สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัย

การศึกษาอิทธิพลของปรากฏการณ์การหมุนวนกับการผสมกัน ของระบบวัสดุเม็ดกลมในภาชนะบรรจุเชิง 2 มิติ ด้วยเทคนิคการจำลองเหตุการณ์แบบวัสดุเม็ดนิ่ม

Study the Effect of Convection Phenomenon on the Mixing of Granular Materials in 2-D Container with Soft-Particle Method

ชื่อผู้วิจัย

นาย สกนธ์ คล่องบุญจิต

RCH
TA
357.5
.M59
ส119ก

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....114484
วัน,เดือน,ปี.....20 มี.ค. 2554

ได้รับเงินสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณรายได้ประจำปีงบประมาณ 2553

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

b 12291006
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในครั้งนี้สามารถดำเนินการเสร็จสิ้นไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับเงินทุนสนับสนุนงานวิจัยจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทางผู้ทำการวิจัยจึงใคร่ขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการวิจัย การศึกษาอิทธิพลของปรากฏการณ์การหมุนวนกับการผสมกันของระบบวัสดุเม็ดกลมในภาชนะบรรจุเชิง 2 มิติ ด้วยเทคนิคการจำลองเหตุการณ์แบบวัสดุเม็ดนิ่ม

Study the Effect of Convection Phenomenon on the Mixing of Granular Materials in 2-D Container with Soft-Particle Method

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประจำปี พ.ศ. 2553
จำนวนเงิน 41,300 บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี
ตั้งแต่ ตุลาคม พ.ศ. 2552 ถึง กรกฎาคม พ.ศ. 2553

หัวหน้าโครงการวิจัย ผศ.ดร.สกนธ์ คล่องบุญจิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
โทรศัพท์ 02-329-8339 โทรสาร 02-329-8340

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาผลของปรากฏการณ์การหมุนวนต่อการผสมกันของวัสดุเม็ดกลม 2 ชนิด ที่มีขนาดและมวลใกล้เคียงกันภายในภาชนะบรรจุ 2 มิติ ที่กำลังสั่นขึ้นลงอยู่ในแนวดิ่ง โดยใช้วิธีการจำลองเหตุการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ ด้วยเทคนิคการจำลองเหตุการณ์แบบวัสดุเม็ดนิ่ม แสดงให้เห็นว่าในระบบที่ตั้งค่าการสั่นสะเทือนจนกระทั่งเกิดปรากฏการณ์การหมุนวนจะช่วยให้วัสดุเม็ดกลมทั้ง 2 ชนิด เกิดการผสมเข้าด้วยกันอย่างดีเมื่อเวลาผ่านไป ส่วนระบบที่ตั้งค่าการสั่นไว้ไม่ให้เกิดปรากฏการณ์การหมุนวนนั้นวัสดุเม็ดกลมทั้ง 2 ชนิด แทบจะไม่เคลื่อนที่เลยทำให้ไม่เกิดการผสมกันของวัสดุเม็ดกลมทั้ง 2 ชนิด เลย

Abstract

In this study, the effect of convection phenomenon on the mixing of two types of granular materials that have the same size and mass is studied. These granular materials are contained in the 2-D container and this system is under vertically vibration. With computer simulation technique, the soft-particle method is applied to this system. The simulation results show that if the system parameters are properly set so that convection occurs in the system, these two materials are mixed together very well when the time passing. In the system with no convection, two materials hardly move and they are obviously not mixed together and they still separate like them at the initial time.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญเรื่อง

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	
สารบัญภาพ	
บทที่ 1 บทนำ	1-2
1.1 จุดประสงค์ในการศึกษา	1
1.2 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3-7
2.1 วิธีการจำลองเหตุการณ์แบบวัสดุเม็ดนิ่ม (Soft-Particle Method)	3
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษาและผลการศึกษา	8-13
3.1 วิธีดำเนินการศึกษา	8
3.2 ผลการศึกษา	9
บทที่ 4 อภิปรายผลการศึกษาและวิจารณ์	14
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	15
บรรณานุกรม	16
ภาคผนวก ก บทความที่ได้รับการตีพิมพ์	ผก 1-9
ภาคผนวก ข ตัวอย่างของรูปภาพและภาพยนต์ที่สร้างจากโปรแกรม Matlab	ผข 1 - 8
ภาคผนวก ค ตัวอย่างของข้อมูลที่ได้รับก่อนและหลังการจัดรูปแบบ	ผค 1 – 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

วัสดุประเภท Granular materials ซึ่งก็คือวัสดุที่ประกอบไปด้วยวัสดุแข็งเม็ดเล็กๆมากมาย และช่องว่างระหว่างวัสดุเม็ดเล็กๆนี้ก็จะเติมไปด้วยของไหล เช่น น้ำ หรือ อากาศ ถือเป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากวัตถุดิบส่วนใหญ่ที่ถูกใช้ในกระบวนการต่างๆทางอุตสาหกรรมก็อยู่ในรูปของวัสดุเม็ดกลมเล็กๆ เช่น ทราย เม็ดพลาสติก อาหารอัดเม็ด และอื่นๆ และในกระบวนการผลิตนั้นวัตถุดิบต่างๆก็อาจจะถูกนำไปผ่านกระบวนการในหลายๆลักษณะเพื่อให้เกิดการผสมกัน เช่น ใช้ใบกวนให้เข้ากัน ใช้การหมุนกลับภาชนะบรรจุกลับไปกลับมา หรือใช้การเขย่าหรือสั่นภาชนะบรรจุ เป็นต้น ซึ่งโดยปกติแล้วจะเกิดปัญหาขึ้นในกระบวนการผสมกันอยู่เสมอ เนื่องจากวัตถุดิบหลายๆชนิดที่นำมาผสมกันไม่สามารถผสมเข้ากันได้อย่างสมบูรณ์นั่นเอง ทำให้เกิดปัญหาในกระบวนการผลิตขั้นต่อไป ยิ่งไปกว่านั้นถ้าเม็ดวัสดุหลายๆชนิดที่จะนำมาผสมกันมีขนาดและมวลที่ใกล้เคียงกันแล้วยิ่งทำให้เกิดการผสมกันได้ยากขึ้นอีกด้วย ตัวอย่างของปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างชัดเจนก็เช่น ในโรงงานผลิตผงซักฟอกซึ่งต้องมีการผสมเม็ดผงฟอกขาวลงในเนื้อผงซักฟอกเพื่อให้ได้ผงซักฟอกมีมีผงฟอกขาวไว้ด้วย แต่ในการผสมผสมซักฟอกและผงฟอกขาวเข้าด้วยกันนั้นมักจะเกิดปัญหาขึ้นเสมอเนื่องจากเนื้อผงซักฟอกและผงฟอกขาวไม่เป็นเนื้อเดียวกันสม่ำเสมอ เมื่อนำไปบรรจุลงในถุงเพื่อนำไปจำหน่ายก็จะทำให้เกิดปัญหาว่าในผงซักฟอกบางถุงก็มีผงฟอกขาวมากเกินไป หรือในบางถุงแทบจะไม่มีผงฟอกขาวเลย ทำให้เกิดผลผลิตที่ไม่ผ่านคุณภาพออกมาจากกระบวนการผลิต จึงทำให้เกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นในการนำผลผลิตกลับไปเข้ากระบวนการเพื่อแก้ไขใหม่ ในการวิจัยครั้งนี้จึงจะเน้นไปที่การนำวัสดุเม็ดกลม 2 ชนิด ที่มีขนาดและมวลใกล้เคียงกันมาผ่านกระบวนการสั่นภาชนะบรรจุด้วยค่าที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดการผสมกันของวัสดุทั้ง 2 ชนิด ให้เข้ากันเป็นอย่างดี

1.1 จุดประสงค์ในการศึกษา

1. เพื่อทำการศึกษาผลของการสั่นภาชนะบรรจุต่อการผสมกันของเม็ดวัสดุ 2 ชนิด ที่มีขนาดและมวลใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เพื่อศึกษาผลของปรากฏการณ์การหมุนวนต่อการผสมกันของเม็ดวัสดุ 2 ชนิด ที่มีขนาดและมวลใกล้เคียงกัน

1.2 ขอบเขตของการศึกษา

1. ในการศึกษาจะใช้วิธีการจำลองเหตุการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation)

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

3. ในการศึกษาการผสมกันจะจำลองเหตุการณ์ให้มีวัสดุเม็ดกลมเพียง 2 ชนิด ที่มีขนาดและมวลใกล้เคียงกัน

4. ในการศึกษาจะทำการจำลองเหตุการณ์ให้ภาชนะที่ใช้บรรจุจะมีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยม และถูกสั่นขึ้นลงในแนวดิ่ง

1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา

1. สามารถนำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการการผสมกันในอุตสาหกรรมจริงได้

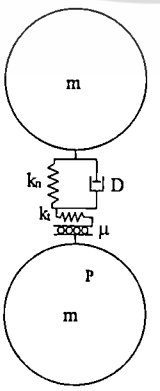
2. ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอุปกรณ์พิเศษที่ใช้ช่วยในการผสมกันของเม็ดวัสดุ 2 ชนิดได้ เนื่องจากใช้เพียงการสั่นขึ้นลงในแนวดิ่งเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

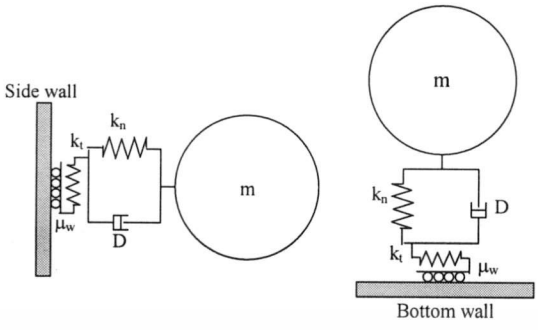
2.1 วิธีการจำลองเหตุการณ์แบบวัสดุเม็ดนิ่ม (Soft-Particle Method)

การที่วิธีการจำลองเหตุการณ์แบบวัสดุเม็ดนิ่ม (Granular Materials) [1] ถูกเลือกใช้ในงานวิจัยนี้ เนื่องจากจะทำให้สามารถเก็บข้อมูลต่างๆของแต่ละเม็ดวัสดุ เช่น ความเร็ว ตำแหน่ง แรงกระทำ และอื่นๆ ที่เวลาต่างๆได้ตลอดเวลาการวิเคราะห์ได้ ซึ่งการศึกษาด้วยการทดลองจริงไม่สามารถทำได้เนื่องจากข้อจำกัดต่างๆของเครื่องมือวัดและเซ็นเซอร์ต่างๆ นอกจากนี้การจำลองเหตุการณ์แบบวัสดุเม็ดนิ่มยังเป็นวิธีที่อนุญาตให้เม็ดวัสดุแต่ละเม็ดในระบบสามารถสัมผัสกับเม็ดวัสดุรอบๆตัวมันได้ครั้งละหลายๆเม็ดในเวลาเดียวกัน ยิ่งไปกว่านั้นยังอนุญาตให้ผิวสัมผัสมีเวลาในการสัมผัสกันได้นานกว่าการที่จะคิดว่า การสัมผัสกันแต่ละครั้งของเม็ดวัสดุเป็นแบบกระทบกัน (เวลาการกระทบกันสั้นมากๆ) ซึ่งจะใกล้เคียงกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริง หลักการพื้นฐานการคำนวณด้วยวิธีนี้คือใช้วิธี Discrete Element Method [2] โดยทำการจำลองว่าที่ผิวสัมผัสใดๆจะประกอบด้วย Linear spring, k_n ต่อขนานกับ Viscous dashpot, D ในแนวตั้งฉากกับผิวสัมผัส ส่วนในแนวขนานกับผิวสัมผัสประกอบไปด้วย Linear spring, k_t อีกตัวหนึ่งต่อกับ Frictional slider, μ_p และเม็ดวัสดุแต่ละเม็ดจะถูกบังคับไม่ให้หมุน ทำให้เม็ดวัสดุแต่ละเม็ดมีความยืดหยุ่นและไถลไปบนเม็ดวัสดุอื่นได้เพื่อ ให้เม็ดวัสดุมีความใกล้เคียงกับสภาพการณ์จริงมากที่สุดแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของผิวสัมผัสของเม็ดวัสดุ 2 เม็ดใดๆจะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.1 ในขณะที่แบบ จำลองทางคณิตศาสตร์ระหว่างเม็ดวัสดุที่อยู่ใกล้ๆกับผนังของกล่องสี่เหลี่ยมก็จะนำแบบจำลองในรูปที่ 1 ไปใช้ได้เพียงแต่เปลี่ยนค่า 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 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แบบจำลองระหว่างผิวสัมผัสของเม็ดวัสดุกับผนังด้านข้างและผนังด้านล่างของกล่อง

กระบวนการของวิธีนี้เริ่มจาก ณ เวลาใดๆ เริ่มแรกจะทำการคำนวณหาค่าแรงกระทำที่เกิดขึ้นบนเม็ดวัสดุแต่ละ เม็ดภายในระบบ ทั้งที่เกิดในแนวตั้งฉากและแนวขนานผิวสัมผัส หลังจากนั้นค่าความเร่งของเม็ดวัสดุแต่ละเม็ดก็จะถูกคำนวณด้วยกฎพื้นฐานข้อที่สองของนิวตัน ในที่สุดค่าความเร็วและตำแหน่งของเม็ดวัสดุแต่ละเม็ดก็จะถูกคิดคำนวณออกมา ต่อจากนั้นการคำนวณค่าต่างๆของเม็ดวัสดุในกล่องที่เวลาถัดไปก็จะถูกคำนวณซ้ำไปเรื่อยๆจน กว่าจะถึงเวลาสุดท้ายที่ตั้งไว้

สมการการที่ใช้ในการคำนวณ เป็นดังนี้

$$a_i = F_i/m_i \tag{1}$$

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

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

โดย

t1 คือ เวลาเริ่มต้นที่เริ่มพิจารณา

t2 คือ เวลาสุดท้ายที่พิจารณา

F_i คือ แรงที่กระทำบนเม็ดวัสดุเม็ดที่ i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ระบบที่จะทำการศึกษาจะถูกจำลองเป็นระบบ 2 มิติของเม็ดวัสดุ N เม็ดที่มีรูปร่างเป็นวงกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย d_0 เมตร และมีค่าการกระจายอยู่ระหว่าง 25% ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย กล่องที่ใช้ในการบรรจุเม็ดวัสดุจะมีขนาดความกว้าง W เมตร และมีความสูงเป็นอนันต์ กล่องจะถูกสั่นด้วยฟังก์ชั่นซายน์ในแนวดิ่งดังสมการ

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

โดย

A คือ ค่า amplitude ของการสั่น (เมตร)

f คือ ค่าความถี่ของการสั่น (รอบต่อวินาที)

t คือ ค่าของเวลา (วินาที)

ระบบที่ใช้ในการศึกษาจะถูกแสดงดังรูปที่ 3 ค่าต่างๆในระบบถูกกำหนดอยู่ในรูปตัวแปรไร้มิติ N, μ_p, μ_w, ε, $k_n/(\rho g d_0)$, A/d_0, $f/(g/d_0)^{0.5}$, $f\,(\text{time}-t_0)$ และ $\Gamma = A(2\pi f)^2/g$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย

N คือ จำนวนของเม็ดวัสดุในกล่อง (เม็ด)

μ_p คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างเม็ดวัสดุด้วยกัน

μ_w คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างเม็ดวัสดุกับผนังกล่อง

ε คือ ค่า Restitution coefficient

k_n คือ ค่านิจของสปริงในทิศทางตั้งฉากกับผิวสัมผัส (นิวตัน/เมตร)

ρ คือ ค่าความหนาแน่นของเม็ดวัสดุ (กิโลกรัม/ตารางเมตร)

g คือ ค่าแรงโน้มถ่วง = 9.81 เมตร/วินาที^{2}

d_o คือ ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดวัสดุในระบบ (เมตร)

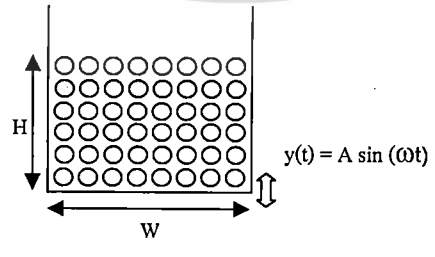
A คือ ค่าแอมปิจูดของการสั่น (เมตร)

f คือ ค่าความถี่ของการสั่น (รอบ/วินาที)

time คือ เวลาขณะใด (วินาที)

t_o คือ เวลาอ้างอิง (วินาที)

Γ คือ อัตราส่วนของค่าความเร่งของการสั่นของระบบต่อค่าแรงโน้มถ่วง



รูปที่ 2.3 แสดงแบบจำลองของเม็ดวัสดุเม็ดที่ถูกบรรจุในกล่องที่กำลังสั่นอยู่ในแนวดิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

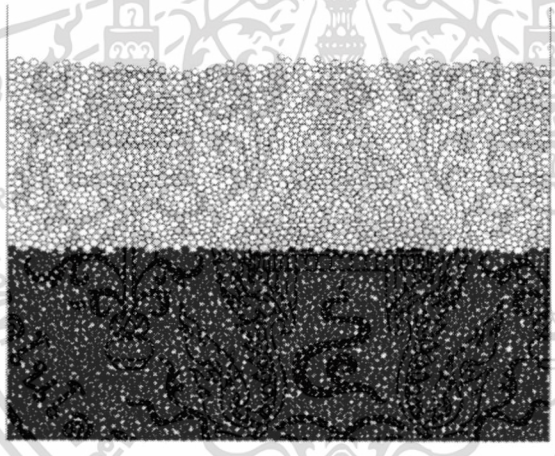
จากงานวิจัยจากผู้วิจัยหลายๆท่านทั้งการทดลองและวิธีจำลองเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบเม็ดวัสดุที่สั่นขึ้นลงอยู่ในแนวดิ่งมีอยู่ด้วยกันหลายๆงาน ดังในเอกสาร [3] - [6] ศึกษาการเคลื่อนที่ของระบบเม็ดวัสดุขนาดไม่เท่ากัน 2 ชนิด ซึ่งผสมกันอยู่ในภาชนะบรรจุที่กำลังสั่นอยู่ในแนวดิ่ง พบว่ากลุ่มเม็ดวัสดุเม็ดเล็กที่ส่วน บนจะเคลื่อนที่ลงสู่ด้านล่าง ส่วนกลุ่มเม็ดวัสดุเม็ดใหญ่ที่ส่วนล่างจะเคลื่อนที่ขึ้นสู่ด้านบน และในเอกสาร [7] ศึกษาการเคลื่อนที่ของระบบเม็ดวัสดุ 2 ชนิดที่มีขนาดเท่ากันแต่มีมวลไม่เท่ากันซึ่งผสมกันอยู่ในภาชนะบรรจุที่กำลังสั่นอยู่ในแนวดิ่ง พบว่ากลุ่มเม็ดวัสดุที่มีมวลมากกว่าจะเคลื่อนที่ขึ้นสู่ด้านบนส่วนกลุ่มเม็ดวัสดุที่มีมวลน้อยกว่ากลับเคลื่อนที่ลงสู่ด้านล่าง จากงานวิจัยที่กล่าวไปแล้วจะพบว่าการที่จะทำให้เกิดการผสมกันของเม็ดวัสดุทั้ง 2 ชนิดได้นั้น เม็ดวัสดุทั้ง 2 ชนิด ต้องมีลักษณะต่างกันทางกายภาย เช่น ขนาด หรือน้ำหนัก แต่ในงานอุตสาหกรรมนั้นบางครั้งระบบเม็ดวัสดุ 2 ชนิด ที่ต้องการนำมาผสมกันนั้น เม็ดวัสดุทั้ง 2 ชนิด จะมีขนาดและมวลที่ใกล้เคียงกันมาก ทำให้ยากที่จะผสมมันเข้าด้วยกันด้วยวิธีการสั่นภาชนะบรรจุ อย่างไรก็ดีในเอกสาร [8] กล่าวถึงวิธีการจำลองเหตุการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ว่า ปรากฏการณ์การหมุนวนหรือที่เรียกว่า Convection ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เม็ดของวัสดุที่อยู่ภายใต้การสั่นสะเทือนจะเคลื่อนไหวในรูปแบบของการหมุนวน จะช่วยให้เกิดการเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุในระบบได้ ซึ่งน่าจะทำให้เกิดการผสมกันของ ระบบเม็ดวัสดุ 2 ชนิด ที่มีขนาดและมวลที่ใกล้เคียงกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการศึกษาและผลการศึกษา

3.1 วิธีดำเนินการศึกษา

ในการศึกษาจะเริ่มด้วยการจำลองการบรรจุวัสดุ 2 ชนิดที่มีขนาดและมวลใกล้เคียงกันไว้ในกล่องบรรจุก่อน โดยให้วัสดุชนิดที่ 1 อยู่ส่วนล่างของกล่อง (เม็ดวัสดุสีดำทึบ) และวัสดุชนิดที่ 2 อยู่ส่วนบนของกล่อง (เม็ดวัสดุสีขาว) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยที่ตัวแปรต่างๆที่ใช้จะมีค่าดังนี้ N = 5,000 (เป็นวัสดุชนิดที่ 1 จำนวน 2,500 เม็ด และเป็นวัสดุชนิดที่ 2 จำนวน 2,500 เม็ด), $\mu_w/\mu_w = 4.5$, $\varepsilon = 0.8$, $A/d_0 = 0.35$, $f/(g/d_0)^{0.5} = 0.542$, $\Gamma = 4.0$ โดยเวลาที่จะใช้อ้างอิงในการเริ่มสังเกตการณ์เคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุในกล่องคือ $t_o = 0.4938$ s เพื่อให้แน่ใจว่าเม็ดวัสดุทุกเม็ดในกล่องเข้าสู่สภาวะหยุดนิ่งก่อนการสั่นเรียบร้อยแล้ว



รูปที่ 3.1 ระบบวัสดุเม็ดกลม 2 ชนิด ภายในภาชนะบรรจุ ณ เวลา $f\,(time-t_o) = 0$ โดยที่ $t_o = 0.4938$ s

ต่อจากนั้นให้ใช้วิธีการจำลองเหตุการณ์แบบวัสดุเม็ดนิ่ม และ วิธีค่าเฉลี่ยของเวคเตอร์ความเร็วแบบเวลายาวนาน (Long-time average of velocity) จะสามารถระบุได้โดยง่ายว่า เมื่อใดจะเกิดหรือไม่เกิดปรากฏการณ์การหมุนวนขึ้นในระบบ แล้วจะทำการเลือกค่าที่เหมาะสมสำหรับค่า $k_n/\rho g d_0$ ขึ้นมา 2 ค่า เพื่อเป็นตัวแทนของระบบที่ไม่พบปรากฏการณ์การหมุนวน และระบบที่พบปรากฏการณ์การหมุนวนในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นต่อไป ด้วยวิธีการจำลองเหตุการณ์แบบวัสดุเม็ดนิ่มจะทำการเก็บค่า 1) ตำแหน่งของเม็ดวัสดุแต่ละเม็ด และ 2) ขนาดของเม็ดวัสดุแต่ละเม็ด ณ เวลาต่างๆออกมา

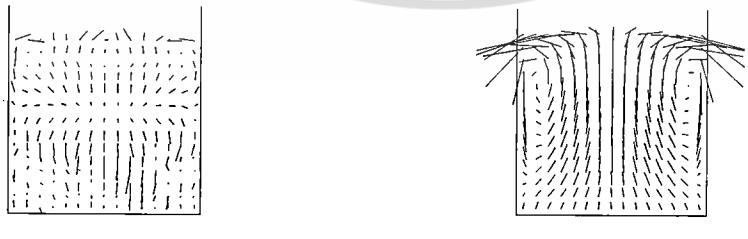
<u>หมายเหตุ</u> ตั้งแต่การดำเนินงานในขั้นแรกจนกระทั่งถึงขั้นนี้ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้จะเป็นโปรแกรมภาษา Fortran ซึ่งพัฒนาโดยผู้วิจัยในเอกสารอ้างอิง [1] และ [8] ร่วมกัน

ต่อจากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาสร้างเป็นรูปภาพของเวกเตอร์ความเร็วและตำแหน่งของเม็ดวัสดุทุกเม็ดภายในกล่องบรรจุ ณ เวลาต่างๆด้วยโปรแกรม Matlab เพื่อทำการสังเกตว่าปรากฏการณ์การหมุนวนจะช่วยให้เกิดการผสมกันของวัสดุทั้ง 2 ชนิดได้หรือไม่

ในที่สุดจะทำการสรุปผลการศึกษา และนำรูปภาพของเม็ดวัสดุทุกเม็ดภายในกล่องบรรจุ ณ เวลาต่างๆ ตลอดการจำลองเหตุการณ์ของทั้ง 2 กรณี (ไม่เกิดปรากฏการณ์การหมุนวนในระบบและเกิดปรากฏการณ์การหมุนวนในระบบ) มาทำการสร้างเป็น ไฟล์ภาพยนต์ ด้วยโปรแกรม Matlab เพื่อให้ง่ายต่อการนำเสนอในโปรแกรมพื้นฐานอื่นๆต่อไป

<u>3.2 ผลการศึกษา</u>

ด้วยการใช้วิธีการจำลองเหตุการณ์แบบวัสดุเม็ดนิ่ม และ วิธีค่าเฉลี่ยของเวคเตอร์ความเร็วแบบเวลายาวนาน ทำให้สามารถเลือกค่า $k_n/\rho g d_0 = 1{,}400$ ซึ่งเป็นตัวแทนของระบบที่ไม่พบการหมุนวน และ $k_n/\rho g d_0 = 140{,}000$ ซึ่งเป็นตัวแทนของระบบที่เกิดการหมุนวนที่รุนแรงที่สุด (ด้วยวิธีการคำนวณค่าความแรงของการหมุนวนดังเอกสารอ้างอิงที่ 8) รูปค่าเฉลี่ยของเวคเตอร์ความเร็วแบบเวลายาวนานดังในรูปที่ 3.2 แสดงให้เห็นว่ากรณี $k_n/\rho g d_0 = 1{,}400$ จะไม่พบการเกิดการหมุนวนเลย ส่วนกรณี $k_n/\rho g d_0 = 140{,}000$ จะเกิดการหมุนวนที่แรงมาก

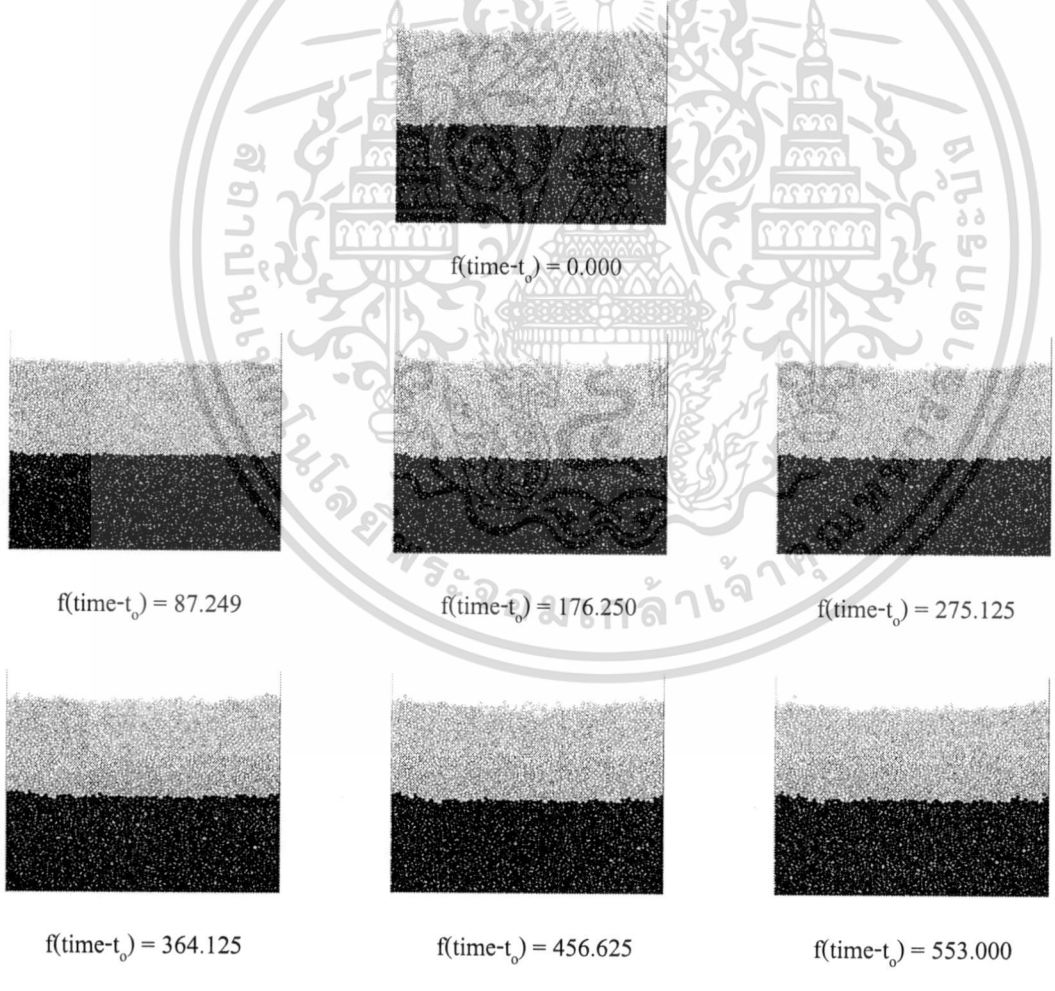


ก) ข)

รูปที่ 3.2 แสดงค่าเฉลี่ยของเวคเตอร์ความเร็วแบบเวลายาวนาน: ก) $k_n/\rho g d_0 = 1{,}400$ และ ข) $k_n/\rho g d_0 = 140{,}000$

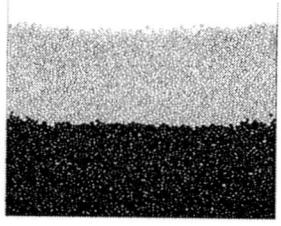
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อจากนั้นจึงทำการติดตามตำแหน่งของวัสดุแต่ละเม็ดในระบบที่เวลาต่างๆกัน เพื่อตรวจสอบดูว่าเกิดการผสมกันของวัสดุทั้ง 2 ชนิด อย่างไร ผลจากการติดตามตำแหน่งสำหรับกรณี $k_n/\rho g d_0 = 1{,}400$ ที่ไม่เกิดการหมุนวนในระบบ และกรณี $k_n/\rho g d_0 = 140{,}000$ ที่เกิดการหมุนวนในระบบ ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.3 และ 3.4 พบว่าในกรณีที่ไม่มีการหมุนวนช่วยวัสดุทั้ง 2 ชนิด จะไม่เกิดการผสมกันเลยและดูเหมือนว่าการสั่นแทบจะไม่ทำให้เม็ดวัสดุทั้ง 2 ชนิดในกล่องเกิดการเคลื่อนไหวเลย ส่วนในกรณีที่มีการหมุนวนเกิดขึ้นจะช่วยให้เม็ดวัสดุทั้ง 2 ชนิดในกล่องเกิดเคลื่อนไหวและเกิดการผสมเข้ากันอย่างดี เนื่องจากกระ-แสของการหมุนวนจะทำให้วัสดุชนิดที่ 1 ซึ่งอยู่ส่วนล่างของกล่องเคลื่อนที่ขึ้นไปทั่วส่วนบนของกล่อง และวัสดุชนิดที่ 2 ซึ่งอยู่ส่วนบนของกล่องเคลื่อนที่ลงไปทั่วส่วนล่างของกล่อง จนในที่สุดทำให้เกิดการผสมกันของวัสดุที่มีขนาดและมวลใกล้เคียงกันทั้ง 2 ชนิด

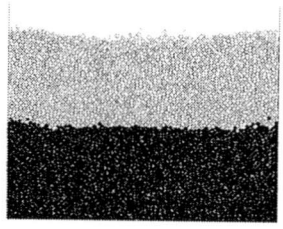


รูปที่ 3.3 แสดงตำแหน่งของเม็ดวัสดุทั้ง 2 ชนิด ที่เวลาต่างๆ (กรณี $k_n/\rho g d_0 = 1{,}400$) โดยที่ $t_o = 0.4938$ s

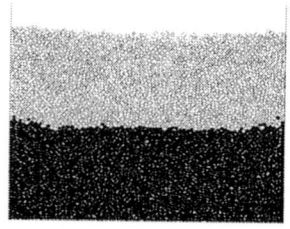
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



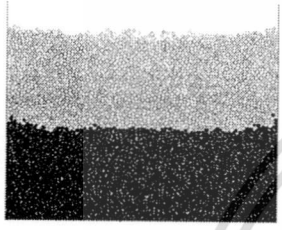
f(time-t_o) = 642.000



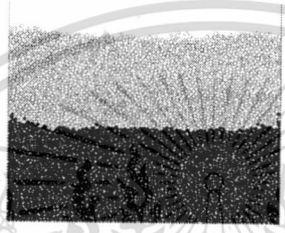
f(time-t_o) = 740.875



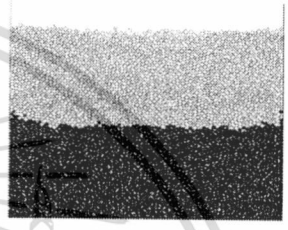
f(time-t_o) = 829.875



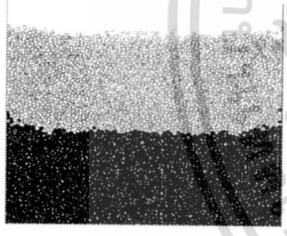
f(time-t_o) = 922.375



f(time-t_o) = 1,018.750



f(time-t_o) = 1,107.750



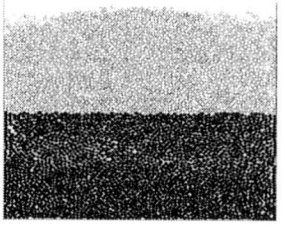
f(time-t_o) = 1,206.502

f(time-t_o) = 1,295.502

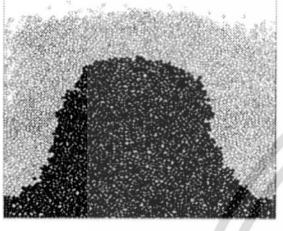
f(time-t_o) = 1,388.002

รูปที่ 3.3 (ต่อ)

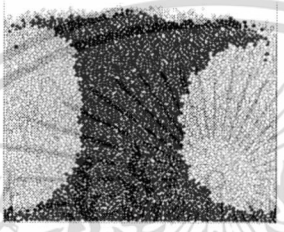
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



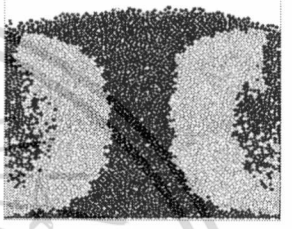
f(time-t_o) = 0.000



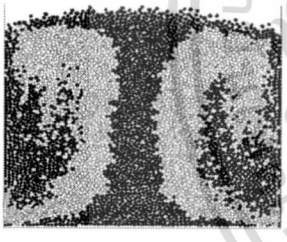
f(time-t_o) = 87.249



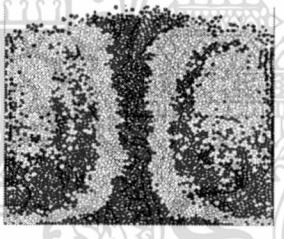
f(time-t_o) = 176.250



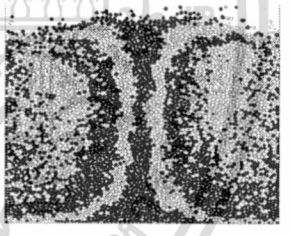
f(time-t_o) = 275.125



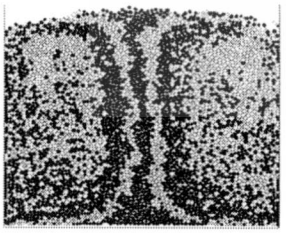
f(time-t_o) = 364.125



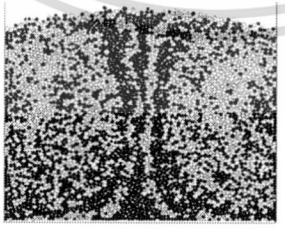
f(time-t_o) = 456.625



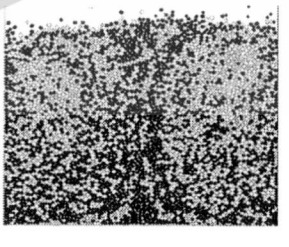
f(time-t_o) = 553.000



f(time-t_o) = 642.000



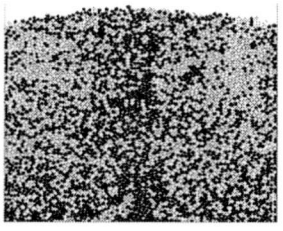
f(time-t_o) = 740.875



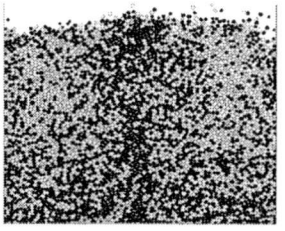
f(time-t_o) = 829.875

รูปที่ 3.4 แสดงตำแหน่งของเม็ดวัสดุทั้ง 2 ชนิด ที่เวลาต่างๆ (กรณี $k_n/\rho g d_0$ = 140,000) โดยที่ t_o = 0.4938 s

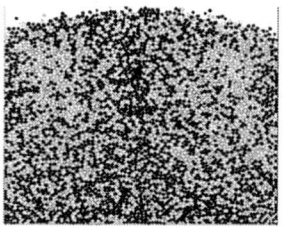
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



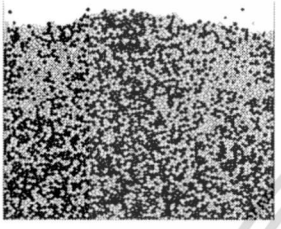
f(time-t_o) = 922.375



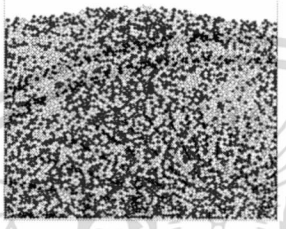
f(time-t_o) = 1,018.750



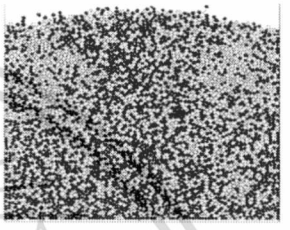
f(time-t_o) = 1,107.750



f(time-t_o) = 1,206.502



f(time-t_o) = 1,295.502



f(time-t_o) = 1,388.002

รูปที่ 3.4 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
อภิปรายผลการศึกษาและวิจารณ์

จากผลการศึกษาพบว่า กระแสของปรากฏการณ์การหมุนวนจะทำให้เม็ดวัสดุบริเวณตรงกลางของกล่องบรรจุในแนวตั้งเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นในแนวตั้ง ต่อจากนั้นเมื่อเม็ดวัสดุเหล่านี้เคลื่อนที่ขึ้นไปถึงบริเวณผิวอิสระที่ด้านบนของระบบเม็ดวัสดุแล้วก็จะเกิดการเคลื่อนที่แยกออกเป็น 2 ทางตรงไปยังผนังด้านข้างของกล่องทั้ง 2 ด้าน หลังจากนั้นเมื่อเม็ดวัสดุเคลื่อนที่ไปถึงผนังด้านข้างแล้วก็จะเคลื่อนที่ลงในแนวดิ่งไปตามผิวผนังด้านข้าง แล้วจะเคลื่อนที่ขึ้นไปยังตรงกลางของกล่องอีก แล้วก็จะเคลื่อนที่ขึ้นไปในแนวดิ่งอีกโดยมีแนวโน้มเคลื่อนที่หมุนวนเข้าไปสู่จุดศูนย์กลางการหมุนนั่นเอง

ดังขั้นตอนของปรากฏการณ์หมุนวนที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น จะมีผลทำให้วัสดุชนิดที่ 1 ซึ่งอยู่บริเวณด้านล่างของกล่องขณะเริ่มต้นเคลื่อนที่ไปตามกระแสการหมุนวนนี้ และจะเคลื่อนที่หมุนวนไปยังส่วนครึ่งบนของกล่องบรรจุ ส่วนวัสดุชนิดที่ 2 ซึ่งอยู่บริเวณด้านบนของกล่องขณะเริ่มต้น ก็จะเคลื่อนที่หมุนวนลงไปยังส่วนครึ่งล่างของกล่องบรรจุ ในที่สุดวัสดุทั้ง 2 ชนิด ก็จะเกิดการผสมกันเข้าอย่างดี ซึ่งต้องอาศัยเวลาที่เหมาะสมในการผสมกันด้วย

ส่วนระบบที่ไม่มีการหมุนวนเกิดขึ้นนั้น จากผลการจำลองเหตุการณ์แสดงให้เห็นว่าไม่ว่ากล่องจะสั่นไปนานเท่าไรก็ตามวัสดุชนิดที่ 1 ก็ยังคงอยู่ที่บริเวณส่วนล่างของกล่อง และวัสดุชนิดที่ 2 ก็จะยังอยู่บริเวณส่วนบนของกล่องเสมอ ทำให้ไม่เกิดการผสมกันเลยของวัสดุทั้ง 2 ชนิด

ด้วยวิธีการจำลองเหตุการณ์แบบวัสดุเม็ดนิ่มได้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ปรากฏการณ์การหมุนวนที่เกิดขึ้นในระบบสามารถช่วยให้วัสดุ 2 ชนิด ที่มีขนาดและมวลที่ใกล้เคียงกันเกิดการผสมกันเข้าได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

ด้วยการศึกษาการผสมกันของวัสดุ 2 ชนิด ที่มีขนาดและมวลใกล้เคียงกัน พบว่าถ้าต้องการให้เกิดการผสมกันของวัสดุทั้ง 2 ชนิด จำเป็นต้องอาศัยปรากฏการณ์การหมุนวนเข้าช่วย ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมจริงได้เพื่อให้เกิดการผสมกันเข้าของวัสดุใดๆ 2 ชนิด ที่มีขนาดและมวลที่ใกล้เคียงกันด้วยวิธีการสั่นระบบขึ้นลงในแนวดิ่งเพียงอย่างเดียวโดยที่ไม่ต้องใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์อื่นๆ เช่น ใบกวน เข้าช่วย ด้วยการตั้งค่าการสั่นในแนวดิ่งและเวลาที่ใช้ในการสั่นที่เหมาะสมกับระบบ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของระบบของเม็ดวัสดุที่ต้องการนำมาผสมกัน เช่น ความแข็งของวัสดุชนิดต่างๆที่ต้องการนำมาผสมกัน, ขนาดของภาชนะบรรจุ หรือปริมาณของวัสดุแต่ละชนิดที่ต้องการนำมาผสมกัน

อย่างไรก็ดี การศึกษาในครั้งนี้ยังไม่สามารถทำให้ทราบได้ว่า เม็ดวัสดุที่มีความแข็งต่างๆกันต้องการความแรงในการหมุนวนและระยะเวลาในการเขย่าหรือสั่นนานเท่าไรเพื่อให้เกิดการผสมกันของวัสดุ 2 ชนิด ที่มีขนาดและมวลใกล้เคียงกันอย่างดี ซึ่งยังต้องทำการศึกษาต่อไปในอนาคตเพื่อที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมเพื่อจุดประสงค์ในการลดการใช้พลังงาน และค่าใช้จ่าย ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] C.S. Campbell, "Shear flows of granular materials," Ph.D. Thesis, California Institute of Technology (1982).

[2] P.A. Cundall and O.D.L.Strack, "A discrete numerical model for granular assemblies," Geotechnique **29** (1979).

[3] A. Rosato, K.J. Strandburg, F. Prinz and R.H. Swendsen, "Why the Brazil nuts are on top: Size segregation of particulate matter by shaking," Phys. Rev. letters **58**, 1038 (1987).

[4] B.K. James, H.M. Jaeger and R.N. Sidney, "Vibration-induced size separation in granular media: The convection connection," Phys. Rev.Letters **70**, 3728 (1993).

[5] J. Duran, T. Mazozi, E. Clement and J. Rajchenbach, "Decompaction modes of a two-dimensional sandpile under vibration: Model and experiments," Phys. Rev.E, **50**, 3092 (1994).

[6] S.S. Hsiau and H.Y. Yu, " Segregation phenomena in a shaker," Powder technology **93**, 83 (1997).

[7] S. Troy and J.M. Fernando, "Reverse buoyancy in shaken granular beds," Phys. Rev.Letters **81**, 4365 (1998).

[8] S. Klongboonjit, "The effects of particle elasticity on the convection in deep vertically shaken particle beds," Ph.D. Thesis, University of Southern California (2005).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ภาคผนวก ก
บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

114484

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ISSN 0125-1724

LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL

วิศวสารลาดกระบัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

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

ปีที่ 26 ฉบับที่ 4 ธันวาคม 2552

วิศวกรรมโทรคมนาคม

1. การสื่อสารระหว่างยานพาหนะโดยใช้โปรโตคอล MIMO CSMA/CA 1
ชนิดาภา สงวนพวก เศรษฐกร กำเนิอง อรุณวัชร์ กรำชาคา สุวิพล สิทธิชีวภาค
2. วงจร CCDDCCs ปรับค่าได้ด้วยการะแสและการประยุกต์ใช้งานเป็นวงจรกรองความถี่สองรูปแบบ 7
ภัทรศินีย์ ลนามชัยสกุล มนตรี สมดุลยกานก พิพัฒน์ พรหมมี
3. วงจรกรองความถี่หลายหน้าที่และวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบควอดเดรเจอร์โดยใช้ CDTAs 13
พัชริยาภรณ์ จินาวัลย์ มนตรี สมดุลยกานก พิพัฒน์ พรหมมี
4. เทคนิคการจัดระยะห่างช่องสัญญาณแบบ ERAUS ในระบบส่งสัญญาณ DWDM 19
วีรวุฒิ ราชณรงค์ สุทธิชัย นพนาคีพงษ์

วิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง

5. การปรับปรุงอัลกอริธึมการควบคุมกระแสแบบโดยอ้อมควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอรวมกับตัวควบคุมเรโซแนนซ์ของวงจรกรองกำลังแอคทีฟ 25
สมเกียรติ คงคะชาติ วิจิตร กิณเรศ

วิศวกรรมอุตสาหการ

6. การศึกษาอิทธิพลของปรากฏการณ์การหมุนวนกับการผสมกันของระบบวัสดุเม็ดกลมในภาชนะบรรจุเชิง 2 มิติ ด้วยเทคนิคการจำลองเหตุการณ์แบบวัสดุเม็ดนิ่ม 31
สกนธ์ คล่องบุญจิต

วิศวกรรมเครื่องกล

7. ผลของความหยาบผิวต่อการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิกในรองลื่นกันรุนด้วยสารหล่อลื่นนอนนิวโตเนี่ยน 37
ชนิษฐา วงษ์สีดานก้า

วิศวกรรมเคมี

8. การศึกษากระบวนการล้างชิ้นส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต 43
ปิยวุฒิ บาคโค้ง สุรัตน์ อารีรัตน์

วิศวกรรมการวัดและควบคุม

9. การศึกษาสัญญาณรบกวนคอมมอนโหมดในวงจรยาล์ฟบริตช์และฟูลบริตช์คอนเวอร์เตอร์ 49
สุรียัน ศรีมาตย์ นนทวัฒน์ จุลเดชะ โยธิน เปรมปราณีรัชต์

http://www.kmitl.ac.th/lej

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ISSN 0125-1724

วิศวสารลาดกระบัง

LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL

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

คณะวิศวกรรมศาสตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Volume 26 Number 4 December 2009

Telecommunication Engineering

1. Inter Vehicle Communication by Using MIMO CSMA/CA Protocol 1
C. Sanguanpuak S. Kamuang A. Kramtoda and S. Sittichevapak
2. Current-Controlled Differential Difference Current Conveyor Dual-Mode Universal Filter and Its Application 7
P. Sanamchaisakul M. Somdunyakanok and P. Prommee
3. Universal Filter and Its Quadrature Sinusoidal Oscillator Based on CDTAs 13
P. Jinawan M. Somdunyakanok and P. Prommee
4. A Technique of ERAUS for Spaced Channel Allocation in DWDM Transmission Systems 19
V. Rachnarong and S. Noppanakeepong

Electrical Power Engineering

5. Improvement of Indirect Current Control Algorithm Using Proportional Integral-Resonant Controller in Active Power Filters 25
S. Kongkachat and V. Kinnares

Industrial Engineering

6. Study the Effect of Convection Phenomenon on the Mixing of Granular Materials in 2-D Container with Soft-Particle Method 31
S. Klongboonjit

Mechanical Engineering

7. Effect of Surface Roughness on Hydrodynamic Lubrication in Thrust Bearing with Non-Newtonian Lubricant 37
K. Wongseedakaew

Chemical Engineering

8. Study on Hard Disk Drive Assembly Parts Cleaning Process by Using Supercritical Carbon Dioxide 43
P. Maskong and S. Areerat

Instrumentation & Control Engineering

9. Study on Common-Mode Noise in Half-Bridge and Full-Bridge Converters 49
S. Srimat N. Chuladaycha and Y. Prempraneerach

http://www.kmitl.ac.th/lej

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาอิทธิพลของปรากฏการณ์การหมุนวนกับการผสมกัน ของระบบวัสดุเม็ดกลมในภาชนะบรรจุเชิง 2 มิติ ด้วยเทคนิคการจำลองเหตุการณ์แบบวัสดุเม็ดนิ่ม

Study the Effect of Convection Phenomenon on the Mixing of Granular Materials in 2-D Container with Soft-Particle Method

สกนธ์ คล่องบุญจิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
E-mail: sakonklong@hotmail.com

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของปรากฏการณ์การหมุนวนต่อการผสมกันของวัสดุเม็ดกลม 2 ชนิด ที่มีขนาดและมวลใกล้เคียงกันภายในภาชนะบรรจุ 2 มิติ ที่กำลังสั่นขึ้นลงอยู่ในแนวดิ่ง โดยใช้วิธีการจำลองเหตุการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ ด้วยเทคนิคการจำลองเหตุการณ์แบบวัสดุเม็ดนิ่ม แสดงให้เห็นว่าในระบบที่ตั้งค่าการสั่นจนกระทั่งเกิดปรากฏการณ์การหมุนวนจะช่วยให้วัสดุเม็ดกลมทั้ง 2 ชนิด เกิดการผสมเข้าด้วยกันอย่างดีเมื่อเวลาผ่านไป ส่วนระบบที่ตั้งค่าการสั่นไว้ไม่ให้เกิดปรากฏการณ์การหมุนวนนั้นวัสดุเม็ดกลมทั้ง 2 ชนิด แทบจะไม่เกิดเคลื่อนที่เลยทำให้ไม่เกิดการผสมกันของวัสดุเม็ดกลมทั้ง 2 ชนิด เลย

คำสำคัญ : วัสดุเม็ดกลม 2 ชนิด,กระบวนการผสมกัน, ปรากฏการณ์การหมุนวน, เทคนิคการจำลองเหตุการณ์แบบวัสดุเม็ดนิ่ม

Abstract

In this study, the effect of convection phenomenon on the mixing of two types of granular materials that have the same size and mass is studied. These granular materials are contained in the 2-D container and this system is under vertically vibration. With computer simulation technique, the soft-particle method is applied to this system. The simulation results show that if the system parameters are properly set so that convection occurs in the system, these two materials are mixed together very well when the time passing. In the system without convection, two materials hardly move so that they are obviously not mixed together.

Keywords : Two types of granular material, Mixing process, Convection phenomenon, Soft – particle method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

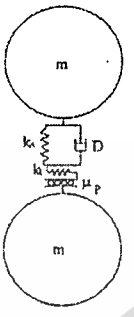
วัสดุประเภท Granular materials ซึ่งก็คือวัสดุที่ประกอบไปด้วยวัสดุแข็งเม็ดเล็กๆมากมาย และช่องว่างระหว่างวัสดุเม็ดเล็กๆนี้ก็จะเติมไปด้วยของไหล เช่น น้ำ หรือ อากาศ ถือเป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากวัตถุดิบส่วนใหญ่ที่ถูกใช้ในกระบวนการต่างๆทางอุตสาหกรรมก็อยู่ในรูปของวัสดุเม็ดกลมเล็กๆ เช่น ทราย เม็ดพลาสติก อาหารอัดเม็ด และอื่นๆ และในกระบวนการผลิตนั้นวัตถุดิบต่าง ๆ ก็อาจจะถูกนำไปผ่านกระบวนการเขย่าหรือสั่นเพื่อให้เกิดการผสมกัน จากงานวิจัยจากผู้วิจัยหลายๆท่านทั้งการทดลองและวิธีจำลองเหตุการณ์ ในเอกสาร [1] - [4] ศึกษาการเคลื่อนที่ของระบบเม็ดวัสดุขนาดไม่เท่ากัน 2 ชนิด ซึ่งผสมกันอยู่ในภาชนะบรรจุที่กำลังสั่นอยู่ในแนวดิ่ง พบว่ากลุ่มเม็ดวัสดุเม็ดเล็กที่ส่วนบนจะเคลื่อนที่ลงสู่ด้านล่าง ส่วนกลุ่มเม็ดวัสดุเม็ดใหญ่ที่ส่วนล่างจะเคลื่อนที่ขึ้นสู่ด้านบน และในเอกสาร [5]ศึกษาการเคลื่อนที่ของระบบเม็ดวัสดุ 2 ชนิดที่มีขนาดเท่ากันแต่มีมวลไม่เท่ากันซึ่งผสมกันอยู่ในภาชนะบรรจุที่กำลังสั่นอยู่ในแนวดิ่ง พบว่ากลุ่มเม็ดวัสดุที่มีมวลมากกว่าจะเคลื่อนที่ขึ้นสู่ด้านบน ส่วนกลุ่มเม็ดวัสดุที่มีมวลน้อยกว่ากลับเคลื่อนที่ลงสู่ด้านล่าง จากงานวิจัยที่กล่าวไปแล้วจะพบว่าการที่จะทำให้เกิดการผสมกันของเม็ดวัสดุทั้ง 2 ชนิดได้นั้น เม็ดวัสดุทั้ง 2 ชนิด ต้องมีลักษณะต่างกันทางกายภาพ เช่น ขนาด หรือน้ำหนัก แต่ในงานอุตสาหกรรมนั้นบางครั้งระบบเม็ดวัสดุ 2 ชนิด ที่ต้องการนำมาผสมกันนั้น เม็ดวัสดุทั้ง 2 ชนิด จะมีขนาดและมวลที่ใกล้เคียงกันมาก ทำให้ยากที่จะผสมมันเข้าด้วยกันด้วยวิธีการสั่นภาชนะบรรจุ อย่างไรก็ดีในเอกสาร [6] กล่าวถึงวิธีการจำลองเหตุการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ว่า ปรากฏการณ์การหมุนวนหรือที่เรียกว่า Convection ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เม็ดของวัสดุที่อยู่ภายใต้การสั่นสะเทือนจะเคลื่อนไหวในรูปแบบของการหมุนวน จะช่วยให้เกิดการเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุในระบบได้ ซึ่งน่าจะทำให้เกิดการผสมกันของระบบเม็ดวัสดุ 2 ชนิด ที่มีขนาดและมวลที่ใกล้เคียงกันได้

ในงานวิจัยนี้ จะทำการศึกษาระบบ 2 มิติ ของเม็ดวัสดุ 2 ชนิด ที่มีขนาดและมวลที่ใกล้เคียงกันจำนวนหนึ่งที่ถูกใส่ไว้ในกล่องสี่เหลี่ยมซึ่งอยู่ภาย ใต้การสั่นตามแนวดิ่ง ด้วยเทคนิคการจำลองเหตุการณ์แบบวัสดุเม็ดนิ่ม (Soft-particle method) ซึ่งจุดประสงค์ในการศึกษาก็คือใช้วิธีการจำลองเหตุการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer simulation method) มาทำการวิเคราะห์ผลการเกิดปรากฏการณ์การหมุนวนว่าจะสามารถช่วยให้วัสดุทั้ง 2 ชนิดผสมกันได้หรือไม่ การที่ใช้วิธีการจำลองเหตุการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์แทนการทดลองจะทำให้สามารถเก็บข้อมูลของระบบที่เวลาต่างๆได้ตลอดเวลาการทดลองมาทำการวิเคราะห์ได้

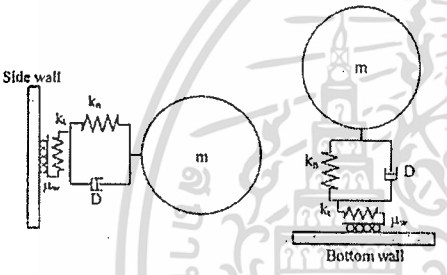
2. แนวคิดและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การที่วิธีการจำลองเหตุการณ์แบบวัสดุเม็ดนิ่ม [7] ถูกเลือกใช้ เนื่องจากเป็นวิธีที่อนุญาตให้เม็ดวัสดุแต่ละเม็ดในระบบสามารถสัมผัสกับเม็ดวัสดุรอบๆตัวมันได้ครั้งละหลายๆเม็ดในเวลาเดียวกัน ซึ่งไปกว่านั้นยังอนุญาตให้ผิวสัมผัสมีเวลาในการสัมผัสกันได้นานกว่าการที่จะคิดว่าการสัมผัสกันแต่ละครั้งของเม็ดวัสดุเป็นแบบกระทบกัน (เวลาการกระทบกันสั้นมากๆ) ซึ่งจะใกล้เคียงกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริง หลักการพื้นฐานการคำนวณด้วยวิธีนี้คือใช้วิธี Discrete Element Method [8] โดยทำการจำลองว่าที่ผิวสัมผัสใดๆจะประกอบด้วย Linear spring, k_n ต่อขนานกับ Viscous dashpot, D ในแนวตั้งฉากกับผิวสัมผัส ส่วนในแนวขนานกับผิวสัมผัสประกอบไปด้วย Linear spring, k_t อีกตัวหนึ่งต่อกับ Frictional slider, μ_p และเม็ดวัสดุแต่ละเม็ดจะถูกบังคับไม่ให้หมุน ทำให้เม็ดวัสดุแต่ละเม็ดมีความยืดหยุ่นและไถลไปบนเม็ดวัสดุอื่นได้เพื่อให้เม็ดวัสดุมีความใกล้เคียงกับสภาพการณ์จริงมากที่สุด แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของผิวสัมผัสของเม็ดวัสดุ 2 เม็ดใดๆจะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1 ในขณะที่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระหว่างเม็ดวัสดุที่อยู่ใกล้ๆกับผนังของกล่องสี่เหลี่ยมก็จะนำแบบจำลองในรูปที่ 1 ไปใช้ได้เพียงแต่เปลี่ยนค่า ส.ป.ส. ระหว่างเม็ดวัสดุกับเม็ดวัสดุ μ_p เป็นค่า ส.ป.ส. ระหว่างเม็ดวัสดุกับผนัง μ_w แทน ดังในรูปที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 แบบจำลองระหว่างผิวสัมผัสของเม็ดวัสดุ 2 เม็ด



รูปที่ 2 แบบจำลองระหว่างผิวสัมผัสของเม็ดวัสดุ กับผนังด้านข้างและผนังด้านล่างของกล่อง

กระบวนการของวิธีนี้เริ่มจาก ณ เวลาใดๆ เริ่มแรกจะทำการคำนวณหาค่าแรงกระทำที่เกิดขึ้นบนเม็ดวัสดุแต่ละเม็ดภายในระบบ ทั้งที่เกิดในแนวดิ่งจากและแนวขนานผิวสัมผัส หลังจากนั้นค่าความเร่งของเม็ดวัสดุแต่ละเม็ดก็จะถูกคำนวณด้วยกฎพื้นฐานข้อที่สองของนิวตัน ในที่สุดค่าความเร็วและตำแหน่งของเม็ดวัสดุแต่ละเม็ดก็จะถูกคิดคำนวณออกมา ต่อจากนั้นการคำนวณค่าต่างๆของเม็ดวัสดุในกล่องที่เวลาถัดไปก็จะถูกคำนวณซ้ำไปเรื่อยๆจนกว่าจะถึงเวลาสุดท้ายที่ตั้งไว้

สมการการที่ใช้ในการคำนวณ เป็นดังนี้

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

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

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

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, ...

ระบบที่จะทำการศึกษาจะถูกจำลองเป็นระบบ 2 มิติ ของเม็ดวัสดุ N เม็ดที่มีรูปร่างเป็นวงกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย d_0 เมตร และมีค่าการกระจายอยู่ระหว่าง 25% ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย กล่องที่ใช้ในการบรรจุเม็ดวัสดุจะมีขนาดความกว้าง W เมตร และมีความสูงเป็นอนันต์ กล่องจะถูกสั่นด้วยฟังก์ชั่นซายน์ในแนวดิ่งดังสมการ

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

โดย

A คือ ค่า amplitude ของการสั่น (เมตร)

f คือ ค่าความถี่ของการสั่น (รอบต่อวินาที)

t คือ ค่าของเวลา (วินาที)

ระบบที่ใช้ในการศึกษาจะถูกแสดงดังรูปที่ 3 ค่าต่างๆในระบบถูกกำหนดอยู่ในรูปตัวแปรไร้มิติ N, μ_p, μ_w, ε, $k_n/(\rho g d_0)$, A/d_0, $f/(g/d_0)^{0.5}$, f (time-t_0) และ $\Gamma = A(2\pi f)^2/g$

โดย

N คือ จำนวนของเม็ดวัสดุในกล่อง (เม็ด)

μ_p คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างเม็ดวัสดุด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

μ_w คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างเม็ดวัสดุกับผนังกล่อง

ε คือ ค่า Restitution coefficient

k_n คือ ค่านิจของสปริงในทิศทางตั้งฉากกับผิวสัมผัส(นิวตัน/เมตร)

ρ คือ ค่าความหนาแน่นของเม็ดวัสดุ (กิโลกรัม/ตารางเมตร)

g คือ ค่าแรงโน้มถ่วง = 9.81 เมตร/วินาที^{2}

d_0 คือ ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดวัสดุในระบบ (เมตร)

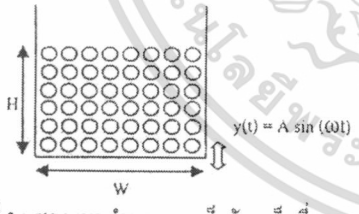
A คือ ค่าแอมปิจูดของการสั่น (เมตร)

f คือ ค่าความถี่ของการสั่น (รอบ/วินาที)

time คือ เวลาขณะใด (วินาที)

t_0 คือ เวลาอ้างอิง (วินาที)

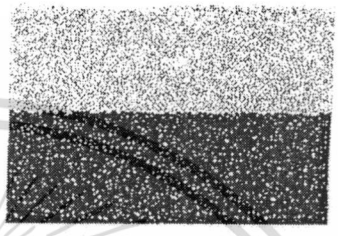
Γ คือ อัตราส่วนของค่าความเร่งของการสั่นของระบบต่อค่าแรงโน้มถ่วง



รูปที่ 3 แสดงแบบจำลองของเม็ดวัสดุเม็ดที่ถูกบรรจุในกล่องที่กำลังสั่นอยู่ในแนวดิ่ง

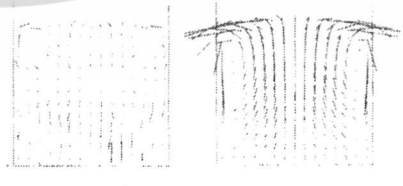
3. ผลการคำนวณ

ในการศึกษาเริ่มด้วยการจำลองการบรรจุวัสดุ 2 ชนิดที่มีขนาดและมวลใกล้เคียงกันไว้ในกล่องบรรจุก่อน โดยให้วัสดุชนิดที่ 1 อยู่ส่วนล่างของกล่องและวัสดุชนิดที่ 2 อยู่ส่วนบนของกล่องดังแสดงในรูปที่ 4 และให้ตัวแปรต่างๆที่ใช้มีค่าดังนี้ N = 5,000 (เป็นวัสดุชนิดที่ 1 จำนวน 2,500 เม็ด และเป็นวัสดุชนิดที่ 2 จำนวน 2,500 เม็ด), μ_w/μ_w = 4.5, ε = 0.8, A/d_0 = 0.35, $f/(g/d_0)^{0.5}$ = 0.542, Γ = 4.0



รูปที่ 4 ระบบวัสดุเม็ดกลม 2 ชนิด ภายในภาชนะบรรจุ ณ เวลา f (time-t_0) = 0 โดยที่ t_0 = 0.4938 s

ด้วยการจำลองเหตุการณ์แบบวัสดุเม็ดนิ่ม และวิธีค่าเฉลี่ยของเวคเตอร์ความเร็วแบบเวลายาวนาน (Long-time average of velocity) จะสามารถระบุได้โดยง่ายว่าเมื่อใดจะเกิดหรือไม่เกิดปรากฏการณ์การหมุนวนขึ้นในระบบ ในการศึกษาครั้งนี้จะเปรียบเทียบการผสมกันของวัสดุทั้ง 2 ชนิด โดยจะกำหนดค่า $k_n/\rho g d_0$ = 1,400 ซึ่งเป็นกรณีที่ไม่เกิดการหมุนวน และ $k_n/\rho g d_0$ = 140,000 ซึ่งเป็นกรณีที่เกิดการหมุนวนรุนแรงที่สุดตามเอกสาร [6] รูปที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยของเวคเตอร์ความเร็วแบบเวลายาวนาน เพื่อแสดงให้เห็นว่ากรณี $k_n/\rho g d_0$ = 1,400 จะไม่พบการเกิดการหมุนวนเลย ส่วนกรณี $k_n/\rho g d_0$ = 140,000 จะเกิดการหมุนวนที่แรงมาก

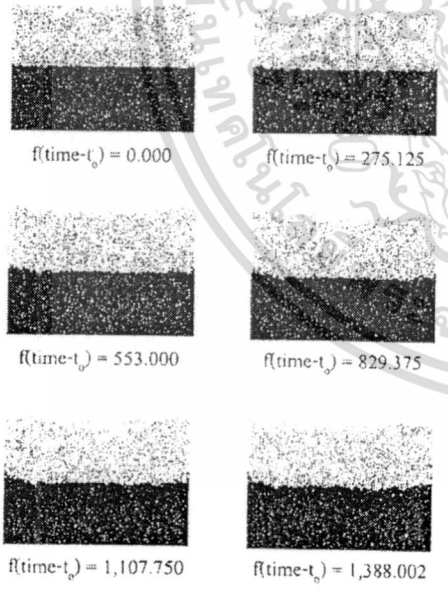


ก) ข)

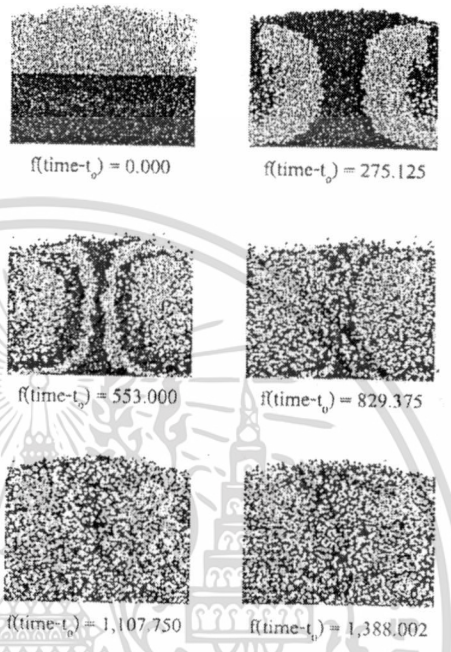
รูปที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยของเวคเตอร์ความเร็วแบบเวลายาวนาน: ก) $k_n/\rho g d_0$ = 1,400 และ ข) $k_n/\rho g d_0$ = 140,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อจากนั้นจึงทำการติดตามตำแหน่งของวัสดุแต่ละเม็ดในระบบที่เวลาต่างๆกัน เพื่อตรวจสอบดูว่าเกิดการผสมกันของวัสดุทั้ง 2 ชนิด อย่างไร ผลจากการติดตามตำแหน่งสำหรับกรณี $k_n/\rho g d_0 = 1,400$ ที่ไม่เกิดการหมุนวนในระบบ และกรณี $k_n/\rho g d_0 = 140,000$ ที่เกิดการหมุนวนในระบบ ซึ่งแสดงในรูปที่ 6 และ 7 พบว่าในกรณีที่ไม่มีการหมุนวนช่วยวัสดุทั้ง 2 ชนิด จะไม่เกิดการผสมกันเลยและดูเหมือนว่าการสั่นแทบจะไม่ทำให้เม็ดวัสดุทั้ง 2 ชนิดในกล่องเกิดการเคลื่อนไหวเลย ส่วนในกรณีที่มีการหมุนวนเกิดขึ้นจะช่วยให้เม็ดวัสดุทั้ง 2 ชนิด ในกล่องเกิดเคลื่อนไหวและเกิดการผสมเข้ากันอย่างดี เนื่องจากกระแสของการหมุนวนจะทำให้วัสดุชนิดที่ 1 ซึ่งอยู่ส่วนล่างของกล่องเคลื่อนที่ขึ้นไปทั่วส่วนบนของกล่อง และวัสดุชนิดที่ 2 ซึ่งอยู่ส่วนบนของกล่องเคลื่อนที่ลงไปทั่วส่วนล่างของกล่อง จนในที่สุดทำให้เกิดการผสมกันของวัสดุที่มีขนาดและมวลใกล้เคียงกันทั้ง 2 ชนิด



รูปที่ 6 แสดงตำแหน่งของเม็ดวัสดุทั้ง 2 ชนิด ที่เวลาต่างๆ (กรณี $k_n/\rho g d_0 = 1,400$) โดยที่ $t_0 = 0.4938$ s



รูปที่ 7 แสดงตำแหน่งของเม็ดวัสดุทั้ง 2 ชนิด ที่เวลาต่างๆ (กรณี $k_n/\rho g d_0 = 140,000$) โดยที่ $t_0 = 0.4938$ s

4. สรุป

ด้วยวิธีการจำลองเหตุการณ์แบบวัสดุเม็ดนิ่มได้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ปรากฏการณ์การหมุนวนที่เกิดขึ้นในระบบสามารถช่วยให้วัสดุ 2 ชนิด ที่มีขนาดและมวลที่ใกล้เคียงกันเกิดการผสมกันเข้าได้เป็นอย่างดี ผลที่ได้จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้อาจจะถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมที่ต้องการให้เกิดการผสมกันเข้าของวัสดุใดๆ 2 ชนิด ที่มีขนาดและมวลที่ใกล้เคียงกันได้ด้วยการตั้งค่าการสั่นในแนวดิ่งและช่วงเวลาที่ใช้ในการสั่นที่เหมาะสม ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของระบบของเม็ดวัสดุที่ต้องการนำมาผสมกัน เช่น ความแข็งของวัสดุชนิดต่างๆที่ต้องการนำมาผสมกัน, ขนาดของภาชนะบรรจุ หรือปริมาณของวัสดุแต่ละชนิดที่ต้องการนำมาผสมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในครั้งนี้สามารถดำเนินการเสร็จสิ้นไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับเงินทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทางผู้ทำการวิจัยจึงใคร่ขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] A. Rosato, K.J. Strandburg, F. Prinz and R.H. Swendsen, "Why the Brazil nuts are on top: Size segregation of particulate matter by shaking," Phys. Rev. letters, 1987, 58 pp.1038.

[2] B.K. James, H.M. Jaeger and R.N. Sidney, "Vibration-induced size separation in granular media: The convection connection," Phys. Rev.Letters, 1993, 70 pp. 3728.

[3] J. Duran, T. Mazozi, E. Clement and J. Rajchenbach, "Decompaction modes of a two-dimensional sandpile under vibration: Model and experiments," Phys. Rev.E, 1994, 50 pp. 3092.

[4] S.S. Hsiau and H.Y. Yu, " Segregation phenomena in a shaker," Powder technology, 1997, 93 pp. 83.

[5] S. Troy and J.M. Fernando, "Reverse buoyancy in shaken granular beds," Phys. Rev. Letters, 1998, 81 pp. 4365.

[6] S. Klongboonjit, "The effects of particle elasticity on the convection in deep vertically shaken particle beds," Ph.D. Thesis, University of Southern California , 2005.

[7] C.S. Campbell, "Shear flows of granular materials," Ph.D. Thesis, California Institute of Technology, 1982.

[8] P.A. Cundall and O.D.L.Strack, "A discrete numerical model for granular assemblies," Geotechnique, 1979, 29.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

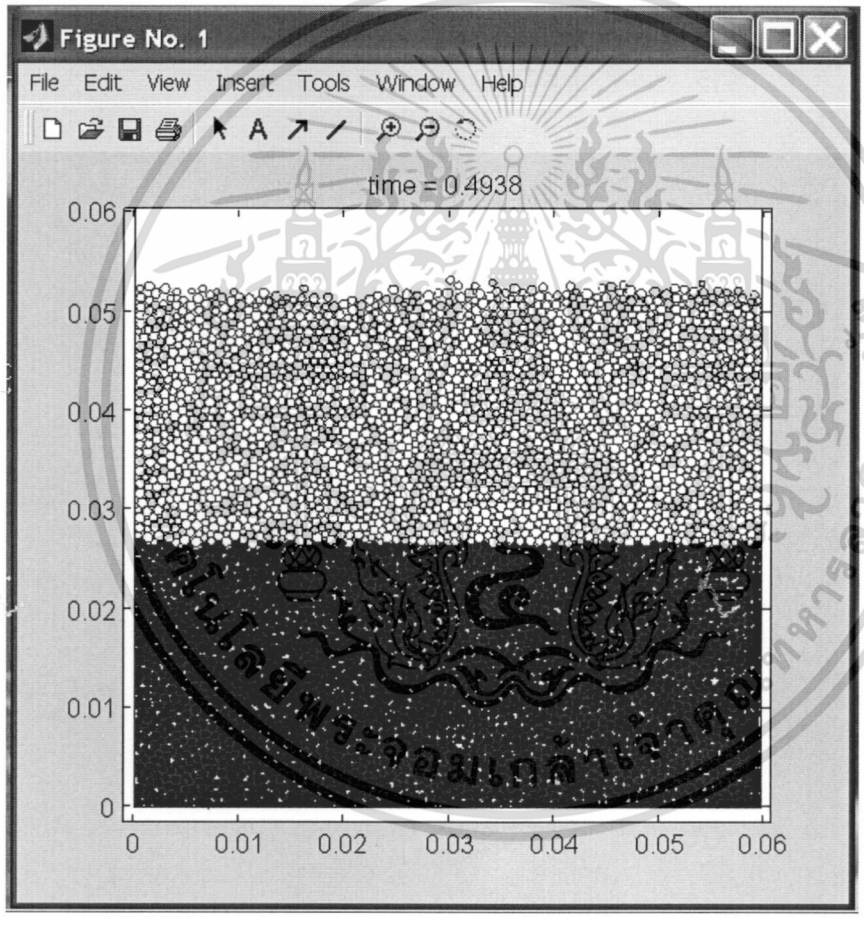
ภาคผนวก ข
ตัวอย่างของรูปภาพและภาพยนต์ที่สร้างจากโปรแกรม Matlab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

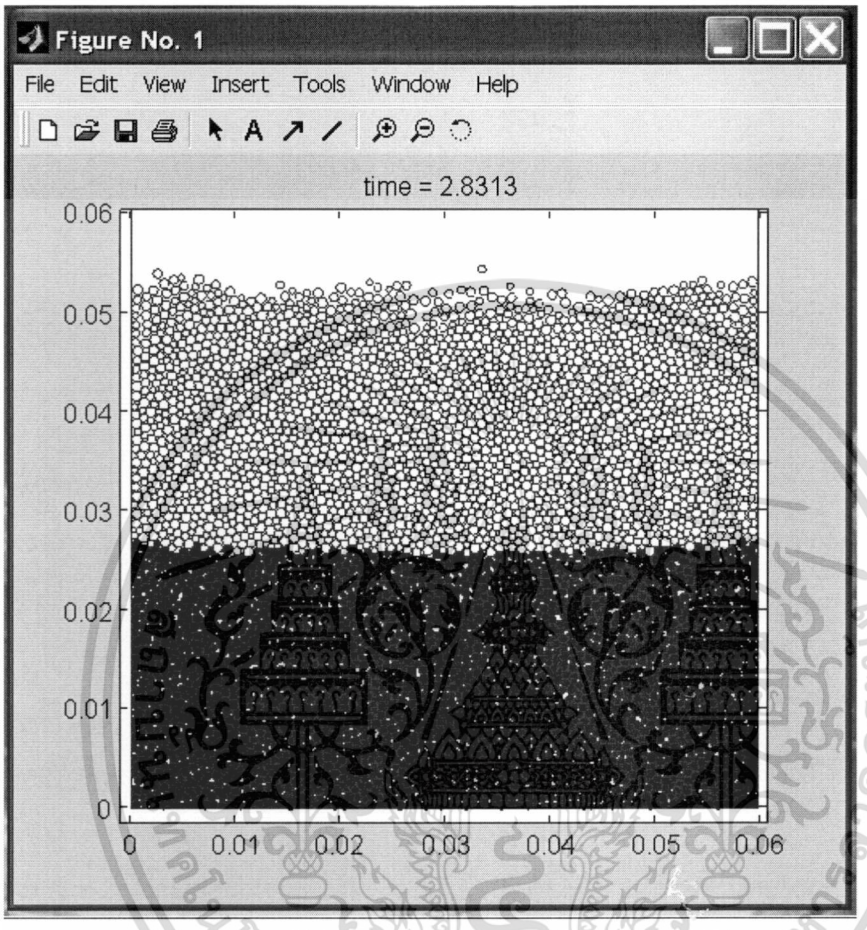
ตัวอย่างของรูปภาพและภาพยนต์ที่สร้างจากโปรแกรม Matlab

ในภาคผนวก ข นี้ จะเป็นการแสดงให้เห็นถึงตัวอย่างของรูปภาพและภาพยนต์ของระบบเม็ดวัสดุที่ได้รับจากโปรแกรมสร้างภาพซึ่งพัฒนาขึ้นจากโปรแกรม Matlab ณ เวลาต่างๆ เพียงไม่กี่เวลาเท่านั้น

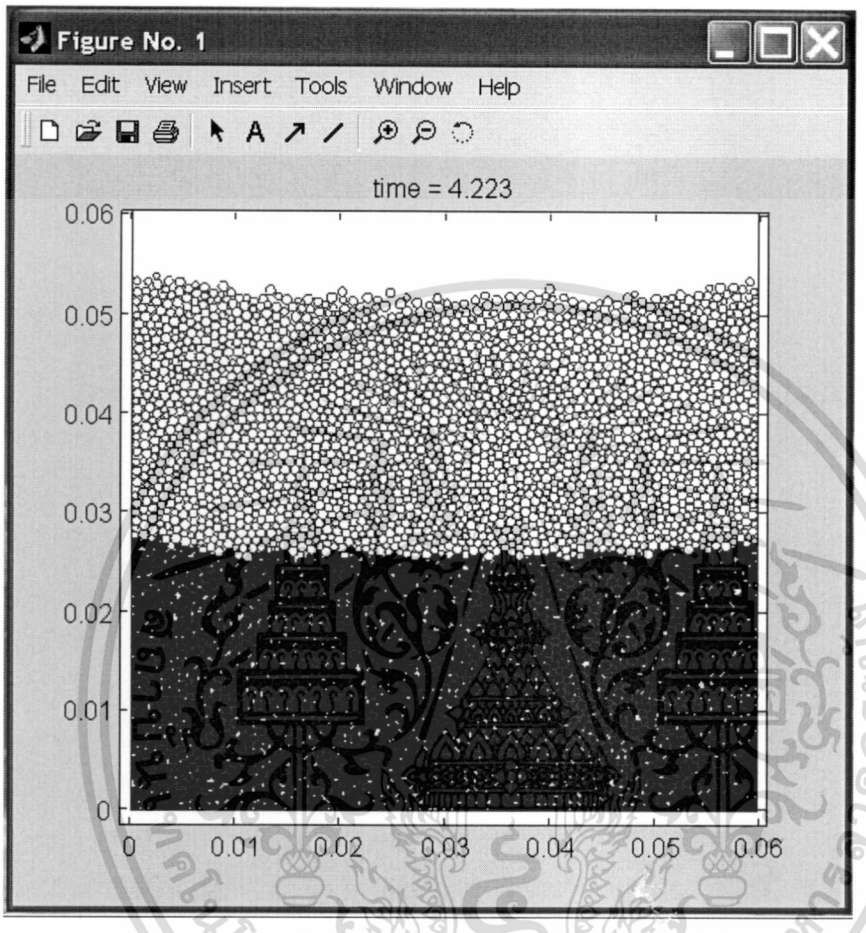
1. ตัวอย่างรูปภาพของกรณีที่ไม่เกิดปรากฏการณ์การหมุนวนในระบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

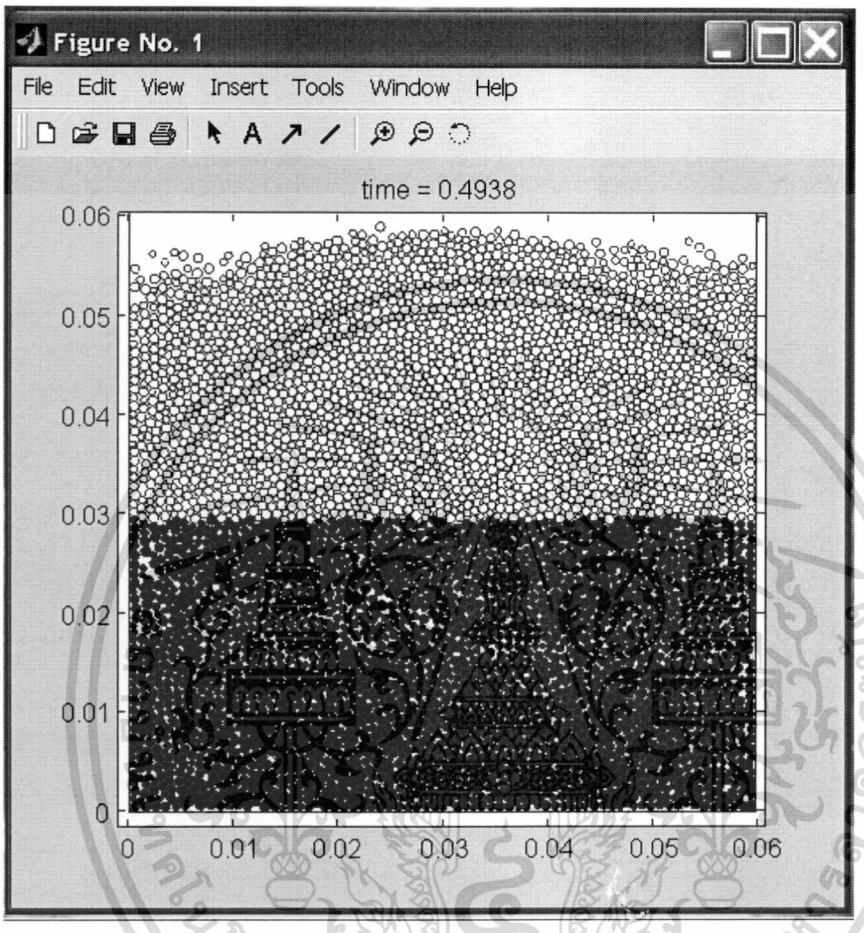


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

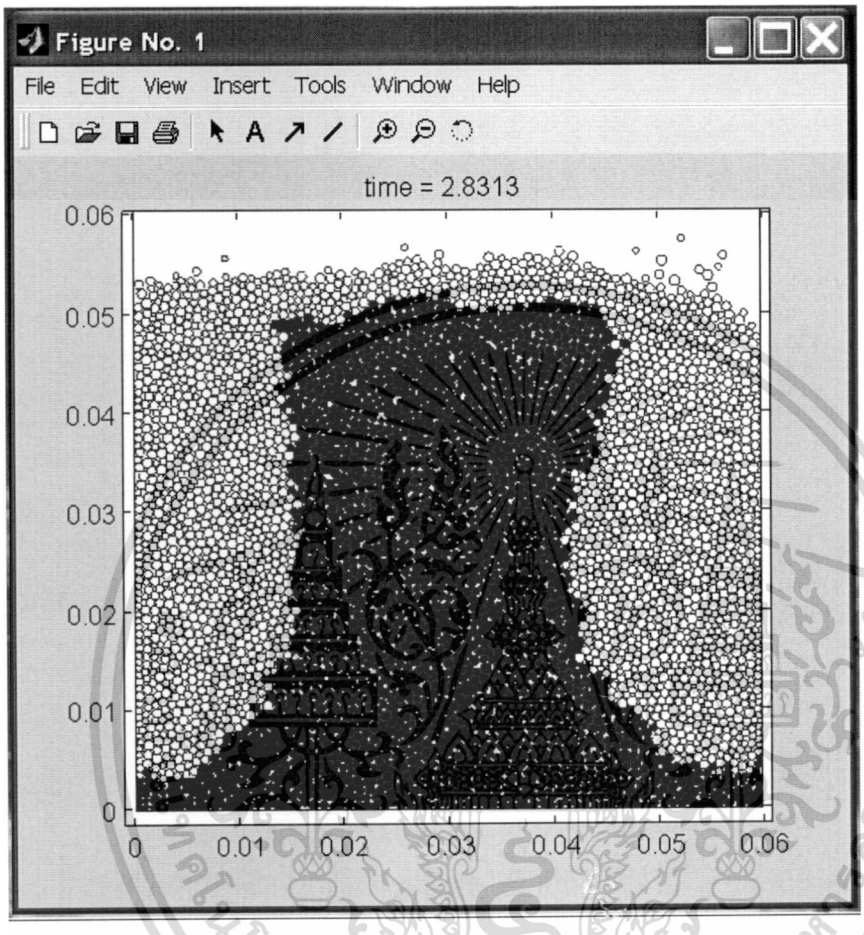


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

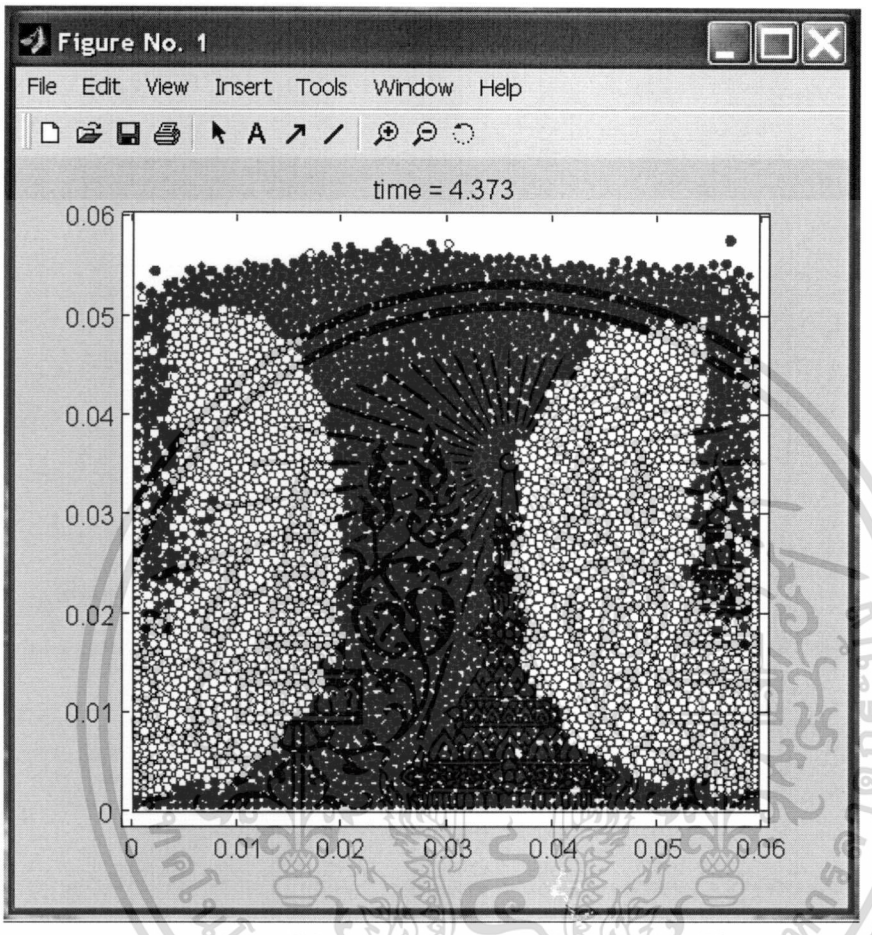
2. ตัวอย่างรูปภาพของกรณีที่เกิดปรากฏการณ์การหมุนวนในระบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



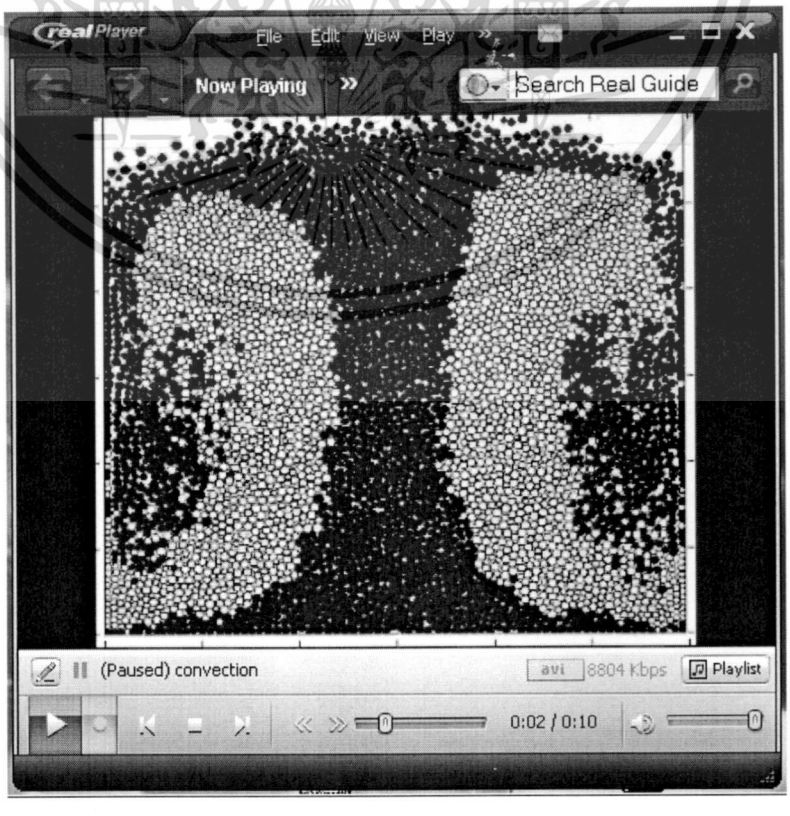
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตัวอย่างภาพยนต์ของกรณีที่ไม่เกิดปรากฏการณ์การหมุนวนในระบบ

4. ตัวอย่างภาพยนต์ของกรณีที่เกิดปรากฏการณ์การหมุนวนในระบบ



ภาคผนวก ค
ตัวอย่างของข้อมูลที่ได้รับก่อนและหลังการจัดรูปแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างของข้อมูลที่ได้รับก่อนและหลังการจัดรูปแบบ

ในภาคผนวก ค นี้ จะเป็นการแสดงให้เห็นถึงตัวอย่างของข้อมูลที่ได้รับจากโปรแกรมการคำนวณซึ่งพัฒนาขึ้นจากโปรแกรมภาษา Fortran ซึ่งข้อมูลที่ได้รับ ณ เวลาต่างๆจะประกอบด้วย ข้อมูลตำแหน่งของเม็ดวัสดุแต่ละเม็ด และขนาดของเม็ดวัสดุแต่ละเม็ด โดยไฟล์ข้อมูลที่ได้ออกมาจะประกอบด้วย 1) ข้อมูลตำแหน่งในแนวแกน x ของเม็ดวัสดุแต่ละเม็ด 2) ข้อมูลตำแหน่งในแนวแกน y ของเม็ดวัสดุแต่ละเม็ด และ 3) ข้อมูลขนาดรัศมีของเม็ดวัสดุแต่ละเม็ด สำหรับในกรณีที่ไม่เกิดปรากฏการณ์การหมุนวนจะมีไฟล์ข้อมูลทั้งสิ้น 2,304 ไฟล์ และในกรณีที่เกิดปรากฏการณ์การหมุนวนก็จะมีไฟล์ข้อมูลทั้งสิ้น 2,304 ไฟล์ เช่นกัน อย่างไรก็ดีด้วยรูปแบบของข้อมูลที่ได้รับออกมานั้นอยู่ในรูปแบบที่ไม่เหมาะสมต่อการนำไปสร้างเป็นรูปภาพด้วยโปรแกรมสร้างรูปภาพซึ่งพัฒนาขึ้นจากโปรแกรม Matlab จึงต้องมีการจุดรูปแบบใหม่ให้เหมาะสมเสียก่อน ซึ่งแน่นอนว่าต้องทำให้เกิดการเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการจัดรูปแบบข้อมูลใหม่เป็นอย่างมากเนื่องจากมีไฟล์ที่ต้องได้รับการจัดรูปแบบใหม่อยู่อย่างมากมายถึง 4,608 ไฟล์ (จากทั้งกรณีไม่เกิดปรากฏการณ์การหมุนวนและเกิดปรากฏการณ์การหมุนวน) 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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
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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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
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

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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
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

การนำเนื้อหาไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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
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

การอ้างอิงเอกสารที่เผยแพร่ในเว็บไซต์นี้ ให้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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
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

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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
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

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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
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

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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
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

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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
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

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

กรณีวิทยานิพนธ์นี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากจุฬาฯ ให้ใช้ได้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวอย่างที่แสดงไปแล้วจะพบว่าข้อมูลที่ได้รับออกมาไม่อยู่ในรูปแบบของเมตริกซ์หรือเวคเตอร์ใดๆ เลยทำให้ไม่สามารถนำไปใช้งานได้สะดวก จึงทำการจัดข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของเวคเตอร์หรือเมตริกซ์ขนาด 5,000 แถว 1 หลัก ซึ่งจะทำให้สะดวกต่อการนำไปใช้งานต่อไป

<u>ตัวอย่างข้อมูล ตำแหน่ง x หลังการจัดรูปแบบ</u>

0.0004

0.0021

0.0030

0.0045

0.0061

0.0070

•

•

•

0.0361

0.0484

0.0434

0.0500

0.0492

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่ามีไฟล์ข้อมูลที่อยู่ในลักษณะนี้มากมายถึง 4,608 ไฟล์ ข้อมูล ทำให้ต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายในการจัดข้อมูลมาก การที่ไม่สามารถพัฒนาโปรแกรมภาษา Fortran ให้สร้างไฟล์ข้อมูลออกมาในรูปแบบที่เหมาะสมตั้งแต่ต้นเลยนั้นเนื่องจากทางทีมผู้พัฒนาโปรแกรมไม่อนุญาตให้แก้ไข source code ของโปรแกรมเลยแต่อนุญาตให้นำโปรแกรมมาใช้ได้เท่านั้น (แม้ว่าหัวหน้าโครงการวิจัยในครั้งนี้เป็นสมาชิกคนหนึ่งของที่ผู้พัฒนาโปรแกรมก็ตาม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้