

การศึกษาและออกแบบเครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรี

นายสมเกียรติ สมชัยกุลทรัพย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-331-811-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๕๑๙๐๐๒๕๐๙

STUDY AND DESIGN OF A VENTURI SCRUBBER

MR. SOMKIAT SOMCHAIKULSAP

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

Department of Mechanical Engineering

Graduated School

Chulalongkorn University

Academic Year 1998

ISBN 974-331-811-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาและออกแบบเครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรี
โดย นายสมเกียรติ สมชัยกุลทรัพย์
ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.สมศรี จรุงเรือง

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุภวัฒน์ ชุตินวงศ์)

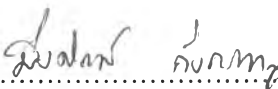
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



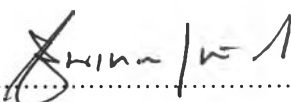
..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ)



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



..... กรรมการ
(อาจารย์ มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล)



..... กรรมการ
(อาจารย์ ชินเทพ เพ็ญชาติ)

สมเกียรติ สมชัยกุลทรัพย์ : การศึกษาและออกแบบเครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรี

(STUDY AND DESIGN OF A VENTURI SCRUBBER)

อ. ที่ปรึกษา: รศ.ดร. สมศรี จรุงเรือง ; 222 หน้า. ISBN 974-331-811-9.

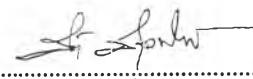
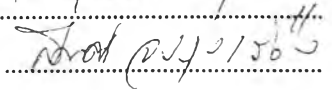
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและออกแบบเครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรี เพื่อลดปริมาณอนุภาคในแก๊สเสียที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้มูลฝอยประเภทกระดาษ โดยทำการศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อค่าความดันลดของแก๊สที่ไหลผ่านคอคอดและประสิทธิภาพในการดักเก็บอนุภาคของระบบเครื่องเก็บอนุภาค

เครื่องเก็บอนุภาคนี้ มีการติดตั้งหัวฉีดน้ำจำนวน 2 หัว ซึ่งออกแบบให้สามารถถอดเปลี่ยนได้ที่บริเวณคอคอดของระบบ หัวฉีดแต่ละหัวมีระยะห่างกัน 7 นิ้ว ตามความสูงของคอคอดที่มีพื้นที่หน้าตัด 4.5×10 ตารางนิ้ว และความสูง 21 นิ้ว

ในการออกแบบการทดลองนี้ ก็เพื่อที่จะศึกษาตัวแปรอิสระ ได้แก่ ความเข้มข้นของฝุ่นที่ไหลเข้าระบบ, อัตราส่วนของของเหลวต่อแก๊ส และหยดของเหลวที่สเปรย์ออกจากหัวฉีด ที่มีผลต่อความดันลดที่คอคอดและประสิทธิภาพรวมในการดักเก็บอนุภาค ผลการทดลองสามารถสรุปได้ ดังต่อไปนี้ :

1. ความดันลดของแก๊สที่คอคอดจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วนของของเหลวต่อแก๊สมีค่าเพิ่มขึ้น แต่จะไม่ขึ้นอยู่กับหยดของของเหลว
2. ประสิทธิภาพรวมในการดักเก็บอนุภาคจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วนของของเหลวต่อแก๊สมีค่าเพิ่มขึ้น และ/หรือ หยดน้ำมีขนาดเล็กลง
3. ผลการเปรียบเทียบระหว่างความดันลดของแก๊สที่คอคอดจากการทดลองและผลที่ได้จากสมการของ S. Calvert พบว่า มีค่าแตกต่างสูงสุดเท่ากับ 30.81 %
4. ผลการเปรียบเทียบระหว่างประสิทธิภาพรวมในการดักเก็บอนุภาคจากการทดลองและจากสมการที่เสนอโดย H.F. Johnstone จะได้ค่าคงที่ของระบบ เมื่อใช้อัตราส่วนของของเหลวต่อแก๊สในช่วง 0.4-0.8 ลิตร.น้ำ/ลูกบาศก์เมตร.แก๊ส สำหรับหัวฉีดน้ำที่มีขนาดรูออร์ทิซ 1.5 และ 1.6 มิลลิเมตร ค่าคงที่ของระบบอยู่ในช่วง 0.64-2.20 และ 0.21-0.79 (แกลลอน.น้ำ/1,000 ลูกบาศก์ฟุต.แก๊ส)⁻¹ ตามลำดับ ค่าความแตกต่างสูงสุดของประสิทธิภาพรวมในการดักเก็บอนุภาค มีค่าเท่ากับ 6.20 %

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2541

ลายมือชื่อนิสิต 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

3971927121

MECHANICAL ENGINEERING

: MAJOR
KEY WORD: VENTURI SCRUBBER

SOMKIAT SOMCHAIKULSAP : STUDY AND DESIGN OF A VENTURI SCRUBBER

THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SOMSRI CHONGRUNGREONG, Ph.D. 222 pp.

ISBN 974-331-811-9

This research is to study and design of a venturi scrubber for particles reducing in the contaminated gas stream occurring from refuse-paper combustion. By studying the results of some variables influence to the throat gas pressure drop and the overall collection efficiency of the scrubber system.

This scrubber is installed with two sprays nozzles designed for changing at the venturi throat of its system. The distance of each nozzle is 7 inches along the throat height that has 4.5x10 square-inch. crosssectional area and 21 inches height.

In this experiment design is to study the independent variables that are the inlet dust concentration to system, liquid to gas ratio and atomized droplets from the spray nozzles affecting to its throat pressure drop and overall collection efficiency. The experiment results can be summarized as follows :

1. The throat gas pressure drop will increase when the liquid to gas ratio increase but not depending on the atomized droplets.
2. The overall collection efficiency will increase when the liquid to gas ratio increase and/or the atomized droplets are small-down.
3. The comparison between the throat gas pressure drop from the experiment and the result from the equation suggested by S. Calvert is 30.18 % maximum difference.
4. The comparison between the overall collection efficiency from the experiment and the result from the equation suggested by H.F. Johnstone will get the system's constant, when use the liquid to gas ratio in the range of 0.4-0.8 L.H₂O/m³.gas for the orifice nozzles diameter are 1.5 and 1.6 mm, the system's constant is in the range of 0.64-2.20 and 0.21-0.79 (gallon.water/1,000 ft³.gas)⁻¹ respectively. The maximum difference of this overall collection efficiency is 6.20 %.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา.....2541

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือของ รศ.ดร.สมศรี จรุงเรือง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.วิทยา ขงเจริญ ประธานกรรมการ อาจารย์มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล และท่านอาจารย์ชินเทพ เพ็ญชาติ กรรมการ ซึ่งได้สละเวลาให้คำแนะนำ แนวทาง และข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัยด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์อย่างสูง ที่ได้ให้ความกรุณาจนงานวิจัยนี้สำเร็จลงได้

และเนื่องจากงานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนบางส่วนมาจากบัณฑิตวิทยาลัย และจากภาควิชาฯ จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ นิสิตปริญญาโททุกท่าน ที่ได้ให้คำปรึกษา ช่วยเหลือและกำลังใจ ด้วยดีมาตลอดระยะเวลาที่ศึกษา

ขอขอบพระคุณ ครูอาจารย์ทุกท่านที่มีโอกาสกล่าวถึงได้หมด ณ ที่นี้ ที่ได้ให้ความรู้ อบรมสั่งสอน จนสามารถสำเร็จการศึกษา

ท้ายสุดนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณพ่อและแม่ ที่ได้สนับสนุนการศึกษาของผู้วิจัยรวมถึงความเข้าใจและกำลังใจที่มีให้เสมอมา จนสามารถสำเร็จการศึกษา ประโยชน์และคุณค่าอันใดที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์นี้ ขอมอบเป็นกตัญญูตราบัวแด่พ่อและแม่ ครูอาจารย์ ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ	ณ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ภูมิหลังที่มาของปัญหา	1
1.2 นิยามศัพท์เฉพาะ	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย	3
1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย	3
1.6 ความสำคัญหรือประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษาวิจัยนี้	4
2 ทฤษฎี	5
2.1 กลไกการดักเก็บอนุภาคที่เกิดขึ้นในเครื่องเก็บอนุภาคแบบเป็ยก	5
2.2 เครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทอรี	7
2.2.1 ขนาดของระบบเครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทอรี	9
2.2.2 ความดันสูญเสียนในเครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทอรี	11
2.2.3 ประสิทธิภาพในการดักเก็บอนุภาคของเครื่องเก็บอนุภาคชนิด เวนทอรี	12
2.3 กระบวนการทำให้เกิดส้อมตัวแบบแอดีเยแบติก	13
2.4 ปริมาณของน้ำที่ต้องการสำหรับใช้ในระบบเครื่องเก็บอนุภาค	15
3 การออกแบบและการคำนวณ	15
3.1 การคำนวณหาค่าความชื้นของแก๊สร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้	15
3.2 การคำนวณหาปริมาณน้ำทั้งหมดที่ใช้ในเครื่องเก็บอนุภาค	18
3.2.1 ปริมาณน้ำสำหรับการทำให้เกิดส้อมอิมตัว	18

3.2.2 ปริมาณน้ำที่ใช้ในการดักเก็บอนุภาค	20
3.3 ขนาดของระบบเครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรี	21
3.3.1 การคำนวณหาความเร็วของแก๊สที่พื้นที่หน้าตัดต่างๆ ในระบบ เครื่องเก็บอนุภาค	25
3.3.2 การคำนวณหาค่าความดันสูญเสียในระบบเครื่องเก็บอนุภาค ...	27
4 หลักการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์	30
4.1 การเก็บตัวอย่างน้ำเสียเพื่อการวิเคราะห์	30
4.1.1 อุปกรณ์การเก็บตัวอย่างน้ำ	31
4.1.2 จุดเก็บตัวอย่างน้ำ	31
4.1.3 วิธีเก็บตัวอย่างน้ำ	31
4.1.4 การเก็บรักษาตัวอย่างน้ำ	33
4.1.5 การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งในน้ำทิ้ง	33
4.1.5.1 วิธีวิเคราะห์หาคะอนหนัก	34
4.1.5.2 วิธีวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งแขวนลอย	35
4.1.5.3 วิธีวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด	36
4.1.5.4 วิธีวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งทั้งหมด	37
4.2 การเก็บตัวอย่างอนุภาคที่มีอยู่ในอากาศ	38
5 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง	42
5.1 ระบบที่ใช้ในการทดลอง	42
5.1.1 เตาเผามูลฝอยชนิดสองห้องเผาไหม้	42
5.1.2 เครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรี	43
5.1.3 ระบบวัดอุณหภูมิ	44
5.1.4 ระบบวัดอัตราการไหล	44
5.1.4.1 ระบบวัดอัตราการไหลของแก๊ส	45
5.1.4.2 ระบบวัดอัตราการไหลของน้ำ	46
5.1.5 ระบบท่อน้ำและการส่งจ่ายน้ำ	46
5.1.6 หัวฉีดน้ำ	47
5.1.7 ระบบควบคุมความดันและอัตราการไหลของน้ำที่เข้าระบบ	47
5.1.8 พัดลมเป่าอากาศแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง	48
5.1.9 ระบบกรองอากาศ	48

5.2	เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล	49
5.2.1	เครื่องมือวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาค	49
5.2.2	เครื่องมือวิเคราะห์หาปริมาณอนุภาคในน้ำทิ้ง	49
6	การทดลอง	62
6.1	ลักษณะของมูลฝอยที่ใช้ในการทดลอง	63
6.1.1	มูลฝอยกระดาษ	63
6.1.2	ปริมาณความชื้น	63
6.2	ลักษณะของระบบที่ใช้ในการทดลอง	64
6.2.1	ลักษณะและส่วนประกอบโดยทั่วไปของระบบที่ใช้ในการทดลอง	64
6.2.2	ตำแหน่งที่ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลเปิดสำหรับวัดอุณหภูมิของแก๊สร้อน	65
6.2.3	ตำแหน่งที่ติดตั้งแผ่นออริฟิซสำหรับวัดอัตราการไหลของแก๊สร้อน	65
6.2.4	ตำแหน่งวัดความดันสถิตย์และความดันลดของแก๊สร้อนในระบบ เครื่องเก็บอนุภาค	66
6.2.5	ลักษณะของระบบท่อน้ำและการส่งจ่ายน้ำ	68
6.3	ขั้นตอนการทดลอง	68
7	ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล	73
7.1	ตารางและรูปที่ได้จากการทดลองทั้งหมดที่เงื่อนไขต่างๆ	73
7.2	ผลการทดลองและการวิเคราะห์ในส่วนของคุณสมบัติของแก๊สที่ไหล ผ่านคอคอดในระบบเครื่องเก็บอนุภาค	74
7.2.1	ผลของค่าอัตราส่วนของน้ำที่ใช้ต่อแก๊สเสียที่เข้าระบบและขนาด ของหยดน้ำที่สเปรย์ออกจากหัวฉีดน้ำ ต่อค่าความดันลดของแก๊ส ที่คอคอดของเครื่องเก็บอนุภาค	74
7.2.2	ผลของค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่ไหลเข้าระบบต่อความดันลด ของแก๊สที่ไหลผ่านคอคอด	74
7.2.3	การเปรียบเทียบค่าความดันลดของแก๊สที่คอคอดของระบบระหว่าง ค่าที่วัดได้จากการทดลองและค่าประมาณทางทฤษฎี	76
7.3	ผลการทดลองและการวิเคราะห์ในส่วนของคุณสมบัติในการดักเก็บ อนุภาค	76

7.3.1	ผลของค่าอัตราส่วนของน้ำที่ใช้ต่อแก๊สเสียที่เข้าระบบและขนาดของหยดน้ำที่สเปรย์ออกจากหัวฉีด ต่อประสิทธิภาพรวมในการดักเก็บอนุภาค	76
7.3.2	ผลของค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่ไหลเข้าระบบต่อประสิทธิภาพรวมในการดักเก็บอนุภาค	81
7.3.3	ผลของค่าความดันลดของแก๊สที่ไหลผ่านคอคอดของระบบต่อประสิทธิภาพในการดักเก็บอนุภาค	81
7.3.4	การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพรวมในการดักเก็บอนุภาคระหว่างผลการทดลองและค่าประมาณทางทฤษฎี	81
8	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	134
8.1	สรุปผลการทดลอง	134
8.1.1	ผลของค่าความดันลดของแก๊สที่ไหลผ่านคอคอดในระบบเครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทอรี	134
8.1.2	ผลของค่าประสิทธิภาพในการดักเก็บอนุภาคของระบบเครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทอรี	134
8.1.3	ผลของค่าความเข้มข้นของอนุภาคในแก๊สที่ปล่อยสู่บรรยากาศ ...	135
8.2	ข้อเสนอแนะ	135
	รายการอ้างอิง	137
	บรรณานุกรม	139
	ภาคผนวก	
ก	การหาค่าความหนาแน่นของแก๊ส	140
ข	การหาค่าอัตราการไหลของแก๊ส	143
ค	การหาปริมาณอากาศที่ใช้จริงสำหรับป้อนเข้าเตาเผามูลฝอย	153
ง	รายละเอียดและเงื่อนไขการสเปรย์น้ำของหัวฉีดน้ำ	158
จ	การวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาค	164
ฉ	มวลของอนุภาคที่ถูกดักเก็บได้ด้วยท่อชักตัวอย่าง	177
ช	การหาค่าความเข้มข้นจริงของอนุภาคที่ไหลเข้าระบบ	178
ซ	การหาประสิทธิภาพในการดักเก็บอนุภาค	183

ฅ	การคำนวณและออกแบบเตาเผามูลฝอยชนิดสองห้องเผาไหม้	198
ญ	เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งในน้ำทิ้ง ..	203
ฎ	รายละเอียดของโรตารีเตอร์สำหรับวัดอัตราการไหลของน้ำ	208
ฏ	รายละเอียดของวาล์วลดความดันในระบบควบคุมความดันและอัตราการไหล .	209
ฐ	รายละเอียดของวาล์วรูเข็มในระบบควบคุมความดันและอัตราการไหล	210
ฑ	รายละเอียดของปั้มน้ำชนิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง	211
ฒ	รายละเอียดของแผ่นกรองที่ใช้ดักเก็บตัวอย่างอนุภาค	212
ณ	ตารางประกอบการออกแบบและการคำนวณระบบเครื่องเก็บอนุภาคชนิด ชนิดเวนทอรี	213
ด	แบบของชิ้นส่วนต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบเครื่องเก็บอนุภาค	217
	ประวัติผู้วิจัย	222

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	แสดงประเภทและคุณสมบัติ รวมทั้งข้อดีและข้อเสียของอุปกรณ์ ทำความสะอาดแก๊สประเภทต่างๆ	8
ตารางที่ 3.1	แสดงความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละส่วนของระบบเครื่องเก็บ อนุภาค	29
ตารางที่ 4.1	การเก็บรักษาตัวอย่างน้ำ	33
ตารางที่ 6.1	แสดงชนิดของมูลฝอยกระดาษและค่าความชื้นของมูลฝอยที่ใช้ใน การทดลอง	64
ตารางที่ 7.1	แสดงผลการทดลองที่ 1: เฝ้าด้วยอากาศส่วนเกิน 160 %EA, อัตราส่วนของน้ำต่อแก๊สเข้าระบบ (R) 0.4 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีดน้ำรุ่น GG3 มีขนาดรูออริฟิซ 1.5 mm	85
ตารางที่ 7.2	แสดงผลการทดลองที่ 2: เฝ้าด้วยอากาศส่วนเกิน 160 %EA, อัตราส่วนของน้ำต่อแก๊สเข้าระบบ (R) 0.6 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีดน้ำรุ่น GG3 มีขนาดรูออริฟิซ 1.5 mm	86
ตารางที่ 7.3	แสดงผลการทดลองที่ 3: เฝ้าด้วยอากาศส่วนเกิน 160 %EA, อัตราส่วนของน้ำต่อแก๊สเข้าระบบ (R) 0.8 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีดน้ำรุ่น GG3 มีขนาดรูออริฟิซ 1.5 mm	87
ตารางที่ 7.4	แสดงผลการทดลองที่ 4: เฝ้าด้วยอากาศส่วนเกิน 180 %EA, อัตราส่วนของน้ำต่อแก๊สเข้าระบบ (R) 0.4 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีดน้ำรุ่น GG3 มีขนาดรูออริฟิซ 1.5 mm	88
ตารางที่ 7.5	แสดงผลการทดลองที่ 5: เฝ้าด้วยอากาศส่วนเกิน 180 %EA, อัตราส่วนของน้ำต่อแก๊สเข้าระบบ (R) 0.6 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีดน้ำรุ่น GG3 มีขนาดรูออริฟิซ 1.5 mm	89
ตารางที่ 7.6	แสดงผลการทดลองที่ 6: เฝ้าด้วยอากาศส่วนเกิน 180 %EA, อัตราส่วนของน้ำต่อแก๊สเข้าระบบ (R) 0.8 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีดน้ำรุ่น GG3 มีขนาดรูออริฟิซ 1.5 mm	90

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ 7.7	แสดงผลการทดลองที่ 7: เฝ้าด้วยอากาศส่วนเกิน 160 %EA, อัตราส่วนของน้ำต่อแก๊สเข้าระบบ (R) 0.4 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีดน้ำรุ่น GG3.5 มีขนาดรูออริฟิซ 1.6 mm	91
ตารางที่ 7.8	แสดงผลการทดลองที่ 8: เฝ้าด้วยอากาศส่วนเกิน 160 %EA, อัตราส่วนของน้ำต่อแก๊สเข้าระบบ (R) 0.6 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีดน้ำรุ่น GG3.5 มีขนาดรูออริฟิซ 1.6 mm	92
ตารางที่ 7.9	แสดงผลการทดลองที่ 9: เฝ้าด้วยอากาศส่วนเกิน 160 %EA, อัตราส่วนของน้ำต่อแก๊สเข้าระบบ (R) 0.8 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีดน้ำรุ่น GG3.5 มีขนาดรูออริฟิซ 1.6 mm	93
ตารางที่ 7.10	แสดงผลการทดลองที่ 10: เฝ้าด้วยอากาศส่วนเกิน 180 %EA, อัตราส่วนของน้ำต่อแก๊สเข้าระบบ (R) 0.4 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีดน้ำรุ่น GG3.5 มีขนาดรูออริฟิซ 1.6 mm	94
ตารางที่ 7.11	แสดงผลการทดลองที่ 11: เฝ้าด้วยอากาศส่วนเกิน 180 %EA, อัตราส่วนของน้ำต่อแก๊สเข้าระบบ (R) 0.6 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีดน้ำรุ่น GG3.5 มีขนาดรูออริฟิซ 1.6 mm	95
ตารางที่ 7.12	แสดงผลการทดลองที่ 12: เฝ้าด้วยอากาศส่วนเกิน 180 %EA, อัตราส่วนของน้ำต่อแก๊สเข้าระบบ (R) 0.8 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีดน้ำรุ่น GG3.5 มีขนาดรูออริฟิซ 1.6 mm	96
ตารางที่ 7.13	แสดงผลสรุปข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการทดลอง ที่เงื่อนไขต่างๆ ...	97
ตารางที่ 7.14	แสดงผลการเปรียบเทียบค่าตัวแปรตามที่ทำการศึกษาระหว่างค่าที่ได้จากการทดลอง (experiment result) และ ค่าประมาณทางทฤษฎี (estimated result)	98
ตารางที่ 7.15	แสดงน้ำหนักของอนุภาคทั้งหมดที่ดักเก็บได้ด้วยท่อชักตัวอย่าง ในการทดลองที่ 1 เฝ้าด้วยอากาศ 160 %EA, อัตราส่วนของน้ำที่ใช้ต่อแก๊ส 0.4 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด 1.5 mm	99
ตารางที่ 7.16	แสดงน้ำหนักของอนุภาคทั้งหมดที่ดักเก็บได้ด้วยท่อชักตัวอย่าง ในการทดลองที่ 2 เฝ้าด้วยอากาศ 160 %EA, อัตราส่วนของน้ำที่ใช้ต่อแก๊ส 0.6 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด 1.5 mm	99

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ 7.26	แสดงน้ำหนักของอนุภาคทั้งหมดที่ดักเก็บได้ด้วยท่อชักตัวอย่าง ในการทดลองที่ 12 เผาด้วยอากาศ 180 %EA, อัตราส่วนของน้ำที่ ใช้ต่อแก๊ส 0.8 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด 1.6 mm	104
ตารางที่ ข-1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงแตกต่างของระดับน้ำ กับอัตราการไหลแก๊สหลัง bypass ที่ท่อ 8"	150
ตารางที่ ข-2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงแตกต่างของระดับน้ำ กับอัตราการไหลแก๊สที่ท่อชักตัวอย่าง 2"	150
ตารางที่ ค-1	แสดงปริมาณอากาศส่วนเกิน (Q _{EA}) ที่ความดันตกคร่อมแผ่นออริฟิซ ค่าต่างๆ	156
ตารางที่ ง-1	แสดงช่วงอัตราการไหลและความดันของน้ำก่อนเข้าหัวฉีดน้ำตามที่ ระบุไว้ใน catalog ของผู้ผลิต	159
ตารางที่ จ-1	ผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคที่ไหลเข้าระบบสำหรับ การทดลองที่ 1; เผาด้วยปริมาณอากาศ 160 %EA, อัตราส่วนของน้ำ ที่ใช้ต่อแก๊ส 0.4 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีดน้ำ GG3 มีขนาดรูออริฟิซ 1.5 mm	175
ตารางที่ จ-2	ผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคที่เก็บได้ สำหรับการทดลอง ที่ 1; เผาด้วยปริมาตร 160 %EA, อัตราส่วนของน้ำที่ใช้ต่อแก๊ส 0.4 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีดน้ำ GG3 มีขนาดรูออริฟิซ 1.5 mm	176
ตารางที่ ฉ-1	แสดงพิภคมาตรฐานคุณภาพอากาศที่ออกจากแหล่งกำเนิด (Emission Standard)	213
ตารางที่ ฉ-2	แสดงค่าคงที่ของวาล์วและอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับคำนวณหาค่าความ ดันสูญเสียในระบบท่อน้ำ	214

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงกลไกของการดักเก็บอนุภาคในเครื่องเก็บอนุภาคแบบเปียก	7
รูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบหลักของเครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูลรี	10
รูปที่ 2.3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดต่างๆ ของระบบเครื่องเก็บอนุภาค ชนิดเวนทูลรีกับอัตราการไหลของแก๊สเสีย	11
รูปที่ 3.1 แสดงกระบวนการแอเดียแบติกอ้อมตัว ที่สมมุติให้เกิดขึ้นบริเวณคอคอด ของระบบ	18
รูปที่ 3.2 แสดงขนาดต่างๆ ของระบบเครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูลรี	23
รูปที่ 3.3 แสดงตำแหน่งการติดตั้งและลักษณะการสเปรย์น้ำของหัวฉีดน้ำที่คอคอด ของระบบเครื่องเก็บอนุภาค	24
รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะการไหลของกระแสแก๊สที่เข้าท่อชักตัวอย่าง	39
รูปที่ 4.2 แสดงกราฟระหว่าง $f(p)$ กับ p สำหรับใช้ในสมการที่ (4.2)	40
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลของการเก็บตัวอย่างที่อาจเกิดขึ้นได้ โดยคำนวณจากสมการ ที่ (4.2) สำหรับ อนุภาคที่มีความหนาแน่น 1 g/cm^3	41
รูปที่ 5.1 แสดงลักษณะของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K (Chromel-Alumel)	44
รูปที่ 5.2 แสดงจุดต่อต่างๆ ของระบบวัดอัตราการไหลแบบออร์ฟิซ	45
รูปที่ 5.3 แสดงเตาเผามูลฝอยและระบบจ่ายอากาศเข้าเตา ที่ใช้ในงานวิจัย	50
รูปที่ 5.4 แสดงระบบเครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูลรี	51
รูปที่ 5.5 แสดงระบบท่อน้ำและการส่งจ่ายน้ำในระบบเครื่องเก็บอนุภาค	52
รูปที่ 5.6 แสดงจุดต่อของหัวฉีดน้ำและท่อน้ำด้วยยูเนียน $3/4''$ ที่คอคอดของระบบ	53
รูปที่ 5.7 แสดงท่อสำหรับแยกไหล (bypass) แก๊สเสียที่ออกจากปล่องของเตาเผา มูลฝอย	53
รูปที่ 5.8 แสดงแผ่นออร์ฟิซ ($d=10.16 \text{ cm}$) ที่ท่อ $8''$ สำหรับวัดปริมาณแก๊สหลัง การ bypass	54
รูปที่ 5.9 แสดงชุดท่อชักตัวอย่าง $2''$ ในส่วนที่แยกเข้าท่อทางเข้าระบบเครื่องเก็บ อนุภาค	54
รูปที่ 5.10 แสดงแผ่นออร์ฟิซ ($d=4 \text{ cm}$) ที่ท่อ $2''$ สำหรับวัดปริมาณแก๊สที่ไหลเข้า ท่อชักตัวอย่าง	55

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่ 5.11 แสดงลักษณะของท่อชักตัวอย่าง (sampling tube) ในส่วนที่จะบรรจุ แผ่นกรอง	55
รูปที่ 5.12 แสดงลักษณะการเรียงตัวของแผ่นกรองที่บรรจุอยู่ในท่อชักตัวอย่าง	56
รูปที่ 5.13 แสดงหัวฉีดน้ำที่ใช้ในงานวิจัย	56
รูปที่ 5.14 แสดงโรตารีเตอร์สำหรับวัดอัตราการไหลของน้ำที่สเปรย์เข้าระบบ .	57
รูปที่ 5.15 แสดงวาล์วเข็ม (needle valve) ในระบบควบคุมความดันและอัตรา การไหล	57
รูปที่ 5.16 แสดงวาล์วลดความดัน (pressure reducing valve)	58
รูปที่ 5.17 แสดงปั้มน้ำในระบบท่อและการส่งจ่ายน้ำ	58
รูปที่ 5.18 แสดงประตูป้อนมูลฝอยของเตาเผามูลฝอย	59
รูปที่ 5.19 แสดงพัดลมเป่าอากาศสำหรับจ่ายเข้าห้องเผาไหม้เตาเผามูลฝอย	59
รูปที่ 5.20 แสดงมานอมิเตอร์สำหรับวัดค่าความดันในระบบแก๊ส	60
รูปที่ 5.21 แสดงเครื่องอ่านค่าอุณหภูมิชนิดตัวเลข (digital selector)	61
รูปที่ 6.1 แผนภูมิแสดงเงื่อนไขต่างๆ สำหรับการทดลองในงานวิจัยนี้	62
รูปที่ 6.2 แสดงลักษณะของระบบเครื่องเก็บอนุภาคและตำแหน่งของจุดวัดต่างๆ	67
รูปที่ 6.3 แสดงลักษณะการติดตั้งระบบท่อน้ำของระบบเครื่องเก็บอนุภาค	71
รูปที่ 6.4 แสดงจุดต่อของหัวฉีดน้ำและเกจวัดความดันน้ำก่อนเข้าหัวฉีดที่คอคอด ของระบบ	72
รูปที่ 7.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของน้ำที่ใช้ต่อแก๊สกับความ ดันลดเฉลี่ยที่คอคอดของระบบ ที่หัวฉีดน้ำทั้งสองขนาด สำหรับการเผา มูลฝอยกระดาษ 30 kg/hr ด้วยปริมาณอากาศส่วนเกิน 160 %EA	75
รูปที่ 7.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของน้ำที่ใช้ต่อแก๊สกับความ ดันลดเฉลี่ยที่คอคอดของระบบ ที่หัวฉีดน้ำทั้งสองขนาด สำหรับการเผา มูลฝอยกระดาษ 30 kg/hr ด้วยปริมาณอากาศส่วนเกิน 180 %EA	75
รูปที่ 7.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของน้ำที่ใช้ต่อแก๊สกับประสิทธิ ภาพรวมในการดักเก็บอนุภาคจากการทดลอง ที่หัวฉีดน้ำทั้งสองขนาด สำหรับการเผามูลฝอยกระดาษ 30 kg/hr ด้วยปริมาณอากาศส่วนเกิน 160 %EA	77

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ 7.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของน้ำที่ใช้ต่อแก๊สกับประสิทธิภาพรวมในการดักเก็บอนุภาคจากการทดลอง ที่หัวฉีดน้ำทั้งสองขนาด สำหรับการเผาผลาญกระดาษ 30 kg/hr ด้วยปริมาณอากาศส่วนเกิน 180%EA	77
รูปที่ 7.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของหยดน้ำที่ออกจากหัวฉีดทั้งสองขนาดกับประสิทธิภาพรวมในการดักเก็บอนุภาคจากการทดลอง สำหรับการเผาผลาญกระดาษ 30 kg/hr ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 160 %EA, อัตราส่วนของน้ำที่ใช้ต่อแก๊ส $0.4 \text{ L.H}_2\text{O/m}^3 \cdot \text{gas}$	78
รูปที่ 7.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของหยดน้ำที่ออกจากหัวฉีดทั้งสองขนาดกับประสิทธิภาพรวมในการดักเก็บอนุภาคจากการทดลอง สำหรับการเผาผลาญกระดาษ 30 kg/hr ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 180 %EA, อัตราส่วนของน้ำที่ใช้ต่อแก๊ส $0.4 \text{ L.H}_2\text{O/m}^3 \cdot \text{gas}$	78
รูปที่ 7.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของหยดน้ำที่ออกจากหัวฉีดทั้งสองขนาดกับประสิทธิภาพรวมในการดักเก็บอนุภาคจากการทดลอง สำหรับการเผาผลาญกระดาษ 30 kg/hr ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 160 %EA, อัตราส่วนของน้ำที่ใช้ต่อแก๊ส $0.6 \text{ L.H}_2\text{O/m}^3 \cdot \text{gas}$	79
รูปที่ 7.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของหยดน้ำที่ออกจากหัวฉีดทั้งสองขนาดกับประสิทธิภาพรวมในการดักเก็บอนุภาคจากการทดลอง สำหรับการเผาผลาญกระดาษ 30 kg/hr ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 180 %EA, อัตราส่วนของน้ำที่ใช้ต่อแก๊ส $0.6 \text{ L.H}_2\text{O/m}^3 \cdot \text{gas}$	79
รูปที่ 7.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของหยดน้ำที่ออกจากหัวฉีดทั้งสองขนาดกับประสิทธิภาพรวมในการดักเก็บอนุภาคจากการทดลอง สำหรับการเผาผลาญกระดาษ 30 kg/hr ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 160 %EA, อัตราส่วนของน้ำที่ใช้ต่อแก๊ส $0.8 \text{ L.H}_2\text{O/m}^3 \cdot \text{gas}$	80
รูปที่ 7.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของหยดน้ำที่ออกจากหัวฉีดทั้งสองขนาดกับประสิทธิภาพรวมในการดักเก็บอนุภาคจากการทดลอง สำหรับการเผาผลาญกระดาษ 30 kg/hr ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 180 %EA, อัตราส่วนของน้ำที่ใช้ต่อแก๊ส $0.8 \text{ L.H}_2\text{O/m}^3 \cdot \text{gas}$	80

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ 7.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดเฉลี่ยที่คอคอดกับประสิทธิภาพรวมในการดักเก็บอนุภาคจากการทดลอง ที่หัวฉีดน้ำทั้งสองขนาด สำหรับการเผาผลาญกระดาษ 30 kg/hr ด้วยปริมาณอากาศส่วนเกิน 160 %EA 83

รูปที่ 7.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดเฉลี่ยที่คอคอดกับประสิทธิภาพรวมในการดักเก็บอนุภาคจากการทดลอง ที่หัวฉีดน้ำทั้งสองขนาด สำหรับการเผาผลาญกระดาษ 30 kg/hr ด้วยปริมาณอากาศส่วนเกิน 180 %EA 83

รูปที่ 7.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของน้ำที่ใช้ต่อแก๊ส (R) กับค่าคงที่ของระบบเครื่องเก็บอนุภาคในงานวิจัย (k) ที่หัวฉีดน้ำทั้งสองขนาด 84

รูปที่ 7.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความดันลดที่คอคอดของระบบที่อัตราส่วนของน้ำที่ใช้ต่อแก๊สค่าต่างๆ สำหรับการเผาผลาญกระดาษ 30 kg/hr, ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 160 %EA, หัวฉีดน้ำ GG3 ; 1.5 mm) 105

รูปที่ 7.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความดันลดที่คอคอดของระบบที่อัตราส่วนของน้ำที่ใช้ต่อแก๊สค่าต่างๆ สำหรับการเผาผลาญกระดาษ 30 kg/hr, ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 180 %EA, หัวฉีดน้ำ GG3 ; 1.5 mm) 106

รูปที่ 7.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความดันลดที่คอคอดของระบบที่อัตราส่วนของน้ำที่ใช้ต่อแก๊สค่าต่างๆ สำหรับการเผาผลาญกระดาษ 30 kg/hr, ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 160 %EA, หัวฉีดน้ำ GG3.5 ; 1.6 mm) 107

รูปที่ 7.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความดันลดที่คอคอดของระบบที่อัตราส่วนของน้ำที่ใช้ต่อแก๊สค่าต่างๆ สำหรับการเผาผลาญกระดาษ 30 kg/hr, ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 180 %EA, หัวฉีดน้ำ GG3.5 ; 1.5 mm) 108

รูปที่ 7.18 แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาค ที่ไหลเข้าระบบเครื่องเก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 1 (160 %EA, อัตราส่วนของน้ำต่อแก๊ส 0.4 L.H₂O/m³.gas, หัวฉีด GG3 ขนาด 1.5 mm) 109

รูปที่ 7.19 แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาค ที่ไหลเข้าระบบเครื่องเก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 2 (160 %EA, อัตราส่วนของน้ำต่อแก๊ส 0.6 L.H₂O/m³.gas, หัวฉีด GG3 ขนาด 1.5 mm) 110

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่ 7.20 แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาค ที่ไหลเข้าระบบเครื่อง เก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 3 (160 %EA, อัตราส่วนของน้ำต่อแก๊ส 0.8 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด GG3 ขนาด 1.5 mm)	111
รูปที่ 7.21 แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาค ที่ไหลเข้าระบบเครื่อง เก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 4 (180 %EA, อัตราส่วนของน้ำต่อแก๊ส 0.4 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด GG3 ขนาด 1.5 mm)	112
รูปที่ 7.22 แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาค ที่ไหลเข้าระบบเครื่อง เก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 5 (180 %EA, อัตราส่วนของน้ำต่อแก๊ส 0.6 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด GG3 ขนาด 1.5 mm)	113
รูปที่ 7.23 แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาค ที่ไหลเข้าระบบเครื่อง เก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 6 (180 %EA, อัตราส่วนของน้ำต่อแก๊ส 0.8 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด GG3 ขนาด 1.5 mm)	114
รูปที่ 7.24 แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาค ที่ไหลเข้าระบบเครื่อง เก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 7 (160 %EA, อัตราส่วนของน้ำต่อแก๊ส 0.4 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด GG3.5 ขนาด 1.6 mm)	115
รูปที่ 7.25 แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาค ที่ไหลเข้าระบบเครื่อง เก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 8 (160 %EA, อัตราส่วนของน้ำต่อแก๊ส 0.6 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด GG3.5 ขนาด 1.6 mm)	116
รูปที่ 7.26 แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาค ที่ไหลเข้าระบบเครื่อง เก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 9 (160 %EA, อัตราส่วนของน้ำต่อแก๊ส 0.8 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด GG3.5 ขนาด 1.6 mm)	117
รูปที่ 7.27 แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาค ที่ไหลเข้าระบบเครื่อง เก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 10 (180 %EA, อัตราส่วนของน้ำต่อแก๊ส 0.4 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด GG3.5 ขนาด 1.6 mm)	118
รูปที่ 7.28 แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาค ที่ไหลเข้าระบบเครื่อง เก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 11 (180 %EA, อัตราส่วนของน้ำต่อแก๊ส 0.6 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด GG3.5 ขนาด 1.6 mm)	119

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ 7.29 แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาค ที่ไหลเข้าระบบเครื่อง เก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 12 (180 %EA, อัตราส่วนของน้ำต่อแก๊ส 0.8 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด GG3.5 ขนาด 1.6 mm)	120
รูปที่ 7.30 แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคที่ถูกดักเก็บได้ด้วย เครื่องเก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 1 (160 %EA, อัตราส่วนของ น้ำต่อแก๊ส 0.4 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด GG3 ขนาด 1.5 mm)	121
รูปที่ 7.31 แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคที่ถูกดักเก็บได้ด้วย เครื่องเก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 2 (160 %EA, อัตราส่วนของ น้ำต่อแก๊ส 0.6 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด GG3 ขนาด 1.5 mm)	122
รูปที่ 7.32 แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคที่ถูกดักเก็บได้ด้วย เครื่องเก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 3 (160 %EA, อัตราส่วนของ น้ำต่อแก๊ส 0.8 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด GG3 ขนาด 1.5 mm)	123
รูปที่ 7.33 แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคที่ถูกดักเก็บได้ด้วย เครื่องเก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 4 (180 %EA, อัตราส่วนของ น้ำต่อแก๊ส 0.4 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด GG3 ขนาด 1.5 mm)	124
รูปที่ 7.34 แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคที่ถูกดักเก็บได้ด้วย เครื่องเก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 5 (180 %EA, อัตราส่วนของ น้ำต่อแก๊ส 0.6 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด GG3 ขนาด 1.5 mm)	125
รูปที่ 7.35 แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคที่ถูกดักเก็บได้ด้วย เครื่องเก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 6 (180 %EA, อัตราส่วนของ น้ำต่อแก๊ส 0.8 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด GG3 ขนาด 1.5 mm)	126
รูปที่ 7.36 แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคที่ถูกดักเก็บได้ด้วย เครื่องเก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 7 (160 %EA, อัตราส่วนของ น้ำต่อแก๊ส 0.4 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด GG3.5 ขนาด 1.6 mm)	127
รูปที่ 7.37 แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคที่ถูกดักเก็บได้ด้วย เครื่องเก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 8 (160 %EA, อัตราส่วนของ น้ำต่อแก๊ส 0.6 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด GG3.5 ขนาด 1.6 mm)	128

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ 7.38 แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคที่ถูกคักเก็บได้ด้วยเครื่องเก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 9 (160 %EA, อัตราส่วนของน้ำต่อแก๊ส 0.8 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด GG3.5 ขนาด 1.6 mm)	129
รูปที่ 7.39 แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคที่ถูกคักเก็บได้ด้วยเครื่องเก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 10 (180 %EA, อัตราส่วนของน้ำต่อแก๊ส 0.4 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด GG3.5 ขนาด 1.6 mm)	130
รูปที่ 7.40 แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคที่ถูกคักเก็บได้ด้วยเครื่องเก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 11 (180 %EA, อัตราส่วนของน้ำต่อแก๊ส 0.6 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด GG3.5 ขนาด 1.6 mm)	131
รูปที่ 7.41 แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคที่ถูกคักเก็บได้ด้วยเครื่องเก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 12 (180 %EA, อัตราส่วนของน้ำต่อแก๊ส 0.8 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด GG3.5 ขนาด 1.6 mm)	132
รูปที่ 7.42 แสดงตัวอย่างของแผ่นกรองที่ใช้ในการชักตัวอย่างหลังผ่านการทดลองมาแล้วในการทดลองที่ 1	133
รูปที่ 7.43 แสดงตัวอย่างของน้ำเสีย ที่ออกจากระบบเครื่องเก็บอนุภาคในการทดลองที่ 1	133
รูปที่ ข-1 แสดงระบบวัดอัตราการไหลของแก๊ส โดยใช้แผ่นออริฟิซ ชนิด D, D/2 tapping	143
รูปที่ ง-1 แสดงลักษณะการสเปรย์น้ำของหัวฉีดน้ำ	158
รูปที่ ง-2 แสดงลักษณะและขนาดของหัวฉีดน้ำที่ใช้ในงานวิจัย	158
รูปที่ ง-3 แสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Median Volume Drop-diameter กับ ความดันของน้ำก่อนเข้าหัวฉีด	160
รูปที่ ง-4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Sauter Mean Drop-diameter กับ Median Volume Drop-diameter ของหยดน้ำที่สเปรย์ออกจากหัวฉีด	161
รูปที่ จ-1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่องวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาค	164
รูปที่ จ-2 แสดงส่วนป้อนตัวอย่างอนุภาคที่ต้องการวิเคราะห์การกระจายขนาด ...	165
รูปที่ จ-3 แสดงส่วนกำเนิดแสงและวัดการตกกระทบของแสงบนอนุภาค	166

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ จ-4 แสดงส่วนประมวลผลและแสดงผล	166
รูปที่ จ-5 แสดงส่วนคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์	167
รูปที่ จ-6 แสดงเครื่องมือโดยรวมสำหรับวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาค ...	167
รูปที่ จ-7 แสดงตัวอย่างการพล็อตกราฟเพื่อแสดงการกระจายขนาดของอนุภาค ...	174
รูปที่ ซ-1 แสดงกราฟระหว่างขนาดของอนุภาคในแต่ละช่วงขนาดกับประสิทธิภาพ ย่อยในการดักเก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 1 (160 %EA, อัตราส่วน ของน้ำที่ใช้ต่อแก๊ส 0.4 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด GG3 ขนาดรู 1.5 mm)	192
รูปที่ ซ-2 แสดงกราฟระหว่างขนาดของอนุภาคในแต่ละช่วงขนาดกับประสิทธิภาพ ย่อยในการดักเก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 2 (160 %EA, อัตราส่วน ของน้ำที่ใช้ต่อแก๊ส 0.6 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด GG3 ขนาดรู 1.5 mm)	192
รูปที่ ซ-3 แสดงกราฟระหว่างขนาดของอนุภาคในแต่ละช่วงขนาดกับประสิทธิภาพ ย่อยในการดักเก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 3 (160 %EA, อัตราส่วน ของน้ำที่ใช้ต่อแก๊ส 0.8 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด GG3 ขนาดรู 1.5 mm)	193
รูปที่ ซ-4 แสดงกราฟระหว่างขนาดของอนุภาคในแต่ละช่วงขนาดกับประสิทธิภาพ ย่อยในการดักเก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 4 (180 %EA, อัตราส่วน ของน้ำที่ใช้ต่อแก๊ส 0.4 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด GG3 ขนาดรู 1.5 mm)	193
รูปที่ ซ-5 แสดงกราฟระหว่างขนาดของอนุภาคในแต่ละช่วงขนาดกับประสิทธิภาพ ย่อยในการดักเก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 5 (180 %EA, อัตราส่วน ของน้ำที่ใช้ต่อแก๊ส 0.6 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด GG3 ขนาดรู 1.5 mm)	194
รูปที่ ซ-6 แสดงกราฟระหว่างขนาดของอนุภาคในแต่ละช่วงขนาดกับประสิทธิภาพ ย่อยในการดักเก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 6 (180 %EA, อัตราส่วน ของน้ำที่ใช้ต่อแก๊ส 0.8 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด GG3 ขนาดรู 1.5 mm)	194
รูปที่ ซ-7 แสดงกราฟระหว่างขนาดของอนุภาคในแต่ละช่วงขนาดกับประสิทธิภาพ ย่อยในการดักเก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 7 (160 %EA, อัตราส่วน ของน้ำที่ใช้ต่อแก๊ส 0.4 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด GG3.5 ขนาดรู 1.6 mm)	195
รูปที่ ซ-8 แสดงกราฟระหว่างขนาดของอนุภาคในแต่ละช่วงขนาดกับประสิทธิภาพ ย่อยในการดักเก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 8 (160 %EA, อัตราส่วน ของน้ำที่ใช้ต่อแก๊ส 0.6 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด GG3.5 ขนาดรู 1.6 mm)	195

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่ ช-9 แสดงกราฟระหว่างขนาดของอนุภาคในแต่ละช่วงขนาดกับประสิทธิภาพ ย่อยในการดักเก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 9 (160 %EA, อัตราส่วน ของน้ำที่ใช้ต่อแก๊ส 0.8 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด GG3.5 ขนาดรู 1.6 mm)	196
รูปที่ ช-10 แสดงกราฟระหว่างขนาดของอนุภาคในแต่ละช่วงขนาดกับประสิทธิภาพ ย่อยในการดักเก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 10 (180 %EA, อัตราส่วน ของน้ำที่ใช้ต่อแก๊ส 0.4 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด GG3.5 ขนาดรู 1.6 mm) ...	196
รูปที่ ช-11 แสดงกราฟระหว่างขนาดของอนุภาคในแต่ละช่วงขนาดกับประสิทธิภาพ ย่อยในการดักเก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 11 (180 %EA, อัตราส่วน ของน้ำที่ใช้ต่อแก๊ส 0.6 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด GG3.5 ขนาดรู 1.6 mm)	197
รูปที่ ช-12 แสดงกราฟระหว่างขนาดของอนุภาคในแต่ละช่วงขนาดกับประสิทธิภาพ ย่อยในการดักเก็บอนุภาค สำหรับการทดลองที่ 12 (180 %EA, อัตราส่วน ของน้ำที่ใช้ต่อแก๊ส 0.8 L.H ₂ O/m ³ .gas, หัวฉีด GG3.5 ขนาดรู 1.5 mm) ...	197
รูปที่ ฉ-1 แสดงเตาเผาชนิดสองห้องเผาไหม้ที่ใช้ในงานวิจัยนี้	201
รูปที่ ฉ-2 แสดงภาพด้านหน้าและขนาดของเตาเผาชนิดสองห้องเผาไหม้	202
รูปที่ ฉ-1 ถึง ฉ-8 แสดงเครื่องมือในการวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งในน้ำทิ้ง ...	203-207
รูปที่ ค-1 แสดงลักษณะโดยทั่วไปของระบบต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้	218
รูปที่ ค-2 แสดงขนาดต่างๆ ของระบบเครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรี	219
รูปที่ ค-3 ถึง ค-4 แสดงระบบของท่อชักดูดตัวอย่าง ที่ใช้ในงานวิจัย	220-221