

การอบแห้งกากมะพร้าวด้วยเทคนิคฟลูอิดไอเซชัน

Drying of Copra Meal by Fluidization Technique

จุมพล แซ่เอี่ยม และ ผศ. มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330
โทร 0-2218-0006-7 E-mail:jua1980@hotmail.com

Jumpon SAE-AIEM and Asst. Prof. Mingsak TANGTRAKUL
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
Payathai Rd., Patumwan Bangkok 10330, Thailand
Tel. 0-2218-0006-7 E-mail:jua1980@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งของกากมะพร้าวด้วยเทคนิคฟลูอิดไอเซชัน และเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายความชื้นของกากมะพร้าวจากการทดลองอบแห้งในเครื่องทดลองฟลูอิดไอเซชันขนาด 20x20 cm ที่อุณหภูมิอบแห้ง 80, 105 และ 130 °C ความเร็วอากาศ 1.5, 2.0 และ 2.5 m/s ที่ความชื้นเริ่มต้นกากมะพร้าว 55 – 60% มาตรฐานเปียก จนถึงความชื้นสุดท้าย 3% มาตรฐานเปียก ผลการทดลองพบว่าปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งได้แก่ อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเบด และอัตราการไหลอากาศจำเพาะ (อัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลอากาศต่อมวลแห้งของกากมะพร้าว) ผลจากการศึกษาหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้งสามแบบ พบว่าแบบจำลองรูปแบบสมการ Page สามารถทำนายความชื้นจากการอบแห้งใกล้เคียงผลการทดลองที่สุด

คำหลัก กากมะพร้าว, อบแห้ง, ฟลูอิดไอเซชัน

Abstract

This research investigates parameters affecting the copra meal drying rate by fluidization technique. Mathematical models were compared and the best chosen to predict the moisture content of copra meal. Experiments were done in fluidized bed with a 20x20 cm column at drying air temperatures of 80, 105 and 130 °C and velocities of 1.5, 2.0 and 2.5 m/s. Initial moisture content of copra meal at 55-60% wet-basis was reduced to about 3% wet-basis. Experimental results showed the parameters affected the drying rate were the air temperature before entering the bed and specific air flow rate (ratio of air flow rate to dry mass of copra meal). Comparing among three drying models, the

predicted values from Page's model is closest to the experimental data.

Keywords: Copra meal, Coconut, drying, fluidization

1. บทนำ

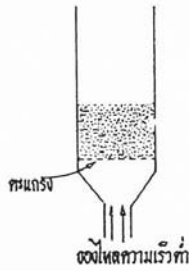
โรงงานผลิตน้ำกะทิในปัจจุบันจะมีกากมะพร้าวที่หลงเหลือจากการผลิตน้ำกะทิเป็นจำนวนมาก โดยกากมะพร้าวเหล่านี้สามารถนำมาอบแห้งลดความชื้นให้ไม่เกิน 3% เพื่อนำมาผลิตเป็นส่วนประกอบของอาหารสัตว์ และถ้ามีการควบคุมความสะอาดก็จะนำมาเป็นส่วนประกอบอาหารของมนุษย์ได้

การอบแห้งแบบฟลูอิดไอเซชัน เป็นการอบแห้งแบบให้วัตถุที่ต้องการอบแห้งมีพฤติกรรมคล้ายของไหล กากมะพร้าวจะไหลออกจากเครื่องอบแห้งได้เอง ทำให้มีอัตราการอบแห้งสูง และผลิตภัณฑ์ที่จะมีความชื้นสม่ำเสมอมากกว่า เนื่องจากการผสมกันอย่างสมบูรณ์ขณะเกิดฟลูอิดไอเซชัน

โดยงานวิจัยนี้จะใช้เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องอบแห้งฟลูอิดไอเซชันสำหรับอบแห้งกากมะพร้าวให้มี ประสิทธิภาพสูงที่สุดจากสมการทำนายความชื้นกากมะพร้าวหลังการอบแห้ง

2. ทฤษฎี

ฟลูอิดไอเซชัน[1] คือ การที่ของแข็งที่มีลักษณะเป็นเม็ดหรือเป็นชิ้นสัมผัสกับของไหลแล้วเม็ดของแข็งนั้นมีคุณสมบัติคล้ายของไหล จากรูปที่ 1 ตอนแรกเม็ดของแข็งจะถูกวางไว้บนตะแกรงในหอยทาลอง ของไหลที่ใช้จะเป็นก๊าซหรือของเหลวปล่อยให้ผ่านทางด้านล่างของตะแกรง ไหลผ่านชั้นเม็ดของแข็งแล้วไหลออกทางด้านบน เมื่อเพิ่มความเร็วของไหลให้มากขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุดหนึ่งซึ่งเม็ดของแข็งจะขยับตัวและลอยตัวเป็นชั้นอิสระในของไหล เราเรียกของแข็งในสถานะนี้ว่า “ฟลูอิดไอเซชัน”



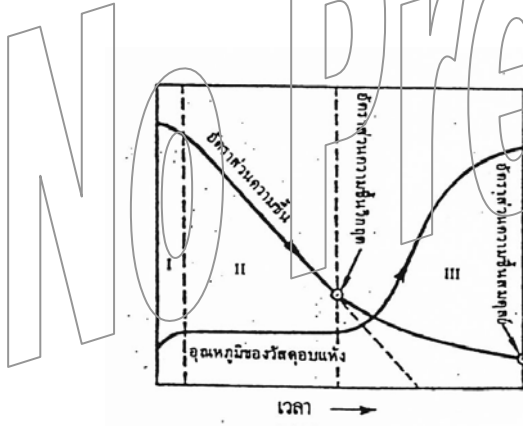
รูปที่ 1 ลักษณะของฟลูอิดเซชัน[1]

จากรูปที่ 2 แสดงเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง ดังนี้

I. ช่วงการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่วัสดุ ช่วงนี้พลังงานความร้อนจากอากาศร้อนจะใช้ในการระเหยความชื้นและใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุจนเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศร้อนในห้องทดลอง ทำให้อัตราการอบแห้งต่ำ

II. ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ ความร้อนจากอากาศร้อนที่วัสดุได้รับจะใช้ในการระเหยความชื้นเท่านั้น

III. ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ช่วงนี้ความชื้นที่ผิววัสดุได้ระเหยไปหมดแล้ว เหลือแต่ความชื้นที่อยู่แกนกลางของวัสดุ ซึ่งอัตราการแพร่ของความชื้นจากแกนกลางมาที่ผิวของวัสดุช้ากว่าอัตราการระเหยของความชื้นที่ผิว ทำให้มีอัตราการอบแห้งต่ำ



รูปที่ 2 เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง[2]

3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การอบแห้งเมล็ดพืชส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง โดยได้มีการนำแบบจำลองในทางทฤษฎีมาอธิบายการแพร่ของน้ำภายในเนื้อวัสดุ แต่สมการอบแห้งในทางทฤษฎีอธิบายผลการทดลองได้ไม่ถูกต้องนัก จึงได้มีการใช้สมการทำนายความชื้นของวัสดุหลังอบแห้ง โดยจะอยู่ในรูปของสมการอัตราส่วนความชื้นถดถอย (moisture ratio, dimensionless) ดังนี้

$$MR = \frac{M(t) - M_e}{M_{in} - M_e} \quad (1)$$

แบบจำลองลอการิทึมมิก (Exponential model) เป็นแบบจำลองหนึ่งที่ใช้อธิบายอัตราการอบแห้ง โดยมีสมมติฐานของแบบจำลองว่า

อัตราการลดลงของความชื้นผลิตภัณฑ์แปรโดยตรงกับความแตกต่างของความชื้นของผลิตภัณฑ์และความชื้นสมดุลซึ่งคล้ายกับกฎการเย็นตัวของ Newton รูปสมการเป็นดังนี้

$$MR = \exp(-kt) \quad (2)$$

แบบจำลองของ Page[3] เป็นสมการออบแห้งเอมไพริคัลที่ปรับปรุงมาจากสมการที่ (2) โดยมีรูปสมการดังนี้

$$MR = \exp(-xt^n) \quad (3)$$

สมการ exponential เทอมเดียวเป็นสมการออบแห้งเอมไพริคัลมีรูปสมการดังนี้

$$MR = x \exp(-yt) \quad (4)$$

สมการ exponential สองเทอม เป็นสมการออบแห้งเอมไพริคัลสองเทอมมีรูปแบบสมการดังนี้

$$MR = x_1 \exp(-y_1 t) + x_2 \exp(-y_2 t) \quad (5)$$

โดยที่ $k, x, x_1, x_2, y, y_1, y_2$ เป็นค่าคงที่ของการอบแห้งที่ได้จากการทดลอง โดย ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเร็วอากาศและความสูงเบต ซึ่งความเร็วอากาศสามารถรวมเข้ากับความเร็วอากาศและความสูงเบตใหม่เรียกว่า "อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ(SP)" ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนของอัตราการไหลของอากาศต่อหนึ่งหน่วยมวลแห้งของเมล็ดพืช

4. อุปกรณ์การทดลอง

อุปกรณ์การทดลองและเครื่องมือวัดในการทดลอง ได้ติดตั้งตามตำแหน่งตามแสดงใน diagram รูปที่ 3 โดยที่ T1, T2 และ T3 แสดงตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิแวดล้อม, อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องทดลองและอุณหภูมิอากาศที่ออกจากเครื่องทดลองตามลำดับ P1 และ P2 แสดงตำแหน่งติดตั้งமானิเตอร์แบบเอียงเพื่อวัดค่าความดันตกคร่อมเบต และ V1 แสดงตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร็วอากาศ เครื่องทดลองอบแห้งฟลูอิดเซชันเบตทำจากอลูมิเนียมแผ่นมีโครงสร้างเป็นเหล็กฉากขนาดกว้าง 20 cm ยาว 20 cm สูง 100 cm หุ้มด้วยฉนวนความหนา 1 นิ้ว และมีประตูด้านข้างเพื่อสำหรับนำกากมะพร้าวออกจากเครื่องทดลอง โดยตะแกรงกระจายลม ใช้แผ่นสแตนเลสเจาะรูขนาด 0.4 mm แต่ละรูห่างกัน 0.9 mm

5. วิธีการทดลอง

การทดลองอบแห้งกากมะพร้าวจะทดลองที่ความชื้นเริ่มต้น 55% มาตรฐานเปียก จนถึง 3% มาตรฐานเปียก ที่ความเร็วอากาศ 1.5, 2.0 และ 2.5 m/s ความสูงเบต 8, 12 และ 16 cm อุณหภูมิอากาศ 80, 105 และ 130 °C

6. วิเคราะห์ผลการทดลอง

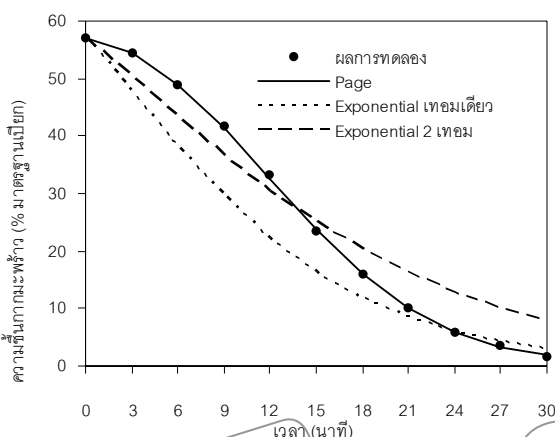
สำหรับผลการทดลองอบแห้งกากมะพร้าว ได้แบ่งเป็นหัวข้อย่อยได้ดังนี้

6.1 อิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการอบแห้ง

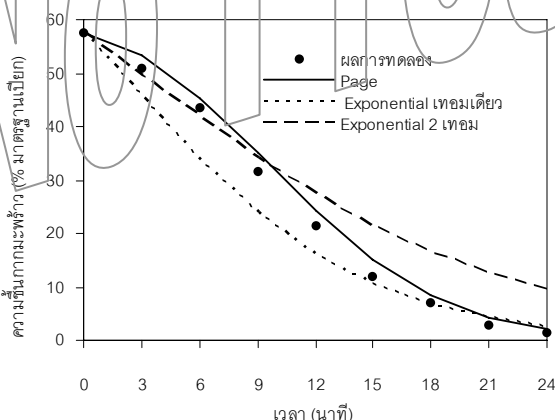
อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการอบแห้ง พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องทดลองสูงขึ้น อัตราการอบแห้งจะสูงขึ้นเนื่องจากอัตราการระเหยของน้ำของกากมะพร้าวเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ

รูปแบบสมการ Exponential เทอมเดียว แต่ยังไม่ใกล้เคียงกับผลการทดลองเท่าที่ควร สำหรับช่วงท้ายการทดลองไม่สามารถทำนายความชื้นได้ถูกต้อง โดยจะมีความชื้นสุดท้ายสูงกว่าผลการทดลองมาก

- รูปแบบสมการ Page[3] สามารถทำนายความชื้นได้ดีทั้งในช่วงการให้ความร้อนเบื้องต้น ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ดังนั้นการทดลองนี้ จึงเลือกใช้รูปแบบสมการอบแห้งของ Page[3] มาทำนายผลการทดลอง



รูปที่ 4 ผลการทำนายความชื้นจากสมการทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับผลการทดลอง ที่อุณหภูมิ 80 °C ความเร็วอากาศ 1.61 m/s ความสูงเบต 12 cm



รูปที่ 5 ผลการทำนายความชื้นจากสมการทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับผลการทดลอง ที่อุณหภูมิ 105 °C ความเร็วอากาศ 1.87 m/s ความสูงเบต 16 cm

7. สรุปผลการทดลอง

7.1 ความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดเซชัน ณ อุณหภูมิห้อง ที่ความชื้นกากมะพร้าวเริ่มต้น 55%, 35%, 20% และ 5% มาตรฐานเปียก มีค่าประมาณ 1.05, 1.0, 0.9 และ 0.6 m/s ตามลำดับ

7.2 ตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง ได้แก่ อุณหภูมิอากาศที่ใช้อบแห้ง และความสูงเบตกับอัตราการไหลของอากาศซึ่งแสดงอยู่ในรูปอัตราการไหลจำเพาะของอากาศ โดยที่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นจะทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น แต่ไม่สามารถเพิ่มเกินกว่า 140 °C เพราะจะทำให้กากมะพร้าวเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ในขณะที่เมื่ออัตราการไหลจำเพาะของอากาศสูงขึ้นนั้นคือเพิ่มความเร็วอากาศหรือลดความสูงของเบตจะทำให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้น เพราะปริมาณอากาศต่อปริมาณกากมะพร้าวสูงขึ้น

7.3 จากการทดลองหาสมการทำนายความชื้นของกากมะพร้าว ซึ่งได้จากเทคนิคสมการถดถอย พบว่ารูปแบบสมการของ Page[3] สามารถทำนายความชื้นได้ใกล้เคียงกับผลการทดลองมากที่สุด โดยสามารถทำนายความชื้นได้ดีในช่วงอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องอบแห้ง 80 – 130 °C อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 0.1044 – 0.3150 kg/s-kg dry matter ซึ่งมีรูปแบบสมการดังนี้

$$MR = \exp(-xt^y)$$

$$x = -0.195801 - 0.000694T - 0.064124(SP) + 0.007385(SP \cdot T) - 0.099971 \ln(SP)$$

$$y = 4.273901 + 0.016115T + 0.607112(SP) - 0.078101(SP \cdot T) + 1.623443 \ln(SP)$$

8. รายการอ้างอิง

- [1] สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ. 2528. ฟลูอิดเซชัน, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [2] วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล. 2530. อุปกรณ์อบแห้งในอุตสาหกรรม. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
- [3] Page G. E. (1949). Factors influencing the maximum rates of air drying corn in thin layers. M.S. Thesis. Purdue University. West Lafayette. IN.
- [4] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2521 กากเนื้อมะพร้าวแห้งที่ใช้เป็นอาหารสัตว์. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ
- [5] Kunii D. and Levenspiel O. 1977. Fluidization engineering. Robert E. Krieger publishing company.
- [6] Wang C.Y. and Singh R.P. 1978. A Single Layer Drying Equation for Rough Rice. ASAE paper No. 70-3001. St. Joseph. ASAE

อักษรย่อและสัญลักษณ์

MR คือ อัตราส่วนความชื้นไร้หน่วย

M(t) คือ ความชื้นที่เวลา t, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง

M_e คือ ความชื้นสมดุล, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง

M_{in} คือ ความชื้นเริ่มต้น, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง

T คือ เวลาการอบแห้ง, นาที

SP คือ อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ, kg/s-kg dry matter

T คือ อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องอบแห้ง, °C