

การศึกษาและออกแบบเครื่องแยกอนุภาคโดยแรงโน้มถ่วงของโลก

นาย รุกขชาติ แอนดรูว์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-332-137-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

STUDY AND DESIGN OF A GRAVITATIONAL SETTLING CHAMBER

Mr. Rookachart Andrews

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

Graduate school

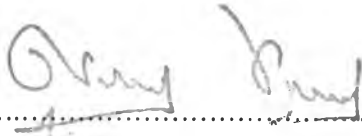
Chulalongkorn University

Academic Year 1998


ISBN 974-332-137-3

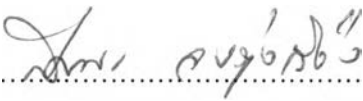
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาและออกแบบเครื่องแยกอนุภาคโดยแรงโน้มถ่วงของโลก
โดย นาย รุกขชาติ แอนดรูว์
ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. สมศรี จรุงเรือง

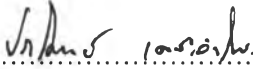
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมศรี จรุงเรือง)


.....กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. ปราโมทย์ เดชะอำไพ)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. มานิจ ทองประเสริฐ)


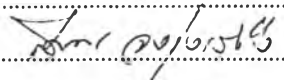
นาย รุกชชาติ แอนครูว์ : การศึกษาและออกแบบเครื่องแยกอนุภาคโดยแรงโน้มถ่วงของโลก (STUDY AND DESIGN OF A GRAVITATIONAL SETTLING CHAMBER) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. สมศรี จรุงเรือง , 186 หน้า. ISBN 974-332-137-3.

จุดมุ่งหมายของวิทยานิพนธ์นี้เพื่อศึกษาและออกแบบเครื่องแยกอนุภาคโดยแรงโน้มถ่วงเพื่อลดปริมาณอนุภาคในแก๊สไอเสียและเปรียบเทียบผลการทดลองกับทฤษฎี ในการศึกษาจะออกแบบเครื่องแยกอนุภาคโดยแรงโน้มถ่วงให้สามารถเปลี่ยนชุดถาดดักอนุภาคได้ 3 แบบ คือ จำนวนถาด 25 ชั้น, 20 ชั้น และ 15 ชั้น ถาดดักอนุภาคแต่ละชุดมีขนาดกว้าง 0.20 เมตร, ยาว 1.00 เมตร และสูง 0.50 เมตร

ผลจากการศึกษาสรุปได้ว่าจำนวนชั้นของถาดที่วางในแนวนอนและความเร็วของแก๊สไอเสียมีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องแยกอนุภาคโดยแรงโน้มถ่วง ส่วนความดันสูญเสียในเครื่องแยกอนุภาคโดยแรงโน้มถ่วงมีค่าต่ำกว่า 1 มิลลิเมตรน้ำ เมื่อความเร็วของแก๊สไอเสียมีค่า 18.08 เมตรต่อวินาที ประสิทธิภาพการดักเก็บอนุภาคที่คำนวณจากการกระจายขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง "MASTERSIZER" จะมีค่าเท่ากับ 39.85, 48.19 และ 50.01 เปอร์เซ็นต์ สำหรับถาด 15 ชั้น, 20 ชั้น และ 25 ชั้นตามลำดับ ดังนั้นการเพิ่มจำนวนถาดทำให้ประสิทธิภาพการเก็บอนุภาคเพิ่มขึ้น เมื่อใช้ถาด 25 ชั้น ประสิทธิภาพการเก็บอนุภาคเท่ากับ 46.36, 45.16 และ 43.29 เปอร์เซ็นต์ สำหรับความเร็วแก๊สไอเสีย 19.81, 21.40 และ 22.87 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ ดังนั้นการเพิ่มความเร็วของแก๊สไอเสียทำให้ประสิทธิภาพการเก็บอนุภาคลดลง ส่วนอุณหภูมิที่ลดลงในเครื่องแยกอนุภาคโดยแรงโน้มถ่วงมีผลต่อประสิทธิภาพการดักเก็บอนุภาคเล็กน้อยโดยทำให้ประสิทธิภาพสูงขึ้นเฉลี่ย 0.52 เปอร์เซ็นต์

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องด้วยการวิเคราะห์การกระจายอนุภาคด้วยเครื่อง "MASTERSIZER" ปรากฏว่าผลการทดลองมีค่าคลาดเคลื่อนกับค่าที่คำนวณได้จากทางทฤษฎีอยู่ในช่วง 8.6 ถึง 32.1 เปอร์เซ็นต์

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2541

ลายมือชื่อนิสิต 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C816212 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING
KEY WORD:

GRAVITATIONAL SETTLING CHAMBER

ROOKACHART ANDREWS : STUDY AND DESIGN OF A GRAVITATIONAL SETTLING
CHAMBER. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. SOMSRI CHONGRUNGREONG, Ph.D.

186 pp. ISBN : 974-332-137-3.

The purpose of this thesis is to study and design a gravitational settling chamber for particulate reduction in flue gas and to compare the experimental results with the theoretical ones. In this study, the gravitational settling chamber was designed for changeable three types of set of trays, i.e., 25, 20 and 15 shelves. The dimension of each set of trays is 0.20 m. wide, 1.00 m. long and 0.50 m. high.


Results from the research work can be concluded that the number of horizontal plates and flue gas velocity affect the gravitational settling chamber efficiency. Pressure drops in gravitational settling chamber are less than 1 mm. of water. At flue gas velocity of 18.08 m/s, the collection efficiencies calculated from particle size distribution with "MASTERSIZER" equipment are 39.85, 48.19 and 50.01 % for 15, 20 and 25 shelves, respectively. Thus increasing number of plates will increase the collection efficiency. When observe from the 25 shelves, the collection efficiencies are 46.36, 45.16 and 43.29 % for flue gas velocities 19.81, 21.40 and 22.87 m/s, respectively. Therefore increasing flue gas velocity will decrease the collection efficiency. Temperature drops in the gravitational settling chamber slightly affect the collection efficiencies with average increase of 0.52 %.

From analysis the collection efficiencies with calculated from particle size distribution with "MASTERSIZER" equipment presents that the experimental results comparing with the theoretical ones have error involved ranging from 8.6 to 32.1 %.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล.....

ปีการศึกษา.....2541.....

ลายมือชื่อนิสิต..........

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..........

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร.สมศรี จรุงเรือง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัยมาด้วยดีตลอด ได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิชัย พงกธาราธิกุล ภาควิชา อาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ให้ความอนุเคราะห์ ยืมอุปกรณ์ตรวจวัดอนุภาคมาใช้ในการตรวจวัด และผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณพิชิต มีธรรม และทีมงานที่สละเวลามาช่วยในการตรวจวัดไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณเพชรรัตน์ ศังขรัตน์, คุณชนพล พัฒนโสภณธ์, คุณสมชาย จึงประเสริฐ, คุณฉัตรพล คลังรัตน์, คุณทัศนีย์ วัฒนเชาว์พิสุทธ์, คุณชนะเอกและเพื่อนๆ ที่ให้การช่วยเหลือระหว่างดำเนินการทดลองของผู้วิจัยมาโดยตลอดและขอขอบคุณ คุณสมเกียรติ สำหรับคำแนะนำต่างๆ ในการวิจัยนี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา น้องชายและน้องสาว อันเป็นที่รักยิ่ง ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและได้ให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฐ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฑ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ภูมิหลังที่มาของปัญหา.....	1
1.2 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	1
1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
1.4 วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย.....	4
1.6 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	4
1.7 ความสำคัญหรือประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษาวิจัยครั้งนี้.....	4
2. ทฤษฎี.....	5
2.1 การไหลแบบราบเรียบภายในเครื่องดักอนุภาค.....	7
2.2 การไหลแบบปั่นป่วนภายในเครื่องดักอนุภาค.....	11
3. การออกแบบและการคำนวณ.....	14
3.1 วิธีการออกแบบ.....	14
3.2 วิธีการคำนวณ.....	17
3.2.1 ระบบท่อจากเตาเผามูลฝอย.....	17
3.2.2 ระบบท่อในระบบเครื่องแยกอนุภาค โดยอาศัยแรงโน้มถ่วง.....	18
3.2.3 ตัวเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง.....	19
3.2.4 ระบบพัดลม.....	21

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง.....	23
3.3.1 ระบบที่ใช้ในการทดลอง.....	23
3.3.1.1 เต้าเผามูลฝอยชนิดห้องเผาไหม้เดี่ยว.....	23
3.3.1.2 เครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง.....	24
3.3.1.3 ระบบวัดอุณหภูมิ.....	24
3.3.1.4 ระบบวัดอัตราการไหล.....	25
3.3.1.5 พัดลมดูดอากาศแบบแรงเหวี่ยง.....	26
3.3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล.....	26
3.3.2.1 เครื่องมือวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาค.....	26
3.3.2.2 เครื่องมือเก็บตัวอย่างอนุภาค.....	27
4. การทดลอง.....	31
4.1 ปริมาณความชื้น.....	32
4.2 ลักษณะของระบบที่ใช้ในการทดลอง.....	32
4.2.1 ลักษณะโดยทั่วไปของระบบที่ใช้ในการทดลอง.....	32
4.2.2 ส่วนประกอบของระบบที่ใช้ในการทดลอง.....	32
4.2.3 ตำแหน่งที่ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล.....	33
4.2.4 การควบคุมอัตราการไหลของแก๊สร้อน.....	33
4.2.5 ตำแหน่งที่ติดตั้งแผ่นออริฟิซ.....	34
4.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	35
5. ผลการทดลองและการวิเคราะห์.....	38
5.1 ผลการทดลองหาสมรรถนะของเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง.....	38
5.1.1 ผลของความเร็วของแก๊สต่อประสิทธิภาพของเครื่องคัดอนุภาค.....	121
5.1.2 ผลของจำนวนชั้นถาดในเครื่องคัดอนุภาคต่อประสิทธิภาพ ของเครื่องคัดอนุภาค.....	122
5.1.3 ผลของจำนวนชั้นถาดในเครื่องคัดอนุภาคต่อความเข้มข้น ของอนุภาคในแก๊สก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ.....	123
5.1.4 ผลของอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สร้อนกับอุณหภูมิเฉลี่ย ของแก๊สขาเข้า.....	123
5.1.5 ผลของอุณหภูมิที่ลดลงในเครื่องคัด.....	124

5.1.6	ประสิทธิภาพย่อยที่ช่วงขนาดอนุภาคต่างๆเทียบกับทฤษฎี.....	124
5.1.7	ความดันสูญเสียในเครื่องดักอนุภาค.....	125
5.1.8	ค่าความเร็วแก๊สที่เปลี่ยนไปเมื่อติดตั้งแผ่นกรอง.....	125
5.1.9	ผลการทดสอบแผ่นกรอง 3 ชุด.....	125
5.2	ผลที่ได้จากการทดลอง.....	125
5.3	การวิเคราะห์ผลการทดลองและการเปรียบเทียบผลการทดลอง.....	125
6.	สรุปผลการทดลอง.....	128
7.	วิจารณ์ผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	133
	รายการอ้างอิง.....	136
	ภาคผนวก.....	137
	ภาคผนวก ก.....	137
	ภาคผนวก ข.....	146
	ภาคผนวก ค.....	155
	ภาคผนวก ง.....	158
	ภาคผนวก จ.....	163
	ภาคผนวก ฉ.....	166
	ภาคผนวก ช.....	176
	ประวัติผู้เขียน.....	186

สารบัญตาราง

ตารางที่ 4.1	แสดงตำแหน่งการควบคุมอัตราการไหลของแก๊สร้อน.....	34
ตารางที่ 5.1	แสดงผลการทดลองจากการเผามูลฝอยประเภทกระดาษ อัตรา 25 kg/hr ที่ความเร็วแก๊สขาเข้า 22.87 m/s จำนวนถาด 25 ชั้น.....	41
ตารางที่ 5.2	แสดงผลการทดลองจากการเผามูลฝอยประเภทกระดาษ อัตรา 25 kg/hr ที่ความเร็วแก๊สขาเข้า 21.40 m/s จำนวนถาด 25 ชั้น.....	42
ตารางที่ 5.3	แสดงผลการทดลองจากการเผามูลฝอยประเภทกระดาษ อัตรา 25 kg/hr ที่ความเร็วแก๊สขาเข้า 19.81 m/s จำนวนถาด 25 ชั้น.....	43
ตารางที่ 5.4	แสดงผลการทดลองจากการเผามูลฝอยประเภทกระดาษ อัตรา 25 kg/hr ที่ความเร็วแก๊สขาเข้า 18.08 m/s จำนวนถาด 25 ชั้น.....	44
ตารางที่ 5.5	แสดงผลการทดลองจากการเผามูลฝอยประเภทกระดาษ อัตรา 25 kg/hr ที่ความเร็วแก๊สขาเข้า 22.87 m/s จำนวนถาด 20 ชั้น.....	45
ตารางที่ 5.6	แสดงผลการทดลองจากการเผามูลฝอยประเภทกระดาษ อัตรา 25 kg/hr ที่ความเร็วแก๊สขาเข้า 21.40 m/s จำนวนถาด 20 ชั้น.....	46
ตารางที่ 5.7	แสดงผลการทดลองจากการเผามูลฝอยประเภทกระดาษ อัตรา 25 kg/hr ที่ความเร็วแก๊สขาเข้า 19.81 m/s จำนวนถาด 20 ชั้น.....	47
ตารางที่ 5.8	แสดงผลการทดลองจากการเผามูลฝอยประเภทกระดาษ อัตรา 25 kg/hr ที่ความเร็วแก๊สขาเข้า 18.08 m/s จำนวนถาด 20 ชั้น.....	48
ตารางที่ 5.9	แสดงผลการทดลองจากการเผามูลฝอยประเภทกระดาษ อัตรา 25 kg/hr ที่ความเร็วแก๊สขาเข้า 22.87 m/s จำนวนถาด 15 ชั้น.....	49
ตารางที่ 5.10	แสดงผลการทดลองจากการเผามูลฝอยประเภทกระดาษ อัตรา 25 kg/hr ที่ความเร็วแก๊สขาเข้า 21.40 m/s จำนวนถาด 15 ชั้น.....	50
ตารางที่ 5.11	แสดงผลการทดลองจากการเผามูลฝอยประเภทกระดาษ อัตรา 25 kg/hr ที่ความเร็วแก๊สขาเข้า 19.81 m/s จำนวนถาด 15 ชั้น.....	51
ตารางที่ 5.12	แสดงผลการทดลองจากการเผามูลฝอยประเภทกระดาษ อัตรา 25 kg/hr ที่ความเร็วแก๊สขาเข้า 18.08 m/s จำนวนถาด 15 ชั้น.....	52
ตารางที่ 5.13.1	ประสิทธิภาพ (คำนวณจากการกระจายอนุภาค) และประสิทธิภาพทางทฤษฎี (ที่ความเร็วแก๊สขาเข้า 22.87 m/s จำนวนถาด 25 ชั้น).....	54

ตารางที่ 5.13.2	ประสิทธิภาพ (คำนวณจากการกระจายอนุภาค) และประสิทธิภาพทางทฤษฎี (ที่ความเร็วแก๊สขาเข้า 21.40 m/s จำนวนถาด 25 ชั้น).....	55
ตารางที่ 5.13.3	ประสิทธิภาพ (คำนวณจากการกระจายอนุภาค) และประสิทธิภาพทางทฤษฎี (ที่ความเร็วแก๊สขาเข้า 19.81 m/s จำนวนถาด 25 ชั้น)	56
ตารางที่ 5.13.4	ประสิทธิภาพ (คำนวณจากการกระจายอนุภาค) และประสิทธิภาพทางทฤษฎี (ที่ความเร็วแก๊สขาเข้า 18.08 m/s จำนวนถาด 25 ชั้น)	57
ตารางที่ 5.13.5	ประสิทธิภาพ (คำนวณจากการกระจายอนุภาค) และประสิทธิภาพทางทฤษฎี (ที่ความเร็วแก๊สขาเข้า 22.87 m/s จำนวนถาด 20 ชั้น)	58
ตารางที่ 5.13.6	ประสิทธิภาพ (คำนวณจากการกระจายอนุภาค) และประสิทธิภาพทางทฤษฎี (ที่ความเร็วแก๊สขาเข้า 21.40 m/s จำนวนถาด 20 ชั้น)	59
ตารางที่ 5.13.7	ประสิทธิภาพ (คำนวณจากการกระจายอนุภาค) และประสิทธิภาพทางทฤษฎี (ที่ความเร็วแก๊สขาเข้า 19.81 m/s จำนวนถาด 20 ชั้น)	60
ตารางที่ 5.13.8	ประสิทธิภาพ (คำนวณจากการกระจายอนุภาค) และประสิทธิภาพทางทฤษฎี (ที่ความเร็วแก๊สขาเข้า 18.08 m/s จำนวนถาด 20 ชั้น)	61
ตารางที่ 5.13.9	ประสิทธิภาพ (คำนวณจากการกระจายอนุภาค) และประสิทธิภาพทางทฤษฎี (ที่ความเร็วแก๊สขาเข้า 22.87 m/s จำนวนถาด 15 ชั้น)	62
ตารางที่ 5.13.10	ประสิทธิภาพ (คำนวณจากการกระจายอนุภาค) และประสิทธิภาพทางทฤษฎี (ที่ความเร็วแก๊สขาเข้า 21.40 m/s จำนวนถาด 15 ชั้น)	63
ตารางที่ 5.13.11	ประสิทธิภาพ (คำนวณจากการกระจายอนุภาค) และประสิทธิภาพทางทฤษฎี (ที่ความเร็วแก๊สขาเข้า 19.81 m/s จำนวนถาด 15 ชั้น)	64
ตารางที่ 5.13.12	ประสิทธิภาพ (คำนวณจากการกระจายอนุภาค) และประสิทธิภาพทางทฤษฎี (ที่ความเร็วแก๊สขาเข้า 18.08 m/s จำนวนถาด 15 ชั้น)	65
ตารางที่ 5.13.13	ประสิทธิภาพ (คำนวณจากการกระจายอนุภาค) จากแผ่นกรอง 3 ชุด (ที่ความเร็วแก๊สขาเข้า 18.08 m/s จำนวนถาด 15 ชั้น)	66
ตารางที่ 5.14	แสดงข้อมูลจากอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอนุภาคที่ปล่องควัน.....	68
ตารางที่ 5.15	แสดงผลการคำนวณค่าต่างๆที่ออริฟิซ 1.....	69
ตารางที่ 5.16	แสดงผลการวิเคราะห์ตัวแปรที่ศึกษาจากการทดลองที่สภาวะต่างๆ....	70
ตารางที่ 6.1	แสดงผลสรุปสมรรถนะของเครื่องคัดเทียบกับผลจากสมการ.....	132
ตารางที่ ฉ.1	แสดงค่าความเร็วจับของอนุภาค.....	166
ตารางที่ ฉ.2	แสดงค่าความเร็วของแก๊สที่สามารถพาอนุภาคไปได้.....	167

ตารางที่ น.3	แสดงค่าความเร็วของอากาศเนื่องจากความดัน.....	168
ตารางที่ น.4	แสดงค่าการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในข้ออ.....	169
ตารางที่ น.5	แสดงค่าการสูญเสียจากการเปลี่ยนพื้นที่หน้าตัดท่อ.....	170
ตารางที่ น.6	คุณสมบัติของแก๊สที่ความดันบรรยากาศ.....	171
ตารางที่ น.7	คุณสมบัติของมูลฝอยชนิดต่างๆ.....	172

สารบัญรูป

รูปที่	2.1	แสดงห้องดักอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง.....	7
รูปที่	2.2	แสดงลักษณะการไหลแบบราบเรียบภายในห้องดักอนุภาค.....	8
รูปที่	2.3	แสดงห้องดักอนุภาคชนิดมีแผ่นลาดภายใน.....	11
รูปที่	2.4	แสดงลักษณะการไหลแบบปั่นป่วนภายในห้องดักอนุภาค.....	11
รูปที่	3.1	แสดงส่วนประกอบของเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง.....	22
รูปที่	3.2	แสดงเทอร์โมคัปเปิลชนิด K (แบบ Chromel-Alumel).....	24
รูปที่	3.3	แสดงระบบวัดอัตราการไหลโดยใช้แผ่นออร์ฟิช.....	25
รูปที่	3.4	แสดงพัดลมดูดอากาศแบบแรงเหวี่ยง.....	26
รูปที่	3.5	แสดงระบบเก็บตัวอย่างอนุภาค.....	27
รูปที่	3.6	แสดงเตาเผามูลฝอยชนิดห้องเผาไหม้เดี่ยว.....	28
รูปที่	3.7	แสดงเครื่องแยกอนุภาคที่ใช้ในการทดลอง.....	29
รูปที่	3.8	แสดงเครื่องชั่งมวล METTLER AT261 DELTARANGE.....	30
รูปที่	3.9	แสดงเทอร์โมคัปเปิลและเครื่องอ่านอุณหภูมิ.....	30
รูปที่	4.1	แสดงลักษณะทั่วไปของระบบที่ใช้ในการทดลอง.....	32
รูปที่	4.2	แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล.....	33
รูปที่	4.3	แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งแผ่นออร์ฟิช.....	34
รูปที่	4.4	แสดงตำแหน่งในการวัดค่าต่างๆของระบบ.....	35
รูปที่	5.1.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิขาเข้า T_1 กับเวลา ที่ความเร็วแก๊สขาเข้า 22.87 m/s จำนวนถาด 25 ชั้น.....	72
รูปที่	5.1.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในเครื่อง T_2, T_3, T_4 กับเวลา ที่ความเร็วแก๊สขาเข้า 22.87 m/s จำนวนถาด 25 ชั้น.....	72
รูปที่	5.1.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในเครื่อง T_5, T_6, T_7 กับเวลา ที่ความเร็วแก๊สขาเข้า 22.87 m/s จำนวนถาด 25 ชั้น.....	72
รูปที่	5.1.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิทางออก T_8, T_9 กับเวลา ที่ความเร็วแก๊สขาเข้า 22.87 m/s จำนวนถาด 25 ชั้น.....	72
รูปที่	5.2.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิขาเข้า T_1 กับเวลา ที่ความเร็วแก๊สขาเข้า 21.40 m/s จำนวนถาด 25 ชั้น.....	73

รูปที่	5.13.3	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของการดักเก็บอนุภาคขนาดต่างๆ (ที่ความเร็วแก๊สเข้า 19.81 m/s จำนวนถาด 25 ชั้น)	85
รูปที่	5.13.4	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของการดักเก็บอนุภาคขนาดต่างๆ (ที่ความเร็วแก๊สเข้า 18.08 m/s จำนวนถาด 25 ชั้น)	85
รูปที่	5.13.5	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของการดักเก็บอนุภาคขนาดต่างๆ (ที่ความเร็วแก๊สเข้า 22.87 m/s จำนวนถาด 20 ชั้น)	86
รูปที่	5.13.6	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของการดักเก็บอนุภาคขนาดต่างๆ (ที่ความเร็วแก๊สเข้า 21.40 m/s จำนวนถาด 20 ชั้น)	86
รูปที่	5.13.7	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของการดักเก็บอนุภาคขนาดต่างๆ (ที่ความเร็วแก๊สเข้า 19.81 m/s จำนวนถาด 20 ชั้น)	86
รูปที่	5.13.8	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของการดักเก็บอนุภาคขนาดต่างๆ (ที่ความเร็วแก๊สเข้า 18.08 m/s จำนวนถาด 20 ชั้น)	86
รูปที่	5.13.9	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของการดักเก็บอนุภาคขนาดต่างๆ (ที่ความเร็วแก๊สเข้า 22.87 m/s จำนวนถาด 15 ชั้น)	87
รูปที่	5.13.10	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของการดักเก็บอนุภาคขนาดต่างๆ (ที่ความเร็วแก๊สเข้า 21.40 m/s จำนวนถาด 15 ชั้น)	87
รูปที่	5.13.11	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของการดักเก็บอนุภาคขนาดต่างๆ (ที่ความเร็วแก๊สเข้า 19.81 m/s จำนวนถาด 15 ชั้น)	87
รูปที่	5.13.12	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของการดักเก็บอนุภาคขนาดต่างๆ (ที่ความเร็วแก๊สเข้า 18.08 m/s จำนวนถาด 15 ชั้น)	87
รูปที่	5.13.13	กราฟแสดงประสิทธิภาพของการดักเก็บอนุภาคขนาดต่างๆ.....	88
รูปที่	5.14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพคำนวณจากน้ำหนักอนุภาคกับความเร็วแก๊สเข้า.....	89
รูปที่	5.15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพคำนวณจากการกระจายกับความเร็วแก๊สเข้า.....	90
รูปที่	5.16	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของอนุภาคที่ทางเข้าและออกกับอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สร้อน.....	91
รูปที่	5.17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยที่ทางเข้าและออกสู่บรรยากาศกับอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สร้อน.....	92

รูปที่	5.33	กราฟแสดงผลการวิเคราะห์การกระจายอนุภาคที่แผ่นกรองอนุภาคเก็บได้ (ที่ความเร็วแก๊สเข้า 18.08 m/s จำนวนถาด 25 ชั้น)	110
รูปที่	5.34	กราฟแสดงผลการวิเคราะห์การกระจายอนุภาคที่แผ่นกรองอนุภาคเก็บได้ (ที่ความเร็วแก๊สเข้า 22.87 m/s จำนวนถาด 20 ชั้น)	111
รูปที่	5.35	กราฟแสดงผลการวิเคราะห์การกระจายอนุภาคที่แผ่นกรองอนุภาคเก็บได้ (ที่ความเร็วแก๊สเข้า 21.40 m/s จำนวนถาด 20 ชั้น)	112
รูปที่	5.36	กราฟแสดงผลการวิเคราะห์การกระจายอนุภาคที่แผ่นกรองอนุภาคเก็บได้ (ที่ความเร็วแก๊สเข้า 19.81 m/s จำนวนถาด 20 ชั้น)	113
รูปที่	5.37	กราฟแสดงผลการวิเคราะห์การกระจายอนุภาคที่แผ่นกรองอนุภาคเก็บได้ (ที่ความเร็วแก๊สเข้า 18.08 m/s จำนวนถาด 20 ชั้น)	114
รูปที่	5.38	กราฟแสดงผลการวิเคราะห์การกระจายอนุภาคที่แผ่นกรองอนุภาคเก็บได้ (ที่ความเร็วแก๊สเข้า 22.87 m/s จำนวนถาด 15 ชั้น)	115
รูปที่	5.39	กราฟแสดงผลการวิเคราะห์การกระจายอนุภาคที่แผ่นกรองอนุภาคเก็บได้ (ที่ความเร็วแก๊สเข้า 21.40 m/s จำนวนถาด 15 ชั้น)	116
รูปที่	5.40	กราฟแสดงผลการวิเคราะห์การกระจายอนุภาคที่แผ่นกรองอนุภาคเก็บได้ (ที่ความเร็วแก๊สเข้า 19.81 m/s จำนวนถาด 15 ชั้น)	117
รูปที่	5.41.1	กราฟแสดงผลการวิเคราะห์การกระจายอนุภาคของแผ่นกรองชุดที่ 1 (ที่ความเร็วแก๊ส 18.08 m/s จำนวนถาด 15 ชั้น).....	118
รูปที่	5.41.2	กราฟแสดงผลการวิเคราะห์การกระจายอนุภาคของแผ่นกรองชุดที่ 2 (ที่ความเร็วแก๊ส 18.08 m/s จำนวนถาด 15 ชั้น).....	119
รูปที่	5.41.3	กราฟแสดงผลการวิเคราะห์การกระจายอนุภาคของแผ่นกรองชุดที่ 3 (ที่ความเร็วแก๊ส 18.08 m/s จำนวนถาด 15 ชั้น).....	120
รูปที่	ก-1	แสดงระบบการวัดค่าอัตราการไหล โดยใช้แผ่นออร์ฟิซ.....	137
รูปที่	ข-1	แสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่องวิเคราะห์การกระจายของอนุภาค..	146
รูปที่	ข-2	แสดงส่วนป้อนตัวอย่างของอนุภาค.....	147
รูปที่	ข-3	แสดงส่วนกำเนิดแสงและวัดการตกกระทบของแสงบนอนุภาค.....	148
รูปที่	ข-4	แสดงส่วนประมวลผลและแสดงผล.....	148
รูปที่	ข-5	แสดงเครื่องมือวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคโดยรวม.....	148
รูปที่	ฉ-1	แสดงคุณลักษณะของอนุภาคชนิดต่างๆ.....	174
รูปที่	ฉ-2	แสดงค่าความดันสูญเสียในท่อเหล็กทรงหน้าตัดวงกลม.....	175

รูปที่	ช-1	แสดงภาพรวมของเครื่องแยกอนุภาคโดยแรงโน้มถ่วง.....	177
รูปที่	ช-2	แสดงขนาดเตาเผามูลฝอยชนิดห้องเผาไหม้เดี่ยว.....	178
รูปที่	ช-3	แสดงระบบท่อจากเตาถึงทางเข้าเครื่องแยกอนุภาค.....	179
รูปที่	ช-4	แสดงระบบท่อจากทางออกเครื่องแยกอนุภาคถึงพัดลมดูดอากาศ.....	180
รูปที่	ช-5	แสดงปล่องควันที่ทางออกของพัดลมดูดอากาศ.....	181
รูปที่	ช-6	แสดงขนาดกล่องใส่แผ่นกรอง.....	182
รูปที่	ช-7	แสดงขนาดแผ่นอริฟิซ.....	183
รูปที่	ช-8	แสดงขนาดเครื่องแยกอนุภาค.....	184
รูปที่	ช-9	แสดงขนาดของชุดถาดที่ใส่ในเครื่องแยกอนุภาค.....	185

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	พื้นที่หน้าตัด	m^2
β	อัตราส่วนเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ	-
d	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอนุภาค	μm
D	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ	m
ΔP	ความดันสูญเสีย	mm.H ₂ O
f	ค่าการสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทาน	mm.H ₂ O
F	แรงต้านการเคลื่อนที่	N
g	ค่าแรงโน้มถ่วงของโลก	m/s^2
η	ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องคัดอนุภาค	%
H	ความสูง	m
h	ค่าความดันสูญเสีย	mm.H ₂ O
L	ความยาวของถาดคัดอนุภาค	m
μ	ค่าความหนืดของแก๊ส	kg/m.s
m	มวลของอนุภาค	kg
m'	อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊ส	kg/s
n	จำนวนชั้นของถาด	
N	จำนวนของอนุภาค	kg/m^3
Q	ปริมาณการไหลของแก๊ส	m^3/s
q	อัตราการไหลของแก๊ส	m^3/s
ρ	ค่าความหนาแน่น	kg/m^3
Re	ค่าเรย์โนลด์	dimensionless
t	เวลา	s
T	อุณหภูมิ	$^{\circ}C$
u	ความเร็วของไหล	m/s
v	ความเร็วแก๊ส	m/s
V	ปริมาตรของแก๊ส	m^3
VP	ความดันเนื่องจากความเร็ว	mm.H ₂ O
W	ความกว้างของถาดคัดอนุภาค	m
w	มวลของมูลฝอย	kg
y	ตำแหน่งความสูง	m

สัญลักษณ์กำกับล่าง

0	ที่ตำแหน่งเริ่มต้น
d	สภาวะหลังการรอบแหว่ง
D	โดยคำนวณจากการกระจายขนาดอนุภาค
e	ทางออก
el	ช่องอ
f	ท่อตรง, จากแผ่นกรองอนุภาค
g	แก๊สไอเสีย
i	ทางเข้า
L	ที่ระยะความยาว L
m	โดยคำนวณจากมวลอนุภาค
ov	รวมทั้งหมด
p	อนุภาค
s	จากเครื่องดักอนุภาค
t	ค่าสุดท้าย
w	สภาวะก่อนการรอบแหว่ง
x	ระนาบแนวนอน
y	ระนาบแนวตั้ง

สัญลักษณ์กำกับบน

—	ค่าเฉลี่ย
*	ค่าวิกฤต