การรักษาคุณภาพข้าวเปลือกโดยวิธีระบายอากาศในกองข้าวอย่างเหมาะสมในเขตอากาศร้อนชื้น

MAINTAINING PADDY QUALITY BY APPROPRIATE VENTILANTION UNDER HOT AND HUMID CLIMATES

สมชาติ โสภณรณฤทธิ์*
อดิศักดิ์ นาถกรณกุล*
ไพโรจน์ วงศ์วิโรจน์ธนา**
สมชาย ฉินสกลธนากร**

ABSTRACT

Product quality, drying capacity and energy consumption have to be taken into consideration in drying design. Long period in-store drying of paddy may cause the deterioration of product due to successive fungi, yellowing and dry matter loss. Determination of air flow rate and thickness of grain bed is usually a problem due to time consuming during calculation process. The objectives of this paper are thus to demonstrate the development of a design chart for in-store paddy drying under tropical climates and to investigate appropriate design and operating drying parameters. First of all, a near equilibrium drying model was developed and then effects of heat and moisture liberated from respiration process were included to improve accuracy of the model. Comparative results between experiment and simulation showed that they were in good agreement. Effect of heat liberated from respiration process was found to be significant when the initial moisture content of paddy was high and it was negligible if the initial moisture content was low enough. Then simulation results under various conditions were used to construct four quadrant charts. From them, minimum specific air flow rates (m^3/min-m^3 of grain) which corresponded to the dry matter loss of 0.5% could be found. It was assumed that paddy would remain the same grade as it was at the beginning if the dry matter loss during drying was not higher than 0.5%. The minimum specific air flow rate increased with initial moisture content but decreased with bed thickness. Other interesting values such as pressure drop, specific energy consumption and drying time could also be obtained from the charts. These charts are expected to be useful for designers to reduce calculation time and to help select appropriate design and operating parameters. It was suggested that for the in-store drying of paddy under hot and humidimates, the specific air flow rate should be around 0.5 to 1.0 m^3/min-m^3 of paddy, the bed thickness of 3 to 4 m and the initial moisture content of 18 to 19% wet-basis. In order to minimize energy consumption, ventilation should be done only when inlet air relative humidity was lower than 75%

บทคัดย่อ

การออกแบบระบบอบแห้งต้องคำนึงถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบ ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่สามารถอบได้ และปริมาณพลังงานที่ใช้ การอบแห้งข้าวเปลือกโดยวิธีระบายอากาศในกองข้าวซึ่งใช้ระยะเวลานาน อาจทำให้เกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากเชื้อรา ข้าวเหลือง และสูญเสียมวลแห้ง การหาอัตราการไหลและความหนาของชั้นข้าวที่จะ

* คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ถนนสุขสวัสดิ์ 48 บางมด ราษฎร์บูรณ์ กรุงเทพฯ 10140

** บัณฑิตคณะวิศวกรรมศาสตร์และคณะพลังงานและวัสดุตามลำดับ

อบแห้งให้เหมาะสมมักจะสูญเสียเวลาไปกับการคำนวณมาก งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอแผนภูมิสำหรับการออกแบบการอบแห้งโดยวิธีระบายอากาศในกองข้าวภายใต้ภาวะอากาศร้อนชื้น และเพื่อหาตัวแปรของการดำเนินการอบแห้งและการออกแบบที่เหมาะสม การวิจัยเริ่มจากการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบใกล้สมดุลของข้าวเปลือก ซึ่งแบบจำลองนี้ได้รวมผลกระทบของความร้อนจากการหายใจของเมล็ดพืชเข้าไว้ในแบบจำลองเพื่อเพิ่มความถูกต้องของแบบจำลองให้มากขึ้น จากการเปรียบเทียบผลการอบแห้งจากการทดลองกับแบบจำลองดังกล่าวพบว่า แบบจำลองทำนายผลการอบแห้งได้ใกล้เคียง ความร้อนจากการหายใจของเมล็ดพืชมีผลกระทบต่อการอบแห้งอย่างมากเมื่อความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกมีค่าสูง และไม่มีผลกระทบใด ๆ ถ้าความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกมีค่าต่ำเพียงพอจากความเชื่อถือได้ของแบบจำลองนี้จึงนำมาคำนวณหาผลจากการอบแห้งที่เงื่อนไขต่าง ๆ กัน โดยแต่ละเงื่อนไขของการคำนวณนี้จะกำหนดให้ค่าการสูญเสียมวลแห้งไม่เกิน 0.5% และสมมุติว่าที่ค่าการสูญเสียมวลแห้งไม่เกินค่านี้ ข้าวเปลือกยังคงรักษาคุณภาพไว้ได้ นำผลจากการคำนวณที่ได้จากการกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ มาสร้างเป็นกราฟ 4 ควอดเดรนท์ จากกราฟสามารถหาอัตราการไหลของอากาศจำเพาะ ($m^3/min\text{-}m^3$ ข้าวเปลือก) ต่ำสุดที่อัตราการสูญเสียมวลแห้ง 0.5% ได้ อัตราการไหลของอากาศจำเพาะนี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดพืชที่เพิ่มขึ้น แต่ละลดลงเมื่อความหนาของชั้นเมล็ดพืชเพิ่มขึ้น นอกจากนี้กราฟยังสามารถบอกค่าการสูญเสียความดัน การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ และเวลาในการอบแห้ง จึงเหมาะสำหรับผู้ออกแบบระบบอบแห้งในด้านลดเวลาในการคำนวณ และหาตัวแปรสำหรับการดำเนินการอบแห้งและออกแบบที่เหมาะสมและจากกราฟยังทราบอีกว่า การอบแห้งโดยวิธีระบายอากาศในกองข้าวเปลือกในภาวะอากาศร้อนชื้นควรใช้อัตราการไหลของอากาศจำเพาะประมาณ 0.5 ถึง 1.0 $m^3/min\text{-}m^3$ ข้าวเปลือกที่ความสูงของกองข้าวเปลือกประมาณ 3 ถึง 4 เมตร และความชื้นเริ่มต้น 18 ถึง 19 เปอร์เซนต์มาตรฐานเปียก และในกรณีที่ต้องการประหยัดพลังงานควรระบายอากาศในกองข้าว เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่เข้าสู่กองข้าวเปลือกต่ำกว่า 75% เท่านั้น

บทนำ

การอบแห้งโดยวิธีระบายอากาศในกองข้าวเปลือกเป็นวิธีหนึ่งที่ชั้นเมล็ดพืชอยู่กับที่ระหว่างอบแห้งหรือเก็บรักษา เมล็ดพืชจะถูกทำให้แห้งอย่างช้า ๆ ด้วยอากาศแวดล้อม หรืออากาศแวดล้อมที่เพิ่มอุณหภูมิขึ้นเล็กน้อย การออกแบบระบบอบแห้งแบบนี้จะต้องคำนึงถึงส่วนต่าง ๆ คือ ความหนาของชั้นเมล็ดพืช อัตราการไหลของอากาศ ขนาดของพัดลมและท่อลม เวลาในการอบแห้ง ฯลฯ นอกจากนี้องค์ประกอบอื่น ๆ เช่น การสิ้นเปลืองพลังงาน การสูญเสียมวลแห้งเนื่องจากเมล็ดพืชหายใจ ปริมาณสารพิษที่เกิดขึ้นในระหว่างการอบแห้งและเก็บรักษา ก็เป็นองค์ประกอบที่ต้องพิจารณาค่าต่าง ๆ ที่กล่าวมานี้เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดพืช และอากาศแวดล้อม แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ซับซ้อนประกอบกับบุคลากรที่ได้รับการอบรมจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นในการออกแบบ ซึ่งยังต้องใช้เวลาในการออกแบบเพื่อให้ได้ระบบที่เหมาะสม ดังนั้นกราฟที่สร้างขึ้นจากข้อมูลการอบแห้งที่เพียงพอจะยังประโยชน์อย่างมากสำหรับผู้ออกแบบ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการอบแห้งเมล็ดพืชอาจแบ่งได้เป็น แบบจำลองแบบไม่สมดุล ซึ่งไม่มีความสมดุลระหว่างเมล็ดพืชกับอากาศที่ใช้อบแห้ง (1) แบบจำลองแบบใกล้สมดุลซึ่งสมมุติว่ามีความสมดุลทางด้านความร้อนระหว่างเมล็ดพืชกับอากาศที่ใช้อบแห้ง (2,3) และแบบจำลองแบบสมดุล อัตราการอบแห้งซึ่งคำนวณด้วยแบบจำลองแบบใกล้สมดุลจะลดลงเร็วกว่าแบบจำลองแบบไม่สมดุลเล็กน้อยแต่ใช้เวลาในการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์น้อยกว่ามาก ส่วนแบบจำลองแบบสมดุลเหมาะสมที่จะใช้เฉพาะเมื่ออบแห้งอย่างช้า ๆ ด้วยอากาศแวดล้อม และสามารถบอกค่าได้เฉพาะตำแหน่งที่อบแห้งเท่านั้น ไม่สามารถบอกรูปร่างลักษณะของการอบแห้ง (drying zone) ได้ ในการอบแห้งโดยวิธีระบายอากาศในกองเมล็ดพืชนั้นพลังงานที่ให้กับระบบจะมีเฉพาะพลังงานจากพัดลมเพียงอย่างเดียว ดังนั้นการคำนวณอุณหภูมิของอากาศที่เพิ่มขึ้นขณะที่ไหลผ่านพัดลมและท่อลมจึงมีความสำคัญมากเนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นนี้มีผลต่อ

อัตราการอบแห้งอย่างเห็นได้ชัด ในบางกรณีที่ความชื้นของเมล็ดพืชมีค่ามาก ความร้อนและความชื้นที่มีผลมาจากการหายใจของเมล็ดพืชจำเป็นต้องรวมอยู่ในแบบจำลองด้วย

คุณภาพของเมล็ดพืชโดยทั่วไปขึ้นกับปริมาณความชื้น และคุณสมบัติทางฟิสิกส์บางตัว ได้แก่ การแตกร้าว สี สิ่งเจือปน ฯลฯ

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อสร้างกราฟสำหรับการออกแบบระบบการอบแห้ง โดยวิธีระบายอากาศในกองข้าวเปลือกภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้น และเพื่อหาตัวแปรการดำเนินการอบแห้ง และการออกแบบที่เหมาะสม

อุปกรณ์และวิธีการ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แนวความคิดในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ประกอบด้วยสมการต่างๆ คือ สมการอัตราการอบแห้ง สมการอนุรักษ์มวลและพลังงาน สมการการเปลี่ยนแปลงของเอนทาลปีของอากาศขณะไหลผ่านพัดลม ซึ่งเสนอโดย สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ (4) โดยมีรายละเอียดดังนี้

การอนุรักษ์พลังงานสำหรับชั้นบางของเมล็ดพืช

$$c_a T_o + (2502 + c_v T_o) W_o + R c_{pw} T P_o = c_a T_f + (2502 + c_v T_f) W_f + R c_{pw} T_f \qquad (1)$$

โดยที่ c = ค่าความร้อนจำเพาะ, kJ/kg^{o}C

T = อุณหภูมิของอากาศ, ^{o}C

TP = อุณหภูมิของเมล็ดพืช, ^{o}C

W = ความชื้นสัมบูรณ์, kg H_2O/kg dry air

R = อัตราส่วนของมวลเมล็ดพืชแห้งต่อมวลอากาศแห้ง, kg dry matter/kg dry air

และ สัญลักษณ์กำกับล่าง

a = อากาศแห้ง

f = หลังอบแห้ง

o = ก่อนอบแห้ง

pw = เมล็ดพืชเปียก

v = ไอน้ำ

การอนุรักษ์มวลสำหรับชั้นบางของเมล็ดพืช

$$W_f - W_o = (M_o - M_f) R \qquad (2)$$

โดยที่ M = ความชื้นของเมล็ดพืช, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง

การอบแห้งชั้นบาง

สมการการอบแห้งชั้นบางใช้สมการซึ่งพัฒนาโดย Agrawal และ Singh (5)

สมดุลพลังงานที่พัดลม

$$m(c_a + c_v W_o)\Delta T_f = \frac{mP}{\rho_a \eta_f} \quad (3)$$

โดยที่ m = อัตราการไหลของมวลของอากาศแห้ง, kg/s
ΔT_f = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากพัดลม, °C
ρ_a = ความหนาแน่นของอากาศแห้ง, kg/m3
P = ความดันรวม, Pa
η_f = ประสิทธิภาพของพัดลม, เศษส่วน

การสูญเสียมวลแห้ง ความร้อนและความชื้นจากการหายใจของเมล็ดพืช

สมการอธิบายปฏิกริยาทางเคมีของกระบวนการหายใจของเมล็ดพืช สามารถเขียนได้ในรูป (6)

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O(1) + 2.831MJ$$

เมื่อ 1 กิโลกรัมของมวลแห้งถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจน 1.07 กิโลกรัม จะได้คาร์บอนไดออกไซด์ 1.47 กิโลกรัม น้ำ 0.6 กิโลกรัม และให้ความร้อนออกมา 15.778 MJ เพื่อความถูกต้องของแบบจำลองการอบแห้งจึงควรรวมความร้อนและความชื้นที่เกิดจากการหายใจนี้เข้าในแบบจำลอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีอบแห้งเมล็ดพืชที่มีความชื้นสูงอย่างช้า ๆ ดังนั้นจึงนำสมการการสูญเสียมวลแห้งที่พัฒนาโดย Seib et al. (7) มาใช้ โดยที่ความร้อนและความชื้นจากการหายใจของ เมล็ดพืชสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\Delta T_h = 15778DML / c_{pw} \quad (4)$$

$$\Delta M_h = 0.6DML \quad (5)$$

โดยที่ ΔT_a = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของเมล็ดพืช, °C
ΔM_h = ความชื้นที่เพิ่มขึ้นของเมล็ดพืช, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง
DML = มวลแห้งที่สูญเสีย, เศษส่วน

เพื่อที่จะทำให้การคำนวณเป็นไปได้ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องใช้สมการสถานะของอากาศชื้น ซึ่งในบทความนี้ใช้สมการที่พัฒนาโดย Wilhelm (8)

การทดลอง

เพื่อที่จะหาความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จึงได้ทดลองอบแห้งข้าวเปียกในถังที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.75 เมตร ความสูงของชั้นเมล็ดพืช 1.6 เมตร การวัดความชื้นของเมล็ดพืชจะวัดทุก ๆ ช่วง 20 เซนติเมตร วิธีอบในตู้อบที่มีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง การวัดอุณหภูมิจะวัดที่จุดเดียวกันกับจุดวัดความชื้น โดยใช้

เทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K ต่อเข้ากับเครื่องอ่านข้อมูลซึ่งมีความถูกต้อง ±1 องศาเซลเซียส ความเร็วของอากาศวัดโดยใช้ hot wire anemometer

การสร้างกราฟสำหรับช่วยออกแบบ

เนื่องจากความไม่สะดวกในการออกแบบระบบอบแห้งเมล็ดพืชดังได้กล่าวมาแล้ว จึงได้สร้างกราฟสำหรับช่วยออกแบบ ในงานวิจัยนี้ได้สร้างกราฟสำหรับช่วยออกแบบการอบแห้งโดยวิธีระบายอากาศในกองข้าวเปลือก โดยสมมุติว่าเมล็ดข้าวเปลือกยังคงรักษาคุณภาพไว้ได้ถ้าการสูญเสียมวลแห้งน้อยกว่า 0.5% ดังนั้นในการคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยคอมพิวเตอร์ในแต่ละครั้งจะใช้เงื่อนไขการสูญเสียมวลแห้งที่ 0.5% ความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้งเท่ากับ 14% มาตรฐานเปียก ผลจากการคำนวณได้ว่าอัตราการไหลที่สัมพันธ์กับการสูญเสียมวลแห้ง 0.5% เป็นค่าต่ำสุดสำหรับการรักษาข้าวเปลือก การคำนวณการสูญเสียความดันของระบบในแบบจำลองหาได้โดยสมมุติว่ามีค่า 1.5 ท่าของการสูญเสียความดันในชั้นเมล็ดพืช โดยต้องไม่มากกว่า 1500 Pa การคำนวณความดันนี้ใช้ข้อมูลการสูญเสียความดันซึ่งพัฒนาโดย Shedd (9) นอกจากนี้ในแบบจำลองมีการคำนวณเวลาของการอบแห้งและการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ซึ่งค่าเหล่านี้ขึ้นกับความหนาของชั้นเมล็ดพืชและความชื้นเริ่มต้น นำผลลัพธ์ต่างๆ ที่ได้จากแบบจำลองมาสร้างเป็นกราฟ 4 ควอดเดรนท์เพื่อช่วยในการออกแบบระบบอบแห้ง

ผลและการวิเคราะห์

<u>การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการคำนวณจากแบบจำลอง</u>

รูปที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบโปรไฟล์ความชื้นระหว่างการทดลองกับแบบจำลอง โดยที่แบบจำลองจะแบ่งเป็น 2 กรณี คือ แบบรวมและไม่รวมผลกระทบจากความร้อนและความชื้นจากการหายใจของเมล็ดพืช พบว่าแบบจำลองมีความถูกต้องมากขึ้นเมื่อรวมผลกระทบของความร้อนจากการหายใจของเมล็ดพืชเข้าในแบบจำลอง โดยเฉพาะที่ชั้นบนซึ่งเกิดการอบแห้งหลังสุด ในกรณีที่ความชื้นเริ่มต้นมีค่าต่ำ (ไม่ได้แสดงในบทความนี้) ความถูกต้องของแบบจำลองจะไม่ต่างกัน เนื่องจากเมล็ดพืชที่ถูกอบแห้งมีการหายใจในระดับต่ำ รูปที่ 2 แสดงโปรไฟล์ของอุณหภูมิพบว่า ผลจากแบบจำลองและการทดลองมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน แบบจำลองที่รวมผลกระทบของความร้อนจากการหายใจของเมล็ดพืชทำนายอุณหภูมิได้สูงกว่าแบบที่ไม่รวมเล็กน้อย โดยแตกต่างกันน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับความถูกต้องของเครื่องมือวัด

<u>กราฟช่วยออกแบบ</u>

รูปที่ 3 แสดงผลการคำนวณจากแบบจำลองในกราฟ 4 ควอดเดรนท์ในกรณีที่ระบายอากาศแบบต่อเนื่อง โดยใช้ข้อมูลของอากาศในเดือนกันยายน พ.ศ.2531 ซึ่งเป็นเดือนที่สภาพอากาศไม่เหมาะสมต่อการอบแห้งมากที่สุดในช่วง 5 ปี ความชื้นหลังการอบ14 % มาตรฐานเปียก และการสูญเสียมวลแห้ง 0.5 % จากกราฟพบว่าอัตราการไหลของอากาศต่ำสุดเพิ่มขึ้นตามค่าความชื้นเริ่มต้น แต่ลดลงเมื่อความหนาของชั้นเมล็ดพืชเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีค่าอื่น ๆ ที่สำคัญที่ได้จากกราฟนี้ เช่นค่าความดันลด เวลาในการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานผลการคำนวณจากแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลของอากาศในเดือนกันยายน พ.ศ.2535 ซึ่งเป็นเดือนที่สภาพอากาศเหมาะสมต่อการอบแห้งมากที่สุดในช่วง 5 ปี พบว่าให้ผลทำนองเดียวกันกับกรณีแรกซึ่งมีค่าการสิ้นเปลืองพลังงานต่ำกว่าเล็กน้อย

รูปที่ 4 แสดงผลการคำนวณจากแบบจำลองในกราฟ 4 ควอดเดรนท์ ในกรณีที่ระบายอากาศแบบเป็นช่วง ๆ พบว่า เป็นไปในทำนองเดียวกันกับรูปที่ 3 ซึ่งมีค่าอัตราการไหลของอากาศต่ำสุดสูงกว่าเล็กน้อย แต่ค่าการสิ้นเปลืองพลังงานลดลงอย่างเห็นได้ชัดในกรณีที่สภาพอากาศไม่เหมาะสมต่อการอบแห้ง

สรุปผล

งานวิจัยนี้สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้มีดความถูกต้องและจะมีความถูกต้องเพิ่มขึ้นเมื่อรวมผลกระทบของความร้อนและความชื้นจากการหายใจของเมล็ดพืชเข้าในแบบจำลองด้วย โดยเฉพาะในกรณีที่ความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดพืชมีค่าสูง

2. กราฟช่วยออกแบบมีประโยชน์ต่อผู้ออกแบบระบบอบแห้งแบบระบายอากาศในกองข้าวเปลือกภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้นกราฟนี้จะช่วยในการหาตัวแปรการดำเนินการอบแห้งและออกแบบที่เหมาะสม

3. จากกราฟช่วยออกแบบสรุปได้ว่าการอบแห้งแบบระบายอากาศในกองข้าวเปลือกภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้นมีความเป็นไปได้โดยที่ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกต้องไม่สูงมากเกินไป เพราะความหนาของชั้นเมล็ดพืชเมื่ออบแห้งจะลดลงและอาจจะบางเกินไปจนไม่เหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ในการเก็บรักษา และอาจถือเป็นข้อเสนอแนะได้ว่าอัตราการไหลของอากาศจำเพาะควรมีค่าประมาณ 0.5 ถึง 1.0 m3/min-m3 ข้าวเปลือก ความหนาของชั้นข้าวเปลือกอยู่ในช่วง 3 ถึง 4 เมตร และค่าความชื้นเริ่มต้นประมาณ 18-19% มาตรฐานเปียก ในกรณีที่ต้องการประหยัดพลังงานในการอบควรระบายอากาศในกองข้าวเปลือกเมื่อความชื้นความชื้นสัมพันธ์ของอากาศที่ไหลเข้าสู่กองข้าวเปลือกต่ำกว่า 75%

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ Australian Centre for International Agricultural Research และ กองส่งเสริมเทคโนโลยี สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ที่ให้เงินสนับสนุนการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. Brooker, D.B., Bakker-Arkema, F.W., and Hall, C.W. 1974. Drying cereal grains, AVI, 265 p.
2. Bakker-Arkema, F.W., Becker, S. and Brooker, D.B. 1977. Feasibility of solar energy grain drying in Missouri and Michigan. Paper presented at the 1977 annual meeting, ASAE, St. Joseph, Michigan.
3. Thompson, T.L., Peart, R.M. and Foster, G.H. 1968. Matematical simulation of corn drying-a new model. Trans. ASAE, 11 (4), 582-586.
4. Soponronnarit, S. 1988. Energy model of grain drying system. ASEAN Journal on Science and Technology for Development, 5(2), 43-68.
5. Agrawal, Y.C. and Singh, R.P. 1977. Thin-layer drying studies on short-grain rough rice. ASAE paper no. 77-3531, ASAE, St.Joseph, MI
6. Weast, R.C. and Melvin, J.A. 1982. Handbook of chemistry and physics, 63rd ed., CRC Press, Inc., Florida, 1982-1983, D-283.
7. Seib, P.A., Pfost, H.B., Sukaboi, A., Rao, V.S. and Burroughs, R.B. 1980. Spoilage of rough rice as measured by carbon dioxide evolution. Proceeding 3rd ASEAN Seminar on Grain Postharvest Technology.
8. Wilhelm, L.R. 1976. Numerical calculation of psychrometric properties in SI units. Trans. ASAE,19(2), 318-321, 325.
9. Shedd, C.K. 1953. Resistance of grains and seeds to air flow. Agricultural Engineering, 34, 616-619.

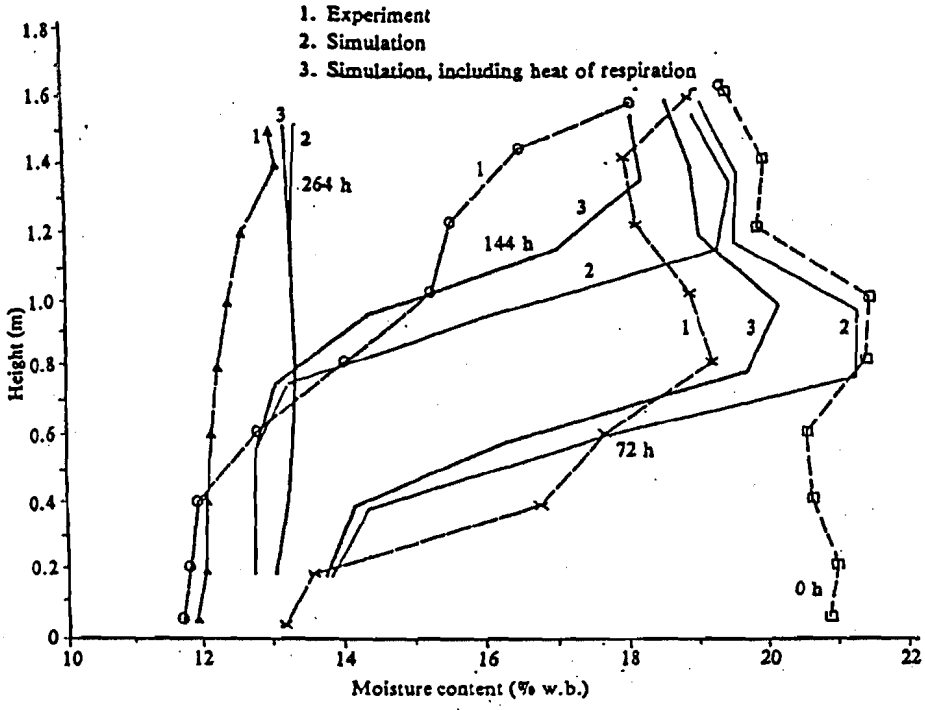

Fig 1. Simulated and measured moisture profiles, test no. 8

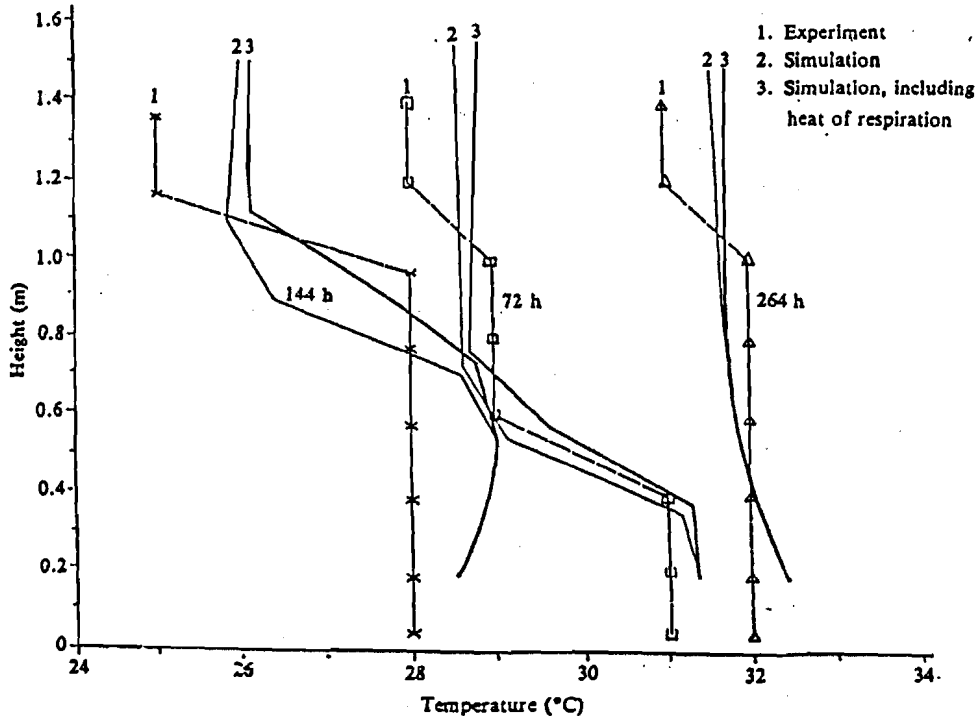

Fig. 2 Simulated and measured temperature profiles, test no. 8

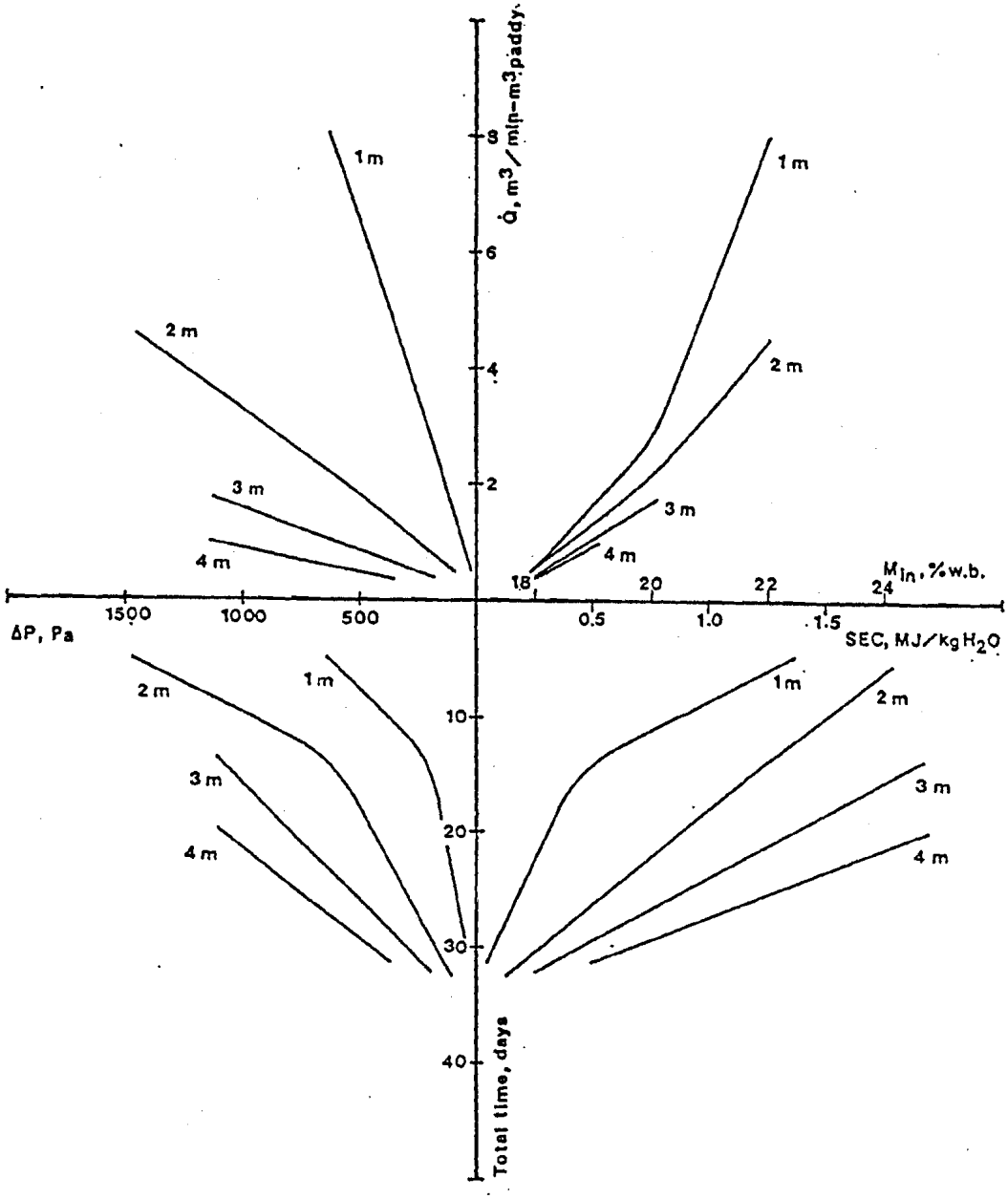

Figure 3 Design chart for in-store paddy drying (continuous ventilation), ambient mean temperature = 28.2 C, ambient relative humidity = 81.5 %, dry matter loss = 0.5 %

Min = initial moisture content

$\dot{Q}$ = air flow rate for 0.5 % dry matter loss

ΔP = total pressure drop

SEC = specific energy consumption

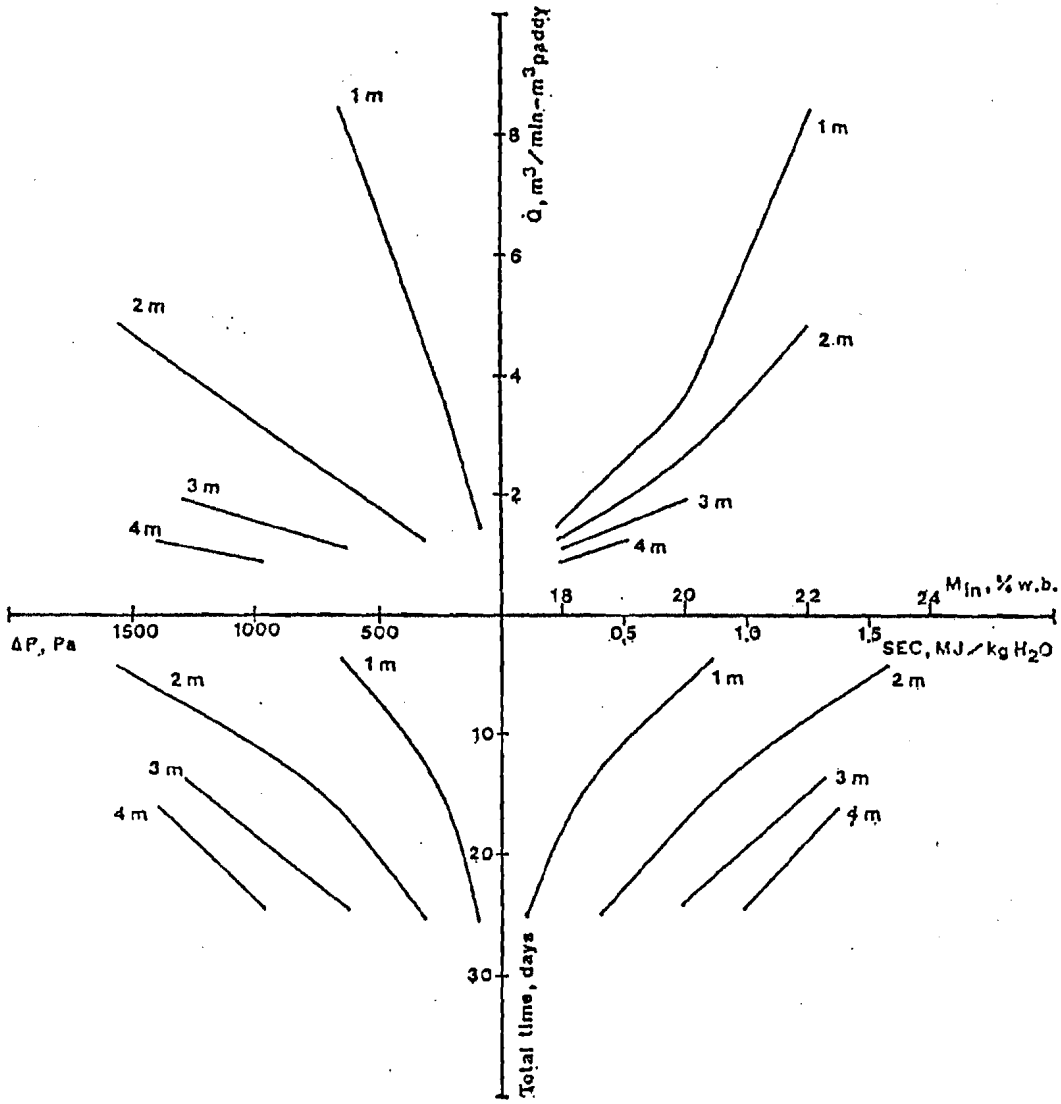

Figure 4 Design chart for in-store paddy drying (intermittent ventilation), inlet relative humidity below 75 %, ambient mean temperature = 28.2 C, ambient relative humidity = 81.5 %, dry matter loss = 0.5 %

Min = initial moisture content

$\dot{Q}$ = air flow rate for 0.5 % dry matter loss

ΔP = total pressure drop

SEC = specific energy consumption