การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19
19-21 ตุลาคม 2548 จังหวัดภูเก็ต

การออกแบบและทดลองเพื่อหาคุณลักษณะของการอบแห้งปลาหมึกเส้นฝอยในสะเป๋าเต็ดเบด

Design and Experimental of Characteristics Squidy Drying in Spauted bed

ชริน สังข์เกษม
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ถ.พัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตประเวศ กทม. 10250
โทร 02-3216930-9 ต่อ 1203 E-mail: charinsu@yahoo.com, charinsu@hotmail.com

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องนี้นำเสนอแนวทางการอบแห้งปลาหมึกเส้นฝอยซึ่งเป็นวัสดุพรุน โดยใช้สะเป๋าเต็ดเบดเนื่องจากมีแรงลอยตัวของปลาหมึกเส้นในสะเป๋าเต็ดเบดสูงกว่าฟลูอิดไดซ์เบด แหล่งความร้อนที่ให้กับเบดได้จากชุดฮีตเตอร์ โดยมีองค์ประกอบหลักของเครื่องอบแห้งที่ประกอบด้วย 1. ชุดฮีตเตอร์ 2. เบดอบแห้ง ทำจากเสตนเลส 3. ชุดควบคุมความเร็วลม การทดลองต้องการหา เวลาอบแห้ง, MR, mc (% d.b.) และ mc (% w.b.) ปลาหมึกเส้นที่ใช้อบได้ผ่านการฉีกฝอยเรียบร้อยแล้วขนาด ยาวอยู่ระหว่าง 3-5 cm การทดลองต้องการหาออพติไมซ์ ของ ความเร็วลมจาก เครื่องอัดอากาศ ตรงทางเข้าเบดต่อที่ใช้เวลาอบแห้งน้อยสุดที่สามารถลด เหลือ 24mc (% w.b.) โดยใช้การปรับชุดควบคุมความเร็วลม จากผลการทดลองความเร็วลมที่ดีสุดในการหาออพติไมซ์ ของเวลาอบแห้งเท่ากับ 7.0 m/s
คำหลัก : ออพติไมซ์, เครื่องอัดอากาศ, เปอร์เซ็นต์ความชื้น

Abstract

This research proposed a presentation of drying by using heat from a heater with the Spauted bed method. The study focused on concentrated squidy dried-roast, due to proper properties of distribution and a force lifter between each fluidizebed. The experimental groups composed of 1. Heater unit. 2. Drying bed (Stainless steel) conditioner, and 3. Flow control and spauted bed unit. A resultant of experiment determind: drying times, MR, mc (% d.b.) and Mc (% w.b.) and using a length of squidyy dried-roast 3-5 cm. The experimental is influent of optimum flow velocity for decrease drying times and 24 mc (% w.b.), flow control unit varied the air velocity in order to carry out the optimum inlet velocity, and provided the optimum flow velocity 7.0 m/s for the best drying times in processes.
Keyword : :drying times, blower, mc (% d.b.), mc (% w.b.)

1. บทนำ

ในปัจจุบันปลาหมึกเส้นฝอยเป็นที่นิยมบริโภคอย่างมากเนื่องมีปริมาณโปรตีนสูงแต่มีไขมันต่ำกว่าปลาหมึกสดถึงประมาณ 83 -87 เปอร์เซนต์ ปลาหมึกกล้วยได้รับความนิยมนำมาถนอมอาหารโดยทำปลาหมึกตากแห้งมากที่สุดรองมาเป็นหมึกกระดองปลาหมึกกล้วยตากแห้งแบบไม่ใส่เกลือจะได้ผลผลิตประมาณ 11 – 25 เปอร์เซนต์ของปลาหมึกกล้วยสดและต้องการอบแห้งจนกระทั่งเหลือความชื้น 16-25 mc (% w.b.) และ มีโปรตีน ร้อยละ 67 – 71 เปอร์เซ็นต์ อุตสาหกรรมอบแห้งปลาหมึกนิยมใช้ตู้อบแห้งมากกว่าการนำปลาหมึกมาตากแห้ง แต่มีข้อเสียของตู้อบแห้งคือปลาหมึกไม่สามารถสัมผัสกับความร้อนได้ทั่วถึงหมดทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่คงที่ จึงเกิดแนวคิดเริ่มต้นของงานวิจัยการอบแห้งปลาหมึกเส้นฝอยโดยประยุกต์ใช้สะเป๋าเต็ดเบด ซึ่งมีแรงลอยตัวและความเร็วลมสูงกว่าฟลูอิดไดซ์เบดที่ใช้เครื่องอัดอากาศ ขนาดเดียวกันซึ่งมีท่อลมที่ทางเข้าเบดเล็กกว่า โดยที่เป็นกระบวนการนำของแข็งที่มีรูปร่างเป็นเม็ดหรือเป็นชิ้นมาสัมผัสกับของไหลแล้วเม็ด ของแข็งเหล่านั้นจะมีคุณสมบัติคล้ายของไหล ลักษณะการวางมีทั้งแนวตั้งและแนวนอน ในงานวิจัยนี้ใช้เบดในแนวตั้งเพื่อออกแบบให้ปลาหมึกเส้นฝอยมีการการกระจายตัวในเบดเป็นอย่างดี เพื่อให้ปลาหมึกฝอยสามารถถ่ายเทความร้อนระหว่างเส้นได้อย่างสมดุล โดยอาศัยแหล่งพลังงานความร้อนจากชุดฮีตเตอร์ขนาด 1.25 KW ในการทดลองจะมีการปรับความเร็วลมที่ทางเข้าของเบด เพื่อหาความเร็วลมที่ดีที่สุดโดยใช้ชุดปรับความเร็วลมแบบ Damper ทำให้สามารถปรับ

ความเร็วลมให้สัมพันธ์กับความร้อนที่ได้จากชุดฮีตเตอร์ และสัมพันธ์กับการเกิดฟลูอิดไดเซชั่นในเบดทดลอง

2. ทฤษฎีและการออกแบบ

2.1 การออกแบบสะเป๊าเต็ดเบด

ขณะที่ปลาหมึกเส้นเริ่มลอยตัวเป็นอิสระ สภาวะสมดุลของแรงสองแรง ที่เกิดขึ้นบนปลาหมึกเส้นคือ แรงที่เกิดจากน้ำหนักของปลาหมึกเส้นกับแรงพยุงจากของไหลหรือเกิดแรงเสียดทานกับแรงต้านของไหลความสูงต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชั่นจากสมการ

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

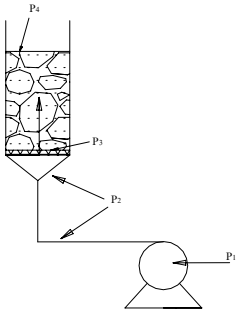
การออกแบบเบื้องต้นต้องมีการหาแฟคเตอร์รูปร่าง(ϕ_s) เสียก่อน แฟคเตอร์รูปร่างคือ อัตราส่วนของพื้นที่ผิวของทรงกลมที่มีปริมาตรเท่าปลาหมึกเส้นต่อพื้นที่ผิวของปลาหมึกวัดหาแฟคเตอร์รูปร่างได้จากสมการ

$$\phi_s = \frac{A_{sp}}{A_{sq}} \qquad (2)$$

ปลาหมึกที่ทดสอบต้องนำมาเฉลี่ยจากจำนวน 100 ตัว ทำการหาปริมาตรเทียบเท่าและพื้นที่ผิวของปลาหมึกจากเครื่องวัดพื้นที่ Polar Planimeter ได้ค่าของ แฟคเตอร์รูปร่าง(ϕ_s = 0.213) แล้วคำนวณสัดส่วนช่องว่างต่ำสุดสามารถหาได้จากผลการคำนวณค่าคงที่กับแฟคเตอร์รูปร่างจากสมการของ Wen และ Yuดังนี้

$$\varepsilon_{mf} = \sqrt[3]{\frac{1}{14\phi_s}} \qquad (3)$$

คำนวณสัดส่วนช่องต่ำสุด (ε_{mf} = 0.694) นำไปแทนค่าใน (1) ได้ความสูงต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เบด (L_{mf} = 0.51 m) จากนั้นนำไปคำนวณหาความดันลดภายในหอทดลอง (ΔP_b) ที่ตำแหน่งทางเข้าและทางออก



รูปที่ 1แสดงตำแหน่งของความดันลดในเบด ณ.จุดต่างๆ

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

เมื่อ $\frac{g}{g_c} = 1$

คำนวณหาความดันลดในเบด($\Delta P_b = 300.39 N/m^2$)เพื่อใช้สำหรับคำนวณออกแบบความเร็วสำหรับหอทดลองว่างเปล่า (U_0) เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างความดันลด(ΔP_b)ในเบดนิ่งกับความร็วของของไหลที่ไหลผ่านเบดและขนาดอนุภาคของแข็งซึ่งเป็นเทอมของสมการ Ergun ดังนี้

$$\frac{\Delta P_b g_c}{L_0} = \frac{150(1-\varepsilon_{mf})^2 \mu U_0}{\varepsilon_{mf}^{\ 3}(\phi_s . D_p)^2} + \frac{1.75(1-\varepsilon_{mf})\rho_g U_0^2}{\varepsilon_{mf}^3(\phi_s . D_p)} \qquad (5)$$

แทนค่าตัวแปรต่างๆได้ ค่า ของ ($U_0 = 3.623 m/s$) หาค่าความเร็วของไหลขณะเริ่มเกิดฟลูอิดไดซ์เซชั่นในปริมาณช่องว่างต่ำสุดสำหรับขณะที่เริ่มเกิดนั้นจะมีค่ามากกว่าปริมาณช่องว่างที่อยู่ในเบดนิ่งเพียงเล็กน้อย ขณะที่เบดยังอยู่ในลักษณะค่าต่ำสุดของฟลูอิดไดซ์เซชันนั้น สมการของความดันตกคร่อมเบดยังสามารถ เอามาประยุกต์ได้เมื่อแทนค่าลงใน สมการของ Ergun เพื่อหาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชั่น

$$\frac{1.75}{\phi_s \varepsilon_{mf}^3}\left(\frac{D_p U_{mf}\rho_g}{\mu}\right)^2 + \frac{150(1-\varepsilon_{mf})(D_p U_{mf}\rho_g)}{\phi_s^2 \varepsilon_{mf}\mu} = \frac{D_p^3 \rho_g(\rho_s - \rho_g)g_c}{\mu^2} \qquad (6)$$

แทนค่าตัวแปรต่างๆและแก้สมการพร้อมทั้งแยกแฟคเตอร์ได้ค่าของ ($U_{mf} = 6.447 m/s$) นำมาตรวจสอบค่าของRenold number (R_e)ได้จากสมการ

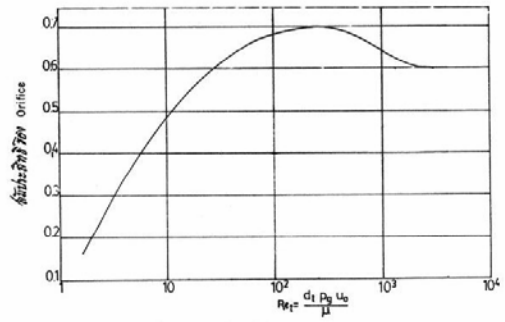
$$R_e = \frac{\rho g U_{mf} d_t}{\mu} \qquad (7)$$

ค่า Renold number ที่คำนวณได้ (R_e =25,553.38>1000) เนื่องจากปลาหมึกเส้นมีขนาดใหญ่พอสมควรต้องใช้ความเร็วในการไหลสูงจึงลอยเป็นอิสระได้ จึงใช้สมการสำหรับวัสดุอบแห้งที่มี $R_e > 1000$ (ทางทฤษฎี)

$$U_{mf}^2 = \frac{\phi_s D_p}{1.75}\frac{\rho_s - \rho_g}{\rho_g} . g_c . \varepsilon_{mf}^3 \qquad (8)$$

คำนวณค่าความเร็วลมต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เบดใหม่โดยใช้สมการที่ (8) ได้ ($U_{mf} = 6.45 m/s$) การคำนวณออกแบบแผ่นกระจายอากาศ ในการออกแบบต้องคำนึงถึงความดันที่เกิดจากแผ่นระบายอากาศ (ΔP_d)ความดันที่ผ่านรูระบายอากาศเป็น 10 %ของความดันลดทั้งหมดดังนั้นค่าของ ($\Delta P_d = 30.04 kg/m^2$) ในการออกแบบต้องการหา P_2 เพื่อทราบความดันของท่อลมทางเข้าเบดคำนวณได้จาก

คำนวณความดันของท่อลมทางเข้าเบด (P_2 =1.52 bar) หาสัมประสิทธิ์ของ แผ่นกระจายอากาศหรือ Orifice(C_d) คำนวณ Renold number ใหม่ได้(R_e = 56,984.72)แล้วหาค่า C_d จากรูปที่2



รูปที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ของแผ่นกระจายอากาศ(C_d) [1]

จากรูปที่ 2 หาค่าของ $C_d = 0.6$ อิทธิพลของตัวกระจายก๊าซขณะที่เบดเกิดฟลูอิดไดซ์เบดด้วยความเร็วของก๊าซต่ำสุดลักษณะเบดจะเป็นเนื้อเดียวสม่ำเสมอตลอดทั้งเบดเมื่อความเร็วก๊าซมากขึ้นจะก่อตัวเป็นฟองก๊าซมากขึ้น ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแผ่นกระจายอากาศ (Distributor) ที่รองรับเบดว่าเป็นแบบใด ถ้าเป็นแบบแผ่นโลหะเจาะรู (Perforated) ก๊าซจะมีขนาดใหญ่กว่าแบบ ตะแกรง (Sintered plate) ตัวกระจายแบบนี้ทำให้ก๊าซผ่านได้อย่างสม่ำเสมอ ฟองก๊าซจึงเกิดขึ้นจำนวนมาก แต่ถ้าเป็นตัวกระจายที่กล่าวมาแบบแรกจะพ่นออกไปเหมือนเจ๊ต การคำนวณหาความเร็วของก๊าซสามารถหาได้จากสมการความเร็วของก๊าซที่ไหลผ่านออริฟิท คือ

$$U_{or} = C_d \left[2 g_c \frac{\Delta P_d}{\rho_g} \right]^{1/2} \qquad (9)$$

คำนวณความเร็วลมได้ 13.56 m/s สัดส่วนของพื้นที่รูต่อพื้นที่ทั้งหมด 26.8 % คำนวณ V_2 ได้จากความเร็ว U_0 และความดัน P_3 นั้นคือเมื่ออากาศผ่านตัวกระจายอากาศจะมีอุณหภูมิคงที่ ดังนั้นคำนวณความเร็วของก๊าซที่ P_2 กับ V_2 ได้ดังสมการ

$$V_2 = U_0 A_t \frac{P_3}{P_2} \qquad (10)$$

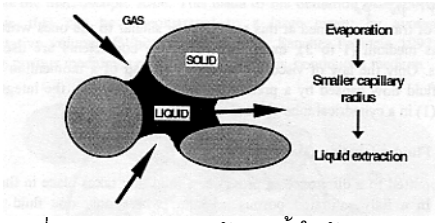
สัดส่วนขนาดท่อลมต่อขนาดของเบดเท่ากับ 0.7 เท่า และหากำลังของเครื่องอัดอากาศ โดยที่ประสิทธิภาพของ เครื่องอัดอากาศแบบTurbo เครื่องอัดอากาศ 0.75 และอัตราส่วนการอัดอากาศ ($\gamma = 1.4$) คำนวณขนาดของTurbo เครื่องอัดอากาศ ได้ 1.2 Hp ต้องการหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน(h_w)สามารถหาได้จากสมการ

$$\left(\frac{h_w d_p}{k_g} \right) = 0.58 (P_r)^{0.5} \left(B. \frac{d_p G}{\mu_g} \right)^{0.45} \left(\frac{\rho_s (1 - \varepsilon_{mf})}{\rho_g} \right)^{0.18} \left(\frac{C_{ps}}{C_{pg}} \right)^{0.36} \qquad (11)$$

คำนวณสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน(h_w =36.6 $W/m^2.^\circ K$) ปริมาณความร้อนที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิอากาศสำหรับเครื่องอบปลาหมึกให้อุณหภูมิอบแห้งที่ 70 $^\circ C$ คำนวณหาขนาดของฮีตเตอร์ที่ต้องใช้ในการอบแห้ง ต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า 1.236 kW

2.2 สมการของการอบแห้ง

ปลาหมึกที่ต้องการอบแห้งอยู่ในประเภทของวัสดุพรุน (Porous Medium) เมื่อลมร้อนที่ทางเข้าของสะเป๊าเต็ดเบด ไหลผ่านช่องว่างระว่างวัสดุพรุน น้ำที่อยู่ในวัสดุพรุนจะเกิดการควบแน่นตัวจนกระทั่งระเหยออกจากช่องว่างของวัสดุพรุน ระยะเวลาในการอบแห้งจะขึ้นอยู่กับตัวแปรของอุณหภูมิ และความเร็วลมทางออกของชุดปรับความเร็วลมสามารถหาได้จากการทดลอง



รูปที่ 3 แสดงการระเหยตัวของน้ำในวัสดุพรุน**[7]**

การหาเปอร์เซนต์ความชื้น

$$\text{Mc (\% d.b.)} = \frac{m_w - m_d}{m_d} \times 100 \qquad (12)$$

$$\text{Mc (\% w.b.)} = \frac{m_w - m_d}{m_w} \times 100 \qquad (13)$$

คำนวณหาค่าอัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio ; MR) จากสมการเอมไพริเคิลของการทดลองเพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเวลาอบแห้ง

$$MR = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} = A \exp(-kt) \qquad (14)$$

มวลที่สภาวะสมดุล (Mass equilibuim; M_e) ได้จากการทดลองนำปลาหมึกไปอบแห้งจนกระทั่งได้มวลคงที่ 1124 g ผลการทดลองของรูปที่ 3 ความเร็วลม 7 m/s เป็นความเร็วลมที่ดีสุดในการอบแห้ง เมื่อ ทำ curve fitting ของสมการรูป exponential model ที่เวลา t ใดๆ

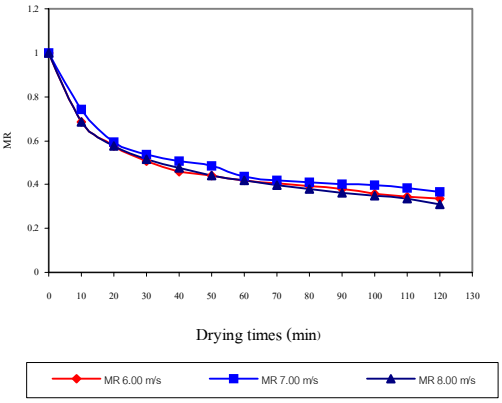
$$MR = 2.51 \exp(-0.125t) \qquad (15)$$

3. ข้อมูลที่ได้จากการออกแบบ

นำขนาดที่คำนวณได้เลือกใช้ขนาดของ เครื่องอัดอากาศ ขนาด 2 แรงม้าเป็นขนาดของ เครื่องอัดอากาศ ที่สามารถออกแบบการทดลองหาออฟติไมซ์ ของความเร็วลมที่ระดับต่างๆ ขนาดของฮีตเตอร์ ที่ใช้อบแห้ง 1.3 KW เบด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 cm และ ขนาดของท่อลมที่ทางเข้าเบดมีขนาด 18 cm เครื่องอบแห้งที่ประกอบเสร็จเรียบร้อยแสดงในรูปที่ 2

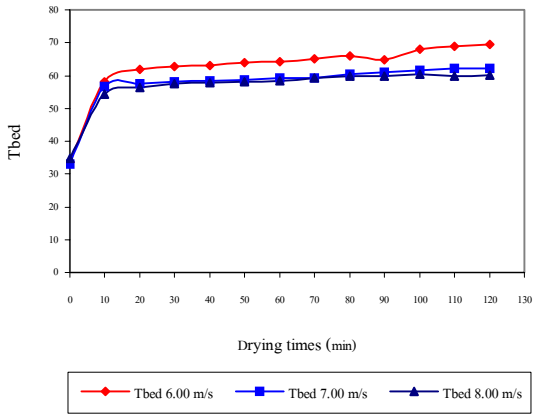
รูปที่ 2. ชุดทดลองฟลูอิดไดซ์เบด

4. ผลการวิจัย



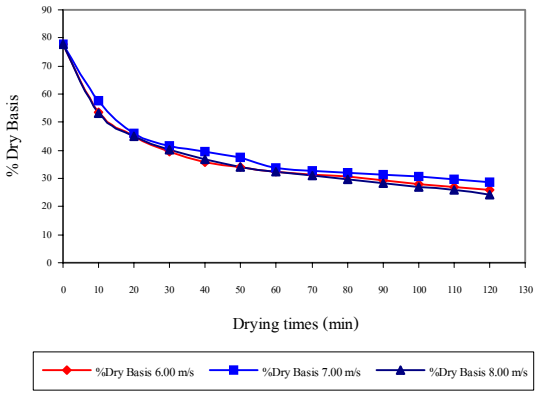
รูปที่ 3 แสดงผลการทดลองหาค่าMR

อธิบายรูปที่ 3 แสดงผลจากการทดลองอบปลาหมึกเส้นฝอย จำนวน 2000 g มาใส่ในเบด ความสูงของปลาหมึกเส้นในเบดระหว่าง 35 – 40 cm แล้วทดลองอบจนกระทั่งปลาหมึกเส้นฝอยแห้งเป็นเวลา 120 นาที ปรับความเร็วลมที่ชุดควบคุมความเร็วลมที่ทางเข้าเพิ่มขึ้นครั้งละ 1 m/s โดยใช้เครื่องมือวัดความเร็วลมวัดความเร็วลมที่ทางเข้าเบด ผลการทดลองแสดงค่าที่ดีสุดจากผลการทดสอบเฉลี่ย 10 ครั้ง ที่ระดับความเร็วลม 6.0 m/s , 7.0 m/s และ 8.0 m/s เพื่อทดลองหา ออพติไมซ์ ของความเร็วลมที่ระดับความเร็วลมต่างๆที่ทำให้ค่า Moisture Ratio (MR)ของ ปลาหมึกเส้นลดลงได้เร็วที่สุด ค่าความชื้นสมดุลของปลาหมึกเส้นฝอย 2000 g (M_e =1124.8 g) หาได้จากการทดลองความชื้นสมดุล ในขณะที่อบแห้งกราฟของ MR จะลดลงในลักษณะของ ฟังค์ชั่น exponential ลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 30 นาทีแรก และค่อยๆลดลงอย่างช้าๆตั้งแต่ ช่วง 30 นาทีขึ้นไปจนถึง 120 นาที ซึ่งเป็นช่วงที่ปลาหมึกแห้งได้ตามมาตรฐานที่สามารถกักเก็บได้โดยไม่ขึ้นราที่ 24 mc (% w.b.)



รูปที่ 4 แสดงผลการทดลองหาอุณหภูมิภายในเบด

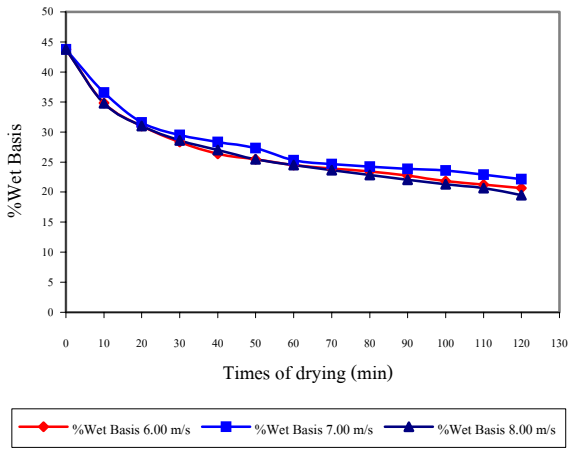
อธิบายรูปที่ 4 แสดงผลจากการทดลองหาอุณหภูมิในเบดขณะอบแห้งปลาหมึกเส้นฝอยที่ 2000 g เป็นเวลา 120 minโดยปรับความเร็วลม ที่ทางเข้าเพิ่มขึ้นครั้งละ 1 m/s โดยใช้เครื่องมือวัดความเร็วลมวัดความเร็วลมที่ทางเข้าเบด ผลการทดลองแสดงค่าที่ดีสุดจากผลการทดสอบเฉลี่ย 10 ครั้ง ที่ระดับที่ความเร็วลมต่างๆ ที่ความเร็วลม 6.0 m/s 7.0 m/s และ 8.0 m/s เพื่อหาอุณหภูมิภายในเบด ทำการวัดโดยใช้อุณหภูมิเฉลี่ยของเบด กราฟ ในช่วง 10 นาทีแรก กราฟเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งความดันในเบดคงที่อุณหภูมิจะค่อยๆเพิ่มอย่างช้าๆ ตั้งแต่เวลาอบแห้ง 10 นาทีขึ้นไป จนถึง 120 นาที



รูปที่ 5 แสดงผลการทดลองหา mc (% d.b.)

อธิบายรูปที่ 5 แสดงผลจากการทดลองหาmc (% d.b.) ที่ใช้อบแห้ง โดยนำปลาหมึกเส้นฝอย ที่มีมวลเปียก, m_w 2000 g แล้วทดลองอบจนกระทั่งปลาหมึกเส้นฝอยแห้งเป็นเวลา 120 min โดยปรับความเร็วลมที่ทางเข้าเพิ่มขึ้นครั้งละ 1 m/s โดยใช้เครื่องมือวัดความเร็วลมวัดความเร็วลมที่ทางเข้าเบด ผลการทดลองแสดงค่าที่ดีสุดจากผลการทดสอบเฉลี่ย 10 ครั้ง ที่ระดับ ที่ความเร็วลมต่างๆโดยใช้เครื่องมือวัด ที่ความเร็วลม 6.0 m/s , 7.0 m/s และ 8.0 m/s เพื่อทดลองหาความเร็วลมที่สามารถลดmc (% d.b.) แล้วพลอตกราฟโดยคำนวณจาก(12) กราฟของ mc (% d.b.) จะลดลงในลักษณะของ

ฟังค์ชั่น exponential ลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 30 นาทีแรก และค่อยๆลดลงอย่างช้าๆตั้งแต่ ช่วง 30 นาทีขึ้นไปจนถึง 120 นาที สามารถลดเปอร์เซ็นต์ความชื้นลงเหลือ 33.6 mc (% d.b.)



รูปที่ 6 แสดงผลการทดลองหา mc (% w.b.)

อธิบายรูปที่ 6 แสดงผลจากการทดลองหาmc (% w.b.) ที่ใช้อบแห้ง โดยนำปลาหมึกเส้นฝอย ที่มีมวลเปียก, m_w 2000 g แล้วทดลองอบจนกระทั่งปลาหมึกเส้นฝอยแห้งเป็นเวลา 120 min โดยปรับความเร็วลมที่ทางเข้าเพิ่มขึ้นครั้งละ 1 m/s โดยใช้เครื่องมือวัดความเร็วลมวัดความเร็วลมที่ทางเข้าเบด ผลการทดลองแสดงค่าที่ดีสุดจากผลการทดสอบเฉลี่ย 10 ครั้ง ที่ระดับ ที่ความเร็วลมต่างๆโดยใช้เครื่องมือวัด ที่ความเร็วลม 6.0 m/s, 7.0 m/s และ 8.0 m/s เพื่อทดลองหาความเร็วลมที่สามารถลดmc (% w.b.) ลดลงได้เร็วที่สุดแล้วพลอตกราฟโดย คำนวณจาก(13) กราฟของ mc (% d.b.) จะลดลงในลักษณะของ ฟังค์ชั่น exponential ลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 30 นาทีแรก และค่อยๆลดลงอย่างช้าๆตั้งแต่ ช่วง 30 นาทีขึ้นไปจนถึง 120 นาที สามารถลดเปอร์เซ็นต์ความชื้นลงเหลือ 24 mc (% w.b.)

รูปที่ 7. ปลาหมึกเส้นฝอยขณะลอยในหอทดลอง

อธิบายรูปที่ 7 แสดงปลาหมึกเส้น น้ำหนัก 2000 g ขณะลอยตัวในสะเป้าเต็ดเบดขณะทำการทดลองซึ่งปลาหมึกเส้นที่ได้จะเกาะและประสานตัวกันเป็นก้อนลอยอยู่ในเบด

5. ผลสรุปของงานวิจัย

จากการวิจัยทดลองอบแห้งปลาหมึกเส้นฝอยจนกระทั่งถึง 24 mc (% w.b.) ที่เป็นความชื้นที่สามารถเก็บรักษาปลาหมึกเส้นฝอยได้ ใช้เวลา 60 นาที สามารถลดเวลาการอบแห้งโดยใช้ตู้อบ ต้องใช้เวลาประมาณ 3 - 4 ชั่วโมง ความเร็วลมเหมาะสมในการอบแห้งที่ได้ผลดีที่สุด คือ 7.0 m/s ที่เวลา 60 นาที สามารถลด MR ลดลงเหลือ 0.435 , mc (% d.b.) ลงเหลือ 33.6 และ mc (% w.b.) เหลือ 24 mc (% w.b.) และ ดีกว่าความเร็วลม 6.0 m/s และ 8.0 m/s ดังแสดงในรูปที่ 3,4,5 และ 6 ปัญหาที่เกิดของงานวิจัยเรื่องนี้คือยังไม่สามารถทำให้ปลาหมึกเส้นกระจายตัวในเบดได้ แต่ผลที่ได้คือเกาะตัวเป็นก้อน ถ้าต้องการทำให้ปลาหมึกเส้นฟุ้งกระจายตัวได้ดีในสะเป้าเต็ดเบด ต้องทำการควบคุมชุดปรับความเร็วลมให้ปล่อยลมเข้ามาเป็นจังหวะปิด-เปิด ใน ลักษณะเป็น Pulse ทำให้ลดเวลาอบแห้งดีขึ้นเนื่องจาก ค่านัทเซิลนัมเบอร์ (N_u) ในสะเป้าเต็ดเบดที่สูงขึ้น การควบคุมชุดบังคับความเร็วลมเป็นผลงานวิจัยขั้นต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้โดยโดยผู้วิจัยขอขอบคุณบุคคลต่างๆดังต่อไปนี้

1. คุณ อับดุล จิ้วจวบ และ คณะ ผู้ช่วยวิจัย ม.เกษมบัณฑิต
2. คุณ ศรีประภา ผึ้งเทศ
3. คุณ สมหมาย เสถียรบำรุงกิจ ผู้จัดการ หจก.อาร์เอสเอนจิเนียริ่ง

7. เอกสารอ้างอิง

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

[2.] Ergun S.,”Chemical Engineering Progress”,1952

[3.] Kunii D. and Levenspiel O., Fluidization Engineering,2nd ed. USA: Butterworth Heinemann,1991

[4.] Cengel, Y.A. and Boles, M.A.“ Thermodynamics and Engineering Approach”, New York: McGraw-Hill Book Company. 1989.

[5.] Van Wylen, G.J. and Sonntage R.E., “Fundamentals of Classical Thermodynamics”3d ed.New York: Jhon- Wiley&Sons.1986

[6.] Black,W.Z.and Hartley,J.G. “Thermodynamics.2d ed. New York: Harper Collins College Publishers.1991

[7.] Ian Turner and Arun S. Mujumdar. ”Mathematical Modeling and Numerical Techniques in Drying Technology” Newyork,Basel,Hongkong :Marcel Deckker,Inc.

8. สัญลักษณ์

A_{sp} คือ พื้นที่ผิวของทรงกลมปริมาตรเท่า (m^2)

A_{sq} คือ พื้นที่ผิวของปลาหมึกเส้นฝอย (m^2)

B คือ สัมประสิทธิ์เชิงรูปทรง(Shape factor) (ไม่มีหน่วย)

m_w คือ มวลเปียก (g)

m_d คือ มวลแห้ง (g)

L_{mf} คือ ความสูงต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชั่น (m)

L_o คือ ความสูงของปลาหมึกในหอทดลอง (m)

ε คือ สัดส่วนช่องว่างเฉลี่ย (ไม่มีหน่วย)

ε_{mf} คือ สัดส่วนช่องว่างต่ำสุด (ไม่มีหน่วย)

ϕ_s คือ แฟคเตอร์รูปร่าง (ไม่มีหน่วย)

D_p คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของปลาหมึกเส้น (m)

ρ_s คือ ความหนาแน่นของปลาหมึก (1,926 $kg./m^3$)

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

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

P_r คือ แพรนตัลนัมเบอร์ (ไม่มีหน่วย)

R_e คือ เรย์โนลด์นัมเบอร์ (ไม่มีหน่วย)

d_t คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหอทดลอง (m)

U_0 คือ ความเร็วของอากาศในเบดขณะที่ไม่มีเมล็ดของแข็ง (m/s)

U_{or} คือ ความเร็วอากาศที่ผ่านแผ่นกระจายลม (m/s)

U_{mf} คือ ความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เบด (m/s)

V_2 คือ ความเร็วลมในท่อทางเข้าสะเป๋าเต็ดเบด (m/s)

C_d คือ สัมประสิทธิ์ของแผ่นกระจายลม (ไม่มีหน่วย)

ΔP_b คือ ความดันลดภายในหอทดลอง (kg/m^2)

ΔP_d คือ ความดันตกคร่อมแผ่นกระจายลม (kg/m^2)

P_1 คือ ความดันของ เครื่องอัดอากาศ (kg/m^2)

P_2 คือ ความดันในท่อทางเข้าสะเป๋าเต็ดเบด (kg/m^2)

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

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

g_c คือ อัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)

N_{or} คือ จำนวนรูกระจายลมต่อหน่วยพื้นที่

h_w คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในฟลูอิดไดซ์เบด ($W/m^2.^\circ K$)

A_w คือ พื้นที่ผิวรวมทั้งหมดของเบด(m^2)

ΔT คือ ผลต่างอุณหภูมิอบแห้งปลาหมึกกับอากาศที่อุณหภูมิห้อง($^\circ K$)

W_{sa} คือ กำลังของ เครื่องอัดอากาศ (Watt)

h_r คือ แรงม้า (746 Watt)

γ คือ อัตราส่วนความร้อนจำเพาะของอากาศ (ไม่มีหน่วย)

η คือ ประสิทธิภาพของ เครื่องอัดอากาศ แบบ เทอร์โบ (0.75)

C_{ps} คือ ค่าความร้อนจำเพาะของปลาหมึก (3.53 $\frac{kJ}{kg^\circ K}$)

C_{pg} คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศ (1.007 $\frac{kJ}{kg^\circ K}$)

M คือ มวลขณะอบแห้งที่เวลาใดๆ (g)

M_i คือ มวลขณะเริ่มต้นอบแห้ง (g)

M_e คือ มวลที่ความชื้นสมดุล (g)