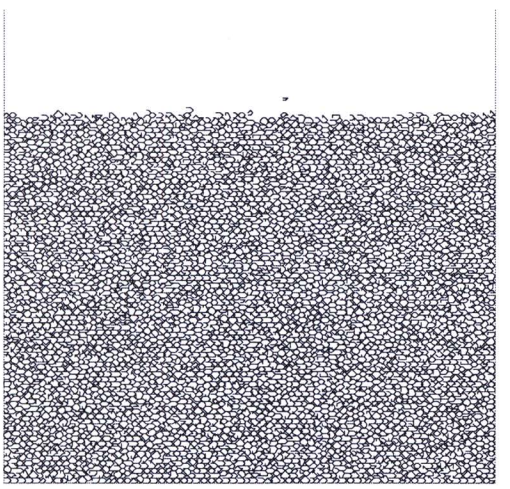
บทที่ 3
วิธีดำเนินการศึกษาและผลการศึกษา

3.1 วิธีดำเนินการศึกษา

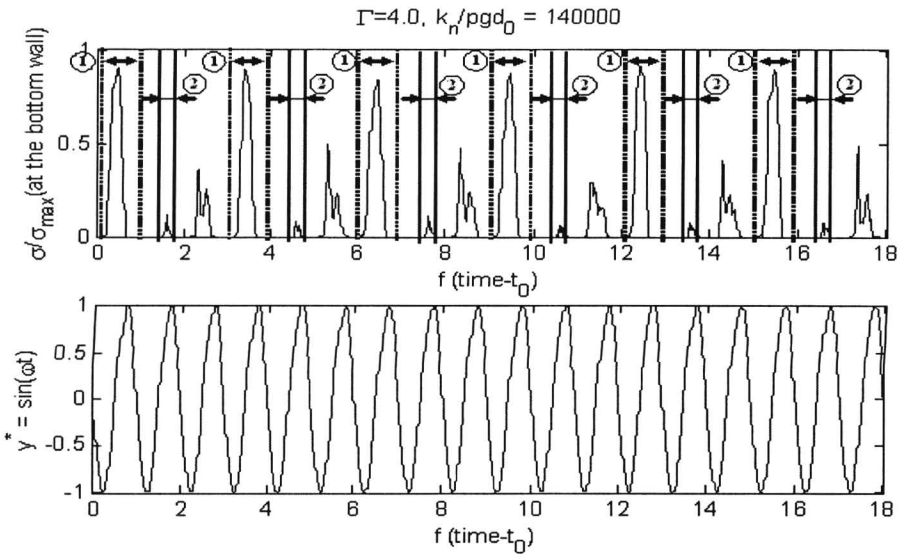
ในการศึกษาจะเริ่มด้วยการจำลองการบรรจุวัสดุ 1 ชนิดที่มีขนาดและมวลใกล้เคียงกันไว้ในกล่องบรรจุก่อน ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยที่ตัวแปรต่างๆที่ใช้จะมีค่าดังนี้ N = 5000, ε = 0.8, Γ = 4.0, μ_w/μ_p = 4.5, $k_n/(\rho g d_0)$ = 140000, A/d_0 = 0.35, $f/(g/d_0)^{0.5}$ = 0.542 และมีสัญญาณการสั่นประมาณ 12,000 รอบ โดยจะมีการปล่อยให้เวลาผ่านไปประมาณ 0.4938 s ก่อนเพื่อให้แน่ใจว่าเม็ดวัสดุทุกเม็ดในกล่องเข้าสู่สภาวะหยุดนิ่งก่อนที่จะเริ่มทำการสั่นระบบ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ระบบวัสดุเม็ดกลม 1 ชนิด ภายในภาชนะบรรจุ ณ เวลาเริ่มต้นก่อนเริ่มทำการสั่นระบบ

3.2 ผลการศึกษา

ผลการศึกษา เริ่มจากการที่กล่องเริ่มเคลื่อนที่ขึ้น ทำให้ก้นกล่องเริ่มดันผิวด้านล่างของเม็ดวัสดุ ซึ่งจะทำให้เกิดการส่งถ่ายพลังงานเข้าสู่เม็ดวัสดุจากด้านล่าง ถ้าทำการเขียนกราฟความเค้นกด σ/σ_{max} เทียบกับการสั่นของกล่องที่เวลาประมาณ $f(t-t_0)$ = 0 ถึง 18 จะได้กราฟดังในรูปที่ 3.2 (t_0 = 16.023 s)

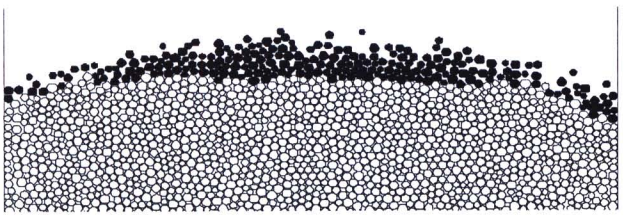


รูปที่ 3.2 ความเค้นกดที่เกิดขึ้นที่ส่วนล่างของเม็ดวัสดุเทียบกับการสั่นของกล่อง 3 คาบการสั่น (y^*=y/A และ t_0 = 16.023 s)

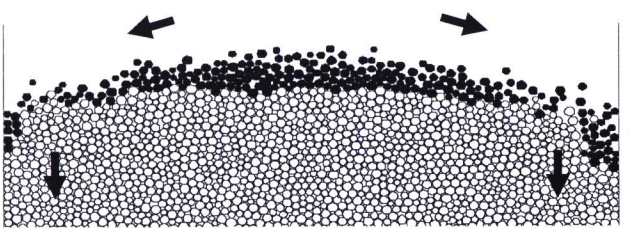
จากรูปที่ 3.2 พบว่าในระบบที่ช่วงเวลา (1) ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เกิดค่าความเค้นกดที่ส่วนล่างของเม็ดวัสดุสูงที่ สุด ช่วงนี้ที่ผิวอิสระด้านบนจะเกิดการกองตัวกันขึ้น แล้วการกองตัวที่เกิดขึ้นจะคงอยู่ที่ด้านบนผิวอิสระไปอีกชั่วระยะเวลาหนึ่งก็จะเกิดการหมุนวนขึ้นในระบบที่ช่วงเวลา (2) (ซึ่งในขณะนี้ที่ผิวอิสระด้านบนก็ยังคงเกิดการกองตัวกันอยู่) หลังจากที่การหมุนวนในระบบหมดไปก็กองตัวกันก็จะหมดไปด้วย แล้วการเกิดการกองตัวกันและการหมุนวนรอบใหม่ก็จะเริ่มเกิดขึ้นอีกครั้งเมื่อเกิดความเค้นกดสูงสุดครั้งต่อไป ซึ่งถ้าสังเกตให้ดีจากกราฟจะพบด้วยว่ารอบการเกิดแต่ละครั้งจะห่างกันประมาณ 3 คาบเวลาการสั่น (รายละเอียดของกลไกการเกิดการกองตัวกันจากเอกสารอ้างอิง [5] และรายละเอียดของการเกิดการหมุนวนจากเอกสารอ้างอิง [9])

ผลการศึกษา ยังแสดงให้เห็นว่าการเกิดการหมุนวนเป็นปรากฏการณ์ที่ช้ามากดังที่นักวิจัยท่านอื่นพบด้วย (เอกสารอ้างอิง [6] - [9]) นั่นคือการเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุจะช้ามากๆ ยิ่งไปกว่านั้นในช่วงเวลาที่ระบบปลอดจากการเกิดการกองตัวกันและการหมุนวนแทบที่จะไม่มีการเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุในระบบเลย (ช่วงเวลาหลังจากช่วงเวลา (2) และก่อนช่วงเวลาที่ (1) ในกราฟที่แสดงดังรูปที่ 3.2) นั่นคือ การเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุที่ผิวอิสระด้านบนจะเกิด ขึ้นได้เมื่อเกิดทั้งการกองตัวกันและการหมุนวนในระบบพร้อมกันในช่วงเวลาที่ (2) เท่านั้น และการเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุที่ผิวอิสระด้านบนจะไหลลงจากยอดของการกองตัวไปทางด้านข้างของภาชนะบรรจุ ซึ่งจะเป็นการช่วยให้เกิดการหมุนวนได้ง่ายดังที่ผู้วิจัยในเอกสารอ้างอิง [9] ได้ตั้งข้อสันนิษฐานไว้จริงๆ

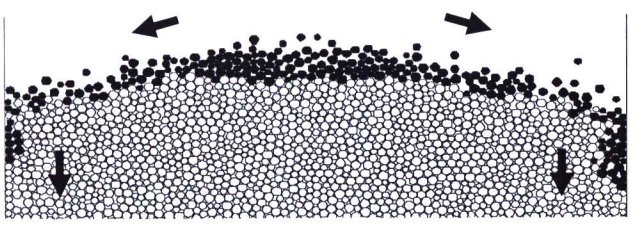
รูปที่ 3.3 เป็นการติดตามการเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุที่ผิวอิสระด้านบนในช่วงเวลาที่ (2) (ในรูปที่ 3.2) หลายๆรอบการเกิดการกองตัวกันและการหมุนวนในระบบ พบว่าการกองตัวกันช่วยให้เม็ดวัสดุที่ผิวอิสระด้านบนเกิดการเคลื่อนที่ไหลลงสู่ด้านข้างภาชนะบรรจุแล้วจึงลงสู่ด้านล่างของระบบ (ทิศทางตามที่ลูกศรชี้) ซึ่งเป็นผลทำให้เม็ดวัสดุเกิดการหมุนวนได้ง่ายขึ้น ดังที่ทราบกันว่าการหมุนวนจะเกิดขึ้นเมื่อเม็ดวัสดุด้านล่างของระบบบริเวณตรงกลางเคลื่อนที่จากด้านล่างขึ้นสู่ผิวอิสระด้านบน แล้วจึงเคลื่อนที่ไปทางด้านข้าง ต่อจากนั้นจึงเคลื่อนที่ลงสู่ด้านล่างของระบบ แล้วในที่สุดจึงเคลื่อนที่เข้าสู่ตรงกลางของระบบอีกครั้งเป็นการครบรอบการหมุนวน 1 รอบ นั่นหมายความว่าการกองตัวกันเป็นกลไกหนึ่งที่ช่วยขับเคลื่อนให้เม็ดวัสดุที่ผิวอิสระด้านบนเกิดการเคลื่อนที่ไหลลงสู่ด้านข้างภาชนะบรรจุ ทำให้ง่ายต่อการเกิดการหมุนวนนั่นเอง



$f\,(t - t_0) = 1.5$

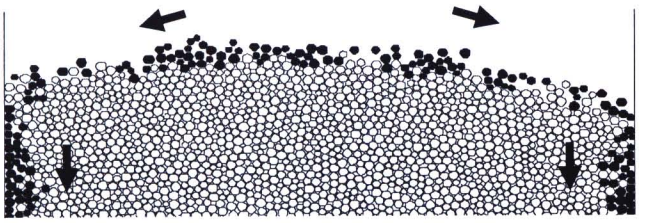


$f\,(t - t_0) = 4.5$

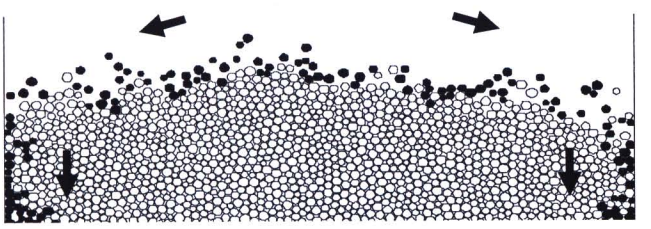


$f\,(t - t_0) = 7.5$

รูปที่ 3.3 แสดงการเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุบนผิวอิสระด้านบน ณ เวลาต่างๆ (t_0 = 16.023 s)



$f(t - t_0) = 28.5$



$f(t - t_0) = 31.5$

รูปที่ 3.3 (ต่อ)