

การศึกษาฟลูอิดไดเซชันโดยใช้ความร้อนจากชุดคอนเดนเซอร์ เพื่อใช้ในระบบการอบแห้ง

Fluidization in Dryer Process by Condenser Unit

ชริน สังข์เกษม

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

ถ.พัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตประเวศ กทม. 10250

โทร 02-3216930-9 ต่อ 1213 E-mail: 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.1213 E-mail: charinsu@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอเกี่ยวกับกระบวนการอบแห้งโดยใช้ความร้อนที่ถ่ายเทจากชุดคอนเดนเซอร์ด้วยฟลูอิดไดซ์เบด เฉพาะเมล็ดพืชขนาดเล็กคือเมล็ดข้าวโพด เนื่องจากสามารถกระจายตัวและมีถ่ายเทความร้อนระหว่างเมล็ดในฟลูอิดไดซ์เบดได้เป็นอย่างดี ชุดทดลองประกอบด้วย 3 ส่วน คือ 1. ชุดแอร์ขนาด 20,000 Btu. 2. ชุดของฟลูอิดไดซ์เบด และ 3. ชุดควบคุมความเร็วลม (Blower) ในชุดควบคุมความเร็วลมสามารถควบคุมความเร็วของลม เพื่อทดลองหาความเร็วลมที่ดีที่สุดตรงทางเข้าฟลูอิดไดซ์เบด จากการทดลองแสดงในกราฟที่ความเร็วลม 3 ระดับ ปรากฏว่าความเร็วลม 5.0 m/s ทำให้เมล็ดข้าวโพดที่ต้องการอบแห้งสามารถลดมวลเปียก สามารถลดเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์และใช้เวลาน้อยที่สุดที่สามารถทำให้เมล็ดข้าวโพดลดความชื้นและมวลเปียกในการทดสอบที่ดีที่สุดในการอบแห้ง

Abstract

This research proposed a study of drying by using heat from a condensing unit with the fluidized bed method. The study focused on concentrated small seeds (in particular, corn seeds), due to proper properties of distribution and heat transfer between each other. The experimental groups composed of a 20,000 Btu. air-conditioner, Fluidized bed unit, and a flow control unit. The flow control unit varied the air velocity in order to carry out the optimum inlet velocity, and provided the best time for distribution and replacement processes.

1.บทนำ

ในปัจจุบันเมล็ดข้าวโพดอบแห้งสามารถนำไปใช้ทำข้าวโพดคั่วซึ่งเป็นที่ยอมรับอย่างมาก วัตถุประสงค์ในการทำวิจัยคือวิธีการของเกษตรกรใช้วิธีการตากแห้งเมล็ดข้าวโพดซึ่งในฤดูฝนที่มีความชื้นสูงเมล็ดข้าวโพดที่ตากแห้งอาจเกิดการขึ้นรา จึงได้เกิดแนวความคิดงานวิจัยนี้โดยประยุกต์ใช้ฟลูอิดไดซ์เบด ซึ่งเป็นกระบวนการนำของแข็งที่มีรูปร่างเป็นเม็ดหรือเป็นชิ้นมาสัมผัสกับของไหลแล้วเม็ดของแข็งเหล่านั้นจะมีคุณสมบัติคล้ายของไหล ฟลูอิดไดซ์เบดมีลักษณะวางในแนวตั้งและแนวนอน ในงานวิจัยนี้ใช้เบดในแนวตั้งเพื่อให้การกระจายตัวของเมล็ดข้าวโพดทำได้เป็นอย่างดี กระบวนการอบแห้งนี้ใช้หลักการของฟลูอิดไดซ์เบดเพื่อให้เมล็ดข้าวโพดสามารถถ่ายเทความร้อนระหว่างเมล็ดได้อย่างสมดุล โดยอาศัยแหล่งพลังงานความร้อนจากชุดคอนเดนเซอร์ของเครื่องปรับอากาศขนาด 20,000 Btu. เพื่อเป็นการใช้ความร้อนที่สูญเสียไปจากชุดคอนเดนเซอร์ของเครื่องปรับอากาศ แล้วนำมาใช้ลดเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ของเมล็ดข้าวโพดในการทดลองมีการปรับความเร็วลมที่ทางเข้าของเบด เพื่อหาความเร็วลมที่ดีที่สุดโดยใช้ชุดปรับความเร็วลมแบบ Damper ทำให้สามารถปรับความเร็วลมให้สัมพันธ์กับความร้อนที่ได้จากชุดคอนเดนเซอร์ และสัมพันธ์กับการเกิดฟลูอิดไดซ์เบดในเบดทดลองที่ทางออกของเบดจะมีท่อต่อลมที่ระบายออกมาจากเบด แล้วนำไปต่อที่ชุดคอลล์เย็นของแอร์เพื่อช่วยลดความชื้นในระบบการอบแห้ง การทดลองได้ออกแบบความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เบดเปรียบเทียบกับความเร็วลมที่ดีที่สุดในการอบแห้งเมล็ดข้าวโพด แล้วทำการคำนวณเปอร์เซ็นต์หาความชื้นสัมพัทธ์ หาความดันที่ตกคร่อมเบด เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง หาความเร็วต่ำสุดที่

ทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชัน และหาเวลาในการอบแห้ง

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จะกล่าวถึงเฉพาะทฤษฎีที่สำคัญเท่านั้น

การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง} = \frac{m_w - m_d}{m_w} 100 \quad (1)$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก} = \frac{m_w - m_d}{m_d} 100 \quad (2)$$

ขณะที่เมล็ดของแข็งเริ่มลอยตัวเป็นอิสระกล่าวได้ว่าสภาวะสมดุลของแรงสองแรงที่เกิดขึ้นบนเมล็ดของแข็งคือ แรงที่เกิดจากเมล็ดของแข็งเอง กับแรงพยุงจากของไหล หรือเกิดแรงเสียดทานกับแรงต้านของไหล ความสูงต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชัน

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

ในปริมาณช่องว่างต่ำสุดสำหรับขณะที่เริ่มเกิดนั้นจะมีค่ามากกว่าปริมาณช่องว่างที่อยู่ในเบตหนึ่ง เพียงเล็กน้อย ขณะที่เบตยังอยู่ในลักษณะค่าต่ำสุดของฟลูอิดไดเซชันนั้น สมการของความดันตกคร่อมเบตยังสามารถนำมาประยุกต์ได้เมื่อแทนค่าลงใน สมการของ Ergun

$$\frac{1.75}{\phi_s \varepsilon_{mf}^3} \left(\frac{D_p U_{mf} \rho_g}{\mu} \right)^2 + \frac{150(1 - \varepsilon_{mf})(D_p U_{mf} \rho_g)}{\phi_s^2 \varepsilon_{mf} \mu} = \frac{D_p^3 \rho_g (\rho_s - \rho_g) g_c}{\mu^2} \quad (4)$$

ในเบตที่ใช้เมล็ดของแข็งขนาดเล็กสามารถใช้ความเร็วของไหลเพียงเล็กน้อยทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชันได้แล้ว แต่ในการทดลองค่าเรย์โนลด์มากกว่า 1000 เนื่องจากเป็นเมล็ดของแข็งขนาดใหญ่พอสมควรต้องใช้ความเร็วในการไหลสูงจึงลอยเป็นอิสระได้ จึงใช้สมการสำหรับเมล็ดของแข็งที่มี $Re > 1000$ (ทางทฤษฎี)

$$U_{mf}^2 = \frac{\phi_s D_p}{1.75} \frac{\rho_s - \rho_g}{\rho_g} g_c \varepsilon_{mf}^3 \quad (5)$$

ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์หาได้จากสมการ

$$Re = \frac{\rho_g U_{mf} d_t}{\mu} \quad (6)$$

อิทธิพลของตัวกระจายก๊าซ ขณะที่เบตเกิดฟลูอิดไดเซชันด้วยความเร็วของก๊าซต่ำสุดลักษณะเบตจะเป็นเนื้อเดียวสม่ำเสมอตลอดทั้งเบตเมื่อความเร็วก๊าซมากขึ้นจะก่อตัวเป็นฟองก๊าซมากขึ้น ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวกระจายลม (Distributor) ที่รองรับเบตว่าเป็นแบบใด ถ้าเป็นแบบแผ่นโลหะเจาะรู (Perforated) ก๊าซจะมีขนาดใหญ่กว่าแบบ ตะแกรง (Sintered plate) ตัวกระจายแบบนี้ทำให้ก๊าซผ่านได้อย่างสม่ำเสมอ ฟองก๊าซจึงเกิดขึ้นจำนวนมาก แต่ถ้าเป็นตัวกระจายที่กล่าวมาแบบแรกจะฟองออกไปเหมือนเจ็ต การคำนวณหาความเร็วของก๊าซสามารถหาได้จาก สมการความเร็วของก๊าซที่ไหลผ่านออร์ฟิท คือ

$$U_{or} = C' d \left(\frac{2g_c \times \Delta P_d}{\rho_g} \right)^{1/2} \quad (7)$$

จำนวนรูของออร์ฟิทต่อหนึ่งหน่วยของพื้นที่ของตัวกระจายสามารถคำนวณหาความเร็วจากสมการ

$$U_0 = \frac{\pi}{4} d_{or}^2 \times U_{or} N_{or} \quad (8)$$

สัดส่วนของพื้นที่รูต่อพื้นที่ทั้งหมดหาได้จากสมการ

$$\frac{U_o}{U_{or}} = \text{สัดส่วนของพื้นที่รูต่อพื้นที่ทั้งหมด} \quad (9)$$

ขณะที่ก๊าซไหลผ่านออร์ฟิท ออกมาเป็นเจ็ตจะมีพลังงานจลน์ทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชัน แต่ถ้าพลังงานจลน์มีมากทำให้เกิดเป็นเบตแบบ Heterogeneous พลังงานนี้จะสมดุลกับน้ำหนักของเบตขณะที่เกิดฟลูอิดไดเซชัน

3. ผลการวิจัย

ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะผลการวิจัยที่ดีที่สุดเท่านั้น

จากการคำนวณ

$$L_{mf} = 0.0745 \text{ m}$$

$$\Delta P = 43.294 \text{ mm. H}_2\text{O}$$

$$Re = 14195.335 > 1000$$

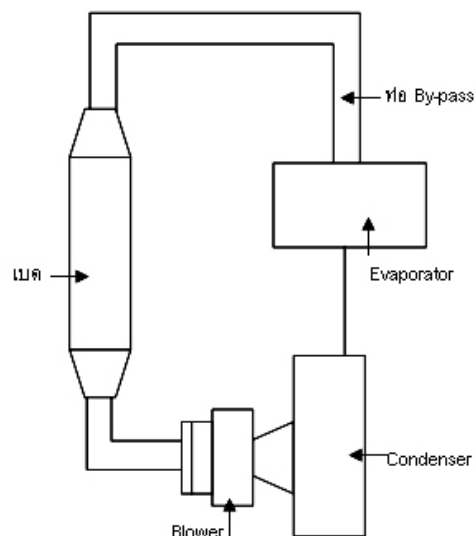
$$U_{mf} = 1.396 \text{ m / s} \text{ จากสมการ (5)}$$

$$U_{mf} = 1.389 \text{ m / s} \text{ จากสมการ (4)}$$

$$U_{or} = 15.511 \text{ m / s} \text{ จากสมการ (7)}$$

$$U_0 = 10 \text{ m / s} \text{ จากการทดลอง}$$

$$\frac{U_o}{U_{or}} = 64.47 \% \text{ จากสมการ (9)}$$



รูปที่ 1 แสดงวงจรการทำงานของชุดฟลูอิดไดเซชัน



รูปที่ 2 แสดงชุดทดลองฟลูอิดไดซ์เบด



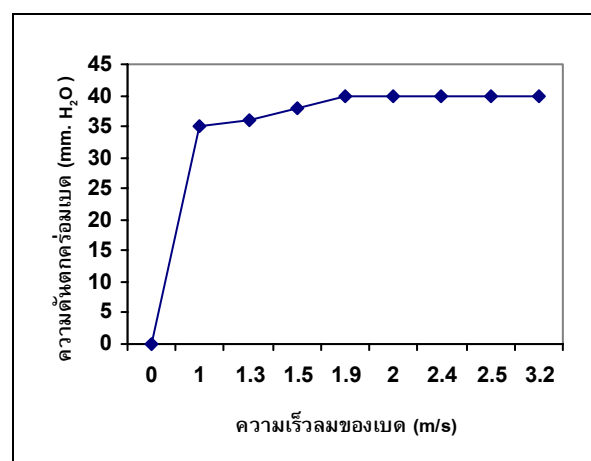
รูปที่ 3 แสดงชุดควบคุมความเร็วลมของ Blower



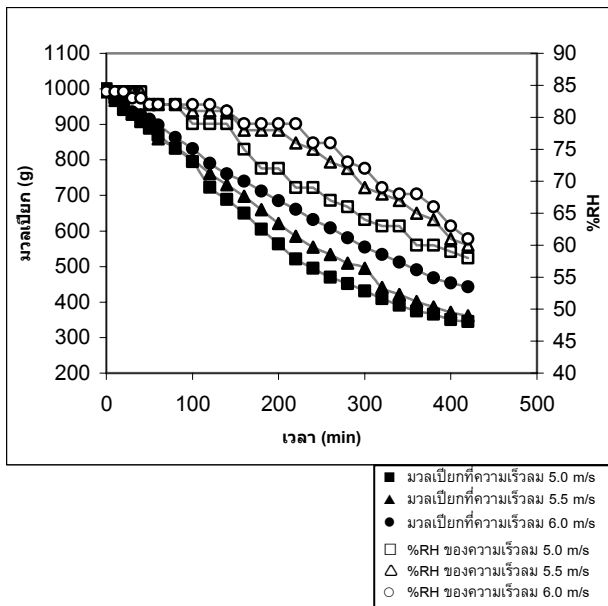
รูปที่ 4 แสดงเครื่องมือวัดความเร็วลม Digicon

ตารางที่ 1 ผลความสัมพันธ์ที่ความเร็วของอากาศ U_{bed} กับความดันตกคร่อมท่อทดลอง ΔP

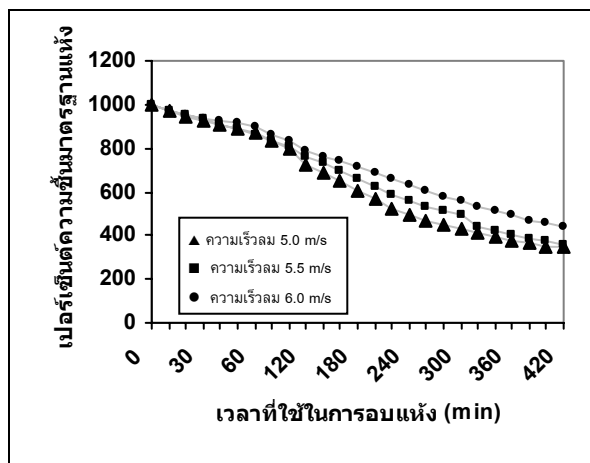
U_{bed} (m/s)	ΔP (mm. H_2O)
0	0
1.0	35
1.3	36
1.5	38
1.9	40
2.0	40
2.4	40
2.5	40
3.2	40



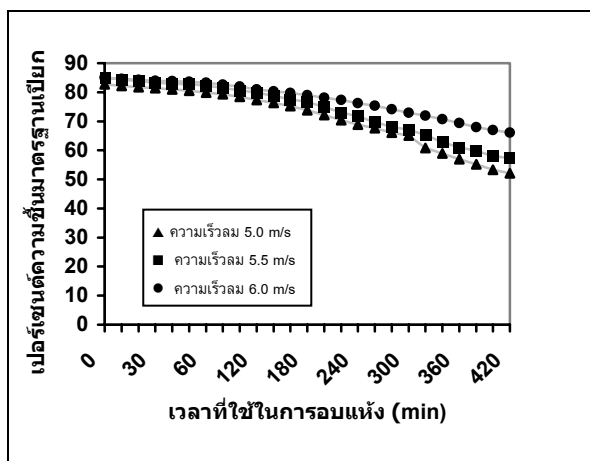
รูปที่ 5 ผลความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกคร่อมและความเร็วลมของเบด



รูปที่ 6 ผลความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกคร่อม
และความเร็วลมของเบด



รูปที่ 7 ผลความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความขึ้นมาตรฐานแห่ง
และเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง



รูปที่ 8 ผลความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความขึ้นมาตรฐานเปียก
และเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

อธิบายรูปที่ 5 แสดงทดลองหาความดันตกคร่อมที่ทางเข้าและทางออกของโดยต่อท่อวัดความดัน แบบमानอร์มิเตอร์แล้วใส่น้ำลงไปในห้องแล้วสามารถวัดความดันที่ตกคร่อมหาค่าทดลองได้

อธิบายรูปที่ 6 แสดงผลจากการทดลองอบเมล็ดข้าวโพดนำเมล็ดข้าวโพด 1000 g มาใส่ในเบด ความสูงของเมล็ดข้าวโพดในเบดประมาณ 0.07 m แล้วทดลองอบจนกระทั่งเมล็ดข้าวโพดแห้งเป็นเวลา 420 min ที่ความเร็วลมต่างๆโดยใช้เครื่องมือวัด ที่ความเร็วลม 5.0 m/s , 5.5 m/s และ 6.0 m/s เพื่อทดลองหาความเร็วลมที่สามารถลดมวลเปียกและเปอร์เซ็นต์ความขึ้นสัมพัทธ์ของเมล็ดข้าวโพดได้ดีที่สุด

อธิบายรูปที่ 7 แสดงผลจากการทดลองหาเปอร์เซ็นต์ความขึ้นมาตรฐานแห่งกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง โดยนำเมล็ดข้าวโพด ที่มีมวลเปียก, m_w 1000 g ไปคั่วจนกระทั่งไหม้ จะได้ มวลแห้ง, m_d เท่ากับ 150 g แล้วทดลองอบจนกระทั่งเมล็ดข้าวโพดแห้งเป็นเวลา 420 min ที่ความเร็วลมต่างๆโดยใช้เครื่องมือวัด ที่ความเร็วลม 5.0 m/s , 5.5 m/s และ 6.0 m/s เพื่อทดลองหาความเร็วลมที่สามารถลดเปอร์เซ็นต์ความขึ้นมาตรฐานแห่ง แล้วพลอตกราฟโดยคำนวณจากสมการ (1)

อธิบายรูปที่ 8 แสดงผลจากการทดลองหาเปอร์เซ็นต์ความขึ้นมาตรฐานเปียกกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง โดยนำเมล็ดข้าวโพด ที่มีมวลเปียก, m_w 1000 g ไปคั่วจนกระทั่งไหม้ จะได้ มวลแห้ง, m_d เท่ากับ 150 g แล้วทดลองอบจนกระทั่งเมล็ดข้าวโพดแห้งเป็นเวลา 420 min ที่ความเร็วลมต่างๆโดยใช้เครื่องมือวัด ที่ความเร็วลม 5.0 m/s , 5.5 m/s และ 6.0 m/s เพื่อทดลองหาความเร็วลมที่สามารถลดเปอร์เซ็นต์ความขึ้นมาตรฐานเปียก แล้วพลอตกราฟโดย คำนวณจากสมการ (1)

4. บทสรุป

จากการวิจัยทดลองอบแห้งจนกระทั่งเมล็ดข้าวโพดแห้ง ใช้เวลาประมาณ 420 นาที หรือประมาณ 7 ชม. ซึ่งสามารถอบแห้งได้ในเวลากลางคืนขณะที่แอร์ทำงาน ซึ่งสามารถลดเวลาและประหยัดพื้นที่ จากเดิมการทำให้เมล็ดข้าวโพดแห้งจะต้องใช้ข้าวโพดตากแดด ซึ่งใช้ระยะเวลายาวนานกว่าการอบแห้ง ความเร็วลมเหมาะสมในการอบแห้งที่ได้ผลดีที่สุด คือ 5.0 m/s สามารถลดเปอร์เซ็นต์ความขึ้นสัมพัทธ์ลดลงเหลือ 57 เปอร์เซ็นต์ , เปอร์เซ็นต์ความขึ้นมาตรฐานเปียก และเปอร์เซ็นต์ความขึ้นมาตรฐานแห่ง ลงเหลือน้อยกว่าความเร็วลม 5.5 m/s และ 6.0 m/s ดังแสดงในรูปที่ 6,7 และ8

5. กิตติกรรมประกาศ

ในการวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้โดยได้รับการเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่จากบุคคลต่อไปนี้ คุณสมหมาย เสถียรบำรุงกิจ กรรมการผู้จัดการ หจก.อาร์เอสเอนจิเนียริง จำกัด และอาจารย์บัณฑิตภรณ์ พิมพ์หานาม อาจารย์ประจำ ศูนย์คอมพิวเตอร์มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Peterson, W.S., Can, J. "Chem. Eng.", 40, 1972
- [2] Beuter, H. and Beatty, RL., "USAEC Report", ORNL-3885, Osk Ridge National Laboratory, 1975
- [3] Ozzava, M., "Tetsu – to – Hangane", 593, 361, 1975
- [4] Merle C. Potter and David C. Wiggert, 1991, "Mechanics of Fluids", 1 edition, Prenties-Hall, Inc., U.S.A.
- [5] สมศักดิ์ ดำรงเลิศ, "ฟลูอิดไดซ์เซชัน", ครั้งที่ 1, ปี พ.ศ. 2528, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กทม., หน้า 3 - 40

7. สัญลักษณ์

m_w	คือ	มวลเปียก (g)
m_d	คือ	มวลแห้ง (g)
L_{mf}	คือ	ความสูงต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เซชัน (m)
L_o	คือ	ความสูงของเมล็ดข้าวโพดในหอยทดลอง (m)
ε	คือ	สัดส่วนช่องว่างเฉลี่ย (ไม่มีหน่วย)
ε_{mf}	คือ	สัดส่วนช่องว่างต่ำสุด (ไม่มีหน่วย)
ϕ_s	คือ	แฟคเตอร์รูปร่าง (ไม่มีหน่วย)
D_p	คือ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเมล็ดข้าวโพด (m)
ρ_g	คือ	ความหนาแน่นของอากาศ ($1.127 \text{ kg} / m^3$)
μ	คือ	ความหนืดของอากาศ ($1.91 \times 10^{-5} \text{ kg} / m \cdot s$)
Re	คือ	เรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (ไม่มีหน่วย)
d_t	คือ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหอยทดลอง (m)
U_0	คือ	ความเร็วของอากาศในเบตขณะที่ไม่มีเมล็ดของแข็ง (m / s)
U_{or}	คือ	ความเร็วอากาศที่ผ่านแผ่นกระจายลม (m / s)
C'_d	คือ	สัมประสิทธิ์ของแผ่นกระจายลม (ไม่มีหน่วย)
ΔP_d	คือ	ความดันตกคร่อมแผ่นกระจายลม (kg / m^3)
g_c	คือ	อัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m / s^2)
N_{or}	คือ	จำนวนรูกระจายลมต่อหน่วยพื้นที่