บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากกลไกการแตกของหยดของเหลวในถังกวน จะเกิดขึ้นได้เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ โดยมีแรงตึงผิวของหยดของเหลวเป็นตัวควบคุมการแยกออกจากกัน ดังนั้นจากแนวความคิดดังกล่าวข้างต้น จึงตั้งสมมุติฐานสำหรับอนุภาคของแข็งในถังกวนว่า จะแตกออกจากกันเมื่อแรงภายนอกที่มากระทำ มากกว่าแรงต้านทานภายในของอนุภาคของแข็ง หรือกล่าวได้ว่าความแข็งเป็นตัวควบคุมความยากง่ายให้เกิดการแตก รวมทั้งชนิดของแรงภายนอกที่มากระทำกับอนุภาคของแข็ง เช่น การกระแทก หรือการเฉือน ที่เกิดจากใบกวนอัตราเฉือนสูง ก็น่าเป็นอีกปัจจัยในการแตกอนุภาคของแข็ง

งานวิจัยนี้แบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ทดลองการเฉือนเม็ดก๋ามะถันโดยใช้เครื่องกวนอัตราเฉือนสูง และทดลองการบดเม็ดก๋ามะถันโดยใช้เครื่องบดชนิด ball mill ซึ่งใช้น้ำเป็นตัวกลางในขณะทำการทดลอง รวมทั้งทำการทดลองอบแห้งเม็ดก๋ามะถันที่ผ่านการเฉือนหรือการบด เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมจนได้เป็นผลิตภัณฑ์เม็ดก๋ามะถันแห้ง

เม็ดก๋ามะถันเมื่อนำมาทำการทดลองใน ball mill การบดเกิดจากการกระแทกจากลูกบดโลหะที่กระทำต่อเม็ดก๋ามะถันจนแตกออก โดยลูกบดและเม็ดก๋ามะถันเคลื่อนที่ไปตามผนังของหม้อบดด้วยแรงเหวี่ยง และหล่นตกลงมากระแทกกับเม็ดก๋ามะถันหรือลูกบดที่อยู่ด้านล่าง แล้วเม็ดก๋ามะถันที่แตกออกก็เคลื่อนที่ไปทุกทิศทุกทางทำให้เกิดการเสียดสีกันเอง หรือเสียดสีกับลูกบดภายในหม้อบด ส่วนเม็ดก๋ามะถันที่ถูกเฉือนในถังกวน โดยใบกวนอัตราเฉือนสูง ซึ่งใบกวนหมุนด้วยความเร็วรอบสูง เม็ดก๋ามะถันที่เคลื่อนที่มาชนจะถูกเฉือนออก และยังเกิดการเสียดสีกันเองของเม็ดก๋ามะถันที่แตกออก

การแตกออกของเม็ดก๋ามะถันจากการบดด้วยเครื่องบดชนิด ball mill และการเฉือนในถังกวนที่ใช้ใบกวนอัตราเฉือนสูง จะทำให้ขนาดเฉลี่ยของเม็ดก๋ามะถันลดลงตามระยะเวลาทดลองที่เพิ่มขึ้น โดยตั้งสมมติฐานให้การแตกของก้อนก๋ามะถันทั้งหมด เกิดการแตกทั้งก้อน (disintegrative fracture) เพียงอย่างเดียว จึงนำทฤษฎีของ Davis wear ที่นิยามไว้ว่า อัตราการสึกกร่อนของมวล

แปรผันตรงกับมวลของวัตถุแข็ง แสดงความสัมพันธ์ของอัตราจำเพาะการแตกทั้งก้อน ดังนี้

$$S_i = -\frac{2.303}{(t_2 - t_1)} \log \frac{w_i(t_2)}{w_i(t_1)} \qquad (5.1)$$

โดย $w_i(t_1)$ และ $w_i(t_2)$ เป็นสัดส่วนของน้ำหนักของขนาดก้อนวัตถุ (i) ซึ่งเหลืออยู่ในแต่ละช่วงเวลาที่เวลา t_1 และ t_2 ตามลำดับ

สมการที่ 5.1 ใช้ในการอธิบายการแตกของเม็ดกำมะถันในเครื่องบดชนิด ball mill และในเครื่องกวนอัตราเฉือนสูง

การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการบดเม็ดกำมะถันใน ball mill

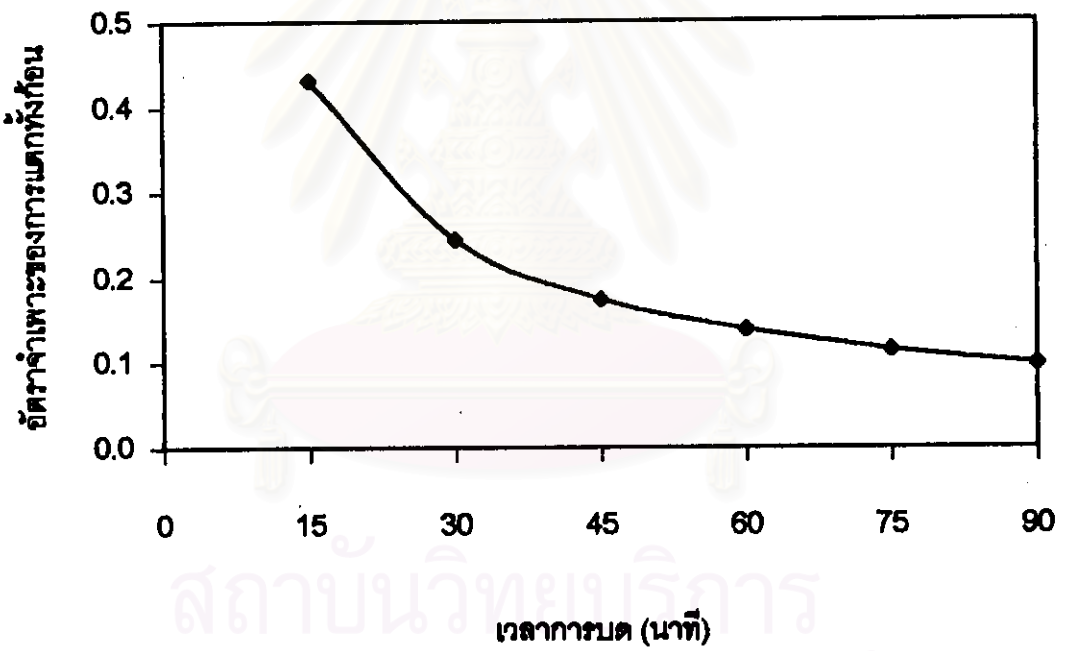
เมื่อทำการศึกษาผลของเวลาการบด โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักกำมะถันต่อน้ำเท่ากับ 0.5 เมื่อคิดจากปริมาตรทั้งหมดของหม้อบด ช่วงเวลาละ 15 นาที จนถึง 90 นาที และอัตราส่วนโดยน้ำหนักกำมะถันต่อน้ำที่ 0.1-0.5 ของ 3 ช่วงเวลาคือ 30, 60 และ 90 นาที แล้วจึงนำเม็ดกำมะถันไปตรวจหาขนาด ที่วัดจากการชั่งน้ำหนัก

1 อิทธิพลของเวลาต่อการบดเม็ดกำมะถันใน ball mill

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 แสดงผลของเวลาต่อการบดเม็ดกำมะถัน พบว่าค่าการกระจายขนาดที่เกิดขึ้นมี 2 ส่วน คือ ส่วนแรก 1.20-11.25 มิลลิเมตร ค่าสัดส่วนน้ำหนักจะลดลงตามเวลาในการบด ส่วนที่สอง 0.075-1.20 มิลลิเมตร ค่าสัดส่วนน้ำหนักจะเพิ่มขึ้นตามเวลาในการบด เนื่องจากขนาดเม็ดกำมะถันเริ่มต้นเป็นขนาดใหญ่ คือ 11.25, 5.55 และ 2.70 มิลลิเมตร ซึ่งที่เวลาเริ่มต้นมีปริมาณเม็ดกำมะถันน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับที่เวลาบดผ่านไปนานขึ้น จึงทำให้เม็ดกำมะถันยังมีขนาดเฉลี่ย(D_{32})มากอยู่ (จากรูปที่ 4.3) มีโอกาสที่จะถูกบดจากลูกบดโดยตรงมากกว่า แต่เมื่อเวลาการบดนานขึ้นจำนวนเม็ดกำมะถันจะเพิ่มขึ้น ขนาดเฉลี่ย(D_{32})น้อยลง (จากรูปที่4.3) ทำให้โอกาสที่ลูกบดจะไปบดเม็ดกำมะถันแต่ละเม็ดน้อยลง ซึ่งตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ว่า การแตกของก้อนกำมะถันทั้งหมดเกิดการแตกทั้งก้อนเป็นหลัก โดยใช้ทฤษฎีของ Davis wear มาอธิบาย จากสมการที่ 5.1 จะใช้ผลในรูปที่ 4.3 มาคำนวณ เพื่อหาค่าอัตราจำเพาะของการแตกแบบ disintegrative fracture ในเครื่องบดชนิด ball mill จนแสดงได้ดังรูปที่ 5.1 จะเห็นว่าอัตราจำเพาะของการแตกทั้งก้อนลดลงตามเวลาในการบด นั่นคือ อัตราการแตกของเม็ดกำมะถันแปรผันตรงกับมวล เพราะที่ช่วงเวลาแรกเม็ดกำมะถันมีขนาดเฉลี่ย 6.51 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่มากสุด ทำให้เกิดการแตกทั้งก้อนได้อย่างรวดเร็ว อัตรา

จำเพาะการแตกทั้งก้อนก็ลดลงอย่างรวดเร็วเช่นกัน แต่เมื่อเวลาการบดเพิ่มขึ้นอีก ขนาดเฉลี่ยของเม็ดกำมะถันจะค่อย ๆ ลดลงไปตามเวลาในการบด แล้วอัตราจำเพาะของการแตกทั้งก้อนก็ค่อย ๆ ลดลงตามขนาดของเม็ดกำมะถันเช่นกัน

จากรูปที่ 5.1 จึงเป็นผลที่ยืนยันได้ว่า การแตกของเม็ดกำมะถันในเครื่องบดชนิด ball mill เป็นไปตามทฤษฎี Davis wear นั่นคือ อัตราการสูญเสียมวลขึ้นอยู่กับมวลของก้อนกำมะถัน หรือพิจารณาจากรูปที่ 4.2 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะสมของสัดส่วนน้ำหนักกำมะถันขนาดต่าง ๆ ตามระยะเวลาในการบด พบว่าค่าการสะสมของสัดส่วนน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ช่วงเวลาแรก 0-15 นาที แต่เมื่อเวลานานขึ้น ค่าการสะสมของสัดส่วนน้ำหนักก็ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นได้ช้าลงตามเวลาการบดที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 5.1 แสดงอัตราจำเพาะการแตกทั้งก้อนของกำมะถัน ตามระยะเวลาการบดใน ball mill

2 อิทธิพลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักกำมะถันต่อน้ำ ต่อการบดใน ball mill

จากรูปที่ 4.5 แสดงขนาดเฉลี่ยของกำมะถันตามระยะเวลาการบด ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักกำมะถันต่อน้ำ 0.2-0.5 พบว่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักกำมะถันต่อน้ำที่ 0.2 จะให้ขนาดเฉลี่ยน้อยที่สุดในทุกช่วงเวลาการบด รองลงมาที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักกำมะถันต่อน้ำ 0.3, 0.4 และ 0.5 ตามลำดับ

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักกำมะถันต่อน้ำเพิ่มขึ้น การแตกของเม็ดกำมะถันจะลดลง เนื่องจากที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักกำมะถันต่อน้ำมาก ทำให้มีความหนาแน่นของจำนวนเม็ดกำมะถันในหม้อบดมาก โอกาสที่ลูกบดจะไปกระแทกกับเม็ดกำมะถันแต่ละเม็ดจึงลดลง และระยะทางในการเคลื่อนที่ไปมาของลูกบดหรือเม็ดกำมะถันก็ลดน้อยลง โดยลักษณะการทำงานของลูกบดจะเคลื่อนที่ขึ้นไปจนถึงความสูงระดับหนึ่งแล้วตกลงสู่ด้านล่างของหม้อบดที่มีเม็ดกำมะถันกลิ้งไปมาอยู่ ดังนั้นเมื่อมีจำนวนเม็ดกำมะถันมาก ระยะทางที่ลูกบดจะตกลงมาก็สั้นลง แรงกระแทกก็ลดลงตามไปด้วย จึงทำให้อัตราการแตกลดลง ขนาดเฉลี่ยที่ได้จึงสูงกว่า เมื่อมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักกำมะถันต่อน้ำน้อย เพราะระยะที่ลูกบดตกลงเพิ่มขึ้น แรงกระแทกจากลูกบดจะเพิ่มขึ้นการแตกก็มากขึ้นไปด้วย และโอกาสที่ลูกบดไปกระแทกกับเม็ดกำมะถันแต่ละเม็ดก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน จึงทำให้อัตราการแตกเพิ่มขึ้น ขนาดเฉลี่ยก็ลดลง

ผลของตัวแปรต่าง ๆ ต่อการเฉือนเม็ดกำมะถันในถังกวน

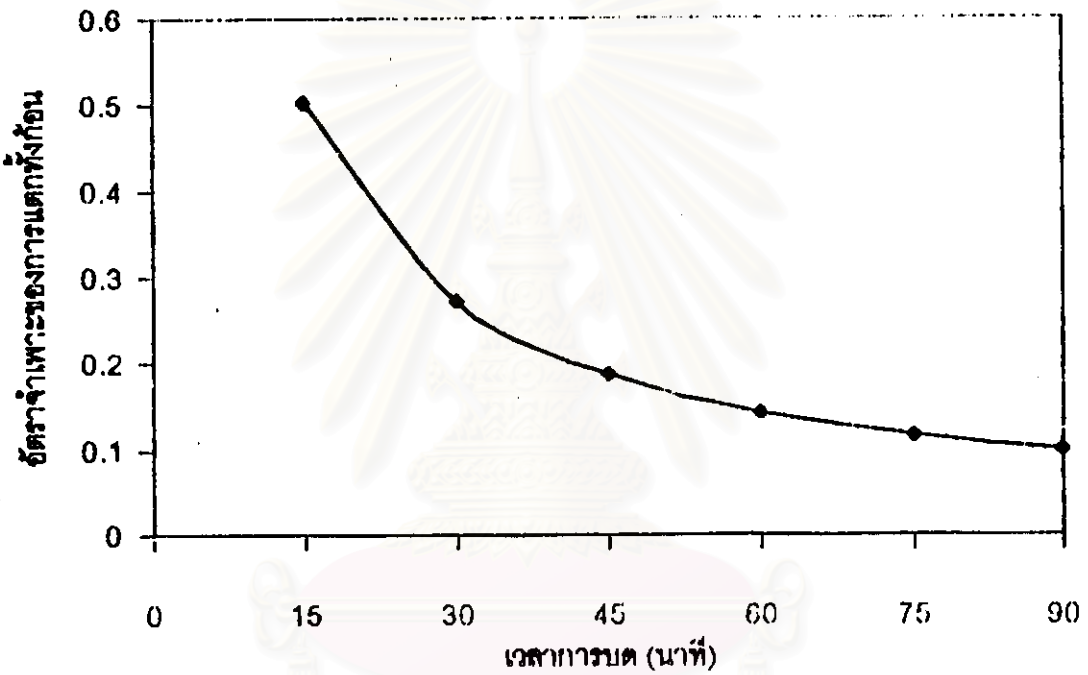
ในการศึกษาการเฉือนเม็ดกำมะถันโดยใช้เครื่องกวนอัตราเฉือนสูง ตัวแปรที่ใช้คือ เวลาในการเฉือน โดยใช้สัดส่วนโดยน้ำหนักกำมะถันต่อน้ำเท่ากับ 0.5 ช่วงเวลาละ 15 นาทีจนถึง 90 นาที และศึกษาอัตราการใช้พลังงานของมอเตอร์ต่อปริมาตรของไหล ต่อการเฉือนเม็ดกำมะถัน คือ 8.8, 12.3 และ 18.7 kW/m^3 ส่วนอัตราส่วนโดยน้ำหนักกำมะถันต่อน้ำก็ถูกศึกษาเช่นกัน ว่ามีอิทธิพลต่อการเพิ่มอัตราการแตกของเม็ดกำมะถันอย่างไร

1 อิทธิพลของเวลาต่อการเฉือนเม็ดกำมะถันในถังกวน

จากรูปที่ 4.6 และ 4.7 แสดงผลของเวลาต่อการเฉือนเม็ดกำมะถันในเครื่องกวนอัตราเฉือนสูง พบว่าค่าการกระจายขนาดแบ่งเป็น 2 ส่วนอย่างชัดเจน ส่วนแรกที่ 1.20-11.25 มิลลิเมตร ค่าสัดส่วนน้ำหนักลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 15 นาทีแรก และลดช้าลงเมื่อเวลาผ่านไปจนถึง 90 นาที ทำให้ได้เม็ดกำมะถันที่ช่วง 0.075-1.20 มิลลิเมตรเพิ่มขึ้นตามเวลาในการเฉือน เนื่องจากเม็ดกำมะถันเริ่มต้นมีขนาดใหญ่ 2.70, 5.55 และ 11.25 มิลลิเมตร ซึ่งมีจำนวนเม็ดกำมะถันน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับที่เวลาเพิ่มขึ้น ทำให้เม็ดกำมะถันมีขนาดเฉลี่ยมาก (จากรูปที่ 4.8) ได้รับพลังงานที่ปลดปล่อยจากใบกวนมากต่อเม็ดกำมะถันแต่ละเม็ด จึงถูกเฉือนออกอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจำนวนเม็ดกำมะถันก็เพิ่มขึ้น ทำให้เม็ดกำมะถันแต่ละเม็ดได้รับพลังงานน้อยลง โอกาสที่จะถูกเฉือนหรือได้รับแรงเฉือนจึงน้อยลง ทำให้อัตราการแตกลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น

จากสมมติฐานที่การแตกของก้อนกำมะถันทั้งหมด เกิดการแตกทั้งก้อนเป็นกระบวนการหลัก โดยใช้ทฤษฎีของ Davis wear มาอธิบาย จากสมการที่ 5.1 จะใช้ผลที่ได้จากรูปที่ 4.8 มา

คำนวณ เพื่อหาค่าอัตราจำเพาะของการแตกทั้งก้อน (การคำนวณดูที่ภาคผนวก ค) แสดงในรูปที่ 5.2 พบว่าอัตราจำเพาะของการแตกทั้งก้อนลดลงตามระยะเวลาการเฉือนที่เพิ่มขึ้น แสดงว่าอัตราการสูญเสียมวลของเม็ดกำมะถันแปรผันตรงกับมวลของเม็ดกำมะถัน เพราะที่ช่วงเวลาแรกเม็ดกำมะถันมีขนาดเฉลี่ย 4.436 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่มากสุด ทำให้เกิดการแตกทั้งก้อนได้อย่างรวดเร็ว อัตราจำเพาะการแตกทั้งก้อนจึงลดลงอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อเพิ่มเวลาการเฉือนขึ้นอีก ขนาดเฉลี่ยของเม็ดกำมะถันจะค่อย ๆ ลดลงไปตามเวลาในการบด แล้วอัตราจำเพาะของการแตกทั้งก้อนก็ค่อย ๆ ลดลงตามขนาดของเม็ดกำมะถัน



รูปที่ 5.2 แสดงอัตราจำเพาะการแตกทั้งก้อนของกำมะถันกับระยะเวลาการเฉือนในถังกวน

ดังนั้นรูปที่ 5.2 จึงแสดงให้เห็นว่า การเฉือนเม็ดกำมะถันในเครื่องกวนอัตราเฉือนสูง เป็นไปตามทฤษฎี Davis wear นั่นคือ อัตราการสูญเสียมวลขึ้นอยู่กับมวลของก้อนกำมะถัน และรูปที่ 4.7 ก็สอดคล้องกับเหตุผลข้างต้น เพราะค่าการสะสมของสัดส่วนน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ช่วงเวลาแรก 0-15 นาที เมื่อเวลานานขึ้นค่าการสะสมของสัดส่วนน้ำหนักก็ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นได้ช้าลงตามเวลาการเฉือนที่เพิ่มขึ้น

2 อิทธิพลของอัตราการใช้พลังงานของมอเตอร์ต่อปริมาตรของไหล(P/V) ต่อการเฉือนเม็ดกำมะถันในถังกวน

จากรูปที่ 4.9 และ 4.10 แสดงค่าสัดส่วนน้ำหนักของเม็ดกำมะถันขนาด 0.075 และ 0.375 มิลลิเมตรตามลำดับ ที่ P/V ต่าง ๆ ของแต่ละสัดส่วนน้ำหนักกำมะถันต่อน้ำในถังกวน พบว่าอัตราการใช้พลังงานของมอเตอร์ต่อปริมาตรของไหลในถังกวน ไม่ค่อยมีผลต่อการเพิ่มอัตราการเฉือนเม็ดกำมะถัน แม้จะเพิ่มค่าอัตราการใช้พลังงานของมอเตอร์ต่อปริมาตรของไหลให้เพิ่มขึ้นก็ตาม เพราะไม่ว่า P/V จะมีค่า 18.7, 12.3 และ 8.8 kW/m^3 จะให้ค่าสัดส่วนน้ำหนักของเม็ดกำมะถันขนาด 0.075 และ 0.375 มิลลิเมตร ในช่วงที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ที่ขนาดเม็ดกำมะถัน 0.075 มิลลิเมตร มีค่าสัดส่วนน้ำหนักระหว่าง 0.137-0.294 โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.224 ส่วนขนาดเม็ดกำมะถันขนาด 0.375 มิลลิเมตร มีค่าสัดส่วนน้ำหนักระหว่าง 0.378-0.495 มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.417 แสดงให้เห็นว่า P/V เท่ากับ 8.8 kW/m^3 เป็นค่าอัตราการใช้พลังงานของมอเตอร์ต่อปริมาตรของไหลในถังกวน ที่เพียงพอต่อการเฉือนเม็ดกำมะถันให้ได้ขนาดเม็ดกำมะถัน 0.075 และ 0.375 มิลลิเมตร แม้จะเพิ่มค่า P/V ไปอีกที่ 12.3 และ 18.7 kW/m^3 ก็จะให้ค่าสัดส่วนน้ำหนักของเม็ดกำมะถันขนาด 0.075 และ 0.375 มิลลิเมตร ใกล้เคียงกับที่ P/V เท่ากับ 8.8 kW/m^3

3 อิทธิพลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักกำมะถันต่อน้ำต่อการเฉือนกำมะถันในถังกวน

จากรูปที่ 4.11 แสดงค่าขนาดเฉลี่ยของเม็ดกำมะถันที่ได้จากการเฉือน ของแต่ละสัดส่วนโดยน้ำหนักกำมะถันต่อน้ำ ที่ P/V เท่ากับ 8.8, 12.3 และ 18.7 kW/m^3 พบว่าที่ P/V เท่ากับ 12.3 และ 18.7 kW/m^3 ได้ค่าขนาดเฉลี่ยของเม็ดกำมะถันที่ใกล้เคียงกัน ของแต่ละสัดส่วนน้ำหนักกำมะถันต่อน้ำ แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มค่าสัดส่วนโดยน้ำหนักกำมะถันต่อน้ำตั้งแต่ 0.1-0.5 ไม่มีผลกระทบต่อการลดลงของขนาดเฉลี่ยเม็ดกำมะถันมาก เนื่องจากอัตราการใช้พลังงานของมอเตอร์ต่อปริมาตรของไหลในถังกวนยังเพียงพอที่ค่าสัดส่วนโดยน้ำหนักกำมะถันต่อน้ำ 0.5 สำหรับการเฉือนเม็ดกำมะถันทั้งหมด จึงทำให้ค่าขนาดเฉลี่ยของเม็ดกำมะถันที่ได้ใกล้เคียงกัน

สำหรับขนาดเฉลี่ยเม็ดกำมะถันของสัดส่วนโดยน้ำหนักกำมะถันต่อน้ำ ที่ใช้ค่า P/V เท่ากับ 8.8 kW/m^3 พบว่าสัดส่วนโดยน้ำหนักกำมะถันต่อน้ำเป็น 0.1 และ 0.4 ยังคงให้ผลของขนาดเฉลี่ยเม็ดกำมะถันใกล้เคียงกับการใช้ค่า P/V เท่ากับ 12.3 และ 18.7 kW/m^3 ส่วนที่สัดส่วนโดยน้ำหนักกำมะถันต่อน้ำเป็น 0.2 และ 0.3 ให้ผลของขนาดเฉลี่ยของเม็ดกำมะถันสูงขึ้นออกไป แต่ก็ไม่แตกต่างมากนัก แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยน้ำหนักกำมะถันต่อน้ำ ซึ่งใช้ค่า P/V ที่ 8.8 kW/m^3 ยังให้ขนาดเฉลี่ยของเม็ดกำมะถันที่แตกต่างกันไม่มาก ดังนั้นสัดส่วนโดยน้ำหนักกำมะถันต่อน้ำ 0.1-0.5 ไม่มีผลต่อการเพิ่มอัตราการแตกของเม็ดกำมะถัน โดยใช้ค่า P/V ที่ 18.7, 12.3 และ 8.8 kW/m^3

ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ ใน ball mill และถังกวน

จากรูปที่ 4.12 แสดงค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าต่อน้ำหนักกำมะถันทั้งหมด กับขนาดเฉลี่ยของเม็ดกำมะถันที่ช่วงเวลาต่าง ๆ พบว่าในช่วง 15 นาทีแรก เกิดอัตราการแตกของเม็ดกำมะถันได้อย่างรวดเร็วที่สุด และใช้ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อผลิตภัณฑ์ 0.034 และ 0.015 บาทต่อกิโลกรัม สำหรับการบดใน ball mill และในถังกวนตามลำดับ แต่เมื่อทำการทดลองต่อไปจนถึง 90 นาที ขนาดเม็ดกำมะถันเฉลี่ยกลับลดลงอย่างช้า ๆ ซึ่งค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้ายังเพิ่มขึ้นเป็นเท่า ๆ ตัว ดังนั้นในเชิงเศรษฐศาสตร์ ควรทำการบดโดยใช้เวลาที่ 15 นาทีก็เพียงพอ แล้วนำมาแยกขนาดเม็ดกำมะถันขนาดเล็กตามความต้องการออกก่อน จึงนำส่วนที่ยังมีขนาดใหญ่อยู่กลับไปทำการบดใหม่อีกที่เวลา 15 นาที

เมื่อพิจารณาเส้นกราฟในรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นชัดเจนว่าในการลดขนาดเม็ดกำมะถันโดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง ในถังกวนที่ใช้ใบกวนอัตราเฉือนสูงมีประสิทธิภาพสูงกว่าใน ball mill เพราะใช้พลังงานไฟฟ้าต่อน้ำหนักกำมะถันทั้งหมดน้อยกว่า รวมทั้งได้ขนาดเฉลี่ยของเม็ดกำมะถันที่เล็กกว่า และยังสามารถแยกเม็ดกำมะถันที่ต้องการได้สะดวกกว่า เนื่องจากเม็ดกำมะถันที่มีขนาดเล็กจะเคลื่อนที่อยู่บริเวณใกล้ผิวหน้าของไหล และเมื่อลึกลงไปขนาดเม็ดกำมะถันที่เคลื่อนที่จะมีขนาดใหญ่

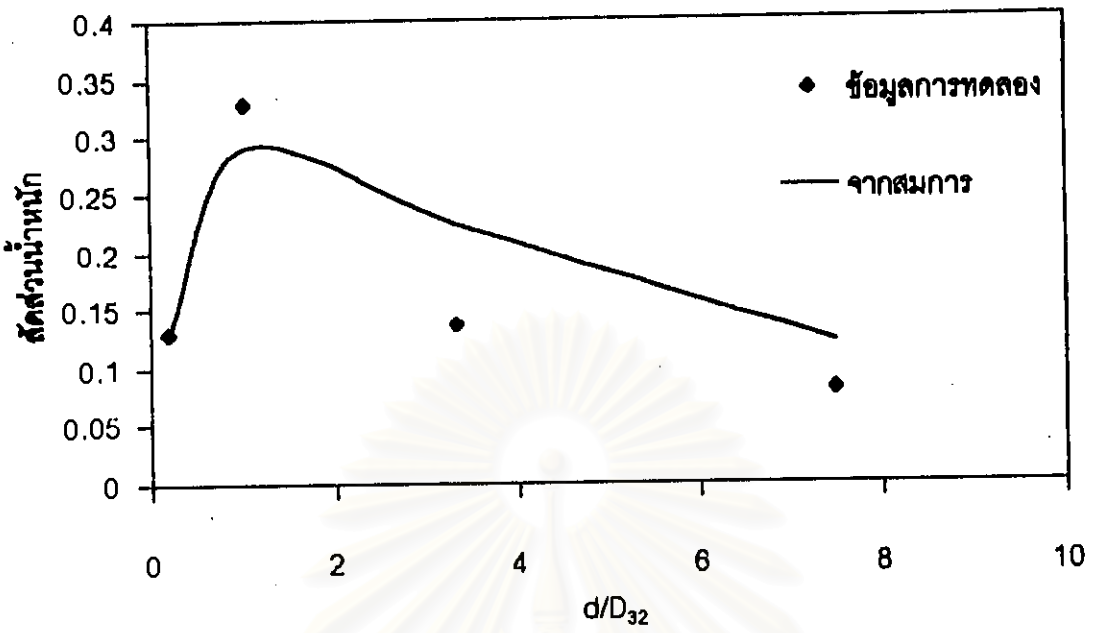
การกระจายขนาดของเม็ดกำมะถันในถังกวน

จากหัวข้อค่าพลังงานไฟฟ้าต่อผลิตภัณฑ์ พบว่าช่วงเวลา 15 นาทีแรกเหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์ จึงควรทราบถึงปริมาณที่จะได้ผลิตภัณฑ์ออกมาจากการเฉือนในแต่ละการทดลอง โดยหาสมการที่เหมาะสม เพื่อเปรียบเทียบการกระจายข้อมูลตามทฤษฎีกับการทดลอง ให้ได้สัดส่วนน้ำหนักเม็ดกำมะถันใกล้เคียงกันมากที่สุด

ในการคำนวณของรูปแบบการกระจายขนาดโดยใช้รูปสมการต่าง ๆ จากสมการที่ 2.3, 2.4, 2.5 และอื่น ๆ พบว่าควรแบ่งช่วงของข้อมูลเป็น 2 ช่วง โดยจะสนใจช่วงขนาดเม็ดกำมะถันที่เล็ก เพื่อทำการเปรียบเทียบการกระจายข้อมูลตามทฤษฎีกับการทดลองจะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$F = 0.3 \exp\left[-0.27 \left(\ln \frac{d}{D_{32}} - 0.2 \right)^2 \right]$$

สำหรับช่วงค่า $0 \le \frac{d}{D_{32}} < 7.5$ โดยมีสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(R^2)เป็น 0.7 ซึ่งเป็นการกระจายขนาดรูปแบบ log-normal ดังแสดงในรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายข้อมูลตามทฤษฎีกับการทดลอง ที่เวลาการเผือน 15 นาทีแรก

การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อเวลาในการอบแห้ง

ในการศึกษาเวลาที่ใช้ในการอบแห้งกำมะถัน ค่าสัดส่วนน้ำหนักของกำมะถันถูกใช้ในการวิเคราะห์ โดยเมื่อทำการศึกษาผลของตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ ขนาดของกำมะถันในตัวอย่างที่เตรียมคือ 0.075, 0.375 และ 1.20 มิลลิเมตร ที่เลือกกำมะถันขนาดดังกล่าว เนื่องจากเป็นขนาดกำมะถันที่เล็กเป็น 3 ลำดับสุดท้ายที่ได้จากการทดลองทั้งใน ball mill และในถังกวน โดยกำมะถันขนาด 0.075 มิลลิเมตร เป็นขนาดเฉลี่ยระหว่าง 0-150 มิลลิเมตร ส่วนร้อยละของน้ำเริ่มต้นในตัวอย่างทดลองอยู่ระหว่าง 10-50 โดยที่ร้อยละ 50 เป็นค่ามากที่สุดเพื่อทำการทดลอง เพราะในการทำงานจริงสามารถจะลดค่าร้อยละของน้ำเริ่มต้นในตัวอย่างก่อนทำการอบได้น้อยกว่าที่ 50

1 อิทธิพลของขนาดเม็ดกำมะถันต่อเวลาในการอบแห้ง

จากรูปที่ 4.13 แสดงค่าร้อยละของน้ำในตัวอย่าง 10-50 ของแต่ละช่วงเวลาการอบแห้ง โดยใช้เม็ดกำมะถันขนาด 0.075, 0.375 และ 1.20 มิลลิเมตร พบว่า เมื่อใช้เวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำที่เหลือในตัวอย่างจะลดลง โดยร้อยละของน้ำที่เหลือในตัวอย่างใกล้เคียงกันมากที่ช่วงเวลาแรก คือ 0-10 นาที เนื่องจากตัวอย่างในถาดกำลังปรับอุณหภูมิให้สูงขึ้น น้ำที่มีอยู่ในถาด

บริเวณผิวหน้าจึงระเหยได้น้อยอยู่ เมื่อเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้นอีก ตัวอย่างในถาดก็มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามอุณหภูมิอากาศร้อนที่อยู่ภายในตู้อบ น้ำบริเวณผิวหน้าก็ค่อย ๆ หมดไป น้ำที่อยู่ลึกลงไปจากผิวหน้าตัวอย่างในถาดจึงค่อย ๆ ระเหยเคลื่อนตัวหลุดออกตามมา จนได้เป็นเม็ดกำมะถันแห้ง โดยตัวอย่างในถาดที่เตรียมจากเม็ดกำมะถันขนาด 0.075 และ 0.375 มิลลิเมตร จะใช้เวลาในการอบแห้งใกล้เคียงกัน แต่นานกว่าขนาด 1.20 มิลลิเมตร เพราะเมื่อขนาดของเม็ดกำมะถันเล็กมาก จะทำให้ช่องว่างระหว่างเม็ดกำมะถันเล็กตามไปด้วย จึงเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของไอน้ำ ที่พยายามจะระเหยออกมาจากตัวอย่างไปสู่บรรยายกาศ รวมทั้งความร้อนที่จะผ่านเข้าไปในตัวอย่างก็เป็นไปได้ช้า เพราะสมบัติของกำมะถันที่นำความร้อนได้ไม่ดี และเม็ดกำมะถันขนาดเล็กก็เรียงตัวกันแน่นกว่าเม็ดขนาดใหญ่ ทำให้ช่องว่างที่อากาศร้อนจะผ่านเข้าไปสู่ชั้นที่ลึกลงไปในถาดได้ยากขึ้น โดยตัวอย่างที่เตรียมจากเม็ดกำมะถันขนาด 0.075 มิลลิเมตร จะมีร้อยละของน้ำที่เหลืออยู่มากที่สุด ของแต่ละช่วงเวลาที่อบแห้ง รองลงมาคือ 0.375 และ 1.20 มิลลิเมตรตามลำดับ

ตัวอย่างที่เตรียมจากเม็ดกำมะถันขนาด 1.20 มิลลิเมตร จะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด เนื่องจากเม็ดกำมะถันมีขนาดใหญ่กว่า ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเม็ดมากตามไปด้วย จึงเป็นผลดีต่อความร้อนที่จะผ่านเข้าสู่ตัวอย่างในถาด และไอน้ำที่จะเคลื่อนที่ออกจากตัวอย่างสู่บรรยายกาศได้สะดวกขึ้น

เวลาที่ใช้ในการอบแห้งจนมีน้ำที่เหลือในตัวอย่างน้อยกว่าร้อยละ 1 จะใกล้เคียงกันมาก สำหรับตัวอย่างที่เตรียมจากเม็ดกำมะถันขนาด 0.075 และ 0.375 มิลลิเมตร แสดงว่าช่องว่างที่เกิดจากเม็ดกำมะถันทั้ง 2 ขนาด มีอิทธิพลต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเม็ดกำมะถันเหมือนกัน

2 อิทธิพลร้อยละของน้ำเริ่มต้นในตัวอย่างต่อเวลาในการอบแห้งกำมะถัน

จากรูปที่ 4.14 แสดงร้อยละของน้ำต่าง ๆ ในตัวอย่าง ที่เตรียมจากเม็ดกำมะถันขนาด 0.075, 0.375 และ 1.20 มิลลิเมตร ในแต่ละช่วงเวลาการอบแห้ง พบว่าผลการทดลองมีลักษณะคล้ายกันของเม็ดกำมะถันทั้ง 3 ขนาด คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มขึ้น เมื่อร้อยละของน้ำเริ่มต้นในตัวอย่างเพิ่มขึ้น โดยลักษณะเส้นกราฟทั้งหมด แสดงร้อยละของน้ำที่เหลือในตัวอย่างลดลงอย่างช้า ๆ ที่ช่วงเวลา 0-20 นาที และตั้งแต่ 20 นาทีขึ้นไป ร้อยละของน้ำที่เหลือในตัวอย่างจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากน้ำที่อยู่ในตัวอย่างกำลังเพิ่มอุณหภูมิขึ้น การระเหยยังเกิดขึ้นได้น้อย แต่เมื่ออุณหภูมิของน้ำสูงมากพอ การระเหยของไอน้ำจะเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ เส้นกราฟจึงมีความลาดเอียงอย่างสม่ำเสมอเช่นกัน แสดงให้เห็นว่าอัตราการอบแห้งเม็ดกำมะถันเปียกเป็นแบบคงที่ เพราะกำมะถันมีสมบัติไม่ละลายน้ำ จึงทำให้น้ำที่อยู่ในตัวอย่างแทรกตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดกำมะถันเท่านั้น โมเลกุลของน้ำเหล่านี้จึงมีโอกาสระเหยเป็นไอน้ำได้ง่าย ทำให้อัตราการระเหยเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ

เมื่อนำผลการคำนวณทั้งหมดมาเปรียบเทียบกับข้อมูลการทดลอง ระหว่างร้อยละของน้ำเริ่มต้นในตัวอย่างกับเวลาการอบแห้งสุดท้าย เพื่อหาสมการสำหรับใช้คำนวณหาเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งเม็ดกำมะถันขนาด 1200 มิลลิเมตร และขนาดต่ำกว่า 0.375 มิลลิเมตร ที่มีร้อยละของน้ำเริ่มต้นในตัวอย่างระหว่าง 10-50 ดังรูปที่ 5.4

สมการที่ได้สำหรับใช้คำนวณหาเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งตัวอย่างที่มีเม็ดกำมะถันขนาด 1200 มิลลิเมตร คือ

$$T_d = 4.92W - 0.027W^2$$

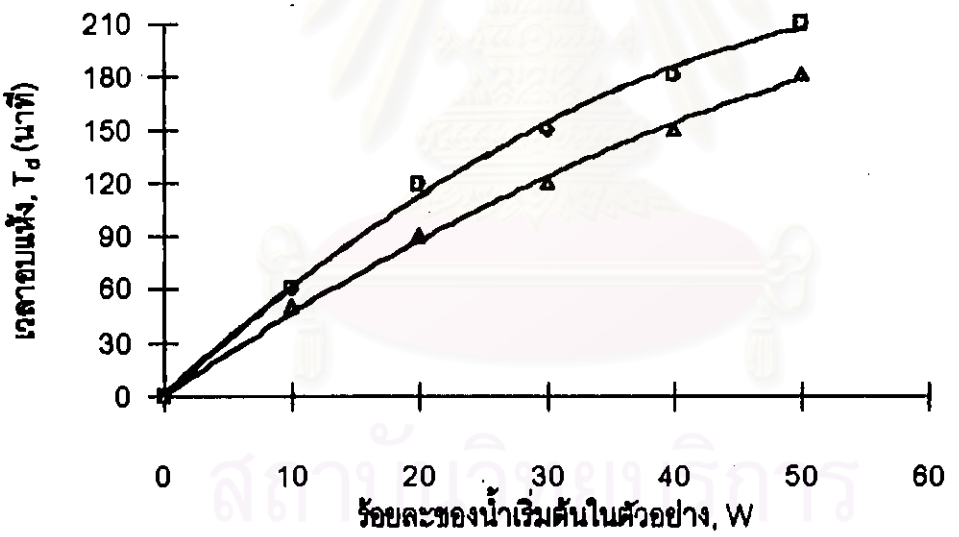
โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2)เป็น 0.99 และขนาดต่ำกว่า 0.375 มิลลิเมตร คือ

$$T_d = 6.60W - 0.049W^2$$

มีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2)เป็น 0.99

เมื่อ T_d คือเวลาเป็นนาทีที่ใช้อบแห้งเม็ดกำมะถันจนแห้ง

W คือร้อยละของน้ำเริ่มต้นในตัวอย่าง



รูปที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการอบแห้งสุดท้าย กับร้อยละของน้ำเริ่มต้นในตัวอย่าง