

การพัฒนาไซโคลนสกรับเบอร์สำหรับเตาเผามูลฝอยขนาดเล็ก



นายอภิชาติ ศุภจรรยาักษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2553

**DEVELOPMENT OF CYCLONE SCRUBBER
FOR SMALL WASTE INCINERATOR**

Apichart Supajanyarak



A Thesis Submitted in partial Fulfillment of the Requirement for the

Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2010

การพัฒนาไซโคลนสกรับเบอร์สำหรับเตาเผามูลฝอยขนาดเล็ก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.บุญชัย วิจิตรเสถียร)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.สุจิตต์ ทรัพย์จิต)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.นเรศ เชื้อสุวรรณ)

กรรมการ

(อ. ดร.อภิชน วัชรินทร์วงศ์)

กรรมการ

(อ. ดร.วุฒิ คำนกิตติกุล)

รักษาการแทนรองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รศ. น.อ. ดร.วรพจน์ ขำพิศ)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

อภิชาติ ศุภจรรยาภักษ์ : การพัฒนาไซโคลนสครับเบอร์สำหรับเตาเผามูลฝอยขนาดเล็ก
(DEVELOPMENT OF CYCLONE SCRUBBER FOR SMALL WASTE
INCINERATOR) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจิต กระจิต, 135 หน้า.

จากปริมาณมูลฝอย ที่เพิ่มสูงขึ้น เรื่อย ๆ การ กำจัดด้วยวิธีการ เผาเป็น วิธีหนึ่งที่สามารถลด ปริมาณมูลฝอยลง ได้ถึงประมาณร้อยละ 90 แต่ต้องมีการควบคุมกระบวนการเผา และ ต้องมี ระบบบำบัดมลพิษอากาศที่มีประสิทธิภาพเพียงพอ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาไซโคลน สครับเบอร์สำหรับ เตาเผามูลฝอยขนาดเล็ก และ ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด มลพิษอากาศ คือ ค่า L/G ratio หน้าตัด ขนาด ท่อสครับเบอร์ และทิศทางการฉีด ละออง น้ำ จาก การศึกษาสามารถออกแบบไซโคลนสครับเบอร์ โดยประกอบด้วยไซโคลนมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ซม. สูง 120 ซม. และท่อสครับเบอร์ที่มีการติดตั้งหัวฉีด แบบ Axial flow สามารถฉีดละอองน้ำที่ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางในช่วงประมาณ 300-500 ไมครอน โดยแบ่ง ท่อสครับเบอร์ออกเป็น 2 แบบ คือ ท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดปรกติมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. และท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดลดลงร้อยละ 50 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.5 ซม. อัตราการไหลของอากาศที่ 12 ลบ.ม.ต่อนาที และอัตราการฉีด น้ำที่ 3 และ 8 ลิตรต่อนาที

ผลการทดสอบปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และ อนุภาค ในภาพรวมกล่าวได้ว่าระบบ จะมีประสิทธิภาพสูง เมื่อค่า L/G ratio สูง ขนาดหน้าตัดท่อ สครับเบอร์ลดลงร้อยละ 50 และการฉีดละอองน้ำสวนกระแสอากาศ แต่ หลายกรณี ไม่พบความ แตกต่างทางสถิติ เนื่องจากจำนวนข้อมูลที่ตรวจวัดแต่ละสภาวะมีจำนวนน้อย และความแปรปรวน จากองค์ประกอบของมูลฝอยที่ใช้มูลฝอยจริงในการศึกษา ประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคของ ไซโคลนส ครบเบอร์ สูงกว่า ระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ ในปัจจุบัน ซึ่งเป็นระบบบำบัดมลพิษ อากาศชนิดหอพ่นน้ำ (Spray Tower) และไซโคลนซึ่งไม่มีการฉีดละอองน้ำ คือ ร้อยละ 71.94 69.05 และ 43.10 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการกำจัด ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของไซโคลน สครับเบอร์มีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ ในปัจจุบัน คือ ร้อยละ 85.29 และ 17.83 ตามลำดับ

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2553

ลายมือชื่อนักศึกษา _____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

APICHART SUPAJUNYARAK : DEVELOPMENT OF CYCLONE
SCRUBBER FOR SMALL WASTE INCINERATOR. THESIS ADVISOR :
ASST. PROF. SUDJIT KARUCHIT, Ph.D., 135 PP.

CYCLONE SCRUBBER/ SMALL WASTE INCINERATOR/ L/G RATIO

Solid waste has been increasing continuously. Waste incineration is one of the disposal methods which could reduce the waste volume down to about 90%, but it requires good control of combustion process and sufficient collection efficiency for air pollution. The objectives of this study are to development a cyclone scrubber for small waste incinerators and examine the effects of three parameters on the collection efficiency of this cyclone scrubber. These parameters are L/G ratio, duct cross-section and direction of water nozzles. The designed cyclone scrubber consists of the cyclone body with 30 cm diameter and 120 cm height. Scrubber tube installed with axial flow nozzle producing droplet with size ranging from 300-500 μm . There were 2 tube size used, conventional tube 15 cm diameter and 50% smaller tube 7.5 cm diameter. The air flow rate was 12 m^3/min and the liquid flow rate was 3 and 8 l/min.

Results show that high L/G ratio, smaller tube, and cross flow direction of water yielded better particle and CO removal efficiency. However, the results were not statistically significant in certain cases and of because of small sample size and the variation due to the composition of real waste. Particle separation efficiency of the cyclone scrubber was higher than the spray tower and the cyclone, with the removal efficiency equal 71.94%, 69.05% and 43.10%, respectively. The cyclone scrubber can remove CO better than the spray tower. The removal efficiency was 85.29% and 17.83%, respectively.

School of Environmental Engineering

Academic Year 2010

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ นี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ รวมทั้งได้ให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านการดำเนินการวิจัย ซึ่งได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุธจิต คุรุจิต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ คำแนะนำ แนวทางอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่องานวิจัย รวมถึงได้ช่วยตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จน เสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญชัย วิจิตรเสถียร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นเรศ เชื้อสุวรรณ ดร. อภิชน วัชรนทร์วงศ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำ แนะนำ และความรู้ทาง วิชาการอย่างดียิ่งมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ฝ่ายปรับเปลี่ยนและถ่ายทอดเทคโนโลยี โครงการจัดการวัสดุรีไซเคิลภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ สนับสนุนเงินทุนการศึกษาแก่ผู้วิจัยอย่างดียิ่งมาโดยตลอด จนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซ และอำนวยความสะดวกให้ใช้ห้องปฏิบัติการในระหว่างทำการวิจัย จนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณจริยาพร ศรีวิไลลักษณ์ และคุณนารี กลิ่นกลาง ที่คอยให้คำแนะนำการจัด รูปเล่มวิทยานิพนธ์ และคอยให้คำแนะนำปรึกษาในด้านต่าง ๆ มาโดยตลอด

ขอขอบคุณ คุณศกร ชื่นเลิศสกุล บริษัท นิธิณัฐกร เอ็นจิเนียริง จำกัด ที่ให้คำแนะนำปรึกษา การออกแบบ และสร้างไซโคลนสกรับเบอร์ จนสำเร็จ

ขอขอบคุณ คุณศิริพรรณ คำแน่น ที่คอยเป็นกำลังใจ และให้คำแนะนำปรึกษาตลอดมา

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ น้อง ๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด จนการทดลอง เสร็จสิ้น สมบูรณ์ได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ทางด้านต่าง ๆ และขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การเลี้ยงดูอบรมและส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างดีตลอด มา จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตตลอดมา

อภิชาติ ศุภจรรยารักษ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฐ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 สมมติฐานของงานวิจัย.....	3
2 ปรัชญ่วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 สถานการณ์และการกำจัดมูลฝอยในปัจจุบันที่มา.....	4
2.2 เตาเผามูลฝอยขนาดเล็ก (เตาเผาอัตราต่ำ).....	6
2.3 การควบคุมมลพิษอากาศ.....	9
2.3.1 มลพิษอากาศจากเตาเผามูลฝอย.....	9
2.3.2 กลไกการจับอนุภาค.....	10
2.3.3 เครื่องควบคุมมลพิษอากาศประเภทอนุภาค.....	12
2.3.4 สรุปข้อได้เปรียบและเสียเปรียบของเครื่องควบคุม มลพิษอากาศประเภทอนุภาค.....	17
2.4 การตรวจวัดอนุภาคจากกระแสดูดอากาศด้วยวิธีมาตรฐาน.....	19
2.4.1 การกำหนดจุดเจาะปล่อง (U.S.EPA. Method 1).....	19

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.2	การหาความเร็วและอัตราการไหลของอากาศในปล่อง (U.S.EPA. Method 2).....	20
2.4.3	วิธีการหาน้ำหนักโมเลกุลของอากาศ (U.S.EPA. Method 3).....	21
2.4.4	การหาปริมาณความชื้นของอากาศภายในปล่อง (U.S.EPA. Method 4).....	21
2.4.5	วิธีการเก็บตัวอย่างเพื่อหาปริมาณอนุภาคในปล่อง (U.S.EPA. Method 5).....	22
2.5	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
2.5.1	เตาเผามูลฝอยขนาดเล็ก.....	23
2.5.2	ไซโคลนสกรับเบอร์.....	25
3	วิธีการดำเนินการวิจัย.....	27
3.1	บทนำ.....	27
3.2	การออกแบบและสร้างไซโคลนสกรับเบอร์.....	28
3.2.1	การหาอัตราส่วนของมูลฝอยที่เผาไหม้ได้.....	28
3.2.2	การออกแบบไซโคลน.....	31
3.2.3	การออกแบบสกรับเบอร์.....	32
3.2.4	การสร้างและติดตั้งไซโคลนสกรับเบอร์.....	33
3.3	การทดสอบประสิทธิภาพของไซโคลนสกรับเบอร์.....	34
3.3.1	การเตรียมมูลฝอยและเตาเผามูลฝอยก่อนทำการทดลอง.....	34
3.3.2	การทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดมลพิษอากาศ.....	34
3.4	การตรวจวัดมลพิษอากาศ.....	36
3.5	การวิเคราะห์และสรุปผล.....	37
4	ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....	40
4.1	บทนำ.....	40
4.2	การออกแบบและสร้างไซโคลนสกรับเบอร์.....	40
4.2.1	การหาสัดส่วนมูลฝอยที่เผาไหม้ได้.....	40

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.2	การหาความต้องการอากาศในการเผาไหม้.....	45
4.2.3	การออกแบบไซโคลน.....	46
4.2.4	การออกแบบสกรับเบอร์.....	49
4.2.5	การออกแบบระบบท่อ.....	51
4.2.6	การสร้างและติดตั้งไซโคลนสกรับเบอร์.....	53
4.3	การทดสอบประสิทธิภาพและวิเคราะห์ผลของไซโคลนสกรับเบอร์.....	56
4.3.1	การเตรียมมูลฝอยและเตาเผามูลฝอยก่อนทำการทดลอง.....	56
4.3.2	ผลการทดสอบประสิทธิภาพของไซโคลนสกรับเบอร์.....	57
4.3.3	การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพ ของไซโคลนสกรับเบอร์.....	73
4.4	ไซโคลนสกรับเบอร์สำหรับใช้งานจริง.....	87
4.4.1	การประเมินค่าใช้จ่าย.....	88
4.4.2	การบริหารจัดการไซโคลนสกรับเบอร์.....	89
5	สรุปผลการทดลอง.....	91
5.1	สรุปผลการศึกษา.....	91
5.1.1	ผลการศึกษาการออกแบบไซโคลนสกรับเบอร์.....	91
5.1.2	ผลการศึกษาการปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพ การบำบัดมลพิษอากาศ.....	91
5.1.3	ผลการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างไซโคลนกับไซโคลนสกรับเบอร์.....	92
5.1.4	ผลการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างไซโคลนสกรับเบอร์ กับระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน.....	92
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	93
	รายการอ้างอิง.....	94
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก. การหาสัดส่วนมูลฝอยที่เผาไหม้ได้.....	97
	ภาคผนวก ข. แบบไซโคลนสกรับเบอร์.....	100

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ค. การคำนวณความดันสูญเสียของระบบไฮดรอลิกส์รับเบอร์.....	112
ภาคผนวก ง. ผลการตรวจวัดประสิทธิภาพการบำบัดมลพิษอากาศ.....	115
ภาคผนวก จ. การคำนวณความดันสูญเสียของระบบไฮดรอลิกส์รับเบอร์ ที่ใช้งานจริง.....	120
ภาคผนวก ฉ. รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา.....	123
ประวัติผู้เขียน.....	135



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ลักษณะเฉพาะของเตาอุตสาหกรรม..... 8
2.2	ประสิทธิภาพของเตาอุตสาหกรรม.....9
2.3	สรุปข้อได้เปรียบและเสียเปรียบของเครื่องควบคุมมลพิษอากาศประเภทอนุภาค..... 17
2.4	สรุปความเข้มข้นมลพิษอากาศหลักที่เกิดขึ้นจากเตาเผามูลฝอยขนาดเล็ก..... 25
2.5	สรุปค่าที่ใช้ในการทดลองของไซโคลนสกรับเบอร์.....26
3.1	ค่า Ultimate Composition ของมูลฝอยชุมชน..... 30
3.2	สัดส่วนของไซโคลนชนิดประสิทธิภาพสูง.....32
3.3	สถานะในการทดสอบประสิทธิภาพไซโคลนสกรับเบอร์..... 35
3.4	จำนวนตัวอย่างที่เก็บแต่ละสถานะในการทดสอบประสิทธิภาพไซโคลนสกรับเบอร์..... 36
4.1	องค์ประกอบทางกายภาพสำหรับมูลฝอยเปียกที่เผาไหม้ได้จากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ..... 43
4.2	สัดส่วนมูลฝอยแห้งและความชื้นที่จำแนกเป็นเวลา 7 วัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก).....44
4.3	ค่าสัมประสิทธิ์อากาศส่วนเกิน ที่เหมาะสมสำหรับหม้อไอน้ำ..... 46
4.4	สัดส่วนของไซโคลนชนิดประสิทธิภาพสูงที่ออกแบบ..... 47
4.5	ค่าแฟลคเตอร์และความดันสูญเสียจากส่วนต่าง ๆ ของไซโคลนสกรับเบอร์.....53
4.6	จำนวนตัวอย่างในการทดสอบประสิทธิภาพไซโคลนสกรับเบอร์ที่สถานะต่าง ๆ.....58
4.7	เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของชุดข้อมูล (COV) จากวิธีการวิเคราะห์ค่าสูงหรือต่ำผิดปกติ (Outlier) ทั้ง 2 วิธี.....60
4.8	ค่าเฉลี่ยผลการตรวจวัดมลพิษอากาศจากไซโคลนสกรับเบอร์..... 69
4.9	ผลวิเคราะห์ความแตกต่างของก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนระหว่างก่อนและหลังผ่านระบบบำบัดมลพิษอากาศด้วยสถิติทดสอบที (T-Test)..... 71
4.10	ค่าประสิทธิภาพการกำจัดมลพิษอากาศจากระบบบำบัดมลพิษอากาศ..... 72
4.11	สรุปค่าที่ใช้ในการทดลองของไซโคลนสกรับเบอร์..... 80
4.12	มลพิษอากาศที่ออกจากเตาเผามูลฝอยของงานวิจัยต่าง ๆ..... 80
4.13	สรุปผลการวิเคราะห์ปัจจัยและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาค..... 86

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.14	สรุปผลการวิเคราะห์ปัจจัย และเปรียบเทียบประสิทธิภาพ การกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์..... 86
4.15	ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างไซโคลนสครับเบอร์.....88
ก.1	การหาสัดส่วนของมูลฝอยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.....98
ค.1	ค่าความดันสูญเสียบนของไซโคลนสครับเบอร์.....114
ง.1	ผลการตรวจวัดปริมาณอนุภาค (มก./ลบ.ม.) และการวิเคราะห์ค่าสูงหรือต่ำผิดปกติด้วยวิธี Confidence Intervals..... 116
ง.2	ผลการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (ส่วนในล้านส่วน) และการวิเคราะห์ค่าสูงหรือต่ำผิดปกติด้วยวิธี Confidence Intervals..... 116
ง.3	ผลการตรวจวัดก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (ส่วนในล้านส่วน) และการวิเคราะห์ค่าสูงหรือต่ำผิดปกติด้วยวิธี Confidence Intervals..... 117
ง.4	ผลการตรวจวัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ส่วนในล้านส่วน) และการวิเคราะห์ค่าสูงหรือต่ำผิดปกติด้วยวิธี Confidence Intervals..... 117
ง.5	ผลการตรวจวัดอนุภาค (มก.ต่อ ลบ.ม.) และการวิเคราะห์ ค่าสูงหรือต่ำผิดปกติด้วยวิธี DIXON..... 118
ง.6	ผลการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (ส่วนในล้านส่วน) และการวิเคราะห์ค่าสูงหรือต่ำผิดปกติด้วยวิธี DIXON.....118
ง.7	ผลการตรวจวัดก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (ส่วนในล้านส่วน) และการวิเคราะห์ค่าสูงหรือต่ำผิดปกติด้วยวิธี DIXON.....119
ง.8	ผลการตรวจวัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ส่วนในล้านส่วน) และการวิเคราะห์ค่าสูงหรือต่ำผิดปกติด้วยวิธี DIXON.....119
จ.1	ค่าความดันสูญเสียบนของไซโคลนสครับเบอร์.....122

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ปริมาณมูลฝอยปี 2551 จำแนกตามลักษณะพื้นที่.....	4
2.2 ปริมาณมูลฝอย ปี 2551 ที่ได้รับการกำจัดอย่างถูกต้อง.....	5
2.3 เตาอัตโนมัติฯ แบบเก่า.....	7
2.4 เตาอัตโนมัติฯ แบบใหม่.....	7
2.5 กลไกในการจับอนุภาค.....	12
2.6 กลไกในการจับอนุภาค การลอดผ่าน (Sieving).....	13
2.7 เครื่องตักอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิตย์แบบเก็บอนุภาคแห้ง และหัวโคโรนาลบ.....	15
2.8 การเคลื่อนตัวของกระแสก๊าซในไซโคลน.....	16
2.9 จุดเจาะปล่องที่เหมาะสม.....	20
3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษาการออกแบบ และสร้างไซโคลนสกรับเบอร์.....	27
3.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพของไซโคลนสกรับเบอร์.....	28
3.3 สกรับเบอร์แบบต่าง ๆ ที่ใช้ในการศึกษานี้.....	33
3.4 เตาเผามูลฝอยขนาดเล็กของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.....	34
3.5 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างอนุภาคชนิด Flex Sampling Train System (RIGID).....	37
3.6 อุปกรณ์วิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซไอเสีย (Flue Gas Analyzer) Testo-350XL.....	37
4.1 ขั้นตอนการสุ่มตัวอย่างมูลฝอยด้วยวิธี Quartering.....	41
4.2 การหาสัดส่วนและความชื้นของมูลฝอย.....	42
4.3 สัดส่วนมูลฝอยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.....	43
4.4 สัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอยแห้ง.....	45
4.5 ส่วนประกอบของไซโคลน.....	48
4.6 ชุดรวบรวมอนุภาคและน้ำเสีย.....	49
4.7 หัวฉีดแบบ Axial-flow full cone nozzles.....	50
4.8 ลักษณะท่อสกรับเบอร์.....	50
4.9 สัดส่วนของท่อสกรับเบอร์.....	50
4.10 กราฟแสดงขนาดละอองน้ำต่ออัตราการไหลของน้ำ.....	51

สารบัญรูป (ต่อ)

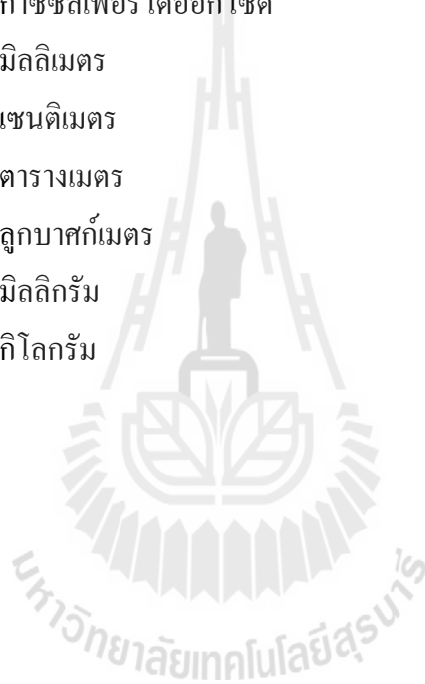
รูปที่	หน้า
4.11 ระบบท่ออากาศ.....	52
4.12 รูปแบบของไซโคลนสกรับเบอร์และจุดตรวจวัดมลพิษอากาศ.....	54
4.13 ไซโคลนสกรับเบอร์ต่อกับเตาเผามูลฝอย.....	55
4.14 ลี้นปรับทิศทางการไหลของอากาศเสีย.....	55
4.15 การเตรียมมูลฝอยก่อนการทดลอง.....	56
4.16 การนำเต้าออกจากเตาเผามูลฝอยก่อนการทดลอง.....	57
4.17 การตรวจวัดมลพิษอากาศ.....	59
4.18 การกระจายของข้อมูลในการตรวจวัดปริมาณอนุภาค.....	61
4.19 การกระจายของข้อมูลในการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์.....	63
4.20 การกระจายของข้อมูลในการตรวจวัดปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน.....	65
4.21 การกระจายของข้อมูลในการตรวจวัดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์.....	67
4.22 ประสิทธิภาพการกำจัดมลพิษอากาศของแต่ละสถานะ.....	72
4.23 ค่าการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้วิธี T-Test ระหว่าง กรณี L/G ratio 0.27 และ 0.67 ลิตรต่อ ลบ.ม.....	74
4.24 ค่าการเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้วิธี Mann-Whitney Test ระหว่างกรณี L/G ratio 0.27 และ 0.67 ลิตรต่อ ลบ.ม.....	75
4.25 ค่าการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้วิธี T-Test ระหว่าง กรณีขนาดหน้าตัดท่อสกรับเบอร์ 15 และ 7.5 ซม.	76
4.26 ค่าการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้วิธี Mann-Whitney Test ระหว่างกรณีขนาดหน้าตัดท่อสกรับเบอร์ 15 และ 7.5 ซม.....	77
4.27 การเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้วิธี T-Test ระหว่างกรณีฉีดน้ำตาม กระแสและสวนกระแสอากาศ.....	78
4.28 ค่าการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้วิธี Mann-Whitney Test ระหว่างกรณีฉีดน้ำตามกระแสและสวนกระแสอากาศ.....	79
4.29 ค่าการเปรียบเทียบความแตกต่างสถิติโดยใช้วิธี T-Test ระหว่างไซโคลนและไซโคลนสกรับเบอร์.....	81

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.30 ค่าการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้วิธี Mann-Whitney Test ระหว่างไซโคลนและไซโคลนสครับเบอร์.....	82
4.31 ค่าการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้วิธี T-Test ระหว่างไซโคลนสครับเบอร์และระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบัน.....	84
4.32 ค่าการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้วิธี Mann-Whitney Test ระหว่างไซโคลนสครับเบอร์ และระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบัน.....	85
4.33 ไซโคลนสครับเบอร์สำหรับใช้งานจริง.....	87
ข.1 ไซโคลนสครับเบอร์.....	101
ข.2 ไซโคลนสครับเบอร์ต่อกับเตาเผามูลฝอย.....	101
ข.3 แบบไซโคลน (ตัวเรือน).....	102
ข.4 แบบไซโคลน (ท่อทางออกของอากาศ).....	103
ข.5 แบบไซโคลน (ชุดรวบรวมอนุภาคและน้ำเสีย).....	104
ข.6 แบบท่อสูด.....	105
ข.7 แบบท่อสครับเบอร์แบบปกติ.....	106
ข.8 แบบท่อสครับเบอร์แบบท่อลดร้อยละ 50.....	107
ข.9 แบบท่ออากาศส่วนที่ 1.....	108
ข.10 แบบท่ออากาศส่วนที่ 2.....	110
ข.11 แบบท่ออากาศส่วนที่ 3.....	111
ค.1 แบ่งช่วงท่อของระบบไซโคลนสครับเบอร์.....	113
จ.1 แบ่งช่วงท่อของระบบไซโคลนสครับเบอร์ที่ใช้งานจริง.....	121

อธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

H_0	=	สมมติฐานว่าง
H_1	=	สมมติฐานแย้ง
CO	=	ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์
NO _x	=	ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน
SO ₂	=	ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
มม.	=	มิลลิเมตร
ซม.	=	เซนติเมตร
ตร.ม.	=	ตารางเมตร
ลบ.ม.	=	ลูกบาศก์เมตร
มก.	=	มิลลิกรัม
กก.	=	กิโลกรัม



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

จากรายงานสรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ระหว่างปี 2548-2551 พบว่ามีปริมาณมลพิษชุมชนทั่วประเทศเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยส่วนใหญ่เกิดจากนอกเขตเทศบาลและ ในเขตองค์การบริหารส่วนตำบล คิดเป็นร้อยละ 43 ของปริมาณมลพิษทั่วประเทศ และสามารถกำจัดมลพิษอย่างถูกหลักสุขาภิบาลได้เพียงร้อยละ 8 ของปริมาณมลพิษนอกเขตเทศบาล ซึ่ง ส่วนใหญ่กำจัดด้วยวิธีการเทกองทิ้งกลางแจ้ง หรือเผากลางแจ้ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2548-2551)

การเผามูลฝอยด้วยเตาเผาเป็นวิธีการกำจัดมูลฝอยวิธีหนึ่งที่สามารถลดปริมาณมลพิษลงได้ถึงประมาณร้อยละ 90 สามารถลดความเป็นพิษ และต้องการพื้นที่ ดัดตั้งระบบน้อย อย่างไรก็ตาม การกำจัดมูลฝอยด้วยวิธีการใช้เตาเผา มูลฝอยนั้น มีข้อจำกัดที่สำคัญ คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุน และการดูแลรักษา อีกทั้งหากมีการควบคุมกระบวนการเผา หรือเครื่องควบคุม มลพิษอากาศที่ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศในชุมชนรอบข้างได้ โดยเฉพาะอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน และ ก๊าซมลพิษต่าง ๆ ซึ่งเป็นอันตรายต่อ ระบบทางเดินหายใจ และสุขภาพของมนุษย์

อย่างไรก็ตามในความเป็นจริงพบว่า เตาเผามูลฝอย ในประเทศไทยส่วนใหญ่ประสบปัญหาคล้ายคลึงกัน คือ มี เครื่องควบคุม มลพิษอากาศที่ทำงานได้ไม่เหมาะสม หรือไม่ทำงาน ทั้งนี้สาเหตุหลักเนื่องมาจากการออกแบบไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ ขาดผู้มีความรู้ในการดูแลระบบ และขาดงบประมาณในการดูแลรักษา ยิ่งไปกว่านั้น เตาเผามูลฝอยขนาดเล็กบางประเภทปล่อย ก๊าซเสียออกสู่บรรยากาศโดยตรงโดยไม่มีเครื่องควบคุมมลพิษอากาศเลย

ดังนั้น เครื่องควบคุมมลพิษอากาศที่เหมาะสมกับเตาเผามูลฝอยของประเทศไทย โดยเฉพาะเตาเผามูลฝอยขนาดเล็กที่ใช้ในชุมชน จึงควรเป็นระบบที่ใช้เทคโนโลยีที่ไม่ซับซ้อน ดูแลรักษาง่าย ค่าใช้จ่ายไม่สูง และมีประสิทธิภาพ ในการกำจัดมลพิษเพียงพอ หากพิจารณาตามแนวทางข้างต้น พบว่ามีเครื่องควบคุมมลพิษอากาศ ที่เหมาะสมอยู่ 2 กลุ่มหลัก คือ ไซโคลน และสกรับเบอร์ โดย ไซโคลน มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดอนุภาคขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน การเดินระบบง่าย การดูแลรักษาค่า สามารถใช้งานได้ในสภาวะอุณหภูมิของกระแเสอากาศสูงได้อย่างเหมาะสม แต่มีข้อจำกัด คือ ประสิทธิภาพต่ำในการกำจัดอนุภาคขนาดเล็ก และไม่สามารถกำจัดมลพิษอากาศประเภท ก๊าซได้ ส่วนสกรับเบอร์มีข้อดีในด้านความสามารถในการกำจัดมลพิษอากาศประเภท

อนุภาค และก๊าซได้พร้อมกัน ใ้กับกระแสนอากาศที่มีอุณหภูมิสูงได้ แต่ก็มีข้อจำกัด คือ สกรับเบอร์แบบมีตัวกลางอาจเกิดการอุดตันของอนุภาคในชั้นของตัวกลาง ส่วนสกรับเบอร์แบบเวนทูรีต้องใช้พลังงานมากเนื่องจากเกิดความดันสูญเสียสูง (Noll, 1999; Theodore and Buonicore, 1994)

จากข้อมูลและเหตุผลที่กล่าวมา งานวิจัยนี้จึง ใ้ไซโคลนสกรับเบอร์ ซึ่งเป็นการรวมข้อดีของทั้ง 2 ระบบที่กล่าวมาเข้าด้วยกัน สามารถบำบัดมลพิษอากาศจากเตาเผามูลฝอยได้ทั้งประเภทอนุภาคและก๊าซได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยจากการค้นคว้าเอกสารพบว่ามีผลการศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาไซโคลนสกรับเบอร์จำนวนหนึ่ง อย่างไรก็ตาม ส่วนใหญ่มีการออกแบบที่ซับซ้อน ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการเท่านั้น และยังไม่มีการวิจัยขึ้นใดที่ทำการพัฒนา ไซโคลนสกรับเบอร์เพื่อใช้งานกับเตาเผามูลฝอยขนาดเล็กดังเช่นงาน วิจัยนี้ ทั้งนี้ ตัวอย่างงานวิจัยที่ได้พบทวน ได้แก่ Yang and Yoshida , 2004; Lee, Jung, and Park, 2008; Meikap and Biswas, 2004; มานะ อมรกิจบำรุง และสามารถ พรเจริญ, 2546; ธัญลภัส วิสุทธิ, 2547 เป็นต้น

การศึกษานี้ได้ออกแบบระบบไซโคลนสกรับเบอร์ให้เหมาะสมกับเตาเผามูลฝอยขนาดเล็กซึ่งมลพิษอากาศหลักที่ปล่อยออกมา คือ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และอนุภาค เป็นต้น และทดสอบปัจจัยที่มีผล ต่อประสิทธิภาพการบำบัดมลพิษอากาศ ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างน้ำต่ออากาศ (L/G ratio) ขนาดหน้าตัดท่อสกรับเบอร์ และทิศทางการฉีดน้ำ โดยใช้เตาเผาขนาดเล็กของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (เตาอัดตาหิฯ) เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อพัฒนา ต้นแบบ เครื่องควบคุม มลพิษอากาศชนิดไซโคลนสกรับเบอร์ สำหรับเตาเผามูลฝอยขนาดเล็ก

1.2.2 เพื่อศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดอนุภาค และ ก๊าซของไซโคลนสกรับเบอร์ที่พัฒนาขึ้น

1.3 ขอบเขตในการศึกษา

1.3.1 ใ้เตาเผามูลฝอยขนาดเล็ก ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (เตาอัดตาหิฯ) เป็นเตาเผามูลฝอยสำหรับการศึกษา

1.3.2 มูลฝอยที่ใ้ เป็นมูลฝอยที่เกิดขึ้นภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ระหว่างวันที่ 11-21 มกราคม พ.ศ.2553

1.3.3 ทำการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดมลพิษ อากาศจากเตาเผามูลฝอยชุมชนขนาดเล็ก ซึ่งเลือกศึกษา 3 ปัจจัย ได้แก่

1. อัตราส่วนระหว่างน้ำต่ออากาศ หรือค่า L/G ratio
2. ขนาดหน้าตัดท่อสครับเบอร์
3. ทิศทางการฉีดน้ำ

1.3.4 ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดมลพิษอากาศ 4 ประเภท ได้แก่ อนุภาค ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

1.3.5 วิธีการตรวจวัดมลพิษอากาศ ใช้วิธีเทียบเคียง วิธีมาตรฐานสากลที่ 1-5 ขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States of Environmental Protection Agency : U.S.EPA) โดยใช้เครื่อง Flex Sampling Train System (RIGID) ในการตรวจวัดมลพิษประเภทอนุภาค และใช้เครื่อง (Flue Gas Analyzer) Tasto-350XL ในการตรวจวัดมลพิษประเภทก๊าซ

1.4 สมมติฐานของงานวิจัย

ไซโคลนสครับเบอร์เป็นเครื่องควบคุมมลพิษอากาศที่เหมาะสมกับ การใช้งานกับเตาเผา มูลฝอยขนาดเล็ก โดยมีข้อดี คือ ใช้เทคโนโลยีที่ไม่ซับซ้อน การดูแลรักษาง่าย ค่าใช้จ่าย ในการสร้างและเดินระบบ ไม่สูง และมีประสิทธิภาพการกำจัดมลพิษ อากาศที่ เพียงพอ ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของสครับเบอร์ คือ ขนาดหยดน้ำ การกระจายตัวของหยดน้ำ ค่า L/G ratio โมเมนตัมของหยดน้ำ และความปั่นป่วนของการไหล การพัฒนาไซโคลน สครับเบอร์สำหรับงานวิจัยนี้ ตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับปัจจัยที่สำคัญ 3 ปัจจัย ดังนี้

1.4.1 ค่า L/G ratio

สมมติฐาน : ค่า L/G ratio สูง หรือการฉีดละอองน้ำในอัตราการไหลสูง ทำให้มีละอองน้ำมาก ช่วยเพิ่มโอกาสในการจับอนุภาค และเพิ่มพื้นที่ผิวของของเหลวในการดูดกลืนของก๊าซ

1.4.2 ขนาดหน้าตัดท่อสครับเบอร์

สมมติฐาน : หน้าตัดท่อที่เล็กลง มีผลให้ความเร็วอากาศในท่อเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดความปั่นป่วนของการไหลเพิ่มขึ้น จะช่วยให้ละอองน้ำกระจายตัวได้ดี และกลไกการจับอนุภาคของละอองน้ำมีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.4.3 ทิศทางการฉีดน้ำ

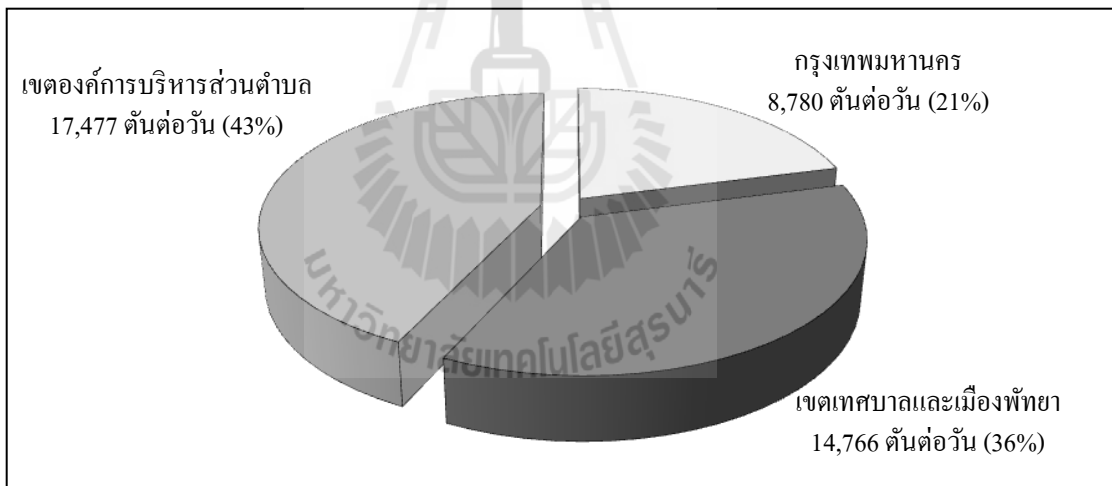
สมมติฐาน : การฉีดละอองน้ำสวนกระแส อากาศ ส่งผลให้ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างละอองน้ำกับอนุภาคใน อากาศ หรือโมเมนตัมของละอองน้ำเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจะมีผลดีต่อการจับอนุภาคมากกว่า

บทที่ 2

ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สถานการณ์และการกำจัดมูลฝอยในปัจจุบันที่มา

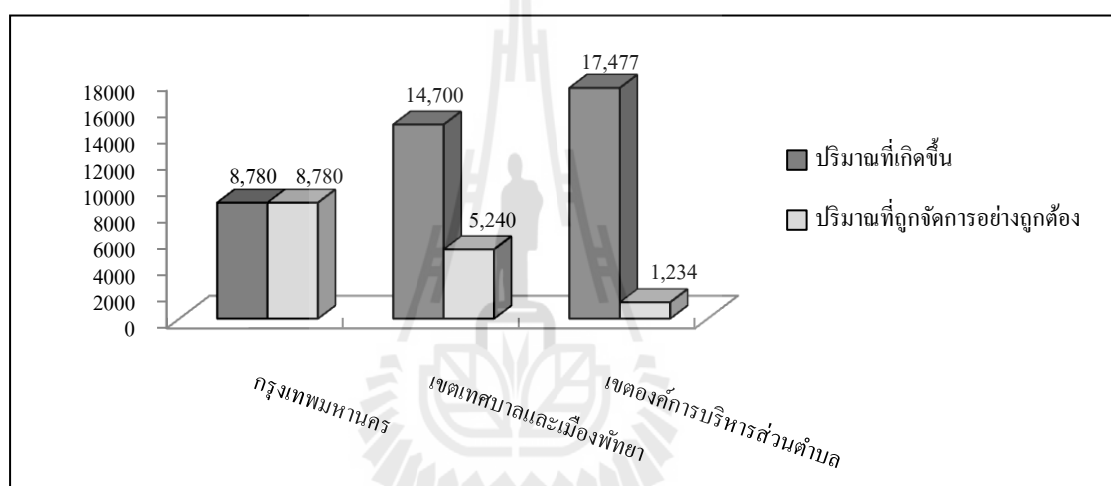
จากรายงานสรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ระหว่างปี 2548-2551 พบว่ามีปริมาณมูลฝอยชุมชนทั่วประเทศไทยเกิดขึ้น 14.3 14.63 14.72 และ 15.03 ล้านตัน ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยสัดส่วนปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นนั้นสามารถแบ่งเป็น มูลฝอยที่เกิดขึ้นในเขตกรุงเทพมหานคร คิดเป็นร้อยละ 21 (8,780 ตันต่อวัน) ในเขตเทศบาล และเมืองพัทยา ร้อยละ 36 (14,766 ตันต่อวัน) และนอกเขตเทศบาล และในเขตองค์การบริหารส่วนตำบลประมาณ ร้อยละ 43 (17,477 ตันต่อวัน) ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ปริมาณมูลฝอยปี 2551 จำแนกตามลักษณะพื้นที่ (กรมควบคุมมลพิษ, 2552)

กรุงเทพมหานครดำเนินการเก็บขนมูลฝอยเองทั้งหมด และว่าจ้างบริษัทเอกชนเป็นผู้ดำเนินการกำจัด โดยมูลฝอยที่เก็บขนได้จะนำไปหมักทำปุ๋ยที่สถานีขนถ่ายอ่อนนุชประมาณร้อยละ 12 ส่วนที่เหลือนำไปกำจัดยังสถานที่ฝังกลบที่อำเภอนวม สารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา ร้อยละ 26 และที่อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ประมาณร้อยละ 62 เขตเทศบาล และเมืองพัทย จะนำไปกำจัดยังสถานที่กำจัดมูลฝอยที่ได้รับการออกแบบก่อสร้างอย่างถูกต้อง กว้างขวาง และสามารถเดิน

ระบบได้ มีอยู่ทั้งสิ้น 96 แห่ง (ฝั่งกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล 92 แห่ง ระบบผสมผสาน 2 แห่ง และแบบระบบเตาเผา 2 แห่ง) สามารถกำจัดมูลฝอยได้ประมาณร้อยละ 36 ของปริมาณมูลฝอยในเขตเทศบาล สูดท้ายนอกเขตเทศบาล และในเขตองค์การบริหารส่วนตำบลโดยมี องค์การบริหารส่วนจังหวัด และองค์การบริหารส่วนตำบล จะเป็นผู้รับผิดชอบเก็บรวบรวม และนำไปกำจัด ซึ่งส่วนใหญ่ยังไม่มีสถานที่กำจัดมูลฝอยที่ถูกหลักสุขาภิบาล กำจัดด้วยการเทกองทิ้งกลางแจ้ง หรือเผากลางแจ้ง มีเพียงไม่กี่แห่งที่นำไปกำจัดอย่างถูกสุขาภิบาลร่วมกับเทศบาลใกล้เคียง สามารถกำจัดมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาลได้เพียงประมาณร้อยละ 8 ของปริมาณมูลฝอยนอกเขตเทศบาล ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ปริมาณมูลฝอย ปี 2551 ที่ได้รับการกำจัดอย่างถูกต้อง (กรมควบคุมมลพิษ, 2552)

ปัญหาการจัดการ มูลฝอย ชุมชนในอนาคต จะมีแนวโน้มที่จะประสบปัญหามากยิ่งขึ้น เนื่องจากสาเหตุหลายประการ เช่น ระบบฝั่งกลบมูลฝอยที่ได้ทำ การออกแบบขาดประสิทธิภาพ มูลฝอยมีองค์ประกอบซึ่งยากต่อการกำจัดมากยิ่งขึ้น การต่อต้านของประชาชนในการก่อสร้างสถานที่บำบัด และกำจัดมูลฝอย และการขาดแคลนที่ดินก่อสร้างระบบจัดการมูลฝอย เป็นต้น

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าการจัดการมูลฝอยนอกเขตเทศบาล และในเขตองค์การบริหารส่วนตำบลยังขาดการจัดการอย่างถูกหลักสุขาภิบาล หากชุมชน ดังกล่าว สามารถจัดการมูลฝอยที่เกิดขึ้น และลดผลกระทบ จากการกำจัดมูลฝอย ที่อาจเกิดขึ้นต่อชุมชนได้นั้น ย่อมเป็นการพัฒนาที่ยั่งยืนให้แก่ชุมชน ตามหลักวิชาการปัจจุบัน การจัดการกับมูลฝอยที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่าง ๆ ควรใช้หลักการ 3R คือ การลด (Reduce) การใช้ซ้ำ (Reuse) และการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ซึ่งเป็นการลดที่ต้นเหตุ และเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า แต่หลังจากการจัดการกับมูลฝอยที่เกิดขึ้น

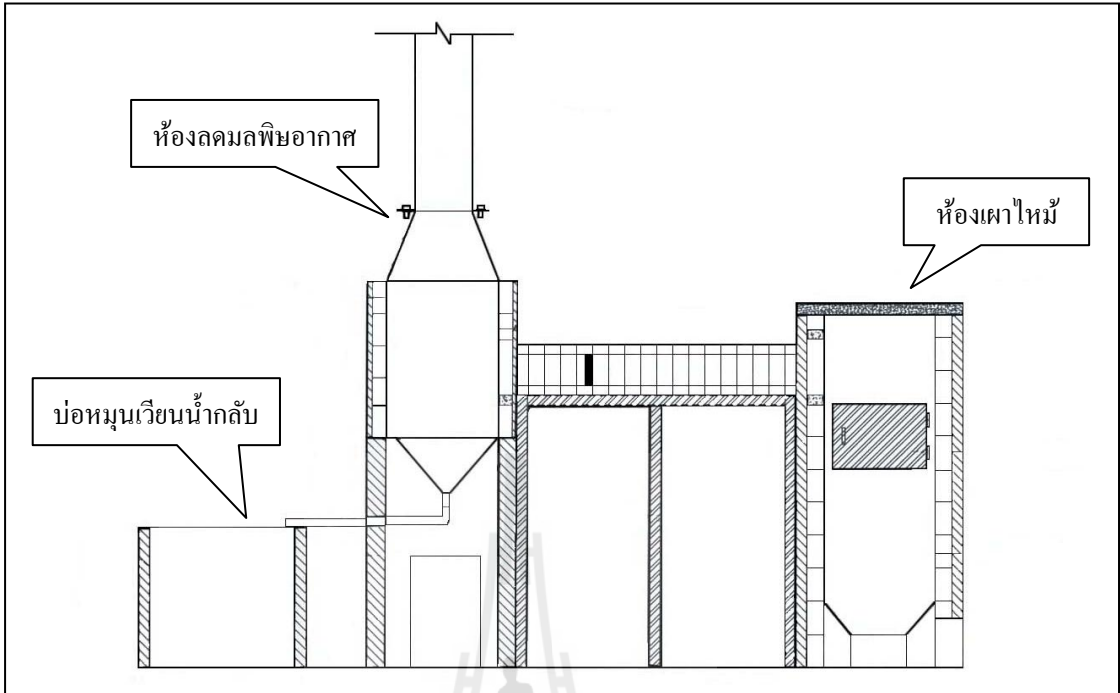
ด้วยวิธีข้างต้นแล้ว ปริมาณมูลฝอยที่ยังเหลืออยู่นั้น ก็จำเป็นต้องนำไปกำจัดอย่างถูกหลักสุขาภิบาล เทคโนโลยีการเผาเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ในวิธีการกำจัดมูลฝอย เพราะเป็นวิธีกำจัดมูลฝอยที่ใช้พื้นที่ในการก่อสร้าง น้อยสามารถลดปริมาณ มูลฝอย ลงได้ถึงร้อยละ 90 และหากมีระบบบำบัดมลพิษอากาศที่มีประสิทธิภาพแล้ว ย่อมส่งผลดีต่อทั้งชุมชน และสิ่งแวดล้อมในชุมชนต่อไป

2.2 เตาเผามูลฝอยขนาดเล็ก (เตาอัตรดาหิฯ)

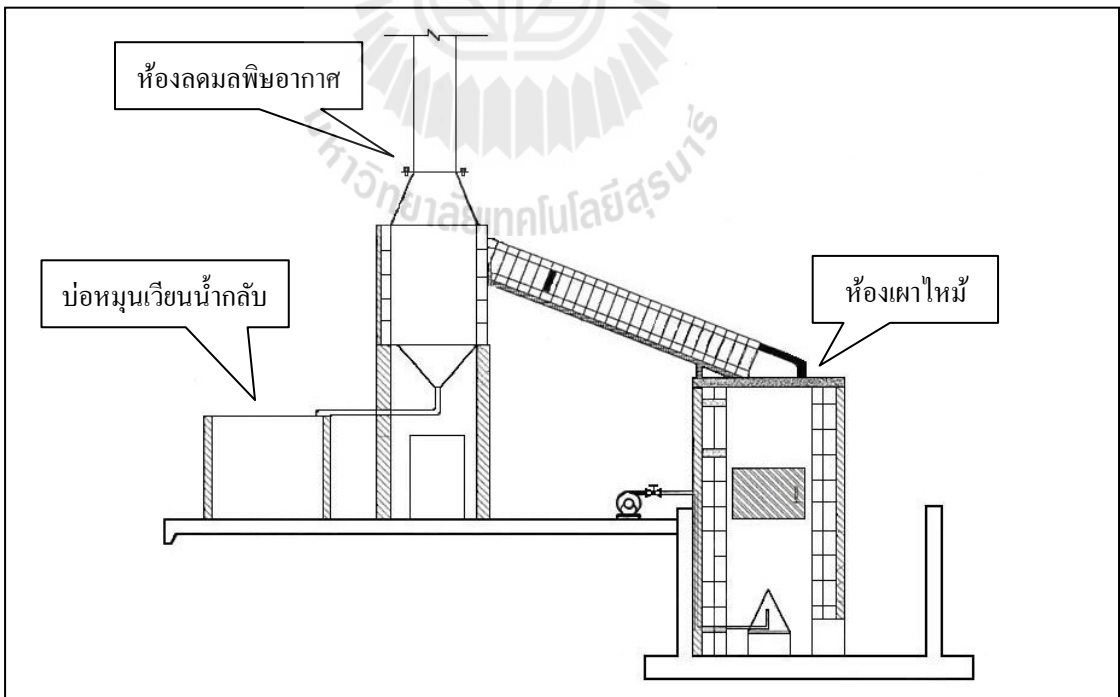
เตาอัตรดาหิฯ เป็นเตาเผา มูลฝอยที่พัฒนาขึ้นโดยเทคโนโลยีของ พันเอกโกวิท ینگค์ชนะ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จงจินต์ ผลประเสริฐ และอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จนได้เตาเผา มูลฝอยประสิทธิภาพสูง เหมาะกับการกำจัด มูลฝอยชุมชนขนาดไม่ใหญ่มาก คือ 300-800 ตัน/วัน หรือมีปริมาณ มูลฝอยประมาณ 600-1,500 กก./วัน ดังรูปที่ 2.3 โดยมีส่วนประกอบแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

- ส่วนที่ 1 ห้องเผาไหม้ ส่วนประกอบที่สำคัญ คือ กลีบมะเฟืองทำมุมเอียง 55 องศา ซึ่งทำหน้าที่คล้ายกับใบพัด ช่วยเติมอากาศเข้าไปในเตา เเผา เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ให้ดีขึ้น ห้องเผาไหม้ และปล่องก๊าซ ก่อสร้างโดยใช้อิฐทนไฟ ซึ่งสามารถทนอุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส และก่อด้วยอิฐมอญโดยรอบเพื่อเป็นโครงค้ำยันห้องเผาไหม้อีกชั้นหนึ่ง
- ส่วนที่ 2 ห้องลดมลพิษ อากาศ และบ่อหมุนเวียนน้ำกลับ ส่วนประกอบที่สำคัญ คือ หัวฉีดน้ำ (Spiral Nozzle) เป็นรูปใบพัดกระจาย น้ำเต็มหน้าตัดของปล่องควัน สำหรับชะจับไอเสีย และระบบน้ำหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 บ่อ ได้แก่ บ่อน้ำดี บ่อกรองตะกอน และบ่อรับน้ำเสีย โดยสูบน้ำจากบ่อน้ำดีขึ้นฉีดชะจับเขม่าควันที่เกิดขึ้นขณะเผา ใหม้มูลฝอย จากนั้นน้ำที่ชะ จับ ไอเสียจะไหล ลงไปยังบ่อรับน้ำเสีย แล้วไหลต่อมายัง บ่อกรองตะกอน และส่งต่อมายังบ่อน้ำดีอีกครั้ง หลังจากนั้นบึง น้ำ ก็จะทำการสูบน้ำขึ้นฉีดอย่างนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าน้ำที่บ่อน้ำดี มีลักษณะขุ่น หรือมีสีดำ จึงทำการเปลี่ยนน้ำ

เนื่องจากปัจจุบันเตาอัตรดาหิฯ มีการใช้งาน มาเป็นเวลานาน จนเกิดความชำรุด จึงได้มีการก่อสร้าง และพัฒนารูปแบบของเตาอัตรดาหิฯ ใหม่ขึ้น ดังรูปที่ 2.4 โดยมีการติดตั้งพัดลมเป่าอากาศ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ให้สมบูรณ์ขึ้น และลดระดับห้องเผา ไหม้ให้อยู่ในระดับต่ำกว่าพื้น เพื่อสามารถป้อนมูลฝอยลงในเตาเผาได้สะดวกขึ้น แต่ยังคงขนาด และรูปแบบเตาอัตรดาหิฯ เดิม ไว้ โดยมีข้อมูลเฉพาะของเตาอัตรดาหิฯ ดังตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.3 เตาอัตโนมัติฯ แบบเก่า



รูปที่ 2.4 เตาอัตโนมัติฯ แบบใหม่

ตารางที่ 2.1 ลักษณะเฉพาะของเตาอุตสาหกรรม (โครงการศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาระบบการจัดการมลพิษที่เหมาะสมสำหรับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2547)

ลักษณะของเตา	ขนาด
1. เส้นผ่าศูนย์กลางภายในห้องเผาไหม้	0.80 เมตร
2. ความจุของห้องเผาไหม้	800 ลิตร
3. ความสูงของห้องเผาไหม้	2.60 เมตร
4. ความสูงของปล่องควัน	4.50 เมตร
5. ปริมาณน้ำที่ใช้หมุนเวียน 3 บ่อ	3.00 ลบ.ม
6. อัตราการฉีดน้ำ	28 ลิตรต่อนาที
7. พื้นที่ใช้งานเตารวม (โรงเรือนคัดแยก)	100 ตร.ม.

หลักการทำงานของเตาอุตสาหกรรมนี้ใช้หลักการอย่างง่าย คือ การจุดไฟเผาผลาญโดยไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงอย่างอื่น โดยเริ่มการใส่ มูลฝอยแห้งเข้าเตาในปริมาณที่พอเหมาะ ไม่หนาแน่นเกินไป จุดไฟด้านล่างของเตาเผาผลาญ เมื่อไฟลุกไหม้ได้ประมาณ 10 นาที เปิดปั๊มน้ำเพื่อฉีดน้ำชะไอเสียที่เกิดจากเผาไหม้ มูลฝอย หลังจากนั้นให้ป้อน มูลฝอยแห้งเข้าเตาต่ออีก 1 ชั่วโมง เพื่อให้อุณหภูมิในเตาคงที่ แล้วสามารถป้อนมูลฝอยเปียก หรือมูลฝอยที่มีความชื้นได้ เตาอุตสาหกรรมนี้สามารถใช้งานต่อเนื่องได้ 8 ชั่วโมง สำหรับ มูลฝอยที่ใช้เผาไหม้ ต้องทำการคัดแยก เศษอาหาร เศษผัก หรือผลไม้ เพราะจะทำให้ความร้อนภายในเตาตกลง และอาจดับได้ สำหรับ อนุภาคและเขม่าควันที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ จะผ่านปล่องส่งก๊าซไปยังห้องลดมลพิษ และถูกชะจับด้วยน้ำ ซึ่งเรียกว่า ระบบเปียก (Wet Scrubber) ก่อนที่จะปล่อยสู่บรรยากาศภายนอกต่อไป ผลการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของเตาได้ข้อมูลสรุปดังตารางที่ 2.2

เนื่องจากปัจจุบันศูนย์คัดแยกและแปรสภาพมูลฝอยของมหาวิทยาลัย มีการคัดแยกเฉพาะ มูลฝอยที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้เท่านั้น แต่ยังไม่ได้ตระหนักถึงการคัดแยกมูลฝอยเปียกจำพวก เศษอาหารจากโรงอาหารในมหาวิทยาลัย เนื่องจาก มูลฝอย เปียกมีปริมาณความชื้นมาก และส่งผลให้อัตราการเผาไหม้ต่ำกว่าค่าที่ออกแบบไว้ คือ มีอัตราการเผาไหม้เพียงร้อยละ 14.90 ของค่าที่ออกแบบ (โครงการเพิ่มประสิทธิภาพเตาเผาผลาญมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี , 2549) และการบำบัดมลพิษอากาศจากเตาเผาผลาญนั้น มีข้อจำกัดของเรื่องแรงดัน อากาศที่ผ่านระบบค่อนข้างต่ำ ซึ่งเป็นปัญหาต่อการไหลของ ก๊าซไอเสียผ่านระบบบำบัด (เลอศักดิ์ โคสูงเนิน, 2544) ระบบบำบัดมลพิษอากาศชนิดหอพ่นน้ำมีข้อจำกัดกรณีการกำจัดอนุภาคขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน

ตารางที่ 2.2 ประสิทธิภาพของเตาอุตสาหกรรม (โครงการศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาระบบการจัดการมลพิษที่เหมาะสมสำหรับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2547)

ประสิทธิภาพ	ค่าที่ได้	หมายเหตุ
อัตราการเผาไหม้ (กก.ต่อวัน)	1,500	ต่อเนื่อง 8 ชั่วโมง.
อุณหภูมิห้องเผาไหม้ (องศาเซลเซียส)	600-800	อัตราส่วนขยะ 1:2 (เปียก:แห้ง)
ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (ส่วนในล้านส่วน)	375	-
ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (ส่วนในล้านส่วน)	46.77	มาตรฐาน 250*
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ส่วนในล้านส่วน)	0.12	มาตรฐาน 30*
ปริมาณขี้เถ้าที่เกิดขึ้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	10-15	เทียบกับปริมาณขยะที่เผา

หมายเหตุ : * มาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากเตาเผาอุตสาหกรรมขนาด 1-50 ตันต่อวัน (2553)

เมื่ออัตราการเผาไหม้ของเตาเผา มลพิษต่ำกว่าที่ได้ออกแบบไว้ย่อมส่งผลต่อ การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ และ ก่อให้เกิดมลพิษอากาศ ขึ้น ซึ่งเป็นปัญหาที่พบกันเป็นส่วนใหญ่ของเตาเผาอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ทำให้ส่งผลกระทบต่อชุมชนรอบข้าง ดังนั้นเตาเผาอุตสาหกรรมขนาดเล็กต้องมีระบบบำบัดมลพิษอากาศที่มีประสิทธิภาพเพียงพอ และเนื่องจากเป็นเตาเผา มลพิษที่ชุมชนเป็นผู้ใช้งานเอง ทำให้ระบบบำบัดมลพิษอากาศ นั้น ต้องไม่ใช่เทคโนโลยีที่ซับซ้อน ไม่ต้องใช้ผู้ชำนาญการในการเดินระบบ ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง และเดินระบบต่ำ

2.3 การควบคุมมลพิษอากาศ

2.3.1 มลพิษอากาศจากการเผาอุตสาหกรรม

สารปนเปื้อนจากกระบวนการเผาอุตสาหกรรมสามารถแบ่งออกได้เป็น ฝุ่นละออง (dust) ไอควัน (fume) ละอองไอน้ำ (mist) ควัน (smoke) ก๊าซไอ (gas and vapor) โดยสารปนเปื้อน 4 ชนิดแรกจะมีลักษณะเป็นอนุภาค (particulate) การทราบคุณลักษณะของสารปนเปื้อนแต่ละชนิด จะช่วยให้การออกแบบระบบ บำบัดมลพิษ อากาศเป็นไปอย่างถูกต้อง และบรรลุวัตถุประสงค์ตามต้องการ สำหรับนิยามของสารปนเปื้อนข้างต้นมีดังนี้

ฝุ่นละออง หมายถึง อนุภาคของแข็งที่เกิดจากกระบวนการลด ขนาด เช่น การบด การขัดสี การเจาะ หรืออาจหมายถึง อนุภาคของแข็งที่มีอยู่ในส่วนผสมของวัตถุดิบที่อาจแยกตัวปะปนกับอากาศ อันเนื่องมาจากลักษณะของกระบวนการ เช่น การคัดขนาด การบรรจุ การร่อน หรือการเปลี่ยนจุดถ่ายวัสดุ เป็นต้น ตัวอย่างของฝุ่น ได้แก่ ปูนซีเมนต์ ผงโลหะ หรือผงถ่านหิน โดยขนาดฝุ่นจะอยู่ในช่วง 0.1-30 ไมครอน แต่อาจมีขนาดใหญ่ได้ถึง 400 ไมครอน แต่โดยทั่วไป ฝุ่นขนาดดังกล่าว จะไม่สามารถลอยอยู่ในกระแสอากาศได้ (มีมวลมาก)

ไอควัน หมายถึง อนุภาคของแข็งขนาดเล็กที่เกิดจากกระบวนการทางเคมีรวมถึงกระบวนการทางความร้อน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะขึ้น เช่น การควบแน่น (condensation) การระเหย (evaporation) หรือปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ไอควันมักมีขนาดเล็กกว่าฝุ่นละออง กล่าวคือ จะมีขนาดอยู่ในช่วง 0.05-0.5 ไมครอน การรวมตัว (agglomeration) ถือเป็นกลไกสำคัญ ซึ่งสามารถทำให้ไอควันมีขนาดใหญ่ขึ้นจนกลายเป็นฝุ่นได้ ตัวอย่างของการเกิดไอควัน ได้แก่ ปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็กที่อุณหภูมิสูงจึง ทำให้เกิดอนุภาคของแข็งของเหล็กออกไซด์ (iron oxide) เป็นต้น

ละอองไอ หมายถึง อนุภาคของเหลวที่แขวนลอยหรือ ฝุ้งกระจายอยู่ในอากาศ อันเกิดจากการควบแน่นของสารในสถานะก๊าซ หรือเกิดจากการแยกตัวของของเหลว ตัวอย่างเช่น ละอองน้ำที่เกิดบนอ่างชุบ (plating tank) หรือละอองของสีที่ถูกพ่นออกจากปืนพ่นสี เป็นต้น สำหรับขนาดของละอองไอจะอยู่ในช่วง 0.01-10 ไมครอน

ควัน หมายถึง ละอองของอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ (aerosol) ซึ่งโดยปกติจะเป็นของแข็ง ควันมักเกิดจากกระบวนการเผาไหม้ ซึ่งลักษณะของควันส่วนมาก จะอยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์โดยทั่วไป ควันจะมีขนาดไม่เกิน 0.5 ไมครอน

ก๊าซและไอ หมายถึง โมเลกุลของสารที่แพร่กระจายและผสมกันเป็นอย่างดีกับโมเลกุลของอากาศโดยทั่วไป ก๊าซจะไม่สามารถดำรงอยู่ได้ในสถานะของเหลวที่อุณหภูมิปกติ ยกเว้นกรณีที่อุณหภูมิมีค่าสูงเท่านั้น ส่วนไอจะเป็นสารที่มีลักษณะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ภายใต้ความดันที่สูงพอ หรืออุณหภูมิต่ำพอ ก๊าซสามารถเปลี่ยนไปเป็นของเหลวหรือของแข็งได้

โดยทั่วไป การแพร่กระจายของสารปนเปื้อนในลักษณะที่เป็นอนุภาคแข็ง เช่น ฝุ่น จะขึ้นอยู่กับขนาดของสารปนเปื้อนนั่น กล่าวคือ สารปนเปื้อนที่มีขนาดใหญ่ (มีมวลมาก) จะสามารถแพร่กระจายได้เป็นบริเวณกว้างแม้ไม่มีกระแสการไหลของอากาศมาช่วยก็ตาม เนื่องจากอนุภาคขนาดใหญ่จะมีพลังงานจลน์มาก ในขณะที่สารปนเปื้อนที่มีขนาดเล็กจะแพร่กระจายไปได้ไม่ไกลมากนักหากไม่มีกระแสอากาศช่วยเนื่องจากมีระดับของพลังงานจลน์ต่ำ

2.3.2 กลไกการจับอนุภาค

อุปกรณ์ดักอนุภาคทุกชนิด จะต้องใส่แรงกระทำต่ออนุภาคออกจากกระแส อากาศ และให้อนุภาคเคลื่อนที่ไปชนกับ Collector ซึ่งอาจเป็นพื้นผิว (Surface Collector) ได้แก่ ไซโคลน เครื่องดักอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิตย์ หรือเป็นวัตถุ (Target Collector) เช่น เส้นใยในถุง กรอง หยดน้ำ ในสกรับเบอร์ เป็นต้น

กลไก หรือแรงที่ใช้ในการจับอนุภาคมี 6 อย่างด้วยกัน ดังรูปที่ 2.5 แรงเหล่านี้ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคทั้งสิ้น ได้แก่

การแยกโดยแรงถ่วง เป็นกลไกที่ง่ายที่สุด อนุภาคที่มีขนาดใหญ่เคลื่อนเข้ามาพร้อม กระแสอากาศ ด้วยความเร็วต่ำ ทำให้แยก ออกจาก กระแสอากาศ ได้ เนื่องจากแรงถ่วงดัง รูปที่ 2.5ก เช่นในห้องตกอนุภาค

การแยกโดยแรงเหวี่ยง ก๊าซที่เคลื่อนที่ในเครื่องมือที่มีรูปร่าง โค้งเช่นในไซโคลอน ทำให้กระแส อากาศ หมุนวนภายในไซโคลอน และ เกิดแรงเหวี่ยงอนุภาคไปยังผ ผนังของเครื่อง เนื่องจากโมเมนตัม ดัง รูปที่ 2.5ข อนุภาคจะสูญเสียพลั งานจลน์ และแยกออกจากกระ แสอากาศ อนุภาคจะตกลงไปในถังพัก เนื่องจากแรงถ่วง ดังนั้นแรงเหวี่ยงและแรงถ่วงจึงเป็นแรงสำคัญ ในการแยกอนุภาคในไซโคลอน

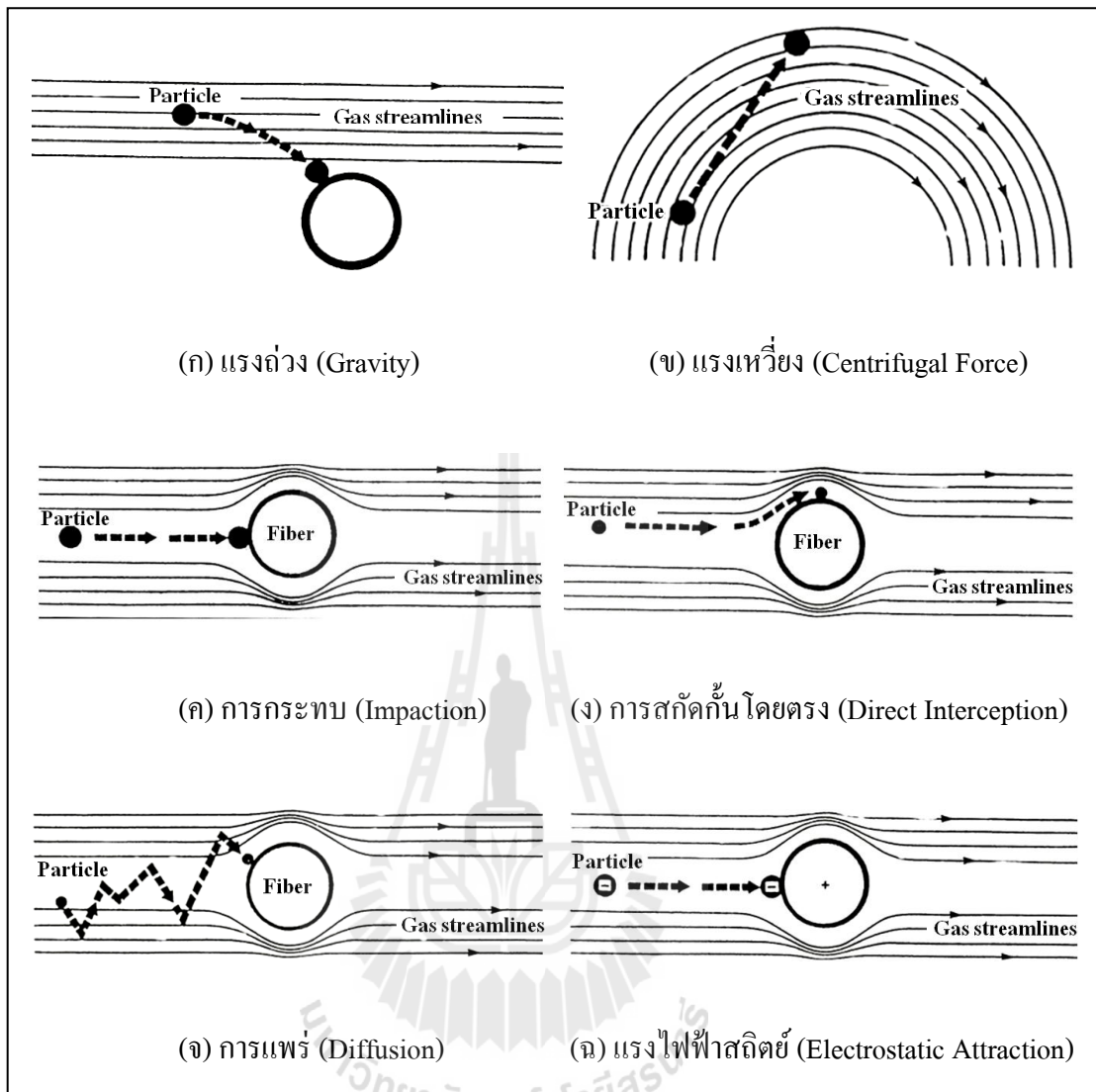
ถุงกรอง และสกรับเบอร์ มีกลไก 3 อย่างที่จับอนุภาค คือ การสกัดกั้นโดยตรง การกระทบ และการแพร่ ในถุงกรองมีเส้นใยเป็นวัตถุที่เป็นเป้า (Target Object) จับอนุภาค ในสกรับเบอร์มีหยดน้ำซึ่งพ่นสู่กระแสอากาศเป็นวัตถุเป้าหมาย

การกระทบ (Inertial Impaction) เกิดขึ้นในกรณีอนุภาคมีมวลมาก ไม่สามารถ เคลื่อนที่ตามเส้นกระแส อากาศที่ไหลอ้อมวัตถุเป้าหมาย เนื่องจากความเฉื่อยของ อนุภาค ดังนั้น อนุภาคจะชนวัตถุ ดังรูปที่ 2.5ค อนุภาคยังมีขนาดใหญ่ หรือมวลมากย่อมถูกจับได้ง่ายขึ้น

การสกัดกั้นโดยตรง ดังรูปที่ 2.5ง เป็นการสกัดกั้น โดยอนุภาคขนาดเล็กที่มีการ เคลื่อนที่ตามกระแสอากาศซึ่งไหลอ้อมวัตถุเป้าหมาย อาจสัมผัสกับวัตถุได้ หากจุดกลางของอนุภาค อยู่ห่างจากวัตถุเป้าหมายในระยะน้อยกว่ารัศมีของอนุภาค

การแพร่ ดังรูปที่ 2.5จ เป็นการเคลื่อนที่ของ อนุภาคที่มีขนาดเล็กมาก ที่ไม่เป็น ทิศทาง (Brownian Motion) ดังนั้นอนุภาคอาจชนวัตถุเป้าหมาย เนื่องจากมีการเคลื่อนที่แบบ Random มีความสำคัญมากสำหรับอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าประมาณ 0.1 ไมครอน

การแยกด้วยแรงไฟฟ้าสถิตย์ เกิดเมื่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปยังผิวเก็บ หรือวัตถุเป้าหมายที่มีประจุชนิดตรงกันข้าม ทำให้ อนุภาคถูกจับไว้ ดัง รูปที่ 2.5ฉ ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ดักอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิตย์



รูปที่ 2.5 กลไกในการจับอนุภาค (นพภาพร พานิช และคณะ, 2547)

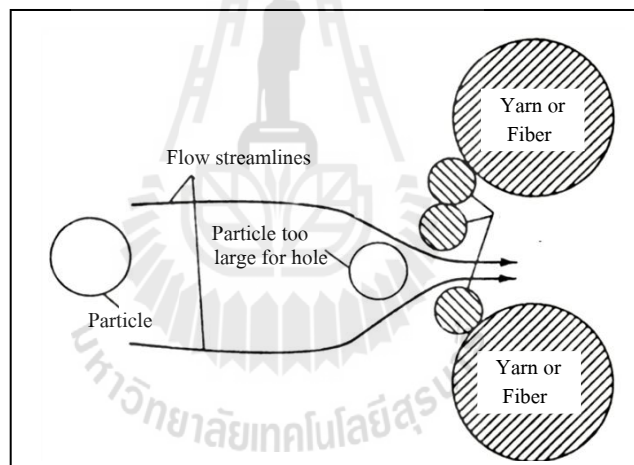
2.3.3 เครื่องควบคุมมลพิษอากาศประเภทอนุภาค

เครื่องควบคุมมลพิษอากาศ ทำหน้าที่กรอง หรือดักอนุภาค ในอากาศจากระบบก่อนปล่อย ออกสู่บรรยากาศ ภายนอก การเลือกใช้ เครื่องควบคุมมลพิษอากาศนั้น ขึ้นกับความเหมาะสม และข้อกำหนดต่าง ๆ เช่น ระดับความสะอาดของอากาศที่ต้องการหลังจาก กำจัดอนุภาคปริมาณ และลักษณะของสารปนเปื้อน และสภาพของอากาศในระบบ นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาในเรื่องความปลอดภัยจากการเกิดเพลิงไหม้ และการระเบิดด้วย ในงานวิจัยนี้เครื่องควบคุมมลพิษอากาศที่นำมาพิจารณาเปรียบเทียบมี 4 ประเภท ได้แก่ ระบบบำบัดชนิดถุงกรอง ระบบบำบัดชนิดไฟฟ้าสถิตย์ ระบบบำบัดชนิดไซโคลน และระบบบำบัดชนิดเปียก ดังนี้

ระบบบำบัดชนิดถุงกรอง

การกรองเป็นวิธีแยกอนุภาคออกจากกระแส อากาศ ที่ใช้กันแพร่หลายมากวิธีหนึ่ง โดยทั่วไปเครื่องกรอง คือ โครงสร้างที่เป็นรูพรุน ประกอบด้วยสารที่เป็นเม็ดเล็ก หรือเส้นใย ซึ่งกักกันอนุภาคไว้ และให้ก๊าซไหลผ่านช่องว่างของเครื่องกรอง สำหรับถุงกรองโดยปกติทำด้วยผ้าทอ (Woven Fabric) หรือผ้าสักหลาด (Felted Fabric) เป็นอุปกรณ์ที่แยกอนุภาคออกจากกระแส อากาศ ที่มีประสิทธิภาพสูง คือ ช่วงขนาด 0.1 ไมครอน โดยเฉพาะขนาดอนุภาค ช่วง 0.2-0.5 ไมครอน ซึ่งดักจับยาก ชั้น อนุภาค ที่สะสมอยู่บนผ้ากรองนี้ จะช่วยกรองอนุภาคได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง เครื่องกรองแบบถุงต้องทำความสะอาดเป็นครั้งคราว

เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่เข้าหาผ้ากรอง อนุภาคอาจถูกจับเนื่องจาก กลไกหลายอย่าง เช่น การสกัดกั้น การกระทบ การแพร่ แรงไฟฟ้า แรงถ่วง และการลอดผ่าน (Sieving) ซึ่งเป็นกลไกที่อนุภาคถูกกัก เพราะมีขนาดใหญ่เกินที่จะลอดผ่านช่องว่างได้ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 กลไกในการจับอนุภาค การลอดผ่าน (Sieving) (นพภาพร พานิช และคณะ, 2547)

กลไกที่สำคัญที่สุดในการจับอนุภาคด้วยเส้นใย คือ การสกัดกั้น การกระทบ และการแพร่ ส่วนแรงถ่วง และแรงไฟฟ้าอาจมีความสำคัญหรือไม่ก็ได้ แต่ไม่มีกลไกการลอดผ่านสำหรับถุงกรองนั้น ส่วนใหญ่การจับอนุภาคเกิดขึ้นในมวลของอนุภาคที่สะสมเป็น ชั้นเล็กอยู่บน และในผ้ากรองนั้น คือ กลไกหลักในการจับอนุภาค (การสกัดกั้น การกระทบ และการแพร่) มีผลในช่วงเวลาอันสั้น ในระหว่างการกรองของแต่ละวงจรเท่านั้น เมื่อมี ชั้นเล็กสะสมขึ้น การลอดผ่านจะเป็นกลไกที่สำคัญที่สุด ดังนั้นถุงกรองสามารถดักจับ อนุภาคขนาดเล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง โดยเฉพาะช่วงขนาดของอนุภาค 0.2 ถึง 0.5 ไมครอน

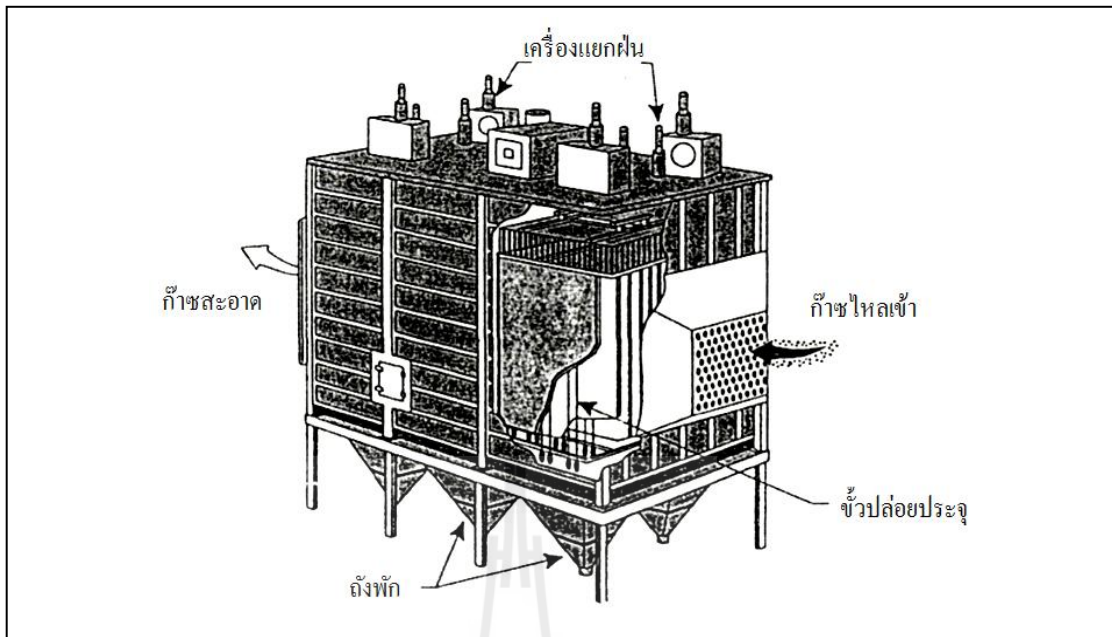
ระบบบำบัดชนิดไฟฟ้าสถิตย์

เครื่องดัก อนุภาค แบบไฟฟ้าสถิตย์ (เรียกย่อว่า ESP) เป็นเครื่องมือที่ใช้ไฟฟ้า ในการแยกอนุภาคออกจากกระแส อากาศ โดยมีหลักการ คือ ไล่ประจุไฟฟ้าให้อนุภาค แล้วผ่าน อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเข้าไปในสนามไฟฟ้าสถิตย์ อนุภาคเหล่านี้จะเคลื่อนที่เข้าหา และถูกแผ่นเก็บ ซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าตรงกันข้ามกับของอนุภาค เครื่องดัก อนุภาค แบบไฟฟ้าสถิตย์ มีประสิทธิภาพสูง ในการเก็บอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน โดยทั่วไปมีประสิทธิภาพถึงร้อยละ 99.5 หรือสูงกว่า ความดันสูญเสียมีค่าต่ำ สามารถรับก๊าซร้อนในปริมาณมากได้ ปัจจุบันใช้ เครื่องดัก อนุภาค แบบ ไฟฟ้าสถิตย์ อย่างแพร่หลายในการควบคุมมลพิษอากาศของโรงงานอุตสาหกรรม มต่าง ๆ ได้แก่ โรงจักรไฟฟ้า และหม้อน้ำ (Boiler) โรงหล่อหลอมทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี โรงหล่อหลอมเหล็ก และเหล็กกล้า โรงปูนซีเมนต์ โรงงานผลิตสารเคมี เช่น กรดซัลฟูริก กรดฟอสฟอริกและอื่น ๆ

หลักการทำงานของเครื่องดักอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิตย์แบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน

1. ไล่ประจุไฟฟ้าให้กับอนุภาค
2. เก็บอนุภาคที่มีประจุโดยใช้แรงไฟฟ้าสถิตย์จากสนามไฟฟ้า
3. แยกอนุภาคออกจากขั้วเก็บในเครื่องดักอนุภาคไปยังถังพัก

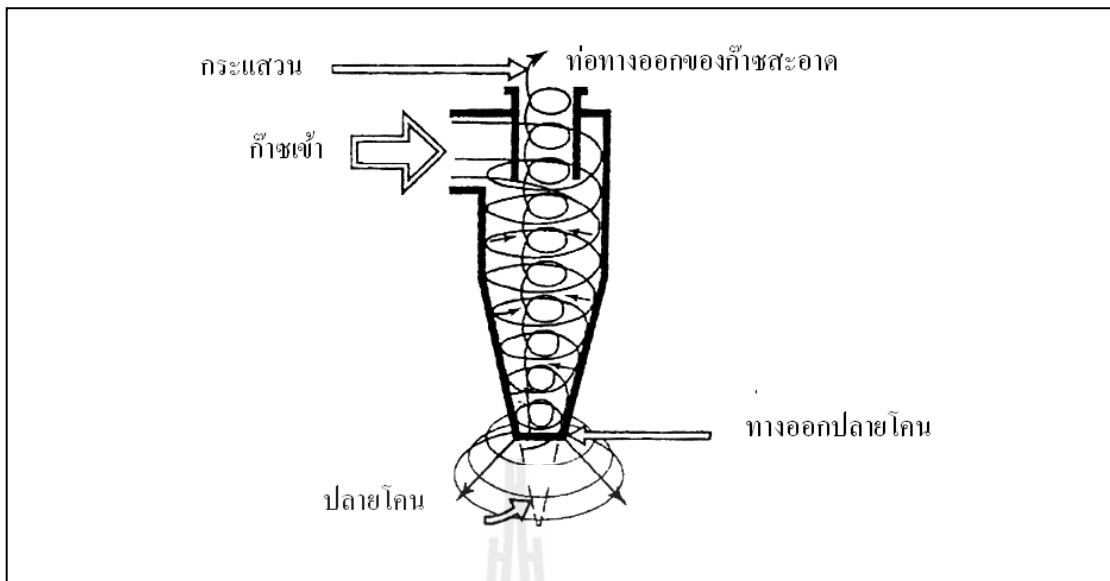
ในเครื่องดักอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิตย์มีขั้วไฟฟ้า (Electrode) 2 ชนิด คือ ขั้วโคโรน่า หรือขั้วปล่อยประจุ (Corona or Discharge Electrode) ซึ่งปกติต่อสายดิน และพื้นที่ผิวกว้าง ในรูปของแผ่น (Plate) หรือท่อ (Tube) ดังรูปที่ 2.7 เป็นวิธีการทั่วไปในการจับอนุภาคใน เครื่อง ดักอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิตย์ แบบชั้นเดียว โดยใช้โคโรน่ากระแสตรงที่มีความต่างศักย์สูง ระหว่าง ขั้วไฟฟ้าทั้ง 2 การที่ขั้วไฟฟ้ามีความต่างศักย์สูงนี้ ทำให้โมเลกุลของอากาศแตกตัวเป็นไอออน บริเวณรอบ ๆ ขั้วปล่อยประจุ (Discharge Electrode) ซึ่งจะเห็นเป็นโคโรน่า เนื่องจากมีไฟฟ้าสถิตย์อยู่ พวกไอออนลบจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วเก็บ (Collection Electrode) ซึ่งต่อสายดินไว้ ในขณะที่ไอออนของ ก๊าซซึ่งมีประจุลบ ชนกับอนุภาค ทำให้อนุภาคมีประจุลบ อนุภาคที่มีประจุลบเหล่านี้จะถูกแรงไฟฟ้า ทำให้เคลื่อนที่เข้าหาขั้วเก็บ (Collection Electrode) ที่มีประจุบวก และสูญเสียประจุ และเกาะติด ที่นั่น ความเร็วที่อนุภาคเคลื่อนที่นี้เรียกว่า Migration หรือ Drift Velocity ขึ้นกับแรงไฟฟ้าที่กระทำ บนอนุภาค และแรง Drag ที่เกิดขึ้นในขณะที่อนุภาคพยายามเคลื่อนที่ไปยังขั้วเก็บ อนุภาคที่เกาะติด ขั้วไฟฟ้าเหล่านี้เอาออกได้ โดยการเคาะให้หลุดและหล่นไปยังถังพักข้างล่าง (Rapping) หรือโดย การสั่น (Vibration)



รูปที่ 2.7 เครื่องดักอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิตย์แบบเก็บอนุภาคแห้ง และขั้วโคโรนาลบ (นภาพพร พานิช และคณะ, 2547)

ระบบบำบัดชนิดไซโคลน

ไซโคลนเป็นเครื่องมือสำหรับแยกอนุภาคขนาดใหญ่ออกจากกระแสอากาศ โดยใช้แรงหนีศูนย์กลาง ซึ่งเกิดจากการทำให้กระแส อากาศหมุนวน (Vortex) การทำงานของไซโคลน ขึ้นกับความเฉื่อย (Inertia) ของอนุภาคที่เคลื่อน ที่ในแนวเส้นตรง เมื่อ อากาศ เปลี่ยนทิศทาง แรงหนีศูนย์กลางจะเหวี่ยงอนุภาคไปยังผนังของไซโคลน และเคลื่อน ที่ลงถึงพัก ไซโคลน ประกอบด้วยส่วนรูปทรงกระบอก และ มีปลายเป็นรูปโคน ดังรูปที่ 2.8 อากาศ เคลื่อนที่เข้าสู่ ไซโคลนในแนวสัมผัสที่ใกล้ส่วนบนของเครื่องด้วยความเร็ว 20-30 เมตรต่อวินาที เมื่ออากาศ ผ่าน เข้ามาในไซโคลนจะเกิดกระแสวน ขึ้น (เรียกว่า Main Vortex) ซึ่งทำให้เกิดแรงหนีศูนย์กลาง เหวี่ยงอนุภาคไปยังผนังของไซโคลน เมื่อกระแสวนนี้เคลื่อนที่ลงจนถึงเกือบปลายโคน อากาศจะ หมุนกลับ เป็นกระแสวนที่เล็กกว่าเดิม เรียกว่า Core Vortex และเคลื่อนที่ขึ้นไปตามตัวไซโคลน ไปยังทางท่อออก (Vortex Finder) ที่อยู่ส่วนบนของเครื่อง นั่นคือกระแสวน 2 ชั้น เกิดขึ้นในทิศทาง เดียวกัน สำหรับอนุภาคที่ถูกเหวี่ยงไปยังผนังของไซโคลน จะเคลื่อนที่ลงไปยังส่วนปลายของโคน ไปยังถังพัก เนื่องจากแรงเฉื่อย และแรงโน้มถ่วง ส่วนอากาศที่ไม่มีอนุภาคจะหมุนขึ้นผ่านท่อออกที่ อยู่ส่วนบนของไซโคลน



รูปที่ 2.8 การเคลื่อนตัวของกระแสก๊าซในไซโคลน (นภาพพร พานิช และคณะ, 2547)

ส่วนใหญ่ไซโคลนทำมาจากเหล็กคาร์บอน หรือใช้โลหะ หรือเซรามิกก็ได้ถ้าต้องการใช้งานที่มีอุณหภูมิสูง การกัดกร่อน และการสึกกร่อน แต่ผิวภายในต้องเรียบเนื่องจากไซโคลนเป็นเครื่องมือที่ไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่ ดังนั้นการเดินเครื่องจึงง่ายและไม่ต้องการการบำรุงรักษามากนัก ต้นทุนต่ำ ไซโคลนใช้ในงานหลายอย่าง เช่น ใช้แยกผลิตภัณฑ์ที่แห้ง หรือใช้ในการดัก อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน จึงมักใช้ เป็นอุปกรณ์ดัก อนุภาคขนาดใหญ่ (Precleaner) ก่อนส่งไป อุปกรณ์ดักอนุภาคที่มีประสิทธิภาพสูง

ระบบบำบัดชนิดเปียก

เครื่องจับ อนุภาคแบบเปียก (Wet Collectors) หรือสครับเบอร์ (Scrubbers) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ของเหลวดักจับ อนุภาค หรืออนุภาคขนาดเล็กอย่างมีประสิทธิภาพ และจับ มลพิษประเภทก๊าซจากกระแสอากาศได้ในขณะเดียวกัน โดยฉีดของเหลวเป็นละอองฝอยสู่กระแส อากาศ หรือให้กระแส อากาศ ไหลผ่านฟิล์มของเหลวด้วยความเร็วสูง หรือไหลผ่านชั้นวัสดุที่มีของเหลวเคลือบผิว เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่ใกล้ละอองหรือหยดน้ำจะสัมผัสกับละอองน้ำด้วยกลไกหลัก 3 อย่าง คือ การกระทบเนื่องจากความเฉื่อย การสกัดกั้น และการแพร่ โดยการกระทบเนื่องจากความเฉื่อย เป็นกลไกการจับอนุภาคที่สำคัญที่สุดของสครับเบอร์ เมื่อกระแส อากาศ มีความเร็วมากกว่า 0.3 เมตรต่อวินาที หยดน้ำที่จับอนุภาคไว้จะถูกแยกออกจากกระแส อากาศ โดยแรงโน้มถ่วง หรือให้ กระแทกแผ่นกั้น (Baffles) หรือด้วยแรงเหวี่ยง ในการจับอนุภาคด้วยสครับเบอร์มี 3 ขั้นตอน คือ

1. อนุภาคสัมผัส และดักจับด้วยหยดของเหลวหรือฟิล์มของเหลว
2. แยกหยดของเหลวออกจากกระแสอากาศ
3. บำบัดของเหลวที่จับอนุภาค (น้ำเสีย) ก่อนระบายทิ้ง

ในขั้นตอนแรก อนุภาคจะสัมผัสและดักจับในเครื่องสครับเบอร์ ที่นิยมใช้มาก คือ เวนทิวรีสครับเบอร์ สครับเบอร์แบบเพลท หรือสครับเบอร์แบบสเปรย์ ในขั้นตอนที่ 2 ใช้เครื่องดักละอองน้ำ (Mist Eliminator) ที่ติดบนเครื่องสครับเบอร์เพื่อแยกหยดน้ำจากกระแส อากาศ หลังจากนั้นในขั้นตอนที่ 3 ใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น เครื่องตกตะกอน (Clarifier) เครื่องกรอง (Vacuum Filter) และบ่อพัก (Setting Pond) เพื่อบำบัดน้ำเสียที่ออกจากสครับเบอร์

ระบบสครับเบอร์ประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ บั๊ม น้ำ พัดลม อุปกรณ์ป้อนสารเคมี ระบบท่อ และอุปกรณ์ตรวจวัด (Instrument) สำหรับสครับเบอร์ที่ใช้ดักจับ อนุภาคที่มีขนาดเล็ก (เล็กกว่า 1 ไมครอน) มักติดตั้งอุปกรณ์สำหรับหล่อเย็น อากาศก่อนเข้าสู่สครับเบอร์ และ อุปกรณ์หล่อเย็นของเหลวเพื่อให้ไอน้ำควบแน่น สำหรับเครื่องดักละอองน้ำหลายชนิด ได้แก่ ไชโคลอน Chevron Mesh pads และ Woven pads

2.3.4 สรุปข้อได้เปรียบและเสียเปรียบของเครื่องควบคุมมลพิษอากาศประเภทอนุภาค

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าเครื่องควบคุมมลพิษอากาศประเภทอนุภาคทั้ง 4 ชนิด มีข้อได้เปรียบและเสียเปรียบที่แตกต่างกัน ขึ้นกับลักษณะการนำไปใช้งานดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สรุปข้อได้เปรียบ และเสียเปรียบของเครื่องควบคุมมลพิษอากาศประเภทอนุภาค

(นพภาพร พานิช และคณะ, 2547)

เครื่องควบคุม	ข้อได้เปรียบ	ข้อเสียเปรียบ
เครื่องดักอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิต	• ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องต่ำ เนื่องจากความดันสูญเสียของระบบมีค่าต่ำ	• ต้นทุนสูง
	• ประสิทธิภาพสูงในการจับอนุภาคขนาดเล็ก (ร้อยละ 99)	• ไม่สามารถปรับให้เดินเครื่องในสภาวะที่เปลี่ยนแปลงได้
	• เครื่องดักอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิตแบบเปียกดักจับก๊าซได้ และไม่ไวต่อความต้านทานไฟฟ้าของอนุภาค	• ไวต่อปริมาณอนุภาคที่เข้าสู่เครื่อง ขนาดของอนุภาค และสภาพความต้านทานมากกว่าถุงกรองและเวนทิวรีสครับเบอร์
	• ดักจับอนุภาคที่มีฤทธิ์กัดกร่อนหรือ Tar Mist ได้	• ในบางกรณีต้องใช้สารปรับสภาพความต้านทานไฟฟ้าของอนุภาค

ตารางที่ 2.3 สรุปข้อได้เปรียบ และเสียเปรียบของเครื่องควบคุมมลพิษอากาศประเภทอนุภาค
(นภาพพร พานิช และคณะ, 2547) (ต่อ)

เครื่องควบคุม	ข้อได้เปรียบ	ข้อเสียเปรียบ
ไซโคลน	<ul style="list-style-type: none"> โครงสร้างง่าย บำรุงรักษาง่าย ไม่มีส่วนเคลื่อนที่ และใช้พื้นที่ติดตั้งน้อย 	<ul style="list-style-type: none"> ไวต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอนุภาค และอัตราการไหลของกระแสอากาศไหลเข้า
	<ul style="list-style-type: none"> วัสดุทนต่ออุณหภูมิสูงได้ 	<ul style="list-style-type: none"> ใช้ดักจับอนุภาคขนาดใหญ่ได้ดี (ใหญ่กว่า 10 ไมครอน) แต่ประสิทธิภาพต่ำในการจับอนุภาคขนาดเล็ก (เล็กกว่า 10 ไมครอน)
	<ul style="list-style-type: none"> ความดันสูญเสียไม่สูงนัก 	
ถุงกรอง	<ul style="list-style-type: none"> ประสิทธิภาพสูงมากในการจับอนุภาคขนาดเล็ก (มากกว่าร้อยละ 99) 	<ul style="list-style-type: none"> ใช้จับอนุภาคในกระแสอากาศที่มีอุณหภูมิสูง (สูงกว่า 290 องศาเซลเซียส) ไม่ได้ นอกจากต้องลดอุณหภูมิด้วย Precooler หรือ ใช้ผ้ากรองชนิดพิเศษ
	<ul style="list-style-type: none"> ค่าความดันสูญเสียต่ำกว่า เวนทูรีสครับ 	
	<ul style="list-style-type: none"> เดินเครื่องง่าย 	
	<ul style="list-style-type: none"> ประสิทธิภาพการจับอนุภาคไม่ขึ้นกับปริมาณอนุภาคที่เข้าสู่เครื่อง 	<ul style="list-style-type: none"> ถ้ามีอนุภาคขนาดใหญ่ (ใหญ่กว่า 20 ไมครอน) มักใช้อุปกรณ์แยกอนุภาค เช่น ไซโคลน เพื่อจับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ก่อนเข้าสู่หน่วยถุงกรอง
	<ul style="list-style-type: none"> ต้นทุนต่ำ เมื่อเทียบกับเครื่องดักอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิตย์ และสครับเบอร์ 	
	<ul style="list-style-type: none"> ใช้พื้นที่ติดตั้งน้อย 	
สครับเบอร์ (เวนทูรี สครับเบอร์)	<ul style="list-style-type: none"> ค่าใช้จ่ายติดตั้งต่ำ 	<ul style="list-style-type: none"> มีน้ำเสียเกิดขึ้นและมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นเพื่อการบำบัดน้ำเสีย
	<ul style="list-style-type: none"> ง่ายในการเดินเครื่อง ส่วนเคลื่อนที่น้อย 	
	<ul style="list-style-type: none"> อนุภาค และก๊าซได้ในขั้นตอนเดียว 	<ul style="list-style-type: none"> ค่าใช้จ่ายในการใช้งานสูง เนื่องจากค่าความดันสูญเสียสูง (100 ซม. หรือมากกว่า) โดยเฉพาะเมื่อจับอนุภาคขนาดเล็ก (เล็กกว่า 1 ไมครอน)
	<ul style="list-style-type: none"> ใช้ดักจับอนุภาคที่เหนียว ติดไฟ และอนุภาคที่กัดกร่อนได้ 	
<ul style="list-style-type: none"> ประสิทธิภาพจับอนุภาคไม่ขึ้นกับสภาพความต้านทานไฟฟ้าของอนุภาคจับ 		

ในการเลือก เครื่องควบคุม มลพิษอากาศ ให้เหมาะกับเตาเผามูลฝอยขนาดเล็กนั้น ไม่ควรใช้เทคโนโลยีที่ซับซ้อน ดูแลรักษาง่าย ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง และเดินระบบไม่สูง และมีประสิทธิภาพในการกำจัดมลพิษ อากาศที่เพียงพอ หากพิจารณาตามแนวทางข้างต้น จะพบว่า มีเครื่องควบคุมมลพิษอากาศที่เหมาะสมอยู่ 2 ระบบ คือ ไซโคลน และสครับเบอร์ โดยไซโคลน สามารถกำจัดอนุภาคขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง เดินระบบง่าย การดูแลรักษาค่า สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูง แต่มีข้อจำกัด คือ ประสิทธิภาพต่ำในการกำจัดอนุภาคขนาดเล็ก และไม่สามารถกำจัดมลพิษอากาศประเภทก๊าซได้ ส่วนสครับเบอร์ สามารถควบคุมมลพิษอากาศประเภทอนุภาคและก๊าซได้ และใช้กับกระแสอากาศที่มีอุณหภูมิสูงได้ แต่มีข้อจำกัด คือ สครับเบอร์แบบมีตัวกลางอาจเกิดการอุดตัน จากอนุภาคในชั้นของตัวกลาง ส่วนสครับเบอร์แบบเวนทิวรีต้องใช้พลังงานมากเนื่องจากเกิดความดันสูญเสียสูง (Noll, 1999; Theodore and Buonicore, 1994) ดังนั้น ในการศึกษาจึงเลือกใช้ไซโคลนสครับเบอร์ ซึ่งเป็นการรวมข้อดีของทั้ง 2 ระบบที่กล่าวมาเข้าด้วยกัน เป็นระบบที่ไม่ใช้เทคโนโลยี ที่ซับซ้อน ดูแลรักษาง่าย ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง และเดินระบบไม่สูง สามารถบำบัดมลพิษอากาศจากเตาเผามูลฝอย ได้ทั้งอนุภาค และก๊าซได้อย่างมีประสิทธิภาพ

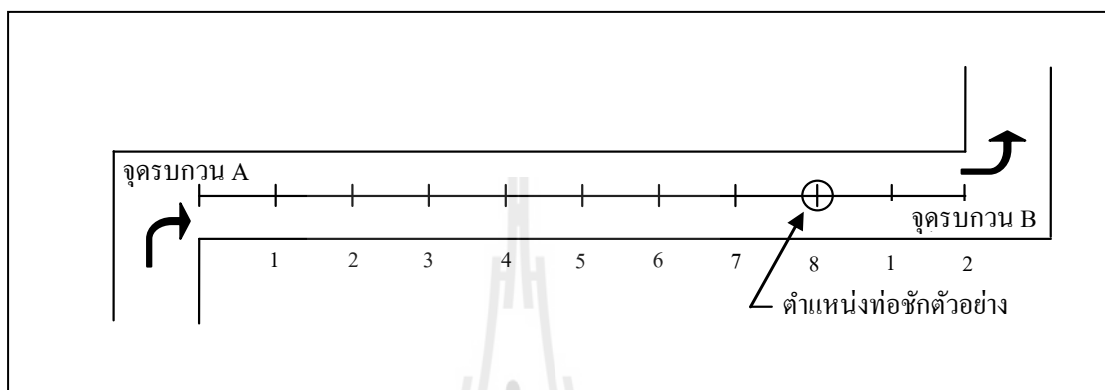
2.4 การตรวจวัดอนุภาคจากกระแสอากาศด้วยวิธีมาตรฐาน

การตรวจวัดคุณภาพ อากาศจากปล่องระบายอากาศเสีย เป็นวิธีการที่ใช้ในการติดตาม ตรวจสอบ และควบคุมการระบายมลพิษอากาศ ให้เป็นไปตามมาตรฐานควบคุมมลพิษจากแหล่งกำเนิด โดยใช้คู่มือการตรวจวัดมลพิษทางอากาศจากปล่อง ฉบับที่ 1 (สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง , 2549) ซึ่งได้เรียบเรียงโดยอ้างอิง วัธีมาตรฐานสากล วิธีที่ 1-5 ขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States of Environmental Protection Agency: U.S.EPA) โดยเริ่ม จากการกำหนดจุดเจาะปล่อง การหาความเร็ว และอัตราการไหลของอากาศในปล่อง การหาน้ำหนักโมเลกุลของอากาศ การหาปริมาณความชื้นของอากาศ และวิธีการเก็บตัวอย่างเพื่อหาปริมาณอนุภาคในปล่อง โดยมีรายละเอียดโดยย่อดังนี้

2.4.1 การกำหนดจุดเจาะปล่อง (U.S.EPA. Method 1)

การกำหนดจุดเจาะปล่องเพื่อใช้หาความเร็ว หรืออัตราการไหลของอากาศในปล่อง รวมทั้งใช้สำหรับการเก็บตัวอย่างอากาศ โดยต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ว่าสภาพการไหลของอากาศ ต้องไม่เกิดการไหลวน หรือมีความแปรปรวนสูง ทำให้อัตราการไหลไม่สม่ำเสมอ ปล่องต้องมีระยะเส้นผ่านศูนย์กลาง ไม่น้อยกว่า 0.3 เมตร หรือมีพื้นที่ภาคตัดขวางไม่น้อย กว่า 0.071 ตร.ม. และจุดเจาะปล่องอยู่ปลายทางการไหลของอากาศจากจุดรวบรวบการไหล เช่น ข้องอ ท่อขยาย ท่อลด หรือจุดที่มีการเผาไหม้ เป็นต้น ไม่น้อยกว่า 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางปล่อง หรืออยู่ต้นทางการไหล

ของอากาศจากจุดรวมกวนการไหล ไม่น้อยกว่า 0.5 เท่า ของระยะเส้นผ่าศูนย์กลางปล่อง ดังนั้น วิธีการกำหนดจุดเจาะปล่องที่เหมาะสม คือ จุดเจาะปล่องต้องอยู่ปลายทางการไหลของอากาศ จากจุดรวมกวนการไหล อย่างน้อย 8 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางในปล่อง และต้องอยู่ต้นทางการไหล ของอากาศ จากจุดรวมกวนการไหลอย่างน้อย 2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางปล่อง ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 จุดเจาะปล่องที่เหมาะสม

หากไม่สามารถกำหนดจุดเจาะปล่องได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ อาจเลือกจุดเจาะปล่อง ที่อยู่ปลายทางการไหลของอากาศ จากจุดรวมกวนการไหล อย่างน้อย 2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางในปล่อง หรือต้องอยู่ต้นทางการไหลของอากาศ จากจุดรวมกวนการไหลอย่างน้อย 0.5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางปล่อง

2.4.2 การหาความเร็ว และอัตราการไหลของอากาศในปล่อง (U.S.EPA. Method 2)

การหาความเร็วเฉลี่ยของอากาศในปล่อง หาได้จากความหนาแน่นของอากาศ และค่าความแตกต่างของความดัน มีอุปกรณ์ประกอบด้วย Pitot Tube เกจวัดความแตกต่างของความดัน เกจวัดอุณหภูมิของอากาศในปล่อง เกจวัดความดันสถิตย์ของอากาศในปล่อง เครื่องวัดความดันบรรยากาศ และเครื่องวิเคราะห์ส่วนผสมของอากาศในปล่อง โดยขั้นตอนการตรวจวัดดังนี้

1. การประกอบเครื่องมือ และตรวจสอบรอยรั่วของชุดเก็บตัวอย่าง
2. ตั้งระดับ และตั้งศูนย์ของเครื่องวัดค่าความดันแตกต่าง และหมั่นตรวจสอบให้อยู่ในระดับคงที่ตลอดระยะที่ทำการตรวจสอบ
3. สอด Pitot Tube เข้าไปในปล่อง แล้ววัดค่าความดันแตกต่าง และอุณหภูมิ
4. วัดค่าความดันสถิตย์ในปล่องจากเกจความดันสถิตย์
5. อ่านค่าความดันบรรยากาศจากเครื่องวัดความดันบรรยากาศ

6. หาน้ำหนักโมเลกุลแห้ง จากอากาศในปล่อง ตามด้วยวิธี U.S.EPA Method 3 หรืออาจจะใช้ค่า 29 กรัมต่อกรัม-โมล สำหรับกระบวนการที่ระบายอากาศ
7. หาความชื้นของอากาศจากปล่อง ตามด้วยวิธี U.S.EPA Method 4
8. หาพื้นที่หน้าตัดของปล่อง โดยตรวจวัดจากสภาพของปล่องตามความเป็นจริง
9. คำนวณความเร็วอากาศในปล่อง

2.4.3 วิธีการหาน้ำหนักโมเลกุลของอากาศ (U.S.EPA. Method 3)

เป็นวิธีการที่ใช้สำหรับเก็บ และวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศเพื่อหาค่าความเข้มข้นเป็นร้อยละโดยปริมาตรของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไนโตรเจน และก๊าซออกซิเจน ในตัวอย่างอากาศในปล่อง โดยวิเคราะห์ด้วยชุดวิเคราะห์ Orsat Analyzer หรือ Fyrite Analyzer หรือชุดวิเคราะห์แบบอื่น ๆ โดยมีวิธีการตรวจวัดดังนี้

1. ประกอบชุดชักตัวอย่างอากาศ ตรวจสอบจุดต่อ และบริเวณท่อที่เชื่อมต่อทุกจุด ให้แน่นสนิทเพื่อป้องกันรอยรั่ว
2. สอดท่อชักตัวอย่างอากาศเข้าไปในปล่อง โดยให้ตำแหน่งของปลายท่อ อยู่ที่จุดชักตัวอย่างอากาศ ดำเนินการเก็บตัวอย่างอย่างน้อย 5 ครั้ง เพื่อให้อากาศจากปล่องเข้ามาแทนที่อากาศที่ค้างอยู่ในท่อชักตัวอย่างอากาศ
3. ชักตัวอย่างอากาศเข้าไปในชุดวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศ แล้ววิเคราะห์หาร้อยละของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ในตัวอย่างอากาศทันที

2.4.4 การหาปริมาณความชื้นของอากาศภายในปล่อง (U.S.EPA. Method 4)

เป็นการดึงตัวอย่างอากาศจากปล่อง ด้วยอัตราคงที่ผ่านเครื่องควบแน่นเพื่อหาปริมาณความชื้นด้วยวิธีชั่งน้ำหนัก โดยมีวิธีการตรวจวัดดังนี้

1. เตรียมเครื่องควบแน่นให้ Impinger ที่ 1 และ 2 เต็มน้ำกลั่นประมาณ 100 มม. Impinger ที่ 3 ปล่อยว่างไว้และ Impinger ที่ 4 ใส่สารดูดความชื้นประเภทซิลิกาเจลที่มีขนาด 6-16 Mesh ประมาณ 200-300 กรัม กรณี สารดูดความชื้นผ่านการใช้งานแล้ว ให้นำไปอบที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ก่อนนำมาใช้
2. ชั่งน้ำหนัก Impinger ให้มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.5 กรัม
3. ประกอบชุดเก็บตัวอย่างอากาศ และตรวจสอบรอยรั่วก่อนการชักตัวอย่าง
4. ชักตัวอย่างด้วยอัตราคงที่ (คลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 10) โดยให้ปลายท่อชักตัวอย่างอยู่ที่จุดชักตัวอย่างบนพื้นที่ภาคตัดขวางของปล่อง

5. เมื่อเสร็จสิ้นการชักตัวอย่าง ให้ชั่งน้ำหนักของแต่ละ Impinger (จำนวน 4 ใบ) โดยคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.5 กรัม
6. คำนวณหาปริมาณความชื้นของอากาศ

2.4.5 วิธีการเก็บตัวอย่างเพื่อหาปริมาณอนุภาคในปล่อง (U.S.EPA. Method 5)

เก็บตัวอย่างแบบไอโซไคเนติก (Isokinetic sampling) ผ่านกระดวยกรองใยแก้ว ที่อุณหภูมิ 120 ± 14 องศาเซลเซียส และเครื่องควบคุมแรงดัน เพื่อหาปริมาณอนุภาคที่กรอง และเก็บได้ โดยวิธีการชั่งน้ำหนักหลังจากระเหยความชื้นออกหมดแล้ว โดยมีขั้นตอนการตรวจวัดดังนี้

1. ออบกระดวยกรองในตู้ดูดความชื้นที่อุณหภูมิ 20 ± 5.6 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 24 ชั่วโมง
2. ชั่งน้ำหนักกระดวยกรองทุก ๆ 6 ชั่วโมง จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ (เปลี่ยนแปลงไม่เกิน 0.5 มก. จากน้ำหนักที่ชั่งได้ครั้งก่อน) ให้บันทึกผลน้ำหนักที่ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.1 มก. ในการชั่งน้ำหนักแต่ละครั้ง กระดวยกรองต้องไม่สัมผัสอากาศภายนอกนานเกิน 2 นาที
3. เลือกขนาดหัวเก็บตัวอย่าง โดยสามารถคำนวณหาขนาดหัวเก็บตัวอย่าง ซึ่งขึ้นกับ Velocity Head เพื่อให้การเก็บตัวอย่าง อนุภาคเป็นแบบไอโซไคเนติก ทั้งนี้ห้ามเปลี่ยนขนาดหัวเก็บตัวอย่างในขณะที่เก็บตัวอย่าง
4. ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง แต่ละจุดต้องเท่ากัน โดยไม่น้อยกว่า 2 นาที และปริมาตรอากาศของตัวอย่างอากาศทั้งหมด ต้องมีค่าไม่น้อยกว่าปริมาตรต่ำสุดของตัวอย่างอากาศที่ได้กำหนดไว้สำหรับแต่ละประเภทอุตสาหกรรม
5. เตรียมชุดควบคุมแรงดันโดย Impinger ใบที่ 1 และ 2 ให้เติมน้ำกลั่นใบละ 100 มม. Impinger ใบที่ 3 ให้ปล่อยว่างไว้และ Impinger ใบที่ 4 ให้ใส่ซิลิกาเจลประมาณ 200-300 กรัม ชั่งน้ำหนัก Impinger แต่ละใบที่ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.5 กรัม
6. ประกอบชุดเก็บ ตัวอย่างอากาศ โดยใช้ไซ ไซคลิกโคนทาบง ๆ ที่เชื่อมต่อแก้ว โดยให้ทาบบริเวณด้านนอก เพื่อหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนของซิลิโคน ทั้งนี้อาจใช้ไซโคลนทำด้วยแก้วประกอบระหว่างท่อชักตัวอย่างกับ Filter Holder เพื่อใช้ดักอนุภาคกรณีคาดว่าจะมีปริมาณ อนุภาคเกิน 100 มก. หรือกรณีมีหยดน้ำปนอยู่ในตัวอย่างอากาศที่ชักออกจากปล่อง
7. ใต้น้ำแข็งบดรอบ ๆ Impinger ตรวจสอบรอยรั่วของระบบเครื่องตรวจวัด โดยให้ตรวจสอบตั้งแต่เครื่องสูบลมอากาศ จนถึงเครื่องวัดค่าความแตกต่างของความดันตกคร่อมออริฟิซ

8. ชักตัวอย่างอากาศ โดยคงอัตราการชักตัวอย่างแบบไอโซโคโนติก โดยมีค่าคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินร้อยละ 10 และในขณะที่ชักตัวอย่างอากาศ ให้รักษาระดับอุณหภูมิรอบ ๆ Filter Holder ไว้ที่ 120 ± 14 องศาเซลเซียส
9. เมื่อสิ้นสุดการชักตัวอย่าง ให้บันทึกค่าปริมาตรอากาศสุดท้ายที่อ่านได้จากเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห่ง
10. ชั่งน้ำหนัก Impinger แต่ละใบให้มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.5 กรัม เพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาณความชื้นของตัวอย่างอากาศต่อไป
11. ออบแห้ง Petri Dish ที่เก็บตัวอย่าง ในตู้ควบคุมความชื้นที่ใช้แคลเซียมซัลเฟตชนิดปราศจากน้ำ (Anhydrous Calcium Sulfate) เป็นสารดูดความชื้น เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักรวมของกระดาศกรงและ อนุภาคจนกระทั่ง ได้น้ำหนักคงที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 0.5 มก. หรือไม่เกินร้อยละ 1 จากน้ำหนักที่ชั่งครั้งก่อน โดยในระหว่างการชั่งแต่ละครั้งควรห่างกันไม่น้อยกว่า 6 ชั่วโมง กระดาศกรงที่เก็บอนุภาคจะต้องอยู่ในตู้ควบคุมความชื้นตลอดเวลา

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 เตาเผามูลฝอยขนาดเล็ก

อัศวิน สืบบุญการณ์ (2544) ได้พัฒนาเตาเผามูลฝอยต้นแบบ ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ห้องเผาไหม้ และห้องกำจัดมลพิษ โดยห้องเผาไหม้มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 เมตร สูง 2.6 เมตร ปริมาตรห้องเผา 0.945 ลบ.ม. และใช้หอพ่นน้ำ (Spray Tower) เป็นเครื่องควบคุม มลพิษอากาศก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ การศึกษานี้ เพื่อประเมินหาอัตราการเผาไหม้ที่เหมาะสม ซึ่งความสามารถในการเผาไหม้ด้วยตัวเอง (Self-Burning Capacity) โดยเปรียบเทียบอัตราการเผาไหม้อุณหภูมิในเตาเผา ในกรณีติดตั้งเหล็กก้างปลา ใช้อัตราส่วนผสมระหว่าง มูลฝอยแห้งและเปียก คือ 1:0 4:1 3:1 2:1 และ 1:1 ผลการศึกษาจากการติดตั้งเหล็กก้างปลาในห้องเผาไหม้ เพื่อช่วยเพิ่มความพรุนในกอง มูลฝอยที่เข้าเผา สามารถเพิ่ม อัตราการป้อน มูลฝอยเฉลี่ย 114 กก.ต่อชั่วโมง อุณหภูมิในการเผาไหม้อยู่ที่ 150-1,100 องศาเซลเซียส

เลอศักดิ์ โคลงเนิน (2544) ศึกษาตัวแปรสำคัญในการควบคุมมลสารทางอากาศจากเตาเผา มูลฝอยขนาดเล็ก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 เมตร สูง 2.6 เมตร โดยใช้เครื่องควบคุมมลพิษอากาศชนิดหอพ่นน้ำ (Spay Tower) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 เมตร สูง 6.4 เมตร ใช้หัวฉีด (Nozzle) ที่ทำมุม 120 องศา อัตราการไหลของอากาศเสียเท่ากับ 4.13-6.53 ลบ.ม.ต่อนาที และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 28 ลิตรต่อนาที โดยศึกษามลพิษอากาศจากการเผา มูลฝอย ที่อัตราส่วนผสมระหว่าง มูลฝอยแห้ง และเปียก คือ 1:0 4:1 3:1 2:1 และ 1:1 ที่ผ่านหอพ่นน้ำ คือ

ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ 803-1,736 ส่วนในล้านส่วน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 12,000-18,000 ส่วนในล้านส่วน ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน 15-20 ส่วนในล้านส่วน ไม่พบก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ค่ามลพิษที่ผ่านหอฟุ้งน้ำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่มีค่าคาร์บอนมอนอกไซด์ และค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ค่อนข้างสูง

Kuo et al. (2008) ได้สรุปเกี่ยวกับการก่อสร้าง และพัฒนาเตาเผา มูลฝอยขนาดเล็กไม่เกิน 2 ตันต่อชั่วโมง ในประเทศไต้หวัน จำนวน 22 เตา ศึกษาลักษณะของมลพิษ เช่น โลหะหนัก ก๊าซกรด และไดออกซิน เพื่อนำไปพัฒนาระบบบำบัดมลพิษอากาศ และการนำพลังงานกลับมาใช้ โดยผลการตรวจวัดมลพิษ อากาศ จากเตาเผา มูลฝอย ได้แก่ ปริมาณ อนุภาค 220 มก.ต่อ ลบ.ม. ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน และ ก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์ 350 300 250 และ 60 ส่วนในล้านส่วนตามลำดับ

กฤษ ณีรัตน์ (2542) ศึกษาออกแบบเตาเผา มูลฝอยชุมชนแบบ Rotary Kiln และ ประเมินประสิทธิภาพของเตา เส้นผ่าศูนย์กลางภา ยนอกของเตาเผา 0.65 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง ภายในของเตาเผา 0.45 เมตร ยาว 2.37 เมตร โดยศึกษาตัวแปร 3 ตัวแปร ได้แก่ อัตราการป้อนอากาศ ร้อยละ 150 200 และ 250 ของอากาศส่วนเกิน อัตราการป้อนมูลฝอยที่ 15 20 และ 25 กก.ต่อชั่วโมง ความเร็วรอบเตาเผา 0.6 0.8 และ 1 รอบต่อนาที ใช้ไซโคลนเป็นอุปกรณ์กำจัด อนุภาค จาก การทดลอง พบว่าสภาวะที่เหมาะสม คือ อัตราการป้อนอากาศ ร้อยละ 250 ของอากาศส่วนเกิน อัตราการป้อนมูลฝอย 20 กก.ต่อชั่วโมง และความเร็วรอบ 0.6 รอบต่อนาที อุณหภูมิที่สภาวะคงที่ให้ ค่าสูงสุดประมาณ 790 องศาเซลเซียส มีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน และ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และ ประมาณ 3,200 60 และ 20 ส่วนในล้านส่วนตามลำดับ โดยมี ประสิทธิภาพการทำลายสูงสุดร้อยละ 94.3

จากงานวิจัยเกี่ยวกับเตาเผามูลฝอยขนาดเล็กดังกล่าวข้างต้น สามารถสรุปความ เข้มข้นมลพิษอากาศหลักที่เกิดขึ้นดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 สรุปความเข้มข้นมลพิษอากาศหลักที่เกิดขึ้นจากเตาเผามูลฝอยขนาดเล็ก

มลพิษ	Kuo et al. (2008)	เลอศักดิ์ โคสูงเนิน (2544)	กฤษ มณีรัตน์ (2542)	มาตรฐาน*
ปริมาณอนุภาค (มก.ต่อลบ.ม.)	220	-		< 400
SO ₂ (ส่วนในล้านส่วน)	300	ND	20	< 30
NO _x (ส่วนในล้านส่วน)	250	15-20	60	< 250
HCl (ส่วนในล้านส่วน)	60	-		< 136
CO (ส่วนในล้านส่วน)	350	803-1736	3200	-

หมายเหตุ : * มาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากเตาเผามูลฝอยขนาดเล็ก 1-50 ตันต่อวัน (2553)

2.5.2 ไชโคลนสกรับเบอร์

Yang and Yoshida (2004) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการรวบรวมอนุภาคระหว่าง ไชโคลนธรรมดา เปรียบเทียบกับ ไชโคลนสกรับเบอร์ ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเป็น 72 มม. ใช้หัวฉีด Ring nozzle ชนิด Air jet อัตราการไหลของของเหลวในช่วง 0-2.4 ลิตรต่อชั่วโมง อัตราการไหลของอากาศที่ 0.754 ลบ.ม.ต่อนาที อัตราส่วนระหว่างน้ำต่ออากาศ (L/G ratio) ในช่วง 0.016-0.042 ลิตรต่อ ลบ.ม. อัตราการป้อนอนุภาค (ถ้ำลอย) 2 กรัมต่อนาที ขนาดเฉลี่ยของอนุภาค คือ 1.6 ไมครอน พบว่าประสิทธิภาพการรวบรวมอนุภาคของ ไชโคลนสกรับเบอร์ สูงกว่า ไชโคลนธรรมดา ค่า Cut diameter ช่วง 0.8-0.9 ไมครอนเมตร ใช้ค่า L/G ratio ที่ 0.042 ลิตรต่อ ลบ.ม.

Lee et al. (2008) ได้ศึกษาประสิทธิภาพ และการนำสกรับเบอร์แบบหมุนวน ไปใช้ ประโยชน์ โดยใช้ถ้ำลอยที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางในช่วง 0.1-10 ไมครอน ป้อนด้วยความเร็ว 8.9 เมตรต่อวินาที อัตราการไหลของอากาศที่ 16.8 ลบ.ม.ต่อนาที ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ คือ อัตราการไหล ของของเหลว 7.5 17.5 30.0 และ 34.0 ลิตรต่อนาที ขนาดของหัวฉีด 0.2 7.5 9.0 และ 15.0 มม. มุมแผ่นบังคับทิศทางลม 15 30 และ 45 องศา ความดัน 0.7 1.6 0.2 3.0 และ 4.0 กก.ต่อ ตร.ซม. จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดอนุภาคเพิ่มขึ้น เมื่อมุมของแผ่นบังคับทิศทาง การไหลลดลง ความดันเพิ่มขึ้น และเพิ่มอัตราไหลของของเหลวเพิ่มขึ้น โดยมีค่าต่าง ๆ ดังนี้ มุมที่ เหมาะสม คือ 15 องศา ขนาดหัวฉีดคือ 7.5 มม. ความดันคือ 1.6 กก.ต่อ ตร.ซม. และค่า L/G ratio ที่ 34 ลิตรต่อ นาที

มานะ อมรกิจบำรุง และสามารถ พรเจริญ (2546) ได้ออกแบบ และ สร้าง ไชโคลนสกรับเบอร์ โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการจับ อนุภาค ได้แก่ จำนวน และ ตำแหน่งของหัวฉีด ค่า L/G ratio ที่ 2.8 3.4 และ 4.4 ลิตรต่อ ลบ.ม. ความเข้มข้นของอนุภาค 2 4 6

และ 8 กรัมต่อ ลบ.ม. อนุภาคที่ใช้ คือ ฝักลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะจังหวัดลำปาง โดยมีขนาดเฉลี่ย 8.8 ไมครอน ไชโคลนสกรับเบอร์มีลักษณะเป็นคอลลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ซม. สูง 1 เมตร ทางเข้ามีรูปเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 15 ซม. สูง 7.5 ซม. ท่อทางออกมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. ติดตั้งหัวฉีดสกรับเบอร์ บริเวณแกนกลาง ของคอลลัมน์ จากการทดลองพบว่า สภาวะทำงานที่ให้ ประสิทธิภาพสูงสุด คือ ค่า L/G ratio 4.4 ลิตรต่อ ลบ.ม. จำนวนหัวฉีด 16 หัว ความเข้มข้นของอนุภาค ทางเข้า 2 กรัมต่อ ลบ.ม. ประสิทธิภาพอยู่ที่ร้อยละ 99 ที่อนุภาคขนาดมากกว่า 1.2 ไมครอน

ชัยลภัส วิสุทธิ (2547) ได้ก่อสร้างและทดสอบ เครื่องควบคุมมลพิษอากาศ ชนิด ไชโคลนสกรับเบอร์ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 36.67 ซม. ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพ การจับอนุภาค ได้แก่ ความเร็วลม 10-20 เมตรต่อวินาที ค่า L/G ratio 0.44-4.37 ลิตรต่อ ลบ.ม. ความเข้มข้นอนุภาค 0.3-1.5 กรัมต่อ ลบ.ม. จำนวนหัวฉีด 4 8 12 16 และ 20 หัว ซึ่งตำแหน่ง การติดตั้งหัวฉีดเป็นแบบพื้นปลา 4 หัว ต่อ 1 แถว ใช้หัวฉีดชนิดกรวยเต็ม (Full Cone) ทำมุม 90 องศา อนุภาคที่ใช้ทดสอบคือ แคลเซียมคาร์บอเนต แบบเคลือบผิว มีการกระจายตัวอยู่ในช่วง 0.05-22.5 ไมครอน เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 1.27 ไมครอน ผลการทดลองพบว่า ใช้จำนวนหัวฉีด 4 หัว ปริมาณน้ำที่ใช้ 10.67 ลิตรต่ออนาที จะมีประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 95.75

จากงานวิจัย เกี่ยวกับระบบบำบัดมลพิษอากาศชนิด ไชโคลนสกรับเบอร์ ช้างต้น สามารถสรุปค่าที่ใช้ในการทดลองได้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 สรุปค่าที่ใช้ในการทดลองของ ไชโคลนสกรับเบอร์

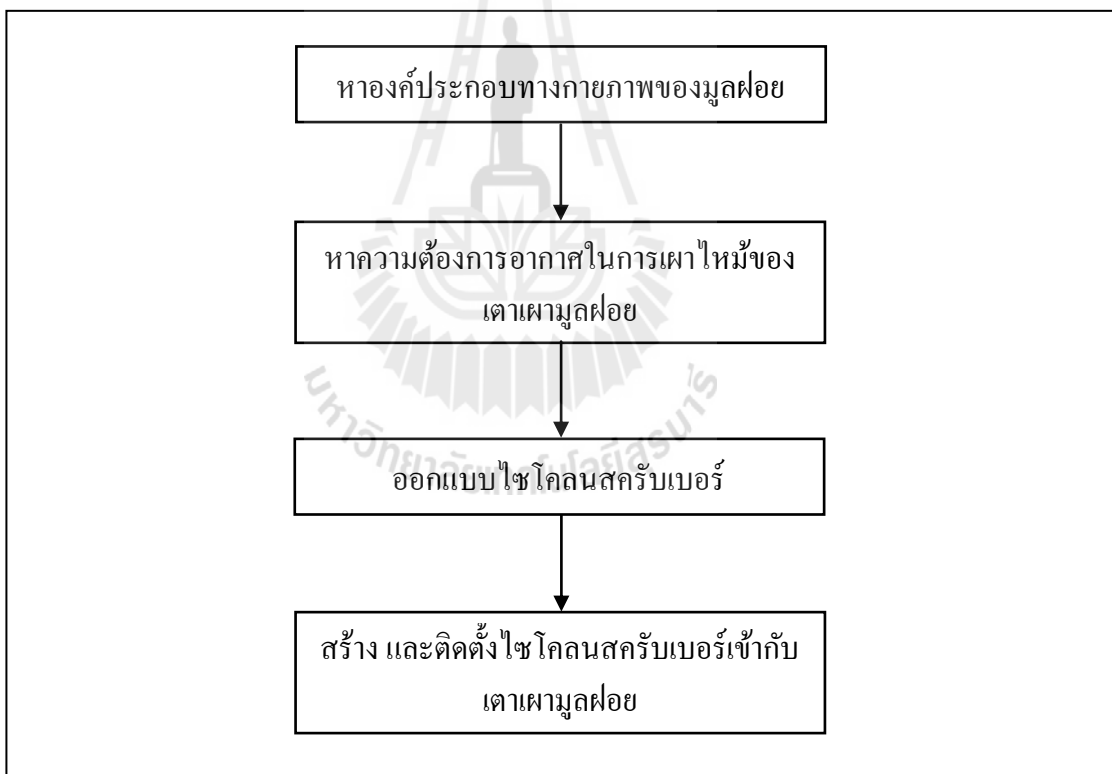
วรรณกรรม	ชนิดแหล่งกำเนิดมลพิษ	ขนาดเฉลี่ยของอนุภาค (ไมครอน)	ความเข้มข้นอนุภาค ที่ใช้ระบบ (มก.ต่อ ลบ.ม.)	L/G ratio (ลิตรต่อ ลบ.ม.)	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของระบบ (ซม.)	ประสิทธิภาพ
Yang and Yoshida (2004)	ฝักลอย	1.6	2652.5	0.016-0.042	7.2	-
Lee et al. (2008)	ฝักลอย	0.1-10	-	0.45-2.02	-	-
มานะ อมรกิจบำรุง และ สามารถ พรเจริญ (2546)	ฝักลอย	8.8	2000	2.8-4.4	30	99
ชัยลภัส วิสุทธิ (2547)	แคลเซียมคาร์บอเนตเคลือบผิว	1.27	300-1500	0.44-4.37	36.67	95.75

บทที่ 3

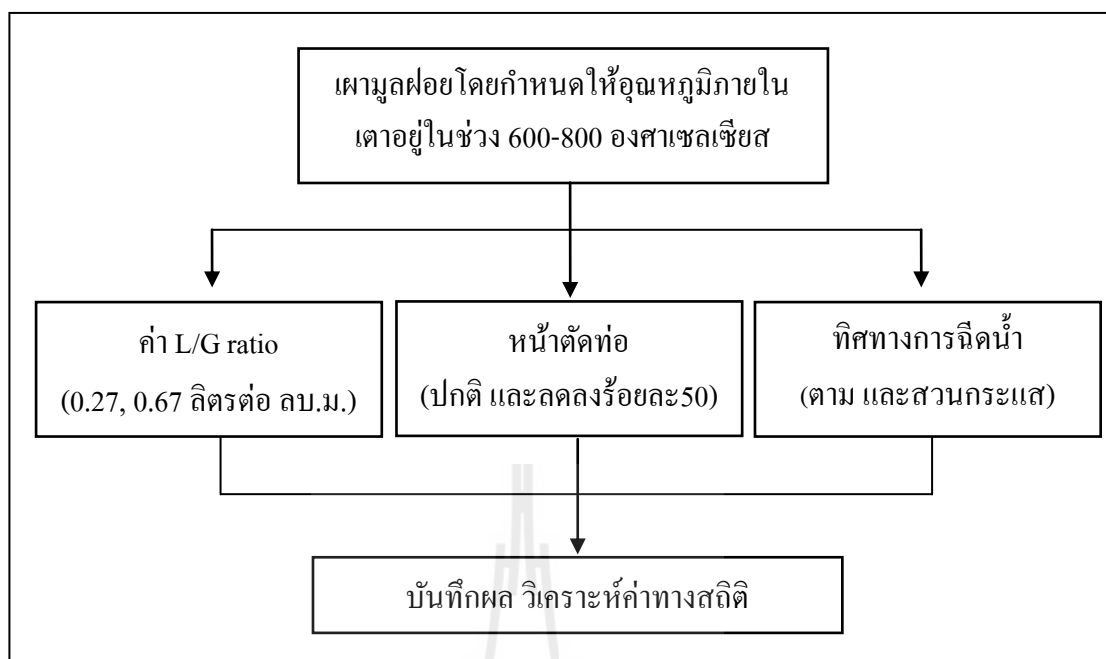
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 บทนำ

ขั้นตอนการศึกษาเพื่อพัฒนา เครื่องควบคุมมลพิษอากาศชนิด ไซโคลนสกรับเบอร์ ในการกำจัดอนุภาค และ ก๊าซที่เกิดจาก เตาเผามูลฝอยขนาดเล็ก แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือ การออกแบบ และ สร้างระบบไซโคลนสกรับเบอร์ ดังรูปที่ 3.1 และการทดสอบประสิทธิภาพของ ไซโคลนสกรับเบอร์ที่สภาวะของปัจจัยต่าง ๆ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษาการออกแบบ และสร้างไซโคลนสกรับเบอร์



รูปที่ 3.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพของไซโคลนสกรับเบอร์

3.2 การออกแบบ และสร้างไซโคลนสกรับเบอร์

แนวความคิดการออกแบบเป็นการเพิ่มขีดความสามารถของไซโคลน ให้สามารถกำจัด อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ได้ดีขึ้นด้วยการเพิ่ม การฉีดละอองน้ำในท่อระบาย อากาศ หรือสกรับเบอร์ ทำให้เกิดการจับอนุภาคของละอองน้ำด้วยกลไกการชน (Impaction) การสกัดกั้น (Interception) และการแพร่ (Diffusion) เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่าง ก๊าซ กับละอองน้ำ ซึ่งทำให้เกิดการละลายของ มลพิษ อากาศลงในของเหลว หรือกลไกการดูดกลืน (Absorption) ในการศึกษานี้ จะใช้ค่า L/G ratio ในช่วง 0.27-0.67 ลิตรต่อ ลบ.ม. เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับไซโคลนสกรับเบอร์ ที่ได้จากการทบทวนเอกสาร (ฉัตรชัย นิยมล, 2550; Theodore and Buonicore, 1994; Wayne, 2000) จากนั้นละอองน้ำจะเข้าสู่ไซโคลนซึ่งทำหน้าที่กำจัดละอองน้ำออกจากกระแส อากาศตามหลักการของไซโคลนตามปกติต่อไป น้ำที่รวบรวมได้จากไซโคลน จะถูกส่งไปบำบัดน้ำเสียอีกต่อหนึ่ง โดยขั้นตอนการออกแบบสำหรับการศึกษานี้แสดงได้ดังนี้

3.2.1 การหาสัดส่วนของมูลฝอยที่เผาไหม้ได้

การหาสัดส่วนของมูลฝอย ที่เกิดขึ้นภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยแยกมูลฝอยส่วนที่ นำกลับมาใช้ใหม่ ได้ เช่น โลหะ แก้ว ขวดพลาสติก กระดาษ เป็นต้น มูลฝอยอันตราย เช่น ถ่านไฟฉาย หลอดไฟ เป็นต้น และมูลฝอย ส่วนที่ไม่สามารถเผาได้ เช่น กระเบื้อง เปลือกหอย เป็นต้น ออกจากการทดลอง เหลือเฉพาะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้ เช่น

พลาสติก เศษกระดาษ โฟม เศษผ้า เศษอาหาร ย่าง ไข ไม้-กิ่งไม้ เป็นต้น โดยสุ่มตัวอย่างจากมูลฝอย ที่ได้จากการรวบรวม ในแต่ละวัน ด้วยวิธี Quartering (Management and Handling Rules, 2000) เป็นเวลา 7 วัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

- นำมูลฝอยที่เก็บรวบรวม ได้ใน วันนั้น ๆ ผสมกันเพื่อให้องค์ประกอบของ มูลฝอยนั้นเหมือนกันทุกส่วน
- สุ่มมูลฝอยปริมาณ 1 ลบ.ม. นำมากองบนพื้นผิวแข็งที่เรียบ และสะอาด เพื่อ ป้องกันการปนเปื้อนจากวัสดุอื่น
- จัดมูลฝอยให้เป็นทรงกรวยคว่ำ ใช้พลั่วกดกองมูลฝอยให้แผ่ออกเป็นวงกลม ที่มีความหนาเท่า ๆ กันทุกด้าน
- ใช้เชือกแบ่งกองมูลฝอยออกเป็น 4 ส่วน เท่า ๆ กัน เลือกมูลฝอย 2 ส่วน ที่อยู่ ตรงข้ามกันออกจากการสุ่มตัวอย่าง
- นำกองมูลฝอย ส่วนที่เหลือ ผสมให้ เข้ากันอีกครั้ง ทำต่อไปหลาย ๆ ครั้ง จนกระทั่งเหลือมูลฝอยปริ มาณ 50-100 ลิตร ซึ่งเป็นตัวแทนของมูลฝอยของ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากนั้นนำตัวแทนมูลฝอยที่ได้ หาสัดส่วนมูลฝอย โดยแยกประเภทมูลฝอยออกเป็น พลาสติก เศษกระดาษ โฟม เศษผ้า เศษอาหาร ย่าง ไข ไม้-กิ่งไม้ เป็นต้น จากนั้นนำมูลฝอยชั่งน้ำหนัก เพื่อหา น้ำหนักเปียก และ หาค่าความชื้น โดยนำ มูลฝอยที่ได้ อบที่อุณหภูมิ 77 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนแห้ง นำมาชั่งน้ำหนักแห้ง นำค่าที่ได้หาร้อยละของความชื้นดังสมการที่ 3.1

$$M_d = \frac{w-d}{w} \times 100 \quad (3.1)$$

เมื่อ M_d = ร้อยละความชื้น
 W = น้ำหนักเปียก (กรัม)
 d = น้ำหนักแห้ง (กรัม)

นำค่าน้ำหนักแห้ง ที่ได้ตัดแยกประเภทแล้ว หาองค์ประกอบ ทางเคมีของมูลฝอย โดยดูข้อมูลจากตารางที่ 3.1 และค่าความชื้นที่หาได้ เพื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณความต้องการอากาศ ในการเผามูลฝอยของเตาเผา ต่อไป

ตารางที่ 3.1 ค่า Ultimate Composition ของมูลฝอยชุมชน (David and Bela, 1999)

Waste Category	Ultimate Composition-Dry Basis				
	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	O (%)
Organics/Combustibles	48.6	6.8	0.94	0.22	35.0
Paper	43.0	6.0	0.36	0.17	43.8
• Newspaper	43.8	5.9	0.29	0.24	44.4
• Corrugated & kraft paper	46.0	6.4	0.28	0.22	44.8
• High-grade paper	38.1	5.6	0.15	0.07	46.9
• Magazines	35.0	5.0	0.05	0.08	39.4
• Other paper	42.7	6.1	0.50	0.14	43.3
Yard waste	45.0	5.6	1.5	0.17	37.7
• Grass clippings	43.3	5.9	2.6	0.30	37.6
• Laves	50.0	5.7	0.82	0.10	36.0
• Other yard waste	40.7	5.0	1.3	0.10	40.0
Food waste	45.4	6.9	3.3	0.32	32.3
Plastic	76.3	11.5	0.26	0.20	4.4
• Pet bottles	68.5	8.0	0.16	0.08	21.9
• HDPE bottles	81.6	13.6	0.10	0.20	1.9
• Polystyrene	86.3	7.9	0.28	0.30	3.4
• PVC bottles	44.2	5.9	0.26	0.89	7.6
• Polyethylene bags & film	77.4	12.9	0.10	0.12	1.8
• Other plastic	72.9	11.4	0.45	0.24	5.5
Other Organics	46.2	6.1	1.9	0.36	33.3
• Wood	46.7	6.0	0.71	0.16	43.4
• Textiles/rubber/leather	50.3	6.4	3.3	0.33	31.3
• Fines	37.3	5.3	1.6	0.45	29.5
• Disposable diapers	48.4	7.6	0.51	0.35	38.8
• Other organics	44.2	5.3	1.8	0.81	14.4
Overall	39.5	5.6	0.76	0.18	28.5

3.2.2 การออกแบบไซโคลน

เริ่มจากการ คำนวณปริมาณความต้องการ อากาศในการเผาไหม้ของเตาอุตสาหกรรม โดยใช้สมการที่ 3.2 คำนวณปริมาณอากาศที่จำเป็นต่อการเผาไหม้ในกรณีของเชื้อเพลิงแข็ง (นพภาพร พานิช และคณะ, 2547) ดังนี้

$$A_o = 8.89C + 26.7\left(H - \frac{O}{8}\right) + 3.3S \quad (3.2)$$

เมื่อ	A_o	=	ปริมาณอากาศตามทฤษฎี (ลบ.ม ต่อ กก.)
	C	=	ปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงแข็ง 1 กก.
	H	=	ปริมาณไฮโดรเจนในเชื้อเพลิงแข็ง 1 กก.
	O	=	ปริมาณออกซิเจนในเชื้อเพลิงแข็ง 1 กก.
	S	=	ปริมาณกำมะถันในเชื้อเพลิงแข็ง 1 กก.

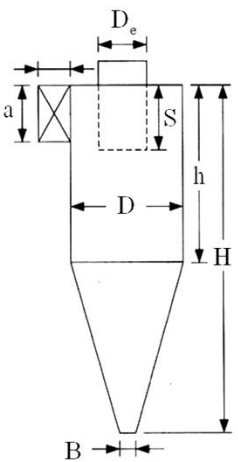
ปริมาณอากาศตามทฤษฎี คือ ปริมาณอากาศที่น้อยที่สุดที่จำเป็นสำหรับเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างสมบูรณ์ ซึ่งเป็นค่าอ้างอิงที่ใช้เป็น พื้นฐานการคำนวณ ความต้องการ ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จริง นำมาออกแบบขนาดของไซโคลนสกรับเบอร์ โดยกำหนดค่าความเร็วของอากาศต่ำสุดที่ไหลเข้าสู่ไซโคลนเป็น 20 เมตรต่อวินาที (ฉัตรชัย นิยมมล, 2548) และใช้สมการที่ 3.3 หาขนาดพื้นที่หน้าตัดของช่องทางเข้าของไซโคลนดังนี้

$$A = \frac{Q}{v} \quad (3.3)$$

เมื่อ	A	=	พื้นที่หน้าตัดของช่องทางเข้าของไซโคลน (ตร.ม.)
	Q	=	อัตราการไหลของอากาศที่เข้าไซโคลน (ลบ.ม.ต่อนาที)
	v	=	ความเร็วของอากาศที่เข้าไซโคลน (เมตรต่อนาที)

นำขนาด พื้นที่หน้าตัด ของช่องทางเข้า ของไซโคลนข้างต้น มา คำนวณขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง และสัดส่วนของไซโคลน โดยอ้างอิงการออกแบบ ไซโคลนประสิทธิภาพสูง (Stairmand, C.J., 1951) ซึ่งข้อมูลสัดส่วนต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สัดส่วนของไซโคลนชนิดประสิทธิภาพสูง (Stairmand, C.J., 1951)

	ขนาด	ไซโคลนประสิทธิภาพสูง Stairmand
	D	1.0
a	0.5D	
b	0.2D	
S	0.5D	
D_c	0.5D	
h	1.5D	
H	4.0D	
B	0.375D	

3.2.3 การออกแบบสกรับเบอร์

สกรับเบอร์ มีลักษณะ เป็น ท่อช่วงหนึ่งของท่อ อากาศ ก่อนเข้าสู่ไซโคลน โดยมีหัวฉีด (Nozzle) แบบ Axial-flow ติดตั้งอยู่กลางหน้าตัดท่อเพื่อฉีดละอองน้ำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของละอองน้ำอยู่ในช่วงประมาณ 300-500 ไมครอน ละอองน้ำที่ฉีดเข้าสู่ท่ออากาศ จะจับอนุภาคในกระแสอากาศ และจับมลพิษก๊าซด้วยการละลาย ซึ่งตามทฤษฎีแล้วปัจจัยที่สำคัญต่อประสิทธิภาพของสกรับเบอร์ คือ ขนาดหยดน้ำ การกระจายตัวของหยดน้ำ ค่า L/G ratio โมเมนต์ัมของหยดน้ำ และความปั่นป่วนของการไหล การออกแบบสกรับเบอร์สำหรับ การศึกษา นี้ อยู่บนพื้นฐานเพื่อให้สามารถแปรผันปัจจัยหลัก ๆ ที่ต้องการศึกษา 3 ปัจจัย ดังต่อไปนี้

1. L/G ratio

สมมุติฐาน : L/G ratio สูง หมายถึง การฉีดละอองน้ำในอัตราการไหลสูง ทำให้มีละออง น้ำจำนวนมาก และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็ก ช่วยเพิ่มโอกาสในการจับอนุภาค และเพิ่มพื้นที่ผิวของของเหลวในการดูดกลืนก๊าซ

ค่าที่ใช้ : แปรผัน 2 ค่า ได้แก่ 0.27 และ 0.67 ลิตรต่อ ลบ.ม.

2. ขนาดหน้าตัดท่อสกรับเบอร์

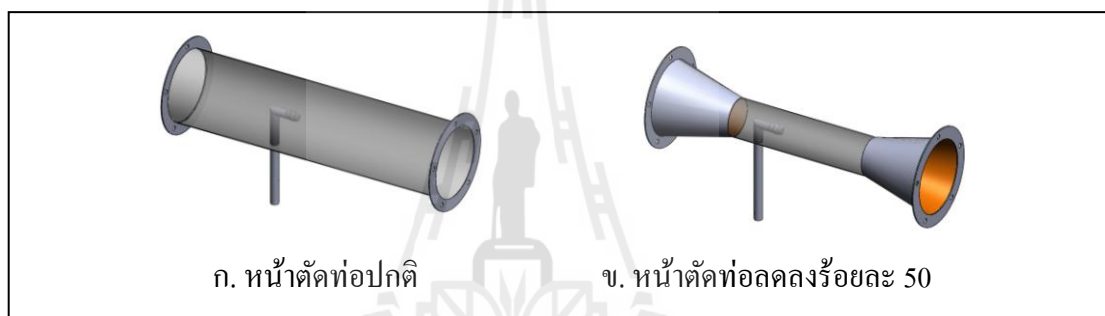
สมมุติฐาน: หน้าตัดท่อที่เล็กลง มีผลให้ความเร็ว อากาศในท่อเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เพิ่มความปั่นป่วนของกระแสอากาศ ช่วยให้ละอองน้ำกระจายตัวได้ดี และประสิทธิภาพการจับอนุภาคของละอองน้ำมีมากขึ้น

ค่าที่ใช้ : แปรผัน 2 กรณี ได้แก่ หน้าตัดทอปกติ (รูปที่ 3.3ก) และหน้าตัดทอลดลงร้อยละ 50 (รูปที่ 3.3ข)

3. ทิศทางการฉีดน้ำ

สมมุติฐาน : การฉีดละอองน้ำสวนกระแส อากาศ หรือนิคมทิศทางเดียวกับกระแส อากาศ มีผลต่อความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างละอองน้ำกับอนุภาค หรือโมเมนตัมของละอองน้ำ ซึ่งกรณีฉีดสวนทางกับกระแสอากาศ น่าจะมีผลดีต่อการจับอนุภาคมากกว่า

ค่าที่ใช้ : แปรผัน 2 กรณี ได้แก่ ฉีดน้ำตามกระแส อากาศและ ฉีดน้ำสวนกระแสอากาศ



รูปที่ 3.3 สกรับเบอร์แบบต่าง ๆ ที่ใช้ในการศึกษานี้

3.2.4 การสร้าง และติดตั้งไซโคลนสกรับเบอร์

การสร้าง ไซโคลนสกรับเบอร์ นั้น ใช้วัสดุเป็นส เตนเลส 304 เพื่อป้องกันการเกิดสนิม และติดตั้งเข้ากับเตา อัดตาหีๆ บริเวณท่อส่งอากาศระหว่างเตาเผามูลฝอยกับระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบัน ดังรูปที่ 3.4 เตาเผามูลฝอยดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งของศูนย์คัดแยก และแปรสภาพมูลฝอยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งทำหน้าที่ เก็บรวบรวมมูลฝอยจากพื้นที่ทั้งหมดของมหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารี วันละประมาณ 2 ตัน มาคัดแยก มูลฝอยที่สามารถ นำกลับมาใช้ใหม่ได้ ออก และ มูลฝอยที่เหลือนำไป กำจัดด้วยวิธีการ เผาด้วยเตาเผาซึ่งมีจำนวน 2 เตา



รูปที่ 3.4 เตาเผามูลฝอยขนาดเล็กของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (เตาอัตตาหิฯ)

3.3 การทดสอบประสิทธิภาพของไซโคลนสกรับเบอร์

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา ยังไม่มีการศึกษาขึ้นใดที่พัฒนาไซโคลนสกรับเบอร์เพื่อใช้งานกับเตาเผามูลฝอยขนาดเล็กดังเช่นการศึกษานี้ ดังนั้นหลังจากที่ได้ออกแบบ และสร้างไซโคลนสกรับเบอร์แล้วนั้น จึงทำการ ทดสอบประสิทธิภาพของไซโคลนสกรับเบอร์ ที่พัฒนาขึ้นเพื่อทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดมลพิษอากาศ ได้แก่ ค่า L/G ratio ขนาดหน้าตัดท่อสกรับเบอร์ และทิศทางการฉีดน้ำ โดยมีขั้นตอนการศึกษาดังต่อไปนี้

3.3.1 การเตรียมมูลฝอย และเตาเผามูลฝอยก่อนทำการทดลอง

ในช่วงการทดสอบประสิทธิภาพของไซโคลนสกรับเบอร์ต้องควบคุมลักษณะสมบัติของมูลฝอยที่ใช้สำหรับป้อน เข้าสู่เตาเผาให้คงที่มากที่สุด เพื่อให้มลพิษที่เกิดขึ้นมีค่าคงที่ตลอดการทดลอง ดังนั้น ก่อนเริ่มการทดสอบ ประสิทธิภาพของไซโคลนสกรับเบอร์ แต่ละครั้งต้องเตรียมมูลฝอย ให้มีสัดส่วนตามที่ได้เก็บข้อมูลไว้ข้างต้น และจัดเป็นกองละประมาณ 12 กก. โดยทำการป้อนเข้าสู่เตาเผาทุก 5 นาที ส่วนเตาเผามูลฝอย ต้องนำเถ้าที่เหลือจากการเผามูลฝอยใน แต่ละวันออกก่อนทำการทดลอง เพื่อให้อากาศภายนอกสามารถไหลผ่านได้สะดวก

3.3.2 การทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดมลพิษอากาศ

การทดสอบ ประสิทธิภาพ ไซโคลนสกรับเบอร์ ที่พัฒนาขึ้น นี้ได้ศึกษาปัจจัยหลัก ได้แก่ ค่า L/G ratio ขนาดหน้าตัดท่อ สกรับเบอร์ และทิศทางการฉีดน้ำ ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดมลพิษอากาศที่เกิดจาก การเผามูลฝอย 4 ประเภท ได้แก่ อนุภาค ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยสภาวะที่ทดสอบสามารถแจกแจงได้ทั้งหมด 10 สภาวะ ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สภาวะในการทดสอบประสิทธิภาพไซโคลนสครับเบอร์

สภาวะที่	ค่า L/G ratio (ลิตรต่อ ลบ.ม.)	หน้าตัดของท่อ	ทิศทางการฉีดน้ำ
1	ไม่ฉีดน้ำ	ปกติ	-
2	0.27	ปกติ	ตามกระแสอากาศ
3	0.67	ปกติ	ตามกระแสอากาศ
4	0.27	ปกติ	สวนกระแสอากาศ
5	0.67	ปกติ	สวนกระแสอากาศ
6	0.27	เล็กจ้อยละ 50	ตามกระแสอากาศ
7	0.67	เล็กจ้อยละ 50	ตามกระแสอากาศ
8	0.27	เล็กจ้อยละ 50	สวนกระแสอากาศ
9	0.67	เล็กจ้อยละ 50	สวนกระแสอากาศ
10	ระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบัน		

สภาวะที่ 1 เป็นตัวแทนของระบบบำบัดมลพิษอากาศประเภทไซโคลนซึ่งไม่มีการฉีดละอองน้ำ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคกับไซโคลนสครับเบอร์ที่พัฒนาขึ้น สภาวะที่ 2-9 เป็นไซโคลนสครับเบอร์ที่พัฒนาขึ้น โดยแบ่งสภาวะต่าง ๆ ตามปัจจัยที่ต้องการศึกษา เพื่อทดสอบปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดมลพิษอากาศ และหาสภาวะที่ดีที่สุด เพื่อเป็นตัวแทนของไซโคลนสครับเบอร์ที่พัฒนาขึ้นนี้ สุดท้ายสภาวะที่ 10 เป็นระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบัน เพื่อ เปรียบเทียบ ประสิทธิภาพการบำบัดมลพิษอากาศกับไซโคลนสครับเบอร์ที่พัฒนาขึ้น

การทดสอบประสิทธิภาพของไซโคลนสครับเบอร์ในสภาวะหนึ่ง ๆ เริ่มจากการป้อนมูลฝอยที่เตรียมอัตราส่วนให้คงที่เข้าสู่เตาเผา มูลฝอยในอัตราประมาณ 12 กก.ต่อ 5 นาที โดยที่ควบคุมอุณหภูมิในเตาเผา มูลฝอยให้อยู่ในช่วง 600-800 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยของเตาเผามูลฝอยที่ใช้ในการทดลองนี้ เมื่อสามารถเผาผลาญในอัตราคงที่ และควบคุมอุณหภูมิได้แล้ว จึงเริ่มเก็บตัวอย่างมลพิษอากาศของแต่ละสภาวะ โดยเก็บตัวอย่างมลพิษอากาศทั้งก่อน และหลังผ่านระบบบำบัดมลพิษอากาศ เป็นจำนวนสภาวะละ 5 ชั่วโมง เพื่อลดความผิดพลาดของข้อมูลในแง่ของคุณสมบัติของมูลฝอย สภาวะอากาศ เป็นต้น ดังตารางที่ 3.4 โดยแบ่งการเก็บตัวอย่างเป็น 6 รอบในแต่ละรอบใช้เวลาการเก็บตัวอย่างประมาณ 1 วัน โดยรอบที่ 1-5 เป็นการเก็บตัวอย่างมลพิษอากาศจากไซโคลน (สภาวะที่ 1) และไซโคลน สครับเบอร์ (สภาวะที่ 2-9) เป็นจำนวน

70 ตัวอย่าง ส่วนรอบที่ 6 เก็บตัวอย่างมลพิษอากาศจากระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบัน (สถานะที่ 10) เป็นจำนวน 7 ตัวอย่าง ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเก็บตัวอย่างมลพิษอากาศก่อนผ่านระบบบำบัดมลพิษอากาศนั้น เก็บ 1 ตัวอย่างต่อ 2 สถานะ ซึ่งเป็น สถานะที่ใกล้เคียงกัน คือ มีเพียงการปรับอัตราการไหลของน้ำ จากอัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที เป็น 8 ลิตรต่อนาที เท่านั้น ได้แก่ สถานะที่ 2 กับ 3 4 กับ 5 6 กับ 7 และ 8 กับ 9 เนื่องจากมลพิษอากาศที่เกิดขึ้นนั้น คาดว่าจะมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ขณะทำการทดลอง

ผลการตรวจวัดมลพิษอากาศ ทั้งก่อน และหลังผ่านไซโคลนสครับเบอร์ ในแต่ละสถานะ นำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบทางสถิติ เพื่อหาข้อสรุปเกี่ยวกับอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ และพิสูจน์สมมุติฐานของการแปรผันค่าปัจจัยที่ได้ตั้งไว้

ตารางที่ 3.4 จำนวนตัวอย่างที่เก็บแต่ละสถานะในการทดสอบประสิทธิภาพไซโคลนสครับเบอร์

รอบที่	สถานะที่	จำนวนตัวอย่างขาเข้า	จำนวนตัวอย่างขาออก
1-5	1	1	1
	2	1	1
	3		1
	4	1	1
	5		1
	6	1	1
	7		1
	8	1	1
	9		1
6	10	2	5

3.4 การตรวจวัดมลพิษอากาศ

การตรวจวัดมลพิษอากาศประเภทอนุภาค ใช้วิธีเทียบเคียงวิธีมาตรฐานสากล วิธีที่ 1-5 ขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States of Environmental Protection Agency: U.S.EPA) โดยเริ่มตั้งแต่การกำหนดจุดเจาะปล่อง การหาความเร็ว และอัตราการไหลของอากาศในปล่อง การหาหน้าหนักโมเลกุลของอากาศ การหาปริมาณความชื้นของอากาศ และวิธีการเก็บตัวอย่างเพื่อหาปริมาณอนุภาคในปล่อง โดยมีรายละเอียด โดยย่อตามที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 ข้างต้น โดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่าง อนุภาคชนิด Flex Sampling Train System (RIGID) ดังรูปที่ 3.5

ซึ่งใช้การเทียบเคียงค่าความเร็วการดูดอากาศเข้าเครื่องตรวจวัด กับความเร็วของอากาศเสียในปล่อง ส่วนการตรวจวัดความเข้มข้นของ มลพิษก๊าซ ใช้อุปกรณ์วิเคราะห์ตัวอย่าง ก๊าซไอเสีย (Flue Gas Analyzer) Testo-350XL ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างอนุภาคชนิด Flex Sampling Train System (RIGID)



รูปที่ 3.6 อุปกรณ์วิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซไอเสีย (Flue Gas Analyzer) Testo-350XL

3.5 การวิเคราะห์และสรุปผล

ค่าจากการตรวจวัด (ความเข้มข้น) ซึ่งมี 5 ค่า ทำการวิเคราะห์ค่าสูง หรือต่ำผิดปกติ (Outliers) ด้วยวิธี Confidence intervals ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังสมการที่ 3.4 ซึ่งค่าส่วนเกินจากค่า \bar{y} คือ ค่า Outliers

$$\bar{y} \pm t_{v,a/2} s_{\bar{y}} \quad (3.4)$$

เมื่อ \bar{y} = ค่าเฉลี่ยของประชากร
 $t_{v,a/2}$ = ค่าสถิติ t ที่องศาอิสระ v และระดับนัยสำคัญ $\frac{\alpha}{2}$
 $s_{\bar{y}}$ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ \bar{y}

และวิธี Dixon Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งจะประกอบด้วย 2 สมการ ได้แก่ สมการทดสอบค่า Outliers ค่าน้อยสุด ของชุดข้อมูล ดังสมการที่ 3.5 และสมการ ทดสอบ Outliers ค่ามากที่สุดของชุดข้อมูล ดังสมการที่ 3.6 โดยค่า r_1 และ r_2 ที่ได้จากการคำนวณนำมาเปรียบเทียบกับค่า r_c ซึ่งมีค่าเป็น 0.765 0.642 และ 0.560 สำหรับจำนวนตัวอย่าง 4 5 และ 6 ตามลำดับ หากค่า r_1 มีค่ามากกว่า ค่า r_c แสดงว่า ค่าน้อยสุดของชุดข้อมูล คือค่า Outliers และหากค่า r_2 มีค่ามากกว่า ค่า r_c แสดงว่า ค่ามากที่สุดของชุดข้อมูล คือ ค่า Outliers

$$r_1 = \frac{x_2 - x_1}{x_n - x_1} \quad (3.5)$$

$$r_2 = \frac{x_n - x_{n-1}}{x_n - x_1} \quad (3.6)$$

เมื่อ r_1 = ค่าอัตราส่วนการทดสอบทางสถิติค่าน้อยสุด
 r_2 = ค่าอัตราส่วนการทดสอบทางสถิติค่ามากที่สุด
 x_1 = ค่าของประชากรลำดับที่ 1
 x_2 = ค่าของประชากรลำดับที่ 2
 x_n = ค่าของประชากรลำดับที่ n (ค่าสูงสุด)

หลังจากนั้น นำค่าที่เหลือ มา หาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนของสภาวะนั้น ๆ จึงนำไปทดสอบสมมติฐานต่อไปนี้

1. ค่า L/G ratio แบ่งออกเป็น 2 กรณี ได้แก่ กรณีค่า L/G ต่ำ ได้แก่ สภาวะที่ 2 4 6 และ 8 และกรณีค่า L/G สูง ได้แก่ สภาวะที่ 3 5 7 และ 9

H_0 : กรณี L/G ratio ต่ำ มีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ กรณี L/G ratio สูง

H_1 : กรณี L/G ratio ต่ำ มีค่าประสิทธิภาพน้อยกว่า กรณี L/G ratio สูง

2. ขนาดหน้าตัดท่อ สกรับเบอร์ แบ่งออกเป็น 2 กรณี ได้แก่ กรณีหน้าตัดท่อปกติ ได้แก่ สภาวะที่ 2-5 และกรณีหน้าตัดท่อลดลงร้อยละ 50 ได้แก่ สภาวะที่ 6-9

H_0 : กรณีหน้าตัดท่อปกติ มีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ กรณีหน้าตัดท่อลดลงร้อยละ 50

H_1 : กรณีหน้าตัดท่อปกติมีค่าประสิทธิภาพน้อยกว่ากรณีหน้าตัดท่อลดลงร้อยละ 50

3. ทิศทางการฉีดน้ำ แบ่งออกเป็น 2 กรณี ได้แก่ กรณีฉีดน้ำตามกระแส อากาศ ได้แก่ สภาวะที่ 2 3 6 และ 7 และกรณีฉีดน้ำสวนทางกระแส อากาศ ได้แก่ สภาวะที่ 4 5 8 และ 9

H_0 : กรณีฉีดน้ำตามกระแส อากาศ มีค่าประสิทธิภาพ เท่ากับ กรณีฉีดน้ำสวนกระแส อากาศ

H_1 : กรณีฉีดน้ำตามกระแส อากาศ มีค่าประสิทธิภาพ น้อยกว่า กรณีฉีดน้ำสวนกระแส อากาศ

4) กรณีเปรียบเทียบประสิทธิภาพของไซโคลนกับไซโคลนสกรับเบอร์

H_0 : ประสิทธิภาพของไซโคลน มีค่าเท่ากับ ไซโคลนสกรับเบอร์

H_1 : ประสิทธิภาพของไซโคลน น้อยกว่า ไซโคลนสกรับเบอร์

5) กรณีเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ของระบบบำบัด มลพิษอากาศที่ใช้ใน ปัจจุบันกับ ไซโคลนสกรับเบอร์

H_0 : ประสิทธิภาพของ ระบบบำบัด มลพิษอากาศที่ใช้ใน ปัจจุบัน มีค่าเท่ากับ ไซโคลน สกรับเบอร์

H_1 : ประสิทธิภาพของ ระบบบำบัด มลพิษอากาศที่ใช้ใน ปัจจุบัน น้อยกว่า ไซโคลน สกรับเบอร์

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 บทนำ

บทนี้นำเสนอผลการศึกษารอบแบบไซโคลนสกรับเบอร์ เริ่มจากการหาสัดส่วนมูลฝอย เพื่อหาความต้องการอากาศ ในการเผาไหม้ ของเตาเผามูลฝอยขนาดเล็ก และเป็นการกำหนดขนาด ของไซโคลนสกรับเบอร์ การออกแบบไซโคลนสกรับเบอร์จะแบ่งออก เป็น 3 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่ ส่วนไซโคลน ส่วนสกรับเบอร์ และส่วนระบบท่อต่าง ๆ การติดตั้งระบบไซโคลนสกรับเบอร์เข้ากับ เตาเผามูลฝอยขนาดเล็ก รวมทั้งการทดสอบปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดมลพิษ อากาศ ของไซโคลนสกรับเบอร์ ทำยาคแนะนำเสนอรูปแบบของไซโคลนสกรับเบอร์ที่เหมาะสมกับเตาเผา มูลฝอยขนาดเล็ก

4.2 การออกแบบ และสร้างไซโคลนสกรับเบอร์

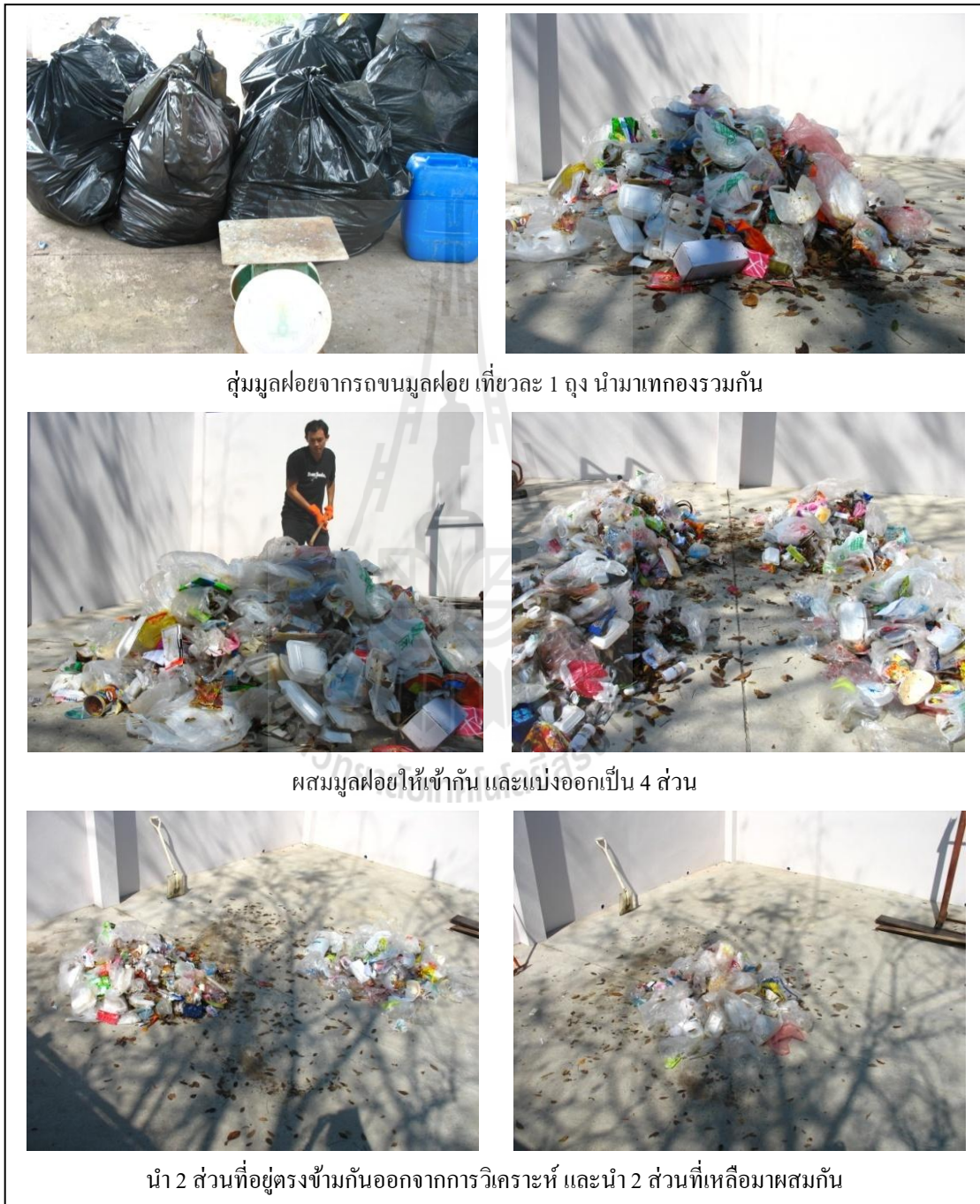
4.2.1 การหาสัดส่วนมูลฝอยที่เผาไหม้ได้

การสุ่มตัวอย่างมูลฝอยที่ได้จากการเก็บรวบรวมของรถเก็บขน มูลฝอยในแต่ละวัน สำหรับ หาสัดส่วนของมูลฝอย เพื่อ นำค่าสัดส่วนดังกล่าว ไปคำนวณความต้องการอากาศ ในการเผาไหม้ของเตาเผา มูลฝอยขนาดเล็ก และเพื่อจัดสัดส่วนมูลฝอยให้คงที่ตลอดการทดลองนั้น จำเป็นต้องคัดเลือกมูลฝอยเพื่อเป็นตัวแทนที่ดีที่สุด โดยมีขั้นตอนการสุ่มตัวอย่างมูลฝอย ดังรูปที่ 4.1 โดยใช้มูลฝอยที่ เกิดขึ้นภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ระหว่างวันที่ 11-21 มกราคม 2553 เป็นเวลา 7 วัน ด้วยวิธี Quartering ดังนี้

1. สุ่มมูลฝอยจากรถขนมูลฝอย เที่ยวละ 1 ถุง จนครบทุกเที่ยวใน 1 วัน
2. นำมูลฝอยทั้งหมดผสมกัน แบ่งเป็น 4 ส่วน เท่า ๆ กัน
3. เลือก 2 ส่วนที่อยู่ตรงข้ามกัน ออกจากการวิเคราะห์
4. นำ 2 ส่วนที่เหลือ ผสมให้เข้ากันอีกครั้ง ทำจนกระทั่งสุดท้ายเหลือมูลฝอย ประมาณ 50-100 ลิตร

เมื่อได้ตัวแทนมูลฝอยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีแล้ว นั้น นำมาหาสัดส่วน มูลฝอยโดยแยกมูลฝอยส่วนที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้ เช่น โลหะ แก้ว ขวดพลาสติก กระดาษ เป็นต้น และมูลฝอยส่วนที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ เช่น ถ่านไฟฉาย หลอดไฟ กระเบื้อง เปลือกหอย เป็นต้น

นอกจากการวิเคราะห์ เหลือเฉพาะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้ โดยจำแนกออกเป็น พลาสติก เศษกระดาษ โฟม เศษอาหาร และใบไม้- กิ่งไม้ ดังรูปที่ 4.2 ได้ผลการวิเคราะห์ มูลฝอยเปียก ดังรูปที่ 4.3 และมีการเปรียบเทียบกับข้อมูลจากรายงานอื่น ๆ ในตารางที่ 4.1

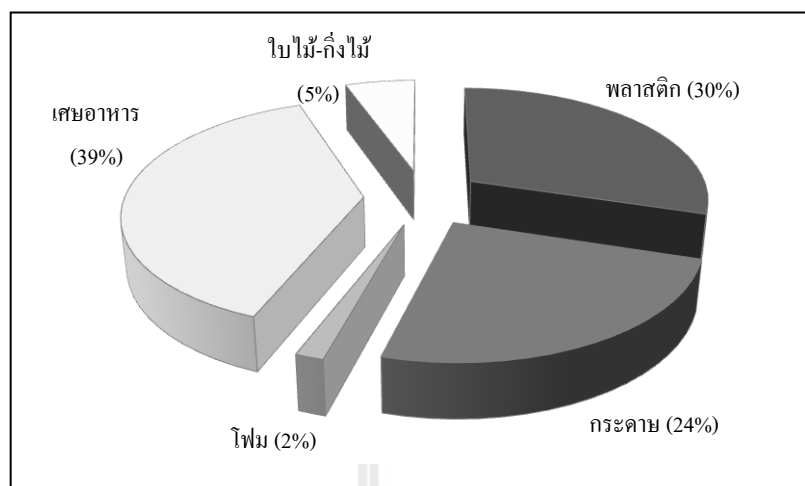


รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการสุ่มตัวอย่างมูลฝอยด้วยวิธี Quartering



รูปที่ 4.2 การหาสัดส่วนและความชื้นของมูลฝอย

สัดส่วน มูลฝอยที่พบมาก คือ เศษอาหาร พลาสติก เศษกระดาษ ใบไม้-กิ่งไม้ และ โฟม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสถานที่อื่น ๆ ดัง ตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าสัดส่วนไม่แตกต่างกันมากนัก โดยสัดส่วนที่พบส่วนใหญ่ คือ เศษอาหาร พลาสติก และ กระดาษ แต่หากเทียบสัดส่วนมูลฝอยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในปี 2545 แล้วนั้น สัดส่วนเศษอาหารลดลงเนื่องจากปัจจุบัน มีการแยกกำจัดเศษอาหารที่เกิดจากโรงอาหารออกจากมูลฝอยทั่วไป



รูปที่ 4.3 สัดส่วนมูลฝอยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางกายภาพสำหรับมูลฝอยเปียกที่เผาไหม้ได้จากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ

รายการ	โดยทั่วไป ของ ประเทศไทย ¹	เขต ปริมณฑล ²	จังหวัด นครราชสีมา ³	มหาวิทยาลัย ขอนแก่น ⁴	มหาวิทยาลัย เทคโนโลยี สุรนารี (2545) ⁵	การศึกษานี้
เศษอาหาร	42.55	67.37	46.70	39.94	52.32	38.56
กระดาษ	24.51	8.69	12.51	22.72	16.77	24.53
พลาสติก	18.80	17.8	19.43	19.89	19.72	29.76
โฟม	-	-	-	-	1.06	1.63
ไม้-ใบไม้	7.08	0.74	13.31	9.38	7.28	5.51
เศษผ้า	2.96	1.48	2.16	1.38	1.16	-
ยาง-หนัง	2.89	0.53	2.72	1.81	0.74	-
อื่น ๆ	1.21	3.39	3.17	5.11	0.95	-

หมายเหตุ : ¹ Solid waste generation in Thailand (www.pcd.go.th, 2003)

² Pollution Control Department, 2004

³ ข้อมูลการลดและใช้ประโยชน์ขยะมูลฝอยชุมชนของเทศบาล (www.pcd.go.th)

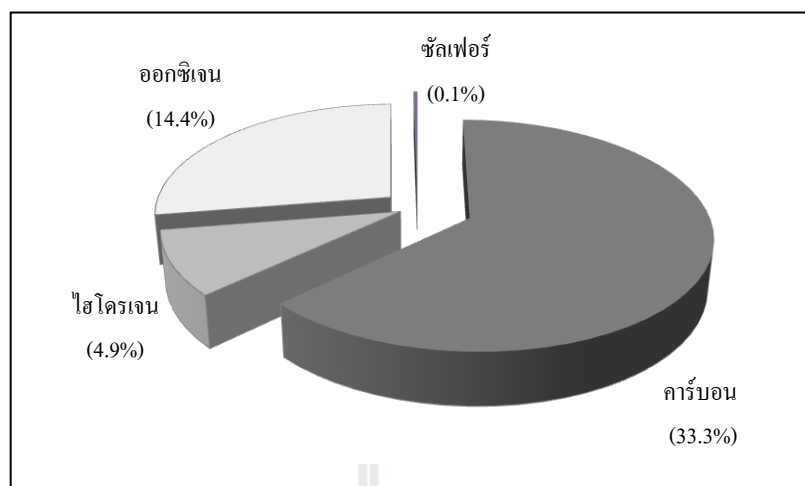
⁴ ฐาปะนระ วิชัย, 2549

⁵ สุภกนิษฐ์ สมศรี, 2545

เมื่อนำมูลฝอยข้างต้น อบที่อุณหภูมิ 77 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้ปริมาณความชื้น และน้ำหนักมูลฝอยแห้ง โดยสรุปดังตารางที่ 4.2 และสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอยแห้ง (อ้างอิงตารางที่ 3.1) ดังรูปที่ 4.4 จากสัดส่วนมูลฝอยหลังอบจะเห็นได้ว่าน้ำหนักประมาณร้อยละ 41.5 คือ น้ำ หรือความชื้น โดยมีองค์ประกอบทางเคมี คือ ไฮโดรเจน ร้อยละ 4.61 และออกซิเจนร้อยละ 36.89 ซึ่งความชื้นส่วนใหญ่มาจากเศษอาหาร หากสามารถแยกมูลฝอยประเภทเศษอาหารออกจากการกำจัดมูลฝอยด้วยวิธีการเผาได้ จะทำให้เพิ่มประสิทธิภาพของเตาเผาขึ้นได้อีกทางหนึ่ง เพราะความชื้นจะทำให้อุณหภูมิในเตาเผา มูลฝอยลดลง ทั้งนี้สามารถวิเคราะห์โดยละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ก.

ตารางที่ 4.2 สัดส่วนมูลฝอยแห้งและความชื้นที่จำแนกเป็นเวลา 7 วัน (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)

วันที่	พลาสติก (%)	กระดาษ (%)	โฟม (%)	เศษอาหาร (%)	ใบไม้-กิ่งไม้ (%)	ความชื้น (%)
11-ม.ค.-53	30.77	11.00	1.62	7.00	12.76	36.85
12-ม.ค.-53	21.56	24.52	2.11	17.97	0.89	32.94
14-ม.ค.-53	14.70	20.56	1.63	13.53	2.25	47.32
16-ม.ค.-53	23.18	16.08	2.00	9.89	2.66	46.18
18-ม.ค.-53	20.20	11.94	1.22	20.04	0.82	45.78
20-ม.ค.-53	22.65	17.00	0.32	16.60	1.09	42.34
21-ม.ค.-53	19.08	17.52	0.85	21.73	1.70	39.12
เฉลี่ย	21.73	16.95	1.39	15.25	3.17	41.51
SD	4.89	4.69	0.64	5.38	4.29	5.41



รูปที่ 4.4 สัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอยแห้ง

4.2.2 การหาความต้องการอากาศในการเผาไหม้

การ คำนวณความต้องการอากาศในการเผาไหม้ หนึ่งทางทฤษฎี ของเตาเผา มูลฝอย ขนาดเล็ก โดยใช้สมการที่ 3.2 คือ $A_0 = 8.89C + 26.7(H - \frac{O}{8}) + 3.3S$ โดยคำนวณจากองค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอยแห้ง และปริมาณความชื้นข้างต้น ได้แก่ คาร์บอน ออกซิเจน ไฮโดรเจน ซัลเฟอร์ ร้อยละ 33.33 51.30 9.51 และ 0.14 ตามลำดับดังแสดงในสมการที่ 4.1

$$A_0 = 8.89 (0.333) + 26.7 (0.095 - \frac{0.513}{8}) + 3.3 (0.0014) \quad (4.1)$$

$$= 3.80 \text{ ลบ.ม.ต่อ กก.}$$

ได้ความต้องการอากาศในการเผาไหม้ทางทฤษฎีของเตาเผามูลฝอย ขนาดเล็ก คือ 3.80 ลบ.ม.ต่อ กก. แต่ปริมาณ ความต้องการ อากาศ ในการเผาไหม้ ที่ใช้จริงนั้น ต้องเพื่อปริมาณ อัตราส่วนอากาศส่วนเกิน โดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 4.3 ในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้ค่าอัตราอากาศส่วนเกินเป็น 1.45 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดในกลุ่มที่ใช้เชื้อเพลิงแข็ง ดังแสดงในสมการที่ 4.2

$$A = (1.45) (3.8) = 5.50 \text{ ลบ.ม.ต่อ กก.} \quad (4.2)$$

ดังนั้น ได้ปริมาณอากาศที่เหมาะสมต่อการเผาไหม้คือ 5.50 ลบ.ม.ต่อ กก. หากอัตราการเผาไหม้มูลฝอย เป็น 1,000 จาก 1,500 กก.ต่อวัน หรือประสิทธิภาพเตาเผาร้อยละ 70 สามารถคำนวณอัตราความต้องการอากาศของเตาเผามูลฝอยดังสมการที่ 4.3

$$A = (5.50 \text{ ลบ.ม.ต่อนาที}) (130 \text{ กก.ต่อชั่วโมง}) \left(\frac{1 \text{ ชั่วโมง}}{60 \text{ นาที}} \right) \quad (4.3)$$

$$= 11.91 \text{ ลบ.ม. ต่อนาที}$$

สุดท้ายอัตราการป้อนอากาศเข้าสู่เตาเผามูลฝอยขนาดเล็กที่ได้ คือ 12 ลบ.ม.ต่อนาที

ตารางที่ 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์อากาศส่วนเกินที่เหมาะสมสำหรับหม้อไอน้ำ

(นภาพร พานิช และคณะ, 2547)

การจำแนก	Load Factor (%)	ค่าสัมประสิทธิ์อากาศส่วนเกินที่เหมาะสม					
		เชื้อเพลิงแข็ง			เชื้อเพลิงเหลว	เชื้อเพลิงก๊าซ	ก๊าซเตา Blast และก๊าซพลอยได้อื่น ๆ
		Static Bed	Fluidized Bed	ถ่านผงละเอียด			
สำหรับงานไฟฟ้า	75-100	-	-	1.2-1.3	1.05-1.2	1.05-1.1	1.2
อื่น ๆ	50-100	1.3-1.45	1.2-1.45	1.2-1.3	1.1-1.3	1.1-1.3	1.2-1.3

4.2.3 การออกแบบไซโคลน

ในการศึกษา นี้ เลือกใช้ไซโคลนชนิดประสิทธิภาพสูง เนื่องจากมีขนาดเล็ก สามารถจับอนุภาคที่มีขนาดเล็กถึง 5 ไมครอน (นภาพร พานิช และคณะ, 2547) การออกแบบเริ่มจากคำนวณขนาดท่อทางเข้า ไซโคลน โดยใช้สมการที่ 3.3 คือ $A = \left(\frac{Q}{v} \right)$ คำนวณจากอัตราการไหลของอากาศ 12 ลบ.ม.ต่อนาที และความเร็วต่ำสุดที่เข้าสู่ไซโคลน 20 เมตรต่อวินาที ดังสมการที่ 4.4

$$A = \left(\frac{12 \text{ ลบ.ม.ต่อนาที}}{20 \text{ เมตร ต่อวินาที}} \right) \left(\frac{1 \text{ นาที}}{60 \text{ วินาที}} \right) = 0.01 \text{ ตร.ม.} \quad (4.4)$$

จากการคำนวณ ได้ขนาดพื้นที่ของท่อทางเข้า ไชโคลนเป็น 0.01 ตร.ม. สามารถคำนวณหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของไชโคลน ได้จากสมการที่ 4.5 โดยค่าพื้นที่หน้าตัดของท่อทางเข้าไชโคลน คือ $a \times b = (0.5D)(0.2D)$ หรือ $A = 0.1D^2$ ดังนั้น

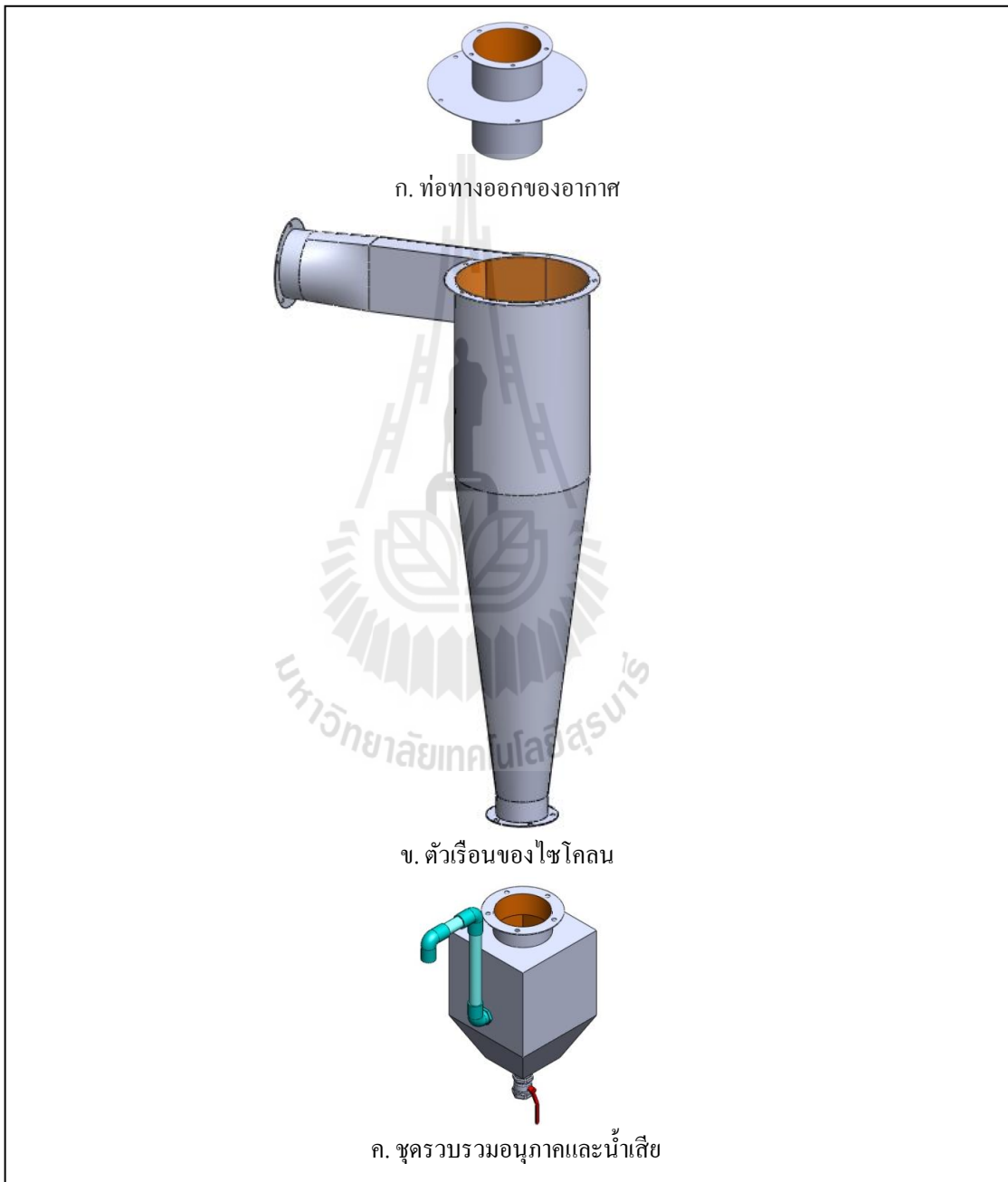
$$D = \left(\frac{0.01 \text{ ตร.ม.}}{0.1} \right)^{0.5} = 0.316 \text{ เมตร} \quad (4.5)$$

ดังนั้นจะได้เส้นผ่าศูนย์กลางของไชโคลนเป็น 31.62 ซม. ในการออกแบบครั้งนี้เลือกใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ซม. เพื่อความสะดวกสะดวกในการออกแบบ และสร้าง จากนั้นจึงนำขนาดดังกล่าวมาคำนวณสัดส่วนต่าง ๆ ของไชโคลนดังกล่าวในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สัดส่วนของไชโคลนชนิดประสิทธิภาพสูงที่ออกแบบ

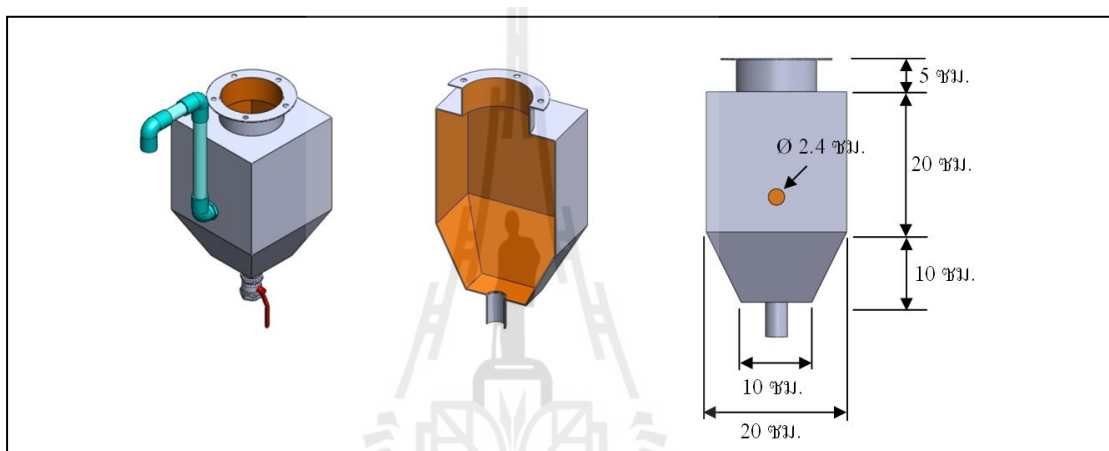
ขนาด	สัดส่วนไชโคลนชนิดประสิทธิภาพสูง	ขนาดของไชโคลน (ซม.)
D	1.0	30.00
a	0.5D	15.00
b	0.2D	6.00
S	0.5D	15.00
D _c	0.5D	15.00
h	1.5D	45.00
H	4.0D	120.00
B	0.375D	11.25

ในการออกแบบไซโคลนนั้นจะแบ่งไซโคลนออกเป็น 3 ส่วน ดังรูปที่ 4.5 คือ ส่วนตัวเรือนไซโคลน ท่อทางออกของอากาศ และชุดรวบรวม อนุภาคและน้ำเสีย โดยแต่ละส่วน เชื่อมต่อกันด้วยหน้าแปลนและใช้น็อตขันยึด เพื่อง่ายต่อการสร้างและการดูแลรักษา ซึ่งการ ออกแบบส่วนตัวเรือนของไซโคลนและท่อทางออกของอากาศได้แสดงการคำนวณไว้ข้างต้นแล้ว



รูปที่ 4.5 ส่วนประกอบของไซโคลน

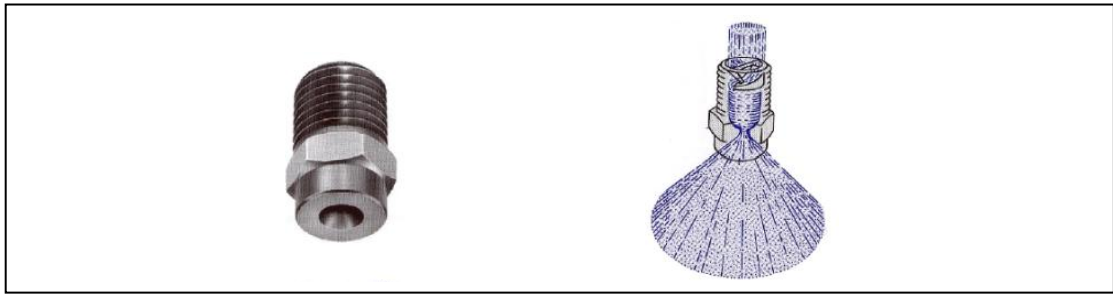
เนื่องจากไม่มีข้อแนะนำในการ ออกแบบ ชุดรวบรวม อนุภาค และน้ำเสีย ของ ไชโคลนสกรับเบอร์ ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบชุดรวบรวม อนุภาค และน้ำเสียดังรูปที่ 4.6 แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนบน มีความกว้าง ยาว และสูง 20 ซม. ต่อท่เป็นลักษณะด้วยให้น้ำ ที่ใช้ในการฉีดไหลออก และรักษาระดับน้ำภายในชุดรวบรวมฯ เพื่อไม่ให้ส่งผลต่อเกลียวอากาศ ภายในตัวเรือนไชโคลน ส่วนล่าง มีลักษณะเป็นทรงพีระมิดคว่ำ ส่วนฐานมีความกว้าง และยาว 20 ซม. ส่วนยอดมีความกว้าง และยาว 10 ซม. สูง 10 ซม. ไว้สำหรับรวบรวม ตะกอนอนุภาค มีวาล์ว สำหรับถ่ายตะกอนอนุภาคเพื่อนำไปกำจัดต่อไป



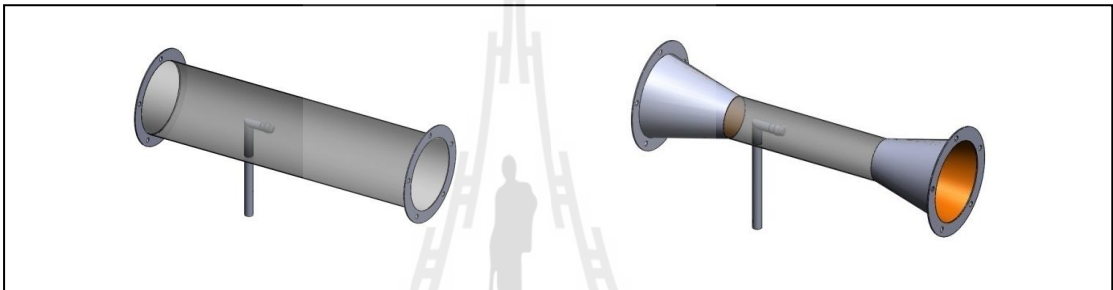
รูปที่ 4.6 ชุดรวบรวมอนุภาค และน้ำเสีย

4.2.4 การออกแบบสกรับเบอร์

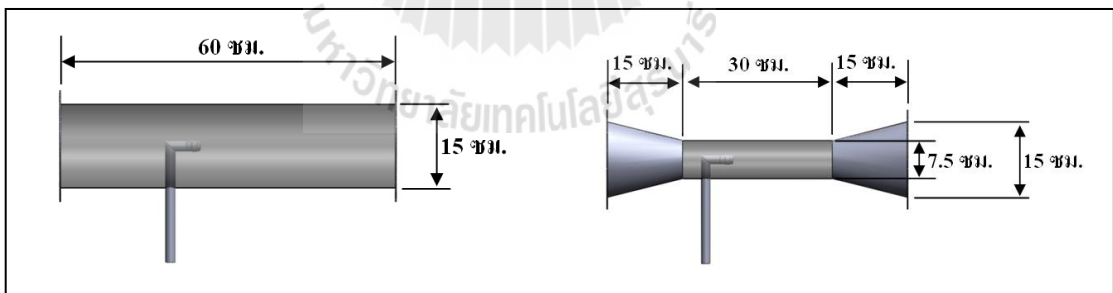
การออกแบบสกรับเบอร์ ซึ่งเป็นท่อช่วงหนึ่งที่ต่อกับ ท่อทางเข้า ของไชโคลน โดยมีหัวฉีดอยู่บริเวณกลางท่อ ซึ่งหัวฉีดที่ใช้จะต้องให้ละอองน้ำ กระจายเต็มพื้นที่หน้าตัดของท่อ ที่อัตราการไหลของน้ำที่ 3 และ 8 ลิตรต่อนาที ที่ความดัน 2 บาร์ และทนอุณหภูมิประมาณ 600-800 องศาเซลเซียสได้ ฉะนั้นใช้หัวฉีด แบบ Axial-flow full cone nozzles Series 460.804.30 ขนาด 3/8 นิ้ว ทำจากทองเหลือง ดังรูปที่ 4.7 โดยท่อสกรับเบอร์ แบ่งเป็น 2 แบบ ดังรูปที่ 4.8 คือ ท่อ พื้นที่หน้าตัดปกติ มีขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ 15 ซม. ยาว 60 ซม. ตลอดทั้งเส้นท่อ ปลายท่อ ทั้ง 2 ด้าน เป็นหน้าแปลน สำหรับต่อกับไชโคลน และ ท่อพื้นที่หน้าตัดลดลงร้อยละ 50 มีขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางท่อบริเวณท่อลด 7.5 ซม. ยาว 30 ซม. และส่วนปลายท่อทั้ง 2 ด้านเป็นหน้าแปลน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. โดยมีรายละเอียดสัดส่วนต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.7 หัวฉีด แบบ Axial-flow full cone nozzles

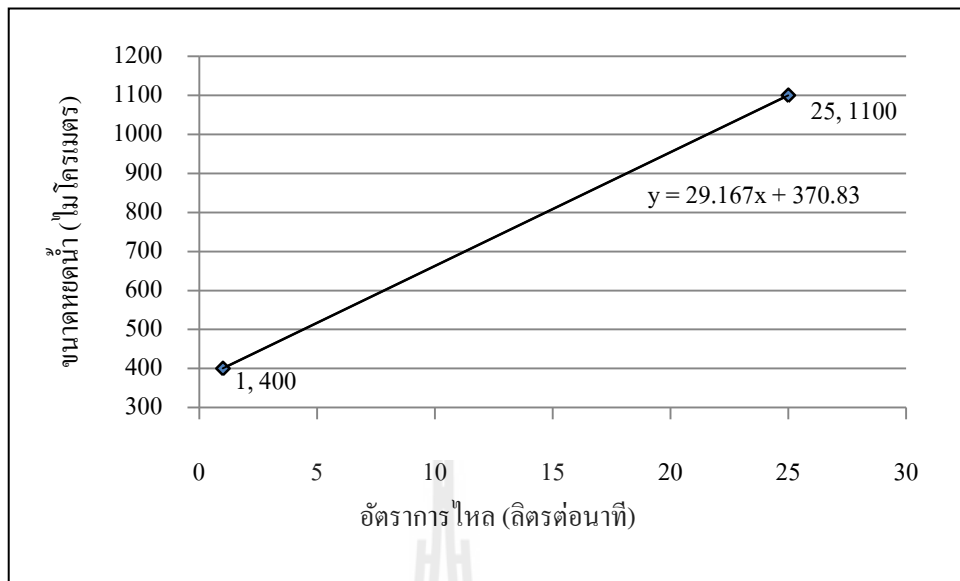


รูปที่ 4.8 ลักษณะท่อสกรับเบอร์



รูปที่ 4.9 สัดส่วนของท่อสกรับเบอร์

จากข้อมูลของบริษัท Lecher Co.Ltd. (www, 2011) แสดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหยดน้ำที่ผ่านหัวฉีดชนิด Full cone nozzle ที่ความดันของน้ำ 2 บาร์ ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.10 ในการทดลองนั้นใช้อัตราการไหลของน้ำที่ 3 และ 8 ลิตรต่อนาที จะให้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหยดน้ำที่ 458 และ 604 ไมโครเมตร ตามลำดับ



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงขนาดละอองน้ำต่ออัตราการไหลของน้ำ

4.2.5 การออกแบบระบบท่อ

การออกแบบระบบท่อของไซโคลนสกรับเบอร์ เป็นชิ้นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญ ต้องคำนึงถึงความเร็วต่ำสุดของอากาศในท่อ เป็นสำคัญ เพื่อไม่ให้เกิดการสะสมของอนุภาค ซึ่งอาจนำไปสู่การอุดตันในภายหลังได้ ในการออกแบบนี้ได้กำหนด ความเร็วต่ำสุดของอากาศใน เส้นท่อที่ 13 เมตรต่อวินาที (จักรชัย นิยมมล, 2550) ซึ่งเป็นความเร็วในเส้นท่อสำหรับมลพิษประเภท ไอเสีย และอัตราการไหลของอากาศที่ 12 ลบ.ม.ต่อนาที ทำให้ได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อเป็น 15 ซม. ซึ่งเป็นขนาดที่ใช้ในการออกแบบนี้

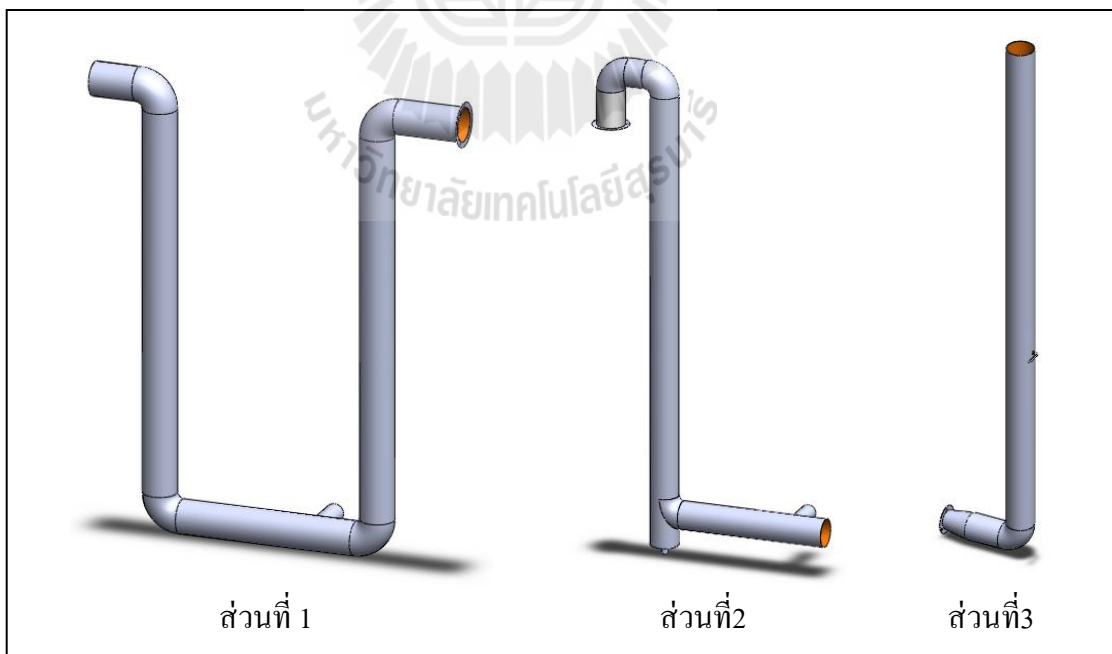
เมื่อได้ขนาดของ เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อแล้ว นำไปสู่การออกแบบความยาวท่อ โดยอ้างอิง เกณฑ์การกำหนดจุดตรวจวัดของ กรมควบคุมมลพิษ เพื่อลดความแปรปรวนของ กระแสอากาศในขณะตรวจวัดมลพิษอากาศ จุดเจาะปล่องต้องอยู่ปลายทางการไหลของอากาศ (Downstream) จากจุดรวบกววนการไหล (เช่น ข้องอ ท่อขยาย ท่อ ลด หรือจุดที่มีการเผาไหม้) อย่างน้อย 8 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางภายในปล่อง และต้องอยู่ต้นทางการไหลของอากาศ (Upstream) จากจุดรวบกววนการไหลอย่างน้อย 2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางภายในปล่อง หากไม่สามารถกำหนดจุดเจาะปล่องได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ อาจเลือกจุดเจาะปล่องที่อยู่ปลายทางการไหลของอากาศจากจุดรวบกววนอย่างน้อย 2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง ภายในปล่อง หรือ อยู่ต้นทางการไหลของอากาศ (Upstream) จากจุดรวบกววนการไหลอย่างน้อย 0.5 เท่าของ เส้นผ่าศูนย์กลางภายในปล่อง (สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง, 2549)

ในการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้ใช้เกณฑ์สูงสุดที่กรมควบคุมมลพิษกำหนด เนื่องจากทำให้ท่ออากาศของไซโคลนสกรับเบอร์ยาวจนเกินไป จึงได้เลือกกำหนดจุดตรวจวัดมลพิษอากาศเป็นค่าที่กรมควบคุมมลพิษ ใช้เป็น เกณฑ์ รองลงมา คือ จุดเจาะปล่องต้องอยู่ ที่ปลายทางการไหลของอากาศ 70 ซม. หรือ 5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ และอยู่ต้นทางการไหลของอากาศ 30 ซม. หรือ 2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ โดยระบบท่อจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังรูปที่ 4.11 ได้แก่

ส่วนแรก เป็นท่อที่ต่อระหว่างเตาเผามูลฝอยขนาดเล็ก กับท่อสกรับเบอร์ มีลักษณะเป็นรูปตัวยู ปลายท่อด้านที่ต่อกับเตาเผามูลฝอยไว้สำหรับต่อกับชุด โดยใช้ท่ออ่อนเป็นตัวเชื่อม ปลายท่ออีกด้านเป็นหน้าแปลนเพื่อต่อกับท่อสกรับเบอร์ จุดตรวจวัดมลพิษอากาศ เป็นช่องขนาด 8 ซม. อยู่ในแนวตั้งฉากกับแนวท่อในระดับพื้น เพื่อง่ายต่อตรวจวัด ความสูงของท่อเป็น 200 ซม.

ส่วนที่ 2 เป็นท่อที่ต่อระหว่างไซโคลน และพัดลม มีลักษณะเป็นรูปตัวแอล ปลายท่อด้านที่ต่อกับไซโคลน มีลักษณะเป็นหน้าแปลน ปลายท่ออีกด้านไว้สำหรับต่อกับพัดลม โดยใช้ท่ออ่อนเป็นตัวเชื่อม มีวาล์วสำหรับเปิดน้ำออกอยู่ส่วนล่างของท่อ จุดตรวจวัดมลพิษอากาศ เป็นช่องขนาด 8 ซม. อยู่ในแนวตั้งฉากกับแนวท่อในระดับพื้น เพื่อง่ายต่อตรวจวัด สูง 240 ซม.

ส่วนที่ 3 เป็นปล่องระบายอากาศที่ต่อจากพัดลม ภายในมีวาล์วปรับอัตราการไหลของอากาศ ปลายท่อด้านที่ต่อกับพัดลมมีลักษณะเป็นหน้าแปลน สูง 300 ซม.



รูปที่ 4.11 ระบบท่ออากาศ

4.2.6 การสร้างและติดตั้งไซโคลนสกรับเบอร์

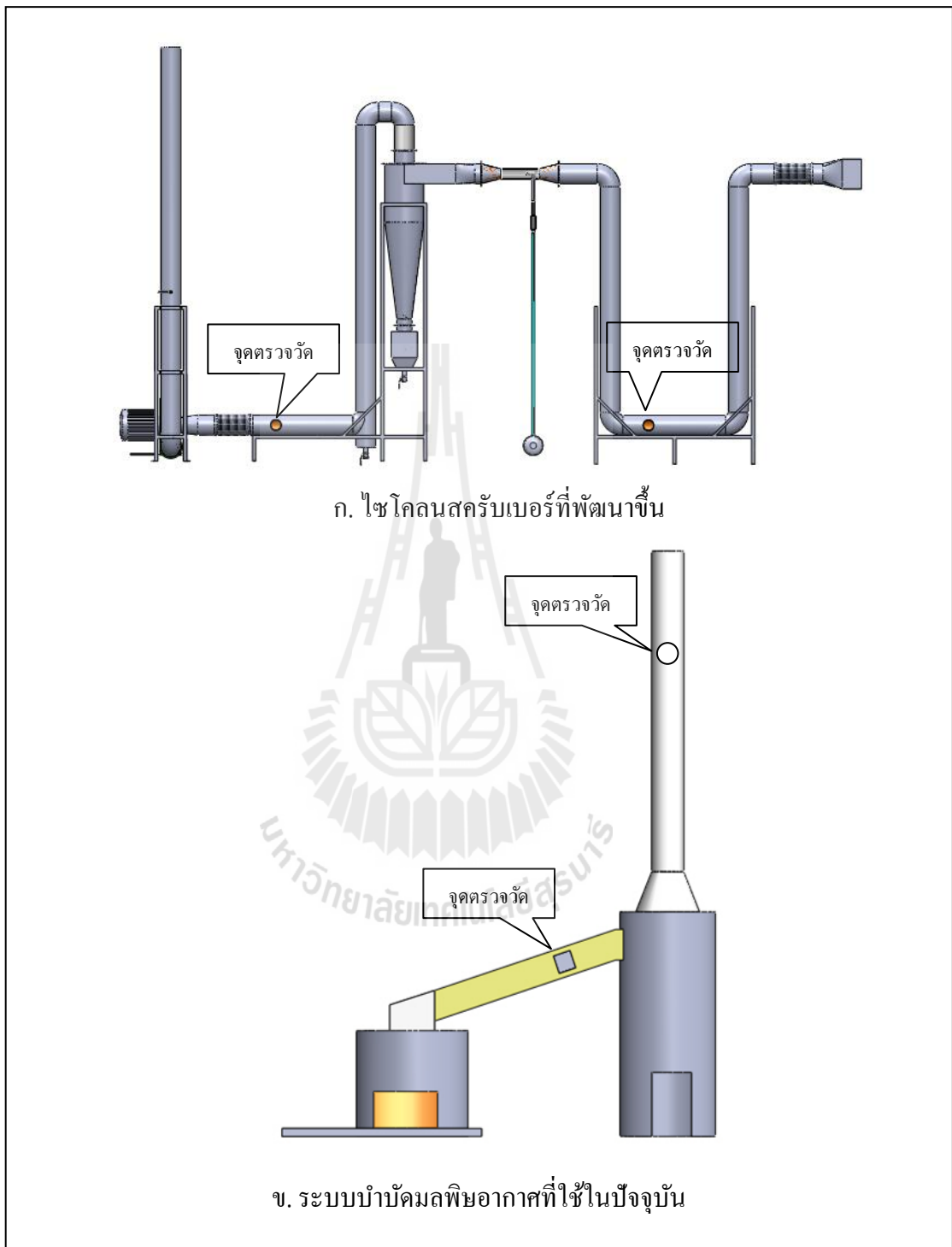
จากการออกแบบข้างต้น จะได้รูปแบบของไซโคลนสกรับเบอร์ ดังรูปที่ 4.12ก และ จุดตรวจวัดมลพิษอากาศดังรูปที่ 4.12ข ใช้วัสดุเป็นสแตนเลส 304 เพื่อป้องกันการเกิดสนิม โดยมี รายละเอียดการออกแบบ ทั้งหมดในภาคผนวก ข. การเลือกขนาด และลักษณะ พัฒนให้เหมาะกับ ไซโคลนสกรับเบอร์นั้น นอกจากอัตราการไหล ของอากาศ ที่เหมาะสมแล้ว ยังต้องพิจารณา ค่าความดัน สูญเสียที่พัฒมให้ด้วย ซึ่งค่าความดัน สูญเสียที่เกิดจากไซโคลนสกรับเบอร์นั้น เกิดจาก ส่วนของไซโคลน สกรับเบอร์ ข้อต่อ ข้อต่อต่าง ๆ ความยาวของท่อ ความสูงของท่อ เป็นต้น การคำนวณความดันสูญเสียของระบบ ด้วยวิธีความดันเคลื่อนที่ (Velocity pressure method) โดย อาศัยหลักการความดันสูญเสียจากการเสียดทาน และการเคลื่อนที่ของอากาศในระบบเป็นฟังก์ชัน ของความดันเคลื่อนที่ และสามารถคำนวณได้ จากการคูณแฟกเตอร์ความสูญเสียต่าง ๆ แสดง รายละเอียดการคำนวณดังภาคผนวก ค . โดยมีรายการ ของแฟกเตอร์ และ ความดันเคลื่อนที่ ในส่วนต่าง ๆ ที่ใช้ (วันทนี พันธุ์ประสิทธิ์, 2549) ดังตารางที่ 4.5

ผลการคำนวณค่าความดันสูญเสียของไซโคลนสกรับเบอร์ ได้ค่าความดันสูญเสีย ประมาณ 2182 ปาสคาล หรือประมาณ 221 มม. น้ำ ในการ ศึกษา นี้จึงเลือกพัฒม แบบดูดอากาศ ขนาด 2 แรงม้า ให้อัตราการไหลของอากาศ 26 ลบ.ม.ต่อวินาที และความดันที่ 225 มม. น้ำ

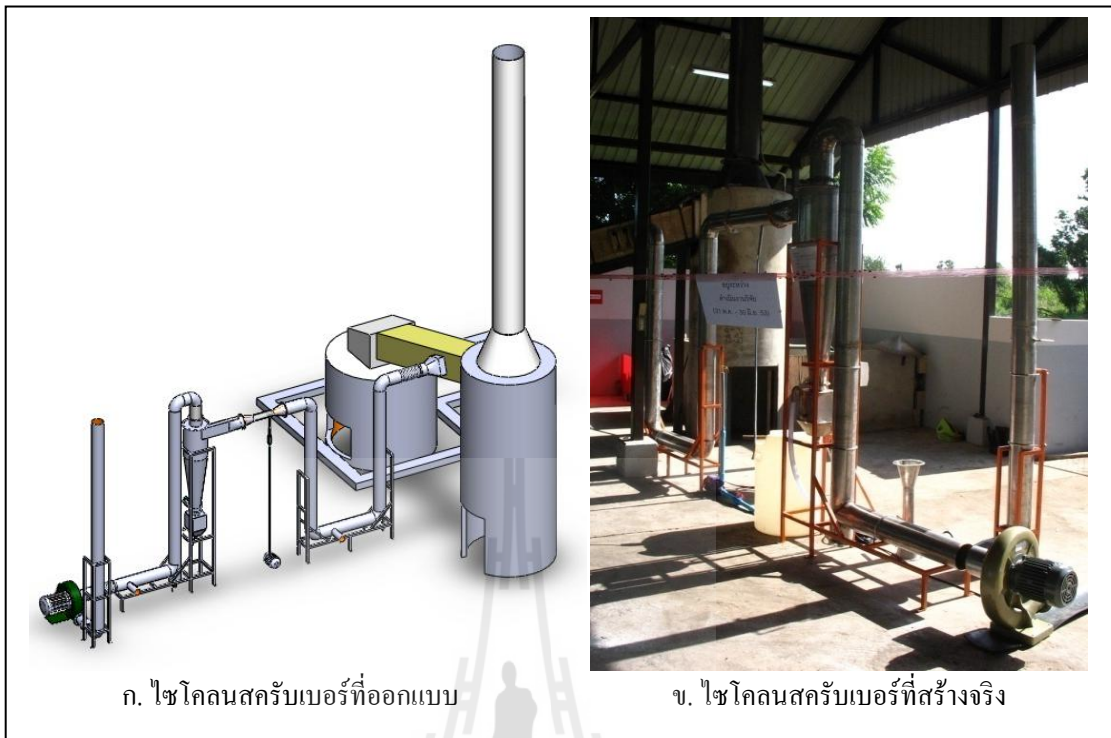
ตารางที่ 4.5 ค่าแฟกเตอร์และความดันสูญเสียจากส่วนต่าง ๆ ของไซโคลนสกรับเบอร์

รายการ	ค่าแฟกเตอร์	ความดันสูญเสีย (ปาสคาล)
ชุดทรงสี่เหลี่ยมทำมุมไม่เกิน 45 องศา	0.6	-
ท่อตรงของสแตนเลสสตีล ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มม.	0.192	-
ข้อโค้งงอกลม 90 องศา ประกอบด้วยชิ้นส่วน 5 ชิ้น	0.27	-
ความเร็วในเส้นท่อ 11 เมตรต่อวินาที	-	72.7
ไซโคลนเปียก (ฉัตรชัย นิยมมล, 2550)	-	1900

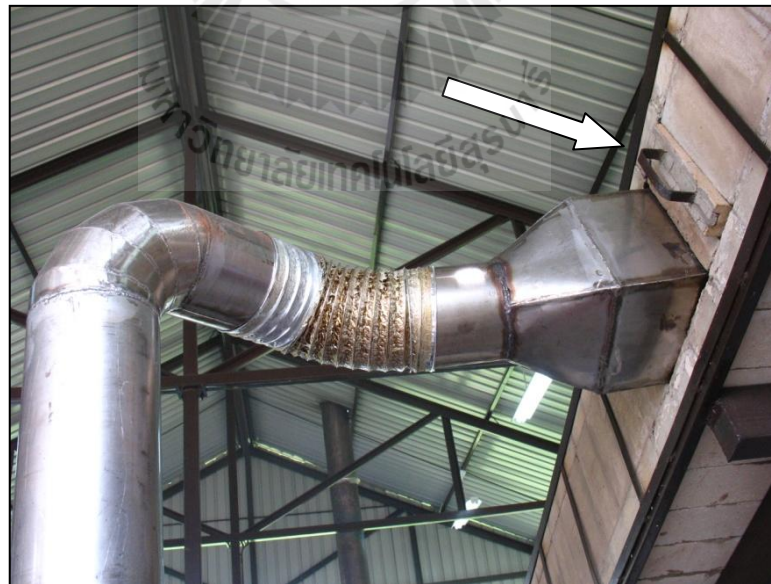
การติดตั้งไซโคลนสกรับเบอร์เข้ากับเตาเผามูลฝอยนั้น จะต่อ บริเวณ ท่อส่งอากาศ ของระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบัน ดังรูปที่ 4.13 โดยมีลิ้นปรับทิศทางการไหล ของอากาศ ดังรูปที่ 4.14 เมื่อตั้งลิ้นปรับทิศทางการไหลของอากาศออก และปิดวาล์วปรับการไหลของ ไซโคลนสกรับเบอร์ จะทำให้อากาศไหลไปยังระบบบำบัด มลพิษอากาศ ที่ใช้ในปัจจุบัน แต่หาก ตั้งลิ้นปรับทิศทางการไหลของอากาศเข้าให้สุด และเปิดวาล์วปรับอัตราการไหลของไซโคลน สกรับเบอร์ จะทำให้อากาศไหลเข้ามายัง ไซโคลนสกรับเบอร์



รูปที่ 4.12 รูปแบบของ ไชโคลนสกรับเบอร์ และจุดตรวจวัดมลพิษอากาศ



รูปที่ 4.13 ไซโคลนสกรับเบอร์ต่อกับเตาเผามูลฝอย



รูปที่ 4.14 ลีนปรับทิศทางการไหลของอากาศเสีย

4.3 การทดสอบประสิทธิภาพและวิเคราะห์ผลของไซโคลนสกรับเบอร์

4.3.1 การเตรียมมูลฝอย และเตาเผามูลฝอยก่อนทำการทดลอง

ก่อน ทดสอบประสิทธิภาพของไซโคลนสกรับเบอร์ ในการศึกษา นี้ ได้ควบคุม สัดส่วนมูลฝอยที่ป้อนเข้าสู่เตาเผาให้คงที่ตลอดการทดลอง เพื่อเป็นการควบคุมมลพิษที่เกิดขึ้น ให้มี ค่าใกล้เคียงกันตลอดการทดลอง เริ่มจากนำมูลฝอยที่เกิดขึ้นในแต่ละวันมาคัดแยกเป็น 5 ประเภท คือ เศษอาหาร เศษกระดาษ พลาสติก ใบไม้-กิ่งไม้ และโฟม ใส่ถุงดำเก็บไว้ โดยแยกเป็นช่อง ๆ หาก ได้ปริมาณที่มากพอจึงนำมูลฝอยที่แยกไว้ แล้วนั้น มาจัดสัดส่วนมูลฝอย โดยการชั่งน้ำหนัก ตามสัดส่วนที่ได้ ศึกษาไว้ข้างต้น โดยมีสัดส่วน เศษอาหาร พลาสติก เศษกระดาษ ใบไม้-กิ่งไม้ และโฟม เป็นร้อยละ 39 30 24 5 และ 2 ตามลำดับ สุดท้ายนำมูลฝอยที่ผสมตามสัดส่วนแล้ว บรรจุ ใส่ถุงดำสำหรับรอกการทดลองต่อไป ดังรูปที่ 4.15 ส่วนเตาเผามูลฝอยต้องนำถ้ำที่เหลือจากการ เผามูลฝอยในแต่ละวันออกก่อนทำการทดลอง เพื่อให้อากาศภายนอกสามารถไหลผ่าน ได้สะดวก และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเผาไหม้ให้สูงขึ้น ดังรูปที่ 4.16



แยกมูลฝอยเป็น 5 ประเภท

ช่องสำหรับแยกประเภทมูลฝอย

มูลฝอยที่ผสมตามสัดส่วนแล้ว

รูปที่ 4.15 การเตรียมมูลฝอยก่อนการทดลอง



รูปที่ 4.16 การนำเอาออกจากเตาเผามูลฝอยก่อนการทดลอง

4.3.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของไซโคลนสกรับเบอร์

เพื่อให้ผลการทดลองแต่ละสภาวะสามารถนำผลมาเปรียบเทียบกันได้นั้น จึงได้ควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ในระหว่างทำการตรวจวัดมลพิษอากาศ ได้แก่ จัดสัดส่วนมูลฝอยให้คงที่ตลอดการทดลอง อุณหภูมิในเตาเผามูลฝอยต้องอยู่ระหว่าง 600-800 องศาเซลเซียส จึงเก็บตัวอย่างมลพิษอากาศ โดยใช้เวลาเก็บตัวอย่างมลพิษอากาศตัวอย่างละ 5 นาที อัตราการดูดอากาศเข้าสู่ไซโคลนสกรับเบอร์ประมาณ 12 ลบ.ม.ต่อนาที น้ำที่ใช้ในการ ฉีดละอองน้ำ ในท่อ สกรับเบอร์เป็นน้ำประปา พารามิเตอร์ที่ตรวจวัด ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และ อนุภาค โดยเก็บตัวอย่าง มลพิษอากาศทั้งก่อน และหลังผ่านไซโคลนสกรับเบอร์ โดยจำนวนตัวอย่างที่เก็บแต่ละสภาวะดังตารางที่ 4.6 สภาวะละ 5 ตัวอย่าง ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเก็บตัวอย่างมลพิษก่อนผ่านระบบบำบัดมลพิษอากาศนั้น เก็บตัวอย่าง 1 ตัวอย่าง ต่อ 2 สภาวะ ซึ่งเป็นสภาวะที่ใกล้เคียงกัน คือ มีเพียงการปรับอัตราการไหลของน้ำเท่านั้น ได้แก่ สภาวะที่ 2 กับ 3 4 กับ 5 6 กับ 7 และ 8 กับ 9 เนื่องจากมลพิษที่เกิดขึ้น นั้น คาดว่า จะมีค่าต่าง ๆ ใกล้เคียงกัน เนื่องจากการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ขณะทำการทดลองแล้ว โดยแสดงรูประหว่างการตรวจวัดมลพิษอากาศจากไซโคลนสกรับเบอร์ และระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ดังรูปที่ 4.17

ตารางที่ 4.6 จำนวนตัวอย่างในการทดสอบประสิทธิภาพไซโคลนสกรับเบอร์ที่สภาวะต่าง ๆ

สภาวะที่	ค่า L/G ratio (ลิตรต่อ ลบ.ม.)	ขนาดหน้าตัดท่อ	ทิศทางการฉีดน้ำ	จำนวน ตัวอย่างเข้า	จำนวน ตัวอย่างออก
1	ไม่ฉีดน้ำ	ปกติ	-	1	1
2	0.27	ปกติ	ตามกระแสอากาศ	1	1
3	0.67	ปกติ	ตามกระแสอากาศ		1
4	0.27	ปกติ	สวนกระแสอากาศ	1	1
5	0.67	ปกติ	สวนกระแสอากาศ		1
6	0.27	เล็กลงร้อยละ 50	ตามกระแสอากาศ	1	1
7	0.67	เล็กลงร้อยละ 50	ตามกระแสอากาศ		1
8	0.27	เล็กลงร้อยละ 50	สวนกระแสอากาศ	1	1
9	0.67	เล็กลงร้อยละ 50	สวนกระแสอากาศ		1
10	ระบบบำบัดมลพิษอากาศใช้ในปัจจุบัน			1	1





เตรียมอุปกรณ์ตรวจวัดมลพิษอากาศ



การตรวจวัดมลพิษอากาศจากไซโคลนสกรับเบอร์



การตรวจวัดมลพิษอากาศจากระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบัน

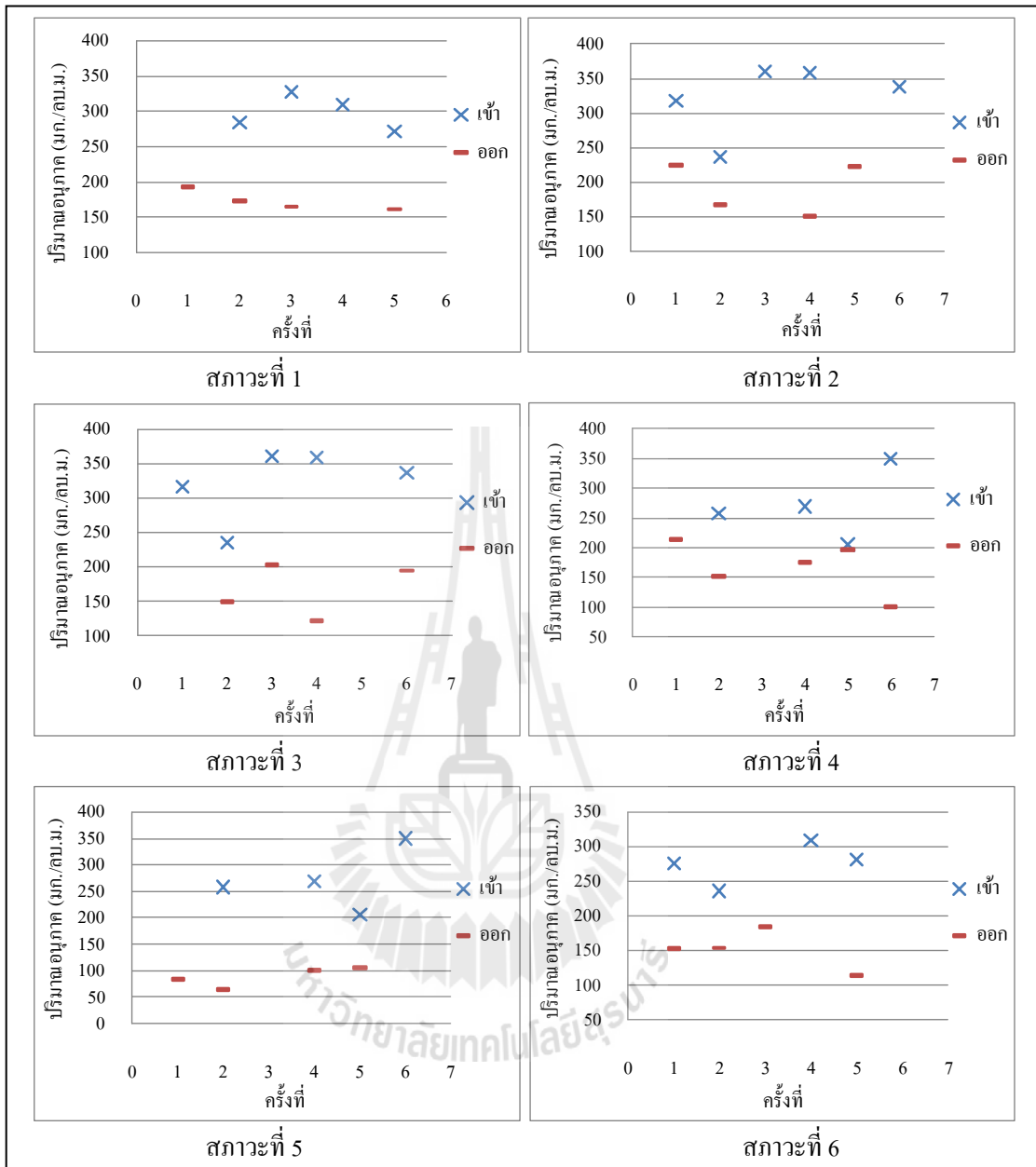
รูปที่ 4.17 การตรวจวัดมลพิษอากาศ

แม้ว่าจะมีการควบคุมสัดส่วนมลพิษให้ใกล้เคียงกัน ดังที่กล่าวมาข้างต้นแล้วก็ตาม เนื่องจากการศึกษานี้ใช้มลพิษที่เกิดขึ้นจริง ผลการทดลองจึงมีความแปรปรวนจากปัจจัยที่อยู่เหนือ การควบคุมที่สำคัญอีก 2 ประการ คือ ขนาด และชนิดของมลพิษ เช่น กระจายแข็ง แผ่นใหญ่ จะถูกเผาไหม้ได้ยากกว่าเศษกระจายชิ้นเล็ก จึงมีมลพิษเกิดขึ้นมากกว่า ดังนั้น เพื่อรับมือกับความแปรปรวนดังกล่าวจึงได้มี การควบคุมคุณภาพของข้อมูล ผลการตรวจวัด มลพิษอากาศ โดยตัดข้อมูลที่มีค่าสูงหรือต่ำผิดปกติ (Outlier) ออกจากการวิเคราะห์ โดยเปรียบเทียบระหว่างวิธี Confidence Intervals และวิธี Dixon Test เพื่อหาวิธีที่เหมาะสม กับชุดข้อมูลที่มีอยู่ โดยการใช้การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของชุดข้อมูล (COV) ดังข้อมูลในตารางที่ 4.7 กล่าวคือ หากค่า COV น้อย แสดงว่าชุดข้อมูลหลังตัดค่า Outlier มีการกระจายของข้อมูลน้อย หรือมีค่าความแปรปรวนของข้อมูลน้อยนั่นเอง โดยมีรายละเอียดดังภาคผนวก ง.

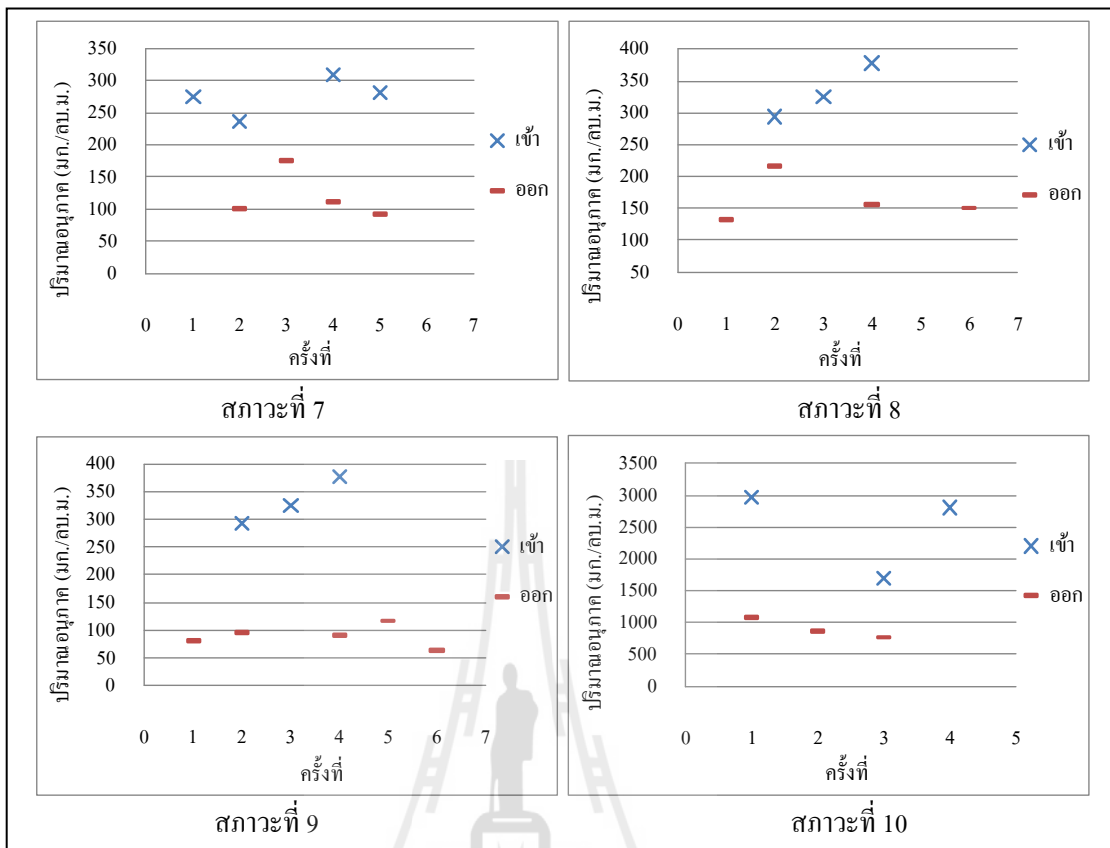
ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของชุดข้อมูล (COV) จากวิธีการวิเคราะห์ค่าสูงหรือต่ำผิดปกติ (Outlier) ทั้ง 2 วิธี

มลพิษอากาศ	วิธีการวิเคราะห์ค่า สูงหรือต่ำผิดปกติ (Outlier)			
	Confidence intervals		Dixon Test	
	จำนวนตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย COV	จำนวนตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย COV
อนุภาค	64	0.19	86	0.37
CO	69	0.36	82	0.41
NO _x	62	0.23	88	0.35
SO ₂	79	0.51	75	0

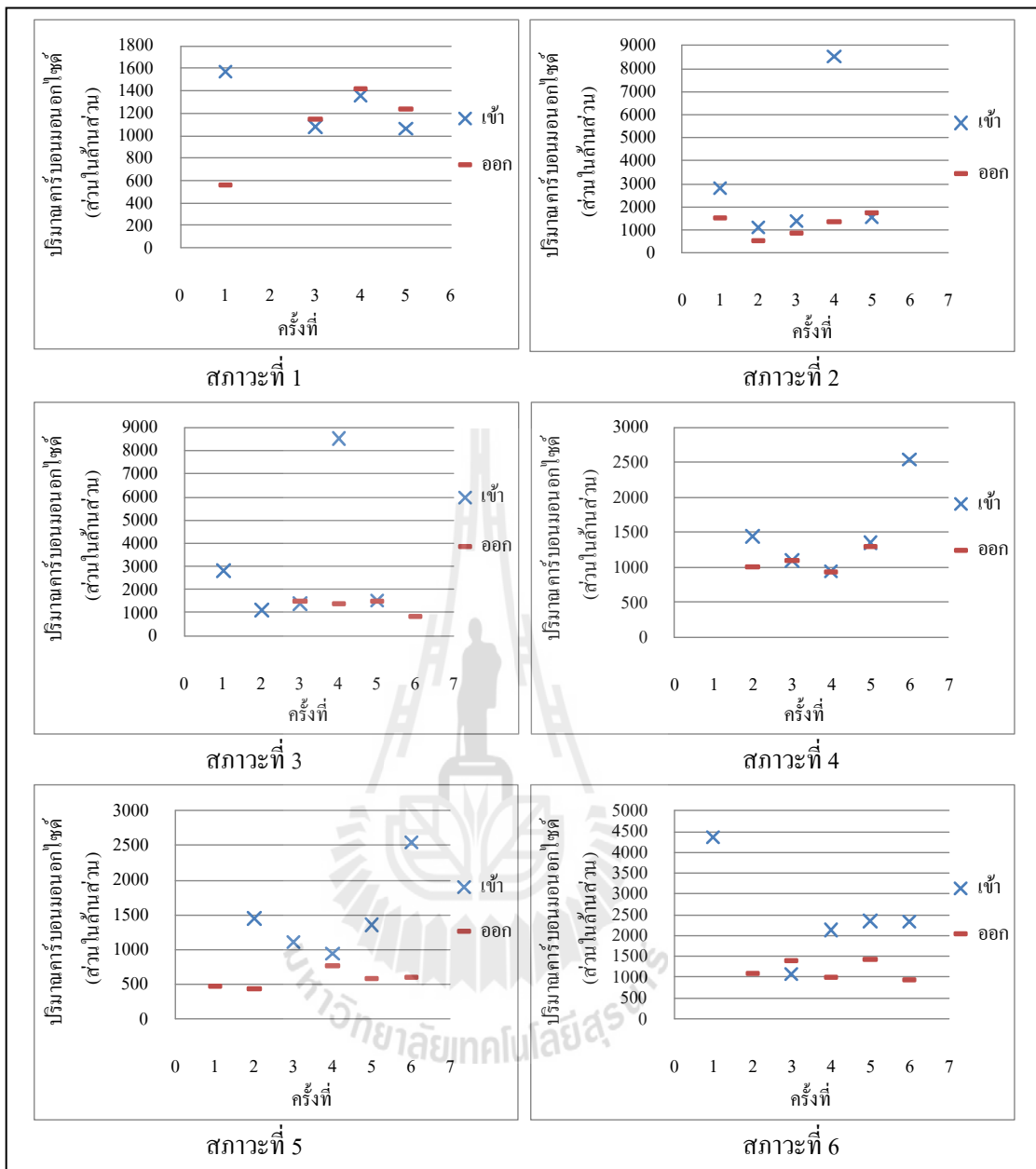
จะเห็นได้ว่า ค่า COV ของชุดข้อมูลที่วิเคราะห์ค่า Outlier ด้วยวิธี Confidence intervals มีค่าน้อยกว่า ค่า COV ของชุดข้อมูลที่ทำการวิเคราะห์ค่า Outlier ด้วยวิธี Dixon Test ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกใช้วิธี Confidence intervals ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในการวิเคราะห์ค่า Outlier สามารถแสดงค่าการกระจายของข้อมูลดังรูปที่ 4.18-4.21



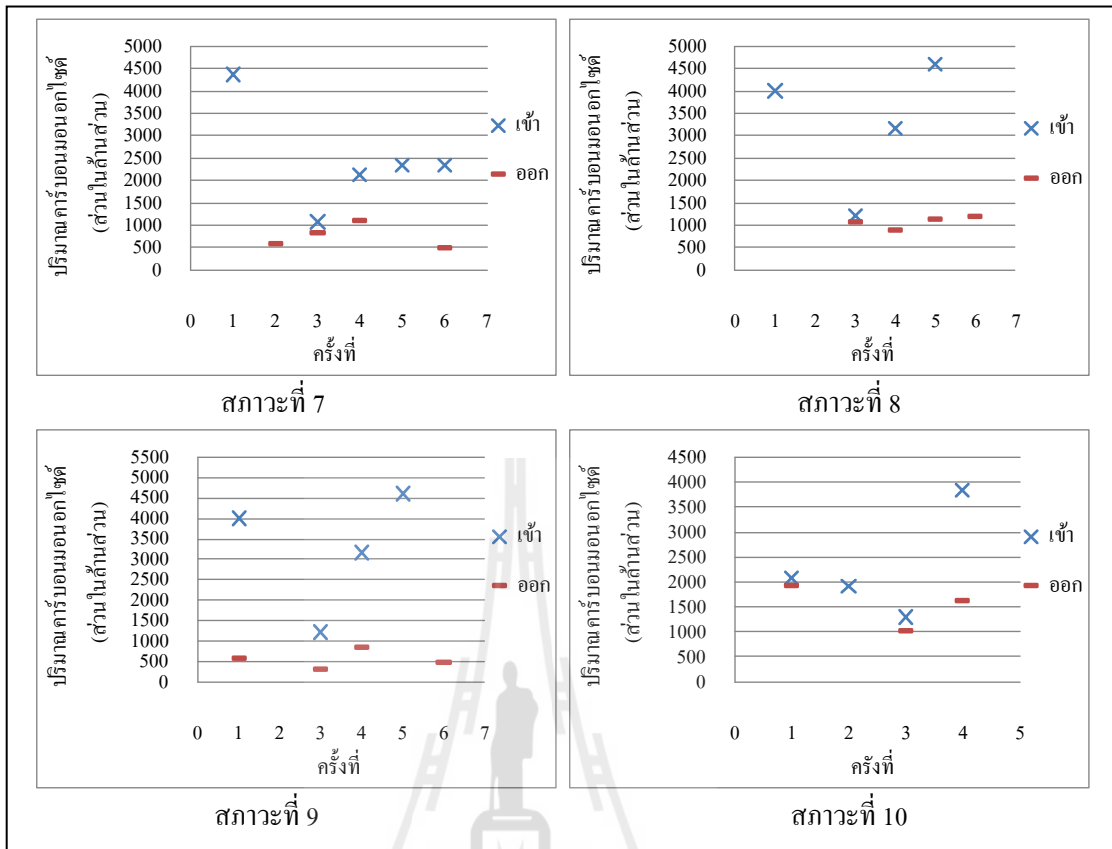
รูปที่ 4.18 การกระจายของข้อมูลในการตรวจวัดปริมาณอนุภาค



รูปที่ 4.18 การกระจายของข้อมูลในการตรวจวัดปริมาณอนุภาค (ต่อ)

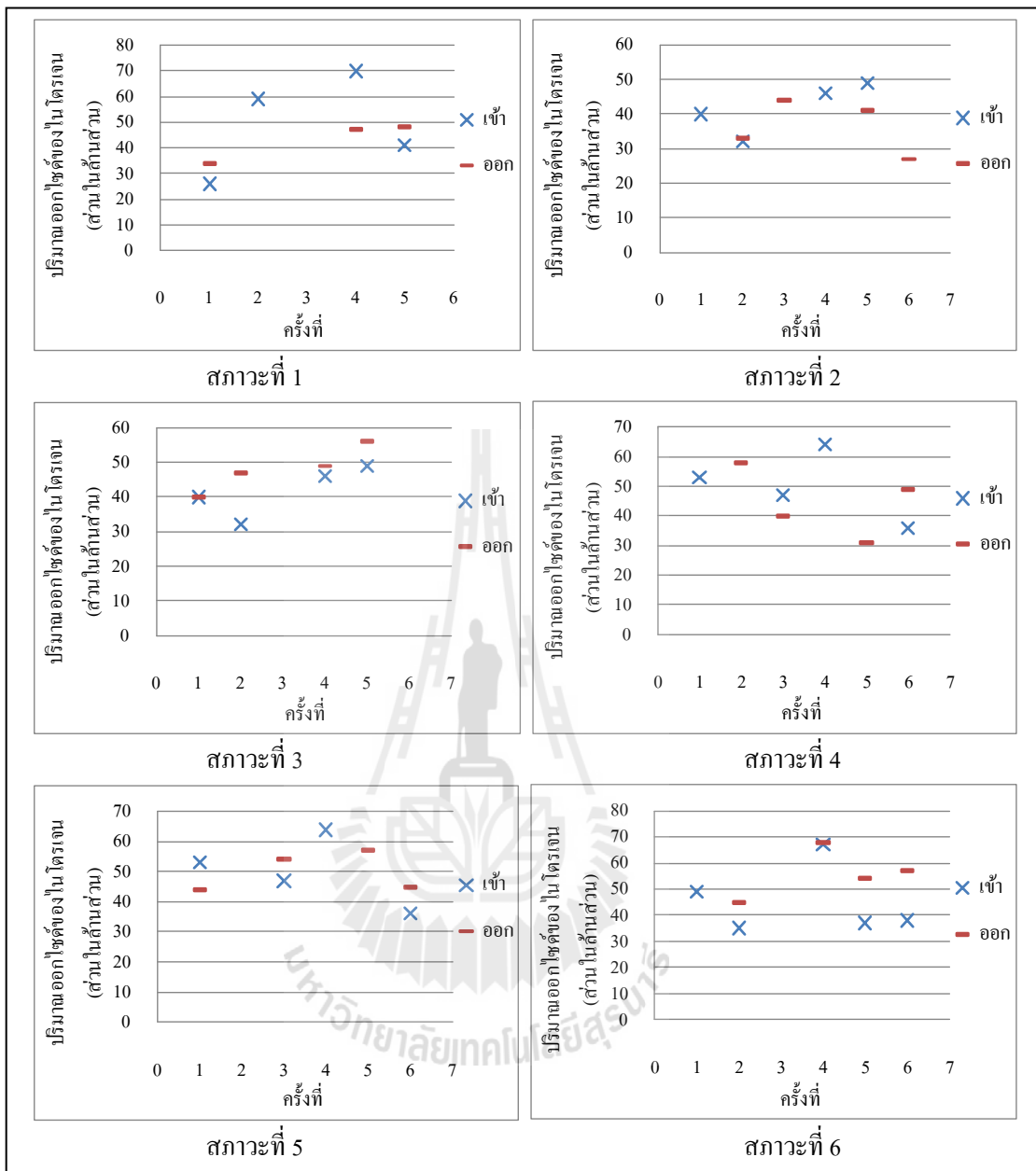


รูปที่ 4.19 การกระจายของข้อมูลในการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

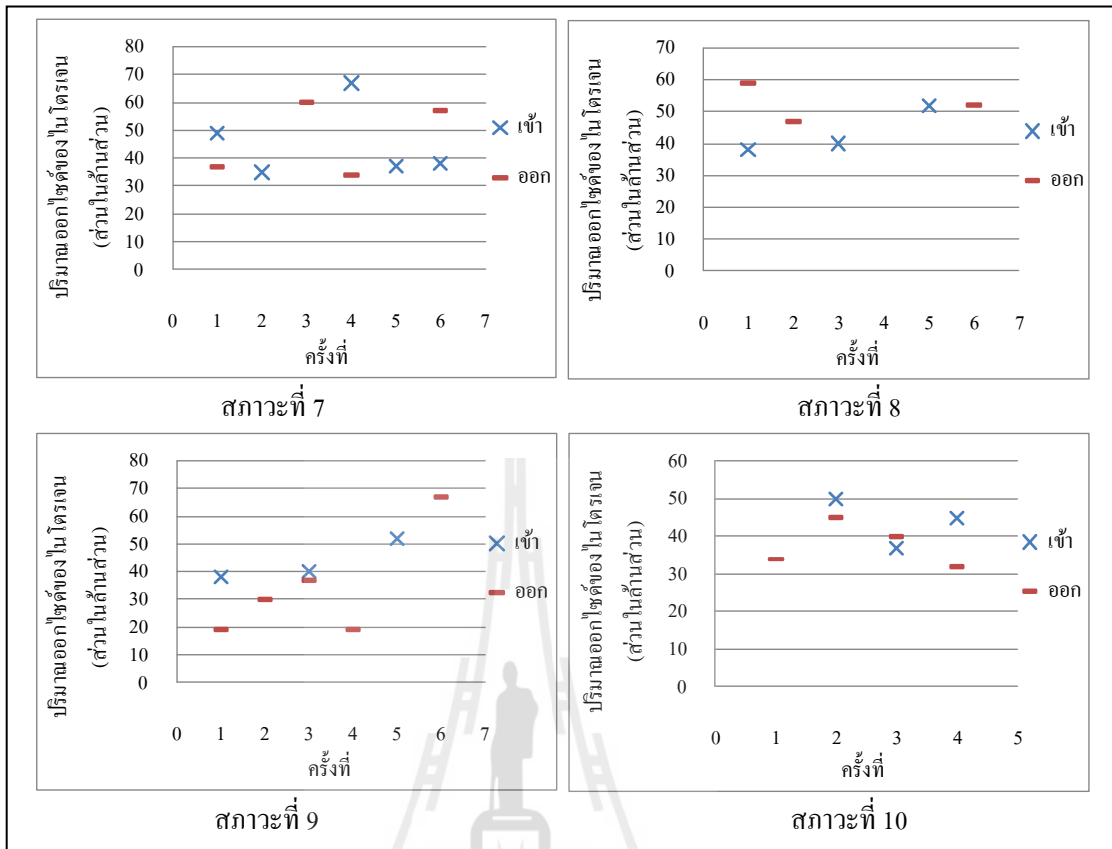


รูปที่ 4.19 การกระจายของข้อมูลในการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (ต่อ)



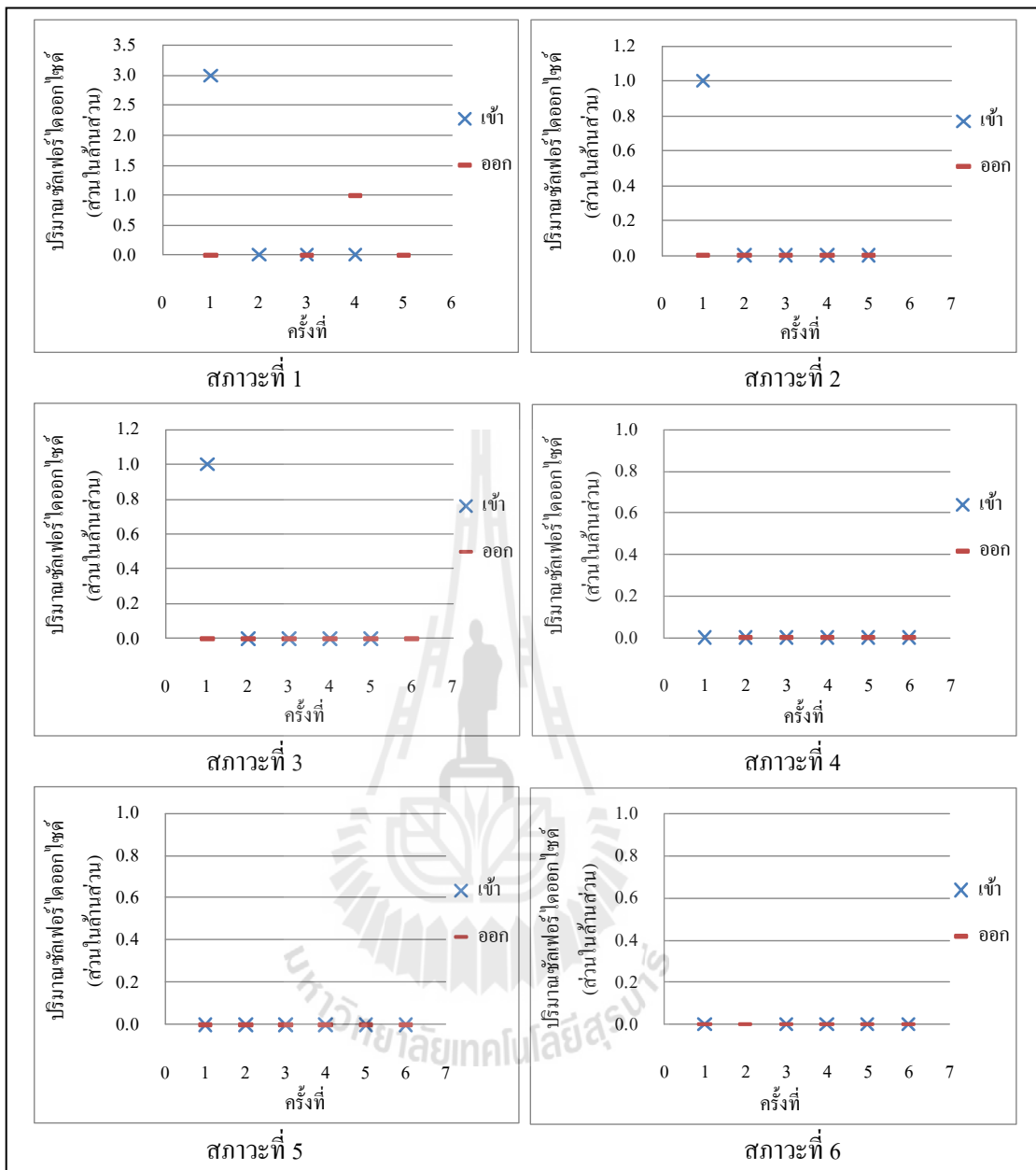


รูปที่ 4.20 การกระจายของข้อมูลในการตรวจวัดปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน

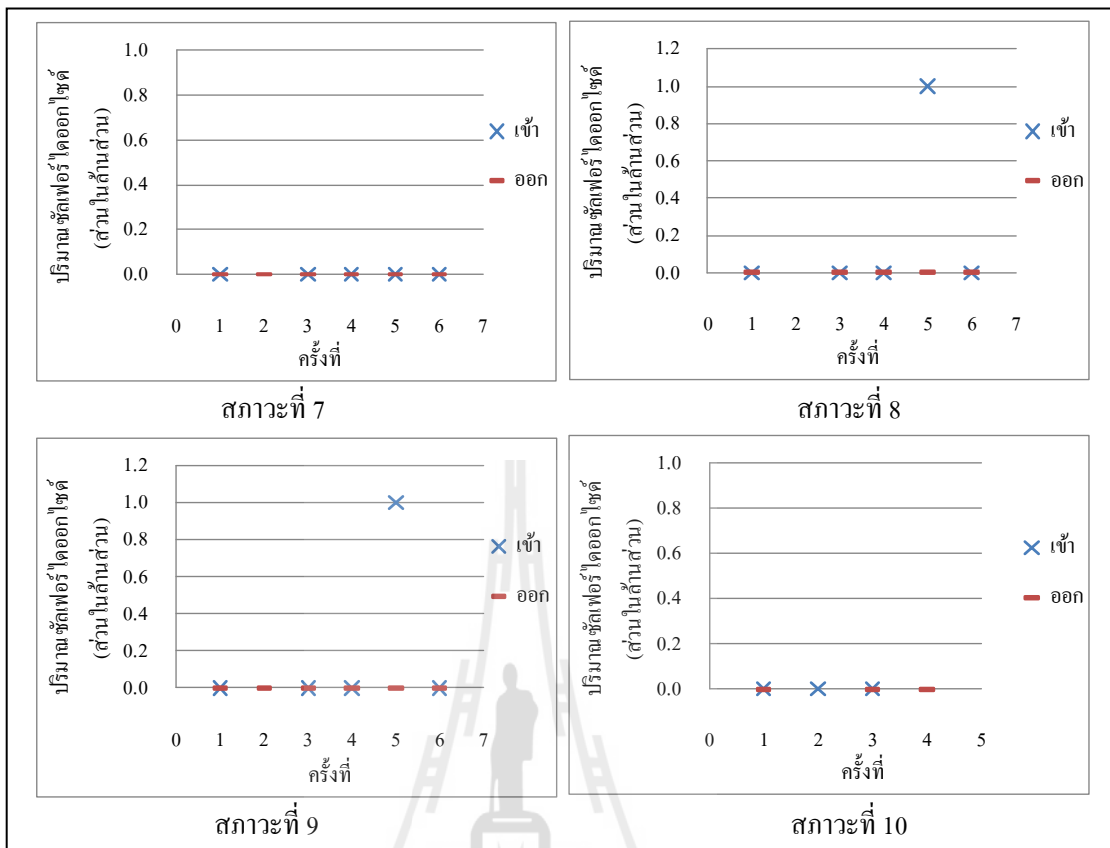


รูปที่ 4.20 การกระจายของข้อมูลในการตรวจวัดปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (ต่อ)





รูปที่ 4.21 การกระจายของข้อมูลในการตรวจวัดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์



รูปที่ 4.21 การกระจายของข้อมูลในการตรวจวัดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ต่อ)

จากค่าการกระจายข้อมูล หลังจากตัดค่า Outlier ออกจากชุดข้อมูลแล้ว เห็นได้ว่า มีค่าความแปรปรวนของข้อมูลพอสมควร ดังนั้น จึงใช้ค่ากลาง หรือค่า median เป็นตัวแทนของ มลพิษอากาศก่อน และหลังผ่านระบบบำบัดมลพิษอากาศ (Slavin, 1984) ดังตารางที่ 4.8

จากข้อมูลมลพิษอากาศก่อน และหลังผ่านระบบ บำบัดมลพิษอากาศ จะเห็นได้ว่า ปริมาณอนุภาคก่อนผ่านระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบัน (สภาวะที่ 10) มีค่าสูงกว่าปริมาณ อนุภาคก่อนผ่านไซโคลนสกรับเบอร์ (สภาวะที่ 1-9) ทั้งนี้เป็นเพราะ ลักษณะการป้อนอากาศ คือ ระบบบำบัด มลพิษอากาศ ที่ใช้ในปัจจุบัน ใช้พัดลมชนิดเป่าอากาศ ติดตั้งหัวจ่ายอากาศบริเวณ ใต้เตาเผามูลฝอย จึงเกิดการฟุ้งกระจายของเถ้าที่สะสมอยู่ใต้เตา ลอยตัวตามกระแสอากาศไป และ ส่งผลให้ค่าอนุภาคที่วัดได้มีปริมาณสูง ส่วนไซโคลนสกรับเบอร์ ใช้พัดลมชนิดดูดอากาศ ติดตั้ง บริเวณส่วนปลายของไซโคลนสกรับเบอร์ ทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของอากาศน้อยกว่าจึงไม่มีเถ้าที่ สะสมอยู่ใต้เตาลอยตามกระแสอากาศมาด้วย

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยผลการตรวจวัดมลพิษอากาศจาก เชื้อโคลนสกริปเบออร์

สถานะที่	ค่า L/G ratio (ลิตรต่อลบ.ม.)	ขนาดหน้าตัดท่อ	ทิศทางการไหลน้ำ	จุดตรวจวัด	อนุภาค		คาร์บอนมอนอกไซด์		ออกไซด์ของไนโตรเจน		ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	
					จำนวนตัวอย่าง	ความเข้มข้น (มก.ต่อลบ.ม.)	จำนวนตัวอย่าง	ความเข้มข้น (ส่วนในล้านส่วน)	จำนวนตัวอย่าง	ความเข้มข้น (ส่วนในล้านส่วน)	จำนวนตัวอย่าง	ความเข้มข้น (ส่วนในล้านส่วน)
1	ไม่คิดน้ำ	ปกติ	-	เข้า	4	297.00	4	1219.00	4	50.00	4	0.00
				ออก	4	169.00	4	1194.00	3	47.00	4	0.00
2	0.27	ปกติ	ตามกระแสอากาศ	เข้า	5	337.43	5	1535.00	4	43.00	5	0.00
				ออก	4	195.08	5	1366.00	4	37.00	5	0.00
3	0.67	ปกติ	ตามกระแสอากาศ	เข้า	5	337.43	5	1535.00	4	43.00	5	0.00
				ออก	4	171.75	4	1422.00	4	48.00	6	0.00
4	0.27	ปกติ	สวนกระแสอากาศ	เข้า	4	263.88	5	1353.00	4	50.00	6	0.00
				ออก	5	175.82	4	1053.00	4	44.50	5	0.00
5	0.67	ปกติ	สวนกระแสอากาศ	เข้า	4	263.88	5	1353.00	4	50.00	6	0.00
				ออก	5	91.27	5	582.00	4	49.50	6	0.00
6	0.27	ลดลงร้อยละ 50	ตามกระแสอากาศ	เข้า	4	278.28	5	2332.00	5	38.00	5	0.00
				ออก	4	153.23	5	1079.00	4	55.50	6	0.00
7	0.67	ลดลงร้อยละ 50	ตามกระแสอากาศ	เข้า	4	278.28	5	2332.00	5	38.00	5	0.00
				ออก	4	105.99	4	703.00	4	47.00	6	0.00
8	0.27	ลดลงร้อยละ 50	สวนกระแสอากาศ	เข้า	3	324.53	4	3586.00	3	40.00	4	0.00
				ออก	4	153.61	4	1096.00	3	52.00	5	0.00
9	0.67	ลดลงร้อยละ 50	สวนกระแสอากาศ	เข้า	3	324.53	4	3586.00	3	40.00	4	0.00
				ออก	5	91.07	4	527.50	5	30.00	6	0.00
10	ระบบบำบัดเดิมของเตาเผาที่ใช้ในปัจจุบัน			เข้า	3	2806.29	4	1993.50	3	45.00	3	0.00
				ออก	3	868.68	3	1638.00	4	37.00	3	0.00

ผลการตรวจวัด ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ก่อนผ่าน ระบบบำบัด มลพิษอากาศ ที่เกิดขึ้นมีค่าอยู่ในช่วง 1,219-3,586 ส่วนในล้านส่วน จะเห็นได้ว่ามีค่าอยู่ในช่วงกว้าง ทั้งนี้อาจเป็น เพราะปัจจัยของมลฟอยที่อยู่นอกเหนือการควบคุมในการศึกษานี้ คือ ขนาด ของมลฟอย ความชื้น และชนิดของพลาสติก กระจาย เป็นต้น

ผลการตรวจวัด ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่เกิดขึ้นนั้น มีปริมาณน้อยมาก หรือ ไม่สามารถตรวจพบได้ (เลขศักดิ์ โคนสูงเนิน , 2554) จากข้อมูลในตารางที่ 4.8 แสดง ค่าเป็น 0 ส่วนในล้านส่วนนั้น ซึ่งค่าดังกล่าวหมายถึง มีปริมาณ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ น้อยกว่า 0.1 ส่วนในล้านส่วน ดังค่าปริมาณน้อยสุดที่เครื่องตรวจวัดก๊าซนี้สามารถวัดได้ (Limit of Detection) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ มลฟอยมีซัลเฟอร์เป็น องค์ประกอบ ในสัดส่วนที่น้อยมาก ดังรูปที่ 4.4 คือ ร้อยละ 0.1 จึงไม่สามารถนำมาคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในครั้งนี้ได้ และผลการตรวจวัดก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนจะเห็นได้ว่า ข้อมูลมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อนำข้อมูล มลพิษอากาศก่อน และหลังผ่านระบบไซโคลนสกรับเบอร์ดังกล่าวมาทดสอบผลต่าง ทางสถิติ ด้วยการทดสอบที (T-Test) ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ดังตารางที่ 4.9 โดยมีสมมติฐานที่ว่า

H_0 : ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนก่อนผ่านระบบบำบัดมลพิษอากาศ มีค่าเท่ากับ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนหลังผ่านระบบบำบัดมลพิษอากาศ

H_1 : ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนก่อนผ่านระบบบำบัดมลพิษอากาศ มีค่ามากกว่า ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนหลังผ่านระบบบำบัดมลพิษอากาศ

พบว่าค่า P-Value ของทั้ง 10 สภาวะมีค่าสูงกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่ายอมรับ สมมติฐานว่าง คือ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนก่อน และหลังผ่านระบบบำบัดมลพิษอากาศ มีค่าไม่แตกต่างกัน อย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่องจากการศึกษานี้ ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 600- 800 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่อุณหภูมิสูง และ ใช้อัตรา การป้อนอากาศที่ มากพอ จึงทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ จึงไม่สามารถกำจัด ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนได้เพราะ การควบคุม ก๊าซชนิด นี้ ทำได้โดย การ ลดอุณหภูมิ ในห้องเผาไหม้ และ/หรือ ลดปริมาณออกซิเจนในการเผาไหม้ (นพภาพร พานิช และคณะ , 2547) ดังนั้น ในการศึกษา นี้ จึงนำเสนอเฉพาะ ข้อมูล ประสิทธิภาพการกำจัด อนุภาค และ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยคำนวณค่าประสิทธิภาพของระบบบำบัดมลพิษอากาศทั้ง 10 สภาวะ จากค่าเฉลี่ยมลพิษอากาศก่อน และหลังผ่านระบบบำบัดมลพิษอากาศ ดังสมการที่ 4.6 และผล ประสิทธิภาพของแต่ละสภาวะดังตารางที่ 4.10 และ รูปที่ 4.22

$$\eta = \left(\frac{\bar{x}_{\text{เข้า}} - \bar{x}_{\text{ออก}}}{\bar{x}_{\text{เข้า}}} \right) \times 100 \quad (4.6)$$

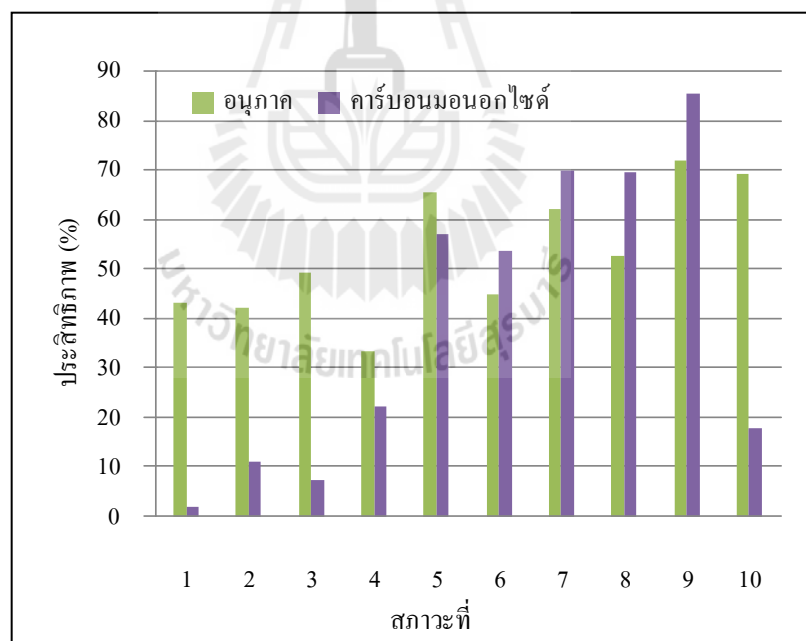
เมื่อ η = ค่าประสิทธิภาพ (ร้อยละ)
 $\bar{x}_{\text{เข้า}}$ = ค่าเฉลี่ยมลพิษอากาศก่อนผ่านระบบบำบัดมลพิษอากาศ
 $\bar{x}_{\text{ออก}}$ = ค่าเฉลี่ยมลพิษอากาศหลังผ่านระบบบำบัดมลพิษอากาศ

ตารางที่ 4.9 ผลวิเคราะห์ความแตกต่างของก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนระหว่างก่อน และหลังผ่านระบบบำบัดมลพิษอากาศด้วยสถิติทดสอบที (T-Test)

สถานะ	จำนวนตัวอย่าง	ค่า P-Value
1	เข้า	0.3205
	ออก	
2	เข้า	0.1730
	ออก	
3	เข้า	0.1285
	ออก	
4	เข้า	0.2645
	ออก	
5	เข้า	0.5000
	ออก	
6	เข้า	0.1080
	ออก	
7	เข้า	0.4235
	ออก	
8	เข้า	0.0850
	ออก	
9	เข้า	0.2460
	ออก	
10	เข้า	0.1215
	ออก	

ตารางที่ 4.10 ค่าประสิทธิภาพการกำจัดมลพิษอากาศจากระบบบำบัดมลพิษอากาศ

สภาวะที่	ค่า L/G ratio (ลิตรต่อ ลบ.ม.)	ขนาดหน้าตัดท่อ	ทิศทางการฉีดน้ำ	ประสิทธิภาพ (%)	
				อนุภาค	คาร์บอนมอนอกไซด์
1	ไม่ฉีดน้ำ	ปกติ	-	43.10	2.05
2	0.27	ปกติ	ตามกระแสอากาศ	42.19	11.01
3	0.67	ปกติ	ตามกระแสอากาศ	49.10	7.36
4	0.27	ปกติ	สวนกระแสอากาศ	33.37	22.17
5	0.67	ปกติ	สวนกระแสอากาศ	65.41	56.98
6	0.27	ลดลงร้อยละ 50	ตามกระแสอากาศ	44.94	53.73
7	0.67	ลดลงร้อยละ 50	ตามกระแสอากาศ	61.91	69.85
8	0.27	ลดลงร้อยละ 50	สวนกระแสอากาศ	52.67	69.44
9	0.67	ลดลงร้อยละ 50	สวนกระแสอากาศ	71.94	85.29
10	ระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบัน			69.05	17.83



รูปที่ 4.22 ประสิทธิภาพการกำจัดมลพิษอากาศของแต่ละสภาวะ

4.3.3 การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของไซโคลนสครับเบอร์

หลักการทำงานของไซโคลนสครับเบอร์ เริ่มจากการฉีดน้ำบริเวณท่อสครับเบอร์ โดยมีการกระจายของน้ำทั่วพื้นที่หน้าตัดท่อ หลังจากนั้นมลพิษอากาศจะเข้าสู่ไซโคลนที่มีผนังเปียก ในลักษณะของเกลียวอากาศ ทำให้เพิ่มระยะเวลาสัมผัสระหว่างมลพิษอากาศและน้ำ โดย กลไกการบำบัดมลพิษอากาศหลัก ๆ คือ การกระทบ (Impaction) การแพร่ (Diffusion) แรงเหวี่ยง (Centrifugal Force) และดูดกลืน (Absorption) จากค่าประสิทธิภาพการบำบัดมลพิษอากาศทั้ง 10 สถานะนั้น นำมา ทดสอบปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพ การกำจัดอนุภาค และก๊าซของไซโคลนสครับเบอร์ ได้แก่ อัตราการไหลระหว่างน้ำต่ออากาศ ขนาดหน้าตัดท่อ และทิศทางการฉีดน้ำ รวมทั้งการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด อนุภาคของไซโคลนกับ ไซโคลนสครับเบอร์ และการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ ระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบันกับไซโคลนสครับเบอร์ โดยการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการบำบัดมลพิษอากาศใช้ 3 วิธี คือ (1) การเปรียบเทียบค่าจากการทดลองในเชิงพรรณนา (2) การเปรียบเทียบทางสถิติด้วยวิธี T-Test ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้สมมติฐานแบบ Parametric และ (3) การเปรียบเทียบทางสถิติด้วยวิธี Mann-Whitney Test ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้สมมติฐานแบบ Non-Parametric โดยมีผลการวิเคราะห์ดังนี้

1. ค่า L/G ratio

ในการศึกษานี้เลือกใช้ค่า L/G ratio ที่ 0.27 (สถานะที่ 3 5 7 และ 9) และ 0.67 ลิตรต่อ ลบ.ม. (สถานะที่ 2 4 6 และ 8) เป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับไซโคลนสครับเบอร์ (ฉัตรชัย นิยมผล, 2550; Theodore and Buonicore, 1994; Wayne, T. D., 2000) หากพิจารณาการกำจัดอนุภาค กลไกหลักที่เกิดขึ้น คือ การกระทบ (Impaction) การแพร่ (Diffusion) เกิดจากการฉีดน้ำที่มีปริมาณแตกต่างกัน ประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคเฉลี่ย กรณีที่ค่า ค่า L/G ratio 0.27 และ 0.67 ลิตรต่อ ลบ.ม. คือ ร้อยละ 43.29 และ 62.09 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ คือ กรณี L/G ratio ต่ำ มีประสิทธิภาพน้อยกว่ากรณี L/G ratio สูง และเมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้วิธี T-Test ดังรูปที่ 4.23 พบว่าได้ค่า P-Value เท่ากับ 0.012 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 และวิธี Mann-Whitney Test ดังรูปที่ 4.24 พบว่าได้ค่า P-Value เท่ากับ 0.022 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าปฏิเสธสมมติฐานว่าง คือ กรณี L/G ratio ต่ำ มีประสิทธิภาพน้อยกว่ากรณี L/G ratio สูง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่พบทวนมา (มานะ อมรกิจบำรุง และสามารถ พรเจริญ, 2546; Lee et al., 2008)

ส่วน การกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ กลไกที่เกิดขึ้น คือ การดูดกลืน (Absorption) จากการฉีดน้ำที่มีปริมาณแตกต่างกัน ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ กรณีที่ L/G ratio 0.27 และ 0.67 ลิตรต่อ ลบ.ม. คือ ร้อยละ 39.09 และ 54.87 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ คือ กรณี L/G ratio สูงให้ประสิทธิภาพสูงกว่ากรณี L/G ratio ต่ำ และ

เมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่าง ทางสถิติ โดยใช้ วิธี T-Test ดังรูปที่ 4.23 และวิธี Mann-Whitney Test ดังรูปที่ 4.24 ให้ผลทดสอบทางสถิติยังไม่สามารถสรุปผลความแตกต่างได้ ทั้งนี้เป็นเพราะค่าความแปรปรวนของข้อมูล (SD) ค่อนข้างสูง

Group Statistics							
	L to G ratio	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean		
D_eff	0.27	4	43.29	7.965	3.982		
	0.67	4	62.09	9.606	4.803		
C_eff	0.27	4	39.09	27.143	13.571		
	0.67	4	54.87	33.722	16.861		

Independent Samples Test								
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
D_eff	Equal variances assumed	0.080	0.787	-3.013	6	0.024	-18.797	6.239
	Equal variances not assumed			-3.013	5.801	0.025	-18.797	6.239
C_eff	Equal variances assumed	0.014	0.909	-0.729	6	0.493	-15.783	21.644
	Equal variances not assumed			-0.729	5.738	0.495	-15.783	21.644

รูปที่ 4.23 ค่าการเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้วิธี T-Test ระหว่างกรณี L/G ratio 0.27 และ 0.67 ลิตรต่อ ลบ.ม.

Ranks				
L to G ratio		N	Mean Rank	Sum of Ranks
D_eff	0.27	4	2.75	11
	0.67	4	6.25	25
C_eff	0.27	4	3.75	15
	0.67	4	5.25	21

Test Statistics ^b		
	D_eff	C_eff
Mann-Whitney U	1	5
Wilcoxon W	11	15
Z	-2.021	-0.866
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.043	0.386
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	0.057a	0.486a

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: L to G ratio

รูปที่ 4.24 ค่าการเปรียบเทียบความแตกต่าง โดยใช้วิธี Mann-Whitney Test ระหว่างกรณี L/G ratio 0.27 และ 0.67 ลิตรต่อ ลบ.ม.

2. ปัจจัยขนาดหน้าตัดของท่อสครับเบอร์

ในการศึกษานี้ใช้ขนาดหน้าตัดท่อสครับเบอร์ที่ได้จากการออกแบบโดยพิจารณาความเร็วในเส้นท่อที่ 13 เมตรต่อวินาที (ฉัตรชัย นิยมล, 2550) และอัตราการไหลของอากาศที่ 12 ลบ.ม.ต่อนาที ทำให้ได้ขนาดหน้าตัดท่อที่ 15 ซม. (สภาวะที่ 2-5) และขนาดหน้าตัดท่อสครับเบอร์ลดลงร้อยละ 50 คือ 7.5 ซม. (สภาวะที่ 6-9) จะให้ความเร็วเป็น 45 เมตรต่อวินาที หากพิจารณาการกำจัด อนุภาค กลไกหลักที่เกิดขึ้นคือ การกระทบ (Impaction) การสกัดกั้นโดยตรง (Direct Interception) เกิดจากความเร็ว ของกระแสอากาศ บริเวณท่อสครับเบอร์ ประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคกรณีหน้าตัดท่อ 15 และ 7.5 ซม. คือ ร้อยละ 47.52 และ 57.86 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ คือ กรณีขนาดหน้าตัดของท่อสครับเบอร์ 7.5 ซม. ให้ประสิทธิภาพการกำจัด อนุภาค สูงกว่า กรณีขนาดหน้าตัดของท่อสครับเบอร์ 15 ซม. และเมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้วิธี T-Test ดังรูปที่ 4.25 พบว่าได้ค่า P-Value เท่ากับ 0.146 ซึ่งมากกว่า 0.05 และวิธี Mann-Whitney Test ดังรูปที่ 4.26 พบว่าได้ค่า P-Value เท่ากับ 0.124 ซึ่ง

มากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ขอมรับ สมมติฐานว่าง คือ กรณีหน้าตัด ท่อสกรับเบอร์ 15 ซม. มีประสิทธิภาพ ไม่แตกต่าง กับหน้าตัด ท่อสกรับเบอร์ 7.5 ซม. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ส่วน การกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ กลไกที่เกิดขึ้น คือ การดูดกลืน (Absorption) เกิดจากความเร็ว ของกระแสอากาศ บริเวณท่อสกรับเบอร์ ประสิทธิภาพการกำจัด ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ กรณีหน้าตัดท่อ 15 และ 7.5 ซม. คือ ร้อยละ 24.38 และ 69.58 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ คือ กรณีขนาดหน้าตัดท่อสกรับเบอร์ 7.5 ซม. ให้ประสิทธิภาพสูงกว่ากรณีขนาดหน้าตัดท่อสกรับเบอร์ 15 ซม. และเมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบ ความแตกต่างโดยใช้ T-Test ดังรูปที่ 4.25 พบว่าได้ค่า P-Value เท่ากับ 0.006 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 และวิธี Mann-Whitney Test ดังรูปที่ 4.26 พบว่าได้ค่า P-Value เท่ากับ 0.022 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ปฏิเสธ สมมติฐานว่าง คือ กรณีหน้าตัดท่อ สกรับเบอร์ 7.5 ซม. มีประสิทธิภาพ สูงกว่า กรณีหน้าตัดท่อสกรับเบอร์ 15 ซม. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Group Statistics								
	Dia	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean			
D_eff	15	4	47.52	13.555	6.777			
	7.5	4	57.86	11.669	5.835			
C_eff	15	4	24.38	22.628	11.314			
	7.5	4	69.58	12.886	6.443			
Independent Samples Test								
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
D_eff	Equal variances assumed	0.022	0.887	-1.157	6	0.291	-10.347	8.943
	Equal variances not assumed			-1.157	5.87	0.292	-10.347	8.943
C_eff	Equal variances assumed	1.157	0.323	-3.471	6	0.013	-45.198	13.02
	Equal variances not assumed			-3.471	4.761	0.019	-45.198	13.02

รูปที่ 4.25 ค่าการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้วิธี T-Test ระหว่างกรณีขนาดหน้าตัดท่อสกรับเบอร์ 15 และ 7.5 ซม.

Ranks			
Dia	N	Mean Rank	Sum of Ranks
D_eff	15	4	3.5
	7.5	4	5.5
C_eff	15	4	2.75
	7.5	4	6.25

Test Statistics ^b		
	D_eff	C_eff
Mann-Whitney U	4	1
Wilcoxon W	14	11
Z	-1.155	-2.021
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.248	0.043
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	0.343a	0.057a

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: L to G ratio

รูปที่ 4.26 ค่าการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้วิธี Mann-Whitney Test ระหว่างกรณีขนาดหน้าตัดท่อสกรับเบอร์ 15 และ 7.5 ซม.

3. ปัจจัยทิศทางการฉีดน้ำ

ในการศึกษานี้ใช้ทิศทางการฉีดน้ำโดยแบ่งเป็น 2 ทิศทางคือ ทิศทางตามกระแสอากาศ (สภาวะที่ 2 3 6 และ 7) และทิศทางสวนกระแสอากาศ (สภาวะที่ 4 5 8 และ 9) หากพิจารณาการกำจัดอนุภาค กลไกหลักที่เกิดขึ้น คือ การกระทบ (Impaction) การสกัดกั้นโดยตรง (Direct Interception) เกิดจากทิศทางที่ฉีดน้ำที่แตกต่างกันส่งผลต่อความเร็วสัมพัทธ์ของ อนุภาค และหยดน้ำบริเวณท่อสกรับเบอร์ ประสิทธิภาพการกำจัด อนุภาค กรณีฉีดน้ำตามกระแสและสวนกระแสอากาศ คือ ร้อยละ 49.54 และ 55.85 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ คือ กรณีการฉีดน้ำสวนกระแสอากาศ ให้ประสิทธิภาพ สูงกว่า กรณีการฉีดน้ำตามกระแสอากาศ แต่เมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่าง ทางสถิติ โดยใช้ วิธี T-Test ดังรูปที่ 4.27 พบว่าได้ค่า P-Value เท่ากับ 0.266 ซึ่งมากกว่า 0.05 และวิธี Mann-Whitney Test ดังรูปที่ 4.28 พบว่าได้ค่า P-Value เท่ากับ 0.193 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่ายอมรับสมมติฐานว่าง

คือ ธรรมเนียมี่ตามกระแสอากาศ ให้ค่าประสิทธิภาพ ไม่แตกต่างกับ ธรรมเนียมี่ส่วนกระแสอากาศ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ส่วน การกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ กลไกที่เกิดขึ้น คือ การดูดกลืน (Absorption) เกิดจากทิศทาง การหนีน้ำที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อความเร็วสัมพัทธ์ของ อนุภาคและ หยดน้ำบริเวณท่อสกรับเบอร์ ประสิทธิภาพการกำจัด ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ธรรมเนียมี่น้ำ ตามกระแส และสวนกระแสอากาศ คือ ร้อยละ 35.49 และ 58.47 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเป็นไปตาม สมมติฐานที่ตั้งไว้ คือ ธรรมเนียมี่การหนีน้ำสวนกระแสอากาศ ให้ประสิทธิภาพ สูงกว่าธรรมเนียมี่การหนีน้ำ ตามกระแสอากาศ และเมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่าง ทางสถิติ โดยใช้วิธี T-Test ดังรูปที่ 4.27 และวิธี Mann-Whitney Test ดังรูปที่ 4.28 ให้ผลการทดสอบทางสถิติยังไม่สามารถ สรุปผลความแตกต่างได้ ทั้งนี้เป็นเพราะค่าความแปรปรวนของข้อมูล (SD) ค่อนข้างสูง

Group Statistics								
	Noz	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean			
D_eff	co-current	4	49.54	8.725	4.363			
	counter-current	4	55.85	16.988	8.494			
C_eff	co-current	4	35.49	31.112	15.556			
	counter-current	4	58.47	26.83	13.415			
Independent Samples Test								
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
D_eff	Equal variances assumed	1.871	0.22	-0.661	6	0.533	-6.312	9.549
	Equal variances not assumed			-0.661	4.48	0.541	-6.312	9.549
C_eff	Equal variances assumed	0.759	0.417	-1.119	6	0.306	-22.982	20.541
	Equal variances not assumed			-1.119	5.873	0.307	-22.982	20.541

รูปที่ 4.27 ค่าการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้วิธี T-Test ระหว่างธรรมเนียมี่น้ำตาม กระแส และสวนกระแสอากาศ

Ranks				
Noz		N	Mean Rank	Sum of Ranks
D_eff	co-current	4	3.75	15
	counter-current	4	5.25	21
C_eff	co-current	4	3.5	14
	counter-current	4	5.5	22

Test Statistics ^b		
	D_eff	C_eff
Mann-Whitney U	5	4
Wilcoxon W	15	14
Z	-0.866	-1.155
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.386	0.248
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	0.486a	0.343a

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: L to G ratio

รูปที่ 4.28 ค่าการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้วิธี Mann-Whitney Test ระหว่างกรณีฉีดน้ำตามกระแส และสวนกระแสอากาศ

จากผลประสิทธิภาพการบำบัดมลพิษอากาศของไซโคลนสครับเบอร์ จะเห็นได้ว่าสภาวะที่ 9 เป็นสภาวะที่ดีที่สุด คือ มี ค่า L/G ratio 0.67 ลิตรต่อ ลบ.ม. หรืออัตราการใช้น้ำที่ 8 ลิตรต่อนาที มีการฉีดน้ำสวนกระแสอากาศผ่านท่อสครับเบอร์ขนาดหน้าตัด 7.5 ซม. โดยให้ประสิทธิภาพการกำจัด อนุภาค และก๊าซ คาร์บอนมอนอกไซด์ คือ ร้อยละ 71.94 และ 85.29 ตามลำดับ สามารถเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ ดังตารางที่ 4.11 ซึ่งมีการใช้แหล่งกำเนิดมลพิษส่วนใหญ่เป็นถ้ำลอย และทดลองในห้องปฏิบัติการเท่านั้น เมื่อเทียบกับ ไซโคลนสครับสครับเบอร์ ที่พัฒนาขึ้นนี้ ใช้มูลฝอยที่เกิดขึ้นจริงเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษ ซึ่งไม่สามารถควบคุมความเข้มข้นของมลพิษอากาศที่เกิดขึ้นให้คงที่ได้เช่นงานวิจัยอื่น ๆ จึงให้ผล ประสิทธิภาพ การกำจัดมลพิษอากาศ น้อยกว่า แต่หากเทียบค่า L/G ratio แล้วนั้น ไซโคลนสครับเบอร์ที่ได้ออกแบบมานั้น มีค่า L/G ratio น้อยกว่ามาก เมื่อเทียบกับ มานะ อมรภิจำรุ่ง และสามารถ พรเจริญ (2546); Lee et al. (2008) และการสร้างที่ไม่ซับซ้อนเมื่อเทียบกับ Yang and Yoshida (2004) ซึ่งเป็นระบบที่มีขนาดเล็กมาก และต้องอาศัยป้อนลมช่วยในการฉีดน้ำให้มีลักษณะเป็นหมอก หากเทียบปริมาณการปล่อยมลพิษอากาศ

จากเตาเผามูลฝอยขนาดเล็กแล้วนั้น จะเห็นได้ว่าค่ามลพิษอากาศที่ปล่อยออกมาสู่บรรยากาศอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากเตาเผามูลฝอยขนาด 1-50 ตันต่อวัน ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.11 สรุปค่าที่ใช้ในการทดลองของไซโคลนสกรับเบอร์

วรรณกรรม	ชนิดแหล่งกำเนิดมลพิษ	ขนาดเฉลี่ยของอนุภาค (ไมครอน)	ความเข้มข้นอนุภาคที่ใช้ระบบ (มก.ต่อ ลบ.ม.)	L/G ratio (ลิตรต่อ ลบ.ม.)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของระบบ (ซม.)	ประสิทธิภาพ
Yang and Yoshida (2004)	ถ้ำลอย	1.6	2652.5	0.042	7.2	-
Lee et al (2008)	ถ้ำลอย	0.1-10	-	2.02	-	-
มานะ อมรกิจบำรุง และ สามารถ พรเจริญ (2546)	ถ้ำลอย	8.8	2000	4.4	30	99
รัชฎภัส วิสุทธิ (2547)	แคลเซียมคาร์บอเนตเคลือบผิว	1.27	300-1500	0.44	36.67	95.75
ในการศึกษาครั้งนี้	เตาเผามูลฝอย	-	264-337	0.67	30	73.03

ตารางที่ 4.12 มลพิษอากาศที่ออกจากเตาเผามูลฝอยของงานวิจัยต่าง ๆ

มลพิษ	หน่วย	เดอส์กัตต์ โคสูงนิน (2544)	Kuo et al. (2008)	กฤษ มณีรัตน์ (2542)	การศึกษานี้	มาตรฐาน*
อนุภาค	มก.ต่อ ลบ.ม.	-	220	-	91.07	<400
CO	ส่วนในล้านส่วน	803-1736	350	3200	547.25	-
NO _x	ส่วนในล้านส่วน	15-20	250	60	34.40	<250
SO ₂	ส่วนในล้านส่วน	ไม่พบ	300	20	ไม่พบ	<30

หมายเหตุ : * มาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากเตาเผามูลฝอยขนาด 1-50 ตันต่อวัน (2553)

4. เปรียบเทียบไซโคลนกับไซโคลนสครับเบอร์

จากข้อจำกัดของไซโคลนที่ไม่สามารถกำจัดมลพิษ ก๊าซได้ ดังนั้น ในหัวข้อนี้ จึงเปรียบเทียบเฉพาะประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคระหว่างไซโคลนซึ่งไม่มีการฉีดน้ำ (สภาวะที่ 1) ซึ่งในการศึกษานี้เลือกใช้ไซโคลนประสิทธิภาพสูง เนื่องจากมีขนาดเล็ก สามารถจับอนุภาค ที่ขนาดเล็กถึง 5 ไมครอน (นพภาพร พานิช และคณะ, 2547) กับไซโคลนสครับเบอร์ (สภาวะที่ 9) ให้ค่าประสิทธิภาพ การกำจัด อนุภาค คือ ร้อยละ 43.06 และ 71.73 ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตาม สมมติฐานที่ว่า ไซโคลนสครับเบอร์ ซึ่งมีการฉีดละอองน้ำเข้าช่วยในการจับ อนุภาคขนาดเล็กแล้ว จึงใช้ไซโคลนจับละอองน้ำอีกต่อหนึ่ง ให้ประสิทธิภาพสูงกว่าไซโคลน (Yang and Yoshida, 2004) และเมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่าง ทางสถิติ โดยใช้วิธี T-Test ในการ ทดสอบนั้น จำเป็นต้องอาศัยจำนวนชุดข้อมูลของประสิทธิภาพการบำบัดมลพิษอากาศอย่างน้อย สภาวะละ 2 ค่า ดังนั้น จึงใช้วิธีการคำนวณประสิทธิภาพการบำบัดมลพิษอากาศ แต่ละครั้งที่ทำการตรวจวัด ให้ผล การทดสอบรูปที่ 4.29 พบว่าค่า P-Value เท่ากับ 0.006 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 และวิธี Mann-Whitney Test ดังรูปที่ 4.30 พบว่าได้ค่า P-Value เท่ากับ 0.042 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าปฏิเสธสมมติฐานว่าง คือ ประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคของไซโคลนสครับเบอร์สูงกว่าไซโคลนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Group Statistics								
	Condition	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean			
D_eff	1	3	43.06	5.712	3.298			
	9	2	71.73	5.922	4.187			
Independent Samples Test								
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
D_eff	Equal variances assumed	0.013	0.917	-5.431	3	0.012	-28.673	5.279
	Equal variances not assumed			-5.379	2.202	0.027	-28.673	5.330

รูปที่ 4.29 ค่าการเปรียบเทียบความแตกต่างสถิติโดยใช้วิธี T-Test ระหว่างไซโคลน และไซโคลนสครับเบอร์

Ranks			
Dia	N	Mean Rank	Sum of Ranks
D_eff	15	3	2.0
	7.5	2	4.5

Test Statistics ^b	
	D_eff
Mann-Whitney U	0
Wilcoxon W	6
Z	-1.732
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.083
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	0.2a

a. Not corrected for ties.
b. Grouping Variable: L to G ratio

รูปที่ 4.30 ค่าการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้วิธี Mann-Whitney Test ระหว่างไซโคลน และไซโคลนสกรับเบอร์

5. เปรียบเทียบระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบันกับไซโคลนสกรับเบอร์

เปรียบเทียบระหว่าง ระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบัน (สภาวะที่ 10) เป็นระบบบำบัดมลพิษอากาศชนิดหอพ่นน้ำ (Spray Tower) มีขนาดหน้าตัดท่อที่ 40 ซม. มีหัวฉีดน้ำชนิด Full Cone Nozzles ขนาด 3/8 นิ้ว จำนวน 2 หัว โดยมีอัตราการใช้น้ำที่ 28 ลิตรต่อนาที หรืออัตราส่วนระหว่างน้ำต่ออากาศที่ 0.47 ลิตรต่อ ลบ.ม.กับไซโคลนสกรับเบอร์ (สภาวะที่ 9) โดยให้ประสิทธิภาพการ กำจัดอนุภาค ที่ ร้อยละ 69.05 และ 71.94 ตามลำดับ ซึ่งไซโคลนสกรับเบอร์ ให้ประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคสูงกว่าระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบันเล็กน้อย เมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ วิธี T-Test ในการทดสอบนั้น จำเป็นต้องอาศัย จำนวนชุดข้อมูลของประสิทธิภาพการบำบัดมลพิษอากาศอย่างน้อยสภาวะละ 2 ค่า ดังนั้นจึงใช้วิธีการคำนวณประสิทธิภาพการบำบัดมลพิษอากาศแต่ละครั้งที่ทำการตรวจวัดในแต่ละสภาวะ ให้ผลการ ทดสอบ ดังรูปที่ 4.31 พบว่าค่า P-Value เท่ากับ 0.086 ซึ่งมากกว่า 0.05 และวิธี Mann-Whitney Test ดังรูปที่ 4.32 พบว่าได้ค่า P-Value เท่ากับ 0.060 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่ายอมรับสมมติฐานว่าง คือ ประสิทธิภาพการกำจัด อนุภาคของไซโคลนสกรับเบอร์ ไม่แตกต่างกับระบบ บัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้สาเหตุหนึ่งคาดว่า

เป็นผลจาก ระบบ บำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบัน นั้นมีลักษณะการป้อนอากาศโดยใช้พัดลมชนิดเป่าอากาศที่ติดตั้งหัวจ่ายอากาศบริเวณใต้เตาเผามูลฝอย จึงเกิดการปั่นป่วน และฟุ้งกระจายของอากาศ ทำให้เถ้าที่ตกค้างอยู่ ลอยตัวตามกระแสอากาศไป ซึ่งเถ้าดังกล่าวเป็นอนุภาคขนาดใหญ่สามารถกำจัดได้ง่าย แต่ไซโคลนสกรับเบอร์ใช้พัดลมชนิดดูดอากาศ ติดตั้งบริเวณส่วนปลายของไซโคลนสกรับเบอร์ ทำให้เกิดการปั่นป่วน และฟุ้งกระจายของอากาศน้อยกว่า จึงมีเพียงอนุภาคจากการเผาไหม้ซึ่งมี อนุภาคขนาดเล็ก และกำจัดได้ยากกว่า จึงเป็นข้อจำกัดในการแปลผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคระหว่าง 2 สภาวะนี้

ส่วน ประสิทธิภาพการ กำจัด ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบัน คือ ร้อยละ 17.83 เมื่อเปรียบเทียบกับ ไซโคลนสกรับเบอร์ นั้น จะเห็นได้ว่ามีประสิทธิภาพน้อยกว่า คือ ร้อยละ 85.29 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐาน คือ ประสิทธิภาพการกำจัด ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของไซโคลนสกรับเบอร์ สูงกว่าระบบ บำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบัน เมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ วิธี T-Test ในการ ทดสอบนั้น จำเป็นต้องอาศัยจำนวนชุดข้อมูลของประสิทธิภาพการบำบัดมลพิษอากาศอย่างน้อยสภาวะละ 2 ค่า ดังนั้น จึงใช้วิธีการคำนวณประสิทธิภาพการบำบัดมลพิษอากาศแต่ละครั้งที่ทำการตรวจวัด โดยให้ผลการ ทดสอบ ดังรูปที่ 4.31 พบว่าค่า P-Value เท่ากับ 0.016 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 และวิธี Mann-Whitney Test ดังรูปที่ 4.32 พบว่าได้ค่า P-Value เท่ากับ 0.025 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ปฏิเสธ สมมติฐานว่าง คือ ประสิทธิภาพการกำจัด ก๊าซ คาร์ บอนมอนอกไซด์ของ ไซโคลนสกรับเบอร์ สูงกว่าระบบ บำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ใน ปัจจุบันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Group Statistics							
	Condition	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean		
D_eff	9	2	71.94	5.922	4.187		
	10	2	69.05	6.275	4.437		
C_eff	9	3	85.29	6.456	3.728		
	10	3	17.83	25.836	14.916		

Independent Samples Test								
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
D_eff	Equal variances assumed			2.079	2	0.173	12.682	6.101
	Equal variances not assumed			2.079	1.993	0.174	12.682	6.101
C_eff	Equal variances assumed	4.659	0.097	3.217	4	0.032	49.455	15.375
	Equal variances not assumed			3.217	2.249	0.072	49.455	15.375

รูปที่ 4.31 ค่าการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้วิธี T-Test ระหว่าง
ไซโคลนสกรับเบอร์ และระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบัน

Ranks			
L to G ratio	N	Mean Rank	Sum of Ranks
D_eff	0.27	4	2.75
	0.67	4	6.25
C_eff	0.27	4	3.75
	0.67	4	5.25

Test Statistics ^b		
	D_eff	C_eff
Mann-Whitney U	1	5
Wilcoxon W	11	15
Z	-2.021	-0.866
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.043	0.386
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	0.057a	0.486a

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: L to G ratio

รูปที่ 4.32 ค่าการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติ โดยใช้วิธี Mann-Whitney Test ระหว่าง ไชโคลนสครับเบอร์ และระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบัน

6. สรุปผลการวิเคราะห์ปัจจัย และเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

ผลการวิเคราะห์ปัจจัย และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ ไชโคลนสครับเบอร์ ทั้ง 3 ปัจจัย และการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ระหว่างของ ไชโคลนสครับเบอร์ กับ ไชโคลน และ ระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบัน ในการบำบัดอนุภาค และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ แสดงดังตารางที่ 4.13 และ 4.14 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.13 สรุปผลการวิเคราะห์ปัจจัยและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาค

กรณีเปรียบเทียบ	ผลการวิเคราะห์		
	การเปรียบเทียบค่าจากการทดลอง	การเปรียบเทียบโดยใช้วิธี T-Test ($\alpha = 0.05$)	การเปรียบเทียบโดยใช้วิธี Mann-Whitney Test ($\alpha = 0.05$)
L/G ratio สูง : L/G ratio ต่ำ	L/G ratio สูง ประสิทธิภาพสูงกว่า	L/G ratio สูง ประสิทธิภาพสูงกว่า	L/G ratio สูง ประสิทธิภาพสูงกว่า
หน้าตัดท่อปกติ : หน้าตัดท่อลดร่องละ 50	หน้าตัดท่อลดร่องละ 50 ประสิทธิภาพสูงกว่า	ไม่พบความแตกต่างของประสิทธิภาพ	ไม่พบความแตกต่างของประสิทธิภาพ
ฉีดน้ำตามกระแสอากาศ : ฉีดน้ำสวนกระแส	ฉีดน้ำสวนกระแส ประสิทธิภาพสูงกว่า	ไม่พบความแตกต่างของประสิทธิภาพ	ไม่พบความแตกต่างของประสิทธิภาพ
ไซโคลนสกรับเบอร์ (สภาวะที่ 9) : ไซโคลน (สภาวะที่ 1)	ไซโคลนสกรับเบอร์ ประสิทธิภาพสูงกว่า	ไซโคลนสกรับเบอร์ ประสิทธิภาพสูงกว่า	ไซโคลนสกรับเบอร์ ประสิทธิภาพสูงกว่า
ไซโคลนสกรับเบอร์ (สภาวะที่ 9) : ระบบที่ใช้ในปัจจุบัน (สภาวะที่ 10)	ไซโคลนสกรับเบอร์ ประสิทธิภาพสูงกว่า	ไม่พบความแตกต่างของประสิทธิภาพ	ไม่พบความแตกต่างของประสิทธิภาพ

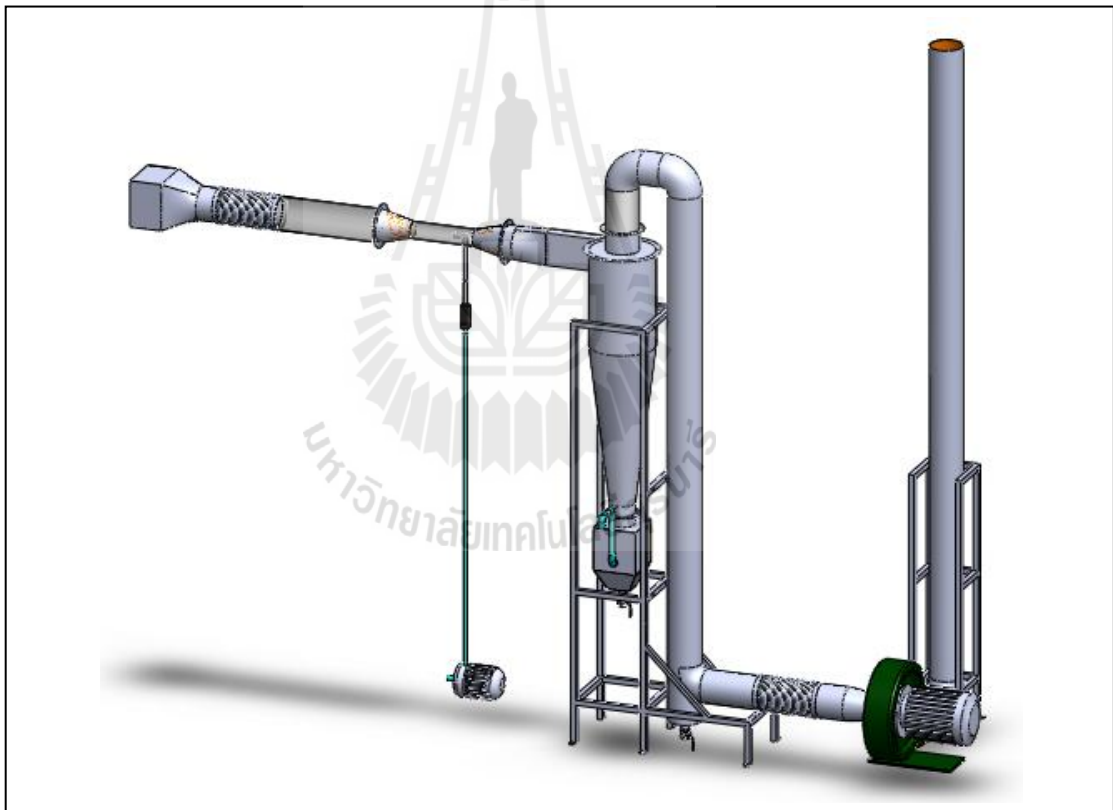
ตารางที่ 4.14 สรุปผลการวิเคราะห์ปัจจัย และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด

ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

กรณีเปรียบเทียบ	ผลการวิเคราะห์		
	การเปรียบเทียบค่าจากการทดลอง	การเปรียบเทียบโดยใช้วิธี T-Test ($\alpha = 0.05$)	การเปรียบเทียบโดยใช้วิธี Mann-Whitney Test ($\alpha = 0.05$)
L/G ratio สูง : L/G ratio ต่ำ	L/G ratio สูง ประสิทธิภาพสูงกว่า	ไม่พบความแตกต่างของประสิทธิภาพ	ไม่พบความแตกต่างของประสิทธิภาพ
หน้าตัดท่อปกติ : หน้าตัดท่อลดร่องละ 50	หน้าตัดท่อลดร่องละ 50 ประสิทธิภาพสูงกว่า	หน้าตัดท่อลดร่องละ 50 ประสิทธิภาพสูงกว่า	หน้าตัดท่อลดร่องละ 50 ประสิทธิภาพสูงกว่า
ฉีดน้ำตามกระแสอากาศ : ฉีดน้ำสวนกระแส	ฉีดน้ำสวนกระแส ประสิทธิภาพสูงกว่า	ไม่พบความแตกต่างของประสิทธิภาพ	ไม่พบความแตกต่างของประสิทธิภาพ
ไซโคลนสกรับเบอร์ (สภาวะที่ 9) : ระบบที่ใช้ในปัจจุบัน (สภาวะที่ 10)	ไซโคลนสกรับเบอร์ ประสิทธิภาพสูงกว่า	ไซโคลนสกรับเบอร์ ประสิทธิภาพสูงกว่า	ไซโคลนสกรับเบอร์ ประสิทธิภาพสูงกว่า

4.4 ไชโคลนสกรับเบอร์สำหรับใช้งานจริง

ไชโคลนสกรับเบอร์ที่ได้นำเสนอในข้างต้น นั้น เป็นเพียง การออกแบบสำหรับเพิ่มความสะดวกในการ ศึกษาครั้งนี้เท่านั้น แต่ในการใช้งานจริงไม่จำเป็นต้องมีจุดตรวจวัดคุณภาพอากาศ ทำให้สามารถตัดระบบท่อส่วนที่ 1 ออกไปได้ และสามารถลดความยาวของระบบท่อส่วนที่ 3 ให้สั้นลงได้ โดย ไชโคลนสกรับเบอร์สำหรับนำไปใช้งานจริง นั้น มีรูปแบบที่ก ะทัดรัด ขึ้น ดังรูปที่ 4.33 สามารถคำนวณค่าความดันสูญเสียของไชโคลนสกรับเบอร์ ได้ค่าความดันสูญเสีย ประมาณ 2120 ปาสคาล หรือประมาณ 205 มม.น้ำ โดยแสดงรายละเอียดการคำนวณดังภาคผนวก จ . การวิจัยนี้จึงเลือกพัดลมขนาด 1 แรงม้า อัตราการไหลของอากาศ 21 ลบ.ม.ต่อนาที และความดันที่ 220 มม.น้ำ



รูปที่ 4.33 ไชโคลนสกรับเบอร์สำหรับใช้งานจริง

4.4.1 การประเมินค่าใช้จ่าย

ในการสร้าง ไซโคลนสครับเบอร์นั้น มีค่าใช้จ่ายในส่วน of ค่าวัสดุอุปกรณ์ โดยสามารถแจกแจงรายละเอียดดังตารางที่ 4.15 ดังนี้

ตารางที่ 4.15 ค่าใช้จ่ายในการสร้างไซโคลนสครับเบอร์

รายการ	ราคา (บาท)
ชุด	1,070.00
ท่ออ่อน 2 ชั้น	535.00
ท่อสครับเบอร์ขนาดหน้าตัด 7.5 ซม.	1,605.00
ระบบท่ออากาศ	8,560.00
ท่ออากาศสามทาง	535.00
ข้องอ (กลีบส้ม) 3 ชั้น	2,086.50
ไซโคลน	5,885.00
งานโครงค้ำยัน	3,210.00
หัวฉีดน้ำ LECHLER FULL CONE NOZZLE 1 หัว	1,070.00
พัดลม	12,000.00
ประเก็นยาง (สำหรับกันสะเทือนพัดลม)	160.00
ปั้มน้ำหอยโข่ง ขนาดแรงดัน 2 บาร์	980.00
เครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำ	1,926.00
บอลวาล์วทองเหลือง SANWA ขนาด 1 นิ้ว 2 อัน	350.00
ประเก็นทนความร้อน	980.00
ซิลิโคนทนความร้อน	85.00
ระบบไฟฟ้า	1,100.00
ระบบท่อน้ำ	562.50
อื่น ๆ	839.00
รวม	43,539.00

4.4.2 การบริหารจัดการไซโคลนสครับเบอร์

การกำจัดมูลฝอยของชุมชนนั้น เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และลดผลกระทบจากมลพิษอากาศ จึงควรคำนึงถึง การจัดการ มูลฝอยที่นำมากำจัด และการใช้งานของระบบบำบัดมลพิษอากาศอย่างถูกวิธีดังนี้

1. มูลฝอยที่นำมากำจัดด้วยวิธีการเผา

จากปริมาณมูลฝอยที่เพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ โดยส่วนใหญ่เกิดจากนอกเขตเทศบาล และในเขตองค์การบริหารส่วนตำบล หากชุมชนสามารถจัดการมูลฝอยที่เกิดขึ้น และลดผลกระทบจากการกำจัดมูลฝอยที่อาจเกิดขึ้นต่อชุมชนได้นั้น ย่อมเป็นการพัฒนาที่ยั่งยืนให้แก่ชุมชน ตามหลักวิชาการปัจจุบัน แนวทางการจัดการกับมูลฝอยที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่าง ๆ ควรใช้หลักการ 3R คือ การลด (Reduce) การใช้ซ้ำ (Reuse) และการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) เช่น โลหะ ขวดพลาสติก แก้ว กระดาษ เป็นต้น รวมถึงการกำจัดที่ได้ผลพลอยได้ เช่น การนำเศษอาหาร เศษพืช มาทำปุ๋ยหมัก หรือพลังงาน เป็นต้น ก่อนที่จะนำมูลฝอยมากำจัดด้วยวิธีการเผา นั้น ต้องมีการแยกมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ ออกเสียก่อน เพื่อป้องกันการอุดตันของเตาเผา มูลฝอย ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้

2. การจัดการเตาเผามูลฝอย

ในการใช้งานเตาเผามูลฝอยแต่ละครั้งนั้น จะเกิดเถ้าขึ้นภายในเตาเผา มูลฝอย จึงจำเป็นต้องนำเถ้าดังกล่าวออกก่อนใช้งาน เพื่อให้อากาศที่จำเป็นต่อการเผาไหม้สามารถไหลผ่านเข้าสู่เตาเผา มูลฝอย และเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ขึ้น

3. ขั้นตอนการใช้งานไซโคลนสครับเบอร์

เนื่องจากไซโคลนสครับเบอร์ เป็นระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ไม่มีส่วนที่เคลื่อนไหว ใช้งานง่าย ไม่ต้องการผู้ชำนาญการ และใช้สารเคมีใด ๆ จึงเหมาะสำหรับการใช้งานในระดับชุมชน โดยมีขั้นตอนการใช้งานดังนี้

- 3.1 เปิดพัดลมดูดอากาศของไซโคลนสครับเบอร์ ในส่วนนี้ทำให้อากาศที่จำเป็นในการเผาไหม้ของมูลฝอย สามารถไหลเข้าไปในเตาเผา มูลฝอยได้ และเป็นการนำพามลพิษอากาศเข้าสู่ระบบบำบัดอีกด้วย
- 3.2 เปิดปั๊ม และวาล์วน้ำ เพื่อให้ น้ำฉีดเป็นละอองสำหรับดักจับ มลพิษอากาศ บริเวณท่อสครับเบอร์ โดยปรับอัตราการไหลที่ 8 ลิตรต่อนาที
- 3.3 น้ำเสียที่เกิดจากไซโคลนสครับเบอร์จะนำเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียต่อไป
- 3.4 หลังจากใช้งานเสร็จแล้ว ให้ปิดปั๊ม และ วาล์วน้ำ ตามด้วยปิดพัดลมดูดอากาศของระบบไซโคลนสครับเบอร์

3.5 นำอนุภาคที่รวบรวมได้จากชุดรวบรวมอนุภาค และน้ำเสีย ไปกำจัดด้วยวิธีฝังหลบ หรือวิธีอื่น ๆ ที่เหมาะสม

4. การบำรุงรักษาไซโคลนสกรับเบอร์

การใช้งานไซโคลนสกรับเบอร์นั้น จำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาหลังการใช้งานเป็นประจำเพื่อให้ไซโคลนสกรับเบอร์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพดังนี้

4.1 ชิ้นส่วนที่ต้องการ การบำรุงรักษาเป็นประจำ คือ หัวฉีด เพราะต้องสัมผัสกับมลพิษอากาศโดยตรงซึ่งอาจทำให้เกิดการอุดตันได้ จึงควร

ทำความสะอาดอย่างน้อยสัปดาห์ละ 1 ครั้ง โดยการถอดท่อสกรับเบอร์ออกจากไซโคลนสกรับเบอร์ และถอดหัวฉีดที่อยู่กลางท่อสกรับเบอร์มาทำความสะอาด

4.2 บริเวณจุดเชื่อมต่อต่าง ๆ ว่ามีรอยร้าวหรือไม่ อาจเกิดจากการขันน็อตไม่แน่นเพียงพอ หรือเกิดการชำรุดของแผ่นประเกณฑความร้อน หากพบรอยร้าวควรมีการเปลี่ยนประเกณฑความร้อน และขันน็อตให้แน่น

4.3 เมื่อมีการใช้งานไซโคลนสกรับเบอร์เป็นเวลานาน อาจเกิดการสะสมของสิ่งสกปรก หรือการชำรุด ภายในชิ้นส่วนต่าง ๆ ได้ซึ่งชิ้นส่วนเหล่านั้นสามารถถอดและประกอบได้ง่ายไม่ซับซ้อน เพื่อให้ง่ายต่อการติดตั้ง และซ่อมบำรุง

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

5.1.1 ผลการศึกษาการออกแบบไซโคลนสกรับเบอร์

การศึกษานี้เริ่มจากการหาสัดส่วนมูลฝอยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยมี สัดส่วนเศษอาหาร พลาสติก กระดาษ ใบไม้-กิ่งไม้ และโฟม ร้อยละ 39 30 24 5 และ 2 ตามลำดับ นำสัดส่วนดังกล่าว มาคำนวณความต้องการอากาศในการเผาไหม้ของเตาเผามูลฝอยขนาดเล็ก ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (เตาอัตรากา) ได้เป็น 12 ลบ.ม.ต่อนาที และนำค่าความต้องการ อากาศ ดังกล่าว ออกแบบไซโคลนสกรับเบอร์ โดยแบ่งเป็น 3 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่ ส่วนแรก เป็นไซโคลน ซึ่งในการศึกษานี้เลือกใช้ไซโคลนประสิทธิภาพสูง เพราะมีขนาดเล็ก และสามารถ กำจัดอนุภาคขนาด 5 ไมครอนได้ โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ซม. สูง 120 ซม. ส่วนที่ 2 เป็นสกรับเบอร์ ซึ่งเป็นท่อช่วงหนึ่งที่มีการ ติดตั้งหัวฉีดแบบ Axial flow สามารถฉีดละอองน้ำ ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางในช่วงประมาณ 300-500 ไมครอน โดยท่อสกรับเบอร์แบ่งเป็น 2 แบบ คือ ท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดปกติ หรือมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. และท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดลดลง ร้อยละ 50 หรือมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.5 ซม. ส่วนที่ 3 เป็นระบบท่อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. ความเร็วอากาศภายในท่อ 13 เมตรต่อวินาที กำหนดให้มีจุดตรวจวัดมลพิษอากาศก่อน และหลังผ่าน ไซโคลนสกรับเบอร์ โดยใช้วิธีเทียบเคียง U.S.EPA. Method 1 คือ จุดเจาะปล่องอยู่ปลายทางการไหล ของอากาศ 70 ซม. หรือ 5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ และอยู่ต้นทางการไหลของอากาศ 30 ซม. หรือ 2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ

5.1.2 ผลการศึกษาการปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดมลพิษอากาศ

ผลการทดสอบปัจจัย ต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดมลพิษอากาศ ของไซโคลนสกรับเบอร์ ที่พัฒนาขึ้น ได้แก่ ค่า L/G ratio หน้าตัดขนาดท่อสกรับเบอร์ และ ทิศทางการฉีดละอองน้ำ โดยตรวจวัดมลพิษอากาศ 4 ประเภท ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ก๊าซ ออกไซด์ของไนโตรเจน ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และอนุภาค จากผลการตรวจวัดมลพิษอากาศจาก การเผามูลฝอยนั้น มีปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์น้อยมาก หรือไม่สามารตรวจพบได้ ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะมูลฝอยที่นำมาเผานั้นมีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบในสัดส่วนที่น้อยมาก คือ ร้อยละ 0.1 และผลการตรวจวัดก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนก่อนและหลังผ่านระบบบำบัดมลพิษอากาศ

มีค่าไม่แตกต่างกัน เนื่องจากการศึกษานี้ ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 600-800 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่อุณหภูมิสูง และใช้อัตราการป้อนอากาศที่มากพอให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ จึงไม่สามารถกำจัดก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนได้ เพราะการควบคุมก๊าซชนิดนี้ ทำได้โดยลดอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ และ/หรือ การลดปริมาณออกซิเจนในการเผาไหม้ ดังนั้นในการศึกษานี้ จึงนำเสนอเฉพาะประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาค และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

ผลการทดสอบ ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด อนุภาค และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ในภาพรวมกล่าวได้ว่าไซโคลนสกรับเบอร์ที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพสูง เมื่อค่า L/G ratio สูง ขนาดหน้าตัดท่อสกรับเบอร์ลดลงร้อยละ 50 และการฉีดละอองน้ำสวนกระแส อากาศ อย่างไรก็ตามในหลายกรณี ยังไม่พบความแตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่องจากจำนวนข้อมูลที่ตรวจวัดแต่ละสภาวะมีจำนวนน้อย และการศึกษาที่ใช้ข้อมูลย่อยที่เกิดขึ้นจริง ผลการทดลองจึงมีความแปรปรวนจากปัจจัยที่เหนือการควบคุม เช่น ขนาด และชนิดของมูลฝอย

5.1.3 ผลการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างไซโคลนกับไซโคลนสกรับเบอร์

ผลการศึกษาเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาค ระหว่างไซโคลน ซึ่งไม่มีการฉีดละอองน้ำ กับไซโคลนสกรับเบอร์ ซึ่งมีการฉีดละอองน้ำเข้าช่วยในการจับอนุภาคขนาดเล็ก แล้วจึงใช้ไซโคลนจับละอองน้ำอีกต่อหนึ่ง ให้ค่าประสิทธิภาพ การกำจัดอนุภาค คือ ร้อยละ 43.06 และ 71.73 ตามลำดับ สรุปได้ว่าระบบไซโคลน สกรับเบอร์ มีประสิทธิภาพในการกำจัดอนุภาค สูงกว่าไซโคลน และเป็นค่าที่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

5.1.4 ผลการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างไซโคลนสกรับเบอร์กับ ระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบัน

ระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบัน เป็นระบบบำบัดมลพิษอากาศชนิด หอพ่นน้ำ (Spray Tower) กับไซโคลนสกรับเบอร์ ให้ประสิทธิภาพการ กำจัดอนุภาคที่ ร้อยละ 69.05 และ 71.94 ตามลำดับ ซึ่งไซโคลนสกรับเบอร์ให้ประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคสูงกว่า ระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบัน เล็กน้อย แต่ไม่พบความ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ทั้งนี้สาเหตุหนึ่งคาดว่าเป็นผลจากลักษณะการป้อนอากาศ ที่แตกต่างกัน ทำให้ระบบบำบัดมลพิษอากาศ ที่ใช้ในปัจจุบัน มีอนุภาคขนาดใหญ่กว่าเข้าไปในระบบจึงมีความได้เปรียบในด้าน ประสิทธิภาพ จึงเป็นข้อจำกัดในการแปลผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคระหว่าง 2 สภาวะนี้ ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ ในปัจจุบัน และไซโคลนสกรับเบอร์มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 17.83 และ 85.29 ตามลำดับ สรุปได้ว่า ไซโคลนสกรับเบอร์ มีประสิทธิภาพสูงกว่าและเป็นค่าที่สูงกว่า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการตรวจวัดมลพิษอากาศนั้นจะเห็นได้ว่ายังมีค่าความแปรปรวนของข้อมูลอยู่พอสมควร ดังนั้นจึงควรเพิ่มจำนวนตัวอย่างในการตรวจวัดให้มากกว่านี้
2. การตรวจวัดอนุภาค ควรตรวจวัดเป็นช่วงขนาด เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคในแต่ละช่วงขนาดอนุภาคของไซโคลนสกรับเบอร์
3. ในการใช้งานระบบไซโคลนสกรับเบอร์จะมีความร้อนบริเวณท่อบริเวณสูงพอสมควร น่าจะมีการนำความร้อนส่วนนี้ไปใช้ประโยชน์ เช่น ลดความชื้นของมูลฝอยก่อนเผา เป็นต้น

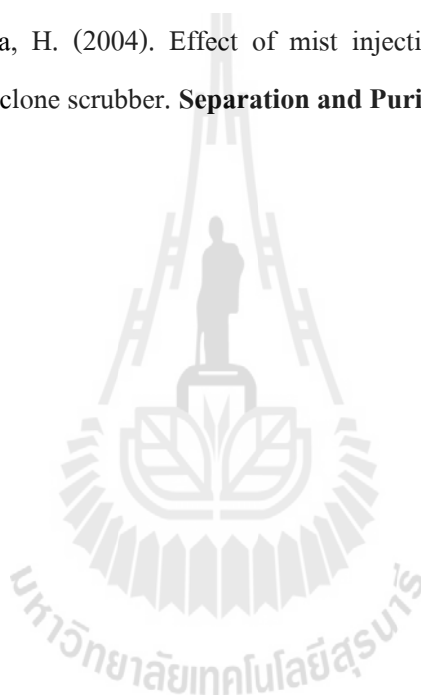


รายการอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ (2549). **สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย. ปี 2548.** หน้า 23.
- กรมควบคุมมลพิษ (2550). **สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย. ปี 2549.** หน้า 17.
- กรมควบคุมมลพิษ (2551). **สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย. ปี 2550.** หน้า 18.
- กรมควบคุมมลพิษ (2552). **สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย. ปี 2551.** หน้า 18.
- กรมควบคุมมลพิษ . **ข้อมูลการลดการใช้ประโยชน์ขยะมูลฝอยชุมชนของเทศบาล** . [ออนไลน์] .:
<http://www.pcd.go.th/download/waste.cfm?task=s2#bottom>
- กรมควบคุมมลพิษ . **มาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากเตาเผามูลฝอย** . [ออนไลน์] .:
http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_airsnd03.html.
- กฤษ มณีรัตน์ (2542) . **การออกแบบและศึกษาประสิทธิภาพของเตาเผาแบบ Rotary Kiln.**
วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- คณะทำงานศึกษาความเหมาะสมการจัดการขยะชุมชน ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (2547).
**โครงการศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาระบบการจัดการมูลฝอยที่เหมาะสมสำหรับมหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีสุรนารี.**
- ฉัตรชัย นิยมมล (2548). **ระบบกำจัดฝุ่นและการระบายอากาศ** . สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-
ญี่ปุ่น) กรุงเทพมหานคร.
- ฐาปะนะ วิชัย (2549). **การประมาณค่าความร้อนของมูลฝอยโดยใช้ลักษณะสมบัติทางกายภาพของ
มูลฝอย.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- นภาพร พานิช แสงสันต์ พาณิช วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ วิจิตรา จงวิศาล และวราวุธ เสือดี (2547).
ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร.
- ธัญลภัส วิสุทธิ (2547). **การพัฒนาไซโคลนสกรับเบอร์สำหรับเก็บฝุ่นจากงานเจียร** . วิทยานิพนธ์
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.
- มานะ อมรกิจบำรุง และ สามารท พรเจริญ (2546). **การพัฒนาไซโคลนสกรับเบอร์ประสิทธิภาพสูง** .
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะ
พลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

- เลอศักดิ์ โดสูงเนิน (2544). การควบคุมมลภาวะทางอากาศและน้ำจากเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็ก . วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- วันที พันธุ์ประสิทธิ์ (2549). การระบายอากาศในโรงงานอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร สำนักงานจัดการคุณภาพอากาศและเสียง (2549) **คู่มือการตรวจวัดมลพิษทางอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสีย ฉบับที่ 1**
- สุภกนิษฐ์ สมศรี (2545). การศึกษาแนวทางการจัดการขยะมูลฝอยในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- อัศวิน สืบบุญการณ์ (2544). การพัฒนาเตาเผาขยะมูลฝอยชุมชนขนาดเล็ก . วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- David, H.F., and Bela, G. (1999). **HAZARDOUS WASTE AND SOLID WASTE**. LEWIS PUBLISHERS: New York
- Kuo, J.H., Tseng, H.H., Rao, P.S., Wey, M.Y. (2008). The prospect and development of incinerators for municipal solid waste treatment and characteristics of their pollutants in Taiwan. **Applied Thermal Engineering**, 28, 2305-2314
- Lecher Co.Ltd., **Droplet size rang** [On-line]. Available : http://www.lechler.de/uk/main/working_aids/droplet_size_range/index.shtml
- Lee, B.K., Jung, K.R., Park, S.H. (2008). Development and application of a novel swirl cyclone scrubber-(1) Experimental. **Aerosol Science**, 39, 1079-1088.
- Management and Handling Rules (2000). Quartering Method, Ministry of Environment and Forests, Govt. of India, MSW
- Meikap, B.C., and Biswas, M.N. (2004). Fly-ash removal efficiency in a modified multi-stage bubble column scrubber, **Separation and Purification Technology**., 36, 177-190.
- Ministry of Environment and Forests, Govt.of India (2000)., **MSW (Management and Handling Rules 2000)** [On-line] Available : <http://www.mnef.nic.in>
- Noll, K.E. (1999). **Fundamentals of Air Quality Systems: Design of Air Pollution Control Devices**, An American Academy of Environmental Engineers Publication.

- Pollution Control Department (2004). **State of Municipal Solid Waste**. Thailand State of Pollution Report, 49
- Slavin, R.E. (1984). **Meta-analysis in education**: How has it been used? Educational Researcher.
- Stairmand, C.J. (1951). The Design and Performance of Cyclone Separators, **Transactions of Industrial Chemical Engineers**, 29.
- Theodore, L., and Buonicore, A.J. (1994). **Air Pollution Control Equipment: Selection, Design, Operation, and Maintenance**, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Wayne, T. D. (2000). **Air Pollution Engineering Manual**, A Wiley-Interscience Publication.
- Yang, K.S., and Yoshida, H. (2004). Effect of mist injection position on particle separation performance of cyclone scrubber. **Separation and Purification Technology**, 37, 221-230.





ภาคผนวก ก

การหาคัดส่วนมูลฝอยที่เหมาะสมได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

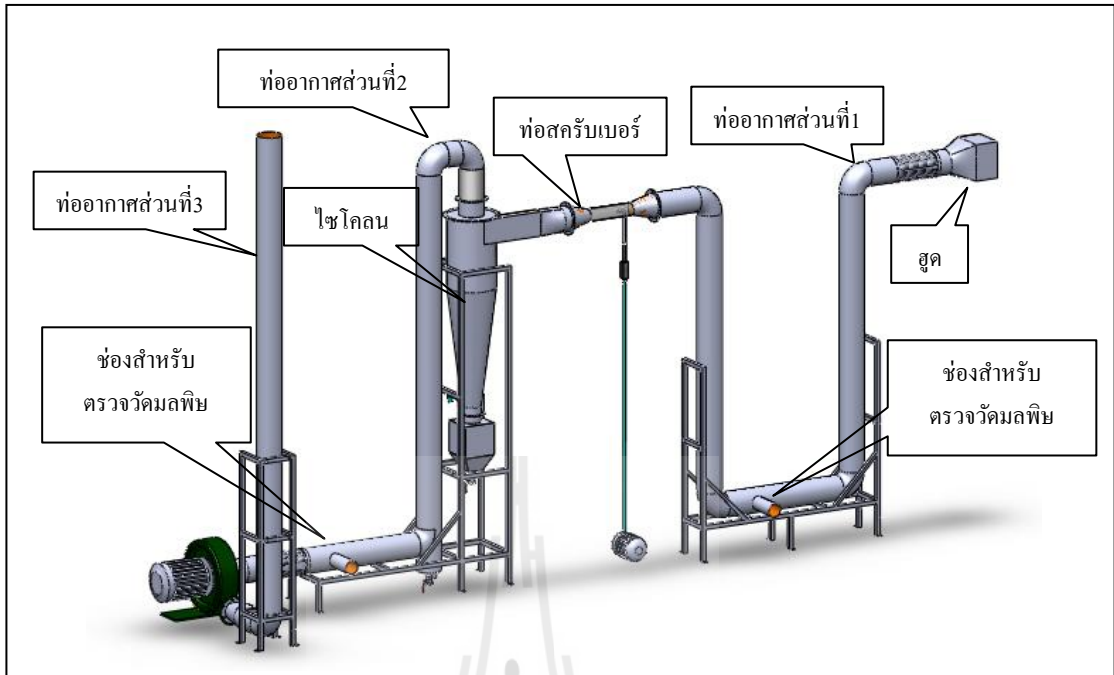
ตารางที่ ก.1 การหาสัดส่วนของมูลฝอยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วันที่	ประเภท	น้ำหนักขยะ ก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักขยะ หลังอบ (กรัม)	น้ำหนัก ความชื้น (กรัม)	ร้อยละโดย น้ำหนัก (แห้ง)	หมายเหตุ
11-ม.ค.-53	พลาสติก	1542.11	1190.56	351.55	30.77	
	กระดาษ	585.06	425.72	159.34	11.00	
	โฟม	72.31	62.59	9.72	1.62	ร้อยละของความชื้น
	เศษอาหาร	803.36	270.92	532.44	7.00	36.85
	ใบไม้-กิ่งไม้	866.56	493.82	372.74	12.76	
	รวม	3869.40	2443.61	1425.79	63.15	
12-ม.ค.-53	พลาสติก	932.68	684.54	248.14	21.56	
	กระดาษ	1031.44	778.54	252.90	24.52	
	โฟม	79.12	67.03	12.09	2.11	ร้อยละของความชื้น
	เศษอาหาร	1094.09	570.61	523.48	17.97	32.94
	ใบไม้-กิ่งไม้	37.54	28.22	9.32	0.89	
	รวม	3174.87	2128.94	1045.93	67.06	
14-ม.ค.-53	พลาสติก	829.41	585.3	244.11	14.70	
	กระดาษ	1196.15	819.01	377.14	20.56	
	โฟม	82.58	65.08	17.50	1.63	ร้อยละของความชื้น
	เศษอาหาร	1663.57	538.82	1124.75	13.53	47.32
	ใบไม้-กิ่งไม้	211.08	89.78	121.30	2.25	
	รวม	3982.79	2097.99	1884.80	52.68	
16-ม.ค.-53	พลาสติก	1183.59	790.49	393.10	23.18	
	กระดาษ	877.02	548.3	328.72	16.08	
	โฟม	77.58	68.21	9.37	2.00	ร้อยละของความชื้น
	เศษอาหาร	1118.94	337.2	781.74	9.89	46.18
	ใบไม้-กิ่งไม้	152.71	90.87	61.84	2.66	
	รวม	3409.84	1835.07	1574.77	53.82	

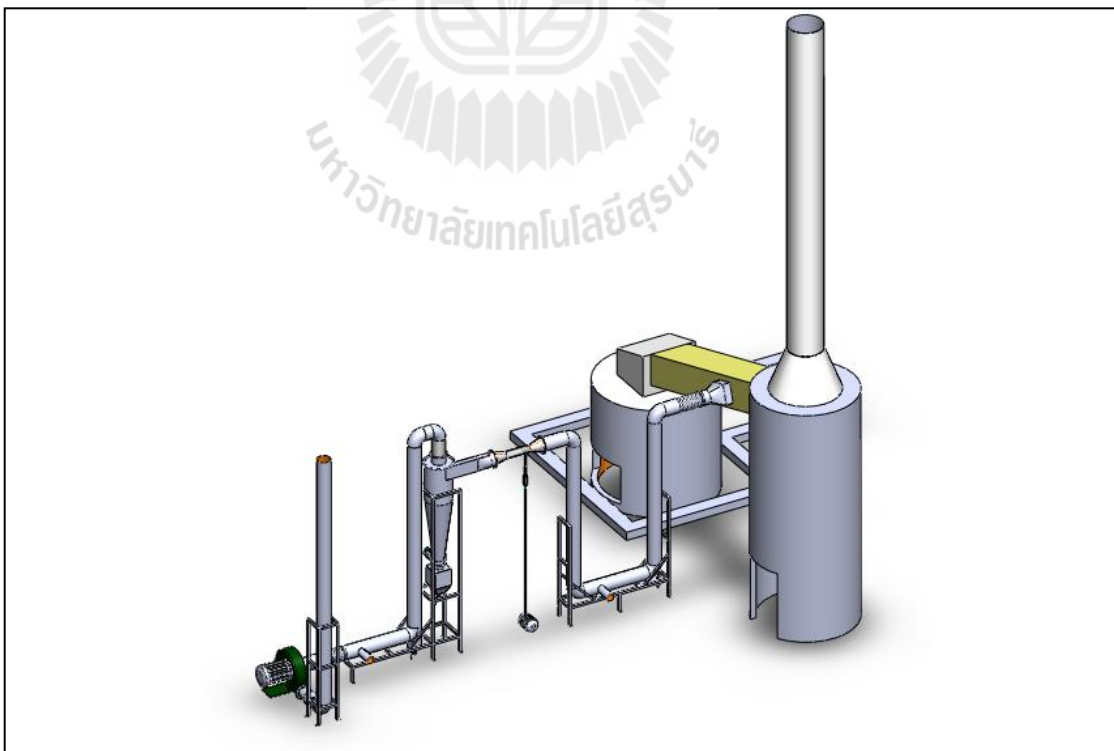
ตารางที่ ก.1 การหาสัดส่วนของมูลฝอยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (ต่อ)

วันที่	ประเภท	น้ำหนักขยะ ก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักขยะ หลังอบ (กรัม)	น้ำหนัก ความชื้น (กรัม)	ร้อยละโดย น้ำหนัก (แห้ง)	หมายเหตุ
18-ม.ค.-53	พลาสติก	936.63	706.40	230.23	20.20	
	กระดาษ	598.30	417.58	180.72	11.94	
	โฟม	51.00	42.83	8.17	1.22	ร้อยละของความชื้น
	เศษอาหาร	1870.42	700.56	1169.86	20.04	45.78
	ใบไม้-กิ่งไม้	40.30	28.62	11.68	0.82	
	รวม	3496.65	1895.99	1600.66	54.22	
20-ม.ค.-53	พลาสติก	1146.96	894.10	252.86	22.65	
	กระดาษ	1015.24	671.00	344.24	17.00	
	โฟม	13.95	12.75	1.20	0.32	ร้อยละของความชื้น
	เศษอาหาร	1713.21	655.08	1058.13	16.60	42.34
	ใบไม้-กิ่งไม้	57.73	43.08	14.65	1.09	
	รวม	3947.09	2276.01	1671.08	57.66	
21-ม.ค.-53	พลาสติก	1041.79	716.60	325.19	19.08	
	กระดาษ	958.18	657.86	300.32	17.52	
	โฟม	34.60	32.03	2.57	0.85	ร้อยละของความชื้น
	เศษอาหาร	1623.80	816.12	807.68	21.73	39.12
	ใบไม้-กิ่งไม้	97.54	63.84	33.70	1.70	
	รวม	3755.91	2286.45	1469.46	60.88	

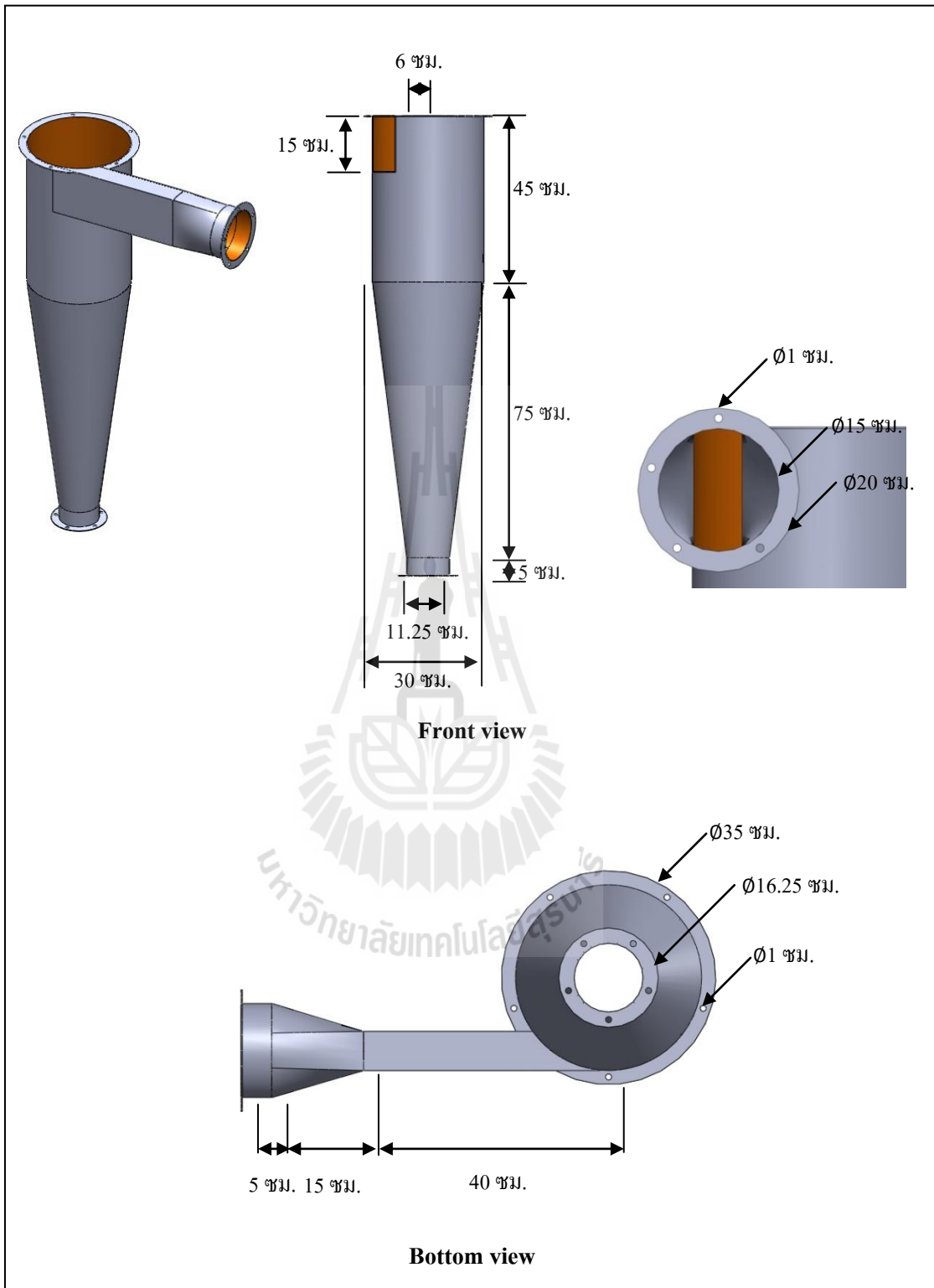




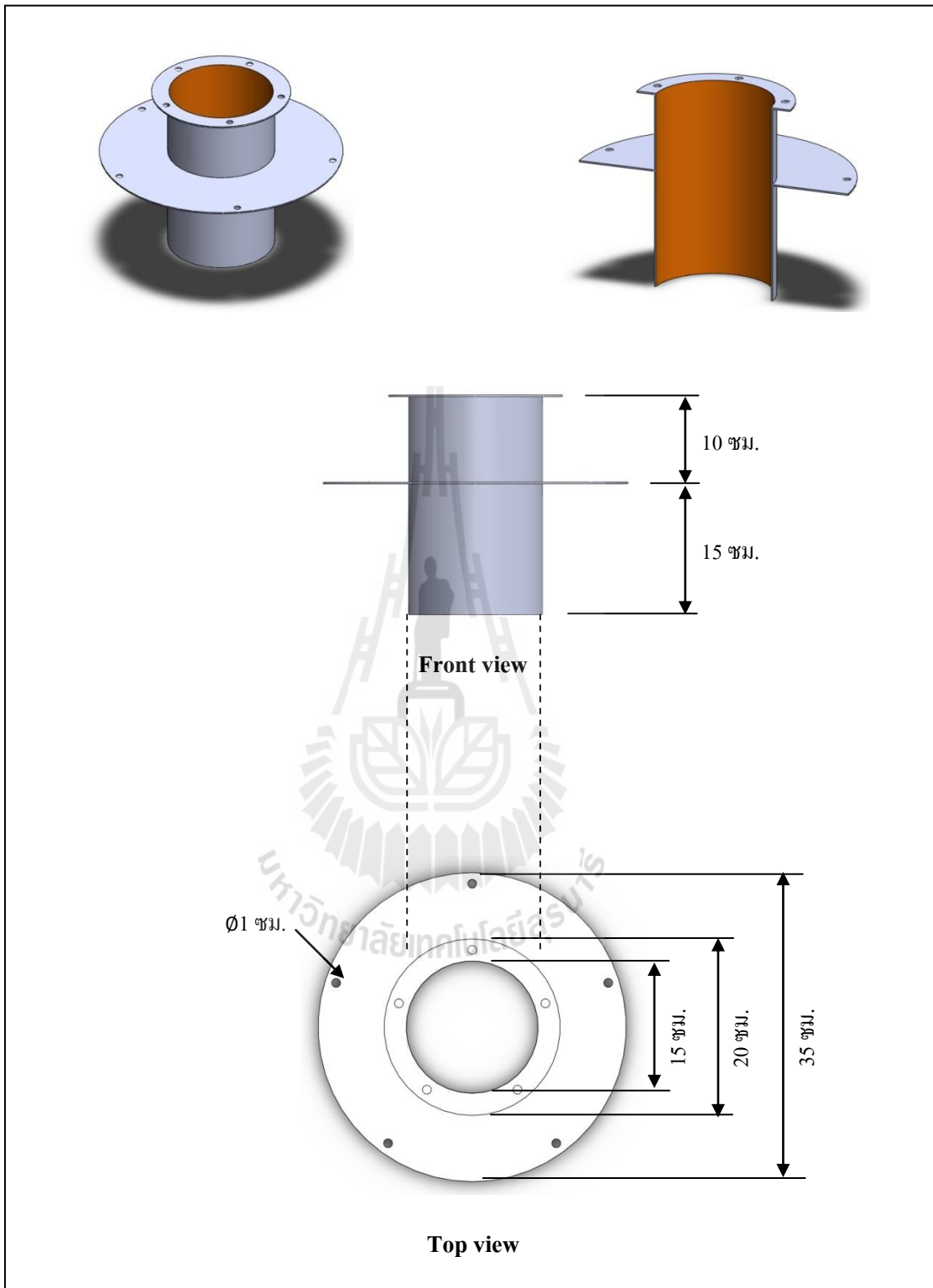
รูปที่ ข.1 ไซโคลนสกรีนเบอร์



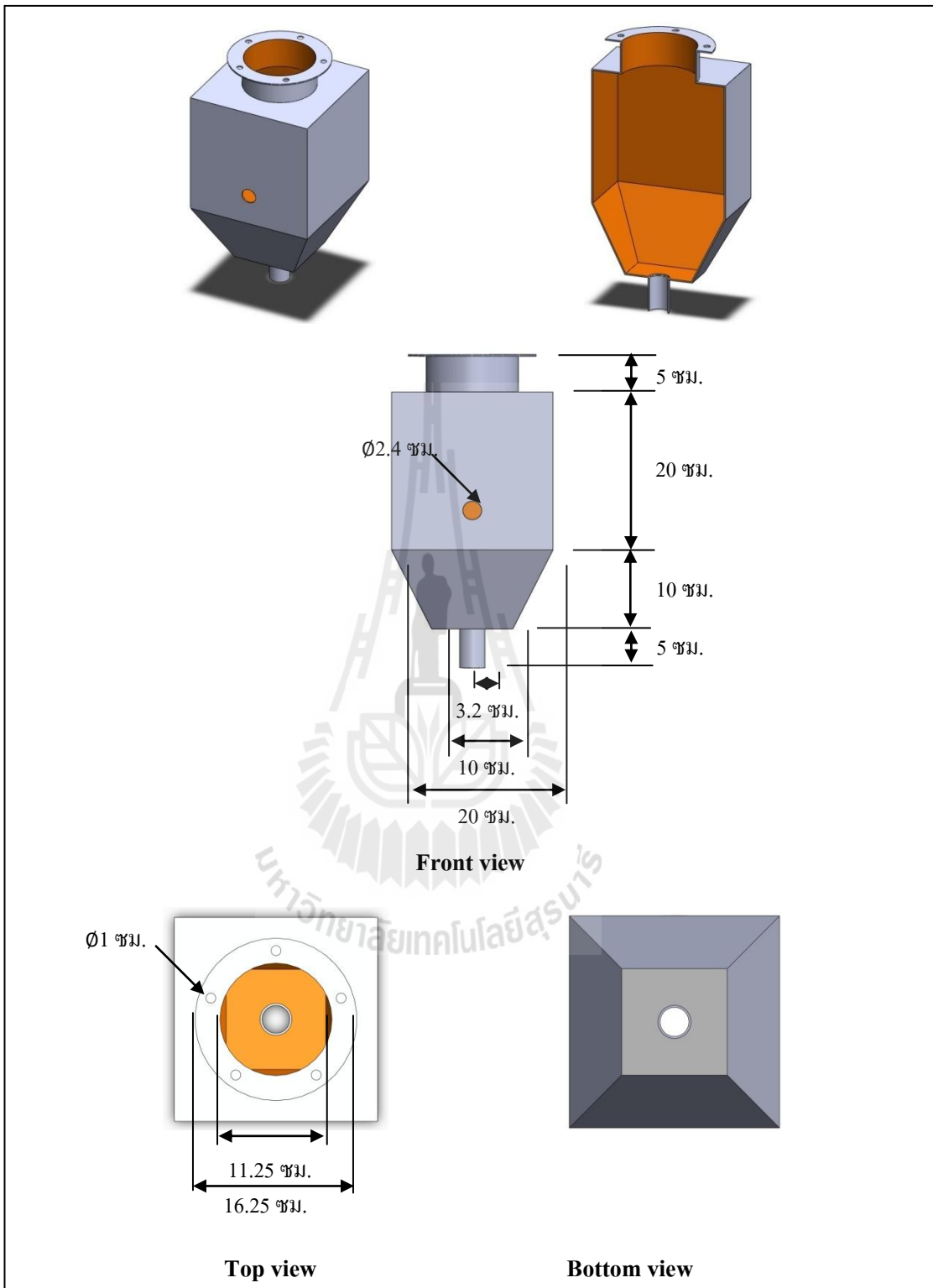
รูปที่ ข.2 ไซโคลนสกรีนเบอร์ต่อกับเตาเผามูลฝอย



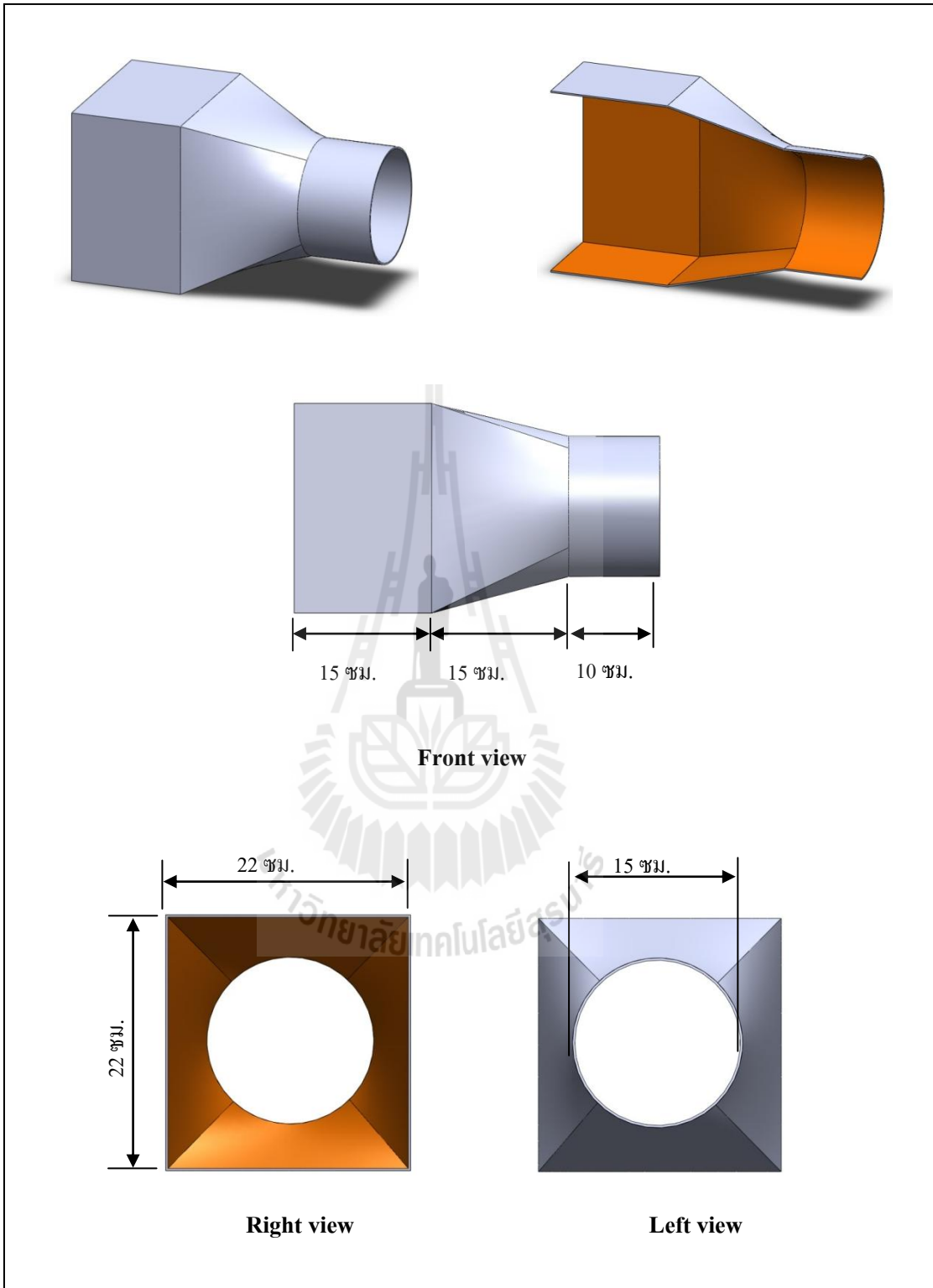
รูปที่ ข.3 แบบไซโคลน (ตัวเรือน)



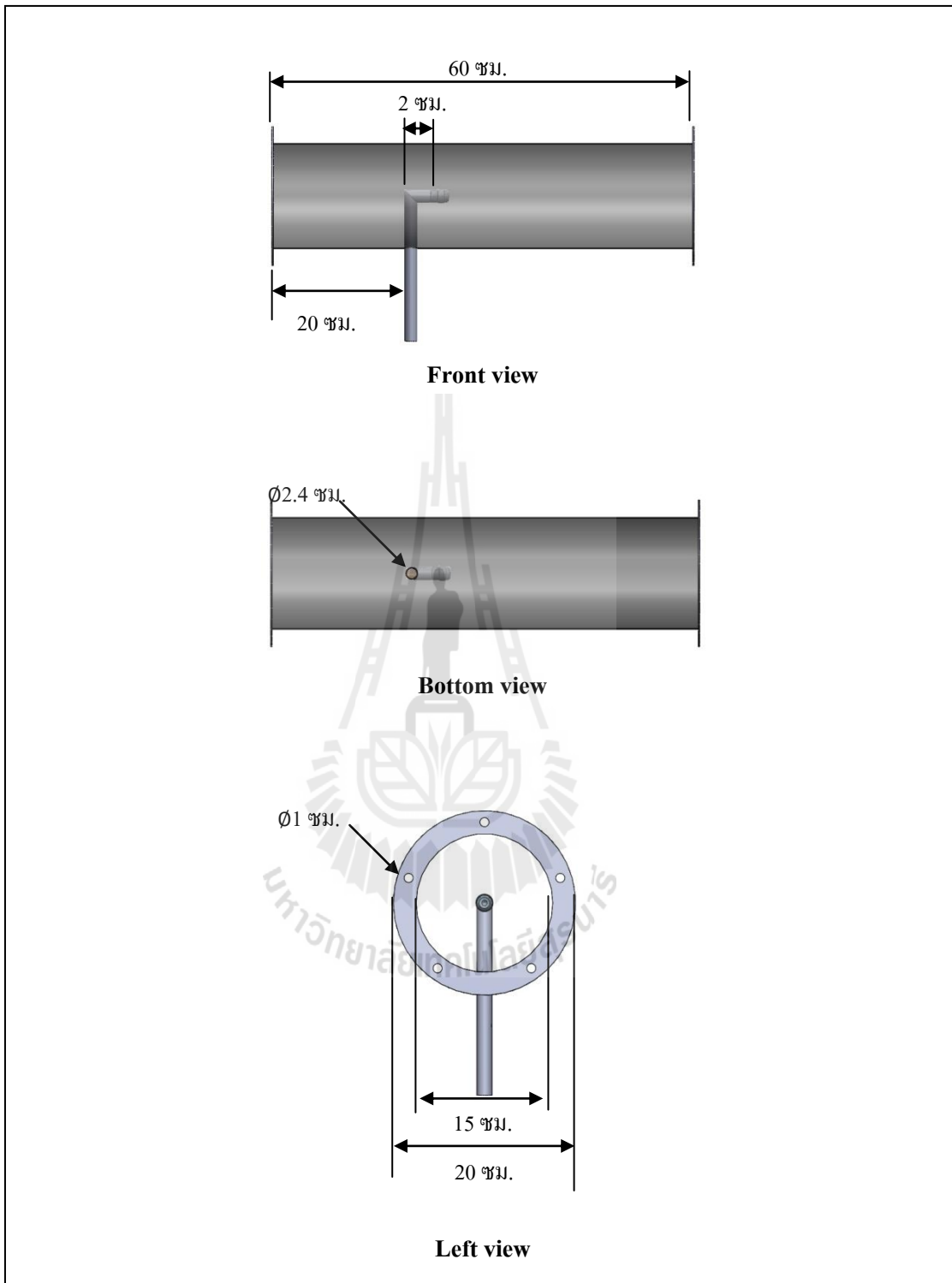
รูปที่ ข.4 แบบไซโคลน (ท่อทางออกของอากาศ)



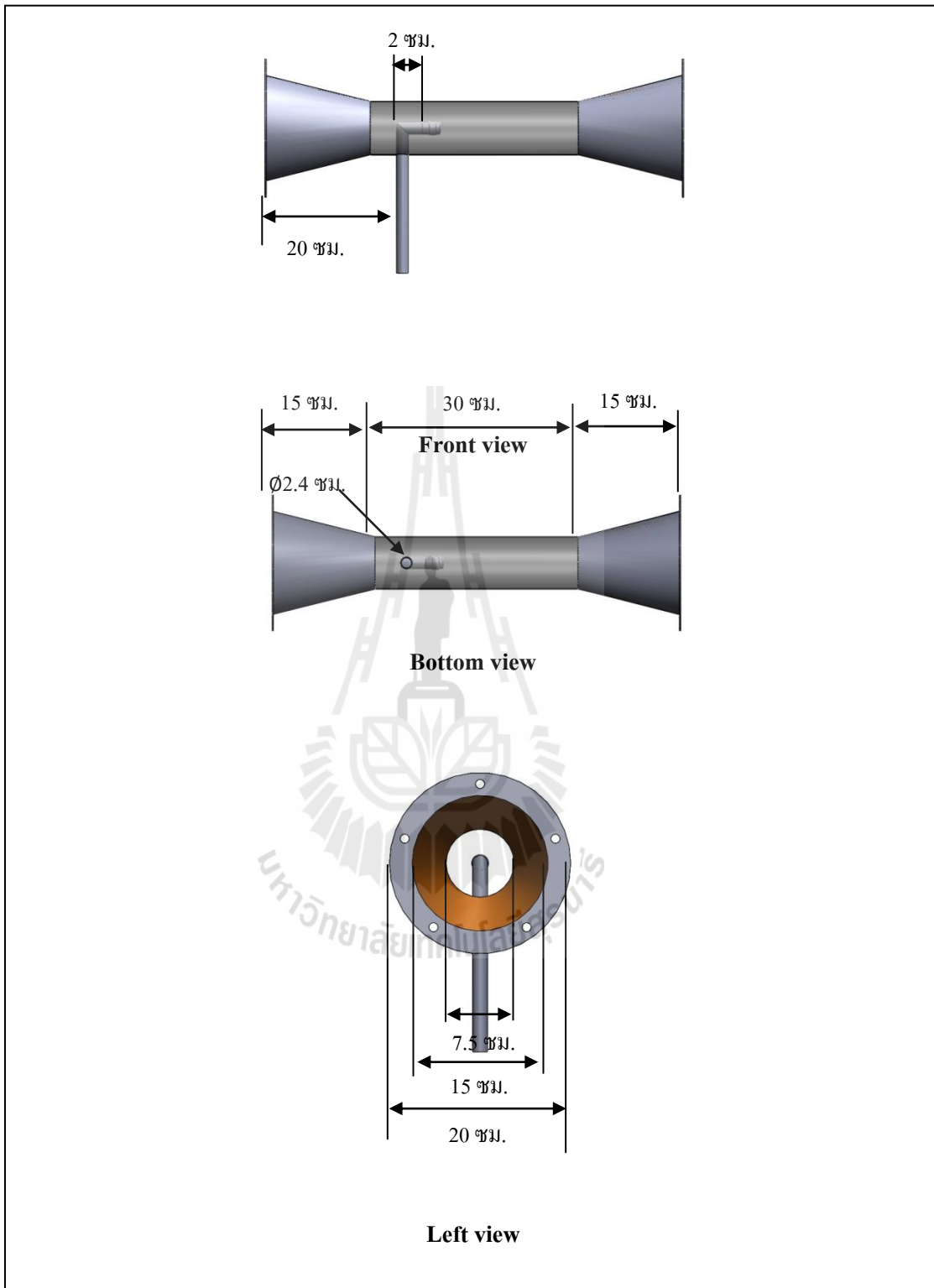
รูปที่ ข.5 แบบไซโคลน (ชุดรวบรวมอนุภาคและน้ำเสีย)



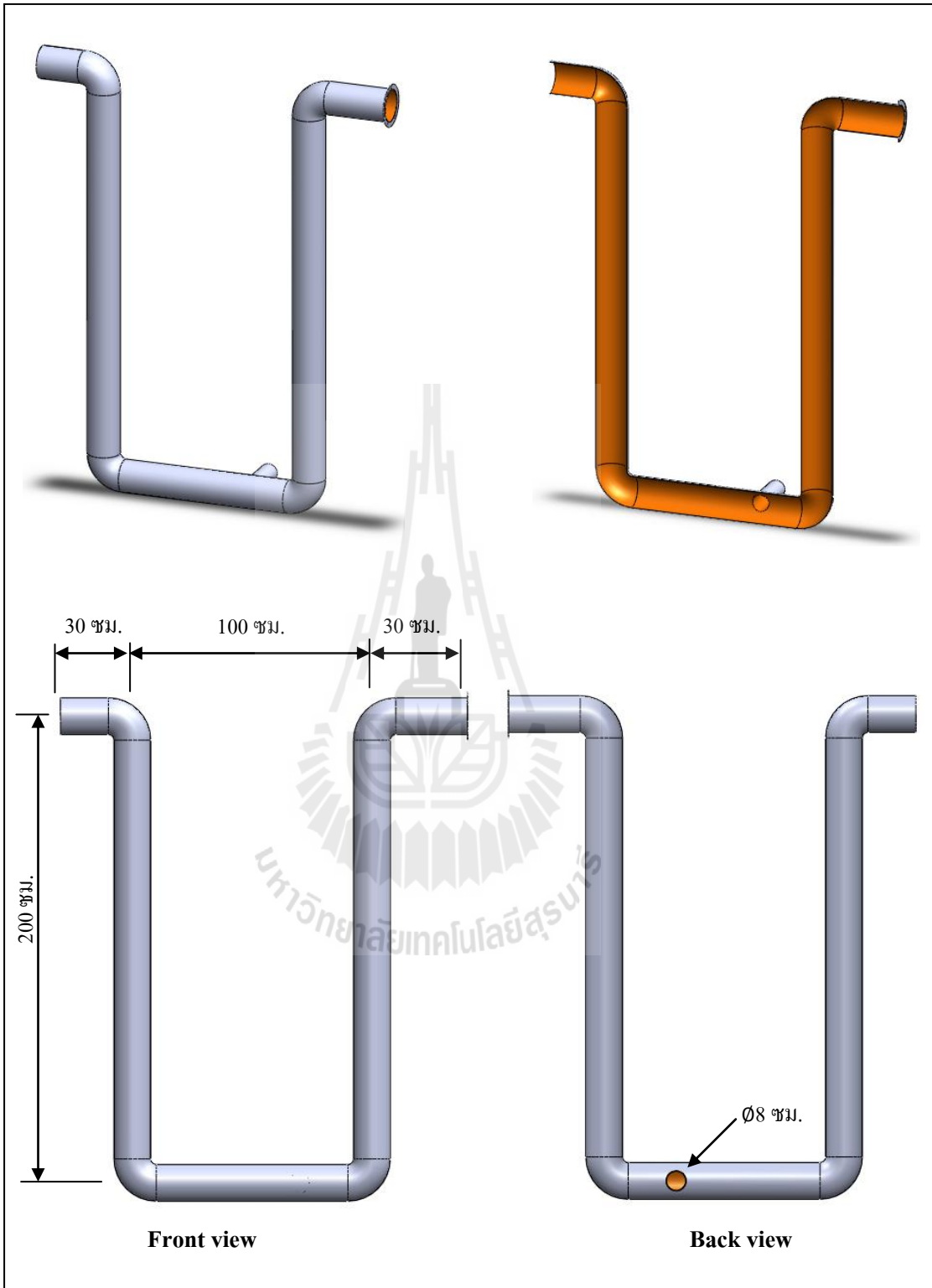
รูปที่ ข.6 แบบท่อสุด



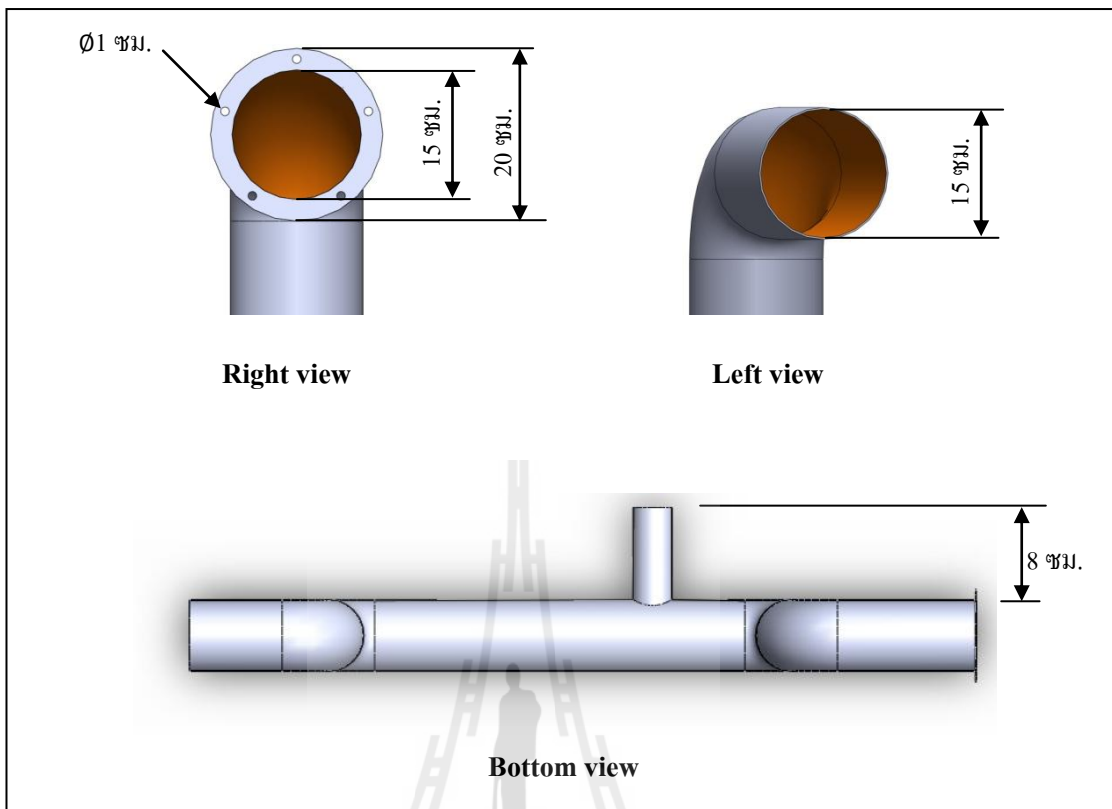
รูปที่ ข.7 แบบท่อสกรับเบอร์แบบปกติ



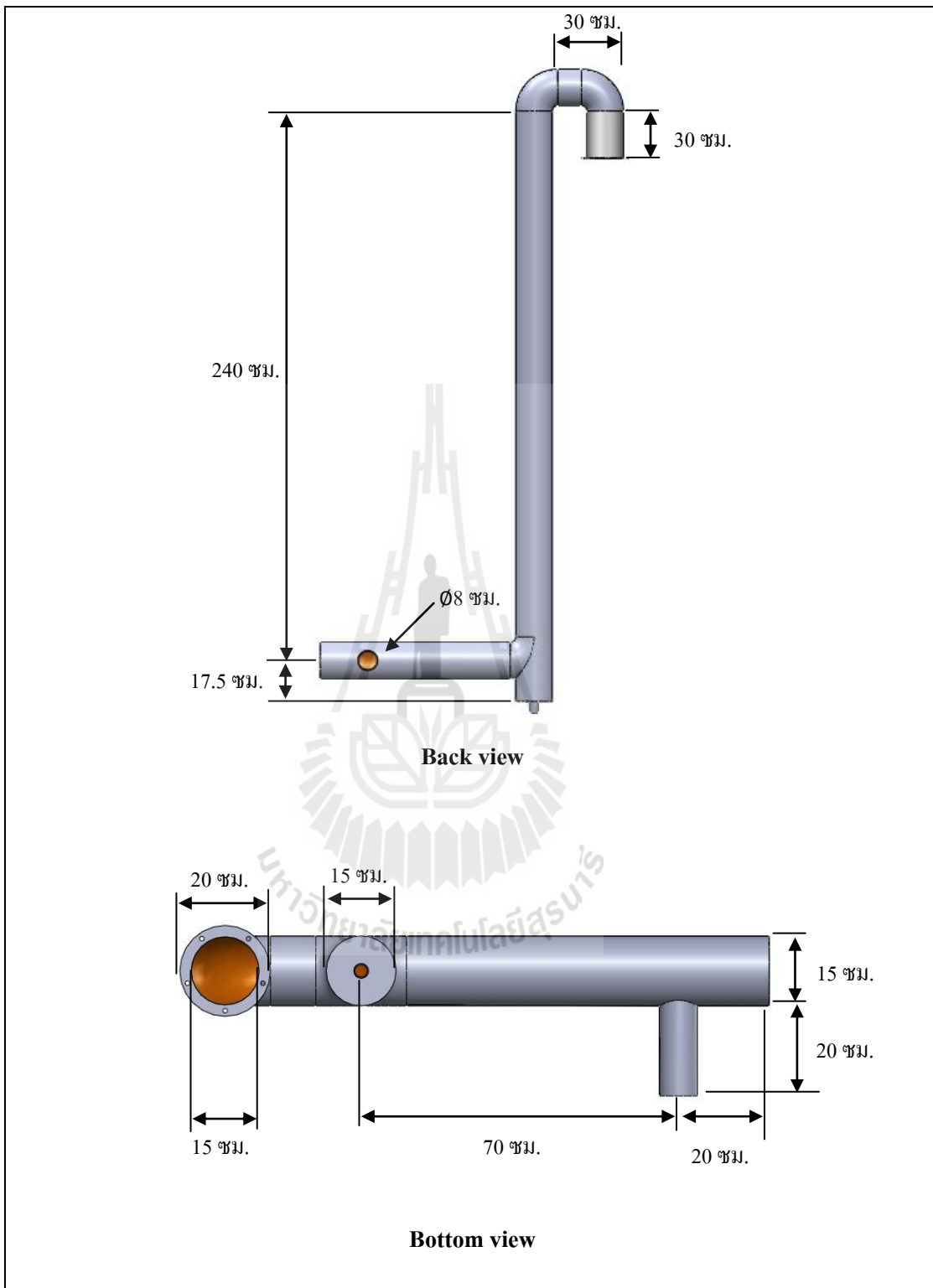
รูปที่ ข.8 แบบท่อนครีบเบอร์ แบบท่อนครี้อยละ 50



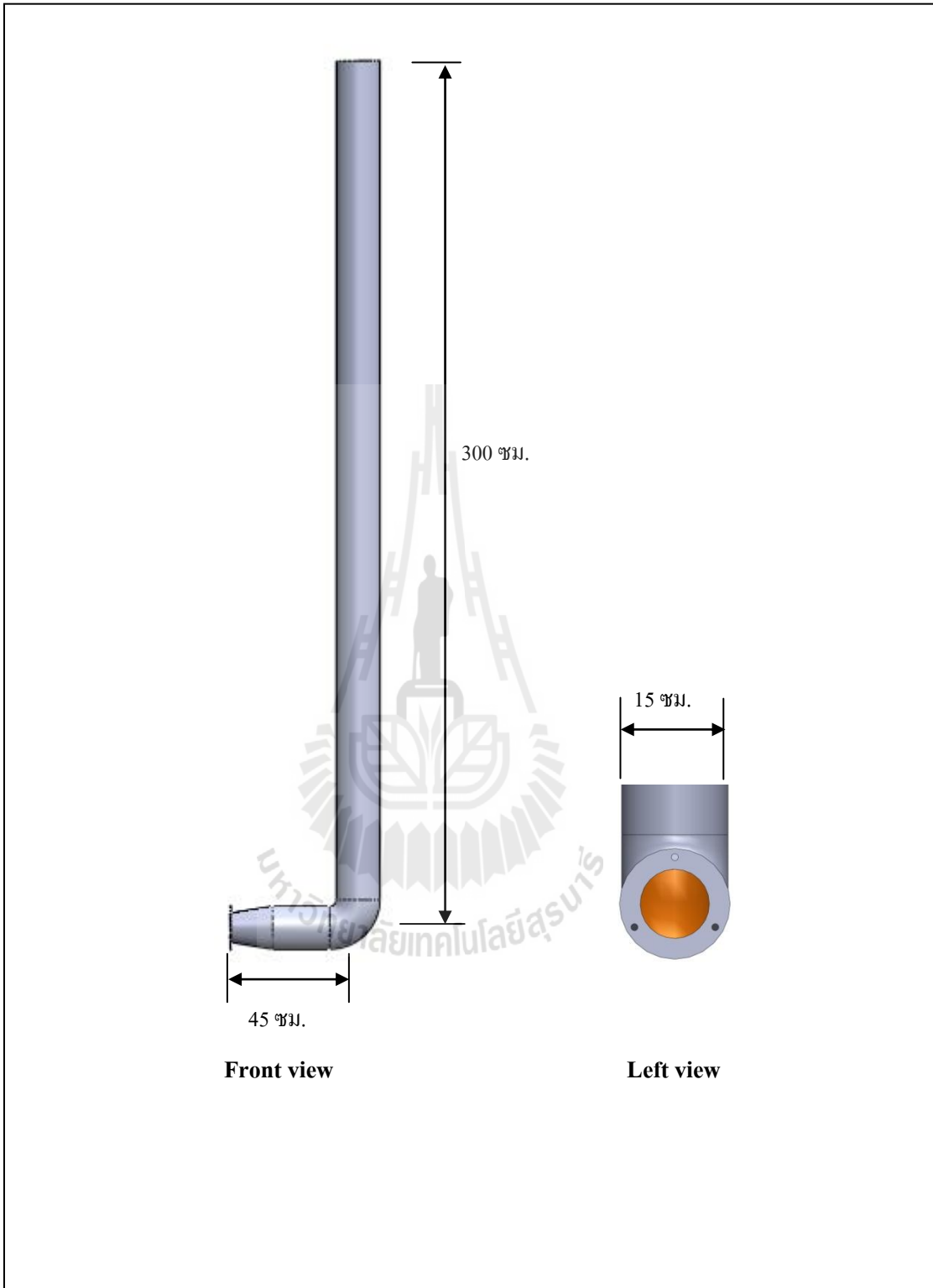
รูปที่ ข.9 แบบท่ออากาศส่วนที่ 1



รูปที่ ข.9 แบบท่ออากาศส่วนที่ 1 (ต่อ)



รูปที่ ข.10 แบบท่ออากาศส่วนที่ 2



รูปที่ ข.11 แบบท่ออากาศส่วนที่ 3

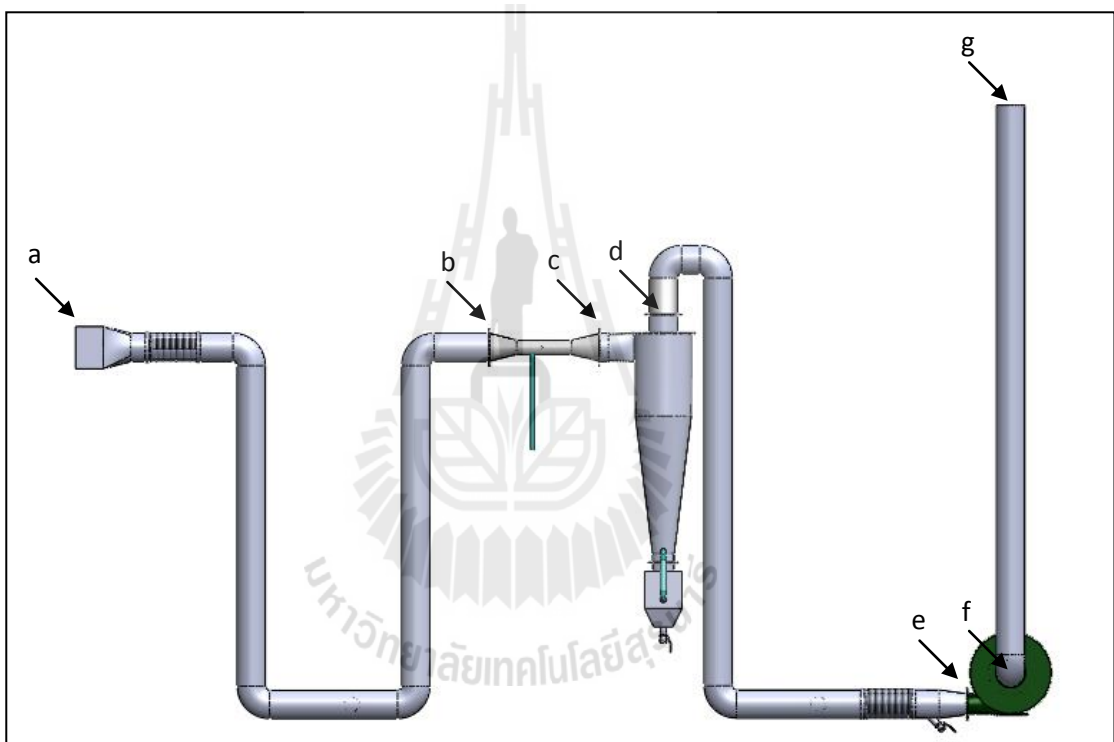


ภาคผนวก ค

การคำนวณความดันสูญเสียของไซโคลนสกรับเบอร์

การคำนวณความดันสูญเสียของไซโคลนสกรับเบอร์

การคำนวณความดันสูญเสียของไซโคลนสกรับเบอร์ เริ่มจากการแบ่งช่วงท่อของไซโคลนสกรับเบอร์ออกเป็น ส่วน ๆ ดังรูปที่ ค.1 และกำหนดตัวอักษรสำหรับแต่ละจุดของช่วงท่อ โดยใช้ตารางที่ ค.1 ในการคำนวณความดันสูญเสีย



รูปที่ ค.1 การแบ่งช่วงท่อของไซโคลนสกรับเบอร์

ตารางที่ ค.1 ค่าความดันสูญเสียของไซโคลนสกรับเบอร์

1	หมายเลขช่วงท่อและจุด	ab	bc	cd	de	ef	fg
2	อัตราการไหลอากาศที่ต้องการ (ม. ³ /วินาที)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
3	ความเร็วต่ำสุด (ม./วินาที)	13	13	20	13	13	13
4	ขนาดท่อใหญ่สุด (มม.)	140	140	-	140	-	140
5	ขนาดท่อที่เลือกใช้ (มม.)	150	150	-	150	-	150
6	พื้นที่หน้าตัดของท่อ (ม. ²)	0.018	0.018	-	0.018	-	0.018
7	ความเร็วลมในท่อ (ม./วินาที)	11	11	-	11	-	11
8	ความดันเคลื่อนที่ในท่อ (Pa)	72.70	72.70	-	72.70	-	72.70
9	สัมประสิทธิ์ความสูญเสียเมื่ออากาศเข้าสู่	0.06	0	0	0.06	0	0
10	แฟคเตอร์ความสูญเสียจากการเร่งความเร็ว (0 หรือ 1)	1	0	0	1	0	0
11	ความสูญเสียที่จุด / VP (9+10)	1.06	0	0	1.06	0	0
12	ความสูญเสียที่จุด (8x11) (Pa)	77.06	0	0	77.06	0	0
13	ความดันสูญเสียอื่นๆ (Pa)	-	0	1900	0	0	0
14	ความดันสถิตที่จุด (12+13) (Pa)	77.06	0	1900	0	0	0
15	ความยาวท่อตรง (ม.)	5	0.80	0	3.50	0	3
16	แฟคเตอร์ความเสียดทาน (H _f)	0.19	0.19	0	0.19	0	0.19
17	ความสูญเสียจากการเสียดทาน / VP (15x16)	0.96	0.15	0	0.67	0	0.58
18	จน. ท่อโค้ง 90 องศา	4	0	0	3	0	1
19	สัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่ท่อโค้ง	0.27	0	0	0.27	0	0.27
20	ความสูญเสียที่ท่อโค้ง / VP (18x19)	1.08	0	0	0.81	0	0.27
21	ความสูญเสียที่ท่อ / VP (17+20)	2.04	0.15	0	1.48	0	0.85
22	ความสูญเสียในท่อ (21x8) (Pa)	148.24	11.16	0	107.69	0	61.46
23	ความดันสถิตในช่วงท่อ (14+22) (Pa)	225.30	11.16	1900	107.69	0	61.46
24	ความสูญเสียอื่นๆ (เช่น VP ₃ - VP _r) (Pa)	-	-	0	-	0	-
25	ความดันสถิตสะสม (Pa)	-225.30	-11.16	-1900	-107.69	0	61.46
SUM							-2182.68



ภาคผนวก ง

ผลการตรวจวัดประสิทธิภาพการบำบัดมลพิษอากาศ

ตารางที่ ง.1 ผลการตรวจวัดปริมาณอนุภาค (มก.ต่อ ลบ.ม.) และการวิเคราะห์ค่าสูงหรือต่ำผิดปกติ

ด้วยวิธี Confidence Intervals

สถานะที่	ลำดับที่ 1	ลำดับที่ 2	ลำดับที่ 3	ลำดับที่ 4	ลำดับที่ 5	ลำดับที่ 6	SD	เฉลี่ย	COV.	
1	in	271.25	283.93	310.06	327.18	375.75	-	25.24	298.10	0.08
	out	161.27	164.91	173.10	192.49	272.69	-	13.94	172.94	0.08
2	in	454.67	235.81	317.12	337.43	358.70	360.68	51.32	321.95	0.16
	out	49.48	150.74	167.65	222.51	224.88	397.49	37.89	191.44	0.20
3	in	454.67	235.81	317.12	337.43	358.70	360.68	51.32	321.95	0.16
	out	401.20	122.30	148.75	194.74	202.98	260.10	38.27	167.19	0.23
4	in	472.48	205.35	258.06	269.70	350.15	375.35	59.84	270.81	0.22
	out	8.26	99.94	151.01	175.82	196.76	213.36	44.34	167.38	0.26
5	in	472.48	205.35	258.06	269.70	350.15	375.35	59.84	270.81	0.22
	out	0.00	64.89	82.76	99.78	105.64	127.18	18.36	88.27	0.21
6	in	481.20	235.89	275.56	281.01	309.34	349.17	30.25	275.45	0.11
	out	88.88	114.05	152.62	153.83	183.69	185.86	28.54	151.05	0.19
7	in	481.20	235.89	275.56	281.01	309.34	349.17	30.25	275.45	0.11
	out	49.46	92.14	101.16	110.82	175.73	250.10	37.95	119.96	0.32
8	in	234.80	293.69	324.53	378.18	444.82	-	42.75	332.13	0.13
	out	45.30	132.00	150.50	156.71	217.08	303.11	36.86	164.07	0.22
9	in	234.80	293.69	324.53	378.18	444.82	-	42.75	332.13	0.13
	out	63.81	81.34	91.07	95.32	116.39	235.50	19.27	89.59	0.22
10	in	231.69	1694.05	2806.29	2968.94	-	-	693.89	2489.76	0.28
	out	135.46	768.89	868.68	1084.07	-	-	161.08	907.21	0.18

หมายเหตุ : ~~xxx~~ คือ ค่าสูงหรือต่ำผิดปกติ ไม่นำค่าไปพิจารณา

ตารางที่ ง.2 ผลการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (ส่วนในล้านส่วน) และการวิเคราะห์

ค่าสูงหรือต่ำผิดปกติด้วยวิธี Confidence Intervals

สถานะที่	ลำดับที่ 1	ลำดับที่ 2	ลำดับที่ 3	ลำดับที่ 4	ลำดับที่ 5	ลำดับที่ 6	SD	เฉลี่ย	COV.	
1	in	1066.00	1080.00	1358.00	1571.00	1962.00	-	242.25	1268.75	0.19
	out	563.00	1152.00	1236.00	1419.00	2468.00	-	370.18	1092.50	0.34
2	in	1112.00	1382.00	1535.00	2808.00	8524.00	18567.00	3116.65	3072.20	1.01
	out	502.00	848.00	1366.00	1504.00	1750.00	4209.00	508.28	1194.00	0.43
3	in	1112.00	1382.00	1535.00	2808.00	8524.00	18567.00	3116.65	3072.20	1.01
	out	194.00	850.00	1374.00	1470.00	1471.00	1917.00	297.66	1291.25	0.23
4	in	939.00	1100.00	1353.00	1444.00	2540.00	3202.00	628.09	1475.20	0.43
	out	567.00	928.00	1006.00	1100.00	1292.00	1649.00	156.97	1081.50	0.15
5	in	939	1100.00	1353.00	1444.00	2540.00	3202.00	628.09	1475.20	0.43
	out	429.00	464.00	582.00	600.00	764.00	1027.00	132.07	567.80	0.23
6	in	1069.00	2131.00	2332.00	2345.00	4376.00	7840.00	1198.26	2450.60	0.49
	out	941.00	1001.00	1079.00	1391.00	1430.00	2060.00	226.78	1168.40	0.19
7	in	1069.00	2131.00	2332.00	2345.00	4376.00	7840.00	1198.26	2450.60	0.49
	out	485.00	577.00	829.00	1100.00	1362.00	1439.00	276.21	747.75	0.37
8	in	1219.00	3165.00	4007.00	4612.00	15120.00	-	1478.77	3250.75	0.45
	out	902.00	1062.00	1130.00	1193.00	1997.00	2000.00	125.17	1071.75	0.12
9	in	1219.00	3165.00	4007.00	4612.00	15120.00	-	1478.77	3250.75	0.45
	out	201.00	300.00	478.00	577.00	834.00	1657.00	222.89	547.25	0.41
10	in	1297.00	1915.00	2072.00	3839.00	-	-	1091.37	2280.75	0.48
	out	1013.00	1638.00	1926.00	45713.00	-	-	466.75	1525.67	0.31

หมายเหตุ : ~~xxx~~ คือ ค่าสูงหรือต่ำผิดปกติ ไม่นำค่าไปพิจารณา

ตารางที่ ง.3 ผลการตรวจวัดก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (ส่วนในล้านส่วน) และการวิเคราะห์

ค่าสูงหรือต่ำผิดปกติด้วยวิธี Confidence Intervals

สถานะที่	ลำดับที่ 1	ลำดับที่ 2	ลำดับที่ 3	ลำดับที่ 4	ลำดับที่ 5	ลำดับที่ 6	SD	เฉลี่ย	COV.	
1	in	5.80	26.00	41.00	59.00	70.00	-	19.44	49.00	0.40
	out	22.00	34.00	47.00	48.00	65.00	-	7.81	43.00	0.18
2	in	10.00	32.00	40.00	46.00	49.00	63.00	7.50	41.75	0.18
	out	17.00	27.00	33.00	41.00	44.00	52.00	7.72	36.25	0.21
3	in	10.00	32.00	40.00	46.00	49.00	63.00	7.50	41.75	0.18
	out	34.00	40.00	47.00	49.00	56.00	65.00	6.58	48.00	0.14
4	in	34.00	36.00	47.00	53.00	64.00	71.00	11.69	50.00	0.23
	out	29.00	31.00	40.00	49.00	58.00	63.00	11.62	44.50	0.26
5	in	34.00	36.00	47.00	53.00	64.00	71.00	11.69	50.00	0.23
	out	31.00	44.00	45.00	54.00	57.00	70.00	6.48	50.00	0.13
6	in	35.00	37.00	38.00	49.00	67.00	84.00	13.35	45.20	0.30
	out	33.00	45.00	54.00	57.00	68.00	70.00	9.49	56.00	0.17
7	in	35.00	37.00	38.00	49.00	67.00	84.00	13.35	45.20	0.30
	out	24.00	34.00	37.00	57.00	60.00	68.00	13.39	47.00	0.28
8	in	26.00	38.00	40.00	52.00	61.00	-	7.57	43.33	0.17
	out	27.00	29.00	47.00	52.00	59.00	65.00	6.03	52.67	0.11
9	in	26.00	38.00	40.00	52.00	61.00	-	7.57	43.33	0.17
	out	19.00	19.00	30.00	37.00	67.00	94.00	19.77	34.40	0.57
10	in	37.00	45.00	50.00	99.00	-	-	6.56	44.00	0.15
	out	32.00	34.00	40.00	45.00	-	-	5.91	37.75	0.16

หมายเหตุ : ~~xxx~~ คือ ค่าสูงหรือต่ำผิดปกติ ไม่นำค่าไปพิจารณา

ตารางที่ ง.4 ผลการตรวจวัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ส่วนในล้านส่วน) และการวิเคราะห์

ค่าสูงหรือต่ำผิดปกติด้วยวิธี Confidence Intervals

สถานะที่	ลำดับที่ 1	ลำดับที่ 2	ลำดับที่ 3	ลำดับที่ 4	ลำดับที่ 5	ลำดับที่ 6	SD	เฉลี่ย	COV.	
1	in	0.00	0.00	0.00	3.00	9.00	-	1.50	0.75	2.00
	out	0.00	0.00	0.00	1.00	9.00	-	0.50	0.25	2.00
2	in	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	9.00	0.45	0.20	2.24
	out	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0
3	in	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	9.00	0.45	0.20	2.24
	out	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	in	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	out	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
5	in	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	out	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	in	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00	0.00	0.00	0.00
	out	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	in	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00	0.00	0.00	0.00
	out	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	in	0.00	0.00	0.00	1.00	10.00	-	0.50	0.25	2.00
	out	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00
9	in	0.00	0.00	0.00	1.00	10.00	-	0.50	0.25	2.00
	out	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	in	0.00	0.00	0.00	93.00	-	-	0.00	0.00	0.00
	out	0.00	0.00	0.00	5.00	-	-	0.00	0.00	0.00

หมายเหตุ : ~~xxx~~ คือ ค่าสูงหรือต่ำผิดปกติ ไม่นำค่าไปพิจารณา

ตารางที่ ง.5 ผลการตรวจวัดอนุภาค (มก.ต่อ ลบ.ม.) และการวิเคราะห์ค่าสูงหรือต่ำผิดปกติด้วยวิธี DIXON

สภาวะที่	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	SD	เฉลี่ย	COV.	
1	in	271.25	283.93	310.06	327.18	375.75	-	41.03	313.63	0.13
	out	161.27	164.91	173.10	192.49	272.69	-	13.94	172.94	0.08
2	in	151.67	235.81	317.12	337.43	358.70	360.68	83.30	293.57	0.28
	out	19.48	150.74	167.65	222.51	224.88	397.49	123.40	197.12	0.63
3	in	151.67	235.81	317.12	337.43	358.70	360.68	83.30	293.57	0.28
	out	101.20	122.30	148.75	194.74	202.98	260.10	58.75	171.68	0.34
4	in	172.48	205.35	258.06	269.70	350.15	375.35	79.16	271.85	0.29
	out	8.26	99.94	151.01	175.82	196.76	213.36	76.11	140.86	0.54
5	in	172.48	205.35	258.06	269.70	350.15	375.35	79.16	271.85	0.29
	out	0.00	64.89	82.76	99.78	105.64	127.18	44.52	80.04	0.56
6	in	181.20	235.89	275.56	281.01	309.34	349.17	58.30	272.03	0.21
	out	88.88	114.05	152.62	153.83	183.69	185.86	38.46	146.49	0.26
7	in	181.20	235.89	275.56	281.01	309.34	349.17	58.30	272.03	0.21
	out	19.46	92.14	101.16	110.82	175.73	250.10	79.01	124.90	0.63
8	in	234.80	293.69	324.53	378.18	444.82	-	80.28	335.20	0.24
	out	15.30	132.00	150.50	156.71	217.08	303.11	95.42	162.45	0.59
9	in	234.80	293.69	324.53	378.18	444.82	-	80.28	335.20	0.24
	out	63.81	81.34	91.07	95.32	116.39	235.59	19.27	89.59	0.22
10	in	234.69	1694.05	2806.29	2968.94	-	-	693.89	2489.76	0.28
	out	135.46	768.89	868.68	1084.07	-	-	407.68	714.28	0.57

หมายเหตุ : xxx คือ ค่าสูงหรือต่ำผิดปกติ ไม่นำค่าไปพิจารณา

ตารางที่ ง.6 ผลการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (ส่วนในล้านส่วน) และการวิเคราะห์ค่าสูงหรือต่ำผิดปกติด้วยวิธี DIXON

สภาวะที่	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	SD	เฉลี่ย	COV.	
1	in	1066.00	1080.00	1358.00	1571.00	1962.00	-	374.34	1407.40	0.27
	out	563.00	1152.00	1236.00	1419.00	2468.00	-	693.67	1367.60	0.51
2	in	1112.00	1382.00	1535.00	2808.00	8524.00	18567.00	753.09	1709.25	0.44
	out	502.00	848.00	1366.00	1504.00	1750.00	4209.00	508.28	1194.00	0.43
3	in	1112.00	1382.00	1535.00	2808.00	8524.00	18567.00	753.09	1709.25	0.44
	out	194.00	850.00	1374.00	1470.00	1471.00	1917.00	604.03	1212.67	0.50
4	in	939.00	1100.00	1353.00	1444.00	2540.00	3202.00	901.43	1763.00	0.51
	out	567.00	928.00	1006.00	1100.00	1292.00	1649.00	363.38	1090.33	0.33
5	in	939.00	1100.00	1353.00	1444.00	2540.00	3202.00	901.43	1763.00	0.51
	out	429.00	464.00	582.00	600.00	764.00	1027.00	221.58	644.33	0.34
6	in	1069.00	2131.00	2332.00	2345.00	4376.00	7840.00	2447.37	3348.83	0.73
	out	941.00	1001.00	1079.00	1391.00	1430.00	2060.00	226.78	1168.40	0.19
7	in	1069.00	2131.00	2332.00	2345.00	4376.00	7840.00	2447.37	3348.83	0.73
	out	485.00	577.00	829.00	1100.00	1362.00	1439.00	399.99	870.60	0.46
8	in	1219.00	3165.00	4007.00	4612.00	15120.00	-	1478.77	3250.75	0.45
	out	902.00	1062.00	1130.00	1193.00	1997.00	2000.00	488.30	1380.67	0.35
9	in	1219.00	3165.00	4007.00	4612.00	15120.00	-	1478.77	3250.75	0.45
	out	201.00	300.00	478.00	577.00	834.00	1657.00	247.46	769.20	0.32
10	in	1297.00	1915.00	2072.00	3839.00	-	-	1068.39	2280.75	0.47
	out	1013.00	1638.00	1926.00	15713.00	-	-	466.75	1782.00	0.26

หมายเหตุ : xxx คือ ค่าสูงหรือต่ำผิดปกติ ไม่นำค่าไปพิจารณา

ตารางที่ ง.7 ผลการตรวจวัดก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (ส่วนในล้านส่วน) และการวิเคราะห์

ค่าสูงหรือต่ำผิดปกติด้วยวิธี DIXON

สภาวะที่		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	SD	เฉลี่ย	COV.
1	in	5.80	26.00	41.00	59.00	70.00	-	25.63	40.36	0.63
	out	22.00	34.00	47.00	48.00	65.00	-	16.18	43.20	0.37
2	in	10.00	32.00	40.00	46.00	49.00	63.00	17.94	40.00	0.45
	out	17.00	27.00	33.00	41.00	44.00	52.00	12.61	35.67	0.35
3	in	10.00	32.00	40.00	46.00	49.00	63.00	17.94	40.00	0.45
	out	34.00	40.00	47.00	49.00	56.00	65.00	11.08	48.50	0.23
4	in	34.00	36.00	47.00	53.00	64.00	71.00	14.85	50.83	0.29
	out	29.00	31.00	40.00	49.00	58.00	63.00	14.04	45.00	0.31
5	in	34.00	36.00	47.00	53.00	64.00	71.00	14.85	50.83	0.29
	out	31.00	44.00	45.00	54.00	57.00	70.00	13.32	50.17	0.27
6	in	35.00	37.00	38.00	49.00	67.00	84.00	19.84	51.67	0.38
	out	33.00	45.00	54.00	57.00	68.00	70.00	14.01	54.50	0.26
7	in	35.00	37.00	38.00	49.00	67.00	84.00	19.84	51.67	0.38
	out	24.00	34.00	37.00	57.00	60.00	68.00	17.36	46.67	0.37
8	in	26.00	38.00	40.00	52.00	61.00	-	13.48	43.40	0.31
	out	27.00	29.00	47.00	52.00	59.00	65.00	15.59	46.50	0.34
9	in	26.00	38.00	40.00	52.00	61.00	-	13.48	43.40	0.31
	out	19.00	19.00	30.00	37.00	67.00	94.00	30.08	44.33	0.68
10	in	37.00	45.00	50.00	99.00	-	-	6.56	44.00	0.15
	out	32.00	34.00	40.00	45.00	-	-	5.91	37.75	0.16

หมายเหตุ : ~~xxx~~ คือ ค่าสูงหรือต่ำผิดปกติ ไม่นำค่าไปพิจารณา

ตารางที่ ง.8 ผลการตรวจวัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ส่วนในล้านส่วน) และการวิเคราะห์

ค่าสูงหรือต่ำผิดปกติด้วยวิธี DIXON

สภาวะที่		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	SD	เฉลี่ย	COV.
1	in	0.00	0.00	0.00	3.00	9.00	-	0.00	0.00	0.00
	out	0.00	0.00	0.00	1.00	9.00	-	0.00	0.00	0.00
2	in	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	9.00	0.00	0.00	0.00
	out	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3	in	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	9.00	0.00	0.00	0.00
	out	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	in	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	out	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
5	in	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	out	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	in	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00	0.00	0.00	0.00
	out	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	in	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00	0.00	0.00	0.00
	out	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	in	0.00	0.00	0.00	1.00	10.00	-	0.00	0.00	0.00
	out	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00
9	in	0.00	0.00	0.00	1.00	10.00	-	0.00	0.00	0.00
	out	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	in	0.00	0.00	0.00	93.00	-	-	0.00	0.00	0.00
	out	0.00	0.00	0.00	5.00	-	-	0.00	0.00	0.00

หมายเหตุ : ~~xxx~~ คือ ค่าสูงหรือต่ำผิดปกติ ไม่นำค่าไปพิจารณา

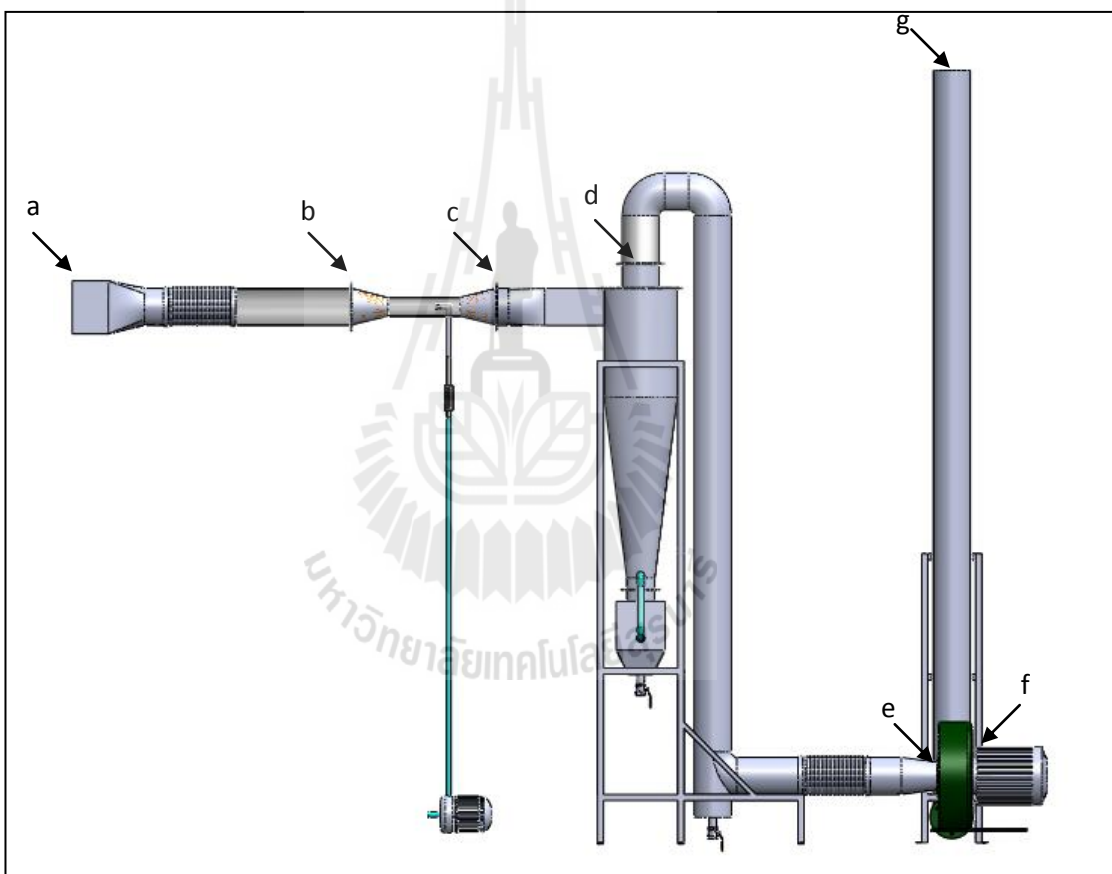


ภาคผนวก จ

การคำนวณความดันสูญเสียของไซโคลนสกรับเบอร์

การคำนวณความดันสูญเสียของไซโคลนสกรับเบอร์ที่ใช้งานจริง

การคำนวณความดันสูญเสียของไซโคลนสกรับเบอร์ ที่ใช้งานจริง เริ่มจากการแบ่งช่วงท่อของไซโคลนสกรับเบอร์ออกเป็นส่วนๆ ดังรูปที่ จ.1 โดย กำหนดตัวอักษรสำหรับแต่ละจุดของช่วงท่อ ใช้ตารางที่ จ.1 ในการคำนวณความดันสูญเสีย



รูปที่ จ.1 การแบ่งช่วงท่อของไซโคลนสกรับเบอร์ที่ใช้งานจริง

ตารางที่ จ.1 ค่าความดันสูญเสียของไซโคลนสกรับเบอร์

1	หมายเลขช่วงท่อและชุด	ab	bc	cd	de	ef	fg
2	อัตราการไหลอากาศที่ต้องการ (ม. ³ /วินาที)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
3	ความเร็วค่าสุด (ม./วินาที)	13	45	20	13	13	13
4	ขนาดท่อใหญ่สุด (มม.)	140	44	-	140	-	140
5	ขนาดท่อที่เลือกใช้ (มม.)	150	75	-	150	-	150
6	พื้นที่หน้าตัดของท่อ (ม. ²)	0.018	0.004	-	0.018	-	0.018
7	ความเร็วลมในท่อ (ม./วินาที)	11	45	-	11	-	11
8	ความดันเคลื่อนที่ในท่อ (Pa)	72.70	72.70	-	72.70	-	72.70
9	สัมประสิทธิ์ความสูญเสียเมื่ออากาศเข้าสู่	0.06	0	0	0.1	0	0
10	แฟคเตอร์ความสูญเสียจากการเร่งความเร็ว (0 หรือ 1)	1	0	0	1	0	0
11	ความสูญเสียที่จุด / VP (9+10)	1.06	0	0	1.1	0	0
12	ความสูญเสียที่จุด (8x11) (Pa)	77.06	0	0	77.1	0	0
13	ความดันสูญเสียอื่นๆ (Pa)	-	0	1900	0	0	0
14	ความดันสถิตที่จุด (12+13) (Pa)	77.06	0	1900	0	0	0
15	ความยาวท่อตรง (ม.)	1	0.80	0	3	0	3
16	แฟคเตอร์ความเสียดทาน (H _p)	0.19	0.19	0	0.19	0	0.19
17	ความสูญเสียจากการเสียดทาน / VP (15x16)	0.19	0.15	0	0.58	0	0.58
18	จน. ท่อโค้ง 90 องศา	4	0	0	3	0	1
19	สัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่ท่อโค้ง	0.27	0	0	0.27	0	0.27
20	ความสูญเสียที่ท่อโค้ง / VP (18x19)	1.08	0	0	0.81	0	0.27
21	ความสูญเสียที่ท่อ / VP (17+20)	1.27	0.15	0	1.39	0	0.85
22	ความสูญเสียในท่อ (21x8) (Pa)	92.46	11.16	0	100.72	0	61.46
23	ความดันสถิตในช่วงท่อ (14+22) (Pa)	169.52	11.16	1900	100.72	0	61.46
24	ความสูญเสียอื่นๆ (เช่น VP ₃ - VP _r) (Pa)	-	-	0	-	0	-
25	ความดันสถิตสะสม (Pa)	-169.52	-11.16	-1900	-100.72	0	61.46
SUM							-2119.93

The logo of Sakon Nakhon Rajabhat University is a large, light gray watermark centered on the page. It features a stylized figure of a person standing within a triangular structure, with a gear-like base and a crown-like top. The text "ภาคผนวก น" is positioned above the figure, and "มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี" is written in a curved path below the figure.

ภาคผนวก น

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



การพัฒนาไซโคลนสครับเบอร์สำหรับเตาเผามูลฝอยขนาดเล็ก Development of Cyclone Scrubber for Small Waste Incinerator

อภิชาติ ศุภจรรยาภิรักษ์ และสุจิต คุรุจิต*

Apichart Supajunyarak and Sudjit Karuchit*

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

*Correspondent author: sudjit@sut.ac.th

Received July 4, 2011

Accepted August 26, 2011

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ได้ออกแบบ และทดสอบประสิทธิภาพไซโคลนสครับเบอร์สำหรับเตาเผามูลฝอยขนาดเล็ก โดยประกอบด้วยไซโคลนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ซม. สูง 120 ซม. และท่อสครับเบอร์ที่มีการติดตั้งหัวฉีด แบบ axial-flow สามารถฉีดละอองน้ำที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางในช่วงประมาณ 300-500 ไมครอน ท่อสครับเบอร์มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 ขนาด คือ 15 ซม. และ 7.5 ซม. อัตราการไหลของอากาศที่ 12 ลบ.ม.ต่อนาที และอัตราการฉีดน้ำที่ 3 และ 8 ลิตรต่อนาที ผลการทดสอบได้ประสิทธิภาพการบำบัดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 33 ถึง 72 ประสิทธิภาพการบำบัดคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 7 ถึง 85 และในภาพรวมกล่าวได้ว่าระบบจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าในกรณีที่ใช้ค่า L/G ratio สูง ขนาดหน้าตัดท่อสครับเบอร์ต่ำ หรือการฉีดละอองน้ำเป็นแบบสวนกระแสอากาศ แต่หลายกรณีไม่พบความแตกต่างทางสถิติที่ $\alpha = 0.05$ และพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคของไซโคลนสครับเบอร์สูงกว่าไซโคลนปกติ คือ ร้อยละ 72 และ 43 ตามลำดับ

Abstract

This study designed and tested the efficiency of a cyclone scrubber for small waste incinerators. The system consisted of a cyclone, 30 cm. in diameter and 120 cm. in height, and a scrubber tube fitted with an axial-flow nozzle capable of producing 300-500 μm diameter droplets. The scrubber tubes had two sizes: 15 and 7.5 cm diameter. The air flow rate was 12 m^3/min . The liquid flow rate was 3 and 8 lpm. The test results showed the system's collection efficiency of 33% to 72% for particle and 7% to 85% for carbon monoxide. Overall, higher efficiencies occurred in cases which have high L/G ratio, low cross-section area scrubber tube, or counter-current water injection. The differences in efficiency, however, were not statistically significant at $\alpha = 0.05$ in several cases. In addition, the cyclone scrubber removed particles better than the normal cyclone, with 72% and 43% efficiency, respectively.

คำสำคัญ: ไซโคลนสครับเบอร์ เตาเผามูลฝอย มลพิษอากาศ

Keywords: cyclone scrubber, waste incinerator, air pollution

1. บทนำ

จากรายงานสรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ระหว่างปี 2548-2551 พบว่ามีปริมาณมลพิษชุมชนทั่วประเทศเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ การกำจัดมลพิษด้วยเตาเผาขนาดเล็กเป็นวิธีหนึ่งที่มีการใช้ในชุมชน โดยเฉพาะในกรณีที่ไม่ได้มีสถานกำจัดมลพิษแบบถูกหลักสุขาภิบาล และแม้ว่าวิธีการเผาจะสามารถลดปริมาณมลพิษลงได้ถึงประมาณร้อยละ 90 แต่เตาเผาส่วนใหญ่มีคุณสมบัติการควบคุมกระบวนการเผาไหม้และขาดระบบบำบัดมลพิษอากาศที่มีประสิทธิภาพเพียงพอ หากพิจารณาแล้วจะพบว่ามีความเสี่ยงสูงที่จะเกิดมลพิษอากาศที่เหมาะสม 2 กลุ่มหลักคือ ไซโคลน และสครับเบอร์ โดยไซโคลน มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดอนุภาคขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน การเคลื่อนที่ของอนุภาคสามารถใช้งานที่อุณหภูมิของกระแสอากาศสูงได้ แต่มีข้อจำกัดในการบำบัดมลพิษก๊าซ และการกำจัดอนุภาคขนาดเล็ก ส่วนสครับเบอร์ สามารถกำจัดทั้งอนุภาค และก๊าซได้พร้อมกัน ใช้กับกระแสอากาศที่มีอุณหภูมิสูงได้ แต่ก็มีข้อจำกัดในกรณีที่มีตัวกลางอาจเกิดการอุดตันในชั้นตัวกลาง และเกิดความดันสูญเสียสูงในกรณีที่เป็นสครับเบอร์แบบเวนทูรี (1)

จากข้อมูล และเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาระบบบำบัดมลพิษอากาศแบบไซโคลนสครับเบอร์ ซึ่งเป็นการรวมข้อดีของทั้ง 2 ระบบที่กล่าวมาเข้าด้วยกัน เพื่อให้สามารถบำบัดมลพิษอากาศจากเตาเผามูลฝอยได้ทั้งประเภทอนุภาค และก๊าซได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยจากการค้นคว้าเอกสารพบว่ามีผลการศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาไซโคลนสครับเบอร์จำนวนหนึ่ง ได้แก่ Lee, Jung, and Park (2); Meikap and Biswas (3); Yang and Yoshida (4) Visuti (5) และ Porncharoen (6) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ไซโคลนสครับเบอร์ส่วนใหญ่มีการออกแบบระบบที่ซับซ้อน และทดสอบในห้องปฏิบัติการ

เท่านั้น เป้าหมายของงานวิจัยนี้จึงเป็นการพัฒนาไซโคลนสครับเบอร์ ที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานจริงกับเตาเผามูลฝอยขนาดเล็ก และทำการทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดมลพิษอากาศของระบบที่พัฒนาขึ้น โดยใช้เตาเผามูลฝอยขนาดเล็กของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศ

2. วิธีการวิจัย

2.1 วัสดุ อุปกรณ์

การวิจัยนี้ใช้เตาเผามูลฝอยขนาดเล็กที่พัฒนาขึ้นโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี คือเตาอัดคานา (7) เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 เมตร สูง 2.6 เมตร มีปริมาตรห้องเผา 0.945 ลบ.ม. อุณหภูมิภายในเตาเผาสูงสุดเฉลี่ย 1,100 องศาเซลเซียส อัตราการเผาไหม้ประมาณ 1,500 กก.ต่อวัน การเก็บตัวอย่างอนุภาคใช้วิธีเทียบเคียงวิธีที่ 5 (method 5) ขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (U.S.EPA) โดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นชนิด flex sampling train system (RIGID) และการตรวจวัดความเข้มข้นของมลพิษก๊าซใช้อุปกรณ์วิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซไอเสีย (Flue Gas Analyzer) Testo-350XL

2.2 วิธีการศึกษา

การวิจัยแบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก คือ ส่วนแรกเป็นการออกแบบและก่อสร้างไซโคลนสครับเบอร์ โดยเริ่มจากการหาองค์ประกอบมูลฝอยที่เกิดขึ้นภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยการสุ่มตัวอย่างมูลฝอยด้วยวิธี quartering และหาองค์ประกอบทางเคมีโดยอ้างอิงจากค่า ultimate composition ของมูลฝอยชุมชน (8) การคำนวณปริมาณความต้องการอากาศในการเผาไหม้ของมูลฝอย โดยสมการที่ 1 ใช้คำนวณปริมาณอากาศที่จำเป็นต่อการเผาไหม้ในกรณีของเชื้อเพลิงแข็งทางทฤษฎี (9)

$$A_o = 8.89C + 26.7\left(\frac{H}{8}\right) + 3.35 \dots [1]$$

เมื่อ

A₀ = ปริมาณอากาศตามทฤษฎี (ลบ.ม.ต่อ กก.)

C = ปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงแข็ง 1 กก.

H = ปริมาณไฮโดรเจนในเชื้อเพลิงแข็ง 1 กก.

O = ปริมาณออกซิเจนในเชื้อเพลิงแข็ง 1 กก.

S = ปริมาณกำมะถันในเชื้อเพลิงแข็ง 1 กก.

การวิจัยส่วนที่สอง เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของไซโคลนสกรับเบอร์โดยใช้ปัจจัยทดสอบ 3 ปัจจัย ได้แก่ ค่าอัตราส่วนระหว่างอัตราไหลของน้ำและก๊าซ หรือค่า L/G ratio ขนาดหน้าตัดท่อ สกรับเบอร์ และทิศทางการฉีดน้ำ โดยพิจารณาผลของปัจจัยต่อประสิทธิภาพในการกำจัดมลพิษอากาศ 4 ประเภทที่เกิดจากเตาเผา มูลฝอย ได้แก่ อนุภาคฝุ่น ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยแจกแจงออกได้ทั้งหมด 9 สถานะ ดังตารางที่ 1 โดยใช้น้ำประปาสำหรับฉีดในไซโคลนสกรับเบอร์โดยไม่มีกรรมวนเวียนกลับมาใช้ซ้ำ ในการทดสอบแต่ละสถานะมีการจัดมูลฝอยจริงให้มีองค์ประกอบคงที่ตามที่ได้ศึกษาไว้ ทำการป้อนมูลฝอยเข้าสู่เตาเผาในอัตราคงที่ประมาณ 2.4 กก.ต่อนาที และควบคุมอุณหภูมิในเตาเผามูลฝอยให้อยู่ในช่วง 600-800 องศาเซลเซียส เพื่อให้มลพิษที่เกิดขึ้นมีความแปรปรวนน้อยที่สุดตลอดการทดลอง ทำการเก็บตัวอย่างมลพิษอากาศทั้งก่อน และหลังผ่านไซโคลนสกรับ

เบอร์เป็นจำนวนสภาวะละ 5 ครั้ง และควบคุมคุณภาพของข้อมูลผลการตรวจวัดมลพิษอากาศ โดยตัดข้อมูลที่มีค่าสูงหรือต่ำผิดปกติ (Outlier) ด้วยวิธี Confidence intervals ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 การหาลัดส่วนของมูลฝอยที่เผาไหม้ได้

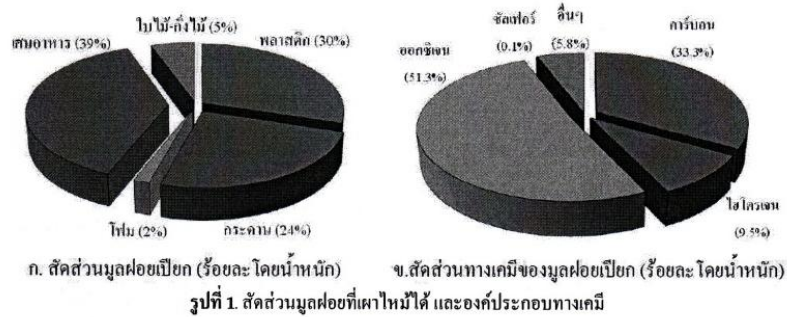
การสุ่มตัวอย่างมูลฝอยที่เกิดขึ้นแต่ละวันภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีระหว่างวันที่ 11-21 ม.ค. 2553 เป็นเวลา 7 วัน โดยมีการคัดแยกมูลฝอยส่วนที่นำกลับมาใช้ใหม่ เช่น โลหะ แก้ว ขวดพลาสติก กระดาษ เป็นต้น และมูลฝอยส่วนที่ไม่สามารถเผาได้ เช่น ถ่านไฟฉาย หลอดไฟ กระเบื้อง เปลือกหอย ออกให้เหลือเฉพาะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้ โดยจำแนกออกเป็น พลาสติก เศษกระดาษ โฟม เศษอาหาร และใบไม้-กิ่งไม้รูปที่ 1ก. แสดงสัดส่วนของมูลฝอยเปียก และรูปที่ 1 ข. แสดงสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอยเปียก

3.2 การหาความต้องการอากาศในการเผาไหม้

การคำนวณความต้องการอากาศในการเผาไหม้ทางทฤษฎีของเตาเผามูลฝอยขนาดเล็ก โดยใช้สมการที่ 1 จากองค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอยแห้ง และปริมาณความชื้นของมูลฝอยในรูปองค์ประกอบทางเคมี ได้ค่าความต้องการอากาศในการเผาไหม้ตามทฤษฎีของมูลฝอย เท่ากับ 3.80

ตารางที่ 1. สถานะในการทดสอบประสิทธิภาพไซโคลนสกรับเบอร์

สถานะที่	ค่า L/G ratio (ลิตร ต่อ ลบ.ม.)	หน้าตัดของท่อ	ทิศทางการฉีดน้ำ
1	ไม่ฉีดน้ำ	ปกติ	-
2	0.27	ปกติ	ตามกระแสอากาศ
3	0.67	ปกติ	ตามกระแสอากาศ
4	0.27	ปกติ	สวนกระแสอากาศ
5	0.67	ปกติ	สวนกระแสอากาศ
6	0.27	เล็กลงร้อยละ 50	ตามกระแสอากาศ
7	0.67	เล็กลงร้อยละ 50	ตามกระแสอากาศ
8	0.27	เล็กลงร้อยละ 50	สวนกระแสอากาศ
9	0.67	เล็กลงร้อยละ 50	สวนกระแสอากาศ



ตารางที่ 2. สัดส่วนของไซโคลนชนิดประสิทธิภาพสูงที่ออกแบบ

ขนาด	สัดส่วนไซโคลน ประสิทธิภาพสูง	ขนาดของไซโคลน (ซม.)
D	1.0	30.00
a	0.5D	15.00
b	0.2D	6.00
S	0.5D	15.00
D _c	0.5D	15.00
h	1.5D	45.00
H	4.0D	120.00
B	0.375D	11.25

ลบ.ม.ต่อ กก. แต่ปริมาณความต้องการอากาศในการเผาไหม้ที่ใช้จริงนั้น ต้องเผื่อปริมาณอัตราส่วนอากาศส่วนเกิน อีกร้อยละ 45 (9) ซึ่งเป็นค่าสูงสุดในกลุ่มที่ใช้เชื้อเพลิงแข็ง ดังนั้นจะได้ปริมาณอากาศที่เหมาะสมต่อการเผาไหม้ของเตาเผามูลฝอยขนาดเล็ก คือ 5.50 ลบ.ม.ต่อ กก. หากคิดอัตราการเผาไหม้ มูลฝอยที่ 130 กก.ต่อชั่วโมง หรือร้อยละ 70 ของความสามารถเตาเผา สามารถคำนวณอัตราความต้องการอากาศเข้าสู่เตาเผา มูลฝอยขนาดเล็กที่ได้ประมาณ 12 ลบ.ม.ต่อนาที

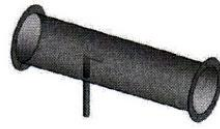
3.3 การออกแบบไซโคลน

การศึกษานี้เลือกใช้ไซโคลนชนิดประสิทธิภาพสูง (10) ซึ่งสามารถจับอนุภาคที่มีขนาดเล็กถึง 5 ไมครอนได้ (9) การออกแบบกำหนดอัตราการไหลของอากาศ 12 ลบ.ม.ต่อนาที

และความเร็วต่ำสุดที่เข้าสู่ไซโคลน 20 เมตรต่อวินาที (11) จะได้ขนาดพื้นที่ท่อทางเข้าของไซโคลนเป็น 0.01 ตร.ม. และสามารถคำนวณขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของไซโคลนได้เป็น 31.62 ซม. ในการออกแบบครั้งนี้เลือกใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ซม. เพื่อให้สะดวกในการออกแบบและก่อสร้าง จากนั้นจึงนำขนาดดังกล่าวมาคำนวณสัดส่วนต่าง ๆ ของไซโคลนดังกล่าวตามตารางที่ 2

3.4 การออกแบบสกริปเบอร์

สกริปเบอร์เป็นท่อช่วงหนึ่งที่ต้องกับท่อทางเข้าของไซโคลน โดยมีหัวฉีดชนิด axial-flow full cone nozzles Series 460.804.30 ขนาด 3/8 นิ้ว ทำจากทองเหลือง ติดตั้งอยู่กลางท่อ สามารถฉีดละอองน้ำกระจายเต็มหน้าตัดท่อ ที่อัตราการ

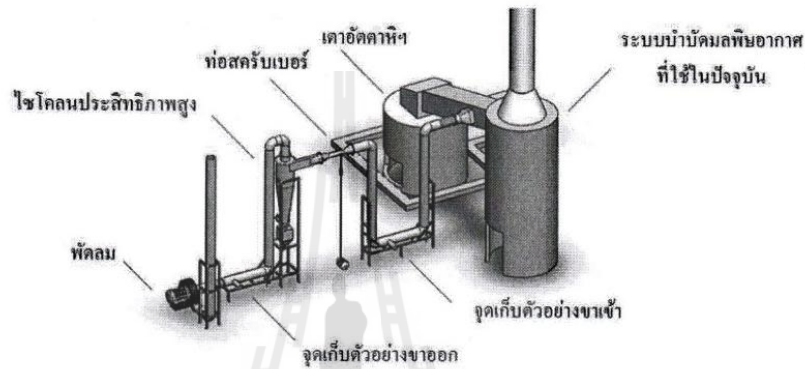


ก. ท่อสกรับเบอร์หน้าตัดปกติ



ข. ท่อสกรับเบอร์หน้าตัดลดลงร้อยละ 50

รูปที่ 2. ลักษณะท่อสกรับเบอร์



รูปที่ 3. ไซโคลนสกรับเบอร์

ไหลของน้ำที่ 3-8 ลิตรต่อนาที และความดัน 2 บาร์ ให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของละอองน้ำที่ 458-604 ไมครอน และทฤษฎีภูมิประมาณ 600-800 องศาเซลเซียสได้ การออกแบบแบ่งท่อสกรับเบอร์แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ ท่อพื้นที่หน้าตัดปกติ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 15 ซม. ตลอดทั้งเส้นท่อ ยาว 60 ซม. ดังแสดงรูปที่ 2ก. และท่อสกรับเบอร์พื้นที่หน้าตัดลดลงร้อยละ 50 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อบริเวณท่อลด 7.5 ซม. ยาว 30 ซม. และส่วนปลายท่อทั้ง 2 ด้าน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. ยาวด้านละ 15 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 2ข.

3.5 การออกแบบระบบท่อ

การออกแบบระบบท่อ กำหนดความเร็วของอากาศต่ำสุดในท่อ 13 เมตรต่อวินาที (11) และอัตราการไหลของอากาศที่ 12 ลบ.ม.ต่อนาที ทำให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 15 ซม. การออกแบบ

ความยาวท่อเพื่อลดความแปรปรวนของกระแสอากาศในขณะที่ตรวจวัดมลพิษอากาศ ใช้เกณฑ์การกำหนดจุดตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ (12) โดยจุดเจาะปล่องอยู่ปลายทางการไหลของอากาศ 70 ซม. หรือ 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ และอยู่ต้นทางการไหลของอากาศ 30 ซม. หรือ 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

3.6 การสร้างและติดตั้งไซโคลนสกรับเบอร์

ไซโคลนสกรับเบอร์ที่ได้จากการออกแบบข้างต้นแสดงดังรูปที่ 3 การก่อสร้างเลือกใช้วัสดุเป็น สเตนเลส 304 เพื่อป้องกันการเกิดสนิม การคำนวณความดันสูญเสียของระบบด้วยวิธีความดันเคลื่อนที่ (velocity pressure method) ได้ค่าความดันสูญเสียของไซโคลนสกรับเบอร์เท่ากับ 2,182 ปาสกาล หรือ 221 มม. น้ำ จึงเลือกพัดลมขนาด 2 แรงม้า ให้อัตราการไหลของอากาศ 26 ลบ.ม. ต่อนาที และความดันที่ 225 มม. น้ำ

ตารางที่ 3. ค่าประสิทธิภาพการกำจัดมลพิษอากาศที่สภาวะต่างๆ

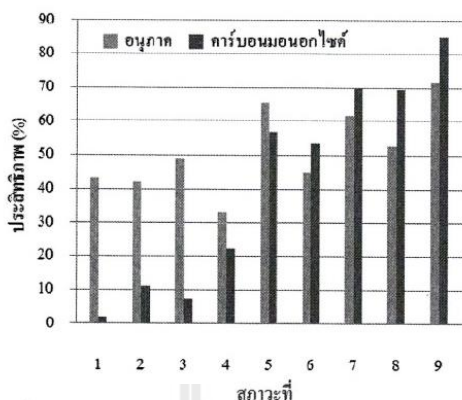
สภาวะ ที่	จุด ตรวจวัด	ความเข้มข้น อนุภาค (มก.ต่อลบ.ม.)	ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)	ความเข้มข้น คาร์บอนมอนอกไซด์ (ส่วนในล้านส่วน)	ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)
1	เข้า	297	43	1219	2
	ออก	169		1194	
2	เข้า	337	42	1535	11
	ออก	195		1366	
3	เข้า	337	49	1535	7
	ออก	172		1422	
4	เข้า	264	33	1353	22
	ออก	176		1053	
5	เข้า	264	65	1353	57
	ออก	91		582	
6	เข้า	278	45	2332	54
	ออก	153		1079	
7	เข้า	278	62	2332	70
	ออก	106		703	
8	เข้า	325	53	3586	69
	ออก	154		1096	
9	เข้า	325	72	3586	85
	ออก	91		527	

3.7 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของไซโคลนสกรับเบอร์

ผลการตรวจวัดพบก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ น้อยมาก หรือไม่สามารตรวจพบ ได้ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ (13) ทั้งนี้เพราะมูลฝอยมีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบในสัดส่วนที่น้อยมากคือ ร้อยละ 0.1 และผลการตรวจวัดก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ก่อนและหลังผ่านไซโคลนสกรับเบอร์ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเป็นไปตามที่คาดไว้ เนื่องจากก๊าซชนิดนี้สามารถละลายน้ำได้น้อย และการควบคุมในทางทฤษฎีต้องทำโดยการลดอุณหภูมิในหีองเผาไหม้ และ/หรือ การลดปริมาณออกซิเจนในการเผาไหม้ ดังนั้นจึงนำเสนอผลการศึกษาเฉพาะประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาค และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งให้ผลดังตารางที่ 3 และรูปที่ 4

3.8 การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของไซโคลนสกรับเบอร์

หลักการทำงานของไซโคลนสกรับเบอร์เริ่มจากการฉีดน้ำบริเวณท่อสกรับเบอร์ เพื่อให้เกิดการกระจายของหยดน้ำขนาดเล็กทั่วพื้นที่หน้าตัดท่อ อนุภาคฝุ่นละอองจะถูกจับไว้ในหยดน้ำด้วยกลไกหลักคือการชน (impaction) และการสกัดกั้น (interception) จากนั้นละอองน้ำที่มีอนุภาคสะสม จะถูกกำจัดออกจากกระแสอากาศเมื่อเข้าสู่ไซโคลน โดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (centrifugal force) ส่วนการบำบัดมลพิษประเภทก๊าซเกิดจากกลไกการดูดกลืน (absorption) ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างการสัมผัสของก๊าซและน้ำตลอดเวลาที่อยู่ในระบบ จากค่าประสิทธิภาพการบำบัดมลพิษอากาศทั้ง 9 สภาวะนั้น นำมาทดสอบปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาค และก๊าซของไซโคลนสกรับเบอร์ รวมทั้งการ



รูปที่ 4. ประสิทธิภาพของไซโคลนสกรับเบอร์ที่สภาวะต่างๆ

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคของไซโคลนปกติกับไซโคลนสกรับเบอร์ โดยทำการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการบำบัดมลพิษอากาศ 3 วิธี คือ 1) การเปรียบเทียบค่าจากการทดลองในเชิงพรรณนา 2) การเปรียบเทียบทางสถิติด้วยวิธี T-Test ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้สมมติฐานแบบ Parametric และ 3) การเปรียบเทียบทางสถิติด้วยวิธี Mann-Whitney test ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้สมมติฐานแบบ non-parametric โดยมีผลการวิเคราะห์ดังนี้

3.8.1 ค่า L/G ratio

ประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคเฉลี่ย กรณีค่า L/G ratio ที่ 0.27 (สภาวะที่ 2, 4, 6 และ 8) และ 0.67 (สภาวะที่ 3, 5, 7 และ 9) ลิตรต่อลบ.ม. คือ ร้อยละ 43 และ 62 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ากรณี L/G ratio สูง มีประสิทธิภาพสูงกว่ากรณี L/G ratio ต่ำ ซึ่งเป็นไปตามที่คาดหมายทางทฤษฎี ทั้งนี้เพราะจำนวนหยดน้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้โอกาสในการจับอนุภาคเพิ่มขึ้น และเมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติด้วยวิธี T-test และวิธี Mann-Whitney test พบว่ากรณี L/G ratio สูง มีประสิทธิภาพสูงกว่ากรณี L/G ratio ต่ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น

ร้อยละ 95 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่ ทบทวนมา (2, 6)

ส่วน ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ กรณีที่ L/G ratio 0.27 และ 0.67 ลิตรต่อลบ.ม. คือ ร้อยละ 39 และ 55 ตามลำดับ เห็นได้ว่า กรณี L/G ratio สูง ให้ ประสิทธิภาพสูงกว่ากรณี L/G ratio ต่ำเช่นกัน ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีการดูดกลืนที่กล่าวไว้ว่า อัตราการดูดกลืนแปรผันกับผลต่างของความเข้มข้นของก๊าซในอากาศและในน้ำ ดังนั้นเมื่อนำน้ำมาขึ้นทำให้ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ในน้ำต่ำลง อัตราการดูดกลืนจึงสูงขึ้น และได้ ประสิทธิภาพดีขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติด้วยวิธี T-test และวิธี Mann-Whitney test พบว่ายังไม่ สามารถสรุปว่ามีความแตกต่างได้ที่ระดับความเชื่อมั่นที่กำหนด

3.8.2 ปัจจัยขนาดหน้าตัดของท่อสกรับเบอร์

ประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคกรณีหน้าตัดท่อ 15 (สภาวะที่ 2-5) และ 7.5 ซม. (สภาวะที่ 6-9) คือ ร้อยละ 48 และ 58 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า กรณีขนาดหน้าตัดของท่อสกรับเบอร์มีขนาดเล็ก ให้ประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคสูงกว่ากรณี ขนาดหน้าตัดของท่อสกรับเบอร์มีขนาดใหญ่ซึ่ง

เป็นไปตามที่คาดหมายทางทฤษฎี เนื่องจากหน้าตัดท่อที่เล็กลงทำให้ความเร็วก๊าซเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดความปั่นป่วน และการชนของอนุภาค และหยดน้ำเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้วิธี T-test และวิธี Mann-Whitney test พบว่ายังไม่สามารถสรุปว่ามีความแตกต่างได้ที่ระดับความเชื่อมั่นที่กำหนด

ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ กรณีหน้าตัดท่อ 15 และ 7.5 ซม. คือ ร้อยละ 24 และ 70 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า กรณีขนาดหน้าตัดท่อสกรับเบอร์ เล็ก ให้ประสิทธิภาพสูงกว่ากรณีขนาดหน้าตัดท่อสกรับเบอร์ ใหญ่ อย่างชัดเจน ซึ่งอาจมีสาเหตุจากการสัมผัสระหว่างน้ำและก๊าซเกิดขึ้นในท่อขนาดเล็กดีกว่าในท่อขนาดใหญ่ และเมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้ T-test และวิธี Mann-Whitney test พบว่าความแตกต่างดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.8.3 ปัจจัยที่กีดขวางการฉีดน้ำ

ประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาค กรณีฉีดน้ำตามกระแสอากาศ (สภาวะที่ 2, 3, 6 และ 7) และกรณีฉีดน้ำสวนกระแสอากาศ (สภาวะที่ 4, 5, 8 และ 9) คือ ร้อยละ 50 และ 56 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า กรณีการฉีดน้ำสวนกระแสอากาศ ให้ประสิทธิภาพสูงกว่ากรณีการฉีดน้ำตามกระแสอากาศซึ่งเป็นไปในแนวทางที่คาดหมายไว้ เนื่องจากความเร็วสัมพัทธ์ของก๊าซและหยดน้ำสูงขึ้นทำให้ความปั่นป่วนและโอกาสในการชนเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติด้วยวิธี T-test และวิธี Mann-Whitney test พบว่ายังไม่สามารถสรุปว่ามีความแตกต่างได้ที่ระดับความเชื่อมั่นที่กำหนด

ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ กรณีฉีดน้ำตามกระแสอากาศ และฉีดน้ำสวนกระแสอากาศ คือ ร้อยละ 35 และ 58 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า กรณีการฉีดน้ำสวนกระแสอากาศ ให้ประสิทธิภาพสูงกว่ากรณีการฉีดน้ำตาม

กระแสอากาศ แต่เมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติด้วยวิธี T-test และวิธี Mann-Whitney test พบว่ายังไม่สามารถสรุปว่ามีความแตกต่างได้ที่ระดับความเชื่อมั่นที่กำหนด

จากผลประสิทธิภาพการบำบัดมลพิษอากาศของไซโคลนสกรับเบอร์ จะเห็นได้ว่าสภาวะที่ 9 เป็นสภาวะที่ดีที่สุด คือ มีค่า L/G ratio 0.67 ลิตรต่อ ลบ.ม. หรืออัตราการใช้น้ำที่ 8 ลิตรต่อนาที มีการฉีดน้ำสวนกระแสอากาศผ่านท่อสกรับเบอร์ขนาดหน้าตัด 7.5 ซม. โดยให้ประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาค และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ คือ ร้อยละ 72 และ 85 ตามลำดับ ความเข้มข้นฝุ่นละอองที่ปล่อยออกอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากเตาเผามูลฝอยขนาด 1-50 ตันต่อวัน คือ ไม่เกิน 320 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้ ในการเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ กล่าวได้ว่าส่วนใหญ่มีการใช้แหล่งกำเนิดมลพิษเป็นเจ้าลอย และทดลองในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ส่วนไซโคลนสกรับเบอร์ที่พัฒนาขึ้นนี้ใช้มูลฝอยที่เกิดขึ้นจริงและทำในขนาดใช้งานจริง จึงมีข้อจำกัดในการควบคุมองค์ประกอบมูลฝอยและปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ ให้คงที่ได้ในระดับหนึ่งเท่านั้น ซึ่งมีผลกับประสิทธิภาพการกำจัดมลพิษอากาศที่น้อยกว่างานวิจัยอื่น อย่างไรก็ตาม ไซโคลนสกรับเบอร์ที่ได้ออกแบบมานั้นมีค่า L/G ratio น้อยกว่ามาก เมื่อเทียบกับ Porncharoen (6); Lee, Jung, and Park (2) และการสร้างที่ไม่ซับซ้อนเมื่อเทียบกับ Yang and Yoshida (4) ซึ่งเป็นระบบที่มีขนาดเล็กมาก และต้องอาศัยป้อนลมช่วยในการฉีดน้ำให้มีลักษณะเป็นหมอก

3.8.4 การเปรียบเทียบไซโคลนปกติกับไซโคลนสกรับเบอร์

การเปรียบเทียบเฉพาะประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคระหว่างไซโคลนซึ่งไม่มีการฉีดน้ำ (สภาวะที่ 1) กับไซโคลนสกรับเบอร์ (สภาวะที่ 9) ได้ค่าประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาค เท่ากับ ร้อยละ 43 และ 72 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ไซโคลน

สกรับเบอร์ในสภาวะที่ 9 มีการออกแบบและเดินระบบที่เหมาะสมกว่า จึงให้ประสิทธิภาพสูงกว่า ไชโคลนปกติในสภาวะที่ 1 ซึ่งเป็นไปตามที่คาดหมายในทางทฤษฎีและสอดคล้องกับงานวิจัยอื่น (4) และเมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยด้วยวิธี T-test และวิธี Mann-Whitney test พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคของ ไชโคลนสกรับเบอร์สูงกว่า ไชโคลน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.8.5 การเปรียบเทียบระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบันกับไชโคลนสกรับเบอร์

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคระหว่างระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบัน เป็นระบบบำบัดมลพิษอากาศชนิดหอพ่นน้ำ (spray tower) มีขนาดหน้าตัดท่อที่ 40 ซม. มีหัวฉีดน้ำชนิด Full Cone Nozzles ขนาด 3/8 นิ้ว จำนวน 2 หัว โดยมีอัตราการใช้น้ำที่ 28 ลิตรต่อวินาที หรืออัตราส่วนระหว่างน้ำต่ออากาศที่ 0.47 ลิตรต่อลบ.ม.กับ ไชโคลนสกรับเบอร์ (สภาวะที่ 9) โดยให้ประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคที่ ร้อยละ 69 และ 72 ตามลำดับ ซึ่ง ไชโคลนสกรับเบอร์ให้ประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคสูงกว่าระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบันเล็กน้อย เมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้วิธี T-test และวิธี Mann-Whitney test พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคของ ไชโคลนสกรับเบอร์ไม่แตกต่างกับระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้สาเหตุหนึ่ง คาดว่าเป็นผลจากระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบันนั้นมีลักษณะการป้อนอากาศโดยใช้พัดลมชนิดเป่าอากาศที่ติดตั้งหัวจ่ายอากาศบริเวณใต้เตาเผามูลฝอย จึงเกิดการปั่นป่วน และฟุ้งกระจายของอากาศ ทำให้เถ้าที่ตกค้างอยู่ ลอยตัวตามกระแสอากาศไป ซึ่งเถ้าดังกล่าวเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ สามารถกำจัดได้ง่าย แต่ ไชโคลนสกรับเบอร์ใช้พัดลมชนิดดูดอากาศ ติดตั้งบริเวณส่วนปลาย

ของ ไชโคลนสกรับเบอร์ ทำให้เกิดการปั่นป่วนและฟุ้งกระจายของอากาศน้อยกว่า จึงมีเพียงอนุภาคจากการเผาไหม้ซึ่งมีอนุภาคขนาดเล็กและกำจัดได้ยากกว่า จึงเป็นข้อจำกัดในการแปลผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคระหว่าง 2 สภาวะนี้

ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบัน คือ ร้อยละ 18 เมื่อเปรียบเทียบกับ ไชโคลนสกรับเบอร์นั้น จะเห็นได้ว่ามีประสิทธิภาพน้อยกว่า คือ ร้อยละ 85 เมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติด้วยวิธี T-test และวิธี Mann-Whitney test พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของ ไชโคลนสกรับเบอร์สูงกว่าระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากผลการตรวจวัดมลพิษอากาศนั้นจะเห็นได้ว่ายังมีค่าความแปรปรวนของข้อมูลอยู่พอสมควร ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาค้นต่อไปคือการเพิ่มจำนวนตัวอย่างในการตรวจวัดให้มากขึ้น เพื่อให้เห็นความแตกต่างทางสถิติอย่างชัดเจน และสามารถหาสภาวะที่เหมาะสมได้ละเอียดชัดเจนยิ่งขึ้น นอกจากนั้น หากมีการตรวจวัดอนุภาคแบ่งเป็นช่วงขนาด จะสามารถทราบถึงประสิทธิภาพของ ไชโคลนสกรับเบอร์ในการกำจัดอนุภาคแต่ละช่วงขนาดได้ และอาจศึกษาการนำความร้อนที่เกิดในห้องเผาไหม้ไปใช้ประโยชน์ เช่น ลดความชื้นของมูลฝอยก่อนเผาเป็นต้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผามูลฝอยและลดมลพิษอากาศที่จะเกิดขึ้น

4. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้สามารถพัฒนา ไชโคลนสกรับเบอร์ที่มีความเหมาะสมในการใช้ควบคุมมลพิษอากาศจากเตาเผามูลฝอยชุมชนขนาดเล็ก โดยมีองค์ประกอบหลัก คือ ไชโคลนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ซม. สูง 120 ซม. และท่อ

สกรับเบอร์ที่มีหัวฉีด แบบ axial flow สามารถฉีด ละอองน้ำที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางในช่วง ประมาณ 300-500 ไมครอน อัตราการไหลของ อากาศที่ 12 ลบ.ม.ต่อนาที ผลการทดสอบได้ ประสิทธิภาพการบำบัดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 33 ถึง 72 ประสิทธิภาพการบำบัดคาร์บอน มอน ออกไซด์เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 7 ถึง 85 ปัจจัยที่ส่งผล ต่อประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซคาร์บอน มอนอกไซด์ และอนุภาค กล่าวโดยสรุปได้ว่าระบบจะมี ประสิทธิภาพสูงกว่าเมื่อใช้ค่า L/G ratio สูง ใช้ ขนาดหน้าตัดท่อสกรับเบอร์ลดลง หรือใช้การฉีด ละอองน้ำแบบสวนกระแสอากาศ ซึ่งสามารถนำ ค่าของปัจจัยที่ได้ไปใช้กับระบบที่ใช้งานจริงกับ เตาเผามูลฝอยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี รวมทั้งเตาเผาขนาดเล็กอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม ใน หลายกรณีไม่พบความแตกต่างทางสถิติที่ระดับ $\alpha = 0.05$ ซึ่งอาจเนื่องมาจากจำนวนข้อมูลที่ตรวจวัด แต่ละสภาวะมีจำนวนน้อย และมีความแปรปรวน จากองค์ประกอบของมูลฝอยที่ใช้มูลฝอยจริงใน การศึกษา และพบว่าประสิทธิภาพการกำจัด อนุภาคของไซโคลนสกรับเบอร์สูงกว่าไซโคลน แบบปกติซึ่งไม่มีการฉีดละอองน้ำ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก 3 แหล่ง ทุนภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ได้แก่ ทุนอุดหนุนโครงการวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์ระดับ บัณฑิตศึกษา ฝ่ายปรับแปลงและถ่ายทอด เทคโนโลยี เทคโนโลยี และคณะทำงานโครงการ จัดการวัสดุรีไซเคิลภายในมหาวิทยาลัย ธนาคาร วัสดุรีไซเคิล ส่วนอาคารสถานที่ สำนักงาน อธิการบดี

6. เอกสารอ้างอิง

- (1) Theodore L, Buonicore AJ. Air pollution control equipment. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag; 1994
- (2) Lee BK, Jung KR, Park SH. Development and application of a

novel swirl cyclone scrubber-(1) experimental. Aerosol Sci. 2008; (39): 1079-88.

- (3) Meikap BC, Biswas MN. Fly-ash removal efficiency in a modified multi-stage bubble column scrubber. Sep Purif Technol. 2004; (36): 177-90.
- (4) Yang KS, Yoshida H. Effect of mist injection position on particle separation performance of cyclone scrubber. Sep Purif Technol. 2004; (37): 221-30.
- (5) Visuti T. Development of cyclone scrubber for collecting dust from grinding wheel [MSc thesis]. Bangkok: Chulalongkorn University; 2004. Thai.
- (6) Porncharoen S. Collection of fine particles by cyclonic scrubber [MSc thesis]. Bangkok: King Mongkut's University of Technology Thonburi; 2001. Thai.
- (7) Suebnukarn A. Upgrading the capacity of a small scale solid waste incinerator. [MSc thesis]. Nakhonratchasima: Suranaree University of Technology; 2001. Thai.
- (8) David HF, Bela G. Hazardous Waste and Solid Waste. New York: Lewis Publishers; 1999.
- (9) Panich N, Panich S, Limpaseni W, Chongvisal V, Suardi V. Text book treatment of air pollution. Department of Industrial Works; 2004. Thai.
- (10) Stairmand CJ. The design and performance of cyclone separators. Transactions of Industrial Chemical Engineers. 1951; (29).

- (11) Nimman C. Dust disposal and ventilation system. 3rd ed. Technology Promotion Association Association (Thailand-Japan); 2005.Thai.
- (12) Pollution Control Department. The air quality monitoring from stack manual (Version1); 2006
- (13) Kosungnern L. Air and water pollution control from a small solid-waste incinerator. [MSc thesis]. Nakhonratchasima: Suranaree University of Technology; 2001. Thai.



ประวัติผู้เขียน

นายอภิชาติ ศุภจรรยารักษ์ เกิดเมื่อวันที่ 3 มีนาคม พ.ศ.2528 ที่จังหวัดปัตตานี สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนเบญจมราชูทิศ จังหวัดปัตตานี และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ.2550 หลังจากสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ได้เป็นผู้ช่วยวิจัยโครงการ “การพัฒนาระบบเฝ้าระวังฝุ่นละอองและคุณภาพอากาศแบบบูรณาการเพื่อสนับสนุนการจัดการคุณภาพอากาศในชุมชน ” ขณะเดียวกันได้ศึกษาต่อระดับวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ณ สถาบันการศึกษาเดิม โดยได้รับทุนโครงการการให้ทุนการศึกษาแก่นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาที่คณาจารย์ได้รับทุนวิจัยจากแหล่งทุนภายนอก จาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และทุนผู้ช่วยสอนและผู้ช่วยวิจัยสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม โดยรับผิดชอบรายวิชา (1) กฎหมายสิ่งแวดล้อม (2) ปฏิบัติการหน่วยสิ่งแวดล้อม (3) ปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม (4) เคมีวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม (5) ปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อม2 และ (6) วิศวกรรมมลพิษอากาศ