



การศึกษาการอบทะเลลายปาล์มสดด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

Study of Bunch Fresh Palm Drying by Solar Energy

พงศกรณ์ เทพษร¹

Pongsakorns Thephsorn¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและออกแบบโรงอบทะเลลายปาล์มสดด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยสร้างโรงอบทะเลลายปาล์มสดชนิดเรือนกระจก ขนาด $2 \text{ m} \times 5.5 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ แผ่นหลังคาทรงโค้งทำด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนต ซึ่งใช้เป็นตัวรับรังสีในตอนกลางวัน ผนังทุกด้านเป็นแผ่นโพลีคาร์บอเนตโปร่งแสง เพื่อช่วยทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (greenhouse effect) ผนังด้านยาวด้านหนึ่งถูกทำเป็นประตูเปิด-ปิด และอีกสามด้านถูกปิดสนิท โดยผนังด้านหน้าและด้านหลังติดตั้งพัดลมดูดเพื่อระบายความชื้นออกสู่ภายนอก ส่วนพื้นของโรงอบทำด้วยแผ่นสมาร์ทบอร์ดแล้วปูทับด้วยอลูมิเนียมแผ่นบางอีกชั้นหนึ่งเพื่อป้องกันความชื้นที่จะทำให้แผ่นพื้นสมาร์ทบอร์ดเกิดความเสียหาย และโครงสร้างภายนอกของโรงอบมีลักษณะเป็นโรงเรือนยกสูงจากพื้น 0.5 m

ผลจากการทดลองพบว่าอุณหภูมิภายในโรงอบมีค่าเฉลี่ยระหว่าง $38 - 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ มีความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในเฉลี่ยระหว่าง 35%-46% และจากการศึกษาอัตราการร่วงของผลปาล์ม โดยในช่วงวันที่ 1-5 ของการอบผลปาล์มในโรงอบด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ จะมีอัตราการร่วงเฉลี่ยระหว่าง 20-26 % ของผลปาล์มทั้งหมด ส่วนวันที่ 6-7 จะมีอัตราการร่วงเฉลี่ยระหว่าง 7-14 % ส่วนปริมาณน้ำมันที่บีบได้ทั้ง 7 วัน มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 187-260 ml ต่อผลปาล์มรวม 1 kg และกรดไขมันอิสระในช่วงวันที่ 1-2 มีค่ากรดไขมันอิสระสูงซึ่งเฉลี่ยระหว่าง 10.39-10.51 wt.% และในวันที่ 3 -7 กรดไขมันอิสระมีค่าลดลงเฉลี่ยระหว่าง 1.35-2.97 wt.%

คำสำคัญ: ทะเลลายปาล์มสด ผลปาล์ม โรงอบพลังงานแสงอาทิตย์

Abstract

This research investigated and designed a drying plant for bunch fresh palm using solar energy. The dimension of the solar panel plant was $2 \times 5.5 \times 1$ meter (wide x long x high) with curved roof sheet and wall were made from polycarbonate sheet receiving the thermal radiation and occurring greenhouse effect inside the plant. All side walls are made from polycarbonate sheets for insulation. A long side wall was a door used to open and close and other three sides were sealed. The suction fans were installed at the front and rear walls in order to remove the moisture to outward. To prevent floor of the factory damage, a smart board with a thin aluminium was used to prevent moisture. The outside design of the plant is high from ground around 0.5 meter.

The results of the experiment showed that the internal temperature of the plant was between 38 to $70 \text{ }^{\circ}\text{C}$. The internal air humidity was between 36 to 46 %. Regarding the falling rate of fresh fruit bunch during one to five days of drying of palm fruit in a solar-powered plant, the average falling rate was around 20 to 26%. In addition, on day 6-7, the average fall of fresh fruit bunch was between 7 to 14%.

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

¹ Department of Mechanical Engineering, Princess of Naradhiwas University



Finally, the total oil content of the seven days was 187 to 260 ml per 1 kg palm fruit. However, the fatty acid during day 1-2 increased free fatty acid, which was averaged between 10.39 to 10.51 wt.% and on day 3 to 7 reduced between 1.35 to 2.97 wt%.

Keywords: Fresh fruit bunch, Palm fruit, Green house solar dryer

บทนำ

ปัจจุบันมีการตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อม อันเนื่องมาจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในรูปแบบของน้ำมันดีเซล น้ำมันพืชซึ่งได้เป็นแหล่งวัตถุดิบที่มีศักยภาพเหมาะสมสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงทดแทนชนิดต่างๆ (Strivastava & Prasad, 2000; Ramadhas, Jayaraj & Muraleedharan, 2004; Shadrid & Jamal, 2007; Murugesan, Umarani, Subramanian & Nedunchezian, 2009) ซึ่งวัตถุดิบที่มีศักยภาพสูงสุดของประเทศไทยในการผลิตเป็นเชื้อเพลิง คือ ปาล์มน้ำมัน ดังนั้น งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเชื้อเพลิงทดแทนดีเซล จากปาล์มน้ำมัน มีการวิจัยกันอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบันในประเภทต่างๆ ของน้ำมันที่ผลิตได้จากผลปาล์ม โดยผลปาล์มน้ำมันประกอบด้วยน้ำมัน 2 ชนิด คือ น้ำมันที่สกัดจากเปลือกนอกของผลปาล์ม เรียกว่า น้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil: CPO) และน้ำมันที่สกัดได้จากเนื้อของเมล็ดในปาล์ม เรียกว่า น้ำมันเมล็ดในปาล์ม (Crude Palm Kernel Oil: CPKO) สำหรับโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มขนาดใหญ่ สามารถแยกน้ำมันดิบและน้ำมันเมล็ดในออกจากกัน ด้วยกระบวนการที่บีบน้ำมันมาตรฐาน ทำการสกัดน้ำมันด้วยเครื่องสกัดแบบเกลียวอัดชนิดคู่ แต่สำหรับเกษตรกรและโรงงานขนาดเล็กในประเทศไทย ทำการผลิตโดยการสกัดน้ำมันปาล์มด้วยเครื่องสกัดแบบเกลียวอัด จะได้น้ำมันปาล์มและน้ำมันเมล็ดในปาล์มปนกัน เรียกว่า น้ำมันปาล์มดิบหีบรวม (Mixed Crude Palm Oil: MCPO)

อุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มในประเทศไทย สามารถแบ่งตามกระบวนการผลิตออกได้เป็น 2 ประเภท คือ หีบแบบแยกเมล็ดในปาล์ม หรือการหีบแบบเปียก และ หีบแบบรวมเมล็ดในปาล์มหรือการหีบแบบแห้ง โดยการหีบแบบแยกเมล็ดในปาล์มนั้นส่วนใหญ่จะเป็นโรงงานขนาดใหญ่มีกำลังการผลิตสูง และจะใช้ผลปาล์มทั้งทะลายในการผลิตน้ำมันปาล์ม ได้ผลผลิตเป็นน้ำมันจากเปลือกและน้ำมันจากเมล็ดในปาล์ม การหีบแบบรวมเมล็ดในปาล์มนั้นจะใช้กับผลปาล์มร่วงหรือผลปาล์มกลับเป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาไลโปไลซิสและไล่น้ำออกจากผลปาล์ม ก่อนที่นำผลปาล์มที่ได้ไปหีบในขั้นตอนต่อไป ซึ่งจะได้น้ำมันปาล์มดิบ การให้ความร้อนกับผลปาล์ม แบ่งได้เป็น 2 วิธีคือ ย่างหรือทอด การสกัดแบบนี้เป็นกระบวนการที่ไม่ใช้น้ำ ไม่เกิดน้ำเสียจากกระบวนการผลิต อาจเรียกว่า การสกัดแบบแห้ง (Prasertsan, P. & Prasertsan, S. 1994) การอบผลปาล์มเป็นกระบวนการต้นทางที่ควบคุมคุณภาพน้ำมันปาล์ม และเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่จะสร้างกรดไขมันอิสระ การอบแห้งในปัจจุบันนิยมอบโดยบรรจุผลปาล์มในกระเบซีเมนต์ที่ปูพื้นด้วยตะแกรงเหล็ก ด้านล่างมีช่องให้ลมร้อนไหลขึ้นผ่านตะแกรงเหล็กได้ ลมร้อนที่เข้ามาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น ไม้ยางพารา หรือน้ำมันเตา ซึ่งการอบแบบนี้ทำให้ช่วงแรกของกรอบ ใต้น้ำจะกลั่นตัวที่ชั้นบนของกองผลปาล์มซึ่งมีอุณหภูมิต่ำ ทำให้ไม่อาจยับยั้งปฏิกิริยาเอนไซม์ได้ นอกจากนี้ยังพบว่าผลปาล์มทั้งกองมีอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอ โดยผลปาล์มบริเวณด้านล่างอาจจะไหม้เกินไป ผลปาล์มที่ไหม้แข็งและทำให้สกรูหีบสึกหรอได้ง่าย ผลปาล์มชั้นบนที่สุกไม่สนิท จะมีน้ำปน ทำให้ได้น้ำมันปาล์มด้อยคุณภาพ กรรมวิธีการแบบนี้ ทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมาก อีกทั้งความต้านทานภายในของกองปาล์มทำให้ต้องใช้ พัดลมเป่าอัดลมร้อนเข้าได้กระะอบ ทำให้อากาศร้อนมีโอกาสรั่วไหลออกจากรอบได้ง่าย ซึ่งเป็นการสูญเสียพลังงานและเพิ่มต้นทุน นอกจากนี้ การอบชั้นหนาเกินไปทำให้ผลปาล์มสุกไม่สม่ำเสมอและมีผลต่อคุณภาพดังกล่าวข้างต้น ในช่วงท้ายของการอบ เมื่อผลปาล์มใกล้แห้งจะมีการสูญเสียพลังงานความร้อนออกไปมากโดยลมที่ปล่อยทิ้งจากระบบอาจมีอุณหภูมิถึง 70 oC ระบบแบบนี้มีเตาเผาเชื้อเพลิงซึ่งมักจะอยู่ระดับใต้พื้นทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เพราะจำกัดปริมาณของอากาศเข้าสันดาป ส่งผลให้เกิดเขม่ามากซึ่งจะเกาะกับผลปาล์มชั้นล่าง (Banyat, 2011)



ประเทศไทย ตั้งอยู่ในเขตเส้นศูนย์สูตร จึงทำให้ได้รับแสงอาทิตย์อย่างต่อเนื่องและคงที่ตลอดทั้งปีซึ่งความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศพบว่า มีค่าเท่ากับ 18.0 MJ/m²/day หรือ 5.0 kWh/ m²/day จัดอยู่ในระดับที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับหลายๆประเทศ ซึ่งเป็นปริมาณที่เพียงพอสำหรับการพัฒนาและใช้ประโยชน์ ซึ่งประเทศไทยได้รู้จักการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นเวลานาน เริ่มจากการใช้ประโยชน์เพื่อการถนอมอาหาร โดยการตากแห้งและอบแห้งอาหารและผลผลิตทางการเกษตรต่างๆ ในประเทศไทยประสบความสำเร็จเป็นอย่างดีในการนำเอาความร้อนจากแสงอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์ เช่น การใช้เครื่องผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับโรงพยาบาล โรงแรม การทำเครื่องต้มน้ำจากแสงอาทิตย์ การทำเตาแสงอาทิตย์ การทำเครื่องกลั่นน้ำแสงอาทิตย์ การทำเครื่องอบแห้ง ผลิตผลเกษตรกรรม และอื่นๆ อีกมากมายซึ่งเป็นการนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้โดยตรงที่มีต้องอาศัย เทคโนโลยีสูงหรือสลับซับซ้อนนัก (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy, 2011)

ในงานวิจัยนี้ จึงเกิดแนวคิดในการออกแบบและสร้างโรงอบปาล์มด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าทางการตลาดให้แก่เกษตรกรในการอบผลปาล์มทั้งหลายเพื่อให้ได้ผลปาล์มร่วง และคุณภาพของน้ำมันที่ได้ดีขึ้น โดยการใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ซึ่งไม่มีต้นทุนในด้านพลังงานความร้อนที่เอามาใช้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อ เกษตรกร เศรษฐกิจ สังคม และประเทศชาติต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อออกแบบและสร้างโรงอบปาล์มด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยศึกษาถึงการวางของผลปาล์ม ปริมาณน้ำมันที่หีบได้ และปริมาณกรดไขมันอิสระ

ระเบียบวิธีวิจัย

ทฤษฎีการอบแห้ง

การอบแห้ง คือ กระบวนการลดความชื้น ซึ่งส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้น เพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย โดยของเหลวที่อยู่ภายในวัสดุจะเคลื่อนที่ออกมายังผิวโดย Capillary flow ซึ่งเป็นผลมาจากแรงตึงผิว (Surface force) ส่วนไอน้ำในวัสดุจะเคลื่อนที่เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น (Vapor diffusion) และความดันไอย่อย (Partial pressure of vapor) ที่แตกต่างกันระหว่างไอน้ำในวัสดุกับอากาศร้อน ช่วงแรกของการอบแห้งเป็นช่วงการอบแห้งคงที่ การถ่ายเทความร้อนและมวลระหว่างวัสดุกับอากาศจะเกิดขึ้นรอบๆ ผิววัสดุเท่านั้น ความร้อนจากอากาศร้อนจะถ่ายเทไปยังผิววัสดุโดยการนำความร้อนผ่านชั้นฟิล์มของก๊าซ วัสดุจะแพร่ความชื้นจากผิวผ่านชั้นฟิล์มของก๊าซไปยังอากาศร้อน และเมื่อผิวของวัสดุที่อบมีปริมาณน้ำลดลงมาก การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสารจะเกิดขึ้นภายในวัสดุด้วย โดยน้ำภายในวัสดุจะเคลื่อนที่มายังผิววัสดุในรูปของเหลวหรือไอน้ำแล้วระเหยเมื่อได้รับความร้อนจากอากาศร้อน การเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในวัสดุมายังผิวจะช้ากว่าการพาความชื้นจากผิวไปยังอากาศ ทำให้อัตราการอบแห้งลดลง ที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศคงที่ ความชื้นของวัสดุจะลดต่ำลงจนถึงจุดหนึ่งซึ่งไม่เปลี่ยนแปลง ที่จุดนี้ความดันไอของน้ำในวัสดุมีค่าเท่ากับความดันไอของอากาศที่อยู่รอบๆ ทำให้น้ำไม่สามารถระเหยออกจากวัสดุได้เรียกความชื้นขณะนั้นว่า ความชื้นสมดุล

หลักการพื้นฐานของเทคโนโลยีการอบแห้ง (Bakker-Arkemar & Hall, 1974)

สมบัติของวัสดุชื้น (Properties of moist materials)

1. ความชื้นของวัสดุชื้น

วัสดุชื้นประกอบด้วยของแข็ง (Solid materials) และความชื้น โดยทั่วไปเป็นน้ำในสถานะของเหลว สามารถบอกปริมาณความชื้นของวัสดุชื้นในรูปของความชื้นมาตรฐานเปียกหรือมาตรฐานแห้ง ดังนี้

$$M_w = \frac{m_n}{m_n + m_s} \tag{1}$$

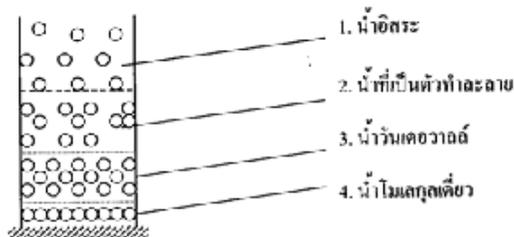
$$M_d = \frac{m_n}{m_s} \tag{2}$$

- เมื่อ
- M_w = ความชื้นมาตรฐานเปียก (kg/kg)
 - M_d = ความชื้นมาตรฐานแห้ง (kg/kg)
 - M_w = มวลของน้ำ ในปริมาตรที่พิจารณา (kg)
 - M_s = มวลของของแข็ง ในปริมาตรที่พิจารณา (kg)

ความชื้นมาตรฐานเปียกมักนิยมใช้ในการค้า และสำหรับความชื้นมาตรฐานแห้งมักใช้ในการคำนวณและการศึกษาเชิงวิทยาศาสตร์

ลักษณะการก่อตัวของน้ำบนวัตถุขึ้น
น้ำที่เกาะตัวกับของแข็งในวัตถุขึ้นสามารถแบ่งได้เป็น 4 ชนิด คือ

1. น้ำอิสระ (free water)
2. น้ำที่เป็นตัวทำละลาย (solvent water)
3. น้ำที่เกาะตัวโดยแรงแวนเดอร์วาลส์ (water attached with Van de Waal force)
4. น้ำโมเลกุลเดี่ยว (mono-molecular water)



ภาพที่ 1 แผนภูมิน้ำประเภทต่างๆ ในวัตถุขึ้น (Bakker-Arkemar & Hall, 1974)

2. ความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content)(Sodha, Bansal, Kumar, Bansla & Malik, 1987)
วัตถุขึ้นจะมีการรับและดูดความชื้นจากอากาศรอบๆ จนกระทั่งความชื้นมีค่าคงที่หรืออยู่ในสภาวะสมดุลกับอากาศแวดล้อม เรียกว่า ความชื้นน้ำ ความชื้นสมดุล ความชื้นสมดุล จะขึ้นกับธรรมชาติของวัตถุ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ซึ่งสามารถหาได้โดยการทดลอง

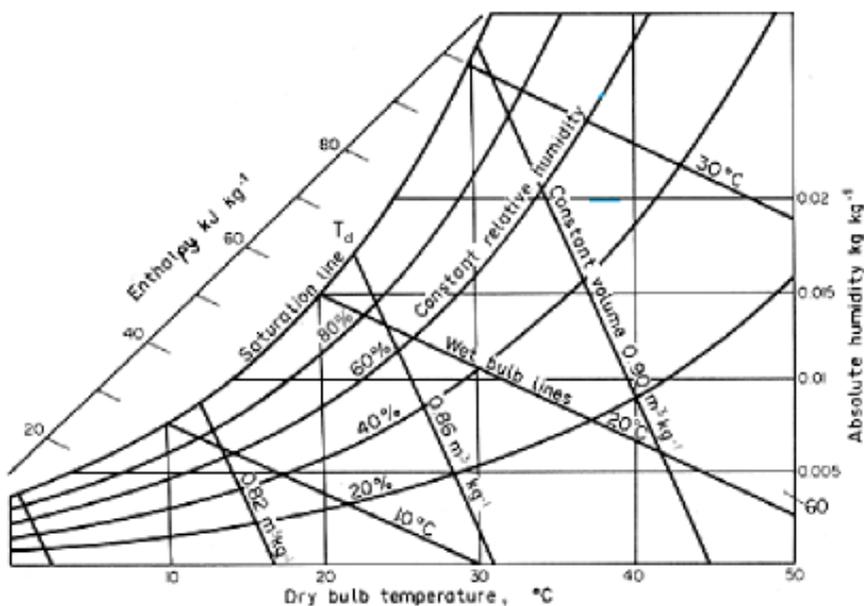
3. สมบัติของอากาศชื้น (properties of moist air) (Bakker-Arkemar & Hall, 1974)

อากาศซึ่งใช้เป็นตัวกลางในการพาความร้อนไปสู่วัตถุขึ้น และพาความชื้นจากวัตถุ นั้นออกมาภายนอกจะประกอบด้วยอากาศแห้งและไอน้ำ ซึ่งมีสมบัติแสดงได้ด้วยตัวแปร 7 ตัว ดังนี้

- 1) อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Tab)
- 2) อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Twb)
- 3) อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (dew-point temperature)
- 4) ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity, rh)



- 5) ความชื้นสัมบูรณ์ (absolute humidity) หรืออัตราส่วนความชื้น (humidity ratio)
 6) เอนทาลปี (enthalpy) เป็นพลังงานที่สะสมอยู่ในอากาศชื้น
 7) ปริมาตรจำเพาะ (specific volume) เป็นปริมาตรอากาศชื้นต่อน้ำหนักอากาศแห้ง
- ตัวแปรทั้ง 7 มีความสัมพันธ์กันและสามารถแสดงเป็นแผนภูมิอากาศชื้น (psychrometric chart) ดังภาพที่ 2 ในกระบวนการอบแห้ง สมบัติของอากาศจะมีการเปลี่ยนแปลงดังที่แสดงไว้ใน แผนภูมิดังกล่าว



ภาพที่ 2 แผนภูมิอากาศชื้นและการเปลี่ยนแปลงสมบัติของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง
 (Bakker-Arkemar & Hall, 1974)

ในกระบวนการอบแห้ง อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศจะลดลงเข้าหาอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ในขณะที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกจะมีค่าคงที่ดังเส้น AB ในแผนภูมิอากาศชื้นของภาพที่ 2 เมื่ออากาศ ชื้นถูกทำให้ร้อนขึ้นโดยไม่มีการเพิ่มหรือลดปริมาณไอน้ำ อัตราส่วนความชื้นจะมีค่าคงที่ แสดงได้ด้วย เส้นตรง AC ในภาพที่ 2 ถ้านำอากาศร้อนนี้ไปใช้ในการอบแห้ง อุณหภูมิกระเปาะแห้งจะลดลง และ ความชื้นสัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากอากาศถ่ายเทความร้อนให้กับวัตถุดิบและรับความชื้นจากวัตถุดิบ การเปลี่ยนแปลงของอากาศนี้แทนได้ด้วยเส้นตรง CD ในแผนภูมิอากาศชื้นภาพที่ 2

4. ผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการอบแห้ง ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการลดลงของความชื้นของวัตถุดิบดังนี้

- (1) อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง ถ้าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีค่าสูง อัตราการแห้ง (drying rate) จะมีค่าสูงกว่ากรณีของอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ
- (2) ความชื้นสัมพัทธ์ อากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจะสามารถรับความชื้นที่ ถ่ายเทจากวัตถุดิบได้มากกว่ากรณีที่อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูง
- (3) ความเร็วอากาศที่ไหลผ่านวัตถุดิบ ถ้าความเร็วอากาศมีค่าสูงความชื้นจากวัตถุ จะถ่ายเทออกมาสู่ อากาศได้ดีกว่ากรณีอากาศที่อยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่ ด้วยความเร็วต่ำ แต่ผลดังกล่าวจะมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับผลจากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

การอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

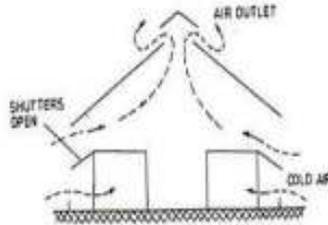
การอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นการอบแห้งผลผลิตโดยใช้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อระเหยน้ำจากผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปจะอาศัยการพาความร้อน (convective heat transfer) โดยทั่วไปสามารถแบ่งการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาความร้อนได้เป็น 2 แบบ คือ แบบการพาความร้อนตามธรรมชาติ (natural convection circulation) ซึ่งอาศัยแรงลอยตัวเนื่องจากการพาความร้อน และแบบการพาโดยการบังคับอากาศ (forced-convection circulation) ซึ่งอาศัยแรงดันจากพัดลมเพื่อพาความร้อนไปยังผลผลิต นอกจากนี้ยังอาจแบ่งชนิดของการอบแห้งตามวิธีการรับรังสี โดยสามารถแบ่งได้ 4 แบบ ได้แก่แบบรับรังสีโดยตรง (direct) แบบรับรังสีโดยอ้อม (indirect) แบบผสม (direct-indirect) และแบบเรือนกระจก (greenhouse)

1. ระบบอบแห้งแบบพาความร้อนตามธรรมชาติ (Natural-convection solar dryer)

ระบบอบแห้งแบบนี้ยังสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1.1 แบบรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง (direct mode)

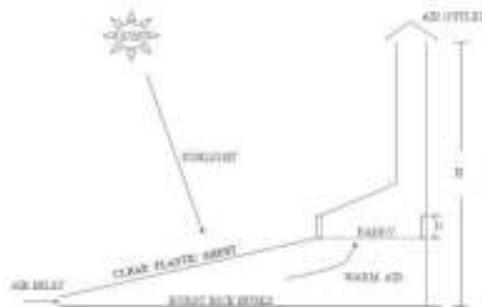
ระบบอบแห้งแบบนี้ รังสีดวงอาทิตย์จะตกลงบนผลผลิตที่ต้องการอบแห้ง โดยตรง ความชื้นจากผลิตภัณฑ์จะถูกพาขึ้นไปด้านบน โดยการไหลของอากาศที่เกิดจากการพาความร้อนตามธรรมชาติ รังสีดวงอาทิตย์จะส่งผ่านวัสดุโปร่งแสง ซึ่งอาจเป็นพลาสติกหรือกระจกก็ได้ แผ่น โปร่งแสงดังกล่าว ทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียความร้อน โดยการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน ทั้งยังป้องกันฝุ่นละออง ฝน และแมลงรบกวนต่างๆด้วย



ภาพที่ 3 ระบบอบแห้งแบบรับแสงอาทิตย์โดยตรง (Sodha et al., 1987)

1.2 ระบบอบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์ทางอ้อม (indirect mode)

ระบบอบแห้งแบบนี้จะมีแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งทำงานโดยอาศัยการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (natural convection) อากาศร้อนที่ได้จะลอยตัวและไหลผ่านผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอบแห้ง



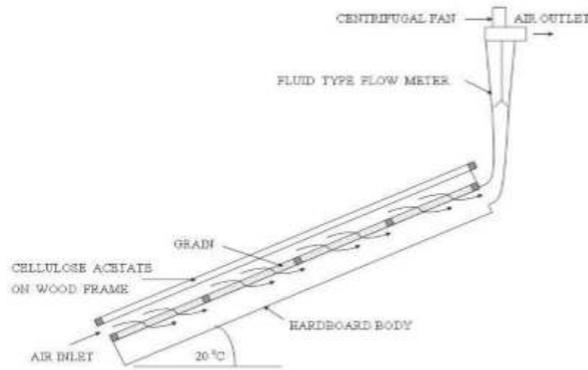
ภาพที่ 4 ระบบอบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์ทางอ้อม (Sodha et al., 1987)



2. ระบบอบแห้งแบบพาความร้อนโดยบังคับอากาศ (forced-convection solar dryer)

2.1 แบบรับพลังงานแสงดวงอาทิตย์โดยตรง

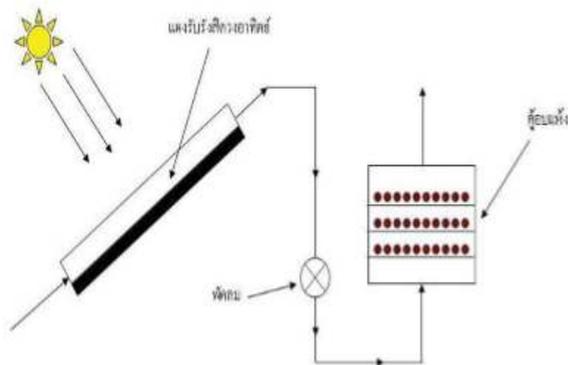
ระบบอบแห้งแบบนี้ ผลผลิตที่ต้องการอบแห้งจะรับรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง อากาศร้อนจะถูกดูดผ่านผลิตผลโดยอาศัยพัดลมดังตัวอย่างในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ระบบอบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงและใช้พัดลม (Sodha et al., 1987)

2.2 แบบรับพลังงานแสงอาทิตย์ทางอ้อม (indirect mode)

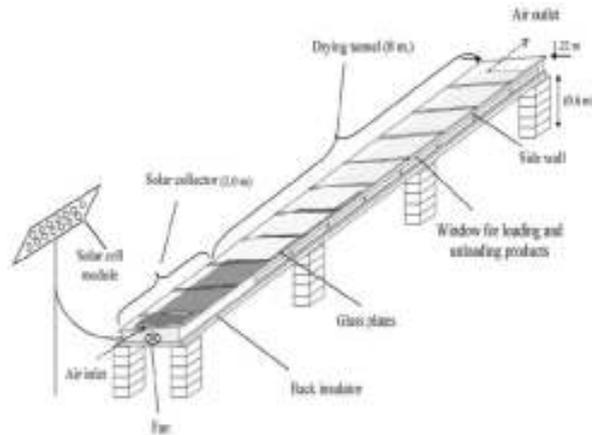
ระบบอบแห้งแบบนี้จะมีแผงรับรังสีดวงอาทิตย์แบบแผ่นราบซึ่งทำหน้าที่ ผลิตอากาศร้อน แล้วเป่าหรือดูดผ่านส่วนที่บรรจุผลิตผลซึ่งอยู่ต่างหากจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ดังตัวอย่างในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ระบบอบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์ทางอ้อมและใช้พัดลมดูดอากาศ (Sodha et al., 1987)

2.3 แบบผสม

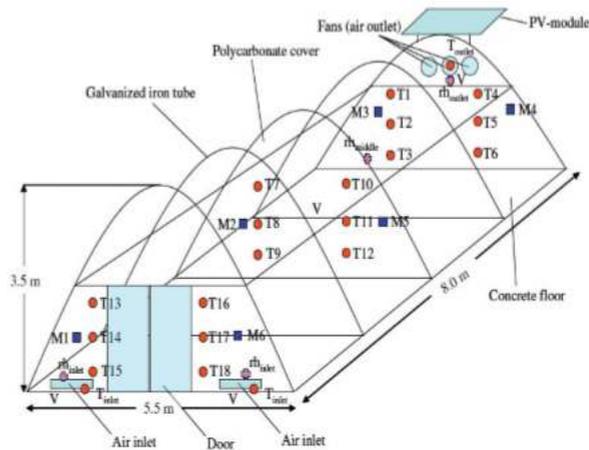
ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมนี้ จะประกอบด้วยส่วนบรรจุ ผลิตภัณฑ์และส่วนแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ตัวอย่างเช่น ระบบอบแห้งแบบอุโมงค์ลม (solar tunnel dryer) โดยผลิตภัณฑ์จะได้รับพลังงานความร้อนทั้งจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์และรังสีดวงอาทิตย์ที่ ตกกระทบผลิตภัณฑ์โดยตรง โดยมีพัดลมเป่าอากาศจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์เข้าไปยังส่วนบรรจุผลิตภัณฑ์ (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 ระบบอบแห้งแบบอุโมงค์ลม (Janjai et al., 2009)

2.4 ระบบอบแห้งแบบเรือนกระจก (greenhouse solar drying)

ระบบอบแห้งนี้มีลักษณะเป็นโรงเรือน ซึ่งปิดคลุมด้วยวัสดุโปร่งแสง เช่น กระจก หรือพลาสติกชนิดต่างๆ เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ส่องผ่านวัสดุดังกล่าวเข้าไปตกกระทบยัง ผลิตภัณฑ์ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น และแผ่รังสีอินฟราเรดออกมา แต่รังสีดังกล่าวผ่านแผ่นวัสดุโปร่งแสง ออกมาได้น้อย ทำให้ความร้อนถูกกักเก็บอยู่ภายใน อุณหภูมิอากาศภายในจึงสูงขึ้น ช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งได้เร็ว โดยความชื้นที่ออกมาจากผลิตภัณฑ์จะมีพัดลมดูดอากาศเพื่อระบายความชื้นที่ ระเหยจากผลิตภัณฑ์ ออกมาสู่อากาศแวดล้อมภายนอก ตัวอย่างระบบอบแห้งแบบเรือนกระจกแสดงไว้ในภาพที่ 8



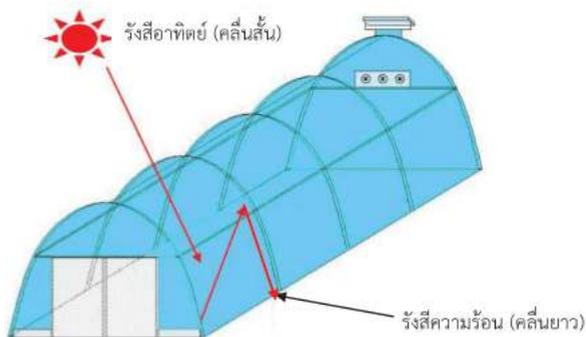
ภาพที่ 8 ระบบอบแห้งแบบเรือนกระจก (Janjai et al., 2009)

หลักการการทำงานของระบบอบแห้งแบบเรือนกระจก

เมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบระบบอบแห้งจะส่งผ่านแผ่นโพลีคาร์บอเนตไปยังผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในชั้นวาง บางส่วนจะตกกระทบพื้นของระบบอบแห้ง ทำให้ภายในระบบอบแห้งมีอุณหภูมิสูงขึ้น และแผ่รังสีอินฟราเรดออกมา แต่เนื่องจากรังสีอินฟราเรดเป็นรังสีคลื่นยาว ซึ่งส่วนมากไม่สามารถผ่านแผ่น โพลีคาร์บอเนตออกไปภายนอกได้จึงเก็บกักอยู่ภายในระบบอบแห้ง



อุณหภูมิภายในส่วนอบแห้งจึง สูงขึ้น ทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์ระเหยออกมา และถูกพัดลมดูดอากาศด้านหลังของระบบอบแห้งดูดออกไปภายนอก อากาศแวดล้อมจะไหลผ่านช่องระบายอากาศด้านหน้าเข้ามาแทนที่ (ภาพที่ 9) ความชื้นของผลิตภัณฑ์จึงค่อยๆ ลดลง เนื่องจากผลิตภัณฑ์ได้รับพลังงานทั้งจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตก กระทับโดยตรง และจากอากาศร้อนภายในส่วนอบแห้ง ดังนั้นจึงทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งเร็วกว่าการตากแดดโดยวิธีธรรมชาติ นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ภายในระบบอบแห้งยังไม่ถูกรบกวนจากสิ่งสกปรกและการเปียกฝนด้วย



ภาพที่ 9 หลักการทำงานของระบบอบแห้งแบบเรือนกระจก

ในระเบียบวิธีการวิจัยนี้ จึงประกอบไปด้วยการศึกษาเพื่อออกแบบและสร้างโรงอบทะเลลายปาล์มสดด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยเป็นการศึกษาผลจากการอบปาล์มทั้งหมด 3 ตัวแปร คือการวางของผลปาล์ม ปริมาณน้ำมันที่หีบได้ และปริมาณกรดไขมันอิสระ ซึ่งในการออกแบบและสร้างโรงอบปาล์มด้วยพลังงานแสงอาทิตย์นี้ เป็นการสร้างโรงอบปาล์มที่สามารถเคลื่อนย้ายไปยังสถานที่อื่น ๆ ได้ ทำให้ง่ายต่อการขนย้ายและติดตั้ง ดังภาพที่ 10 และ ภาพที่ 11

โดยโรงอบทะเลลายปาล์มสดด้วยพลังงานแสงอาทิตย์นี้ติดตั้งอยู่ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ อำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาส ซึ่งโรงอบดังกล่าวโครงสร้างภายนอกของโรงอบมีลักษณะเป็นโรงเรือนยกสูงจากพื้น 0.5 m มีขนาดของตัวโรงอบ 2 m × 5.5 m × 1 โครงหลังคาของโรงอบมีลักษณะเป็นเหล็กโค้งรูปพาราโบลาทำด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนต ซึ่งใช้เป็นตัวรับรังสีในตอนกลางวัน ผนังทุกด้านเป็นแผ่นโพลีคาร์บอเนตโปร่งแสง เพื่อช่วยทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (greenhouse effect) ผนังด้านยาวด้านหนึ่งถูกทำเป็นประตูเปิด-ปิด และอีกสามด้านถูกปิดสนิทโดยผนังด้านหน้าและด้านหลังติดตั้งพัดลมดูดเพื่อระบายความชื้นออกสู่ภายนอก ส่วนพื้นของโรงอบทำด้วยแผ่นสเมาร์ทบอร์ดแล้วปูทับด้วยอลูมิเนียมแผ่นบางอีกชั้นหนึ่งเพื่อป้องกันความชื้นที่จะทำให้แผ่นพื้นสเมาร์ทบอร์ดเกิดความเสียหาย



ภาพที่ 10 โครงสร้างของโรงอบทะเลลายปาล์มสดด้วยพลังงานแสงอาทิตย์



ภาพที่ 11 โรงอบทะเลลายปาล์มสดด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

ผลการวิจัย

ในการทดลองครั้งนี้ จะกล่าวถึงผลของการทดลองในการบ่มทะเลลายปาล์มสดในโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นระยะเวลาทั้งหมด 7 วัน ซึ่งมีการวางทะเลลายปาล์มสดในโรงอบ (ดังภาพที่ 12) โดยเก็บผลอุณหภูมิเฉลี่ยตรงกลางพื้นโรงอบ (ดังภาพที่ 13) และดำเนินการเก็บผลการทดลองโดยนำทะเลลายปาล์มสดออกมาครั้งละ 1 ทะลาย/วัน เพื่อศึกษาดูการร่วงของผลปาล์มน้ำมัน ปริมาณน้ำมันที่หีบได้ (ดังภาพที่ 14) และปริมาณกรดไขมันอิสระ ผลการทดลองมีดังต่อไปนี้



ภาพที่ 12 การวางทะเลลายปาล์มสดบนพื้นโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์



ภาพที่ 13 การวางเครื่องวัดสภาพอากาศในโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์



ภาพที่ 14 การหีบผลปาล์ม

ผลบันทึกอุณหภูมิภายในโรงอบปาล์มพลังงานแสงอาทิตย์

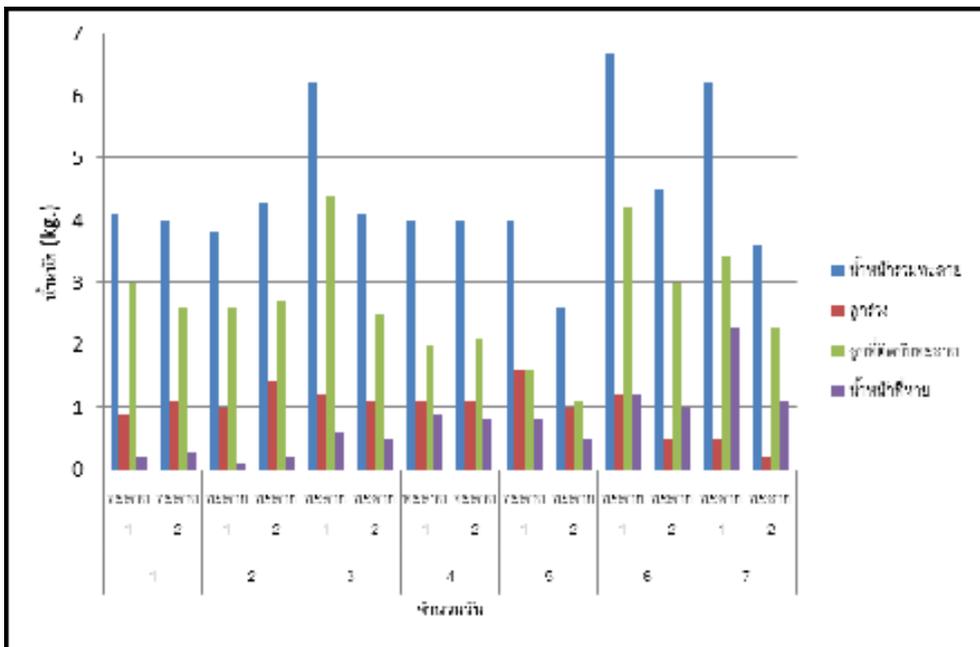
ผลบันทึกอุณหภูมิภายในโรงอบปาล์มพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้เครื่องวัดสภาพอากาศ (Weather Station) โดยเก็บผลอุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส) ตรงกลางพื้นโรงอบ เป็นเวลา 7 วัน ตั้งแต่เวลา 08.30 - 16.30 น. ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงผลบันทึกอุณหภูมิภายในโรงอบปาล์มพลังงานแสงอาทิตย์

วัน	1	2	3	4	5	6	7
อุณหภูมิพื้นโรงอบ (°C)	42.12	37.28	45.00	46.23	38.00	45.23	42.23

ผลการทดลองหาอัตราการร่วงของผลปาล์ม

จากการทดลองหาอัตราการร่วงของผลปาล์ม เมื่อทำการอบในโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์เป็นระยะเวลา 7 วัน และสุ่มตัวอย่างวันละ 2 ทะลาย เพื่อหาอัตราการร่วงและน้ำหนักที่หายไปดังแสดงในภาพที่ 15



ภาพที่ 15 กราฟแสดงการร่วงและน้ำหนักที่หายไปในการอบปาล์มด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (kg)

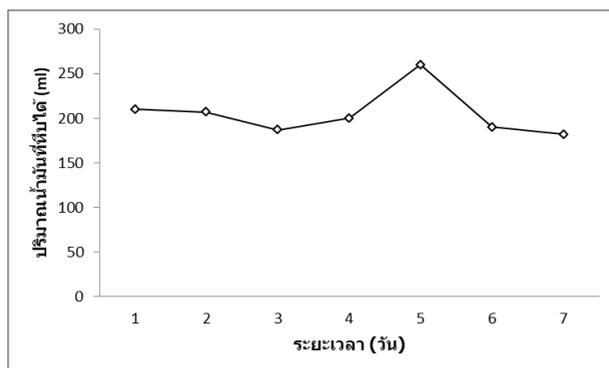
จากภาพที่ 14 จะเห็นว่า ร้อยละของอัตราการร่วงของผลปาล์มและน้ำหนักที่หายไปตั้งแต่วันที่ 1-7 เป็นดังนี้ 20, 25, 23, 26, 24, 14 และ 7 ตามลำดับ และร้อยละของน้ำหนักผลปาล์มที่หายไป ดังนี้ 6, 8, 10, 20, 23, 26 และ 30 ตามลำดับ

จากการศึกษาอัตราการร่วงของผลปาล์ม ดังข้อมูลดังกล่าวข้างต้น ในช่วง 5 วันแรกของการอบผลปาล์มในโรงอบ ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ จะมีอัตราการร่วงเฉลี่ยประมาณ 20-26 % ของผลปาล์มทั้งหมด แต่หลังจากวันที่ 5 เป็นต้นไป จะมีอัตราการร่วงเฉลี่ยประมาณ 7-14 % เนื่องจากในช่วงแรกผลปาล์มที่อบจะมีความสุกของผลที่พอดีจึงทำให้ผลปาล์มร่วงหลุดออกจากทะลาย โดยในช่วงหลังที่ผลปาล์มหลุดร่วงออกจากทะลายได้น้อยลงเป็นผลมาจากความชื้นที่มีอยู่ในผลปาล์มถูกระเหยออกไปด้วยความร้อนจึงทำให้ผลปาล์มมีความแข็งและยึดติดกับทะลายปาล์ม จึงทำให้การร่วงหลุดออกจากทะลายน้อยลงด้วย

สำหรับการศึกษาน้ำหนักของผลปาล์มที่หายไป จะเห็นว่าเมื่ออบผลปาล์มตั้งแต่วันที่ 1-7 น้ำหนักของผลปาล์มที่หายไปเฉลี่ยประมาณ 6-30% เนื่องจากองค์ประกอบที่เป็นน้ำในผลปาล์มเมื่อได้รับความร้อนซึ่งทำให้ความชื้นในผลปาล์มลดลง จึงทำให้น้ำหนักของผลปาล์มหลังการอบลดลงไปด้วย

ผลการทดลองหาค่าปริมาณน้ำมันที่หีบได้

ในการหีบผลปาล์มน้ำมันจากผลปาล์มที่ร่วงออกจากทะลายหลังจากอบในโรงอบด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยในการหีบจะเก็บผลปาล์มน้ำมัน 1 kg แล้วนำมาหีบด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิค เพื่อหาปริมาณน้ำมันที่หีบได้ ดังแสดงในภาพที่ 16



ภาพที่ 16 กราฟแสดงปริมาณน้ำมันที่หีบได้จากผลปาล์มร่วง (ml)

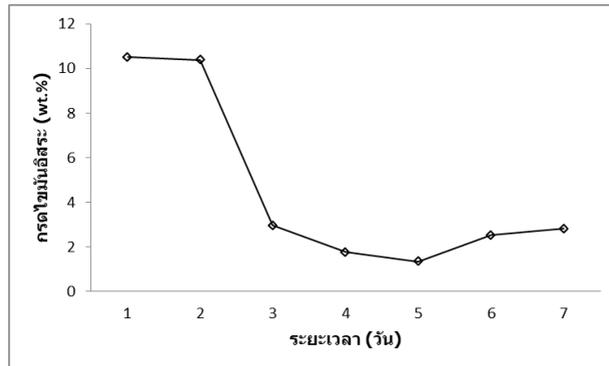
จากกราฟจะเห็นว่าปริมาณน้ำมันที่หีบได้มีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 7 วัน แต่ในวันที่ 5 ปริมาณน้ำมันที่หีบได้มีค่าสูงที่สุด 260 ml เนื่องจากผลปาล์มที่เก็บมาจากต้นแล้วผ่านการอบด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีความสุกมากขึ้นและเมื่อได้รับความร้อนทำให้โมเลกุลของน้ำมันในผลปาล์มเกิดการแตกตัวได้ดีขึ้นจึงทำให้ได้ปริมาณน้ำมันที่มากขึ้นดังกล่าว

ผลการทดลองหาค่ากรดไขมันอิสระ

เป็นขั้นตอนในการทดลอง เพื่อหาค่ากรดไขมันอิสระ เนื่องจากกรดไขมันอิสระเป็นค่าบ่งชี้ถึงคุณภาพของน้ำมัน โดยการหากรดไขมันอิสระใช้วิธีการไทเทรตและนำมาคำนวณดังสมการที่ (3)

$$FFA = \frac{\text{ml} \times N \times 25.6}{g} \quad (3)$$

- เมื่อ
- FFA = ปริมาณกรดไขมันอิสระ (wt.%)
 - MI = ปริมาณสารละลายที่ใช้ในการไทเทรต (ml)
 - N = ความเข้มข้นของ NaOH โซเดียมไฮดรอกไซด์ (0.1 molar)
 - g = น้ำหนักของน้ำมันปาล์ม (g)



ภาพที่ 17 กราฟแสดงกรดไขมันอิสระ (wt.%)

จากกราฟจะเห็นได้ว่าในช่วง 2 วันแรก กรดไขมันอิสระมีค่าสูงซึ่งอยู่ในช่วง 10.39-10.51 wt.% และในวันที่ 3 -7 กรดไขมันอิสระมีค่าลดลงอยู่ในช่วง 1.35-2.97 wt.% เป็นผลมาจากองค์ประกอบที่เป็นน้ำในผลปาล์มเมื่อได้รับความร้อนจึงทำให้ปริมาณน้ำในผลปาล์มลดลงและทำให้โมเลกุลของน้ำมันในผลปาล์มเกิดการแตกตัวได้ดีขึ้น น้ำมันที่หีบมาได้เมื่อนำมาไตรเตรทจึงทำให้ค่ากรดไขมันอิสระลดต่ำลง

อภิปรายผล

การทดลองหาอัตราการร่วงของผลปาล์ม

จากการศึกษาอัตราการร่วงของผลปาล์ม ดังข้อมูลดังกล่าวข้างต้น โดยวันที่ 1-5 ของการอบผลปาล์มในโรงอบด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ จะมีอัตราการร่วงเฉลี่ยในช่วง 20-26 % ของผลปาล์มทั้งหมด และวันที่ 6 - 7 จะมีอัตราการร่วงเฉลี่ยในช่วง 7-14 % เนื่องจากในช่วงแรกผลปาล์มที่นำมาอบเป็นผลปาล์มสดจึงทำให้ผลปาล์มร่วงหลุดออกจากทะเลาะได้ดี โดยในช่วงหลังที่ผลปาล์มหลุดร่วงออกจากทะเลาะได้น้อยลงเป็นผลมาจากความชื้นที่มีอยู่ในผลปาล์มถูกระเหยออกไปด้วยความร้อน จึงทำให้ผลปาล์มมีความแข็งและยึดติดกับทะเลาะปาล์ม จึงทำให้การร่วงหลุดออกจากทะเลาะน้อยลงด้วย

การทดลองหาค่าปริมาณน้ำมันที่หีบได้

ปริมาณน้ำมันที่หีบได้มีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 7 วัน แต่ในวันที่ 5 ปริมาณน้ำมันที่หีบได้มีค่าสูงที่สุด 260 ml เนื่องจากผลปาล์มที่เก็บมาจากต้นแล้วผ่านการอบด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีความสุกมากขึ้นและเมื่อได้รับความร้อนทำให้โมเลกุลของน้ำมันในผลปาล์มเกิดการแตกตัวได้ดีขึ้นจึงทำให้ได้ปริมาณน้ำมันที่มากขึ้นดังกล่าว

การทดลองหาค่ากรดไขมันอิสระ

การหาค่ากรดไขมันอิสระจากการนำน้ำมันปาล์มดิบที่บวมมาทำการไตรเตรท ซึ่งในช่วง 2 วันแรก กรดไขมันอิสระมีค่าสูงซึ่งอยู่ในช่วง 10.39-10.51 wt.% และในวันที่ 3 -7 กรดไขมันอิสระมีค่าลดลงอยู่ในช่วง 1.35-2.97 wt.% เป็นผลมาจากองค์ประกอบที่เป็นน้ำในผลปาล์มเมื่อได้รับความร้อนจึงทำให้ปริมาณน้ำในผลปาล์มลดลงและทำให้โมเลกุลของน้ำมันในผลปาล์มเกิดการแตกตัวได้ดีขึ้น น้ำมันที่หีบมาได้เมื่อนำมาไตรเตรทจึงทำให้ค่ากรดไขมันอิสระลดต่ำลง

สรุป

อัตราการร่วงของผลปาล์ม

จากการศึกษาอัตราการร่วงของผลปาล์ม โดยในช่วง 5 วันแรกของการอบผลปาล์มในโรงอบด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ จะมีอัตราการร่วงในช่วง 20-26 % ของผลปาล์มทั้งหมด แต่หลังจากวันที่ 5 เป็นต้นไป จะมีอัตราการร่วงในช่วง 7-14 เนื่องจากในช่วงแรกผลปาล์มที่นำมาอบเป็นผลปาล์มสดจึงทำให้ผลปาล์มร่วงหลุดออกจากทะลายได้ดี โดยในช่วงหลังที่ผลปาล์มหลุดร่วงออกจากทะลายได้น้อยลงเป็นผลมาจากความชื้นที่มีอยู่ในผลปาล์มถูกระเหยออกไปด้วยความร้อนจึงทำให้ผลปาล์มมีความแข็งและยึดติดกับทะลายปาล์ม จึงทำให้การร่วงหลุดออกจากทะลายน้อยลงด้วย

ปริมาณน้ำมันที่หีบได้

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำมันที่หีบได้มีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 7 วัน แต่ในวันที่ 5 ปริมาณน้ำมันที่หีบได้มีค่าสูงที่สุด 260 ml เนื่องจากผลปาล์มที่เก็บมาจากต้นแล้วผ่านการอบด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีความสุกมากขึ้นและเมื่อได้รับความร้อนทำให้โมเลกุลของน้ำมันในผลปาล์มเกิดการแตกตัวได้ดีขึ้นจึงทำให้ได้ปริมาณน้ำมันที่มากขึ้นด้วย

กรดไขมันอิสระ

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าในช่วง 2 วันแรก กรดไขมันอิสระมีค่าสูงซึ่งอยู่ในช่วง 10.39-10.51 wt.% และในวันที่ 3-7 กรดไขมันอิสระมีค่าลดลงอยู่ในช่วง 1.35-2.97 wt.% เป็นผลมาจากองค์ประกอบที่เป็นน้ำในผลปาล์มเมื่อได้รับความร้อนจึงทำให้ปริมาณน้ำในผลปาล์มลดลงและทำให้โมเลกุลของน้ำมันในผลปาล์มเกิดการแตกตัวได้ดีขึ้น น้ำมันที่หีบมาได้เมื่อนำมาไทเทรตจึงทำให้ค่ากรดไขมันอิสระลดลงต่ำลง

ข้อเสนอแนะ

จากการทำวิจัยพบว่าประสิทธิภาพของโรงอบทะลายปาล์มสดด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระคือแสงอาทิตย์ ความชื้น อุณหภูมิภายในโรงอบ และการระบายความชื้นทิ้ง ซึ่งส่งผลต่ออัตราการร่วงของผลปาล์ม ปริมาณน้ำมันที่หีบได้ และปริมาณกรดไขมันอิสระ ซึ่งจากการทดลองควรปรับปรุงโรงอบปาล์มด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของโรงอบให้ดีขึ้นดังนี้

1. ควรเพิ่มอัตราการไหลของอากาศภายในโรงอบ ให้มีการไหลของอากาศทั่วทั้งโรงอบ โดยการติดตั้งพัดลมในโรงอบ ซึ่งจะทำให้ผลปาล์มได้รับความร้อนอย่างทั่วถึง
2. โรงอบพลังงานแสงอาทิตย์มีขีดจำกัดในการได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว หากสภาพอากาศมีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงหรือไม่มีแสงแดด ซึ่งจะทำให้ผลของการอบปาล์มไม่ต่อเนื่องและไม่มีประสิทธิภาพตามไปด้วย ดังนั้นควรใช้พลังงานความร้อนรวมในการออกแบบและสร้างโรงอบปาล์มเพื่อให้โรงอบมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น
3. ควรปรับปรุงโครงสร้างของโรงอบปาล์มพลังงานแสงอาทิตย์ให้มีน้ำหนักเบา ซึ่งจะส่งผลต่อการถอดประกอบและเคลื่อนย้าย

รายการอ้างอิง (Reference)

- Bakker-Arkema, F.W. & Hall, C.W. (1974). *Drying Cereal Grains*. AVT, Westport, Connecticut.
- Banyat, N. (2011). *Development of palm kernels sun drying system*. The master's thesis proposal of mechanical engineering. Prince of songkla university. pp. 133.



- Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy. (2011). *Solar energy. Guide to development and investment in a renewable energy part II.*
- Janjai, S., Lamler, N., Intawee, P., Mahayothee, B., Bala, B.K., Nagle, M., Muller, J. (2009). Experimental and simulated performance of a PV-ventilated solar greenhouse dryer for drying of peeled longan and banana. *Solar Energy*, 83, 1550-1565.
- Murugesan, A., Umarani, C., Subramanian, R. & Nedunchezian, N. (2009). Bio-diesel as an alternative fuel for diesel engines-A review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 13, 653-662.
- Poonsuk P. & Suteera P., (1994). *Analytical study of status and potential the used of wastes from palm oil industrial.* National center for genetic engineering and biotechnology. Department of science technology and environmental.
- Ramadhas, A. S., Jayaraj, S. & Muraleedharan, C. (2004). Use of vegetable oils as I.C. engine fuels-A review. *Renewable Energy*, 29, 727-742.
- Srivastava, A. & Prasad, R. (2000). Triglycerides-based diesel fuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4, 111-133.
- Sodha, M.S., Bansal, N.K., Kumar, A., Bansal, P.K., & Malik, MAS. (1987). *Solar Crop Drying 1.* Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Shahid, E.M. & Jamal, Y. (2007). A review of biodiesel as vehicular fuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 2484-2494.