

อัครามวสการโหลงของเม็คของแข็งผานรูกกลม



นางสาวสาวิกี โจรนสโรช

005415

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาศึกษาศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2523

Mass Flow Rate of Granular Materials through Circular Orifices

Miss. Sawitri Rojanasaroj

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirments
for the Degree of Master of Engineering
Department of Chemical Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University

1980

หัวข้อวิทยานิพนธ์

อิทธิพลของการไหลของเวกเตอร์ของเชิงมุมบนรูปกลม

โดย

นางสาวสาวิตรี โรจนสโรช

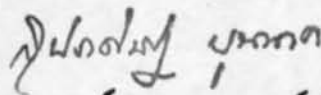
ภาควิชา

วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. จงกิจ เลาทะกุล

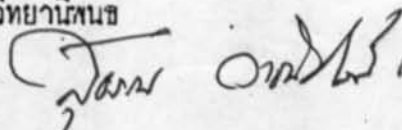
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ขอเชิญให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

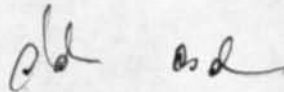
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุประสิทธิ์ นุมนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



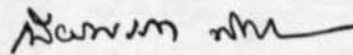
ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุธรรม วามิขเสนี)



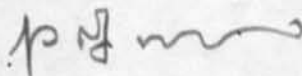
กรรมการ

(อาจารย์ ดร. วิจิตรา จงวิศาล)



กรรมการ

(อาจารย์ ดร. เพ็ญพรต ทิศคร)



กรรมการ

(อาจารย์ ดร. จงกิจ เลาทะกุล)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์
ชื่อ นิสิต
อาจารย์ที่ปรึกษา
ภาควิชา
ปีการศึกษา

อัครามวลการไหลของเม็คของแข็งผ่านรูกลม
นางสาวสาวิตรี โรจนโสโรช
คร. จงกิจ เล้าทะกุล
วิศวกรรมเคมี
2523



บทคัดย่อ

ความเข้าใจในปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอัครามวลการไหลของเม็คของแข็งเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมเหมืองแร่ และโรงงานอุตสาหกรรมเคมี แต่มีผลงานที่ตีพิมพ์เกี่ยวกับเรื่องอัครามวลการไหลของเม็คของแข็งผ่านรูกลมของท่อทรงกระบอกและกรวยน้อยมาก เนื่องจากยังไม่มีสูตรสำหรับคำนวณหาอัครามวลการไหลที่เชื่อถือได้แน่นอน สูตรส่วนใหญ่ที่ใช้กันในโรงงานอุตสาหกรรมจึงเป็นสูตรที่ได้มาจากการทดลอง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาอัครามวลการไหลของเม็คของแข็งผ่านรูกลมของท่อทรงกระบอกและกรวยและศึกษาอิทธิพลต่าง ๆ ที่มีต่ออัครามวลการไหล เช่น ความหนาแน่นของเม็ค ความสูง เส้นผ่าศูนย์กลางของรู เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อทรงกระบอก ความขรุขระของผนังและ รูปร่างของเม็คของแข็ง

อัครามวลการไหลที่พิจารณาเป็นอัครามวลการไหลคงที่

เครื่องที่ใช้ในการศึกษาเป็นท่อทรงกระบอกที่มีผนังเรียบในแนวราบ และกรวยที่มีขนาดดังนี้คือ

ท่อทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อคือ 4.0-15.4 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลางของรูคือ 1.5-5.1 ซม.

กรวย เส้นผ่าศูนย์กลางของรูคือ 1.8-3.3 ซม. มุมครึ่งของกรวยคือ 9.5-27.6 องศา

เม็คของแข็งที่ใช้ในการศึกษาคือ เม็คสีขาวสารซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 0.20 ซม. และเม็คดำเขียวซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 0.41 ซม.

จากผลของการทดลอง พบว่าความสูงของเม็คที่ขังทั้งหมดที่บรรจุอยู่ภายในภาชนะ

ความขรุขระของผนัง เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อทรงกระบอก (เส้นผ่าศูนย์กลางของรูมีค่าน้อยกว่า 0.4 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อทรงกระบอก) เหล่านี้ไม่มีอิทธิพลต่ออัตราการไหล

อัตราการไหลจะมีความมากขึ้นถ้ามุมครึ่งของกรวยมีค่าน้อยลง

เมื่อนำสมการของเบเวอริจและสูตรของทฤษฎีนาฬิกาทรายมาใช้ในการคำนวณหาอัตราการไหลจะพบว่าอัตราการไหลที่คำนวณได้มีค่าแตกต่างจากอัตราการไหลที่ได้จากการทดลองมาก

สูตรของทฤษฎีนาฬิกาทรายที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว จะให้ผลของการคำนวณอัตราการไหลใกล้เคียงกับอัตราการไหลที่ได้จากการทดลอง

a

Thesis title	Mass Flow Rate of Granular Materials through Circular Orifices.
Name	Miss Sawitri Rojanasaroj
Thesis Advisor	Chongkit Laohakul, Ph.D.
Department	Chemical Engineering
Academic Year	1980

Abstract

An understanding of the factors governing flow of bulk solids is needed in mineral processing and many chemical industries. But there has been very little systematic work published in the literature on the flow characteristics of granular materials flowing through orifices from cylindrical bins and conical hoppers. Due to lack of any reliable formula for predicting the flow rate of granular materials, the design of cylindrical bins and hoppers has been to some extent of an empirical nature.

It was the purpose of this work to investigate the flow of granular materials through circular orifices from cylindrical bins and conical hoppers to find the effect of such variables as flowing density, distance from the orifice, orifice diameter, wall roughness, geometry of the materials on the discharge rate.

After the flow had become stationary, mass flow rates were determined by "bucket and stopwatch" method.

The containers used were cylindrical tubes with flat-bottom and conical hoppers. The diameter of the tubes considered were from 4.0 to 15.4 cm., and their circular orifices were from 1.5 to 5.1 cm. The half angles of the conical hoppers were from 9.3 to 27.6 degrees and their orifices were from 1.8 to 3.3 cm.

The materials used were long-grained rice with 0.20 cm. mean diameter and mung bean with 0.41 cm. mean diameter.

The mass flow rate was found to be independent of height from the orifice, wall roughness and cylinder diameter as long as the orifice diameter being less than about 0.4 times the cylinder diameter. The mass flow rate was found to increase with decreasing half angle.

Beverloo equation and the "Hour-Glass" theory were considered. All of these gave much error in predicting mass flow rate. A modified "Hour-Glass" theory was proposed and it was found to be more agreeable with the experimental results obtained in this work.

ถึคักรรรมปรระกาค

วึถยานัพนชัณบัณนี้ ญัเขียนไค้รับคววมกรุณาจาก คร. จงกัจ เลาคะกุล อาการยั
 ที่ปรึกษาวึถยานัพนชัที่ไค้คววมชัวยเหลือในกัการแกัไขโศหาสุครที่ไค้ในกัการทคสอง รวมทัง
 รยงศาสคราการยั คร. พินัย สุชวรรม ที่กรุณาไค้ชัอคัคเห็นและคัาณะนัาบางปรการ
 ญัเขียนชอกรามชอมพระคุดแทนที่ไค้กลาวนามมาแลวชัางคัน

นอกจากนี้ญัเขียนยังไค้รับคววมรัก คววมเช้าใจและคววมชัวยเหลืออยัางคัยังจาก
 คุดแม่ และคุดพ้อ จนทัาไค้มีกัาลังใจในกัการทัาวึถยานัพนชัณบัณนี้ไค้เสริ้จสมบุรณลงไค้.



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฅ
รายการตารางประกอบ.....	ง
รายการรูปประกอบ.....	จ



บทที่

1. บทนำ.....	1
1.1 สภาวะของเม็คของแข็งที่อยู่ในภาชนะ.....	2
1.2 สมการของเส้นเส้นสำหรับคำนวณหาความถี่ของ เม็คของแข็งที่อยู่ในท่อทรงกระบอก.....	5
1.3 ทฤษฎีพลังงานที่น้อยที่สุด.....	9
1.4 สมการของเบเวอริอุสสำหรับคำนวณหา อัตรามวลการไหล.....	12
1.5 ทฤษฎีนาฬิกาทราย.....	13
2. จุดมุ่งหมายและขอบเขตของงาน	19
2.1 จุดมุ่งหมายและขอบเขตของงาน.....	19
3. เครื่องสำเร็จ เมล็ดพืชและคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดพืช.....	21
3.1 การออกแบบเครื่องสำเร็จ.....	21
3.1.1 หลักลศาสตร์กลวงรูปทรงกระบอก.....	21
3.1.2 กรวย.....	21

บทที่	หน้า
3.2 เมล็ดพืชและคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดพืช	22
4. วิธีการทดลองและข้อมูลดิบ	25
4.1 วิธีการทดลอง	25
4.2 ข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองกับท่อทรงกระบอก	26
4.3 ข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองกับกรวย	26
5. ผลของการทดลองและการวิจารณ์	27
5.1 ท่อทรงกระบอก	27
5.1.1 ลักษณะการไหลของเมล็ดพืชผ่านรูกลมของท่อทรงกระบอก	27
5.1.2 อิทธิพลของความสูงของเมล็ดพืชทั้งหมดที่อยู่ภายในท่อ	28
5.1.3 อิทธิพลของเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ	28
5.1.4 อิทธิพลของความขรุขระของผนังท่อ	30
5.1.5 อัตรามวลการไหลของเมล็ดพืชจากท่อทรงกระบอก	31
5.2 กรวย	
5.2.1 ลักษณะการไหลของเมล็ดพืชผ่านรูกลมของกรวย	32
5.2.2 อิทธิพลของ y	33
5.2.3 อิทธิพลของความขรุขระของผนังกรวย	33
5.2.4 อิทธิพลของมุม α	33
5.2.5 อัตรามวลการไหลของเมล็ดพืชจากกรวย	34
6. การปรับปรุงทฤษฎีนาฬิกาทราย	39
6.1 วิธีปรับปรุงสูตรของทฤษฎีนาฬิกาทราย	39

บทที่	หน้า
7. บทสรุปและข้อเสนอแนะ	45
7.1 บทสรุป	45
7.2 ข้อเสนอแนะ	47
เอกสารอ้างอิง	48
ภาคผนวก ก. รายการตารางประกอบ	50
ภาคผนวก ข. รายการรูปประกอบ	63
ภาคผนวก ค. สัญลักษณ์	98
ประวัติ	101

รายการตารางประกอบ

ตารางที่	หน้า
3.1.2	เส้นผ่าศูนย์กลางของรูและมุมครึ่งของกรวย 50
3.2.1	จำนวนการกระจายขนาดของข้าวสาร 51
3.2.2	จำนวนการกระจายขนาดของถั่วเขียว 53
3.2.3	ความหนาแน่นเฉลี่ยขณะไหลของเมล็ดพืช 55
3.2.4	ความหนาแน่นเฉลี่ยขณะไหลของเมล็ดพืช 55
3.2.5	มุมแห่งความเสียดทาน 56
4.2.1	อัตราการไหลเฉลี่ยจากท่อทรงกระบอกที่มีผนังเรียบ (ข้าวสาร) 57
4.2.2	อัตราการไหลเฉลี่ยจากท่อทรงกระบอกที่มีผนังเรียบ (ถั่วเขียว) 58
4.2.3	อัตราการไหลเฉลี่ยจากท่อทรงกระบอกที่มีผนังขรุขระ 59
4.3.1	อัตราการไหลเฉลี่ยจากกรวยที่มีผนังเรียบ 60
4.3.2	อัตราการไหลเฉลี่ยจากกรวยที่มีผนังขรุขระ 62

รายการรูปประกอบ

รูปที่	หน้า
1.1.1	เส้นสัมผัสสว่างกลมของมอร์สำหรับเม็คของแข็งที่มีแรงเกาะระหว่างกัน..... 63
1.1.1	ลักษณะการไหลใน 2 มิติของเม็คของแข็ง 63
1.2.1	แรงที่กระทำบนเม็คของแข็งที่อยู่ในปริมาตร $\frac{\pi}{4} T^2 \Delta X$ 64
1.2.2	ความเค้นในแนวคิ่งของเม็คของแข็งที่อยู่ภายในท่อทรงกระบอก..... 64
1.3.1	ลักษณะการไหลเป็นรูปลำท่อของเม็คของแข็งที่อยู่ใกล้รู..... 64
1.3.2	อาณาเขตของการไหลที่เกิดขึ้นใกล้รูทางออกของท่อทรงกระบอกที่มี กันแบบในแนวราบ 64
1.5.1	ภาคตัดขวางของกรวยที่บรรจุเม็คของแข็ง..... 65
2.1.1	เมล็ดพิชชิตที่ไหลผ่านรูกลมของท่อทรงกระบอก..... 65
3.1.1	เครื่องสำเริง ท่อทรงกระบอก 66
3.1.2	เครื่องสำเริง กรวย 66
3.2.1	เมล็ดพิชชิต นำมาใช้ในการทดลอง 66
5.1.1.1	ระนาบในแนวราบที่ไม่เปลี่ยนแปลง ขณะที่เมล็ดพิชชิตกำลังไหลออกจากรู..... 67
5.1.2.1	กราฟของ W และ H 68
5.1.3.1	กราฟของ W และ D_o (ข้าวสาร) 68
5.1.3.2	กราฟของ W และ D_o (ถั่วเขียว) 69
5.1.3.3	กราฟของ W และ D_o/T (เปลี่ยนขนาดของท่อ)..... 69
5.1.4.1	กราฟของ W และ D_o/T (ข้าวสาร)..... 70
5.1.4.2	กราฟของ W และ D_o/T (ถั่วเขียว)..... 70
5.1.4.3	กราฟของ W และ D_o/T 71
5.1.5.1	กราฟของ $W_{0.4}$ และ D_o (ข้าวสาร ผนังเรียบ)..... 72
5.1.5.2	กราฟของ $W_{0.4}$ และ D_o (ถั่วเขียว ผนังเรียบ)..... 73
5.1.5.3	กราฟของ $W_{0.4}$ และ D_o (ข้าวสาร เปลี่ยนสภาพของผนัง)..... 74

รูปที่		หน้า
5.1.5.4	กราฟของ $W^{0.4}$ และ D_0 (ข่าวสาร เปลี่ยนสภาพของผนัง)	75
5.1.5.5	กราฟของ $W^{0.4}$ และ D_0 (ถั่วเขียว เปลี่ยนสภาพของผนัง).....	76
5.1.5.6	กราฟของ $W^{0.4}$ และ D_0 (ถั่วเขียว เปลี่ยนสภาพของผนัง).....	77
5.2.1.1	การเรียงตัวในแนวรัศมีของข่าวสาร (r)	78
5.2.1.2	ลักษณะการไหลในแนวรัศมีที่เปลี่ยนไปตามตำแหน่ง R, θ	78
5.2.2.1	กราฟของ $W^{0.4}$ และ D_0 (ข่าวสาร $\alpha = 27.6^\circ$ เปลี่ยน y)... ..	79
5.2.2.2	กราฟของ $W^{0.4}$ และ D_0 (ถั่วเขียว $\alpha = 9.3^\circ$ เปลี่ยน y).. ..	80
5.2.3.1	กราฟของ $W^{0.4}$ และ D_0 (ข่าวสาร $\alpha = 22.2^\circ$ เปลี่ยนสภาพของผนัง)	81
5.2.3.2	กราฟของ $W^{0.4}$ และ D_0 (ถั่วเขียว $\alpha = 22.2^\circ$ เปลี่ยนสภาพของผนัง)	82
5.2.4.1	กราฟของ $W^{0.4}$ และ D_0 (ข่าวสาร เปลี่ยนมุม α)	83
5.2.4.2	กราฟของ $W^{0.4}$ และ D_0 (ถั่วเขียว.เปลี่ยนมุม α)	84
5.2.4.3	กราฟของ $W^{0.4}$ และ D_0 (เปลี่ยนมุม α)	85
5.2.4.4	กราฟของ $W^{0.4}$ และ D_0 (เปลี่ยนมุม α)	86
5.2.5.1	กราฟของ $(W \sin \frac{1}{2} \alpha)^{0.4}$ และ D_0 ($\alpha = 9.3^\circ$)	87
5.2.5.2	กราฟของ $(W \sin \frac{1}{2} \alpha)^{0.4}$ และ D_0 ($\alpha = 13.3^\circ$)	88
5.2.5.3	กราฟของ $(W \sin \frac{1}{2} \alpha)^{0.4}$ และ D_0 ($\alpha = 18.1^\circ$)	89
5.2.5.4	กราฟของ $(W \sin \frac{1}{2} \alpha)^{0.4}$ และ D_0 ($\alpha = 22.2^\circ$)	90
5.2.5.5	กราฟของ $(W \sin \frac{1}{2} \alpha)^{0.4}$ และ D_0 ($\alpha = 27.6^\circ$)	91
5.2.5.6	กราฟของ k และ α	92
5.2.5.7	กราฟของ C และ α	92
5.2.5.8	กราฟของ $(W \sin \frac{1}{2} \alpha)^{0.4}$ และ D_0	93
5.2.5.9	กราฟของ $(W \sin \frac{1}{2} \alpha)^{0.4}$ และ D_0	94
5.2.5.10	กราฟของ $(W \sin \frac{1}{2} \alpha)^{0.4}$ และ D_0	95

รูปที่	หน้า
5.2.5.11 กราฟของ $(W \sin \alpha)^{1/2}$ และ D_o	96
6.1.1 วงกลมของนอร์ สำหรับเม็คของแข็งที่ไม่มีแรงเกาะระหว่างกัน.....	97