

## บรรณานุกรม

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



ภาคผนวก ก  
บทความที่ได้รับการตีพิมพ์



# วิศวกรรมลาดกระบัง

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

ปีที่ 27 ฉบับที่ 4

ธันวาคม 2553

## วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

1. การสร้าง FPGA ของการแปลงโคไซน์ไม่ต่อเนื่อง 2 มิติสำหรับการบีบอัดภาพ  
สนกร สุขใส เมธาภัก ศิริสุข เอกรัฐ บุญภูงา 1

## วิศวกรรมไฟฟ้า

2. บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่แสงชนิดเซิลฟอสฟอเรสเซนต์แบบใหม่สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์  
สมภพ ยงพิศาลภพ ชีระศักดิ์ เสภาภลอม มงคล กงศ์หิรัญ 7
3. การศึกษาการควบคุมแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสโดยใช้ตัวเก็บประจุอิเล็กทรอนิกส์และ  
การควบคุมแรงดันเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพ  
นพดล ยมแก้ว วิจิตร กิณเรศ 13

## วิศวกรรมโยธา

4. การศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของผนังคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำแบบผสมตะกอนน้ำตาล และ  
คอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำภายใต้สภาวะอากาศของกรุงเทพมหานคร  
บวร อิศรางกูร ณ อยุธยา ปริดา จันทร์ทงษ์ โยธิน อังกุล 19

## วิศวกรรมอุตสาหการ

5. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมการเพิ่มผลผลิตกับตัวชี้วัดประสิทธิภาพ  
ปราภรณา ปุณณกิติเกษม อมรินทร์ จันทร์ธา ภูมิพร ธรรมสถิตย์เดช 25
6. ผลของปรากฏการณ์การก้องตัวกันต่อการเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุบนผิวอิสระขณะเกิดปรากฏการณ์  
การหมุนวนของระบบวัสดุเม็ดกลมแข็ง 2 มิติ ภายใต้การสั่นแนวตั้ง  
สกนธ์ คล่องบุญจิต 31
7. Optimal Location of Dwell Points in A Loop Layout by Minimizing the Total Number of  
Trips Around the Loop Under Capacity Constraints 37  
Chumpol Yuangyai R.Ufuk Bilisel

## วิศวกรรมเครื่องกล

8. พฤติกรรมการหล่อลื่นแบบฮิสลาสโตไฮโดรไดนามิกในเฟืองฟันตรงด้วยสารหล่อลื่นนอนนิวโตเนียน  
ขนิษฐา วงษ์สีดาแก้ว 43
9. การศึกษาสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งแผ่นลดอุณหภูมิร่วมกับอินเวอร์เตอร์  
ธงไชย เดิมดา นภาพ แยมไตรพัฒน์ 49

## วิศวกรรมเคมี

10. การศึกษากระบวนการผลิตละอองลอยของคาร์บอนไดออกไซด์เย็นยิ่งยวดผ่านกระบวนการแพร่กระจาย  
แบบจูล-ทอมป์สัน  
สิวิษ เต็งสุวรรณ สุรัตน์ อารีรัตน์ 55
11. การดูดซับสีย้อมด้วยตัวดูดซับจากธรรมชาติ  
พรศวรรค์ อัสวแสงรัตน์ วีระวัฒน์ คลอวุฒิมนตรี 61



# LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL

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

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์, วิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

Volume 27 Number 4

December 2010

## Computer Engineering

1. FPGA Implementation of Fast 2D-DCT for Image Compression 1  
*T. Sooksai P. Sirisuk and A. Boonphungtha*

## Electrical Power Engineering

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

## CMI Engineering

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

## Industrial Engineering

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

## Mechanical Engineering

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

## Chemical Engineering

10. Study on the Joule-Thomson Expansion for the CO<sub>2</sub> Cryogenic Aerosol Generating Process 55  
*S. Tengsuwan and S. Areerat*
11. Adsorption of Dyes by Natural Adsorbents 61  
*P. Assawasangrat and W. Clowutimon*

ผลของปรากฏการณ์การกองตัวกันต่อการเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุ  
บนผิวอิสระขณะเกิดปรากฏการณ์การหมุนวนของระบบวัสดุ  
เม็ดกลมเชิง 2 มิติ ภายใต้การสั่นแนวตั้ง

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

สกนธ์ คล่องบุญจิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

E-mail: sakonklong@hotmail.com

**บทคัดย่อ**

ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นการศึกษาผลของการเกิดการกองตัวกันต่อการเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุที่ผิวอิสระด้านบน  
ขณะที่เกิดการหมุนวน ในระบบ 2 มิติ ของวัสดุเม็ดกลม ภายใต้การสั่นแนวตั้ง โดยจำลองเหตุการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้  
เทคนิคการจำลองสถานการณ์แบบวัสดุเม็ดนี้ม ผลจากการจำลองเหตุการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์พบว่า การกองตัวกันจะเกิดก่อน  
การหมุนวนเสมอ และในขณะที่เกิดการหมุนวน การกองตัวกันก็ยังคงอยู่ที่ผิวอิสระด้านบนและช่วยทำให้เม็ดวัสดุบนผิว  
อิสระเคลื่อนที่ไหลลงไปตามด้านข้างของภาชนะบรรจุ

**คำสำคัญ :** ปรากฏการณ์การกองตัวกัน, ปรากฏการณ์การหมุนวน, วัสดุเม็ดกลม, การสั่นแนวตั้ง, เทคนิคการจำลอง  
สถานการณ์แบบวัสดุเม็ดนี้ม

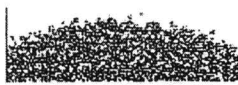
**Abstract**

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

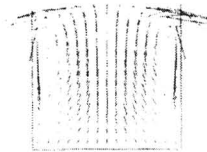
**Keywords :** Heaping, Convection, Granular materials, Vertically vibration, Soft-particle computer  
simulation

## 1. บทนำ

วัสดุเม็ดกลม หรือ Granular materials คือวัสดุที่ประกอบไปด้วยวัสดุแข็งเม็ดเล็ก ๆ มากมาย และช่องว่างระหว่างวัสดุเม็ดเล็ก ๆ นี้ก็จะถูกแทรกด้วยของไหล (เช่น น้ำ หรือ อากาศ) วัสดุเม็ดกลมนี้ถือว่าเป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่น่าทำการศึกษาค้นคว้าวิจัย เนื่องจากวัสดุชนิดนี้ส่วนใหญ่ที่ถูกใช้ในกระบวนการต่างๆ ในทางอุตสาหกรรมอยู่ในรูปของวัสดุเม็ดกลมเล็กๆ เช่น ทราย เม็ดพลาสติก อาหารอัดเม็ด ในกระบวนการผลิตนั้นวัสดุชนิดต่างๆ ก็อาจจะถูกนำไปผ่านกระบวนการสั้นเพื่อให้ผสมกัน หรือเพื่อให้แยกตัวออกจากกัน สำหรับวัสดุประเภทนี้เมื่อถูกนำมาสั่นหรือเขย่าแล้วจะเกิดปรากฏการณ์ต่างๆ อย่างที่น่าสนใจและทำการศึกษารวบรวมขึ้นภายในระบบ เช่น Arching, Heaping, Segregation, Surface waves, Convection ฯลฯ อย่างไรก็ตามสิ่งที่เราจะทำการศึกษาในครั้งนี้คือ ผลของปรากฏการณ์การเกิดการกอดตัวกัน (Heaping) ต่อการเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุบนผิวอิสระของระบบระหว่างการเกิดปรากฏการณ์การหมุนวน (Convection) ในระบบ ซึ่งการกอดตัวกันจะหมายถึงการที่เม็ดวัสดุเกิดการซ้อนทับกันจนมากขึ้นมาที่บริเวณตรงกลางของกองวัสดุแล้วก็จะลาดเอียงลงไปทางด้านข้างโดยทั่วไปจะเกิดขึ้นในระบบที่หยุดนิ่งแต่ในระบบที่กำลังสั่นอยู่ก็สามารถเกิดขึ้นได้เช่นกันบนผิวอิสระด้านบน [1-5] ส่วนการหมุนวนจะหมายถึงการที่เม็ดวัสดุในระบบเกิดการเคลื่อนที่ในลักษณะหมุนเป็นวงปิด 2 วงอย่างซ้ำๆ ในระบบที่กำลังสั่นอยู่ [6-9]



ก) การเกิดการกอดตัวกันที่ผิวอิสระด้านบนของระบบ



ข) การเกิดการหมุนวนในระบบ

รูปที่ 1 ตัวอย่างการเกิดการกอดตัวกันและเกิดการหมุนวนในระบบ

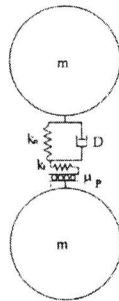
แม้ว่าจะมีการศึกษาถึงการเกิดปรากฏการณ์ทั้งสองนี้โดยนักวิจัยหลายๆ ท่านแล้วก็ตาม แต่ก็ยังไม่มีผู้ใดตอบได้ว่า การกอดตัวกันช่วยให้เม็ดวัสดุบนพื้นผิวอิสระเกิดการเคลื่อนที่ได้อย่างไร ในขณะที่เกิดการหมุนวนในระบบ แม้แต่ในงานวิจัย [9] ก็ได้แต่เพียงสันนิษฐานไว้ว่าจะเกิดการหมุนวน ที่ผิวอิสระด้านบนจะเกิดการกอดตัวกันขึ้นทำให้เม็ดวัสดุที่ผิวอิสระด้านบนเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นทำให้เกิดการหมุนวนได้

ในการศึกษานี้จะทำการศึกษาระบบ 2 มิติ ของเม็ดวัสดุจำนวนหนึ่งที่ถูกใส่ไว้ในกล่องสี่เหลี่ยมซึ่งอยู่ภายใต้การสั่นตามแนวตั้งด้วยวิธี Soft-particle computer simulation technique เป็นวิธีการศึกษาโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์วิธีหนึ่ง ซึ่งมีข้อดีคือสามารถเก็บข้อมูลที่สำคัญของเม็ดวัสดุทุกๆ เม็ดในระบบได้ตลอดเวลาเพื่อทำการวิเคราะห์ผลของการเกิดการกอดตัวกันว่าทำให้เม็ดวัสดุที่ผิวอิสระด้านบนเกิดการเคลื่อนที่ไปในลักษณะใดขณะเกิดการหมุนวนขึ้นในระบบ

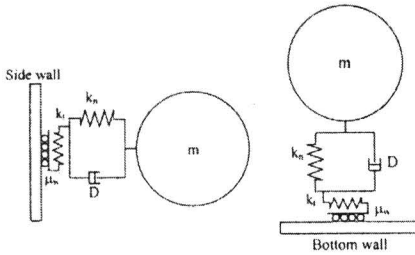
## 2. แนวคิดและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

วิธี Soft-particle computer simulation [10] ถูกเลือกใช้ เนื่องจาก เป็นวิธีที่อนุญาตให้เม็ดวัสดุแต่ละเม็ดในระบบสามารถสัมผัสกับเม็ดวัสดุรอบๆ ตัวมันได้ครั้งละหลายๆ เม็ดในเวลาเดียวกัน ยิ่งไปกว่านั้นยังอนุญาตให้ผิวสัมผัสมีเวลาในการสัมผัสกันได้นานกว่าการที่จะคิดว่าการสัมผัสกันแต่ละครั้งของเม็ดวัสดุเป็นแบบกระทบกัน (เวลาการกระทบกันสั้นมากๆ) ซึ่งจะใกล้เคียงกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริง หลักการพื้นฐานการคำนวณด้วยวิธีนี้คือใช้วิธี Discrete Element Method [11] โดยทำการจำลองว่าที่ผิวสัมผัสใดๆ จะประกอบด้วย Linear spring,  $k_0$  ต่อขนานกับ Viscous dashpot,  $D$  ในแนวตั้งฉากกับผิวสัมผัส ส่วนในแนวขนานกับผิวสัมผัสประกอบไปด้วย Linear spring,  $k_x$  อีกตัวหนึ่งต่อกับ Frictional slider,  $\mu_0$  และเม็ดวัสดุแต่ละเม็ดจะถูกบังคับไม่ให้หมุน ทำให้เม็ดวัสดุแต่ละเม็ดมีความยืดหยุ่นและไหลได้บนเม็ดวัสดุอื่นเพื่อให้เม็ดวัสดุมีความใกล้เคียงกับสภาพการณ์จริงมากที่สุด แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของผิวสัมผัสของเม็ดวัสดุ

2 เม็ดใดๆจะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2 ในขณะที่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระหว่างเม็ดวัสดุที่อยู่ใกล้กับผนังของกล่องที่เหลี่ยมก็จะนำแบบจำลองในรูปที่ 2 ไปใช้ได้ เพียงแค่เปลี่ยนค่า ส.ป.ส. ระหว่างเม็ดวัสดุกับเม็ดวัสดุ  $\mu_p$  เป็นค่า ส.ป.ส. ระหว่างเม็ดวัสดุกับผนัง  $\mu_w$  ดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 แบบจำลองระหว่างผิวสัมผัสของเม็ดวัสดุ 2 เม็ด



รูปที่ 3 แบบจำลองระหว่างผิวสัมผัสของเม็ดวัสดุกับผนังด้านข้างและผนังด้านล่างของกล่อง

กระบวนการของวิธีนี้เริ่มจาก ณ เวลาใดๆ เริ่มแรกจะทำการคำนวณค่าแรงกระทำที่เกิดขึ้นบนเม็ดวัสดุแต่ละเม็ดภายในระบบ ทั้งที่เกิดในแนวตั้งฉากและแนวขนานผิวสัมผัส หลังจากนั้นค่าความเร่งของเม็ดวัสดุแต่ละเม็ดก็จะถูกคำนวณด้วยกฎพื้นฐานข้อที่สองของนิวตัน ในที่สุดค่าความเร็วและตำแหน่งของเม็ดวัสดุแต่ละเม็ดก็ถูกคิดคำนวณออกมา ต่อจากนั้นการคำนวณค่าต่างๆของเม็ดวัสดุในกล่องที่เวลาถัดไปก็จะถูกคำนวณเข้าไปเรื่อยๆจนกว่าจะถึงเวลาสุดท้ายที่ตั้งไว้

สมการการที่ใช้ในการคำนวณ เป็นดังนี้

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

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

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

โดย

- t1 คือ เวลาเริ่มต้นที่เริ่มพิจารณา
- t2 คือ เวลาสุดท้ายที่พิจารณา
- $F_i$  คือ 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
- $i = 1, 2, 3, \dots$

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

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

โดย

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

ระบบที่ใช้ในการศึกษาจะถูกแสดงดังรูปที่ 4 ค่าต่างๆในระบบถูกกำหนดอยู่ในรูปตัวแปรไร้มิติ N,  $\mu_p$ ,  $\mu_w$ , E,  $k_n/(pgd_0)$ ,  $A/d_0$ ,  $f/(gd_0)^{0.5}$ , และ  $\Gamma = A(2\pi f)^2/g$

โดย

- N คือ จำนวนของเม็ดวัสดุในกล่อง (เม็ด)

$\mu_p$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างเม็ด  
วัสดุด้วยกัน

$\mu_w$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างเม็ด  
วัสดุกับผนังกล่อง

$E$  คือ ค่า Restitution coefficient

$k_n$  คือ ค่า n ของสปริงในทิศทางตั้งฉากกับผิว  
สัมผัส (นิวตัน/เมตร)

$\rho$  คือ ค่าความหนาแน่นของเม็ดวัสดุ  
(กิโลกรัม/ตารางเมตร)

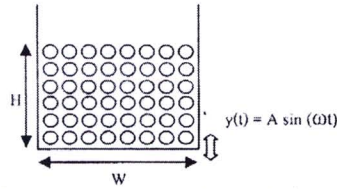
$g$  คือ ค่าแรงโน้มถ่วง = 9.81 เมตร/วินาที<sup>2</sup>

$d_0$  คือ ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ด  
วัสดุในระบบ (เมตร)

$A$  คือ ค่าแอมพลิจูดของการสั่น (เมตร)

$f$  คือ ค่าความถี่ของการสั่น (รอบ/วินาที)

$\Gamma$  คือ อัตราส่วนของค่าความเร่งของการสั่นของ  
ระบบต่อค่าเร่งโน้มถ่วง



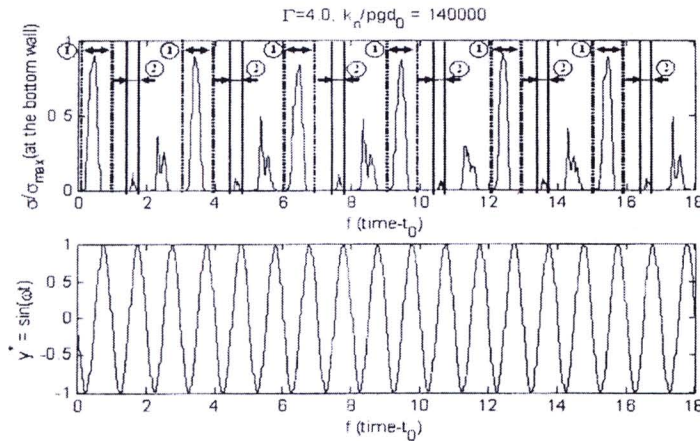
รูปที่ 4 แสดงแบบจำลองของเม็ดวัสดุเม็ดที่ถูกบรรจุใน  
กล่องที่กำลังสั่นอยู่ในแนวตั้ง

3. ผลการคำนวณ

ด้วยวิธีการจำลองเหตุการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ โดยทำ  
การตั้งค่าตัวแปรต่างๆของระบบดังนี้

$N = 5000$ ,  $E = 0.8$ ,  $\Gamma = 4.0$ ,  $\mu_w/\mu_p = 4.5$ ,  
 $k_n/(\rho g d_0) = 140000$ ,  $A/d_0 = 0.35$ ,  $f/(g/d_0)^{0.5} = 0.542$  และ  
มีสัญญาณการสั่นประมาณ 12,000 รอบ

ผลการศึกษา เริ่มจากการที่กล่องเริ่มเคลื่อนที่ขึ้น ทำ  
ให้กันกล่องเริ่มคั่นผิวด้านล่างของเม็ดวัสดุ ซึ่งจะทำได้  
เกิดการส่งถ่ายพลังงานเข้าสู่เม็ดวัสดุจากด้านล่าง ถ้าทำ  
การเขียนกราฟความเค้นกด  $\sigma/\sigma_{max}$  เทียบกับการสั่นของ  
กล่องที่เวลาประมาณ  $t - t_0 = 0$  ถึง 18 จะได้กราฟดังใน  
รูปที่ 5 ( $t_0 = 16.023$  s)



รูปที่ 5 ความเค้นกดที่เกิดขึ้นที่ส่วนล่างของเม็ดวัสดุเทียบกับการสั่นของกล่อง 3 คาบการสั่น  
( $y = y/A$  และ  $t_0 = 16.023$  s)

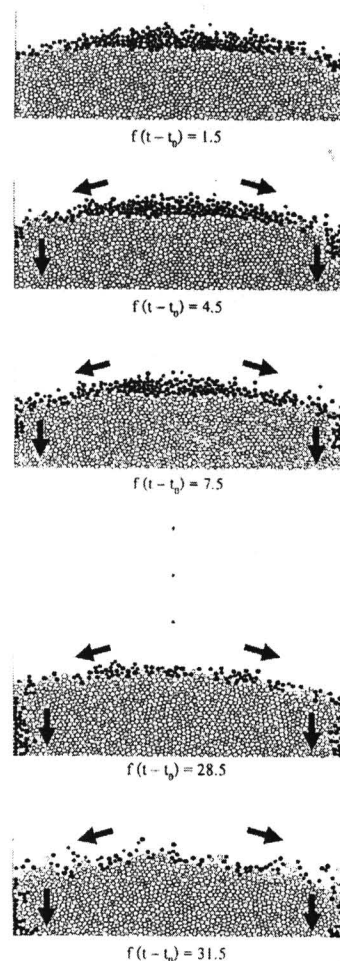


จากรูปที่ 5 พบว่าในระบบในช่วงเวลา ① ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เกิดค่าความเค้นกดที่ส่วนล่างของเม็ดวัสดุสูงที่สุด ช่วงนี้ที่ผิวอิสระด้านบนจะเกิดการกองตัวกันขึ้น แล้วการกองตัวที่เกิดขึ้นจะคงอยู่ที่ด้านบนผิวอิสระไปอีกชั่วระยะเวลาหนึ่งก็จะเกิดการหมุนวนขึ้นในระบบในช่วงเวลา ② (ซึ่งในขณะที่ผิวอิสระด้านบนก็ยังคงเกิดการกองตัวกันอยู่) หลังจากที่มีการหมุนวนในระบบหมดไปก็เกิดการกองตัวกันก็จะหมดไปด้วย แล้วเกิดการกองตัวกันและการหมุนวนรอบใหม่ก็จะเริ่มเกิดขึ้นอีกครั้งเมื่อเกิดค่าความเค้นกดสูงสุดครั้งต่อไป ซึ่งถ้าสังเกตให้ดีจากกราฟจะพบด้วยว่ารอบการเกิดแต่ละครั้งจะห่างกันประมาณ 3 คาบเวลาการสั่น (รายละเอียดของกลไกการเกิดการกองตัวกันจากเอกสารอ้างอิง [5] และรายละเอียดของการเกิดการหมุนวนจากเอกสารอ้างอิง [9])

ผลการศึกษา ยังแสดงให้เห็นว่าการเกิดการหมุนวนเป็นปรากฏการณ์ที่ซ้ำมาครั้งที่นักวิจัยท่านอื่นพบด้วย (เอกสารอ้างอิง [6] - [9]) นั่นคือการเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุจะซ้ำมาๆ ยิ่งไปกว่านั้นในช่วงเวลาที่ระบบปลอดจากการเกิดการกองตัวกันและการหมุนวนแทบที่จะไม่มีการเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุในระบบเลย (ช่วงเวลาหลังจากช่วงเวลา ② และก่อนช่วงเวลา ① ในกราฟที่แสดงดังรูปที่ 5) นั่นคือ การเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุที่ผิวอิสระด้านบนจะเกิดขึ้นได้เมื่อเกิดทั้งการกองตัวกันและการหมุนวนในระบบพร้อมกันในช่วงเวลาที่ ② เท่านั้น และการเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุที่ผิวอิสระด้านบนจะไหลลงจากยอดของการกองตัวไปทางด้านข้างของภาชนะบรรจุ ซึ่งจะเป็นการช่วยให้เกิดการหมุนวนได้ง่ายดังที่ผู้วิจัยในเอกสารอ้างอิง [9] ได้ตั้งข้อสันนิษฐานไว้จริงๆ

รูปที่ 6 เป็นการติดตามการเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุที่ผิวอิสระด้านบนในช่วงเวลาที่ ② (ดังในรูปที่ 5) หลายๆรอบการเกิดการกองตัวกันและการหมุนวนในระบบ พบว่าการกองตัวกันช่วยให้เม็ดวัสดุที่ผิวอิสระด้านบนเกิดการเคลื่อนที่ไหลลงสู่ด้านล่างภาชนะบรรจุ แล้วจึงลงสู่ด้านล่างของระบบ (ทิศทางตามที่ลูกศรชี้) ซึ่งเป็นผลทำให้เม็ดวัสดุเกิดการหมุนวนได้ง่ายขึ้น ดังที่ทราบกันดีแล้วว่าการหมุนวนจะเกิดขึ้นเมื่อเม็ดวัสดุด้านล่าง

ของระบบบริเวณตรงกลางเคลื่อนที่จากด้านล่างขึ้นสู่ผิวอิสระด้านบน แล้วจึงเคลื่อนที่ไปทางด้านข้าง ต่อจากนั้นจึงเคลื่อนที่ลงสู่ด้านล่างของระบบ แล้วในที่สุดจึงเคลื่อนที่เข้าสู่ตรงกลางของระบบอีกครั้งเป็นการครบรอบการหมุนวน 1 รอบ นั้นหมายความว่า การกองตัวกันเป็นกลไกหนึ่งซึ่งช่วยขับเคลื่อนให้เม็ดวัสดุที่ผิวอิสระด้านบนเกิดการเคลื่อนที่ไหลลงสู่ด้านล่างภาชนะบรรจุ ทำให้ง่ายต่อการเกิดการหมุนวนนั่นเอง



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

#### 4. สรุป

ด้วยวิธี Soft-particle computer simulation สามารถนำมาใช้ศึกษาเรื่องผลของการก่อกองตัวกันที่มีต่อการเคลื่อนที่ของเม็ดวัสดุบนผิวอิสระด้านบน ในขณะที่เกิดการหมุนวนในระบบของวัสดุเม็ดกลมที่กำลังอยู่ภายใต้การสั่นสะเทือนในแนวตั้ง ซึ่งการศึกษาด้วยวิธีทำการทดลองจะทำได้ยาก จากการศึกษาในครั้งนี้ทำให้ทราบว่า การก่อกองตัวกันจะเกิดขึ้นก่อนการหมุนวนเสมอ โดยที่การก่อกองตัวกันจะเกิดในช่วงที่ระบบเม็ดวัสดุกำลังได้รับการถ่ายเทพลังงานจากส่วนล่างของระบบ (ขณะค่าความเค้นกดสูง) หลังจากนั้นที่ผิวอิสระด้านบนก็จะเกิดการก่อกองตัวกันขึ้นจนถึงขณะที่เกิดการหมุนวน หลังจากนั้นการก่อกองตัวและการหมุนวนก็จะหายไป เป็นการหมด 1 รอบของการเกิดการก่อกองตัวกันและการหมุนวน ต่อจากนั้นรอบการเกิดถัดไปก็จะเกิดขึ้นที่ประมาณ 3 คาบเวลาการสั่นของภาชนะบรรจุแล้วเกิดต่อเนื่องกันไปเรื่อยๆ ที่สำคัญคือการก่อกองตัวกันช่วยให้เม็ดวัสดุที่ผิวอิสระด้านบนเกิดการเคลื่อนที่ไหลลงจากยอดของการก่อกองตัวกันโดยไหลไปทางด้านข้างของภาชนะบรรจุเป็นการช่วยให้การหมุนวนเกิดขึ้นด้วยคั้งที่ผู้วิจัยในเอกสารอ้างอิง [9] ตั้งข้อสันนิษฐานไว้จริง

#### 5. เอกสารอ้างอิง

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

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างของข้อมูลที่ได้รับก่อนและหลังการจัดรูปแบบ

## ตัวอย่างของข้อมูลที่ได้รับก่อนและหลังการจัดรูปแบบ

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



### ตัวอย่างข้อมูล ตำแหน่ง x ก่อนการจัดรูปแบบ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

จากตัวอย่างที่แสดงไปแล้วจะพบว่าข้อมูลที่ได้ออกมาไม่อยู่ในรูปแบบของเมตริกซ์หรือเวกเตอร์ใดๆเลย ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้งานได้สะดวก จึงทำการจัดข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของเวกเตอร์หรือเมตริกซ์ขนาด 5,000 แถว 1 หลัก ซึ่งจะทำให้สะดวกต่อการนำไปใช้งานต่อไป

ตัวอย่างข้อมูล ตำแหน่ง x หลังการจัดรูปแบบ

0.0004

0.0021

0.0030

0.0045

0.0061

0.0070

.

.

.

0.0361

0.0484

0.0434

0.0500

0.0492

ตั้งที่ได้กล่าวไปแล้วว่ามีไฟล์ข้อมูลที่อยู่ในลักษณะนี้มากมายถึง 3,000 ไฟล์ ข้อมูล ทำให้ต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายในการจัดข้อมูลมาก การที่ไม่สามารถพัฒนาโปรแกรมภาษา Fortran ให้สร้างไฟล์ข้อมูลออกมาในรูปแบบที่เหมาะสมตั้งแต่ต้นเลยนั้นเนื่องจากทางทีมพัฒนาโปรแกรมไม่อนุญาตให้แก้ไข source code ของโปรแกรมเลย แต่อนุญาตให้นำโปรแกรมมาใช้ได้เท่านั้น (แม้ว่าหัวหน้าโครงการวิจัยในครั้งนี้เป็นสมาชิกคนหนึ่งของผู้พัฒนาโปรแกรมก็ตาม)



