

บทที่ 7



## สรุปผลวิจารณ์และข้อเสนอแนะต่าง ๆ

(Conclusion Discussion and Recommendation)

### 7.1 คำนำ

บทนี้จะเป็นบทสุดท้ายของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะเป็นการสรุปผลและวิจารณ์ผลงานที่ได้ทำมาทั้งหมด นอกจากนั้นยังมีข้อเสนอแนะบางประการ ซึ่งคิดว่าคงจะมีประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจจะศึกษา งานในทำนองนี้

### 7.2 สรุปผลและวิจารณ์

จากการทดลองศึกษาการไหลของเมล็ดข้าว เหนียวในถัง 2 มิติ (two-dimensional bin) พอที่จะสรุปได้ดังนี้

ก) เขตการไหล (flow region) มี 4 เขต คือ เขตการไหลแบบแท่ง (plug flow zone) เขตเปลี่ยนแปลง (transition zone) เขตนิ่ง (stagnant zone) และเขตลู่ลง (converging zone)

ข) เขตความเฉือน (shear zone) สามารถพบได้ในเขตการไหลแบบแท่ง (plug flow zone) และเขตการไหลแบบลู่ลง (converging zone)

ค) ถ้าอัตราส่วนของความกว้างของถัง (bin width) กับขนาดของรู (orifice size) น้อยกว่า 11 แล้วจะไม่มีเขตความเฉือน (shear zone) ในเขตการไหลแบบแท่ง (plug flow zone) เมล็ดข้าวเหนียวจะไหลด้วยความเร็วคงที่อันหนึ่ง เรียกว่า ความเร็วของการไหลแบบแท่ง (plug flow velocity) แต่ถ้าอัตราส่วนดังกล่าว มีค่ามากกว่า 11 จะมีเขตความเฉือนเกิดขึ้นระหว่างผนังทั้ง 2 ข้าง กับแนวการไหลแบบแท่ง ซึ่งอยู่ตรงกลาง มีเส้นวากแทนความเร็ว (velocity profile) คล้ายกับรูปที่ 1.2.1

ง) เขตความเฉือน (shear zone) ในเขตการไหลแบบลู่ลง (converging zone) จะเกิดขึ้นทุกครั้งไม่ว่ากับขนาดของความกว้างของถัง (bin width) หรือขนาดของรู (orifice size)

จ) สมการความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการไหลแบบแท่ง (plug flow velocity)  $U_p$  ขนาดของรู (orifice size)  $D$  ขนาดของเมล็ดข้าวเหนียว (particle size)  $d_p$  และความกว้างของถัง (bin width)  $b$  เป็นดังนี้

$$U_p = 1.156 g^{1/2} \frac{(D - 2.66 d_p)^{3/2}}{b}$$

ฉ) ในเขตการไหลแบบแท่ง (plug flow zone) ผลคูณระหว่างความเร็วของการไหลแบบแท่ง (plug flow velocity) กับความกว้างของถัง (bin width) มีค่าคงที่ ที่ขนาดของรู (orifice size) ค่าหนึ่ง

ช) ในเขตการไหลแบบลู่ลง (converging zone) เมล็ดข้าวเหนียวจะไหลด้วยอัตราความเร่ง

ซ) การใช้สมการกำลังสอง (quadratic equation) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาในเขตการไหลแบบลู่ลง (converging zone) ได้ผลลัพธ์ที่สอดคล้อง

ฌ) แบบจำลองคิเนแมติกส์สำหรับการไหลของเมล็ดข้าว (kinematics model for the flow of granular material) ใช้ในการหาความเร็วในแนวตั้งที่ระดับต่าง ๆ จากรู และที่ระยะทางในแนวระดับจากกึ่งกลางรู โดยมีตัวพารามิเตอร์ (parameter) ตัวเดียว คือ ค่าคงที่คิเนแมติกส์ (kinematics constant)

ฎ) การนำเอาแบบจำลองคิเนแมติกส์ (kinematics model) มาใช้สำหรับการทดลองการไหลของเมล็ดข้าวเหนียว นั้นว่าได้ผลอยู่ในเกณฑ์ดี เพราะมีข้อผิดพลาดเฉลี่ย (average error) ประมาณ 15% ทั้ง ๆ ที่เงื่อนไขขอบเขต (boundary condition) ที่ใช้ในการทดลอง ไม่ตรงกับเงื่อนไขขอบเขตที่ใช้ในการหาสมการ (1.6.7) และคิดว่า ถ้าเงื่อนไขขอบเขตที่ใช้ทั้งในการทดลองและในการหาสมการตรงกันแล้ว ข้อผิดพลาดคงต้องน้อยกว่านี้แน่นอน

### 7.3 ข้อเสนอบางประการ

ผู้เขียนมีข้อเสนอแนะบางประการ ดังนี้

ก) สมการคำนวณหาความเร็ว ที่ได้มาจากแบบจำลองคิเนแมติกส์ (kinematics model)

ที่กล่าวไว้ว่า

$$v = v_0 e^{-x^2/4ay} \quad (1.6.7)$$

นั้น มีรากฐานมาจากการสมมุติว่า

$$-\infty < x < \infty$$

และขนาดของรูมีค่าน้อยมาก

แต่ในทางปฏิบัติจริง ๆ แล้ว เป็นดังนี้

$$-b' < x < b'$$

และขนาดของรูมีค่าตั้งแต่  $-D'$  ถึง  $D'$

เมื่อ  $b' =$  ครึ่งหนึ่งของความกว้างของถัง (half bin width)

$D' =$  ครึ่งหนึ่งของขนาดของรู (half orifice size)

ซึ่งต่อจากนี้ จะได้กล่าวถึงสมการหาความเร็วในแนวตั้ง ที่สถานะ  $-b' < x < b'$

และ  $-D' < \text{ขนาดของรู} < D'$  โดยจะเริ่มจากสมการที่ (1.6.4)

$$\frac{\partial v}{\partial y} = \alpha \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \quad (1.6.4)$$

มีเงื่อนไขขอบเขต (boundary condition) คือ

$$\left. \frac{\partial v}{\partial x} \right|_{(0,y)} = 0$$

$$v(x,0) = f(x) \begin{cases} = 0 & \text{เมื่อ } x > |D'| \\ \neq 0 & \text{เมื่อ } x \leq |D'| \end{cases}$$

$$\left. \frac{\partial v}{\partial x} \right|_{(b',y)} = 0$$

การแก้สมการ (1.6.4) ทำโดยสมมุติว่าคอมเป็น

$$\psi(x, y) = X(x) Y(y) \quad (7.3.1)$$

เมื่อ  $X(x)$  เป็นฟังก์ชันของ  $x$  อย่างเดียว

$Y(y)$  เป็นฟังก์ชันของ  $y$  อย่างเดียว

ซึ่งในที่สุด จะได้ความเร็วที่ระยะต่าง ๆ จากกร และที่ระยะสูงต่าง ๆ จากพื้นถึง ดังนี้

$$\psi(x, y) = E_0 + \sum_{n=1}^{\infty} E_n e^{-n^2 \pi^2 \alpha y / b^2} \cos\left(\frac{n \pi x}{b}\right) \quad (7.3.2)$$

$$\text{เมื่อ } E_0 = \frac{1}{b} \int_0^b f(x) dx \quad (7.3.3)$$

$$E_n = \frac{2}{b} \int_0^b f(x) \cos\left(\frac{n \pi x}{b}\right) dx \quad \text{เมื่อ } n \geq 1 \quad (7.3.4)$$

และ  $n = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$

ที่  $y = \infty$  คือ ที่สูงขึ้นไปมาก ๆ จนเป็นความเร็วของการไหลแบบแท่ง  $\psi_p$

$$\psi_p = \psi(x, \infty) = E_0$$

$$\psi(x, y) = \psi_p + \sum_{n=1}^{\infty} E_n e^{-n^2 \pi^2 \alpha y / b^2} \cos\left(\frac{n \pi x}{b}\right) \quad (7.3.5)$$

จะเห็นได้ว่า ในการคำนวณหา  $\psi(x, y)$  ที่ขนาดความกว้างของถัง (bin width) และขนาดของรู (orifice size) นั้น จำเป็นต้องทราบ  $f(x)$  ซึ่งก็คือ  $\psi(x, 0)$  หรือความเร็วที่พื้นถังซึ่งเป็นฟังก์ชันของ  $x$  นั้นเอง ดังนั้น การที่จะหา  $f(x)$  ได้ จำเป็นต้องมีข้อมูลที่จะเอียงเพียงพอ แต่ในการทดลองครั้งนี้ไม่มีเครื่องมือที่สามารถบันทึกภาพการไหลของเมล็ดข้าวเหนียว ตั้งแต่เริ่มไหลจนไหลพ้นจากรู เครื่องมือเท่าที่เรามีเพียง นาฬิกาจับเวลาเท่านั้น จึงไม่สามารถหาข้อมูลขณะที่เมล็ดข้าวเหนียวไหลออกได้ ด้วยเหตุนี้ จึงอยากเสนอแนะให้ใช้สมการที่ (7.3.2) เมื่อมีเครื่องมือ เช่น เครื่องถ่ายภาพยนต์ เป็นต้น และเชื่อว่าผลที่ออกมาจะต้องดีกว่าที่ทำมาแล้วอย่างแน่นอน

ต่อไปจะลองสมมุติว่า ถ้าทราบ  $f(x)$  เป็นรูปใดแล้ว  $\psi(x, y)$  จะเป็นอย่างไรดังนี้

กรณีที่ 1  $f(x) = V =$  ค่าคงที่  $|x| < D'$

$$E_0 = \frac{1}{b'} \int_0^{D'} f(x) dx$$

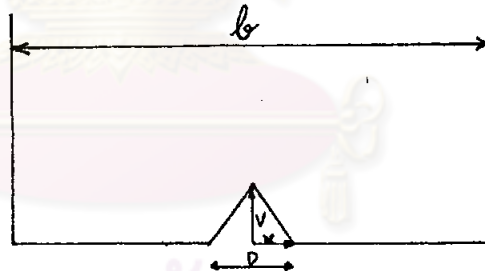
$$= \frac{VD'}{b'}$$

$$E_n = \frac{2V}{b'} \frac{b'}{n\pi} \sin\left(\frac{n\pi D'}{b'}\right)$$

$$= \frac{2V}{n\pi} \sin\left(\frac{n\pi D'}{b'}\right) \quad \text{เมื่อ } n \geq 1$$

$$\text{ดังนั้น } \psi(x, y) = \frac{VD'}{b'} + \frac{2V}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin\left(\frac{n\pi D'}{b'}\right) \cos\left(\frac{n\pi x}{b'}\right) \exp\left(\frac{-n^2 \pi^2 \alpha y}{b'^2}\right)$$

กรณีที่ 2 ถ้าการกระจายความเร็วเป็นรูปสามเหลี่ยม (triangular velocity distribution) รูป



$$f(x) = V \left(1 - \frac{|x|}{D'}\right) \quad |x| < D'$$

เมื่อ  $V =$  ความเร็วที่  $x=0$  และ  $y=0$

$$E_0 = \frac{V}{b'} \int_0^{D'} \left(1 - \frac{x}{D'}\right) dx$$

$$= \frac{D'V}{2b'}$$

$$E_n = \frac{2V}{b'} \int_0^{D'} \left(1 - \frac{x}{D'}\right) \cos\left(\frac{n\pi x}{b'}\right) dx$$

$$= \frac{2b'V}{D'^2 n^2 \pi^2} \left[1 - \cos\left(\frac{n\pi D'}{b'}\right)\right] \quad n \geq 1$$

$$\text{ดังนั้น } \psi(x, y) = \frac{D'V}{2b'} + \frac{2b'V}{D'\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \left[ 1 - \cos\left(\frac{n\pi D'}{b'}\right) \right] \cos\left(\frac{n\pi x}{b'}\right) \exp\left(-\frac{n^2\pi^2 \alpha y}{b'^2}\right)$$

$$\text{กรณีที่ 3 เมื่อ } f(x) = V \cos \frac{\pi x}{2D'} \quad |x| \leq D'$$

$$= 0 \quad |x| > D'$$

$$E_0 = \frac{1}{b'} V \int_0^{D'} \cos \frac{\pi x}{2D'} dx$$

$$= \frac{2D'V}{\pi b'}$$

$$E_n = -\frac{b'V}{D'\pi} \cos\left(\frac{n\pi D'}{b'}\right) \left\{ \frac{1}{n^2 - (b'/2D')^2} \right\} ; n \geq 1$$

$$\therefore \psi(x, y) = \frac{2D'V}{\pi b'} - \frac{b'V}{D'\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos(n\pi D'/b') \cos(n\pi x/b') \exp(-n^2\pi^2 \alpha y/b'^2)}{[n^2 - (b'/2D')^2]}$$

ข) ข้อเสนอแนะต่อไปคือ ควรจะทำการทดลองกับเมล็ดวัสดุชนิดที่มีแรงยึดเหนี่ยวกัน ( cohesion material ) ว่าจะได้ผลอย่างไรบ้าง

ค) การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาการกระจายความเร็ว ( velocity distribution ) ในแนวความกว้างของถัง แต่ยังไม่ได้ศึกษาการกระจายความเร็วในแนวความหนาของถัง นั่นคือในแนวระยะห่างของกระจกนั่นเอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย