

การทดสอบการอบแห้งข้าวเปลือกแบบในถังเก็บและแบบเป็นงวด : ความสิ้นเปลืองพลังงาน

Experiments on In-Store and Batch Drying of Paddy : Energy Consumption ¹

สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และ สมชาย ฉิมสกลธนากร ²

Somchart Soponronnarit and Somchai Chimsakolthanakorn

ABSTRACT

The objective of this paper was to study the energy consumption patterns in drying paddy under various drying air conditions and drying strategies. It was found from the experiments that ambient air drying with low air flow rate consumed final energy about one half of that drying with high air flow rate. However, they were about the same when primary energy was considered except the ambient air drying with high air flow rate which consumed primary energy much greater than the others.

Ambient air with low flow rate should be used in slow drying. Ventilation at particular times when relative humidity of drying air was not too high or continuous ventilation with controlled relative humidity should be practiced. If fast drying was required, warm air with high flow rate should be used.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสิ้นเปลืองและรูปแบบการใช้พลังงานในการอบแห้งข้าวเปลือกแบบชั้นเมล็ดที่ขมูกอยู่กับที่ โดยทำการทดลองอบแห้งข้าวเปลือกด้วยอัตราการไหลและอุณหภูมิของอากาศอบแห้งหลาย ๆ แบบ นอกจากนี้ยังศึกษาการจัดการการอบแห้งแบบต่าง ๆ ด้วย จากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่า การอบแห้งโดยใช้อากาศใกล้แวดล้อม และอัตราการไหลของอากาศต่ำ ใช้พลังงานในรูปของพลังงานสุดท้ายต่ำกว่าพลังงานสุดท้ายของการอบ

แห้งด้วยอัตราการไหลของอากาศสูงประมาณ 1 เท่าตัว แต่ความแตกต่างของการใช้พลังงานจะลดน้อยลงมาก หากพิจารณาในรูปของพลังงานปฐมภูมิ ยกเว้นกรณีของการอบแห้งด้วยอากาศแวดล้อมและใช้อัตราการไหลของอากาศสูง ซึ่งใช้พลังงานปฐมภูมิสูงกว่าของการอบแห้งวิธีอื่น ๆ มาก

หากต้องการอบแห้งข้าวเปลือกอย่างช้า ๆ ควรใช้การอบแห้งด้วยอัตราการไหลของอากาศต่ำ โดยอาจใช้วิธีเป่าอากาศแวดล้อมเฉพาะช่วงที่ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าไม่สูงมาก หรือโดยการเป่าอากาศอย่างต่อเนื่อง

¹ Supported by Australian Centre for International Agricultural Research

² คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

School of Energy and Materials, King Mongkut's Institute of Technology Thonburi, Bangkok 10140, Thailand.

แต่อุณหภูมิที่ร้อนขึ้นเล็กน้อยเฉพาะในช่วงเวลาที่ความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อมมีค่าสูง และหากต้องการอบแห้งอย่างรวดเร็ว ควรอบแห้งด้วยลมร้อนโดยใช้อัตราการไหลของอากาศสูง

คำนำ

การที่จะเก็บรักษาเมล็ดพืชให้ได้ระยะเวลานาน ๆ นั้น จะต้องทำการลดความชื้นของเมล็ดพืชนั้นจนถึงค่าความชื้นที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษา ซึ่งจะแตกต่างกันไปในเมล็ดพืชแต่ละชนิด และอุณหภูมิที่จะทำการเก็บรักษา ความชื้นที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษาเมล็ดพืชจำพวกแป้งมีค่าประมาณ 13 - 14% มาตรฐานเปียก และประมาณ 10% สำหรับเมล็ดพืชจำพวกที่มีน้ำมันมาก

การลดความชื้นแบบง่ายสามารถทำได้โดยการอบแห้งแบบให้ชั้นเมล็ดพืชอยู่กับที่แล้วเป่าอากาศผ่านชั้นเมล็ดพืช การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กับการถ่ายเทมวล โดยที่ความร้อนจากอากาศจะถ่ายเทให้กับเมล็ดพืช และส่วนใหญ่จะใช้ในการระเหยน้ำ มวลของน้ำที่ระเหยจากผิวเมล็ดพืชจะเข้าไปอยู่ในอากาศ ทำให้ความชื้นของอากาศเพิ่มขึ้น หากจะแบ่งการอบแห้งแบบชั้นเมล็ดพืชอยู่กับที่แล้ว อาจแบ่งได้เป็นสองแบบคือ แบบในถังเก็บและแบบเป็นงวด

การอบแห้งแบบในถังเก็บ หมายถึง การอบแห้งเมล็ดพืชภายในถังที่ใช้เก็บรักษาเมล็ดพืชเมื่อแห้งดีแล้ว ดังนั้น จึงไม่มีการเคลื่อนย้ายเมล็ดพืชระหว่างการอบแห้งและการเก็บรักษา จากการศึกษาที่ไม่มีมีการขนย้ายนี้เองจึงจำเป็นต้องอบแห้งโดยให้เกิดเกรเดียนต์ความชื้นของชั้นเมล็ดพืชในถังเก็บน้อยที่สุด โดยที่ความชื้นเมล็ดพืชในแต่ละชั้นจะต้องต่ำพอที่จะสามารถเก็บรักษาไว้ได้โดยปลอดภัย ดังนั้นการอบแห้งแบบในถังเก็บจึงมักใช้อุณหภูมิของอากาศอบแห้งที่ค่อนข้างต่ำ คือ ใกล้กับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม หรืออาจใช้อากาศแวดล้อมโดยที่ไม่มีการอุ่นให้ร้อนขึ้นจากแหล่งความร้อนใด ๆ นอก

จากที่ตัวพัดลมเท่านั้น หากใช้อากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะทำให้เมล็ดพืชชั้นล่างสุดแห้งมากเกินไป ในขณะที่ชั้นบนได้ความชื้นตามที่ต้องการ ผลก็คือสูญเสียน้ำหนักในการขาย และเนื่องจากถังเก็บมักจะมี ความสูงพอสมควร ดังนั้นอัตราการไหลของอากาศจึงมักจะต่ำ มิเช่นนั้นแล้วการสูญเสียความชื้นของอากาศขณะไหลผ่านชั้นเมล็ดพืชจะสูงเกินไป

การอบแห้งแบบเป็นงวด หมายถึง การอบแห้งเมล็ดพืชภายในเครื่องอบ แล้วนำเมล็ดพืชที่แห้งแล้วไปเก็บในถังเก็บอีกแห่งหนึ่ง ดังนั้นจึงอาจใช้อุณหภูมิที่สูงได้ เพราะในระหว่างการขนย้ายจะเกิดการผสมกันของเมล็ดพืชแห้งและเปียก และยังสามารถใช้อัตราการไหลของอากาศสูงได้ด้วย เพราะสามารถกำหนดให้ชั้นเมล็ดพืชมีความหนาไม่มากนัก ผลก็คือการอบแห้งจะใช้เวลาเพียงไม่กี่ชั่วโมง ซึ่งค้ำว่าของการอบแห้งแบบในถังเก็บหลายสิบเท่า

แม้ว่าการอบแห้งแบบถังเก็บจะใช้เวลาในการอบแห้งยาวนาน แต่ก็ยังมีข้อดีหลายประการ คือ ได้ผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งที่มีคุณภาพสูง โดยเฉพาะข้าวเปลือก ซึ่งแตกร้าวได้ง่ายหากเร่งการอบแห้งให้เร็ว นอกจากนี้ ความสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งก็มักจะต่ำ และการลงทุนก็ประหยัดด้วย

งานวิจัยด้านการอบแห้งในประเทศไทยพอมืออยู่บ้าง แต่ทั้งหมดเป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป็นงวด โดยอบในกระบะขนาดความจุประมาณ 2 - 4 ลูกบาศก์เมตร เช่น งานวิจัยของกองเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร (Anon, 1977) และของสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (Anon, 1978) นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยด้านการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยแสงอาทิตย์ขนาดความจุประมาณ 2 ลูกบาศก์เมตร (Exell and Komsakoo, 1977 ; Soponronnarit et al., 1986, สิริจันทร์และคณะ 2528) ส่วนงานวิจัยด้านการอบแห้งแบบถังเก็บยังมีน้อยมาก

จากการศึกษาโดยการทดลองอบแห้งข้าวเปลือกแบบในถังเก็บภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้นโดย สมชาติ และเพชร (2532) พบว่ามีความเป็นไปได้ในทางเทคนิคที่จะใช้วิธีการอบแห้งแบบในถังเก็บ โดยที่อุณหภูมิข้าวเปลือกหลังการอบแห้ง เช่น เปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ด เปอร์เซ็นต์ความงอก และสีของเมล็ดข้าวอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก และจากการทดลองอบแห้งแบบเป็นงวดโดยใช้อุณหภูมิของอากาศที่เหมาะสม ก็สามารถได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีเช่นกัน การศึกษาครั้งนี้ยังมีข้อควรศึกษาเพิ่มเติม คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งและรูปแบบของพลังงานที่ใช้ ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลครบถ้วนสำหรับวิเคราะห์ความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การทดสอบการอบแห้งข้าวเปลือกกระทำในถังอบทรงกระบอกซึ่งหุ้มฉนวนใยแก้วหนา 25 มิลลิเมตร มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.75 เมตร และสูง 2 เมตร ข้าวเปลือกที่ใช้ทดสอบเป็นข้าวที่แห้งแล้วแต่นำมาพรมน้ำให้ชื้นตามที่ต้องการ โดยใช้เวลากอบประมาณ 3 วัน เพื่อให้การกระจายความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกเป็นไปอย่างทั่วถึง พัดลมที่ใช้เป็นแบบเหวี่ยงแบบใบพัดโค้งหลัง ขับด้วยมอเตอร์ขนาด 0.75 กิโลวัตต์ ซึ่งสามารถควบคุมความเร็วรอบได้ โดยใช้ตัวปรับความถี่ ส่วนการอุ่นอากาศนั้นใช้ขดลวดไฟฟ้า ซึ่งถูกควบคุมโดยตัวปรับกำลังไฟฟ้าให้คงที่ หรือควบคุมโดยการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้ง กล่าวคืออากาศจะถูกอุ่นให้ร้อนขึ้นจนมีความชื้นสัมพัทธ์ตามที่ต้องการ หากว่าอากาศนี้มีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าที่ตั้งไว้

การทดสอบการอบแห้งสามารถแบ่งได้เป็น 5 แบบ คือ

1. การเป่าอากาศอย่างต่อเนื่องด้วยอากาศแวดล้อม

และใช้อัตราการไหลของอากาศต่ำ

2. การเป่าอากาศอย่างต่อเนื่องด้วยการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศไม่ให้สูงกว่าที่ตั้งไว้ และใช้อัตราการไหลของอากาศต่ำ

3. การเป่าอากาศแวดล้อมเฉพาะเวลาที่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีค่าไม่สูง และใช้อัตราการไหลของอากาศต่ำ

4. การเป่าอากาศอย่างต่อเนื่องด้วยอากาศแวดล้อม และใช้อัตราการไหลของอากาศสูง

5. การเป่าอากาศอย่างต่อเนื่องด้วยอากาศร้อน และใช้อัตราการไหลของอากาศสูง

วิธีการอบแห้งแบบที่ 1, 2 และ 3 เป็นการอบแห้งแบบช้า การอบแห้งมักใช้เวลาหลายวันหรือหลายสัปดาห์ ส่วนวิธีการอบแห้งแบบที่ 4 และ 5 เป็นการอบแห้งแบบเร็วและมักใช้เวลาการอบแห้งเพียงไม่กี่ชั่วโมงเท่านั้น

วิธีการอบแห้งแบบที่ 1, 3 และ 4 ไม่ต้องการการอุ่นอากาศ แต่วิธีที่ 2 และ 5 ต้องการ โดยที่วิธีที่ 2 จะควบคุมให้ขดลวดความร้อนทำงานเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูงกว่า 75% และวิธีที่ 5 จะอุ่นอากาศให้ร้อนขึ้นกว่าอากาศแวดล้อมประมาณ 15° C. ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิกาศอบแห้งมีค่าประมาณ 45° C. ค่าดังกล่าวเป็นค่าอุณหภูมิสูงสุดที่ยังไม่ทำให้คุณภาพหลังการสีของข้าวเปลือกมีค่าต่ำลง (เรืองศรี, 2521) ในกรณีที่อบแห้งด้วยอัตราการไหลของอากาศต่ำ ค่าอัตราการไหลเท่ากับ 2 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก และความหนาของชั้นข้าวเท่ากับ 1.6 เมตร ค่าอัตราการไหลเปลี่ยนเป็น 15 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก และความหนาของชั้นข้าวเท่ากับ 0.4 เมตร สำหรับกรณีการอบแห้งด้วยอัตราการไหลของอากาศสูง ในการทดสอบแต่ละครั้ง จะทำการวัดอุณหภูมิกาศแวดล้อมทั้งกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียก อุณหภูมิกาศก่อนเข้าชั้นข้าวเปลือก

อุณหภูมิข้าวเปลือกทุก ๆ ระยะ 20 เซนติเมตร โดยใช้ เซอร์โมคัปเปิลต่อเข้ากับ data logger และทำการบันทึก ข้อมูลทุก 1 ชั่วโมง ความละเอียดในการวัดประมาณ $\pm 0.5^{\circ}$ ซ. ส่วนการวัดอัตราการไหลของอากาศใช้ hot wire anemometer ซึ่งสอบเทียบกับ Pitot tube แล้ววัดความเร็วลมในท่อหลาย ๆ จุด แล้วหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการไหล การวัดอัตราการไหลจะทำทุกวัน ๆ ละ 1 ครั้ง การหาความชื้นข้าวเปลือกนั้นใช้ อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแห้งเข้าไปในถังทุก ๆ ระยะ 20 เซนติเมตร แล้วนำตัวอย่างของแต่ละระยะซึ่งมีจำนวน ประมาณ 30 กรัม มาหาความชื้น โดยใช้เตาอบที่ อุณหภูมิ 100° ซ. เป็นเวลา 72 - 96 ชั่วโมง การเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกจะกระทำวันละครั้งสำหรับการอบแห้งแบบในถังเก็บ และประมาณทุก 2 - 3 ชั่วโมง สำหรับการอบแห้งแบบเป็นงวด ส่วนการหาความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในมอเตอร์และขดลวดไฟฟ้าใช้มอเตอร์ บันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้า

ผลและวิจารณ์

ผลการทดลองขณะที่ความชื้นสุดท้ายเฉลี่ยของข้าวเปลือกเท่ากับประมาณ 14% มาตรฐานเปียกแสดงอยู่ใน Table 1 ส่วน Table 2 แสดงผลการทดลองบนสิ้นสุดการทดลองซึ่งความชื้นสุดท้ายอาจมีค่าต่ำกว่า 14% มาตรฐานเปียก Figures 1 - 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นข้าวเปลือกที่ระดับความลึกต่าง ๆ กับเวลาการอบแห้ง Figure 8 และ Table 3 แสดงการสูญเสียพลังงานที่จุดต่าง ๆ ในระบบอบแห้งของการทดลองครั้งนี้

1. เวลาการอบแห้ง

จาก Table 1 พบว่าวิธีการอบแห้งแบบที่ 2 ใช้เวลาในการอบแห้งต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งแบบที่ 1 และ 3 ซึ่งใช้อัตราการไหลของอากาศต่ำเหมือนกัน วิธีการอบแห้งแบบที่ 3 ใช้เวลาอบแห้งยาว

นานที่สุด สำหรับการอบแห้งโดยใช้อัตราการไหลของอากาศสูง พบว่าวิธีการ อบแห้งแบบที่ 4 ใช้เวลา มากกว่าการอบแห้งแบบที่ 5 มาก แต่ทั้งสองวิธีนี้ก็ยังไม่ใช้เวลาน้อยกว่าอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีของการอบแห้งโดยใช้อัตราการไหลของอากาศต่ำ

2. เกรเดียนต์ความชื้น

เมื่อพิจารณา Figures 1, 3 และ 4 ที่ระดับความชื้นข้าวเปลือกเฉลี่ย 14% มาตรฐานเปียก พบว่า การอบแห้งโดยใช้อัตราการไหลของอากาศต่ำทั้ง 3 แบบ มีเกรเดียนต์ความชื้นที่ค่อนข้างสูง ซึ่งคงต้องอาศัยเวลาการอบแห้งที่ยาวนานขึ้น หากว่าต้องการลดความชื้นของข้าวชั้นบนให้ต่ำพอต่อการเก็บรักษาโดยปลอดภัย

Figures 5 - 7 แสดงผลการอบแห้งของกรณีอัตราการไหลของอากาศสูง พบว่า การอบแห้งวิธีที่ 4 ซึ่งใช้อากาศแวดล้อมให้เกรเดียนต์ความชื้นที่น้อยกว่าของการอบแห้งวิธีที่ 5 ซึ่งใช้อากาศร้อน

เมื่อพิจารณา Figures 1 และ 2 อีกครั้งหนึ่ง พบว่าข้าวชั้นล่างมีความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ที่เป็นเช่นนี้เพราะทดลองเป่าอากาศแวดล้อมเฉพาะเวลากลางคืนเท่านั้น จุดมุ่งหมายก็เพื่อลดเกรเดียนต์ความชื้นโดยหวังว่าข้าวชั้นบนจะแห้งลงด้วย แต่จากผลการทดลอง พบว่า ข้าวชั้นบน ๆ เกือบจะไม่แห้งลงเลย ดังนั้นวิธีการลดเกรเดียนต์ความชื้นแบบนี้จึงไม่น่านำมาใช้ในทางปฏิบัติ

3. ความสิ้นเปลืองพลังงาน

พลังงานที่ให้กับระบบอบแห้งแบ่งออกเป็นไฟฟ้า (หรือพลังงานกล) ซึ่งใช้ขับเคลื่อนและความร้อนซึ่งใช้อุ่นอากาศร้อน Figure 8 แสดงการสูญเสียพลังงานที่จุดต่าง ๆ ในระบบอบแห้ง เมื่อพิจารณากรณีของไฟฟ้า จะเห็นว่าจะมีการสูญเสียที่ตัวควบคุมความถี่ของมอเตอร์ จากนั้นจะมีการสูญเสียที่ตัวมอเตอร์และที่ตัวพัดลม ส่วนกรณีของความร้อนจะมีความสูญเสียเกิดขึ้นที่

Table 1 Results of paddy drying. (Final moisture content is about 14% w.b.)

Test no.	5	6	7	8	9	10	11
drying strategy	1	1	3	2	4	5	5
moisture content, % w.b.							
initial	18.30	15.20	18.70	20.60	18.30	19.20	19.20
final, top	16.50	14.90	16.60	16.80	14.70	16.80	17.80
middle	14.50	14.40	13.70	14.00	14.20	12.60	13.60
bottom	11.20	13.40	12.30	11.80	14.10	9.80	10.70
average	14.00	14.20	14.20	14.20	14.30	13.00	13.90
air flow rate (m ³ /min-m ³)	2.27	2.27	2.17	2.21	15.49	15.40	15.40
depth of paddy (m)	1.60	1.60	1.60	1.60	0.40	0.40	0.40
ambient air							
temperature (°C)	27.70	29.40	29.30	29.40	29.70	27.70	27.40
relative humidity (%)	77.30	78.40	65.60	73.80	77.40	65.10	75.90
temperature rise (°C)	1.50	1.20	0.90	2.50	0.70	15.80	15.30
mass of paddy before drying (kg)	410	400	410	420	89	95	97
moisture evaporated (kg)	20.23	4.48	21.65	31.52	4.15	6.85	6.02
drying time (h)	144	48	216	144	42	9	9
energy consumption (MJ/kg H ₂ O)							
- giving to the system and considering in final energy							
mechanical	2.704	3.859	2.113	1.645	4.030	0.551	0.626
heat	-	-	-	0.626	-	3.413	3.647
total	2.704	3.859	2.113	2.272	4.030	3.964	4.277
- not including losses and considering in final energy							
mechanical	1.418	2.027	1.109	0.864	2.340	0.317	0.360
heat	-	-	-	0.517	-	2.363	2.526
total	1.418	2.027	1.109	1.381	2.340	2.680	2.886
- not including losses and considering in primary energy							
total	3.686	5.270	2.883	2.763	6.084	3.187	3.462

Table 2 Results of paddy drying.(At the end of drying experiments)

Test no.	5	6	7	8	9	10	11
drying strategy	1	1	3	2	4	5	5
moisture content, % w.b.							
initial	18.30	15.20	18.70	20.60	18.30	19.20	19.20
final, top	15.20	13.60	13.60	12.90	14.30	13.60	14.50
middle	12.90	12.80	12.60	12.30	13.50	11.20	11.20
bottom	13.10	13.10	12.00	12.00	13.10	9.30	10.10
average	13.70	13.20	12.80	12.40	13.60	11.30	12.10
air flow rate (m ³ /min-m ³)	2.27	2.27	2.17	2.21	15.49	15.40	15.40
depth of paddy (m)	1.60	1.60	1.60	1.60	0.40	0.40	0.40
ambient air							
temperature (°C)	27.40	28.40	29.80	29.40	29.80	27.10	27.10
relative humidity (%)	79.10	75.30	67.50	74.20	76.90	67.80	77.50
temperature rise (°C)	1.60	1.30	0.90	2.60	0.70	15.60	15.40
mass of paddy before drying (kg)	410	400	410	420	89	95	97
moisture evaporated (kg)	21.67	09.21	28.06	39.37	4.78	8.50	7.90
drying time (h)	192	120	384	264	60	12	12
energy consumption (MJ/kg H ₂ O)							
- giving to the system and considering in final energy							
mechanical	3.470	4.612	2.873	2.412	5.422	0.594	0.637
heat	-	-	-	0.986	-	3.431	3.690
total	3.470	4.612	2.873	3.398	5.422	4.025	4.327
- not including losses and considering in final energy							
mechanical	1.822	2.419	1.508	1.267	3.131	0.342	0.367
heat	-	-	-	0.814	-	2.376	2.555
total	1.822	2.419	1.508	2.081	3.131	2.718	2.922
- not including losses and considering in primary energy							
total	4.737	6.289	3.920	4.108	8.141	3.265	3.509

Table 3 Energy losses at various equipments.

Drying technique	Slow drying	Fast drying
air flow rate (m ³ /min-m ³)	2.20	15.40
energy loss (%)		
frequency inverter	30.00	25.00
motor	25.00	23.00
heater control box if using	13.00	13.00
heat loss if air is heated	5.10	20.40

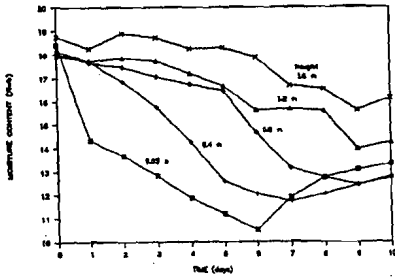


Figure 1. Evolution of measured paddy moisture content, test no. 5/86.

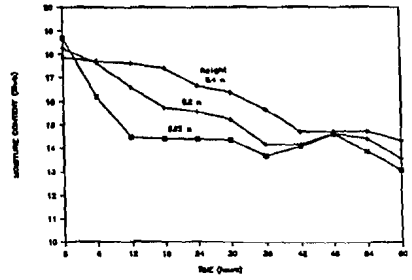


Figure 5. Evolution of measured paddy moisture content, test no. 9/86.

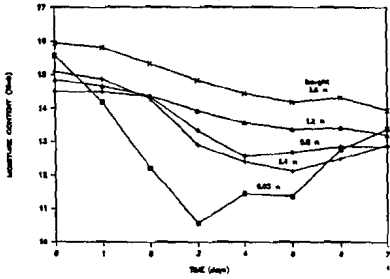


Figure 2. Evolution of measured paddy moisture content, test no. 6/86.

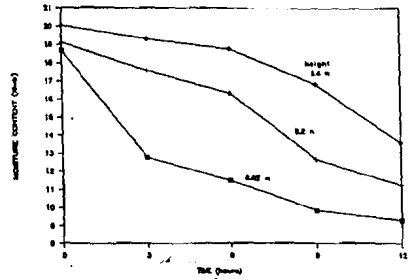


Figure 6. Evolution of measured paddy moisture content, test no. 10/86.

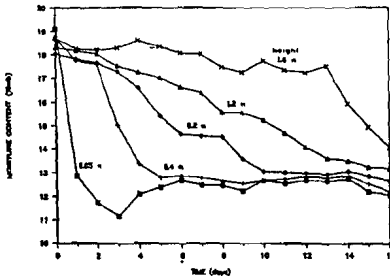


Figure 3. Evolution of measured paddy moisture content, test no. 7/86.

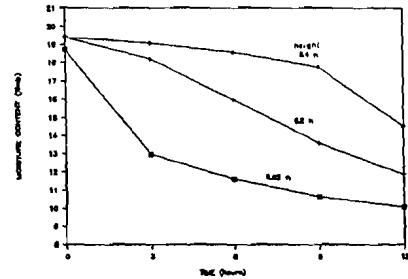


Figure 7. Evolution of measured paddy moisture content, test no. 11/86.

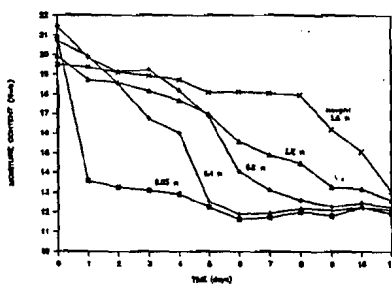


Figure 4. Evolution at measured paddy moisture content, test no. 8/86.

ตัวควบคุมการทำงานของตัวอุ่นอากาศ และการสูญเสียความร้อนจากเครื่องอบไปยังอากาศที่ถูกรอบ ๆ ตัวผสม ปริมาณการสูญเสียพลังงาน แสดงอยู่ใน Table 3 ในทางปฏิบัติ ระบบอบแห้งอาจจะไม่มีตัวปรับความชื้นมอเตอร์และตัวควบคุมการทำงานของตัวอุ่นอากาศ จาก Table 1 ซึ่งแสดงผลการทดสอบการอบแห้ง เมื่อความชื้นสุดท้ายเฉลี่ยมีค่าประมาณ 14% มาตรฐานเปียก พบว่าการทดลองครั้งที่ 6 ซึ่งใช้วิธีการอบแห้ง

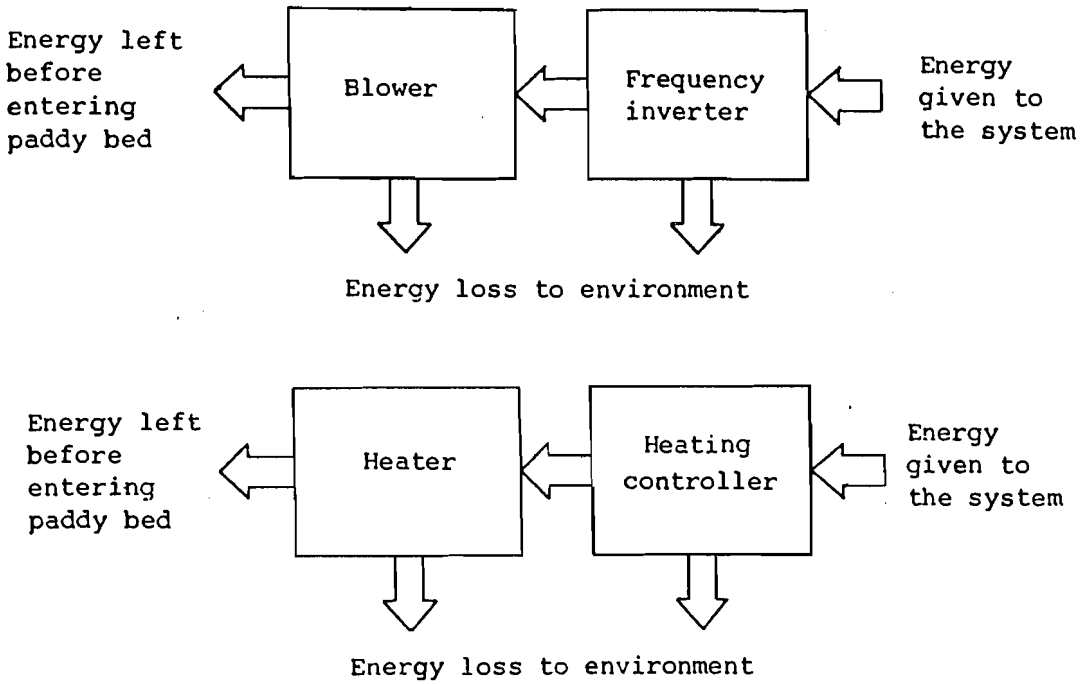


Figure 8. Diagrams showing energy loss.

แบบที่ 1 โดยเป่าอากาศแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง ใช้พลังงานกลจำเพาะสุทธิเท่ากับ 1.418 MJ/kg น้ำที่ระเหยในที่นี้ไม่ได้รวมความสูญเสียที่เกิดขึ้นที่ตัวปรับความถี่และที่ตัวมอเตอร์ไฟฟ้า ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานกลจำเพาะสุทธินี้สูงกว่าของการทดลองครั้งที่ 7 ซึ่งใช้วิธีการอบแห้งแบบที่ 3 โดยเป่าอากาศแวดล้อม เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีค่าต่ำพอ โดยการทดลองครั้งที่ 7 ใช้พลังงานกลจำเพาะสุทธิเท่ากับ 1.109 MJ/kg น้ำที่ระเหย ที่เป็นเช่นนี้เพราะการเลือกช่วงเวลาเป่าอากาศขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าต่ำนั้น ทำให้ได้อากาศที่มีคุณภาพในการอบแห้งสูง สามารถอุ้มน้ำไว้ได้มาก ทำให้การอบแห้งเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ แม้ว่าวิธีการอบแห้งแบบที่ 3 จะสิ้นเปลืองพลังงานน้อย แต่ก็ใช้เวลานานในการอบแห้งที่ยาวนานกว่ามาก ทั้งนี้เพราะมีช่วงเวลาที่ไม่เป่าพัดลมประมาณ 50%

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองครั้งที่ 8 ซึ่งใช้วิธี

การอบแห้งแบบที่ 2 โดยเป่าอากาศที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ไม่ให้เกินค่าที่กำหนดอย่างต่อเนื่อง กับผลการทดลองครั้งที่ 5 ซึ่งเป็นวิธีการอบแห้งแบบที่ 1 พบว่าความสิ้นเปลืองพลังงานรวมสุทธิสุดท้ายมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ทั้งนี้การทดลองครั้งที่ 8 มีข้อได้เปรียบด้านสภาวะอากาศแวดล้อมเล็กน้อย ซึ่งน่าจะเป็นผลให้ความสิ้นเปลืองพลังงานรวมสุทธิสุดท้ายมีค่าต่ำกว่า คือ เท่ากับ 1.381 MJ/kg น้ำที่ระเหยโดยแยกเป็นความร้อน 0.517 MJ/kg น้ำที่ระเหย และพลังงานกล 0.864 MJ/kg น้ำที่ระเหย ในที่นี้ไม่คิดการสูญเสียที่เกิดขึ้นที่ตัวปรับความถี่ มอเตอร์ไฟฟ้า ตัวปรับขดลวดความร้อน และการสูญเสียความร้อนที่ตัวเครื่องอบแห้ง

หากพิจารณาความสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะสุทธิสุดท้ายของการทดลองครั้งที่ 5 และ 6 ซึ่งใช้วิธีการอบแห้งแบบเดียวกัน พบว่าการทดลองครั้งที่ 6 ใช้พลังงานสิ้นเปลืองกว่ามาก ทั้งนี้เป็นเพราะความชื้นเริ่ม

คั้นของเมล็ดข้าวเปลือกมีค่าต่ำกว่า ทำให้โอกาสที่ไหลออกจากเครื่องอบมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำกว่า เพราะสัมพันธ์กับเมล็ดพืชที่แห้งกว่า

ในกรณีของการอบแห้งที่เป่าอากาศอย่างต่อเนื่อง และใช้อัตรการไหลของอากาศสูง การอบแห้งด้วยลมร้อนจะสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะสุทธิสุดท้ายสูงกว่าของการอบแห้งด้วยอากาศแวดล้อม ดังผลการทดลองครั้งที่ 9 และ 11 (Table 1) ซึ่งเท่ากับ 2.340 และ 2.888 MJ/kg น้ำที่ระเหย ตามลำดับ ในการอบแห้งด้วยลมร้อนดังเช่นของการทดลองครั้งที่ 11 พบว่ามีสัดส่วนการใช้ความร้อนสูงมาก คือ 2.526 MJ/kg น้ำที่ระเหย โดยที่ความสิ้นเปลืองพลังงานกลมีค่าเพียง 0.36 MJ/kg น้ำที่ระเหยเท่านั้น

เมื่อเปรียบเทียบการทดลองครั้งที่ 10 และ 11 ซึ่งใช้วิธีการอบแห้งเดียวกัน พบว่าการทดลองครั้งที่ 11 ใช้พลังงานสุดท้ายต่ำกว่าเล็กน้อย เพราะมีข้อได้เปรียบด้านสถานะอากาศแวดล้อม พอสมควร กล่าวคือมีค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศต่ำกว่าประมาณ 10%

เมื่อเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานสุดท้ายระหว่างการอบแห้งที่ใช้อัตรการไหลของอากาศต่ำและสูง พบว่าการอบแห้งโดยใช้อัตรการไหลของอากาศต่ำใช้พลังงานต่ำกว่าประมาณ 1 เท่าตัว

หากพิจารณาความสิ้นเปลืองพลังงานในรูปของพลังงานปรุณภูมิ (ใช้פקเตอร์การเปลี่ยนรูปพลังงาน 2.6) แล้วพบว่า การอบแห้งเกือบทุกวิธีใช้พลังงานปรุณภูมิไม่แตกต่างกันมากนัก ยกเว้นวิธีการอบแห้งแบบที่ 4 ซึ่งใช้พลังงานปรุณภูมิสูงกว่ามาก

Table 2 แสดงผลการทดลองเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งพบว่ามีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น และความชื้นสุดท้ายโดยส่วนใหญ่มีค่าลดลงไปอีกเล็กน้อยเมื่อเทียบกับของ Table 1

สรุป

1. การอบแห้งข้าวเปลือกโดยการเป่าอากาศใกล้แวดล้อมอย่างต่อเนื่อง และใช้อัตรการไหลของอากาศต่ำ ใช้พลังงานในรูปของพลังงานสุดท้ายต่ำกว่าของการอบแห้งด้วยอัตรการไหลของอากาศสูงประมาณ 1 เท่าตัว

2. เมื่อพิจารณาในรูปของพลังงานปรุณภูมิแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างด้านความสิ้นเปลืองพลังงานระหว่างวิธีการอบแห้งแบบต่าง ๆ มากนัก ยกเว้นวิธีการอบแห้งโดยการเป่าอากาศใกล้แวดล้อมอย่างต่อเนื่อง และใช้อัตรการไหลของอากาศสูง ซึ่งใช้พลังงานปรุณภูมิสูงกว่า

3. หากต้องการอบแห้งข้าวเปลือกอย่างช้า ๆ ควรเลือกวิธีการอบแห้งแบบใช้อัตรการไหลของอากาศต่ำ โดยเป่าอากาศเมื่อความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อมมีค่าต่ำพอ หรือเป่าอากาศอย่างต่อเนื่อง แต่อุ่นอากาศให้ร้อนขึ้นเล็กน้อยเฉพาะในช่วงเวลาที่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมมีค่าสูงกว่า 75%

4. หากต้องการเร่งการอบแห้งแล้ว ควรเลือกวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อน และใช้อัตรการไหลของอากาศสูง

ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัย

1. ควรประเมินความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งด้วยวิธีต่าง ๆ

2. ควรพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อจะสามารถศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีต่อการอบแห้งได้อย่างกว้างขวาง

เอกสารอ้างอิง

เรืองศรี สีหะวงษ์. 2521. ข้อมูลจากการทดลองอบแห้งข้าวเปลือก วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ปีที่ 3 ฉบับที่ 1

- สมชาติ ไสภณรณฤทธิ์ และเพชร ปรีชากุล. 2532. การทดสอบการอบแห้งข้าวเปลือกแบบในถังเก็บ และแบบเป็นวง : คุณภาพผลิตภัณฑ์ เอกสาร คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ และคณะ. 2528. การศึกษาความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องอบแห้งข้าวพลังงานแสงอาทิตย์ รายงานส่งสำนักงานพลังงานแห่งชาติ กรุงเทพฯ
- Anon, 1977. Design/Development of farm dryer. Dep. of Agriculture, Ministry of Agriculture and Agricultural Co-operative, Thailand.
- _____. 1978. Operator's manual : IRRI batch dryer and IRRI vertical bin batch dryer. Agricultural Engineering Department, International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philippines.
- Exell R.H.B. and S. Kornsakoo, 1977. A low cost solar rice dryer. Research Report, Asian Institute of Technology, Bangkok.
- Kalchick, S.L., J. Silva, J.C. Rodriguez and F.W. Bakker-Arkema, 1981. On farm corn drying comparison. Trans ASAE 81 (3011).
- Morey, R.V., A.C. Harold and E.L. William, 1976. Practices for the efficient utilization of energy for drying corn. Trans ASAE, pp. 151-155.
- Morey, R.V., R.J. Gustafson and H.A. Cloud, 1978. Energy requirement for high-low temperature drying. Trans ASAE, pp. 562-567.
- Muhlbauer, W. and H. Kuppig, 1981. High-low temperature drying of corn. ASAE paper No. 81-3012, ASAE, St Joseph, Michigan.
- Muhlbauer, W., W. Hofacker and T. Stahl, 1982. Comparison of low-temperature wheat drying management procedures, ASAE paper No. 82-3006, ASAE, St. Joseph, Michigan.
- Soponronnarit, S., W. Watabutr, A. Therdyothin and B. Kunjara, 1986. A drying-storage solar hut : The technical aspect. Renewable Energy Review Journal, Vol. 8, No. 1, pp. 49-60.