บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขั้นตอนสำหรับวิธีดำเนินการวิจัย

3.1.1 ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบวัสดุเม็ด

3.1.2 สร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ในการจำลองวัสดุเม็ดกระทบกับพื้นเรียบ

3.1.3 ทำการสอบวัสดุเม็ดโดยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีพลศาสตร์ของโมเลกุล

3.1.4 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์กับผลการวิเคราะห์ในงานวิจัยที่ผ่านมาที่มีความใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้

3.1.5 สรุปผลการศึกษาทั้งหมดและจัดทำวิทยานิพนธ์

3.2 วิธีการทดสอบวัสดุเม็ดด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

ในการจำลองทางคอมพิวเตอร์เพื่อทดสอบวัสดุเม็ดนั้น มีขั้นตอนหลัก 2 ขั้นตอนดังนี้

- การเตรียมตัวอย่างวัสดุเชิงตัวเลข (Numerical Sample Preparation) และการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุเม็ดที่ใช้ในการทดสอบ
- การทดสอบวัสดุเม็ดโดยการกระทบกับพื้นเรียบ

3.2.1 การกำหนดคุณสมบัติวัสดุเม็ดที่ใช้ในการทดสอบ

ในการศึกษาอิทธิพลของแรงแอดเฮชันระหว่างผิวสัมผัสอนุภาคและขนาดรัศมีอนุภาคแตกต่างกันที่มีผลต่อการเกิดและการแพร่กระจายการแตกร้าวของวัสดุเม็ด ได้กำหนดคุณสมบัติวัสดุเม็ดที่นำมาทดสอบในงานวิจัยดังนี้

ก. กำหนดให้วัสดุเม็ดมีอนุภาคกลมจำนวน 8,000 อนุภาค

ข. ในการทดสอบวัสดุเม็ดไม่คิดผลของแรงโน้มถ่วงของโลก

ค. ตัวแปรทางกายภาพ หรือคุณสมบัติของวัสดุที่สำคัญของวัสดุเม็ดอาทิเช่น ค่านิจสปริงหรือค่าความแข็งของผิวอนุภาค และค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดถูกกำหนดให้เป็นค่าคงที่ กำหนดให้ค่าความแข็งของผิวอนุภาค $k = 8 \times 10^{6}\ N/m$, ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของอนุภาค $\alpha = 350\ kg/s$ และค่าระยะเหลื่อมสูงสุด $\delta_{\max}$ จะต้องมีค่า $\leq 10^{-6}\ m$ ค่าที่กำหนดไว้ทำให้อนุภาคที่กระทบกันแล้วไม่ทำให้เกิดการกลืนกันของอนุภาค และค่าอัตราส่วนของ $\delta_{\max} / r_{mean}$ (รัศมีเฉลี่ยของอนุภาค) จะต้องมีค่า $\leq 10^{-3}$ เพื่อให้อนุภาคยังคงมีลักษณะกลมอยู่เมื่อเสียรูปหรือเป็นไปตามสมมุติฐานการยืดหยุ่นแบบสมบูรณ์ (Perfectly Elastic) การจำลองแบบเชิงตัวเลขนี้ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ศึกษาอิทธิพลของค่าแอดเฮชันที่มีผลต่อการเกิดและการแพร่กระจายการแตกร้าวของอนุภาค จึงกำหนดค่าความแข็งของผิวอนุภาคและค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของอนุภาคให้เป็นค่าคงที่ โดยทำการปรับเปลี่ยนค่าแอดเฮชันเท่านั้น

ง. ค่าพลังงานแอดเฮชันที่ผิวสัมผัสจะถูกเลือกนำมาศึกษาในงานวิจัยนี้ทั้งหมด 9 ค่าคือ $\gamma = 0, k/250, k/200, k/150, k/50, k/20, k/10, k/7$ และ $k/3.5$ ค่าแอดเฮชันทั้งหมดนี้ทำให้ระยะเหลื่อมสูงสุดระหว่างอนุภาคเกิดขึ้นไม่เกิน 5% ถ้า $\gamma > k/3.5$ จะทำให้ระยะเหลื่อมระหว่างอนุภาคมีค่ามากเกินไป และทำให้เกิดการกลืนกันของอนุภาคระหว่างการกระทบกัน

จ. ค่าการกระจายรัศมีอนุภาคแตกต่างกัน 5 ค่าได้แก่ r_{max}/r_{min} = 1, 1.25, 1.5, 1.75 และ 2

ฉ. ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างอนุภาค $\mu = 0.5$

ช. ช่วงเวลาของการคำนวณจำเป็นต้องกำหนดให้ค่าน้อยกว่าช่วงเวลาของการเกิดการสัมผัส โดยทั่วไปควรมีค่า $\Delta t << t_c \le t_c/20$ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงกำหนดให้ช่วงเวลาของการคำนวณ $\Delta t = 2\times10^{-6} s$ ซึ่งมีค่าประมาณ 1/70 ของเวลาของการเกิดการสัมผัส (t_c) สำหรับวัสดุเม็ดแห้ง และประมาณ 1/120 ของเวลาของการเกิดการสัมผัสสำหับวัสดุเม็ดที่มีค่าแอดเฮชันสูงสุดที่ $\gamma = k/3.5$

หลังจากทำการกำหนดคุณสมบัติวัสดุเม็ดที่ใช้ในการจำลองทางคอมพิวเตอร์แล้ว ในหัวข้อถัดไปจะกล่าวถึงวิธีการเตรียมแบบจำลองของวัสดุเม็ดที่ใช้ในการจำลองทางคอมพิวเตอร์ดังต่อไปนี้

3.2.2 การเตรียมแบบจำลองวัสดุเม็ด

การเตรียมตัวอย่างวัสดุเม็ดที่ใช้ทดสอบในการจำลองทางคอมพิวเตอร์ โดยไม่คิดผลของแรงโน้มถ่วงของโลกและอยู่ในสภาวะสมดุลทางสถิตยศาสตร์มี 3 ขั้นตอนดังนี้

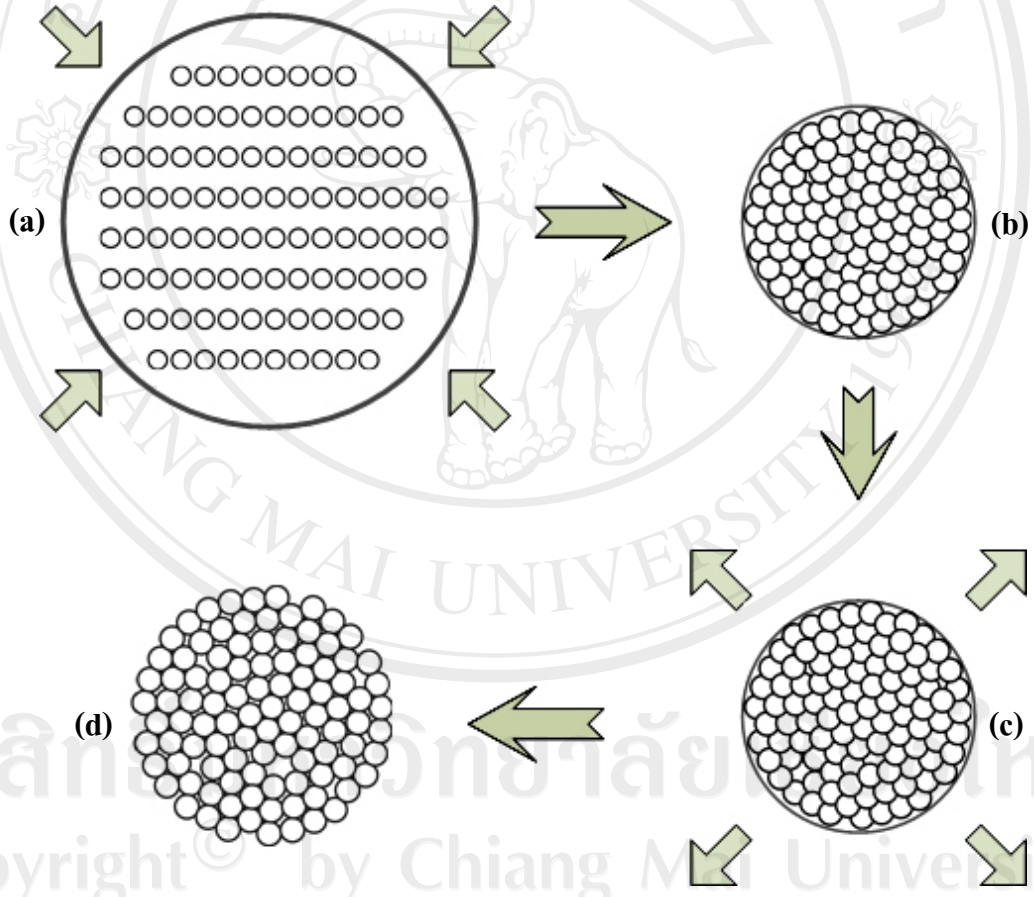
ลำดับแรกนำอนุภาคกลมจำนวน 8,000 อนุภาคมาจัดวางเรียงกัน โดยอนุภาคไม่เกิดการสัมผัสกันและไม่มีการเคลื่อนไหวอยู่ในภาชนะกลมแบบปิดขนาดใหญ่ ดังรูป 3.1(a) จากนั้นทำการลดขนาดภาชนะกลมอย่างช้า ๆ ทุกทิศทางด้วยอัตราเร็ว 0.425 m/s ทำให้อนุภาคกลมถูกบีบอัดมากขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งอนุภาคอยู่ภายใต้แรงกดทุกทิศทางหรือพื้นที่ของภาชนะน้อยกว่าหรือเท่ากับพื้นที่ของอนุภาคกลม ดังรูป 3.1(b)

หลังจากการบีบอัดอนุภาคกลม ขั้นตอนต่อไปคือการปล่อยให้อนุภาคจัดเรียงตัวเองภายใต้แรงกดทุกทิศทาง ซึ่งสามารถทำได้โดยการไม่เคลื่อนไหวภาชนะกลมที่กำลังบีบอัดอนุภาค

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อยู่ และปล่อยให้อนุภาคทำการจัดเรียงตัวเองจนกระทั่งได้วัสดุเม็ดที่มีความสมดุลภายใต้แรงกดทุกทิศทาง

ลำดับสุดท้ายของการเตรียมวัสดุเม็ดคือการทำให้วัสดุเม็ดอยู่ในสภาวะสมดุลทางสถิตยศาสตร์ที่ปราศจากแรงกระทำจากภายนอก ภาชนะกลมที่บีบอัดอนุภาคจะถูกขยายตัวออกอย่างช้า ๆ ทุกทิศทางด้วยอัตราเร็ว 0.034 m/s และภาชนะกลมจะขยายตัวต่อไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งวัสดุเม็ดไม่ได้สัมผัสกับภาชนะกลม ดังรูป 3.1(c) และรอวัสดุเม็ดจัดเรียงตัวเองจนอยู่ในสภาวะสมดุลทางสถิตยศาสตร์ที่ปราศจากแรงกระทำภายนอก ดังรูป 3.1(d) ในที่นี้ความเร็วเฉลี่ยของอนุภาคที่อยู่ในขั้นตอนนี้จะต้องมีค่า < 0.0001 m/s



รูป 3.1 ขั้นตอนการเตรียมแบบจำลองวัสดุเม็ด โดยที่ (a) การจัดวางและการบีบอัดอนุภาค, (b) อนุภาคถูกบีบอัด, (c) การคลายการบีบอัดอนุภาค และ (d) วัสดุเม็ดเข้าสู่สภาวะสมดุล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในสภาวะที่ปราศจากแรงกระทำจากภายนอกนี้ใช้เป็นสภาวะเริ่มต้นของขั้นตอนการทดสอบเพื่อศึกษาการเกิดกลุ่มอนุภาคของวัสดุเม็ด และตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อคุณสมบัติของวัสดุเม็ด และเป็นปัจจัยสำคัญในพฤติกรรมการแตกร้าวของวัสดุเม็ดเมื่อกระทบกับพื้นเรียบ

3.2.3 การทดสอบวัสดุเม็ดโดยการกระทบกับพื้นเรียบ

การทดสอบวัสดุเม็ดโดยการกระแทกกับพื้นเรียบเป็นการทดสอบความสามารถของวัสดุเม็ดในการรับแรงกระแทก ซึ่งเกี่ยวข้องกับงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ อาทิเช่น ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร และอาหาร หรือแม้แต่ทางอุตสาหกรรมเภสัชกรรม โดยกำหนดให้ค่าแอดเฮชันต่างกันตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น และนำวัสดุเม็ดมากระทบกับพื้นเรียบในแนวตั้งฉากกันที่ความเร็วสัมพัทธ์ก่อนการกระทบพื้นเรียบที่แตกต่างกัน 8 ค่า ตั้งแต่ $v = 0.05$ m/s, 0.1 m/s, 0.25 m/s, 0.5 m/s, 1 m/s, 2.5 m/s, 5 m/s และ10 m/s ดังรูป 3.2 ในขณะที่วัสดุเม็ดกำหนดให้มีค่าแอดเฮชันที่แตกต่างกันจำนวน 9 ค่า และค่าแอดเฮชันแต่ละค่าได้กำหนดให้มีการกระจายรัศมีอนุภาคจำนวน 5 ค่า แต่ในการทดสอบนี้พบว่าค่าแอดเฮชันของวัสดุเม็ดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มด้วยกันดังนี้

กลุ่มที่ 1 วัสดุเม็ดมีค่าแอดเฮชันต่ำ ได้แก่ $\gamma = 0$, $k/250$, $k/200$ และ $k/150$

กลุ่มที่ 2 วัสดุเม็ดมีค่าแอดเฮชันสูง ได้แก่ $\gamma = k/50$, $k/20$, $k/10$, $k/7$ และ $k/3.5$

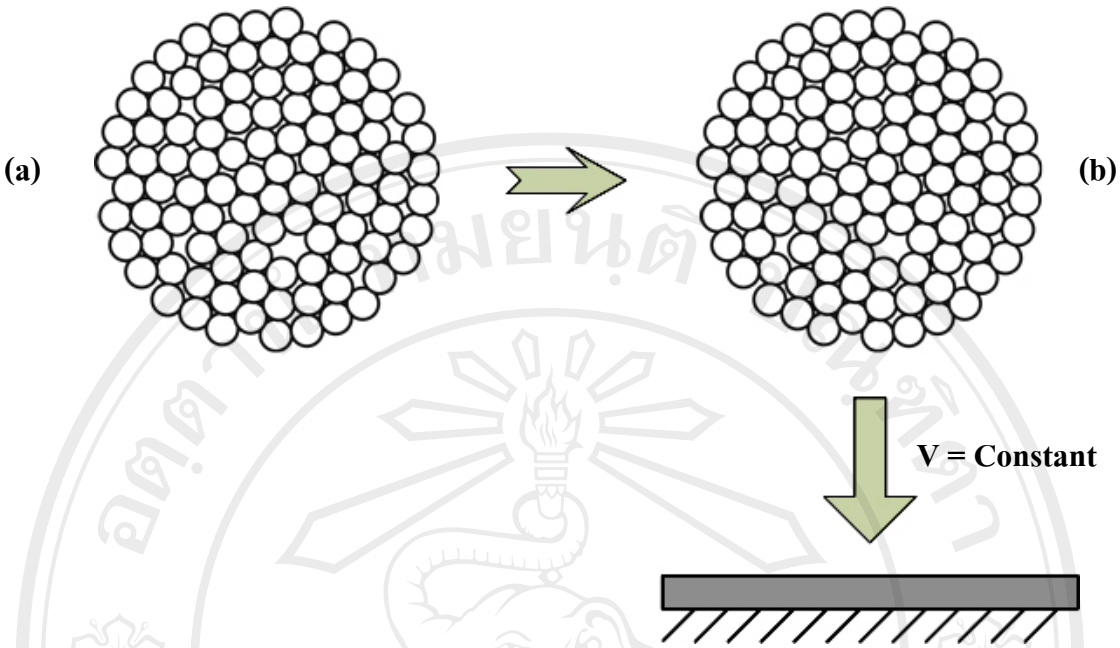
การทดสอบวัสดุเม็ดจึงสามารถแบ่งความเร็วในการกระทบพื้นเรียบได้เป็น 2 ส่วนคือ

ก. วัสดุเม็ดมีค่าแอดเฮชันต่ำ ใช้ความเร็วสัมพัทธ์ก่อนการกระแทก $v = 0.05$ m/s, 0.1 m/s, 0.25 m/s และ 0.5 m/s

ข. วัสดุเม็ดมีค่าแอดเฮชันสูง ใช้ความเร็วสัมพัทธ์ก่อนการกระแทก $v = 0.1$ m/s, 1 m/s, 2.5 m/s, 5 m/s และ 10 m/s

ถ้าหากการกำหนดความเร็วสัมพัทธ์ของวัสดุเม็ดก่อนการกระทบกับพื้นเรียบไม่สัมพันธ์กับค่าแอดเฮชันของวัสดุเม็ดที่ได้กำหนดไว้ การศึกษาพฤติกรรมการแตกร้าวของวัสดุเม็ดจะไม่สามารถกระทำได้อย่างชัดเจน กล่าวคือกรณีวัสดุเม็ดมีค่าแอดเฮชันต่ำ การกำหนดความเร็วของวัสดุเม็ดในการกระทบพื้นเรียบที่สูงเกินไปทำให้เกิดแรงที่กระทำมากกว่าภาระสูงสุดของวัสดุเม็ดที่สามารถรับได้ วัสดุเม็ดจะแตกละเอียดจึงไม่สามารถศึกษาพฤติกรรมการแตกร้าวได้ และในกรณีที่วัสดุเม็ดมีค่าแอดเฮชันสูง การกำหนดความเร็วสัมพัทธ์ของวัสดุเม็ดก่อนการกระทบกับพื้นเรียบน้อยเกินไป ความเสียหายของวัสดุเม็ดแทบไม่เกิดขึ้น เนื่องจากความเร็วในการกระแทกมีค่าน้อยเกินกว่าที่จะทำให้วัสดุเม็ดสามารถเสียรูปหรือเกิดการแตกร้าวได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 3.2 ตัวอย่างแบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบหาพฤติกรรมการแตกร้าวของวัสดุเม็ด
ภายใต้แรงกระแทก โดยที่ (a) วัสดุเม็ดอยู่ในสภาวะสมดุล และ
(b) การทดสอบวัสดุเม็ดโดยการกระทบกับพื้นเรียบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved