

การศึกษาการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด A Study of Fluidized Bed Corn Drying

วัชรินทร์ ดงบัง * รัตติชัย ไตรรัตนศิริชัย ** และ มานิต สุจันงค์ **

* นักศึกษาปริญญาโท, ** อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

E-mail watcharin01@hotmail.com

Watcharin Dongbang * Asso Prof. Kittichai Trirattanasirichai ** and Manit Sujumnong **

* Graduate Student, ** Lecturer, Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering, Khon Kaen University

E-mail watcharin01@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้ นำเสนอผลการศึกษาเกี่ยวกับการอบแห้งเมล็ดข้าวโพด โดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด เมล็ดพืชที่ทำการศึกษาคือ ข้าวโพดพันธุ์ ไทนาน 9 ซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 65 %wb. อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเครื่องอบแห้งที่ได้ทำการศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 70 , 80 และ 90°C เพื่อทำการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดให้มีความชื้นสุดท้ายประมาณ 15 %wb ผลจากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิของลมร้อนขาเข้าเครื่องอบแห้งมีอิทธิพลต่อระยะเวลาในการอบแห้ง กล่าวคือ ที่ระดับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 70 , 80 และ 90°C ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งเป็น 120 , 85 และ 70 min ตามลำดับ ข้อมูลจากการศึกษาได้นำมาอธิบายความสัมพันธ์เบื้องต้น ระหว่างอัตราการลดความชื้น ($\overline{MR}$) อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเครื่องอบแห้ง และ ระยะเวลาในการอบแห้งดังนี้

$$\overline{MR} = A \exp(-kt)$$

ผลการศึกษาที่ความสูงของเบด 10 cm. พบว่า ความเร็วลมร้อนขาเข้าที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เบดมีค่า 5.25 m/s และความดันลดในเบดประมาณ 490.5 Pa

คำสำคัญ : เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด การอบแห้งเมล็ดข้าวโพด

Abstract

This paper reveals the study of a fluidized bed drying system. Corn used as the testing grain with initial moisture content 65 %wb. The drying system applied 3 levels of air-input

temperature, namely 70 , 80 and 90°C. Final grain moisture content was dropped down to 15%wb. From the experimental data, the relationship between moisture ratio ($\overline{MR}$) versus drying time (t) and air-input temperature (T) was correlation as a function of

$$\overline{MR} = A \exp(-kt)$$

Experimental results illustrated that the bed high of 10 cm, as the air-input velocity for the fluidization is 5.25 m/s the pressure drop in the bed is around 490.5 Pa.

Keyword : fluidized bed dryer , corn drying

1. บทนำ

ข้าวโพดนับเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย มีการเพาะปลูกเป็นฤดูกาล แต่การบริโภคจะมีตลอดทั้งปี ดังนั้นจำเป็นที่จะต้องมีการเก็บรักษาที่ดีเพื่อรักษาคุณภาพของเมล็ดข้าวโพด การเก็บรักษาเมล็ดข้าวโพด จำเป็นจะต้องลดความชื้นให้ลดลงเหลือประมาณ 13-15 %wb [1] ซึ่งถ้าตามแห้งด้วยธรรมชาติจะต้องใช้เวลาประมาณ 3 ถึง 5 วัน หรืออาจจะมากกว่านั้นถ้าสภาพอากาศไม่เอื้ออำนวย จึงได้มีผู้ศึกษาเกี่ยวกับเครื่องอบแห้งข้าวโพดเพื่อลดระยะเวลาในการตากแห้ง วิบูลย์ เทเพนทร์ และ คณะ [2] ได้ศึกษาเครื่องอบแห้ง และวิธีการลดความชื้นข้าวโพดที่เหมาะสมในทางปฏิบัติ โดยเครื่องอบแห้งที่ได้พัฒนาขึ้นเป็นแบบไหลผสม มีความสามารถในการทำงานประมาณ 100 ตันต่อวัน ผลการศึกษาพบว่า สามารถลดความชื้นของข้าวโพดจาก 24 %wb ให้ลดลงเหลือ

15.6 %wb ได้ภายใน 5.7 hr มีอัตราการลดความชื้นเฉลี่ย 2.8 %wb/hr นอกนั้นแล้ว ไพบุรย์ ไรจน์วิบูลย์ชัย และ สมชาติ โสภณธนฤทธิ์ [3] ได้ศึกษาการอบแห้งข้าวโพดแบบถ้งหมุนแบบให้ความร้อนโดยตรง โดยเมล็ดพืชและอากาศไหลไปในทิศทางเดียวกัน ตัวถ้งทรงกระบอกสามารถปรับความลาดเอียงได้ ผลการศึกษาพบว่า ความสิ้นเปลืองพลังงานของเครื่องอบแห้ง ขึ้นอยู่กับมวลของข้าวโพดที่ค้างอยู่ (hold up) ในเครื่องอบแห้ง และความชื้นของเมล็ดข้าวโพด อุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษาการอบแห้งอยู่ในช่วง ระหว่าง 100 – 300°C โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังมีคุณภาพดี

ปัจจุบันได้มีการศึกษาเกี่ยวกับ การนำเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด มาประยุกต์ใช้ในการอบแห้งเมล็ดพันธุ์พืช โดยเฉพาะเมล็ดพืชเศรษฐกิจที่สำคัญได้แก่ ข้าวเปลือก งานวิจัยของ Soponronnarit and Prachayawarakorn [4] ได้ศึกษาแนวทางการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด นอกจากข้าวเปลือกแล้วยังมีการประยุกต์ใช้กับการอบแห้งพริก งานวิจัยของ กิตติชัย ไตรรัตนศิริชัย [5] ศึกษาการจำลอง และการทดลองการอบแห้งพริกแบบชั้นบาง ด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด โดยการศึกษาภายใต้เงื่อนไขของการอบแห้งแบบชั้นบาง ความหนาของพริกในเบดมีความหนาประมาณ 3 cm ความเร็วของอากาศร้อนขาเข้าประมาณ 5.5 m/s อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าห้องอบแห้งที่ได้ศึกษามี 3 ระดับ คือ 80 , 90 และ 110 °C จากการศึกษาพบว่า ในช่วงอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าห้องอบแห้งอยู่ในช่วง 80 - 90°C มีความเหมาะสมในการอบแห้งมากที่สุด

สำหรับเมล็ดพืชชนิดอื่น เช่น วรเมธ ทัดทอง [6] ได้คุณลักษณะการอบแห้งเมล็ดกาแฟสดด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด เป็นต้น สำหรับการอบแห้งข้าวโพดด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดนั้น ยังมีผลการศึกษาที่ไม่แพร่หลาย แม้ว่าข้าวโพดเป็นเมล็ดพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ ดังนั้นการศึกษานี้จึงได้มุ่งเน้นเกี่ยวกับการอบแห้งเมล็ดข้าวโพด โดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด และ หาคความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดชั้นแบบชั้นบาง เพื่อประโยชน์ในการใช้งาน

2. ทฤษฎี

การออกแบบเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด ตัวแปรที่สำคัญต่อการออกแบบได้แก่ ความดันในเบด และ ความเร็วลมต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชัน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ความดันในฟลูอิดไดซ์เบด

ในขณะที่เมล็ดพืช เริ่มลอยตัวเป็นอิสระอยู่นั้นอาจกล่าวในหนึ่งว่าเมล็ดพืชอยู่ในสภาวะสมดุลของแรงสองแรงที่เกิดขึ้นบนเมล็ดพืช คือ แรงที่เกิดจากน้ำหนักของเมล็ดพืช กับ แรงพยุงจากของไหล [7] สามารถอธิบายได้ดังสมการที่ (1)

$$\frac{\Delta P}{L_{mf}} = (1 - \varepsilon_{mf})(\rho_s - \rho_f)g \quad (1)$$

เมื่อ ΔP คือ ความดันลดในเบด , (Pa)

ε_{mf} คือ อัตราส่วนช่องว่างอากาศขณะเกิด

ฟลูอิดไดเซชัน

ρ_f คือ ความหนาแน่นของอากาศ , (kg/m³)

ρ_s คือ ความหนาแน่นของวัสดุ , (kg/m³)

g คือ ความโน้มถ่วงของโลก, (m/s²)

2.2 ความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไดเซชัน

ความเร็วของลมร้อน u (m/s) ที่ไหลเข้าฐานล่างของฟลูอิดไดซ์เบด จะต้องมีความมากกว่าความเร็วที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชัน u_{mf} ของอนุภาคแต่น้อยกว่าความเร็วสุดท้าย (terminal velocity) u_t ของอนุภาค Ergun [8] ได้เสนอสมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความเร็วต่ำสุดของอากาศที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชันไว้ดังนี้

$$\frac{1.75}{\varphi_s \varepsilon_{mf}^3} \text{Re}_s^2 + \frac{150(1 - \varepsilon_{mf})}{\varphi_s^2 \varepsilon_{mf}^2} \text{Re}_s = \frac{d_p^2 \rho_f (\rho_s - \rho_f) g}{\mu_f^2} \quad (2)$$

ค่าความเร็วสุดท้ายขึ้นอยู่กับค่า Re_p คำนวณได้ดังนี้

$$\text{Re}_p = \frac{d_p u_{mf} \rho_f}{\mu_f} \quad (3)$$

เมื่อ	φ_s	คือ ค่าแฟกเตอร์รูปร่างของเมล็ดพืช
	d_p	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของเมล็ดพืช (m)
	ρ_f	คือ ความหนาแน่นของลมร้อน (kg/m ³)
	u_t	คือ ความเร็วสุดท้าย (terminal velocity) ของเมล็ดพืช (m/s)
	u_{mf}	คือ ความเร็วลมร้อนที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชัน (m/s)
	u	คือ ความเร็วลมร้อนที่ออกแบบ (m/s)

โดยทั่วไป u_{mf} มีค่าประมาณ (0.06 - 0.12) u_t เนื่องจาก u มักถูกเลือกให้เท่ากับ $(3 - 8)u_{mf}$ ซึ่งจะมีค่าประมาณ (0.2 - 0.6) u_t [9] อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ความชื้นของเมล็ดพืชมีค่าสูง และเกิดการรวมตัวกันของอนุภาควิสต่ออย่างมาก ฟลูอิดไดเซชัน อาจไม่เกิดขึ้นที่ความเร็วที่คำนวณได้จากกรณีของอนุภาคกลมเดี่ยว ด้วยเหตุนี้มักจะใช้เครื่องมือกลอย่างง่าย ๆ ช่วยกวนให้เกิดฟลูอิดไดเซชัน

2.3 สมการอบแห้งชั้นบาง

สมชาติ โสภณธนฤทธิ์ [1] ได้แนะนำรูปแบบการวิเคราะห์และกำหนดความสัมพันธ์พื้นฐานของการอบแห้งเมล็ดพืช กล่าวคือ

$$\frac{dM}{dt} = -k(M - M_{eq}) \quad (4)$$

เมื่อกำหนดเงื่อนไขทางคณิตศาสตร์ที่สภาวะเริ่มต้น $M(0) = M_{in}$ และที่เวลาใดๆ $M(t) = M$ สมการที่ (4) สามารถจัดรูปใหม่ได้ว่า

$$\overline{MR} = \frac{M - M_{eq}}{M_{in} - M_{eq}} = \exp(-kt) \quad (5)$$

เมื่อ $\overline{MR}$ คือ อัตราส่วนการลดความชื้น
 M_{in} คือ ความชื้นเริ่มต้นเมล็ดพืช, (%wb)
 M คือ ความชื้นของเมล็ดพืช, (%wb)
 M_{eq} คือ ความชื้นสมดุลเมล็ดพืช, (%wb)
 t คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง, (min)
 k คือ ค่าคงที่ของแบบจำลอง

สมการอบแห้งแบบชั้นบางของเมล็ดข้าวโพด ได้มีการศึกษาอย่างแพร่หลายในรูปของสมการเอมไพริคัล แต่มีข้อจำกัดในการนำสมการนั้นมาใช้คำนวณ จะต้องตรงกับสภาวะที่ได้ทำการทดลอง เช่น Sabbah [10] ได้ศึกษาการอบแห้งข้าวโพดโดยวิธีธรรมชาติในช่วงอุณหภูมิระหว่าง $2 - 21^{\circ}\text{C}$ และได้สร้างสมการอบแห้งจากผลการทดลอง โดยมีรูปแบบสมการดังนี้

$$\overline{MR} = \exp[-k(t^{0.664})] \quad (6)$$

เมื่อ $\overline{MR}$ คือ อัตราส่วนการลดความชื้น
 t คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง, (hr)
 k คือ ค่าคงที่ของแบบจำลอง

Thompson [11] ได้ศึกษาการประเมินสมรรถนะและความเหมาะสมในการออกแบบเครื่องอบแห้งเมล็ดพืช โดยได้ทำการทดลองอบแห้งเมล็ดข้าวโพด ในช่วงอุณหภูมิ $60 - 149^{\circ}\text{C}$ และได้เสนอสมการอบแห้งข้าวโพดดังนี้

$$t = A \ln \overline{MR} + B(\ln \overline{MR})^2 \quad (7)$$

เมื่อ $\overline{MR}$ คือ อัตราส่วนการลดความชื้น
 t คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง, (hr)
 A, B คือ ค่าคงที่ของแบบจำลอง

อรุณี ผุดผ่อง และ คณะ [12] ได้ศึกษาพารามิเตอร์สำหรับวิเคราะห์การอบแห้งเมล็ดข้าวโพด พันธุ์สุวรรณ 1 และ พันธุ์สุวรรณ 2 โดยการศึกษาการอบแห้งในช่วงอุณหภูมิ $45 - 70^{\circ}\text{C}$ ความชื้นเริ่มต้น 0.18 – 0.36 db และได้นำผลการทดลองการอบแห้งหาความสัมพันธ์ในรูปสมการของ Page [13] มีรูปแบบสมการดังนี้

$$\overline{MR} = \exp(-xt^y) \quad (8)$$

เมื่อ $\overline{MR}$ คือ อัตราส่วนการลดความชื้น
 t คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง, (hr)
 x และ y คือ ค่าคงที่ของแบบจำลอง ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อนที่อบแห้ง และความสัมพันธ์ของลมร้อน

2.4 ค่าความชื้นสมดุล

ในการอบแห้งเมล็ดพืช โดยใช้อากาศที่สภาวะอุณหภูมิคงที่และความชื้นสัมพัทธ์คงที่ ความชื้นของเมล็ดพืชจะลดลงจนถึงจุดๆ หนึ่งแล้วเมล็ดพืชจะไม่สามารถลดความชื้นลงได้อีก ซึ่งนิยมเรียกความชื้นดังกล่าวว่า ความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture) [1] โดยทั่วไปแล้วจะได้จาก ASAE Standard [14] ซึ่งได้เสนอสมการจากการทดลองซึ่งมีรูปแบบดังต่อไปนี้

$$M_{eq} = \frac{\ln(1 - RH)^{1/N}}{-K(T + C)} \quad (9)$$

$\overline{MR}$ คือ อัตราส่วนการลดความชื้น
 RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ
 T คือ อุณหภูมิของอากาศ, ($^{\circ}\text{C}$)

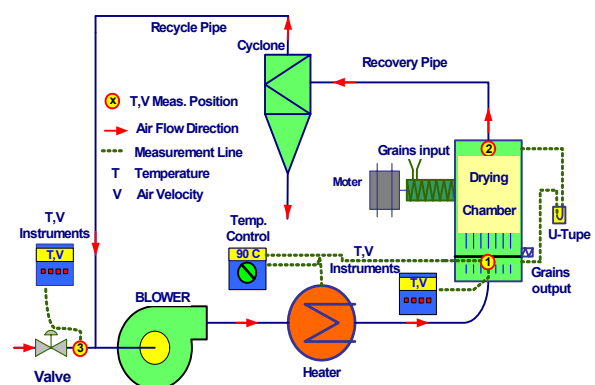
สำหรับ K, C และ N เป็นค่าคงที่ของแบบจำลองซึ่งอยู่กับเมล็ดพืชแต่ละชนิด

3. การทดลอง

การศึกษาการอบแห้งนี้ ได้ออกแบบชุดทดลองการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด เพื่อศึกษาความสัมพันธ์เบื้องต้นของอุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้งและระยะเวลาในการอบแห้ง โดยมีรายละเอียดเกี่ยวกับเครื่องมือ อุปกรณ์ และ ขั้นตอนการทดลองดังนี้

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในการศึกษาครั้งนี้ได้ถูกแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ชุดทดลองการอบแห้งข้าวโพดด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด

ซึ่งประกอบไปด้วยหอตดลองรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดความกว้าง 6 cm ความยาว 60 cm และ ความสูง 60 cm เครื่องกำเนิดลมร้อนขนาด 5 kW พร้อมชุดควบคุมอุณหภูมิของลมร้อน เพื่อให้อุณหภูมิของลมร้อนเป็นไปตามความต้องการ ลมร้อนหลังจากผ่านการอบแห้งแล้ว จะไหลผ่านท่อเข้าไปแยกฝุ่นที่ไซโคลน หลังจากนั้นจะมีการเวียนลมร้อนกลับมาใช้ใหม่ประมาณ 80 % สำหรับพัดลมที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นชนิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 2 HP อ่านค่าความดันลดในเบดได้จากมานอมิเตอร์ และ อ่านค่าความเร็วลมร้อนได้จาก Hot - wire Anemometer

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

ในส่วนของการทดลองการอบแห้งใช้เมล็ดข้าวโพดพันธุ์ไททาน 9 โดยการศึกษาคุณลักษณะการอบแห้ง เป็นการศึกษาแบบเป็นงวด ตัวอย่างเมล็ดข้าวโพดที่ใช้สำหรับการอบแห้งนี้ แต่ละงวดจะใช้เมล็ดข้าวโพดงวดละ 4.5 kg อุณหภูมิที่ทางเข้าเครื่องอบแห้งแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 70 °C , 80 °C และ 90 °C แต่ละระดับอุณหภูมิจะทำการอบแห้ง 3 ชั่วโมง การหาค่าความชื้นของเมล็ดข้าวโพด ใช้วิธีตามมาตรฐาน ASAE Standard [15]

$$M = \frac{m_{wet} - m_{dry}}{m_{wet}} \quad (10)$$

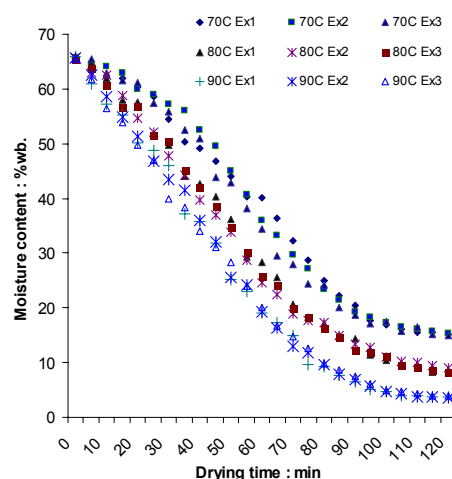
เมื่อ M คือ ค่าความชื้นของเมล็ดข้าวโพด
 m_{wet} คือ มวลของเมล็ดพืชเปียก , (g)
 m_{dry} คือ มวลของเมล็ดพืชแห้ง , (g)

4. ผลการทดลองและสรุปผล

การศึกษานี้มุ่งเน้นที่จะพิจารณาถึง การเปลี่ยนแปลงความชื้นของเมล็ดข้าวโพด และนำผลการทดลองมาหาความสัมพันธ์ของการอบแห้งในรูปของตัวแปรทางคณิตศาสตร์ ตลอดจนถึงการเปรียบเทียบระหว่างผลการคำนวณกับผลการทดลอง เกี่ยวกับความดันลดในเบด และความเร็วลมร้อนที่เกิดขึ้นขณะทำการทดลอง โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวโพด

จากการทดลองการอบแห้งข้าวโพด ที่กำหนดให้อุณหภูมิของลมร้อน 3 ระดับ คือ 70 , 80 และ 90 °C พบว่า การเปลี่ยนแปลงความชื้นของเมล็ดข้าวโพดมีพฤติกรรมเดียวกัน ดังแสดง ในรูปที่ 2

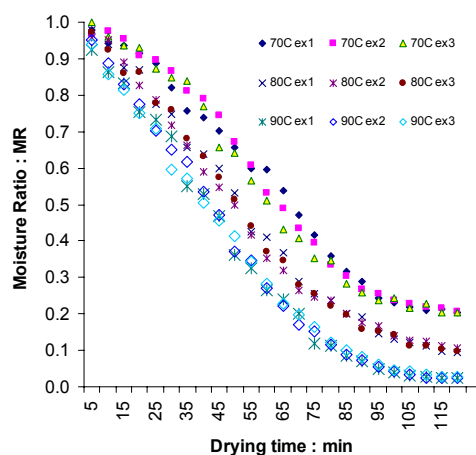


รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับระยะเวลาในการอบแห้ง

ข้าวโพดมีความชื้นเริ่มต้นก่อนการอบแห้งประมาณ 65 %wb ทำการอบแห้งให้ความชื้นสุดท้ายหลังการประมาณ 15 %wb ซึ่งเป็นช่วงที่ปลอดภัยต่อการปนเปื้อนของสารอะฟลาทอกซิน [1] จากผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิของลมร้อน มีผลต่อระยะเวลาในการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดเป็นอย่างยิ่ง กล่าวคือ การอบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 70 , 80 และ 90 °C จะใช้เวลาในการอบแห้ง 120 , 85 และ 70 min ตามลำดับ และยังพบว่าในช่วงเวลาอบแห้งช่วงแรก จะเกิดการลดความชื้นลงอย่างรวดเร็วมาก สำหรับการอบแห้งที่อุณหภูมิของลมร้อน 90 °C ความชื้นของเมล็ดข้าวโพดจะลดลงได้อย่างรวดเร็ว และสามารถลดความชื้นสุดท้ายให้เหลือ 3%wb ภายในระยะเวลาอบแห้ง 2 hr จากผลการศึกษา หากเทียบกับระยะเวลาในการตากแห้งด้วยอากาศตามธรรมชาติเพื่อให้มีความชื้นสุดท้ายเท่ากัน จะใช้ระยะเวลาประมาณสามถึงห้าวัน

4.2 แบบจำลองการอบแห้งเมล็ดข้าวโพด

ข้อมูลของอัตราการลดความชื้น (Moisture Ratio: $\overline{MR}$) ของเมล็ดข้าวโพดกับระยะเวลาในการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 70 , 80 และ 90 °C ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการลดความชื้นกับเวลาที่อบแห้ง

ได้นำมาหาความสัมพันธ์ ให้อยู่ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ มีรูปแบบสมการดังนี้

$$\overline{MR} = A \exp(-kt) \quad (11)$$

เมื่อ $\overline{MR}$ คือ อัตราส่วนการลดความชื้น
 t คือ ระยะเวลาในการอบแห้งเมล็ดพืช ,(min)

สมการที่(11) มีค่า $R^2 = 0.97$ ค่าคงที่ A และ k เป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิของลมร้อนขาเข้าเครื่องอบแห้งเมล็ดพืช ซึ่งได้ศึกษาในช่วง $70 - 90^\circ\text{C}$ เท่านั้น มีรูปแบบสมการดังนี้

$$A = 0.0014T^2 - 0.2489T + 11.939 \quad (12)$$

$$k = 4 \times 10^{-5} T^2 - 0.007T + 0.3378 \quad (13)$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิของลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง, ($^\circ\text{C}$)

4.3 ความดันลดในเบตและความเร็วลมร้อน

จากการศึกษาการอบแห้งข้าวโพดที่ความหนาประมาณ 10 cm พบว่า ความดันลดในเบตมีค่าประมาณ 50 mm-water หรือ ประมาณ 490.5 Pa ซึ่งจากผลการคำนวณด้วยสมการที่ (1) ได้ค่าความดันลดเท่ากับ 434 Pa ซึ่งคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงไปบ้างเนื่องจากความเสียดทานที่ตำแหน่งต่างๆ ในส่วนของความเร็วลมร้อนที่วัดได้จาก Hot - wire Anemometer มีค่าเฉลี่ยประมาณ 5.25 m/s ซึ่งต่างจากผลการคำนวณโดยใช้สมการที่ (3) ซึ่งคำนวณได้ 6 m/s เนื่องจากมอเตอร์ของพัดลมที่ใช้ทำการทดลองมีความเร็วรอบคงที่ จึงไม่สามารถปรับความเร็วรอบเพื่อให้ได้ความเร็วลมตามที่ต้องการไว้ได้ ซึ่งพอจะกล่าวได้ว่าสมการตามทฤษฎีของ Ergun [8] มีความน่าเชื่อถือในการคำนวณพอสมควร

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้ศึกษาขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่ได้ให้การเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำการทดลอง รวมถึง คุณอนุวัต ภูมิถาวร คุณเปรมชัย ไพชนนต์ และ คุณปริญญ์ แซ่ตั้ง นักศึกษามหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่ได้ช่วยเหลือในด้านการเก็บข้อมูลผลการทดลอง

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สมชาติ โสภณธนฤทธิ์, “การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท”, พิมพ์ครั้งที่ 7 , มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, ปี พ.ศ. 2540
- [2] วิบูลย์ เทเพนทร์ , “วิจัยและพัฒนาเครื่องอบแห้งและวิธีการลดความชื้นข้าวโพดที่เหมาะสมในทางปฏิบัติ” , เอกสารประกอบการ

- ประชุมวิชาการเรื่อง วิศวกรรมเกษตรกับวิชาวาสวรรค์แห่งสหสวรรคใหม่ , ณ โรงแรมเจริญธานี ปรีณเชส ขอนแก่น, 2544
- [3] ไพบุรย์ โรจน์วิบูลย์ชัย และ สมชาติ โสภณธนฤทธิ์ , “ศึกษาการอบแห้งข้าวโพดด้วยเครื่องอบแห้งแบบกังหัน แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และแนวทางในการอบแห้ง” , วารสารเกษตรศาสตร์ (วิทย.) พ.ศ. 2535 , ฉบับที่ 26 , หน้า 50 - 59
- [4] Soponronnarit, S. and Prachayawarakorn, S., “Optimum Strategy for Fluidized Bed Paddy Drying” ,Drying Technology, 1994, Vol. 12, No. 7, pp.1667-1686
- [5] กิตติชัย ไตรรัตนศิริชัย, “การจำลองและการทดลองการอบแห้งพริกแบบชั้นบาง” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 16 , 2545 , หน้า 592-595
- [6] วรเมธ ทัดทอง , “การศึกษาคุณลักษณะการอบแห้งเมล็ดกาแฟสดด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบต” , การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17 , 2546 , หน้า 1007-1011.
- [7] สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ, “ฟลูอิดไดซ์เบต” , จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พิมพ์ครั้งที่ 1 , ปี พ.ศ. 2528
- [8] Ergun, S., “A basic of fluidized bed”, Chemical Engineering Progress, 1952, Vol. 48, pp.89-93.
- [9] เรียวโซ โทเอ , “อุปกรณ์อบแห้งในอุตสาหกรรม” สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย- ญี่ปุ่น) ,พิมพ์ครั้งที่ 3 ,ปี พ.ศ. 2529
- [10] Sabbah, M.A. “Natural Drying of Shelled Corn”, Unpublished, M.S. Thesis, Purdue Univ., 1968
- [11] Thompson, T.L. “Predicted Performance and Optimal Design of Convection Grain Dryers”, Unpublished Ph.D. Thesis, Purdue Univ., 1967
- [12] อรุณี ผุดผ่อง, สมชาติ โสภณธนฤทธิ์ และ วารุณี เตีย “การศึกษาพารามิเตอร์สำหรับการอบแห้งข้าวโพด”, วิศวกรรมสาร มจร, 2533, ฉบับที่ 4 หน้า 95-101
- [13] Page, G.E., “Factors influencing the maximum rate of drying shell corn in dryers”, Unpublished M.S. thesis, Purdue University, West Lafayette, Indiana, 1949
- [14] ASAE Standard, St. Joseph, “Moisture Equilibrium” ASAE S358.2 , Michigan USA., 1989
- [15] ASAE Standard, St. Joseph, “Moisture measurement - Forages” ASAE D245.4 , Michigan USA., 1989