การเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดโดยใช้ฮีตเตอร์เป็นความร้อนเสริมในฟลูอิดไดซ์เบดที่ใช้ฮีตปั๊ม

Efficiency Increasing for Corn Drying from Heater Preheat for Fluidized bed using Heatpump

จิรเมธา สังข์เกษม
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต วิทยาเขตพัฒนาการ
1761 ถนน พัฒนาการ แขวง สวนหลวง เขต ประเวศ กทม. 10250
โทร 02-3216930-9 ต่อ 1203 E-mail: charinsu@hotmail.com, charinsu@yahoo.com

Gerametha Sungkasem
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasem Bundit University Pattanakarn Campus
1761 Pattanakarn Rd., Suanluang, Prawet, Bangkok 10250
Tel: 02-3216930 -9 Ext.1203 E- mail: charinsu@hotmail.com, charinsu@yahoo.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอเกี่ยวกับกระบวนการอบแห้งเมล็ดข้าวโพด โดยใช้ความร้อนเสริมจากชุดฮีตเตอร์และ ฮีตปั๊มโดยใช้ฟลูอิดไดซ์เบด ที่มีกระจายตัวในเบดและ มีการพาและการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างเมล็ดข้าวโพดกับอากาศชุดทดลองประกอบด้วย 1. เครื่องปรับอากาศขนาด 20,000 Btu. 2. เบด 3. ชุดลิ้นปีกผีเสื้อ 4. พัดลมอัดอากาศ และ 5. ชุดฮีตเตอร์ เนื่องจากความร้อนจากฮีตปั๊ม สามารถทำอุณหภูมิสูงสุดในเบดเพียง 45 $^{\circ}C$ จึงใช้ชุดฮีตเตอร์ สำหรับเพิ่มความร้อนเสริมให้เบดมีอุณหภูมิ 80 $^{\circ}C$ ผลการทดลองเมื่อใช้ลิ้นปีกผีเสื้อปรับให้ความเร็วของอากาศร้อนให้ไหลเข้าเบด ที่ความเร็วระดับต่างๆ ปรากฏว่าความเร็วอากาศที่ 7 m/s สามารถลดความชื้นตามมาตรฐานกักเก็บได้ที่ 14 %moisture content dry-basis หรือต่ำกว่า สามารถลดเวลาจากการอบแห้งด้วยฮีตปั๊มเพียงอย่างเดียวที่ 7 ชั่วโมง เหลือเพียง 2 ชั่วโมง

คำหลัก : 1. ฟลูอิดไดซ์เบด 2. ความชื้นมาตรฐานเปียก
3. ความชื้นมาตรฐานแห้ง

Abstract

This research proposed a study of corn drying process by using preheat from heater and heat pump with the fluidized bed method. The study focused on concentrated small seeds (in particular, corn seeds), due to proper properties of distribution and convective heat transfer between air in bed. The experimental groups composed 1. Air-conditioner 20,000 Btu. 2. Bed. 3. Damper a control flow unit. 4. Blower. 5. Heater. The maximum temperature form heat pump is 45 $^{\circ}C$ .The preheating form heater increase temperature is maximum 80 $^{\circ}C$. Result of flow control unit varied the hot air velocity in order to carry out at 7 m/s optimum inlet velocity, and provided the best time for distribution and replacement processes 2 hrs.

Keyword: 1. Fluidized bed 2. % Mc. Wet-basis
3. % Mc. Dry-basis

1. บทนำ

แนวคิดของงานวิจัยเรื่องนี้เริ่มต้นมาจากงานวิจัยเรื่อง "การศึกษาฟลูอิดไดเซชั่นโดยใช้ความร้อนจากชุดคอนเดนเซอร์เพื่อใช้ในกระบวนการอบแห้ง[2.]" ได้กล่าวถึงการประยุกต์ความร้อนจากฮีตปั๊มสำหรับอบแห้งเมล็ดข้าวโพดโดยใช้ฟลูอิดไดซ์เบด ซึ่งเป็นกระบวนการนำของแข็งที่มีรูปร่างเป็นเม็ดมาสัมผัสกับของไหล แล้วเม็ดของแข็งเหล่านั้นจะมีคุณสมบัติคล้ายของไหล โดยควบคุมการไหลด้วย ลิ้นปีกผีเสื้อแบบอยู่นิ่งกับที่ เพื่อให้เมล็ดข้าวโพดสามารถถ่ายเทความร้อนระหว่างเมล็ดกับอากาศได้อย่างสมดุล โดยอาศัยแหล่งพลังงานความร้อนจากชุดคอนเดนเซอร์ของเครื่องปรับอากาศขนาด 20,000 Btu. โดยมีผลการทดลองดังนี้ ความเร็วอากาศที่ดีที่สุดในการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดที่ 5.0 m/s ที่อุณหภูมิในเบด 45 $^{\circ}C$ ใช้เวลาอบแห้งที่ 7 ชั่วโมง [2.] จากแนวคิดดังกล่าวจึงได้เพิ่มประสิทธิภาพในการอบแห้งให้รวดเร็วขึ้นโดยติดตั้งฮีตเตอร์เป็นความร้อนเสริม ทำให้การอบแห้งเมล็ดข้าวโพดให้ใช้เวลาลดน้อยลง

2. ทฤษฎีและ การออกแบบ

การคำนวณหาขนาดของอุปกรณ์ต่าง ๆของฟลูอิดไดซ์เบด สำหรับการไหลที่ทางเข้าเบดแบบ Steady flow ทำได้ดังนี้

2.1 การคำนวณหาสถานะของฟลูอิดไดเซชัน

ปัจจัยหลักของการออกแบบฟลูอิดไดซ์เบด ต้องคำนวณความเร็วอากาศต่ำสุดและ ความสูงต่ำสุดที่ทำให้เกิดสภาวะฟลูอิดไดเซชัน สามารถเขียนสมการของ Ergun [1.] จากเทอมของความดันตกคร่อมเบด เพื่อหาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชั่นดังนี้

$$\frac{1.75}{\phi_s \varepsilon_{mf}^3}\left(\frac{D_p U_{mf}\rho_g}{\mu}\right)^2+\frac{150(1-\varepsilon_{mf})(D_p U_{mf}\rho_g)}{\phi_s^2 \varepsilon_{mf}\mu}=\frac{D_p^3\rho_g(\rho_s-\rho_g)g_c}{\mu^2} \quad (1)$$

ค่าของตัวแปรของแฟคเตอร์รูปร่าง ϕ_s และ ค่าของสัดส่วนช่องว่างต่ำสุด ε_{mf}

$$\varepsilon_{mf}=\frac{\text{Volume of a particle}}{\text{Total volume of particle in the bed}}\ ,\ \varepsilon_{mf}=\sqrt[3]{\frac{1}{14\phi_s}} \quad (2)$$

และ ความสูงต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชั่น[1.] ดังนี้

$$L_{mf}=\frac{(1-\varepsilon)L_o}{(1-\varepsilon_{mf})} \quad (3)$$

จากการคัดเลือกเมล็ดข้าวโพด 100 เมล็ด D_p =0.011 m แล้วทำการหาปริมาตรเทียบเท่าและ พื้นที่ผิวของเมล็ดข้าวโพดจากเครื่องวัดพื้นที่ (Polar Planimeter) ได้ค่าของ แฟคเตอร์รูปร่าง ϕ_s = 0.1489 และ สัดส่วนช่องว่างต่ำสุด ε_{mf} = 0.7828 นำไปแทนค่าใน (1)ได้ค่าของความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชัน $U_{mf}=2.394$ m/s และคำนวณหาความสูงต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชัน $L_{mf}=0.538$ m

2.2 การหาความดัน ณ ตำแหน่งต่าง ๆในฟลูอิดไดซ์เบด

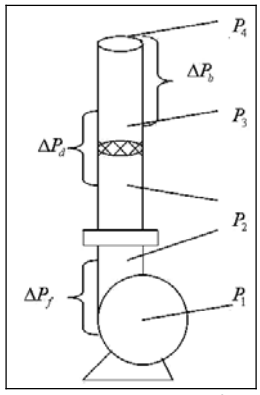
จากรูปที่ 1 ความดันและความดันตกคร่อมที่ตำแหน่งต่าง ๆ ประกอบด้วย 1. ความดันที่ทางเข้าและ ทางออกของพัดลมอัดอากาศ P_1 และ P_2 ตามลำดับ 2. ความดันที่ทางเข้าและ ทางออกเบด P_3 และ P_4 ตามลำดับ 3. ความดันตกคร่อมเบด ΔP_b 4.ความดันตกคร่อมตะแกรงกระจายอากาศ ΔP_d และ 5. ความดันตกคร่อมพัดลมอัดอากาศ ΔP_f

2.2.1 ความดันลดในเบด

สามารถหาได้จากสมการที่เขียนในรูปความสูงและความหนาแน่น โดยที่ ρ_s = 1,446.47 kg/m^3 และ ρ_g =1.127 kg/m^3 เมื่อแทนค่า ε_{mf} และ L_{mf} จะได้

$$\Delta P_b=P_3-P_4=L_{mf}(1-\varepsilon_{mf})(\rho_s-\rho_g)\frac{g}{g_c} \quad (4)$$

และ ความดันลดในเบด ΔP_b =171.23 N/m^2



รูปที่ 1. แสดงตำแหน่งของความดันลดในเบด ณ.จุดต่าง ๆ

2.2.2 ความดันตกคร่อมตะแกรงกระจายอากาศ

ความดันที่ทางเข้าเบด P_3 =1.03$\times 10^5 N/m^2$ ความดันตกคร่อมตะแกรงไม่ควรเกิน 10 เปอร์เซนต์ของความดันตกคร่อมเบด [1.] ดังนั้นค่าของ ΔP_d =294.68 N/m^2 จากสมการ [1.] ดังนี้

$$\Delta P_d=0.1\Delta P_b=P_2-P_3 \quad (5)$$

2.2.3 การหาขนาด ของพัดลมอัดอากาศ

ความดันที่ทางออกของพัดลมอัดอากาศ P_2 =1.03175 $\times 10^5 N/m^2$ และ ความดันตกคร่อมพัดลมอัดอากาศ ΔP_f =1850.19 N/m^2 สามารถหาขนาดของพัดลมอัดอากาศจากสมการดังนี้

$$Power=Q_2(\Delta P_f) \quad (6)$$

โดยที่ $$Q_2=U_{mf}A_t\frac{P_3}{P_2} \quad (7)$$

คำนวณกำลังของพัดลมอัดอากาศ ได้ 0.454 Hp.

2.3 การคำนวณหาสัดส่วนรูเจาะของตะแกรงคำนวณออกแบบ

สัดส่วนของรูเจาะตะแกรงมีผลต่อความเร็วของการไหลในเบด จึงควรเลือกตะแกรงที่มีสัดส่วนรูเจาะเหมาะสมกับ พัดลมอัดอากาศที่ได้ออกแบบไว้ใน หัวข้อ 2.2.3 โดยหาได้จาก [1.]

$$\frac{U_o}{U_{or}}=\text{สัดส่วนของพื้นที่รูเจาะต่อพื้นที่ทั้งหมด} \quad (8)$$

โดยที่ความเร็วสำหรับเบดว่างเปล่า U_0 ของสมการ Ergun [1.] เพื่อใช้หาสัดส่วนของพื้นที่รูเจาะของตะแกรง ต่อ พื้นที่ทั้งหมด

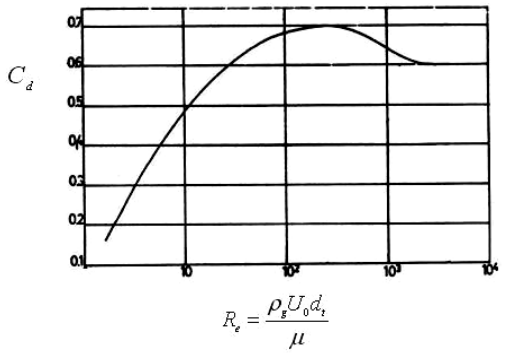
$$\frac{\Delta P_b g_c}{L_0}=\frac{150(1-\varepsilon_{mf})^2\mu U_0}{\varepsilon_{mf}{}^3(\phi_s.D_p)^2}+\frac{1.75(1-\varepsilon_{mf})\rho_g U_0^2}{\varepsilon_{mf}^3(\phi_s.D_p)} \quad (9)$$

ผลการคำนวณได้ค่าความเร็วในเบดว่างเปล่า$U_0=5.41 m/s$ ก่อนความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านรูเจาะของตะแกรง [1.] หาได้จาก

$$U_{or} = C_d\left[2g_c\frac{\Delta P_d}{\rho_g}\right]^{1/2} \quad (10)$$

และ ค่าสัมประสิทธิ์ของตะแกรงกระจายอากาศ C_d หาได้จากรูปที่ 2 เมื่อคำนวณค่าของเรย์โนลด์นัมเบอร์โดยกำหนด d_t = 0.18 m ดังนี้

$$R_e = \frac{\rho_g U_0 d_t}{\mu} = 26{,}308.06 \quad (11)$$



รูปที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ของตะแกรงกระจายอากาศ C_d [1.]

ได้ค่า C_d =0.6 เมื่อแทนค่า U_0 และ U_{or} ลงใน (8) จะได้สัดส่วนพื้นที่ต่อ รูเจาะ= 52.13 % ต่อพื้นที่ทั้งหมด

2.4 การหาขนาดของฮีตเตอร์

ปริมาณความร้อนที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิอากาศสำหรับอบแห้งเมล็ดข้าวโพดที่ 100 $^{\circ}C$ เพื่อออกแบบขนาดฮีตเตอร์และ คำนวณหาขนาดของฮีตเตอร์ที่ต้องใช้ในการอบแห้งได้จาก สมดุลของพลังงาน

$$I^2R = h_w A_w \Delta T_b \quad (12)$$

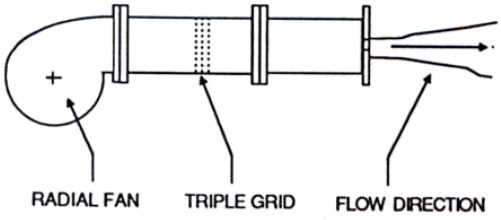
การพาความร้อนที่ไหลผ่านเบด [1.] สามารถหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h_w) ได้จาก

$$\left(\frac{h_w D_p}{k_g}\right) = 0.58(\mathrm{Pr})^{0.5}\left(B.\frac{D_p G}{\mu_g}\right)^{0.45}\left(\frac{\rho_s(1-\varepsilon_{mf})}{\rho_g}\right)^{0.18}\left(\frac{C_{ps}}{C_{pg}}\right)^{0.36} \quad (13)$$

เมื่อแทนค่าจะได้สัมประสิทธิ์การพาความร้อน h_w =86.61 W/m^2K ปริมาณความร้อนที่เบดต้องการเท่ากับ 2.16 kW ขนาดขดลวดความต้านทานในฮีตเตอร์ ต้องไม่น้อยกว่า 36.8 Ω เมื่อแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับ 220 $Volt$

2.5 การวัดการไหลแบบปั่นป่วนที่ทางเข้าเบด

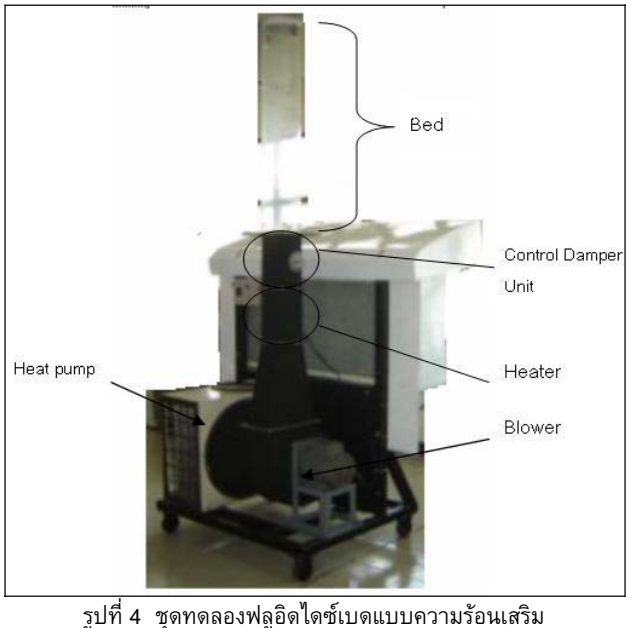
ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ $R_e = 26{,}308$ เป็นการไหลแบบปั่นป่วน ส่วนการวัดความเร็วของอากาศเมื่อไหลผ่านลิ้นปีกผีเสื้อได้ใช้วิธีการวัดแบบ Triple grid [3.] ดังรูปที่ 3 โดยเจาะรูที่ตำแหน่งทางเข้าเบดโดยรอบจำนวน 3 แถว และวัดโดยรอบที่ความลึกในท่อ 3 ระดับ



รูปที่ 3 วิธีวัด Triple grid ของการไหลแบบปั่นป่วน [3.]

3. ข้อมูลที่ได้จากการออกแบบ

ขนาดที่คำนวณได้เลือกใช้ขนาดของ พัดลมอัดอากาศที่มีขนาดใกล้เคียงที่สุดคือ ขนาด 2 แรงม้า ขนาดของฮีตเตอร์ ที่ใช้อบแห้งโดยพันขดลวดความร้อนที่มีความต้านทาน 36.8 Ω ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเบด 0.25 m และ ขนาดของท่อลมที่ทางเข้าเบดมีขนาด 0.18 m เครื่องอบแห้งที่ประกอบเสร็จเรียบร้อยแสดงในรูปที่ 3

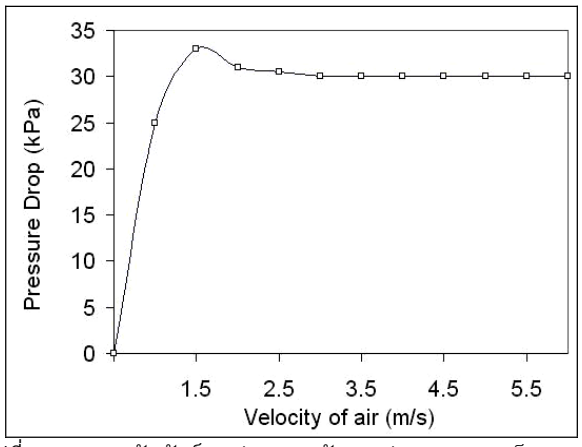


รูปที่ 4 ชุดทดลองฟลูอิดไดซ์เบดแบบความร้อนเสริม

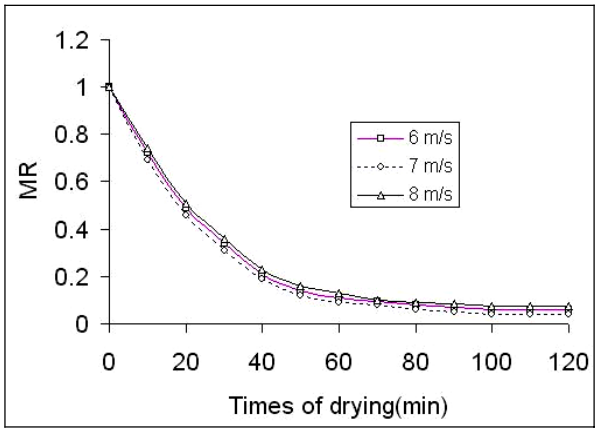
4. ผลการทดลอง

การทดลองได้ออกแบบ โดยควบคุมความชื้นของเมล็ดข้าวโพดเริ่มต้นที่ 350 % Mc (dry-basis) เพื่อต้องการลดให้เหลือความชื้นสุดท้าย 14 % Mc (dry-basis) สำหรับการทดลองเริ่มต้นจะเป็นการวัดความดันตกคร่อมเบด ผลการทดลองที่ได้ความดันตกคร่อมเบดจะมีความดันคงที่เมื่อความเร็วของอากาศที่ทางเข้าเบดมากกว่า 2.5 m/s ขึ้นไป เนื่องจาก เมล็ดข้าวโพดที่อยู่ในเบด จะเคลื่อนที่ในลักษณะของฟลูอิดไดเซชัน ดังรูปที่ 5

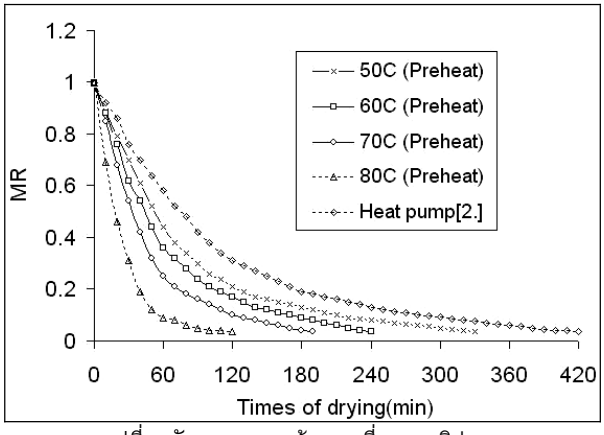
การทดลองหาความเร็วอากาศที่ทางเข้าเบดดังรูปที่ 6 เพื่อหาความเร็วอากาศที่ใช้อ้างอิงสำหรับการทดลองขั้นต่อไป ผลปรากฏว่าความเร็วอากาศที่ 7.0 m/s เป็นความเร็วต่ำสุดและ อุณหภูมิ 80 $^{\circ}C$ ซึ่งเป็นอุณหภูมิสูงสุดโดยที่ชุดโอเวอร์โหลดของฮีตปั๊มไม่ตัดการทำงาน



รูปที่ 5 ผลความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกคร่อมและความเร็วอากาศของเบด

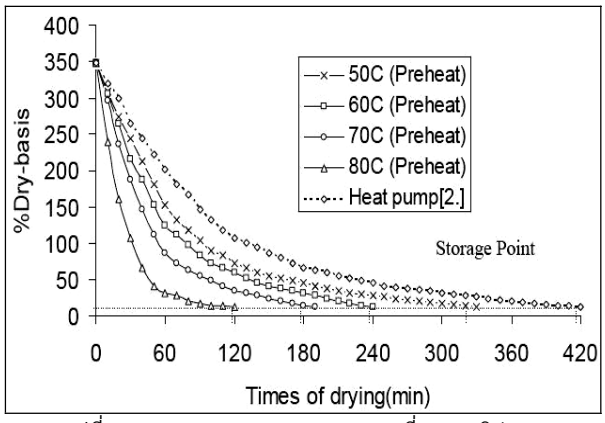


รูปที่ 6 อัตราการอบแห้ง MR ที่อุณหภูมิ 80 $^{\circ}C$ ณ ความเร็วอากาศระดับต่างๆ

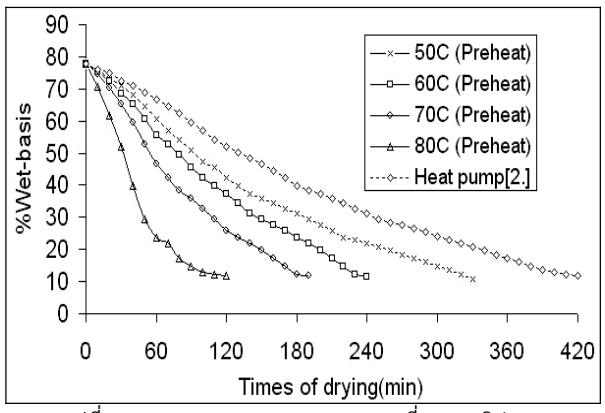


รูปที่ 7 อัตราการอบแห้ง MR ที่อุณหภูมิต่างๆ

รูปที่ 7 เป็นการเปรียบเทียบ อัตราส่วนความชื้น Moisture Ratio ของเมล็ดข้าวโพดโดยใช้ความร้อนเสริม ที่อุณหภูมิ 50, 60, 70 และ 80 $^{\circ}C$ เปรียบเทียบกับฮีตปั๊มที่ทำอุณหภูมิที่ 45 $^{\circ}C$ ที่ความเร็วอากาศ 7 m/s เท่ากัน โดยผลจากการทดลองใช้ความร้อนเสริมจากฮีตเตอร์ที่อุณหภูมิ 80 $^{\circ}C$ สามารถลดเวลาอบแห้งจาก 7 ชั่วโมงเหลือเพียง 2 ชั่วโมงตามมาตรฐานกักเก็บ



รูปที่ 8 %Moisture content dry-basis ที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 9 %Moisture content wet-basis ที่อุณหภูมิต่างๆ

รูปที่ 8 คืออัตราเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง ของเมล็ดข้าวโพดโดยที่ความชื้นมาตรฐานเปียกเริ่มต้น 350 % Moisture content dry-basis และความชื้นสุดท้ายที่สามารถลดได้เท่ากับ 10.2% เปรียบเทียบอัตราเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก ของเมล็ดข้าวโพดโดยที่ความชื้นมาตรฐานเปียกเริ่มต้น 350 % Moisture content dry-basis และความชื้นสุดท้ายที่ลดได้เท่ากับ 10.2% Moisture content dry-basis ตามมาตรฐานกักเก็บ ที่ต่ำกว่า 14% Moisture content dry-basis

รูปที่ 9 เป็นการเปรียบเทียบ อัตราการอบแห้ง ของเมล็ดข้าวโพดโดยมีความชื้นมาตรฐานเปียกเริ่มต้น 80 % Moisture content wet-basis และความชื้นสุดท้ายที่ลดได้เท่ากับ 11% Moisture wet-basis สามารถลดเวลาอบแห้งจาก 7 ชั่วโมงเหลือเพียง 2 ชั่วโมงตามมาตรฐานกักเก็บ

จากผลการทดลองใช้ชุดฮีตเตอร์เป็นความร้อนเสริม สามารถลดเวลาการอบแห้งได้เนื่องจากผลของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และการพาความร้อนระหว่างเมล็ดข้าวโพดกับอากาศด้วยความเร็วอากาศที่เหมาะสม มีผลต่อการระเหยของน้ำ และการเคลื่อนตัวของไอน้ำที่อยู่ในเมล็ดข้าวโพด ส่วนการทดลองไม่สามารถทำอุณหภูมิสูงเกิน 80 $^{\circ}C$ เนื่องการตัดอุณหภูมิของโอเวอร์โหลดที่ฮีตปั๊ม ทำให้ต้องเพิ่มความเร็วอากาศสูงเกิน 10 m/s จึงไม่สามารถเปรียบเทียบที่สภาวะของความเร็วอากาศเดียวกันได้

5. สรุป

จากการทดลองอบแห้งจนกระทั่งเมล็ดข้าวโพดแห้งใช้เวลา 2 ช.ม. ซึ่งสามารถอบแห้งได้ในเวลากลางคืน ขณะที่เครื่องปรับอากาศทำงาน และ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพด้วยฮีตเตอร์เป็นผลสำเร็จ ที่อุณหภูมิ 80 $^{\circ}C$ ความเร็วอากาศที่เหมาะสมในการอบแห้งดีที่สุด คือ 7.0 m/s ที่สามารถลดความชื้นได้ตามมาตรฐานกักเก็บที่ 10.2% Mc (Dry-basis)

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้โดยได้รับการเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่จากบุคคลต่อไปนี้ คุณสมหมาย เสถียรบำรุงกิจ กรรมการผู้จัดการ หจก. อาร์เอสเอนจิเนียริ่ง

7. เอกสารอ้างอิง

[1.] สมศักดิ์ ดำรงเลิศ, “ฟลูอิดไดซ์เซชั่น”, ครั้งที่ 1, ปี พ.ศ. 2528, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กทม., หน้า 3 – 40

[2.] ชริน สังข์เกษม, “การศึกษาฟลูอิดไดเซชั่นโดยใช้ความร้อนจากชุดคอนเดนเซอร์เพื่อใช้ในกระบวนการอบแห้ง” การประชุมวิชาการ เครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18”, ขอนแก่น, 2547.

[3.] P.Diodati,N. Paone and G.L.Rossi. “Comparison of Velocity Measurement by Laser-Dropper Velocimetry, Hotwire Anemometry and Particle Image Velocimetry in a Fully Developed Turbulent jet” turbulent Flows ASME,1993.

8. สัญลักษณ์

A_w คือ พื้นที่ผิวรวมทั้งหมดของผนังเบด (m^2)

B คือ สัมประสิทธิ์เชิงรูปทรง(Shape factor) (ไม่มีหน่วย)

C_d คือ สัมประสิทธิ์ของแผ่นกระจายอากาศ (ไม่มีหน่วย)

C_{ps} คือ ค่าความร้อนจำเพาะของข้าวโพด (3.6 $kJ/kg.K$)

C_{pg} คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศ (1.007 $kJ/kg.K$)

D_p คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเม็ดข้าวโพด (m)

d_t คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเบด (m)

g_c คือ อัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)

h_w คือ สัมประสิทธิ์พาความร้อนของเบด ($W/m^2.K$)

L_{mf} คือ ความสูงต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชั่น (m)

L_o คือ ความสูงของเม็ดข้าวโพดที่ใส่ในเบด (m)

M คือ มวลขณะอบแห้งที่เวลาใดๆ (g)

M_i คือ มวลขณะเริ่มต้นอบแห้ง (g)

M_e คือ มวลที่ความชื้นสมดุล (g)

m_w คือ มวลเปียก (g)

m_d คือ มวลแห้ง (g)

N_{or} คือ จำนวนรูของตะแกรงต่อหน่วยพื้นที่ (ไม่มีหน่วย)

ΔP_b คือ ความดันลดภายในเบด (N/m^2)

ΔP_f คือ ความดันตกคร่อมพัดลมอัดอากาศ (N/m^2)

ΔP_d คือ ความดันตกคร่อมแผ่นกระจายลม (N/m^2)

P_1 คือ ความดันของ เครื่องอัดอากาศ (N/m^2)

P_2 คือ ความดันในท่อทางเข้าสะเป้าเต็ดเบด (N/m^2)

P_3 คือ ความดัน ณ. ตำแหน่งทางเข้าเบด (N/m^2)

P_4 คือ ความดัน ณ. ตำแหน่งทางออกของเบด (N/m^2)

$Power$ คือ กำลังของพัดลมอัดอากาศ (hp.)

Pr คือ แพรนดัลนัมเบอร์ (ไม่มีหน่วย)

R_e คือ เรย์โนลด์นัมเบอร์ (ไม่มีหน่วย)

ΔT คือ ผลต่างอุณหภูมิอบแห้งข้าวโพดกับอากาศที่อุณหภูมิห้อง(K)

U_0 คือ ความเร็วของอากาศในเบดว่างเปล่า (m/s)

U_{or} คือ ความเร็วอากาศที่ผ่านแผ่นกระจายลม (m/s)

U_{mf} คือ ความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เบด (m/s)

V_2 คือ ความเร็วลมในท่อทางเข้าสะเป้าเต็ดเบด (m/s)

ε คือ สัดส่วนช่องว่างเฉลี่ย (ไม่มีหน่วย)

ε_{mf} คือ สัดส่วนช่องว่างต่ำสุด (ไม่มีหน่วย)

ϕ_s คือ แฟคเตอร์รูปร่าง (ไม่มีหน่วย)

ρ_s คือ ความหนาแน่นของเมล็ดข้าวโพด (1,446 $kg./m^3$)

ρ_g คือ ความหนาแน่นของอากาศ (1.127 $kg./m^3$)

μ คือ ความหนืดของอากาศ (1.91×10^{-5} $kg./m.s$)