

ผลของปรากฏการณ์การก้องตัวกันต่อการเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุบนผิวอิสระขณะเกิด
ปรากฏการณ์การหมุนวนของระบบวัสดุเม็ดกลมแข็ง 2 มิติ ภายใต้การสั่นแนวตั้ง



ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2554
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผลของปรากฏการณ์การกอดตัวกันต่อการเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุบนผิวอิสระขณะเกิด
ปรากฏการณ์การหมุนวนของระบบวัสดุเม็ดกลมแข็ง 2 มิติ ภายใต้การสั่นแนวตั้ง



ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2554
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการวิจัย: ผลของปรากฏการณ์การกอดตัวกันต่อการเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุบนผิวอิสระขณะ
เกิดปรากฏการณ์การหมุนวนของระบบวัสดุเม็ดกลมแข็ง 2 มิติ ภายใต้การสั่น
แนวตั้ง

หัวหน้าโครงการวิจัย: ผศ.ดร.สกันธ์ คล่องบุญจิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นการศึกษาผลของการเกิดการกอดตัวกันต่อการเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุที่
ผิวอิสระด้านบนขณะที่เกิดการหมุนวน ในระบบ 2 มิติ ของวัสดุเม็ดกลม ภายใต้การสั่นแนวตั้งโดย
จำลองเหตุการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์แบบวัสดุเม็ดนี้ม ผลจากการ
จำลองเหตุการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์พบว่า การกอดตัวกันจะเกิดก่อนการหมุนวนเสมอ และใน ขณะที่
เกิดการหมุนวน การกอดตัวกันก็ยังคงอยู่ที่ผิวอิสระด้านบนและช่วยทำให้เม็ดวัสดุบนผิวอิสระเคลื่อนที่
ไหลลงไปทางด้านข้างของภาชนะบรรจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Topic: Effect of the Heaping on the Particle Movement on the Free Surface during Convection of 2-D Granular Material System under Vertically Vibration

Head of Research Team: Assist. Prof. Dr. Sakon Klongboonjit (Ph.D.)

Industrial Engineering Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

In this study, the effect of heaping on the movement of particles on the free surface during convection occurring in the system of 2-D Granular material beds under vertically vibration is studied with soft-particle computer simulation technique. The results show that heaping always happens before convection. During convection, heaping occurs on the free surface. Then, heaping can lead the particles on the free surface flowing down and toward to sidewalls of container.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	
สารบัญรูป	
บทที่ 1 บทนำ	1-2
1.1 จุดประสงค์ในการศึกษา	1
1.2 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3-7
2.1 วิธีการจำลองเหตุการณ์แบบวีสดูเม็ดนิ่ม (Soft-Particle Method)	3
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษาและผลการศึกษา	8-11
3.1 วิธีดำเนินการศึกษา	8
3.2 ผลการศึกษา	8
บทที่ 4 อภิปรายผลการศึกษาและวิจารณ์	12
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	13
บรรณานุกรม	14
ภาคผนวก ก บทความที่ได้รับการตีพิมพ์	ผก 1-9
ภาคผนวก ข ตัวอย่างของข้อมูลที่ได้รับก่อนและหลังการจัดรูปแบบ	ผข 1 - 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

ชื่อรูป	หน้า
รูปที่ 2.1 แบบจำลองระหว่างผิวสัมผัสของเมื่อดิวัด 2 เม็ด	3
รูปที่ 2.2 แบบจำลองระหว่างผิวสัมผัสของเมื่อดิวัดกับผนังด้านข้างและผนังด้านล่างของกล่อง	4
รูปที่ 2.3 แสดงแบบจำลองของเมื่อดิวัดเม็ดที่ถูกบรรจุในกล่องที่กำลังสั่นอยู่ในแนวตั้ง	6
รูปที่ 3.1 ระบบวัสดุเม็ดกลม 1 ชนิด ภายในภาชนะบรรจุ ณ เวลาเริ่มต้นก่อนเริ่มทำการสั่นระบบ	8
รูปที่ 3.2 ความเค้นกดที่เกิดขึ้นที่ส่วนล่างของเมื่อดิวัดเทียบกับการสั่นของกล่อง 3 คาบการสั่น ($y^* = y/A$ และ $t_0 = 16.023$ s)	9
รูปที่ 3.3 แสดงการเคลื่อนที่ของเมื่อดิวัดบนผิวอิสระด้านบน ณ เวลาต่างๆ ($t_0 = 16.023$ s)	10 - 11



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

วัสดุเม็ดกลม หรือ Granular materials คือวัสดุที่ประกอบไปด้วยวัสดุแข็งเม็ดเล็กๆมากมาย และช่องว่างระหว่างวัสดุเม็ดเล็กนั้นก็จะถูกแทรกด้วยของไหล (เช่น น้ำ หรือ อากาศ) วัสดุเม็ดกลมนี้ถือว่าเป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่น่าทำการศึกษาลักษณะพฤติกรรมของมัน เนื่องจากวัสดุชนิดนี้ส่วนใหญ่ที่ถูกใช้ในกระบวนการต่างๆ ในทางอุตสาหกรรมอยู่ในรูปของวัสดุเม็ดกลมเล็กๆ เช่น ทราย เม็ดพลาสติก อาหารอัดเม็ด ในกระบวนการผลิตนั้นวัสดุชนิดต่างๆก็อาจจะถูกนำไปผ่านกระบวนการสั่นเพื่อให้ผสมกัน หรือเพื่อให้แยกตัวออกจากกัน สำหรับวัสดุประเภทนี้เมื่อถูกนำมาสั่นหรือเขย่าแล้วจะเกิดปรากฏการณ์หลายๆ อย่างที่น่าสนใจและทำการศึกษารึ้นภายในระบบ เช่น Arching, Heaping, Segregation, Surface waves, Convection ฯลฯ อย่างไรก็ตามสิ่งที่เราจะทำการศึกษาในครั้งนี้คือ ผลของปรากฏการณ์การเกิดการกองตัวกัน (Heaping) ต่อการเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุบนผิวอิสระของระบบระหว่างการเกิดปรากฏการณ์การหมุนวน (Convection) ในระบบ ซึ่งการกองตัวกันจะหมายถึงการที่เม็ดวัสดุเกิดการซ้อนทับกันจนสูงขึ้นมาที่บริเวณตรงกลางของกองวัสดุแล้วก็จะลาดเอียงลงไปตามด้านข้างโดยทั่วไปจะเกิดขึ้นในระบบที่หยุดนิ่งแต่ในระบบที่กำลังสั่นอยู่ก็สามารถเกิดขึ้นได้เช่นกันบนผิวอิสระด้านบน ส่วนการหมุนวนจะหมายถึงการที่เม็ดวัสดุในระบบเกิดการเคลื่อนที่ในลักษณะหมุนเป็นวงปิด 2 วงอย่างช้าๆในระบบที่กำลังสั่นอยู่ แม้ว่าจะมีการศึกษาถึงการเกิดปรากฏการณ์ทั้งสองนี้โดยนักวิจัยหลายๆท่านแล้วก็ตาม แต่ก็ยังไม่มีผู้ใดตอบได้ว่า การกองตัวกันช่วยให้เม็ดวัสดุบนพื้นผิวอิสระเกิดการเคลื่อนที่ได้อย่างไรในขณะที่เกิดการหมุนวนในระบบ แม้แต่ในงานวิจัยที่ [9] ที่ทำการศึกษาลักษณะเฉพาะเกี่ยวกับปรากฏการณ์การหมุนวนและกลไกการเกิดการหมุนวนก็ได้แต่เพียงสันนิษฐานไว้ว่าขณะเกิดการหมุนวนที่ผิวอิสระด้านบนจะเกิดการกองตัวกันขึ้น ทำให้เม็ดวัสดุที่ผิวอิสระด้านบนเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นทำให้เกิดการหมุนวนได้ดี

1.1 จุดประสงค์ในการศึกษา

เพื่อทำการศึกษาว่าการเกิดการกองตัวกันในระบบเม็ดวัสดุที่เกิดการสั่นอยู่ในแนวตั้งจะมีผลช่วยเสริมหรือต่อต้านการเกิดการหมุนวนในระบบ

1.2 ขอบเขตของการศึกษา

1. ในการศึกษาจะใช้วิธีการจำลองเหตุการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation)

2. ในการศึกษาจะจำลองเหตุการณ์ให้ระบบเป็นเพียงระบบ 2 มิติ (2-D System) เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ในการศึกษาการผสมกันจะจำลองเหตุการณ์ให้มีวัสดุเม็ดกลมเพียง 1 ชนิด ที่มีขนาดและมวลใกล้เคียงกัน

4. ในการศึกษาจะทำการจำลองเหตุการณ์ให้ภาชนะที่ใช้บรรจุจะมีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยม และถูกสั่นขึ้นลงในแนวตั้ง

1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา

สามารถใช้ประโยชน์จากการเกิดปรากฏการณ์การก้องตัวกันและผลของมันต่อการเกิดปรากฏการณ์การหมุนวนในงานอุตสาหกรรมได้

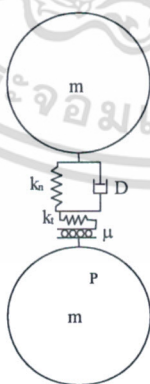


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

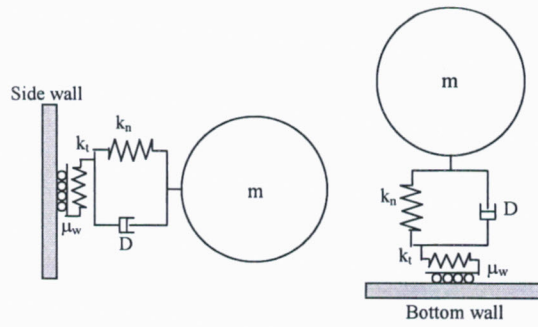
2.1 วิธีการจำลองเหตุการณ์แบบวัสดุเม็ดนิ่ม (Soft-Particle Method)

การที่วิธีการจำลองเหตุการณ์แบบวัสดุเม็ดนิ่ม (Granular Materials) [10] ถูกเลือกใช้ในงานวิจัยนี้ เนื่องจากจะทำให้สามารถเก็บข้อมูลต่างๆของแต่ละเม็ดวัสดุ เช่น ความเร็ว ตำแหน่ง แรงกระทำ และอื่นๆ ที่เวลาต่างๆได้ตลอดเวลาการวิเคราะห์ได้ ซึ่งการศึกษาด้วยการทดลองจริงไม่สามารถทำได้เนื่องจากข้อจำกัดต่างๆของเครื่องมือวัดและเซ็นเซอร์ต่างๆ นอกจากนี้การจำลองเหตุการณ์แบบวัสดุเม็ดนิ่มยังเป็นวิธีที่อนุญาตให้เม็ดวัสดุแต่ละเม็ดในระบบสามารถสัมผัสกับเม็ดวัสดุรอบๆตัวมันได้ครั้งละหลายๆเม็ดในเวลาเดียวกัน ยิ่งไปกว่านั้นยังอนุญาตให้ผิวสัมผัสมีเวลาในการสัมผัสกันได้นานกว่าการที่จะคิดว่า การสัมผัสกันแต่ละครั้งของเม็ดวัสดุเป็นแบบกระทบกัน (เวลาการกระทบกันสั้นมาก) ซึ่งจะใกล้เคียงกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริง หลักการพื้นฐานการคำนวณด้วยวิธีนี้คือใช้วิธี Discrete Element Method [11] โดยทำการจำลองว่าที่ผิวสัมผัสใดๆประกอบด้วย Linear spring, k_n ต่อขนานกับ Viscous dashpot, D ในแนวตั้งฉากกับผิวสัมผัส ส่วนในแนวขนานกับผิวสัมผัสประกอบไปด้วย Linear spring, k_t อีกตัวหนึ่งต่อกับ Frictional slider, μ_p และเม็ดวัสดุแต่ละเม็ดจะถูกบังคับไม่ให้หมุน ทำให้เม็ดวัสดุแต่ละเม็ดมีความยืดหยุ่นและไหลไปบนเม็ดวัสดุอื่นได้เพื่อให้เม็ดวัสดุมีความใกล้เคียงกับสภาพการณ์จริงมากที่สุดแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของผิวสัมผัสของเม็ดวัสดุ 2 เม็ดใดๆจะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.1 ในขณะที่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระหว่างเม็ดวัสดุที่อยู่ใกล้ๆกับผนังของกล่องสี่เหลี่ยมก็จะนำแบบจำลองในรูปที่ 1 ไปใช้ได้ เพียงแต่เปลี่ยนค่า ส.ป.ส. ระหว่างเม็ดวัสดุกับเม็ดวัสดุ μ_p เป็นค่า ส.ป.ส. ระหว่างเม็ดวัสดุกับผนัง μ_w แทน ดังในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 แบบจำลองระหว่างผิวสัมผัสของเม็ดวัสดุ 2 เม็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แบบจำลองระหว่างผิวสัมผัสของเม็ควัสดุกับผนังด้านข้างและผนังด้านล่างของกล่อง

กระบวนการของวิธีนี้เริ่มจาก ณ เวลาใดๆ เริ่มแรกจะทำการคำนวณหาค่าแรงกระทำที่เกิดขึ้นบนเม็ควัสดุแต่ละ เม็ดภายในระบบ ทั้งที่เกิดในแนวตั้งฉากและแนวขนานผิวสัมผัส หลังจากนั้นค่าความเร่งของเม็ควัสดุแต่ละเม็ดก็จะถูกคำนวณด้วยกฎพื้นฐานข้อที่สองของนิวตัน ในที่สุดค่าความเร็วและตำแหน่งของเม็ควัสดุแต่ละเม็ดก็จะถูกคิดคำนวณออกมา ต่อจากนั้นการคำนวณค่าต่างๆของเม็ควัสดุในกล่องที่เวลาถัดไปก็就会被คำนวณเข้าไปเรื่อยๆจนกว่าจะถึงเวลาสุดท้ายที่ตั้งไว้

สมการการที่ใช้ในการคำนวณ เป็นดังนี้

$$a_i = F_i/m_i \quad (1)$$

$$v_{i,t2} = v_{i,t1} + \int_{t1}^{t2} a_i dt \quad (2)$$

$$s_{i,t2} = s_{i,t1} + \int_{t1}^{t2} \int_{t1}^{t2} a_i dt dt \quad (3)$$

โดย

$t1$ คือ เวลาเริ่มต้นที่เริ่มพิจารณา

$t2$ คือ เวลาสุดท้ายที่พิจารณา

F_i คือ แรงที่กระทำบนเม็ควัสดุเม็ดที่ i

m_i คือ มวลของเม็ควัสดุเม็ดที่ i

a_i คือ ความเร่งของเม็ควัสดุเม็ดที่ i

$v_{i,t1}$ คือ ความเร็วของเม็ควัสดุเม็ดที่ i ณ เวลา $t1$

$v_{i,t2}$ คือ ความเร็วของเม็ควัสดุเม็ดที่ i ณ เวลา $t2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$s_{i,t1}$ คือ ตำแหน่งของเม็ดวัสดุเม็ดที่ i ณ เวลา t_1

$s_{i,t2}$ คือ ตำแหน่งของเม็ดวัสดุเม็ดที่ i ณ เวลา t_2

$i = 1, 2, 3, \dots$

ระบบที่จะทำการศึกษาก็จะถูกจำลองเป็นระบบ 2 มิติของเม็ดวัสดุ N เม็ดที่มีรูปร่างเป็นวงกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย d_0 เมตร และมีค่าการกระจายอยู่ระหว่าง 25% ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย กล่องที่ใช้ในการบรรจุเม็ดวัสดุจะมีขนาดความกว้าง W เมตร และมีความสูงเป็นอนันต์ กล่องจะถูกสั่นด้วยฟังก์ชันไซน์ในแนวตั้งดังสมการ

$$y(t) = A \sin(2\pi ft) = A \sin(\omega t) \quad (4)$$

โดย

A คือ ค่า amplitude ของการสั่น (เมตร)

f คือ ค่าความถี่ของการสั่น (รอบต่อวินาที)

t คือ ค่าของเวลา (วินาที)

ระบบที่ใช้ในการศึกษาจะถูกแสดงดังรูปที่ 2.3 ค่าต่างๆในระบบถูกกำหนดอยู่ในรูปตัวแปรไร้มิติ N , μ_p , μ_w , ϵ , $k_n/(p g d_0)$, A/d_0 , $f/(g/d_0)^{0.5}$, $f(\text{time}-t_0)$ และ $\Gamma = A(2\pi f)^2/g$

โดย

N คือ จำนวนของเม็ดวัสดุในกล่อง (เม็ด)

μ_p คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างเม็ดวัสดุด้วยกัน

μ_w คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างเม็ดวัสดุกับผนังกล่อง

ϵ คือ ค่า Restitution coefficient

k_n คือ ค่าดัชนีของสปริงในทิศทางตั้งฉากกับผิวสัมผัส (นิวตัน/เมตร)

ρ คือ ค่าความหนาแน่นของเม็ดวัสดุ (กิโลกรัม/ตารางเมตร)

g คือ ค่าแรงโน้มถ่วง = 9.81 เมตร/วินาที²

d_0 คือ ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดวัสดุในระบบ (เมตร) นั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

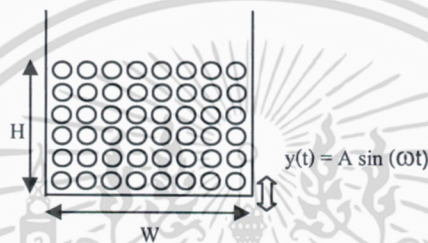
A คือ ค่าแอมป์จูดของการสั่น (เมตร)

f คือ ค่าความถี่ของการสั่น (รอบ/วินาที)

time คือ เวลาขณะใด (วินาที)

t_0 คือ เวลาอ้างอิง (วินาที)

Γ คือ อัตราส่วนของค่าความเร่งของการสั่นของระบบต่อค่าแรงโน้มถ่วง



รูปที่ 2.3 แสดงแบบจำลองของเม็ดวัสดุเม็ดที่ถูกบรรจุในกล่องที่กำลังสั่นอยู่ในแนวดิ่ง

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยจากผู้วิจัยหลายๆท่านทั้งการทดลองและวิธีจำลองเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบเม็ดวัสดุที่สั่นขึ้นลงในแนวดิ่งมีอยู่ด้วยกันหลายๆงาน ดังในเอกสาร [1] - [5] ศึกษาถึงกลไกและการเกิดปรากฏการณ์การกอดตัวกันในระบบเม็ดวัสดุที่บรรจุอยู่ในภาชนะบรรจุที่กำลังสั่นอยู่ในแนวดิ่ง พบว่าการเกิดการกอดตัวกันจะเกิดที่ผิวอิสระด้านบนของระบบเม็ดวัสดุเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 และในเอกสาร [6] - [9] ศึกษาการเกิดปรากฏการณ์การหมุนวนในระบบเม็ดวัสดุที่บรรจุอยู่ในภาชนะบรรจุที่กำลังสั่นอยู่ในแนวดิ่ง พบว่าจะเกิดการเคลื่อนที่แบบหมุนวนของกลุ่มเม็ดวัสดุขึ้น 2 วงเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 และในบางงานวิจัยยังสังเกตเห็นปรากฏการณ์การกอดตัวกันเกิดขึ้นด้วย แต่ก็ยังไม่พบเหตุผลใดมาสนับสนุนถึงความสัมพันธ์ของปรากฏการณ์ทั้ง 2 นี้เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การเกิดการก้องตัวกันที่ผิวอิสระด้านบนของระบบ



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการหมุนวนในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **121335** ใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษาและผลการศึกษา

3.1 วิธีดำเนินการศึกษา

ในการศึกษาจะเริ่มด้วยการจำลองการบรรจุวัสดุ 1 ชนิดที่มีขนาดและมวลใกล้เคียงกันไว้ในกล่องบรรจุ ก่อน ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยที่ตัวแปรต่างๆที่ใช้จะมีค่าดังนี้ $N = 5000$, $\epsilon = 0.8$, $\Gamma = 4.0$, $\mu_w/\mu_p = 4.5$, $k_r/(\rho g d_0) = 140000$, $A/d_0 = 0.35$, $f/(g/d_0)^{0.5} = 0.542$ และมีสัญญาณการสั่นประมาณ 12,000 รอบ โดยจะมีการปล่อยให้เวลาผ่านไปประมาณ 0.4938 s ก่อนเพื่อให้แน่ใจว่าเม็ดวัสดุทุกเม็ดในกล่องเข้าสู่สภาวะหยุดนิ่งก่อนที่จะเริ่มทำการสั่นระบบ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.1

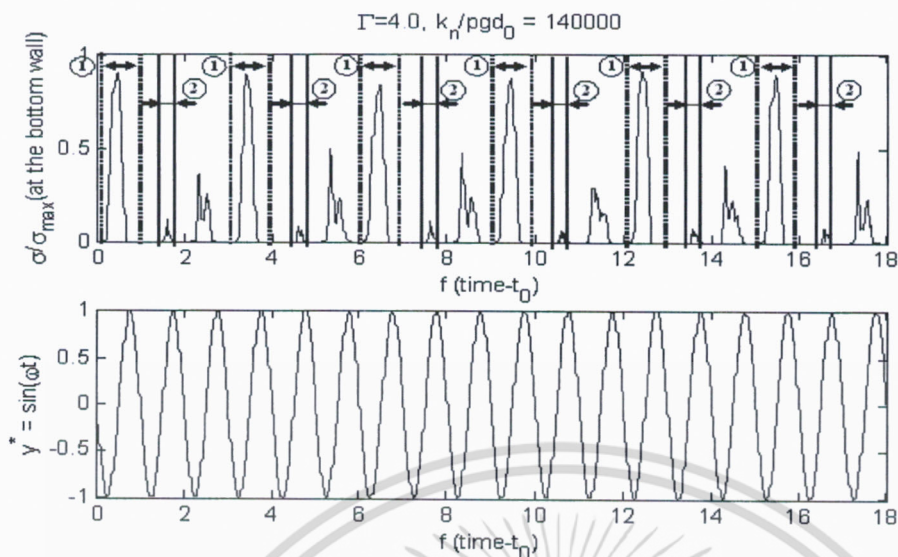


รูปที่ 3.1 ระบบวัสดุเม็ดกลม 1 ชนิด ภายในภาชนะบรรจุ ณ เวลาเริ่มต้นก่อนเริ่มทำการสั่นระบบ

3.2 ผลการศึกษา

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ความเค้นกดที่เกิดขึ้นที่ส่วนล่างของเมื่อดัสดูเทียบกับการสั่นของกล่อง 3 คาบการสั่น ($y = y/A$ และ $t_0 = 16.023$ s)

จากรูปที่ 3.2 พบว่าในระบบที่ช่วงเวลา (1) ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เกิดค่าความเค้นกดที่ส่วนล่างของเมื่อดัสดูสูงที่สุด ช่วงนี้ที่ผิวอิสระด้านบนจะเกิดการกอดตัวกันขึ้น แล้วการกอดตัวที่เกิดขึ้นจะคงอยู่ที่ด้านบนผิวอิสระไปอีกชั่วระยะเวลาหนึ่งก็จะเกิดการหมุนวนขึ้นในระบบที่ช่วงเวลา (2) (ซึ่งในขณะนี้ที่ผิวอิสระด้านบนก็ยังคงเกิดการกอดตัวกันอยู่) หลังจากที่มีการหมุนวนในระบบหมดไปก็กอดตัวกันก็จะหมดไปด้วย แล้วการเกิดการกอดตัวกันและการหมุนวนรอบใหม่ก็จะเริ่มเกิดขึ้นอีกครั้งเมื่อเกิดความเค้นกดสูงสุดครั้งต่อไป ซึ่งถ้าสังเกตให้ดีจากกราฟจะพบด้วยว่ารอบการเกิดแต่ละครั้งจะห่างกันประมาณ 3 คาบเวลาการสั่น (รายละเอียดของกลไกการเกิดการกอดตัวกันจากเอกสารอ้างอิง [5] และรายละเอียดของการเกิดการหมุนวนจากเอกสารอ้างอิง [9])

ผลการศึกษา ยังแสดงให้เห็นว่าการเกิดการหมุนวนเป็นปรากฏการณ์ที่ซ้ำมาดั่งที่นักวิจัยท่านอื่นพบด้วย (เอกสารอ้างอิง [6] - [9]) นั่นคือการเคลื่อนที่ของเมื่อดัสดูจะซ้ำมาๆ ยิ่งไปกว่านั้นในช่วงเวลาที่ระบบปลอดจากการเกิดการกอดตัวกันและการหมุนวนแทบที่จะไม่มีการเคลื่อนที่ของเมื่อดัสดูในระบบเลย (ช่วงเวลาหลังจากช่วงเวลา (2) และก่อนช่วงเวลา (1) ในกราฟที่แสดงดังรูปที่ 3.2) นั่นคือ การเคลื่อนที่ของเมื่อดัสดูที่ผิวอิสระด้านบนจะเกิดขึ้นได้เมื่อเกิดทั้งการกอดตัวกันและการหมุนวนในระบบพร้อมกันในช่วงเวลาที่ (2) เท่านั้น และการเคลื่อนที่ของเมื่อดัสดูที่ผิวอิสระด้านบนจะไหลลงจากยอดของการกอดตัวไปทางด้านข้างของภาชนะบรรจุ ซึ่งจะเป็นการช่วยให้เกิดการหมุนวนได้ง่ายดังที่ผู้วิจัยในเอกสารอ้างอิง [9] ได้ตั้งข้อสันนิษฐานไว้จริงๆ

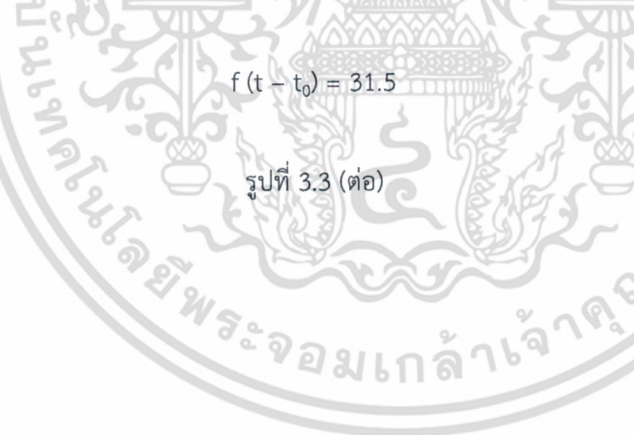
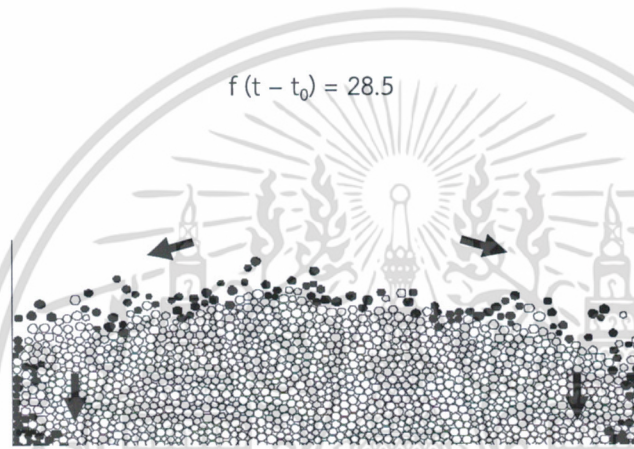
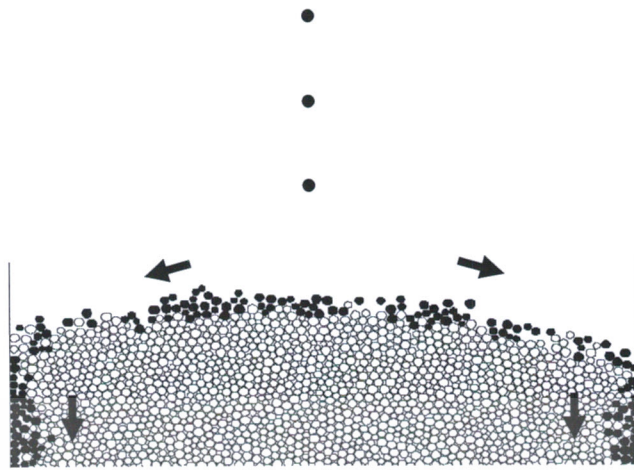
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 เป็นการติดตามการเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุที่ผิวอิสระด้านบนในช่วงเวลาที่ (2) (ในรูปที่ 3.2) หลากๆรอบการเกิดการก้องตัวกันและการหมุนวนในระบบ พบว่าการก้องตัวกันช่วยให้เม็ดวัสดุที่ผิวอิสระด้านบนเกิดการเคลื่อนที่ไหลลงสู่ด้านข้างภาชนะบรรจุแล้วจึงลงสู่ด้านล่างของระบบ (ทิศทางตามที่ลูกศรชี้) ซึ่งเป็นผลทำให้เม็ดวัสดุเกิดการหมุนวนได้ง่ายขึ้น ดังที่ทราบกันว่าการหมุนวนจะเกิดขึ้นเมื่อเม็ดวัสดุด้านล่างของระบบบริเวณตรงกลางเคลื่อนที่จากด้านล่างขึ้นสู่ผิวอิสระด้านบน แล้วจึงเคลื่อนที่ไปทางด้านข้าง ต่อจากนั้นจึงเคลื่อนที่ลงสู่ด้านล่างของระบบ แล้วในที่สุดจึงเคลื่อนที่เข้าสู่ตรงกลางของระบบอีกครั้งเป็นการครบรอบการหมุนวน 1 รอบ นั้นหมายความว่า การก้องตัวกันเป็นกลไกหนึ่งที่จะช่วยขับเคลื่อนให้เม็ดวัสดุที่ผิวอิสระด้านบนเกิดการเคลื่อนที่ไหลลงสู่ด้านข้างภาชนะบรรจุ ทำให้ง่ายต่อการเกิดการหมุนวนนั่นเอง



รูปที่ 3.3 แสดงการเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุบนผิวอิสระด้านบน ณ เวลาต่างๆ ($t_0 = 16.023$ s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

อภิปรายผลการศึกษาและวิจารณ์

ด้วยวิธี Soft-particle computer simulation สามารถนำมาใช้ศึกษาเรื่องผลของการกอดตัวกันที่มีต่อการเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุบนผิวอิสระด้านบนในขณะที่เกิดการหมุนวนในระบบของวัสดุเม็ดกลมที่กำลังอยู่ภายใต้การสั่นสะเทือนในแนวตั้ง ซึ่งการศึกษาด้วยวิธีทำการทดลองจะทำได้ยาก จากการศึกษาในครั้งนี้ทำให้ทราบว่า การกอดตัวกันจะเกิดขึ้นก่อนการหมุนวนเสมอ โดยที่การกอดตัวกันจะเกิดในช่วงที่ระบบเม็ดวัสดุกำลังได้รับการถ่ายเทพลังงานจากส่วนล่างของระบบ (ขณะค่าความเค้นกดสูง) หลังจากนั้นที่ผิวอิสระด้านบนก็จะเกิดการกอดตัวกันขึ้น จนถึงขณะที่เกิดการหมุนวน หลังจากนั้นการกอดตัวและการหมุนวนก็จะหายไป เป็นการหมด 1 รอบของการเกิดการกอดตัวกันและการหมุนวน ต่อจากนั้นรอบการเกิดถัดไปก็จะเกิดขึ้นที่ประมาณ 3 คาบเวลาการสั่นของภาชนะบรรจุ แล้วเกิดต่อเนื่องกันไปเรื่อยๆ ที่สำคัญคือการกอดตัวกันช่วยให้เม็ดวัสดุที่ผิวอิสระด้านบนเกิดการเคลื่อนที่ไหลลงจากยอดของการกอดตัวกันโดยไหลไปทางด้านข้างของภาชนะบรรจุเป็นการช่วยให้การหมุนวนเกิดง่ายขึ้นด้วย ดังที่ผู้วิจัยในเอกสารอ้างอิง [9] ตั้งข้อสันนิษฐานไว้จริง

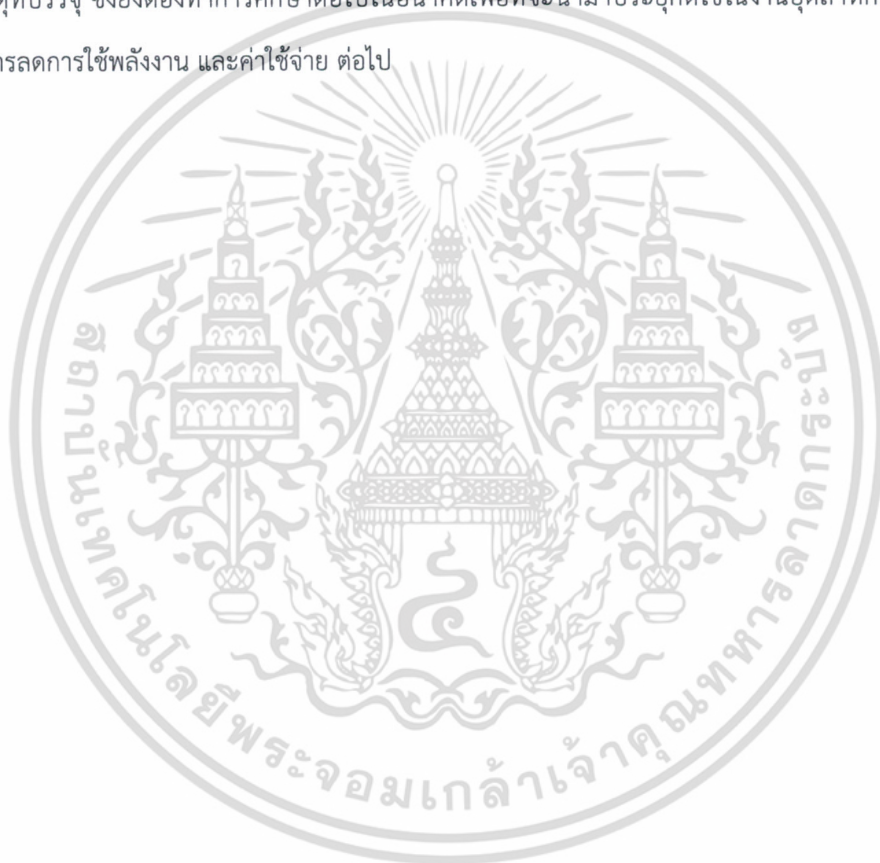


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษา พบว่าถ้าต้องการให้เกิดการหมุนเวียนง่ายขึ้นจำเป็นต้องอาศัยการเก็กรองตัวกันเข้าช่วย ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมจริงได้เพื่อให้เกิดการกระจายตัวของเม็ดวัสดุอย่างทั่วถึง ด้วยวิธีการสั่นระบบขึ้นลงในแนวตั้งเพียงอย่างเดียวโดยไม่ต้องใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์อื่นๆ เช่น ใบกวนเข้าช่วย ด้วยการตั้งค่าการสั่นในแนวตั้งและเวลาที่ใช้ในการสั่นที่เหมาะสมกับระบบ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของระบบของเม็ดวัสดุที่ต้องการนำมาผสมกัน เช่น ความแข็งของเม็ดวัสดุ, ขนาดของภาชนะบรรจุ หรือปริมาณของวัสดุที่บรรจุ ซึ่งยังต้องทำการศึกษาต่อไปในอนาคตเพื่อที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรม เพื่อจุดประสงค์ในการลดการใช้พลังงาน และค่าใช้จ่าย ต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] P. Evesque and J. Rajchenbach, "Instability in a sand heap," Phys. Rev. Letters, 1989, 62, pp. 44-46.
- [2] E. Clement, J. Duran, and J. Rajchenbach, "Experimental study of heaping in a two - dimensional sand pile," Phys. Rev. Letters, 1992, 69, pp. 1189-1192.
- [3] C.R. Wassgren, C.E. Brennen and M.L. Hunt, "Vertical vibration of a deep bed of granular material in a container," Transactions of the ASME, 1996, 63, pp. 712-719.
- [4] Jysoo Lee, "Heap formation in two-dimensional granular media," J. Phys. A: Math Gen., 1998, 27, pp. L257-262.
- [5] สกนธ์ คล่องบุญจิต "ปรากฏการณ์การกองตัวกันของวัสดุเม็ดกลมแข็ง 2 มิติภายใต้การสั่นแนวตั้ง," วิศวกรรมลาดกระบัง, 2551, มิถุนายน (2), หน้า 47 - 52
- [6] J.A.C. Gallas, H.J. Herrmann, and S. Sokolowski, "Convection cells in vibrating granular media," Phys. Rev. Letters, 1992, 69, 1371 - 1374.
- [7] Y-h. Taguchi, "New origin of a convection motion: Elastically induced convection in granular materials," Phys. Rev. Letters, 1992, 69, 1367 - 1372.
- [8] S. Luding, E. Clement, J. Rajchenbach, and A.Duran, "Onset of convection in molecular dynamics simulations of grain," Phys. Rev. E, 1994, 50, 1762 - 1765.
- [9] S. Klongboonjit, "The effects of particle elasticity on the convection in deep vertically shaken particle beds," Ph.D. Thesis, University of Southern California, 2005.
- [10] C.S. Campbell, "Shear flows of granular materials," Ph.D. Thesis, California Institute of Technology, 1982.
- [11] P.A. Cundall and O.D.L.Strack, "A discrete numerical model for granular assemblies," Geotechnique, 1979, 29.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วิศวกรรมลาดกระบัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

ปีที่ 27 ฉบับที่ 4

ธันวาคม 2553

วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

1. การสร้าง FPGA ของการแปลงโคไซน์ไม่ต่อเนื่อง 2 มิติสำหรับการบีบอัดภาพ
ธนกร สุขใส เม้ากัค ศิริสุข เอกรัฐ บุญญา 1

วิศวกรรมไฟฟ้า

2. บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แรงดันเซลล์ฟอสซิลเลตแบบใหม่สำหรับหลอดฟลูออโรเรสเซนต์
สมภาพ ยงพิศาลภ อิระศักดิ์ เสภาภรณ์ มงคล กงศ์ศิริ 7
3. การศึกษาการควบคุมแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสโดยใช้ตัวเก็บประจุอิเล็กทรอนิกส์และ
การควบคุมแรงดันเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพ
นพคุณ ยมแก้ว วิจิตร กิณเรศ 13

วิศวกรรมโยธา

4. การศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของผนังคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำแบบผสมตะกอนน้ำตาล และ
คอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำภายใต้สภาวะอากาศของกรุงเทพมหานคร
บวร อัครางกูร ณ อยุธยา ปรีดา จันทร์พจน์ โยธิน อึ้งกุล 19

วิศวกรรมอุตสาหการ

5. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมการเพิ่มผลผลิตกับตัวชี้วัดประสิทธิภาพ
ปราธณา บุญณกิตเกษม อมรินทร์ จันทร์รา ภูมิพร ธรรมสกลิตย์เดช 25
6. ผลของปรากฏการณ์การกอดตัวกันต่อการเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุบนผิวอิสระขณะเกิดปรากฏการณ์
การหมุนวนของระบบบิวส์เคมีตกกลมเชิง 2 มิติ ภายใต้การสั่นแนวตั้ง
สกนธ์ คล่องบุญจิต 31
7. Optimal Location of Dwell Points in A Loop Layout by Minimizing the Total Number of
Trips Around the Loop Under Capacity Constraints 37
Chumpol Yuangyai R.Ufuk Bilisel

วิศวกรรมเครื่องกล

8. พฤติกรรมการหล่อลื่นแบบฮิสเทรีซิสไดนามิกในเฟืองฟันตรงด้วยสารหล่อลื่นนอนนิวโตเนียน
ชนิษฐา วงษ์สีดาแก้ว 43
9. การศึกษาสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งแผ่นลดอุณหภูมิร่วมกับอินเวอร์เตอร์
ธงไชย เดิมตา นุภาพ แยมไทรพัฒน์ 49

วิศวกรรมเคมี

10. การศึกษากระบวนการผลิตละอองลอยของคาร์บอนไดออกไซด์เย็นยิ่งยวดผ่านกระบวนการแพร่กระจาย
แบบจูล-ทอมป์สัน 55
สิวิษ เต็งสุวรรณ สุรัตน์ อาริรัตน์
11. การดูดซับลิย้อมด้วยตัวดูดซับจากธรรมชาติ 61
พรสวรรค์ ยัตวแสงรัตน์ วีระวัฒน์ คลอวุฒิมันต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL

Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Volume 27 Number 4

December 2010

Computer Engineering

1. FPGA Implementation of Fast 2D-DCT for Image Compression 1
T. Soeksai P. Sirisuk and A. Boonphungha

Electrical Power Engineering

2. A Novel Dimmable Self-Oscillating Electronic Ballast for Fluorescent Lamps 7
S. Yongpisanpap T. Sapaktorn and M. Konghirun
3. Study of Torque Control of A Single Phase Induction Motor Using Electronic Capacitor and Voltage Control Techniques to Improve Efficiency 13
N. Yamkaew and V. Kinnares

Civil Engineering

4. Study of Hygrothermal Performance of Autoclaved Aerated Concrete Mixed with Sugar Sediment and Autoclaved Aerated Concrete Walls Under Climate of Bangkok 19
B. Israngkoon Na Ayudya P. Chantawong and Y. Ungkoon

Industrial Engineering

5. A Study of the Relationship Between Improvement Initiatives and Operating Performance 25
P. Punnakittikashem U. Chantra P. Thamsathidej and T. Laasirihongthong
6. Effect of the Heaping on the Particle Movement on the Free Surface During Convection of 2-D Granular Material System Under Vertically Vibration 31
S. Klongboonjit
7. Optimal Location of Dwell Points in A Loop Layout by Minimizing the Total Number of Trips Around the Loop Under Capacity Constraints 37
C. Yuangyal and R. U. Bilsel

Mechanical Engineering

8. Performance Characteristics of Elastohydrodynamic Lubrication in Spur Gear with Non-Newtonian Lubricant 43
K. Wongseedakaew
9. A Study of Performance on Air-Conditioner Operating Supplement with Cooling Pad and Inverter 49
T. Dermda and N. Yamtraipat

Chemical Engineering

10. Study on the Joule-Thomson Expansion for the CO₂ Cryogenic Aerosol Generating Process 55
S. Tengsuwan and S. Areerat
11. Adsorption of Dyes by Natural Adsorbents 61
P. Assawasangrat and W. Clowuttimon

ผลของปรากฏการณ์การก่อกองตัวกันต่อการเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุ
บนผิวอิสระขณะเกิดปรากฏการณ์การหมุนวนของระบบวัสดุ
เม็ดกลมเชิง 2 มิติ ภายใต้การสั่นแนวตั้ง

Effect of the Heaping on the Particle Movement on the Free
Surface during Convection of 2-D Granular Material System
under Vertically Vibration

ศกนธ์ ศล่องบุญจิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

E-mail: sakonklong@hotmail.com

บทคัดย่อ

ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นการศึกษาผลของการก่อกองตัวกันต่อการเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุที่ผิวอิสระด้านบน
ขณะที่เกิดการหมุนวน ในระบบ 2 มิติ ของวัสดุเม็ดกลม ภายใต้การสั่นแนวตั้ง โดยจำลองเหตุการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้
เทคนิคการจำลองสถานการณ์แบบวัสดุเม็ดกลม ผลจากการจำลองเหตุการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์พบว่า การก่อกองตัวกันจะเกิดก่อน
การหมุนวนเสมอ และในขณะที่เกิดการหมุนวน การก่อกองตัวกันก็ยังคงอยู่ที่ผิวอิสระด้านบนและช่วยทำให้เม็ดวัสดุบนผิว
อิสระเคลื่อนที่ไหลลงไปตามด้านข้างของภาชนะบรรจุ

คำสำคัญ : ปรากฏการณ์การก่อกองตัวกัน, ปรากฏการณ์การหมุนวน, วัสดุเม็ดกลม, การสั่นแนวตั้ง, เทคนิคการจำลอง
สถานการณ์แบบวัสดุเม็ดกลม

Abstract

In this study, the effect of heaping on the movement of particles on the free surface during
convection occurring in the system of 2-D Granular material beds under vertically vibration is studied
with soft-particle computer simulation technique. The results show that heaping always happens before
convection. During convection, heaping occurs on the free surface. Then, heaping can lead the particles on
the free surface flowing down and toward to sidewalls of container.

Keywords : Heaping, Convection, Granular materials, Vertically vibration, Soft-particle computer
simulation

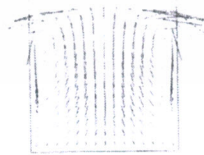
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

วัสดุเม็ดกลม หรือ Granular materials คือวัสดุที่ประกอบไปด้วยวัสดุแข็งเม็ดเล็กมากมาย และช่องว่างระหว่างวัสดุเม็ดเล็กนี้ก็จะถูกแทรกด้วยของไหล (เช่น น้ำ หรือ อากาศ) วัสดุเม็ดกลมนี้ถือว่าเป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่น่าทำการศึกษาค้นคว้าวิจัย เนื่องจากวัสดุชนิดนี้ส่วนใหญ่ที่ถูกใช้ในกระบวนการต่างๆ ในทางอุตสาหกรรมอยู่ในรูปของวัสดุเม็ดกลมเล็กๆ เช่น ทราย เม็ดพลาสติก อาหารอัดเม็ด ในกระบวนการผลิตนั้น วัสดุชนิดต่างๆ ก็อาจจะถูกนำไปผ่านกระบวนการสั้นเพื่อให้ผสมกัน หรือ เพื่อให้แยกตัวออกจากกัน สำหรับวัสดุประเภทนี้เมื่อถูกนำมาสั่นหรือเขย่าแล้วจะเกิดปรากฏการณ์ต่างๆ อย่างที่น่าสนใจและทำการศึกษารวบรวมขึ้นภายในระบบ เช่น Arching, Heaping, Segregation, Surface waves, Convection ฯลฯ อย่างไรก็ตามสิ่งที่น่าสนใจที่จะทำการศึกษาค้นคว้าในครั้งนี้คือ ผลของปรากฏการณ์การเกิดการกองตัวกัน (Heaping) คือการเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุบนผิวอิสระของระบบระหว่างการเกิดปรากฏการณ์การหมุนวน (Convection) ในระบบ ซึ่งการกองตัวกันจะหมายถึงการที่เม็ดวัสดุเกิดการซ้อนทับกันจนสูงขึ้นมาที่บริเวณตรงกลางของกองวัสดุแล้วก็จะลาดเอียงลงไปทางด้านข้างโดยทั่วไปจะเกิดขึ้นในระบบที่หยุดนิ่งแต่ในระบบที่กำลังสั่นอยู่ก็สามารถเกิดขึ้นได้เช่นกันบนผิวอิสระด้านบน [1-5] ส่วนการหมุนวนจะหมายถึงการที่เม็ดวัสดุในระบบเกิดการเคลื่อนที่ในลักษณะหมุนเป็นวงปิด 2 วงอย่างช้าๆ ในระบบที่กำลังสั่นอยู่ [6-9]



ก) การเกิดการกองตัวกันที่ผิวอิสระด้านบนของระบบ



ข) การเกิดการหมุนวนในระบบ

รูปที่ 1 ตัวอย่างการเกิดการกองตัวกันและเกิดการหมุนวนในระบบ

แม้ว่าจะมีการศึกษาถึงการเกิดปรากฏการณ์ทั้งสองนี้โดยนักวิจัยหลายท่านแล้วก็ตาม แต่ก็ยังไม่มีผู้ใดตอบได้ว่า การกองตัวกันช่วยให้เม็ดวัสดุบนพื้นผิวอิสระเกิดการเคลื่อนที่ได้อย่างไร ในขณะที่เกิดการหมุนวนในระบบ แม้แต่ในงานวิจัย [9] ก็ได้แค่เพียงสันนิษฐานไว้ว่าขณะเกิดการหมุนวน ที่ผิวอิสระด้านบนจะเกิดการกองตัวกันขึ้น ทำให้เม็ดวัสดุที่ผิวอิสระด้านบนเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นทำให้เกิดการหมุนวนได้คือ

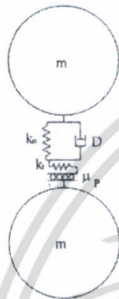
ในการศึกษานี้จะทำการศึกษาระบบ 2 มิติ ของเม็ดวัสดุจำนวนหนึ่งที่ถูกใส่ไว้ในกล่องสี่เหลี่ยมซึ่งอยู่ภายใต้การสั่นตามแนวตั้งด้วยวิธี Soft-particle computer simulation technique เป็นวิธีการศึกษาโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์วิธีหนึ่ง ซึ่งมีข้อดีคือสามารถเก็บข้อมูลที่สำคัญของเม็ดวัสดุทุกเม็ดในระบบ ได้ตลอดเวลาเพื่อทำการวิเคราะห์ผลของการเกิดการกองตัวกันว่าทำให้เม็ดวัสดุที่ผิวอิสระด้านบนเกิดการเคลื่อนที่ไปในลักษณะใดขณะเกิดการหมุนวนขึ้นในระบบ

2. แนวคิดและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

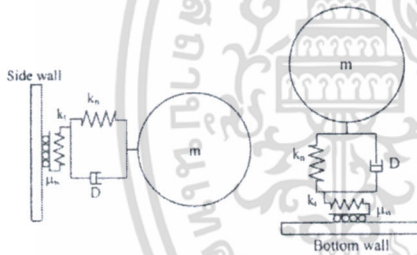
วิธี Soft-particle computer simulation [10] ถูกเลือกใช้ เนื่องจาก เป็นวิธีที่อนุญาตให้เม็ดวัสดุแต่ละเม็ดในระบบสามารถสัมผัสกับเม็ดวัสดุรอบๆ ตัวมันได้ครั้งละหลายๆเม็ดในเวลาเดียวกัน ยิ่งไปกว่านั้นยังอนุญาตให้ผิวสัมผัสเวลาในการสัมผัสกันได้นานกว่าการที่จะคิดว่าการสัมผัสกันแต่ละครั้งของเม็ดวัสดุเป็นแบบกระทบกัน (เวลาการกระทบกันสั้นมากๆ) ซึ่งจะใกล้เคียงกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริง หลักการพื้นฐานการคำนวณด้วยวิธีนี้คือใช้วิธี Discrete Element Method [11] โดยทำการจำลองว่าที่ผิวสัมผัสใดๆจะประกอบด้วย Linear spring, k_n ต่อขนานกับ Viscous dashpot, D ในแนวตั้งฉากกับผิวสัมผัส ส่วนในแนวขนานกับผิวสัมผัสประกอบด้วย Linear spring, k_t อีกตัวหนึ่งต่อกับ Frictional slider, μ_s และเม็ดวัสดุแต่ละเม็ดจะถูกบังคับไม่ให้หมุน ทำให้เม็ดวัสดุแต่ละเม็ดมีความยืดหยุ่นและไกลได้บนเม็ดวัสดุอื่นเพื่อให้เม็ดวัสดุมีความใกล้เคียงกับสภาพการณ์จริงมากที่สุด แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของผิวสัมผัสของเม็ดวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 เม็ดใดๆจะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2 ในขณะที่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระหว่างเม็ดวัสดุที่อยู่ใกล้ๆกับผนังของกล่องที่เหลี่ยมก็จะนำแบบจำลองในรูปที่ 2 ไปใช้ได้ เพียงแต่เปลี่ยนค่า ส.ป.ศ. ระหว่างเม็ดวัสดุกับเม็ดวัสดุ μ_p เป็นค่า ส.ป.ศ. ระหว่างเม็ดวัสดุกับผนัง μ_w ดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 แบบจำลองระหว่างผิวสัมผัสของเม็ดวัสดุ 2 เม็ด



รูปที่ 3 แบบจำลองระหว่างผิวสัมผัสของเม็ดวัสดุกับผนังด้านข้างและผนังด้านล่างของกล่อง

กระบวนการของวิธีนี้เริ่มจาก ณ เวลาใดๆ เริ่มแรกจะทำการคำนวณหาค่าแรงกระทำที่เกิดขึ้นบนเม็ดวัสดุแต่ละเม็ดภายในระบบ ทั้งที่เกิดในแนวตั้งฉากและแนวขนานผิวสัมผัส หลังจากนั้นค่าความเร่งของเม็ดวัสดุแต่ละเม็ดก็จะถูกคำนวณด้วยกฎพื้นฐานข้อที่สองของนิวตัน ในที่สุดค่าความเร็วและตำแหน่งของเม็ดวัสดุแต่ละเม็ดก็จะถูกคิดคำนวณออกมา ต่อจากนั้นการคำนวณค่าต่างๆของเม็ดวัสดุในกล่องที่เวลาถัดไปก็จะถูกคำนวณเข้าไปเรื่อยๆจนกว่าจะถึงเวลาสุดท้ายที่ตั้งไว้

สมการการที่ใช้ในการคำนวณ เป็นดังนี้

$$a_i = F/m_i \quad (1)$$

$$v_{i,t2} = v_{i,t1} + \int_{t1}^{t2} a_i dt \quad (2)$$

$$s_{i,t2} = s_{i,t1} + \int_{t1}^{t2} \int_{t1}^{t2} a_i dt dt \quad (3)$$

โดย

- t1 คือ เวลาเริ่มต้นที่เริ่มพิจารณา
- t2 คือ เวลาสุดท้ายที่พิจารณา
- F_i คือ แรงที่กระทำบนเม็ดวัสดุเม็ดที่ i
- m_i คือ มวลของเม็ดวัสดุเม็ดที่ i
- a_i คือ ความเร่งของเม็ดวัสดุเม็ดที่ i
- v_{i,t1} คือ ความเร็วของเม็ดวัสดุเม็ดที่ i ณ เวลา t1
- v_{i,t2} คือ ความเร็วของเม็ดวัสดุเม็ดที่ i ณ เวลา t2
- s_{i,t1} คือ ตำแหน่งของเม็ดวัสดุเม็ดที่ i ณ เวลา t1
- s_{i,t2} คือ ตำแหน่งของเม็ดวัสดุเม็ดที่ i ณ เวลา t2
- i = 1, 2, 3, ...

ระบบที่จะทำการศึกษานี้จะถูกจำลองเป็นระบบ 2 มิติของเม็ดวัสดุ N เม็ดที่มีรูปร่างเป็นวงกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย d_p เมตร และมีค่าการกระจายอยู่ระหว่าง 25% ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย กล่องที่ใช้ในการบรรจุเม็ดวัสดุจะมีขนาดความกว้าง W เมตร และมีความสูงเป็นอนันต์ กล่องจะถูกตั้งด้วยฟังก์ชันชานในแนวตั้งดังสมการ

$$y(t) = A \sin(2\pi ft) = A \sin(\omega t) \quad (4)$$

โดย

- A คือ ค่า amplitude ของการสั่น (เมตร)
- f คือ ค่าความถี่ของการสั่น (รอบต่อวินาที)
- t คือ ค่าของเวลา (วินาที)

ระบบที่ใช้ในการศึกษานี้จะถูกแสดงดังรูปที่ 4 ค่าต่างๆในระบบถูกกำหนดอยู่ในรูปตัวแปรไร้มิติ N, μ_p , μ_w , E, $k_s/(Pg d_p)$, A/d₀, f/(g/d₀)^{0.5}, และ $\Gamma = A(2\pi f)^2/g$

โดย

N คือ จำนวนของเม็ดวัสดุในกล่อง (เม็ด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

μ_p คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างเม็ด

วัสดุด้วยกัน

μ_w คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างเม็ด

วัสดุกับผนังกล่อง

E คือ ค่า Restitution coefficient

k_n คือ ค่าแรงของสปริงในทิศทางตั้งฉากกับผิว

สัมผัส(นิวตัน/เมตร)

ρ คือ ค่าความหนาแน่นของเม็ดวัสดุ

(กิโลกรัม/ตารางเมตร)

g คือ ค่าแรงโน้มถ่วง = 9.81 เมตร/วินาที²

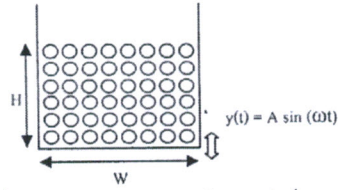
d_p คือ ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ด

วัสดุในระบบ (เมตร)

A คือ ค่าแอมพลิจูดของการสั่น (เมตร)

f คือ ค่าความถี่ของการสั่น (รอบ/วินาที)

Γ คือ อัตราส่วนของค่าความแรงของการสั่นของระบบต่อค่าแรงโน้มถ่วง



รูปที่ 4 แสดงแบบจำลองของเม็ดวัสดุเม็ดที่ถูกบรรจุในกล่องที่กำลังสั่นอยู่ในแนวตั้ง

3. ผลการคำนวณ

ด้วยวิธีการจำลองเหตุการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ โดยทำการตั้งค่าตัวแปรต่างๆของระบบดังนี้

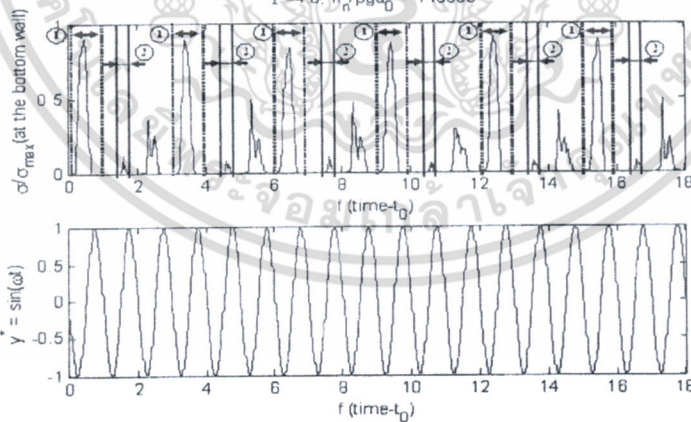
$$N = 5000, E = 0.8, \Gamma = 4.0, \mu_w/\mu_p = 4.5,$$

$$k_n/(\rho g d_p) = 140000, A/d_p = 0.35, f/(g/d_p)^{0.5} = 0.542$$

และมีสัญญาณการสั่นประมาณ 12,000 รอบ

ผลการศึกษา เริ่มจากการที่กล่องเริ่มเคลื่อนที่ขึ้น ทำให้ก้นกล่องเริ่มตีสวนด้านล่างของเม็ดวัสดุ ซึ่งจะทำให้เกิดการส่งถ่ายพลังงานเข้าสู่เม็ดวัสดุจากด้านล่าง ถ้าทำการเขียนกราฟความเค้นกด σ/σ_{max} เทียบกับการสั่นของกล่องที่เวลาประมาณ $f(t-t_0) = 0$ ถึง 18 จะได้กราฟดังในรูปที่ 5 ($t_0 = 16.023$ s)

$$\Gamma = 4.0, k_n/\rho g d_p = 140000$$



รูปที่ 5 ความเค้นกดที่เกิดขึ้นที่ส่วนล่างของเม็ดวัสดุเทียบกับการสั่นของกล่อง 3 คาบการสั่น

$$(y = y/A \text{ และ } t_0 = 16.023 \text{ s})$$

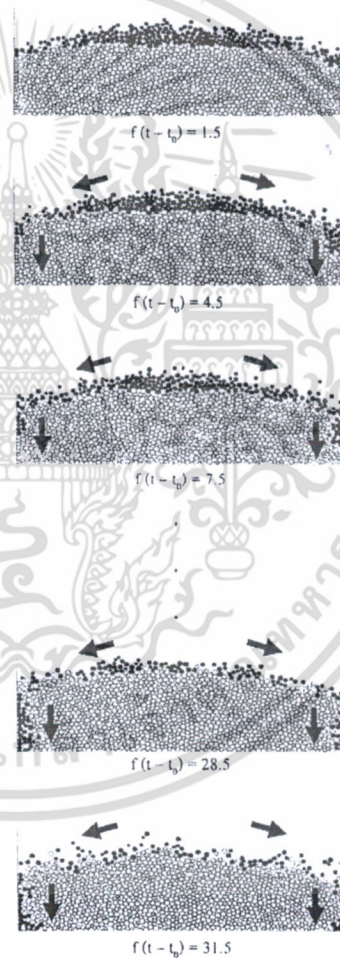
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5 พบว่าในระบบที่ช่วงเวลา ① ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เกิดค่าความเค้นกดที่ส่วนล่างของเม็ดวัสดุสูงที่สุด ช่วงนี้ที่ผิวอิสระด้านบนจะเกิดการยกตัวกันขึ้น แล้วการยกตัวที่เกิดขึ้นจะคงอยู่ที่ด้านบนผิวอิสระ ไปอีกชั่วระยะเวลาหนึ่งก็จะเกิดการหมุนวนขึ้นในระบบที่ช่วงเวลา ② (ซึ่งในขณะที่ที่ผิวอิสระด้านบนก็ยังคงเกิดการยกตัวกันอยู่) หลังจากที่มีการหมุนวนในระบบหมดไปก็เกิดการยกตัวกันก็จะหมดไปด้วย แล้วการเกิดการยกตัวกันและการหมุนวนรอบใหม่ก็จะเริ่มเกิดขึ้นอีกครั้งเมื่อเกิดค่าความเค้นกดสูงสุดครั้งต่อไป ซึ่งถ้าสังเกตให้ดีจากกราฟจะพบว่ารอบการเกิดแต่ละครั้งจะห่างกันประมาณ 3 คาบเวลาการสั่น (รายละเอียดของกลไกการเกิดการยกตัวกันจากเอกสารอ้างอิง [5] และรายละเอียดของการเกิดการหมุนวนจากเอกสารอ้างอิง [9])

ผลการศึกษายังแสดงให้เห็นว่าการเกิดการหมุนวนเป็นปรากฏการณ์ที่ซ้ำมาครั้งที่นักวิจัยท่านอื่นพบด้วย (เอกสารอ้างอิง [6] - [9]) นั่นคือการเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุจะช้ามาก ยิ่งไปกว่านั้นในช่วงเวลาที่ระบบปลอดจากการเกิดการยกตัวกันและการหมุนวนแทบที่จะไม่มีการเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุในระบบเลย (ช่วงเวลาหลังจากช่วงเวลา ② และก่อนช่วงเวลา ① ในกราฟที่แสดงดังรูปที่ 5) นั่นคือ การเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุที่ผิวอิสระด้านบนจะเกิดขึ้นได้เมื่อเกิดทั้งการยกตัวกันและการหมุนวนในระบบพร้อมกันในช่วงเวลาที่ ② เท่านั้น และการเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุที่ผิวอิสระด้านบนจะไหลลงจากยอดของการยกตัวไปทางด้านข้างของภาชนะบรรจุ ซึ่งจะเป็นการช่วยให้เกิดการหมุนวนได้ง่ายดังที่ผู้วิจัยในเอกสารอ้างอิง [9] ได้ตั้งข้อสันนิษฐานไว้จริงๆ

รูปที่ 6 เป็นการติดตามการเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุที่ผิวอิสระด้านบนในช่วงเวลาที่ ② (ดังในรูปที่ 5) หลายๆรอบการเกิดการยกตัวกันและการหมุนวนในระบบ พบว่าการยกตัวกันช่วยให้เม็ดวัสดุที่ผิวอิสระด้านบนเกิดการเคลื่อนที่ไหลลงสู่ด้านล่างภาชนะบรรจุ แล้วจึงลงสู่ด้านล่างของระบบ (ทิศทางตามลูกศรชี้) ซึ่งเป็นผลทำให้เม็ดวัสดุเกิดการหมุนวนได้ง่ายขึ้น ดังที่ทราบกันดีแล้วว่า การหมุนวนจะเกิดขึ้นเมื่อเม็ดวัสดุด้านล่าง

ของระบบบริเวณตรงกลางเคลื่อนที่จากด้านล่างขึ้นสู่ผิวอิสระด้านบน แล้วจึงเคลื่อนที่ไปทางด้านข้าง ต่อจากนั้นจึงเคลื่อนที่ลงสู่ด้านล่างของระบบ แล้วในที่สุดจึงเคลื่อนที่เข้าสู่ตรงกลางของระบบอีกครั้งเป็นการครบรอบการหมุนวน 1 รอบ นั่นหมายความว่า การยกตัวกันเป็นกลไกหนึ่งที่จะช่วยขับเคลื่อนให้เม็ดวัสดุที่ผิวอิสระด้านบนเกิดการเคลื่อนที่ไหลลงสู่ด้านล่างภาชนะบรรจุ ทำให้ง่ายต่อการเกิดการหมุนวนนั่นเอง



รูปที่ 6 แสดงการเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุบนผิวอิสระด้านบน ณ เวลาต่างๆ ($t_0 = 16.023$ s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สรุป

ด้วยวิธี Soft-particle computer simulation สามารถนำมาใช้ศึกษาเรื่องผลของการก่อกองตัวกันที่มีต่อการเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุบนผิวอิสระด้านบนในขณะที่เกิดการหมุนวนในระบบของวัสดุเม็ดกลมที่กำลังอยู่ภายใต้การสั่นสะเทือนในแนวตั้ง ซึ่งการศึกษาด้วยวิธีทำการทดลองจะทำได้ยาก จากการศึกษาในครั้งนี้ทำให้ทราบว่ากรก่อกองตัวกันจะเกิดขึ้นก่อนการหมุนวนเสมอ โดยที่การก่อกองตัวกันจะเกิดขึ้นช่วงที่ระบบเม็ดวัสดุกำลังได้รับการถ่ายเทพลังงานจากส่วนล่างของระบบ (ขณะค่าความเค้นกดสูง) หลังจากนั้นที่ผิวอิสระด้านบนก็จะเกิดการก่อกองตัวกันขึ้นจนถึงขณะที่เกิดการหมุนวน หลังจากนั้นการก่อกองตัวและการหมุนวนก็จะหายไป เป็นการหมด 1 รอบของการเกิดการก่อกองตัวกันและการหมุนวน ต่อจากนั้นรอบการเกิดถัดไปก็จะเกิดขึ้นที่ประมาณ 3 คาบเวลาการสั่นของภาชนะบรรจุแล้วเกิดต่อเนื่องกันไปเรื่อยๆ ที่สำคัญคือกรก่อกองตัวกันช่วยให้เม็ดวัสดุที่ผิวอิสระด้านบนเกิดการเคลื่อนที่ไหลลงจากยอดของการก่อกองตัวกันโดยไหลไปทางด้านข้างของภาชนะบรรจุเป็นการช่วยให้การหมุนวนเกิดง่ายขึ้นด้วย ดังที่ผู้วิจัยในเอกสารอ้างอิง [9] ตั้งข้อสันนิษฐานไว้จริง

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Evesque and J. Rajchenbach, "Instability in a sand heap," *Phys. Rev. Letters*, Vol. 62, pp. 44-46, 1989.
- [2] E. Clement, J. Duran, and J. Rajchenbach, "Experimental study of heaping in a two-dimensional sand pile," *Phys. Rev. Letters*, Vol. 69, pp. 1189-1192, 1992.
- [3] C.R. Wassgren, C.E. Brennen and M.L. Hunt, "Vertical vibration of a deep bed of granular material in a container," *Transactions of the ASME*, Vol. 63, pp. 712-719, 1996.
- [4] Jysoo Lee, "Heap formation in two-dimensional granular media," *J. Phys. A: Math Gen.*, Vol. 27, pp. L257-262, 1998.
- [5] สกนธ์ คล่องบุญจิต "ปรากฏการณ์การก่อกองตัวกันของวัสดุเม็ดกลมเชิง 2 มิติภายใต้การสั่นแนวตั้ง," *วิศวกรรมลาดกระบัง*, ปีที่ 25, ฉบับที่ 2, หน้า 47-52, มิถุนายน 2551.
- [6] J.A.C. Gallas, H.J. Herrmann, and S. Sokolowski, "Convection cells in vibrating granular media," *Phys. Rev. Letters*, Vol. 69, pp. 1371 – 1374, 1992.
- [7] Y-h. Taguchi, "New origin of a convection motion: Elastically induced convection in granular materials," *Phys. Rev. Letters*, Vol. 69, pp. 1367 – 1372, 1992.
- [8] S. Luding, E. Clement, J. Rajchenbach, and A. Duran, "Onset of convection in molecular dynamics simulations of grain," *Phys. Rev. E*, Vol. 50, pp. 1762 – 1765, 1994.
- [9] S. Klongboonjit, "The effects of particle elasticity on the convection in deep vertically shaken particle beds," Ph.D. Thesis, University of Southern California, 2005.
- [10] C.S. Campbell, "Shear flows of granular materials," Ph.D. Thesis, California Institute of Technology, 1982.
- [11] P.A. Cundall and O.D.L. Strack, "A discrete numerical model for granular assemblies," *Geotechnique*, 1979.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข
ตัวอย่างของข้อมูลที่ได้รับก่อนและหลังการจัดรูปแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างของข้อมูลที่ได้รับก่อนและหลังการจัดรูปแบบ

ในภาคผนวกนี้ จะเป็นการแสดงให้เห็นถึงตัวอย่างของข้อมูลที่ได้รับจากโปรแกรมการคำนวณซึ่งพัฒนาขึ้นจากโปรแกรมภาษา Fortran ซึ่งข้อมูลที่ได้รับ ณ เวลาต่างๆจะประกอบด้วย ข้อมูลตำแหน่งของเม็ดวัสดุแต่ละเม็ด และขนาดของเม็ดวัสดุแต่ละเม็ด โดยไฟล์ข้อมูลที่ได้ออกมาจะประกอบด้วย 1) ข้อมูลตำแหน่งในแนวแกน x ของเม็ดวัสดุแต่ละเม็ด 2) ข้อมูลตำแหน่งในแนวแกน y ของเม็ดวัสดุแต่ละเม็ด และ 3) ข้อมูลขนาดรัศมีของเม็ดวัสดุแต่ละเม็ด สำหรับในกรณีนี้การเกิดปรากฏการณ์การหมุนวนก็จะมีไฟล์ข้อมูลทั้งสิ้น 3,000 ไฟล์ อย่างไรก็ตามด้วยรูปแบบของข้อมูลที่ได้รับออกมานั้นอยู่ในรูปแบบที่ไม่เหมาะสมต่อการนำไปสร้างเป็นรูปภาพด้วยโปรแกรมสร้างรูปภาพซึ่งพัฒนาขึ้นจากโปรแกรม Matlab จึงต้องมีการจัดรูปแบบใหม่ให้เหมาะสมเสียก่อน ซึ่งแน่นอนว่าต้องทำให้เกิดการเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการจัดรูปแบบข้อมูลใหม่เป็นอย่างมากเนื่องจากมีไฟล์ที่ต้องได้รับการจัดรูปแบบใหม่อยู่อย่างมากมายถึง 3,000 ไฟล์ ดังตัวอย่างที่จะแสดงให้เห็นดังต่อไปนี้ซึ่งเป็นตัวอย่างของไฟล์ข้อมูลก่อนการจัดรูปแบบให้เหมาะสม ณ เวลาที่ 8.1042 วินาที สำหรับข้อมูลตำแหน่ง x ก่อนการจัดรูปแบบเท่านั้น

ตัวอย่างข้อมูล ตำแหน่ง x ก่อนการจัดรูปแบบ

0.0004	0.0021	0.0030	0.0045	0.0061	0.0070	0.0078	0.0086	0.0094	0.0112	0.0121	0.0135
0.0143	0.0159	0.0175	0.0184	0.0193	0.0202	0.0220	0.0228	0.0245	0.0263	0.0271	0.0280
0.0294	0.0302	0.0319	0.0327	0.0344	0.0352	0.0361	0.0386	0.0399	0.0406	0.0414	0.0422
0.0438	0.0450	0.0457	0.0465	0.0472	0.0486	0.0508	0.0516	0.0533	0.0541	0.0558	0.0567
0.0576	0.0592	0.0003	0.0013	0.0025	0.0038	0.0052	0.0067	0.0077	0.0086	0.0094	0.0103
0.0126	0.0129	0.0148	0.0151	0.0167	0.0179	0.0191	0.0198	0.0212	0.0221	0.0237	0.0254
0.0266	0.0274	0.0288	0.0302	0.0311	0.0324	0.0335	0.0346	0.0355	0.0369	0.0392	0.0399
0.0407	0.0414	0.0431	0.0444	0.0451	0.0464	0.0473	0.0479	0.0493	0.0501	0.0525	0.0539
0.0548	0.0553	0.0570	0.0585	0.0010	0.0018	0.0033	0.0043	0.0052	0.0071	0.0082	0.0100
0.0107	0.0116	0.0134	0.0133	0.0155	0.0163	0.0171	0.0186	0.0196	0.0207	0.0215	0.0227
0.0250	0.0258	0.0271	0.0281	0.0295	0.0308	0.0317	0.0331	0.0338	0.0358	0.0364	0.0378
0.0392	0.0408	0.0408	0.0422	0.0429	0.0444	0.0456	0.0461	0.0481	0.0490	0.0498	0.0514
0.0530	0.0545	0.0554	0.0561	0.0582	0.0590	0.0005	0.0014	0.0025	0.0039	0.0047	0.0059
0.0076	0.0090	0.0099	0.0110	0.0130	0.0140	0.0149	0.0161	0.0169	0.0177	0.0190	0.0205
0.0212	0.0220	0.0235	0.0248	0.0263	0.0278	0.0288	0.0290	0.0309	0.0325	0.0333	0.0351
0.0365	0.0372	0.0385	0.0394	0.0404	0.0416	0.0432	0.0442	0.0450	0.0453	0.0469	0.0483
0.0498	0.0505	0.0522	0.0528	0.0537	0.0561	0.0576	0.0591	0.0014	0.0022	0.0031	0.0045

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.0055	0.0063	0.0083	0.0097	0.0115	0.0121	0.0136	0.0140	0.0155	0.0165	0.0173	0.0182
0.0195	0.0208	0.0217	0.0231	0.0242	0.0255	0.0271	0.0278	0.0284	0.0296	0.0316	0.0330
0.0344	0.0352	0.0358	0.0373	0.0379	0.0401	0.0418	0.0424	0.0431	0.0436	0.0447	0.0462
0.0477	0.0491	0.0500	0.0519	0.0522	0.0536	0.0545	0.0570	0.0569	0.0583	0.0006	0.0020
0.0028	0.0038	0.0052	0.0059	0.0081	0.0090	0.0104	0.0121	0.0129	0.0140	0.0146	0.0156
0.0169	0.0177	0.0190	0.0201	0.0214	0.0225	0.0239	0.0249	0.0263	0.0279	0.0286	0.0294
0.0310	0.0323	0.0337	0.0351	0.0357	0.0365	0.0381	0.0386	0.0404	0.0421	0.0426	0.0438
0.0445	0.0459	0.0471	0.0484	0.0494	0.0508	0.0523	0.0529	0.0536	0.0557	0.0577	0.0591
0.0003	0.0019	0.0034	0.0047	0.0055	0.0068	0.0072	0.0100	0.0109	0.0125	0.0133	0.0138
0.0153	0.0162	0.0170	0.0185	0.0194	0.0201	0.0221	0.0233	0.0242	0.0255	0.0272	0.0286
0.0294	0.0302	0.0315	0.0332	0.0343	0.0348	0.0369	0.0381	0.0388	0.0395	0.0411	0.0429
0.0435	0.0444	0.0452	0.0467	0.0479	0.0486	0.0508	0.0515	0.0529	0.0535	0.0551	0.0565
0.0584	0.0585	0.0005	0.0011	0.0026	0.0050	0.0059	0.0062	0.0088	0.0090	0.0108	0.0114
0.0122	0.0130	0.0146	0.0162	0.0171	0.0179	0.0187	0.0202	0.0208	0.0229	0.0236	0.0257
0.0265	0.0280	0.0288	0.0301	0.0308	0.0314	0.0340	0.0341	0.0356	0.0372	0.0383	0.0390
0.0398	0.0416	0.0428	0.0436	0.0453	0.0463	0.0476	0.0500	0.0502	0.0516	0.0525	0.0543
0.0543	0.0558	0.0580	0.0592	0.0003	0.0010	0.0013	0.0042	0.0045	0.0066	0.0068	0.0075
0.0095	0.0103	0.0116	0.0136	0.0144	0.0155	0.0161	0.0186	0.0193	0.0196	0.0216	0.0224
0.0242	0.0251	0.0265	0.0285	0.0294	0.0301	0.0307	0.0323	0.0333	0.0349	0.0363	0.0375
0.0391	0.0397	0.0409	0.0422	0.0441	0.0444	0.0466	0.0471	0.0485	0.0493	0.0510	0.0518
0.0537	0.0543	0.0550	0.0571	0.0573	0.0585	0.0007	0.0018	0.0025	0.0031	0.0051	0.0073
0.0078	0.0082	0.0098	0.0106	0.0128	0.0132	0.0140	0.0154	0.0169	0.0180	0.0200	0.0210
0.0215	0.0221	0.0232	0.0249	0.0257	0.0272	0.0292	0.0300	0.0308	0.0316	0.0325	0.0336
0.0377	0.0371	0.0384	0.0399	0.0410	0.0416	0.0434	0.0439	0.0458	0.0474	0.0480	0.0489
0.0496	0.0518	0.0524	0.0530	0.0550	0.0565	0.0578	0.0579	0.0003	0.0015	0.0023	0.0030
0.0040	0.0058	0.0082	0.0087	0.0094	0.0109	0.0113	0.0121	0.0127	0.0147	0.0154	0.0178
0.0193	0.0200	0.0208	0.0214	0.0245	0.0241	0.0264	0.0272	0.0286	0.0294	0.0314	0.0322
0.0336	0.0343	0.0364	0.0376	0.0382	0.0391	0.0417	0.0425	0.0431	0.0450	0.0462	0.0460
0.0487	0.0487	0.0511	0.0512	0.0518	0.0532	0.0550	0.0571	0.0571	0.0591	0.0010	0.0019
0.0029	0.0038	0.0048	0.0064	0.0076	0.0089	0.0096	0.0107	0.0113	0.0130	0.0146	0.0163
0.0179	0.0186	0.0197	0.0207	0.0205	0.0237	0.0234	0.0250	0.0277	0.0278	0.0292	0.0308
0.0316	0.0330	0.0350	0.0356	0.0363	0.0372	0.0397	0.0404	0.0419	0.0425	0.0446	0.0454
0.0467	0.0480	0.0495	0.0503	0.0511	0.0517	0.0525	0.0542	0.0558	0.0578	0.0585	0.0591
0.0011	0.0019	0.0038	0.0035	0.0048	0.0055	0.0071	0.0083	0.0100	0.0105	0.0120	0.0137

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.0137	0.0158	0.0170	0.0185	0.0192	0.0214	0.0214	0.0231	0.0237	0.0246	0.0256	0.0283
0.0300	0.0322	0.0329	0.0329	0.0343	0.0352	0.0357	0.0377	0.0384	0.0400	0.0408	0.0425
0.0434	0.0452	0.0474	0.0481	0.0487	0.0503	0.0509	0.0524	0.0540	0.0546	0.0555	0.0566
0.0584	0.0591	0.0003	0.0010	0.0025	0.0042	0.0053	0.0062	0.0070	0.0076	0.0089	0.0097
0.0112	0.0124	0.0143	0.0151	0.0164	0.0175	0.0193	0.0199	0.0222	0.0222	0.0227	0.0235
0.0251	0.0267	0.0285	0.0299	0.0327	0.0336	0.0341	0.0344	0.0362	0.0370	0.0378	0.0390
0.0404	0.0417	0.0431	0.0443	0.0457	0.0478	0.0485	0.0496	0.0502	0.0515	0.0532	0.0539
0.0547	0.0563	0.0567	0.0578	0.0004	0.0016	0.0032	0.0051	0.0058	0.0066	0.0070	0.0082
0.0089	0.0107	0.0117	0.0130	0.0150	0.0158	0.0168	0.0185	0.0206	0.0208	0.0229	0.0229
0.0230	0.0243	0.0260	0.0289	0.0294	0.0314	0.0328	0.0334	0.0358	0.0365	0.0372	0.0379
0.0385	0.0394	0.0412	0.0435	0.0439	0.0449	0.0471	0.0471	0.0492	0.0497	0.0509	0.0522
0.0530	0.0553	0.0560	0.0561	0.0571	0.0591	0.0003	0.0009	0.0024	0.0045	0.0045	0.0058
0.0075	0.0081	0.0086	0.0097	0.0114	0.0122	0.0143	0.0154	0.0161	0.0177	0.0201	0.0215
0.0222	0.0234	0.0238	0.0246	0.0254	0.0275	0.0295	0.0306	0.0318	0.0334	0.0350	0.0357
0.0373	0.0379	0.0385	0.0392	0.0400	0.0409	0.0444	0.0443	0.0464	0.0478	0.0488	0.0494
0.0504	0.0515	0.0528	0.0547	0.0554	0.0560	0.0575	0.0583	0.0012	0.0026	0.0028	0.0038
0.0051	0.0065	0.0073	0.0086	0.0092	0.0105	0.0120	0.0137	0.0145	0.0158	0.0169	0.0193
0.0207	0.0216	0.0229	0.0239	0.0241	0.0243	0.0268	0.0277	0.0302	0.0311	0.0319	0.0343
0.0350	0.0364	0.0372	0.0377	0.0391	0.0395	0.0414	0.0423	0.0451	0.0458	0.0467	0.0474
0.0488	0.0503	0.0509	0.0523	0.0536	0.0539	0.0545	0.0567	0.0568	0.0583	0.0004	0.0020
0.0033	0.0042	0.0047	0.0056	0.0071	0.0080	0.0099	0.0106	0.0112	0.0129	0.0137	0.0150
0.0165	0.0176	0.0200	0.0207	0.0221	0.0225	0.0249	0.0250	0.0263	0.0271	0.0282	0.0303
0.0312	0.0326	0.0341	0.0358	0.0366	0.0373	0.0385	0.0393	0.0405	0.0427	0.0431	0.0459
0.0467	0.0475	0.0481	0.0494	0.0511	0.0516	0.0531	0.0534	0.0554	0.0553	0.0575	0.0590
0.0006	0.0015	0.0033	0.0040	0.0048	0.0065	0.0078	0.0085	0.0093	0.0114	0.0122	0.0131
0.0143	0.0150	0.0172	0.0183	0.0191	0.0199	0.0221	0.0225	0.0230	0.0233	0.0267	0.0275
0.0288	0.0306	0.0319	0.0324	0.0333	0.0351	0.0360	0.0380	0.0387	0.0399	0.0419	0.0422
0.0438	0.0452	0.0460	0.0478	0.0485	0.0504	0.0511	0.0518	0.0532	0.0541	0.0547	0.0559
0.0573	0.0582	0.0003	0.0027	0.0035	0.0041	0.0057	0.0065	0.0072	0.0080	0.0100	0.0109
0.0115	0.0136	0.0150	0.0158	0.0167	0.0181	0.0189	0.0204	0.0215	0.0231	0.0241	0.0248
0.0259	0.0273	0.0280	0.0314	0.0320	0.0328	0.0336	0.0353	0.0360	0.0374	0.0390	0.0395
0.0408	0.0415	0.0425	0.0451	0.0469	0.0476	0.0491	0.0499	0.0508	0.0516	0.0527	0.0537
0.0562	0.0566	0.0578	0.0592	0.0011	0.0023	0.0032	0.0049	0.0054	0.0067	0.0076	0.0090
0.0097	0.0113	0.0129	0.0144	0.0152	0.0159	0.0175	0.0183	0.0196	0.0203	0.0217	0.0236

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.0250	0.0255	0.0264	0.0290	0.0297	0.0313	0.0320	0.0335	0.0344	0.0352	0.0367	0.0381
0.0398	0.0402	0.0410	0.0417	0.0445	0.0460	0.0472	0.0483	0.0495	0.0502	0.0515	0.0525
0.0530	0.0545	0.0570	0.0576	0.0590	0.0590	0.0004	0.0011	0.0028	0.0037	0.0047	0.0060
0.0071	0.0083	0.0089	0.0106	0.0121	0.0136	0.0142	0.0155	0.0170	0.0188	0.0185	0.0194
0.0210	0.0220	0.0227	0.0257	0.0264	0.0270	0.0299	0.0307	0.0314	0.0328	0.0335	0.0343
0.0369	0.0376	0.0385	0.0403	0.0412	0.0419	0.0434	0.0442	0.0454	0.0477	0.0481	0.0496
0.0510	0.0522	0.0524	0.0555	0.0549	0.0569	0.0585	0.0591	0.0004	0.0016	0.0024	0.0033
0.0050	0.0063	0.0066	0.0081	0.0103	0.0111	0.0128	0.0129	0.0149	0.0162	0.0170	0.0179
0.0177	0.0190	0.0211	0.0208	0.0244	0.0259	0.0277	0.0284	0.0283	0.0306	0.0319	0.0327
0.0342	0.0357	0.0364	0.0380	0.0390	0.0402	0.0410	0.0423	0.0428	0.0446	0.0468	0.0470
0.0483	0.0489	0.0506	0.0516	0.0538	0.0545	0.0562	0.0568	0.0576	0.0582	0.0003	0.0019
0.0034	0.0041	0.0042	0.0056	0.0073	0.0089	0.0097	0.0119	0.0118	0.0121	0.0134	0.0155
0.0164	0.0174	0.0182	0.0205	0.0199	0.0233	0.0253	0.0268	0.0276	0.0292	0.0297	0.0306
0.0312	0.0335	0.0349	0.0359	0.0371	0.0389	0.0393	0.0416	0.0425	0.0431	0.0437	0.0448
0.0461	0.0464	0.0489	0.0499	0.0507	0.0527	0.0533	0.0553	0.0559	0.0576	0.0577	0.0584
0.0004	0.0011	0.0012	0.0037	0.0048	0.0057	0.0061	0.0096	0.0104	0.0115	0.0125	0.0131
0.0136	0.0145	0.0165	0.0171	0.0178	0.0189	0.0214	0.0221	0.0240	0.0269	0.0275	0.0288
0.0284	0.0299	0.0314	0.0321	0.0347	0.0353	0.0364	0.0373	0.0382	0.0409	0.0417	0.0432
0.0439	0.0448	0.0455	0.0469	0.0477	0.0491	0.0513	0.0520	0.0535	0.0541	0.0550	0.0567
0.0583	0.0591	0.0018	0.0018	0.0032	0.0043	0.0041	0.0054	0.0081	0.0089	0.0103	0.0114
0.0124	0.0139	0.0144	0.0150	0.0157	0.0175	0.0183	0.0198	0.0211	0.0225	0.0241	0.0261
0.0277	0.0283	0.0292	0.0291	0.0319	0.0335	0.0341	0.0351	0.0366	0.0382	0.0397	0.0395
0.0414	0.0425	0.0433	0.0446	0.0455	0.0463	0.0485	0.0489	0.0495	0.0524	0.0530	0.0548
0.0556	0.0563	0.0580	0.0584	0.0020	0.0025	0.0025	0.0037	0.0049	0.0059	0.0068	0.0096
0.0091	0.0099	0.0120	0.0135	0.0150	0.0157	0.0169	0.0176	0.0182	0.0189	0.0216	0.0218
0.0233	0.0248	0.0281	0.0273	0.0286	0.0299	0.0307	0.0313	0.0338	0.0343	0.0360	0.0375
0.0390	0.0398	0.0409	0.0421	0.0440	0.0438	0.0453	0.0461	0.0477	0.0480	0.0503	0.0510
0.0517	0.0538	0.0546	0.0556	0.0571	0.0590	0.0012	0.0025	0.0030	0.0032	0.0051	0.0067
0.0075	0.0083	0.0097	0.0110	0.0125	0.0128	0.0143	0.0156	0.0163	0.0175	0.0183	0.0205
0.0212	0.0221	0.0248	0.0256	0.0256	0.0278	0.0292	0.0300	0.0314	0.0327	0.0345	0.0353
0.0368	0.0386	0.0394	0.0402	0.0407	0.0428	0.0434	0.0444	0.0458	0.0469	0.0472	0.0492
0.0498	0.0507	0.0516	0.0523	0.0541	0.0565	0.0574	0.0584	0.0011	0.0018	0.0034	0.0040
0.0044	0.0066	0.0072	0.0080	0.0088	0.0107	0.0112	0.0134	0.0140	0.0151	0.0162	0.0169
0.0182	0.0196	0.0204	0.0212	0.0226	0.0255	0.0264	0.0277	0.0285	0.0299	0.0307	0.0322

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.0330	0.0348	0.0361	0.0378	0.0396	0.0402	0.0400	0.0422	0.0427	0.0440	0.0452	0.0464
0.0463	0.0476	0.0493	0.0500	0.0515	0.0532	0.0537	0.0549	0.0582	0.0591	0.0004	0.0025
0.0040	0.0052	0.0057	0.0058	0.0073	0.0081	0.0087	0.0102	0.0110	0.0118	0.0140	0.0149
0.0165	0.0169	0.0191	0.0196	0.0207	0.0222	0.0230	0.0240	0.0262	0.0269	0.0285	0.0291
0.0306	0.0310	0.0334	0.0342	0.0355	0.0371	0.0388	0.0395	0.0403	0.0414	0.0419	0.0433
0.0451	0.0459	0.0454	0.0467	0.0485	0.0500	0.0524	0.0523	0.0544	0.0550	0.0567	0.0590
0.0004	0.0012	0.0046	0.0042	0.0048	0.0065	0.0072	0.0080	0.0079	0.0104	0.0110	0.0132
0.0145	0.0146	0.0171	0.0175	0.0190	0.0198	0.0231	0.0236	0.0243	0.0247	0.0266	0.0279
0.0294	0.0303	0.0318	0.0325	0.0339	0.0351	0.0372	0.0379	0.0386	0.0403	0.0407	0.0410
0.0426	0.0447	0.0453	0.0456	0.0471	0.0479	0.0486	0.0508	0.0530	0.0530	0.0554	0.0557
0.0575	0.0591	0.0004	0.0019	0.0027	0.0048	0.0056	0.0064	0.0073	0.0089	0.0094	0.0109
0.0125	0.0131	0.0152	0.0154	0.0178	0.0188	0.0198	0.0220	0.0215	0.0237	0.0251	0.0259
0.0265	0.0272	0.0287	0.0319	0.0328	0.0336	0.0344	0.0359	0.0365	0.0379	0.0397	0.0402
0.0403	0.0419	0.0433	0.0440	0.0448	0.0462	0.0474	0.0482	0.0491	0.0507	0.0515	0.0538
0.0547	0.0568	0.0575	0.0591	0.0005	0.0011	0.0039	0.0045	0.0052	0.0060	0.0067	0.0074
0.0098	0.0103	0.0118	0.0145	0.0138	0.0158	0.0172	0.0190	0.0195	0.0205	0.0227	0.0234
0.0243	0.0251	0.0257	0.0270	0.0292	0.0310	0.0321	0.0330	0.0348	0.0357	0.0366	0.0373
0.0389	0.0396	0.0410	0.0411	0.0426	0.0440	0.0448	0.0456	0.0469	0.0475	0.0488	0.0497
0.0513	0.0522	0.0543	0.0561	0.0579	0.0583	0.0014	0.0023	0.0031	0.0041	0.0054	0.0063
0.0068	0.0087	0.0103	0.0119	0.0124	0.0143	0.0153	0.0162	0.0178	0.0183	0.0203	0.0213
0.0220	0.0237	0.0249	0.0256	0.0270	0.0277	0.0301	0.0314	0.0321	0.0344	0.0352	0.0359
0.0366	0.0380	0.0389	0.0397	0.0410	0.0419	0.0433	0.0442	0.0450	0.0458	0.0475	0.0483
0.0482	0.0504	0.0521	0.0530	0.0560	0.0576	0.0575	0.0585	0.0003	0.0017	0.0025	0.0034
0.0045	0.0049	0.0080	0.0088	0.0095	0.0095	0.0129	0.0137	0.0158	0.0160	0.0165	0.0184
0.0192	0.0212	0.0215	0.0228	0.0242	0.0258	0.0263	0.0266	0.0299	0.0307	0.0312	0.0316
0.0337	0.0362	0.0368	0.0382	0.0382	0.0389	0.0396	0.0418	0.0425	0.0434	0.0451	0.0458
0.0465	0.0491	0.0490	0.0497	0.0505	0.0527	0.0552	0.0568	0.0583	0.0583	0.0591	0.0010
0.0013	0.0020	0.0053	0.0057	0.0071	0.0074	0.0078	0.0100	0.0110	0.0123	0.0151	0.0157
0.0168	0.0177	0.0185	0.0199	0.0209	0.0217	0.0233	0.0250	0.0255	0.0262	0.0285	0.0294
0.0287	0.0308	0.0330	0.0338	0.0354	0.0374	0.0373	0.0381	0.0388	0.0405	0.0425	0.0426
0.0442	0.0452	0.0467	0.0475	0.0499	0.0504	0.0499	0.0514	0.0536	0.0560	0.0568	0.0591
0.0591	0.0005	0.0017	0.0028	0.0050	0.0053	0.0058	0.0085	0.0066	0.0093	0.0116	0.0131
0.0136	0.0159	0.0165	0.0174	0.0191	0.0186	0.0206	0.0212	0.0224	0.0240	0.0247	0.0274
0.0289	0.0279	0.0304	0.0302	0.0323	0.0329	0.0347	0.0361	0.0375	0.0375	0.0381	0.0410

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.0418	0.0412	0.0434	0.0445	0.0466	0.0470	0.0477	0.0497	0.0505	0.0512	0.0520	0.0553
0.0559	0.0567	0.0574	0.0004	0.0025	0.0033	0.0037	0.0058	0.0063	0.0070	0.0088	0.0107
0.0111	0.0120	0.0143	0.0151	0.0166	0.0173	0.0182	0.0199	0.0205	0.0220	0.0223	0.0232
0.0254	0.0262	0.0282	0.0291	0.0300	0.0309	0.0323	0.0335	0.0345	0.0353	0.0367	0.0377
0.0385	0.0393	0.0420	0.0430	0.0439	0.0462	0.0462	0.0468	0.0483	0.0510	0.0512	0.0519
0.0533	0.0546	0.0562	0.0579	0.0591	0.0011	0.0016	0.0032	0.0049	0.0059	0.0065	0.0081
0.0087	0.0101	0.0118	0.0135	0.0134	0.0150	0.0154	0.0170	0.0180	0.0199	0.0208	0.0209
0.0226	0.0234	0.0244	0.0269	0.0270	0.0276	0.0295	0.0308	0.0314	0.0339	0.0342	0.0346
0.0367	0.0369	0.0380	0.0396	0.0403	0.0422	0.0436	0.0443	0.0454	0.0475	0.0490	0.0500
0.0518	0.0526	0.0528	0.0539	0.0549	0.0582	0.0585	0.0010	0.0019	0.0024	0.0030	0.0060
0.0071	0.0078	0.0099	0.0095	0.0112	0.0128	0.0141	0.0146	0.0162	0.0186	0.0193	0.0203
0.0215	0.0216	0.0233	0.0228	0.0249	0.0268	0.0274	0.0285	0.0299	0.0305	0.0316	0.0349
0.0335	0.0355	0.0361	0.0376	0.0389	0.0401	0.0417	0.0430	0.0424	0.0448	0.0438	0.0468
0.0484	0.0493	0.0526	0.0521	0.0541	0.0535	0.0541	0.0554	0.0592	0.0004	0.0011	0.0025
0.0042	0.0052	0.0066	0.0081	0.0092	0.0104	0.0119	0.0126	0.0130	0.0144	0.0151	0.0176
0.0182	0.0192	0.0200	0.0212	0.0219	0.0237	0.0237	0.0262	0.0274	0.0282	0.0290	0.0292
0.0313	0.0330	0.0335	0.0346	0.0360	0.0372	0.0384	0.0400	0.0413	0.0416	0.0431	0.0439
0.0446	0.0482	0.0490	0.0505	0.0521	0.0530	0.0533	0.0538	0.0552	0.0571	0.0583	0.0004
0.0022	0.0028	0.0047	0.0051	0.0066	0.0082	0.0088	0.0106	0.0115	0.0123	0.0138	0.0146
0.0158	0.0165	0.0188	0.0201	0.0217	0.0223	0.0228	0.0245	0.0241	0.0262	0.0267	0.0291
0.0299	0.0309	0.0321	0.0327	0.0333	0.0355	0.0364	0.0371	0.0393	0.0405	0.0408	0.0424
0.0443	0.0453	0.0460	0.0475	0.0498	0.0499	0.0529	0.0534	0.0544	0.0547	0.0557	0.0575
0.0590	0.0011	0.0017	0.0035	0.0040	0.0042	0.0060	0.0074	0.0090	0.0097	0.0110	0.0126
0.0136	0.0138	0.0153	0.0173	0.0177	0.0195	0.0209	0.0215	0.0232	0.0236	0.0256	0.0259
0.0283	0.0280	0.0283	0.0301	0.0310	0.0318	0.0329	0.0352	0.0359	0.0368	0.0385	0.0393
0.0408	0.0416	0.0432	0.0451	0.0460	0.0467	0.0483	0.0512	0.0516	0.0538	0.0546	0.0552
0.0559	0.0566	0.0583	0.0005	0.0032	0.0037	0.0031	0.0044	0.0074	0.0083	0.0094	0.0097
0.0104	0.0117	0.0131	0.0140	0.0161	0.0169	0.0184	0.0192	0.0199	0.0220	0.0224	0.0241
0.0253	0.0265	0.0274	0.0288	0.0295	0.0301	0.0307	0.0325	0.0340	0.0354	0.0350	0.0363
0.0398	0.0401	0.0424	0.0429	0.0445	0.0437	0.0468	0.0475	0.0491	0.0506	0.0534	0.0525
0.0550	0.0560	0.0567	0.0576	0.0591	0.0014	0.0033	0.0030	0.0046	0.0039	0.0068	0.0086
0.0090	0.0113	0.0106	0.0121	0.0126	0.0146	0.0155	0.0164	0.0172	0.0188	0.0206	0.0212
0.0230	0.0234	0.0252	0.0264	0.0260	0.0271	0.0285	0.0293	0.0299	0.0316	0.0338	0.0346
0.0343	0.0357	0.0378	0.0410	0.0416	0.0422	0.0436	0.0455	0.0472	0.0475	0.0482	0.0501

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.0510	0.0536	0.0542	0.0555	0.0565	0.0575	0.0582	0.0004	0.0028	0.0024	0.0026	0.0055
0.0059	0.0075	0.0102	0.0110	0.0118	0.0133	0.0140	0.0151	0.0158	0.0172	0.0179	0.0203
0.0209	0.0216	0.0228	0.0243	0.0257	0.0252	0.0268	0.0274	0.0292	0.0315	0.0316	0.0323
0.0331	0.0344	0.0351	0.0370	0.0386	0.0391	0.0419	0.0427	0.0459	0.0464	0.0485	0.0481
0.0489	0.0504	0.0529	0.0545	0.0554	0.0559	0.0568	0.0583	0.0591	0.0012	0.0021	0.0023
0.0038	0.0052	0.0070	0.0079	0.0096	0.0105	0.0113	0.0125	0.0133	0.0145	0.0153	0.0165
0.0185	0.0196	0.0201	0.0209	0.0223	0.0232	0.0248	0.0253	0.0258	0.0278	0.0279	0.0307
0.0321	0.0323	0.0329	0.0336	0.0365	0.0373	0.0383	0.0405	0.0413	0.0432	0.0449	0.0451
0.0466	0.0492	0.0492	0.0496	0.0520	0.0538	0.0551	0.0563	0.0578	0.0575	0.0592	0.0003
0.0017	0.0019	0.0032	0.0064	0.0070	0.0077	0.0088	0.0112	0.0118	0.0129	0.0137	0.0145
0.0162	0.0171	0.0178	0.0196	0.0203	0.0218	0.0228	0.0238	0.0245	0.0251	0.0260	0.0266
0.0283	0.0314	0.0319	0.0327	0.0337	0.0349	0.0359	0.0365	0.0382	0.0398	0.0412	0.0423
0.0442	0.0461	0.0474	0.0481	0.0498	0.0506	0.0512	0.0543	0.0549	0.0559	0.0565	0.0580
0.0585	0.0009	0.0016	0.0018	0.0033	0.0050	0.0057	0.0066	0.0082	0.0101	0.0107	0.0120
0.0138	0.0139	0.0152	0.0169	0.0188	0.0193	0.0206	0.0213	0.0222	0.0242	0.0244	0.0251
0.0270	0.0268	0.0273	0.0292	0.0312	0.0319	0.0335	0.0343	0.0357	0.0365	0.0373	0.0390
0.0405	0.0420	0.0429	0.0446	0.0469	0.0474	0.0498	0.0505	0.0513	0.0529	0.0549	0.0557
0.0566	0.0569	0.0591	0.0004	0.0011	0.0020	0.0033	0.0045	0.0054	0.0062	0.0093	0.0099
0.0115	0.0125	0.0133	0.0147	0.0160	0.0175	0.0183	0.0198	0.0212	0.0219	0.0236	0.0247
0.0254	0.0257	0.0275	0.0276	0.0286	0.0298	0.0307	0.0334	0.0342	0.0351	0.0358	0.0379
0.0388	0.0396	0.0404	0.0444	0.0438	0.0460	0.0467	0.0498	0.0507	0.0513	0.0520	0.0542
0.0552	0.0568	0.0572	0.0585	0.0591	0.0004	0.0011	0.0012	0.0027	0.0043	0.0052	0.0062
0.0074	0.0091	0.0106	0.0113	0.0130	0.0140	0.0149	0.0168	0.0182	0.0192	0.0191	0.0213
0.0232	0.0235	0.0262	0.0267	0.0263	0.0283	0.0291	0.0298	0.0306	0.0321	0.0345	0.0352
0.0359	0.0371	0.0384	0.0391	0.0405	0.0434	0.0450	0.0454	0.0473	0.0489	0.0506	0.0516
0.0528	0.0533	0.0545	0.0559	0.0554	0.0577	0.0592	0.0004	0.0019	0.0014	0.0037	0.0038
0.0046	0.0070	0.0079	0.0085	0.0109	0.0121	0.0134	0.0141	0.0154	0.0167	0.0175	0.0200
0.0206	0.0225	0.0228	0.0247	0.0252	0.0268	0.0274	0.0282	0.0293	0.0299	0.0314	0.0326
0.0337	0.0344	0.0374	0.0374	0.0393	0.0396	0.0426	0.0437	0.0442	0.0457	0.0488	0.0481
0.0520	0.0520	0.0536	0.0537	0.0546	0.0580	0.0562	0.0584	0.0584	0.0005	0.0013	0.0018
0.0039	0.0045	0.0058	0.0070	0.0077	0.0088	0.0097	0.0117	0.0125	0.0129	0.0149	0.0158
0.0175	0.0190	0.0198	0.0220	0.0233	0.0239	0.0264	0.0271	0.0277	0.0284	0.0300	0.0307
0.0322	0.0328	0.0343	0.0352	0.0366	0.0383	0.0389	0.0400	0.0412	0.0428	0.0444	0.0464
0.0482	0.0496	0.0514	0.0522	0.0524	0.0538	0.0566	0.0574	0.0572	0.0570	0.0592	0.0010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.0005	0.0027	0.0033	0.0040	0.0039	0.0065	0.0086	0.0093	0.0113	0.0117	0.0121	0.0134
0.0175	0.0183	0.0183	0.0194	0.0203	0.0211	0.0226	0.0242	0.0259	0.0264	0.0273	0.0285
0.0294	0.0299	0.0315	0.0331	0.0338	0.0339	0.0367	0.0365	0.0391	0.0402	0.0407	0.0413
0.0435	0.0451	0.0490	0.0500	0.0510	0.0525	0.0529	0.0530	0.0552	0.0571	0.0585	0.0577
0.0584	0.0003	0.0003	0.0005	0.0025	0.0024	0.0032	0.0052	0.0072	0.0100	0.0096	0.0108
0.0126	0.0129	0.0142	0.0172	0.0178	0.0186	0.0200	0.0219	0.0239	0.0242	0.0256	0.0277
0.0279	0.0292	0.0302	0.0308	0.0315	0.0319	0.0334	0.0359	0.0372	0.0381	0.0396	0.0410
0.0420	0.0426	0.0468	0.0491	0.0498	0.0520	0.0518	0.0532	0.0536	0.0543	0.0557	0.0582
0.0587	0.0576	0.0591	0.0004	0.0006	0.0014	0.0012	0.0021	0.0047	0.0062	0.0080	0.0089
0.0104	0.0105	0.0111	0.0134	0.0165	0.0173	0.0181	0.0191	0.0197	0.0208	0.0227	0.0247
0.0242	0.0256	0.0282	0.0288	0.0295	0.0306	0.0311	0.0327	0.0331	0.0351	0.0359	0.0392
0.0398	0.0405	0.0418	0.0421	0.0459	0.0476	0.0484	0.0499	0.0528	0.0527	0.0541	0.0548
0.0567	0.0584	0.0587	0.0591	0.0592	0.0004	0.0005	0.0014	0.0004	0.0012	0.0031	0.0046
0.0071	0.0085	0.0104	0.0097	0.0114	0.0122	0.0139	0.0158	0.0181	0.0188	0.0205	0.0215
0.0223	0.0235	0.0260	0.0268	0.0274	0.0290	0.0299	0.0307	0.0314	0.0322	0.0336	0.0353
0.0384	0.0385	0.0406	0.0414	0.0413	0.0439	0.0446	0.0475	0.0491	0.0505	0.0512	0.0533
0.0553	0.0552	0.0559	0.0580	0.0577	0.0590	0.0591	0.0005	0.0004	0.0003	0.0012	0.0014
0.0022	0.0054	0.0061	0.0068	0.0098	0.0085	0.0116	0.0122	0.0151	0.0166	0.0167	0.0188
0.0206	0.0212	0.0231	0.0241	0.0249	0.0265	0.0280	0.0272	0.0293	0.0311	0.0314	0.0319
0.0329	0.0344	0.0372	0.0395	0.0404	0.0412	0.0420	0.0429	0.0451	0.0453	0.0463	0.0483
0.0506	0.0538	0.0531	0.0546	0.0569	0.0592	0.0586	0.0575	0.0575	0.0005	0.0003	0.0004
0.0013	0.0004	0.0012	0.0039	0.0054	0.0079	0.0091	0.0091	0.0109	0.0132	0.0148	0.0159
0.0180	0.0192	0.0215	0.0227	0.0235	0.0251	0.0257	0.0267	0.0268	0.0285	0.0300	0.0313
0.0329	0.0334	0.0339	0.0350	0.0367	0.0399	0.0399	0.0419	0.0424	0.0443	0.0460	0.0469
0.0483	0.0501	0.0513	0.0522	0.0556	0.0554	0.0562	0.0590	0.0591	0.0581	0.0589	0.0010
0.0013	0.0019	0.0004	0.0005	0.0013	0.0019	0.0048	0.0057	0.0076	0.0081	0.0121	0.0127
0.0156	0.0167	0.0184	0.0201	0.0208	0.0219	0.0229	0.0243	0.0250	0.0253	0.0282	0.0289
0.0298	0.0305	0.0326	0.0336	0.0342	0.0351	0.0359	0.0378	0.0408	0.0417	0.0424	0.0435
0.0459	0.0476	0.0477	0.0492	0.0511	0.0537	0.0553	0.0557	0.0564	0.0579	0.0587	0.0592
0.0591	0.0004	0.0021	0.0012	0.0004	0.0005	0.0029	0.0032	0.0045	0.0064	0.0086	0.0106
0.0129	0.0141	0.0163	0.0173	0.0177	0.0196	0.0211	0.0222	0.0236	0.0244	0.0260	0.0261
0.0275	0.0289	0.0294	0.0306	0.0320	0.0344	0.0352	0.0367	0.0382	0.0375	0.0412	0.0426
0.0430	0.0451	0.0467	0.0488	0.0484	0.0507	0.0540	0.0546	0.0544	0.0560	0.0568	0.0572
0.0591	0.0575	0.0581	0.0009	0.0031	0.0004	0.0005	0.0004	0.0020	0.0017	0.0038	0.0072

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.0077	0.0099	0.0101	0.0135	0.0150	0.0164	0.0175	0.0185	0.0197	0.0217	0.0230	0.0234
0.0251	0.0268	0.0265	0.0261	0.0295	0.0301	0.0315	0.0324	0.0355	0.0359	0.0375	0.0390
0.0404	0.0417	0.0432	0.0464	0.0445	0.0471	0.0497	0.0518	0.0515	0.0519	0.0549	0.0549
0.0574	0.0554	0.0591	0.0580	0.0573	0.0040	0.0021	0.0032	0.0017	0.0005	0.0020	0.0026
0.0040	0.0079	0.0083	0.0095	0.0120	0.0138	0.0160	0.0156	0.0171	0.0191	0.0203	0.0224
0.0221	0.0237	0.0246	0.0254	0.0272	0.0285	0.0309	0.0309	0.0330	0.0332	0.0360	0.0367
0.0386	0.0395	0.0420	0.0424	0.0428	0.0438	0.0479	0.0475	0.0493	0.0511	0.0527	0.0524
0.0532	0.0568	0.0592	0.0591	0.0562	0.0566	0.0582	0.0050	0.0029	0.0038	0.0027	0.0018
0.0003	0.0020	0.0062	0.0054	0.0074	0.0079	0.0115	0.0127	0.0143	0.0150	0.0165	0.0188
0.0195	0.0219	0.0226	0.0229	0.0242	0.0265	0.0274	0.0280	0.0288	0.0288	0.0317	0.0348
0.0354	0.0367	0.0375	0.0393	0.0400	0.0413	0.0428	0.0435	0.0457	0.0483	0.0506	0.0505
0.0518	0.0513	0.0526	0.0541	0.0572	0.0578	0.0567	0.0560	0.0535	0.0022	0.0043	0.0033
0.0023	0.0013	0.0022	0.0044	0.0059	0.0071	0.0076	0.0094	0.0109	0.0134	0.0154	0.0163
0.0171	0.0177	0.0204	0.0213	0.0215	0.0238	0.0257	0.0266	0.0272	0.0279	0.0302	0.0310
0.0340	0.0346	0.0362	0.0370	0.0376	0.0399	0.0409	0.0426	0.0432	0.0440	0.0465	0.0477
0.0504	0.0502	0.0514	0.0525	0.0533	0.0568	0.0578	0.0585	0.0580	0.0545	0.0552	0.0036
0.0055	0.0012	0.0025	0.0005	0.0016	0.0035	0.0051	0.0067	0.0069	0.0092	0.0102	0.0114
0.0147	0.0158	0.0161	0.0180	0.0191	0.0203	0.0207	0.0224	0.0248	0.0250	0.0262	0.0280
0.0296	0.0316	0.0325	0.0337	0.0355	0.0362	0.0378	0.0394	0.0406	0.0410	0.0437	0.0449
0.0457	0.0469	0.0489	0.0513	0.0520	0.0520	0.0533	0.0541	0.0585	0.0590	0.0559	0.0565
0.0537	0.0058	0.0037	0.0031	0.0029	0.0012	0.0025	0.0042	0.0052	0.0071	0.0081	0.0083
0.0115	0.0122	0.0148	0.0155	0.0159	0.0184	0.0198	0.0199	0.0211	0.0239	0.0242	0.0248
0.0259	0.0270	0.0294	0.0302	0.0324	0.0339	0.0332	0.0369	0.0383	0.0385	0.0402	0.0420
0.0443	0.0441	0.0450	0.0473	0.0498	0.0512	0.0535	0.0527	0.0547	0.0562	0.0591	0.0568
0.0540	0.0578	0.0591	0.0028	0.0059	0.0025	0.0022	0.0011	0.0019	0.0027	0.0049	0.0062
0.0073	0.0086	0.0090	0.0110	0.0140	0.0142	0.0150	0.0169	0.0195	0.0176	0.0207	0.0225
0.0233	0.0258	0.0254	0.0287	0.0295	0.0318	0.0326	0.0334	0.0346	0.0366	0.0387	0.0392
0.0412	0.0418	0.0433	0.0462	0.0467	0.0473	0.0497	0.0528	0.0554	0.0560	0.0552	0.0554
0.0590	0.0548	0.0584	0.0561	0.0544	0.0021	0.0017	0.0047	0.0038	0.0030	0.0022	0.0036
0.0041	0.0058	0.0097	0.0089	0.0098	0.0123	0.0130	0.0135	0.0163	0.0179	0.0188	0.0206
0.0218	0.0232	0.0220	0.0238	0.0250	0.0256	0.0303	0.0307	0.0326	0.0343	0.0333	0.0358
0.0376	0.0397	0.0404	0.0429	0.0441	0.0447	0.0456	0.0477	0.0481	0.0497	0.0534	0.0560
0.0563	0.0577	0.0581	0.0591	0.0536	0.0529	0.0557	0.0029	0.0037	0.0036	0.0030	0.0013
0.0012	0.0029	0.0049	0.0065	0.0074	0.0093	0.0107	0.0114	0.0129	0.0144	0.0153	0.0156

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.0171	0.0183	0.0213	0.0213	0.0229	0.0235	0.0246	0.0281	0.0288	0.0299	0.0311	0.0308
0.0334	0.0340	0.0382	0.0390	0.0404	0.0420	0.0454	0.0459	0.0462	0.0485	0.0489	0.0506
0.0577	0.0592	0.0590	0.0582	0.0592	0.0554	0.0544	0.0591	0.0585	0.0004	0.0060	0.0049
0.0027	0.0022	0.0024	0.0034	0.0042	0.0045	0.0066	0.0083	0.0102	0.0119	0.0124	0.0137
0.0147	0.0169	0.0191	0.0198	0.0206	0.0218	0.0212	0.0228	0.0241	0.0267	0.0278	0.0293
0.0317	0.0365	0.0350	0.0372	0.0378	0.0396	0.0413	0.0439	0.0449	0.0461	0.0473	0.0469
0.0492	0.0500	0.0522	0.0568	0.0582	0.0574	0.0591	0.0564	0.0540	0.0525	0.0564	0.0013
0.0044	0.0044	0.0035	0.0022	0.0027	0.0038	0.0038	0.0057	0.0079	0.0106	0.0110	0.0106
0.0138	0.0146	0.0142	0.0162	0.0169	0.0186	0.0192	0.0199	0.0195	0.0220	0.0251	0.0262
0.0278	0.0300	0.0325	0.0336	0.0359	0.0370	0.0399	0.0396	0.0414	0.0444	0.0453	0.0465
0.0477	0.0482	0.0482	0.0507	0.0539	0.0579	0.0591	0.0590	0.0571	0.0549	0.0525	0.0443
0.0417	0.0104	0.0062	0.0018	0.0064	0.0014	0.0021	0.0030	0.0047	0.0053	0.0070	0.0087
0.0116	0.0133	0.0129	0.0144	0.0153	0.0166	0.0177	0.0182	0.0182	0.0199	0.0205	0.0235
0.0244	0.0258	0.0285	0.0285	0.0316	0.0345	0.0351	0.0366	0.0387	0.0420	0.0426	0.0437
0.0446	0.0454	0.0470	0.0487	0.0491	0.0510	0.0527	0.0569	0.0584	0.0577	0.0584	0.0540
0.0540	0.0533	0.0513	0.0037	0.0054	0.0052	0.0038	0.0019	0.0029	0.0033	0.0056	0.0061
0.0098	0.0103	0.0112	0.0121	0.0137	0.0135	0.0153	0.0160	0.0174	0.0187	0.0189	0.0201
0.0213	0.0246	0.0253	0.0271	0.0309	0.0292	0.0328	0.0338	0.0373	0.0381	0.0388	0.0423
0.0430	0.0437	0.0472	0.0467	0.0482	0.0494	0.0502	0.0501	0.0543	0.0572	0.0590	0.0572
0.0562	0.0527	0.0516	0.0519	0.0511	0.0044	0.0062	0.0068	0.0053	0.0012	0.0013	0.0042
0.0050	0.0057	0.0065	0.0075	0.0110	0.0125	0.0132	0.0143	0.0151	0.0160	0.0168	0.0178
0.0193	0.0202	0.0221	0.0229	0.0229	0.0267	0.0297	0.0320	0.0329	0.0340	0.0359	0.0376
0.0415	0.0406	0.0425	0.0442	0.0442	0.0474	0.0480	0.0502	0.0509	0.0534	0.0546	0.0554
0.0584	0.0582	0.0565	0.0545	0.0532	0.0522	0.0431	0.0048	0.0072	0.0059	0.0035	0.0039
0.0030	0.0036	0.0050	0.0071	0.0079	0.0084	0.0098	0.0117	0.0139	0.0131	0.0161	0.0170
0.0177	0.0184	0.0190	0.0209	0.0217	0.0216	0.0238	0.0276	0.0304	0.0312	0.0330	0.0345
0.0368	0.0407	0.0409	0.0417	0.0433	0.0436	0.0451	0.0458	0.0469	0.0488	0.0520	0.0515
0.0549	0.0560	0.0585	0.0564	0.0553	0.0558	0.0525	0.0512	0.0518	0.0017	0.0053	0.0045
0.0032	0.0020	0.0029	0.0042	0.0049	0.0066	0.0090	0.0097	0.0104	0.0120	0.0127	0.0135
0.0152	0.0164	0.0173	0.0182	0.0195	0.0203	0.0209	0.0224	0.0244	0.0261	0.0282	0.0314
0.0321	0.0347	0.0352	0.0384	0.0392	0.0422	0.0438	0.0446	0.0449	0.0462	0.0487	0.0496
0.0517	0.0541	0.0541	0.0576	0.0575	0.0583	0.0573	0.0559	0.0523	0.0546	0.0503	0.0038
0.0068	0.0046	0.0046	0.0039	0.0020	0.0035	0.0042	0.0058	0.0074	0.0086	0.0093	0.0113
0.0122	0.0126	0.0144	0.0147	0.0166	0.0179	0.0188	0.0196	0.0232	0.0236	0.0275	0.0290

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.0308	0.0322	0.0345	0.0353	0.0352	0.0368	0.0393	0.0417	0.0431	0.0435	0.0457	0.0476
0.0472	0.0496	0.0506	0.0514	0.0548	0.0563	0.0570	0.0580	0.0569	0.0559	0.0536	0.0528
0.0508	0.0069	0.0064	0.0052	0.0051	0.0042	0.0027	0.0037	0.0054	0.0059	0.0082	0.0096
0.0105	0.0113	0.0118	0.0140	0.0145	0.0155	0.0171	0.0179	0.0187	0.0208	0.0217	0.0253
0.0260	0.0270	0.0312	0.0335	0.0362	0.0355	0.0354	0.0400	0.0401	0.0434	0.0438	0.0441
0.0454	0.0464	0.0474	0.0483	0.0492	0.0522	0.0536	0.0553	0.0584	0.0585	0.0583	0.0550
0.0550	0.0532	0.0491	0.0029	0.0081	0.0065	0.0052	0.0045	0.0038	0.0046	0.0062	0.0060
0.0063	0.0090	0.0095	0.0103	0.0122	0.0137	0.0144	0.0150	0.0159	0.0174	0.0183	0.0196
0.0240	0.0254	0.0271	0.0284	0.0322	0.0328	0.0370	0.0367	0.0362	0.0377	0.0385	0.0424
0.0422	0.0442	0.0447	0.0468	0.0466	0.0488	0.0529	0.0525	0.0544	0.0557	0.0564	0.0582
0.0557	0.0563	0.0563	0.0556	0.0554	0.0069	0.0068	0.0057	0.0060	0.0044	0.0047	0.0056
0.0054	0.0059	0.0068	0.0072	0.0076	0.0099	0.0111	0.0130	0.0134	0.0150	0.0159	0.0162
0.0181	0.0205	0.0225	0.0263	0.0267	0.0316	0.0277	0.0339	0.0345	0.0372	0.0362	0.0392
0.0399	0.0414	0.0435	0.0439	0.0454	0.0448	0.0476	0.0479	0.0502	0.0511	0.0526	0.0542
0.0568	0.0574	0.0580	0.0578	0.0557	0.0521	0.0524	0.0078	0.0088	0.0075	0.0069	0.0057
0.0051	0.0079	0.0074	0.0067	0.0067	0.0080	0.0087	0.0115	0.0117	0.0132	0.0154	0.0158
0.0167	0.0166	0.0191	0.0211	0.0241	0.0247	0.0280	0.0299	0.0351	0.0332	0.0374	0.0382
0.0389	0.0416	0.0406	0.0428	0.0429	0.0446	0.0460	0.0451	0.0469	0.0482	0.0499	0.0519
0.0534	0.0549	0.0555	0.0576	0.0576	0.0531	0.0554	0.0534	0.0426	0.0077	0.0072	0.0068
0.0065	0.0044	0.0050	0.0072	0.0102	0.0085	0.0074	0.0079	0.0087	0.0107	0.0119	0.0124
0.0143	0.0151	0.0163	0.0175	0.0198	0.0206	0.0233	0.0279	0.0304	0.0294	0.0327	0.0338
0.0373	0.0385	0.0393	0.0397	0.0414	0.0422	0.0443	0.0461	0.0458	0.0462	0.0469	0.0474
0.0495	0.0515	0.0529	0.0538	0.0547	0.0584	0.0568	0.0571	0.0551	0.0517	0.0513	0.0029
0.0089	0.0071	0.0074	0.0064	0.0080	0.0094	0.0110	0.0076	0.0081	0.0083	0.0092	0.0112
0.0127	0.0134	0.0138	0.0151	0.0157	0.0172	0.0212	0.0219	0.0227	0.0240	0.0256	0.0319
0.0324	0.0359	0.0366	0.0380	0.0388	0.0405	0.0423	0.0432	0.0452	0.0454	0.0462	0.0469
0.0478	0.0476	0.0483	0.0507	0.0522	0.0541	0.0528	0.0568	0.0573	0.0575	0.0544	0.0504
0.0576	0.0075	0.0076	0.0083	0.0079	0.0073	0.0089	0.0097	0.0103	0.0087	0.0068	0.0096
0.0103	0.0116	0.0141	0.0130	0.0139	0.0144	0.0161	0.0189	0.0203	0.0214	0.0246	0.0248
0.0291	0.0303	0.0342	0.0361	0.0332	0.0378	0.0396	0.0408	0.0413	0.0423	0.0456	0.0458
0.0465	0.0475	0.0487	0.0484	0.0505	0.0513	0.0520	0.0533	0.0553	0.0537	0.0566	0.0559
0.0559	0.0550	0.0519	0.0086	0.0084	0.0078	0.0087	0.0075	0.0094	0.0101	0.0104	0.0097
0.0083	0.0109	0.0133	0.0116	0.0126	0.0149	0.0146	0.0150	0.0156	0.0177	0.0207	0.0236
0.0222	0.0262	0.0295	0.0287	0.0317	0.0312	0.0369	0.0375	0.0400	0.0420	0.0423	0.0429

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.0427	0.0456	0.0465	0.0471	0.0483	0.0492	0.0489	0.0511	0.0517	0.0526	0.0536	0.0562
0.0562	0.0570	0.0542	0.0529	0.0541	0.0011	0.0091	0.0091	0.0080	0.0086	0.0087	0.0112
0.0111	0.0090	0.0089	0.0109	0.0144	0.0122	0.0151	0.0163	0.0154	0.0160	0.0168	0.0169
0.0196	0.0228	0.0254	0.0247	0.0271	0.0305	0.0301	0.0327	0.0377	0.0383	0.0397	0.0406
0.0415	0.0438	0.0447	0.0449	0.0452	0.0453	0.0461	0.0469	0.0491	0.0501	0.0508	0.0514
0.0523	0.0547	0.0543	0.0567	0.0561	0.0537	0.0590	0.0057	0.0084	0.0094	0.0097	0.0083
0.0104	0.0119	0.0121	0.0110	0.0118	0.0125	0.0124	0.0140	0.0148	0.0156	0.0160	0.0175
0.0180	0.0184	0.0220	0.0234	0.0251	0.0242	0.0276	0.0292	0.0299	0.0307	0.0354	0.0382
0.0392	0.0399	0.0411	0.0431	0.0441	0.0444	0.0444	0.0462	0.0453	0.0470	0.0481	0.0489
0.0495	0.0499	0.0511	0.0532	0.0527	0.0553	0.0558	0.0554	0.0511	0.0044	0.0097	0.0098
0.0098	0.0095	0.0127	0.0135	0.0109	0.0116	0.0102	0.0119	0.0136	0.0156	0.0158	0.0168
0.0172	0.0177	0.0176	0.0192	0.0188	0.0233	0.0227	0.0238	0.0268	0.0283	0.0292	0.0346
0.0361	0.0369	0.0390	0.0409	0.0417	0.0432	0.0436	0.0435	0.0456	0.0446	0.0434	0.0465
0.0495	0.0452	0.0477	0.0505	0.0492	0.0519	0.0536	0.0540	0.0549	0.0519	0.0510	0.0098
0.0092	0.0104	0.0105	0.0113	0.0131	0.0146	0.0130	0.0125	0.0119	0.0147	0.0149	0.0162
0.0164	0.0167	0.0172	0.0171	0.0183	0.0193	0.0227	0.0226	0.0233	0.0270	0.0261	0.0264
0.0305	0.0286	0.0365	0.0382	0.0390	0.0404	0.0419	0.0428	0.0436	0.0447	0.0449	0.0454
0.0447	0.0471	0.0475	0.0443	0.0460	0.0488	0.0502	0.0489	0.0525	0.0547	0.0537	0.0544
0.0501	0.0090	0.0092	0.0101	0.0108	0.0107	0.0125	0.0132	0.0137	0.0142	0.0127	0.0140
0.0154	0.0180	0.0175	0.0164	0.0169	0.0183	0.0175	0.0188	0.0199	0.0224	0.0256	0.0251
0.0260	0.0284	0.0278	0.0310	0.0321	0.0375	0.0368	0.0391	0.0421	0.0425	0.0428	0.0440
0.0442	0.0431	0.0439	0.0427	0.0436	0.0441	0.0461	0.0484	0.0467	0.0499	0.0532	0.0517
0.0521	0.0527	0.0509	0.0113	0.0157	0.0100	0.0107	0.0113	0.0137	0.0219	0.0141	0.0187
0.0133	0.0158	0.0203	0.0166	0.0192	0.0189	0.0185	0.0179	0.0190	0.0199	0.0201	0.0222
0.0241	0.0248	0.0255	0.0268	0.0274	0.0320	0.0359	0.0381	0.0398	0.0410	0.0413	0.0419
0.0421	0.0432	0.0439	0.0430	0.0416	0.0346	0.0423	0.0451	0.0460	0.0484	0.0473	0.0491
0.0508	0.0506	0.0545	0.0503	0.0497	0.0050	0.0113	0.0139	0.0115	0.0122	0.0128	0.0263
0.0145	0.0140	0.0160	0.0298	0.0289	0.0173	0.0187	0.0240	0.0241	0.0178	0.0197	0.0209
0.0220	0.0229	0.0239	0.0253	0.0262	0.0283	0.0293	0.0339	0.0373	0.0363	0.0371	0.0405
0.0418	0.0403	0.0434	0.0409	0.0401	0.0461	0.0392	0.0363	0.0404	0.0466	0.0476	0.0468
0.0476	0.0480	0.0498	0.0529	0.0540	0.0512	0.0496	0.0105	0.0142	0.0117	0.0116	0.0124
0.0229	0.0194	0.0238	0.0244	0.0263	0.0307	0.0167	0.0248	0.0279	0.0201	0.0193	0.0182
0.0191	0.0207	0.0214	0.0234	0.0243	0.0247	0.0290	0.0284	0.0328	0.0333	0.0343	0.0360
0.0390	0.0404	0.0408	0.0412	0.0425	0.0360	0.0338	0.0362	0.0378	0.0425	0.0341	0.0400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.0415	0.0456	0.0475	0.0496	0.0489	0.0497	0.0534	0.0492	0.0538	0.0054	0.0083	0.0179
0.0123	0.0156	0.0222	0.0293	0.0335	0.0149	0.0153	0.0285	0.0234	0.0198	0.0212	0.0204
0.0229	0.0186	0.0196	0.0204	0.0219	0.0235	0.0238	0.0352	0.0276	0.0303	0.0299	0.0350
0.0338	0.0357	0.0355	0.0410	0.0416	0.0371	0.0327	0.0378	0.0366	0.0331	0.0407	0.0385
0.0333	0.0282	0.0367	0.0469	0.0461	0.0484	0.0484	0.0494	0.0504	0.0514	0.0518	0.0052
0.0067	0.0271	0.0148	0.0236	0.0271	0.0199	0.0284	0.0249	0.0263	0.0369	0.0326	0.0278
0.0272	0.0216	0.0203	0.0207	0.0212	0.0212	0.0226	0.0243	0.0252	0.0275	0.0261	0.0331
0.0312	0.0311	0.0325	0.0312	0.0397	0.0403	0.0401	0.0395	0.0330	0.0319	0.0355	0.0366
0.0387	0.0306	0.0418	0.0383	0.0387	0.0452	0.0464	0.0481	0.0480	0.0487	0.0483	0.0518
0.0510	0.0004	0.0018	0.0194	0.0147	0.0134	0.0291	0.0289	0.0304	0.0264	0.0290	0.0321
0.0231	0.0248	0.0280	0.0271	0.0238	0.0205	0.0211	0.0218	0.0248	0.0329	0.0327	0.0267
0.0281	0.0295	0.0274	0.0317	0.0350	0.0376	0.0390	0.0386	0.0394	0.0315	0.0301	0.0350
0.0343	0.0335	0.0375	0.0393	0.0350	0.0334	0.0469	0.0472	0.0478	0.0375	0.0480	0.0505
0.0504	0.0501	0.0522	0.0225	0.0080	0.0163	0.0208	0.0256	0.0251	0.0227	0.0259	0.0257
0.0222	0.0319	0.0277	0.0222	0.0236	0.0229	0.0245	0.0300	0.0242	0.0216	0.0215	0.0339
0.0248	0.0314	0.0277	0.0310	0.0294	0.0336	0.0398	0.0305	0.0350	0.0383	0.0369	0.0391
0.0308	0.0337	0.0380	0.0323	0.0370	0.0324	0.0417	0.0321	0.0531	0.0452	0.0446	0.0509
0.0476	0.0398	0.0473	0.0536	0.0501	0.0219	0.0174	0.0130	0.0120	0.0212	0.0193	0.0235
0.0230	0.0290	0.0270	0.0287	0.0247	0.0254	0.0301	0.0336	0.0270	0.0321	0.0270	0.0220
0.0263	0.0259	0.0285	0.0292	0.0267	0.0341	0.0346	0.0307	0.0369	0.0307	0.0351	0.0378
0.0358	0.0380	0.0311	0.0296	0.0344	0.0307	0.0344	0.0354	0.0488	0.0365	0.0546	0.0463
0.0419	0.0375	0.0445	0.0408	0.0472	0.0488	0.0492	0.0174	0.0060	0.0006	0.0300	0.0180
0.0257	0.0338	0.0306	0.0323	0.0328	0.0349	0.0257	0.0277	0.0342	0.0315	0.0262	0.0266
0.0225	0.0286	0.0255	0.0292	0.0297	0.0374	0.0320	0.0549	0.0334	0.0290	0.0357	0.0328
0.0383	0.0393	0.0314	0.0401	0.0369	0.0410	0.0298	0.0318	0.0358	0.0427	0.0413	0.0483
0.0345	0.0354	0.0495	0.0361	0.0484	0.0434	0.0500	0.0492				

จากตัวอย่างที่แสดงไปแล้วจะพบว่าข้อมูลที่ได้ออกมาไม่อยู่ในรูปแบบของเมตริกซ์หรือเวกเตอร์ใดๆเลย ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้งานได้เลย ดังนั้น จึงทำการจัดข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของเวกเตอร์หรือเมตริกซ์ขนาด 5,000 แถว 1 หลัก ซึ่งจะทำให้สะดวกต่อการนำไปใช้งานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างข้อมูล ตำแหน่ง x หลังการจัดรูปแบบ

0.0004

0.0021

0.0030

0.0045

0.0061

0.0070

.

.

.

0.0361

0.0484

0.0434

0.0500

0.0492

ดั่งที่ได้กล่าวไปแล้วว่ามีไฟล์ข้อมูลที่อยู่ในลักษณะนี้มากมายถึง 3,000 ไฟล์ ข้อมูล ทำให้ต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายในการจัดข้อมูลมาก การที่ไม่สามารถพัฒนาโปรแกรมภาษา Fortran ให้สร้างไฟล์ข้อมูลออกมาในรูปแบบที่เหมาะสมตั้งแต่ต้นเลยนั้นเนื่องจากทางทีมผู้พัฒนาโปรแกรมไม่อนุญาตให้แก้ไข source code ของโปรแกรมเลย แต่อนุญาตให้นำโปรแกรมมาใช้ได้เท่านั้น (แม้ว่าหัวหน้าโครงการวิจัยในครั้งนี้เป็นสมาชิกคนหนึ่งของผู้พัฒนาโปรแกรมก็ตาม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้