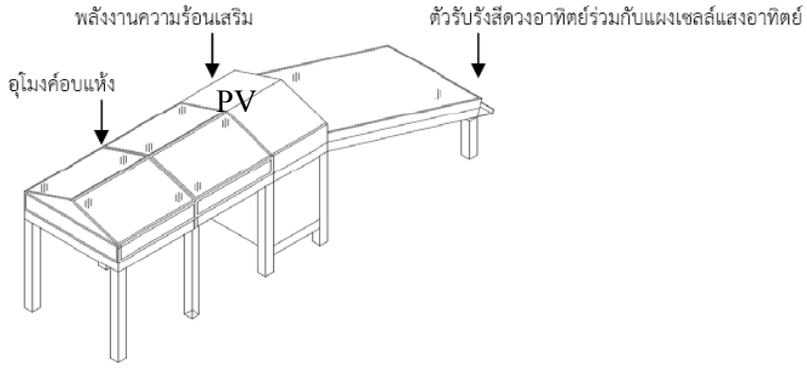
เพื่อทดสอบตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบร่วมกับ PV module ด้านบนของระบบพลังงานความร้อนเสริมสำหรับเทคโนโลยีอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

ขอบเขตของโครงการวิจัย

เทคโนโลยีอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์มีการใช้งานร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอมอร์ฟัสซิลิคอนในการผลิตความร้อนและผลิตกระแสไฟฟ้าให้กับอุโมงค์อบแห้ง

ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้านบนของระบบพลังงานความร้อนเสริมสำหรับเทคโนโลยีอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อการแปรรูปผลผลิตผลทางการเกษตรและหรือลดความชื้นในเนื้อวัสดุพวกชีวมวลต่างๆ ซึ่งโดยปกติตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบจะทำหน้าที่ผลิตอากาศร้อนอุณหภูมิประมาณ 70 - 80 ^{O}C และถูกนำไปใช้ในอุโมงค์อบแห้งสำหรับอบแห้งผลิตภัณฑ์



รูปที่ 1 เทคโนโลยีอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการผลิตความร้อนและไฟฟ้า

กรอบแนวคิดของโครงการวิจัยนี้ถ้าสามารถนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาติดตั้งด้านบนของระบบพลังงานความร้อนเสริม สมมุติฐานคือระบบยังสามารถผลิตความร้อนให้กับอุโมงค์อบแห้งได้ ซึ่งโดยปกติการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขณะเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้าอยู่นั้นความร้อนด้านหลังแผงเซลล์จะมีอุณหภูมิประมาณ 50 – 65 ^{O}C อีกทั้งตัวเซลล์แสงอาทิตย์ยังสามารถผลิตไฟฟ้า และจ่ายให้กับระบบอบแห้งในส่วนของพัดลมที่ใช้บังคับอากาศในการไล่ความร้อน และความชื้นภายในอุโมงค์อบแห้งออกทางด้านปลายของอุโมงค์อบแห้ง แนวคิดดังกล่าวนอกจากจะได้ความร้อนจากด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้ในกระบวนการอบแห้งแล้ว ยังส่งผลให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้เพิ่มมากขึ้นจากการระบายความร้อนด้านหลังแผงเซลล์ไปใช้ในการอบแห้ง ซึ่งเท่ากับว่าได้ทั้งความร้อน ไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นประเด็นที่น่าสนใจศึกษาและต้องรีบดำเนินการวิจัยอย่างเร่งด่วน เพื่อการนำเทคโนโลยีดังกล่าวประยุกต์ใช้ในชุมชน หรือในพื้นที่ไฟฟ้าเข้าไม่ถึง รัฐวิสาหกจชุมชน หรือภาคอุตสาหกรรมต่างๆ ที่มีการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร และมีการใช้พลังงานสิ้นเปลืองที่นับวันมีราคาสูงอย่างต่อเนื่อง และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เกิดผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมโลก

แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

เผยแพร่ผลงานวิจัยทางเว็บไซค์ ของวิทยาลัยพลังงานทดแทน และกลุ่มชุมชน รัฐวิสาหกิจชุมชนหรือภาคอุตสาหกรรม และผู้สนใจทั่วไปที่มาศึกษาดูงานและเยี่ยมชมเทคโนโลยีด้านพลังงานสะอาด ภายในสวนพลังงาน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร เพื่อขยายผลสู่การใช้งานจริง

วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

1. พัฒนาและออกแบบเทคโนโลยีต้นแบบฯ โดยมีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมทำหน้าที่ผลิตไฟฟ้าจ่ายให้พัด
2. ทำการทดสอบสมรรถนะการใช้งาน หาประสิทธิภาพเชิงความร้อนตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ และประสิทธิภาพระบบฯ
3. เก็บข้อมูลผลการทดสอบ

4. วิเคราะห์ผลการทดสอบเพื่อปรับปรุงและแก้ไขระบบฯ

5. สรุปผลการวิจัย และเขียนรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

สถานที่ทำการทดลอง ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร

การอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีมานานแล้ว และในปัจจุบันก็ยังนิยมใช้กันอยู่ กล่าวคือผลิตผลส่วนใหญ่จะถูกทำให้แห้งโดยวิธีการตากแดด เวลาที่ใช้ในการตากขึ้นอยู่กับชนิดความชื้นของผลิตผล และ สภาพอากาศ

แม้ว่าการตากแดดจะได้ผลดี แต่ในบ้างครั้งก็ประสบปัญหาผลิตผลเปียกชื้น ไม่สามารถทำให้แห้งได้ทันเวลา ทำให้ผลิตผลเสียหาย เช่น มีเชื้อรา ปัญหาผลิตผลเปียกมักเกิดในช่วงฤดูฝน ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานแสงอาทิตย์นั้นเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่ทำให้เกิดมลภาวะ แต่การที่เราจะดึงพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้นั้น ต้องมีการลงทุนสร้างอุปกรณ์เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยทั่วไปแล้วจะแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นชุดตัวเก็บรังสีอาทิตย์เพื่อให้ความร้อนแก่อากาศเพื่อนำไปอบแห้งผลิตผล และส่วนที่เป็นตู้อบแห้งซึ่งไว้ใส่ผลิตผลที่ต้องการอบแห้ง [1]

การอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์สามารถแบ่งตามลักษณะการไหลได้เป็น 2 แบบคือ

1. แบบการไหลของอากาศแบบธรรมชาติ (Natural convection) ซึ่งจะเกิดการไหลเนื่องจากความแตกต่างของความหนาแน่นอากาศภายในและภายนอกเครื่อง

2. แบบการไหลของอากาศแบบบังคับ (Force convection) โดยใช้พัดลมสร้างความแตกต่างของความดันให้แก่อากาศเพื่อบังคับการไหลให้เป็นไปตามความต้องการ

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการทดลองจะเป็นเครื่องอบแห้งที่มีการไหลอากาศแบบบังคับ โดยจะมีการติดตั้ง พัดลมเพื่อดูดอากาศเข้ามา ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งแบบบังคับจะมีค่าที่สูงกว่าเครื่องอบแห้งที่มีการไหลแบบธรรมชาติ เนื่องจากจะสามารถควบคุมปริมาณการไหลของอากาศได้ แต่การไหลแบบธรรมชาติจะขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีอาทิตย์ โดยหากค่ารังสีต่ำการไหลของอากาศก็จะต่ำไปด้วย ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าน้อยตามไปด้วย

คำนึง วาทโยธา [2] ได้ทำการอบกล้วยด้วยเครื่องอบจำลองรูปแบบการทำงานของเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับสายพานลำเลียง โดยในการทดลองใช้กล้วยน้ำว้าปอกเปลือกเป็นผลิตภัณฑ์ โดยใช้อุณหภูมิในการอบที่ 60 ^{o}C ตลอดการอบ พบว่าคุณภาพของกล้วยหลังการอบไม่แตกต่างจากการใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ธีระชัย ไชยศิริ และคณะ [3] ทำการทดลองอบกล้วยน้ำว้าด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พบว่าสามารถอบกล้วยน้ำว้าจากความชื้นเริ่มต้น 230 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง ให้เหลือความชื้นประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง โดยใช้เวลา 3 วัน และสีของกล้วยจะเข้มกว่ากล้วยที่ตามโดยใช้วิธีธรรมชาติ โดยเครื่องอบแห้งนี้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนประมาณ 9.2%

Ali Al-Mohamand [4] ได้ศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์และแบบติดตั้งอยู่กับที่ผลจากการวิจัยพบว่าระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่ถึง 20%

การอบแห้ง คือ กระบวนการลดความชื้น โดยส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้นเพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย โดยอาศัยความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย โดยปกติจะใช้ความชื้น เป็นตัวบอกปริมาณของน้ำที่อยู่ในวัสดุ [5] ซึ่งสามารถแสดงได้เป็น 2 แบบ คือ

1. ความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis moisture content) คือ อัตราส่วนมวลของน้ำในผลิตภัณฑ์ต่อมวลผลิตภัณฑ์ชื้น โดยมีสมการดังนี้

$$MC_{w.b.} = \frac{w-d}{w} x100 \qquad (1)$$

2. ความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis moisture content) คือ อัตราส่วนมวลของน้ำในผลิตภัณฑ์ต่อมวลผลิตภัณฑ์แห้ง โดยมีสมการดังนี้

$$MC_{d.b.} = \frac{w-d}{d} x100 \qquad (2)$$

โดยที่ $MC_{w.b.}$ คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก

$MC_{d.b.}$ คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง

w คือ มวลเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์, กรัม

d คือ มวลผลิตภัณฑ์แห้ง, กรัม

การคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของชุดตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของชุดตัวเก็บรังสีอาทิตย์ คือ สัดส่วนระหว่างพลังงานที่นำไปใช้ในระบบต่อพลังงานที่เข้าสู่ระบบ โดยพลังงานที่นำไปใช้ในระบบคือพลังงานที่นำไปใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ของไหล และพลังงานที่เข้าสู่ระบบคือ พลังงานจากแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนชุดตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถแสดงเป็นสมการ ได้ดังนี้

$$\eta = \frac{\dot{m} c_p (T_{f,o} - T_{f,i})}{G_t A_c} \quad (3)$$

$\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของของไหล, kg/s

c_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของของไหล, J/kg.K

$T_{f,I}$ คือ อุณหภูมิของของไหลที่ทางเข้า, ^{O}C

$T_{f,o}$ คือ อุณหภูมิของของไหลที่ทางออก, ^{O}C

การคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง

ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง เป็นสัดส่วนระหว่างพลังงานความร้อนที่นำไปใช้ในการดึงความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ต่อพลังงานจากแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนพื้นที่เครื่องอบแห้งทั้งหมดสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$\eta = \frac{\dot{m} h_{fg}}{G_t A_c} \quad (4)$$

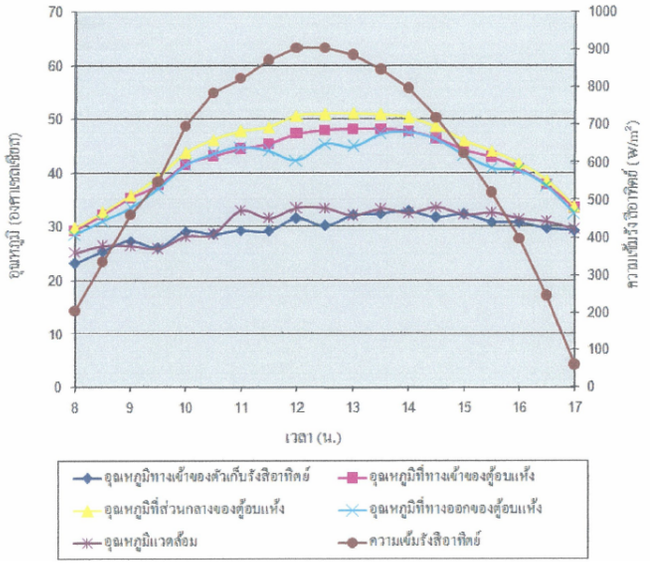
A_c คือ พื้นที่รับรังสีดวงอาทิตย์, m^2

H_{fg} คือ ค่าเอนทาลปีระหว่างการเปลี่ยนเฟสของน้ำจากของเหลวไปเป็นไอ, J/kg

ผลการวิจัย

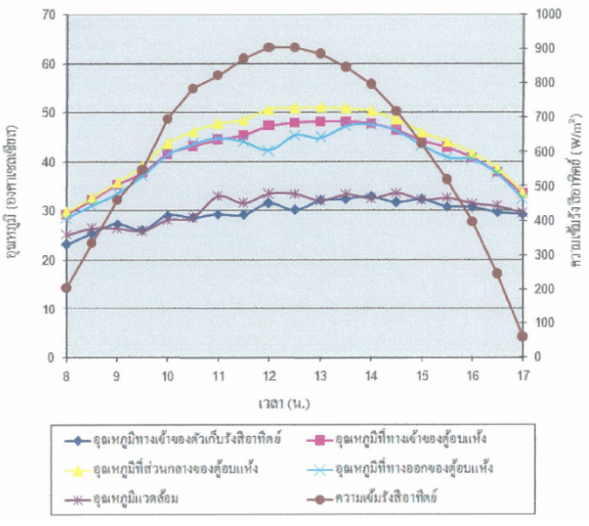
1. ผลการทดลองเมื่อไม่มีภาระ

ในการทดลองเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ โดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ โดยไม่มีผลิตภัณฑ์ภายในตู้อบแห้ง แสดงผลการทดลองได้ดังนี้



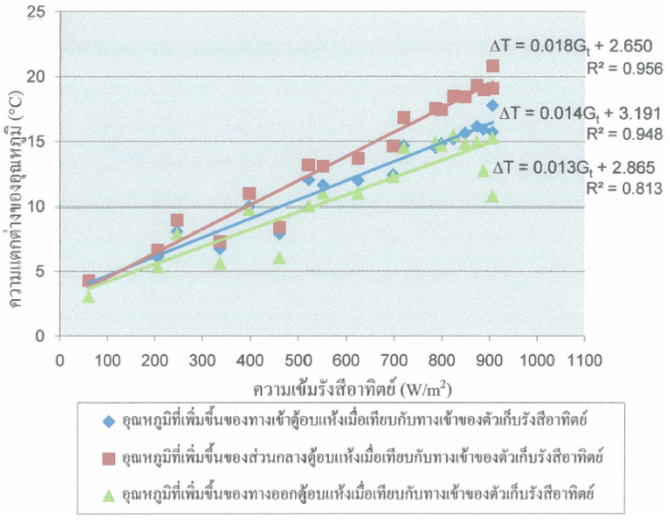
รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลา โดยกำหนดอัตราการไหลของอากาศคงที่เท่ากับ 0.0167 kg/s

จากแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาของวัน พบว่าความเข้มรังสีอาทิตย์จะส่งผลให้ความแตกต่างของอุณหภูมิทุกจุดภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์เมื่อเทียบกับอุณหภูมิที่ทางเข้าของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในช่วง 30.5 ^{O}C – 20.85 ^{O}C โดยที่บริเวณส่วนกลางของตู้อบแห้งจะมีอุณหภูมิที่สูงสุดที่ 51.25 ^{O}C และมีความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดถึง 20.85 ^{O}C เนื่องจากอากาศที่ไหลผ่านส่วนตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีอุณหภูมิที่สูงอยู่แล้ว และยังได้รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนกระจกในส่วนของตู้ อบแห้ง ซึ่งเกิดการแผ่รังสีภายในตู้อบแห้งอีกด้วย ทำให้อุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้นจากทางออกของตัวเก็บรังสีอาทิตย์อีกเล็กน้อย



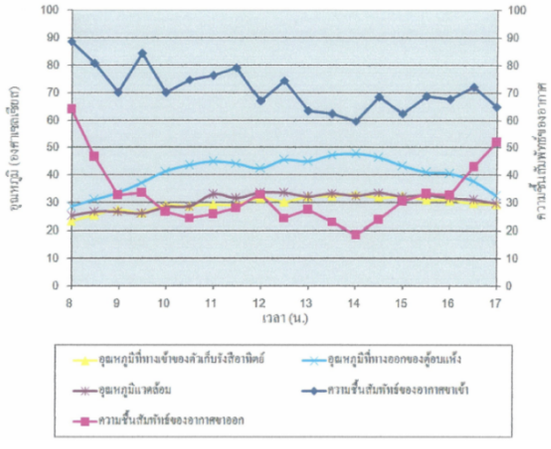
รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มรังสีอาทิตย์และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลา โดยกำหนดอัตราการไหลของอากาศคงที่เท่ากับ 0.0167 kg/s

จากรูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มรังสีอาทิตย์และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบในแต่ละช่วงเวลาของวัน พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบในช่วงเวลา 8.30 น. ถึงเวลา 15.00 น. จะอยู่ในช่วง 47.2%-58.3% (เฉลี่ย 51.85%) เนื่องจากความเข้มรังสีอาทิตย์ในช่วงเวลาดังกล่าวสามารถสร้างความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างทางออกและทางเข้าของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ได้อย่างเหมาะสม ส่วนในช่วงเวลา 8.00 น. ถึง 8.30 น. ความเข้มรังสีอาทิตย์จะต่ำในขณะที่ความแตกต่างของอุณหภูมิยังมีค่าพอประมาณ และในช่วงเวลา 15.00 น. ถึง 17.00 น. ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จะมีค่าที่ต่ำ แต่ความแตกต่างของอุรหภูมิยังมีค่าสูงอยู่ เนื่องมาจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ยังมีความร้อนที่ดูดกลืนไว้อยู่ซึ่งยังสามารถถ่ายเทความร้อนให้แก่อากาศที่ไหลผ่านได้ในขณะที่ความเข้มรังสีอาทิตย์เริ่มมีค่าลดลง ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในช่วงเวลานั้นสูงผิดปกติ



รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ความแตกต่างของอุณหภูมิเทียบกับความเข้มรังสีอาทิตย์ของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ โดยกำหนดอัตราการไหลของอากาศคงที่เท่ากับ 0.0167 kg/s

จากรูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ความแตกต่างของอุณหภูมิเทียบกับความเข้มรังสีอาทิตย์ของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ พบว่าความแตกต่างของอุณหภูมิจะมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับความเข้มรังสีอาทิตย์ ความแตกต่างของอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในบริเวณตู้อบแห้งจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง 30.5 ^{O}C – 20.85 ^{O}C (เฉลี่ย 12.45 ^{O}C) โดยเมื่ออากาศไหลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 6.1 ^{O}C – 17.8 ^{O}C (เฉลี่ย 12.2 ^{O}C) และเมื่ออากาศจากทางออกของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ไหลผ่านชุดตู้อบแห้งพบว่าจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอีก 0.15 ^{O}C – 3.35 ^{O}C (เฉลี่ย 1.9 ^{O}C) เนื่องจากด้านบนของชุดตู้อบแห้งถูกปิดด้วยกระจกใส การประมาณอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งทางเข้าตู้อบแห้งสามารถประมาณอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากค่ารังสีอาทิตย์ได้ตาม สมการ $\Delta T = 0.014G_t + 3.191$ ที่ตำแหน่งกลางตู้อบแห้งสามารถประมาณอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากค่ารังสีอาทิตย์ได้ตามสมการ $\Delta T = 0.018G_t + 2.650$ และที่ตำแหน่งทางออกของตู้อบแห้งสามารถประมาณอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากค่ารังสีอาทิตย์ได้ตามสมการ $\Delta T = 0.013G_t + 2.865$



รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในแต่ละช่วงเวลา โดยกำหนดอัตราการไหลของอากาศคงที่เท่ากับ 0.0167 kg/s

จากรูปแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในแต่ละช่วงเวลา พบว่าเมื่ออุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้นในช่วง 3.5 ^{O}C – 15.3 ^{O}C ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจะลดลงในช่วง 12.88 – 51.24 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากอากาศเกิดการขยายตัวเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นแต่ปริมาณของน้ำภายในอากาศยังเท่าเดิม

2. ผลการทดลองอบกล้วยน้ำว้า

ผลสังเกตทางด้านลักษณะของกล้วยที่อบจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

ได้ทำการเปรียบเทียบกับกล้วยตากยี่ห้อจิราพรเนื่องจากกล้วยตากยี่ห้อจิราพรเป็นกล้วยตากที่หาซื้อได้ง่าย และมีบรรจุภัณฑ์ที่สวยงาม

1. ในด้านของสีสันเมื่อเทียบกับกล้วยตากยี่ห้อ จิราพร พบว่ามีลักษณะของสีสันที่ใกล้เคียงกันมาก มีความสม่ำเสมอของสี สีไม่อ่อนและไม่เข้มจนเกินไป

2. ในด้านลักษณะผิวและความแห้งของเนื้อใน มีความแข็งและแห้งใกล้เคียงกัน เนื่องจากมีความชื้นของกล้วยที่ใกล้เคียงกันมาก

3. ในด้านรสชาติและกลิ่นของกล้วย จากการทดลองชิมพบว่ามีรสชาติหวานใกล้เคียงกับกล้วยตากยี่ห้อจิราพร และไม่มีกลิ่นผิดปกติไปจากกล้วยตากหรือกล้วยอบทั่วไป

3. ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ในการอบแห้งกล้วยน้ำว้าน้ำหนักรวม 6.84 กิโลกรัม ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ ให้เหลือน้ำหนักรวมอยู่ที่ 2.75 กิโลกรัม ในเวลา 5 วัน วันละ 9 ชั่วโมง ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการใช้พัดลมดูดอากาศทั้ง 3 ตัว แต่ละตัวต้องการพลังงานไฟฟ้าตัวละ 30.8 วัตต์ ดังนั้นในการอบแห้งจะใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 4.158 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งหากค่าไฟฟ้าคิดเป็น 4 บาทต่อหน่วย (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) เท่ากับมีค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานเท่ากับ 16.63 บาท ในการทำให้น้ำในกล้วยน้ำว้าระเหยออกไป 4.09 กิโลกรัม ดังนั้นในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์นี้จะมีค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานสำหรับการทำให้น้ำระเหยจากกล้วยน้ำว้า เท่ากับ 4.07 บาทต่อกิโลกรัม

สรุปผลการวิจัย

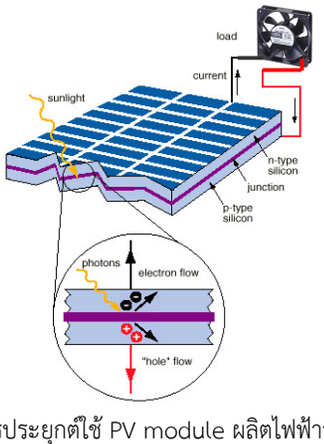
ในการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ โดยกำหนดอัตราการไหลของอากาศคงที่เท่ากับ 0.0167 kg/s และมีความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยที่ 613.3 W/m^2 จากการทดลองพบว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนอยู่ในช่วง 47.2%-58.3% (เฉลี่ย 51.85%) ซึ่งมีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ที่ใช้ในงานวิจัยทั่วไป และอากาศไหลที่เข้าสู่บริเวณชุดตู้อบแห้งจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นในช่วง 30.5-20.85 ^{O}C (เฉลี่ย 12.45 ^{O}C) โดยอุณหภูมิสูงสุด ณ ตำแหน่งกลางตู้อบแห้งเท่ากับ 51.25 ^{O}C

เมื่อนำเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์มาดลองอบแห้งกล้วยน้ำว้ามวลรวม 6.84 กิโลกรัม ที่มีความชื้นมาตรฐานแห้งเริ่มต้นที่ 222.6 เปอร์เซ็นต์ (ความชื้นมาตรฐานเปียก 70 เปอร์เซ็นต์) เป็นเวลาทั้งสิ้น 5 วัน วันละ 9 ชั่วโมง พบว่า ได้กล้วยน้ำว้าที่มีความชื้นมาตรฐานแห้งสุดท้ายเท่ากับ 31.1 เปอร์เซ็นต์ (ความชื้นมาตรฐานเปียก 23.7 เปอร์เซ็นต์) มีอัตราการอบแห้งสูงสุดเท่ากับ 11.9 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้งต่อชั่วโมง (เฉลี่ย 4.2 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้งต่อชั่วโมง) โดยประสิทธิภาพระบบของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 7.69% การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์มีความสม่ำเสมอของการอบแห้งทุกตำแหน่ง มีลักษณะของกล้วยน้ำว้าหลังจากการอบแห้งนั้น มีความคล้ายคลึงทางรูปร่าง รสชาติ และสี เมื่อเทียบกับกล้วยน้ำว้าอบแห้งทั่วไปที่จำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด

จากผลการทดลอง การศึกษาสมการความสัมพันธ์ของการเพิ่มอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องอบแห้งเทียบกับความเข้มรังสีอาทิตย์ ความชื้นมาตรฐานแห้งเทียบกับระยะเวลา และอัตราการอบแห้งเทียบกับความชื้นมาตรฐานแห้ง ทำให้สามารถทำนายคุณลักษณะของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ได้

จากการเปรียบเทียบระหว่างการอบแห้งและการตากแห้ง พบว่าอัตราการระเหยน้ำและอัตราการอบแห้งของการอบแห้งมีค่าสูงกว่าของการตากแห้ง ดังนั้นในระยะเวลาที่เท่ากันกล้วยน้ำว้าจากการอบแห้งจะมีความชื้นมาตรฐานแห้งต่ำกว่าการตากแห้ง และในด้านลักษณะของกล้วยน้ำว้าที่อบด้วยเครื่องอบแห้งมีคุณลักษณะโดยรวมดีกว่ากล้วยตากที่ตากแห้งโดยเฉพาะกล้วยน้ำว้าที่อบด้วยเครื่องอบแห้งจะมีสีที่สม่ำเสมอทั่วทั้งลูก ตรงตามความต้องการของตลาด นอกจากนี้การอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งจะสามารถควบคุมสภาวะของการอบให้เป็นไปตามที่ต้องการได้

ในการอบแห้งกล้วยน้ำว้าน้ำหนักรวม 6.84 กิโลกรัม ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ ให้เหลือน้ำหนักรวม 2.75 กิโกลรัม ในเวลา 5 วัน วันละ 9 ชั่วโมง ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการใช้พัดลมดูดอากาศทั้ง 3 ตัว โดยค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่อหน่วยมวลน้ำระเหยสำหรับการอบแห้งกล้วยน้ำว้าเท่ากับ 4.07 บาทต่อกิโลกรัม โดยปริมาณพลังงานที่ได้รับจากแสงอาทิตย์จะเทียบเท่ากับการใช้พลังงานไฟฟ้า ในการทำให้น้ำในกล้วยระเหยเท่ากับ 678.359 วัตต์ แต่ถ้าหากใช้พลังงานความร้อนจากฮีทเตอร์ในการอบที่ระยะเวลาเท่ากันจะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าถึง 45 กิโลวัตต์-ชั่วโมง เมื่อรวมกับพลังงานไฟฟ้าที่พัดลมดูดอากาศใช้ทั้งหมดจะเท่ากับ 49.158 กิโลวัตต์-ชั่วโมง คิดเป็นค่าพลังงานถึง 196.63 บาท หรือคิดเป็น 48.08 บาทต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหยออกไป หากมีการใช้ฮีทเตอร์ไฟฟ้าตลอด 5 วัน จะทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงมากขึ้นซึ่งอาจไม่คุ้มค่า ควรมีการใช้ในกรณีที่ไม่มีแสงแดดเท่านั้น และใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานหลักจะมีค่าความคุ้มทุนกว่ามาก



รูปที่ 8 การประยุกต์ใช้ PV module ผลิตไฟฟ้าจ่ายให้กับพัดลมภายในอุโมงค์อบแห้ง

และหากติดแผงโซลาร์เซลล์ ขนาด 100 วัตต์ ซึ่งสามารถใช้ร่วมกับพัดลม DC จำนวน 3 ตัว ซึ่งราคาโซลาร์เซลล์ปัจจุบันอยู่ที่ 30 บาทต่อวัตต์ ลงทุนเพิ่มเพียง 3,000 บาท เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า DC ให้กับพัดลม เพื่อระบายความร้อนและความชื้นที่ออกมาจากผลิตภัณฑ์ ค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานเท่ากับ 16.63 บาท ต่อการอบกล้วย 1 แบต ระยะเวลาภายใน 1 เดือนสามารถอบกล้วยได้ มากที่สุด 4 แบต ค่าใช้จ่ายค่าพลังงานเท่ากับ 16.63 บาท x 4 แบต = 66.52 บาทต่อเดือน ลงทุนติดตั้ง โซลาร์เซลล์ 3,000 บาท จะคืนทุนอยู่ที่ (3,000 บาท/ 66.52 บาทต่อเดือน เท่ากับ 3 ปี 8 เดือน ซึ่งอายุของโซลาร์เซลล์สามารถใช้งานได้ถึง 25 ปี ซึ่งก็เป็นทางเลือกที่น่าสนใจ เพราะปัจจุบันราคาเซลล์แสงอาทิตย์มีราคาต่อวัตต์ที่ลดลงเป็นอย่างมาก

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยนเรศวรที่สนับสนุนทุนวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2557 ขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทนที่ให้การสนับสนุนพื้นที่ติดตั้งระบบฯ และอุปกรณ์เครื่องมือสำหรับวิจัย ในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท,พิมพ์ครั้งที่ 7 2540, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[2] คำนึง วาทโยธา, การอบกล้วยด้วยเครื่องอบจำลองรูปแบบการทำงานของเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับสายพานลำเลียง, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

[3] ธีระชัย ไชยศิริ, บุญบงค์ วัฒนาโกศัย, วิโรจน์ โรจนวิสูตร, เครื่องอบแห้งกล้วยน้ำว้าพลังงานแสงอาทิตย์. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[4] Ali Al-Mohamand. (2009). Efficiency improvement of Photo-Voltaic Panels Using ca Sun-tracking System. สืบค้น ธันวาคม 25, 2553 จาก www.sciencedirect.com.

[5] สุวรรณ วิรัชกุล, อุสาห์ เจริญวัฒนา, สมใจ ศรีลออกุล, วิเชียร วรพุทธพร, และ ประทุมสงวน ตระกูล, การศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งโดยใช้แสงแดดกับการใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ภาควิชาเทคโนโลยอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น