

การควบคุมมลภาวะทางอากาศและน้ำจากเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็ก

นายเลอศักดิ์ โคสูงเนิน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-533-060-4

**AIR AND WATER POLLUTION CONTROL FROM A SMALL SOLID-WASTE
INCINERATOR**

Mr. Lersak Kosungnern

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

Suranaree University of Technology

Academic Year 2001

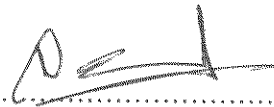
ISBN 974-533-060-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การควบคุมมลภาวะทางอากาศและน้ำจากเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็ก
AIR AND WATER POLLUTION CONTROL FROM A SMALL SOLID-WASTE
INCINERATOR

สภามหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีอนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จางจิ้นต์ ผลประเสริฐ)
ประธานกรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา



.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โชคชัย วาน)
กรรมการ



.....
(ดร.อุดมพล พิชน์พินทุ์)
กรรมการ



.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. ทวิช จิตรสมบูรณ์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ



.....
(รองศาสตราจารย์ น.อ.ดร.วรพจน์ ขำพิศ)
คณบดี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

เลิศศักดิ์ โศสูงเนิน : การควบคุมมลภาวะทางอากาศและน้ำจากเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็ก
(AIR AND WATER POLLUTION CONTROL FROM A SMALL SOLID-WASTE
INCINERATOR) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. จงจินต์ ผลประเสริฐ, 105 หน้า.
ISBN 974-533-060-4

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ใช้เตาเผาที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 เมตร สูง 2.6 เมตร และมีท่อระบายไอเสียเชื่อมกับหอพ่นน้ำ (Spray Tower) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 เมตร สูง 6.4 เมตรเพื่อศึกษาตัวแปรสำคัญในการควบคุมมลสารทางอากาศและน้ำจากเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็ก การวิจัยได้เติม “ขยะแห้ง” และ “ขยะเปียก” เข้าสู่เตาเผาด้วยอัตราส่วนผสมขยะ 1:0, 4:1, 3:1, 2:1, และ 1:1 ผลการศึกษาพบว่ามลสารทางอากาศมีค่า $CO = 803-1736$ ppm $CO_2 = 12000-18000$ ppm $NO_x = 15-20$ ppm ไม่พบ SO_2 และอัตราการไหลของอากาศเสียเท่ากับ $4.13-6.53$ m³/min มลสารทางน้ำมีค่า pH = 3.0-5.9 แอซิดิตีเท่ากับ 210.1-294.8 mg/L as CaCO₃ คลอไรด์เท่ากับ 76.3-162.0 mg/L ซัลเฟตเท่ากับ 0.01-0.03 mg/L ไนเตรตเท่ากับ 0.2-1.6 mg/L ความขุ่นเท่ากับ 29.3-40.3 NTU, TS = 874-1660 mg/L และ TSS = 63-192 mg/L สารส้มที่ใช้ในการก่ตะกอนเท่ากับ 100-200 mg/L และปริมาณปูนขาวที่เติมเพื่อปรับ pH เท่ากับ 155-218 mg/L ต่อขยะ 200 kg ทั้งนี้ขนาดของอนุภาคมลสารส่วนใหญ่เท่ากับ 20 μ m อยู่ในน้ำทิ้งของถังตกตะกอน

คุณภาพอากาศที่ระบายออกอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานแต่ค่า CO ก่อนข้างสูง พบว่าค่าของมลพิษมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของขยะแห้ง คุณภาพของน้ำเสียนั้นมีความเป็นกรดสูงเนื่องจากปริมาณของคลอไรด์ มลสารทางน้ำจำพวกของแข็งสามารถกำจัดได้ด้วยบ่ตกตะกอนซึ่งมีประสิทธิภาพเท่ากับ 60 % ส่วนของแข็งแขวนลอยที่เหลือ สามารถถูกกำจัดโดยการเติมสารก่ตะกอนคือสารส้ม

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2544

ลายมือชื่อนักศึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

LERSAK KOSUNGNERN : AIR AND WATER POLLUTION CONTROL FROM A
SMALL SOLID-WASTE INCINERATOR. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF
CHONGCHIN POLPRASERT, Ph.D. 105 PP. ISBN 974-533-060-4

AIR AND WASTEWATER POLLUTION/INCINERATOR/SPRAY TOWER/
SEDIMENTATION POND/RECIRCULATION

Using a small scale incinerator with the diameter of 0.8 m and height of 2.6 m, the parameters concerning air and water pollution control were studied from the burning of community solid wastes. The incinerator was fed with the mixture of “dry” and “wet” garbage at the ratio of 1:0, 4:1, 3:1, 2:1 and 1:1. The following ranges of gaseous emission were found : CO = 803-1736 ppm, CO₂ = 12000-18000 ppm, NO_x = 15-20 ppm, and no SO₂. The waste-gas flowrate ranged from 4.13 to 6.53 m³/min. The scrubbed water contained the following characteristics : pH = 3.0-5.9, acidity = 294.8-210.1 mg/L as CaCO₃, Cl⁻ = 162.0-76.3 mg/L, SO₄²⁻ = 0.01-0.03 mg/L, NO₃⁻ = 1.6-0.2 mg/L, Turbidity = 29.3-40.3 NTU, TS = 874-1660 mg/L, and TSS = 63-192 mg/L. The optimum dosages of alum and lime were found in the jar-test experiments to be, respectively, in the range of 100-200 and 155-218 mg/L per 200 kg of solid wastes incinerated. The majority of particles found in the clarifier effluent had the diameter of about 20 μm .

The gaseous pollutants in the study were found to conform to the emission standard, but with a rather-high CO concentration. Their concentrations, however, were increased as higher contents of “dry” garbage in the mixture were incinerated. Also, the scrubbed water was acidic, due to chloride ion. The clarifier could remove about 60% of suspended matter from the scrubbed water. The remaining solids in the effluent could be further removed, using precipitation with alum.

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2544

ลายมือชื่อนักศึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือ อย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการ และ ด้านการดำเนินงานวิจัย อาทิเช่น

- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จงจินต์ ผลประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โชคชัย วนภู และ ดร. อุดมผล พิษณุไพบูลย์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์
- กรรมการสภาผู้แทนราษฎร ปีงบประมาณ 2543 ที่สนับสนุนงบประมาณ โครงการวิจัยนี้ โดยมีหน่วยงานเทคโนโลยี มหาวิทยาเทคโนโลยีสุรนารี เป็นผู้ประสานงาน
- อาจารย์บุญชัย วิจิตรเสถียร และ พันเอกโกวิท นงศ์ชนะนา ที่ปรึกษาโครงการ
- เจ้าหน้าที่ส่วนอาคารสถานที่ และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้อำนวยความสะดวกด้านอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การเลี้ยงดูอบรมและส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างดีตลอดมาในอดีต จนทำให้ผู้วิจัยประสบผลสำเร็จในชีวิตตลอดมา

เลอศักดิ์ โคนสูงเนิน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
2 ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 การควบคุมมลพิษที่แหล่งกำเนิด.....	4
2.1.1 การควบคุมมลพิษที่เป็นแก๊ส.....	8
2.1.2 การควบคุมอนุภาคมลสาร.....	15
2.2 การควบคุมโดยการเจือจางในบรรยากาศ.....	19
2.3 ผลกระทบของการเกิดมลพิษทางอากาศ.....	21
2.3.1 ผลกระทบทางตรง.....	21
2.3.2 ผลกระทบทางอ้อม.....	22
3 การดำเนินการวิจัย.....	24
3.1 ระเบียบวิธีวิจัย.....	24
3.1.1 ตัวอย่างขยะที่ใช้ในการศึกษา.....	24
3.1.2 การดำเนินการศึกษามลพิษทางอากาศ.....	26

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1.3 การดำเนินการศึกษามลสารทางน้ำ	26
3.2 สถานที่ทำการทดลอง	26
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	26
3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	26
3.5 การเก็บรวบรวมตัวอย่าง	27
3.5.1 อากาศเสีย	27
3.5.2 น้ำ	28
4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล	29
4.1 ลักษณะของขยะที่ใช้วิจัย	29
4.2 ผลของอากาศเสีย	29
4.2.1 แนวคิดรูปแบบของมลสารทางอากาศ	33
4.3 ผลของน้ำเสีย	39
4.3.1 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสีย	39
4.3.2 การควบคุมมลสารทางน้ำ	40
4.3.3 จาร์เทสต์	47
4.4 ตัวอย่างการคำนวณ	49
4.4.1 ตัวอย่างการคำนวณค่ามลสารทางอากาศ	49
4.4.2 ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณปูนขาวที่ต้องเติมในน้ำเสีย	49
4.4.3 ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณตะกอนที่ต้องรีดน้ำและฝังกลบ	50
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	51
5.1 สรุปผลการทดลอง	51
5.2 ข้อเสนอแนะ	52
รายการอ้างอิง	53
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ผลการศึกษามลสารทางอากาศ	55
ภาคผนวก ข ผลการศึกษามลสารทางน้ำ	93

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ก แบบเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็กและระบบบำบัดอากาศและน้ำ	102
ประวัติผู้เขียน	105

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ประสิทธิภาพและน้ำที่ความต้องการของเครื่องดูดซับแบบเปียก..... 8
2.2	ค่าคงที่ของเฮนรีสำหรับแก๊สในน้ำ..... 14
2.3	สัมประสิทธิ์การแพร่ของอนุภาค 18
3.1	การดำเนินการศึกษามลสารทางน้ำ..... 27
3.2	เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์มลสารทางอากาศและมลสารทางน้ำ..... 27
4.1	อัตราส่วนผสมของขยะโดยน้ำหนัก..... 29
4.2	องค์ประกอบทางกายภาพของขยะ 30
4.3	องค์ประกอบทางเคมีของขยะในการศึกษาครั้งนี้ 31
4.4	สัดส่วนโมลของขยะ 31
4.5	ค่าเฉลี่ยมลสารทางอากาศตามแนวคิด..... 33
4.6	ผลการวิเคราะห์ห้้น้ำเสียที่ออกจากหอพ่นน้ำ 39
4.7	ผลการวิเคราะห์ห้้น้ำเสียที่ออกจากหอพ่นน้ำเข้าสู่บ่อดกตะกอน 41
4.8	ความสัมพันธ์ของขนาดอนุภาคและปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ออกจากหอพ่นน้ำ เข้าสู่บ่อดกตะกอน 42
4.9	ความสัมพันธ์ของขนาดอนุภาคและปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ออกจากบ่อดก ตะกอน 43
4.10	ค่าความเร็วของอนุภาคขนาดต่างๆและจำนวนอนุภาคในน้ำ..... 44
4.11	ประสิทธิภาพของบ่อดกตะกอนจากการทดลอง 46
4.12	ผลการทดลองจาร์เทสต์..... 47
4.13	ค่าเฉลี่ยปริมาณตะกอนที่ต้องรีดน้ำและปริมาณเข้าจากการเผา 50
1ก	แสดงองค์ประกอบทางกายภาพของขยะในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี..... 56
2ก	ความชื้นของแต่ละองค์ประกอบของขยะในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 56
3ก	ผลของแก๊ส CO ₂ , CO และ NO _x ที่อัตราส่วนผสมขยะ 1:0 น้ำหนักขยะ 200Kg 57
4ก	ผลของแก๊ส CO ₂ , CO และ NO _x ที่อัตราส่วนผสมขยะ 4:1 น้ำหนักขยะ 200Kg 59

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
5ก	ผลของแก๊ส CO ₂ , CO และ NO _x ที่อัตราส่วนผสมขยะ 3:1 น้ำหนักขยะ 200Kg	62
6ก	ผลของแก๊ส CO ₂ , CO และ NO _x ที่อัตราส่วนผสมขยะ 2:1 น้ำหนักขยะ 200Kg	65
7ก	ผลของแก๊ส CO ₂ , CO และ NO _x ที่อัตราส่วนผสมขยะ 1:1 น้ำหนักขยะ 200Kg	68
8ก	ค่าของมลพิษทางอากาศที่ใช้ในการคำนวณ ที่อัตราส่วน 1:0	72
9ก	ผลการคำนวณตามสมการแนวคิดที่อัตราส่วน 1:0	73
10ก	ค่าของมลพิษทางอากาศที่ใช้ในการคำนวณ ที่อัตราส่วน 4:1	74
11ก	ผลการคำนวณตามสมการแนวคิดที่อัตราส่วน 4:1	75
12ก	ค่าของมลพิษทางอากาศที่ใช้ในการคำนวณ ที่อัตราส่วน 3:1	76
13ก	ผลการคำนวณตามสมการแนวคิดที่อัตราส่วน 3:1	77
14ก	ค่าของมลพิษทางอากาศที่ใช้ในการคำนวณ ที่อัตราส่วน 2:1	78
15ก	ผลการคำนวณตามสมการแนวคิดที่อัตราส่วน 2:1	79
16ก	ค่าของมลพิษทางอากาศที่ใช้ในการคำนวณ ที่อัตราส่วน 1:1	80
17ก	ผลการคำนวณตามสมการแนวคิดที่อัตราส่วน 1:1	81
18ก	ผลของอุณหภูมิแก๊สไอเสียที่อัตราส่วน 1:0 (องศาเซลเซียส).....	82
19ก	ผลของอุณหภูมิแก๊สไอเสียที่อัตราส่วน 4:1 (องศาเซลเซียส).....	83
20ก	ผลของอุณหภูมิแก๊สไอเสียที่อัตราส่วน 3:1 (องศาเซลเซียส).....	85
21ก	ผลของอุณหภูมิแก๊สไอเสียที่อัตราส่วน 2:1 (องศาเซลเซียส).....	87
22ก	ผลของอุณหภูมิแก๊สไอเสียที่อัตราส่วน 1:1 (องศาเซลเซียส).....	89
1ข	ผลการวิเคราะห์น้ำเสียที่ออกจากหอพ่นน้ำ.....	94
2ข	ปริมาณของแข็งในน้ำเสียที่เข้าสู่บ่อดกตะกอน.....	95
3ข	ปริมาณของแข็งในน้ำเสียที่ออกจากบ่อดกตะกอน	96
4ข	ขนาดของอนุภาคและจำนวนอนุภาคในน้ำเสียที่เข้าสู่บ่อดกตะกอน	97
5ข	ขนาดของอนุภาคและจำนวนอนุภาคในน้ำเสียที่ออกจากบ่อดกตะกอน	99
6ข	ผลการทดลองจาร์เทสต์	101

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 (a) หอพนน้ำแบบแนวตั้ง และ (b) หอพนน้ำแบบแนวราบ.....	6
2.2 หอพนไซโคลน.....	7
2.3 เครื่องดูดซับแบบกระทบชนิดบรรจุตัวกลาง.....	9
2.4 เครื่องดูดซับแบบเวนทูรี.....	10
2.5 เส้นสมมูลสำหรับ $\text{SO}_2\text{-H}_2\text{O}$	13
2.6 การเพิ่มความเข้มข้นผ่านฟิล์มของแก๊สและของเหลว.....	15
2.7 กลไกการเกาะติดอนุภาคบนหยดของเหลวในเครื่องดูดซับ.....	17
2.8 การกระจายของอนุภาคแบบ log-normal.....	19
2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการชนและขนาดของหยดของเหลวสำหรับระบบหอพนน้ำ.....	20
3.1 วิธีการดำเนินการทดลอง.....	25
3.2 ส่วนประกอบของเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็ก.....	28
4.1 ความสัมพันธ์ของแก๊ส CO_2 กับ CO และอุณหภูมิของแก๊สไอเสียที่อัตราส่วน 1:0.....	34
4.2 ความสัมพันธ์ของแก๊ส CO กับ NO_x และอุณหภูมิของแก๊สไอเสียที่อัตราส่วน 1:0.....	35
4.3 ความสัมพันธ์ของแก๊ส CO_2 กับ NO_x และอุณหภูมิของแก๊สไอเสียที่อัตราส่วน 1:0.....	36
4.4 ความสัมพันธ์ของแก๊สแต่ละชนิดกับอุณหภูมิของแก๊สไอเสียที่อัตราส่วน 1:0.....	37
4.5 ความสัมพันธ์ของแก๊ส CO_2 กับ CO และอุณหภูมิของแก๊สไอเสียที่อัตราส่วน 1:0.....	37
4.6 ความสัมพันธ์ของแก๊ส CO กับ NO_x และอุณหภูมิของแก๊สไอเสียที่อัตราส่วน 1:0.....	38
4.7 ความสัมพันธ์ของแก๊ส CO_2 กับ NO_x และอุณหภูมิของแก๊สไอเสียที่อัตราส่วน 1:0.....	38
4.8 ความสัมพันธ์ของปริมาณแอนไอออนที่ทำให้เกิดความเป็นกรดในน้ำกับอัตราส่วนผสมของขยะ.....	40
4.9 ความสัมพันธ์ของขนาดอนุภาคและปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ออกจากหอพนน้ำเข้าสู่บ่อดักตะกอน.....	42

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.10 ความสัมพันธ์ของขนาดอนุภาคและปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ออกจากบ่อดก ตะกอน	43
4.11 ประสิทธิภาพของบ่อดกตะกอน.....	45
4.12 ความสัมพันธ์ของความขุ่นกับปริมาณสารส้มที่ต้องใช้ในการก่อบ่อตะกอนที่อัตราส่วน ต่างๆ.....	48
1ก ความสัมพันธ์ของแก๊สแต่ละชนิดและอุณหภูมิของแก๊สไอเสีย ที่อัตราส่วน 1:0	72
2ก ความสัมพันธ์ของแก๊สแต่ละชนิดและอุณหภูมิของแก๊สไอเสีย ที่อัตราส่วน 4:1	74
3ก ความสัมพันธ์ของแก๊สแต่ละชนิดและอุณหภูมิของแก๊สไอเสีย ที่อัตราส่วน 3:1	76
4ก ความสัมพันธ์ของแก๊สแต่ละชนิดและอุณหภูมิของแก๊สไอเสีย ที่อัตราส่วน 2:1	78
5ก ความสัมพันธ์ของแก๊สแต่ละชนิดและอุณหภูมิของแก๊สไอเสีย ที่อัตราส่วน 1:1	80
1ค แบบเตาเผาขยะชุมชน ระบบบำบัดอากาศและน้ำ.....	103
2ค แบบบ่อดกตะกอน	104

คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ

kg	=	Kilogram
m ³	=	Cubicmeter
L/m ³	=	Liter per cubicmeter
m/s	=	Meter per second
μm	=	Micrometer
Ω	=	Omega
ppm	=	Part per million
psi	=	Pound per square inch
mg/L as CaCO ₃	=	Milligram per liter as calcium carbonate
C	=	Carbon
H	=	Hydrogen
O	=	Oxygen
S	=	Sulfur
N	=	Nitrogen
H ₂ O	=	Water
CO	=	Carbon monoxide
CO ₂	=	Carbon dioxide
NO _x	=	Oxides of nitrogen
SO ₂	=	Sulfur dioxide

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ขยะมูลฝอยเป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่สร้างปัญหาสิ่งแวดล้อมซึ่งทุกเมืองกำลังเผชิญอยู่ ปัญหาด้านขยะมูลฝอยนี้มาจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นภายในอาคารสำนักงาน ด้านการเกษตรอุตสาหกรรม โรงงานอุตสาหกรรม และแหล่งชุมชนที่อยู่อาศัย ตัวของขยะมูลฝอยเองเป็นมลพิษขั้นที่หนึ่ง (Primary Pollution) ในการกำจัดขยะมูลฝอยมีวิธีการกำจัดอยู่หลายวิธีเช่น การหมักทำปุ๋ยอินทรีย์ การฝังกลบ และการเผา ฯลฯ โดยแต่ละวิธีมีข้อจำกัดในตัวเอง เช่นการหมักทำปุ๋ยอินทรีย์ เหมาะกับขยะที่เป็นสารอินทรีย์ ได้แก่ พวกเศษพืชผัก ผลไม้ เศษอาหาร ส่วนการฝังกลบก็ต้องใช้พื้นที่มากซึ่งทุกวันนี้ราคาที่ดินกันนับวันแต่จะมีราคาแพงขึ้น สำหรับการเผานั้น ถ้าเป็นการเผาที่ไม่มีอุปกรณ์กำจัดแก๊สไอเสียก็จะก่อให้เกิดปัญหาหมอกพิษทางอากาศ ซึ่งเป็นมลพิษขั้นที่สอง (Secondary Pollution)

เพราะขยะมูลฝอยมีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกวัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีเตาเผาขยะมูลฝอย ในที่นี้จะพิจารณามลพิษทางอากาศที่เกิดจากเตาเผาขยะ ซึ่งเป็นสิ่งรบกวนต่อสาธารณะหรือ ก่อให้เกิดมลภาวะสิ่งแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อสุขภาพและชีวิตมนุษย์ พืชและสัตว์ มลสารที่ก่อให้เกิดปัญหาอันได้แก่ คาร์บอนที่เกิดจากการสันดาปซึ่งมีส่วนประกอบมีพิษเช่น SO_x , NO_x , CO และอนุภาคแขวนลอย (ฝุ่นละออง) เป็นต้น การเผาขยะแต่ละครั้งให้แก๊ส NO_x และ CO จำนวนมากพร้อมๆ กัน แต่ช่วงเวลาของการเกิดแก๊สเหล่านี้จะถูกกำหนดด้วยปัจจัยอื่นๆ เช่น ปริมาณออกซิเจน และอุณหภูมิของแก๊สที่ออกจากปล่องไอเสีย (อรรถกร และ อานาจ, 2538) ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีคือ การเผาไหม้เชื้อเพลิงในอากาศ ไนโตรเจน (N_2) และออกซิเจน (O_2) ในอากาศจะรวมตัวกันในรูปของ NO และ NO_2 หรือในเชื้อเพลิงนั้นอาจมีส่วนประกอบของไนโตรเจนเมื่อถูกเผาไหม้ก็จะแสดงในรูป NO_x (Cooper and Alley, 1994) และองค์ประกอบของขยะก็มีความสำคัญต่อสารมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นเช่น ขยะถุงพลาสติกที่ใช้ใส่อาหาร เป็นขยะที่ประกอบด้วยไวนิลคลอไรด์ (vinyl chloride) ได้แก่ polyethylene vinyl และ ไนลอน ซึ่งถูกเผาไหม้ได้แต่จะส่งกลิ่นเหม็นมาจากแก๊ส hydrogen chloride แก๊สมลพิษที่มีไวนิลคลอไรด์สูงจึงต้องผ่านการบำบัดโดยใช้โซดา (caustic soda) หรือสารเคมีอื่นที่เหมาะสมเป็นตัวจับแก๊ส (อุคร, 1996) มลสารในรูปแก๊สและแอโรโซลที่ถูกปล่อยออกสู่อากาศจะถูกพาและแพร่กระจายโดยลม ในระหว่างการเคลื่อนที่ มลสารอาจเปลี่ยนคุณสมบัติของมันโดยกระบวนการทางเคมี และโฟโตเคมีคัล (Photochemical) เมื่อเวลาผ่านไปมันอาจถูกกำจัด

ออกจากอากาศโดยถูกชะล้างด้วยน้ำฝน (Wet Deposition) ฝุ่น ควัน อนุภาค และจับเกาะบนพื้นดิน น้ำ หรือพืชและตอตะกอง ถึงแม้ว่ามลสารจะหายไปจากอากาศ แต่มันก็อาจทำให้เกิดการปนเปื้อนในดินและน้ำ ทำความเสียหายต่อพืช

การควบคุมและป้องกันมลพิษทางอากาศจากแหล่งกำเนิดให้น้อยที่สุดเท่าที่จะกระทำเพื่อช่วยลดปัญหาที่จะเกิดต่อสุขภาพอนามัยและผลเสียอื่นๆ ต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมในการกำจัดสารปนเปื้อนในอากาศชนิดต่างๆ อุปกรณ์บางอย่างสามารถกำจัดสารปนเปื้อนได้หลายชนิด แต่อุปกรณ์บางอย่างสามารถกำจัดสารปนเปื้อนได้เพียงชนิดเดียว การเลือกใช้อุปกรณ์ใดๆ ที่ช่วยในการลดหรือกำจัดสารปนเปื้อนนั้น จำเป็นต้องศึกษาถึงหลักการในการทำงานของอุปกรณ์ดังกล่าวอย่างละเอียดเสียก่อน

อุปกรณ์ที่เลือกใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือ หอพ่นน้ำ (Spray Tower) เป็นการควบคุมมลพิษที่แหล่งกำเนิดโดยวิธีดูดซับด้วยของเหลว เช่น แก๊สไนโตรเจน ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถละลายในตัวทำละลาย (เอทานอล อะซิโตน หรือเบนซีน) ได้ดีกว่าน้ำ 2-10 เท่า และตัวทำละลายที่มีความเข้มข้นน้อยๆ จะทำให้ความสามารถในการละลายดีขึ้นเพราะจะทำให้ตัวทำละลายนั้นมีความหนืดน้อย การเลือกตัวทำละลายควรเลือกตัวที่ทำให้การละลายเกิดได้เร็วเพราะจะทำให้อัตราการละลายมีมากขึ้นและใช้ตัวทำละลายน้อยลง (Peavy et al, 1985) (ปกติจะใช้น้ำ) วิธีดูดซับด้วยของเหลวเป็นการกำจัดมลสารทั้งในสถานะแก๊ส ละอองไอ และอนุภาคแขวนลอย ออกจากแก๊สไอเสียโดยอาศัยหยดของเหลวหรือฟิล์มของเหลวเป็นตัวจับหรือยึดอนุภาคแขวนลอยเอาไว้ เพราะเมื่ออนุภาคสัมผัสกับของเหลวจะทำให้อนุภาคมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นจะเกิดความหนืด ไม่ไหลออกไปกับไอเสีย ของเหลวที่จะใช้ดูดซับอาจเป็นน้ำหรือสารเคมีอื่นๆ ซึ่งขนาดของหยดของเหลวในช่วง 500-1000 ไมครอน เป็นขนาดที่การกระทบมีประสิทธิภาพสูงสุด (Stairmand, 1964)

กลไกที่มีบทบาทในการจับติดอนุภาคหรือแก๊สในเครื่องดูดซับอาจมีบางกลไกหรือเกิดขึ้นทั้งหมด คือ การกระทบแรงเฉื่อย (Inertial Impaction), การสกัดกั้นโดยตรง (Direct Interception), การแพร่ (Diffusion, Brownian Movement), แรงไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Force), แรงโน้มถ่วง (Gravitational Force), การควบแน่น (Condensation), และการถ่ายเทความร้อน (Thermal Gradients) กลไกการแพร่เป็นปัจจัยที่สำคัญในการกำหนดประสิทธิภาพในการกำจัดแก๊สในหอพ่นน้ำ และการบังคับให้แก๊สจากการเผาไหม้ไหลหักมุม 90° ทั้งในแนวราบและแนวตั้ง ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนทิศการไหลของแก๊ส เঝมาและอนุภาคต่างๆ ที่มากับแก๊สร้อนจะร่วงตกลงมาจากแก๊ส (สมรัฐ, 2538)

หอพ่นน้ำนั้นเหมาะสำหรับใช้จับติดอนุภาคแขวนลอยและการถ่ายเทมวล (การดูดซับแก๊ส) ประโยชน์ของหอพ่นน้ำคือ มีราคาไม่แพง สามารถกำจัดฝุ่นที่มีความเข้มข้นสูงๆ ได้ ใช้เป็นระบบ

เบื้องต้นในการกำจัดอนุภาคแขวนลอย (ขนาดประมาณ 25 ไมครอน) และใช้เป็นระบบหล่อเย็นเบื้องต้น ข้อเสียของหอพ่นน้ำคือ จะมีประสิทธิภาพต่ำเมื่อใช้กำจัดอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเล็ก (0-5 ไมครอน) น้ำที่ออกจากระบบก่อให้เกิดปัญหาหมอกควันทางน้ำ ดังนั้นในระบบหอพ่นน้ำที่ทำการศึกษาจึงได้นำบ่อตกตะกอนมาใช้ร่วมด้วยเพื่อลดปัญหาหมอกควันทางน้ำ และน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

1.2 วัตถุประสงค์ในการศึกษา

มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาดังนี้

1.2.1 เพื่อศึกษาตัวแปรสำคัญในการควบคุมมลสารทางอากาศจากเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็ก

1.2.2 เพื่อศึกษาตัวแปรสำคัญในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่และระบายทิ้งจากกระบวนการบำบัดอากาศ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

การศึกษากontrolมลสารทางอากาศและน้ำจากเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็กมีขอบเขตของงานดังนี้

1.3.1 ศึกษามลสารทางอากาศซึ่งเกิดจากการเผาขยะชุมชนด้วยเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็ก ขยะที่ทำการศึกษาคือ ขยะที่เผาไหม้ได้ (Combustible) โดยขยะที่เผาไหม้ได้แยกออกเป็น

- ขยะแห้ง (Dry Garbage) คือ ขยะที่มีความชื้นต่ำกว่า 40 เปอร์เซ็นต์
- ขยะเปียก (Wet Garbage) คือ ขยะที่มีความชื้นมากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์

ในแต่ละประเภทของขยะจะทำการศึกษาตามอัตราส่วนของขยะคือ ขยะแห้งต่อขยะเปียก 1:0, 4:1, 3:1, 2:1 และ 1:1 จะทำการศึกษาอัตราส่วนละ 200 กิโลกรัมและทำการทดลองซ้ำอัตราส่วนละ 4 ครั้ง ขยะที่ทำการศึกษาเป็นขยะภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.3.2 มลสารทางอากาศที่ได้ทำการศึกษาได้แก่ CO, CO₂, NO_x และ SO₂ โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์แก๊ส (Gas Analyzer)

1.3.3 มลสารทางน้ำที่ได้ทำการศึกษาได้แก่ ขนาดของอนุภาคแขวนลอย ความเป็นกรด คลอไรด์ ซัลเฟต ไนเตรท ปริมาณปูนขาว (Ca(OH)₂) ที่ต้องเติมในน้ำเพื่อปรับพีเอชให้เหมาะสม สำหรับการก่อก้อน ปริมาณสารส้ม (Alum) ที่เหมาะสมในการตกตะกอน

บทที่ 2

ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การควบคุมมลพิษที่ดีที่สุดก็คือการป้องกันไม่ให้เกิดมลพิษเกิดขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่อมีมลพิษเกิดขึ้นมาแล้วก็ต้องหาวิธีกำจัดให้มีปริมาณน้อยลง จนไม่เป็นอันตรายหรือเกิดความเสียหายขึ้น การควบคุมมลพิษจากแหล่งกำเนิดอาจทำได้ 2 วิธี คือ

1. การควบคุมมลพิษที่แหล่งกำเนิด
2. การควบคุมมลพิษโดยการเจือจางในบรรยากาศ

2.1 การควบคุมมลพิษที่แหล่งกำเนิด

วิธีควบคุมมลพิษที่แหล่งกำเนิดอาจทำได้ 3 วิธี

1. การพัฒนาเตาเผาให้มีกระบวนการสันดาปเกิดได้สมบูรณ์ที่สุด
2. แยกประเภทของขยะที่จะนำมาเผาเพื่อให้การสันดาปเกิดได้สมบูรณ์
3. ทำความสะอาดแก๊สไอเสียก่อนที่จะปล่อยออกสู่บรรยากาศ

การเลือกวิธีควบคุมที่เหมาะสมของแต่ละปัญหานั้นขึ้นอยู่กับ มลพิษที่เกิดขึ้น กระบวนการที่ทำให้เกิดมลพิษ และระดับการควบคุมที่ต้องการ มลสารที่เกิดขึ้นในกระบวนการสันดาปแบ่งได้เป็น 3 ชนิดคือ

1. มลสารที่เกิดจากการสันดาปไม่สมบูรณ์ เช่น ไฮโดรคาร์บอน (HC) คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และอนุภาคที่ยังเผาไหม้ได้อีก
2. มลสารที่ติดมากับวัสดุเชื้อเพลิง เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) จากเชื้อเพลิงที่มี S, N
3. ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ที่เกิดจากการใช้อากาศเกินพอในปฏิกิริยาที่มีความร้อนสูง เครื่องดูดซับแบบเปียก (Wet Scrubber) เป็นการควบคุมมลพิษโดยวิธีดูดซับด้วยของเหลว (ปกติจะใช้น้ำ) เป็นการกำจัดอนุภาคหรือฝุ่นและเพิ่มขนาดของแอโรซอล (Aerosols) ที่ออกจากแก๊สไอเสียโดยอาศัยหยดของเหลวหรือฟิล์มของเหลวหรือน้ำ โดยจะถูกฉีดให้เป็นละอองเพื่อช่วยให้การสัมผัสระหว่างอนุภาคกับของเหลว หรือจับอนุภาคเอาไว้เพราะเมื่ออนุภาคสัมผัสกับของเหลว จะทำให้อนุภาคมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นจะเกิดความหนักไม่ไหลออกไปกับไอเสีย ของเหลวที่จะใช้ดูดซับอาจเป็นน้ำหรือสารเคมีอื่นๆ สำหรับอนุภาคขนาดใหญ่ๆจะมีการแยกที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลก ส่วนอนุภาคเล็กๆก็จะมี การแยกเนื่องจากแรงที่เกิดจากไฟฟ้าสถิตย์หรือแรงที่เกิดจากความ

ร้อนด้วย โดยมีกลไกในการทำงานเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นแรกเป็นการจับติดอนุภาค ควบแน่นแก๊ส และ แอโรซอล ด้วยของเหลวที่นำมาใช้เพื่อจับ ขั้นที่สองเป็นการแยกเอาของเหลวที่นำมาใช้จับอนุภาค แก๊ส และแอโรซอล ในขั้นตอนแรกออกจากกระแสแก๊สออก เครื่องดูดซับแบบเปียกนี้สามารถแยก อนุภาคเล็กๆที่เป็นของแข็งและของเหลวที่มีขนาดระหว่าง 0.1-20 ไมครอน ได้ดีและมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบแห้ง เครื่องดูดซับมีหลายแบบ แต่ที่ใช้กันทั่วไปมี 4 แบบ คือ หอพ่นน้ำ (Spray Tower), เครื่องพ่นไซโคลน (Cyclone Spray Tower), เครื่องดูดซับแบบกระทบ (Impingement Scrubber), และเครื่องดูดซับเวนทูรี (Venturi Scrubber) ในการศึกษานี้จะพิจารณาเฉพาะหอพ่นน้ำ

หอพ่นน้ำ (Spray Tower)

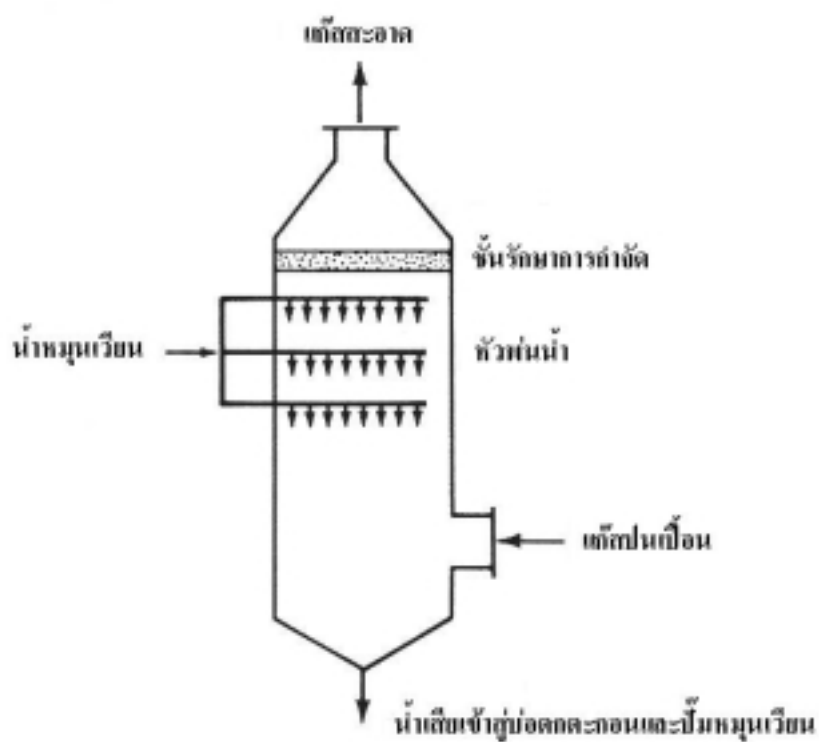
หอพ่นน้ำ โดยทั่วไปจะมีชั้นของหัวฉีด 3 ถึง 4 ชั้นภายในหอที่ตกลง เพื่อให้แก๊สปนเปื้อนมี เวลาอยู่ในหอนานพอที่จะสัมผัสกับหยดน้ำ ลักษณะเด่นของหอพ่นน้ำคือมีโครงสร้างง่ายๆ ทำให้ ประหยัดแรงงานและเวลา และยังไม่มีปัญหาเรื่องการเพิ่มของความดันสูญเสียเนื่องจากการเกาะติด ของอนุภาคบนผนังใน ค่าของอัตราส่วนระหว่างของเหลวและแก๊สมีค่าประมาณ 2-3 L/m³ และ ความดันสูญเสียประมาณ 30 mm H₂O ระบบหอพ่นน้ำนี้มักใช้เป็นเครื่องเก็บฝุ่นขั้นต้นและทำหน้าที่ ที่ลดอุณหภูมิและแก๊สทิ้งด้วย โดยแสดงดังภาพที่ 2.1

เครื่องพ่นไซโคลน (Cyclone Spray Tower)

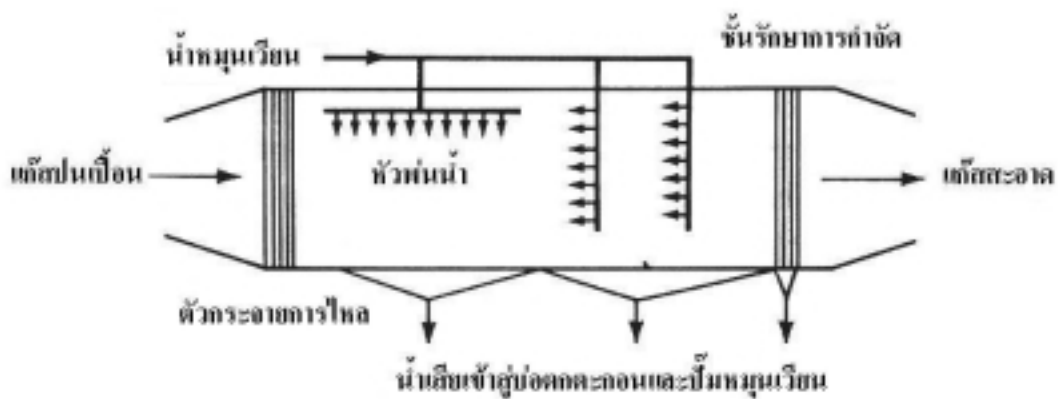
เครื่องพ่นไซโคลนมีที่หนีคเจ็ท ซึ่งติดหัวพ่นจำนวนมาก อยู่ที่ใจกลางด้านล่างของเครื่อง ส่วนแก๊สปนเปื้อนจะไหลในแนวเส้นสัมผัสคล้ายกับไซโคลนทั่วไปในขณะที่แก๊สปนเปื้อนไหลวน ขึ้นภายในเครื่อง หยดน้ำที่พ่นออกจากหัวฉีดจะชะล้างอนุภาคปนเปื้อนออก ทั้งอนุภาคฝุ่นหรือไอ ละออง ที่เกาะติดกับหยดน้ำจะถูกแยกไปยังผนังในของเครื่องโดยแรงหนีศูนย์กลางซึ่งเกิดจากการ ไหลวนของแก๊ส อัตราส่วนระหว่างของเหลวและแก๊สมีค่าประมาณ 1-2 L/m³ และความดันสูญเสีย ประมาณ 120 mm H₂O ระบบนี้ทำงานได้ดีสำหรับเก็บฝุ่นที่ละลายน้ำได้ โดยแสดงดังภาพที่ 2.2

เครื่องดูดซับแบบกระทบ (Impingement Scrubber)

เครื่องดูดซับแบบกระทบ ใช้กลไกการประทะด้วยแรงเฉื่อยในการเก็บอนุภาคฝุ่น อัตรา ส่วนระหว่างของเหลวและน้ำที่ใช้มีค่าประมาณ 2-5 L/m³ ความดันสูญเสียประมาณ 200 mm H₂O เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคที่เก็บได้ประมาณ 0.3 ไมครอน โดยแสดงดังภาพที่ 2.3



(a) หอพ่นน้ำแบบแนวตั้ง

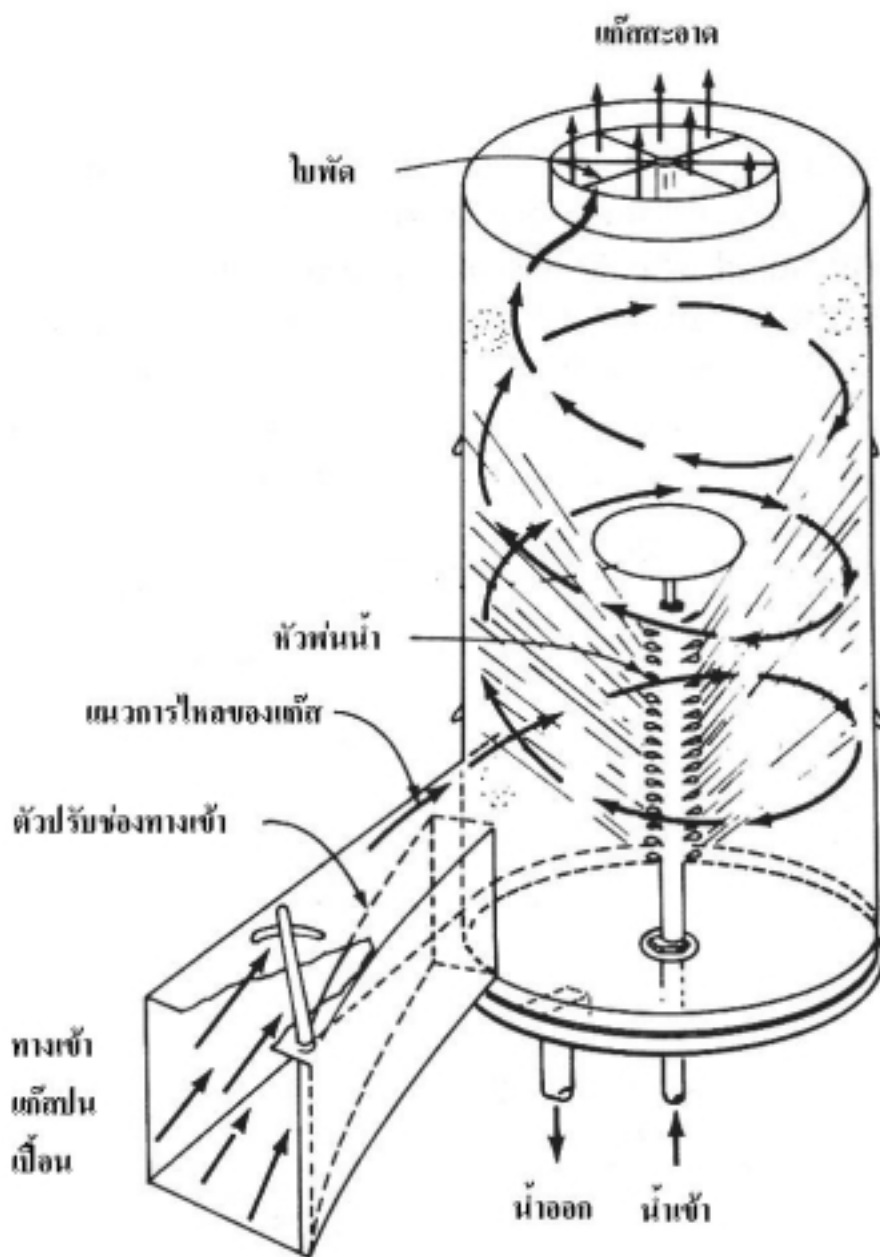


(b) หอพ่นน้ำแบบแนวราบ

ภาพที่ 2.1 (a) หอพ่นน้ำแบบแนวตั้ง และ (b) หอพ่นน้ำแบบแนวราบ

หมายเหตุ

จาก *Air Pollution Control a Design Approach*. (p.218), โดย Cooper and Alley, 1994, Illinois: Waveland Press.



ภาพที่ 2.2 หอฝุ่นไซโคลน

หมายเหตุ จาก Air Pollution Control a Design Approach. (p.219), โดย Cooper and Alley, 1994, Illinois: Waveland Press.

เครื่องดูดซับเวนทูรี (Venturi Scrubber)

เครื่องดูดซับเวนทูรีมีประสิทธิภาพในการเก็บฝุ่นสูงสุด เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคที่เก็บได้ประมาณ 0.1 ไมครอน น้ำที่ป้อนเข้าตรงคอของเครื่องเวนทูรี จะถูกเปลี่ยนเป็นหยดละเอียดโดยการไหลด้วยความเร็วสูงของแก๊ส และฟุ้งกระจายไปสัมผัสกับฝุ่นในแก๊ส เมื่อความเร็วของแก๊สลดลงในท่อที่ขยายโตขึ้น หยดน้ำที่ถูกเร่งจนมีความเร็วสูงจะสัมผัสกับแก๊สที่ช้าลงเพื่อเก็บฝุ่นอีกครั้ง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่เหมาะสมที่สุดของหยดน้ำควรเป็น 150 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคที่ต้องการดูดซับ ความเร็วของแก๊สที่คอเครื่องเวนทูรีคือ 60-90 m/s และความดันสูญเสียมีค่า 300-900 mm H₂O ในกรณีของอนุภาค 10 ไมครอนหรือต่ำกว่า และในกรณีของฝุ่นที่ขอบน้ำ ค่าอัตราส่วนระหว่างของเหลวและแก๊สคือ 0.3 L/m³ โดยแสดงดังภาพที่ 2.4

ประสิทธิภาพของเครื่องดูดซับแบบเปียกเกี่ยวข้องกับพลังงานที่หายไปทั้งหมดของเครื่องมือ ซึ่งอาจวัดได้จากความดันลดของแก๊สที่ผ่านเครื่องมือ ประสิทธิภาพและปริมาณน้ำที่ต้องการของเครื่องดูดซับแบบเปียกชนิดต่างๆแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ประสิทธิภาพและน้ำที่ต้องการของเครื่องดูดซับแบบเปียก

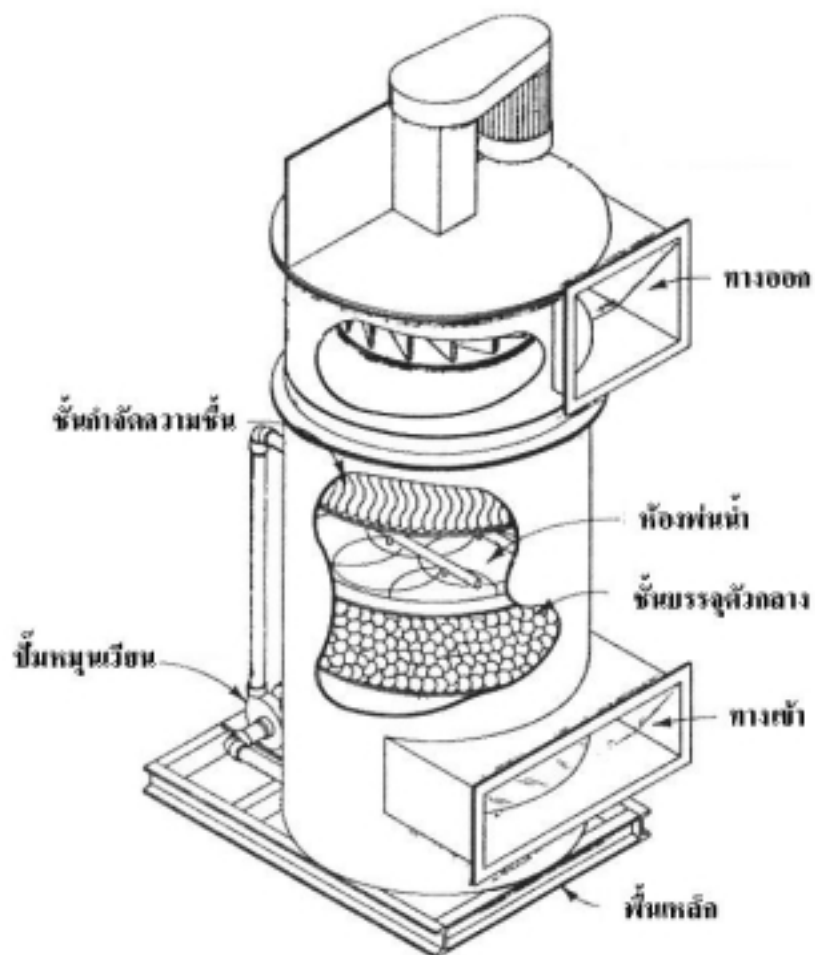
แบบ	อนุภาคขนาด ต่ำสุด (μm)	ปริมาณน้ำที่ ต้องการ (L/100 m ³ gas)	ความดันลด (in. ของน้ำ)	ความดันลด (kPa)
Spray Tower	10	20-75	0.5-1.5	0.12-0.38
Cyclone Spray Tower	2-10	20	2-10	0.5-2.5
Impingement Scrubber	1-5	10-20	2-50	0.5-12
Venturi Scrubber	0.8	20	5-100	1.2-25

หมายเหตุ จาก Handbook of Powder Science and Technology. (p.805), โดย Fayed and Otten 1983, New York: Van Nostrand Reinhold Company

2.1.1 การควบคุมมลพิษที่เป็นแก๊ส

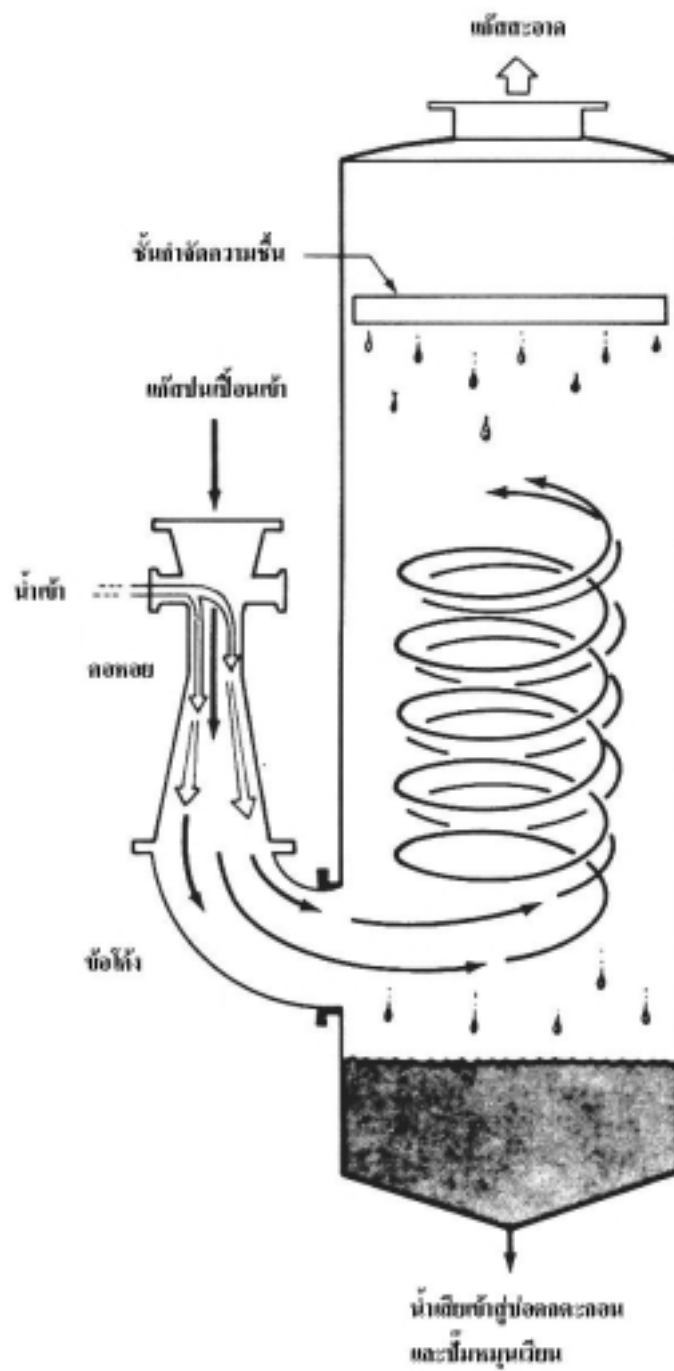
การควบคุมมลพิษที่เป็นแก๊ส การดูดซับจะถูกนำมาใช้ในการกำจัดแก๊สปนเปื้อนโดยอ้างอิงถึงหอดูดซับและเครื่องดูดซับแบบเปียก โดยเฉพาะการควบคุมมลสารทางอากาศ การดูดซับจะช่วยกำจัดแก๊สปนเปื้อนออกจากกระแสแก๊สโดยการละลายในของเหลว การออกแบบเครื่องดูดซับแก๊สเพื่อให้เกิดการถ่ายเทมวลที่พอเหมาะสามารถทำได้โดย

1. พื้นผิวร่วมต้องมีพื้นที่ผิวสัมผัสขนาดใหญ่



ภาพที่ 2.3 เครื่องดูดซับแบบกระแทบชนิดบรจุตัวกลาง

หมายเหตุ จาก Air Pollution Control a Design Approach. (p.221), โดย Cooper and Alley, 1994, Illinois: Waveland Press.



ภาพที่ 2.4 เครื่องดูดซับแบบเวนทิวรี

หมายเหตุ จาก *Air Pollution Control a Design Approach*. (p.222), โดย Cooper and Alley, 1994, Illinois: Waveland Press.

2. แก๊สและของเหลวต้องเกิดการสัมผัสกันอย่างดี
3. ต้องมีเวลาในการสัมผัสที่เพียงพอ
4. ต้องแน่ใจว่าสารปนเปื้อนเกิดการละลายได้ดีในตัวดูดซับ

กลไกของการดูดซับ

การกำจัดแก๊สปนเปื้อนโดยการดูดซับมีกลไกการดูดซับ 3 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกของการดูดซับ แก๊สปนเปื้อนจะแพร่กระจายจากสถานะแก๊สไปยังพื้นผิวร่วม (Interface) ระหว่างแก๊สและของเหลว ขั้นตอนที่สอง แก๊สปนเปื้อนจะถ่ายเทผ่านพื้นผิวร่วมของของเหลว และขั้นตอนที่สาม แก๊สปนเปื้อนจะแพร่กระจายเข้าไปสู่เนื้อของของเหลว

ประโยชน์ของการศึกษาขั้นตอนของการดูดซับคือ ใช้ในการควบคุมกระบวนการ และใช้ออกแบบให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงได้ พจน์ที่ใช้อธิบายอัตราการดูดซับคือ สถานะของเหลวที่ใช้ในการดูดซับและสถานะแก๊สที่ปรากฏในการดูดซับ โดยแต่ละกลไกขึ้นอยู่กับอัตราการแพร่ในแต่ละสถานะและขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายของแก๊สปนเปื้อนในของเหลว

อัตราการแพร่ของโมเลกุลแก๊สผสมสารจะเกิดได้เร็วกว่าอัตราการแพร่ในสถานะของเหลวเสมอ เพราะว่าโมเลกุลของแก๊สอยู่ห่างกันมากกว่าโมเลกุลของเหลว โมเลกุลของแก๊สผสมสารจึงเคลื่อนที่ในสถานะแก๊สได้ดีกว่า แต่อย่างไรก็ตาม อัตราการถ่ายเทเบื้องต้นขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายของมลสารในของเหลว โดยพิจารณาจากแก๊สสองชนิดคือ A และ B ซึ่งมีขนาดเท่ากันโดยประมาณ และแก๊ส A และ B เคลื่อนที่ในสถานะแก๊สด้วยอัตราเร็วที่เท่ากัน โดยสมมติให้แก๊ส A ไม่ละลายในของเหลวเลย ในขณะที่แก๊ส B ละลายได้ดีในของเหลว ดังนั้นอัตราการดูดซับแก๊สในของเหลวจะแตกต่างกันเพราะแก๊ส B เกิดการละลายได้ดี แต่แก๊ส A ไม่ละลายเลย คือแก๊ส A ถูกดูดซับได้ช้า แต่แก๊ส B ถูกดูดซับได้อย่างรวดเร็ว

อัตราการถ่ายเทของแก๊ส A (การดูดซับช้า) เกิดขึ้นโดยการดูดซับและการแพร่ในสถานะของเหลวเกี่ยวข้องกับการควบคุมสถานะของเหลว อัตราการถ่ายเทของแก๊ส B (การดูดซับเกิดอย่างรวดเร็ว) เกิดขึ้นโดยอัตราการเคลื่อนที่ตลอดของเหลวแต่การดูดซับเกิดอย่างรวดเร็ว แต่นั่นไม่ใช่อัตราการถ่ายเททั้งหมด อัตราการถ่ายเทมวลของแก๊ส B ขึ้นอยู่กับการทำอะไรให้เกิดการแพร่ได้อย่างรวดเร็วตลอดสถานะแก๊สไปยังพื้นผิวร่วมของแก๊สและของเหลว เกี่ยวข้องกับการควบคุมสถานะแก๊ส การควบคุมสถานะแก๊สระบบดูดซับมลภาวะจะเกิดได้เร็วกว่าการควบคุมสถานะของเหลว ดังนั้นในการออกแบบระบบดูดซับแก๊สผสมสาร จึงมักควบคุมที่สถานะแก๊ส

การละลาย

เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญต่อจำนวนของแก๊สที่ละลายและเกิดการดูดซับ การละลายเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิและความดันของระบบ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จำนวนของแก๊สที่ถูกดูดซับด้วยของเหลวจะลดลง ส่วนความดันจะมีผลตรงกันข้ามกับอุณหภูมิโดยเมื่อความดันในระบบเพิ่มขึ้น จำนวนการดูดซับของแก๊สก็จะเพิ่มขึ้นด้วย การละลายของแก๊สในของเหลวจะถูกกำหนดโดยการออกแบบอุณหภูมิและความดันในระบบ

โดยทั่วไปการทดลองการละลายจะใช้รูปแบบสมดุล โดยรูปแบบสมดุลจะแสดงด้วยกราฟ แกน x คือเศษส่วนโมลของแก๊สที่ละลายในสถานะของเหลว และแกน y คือเศษส่วนโมลแก๊สที่ละลายในอากาศดังภาพที่ 2.5 ซึ่งแสดงถึงกระบวนการดูดซับที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ภายใต้สภาวะนี้ กฎของเฮนรี (Henry's Law) อาจใช้กล่าวถึงสมดุลการละลายของแก๊ส-ของเหลว

$$P^* = Hx \quad (2.1)$$

โดยที่

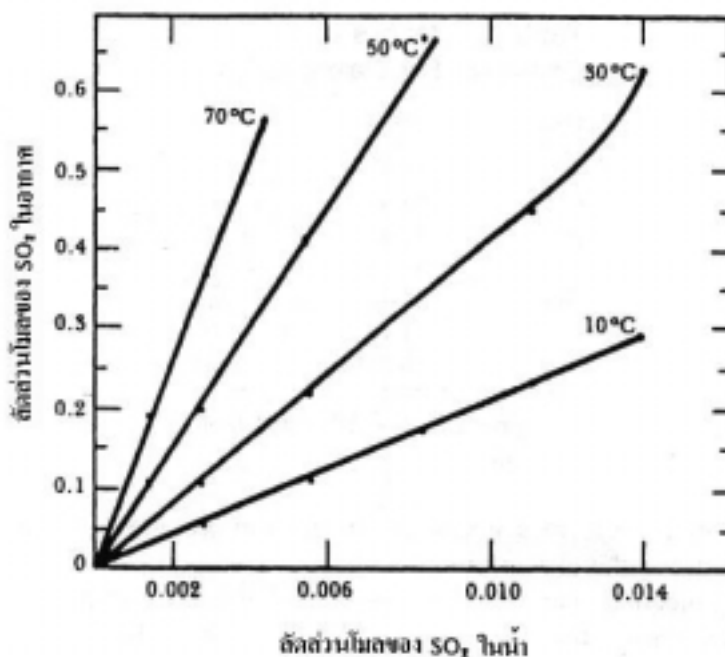
P^* = ความดันย่อยของการละลายที่สมดุล (หน่วยของความดัน)

x = เศษส่วน โมลของการละลายในของเหลว

H = ค่าคงที่ของเฮนรี (ความดันต่อเศษส่วน โมล)

กฎของเฮนรีสามารถใช้ในการทำนายการละลายโดยเฉพาะเมื่อเส้นสมมูลเป็นเส้นตรง เส้นสมมูลปกติจะเป็นเส้นตรงเมื่อความเข้มข้นมีค่าน้อยมากๆ ในการควบคุมมลสารทางอากาศปกติแล้วจะเป็นกรณีนี้ ข้อจำกัดในการใช้กฎของเฮนรีอาจจะไม่ถูกต้องสำหรับแก๊ส โดยอาจมีการเปลี่ยนแปลงหรือการแยกออกจากการละลาย เช่น การดูดซับแก๊ส HF หรือแก๊ส HCl ด้วยน้ำ เพราะแก๊สทั้งคู่สามารถเปลี่ยนเป็นสารละลาย ทำให้เส้นสมมูลเป็นเส้นโค้งมากกว่าเส้นตรง ค่าคงที่สำหรับการละลายของแก๊สหลายๆ ชนิดในน้ำแสดงในตารางที่ 2.2 หน่วยของค่าคงที่เฮนรีคือ ความดันต่อเศษส่วนโมล เมื่อค่าคงที่มีค่าน้อยทำให้การละลายของแก๊สมีค่ามากดังตารางที่ 2.2 SO_2 ละลายในน้ำได้มากกว่า CO_2 ถึง 100 เท่า

ฟังก์ชันเบื้องต้นของการดูดซับคือ การกำจัดแก๊สปนเปื้อนออกจากกระแสแก๊สไอเสีย แต่จะเกิดขึ้นเมื่อค่าการออกแบบเกิดอัตราการถ่ายเทมวลสูงสุด ในการดูดซับอัตราการถ่ายเทมวลส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับ พื้นที่ผิวของอากาศและของเหลว และการเพิ่มเวลาสัมผัสให้นานขึ้นจะทำให้การดูดซับมีมากขึ้น การกำจัดแก๊สปนเปื้อนสามารถแสดงโดยฟังก์ชันอื่นๆ แต่เมื่อใช้สำหรับการกำจัดแก๊ส จะแสดงในพจน์ของเครื่องดูดซับ (Absorber) และเมื่อใช้สำหรับการกำจัดอนุภาคจะแสดงในพจน์



ภาพที่ 2.5 เส้นสมดุลสำหรับ SO₂-H₂O

หมายเหตุ จาก *Handbook of Air Pollution Control Engineering and Technology*. (p.151), Mycock, McKenna and Theodore 1995, New York: Lewis.

ของเครื่องดูดซับแบบเปียกทั้งสองพจน์สามารถใช้สลับกันเมื่ออยู่ในส่วนประกอบเดียวกัน ความแตกต่างของแต่ละพจน์อยู่ที่ส่วนประกอบของการใช้งาน การดูดซับที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสูง ความเร็วของกระแสแก๊สและของเหลวต้องต่ำ (เพิ่มเวลาสัมผัส) แต่สำหรับการกำจัดอนุภาคจะตรงกันข้ามโดยถ้าจะเพิ่มประสิทธิภาพของการสัมผัสต้องเพิ่มความเร็วของกระแสแก๊สและของเหลว (ลดเวลาสัมผัส) ด้วยส่วนประกอบที่มีลักษณะคล้ายกันทำให้สามารถใช้สำหรับการกำจัดแก๊สหรืออนุภาคได้ แต่เป็นการยากมากที่จะทำให้มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดแก๊สและอนุภาคพร้อมๆ กัน เว้นแต่ว่าแก๊สปนเปื้อนนั้นสามารถละลายได้ดีมากในของเหลว

ลักษณะทางกายภาพและเคมีของกระแสแก๊สปนเปื้อนมีความสำคัญต่อการเลือกระบบดูดซับที่เหมาะสม ถ้าแก๊สปนเปื้อนมีความสามารถในการละลายสูง ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสามารถใช้ได้กับเครื่องดูดซับทุกประเภท แต่สำหรับแก๊สปนเปื้อนที่ไม่ละลายจะมีบางระบบที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดได้โดยอาจใช้สารเคมีเติมลงไปของเหลวเพื่อเพิ่มการละลายของแก๊สปนเปื้อน สารเคมีอาจเพิ่มการละลายทางกายภาพของสารปนเปื้อน เช่น เดิมโซเดียมซัลไฟด์เพื่อช่วยดูดซับ SO₂ หรือสารเคมีอาจทำปฏิกิริยากับสารปนเปื้อน เช่น ใช้หินปูนในการดูดซับ SO₂ แต่การ

ตารางที่ 2.2 ค่าคงที่ของเฮนรีสำหรับแก๊สในน้ำ (กล่าวในหน่วย 10^{-3} atm/mole fraction)

แก๊ส	20 °C	30 °C
N ₂	80.4	92.4
CO	53.6	62.0
H ₂ S	48.3	60.9
O ₂	40.1	47.5
NO	26.4	31.0
CO ₂	1.42	1.86
SO ₂	0.014	0.016

หมายเหตุ จาก Handbook of Air Pollution Control Engineering and Technology. (p.152), Mycock, McKenna and Theodore 1995, New York: Lewis.

เติมสารเคมีถ้าเกิดการตกตะกอน โดยปฏิกิริยาทางเคมีอาจเกิดปัญหาอุดตันหรือการกัดกร่อนภายในระบบเกิดขึ้น ดังนั้นการเลือกของเหลวที่ใช้ในการดูดซับขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพที่ต้องการและราคาของของเหลว โดยปกติจะใช้น้ำเพราะแก๊สปนเปื้อนส่วนมากละลายในน้ำได้ และหาได้ง่ายราคาถูก

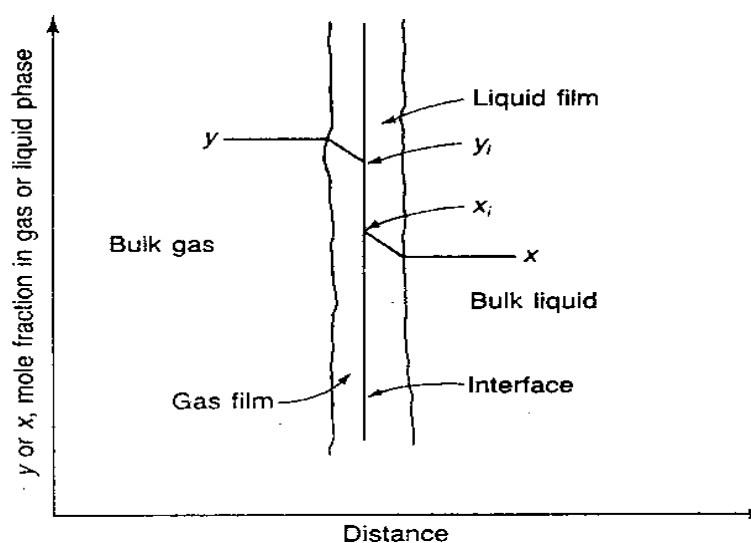
การออกแบบหอดูดซับมีส่วนประกอบสำคัญสามส่วนหลักคือ

1. การทำสมดุลวัสดุเพื่อใช้ในการพิจารณาอัตราการหมุนเวียนของเหลว
2. กำหนดหาความสูงเพื่อพิจารณาความสามารถในการดูดซับ
3. พิจารณาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหอพ่นน้ำให้เพียงพออัตราการไหลของของเหลว

และแก๊ส

ทฤษฎีการถ่ายเทมวล (Mass Transfer Theory)

การถ่ายเทมวลจะเกิดจากแก๊สไปสู่ผิวของของเหลว สามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีสองฟิล์ม (Two-Film Theory) สำหรับการถ่ายเทมวลไปยังพื้นผิวร่วม ในกรณีนี้จะใช้กับการดูดซับแก๊สด้วยของเหลวที่ยังไม่มีการละลาย เช่น สมมุติให้แก๊สในภาพที่ 2.6 เป็นแก๊สผสมของแอมโมเนียกับอากาศและของเหลวที่ใช้คือน้ำ แอมโมเนียแพร่ไปยังพื้นผิวร่วมและละลายน้ำ นั่นคือการดูดซับส่วนอากาศจะไม่แพร่ไปยังพื้นผิวร่วมแต่จะยังมีความหนาแน่นคงที่ที่อยู่ในแก๊สผสม



ภาพที่ 2.6 การเพิ่มความเข้มข้นผ่านฟิล์มของแก๊สและของเหลว

หมายเหตุ จาก Air Pollution Control a Design Approach. (p.415), โดย Cooper and Alley, 1994, Illinois: Waveland Press.

2.1.2 การควบคุมอนุภาคมลสาร

ในการควบคุมมลสารทางอากาศการกำจัดอนุภาคสามารถทำได้ด้วยวิธีการตกตามแรงโน้มถ่วงของโลก เครื่องพ่นไซโคลน เครื่องเก็บฝุ่นแบบแผ่นกรอง เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตย์ หรือเครื่องดูดซับแบบเปียก ซึ่งทุกวิธีที่กล่าวมาในการแยกอนุภาคออกจากของไหลจะต้องอาศัยแรงหนึ่งแรงหรือมากกว่าซึ่งประกอบด้วยการกระทบด้วยแรงเฉื่อย (Inertial Impaction) การสกัดกั้นโดยตรง (Direct Interception) การแพร่ (Diffusion, Brownian Movement) แรงไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Forces) และแรงโน้มถ่วง (Gravitational Forces) ดังแสดงในภาพที่ 2.7 นอกจากนั้นยังมีการควบแน่น (Condensation) และการถ่ายเทความร้อน ซึ่งเป็นการเร่งให้อนุภาคหลุดออกจากของไหล ดังนั้นในการออกแบบหรือการควบคุมมลสารทางอากาศ จะต้องมีความเข้าใจลักษณะพื้นฐานของอนุภาคและพลศาสตร์ของอนุภาคในของไหล

กลไกที่สำคัญในเครื่องดูดซับคือ กลไกการจับติดอนุภาคด้วยการกระทบด้วยแรงเฉื่อย กลไกการสกัดกั้น และกลไกการแพร่ ส่วนกลไกที่เกี่ยวกับแรงโน้มถ่วง และแรงไฟฟ้าสถิตย์จะไม่กล่าวถึงเพราะโดยทั่วไปไม่มีบทบาทมากในเครื่องดูดซับ

กลไกการกระทบด้วยแรงเฉื่อย

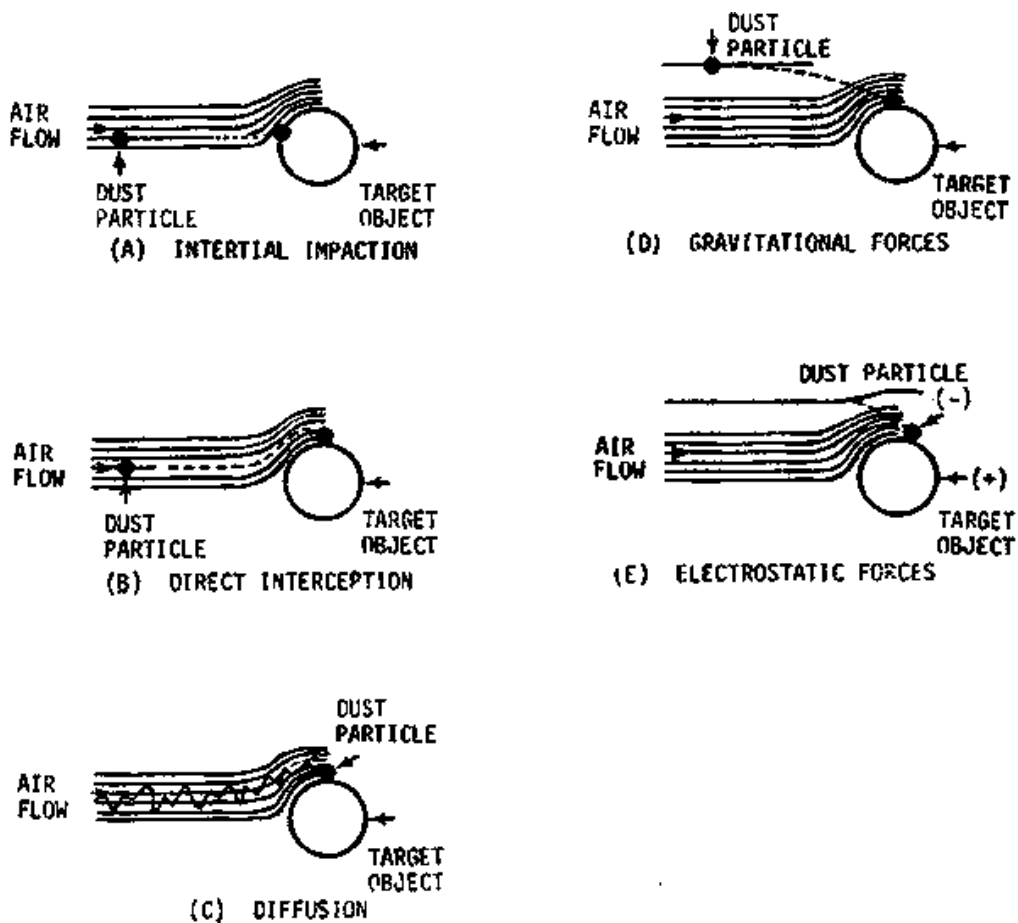
อนุภาคที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 ไมครอนหรือใหญ่กว่า การกระทบด้วยแรงเฉื่อยจะมีผลอย่างชัดเจนต่อประสิทธิภาพในการเก็บฝุ่นของเครื่องดูดซับ ภาพที่ 2.7 (a) แสดงหลักการที่อนุภาคในกระแสแก๊สปั่นป่วนกระทบและเกาะติดกับหยดของเหลวเนื่องจากมีแรงเฉื่อย ถ้าอนุภาคฝุ่นมีขนาดใหญ่ ความหนาแน่นสูง และความเร็วสัมพัทธ์สูงเมื่อเทียบกับหยดของเหลว ประสิทธิภาพในการเก็บฝุ่นโดยการกระทบด้วยแรงเฉื่อยจะยิ่งมีค่ามาก

กลไกการแพร่

อนุภาคละเอียดในแก๊สปั่นป่วนจะเคลื่อนไหวแบบบราวเนียน (Brownian Motion) เพราะถูกชนถี่โดยโมเลกุลของแก๊สที่อยู่รอบๆ ดังภาพที่ 2.7 (c) แสดงปรากฏการณ์นี้ การเคลื่อนที่แบบบราวเนียนของอนุภาคละเอียดมากๆ เปรียบเสมือนกับการแพร่ของโมเลกุลของแก๊สในแก๊สผสม เมื่อมลสารอนุภาคละเอียด หรือมลสารแก๊สแพร่ไปพบกับผิวกึ่งกลาง เช่น ฟิล์มหรือหยดของเหลวก็จะเกาะติดผิวนั้น การแพร่มีบทบาทสำคัญมากในการจับอนุภาคละเอียดที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.1 ไมครอนหรือเล็กกว่า และในการดูดซับแก๊สมลสาร ความเร็วที่อนุภาคเกาะติดผิวโดยการแพร่จะแปรผันโดยตรงกับสัมประสิทธิ์การแพร่ของอนุภาคนั้น ดังเห็นได้จากตารางที่ 2.3 สัมประสิทธิ์การแพร่จะมีค่าสูงขึ้น นั่นคือ ความเร็วของการเกาะติดผิวจะสูงขึ้นเมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กลง (ละเอียดขึ้น) ปริมาณที่อนุภาคเกาะติดผิวจะแปรผันโดยตรงกับปริมาณฝุ่นในแก๊ส ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างอนุภาค (นั่นคือแก๊ส) กับผิว (เช่นหยดของเหลว) และสัมประสิทธิ์การแพร่ของอนุภาคจะแปรผกผันกับความหนืดของแก๊ส ถ้าอนุภาคฝุ่นมีขนาดเท่าๆกัน ปริมาณที่อนุภาคฝุ่นเกาะติดหยดของเหลวโดยกลไกการแพร่ จะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหยดและความเร็วของแก๊สมีค่าน้อยลงและเมื่อความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างอนุภาคและหยดของเหลวมีค่าสูง

กลไกการสกัดกัน

กลไกการสกัดกันจะช่วยเสริมประสิทธิภาพการเก็บฝุ่นของหอดูดซับ ไม่ว่าจะโดยกลไกการแพร่หรือ การกระทบด้วยแรงเฉื่อย ถ้าอนุภาคฝุ่นมีขนาดไม่เล็กจนเป็นจุดเมื่อเทียบกับขนาดของสิ่งกีดขวาง (เช่นหยดของเหลว) ดังภาพที่ 2.7 (b) แสดงลักษณะที่อนุภาคสัมผัสและเกาะติดกับสิ่งกีดขวางโดยกลไกการสกัดกันแต่อย่างเดียว การพิจารณาการออกแบบตามทฤษฎี กลไกของการจับติดอนุภาคโดยการกระทบด้วยแรงเฉื่อยของอนุภาคบนพื้นผิวของหยดของเหลวมีความสำคัญมาก โดยเฉพาะการควบคุมกลไกที่ใช้กับระบบดูดซับแบบเปียก กระบวนการแพร่จะมีผลมากสำหรับอนุภาค



ภาพที่ 2.7 กลไกการเกาะติดอนุภาคบนหยดของเหลวในเครื่องดูดซับ

หมายเหตุ จาก Industrial Air Pollution Control Equipment for Particulates. (p.192), โดย Theodore and Buonicore 1976, Ohio: CRC Press.

ตารางที่ 2.3 สัมประสิทธิ์การแพร่ของอนุภาค

ขนาดอนุภาค (μ)	สัมประสิทธิ์การแพร่ D (cm^2/sec)
0.5	6.4×10^{-7}
0.1	6.5×10^{-6}
0.01	4.4×10^{-4}
0.001	4.1×10^{-2}
โมเลกุลของ SO_2	11.8×10^{-2}

หมายเหตุ จาก มลภาวะอากาศ. (p.139), โดย ซิดาโอะ คานาโอกะ และ วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล 2527, กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน ดังนั้นจะไม่นำมาพิจารณา (อ้างอิงตามการทำงานของ Crawford (1976) และ Calvert and Englund (1984) สำหรับการพิจารณากลไกการแพร่)

การออกแบบเครื่องดูดซับแบบเปียกใช้แบบจำลองเป็นพื้นฐานการพัฒนา สำหรับกระบวนการดูดซับแก๊ส-ของเหลวหลายๆชนิดการทำนายขนาดของอนุภาคที่สามารถลอดผ่าน (Penetration) นั้นมีความสำคัญมาก การลอดผ่าน (P_{td}) กำหนดให้เป็นสัดส่วนของเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคที่ไม่สามารถจับได้ การลอดผ่านมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพโดย

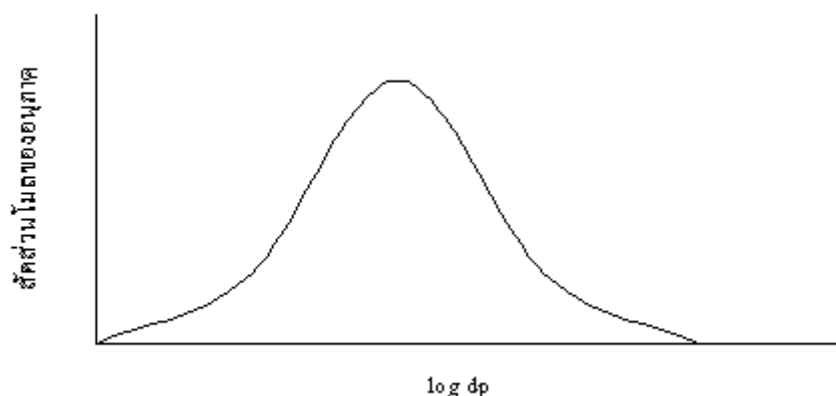
$$P_{td} = 1 - \eta_d \quad (2.2)$$

โดยที่ P_{td} = ขนาดของอนุภาคที่ลอดผ่าน (อยู่ในช่วง 0 ถึง 1.0)

η_d = เศษส่วนประสิทธิภาพสำหรับอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง d_p

ขนาดของอนุภาคที่ลอดผ่านแต่ละครั้งเป็นสัดส่วนมวลของอนุภาคขนาดนั้น เมื่อพิจารณาอย่างง่ายโดยสมมุติให้แอโรซอล ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มีการกระจายขนาดของอนุภาคแบบ log-normal ดังภาพที่ 2.8

การออกแบบหอพ่นน้ำ แก๊สและของเหลวจะสัมพันธ์กันโดยการไหลสวนทางกัน กลไกการจับติดอนุภาคเบื้องต้นในหอพ่นน้ำคือการกระทบด้วยแรงเฉื่อยบนหยดของเหลว การพิจารณาหอพ่นน้ำโดยพื้นฐานแล้วมักสมมุติให้ขนาดของหยดของเหลวมีขนาดเท่าๆ กันและมีความเร็วในการตกลงเท่าๆกัน พื้นที่ตัดขวางของหยดของเหลวในหอพ่นน้ำ (A_d) และสมมุติให้ไม่มีหยดของเหลวสัมผัส



ภาพที่ 2.8 การกระจายของอนุภาคแบบ log-normal

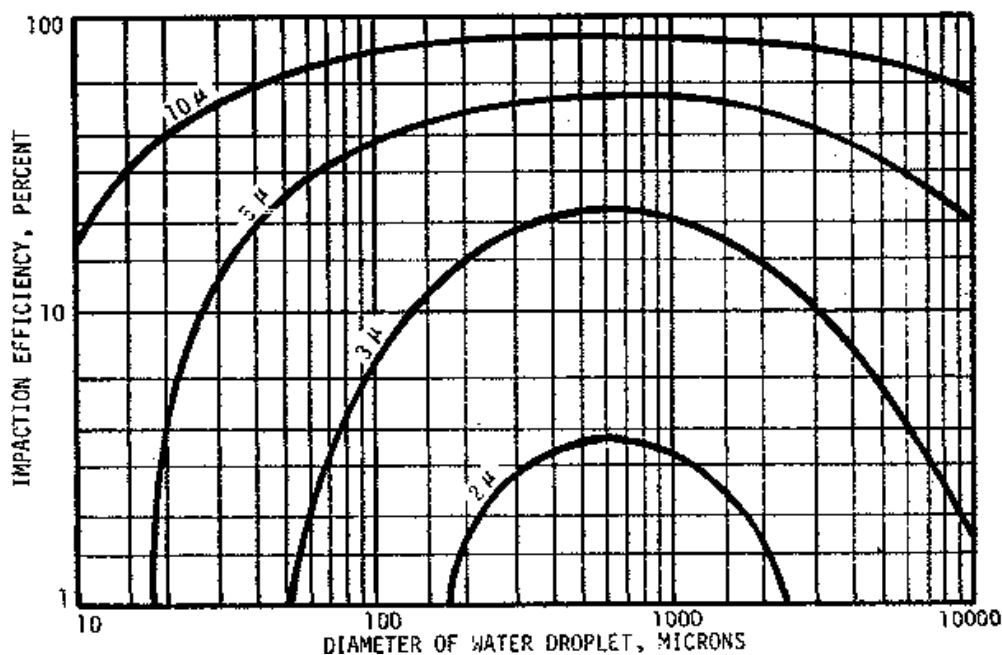
หมายเหตุ จาก Air Pollution Control a Design Approach. (p.107), โดย Cooper and Alley, 1994, Illinois: Waveland Press.

กับผนังของหอพ่นน้ำ แต่ Calvert and Englund (1984) แนะนำให้ Q_L/Q_G ต้องหารด้วย 0.2 จึงจะถูก ต้องสำหรับผลที่เกิดกับผนังและค่าการสูญเสียอื่นๆ ของหยดของเหลวแขวนลอย

Stairmand (1964) แสดงขนาดหยดของเหลวที่เหมาะสม และประสิทธิภาพจะไม่ลดลงเมื่อ ลดขนาดหยดของเหลวให้เล็กกว่าขนาดของหยดที่เหมาะสมดังภาพที่ 2.9 ซึ่งแสดงประสิทธิภาพ ของการชนที่เป็นฟังก์ชันของขนาดหยดของเหลว สำหรับอนุภาคอื่นๆ มีความหนาแน่น 2 g/m^3 จาก ข้อมูลทำให้เรารู้ว่าขนาดของหยดของเหลวที่เหมาะสมใช้กับหอพ่นน้ำมีขนาดอยู่ในช่วง 500 ถึง 1000 ไมครอนซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะสมเพราะถ้าขนาดของหยดของเหลวเล็กกว่านี้จะเป็นการเร่ง ให้แก๊สมีความเร็วเพิ่มขึ้น และค่าความสัมพัทธ์ความเร็วของอนุภาคกับหยดของเหลวจะมีค่าลดลง

2.2 การควบคุมโดยการเจือจางในบรรยากาศ

วิธีลดความเข้มข้นของมลสารโดยการเจือจางที่ทำกันอยู่ก็คือการใช้ปล่องควัน มลสารที่ ออกจากปล่องควันจะถูกความปั่นป่วนของบรรยากาศทำให้เกิดการกระจายออกและเจือจางลง จน ความเข้มข้นเหลือน้อยกว่าขีดที่เป็นอันตรายก่อนถึงระดับพื้นดินตามที่กำหนดไว้ วิธีการนี้ใช้ได้กับ มลสารปริมาณหนึ่งซึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถในการรับมลสาร (Assimilative Capacity) ของ บรรยากาศที่สถานที่และเวลานั้น ความสูงประสิทธิภาพของปล่องควันจะต้องไม่น้อยกว่าประมาณ 2.5 ของความสูงของอาคารสูงสุดที่อยู่ใกล้ ความสูงระดับนี้ จะทำให้การกระจายของ Plume ทางด้าน ตามลมประมาณ 5-10 เท่า ของความสูงของอาคารนั้น ความสูงประสิทธินี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ



ภาพที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการชนและขนาดของหยดของเหลวสำหรับระบบหอพ่นน้ำ

หมายเหตุ จาก Industrial Air Pollution Control Equipment for Particulates. (p.194), โดย Theodore and Buonicore 1976, Ohio: CRC Press.

ต่างๆของลม การเจือจาง การฟุ้ง และอุณหภูมิของบรรยากาศ

การใช้ปล่องควันไม่ใช่วิธีที่มีประสิทธิภาพมากนักในการลดมลภาวะทางอากาศ เว้นแต่จะใช้ร่วมกับการควบคุมมลสารที่แหล่งกำเนิดวิธีใดวิธีหนึ่งหรือหลายวิธีพร้อมกัน การวางแผนซึ่งเกี่ยวกับชุมชนควรที่จะต้องคำนึงถึงการแบ่งเขตอากาศ (Air Zoning) ด้วย เพื่อป้องกันความเข้มข้นของมลสารถึงจุดที่เป็นอันตรายมิให้เกิดขึ้นในพื้นที่นั้นในระดับพื้นดิน แผนผังนั้นควรมีจุดที่ตั้งของโรงงานที่ปล่องควันสามารถกระจายมลสารได้อย่างมีประสิทธิภาพและมลสารที่เกิดขึ้นนั้นจะกระทบคนจำนวนน้อย การแบ่งเขตอากาศนี้จำเป็นต้องศึกษาข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ชุมชนนั้น ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาประจำวันสามารถเตือนให้ทราบถึงสภาวะอากาศที่กำลังจะเลวร้ายเพื่อให้สามารถแก้ไขได้ทัน เช่น การปล่อยมลสารออกจากปล่องควัน ทั้งนี้เพื่อป้องกันผลเสียหายหนักที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากมลภาวะทางอากาศนั้น

2.3 ผลกระทบของการเกิดมลพิษทางอากาศ

การเกิดมลพิษทางอากาศทำให้เกิดผลเสียหลายประการทั้งโดยทางตรงอันได้แก่ ผลเสียต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ และโดยทางอ้อมอันได้แก่ การทำให้เกิดการบดบังแสงสว่างของดวงอาทิตย์ที่ส่องลงมายังผิวโลก การทำลายพืช การทำลายทรัพย์สิน หรือสิ่งแวดล้อมอื่นๆ

2.3.1 ผลกระทบทางตรง

อิทธิพลต่อร่างกายมนุษย์

สารมลพิษที่มักก่ออันตรายให้แก่สุขภาพและร่างกายมีหลายชนิด ทั้งแสดงอาการเรื้อรังและฉับพลัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารพิษที่ร่างกายได้รับรวมถึงระยะเวลาที่ร่างกายได้สัมผัสหรือได้รับสารมลพิษเข้าสู่ร่างกาย ผลเสียของสารมลพิษต่อสุขภาพอนามัยนี้ส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินหายใจและผิวหนังโดยเฉพาะเชื่อบุต่างๆ เช่น เชื่อบุตา เชื่อบุจมูก ฯลฯ มลสารในอากาศรอบๆ สามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้หลายทาง และมีผลกระทบเป็นพิษต่อระบบหายใจ ผลที่เป็นเช่นนี้เพราะคนเราหายใจเอาอากาศเข้าและออกจากปอด วันละหลายๆ ครั้ง หรือคิดเป็นปริมาณอากาศวันละ 10 ลูกบาศก์เมตร

ผลของแก๊สมลสารชนิดต่างๆ

แก๊สมลสารที่มีผลต่อสุขภาพของมนุษย์ ตัวที่สำคัญมากได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ โอโซน คาร์บอนมอนนอกไซด์ และอนุภาคแขวนลอย ไฮโดรคาร์บอนจะทำปฏิกิริยาโฟโตเคมีกลกลายเป็นหมอกผสมควันซึ่งประกอบด้วยโอโซนและออกซิแดนซ์ต่างๆ ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อตาหรือเมื่อสัมผัสกับสารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจะเกิดการระคายเคืองตาและระบบทางเดินหายใจส่วนบน

- คาร์บอนมอนนอกไซด์มีความเป็นพิษต่อคนและสัตว์ซึ่งมีผลต่อสุขภาพโดยตรงทำให้มีอาการตั้งแต่เล็กน้อยจนเสียชีวิต ปริมาณที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษ ประมาณ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อลูกบาศก์เมตรของอากาศ (0.01 เปอร์เซ็นต์)

- ออกไซด์ของไนโตรเจนมีความเป็นพิษต่อมนุษย์โดยเฉพาะไนโตรเจนมอนนอกไซด์และไนโตรเจนไดออกไซด์ได้รับปริมาณประมาณ 10 พีพีเอ็ม ระยะเวลาสัมผัสประมาณ 8 ชั่วโมงจะทำลายปอดทำให้เกิดปอดบวม และขนาด 20-30 พีพีเอ็ม อาจทำให้ถึงตายได้

- ออกไซด์ของซัลเฟอร์เมื่อหายใจเข้าไปจะฟุ้งกระจายเข้าสู่กระแสเลือดได้ทันทีและเมื่อได้รับซัลเฟอร์ไดออกไซด์และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ขนาดประมาณ 5-10 พีพีเอ็ม จะเป็นพิษทำให้เกิด

การระคายเคืองต่อตาและระบบหายใจ ยิ่งถ้าเกิดการรวมตัวกับแอโรซอลหรือเขม่าจะยิ่งทำให้เกิดพิษรุนแรงมากขึ้น ส่วนซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทำให้เกิดโรคหอบหืดอีกเสบในสัตว์ทดลอง

2.3.2 ผลกระทบทางอ้อม

การบดบังแสงสว่าง

การเกิดมลพิษทางอากาศอันเนื่องมาจากสารมลพิษหรือสารปนเปื้อนซึ่งเป็นพวกแอโรซอลในรูปของ หมอก คับัน หมอกผสมควันหรือไอควัน หรือฝุ่น นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากการก่อสารมลพิษทุติยภูมิอันเนื่องมาจากแก๊สพิษต่างๆ ตัวอย่างเช่น แก๊สไฮโดรคาร์บอนและไนโตรเจนไดออกไซด์ซึ่งเป็นตัวการที่ทำให้เกิดหมอกผสมควัน (Smog) ในปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล และไนโตรเจนไดออกไซด์ก็บดบังแสงได้เนื่องจากมีสี และยังมี คุณสมบัติในการดูดซับแสงได้ หรือแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ถ้าในบรรยากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ในความเข้มข้นประมาณ 285 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของอากาศ จะทำให้เกิดกรดซัลฟูริกหรือซัลเฟตอื่นๆ สามารถลดการมองเห็นได้ในระยะไกลเกินกว่า 8 กิโลเมตร ทำให้เกิดปัญหาต่างๆ ได้แก่ การคมนาคมขนส่ง ทักษะนิยภาพไม่สวยงาม

การทำลายวัสดุสิ่งของ

สารมลพิษอาจทำให้เกิดการทำลายวัสดุสิ่งของหรือสิ่งแวดล้อมต่างๆ ได้แก่

- ทำลายหรือทำความเสียหายแก่โลหะ เช่น ไนโตรเจนไดออกไซด์ทำให้สปริงเสียรูปทรง ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ถ้าในบรรยากาศมีความชื้นมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์มักกัดกร่อนวัสดุที่ทำด้วยเหล็ก สังกะสี ทองแดง
- ทำลายวัสดุสิ่งก่อสร้าง เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทำให้พวกคาร์บอนเตลละลายหรือกัดกร่อน ส่วนพวกแอโรซอลอาจทำให้เกิดสีด่างของเขม่าหรือควัน
- ทำลายระบบนิเวศน์อันเนื่องมาจากการแทรกซึมสารมลพิษเข้าทางใบทำลายเซลล์พืชและอุดตันทางผ่านของแสงแดดไม่ให้ผ่านต้นไม้ และยังเป็นการเพิ่มสารเคมีใหม่ให้แก่ต้นไม้หรือดินเป็นการทำลายผู้ผลิตที่สำคัญที่สุดของระบบนิเวศน์ แต่การดูดสารมลพิษของต้นไม้ก็เป็นช่วยลดมลพิษทางอากาศได้

การทำลายพืช

สารมลพิษบางชนิดอาจทำลายส่วนต่างๆของพืช ได้แก่ ใบ ลำต้นหรือดอก

- ไฮโดรคาร์บอน เช่น อีโทลิน จะทำให้เกิดพิษที่ใบ ตาและดอกของพืช ที่ความเข้มข้นประมาณ 0.001-0.5 พีพีเอ็ม ในระยะเวลาสัมพัศานาน 8-24 ชั่วโมง ซึ่งผลเสียทำให้เกิดความไม่สมดุลของอาหารภายในลำต้นของพืช

- ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ทำให้เกิดพิษเรื้อรังต่อพืช ด้วยการเปลี่ยนสีใบของพืชจนค่อยๆเป็นสีเหลืองหรือเกิดคลอโรซิสเป็นการสูญเสียคลอโรฟิลล์หรือหยุดสร้างคลอโรฟิลล์ ทำให้ต้นไม้ไม่มีการเจริญเติบโต

- ไนโตรเจนไดออกไซด์ทำให้เกิดแผลที่ใบของพืชและทำให้เกิดพิษเฉียบพลันได้

- ออกซิแดนท์ มักทำลายใบของพืชให้เหี่ยวเฉาเซลล์ใบยุบตัว

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ระเบียบวิธีวิจัย

การทดลองเผาขยะด้วยเตาเผาขนาดเล็กที่มีระบบหอพ่นน้ำ แต่ละการทดลองได้ทำการศึกษามลภาวะทางอากาศซึ่งเกิดจากการเผาขยะชุมชน คือ ในการทดลองจะทำการแยกประเภทตามชนิดของขยะที่เผาไหม้ได้ (Combustible) และเผาไหม้ไม่ได้ (non-Combustible)

- ขยะที่เผาไหม้ได้ คือ ขยะที่สามารถติดไฟเป็นเชื้อเพลิงได้ แยกตามองค์ประกอบของขยะ คือ พลาสติก กระดาษ โฟม ไม้เศษ/เศษไม้ เศษผ้า เศษอาหาร

- ขยะที่เผาไหม้ไม่ได้ คือ ขยะที่ไม่สามารถติดไฟเป็นเชื้อเพลิงได้ แยกตามองค์ประกอบของขยะ คือ กระจก/โลหะ เศษแก้ว

แต่ในการทดลองนี้จะศึกษาเฉพาะขยะที่เผาไหม้ได้ โดยแยกออกเป็น ขยะแห้งและขยะเปียก

- ขยะแห้ง (Dry Garbage) คือ ขยะที่มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 40

- ขยะเปียก (Wet Garbage) คือ ขยะที่มีความชื้นมากกว่าร้อยละ 40

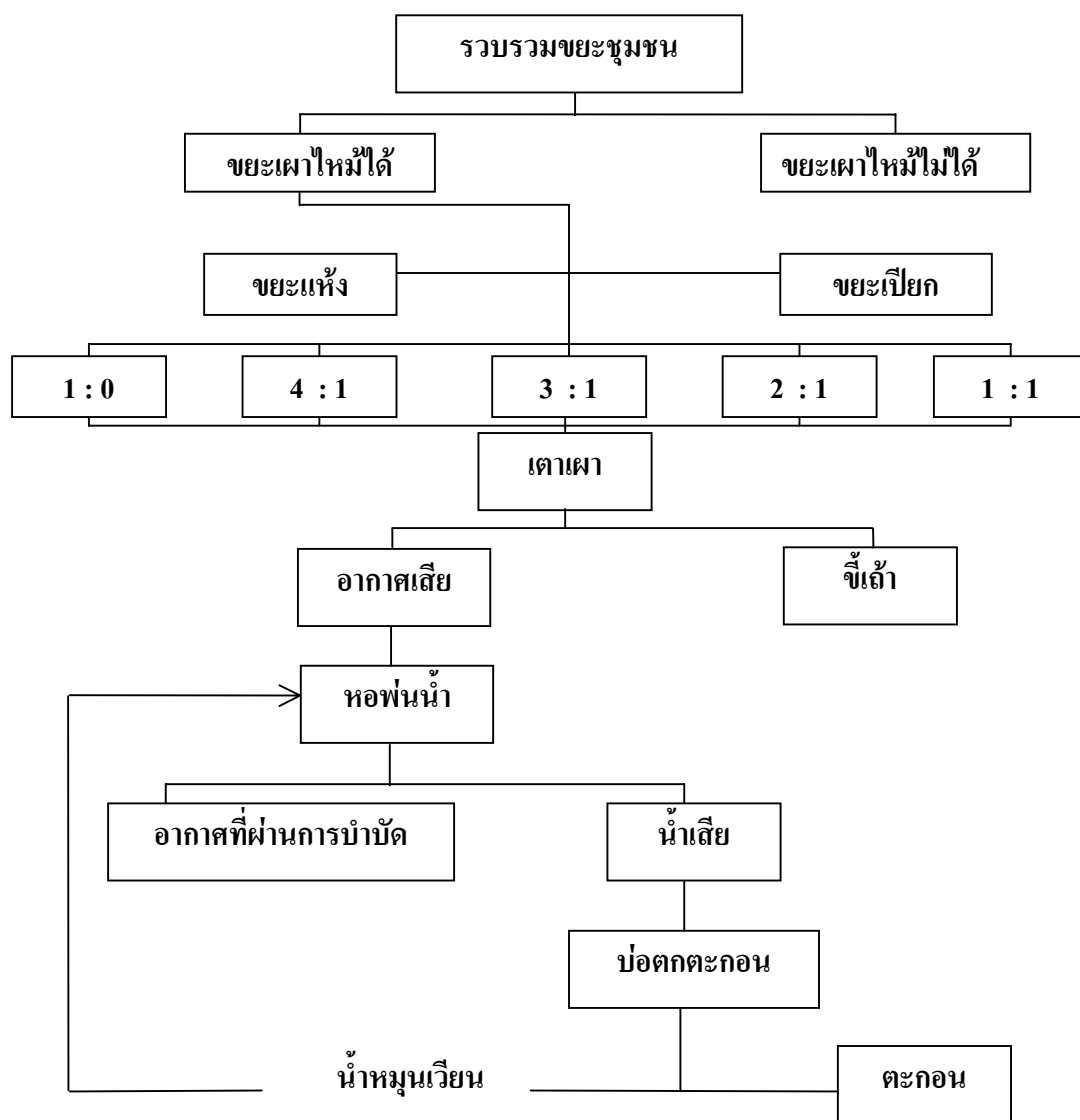
ในการศึกษาได้แยกขยะที่จะเผาออกเป็น 5 การทดลอง ตามอัตราส่วนของขยะแห้งต่อขยะเปียก คือ 1:0, 4:1, 3:1, 2:1, และ 1:1 ในแต่ละการทดลองจะใช้ขยะครั้งละ 200 กิโลกรัม ทำซ้ำการทดลองละ 4 ครั้ง โดยแสดงดังภาพที่ 3.1 การเติมขยะแต่ละครั้งจะควบคุมจากอุณหภูมิของการเผาไหม้ คือ เมื่อเติมขยะแล้วเกิดการลุกไหม้จนอุณหภูมิของการเผาไหม้ขึ้นสูงสุดแล้วเริ่มตกลง เมื่ออุณหภูมิเริ่มตกลงเป็นช่วงที่เราจะเติมขยะเข้าเตาเผา เพื่อให้การเผาไหม้เกิดได้อย่างต่อเนื่อง

3.1.1 ตัวอย่างขยะที่ใช้ในการศึกษา

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จะใช้ขยะภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยทำการสุ่มตัวอย่างขยะเพื่อแยกองค์ประกอบของขยะตามคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพก่อนดำเนินการเผาขยะ โดยแยกออกเป็นขยะที่เผาไหม้ได้และขยะที่เผาไหม้ไม่ได้

การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของขยะมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการทราบ

1. องค์ประกอบของขยะ (Composition)
2. ค่าน้ำหนักจำเพาะ (Specific Weight)
3. ค่าความชื้น (Moisture Content)



ภาพที่ 3.1 วิธีการดำเนินการทดลอง

3.1.2 การดำเนินการศึกษามลพิษทางอากาศ

- การวัดอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้จะเริ่มวัดและจับเวลาหลังจากจุดเตาด้วยชยะแห้งจนชยะเริ่มลุกไหม้แล้ว จึงเริ่มป้อนชยะตามแผนการทดลอง
- การวัดค่า CO, CO₂, NO_x และ SO₂ ในการวัดแก๊สไอเสียจะทำการวัดที่บริเวณปากปล่องควันหลังจากผ่านระบบหอพ่นน้ำในการดูดซับแก๊สไอเสีย โดยใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Gas Analyzer) ซึ่งเครื่องมือนี้สามารถใช้วัดปริมาณแก๊ส CO, CO₂, NO_x และ SO₂ ได้
- การวัดความเร็วของแก๊สไอเสีย การวัดอัตราการไหลของแก๊สไอเสียผ่านท่อหรือพื้นที่หน้าตัดของช่องทางไหลใดๆ จะใช้เครื่องวัดความเร็วแก๊ส (Thermo Anemometer) ซึ่งจะอ่านค่าได้ในหน่วย m/s โดยทำการติดตั้งที่บริเวณช่องทางไหลของอากาศปากทางเข้าของเตาเผา

3.1.3 การดำเนินการศึกษามลสารทางน้ำ

การศึกษามลสารทางน้ำและวิธีการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3.1 การศึกษามลสารทางน้ำได้ทำการทดลองตามวิธีของ “Standard Methods” (APHA et al, 1992) โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำในระหว่างการเผาชยะทุก 10 นาที ในการทดลองจะทำการเปลี่ยนน้ำที่ใช้ฉีดพ่นในการดูดซับแก๊สไอเสียเป็นน้ำใหม่ทุกครั้งเมื่อเริ่มเผาชยะในอัตราส่วนใหม่ เพื่อต้องการรู้ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเพื่อใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพการดักจับมลพิษทางอากาศ

3.2 สถานที่ทำการทดลอง

- สถานที่ทำการทดลองเผาชยะและระบบบำบัดอากาศ การทดลองทั้งหมดนั้นกระทำที่บริเวณหลังอาคารศูนย์เครื่องมือ 5 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- สถานที่ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ใช้ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม อาคารศูนย์เครื่องมือ 5 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์มลสารทางอากาศและมลสารทางน้ำแสดงดังตารางที่ 3.2

3.4 การสร้างเครื่องมือ

ได้ก่อสร้างเตาเผาชยะ หอพ่นน้ำ และบ่อดักตะกอนที่บริเวณหลังอาคารศูนย์เครื่องมือ 5 เป็นขนาดที่สามารถใช้งานได้จริง โดยเตาเผาชยะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 เมตร สูง 2.4 เมตร หอพ่นน้ำมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 เมตร สูง 6.4 เมตร และบ่อดักตะกอนมีขนาด กว้าง 2 เมตร,

ตารางที่ 3.1 การดำเนินการศึกษามลสารทางน้ำ

ตัวแปรที่ต้องการศึกษา	วิธีวิเคราะห์
1. ศึกษาปริมาณอนุภาคแขวนลอยในน้ำ	Particle Counter
2. ศึกษาความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่ผ่านหอพ่นน้ำ	PH meter
3. ศึกษาปริมาณซัลเฟตในน้ำที่ผ่านหอพ่นน้ำ	Gravimetric method.
4. ศึกษาปริมาณคลอไรด์ในน้ำที่ผ่านหอพ่นน้ำ	Titration
5. ศึกษาปริมาณสารส้ม (Alum) ที่เหมาะสมสำหรับตกตะกอนน้ำที่ผ่านหอพ่นน้ำ	Jar test
6. ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของปูนขาว (Ca(OH)_2) ที่เติมในน้ำที่ผ่านหอพ่นน้ำเพื่อปรับพีเอชให้เหมาะสมในการก่ตะกอน	Jar test

ตารางที่ 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์มลสารทางอากาศและมลสารทางน้ำ

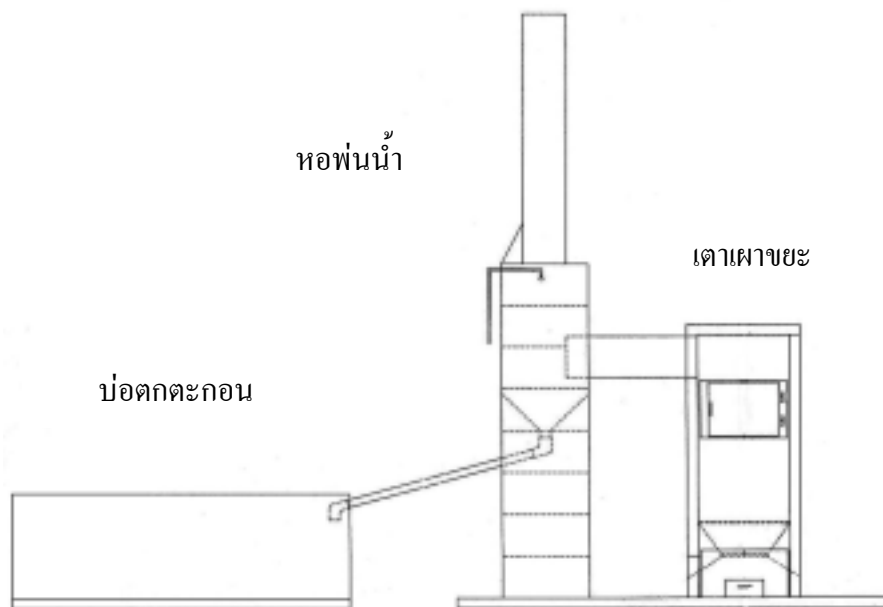
ตัวแปรที่ศึกษา	เครื่องมือที่ใช้
1. แก๊ส	เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Gas Analyzer, rbr-ecom JN)
2. ความเร็วแก๊ส	เครื่องวัดความเร็วแก๊ส (Thermo Anemometer, Extech model 407123)
3. ความร้อน	เครื่องวัดความร้อน (Thermocouple)
4. จำนวนอนุภาค	เครื่องนับอนุภาค (Particle Counter, model 8000A/8000S)
5. ความขุ่น	เครื่องวัดความขุ่น (Turbid meter, Hach 2100N)
6. จาร์เทสต์	เครื่องกวน (Phipps & Bird Stirrer, model 7790-402)
7. ความเป็นกรด-ด่าง	เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)
8. น้ำหนักตัวอย่าง	เครื่องชั่งละเอียด (Balance, Percisa 240A)
9. อบตัวอย่าง	เตาอบ (Oven, Memmert Mell 600)

ยาว 6.5 เมตร, และสูง 1 เมตร มีระบบเครื่องสูบน้ำเพื่อให้ความดันน้ำคงที่ ติดตั้งหัวพ่นน้ำ (Nozzle) มุม 120 องศา 1 ตัว แสดงดังภาพที่ 3.2

3.5 การเก็บรวบรวมตัวอย่าง

3.5.1 อากาศเสีย

1. ทำการวิเคราะห์มลสารทางอากาศที่บริเวณปลายปล่องออกของหอพ่นน้ำโดยทำการ



ภาพที่ 3.2 ส่วนประกอบของเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็ก

วิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊ส จะได้ค่าของ CO , CO_2 , NO_x และ SO_2 (ppm) และอุณหภูมิของแก๊สไอเสีย ($^{\circ}\text{C}$) ทำการจดบันทึกค่าทุก 2 นาที

2. ทำการวิเคราะห์มลภาวะทางอากาศที่บริเวณปลายปล่องออกของหอพ่นน้ำโดยทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดความเร็วแก๊สหาค่าความเร็วของแก๊สไอเสีย (m/sec)

3.5.2 น้ำ

ทำการวิเคราะห์น้ำที่จุดน้ำเข้าและจุดน้ำออก จากหอพ่นน้ำ

1. เก็บตัวอย่างน้ำที่จุดน้ำเข้าและจุดน้ำออกโดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำในระหว่างการเผาขยะทุก 10 นาที ครั้งละ 1 ลิตร มาวิเคราะห์หาค่าของแข็ง TS, TDS, TSS, จำนวนอนุภาค, pH, Acidity

2. เก็บตัวอย่างน้ำที่จุดน้ำเข้าและออกหลังจากทำการเผาเสร็จสิ้น 1 อัตราส่วนครั้งละ 20 ลิตร มาวิเคราะห์หาค่าความสามารถในการตกตะกอน, คาร์บอนเนต, คลอไรด์, และซัลเฟต

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล และการอภิปรายผล

4.1 ลักษณะของขยะที่ใช้วิจัย

ขยะที่ใช้ในการศึกษาวิจัยเป็นขยะที่เกิดขึ้นภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีโดยทำการคัดแยกขยะก่อนที่จะนำมาศึกษาวิจัย เพื่อให้ขยะมีอัตราส่วนของขยะเปียกและขยะแห้งในอัตราส่วนตามที่กำหนดไว้ในขอบเขตของการวิจัย โดยอัตราส่วนผสมของขยะแสดงดังตารางที่ 4.1

ขยะที่นำมาศึกษามีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 35-68 ขยะแห้งมีความชื้นโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 34.70 และขยะเปียกมีความชื้นโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 68.20 น้ำหนักจำเพาะของขยะก่อนทำการคัดแยกเท่ากับ 214.86 kg/m^3 จากผลของความชื้นเป็นไปตามข้อกำหนดคือ ขยะแห้งมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 40 ขยะเปียกมีความชื้นมากกว่าร้อยละ 40 และเมื่อทำการเปรียบเทียบน้ำหนักจำเพาะของขยะภายในมหาวิทยาลัยกับขยะทั่วไปที่ (Tchobanoglous, 1993) ได้ทำการรวบรวมไว้คือ $178-451 \text{ kg/m}^3$ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

องค์ประกอบทางกายภาพของขยะที่ทำการศึกษานี้ได้แยกเป็น 9 ประเภทในหน่วยร้อยละโดยน้ำหนักคือ เศษอาหารขยะเปียก กระดาษ พลาสติก โฟม ไม้และเศษไม้ เศษผ้า กระป๋อง/โลหะ แก้ว และอื่นๆ (รายละเอียดข้อมูลดิบแสดงในตารางที่ 1ก) แสดงดังตารางที่ 4.2 จากการทดลองพบว่าขยะแห้งที่ใช้ผสมในแต่ละอัตราส่วนผสม ขยะส่วนใหญ่เป็นพลาสติกเนื่องจากภาชนะที่ใช้บรรจุสิ่งของหรืออาหารส่วนใหญ่ทำมาจากพลาสติก ถึงแม้จะมีขนาดใหญ่แต่ก็มีน้ำหนักที่เบา ดังนั้นผลที่แสดงออกมาในรูปขององค์ประกอบโดยน้ำหนักจึงมีค่าน้อย ผลขององค์ประกอบขยะโดยน้ำหนักอาจมีค่าน้อย และน้ำหนักของบางองค์ประกอบ เช่น พลาสติก กระป๋องโลหะ และแก้ว อาจมีค่าน้อยเนื่องจากการคัดแยกออกเพื่อนำไปจำหน่ายระหว่างกระบวนการขนถ่ายขยะภายในมหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 อัตราส่วนผสมของขยะ โดยน้ำหนัก

รายการ	อัตราส่วนผสมของขยะ				
	1:0	4:1	3:1	2:1	1:1
1. น้ำหนักขยะแห้ง (kg)	200	160	150	133.3	100
2. น้ำหนักขยะเปียก (kg)	0	40	50	66.7	100

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางกายภาพของขยะ (แสดงในหน่วยร้อยละโดยน้ำหนัก)

รายการ	เทศบาลนครราชสีมา ^{ก.}		สหรัฐอเมริกา ^{ข.} ปี 1990	กรุงเทพฯ ^{ค.} ปี 2541	ในการศึกษา ครั้งนี้
	ที่ปักอาศัย	สถานที่ ราชการ			
1. เศษอาหารขยะเปียก	63.16	49.95	9.00	35.54	57.17
2. กระดาษ	9.12	21.87	34.00	11.58	15.58
3. พลาสติก	15.16	20.97	7.00	19.88	17.94
4. โฟม	-	-	1.00	-	2.40
5. ใบไม้/เศษไม้	-	0.29	20.50	14.54	0.19
6. เศษผ้า	0.35	0.18	2.00	3.71	0.49
7. กระป๋องโลหะ	0.88	1.46	9.50	2.00	2.41
8. แก้ว	10.53	2.92	8.00	4.17	2.49
9. อื่นๆ	0.80	2.36	9.00	8.69	1.35

หมายเหตุ ^{ก.} จาก รายงานการศึกษาความเหมาะสมและออกแบบเบื้องต้นระบบการจัดการขยะมูลฝอยเทศบาลนครราชสีมา. (p.3-20), โดย บ. แมคโครคอนซัลแตนท์, 2540

^{ข.} จาก *Integrated Solid Waste Management*. (p.49), โดย Tchobanoglous Theisen and Vigil, 1993, Singapore: McGraw-Hill.

^{ค.} จาก *เอกสารของสำนักรักษาความสะอาด*. (p.39) โดย ฝ่ายวิจัยกองวิชาการและแผนงาน สำนักรักษาความสะอาด กรุงเทพฯ, 2542

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบหลักที่สำคัญและมีสัดส่วนสูงที่สุดในตัวอย่างขยะมูลฝอยรวมของเทศบาลนครราชสีมา กรุงเทพฯ และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี คือ เศษอาหารขยะเปียก แต่ของสหรัฐอเมริกาขยะประเภทนี้จะมีน้อย แต่ขยะประเภทที่นำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้จะมีปริมาณมากกว่า ทำให้เห็นความแตกต่างขององค์ประกอบของขยะของแต่ละที่อย่างชัดเจน ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อองค์ประกอบทางกายภาพของขยะคือ ชนิดของอาหารที่บริโภค พฤติกรรมการทิ้งขยะของประชาชน วิถีชีวิต

องค์ประกอบทางเคมีของขยะก็มีความสำคัญมากในการพิจารณาความเป็นไปได้ในการเผาไหม้ส่วนประกอบที่สำคัญของขยะคือ องค์ประกอบทางเคมี และค่าพลังงานความร้อน แต่ในการศึกษาจะพิจารณาเฉพาะองค์ประกอบทางเคมี องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และซีดีใน การศึกษาจะใช้วิธีการเช่นเดียวกับการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางกายภาพโดยแสดงดังตารางที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบทางเคมีของขยะในการศึกษาครั้งนี้ (แสดงหน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก)

รายการ	องค์ประกอบ	ความชื้น	น.น.แห้ง	C	H	O	N	S	Ash
เศษอาหารขยะเปียก	57.17	77.16	13.06	6.27	0.84	4.91	0.34	0.05	0.65
กระดาษ	15.58	6.72	14.53	6.32	0.87	6.39	0.04	0.03	0.87
พลาสติก	17.94	3.48	17.32	10.39	1.25	3.95	-	-	1.73
โฟม	2.4	3.20	2.32	1.81	0.23	-	0.05	-	0.23
ใบไม้/เศษไม้	0.19	9.48	0.17	0.09	0.01	0.07	0.00	0.00	0.00
เศษผ้า	0.49	11.25	0.43	0.24	0.03	0.14	0.02	0.00	0.01
กระป๋องโลหะ	2.41	3.86	2.32	0.10	0.01	0.10	0.00	-	2.10
แก้ว	2.49	2.06	2.44	0.01	0.00	0.01	0.00	-	2.41
อื่นๆ	1.35	6.54	1.26	0.33	0.04	0.03	0.01	0.00	0.86
รวม	100.0		53.85	25.56	3.28	15.60	0.46	0.08	8.87

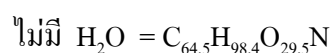
หมายเหตุ ความชื้นที่ใช้ในการคำนวณ = 46.15 (100.00-53.85)

ตารางที่ 4.4 สัดส่วนโมลของขยะ

รายการ	สัดส่วนโมล (N=1)		สัดส่วนโมล (S=1)	
	ไม่มี H ₂ O	มี H ₂ O	ไม่มี H ₂ O	มี H ₂ O
คาร์บอน	64.5	64.5	1064.1	1064.1
ไฮโดรเจน	98.4	252.3	1623.8	4163.4
ออกซิเจน	29.5	107.2	487.5	1769.4
ไนโตรเจน	1.0	1.0	16.4	16.4
ซัลเฟอร์	0.1	0.1	1.0	1.0

หมายเหตุ วิธีคำนวณจาก *Integrated Solid Waste Management*, (p.81-82), G. Tchobanoglous, H. Theisen and S. Vigil, 1993, Singapore: McGraw-Hill.

จากตารางที่ 4.3 และ 4.4 เป็นผลจากการคำนวณหาองค์ประกอบทางเคมี ทำให้ได้สูตรทางเคมีของขยะ คือ สูตรทางเคมีของขยะที่ศึกษา (ไม่คิดซัลเฟอร์)



$$\text{มี H}_2\text{O} = \text{C}_{64.5}\text{H}_{252.3}\text{O}_{107.2}\text{N}$$

และสูตรทางเคมีของขยะที่ศึกษา (คิคซ์ลเฟอร์)

$$\text{ไม่มี H}_2\text{O} = \text{C}_{1064.1}\text{H}_{1623.8}\text{O}_{487.5}\text{N}_{16.4}\text{S}$$

$$\text{มี H}_2\text{O} = \text{C}_{1064.1}\text{H}_{4163.4}\text{O}_{1769.4}\text{N}_{16.4}\text{S}$$

จากสูตรทางเคมีของขยะสามารถคำนวณหาพลังงานที่เกิดจากการเผาไหม้ได้ แต่การศึกษานี้จะพิจารณาเพียงแง่องค์ประกอบของขยะเท่านั้น

4.2 ผลของอากาศเสีย

ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแก๊ส CO, CO₂, NO_x, ความเร็วลม และค่าเฉลี่ยอัตราการไหลของอากาศที่เข้าสู่ระบบแสดงดังตารางที่ 4.5 ส่วนแก๊ส SO_x ไม่พบในการทดลองเผาขยะครั้งนี้ (รายละเอียดข้อมูลดิบแสดงในตารางที่ 3ก-7ก) จากการทดลองพบว่าค่ามลพิษทางอากาศมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน เว้นแต่ค่า CO มีค่าสูงกว่ามาตรฐาน ที่อัตราส่วนผสมขยะ 1:0 มีค่าของมลพิษทุกชนิดสูงกว่าทุกอัตราส่วน อัตราส่วนนี้เป็นอัตราส่วนที่มีเฉพาะขยะแห้งอย่างเดียวจึงเกิดการลุกไหม้ได้ดีที่สุด แต่ผลที่ตามมาคือเป็นอัตราส่วนที่มีค่ามลพิษสูงสุด อาจเนื่องมาจากปริมาณขยะแห้งเพราะในอัตราส่วนอื่นที่มีปริมาณขยะแห้งน้อยลง ค่ามลพิษก็ลดลงตามด้วย ดังจะเห็นจากค่ามลพิษในตารางที่ 4.5 ค่ามลพิษจะลดลงตามอัตราส่วนผสมขยะ ปัจจัยที่มีผลต่อแก๊สมลพิษ คือ ปริมาณขยะแห้งในส่วนผสมของขยะ เนื่องจากองค์ประกอบของขยะแห้งที่ทำการทดลองประกอบด้วยขยะพลาสติกเป็นส่วนใหญ่ เมื่อนำมาเผาการเผาไหม้เกิดขึ้นได้แต่จะส่งกลิ่นเหม็นมากเนื่องจากแก๊ส Hydrogen chloride (อุคร, 1996)

ความสัมพันธ์ของแก๊สมลพิษแต่ละชนิดแสดงดังภาพที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ จากภาพที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ของแก๊ส CO กับ CO₂ จะเห็นว่าค่าของแก๊สทั้งสองชนิดมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงใกล้เคียงกันเนื่องจากการสันดาปของขยะจะเกิดแก๊ส CO และ CO₂ ขึ้นพร้อมๆกันแต่ปริมาณของแก๊สแต่ละชนิดจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของขยะและปฏิกิริยาการเผาไหม้ จากภาพที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ของแก๊ส CO กับ NO_x จะเห็นว่าค่าของแก๊สทั้งสองชนิดแปรผกผันกันเนื่องจากที่อุณหภูมิสูงแก๊สไนโตรเจนในอากาศจะรวมตัวกับออกซิเจนให้แก๊ส NO_x แต่ที่อุณหภูมิต่ำการสันดาปเกิดได้ดีจึงทำให้ค่าของแก๊ส CO มีค่าน้อย จากภาพที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ของแก๊ส CO₂ กับ NO_x จะเห็นได้ว่าค่าของแก๊สทั้งสองชนิดมีค่าแปรผกผันกันเล็กน้อยเนื่องจากอุณหภูมิระหว่างการเผาไหม้ เมื่ออุณหภูมิสูงการเผาไหม้เกิดได้ดีค่าของ CO₂ จะสูง ที่อุณหภูมิสูงแก๊สไนโตรเจนในอากาศจะรวมตัวกับออกซิเจนให้แก๊ส NO_x สูงตามด้วย

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยของมลสารทางอากาศ

รายการ	อัตราส่วนผสมขยะ					มาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรม ^ก
	1:0	4:1	3:1	2:1	1:1	
1. CO (ppm)	1736	1026	1205	1072	803	1000
2. CO ₂ (ppm)	18000	14000	15000	12000	14000	-
3. NO _x (ppm)	20	18	19	15	20	250
4. ความเร็วลม (m/s)	0.68	0.54	0.49	0.52	0.43	-
5. ปริมาณอากาศเสีย (m ³ /min)	6.53	5.18	4.70	4.99	4.13	-

หมายเหตุ ^ก มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2536

4.2.1 แนวคิดรูปแบบของมลสารทางอากาศ

ค่าของมลสารทางอากาศที่วัดได้จากการทดลองมีค่าขึ้นลงเป็นคลื่นจึงได้นำสมการทางคณิตศาสตร์เข้ามาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ดังสมการที่ (4.1)

$$C = C^* + a \sin(\omega t) \quad (4.1)$$

โดยที่ C = ค่าความเข้มข้นของมลสารที่เวลา t (ppm)

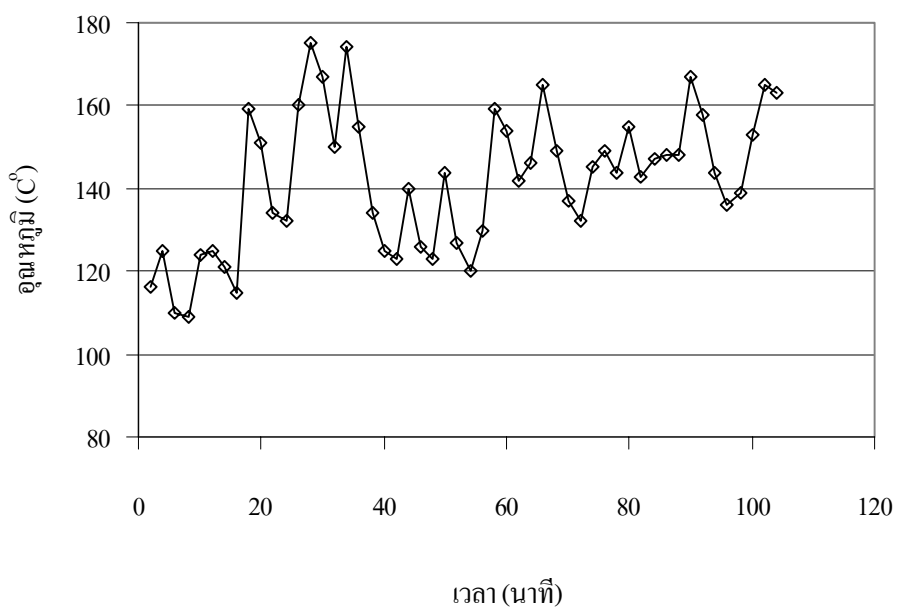
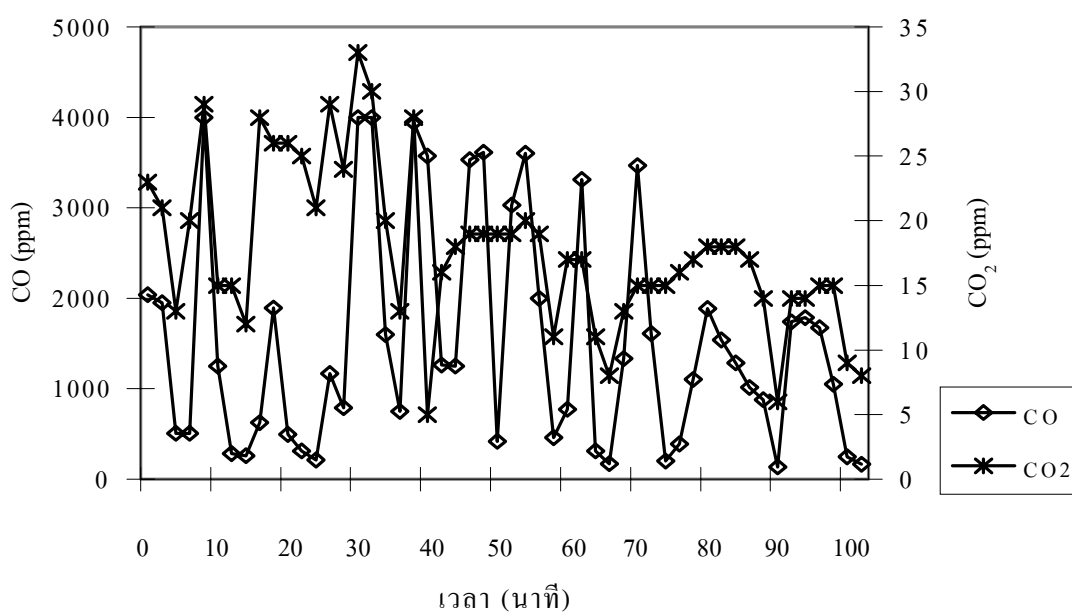
C* = ค่าความเข้มข้นโดยเฉลี่ย (ppm)

a = ค่าครึ่งหนึ่งของพิสัย (ppm)

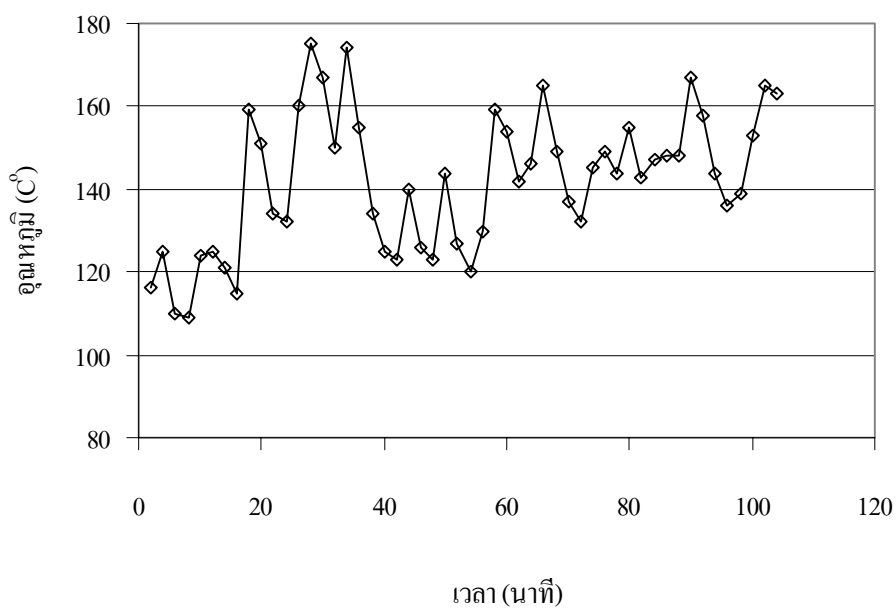
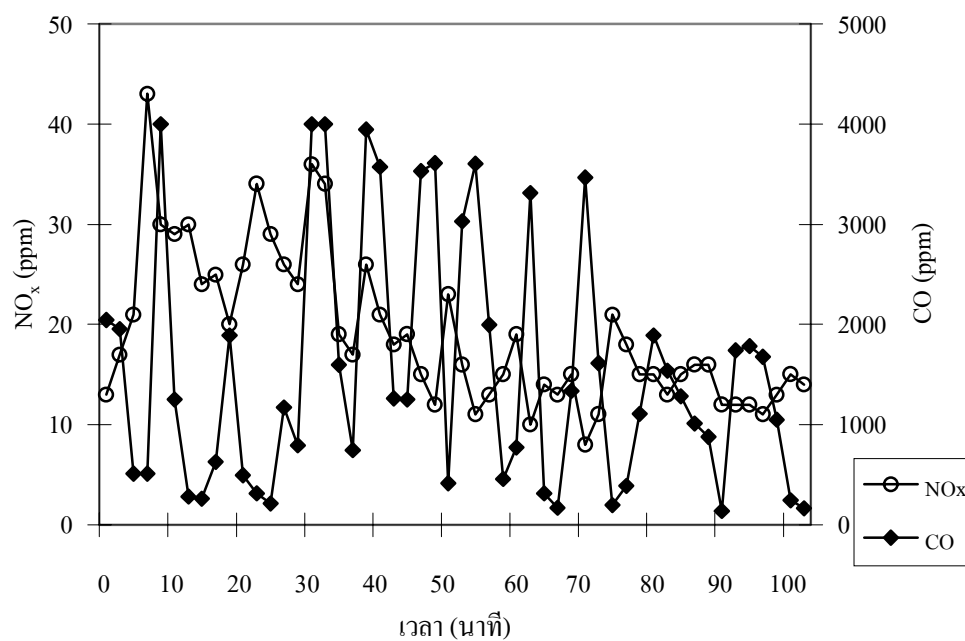
ω = $2\pi/T$ = ความถี่ (รอบ/นาที)

t = ระยะเวลา (นาที)

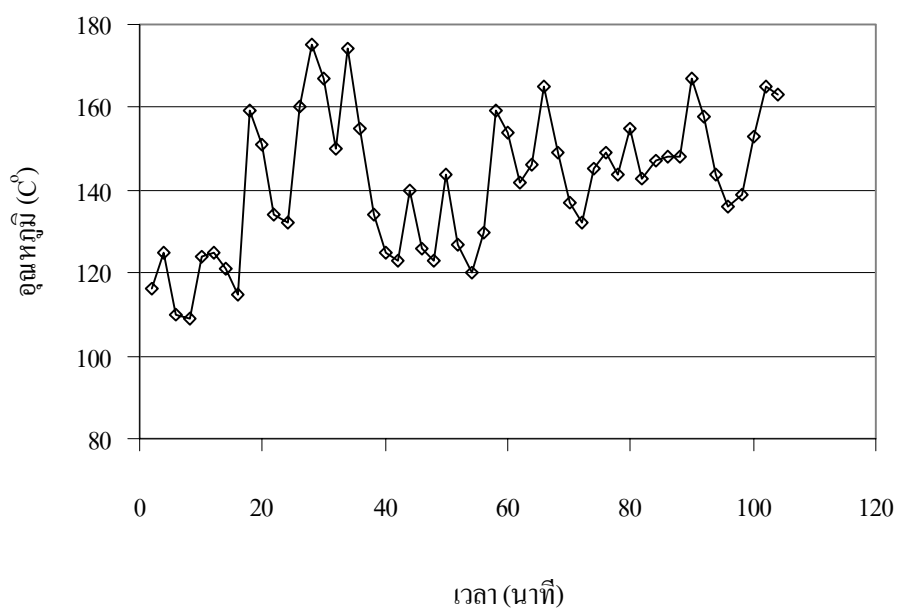
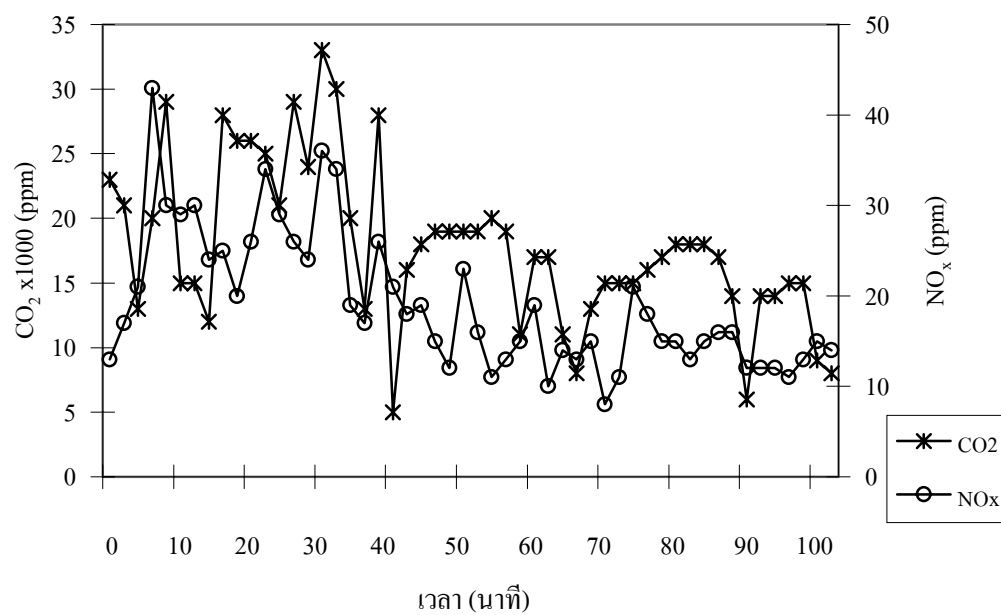
ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงดังภาพที่ 4.4, 4.5, 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ (รายละเอียดผลการคำนวณแสดงดังตาราง 9ก, 11ก, 13ก, 15ก และ 17ก) จากภาพที่ 4.4-4.7 ทำให้เราทราบถึงความสัมพันธ์ของแก๊สแต่ละชนิดได้ดีขึ้นเนื่องจากค่าของความเข้มข้นของแก๊สเมื่อวิเคราะห์ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์แล้วนำมาแสดงด้วยกราฟจะเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนกว่าการแสดงด้วยข้อมูลจริง และจากภาพยังทำให้เราทราบถึงช่วงความถี่ของการเกิดแก๊สไอเสียกับเวลาที่อัตราส่วนผสมขยะต่างๆ เช่น ที่อัตราส่วน 1:0 ปริมาณแก๊สไอเสียที่เกิดขึ้นมีปริมาณมากและเกิดอย่างต่อเนื่องมากกว่าอัตราส่วนอื่นๆ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณแก๊สไอเสียและความถี่ของการเกิดแก๊สไอเสียคือ การลุกไหม้ของขยะและอุณหภูมิของการเผาไหม้ ทำให้ที่อัตราส่วน 1:0 มีปริมาณแก๊สไอเสียมากกว่าอัตราส่วนอื่นๆ เนื่องจากการลุกไหม้ของขยะเกิดได้ดีและอุณหภูมิของการเผาไหม้สูงสุด



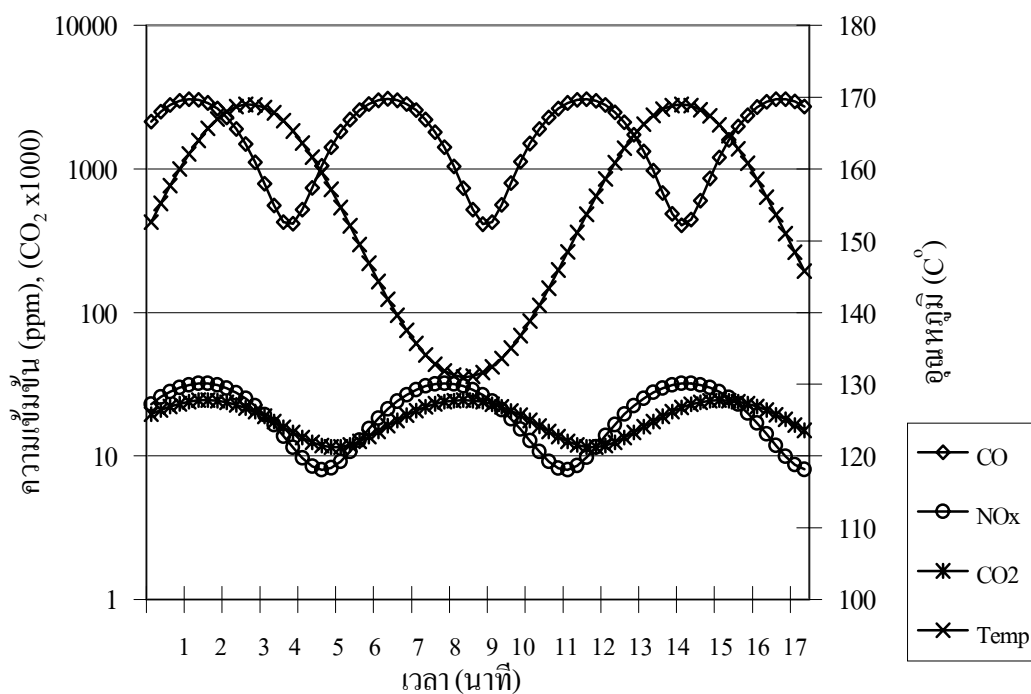
ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของแก๊ส CO₂ กับ CO และอุณหภูมิของไอเสีย ที่อัตราส่วน 1:0



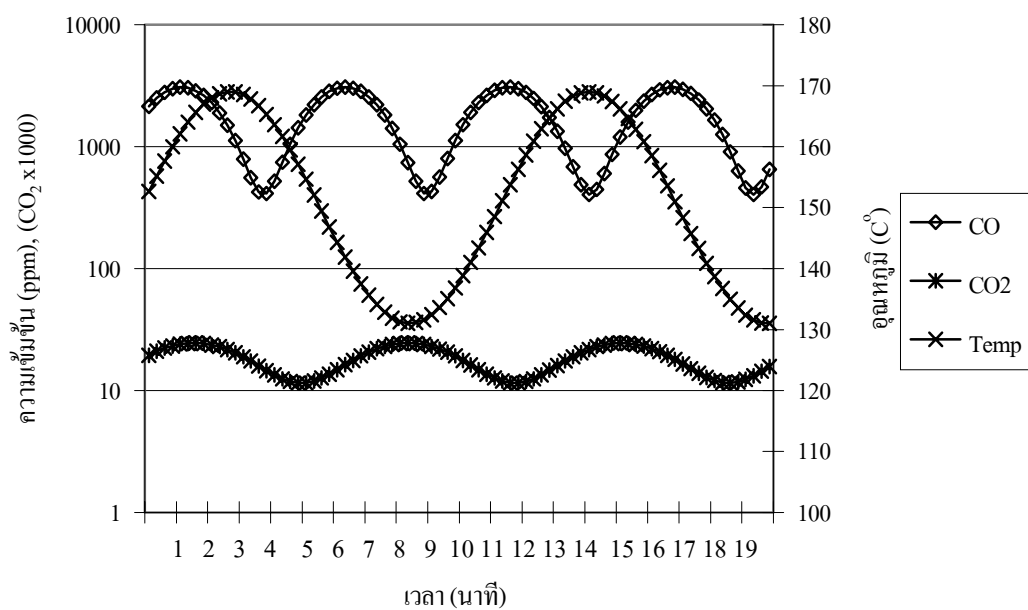
ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ของแก๊ส CO กับ NO_x และอุณหภูมิของไอเสีย ที่อัตราส่วน 1:0



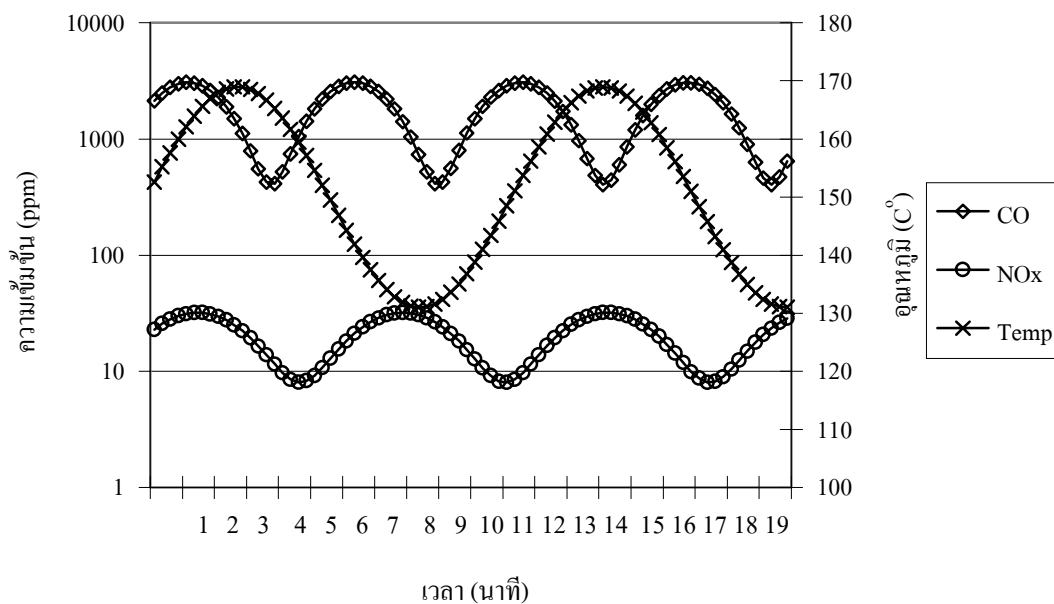
ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของแก๊ส CO₂ กับ NO_x และอุณหภูมิของไอเสีย ที่อัตราส่วน 1:0



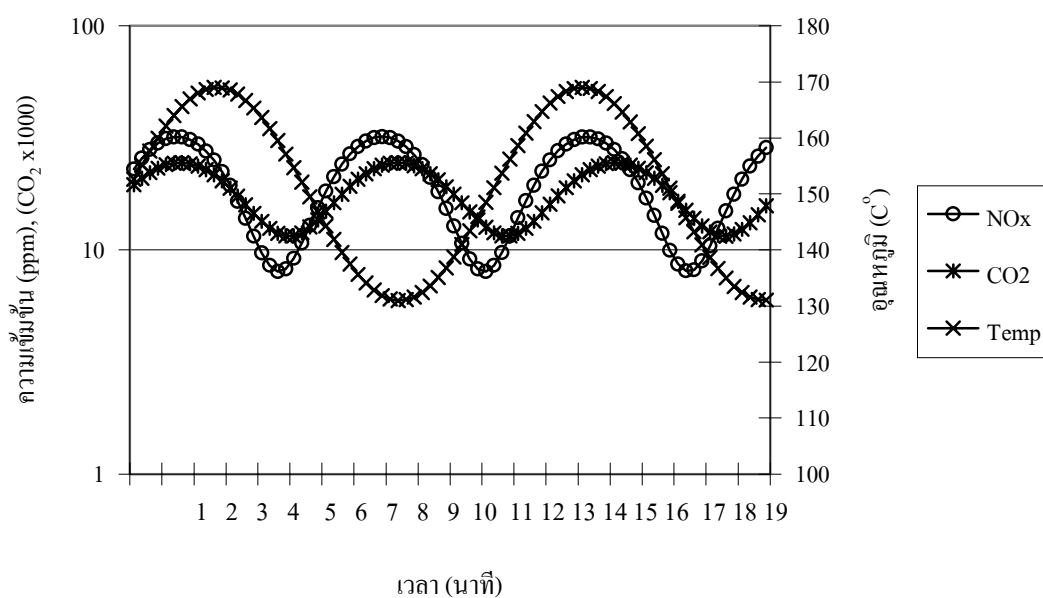
ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของแก๊สแต่ละชนิดกับอุณหภูมิของแก๊สไอเสีย



ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ของแก๊ส CO กับ CO₂ และอุณหภูมิของแก๊สไอเสีย ที่อัตราส่วน 1:0



ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของแก๊ส CO กับ NO_x และอุณหภูมิของแก๊สไอเสีย ที่อัตราส่วน 1:0

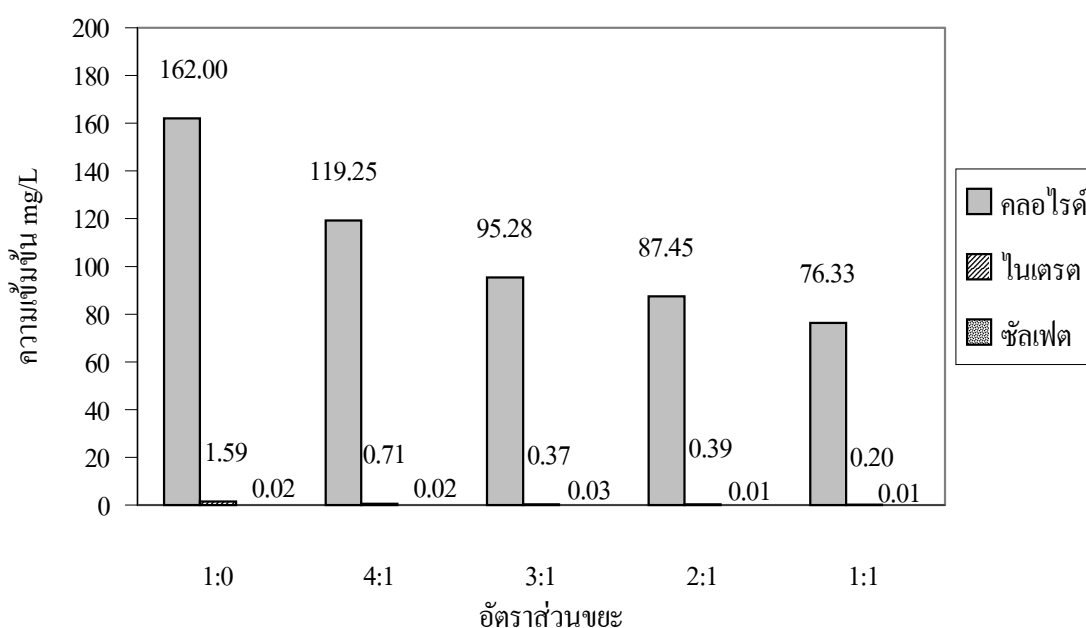


ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของแก๊ส NO_x กับ CO₂ และอุณหภูมิของแก๊สไอเสีย ที่อัตราส่วน 1:0

4.3 ผลของน้ำเสีย

4.3.1 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสีย

น้ำเสียที่ออกมาจากหอพ่นน้ำมีค่า pH, ค่าแอมโมเนีย, ค่าคลอไรด์, ค่าซัลเฟต, และค่าไนเตรต แสดงดังภาพที่ 4.8 และตารางที่ 4.6 (รายละเอียดข้อมูลดิบแสดงดังตารางที่ 1ข) จากผลการทดลอง พบว่าที่อัตราส่วนผสมขยะ 1:0 มีค่าความเป็นกรดสูงกว่าทุกอัตราส่วนโดยพิจารณาจากค่า pH คือ 3.02 และค่าแอมโมเนีย คือ 294.81 mg/L as CaCO₃ ค่าความเป็นกรดจะลดลงตามปริมาณขยะแห้งในส่วนผสม จากการทดลองยังพบว่ากรดที่เกิดขึ้นเป็นกรดที่ประกอบด้วยแอนไอออนที่เป็นคลอไรด์ เนื่องจากค่าคลอไรด์ในน้ำเสียนั้นมีค่าสูงกว่าแอนไอออนกลุ่มอื่นคือ ไนเตรต และซัลเฟต เพราะฉะนั้นสภาพความเป็นกรดของน้ำเสียน่าจะมาจากกรด HCl ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสีย คือ อัตราส่วนผสมของขยะ ค่าความเป็นกรดจะสูงเมื่อส่วนผสมของขยะมีปริมาณขยะแห้งมาก เนื่องจากขยะแห้งประกอบด้วยพลาสติกเป็นส่วนใหญ่เมื่อเผาแล้วจะเกิดแก๊ส Hydrogen chloride (อุคร, 1996)



ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของปริมาณแอนไอออนที่ทำให้เกิดความเป็นกรดในน้ำกับอัตราส่วนผสมของขยะ

จากภาพที่ 4.8 จะเห็นความสัมพันธ์ของคลอไรด์ ซัลเฟต และไนเตรตในน้ำที่ออกมาจากหอพ่นน้ำ คือ ปริมาณคลอไรด์ในน้ำจะมีมากในอัตราส่วนผสมขยะ 1:0 และลดลงตามส่วนผสมของ

ขยะแห้ง ส่วนค่าของซัลเฟต และไนเตรตก็มีความสัมพันธ์เช่นเดียวกับค่าของคลอไรด์ ปัจจัยที่ทำให้ปริมาณของคลอไรด์มีค่าสูงกว่า ค่าซัลเฟต และค่าไนเตรต เนื่องจากองค์ประกอบของขยะแห้งส่วนมากนั้นเป็นพลาสติก เมื่อเผาแล้วจะเกิดแก๊ส Hydrogen chloride และองค์ประกอบทางเคมีของพลาสติกคือ polychlorinated compound ดังนั้นในน้ำจึงมีปริมาณของคลอไรด์สูงกว่า ซัลเฟต และไนเตรต

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียที่ออกจากหอพ่นน้ำ

รายการ	อัตราส่วนผสมของขยะ				
	1:0	4:1	3:1	2:1	1:1
1. pH (น้ำเสีย)	3.02	3.77	4.93	5.60	5.87
2. แอซิดิตี (mg/L as CaCO ₃)	294.81	218.88	210.13	261.13	231.36
3. คลอไรด์ (mg/L)	162.0	119.3	95.3	87.5	76.3
4. ซัลเฟต (mg/L)	0.0202	0.0237	0.0286	0.0074	0.0065
5. ไนเตรต (mg/L)	1.59	0.71	0.37	0.39	0.20

4.3.2 การควบคุมมลสารทางน้ำ

ค่าของแข็งทั้งหมด ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และค่าของแข็งที่ละลายทั้งหมดในน้ำที่ออกจากหอพ่นน้ำแสดงดังตารางที่ 4.7 (ข้อมูลดิบแสดงดังตารางที่ 2ข และ 3ข ตามลำดับ) ในการทดลองได้ควบคุมแรงดันน้ำที่ใช้พ่นน้ำ ให้มีค่าคงที่เท่ากับ 15 psi พบว่ามีอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 28 L/min การควบคุมมลสารทางน้ำจำพวกของแข็ง และของแข็งแขวนลอยทำได้โดยการใช้บ่อดกตะกอนซึ่งมีขนาดความจุเท่ากับ 6 m³ และมีพื้นที่ตกตะกอนเท่ากับ 11.12 m² จากปริมาณของแข็งในตารางที่ 4.7 เมื่อพิจารณาจากค่าของแข็งในน้ำเข้าและน้ำออกจะพบว่าค่าของแข็งที่อัตราส่วนผสมของขยะ 1:0 มีปริมาณของแข็งสูงที่สุดและลดลงตามส่วนผสมของขยะแห้ง เนื่องจากอัตราส่วน 1:0 ประกอบด้วยขยะแห้งอย่างเดียว การเผาไหม้เกิดได้ดีมากจึงทำให้เกิดเขม่า หรือขี้เถ้าลอย และในอัตราส่วนอื่นๆที่มีปริมาณของขยะแห้งลดลง ปริมาณของแข็งก็จะลดลงด้วย ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าของแข็ง คือ ปริมาณของขยะแห้งในส่วนผสม

ในการทดลองได้นำน้ำเสียมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องนับอนุภาคเพื่อหาขนาดและจำนวนของอนุภาค พบว่าอนุภาคที่ออกจากหอพ่นน้ำเข้าสู่บ่อดกตะกอนมีขนาดส่วนใหญ่เท่ากับ 20 μm มีจำนวนอนุภาคเท่ากับ 14724-3877 อนุภาค/ml และอนุภาคที่ผ่านบ่อดกตะกอนมีขนาดส่วนใหญ่เท่า

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียที่ออกจากหอพ่นน้ำเข้าสู่บ่อดกตะกอน

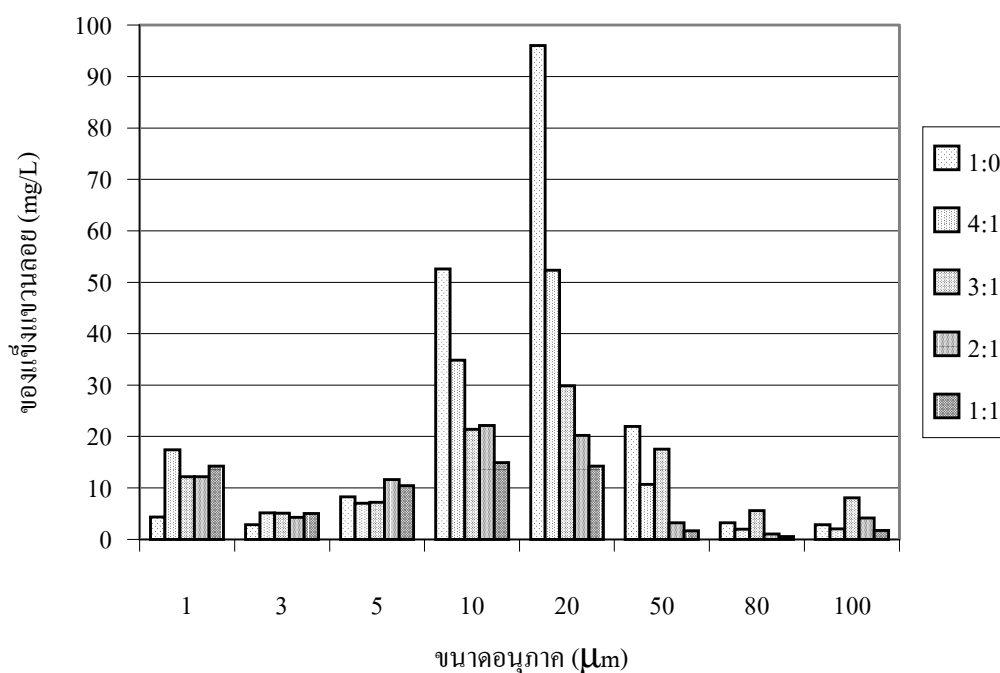
รายการ	อัตราส่วนผสมของขยะ				
	1:0	4:1	3:1	2:1	1:1
<u>น้ำเข้า</u>					
1. ของแข็งทั้งหมด (mg/L)	1660	1217	1119	1000	874
2. ของแข็งแขวนลอย (mg/L)	192	132	107	79	63
3. ส่วนที่ละลาย (mg/L)	1472	1078	1019	939	810
<u>น้ำออก</u>					
4. ของแข็งทั้งหมด (mg/L)	1118	959	828	770	746
5. ของแข็งแขวนลอย (mg/L)	40	30	28	24	20
6. ส่วนที่ละลาย (mg/L)	1104	937	797	711	708

กับ $1 \mu\text{m}$ มีจำนวนอนุภาคเท่ากับ 13285-2321 อนุภาค/ml (ข้อมูลดิบแสดงดังตารางที่ 4ข และตารางที่ 5ข ตามลำดับ) ขนาดของอนุภาคและปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเข้าและน้ำออกจากบ่อดกตะกอนแสดงดังตารางที่ 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ จากตารางที่ 4.8 พบว่าที่ขนาดอนุภาค $20 \mu\text{m}$ มีปริมาณของแข็งแขวนลอยสูงสุดและอัตราส่วนที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยมากที่สุด คือ อัตราส่วนผสมขยะ 1:0 สอดคล้องกับค่าของแข็งในตารางที่ 4.7 และจากตารางที่ 4.9 พบว่าที่ขนาดอนุภาค $1 \mu\text{m}$ มีปริมาณของแข็งแขวนลอยสูงที่สุด คือ ที่อัตราส่วนผสมขยะ 1:1 เนื่องจากปริมาณของแข็งแขวนลอยที่พบมีปริมาณน้อย และปริมาณของแข็งแขวนลอยส่วนใหญ่เกิดการตกตะกอนภายในบ่อดกตะกอน แต่ที่อัตราส่วนผสมขยะ 1:0 พบว่าของแข็งแขวนลอยส่วนใหญ่มีขนาดเท่ากับ $20 \mu\text{m}$ เนื่องจากที่อัตราส่วนผสมขยะ 1:0 มีปริมาณของแข็งแขวนลอยมากเมื่อผ่านบ่อดกตะกอนแล้วแต่บ่อดกตะกอนไม่สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้หมดจึงพบของแข็งแขวนลอยในน้ำออก ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อขนาดของอนุภาคในน้ำออก คือ ปริมาณของแข็งแขวนลอย อัตราส่วนผสมขยะ และประสิทธิภาพของบ่อดกตะกอน

จากผลการทดลองค่าของแข็งทั้งหมด และของแข็งแขวนลอยทั้งหมด สามารถนำมาหาประสิทธิภาพของบ่อดกตะกอนได้ดังนี้

ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของขนาดอนุภาคและปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ออกจากหอพ่นน้ำเข้าสู่บ่อดักตะกอน

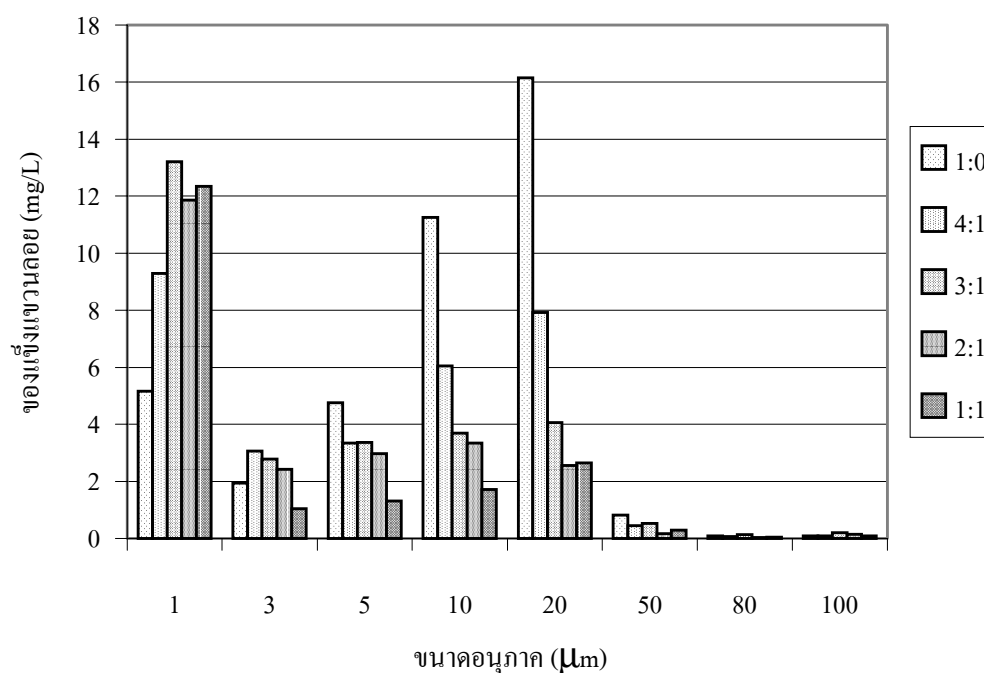
ขนาดอนุภาค (μm)	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (mg/L)				
	1:0	4:1	3:1	2:1	1:1
1	4.36	17.45	12.19	12.19	14.23
3	2.84	5.18	5.14	4.26	5.05
5	8.28	7.00	7.25	11.65	10.46
10	52.56	34.88	21.41	22.15	14.95
20	96.01	52.29	29.92	20.22	14.25
50	22.02	10.72	17.58	3.30	1.72
80	3.29	1.96	5.61	1.10	0.54
100	2.88	2.02	8.14	4.14	1.80



ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ของขนาดอนุภาคและปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ออกจากหอพ่นน้ำเข้าสู่บ่อดักตะกอน

ตารางที่ 4.9 ความสัมพันธ์ของขนาดอนุภาคและปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ออกจากบ่อดกตะกอน

ขนาดอนุภาค (μm)	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (mg/L)				
	1:0	4:1	3:1	2:1	1:1
1	5.16	9.29	13.21	11.86	12.35
3	1.94	3.06	2.79	2.42	1.05
5	4.76	3.34	3.37	2.97	1.31
10	11.25	6.04	3.70	3.34	1.72
20	16.15	7.93	4.07	2.55	2.66
50	0.82	0.45	0.53	0.17	0.29
80	0.09	0.07	0.13	0.04	0.05
100	0.09	0.08	0.21	0.15	0.08



ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ของขนาดอนุภาคและปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ออกจากบ่อดกตะกอน

คำนวณหาความเร็วของการตกตะกอน

- ขนาดของอนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดเท่ากับ $20 \mu\text{m}$ หรือ $2 \times 10^{-5} \text{ m}$
- สมบัติความหนาแน่นของเม็ดตะกอนเท่ากับ 3000 kg/m^3
- ความหนาแน่นของน้ำที่ 60°C เท่ากับ 983.2 kg/m^3
- ความหนืดของน้ำ 60°C เท่ากับ $0.466 \times 10^{-3} \text{ N.s/m}$

สมมติการตกตะกอนอยู่ในช่วงของกฎ stoke

$$v = \frac{2gr^2\rho_l}{9\mu} \left(\frac{\rho_s}{\rho_l} - 1 \right) \quad (4.3)$$

$$v_s = \frac{Q}{A} \quad (4.4)$$

เมื่อแทนค่าในสมการที่ (4.3) และ (4.4) จะได้ค่าของ v และ v_s ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ค่าความเร็วของอนุภาคขนาดต่างๆและจำนวนอนุภาคในน้ำ

ขนาด (μm)	น้ำเข้า (อนุภาค)	v (m/s)	V_s (m/s)	V/v_s	v/v_s x จำนวน (อนุภาค)	น้ำออก (อนุภาค)
1	2753	0.0000023	0.0000419	0.06	153	2600
3	1004	0.0000211	0.0000419	0.50	505	499
5	2012	0.0000586	0.0000419	1.40	2012	-
10	5880	0.0002345	0.0000419	5.59	5880	-
20	8130	0.0009382	0.0000419	22.35	8130	-
50	2085	0.0058635	0.0000419	139.71	2085	-
80	492	0.0126564	0.0000419	301.56	492	-
100	811	0.0185061	0.0000419	440.94	811	-
รวม	23168				20069	3099

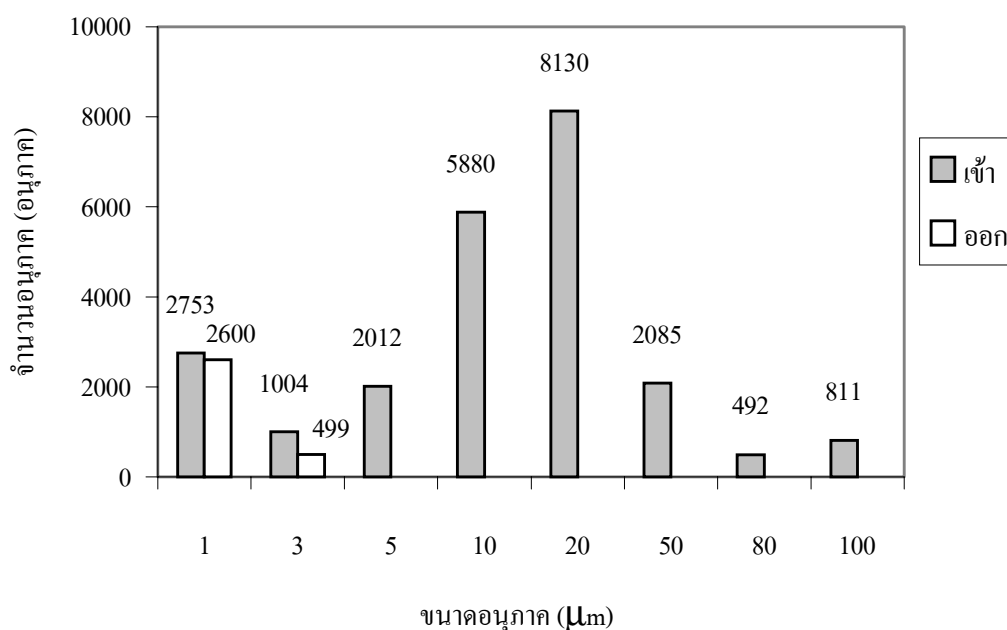
จากตารางที่ 4.10 พบว่าถ้าความเร็วของการตกตะกอน (v) มีค่าสูงกว่าหรือเท่ากับ v_s จะสามารถกำจัดตะกอนได้หมด จากผลการทดลองที่ขนาดอนุภาคเท่ากับ 1-3 μm ค่าความเร็วของการตกตะกอนมีค่าน้อยกว่า v_s จึงเกิดการตกตะกอนไม่หมด และที่ขนาดอนุภาค 5-100 μm ค่าความเร็วของการตกตะกอนมีค่ามากกว่า v_s จึงเกิดการตกตะกอนทั้งหมด และจากการคำนวณพบว่าการตก

ตะกอนภายในบ่อดักตะกอนเป็นแบบโดด (Discrete settling) การไหลภายในบ่อดักตะกอนของอนุภาคขนาด 1-50 μm เป็นแบบราบเรียบ (Lamina) และการไหลภายในบ่อดักตะกอนของอนุภาคขนาด 51-100 μm เป็นแบบผสม ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสามารถในการตกตะกอน คือ v_s , v_s และขนาดอนุภาคของของแข็งแขวนลอย พื้นที่ตกตะกอน และอัตราการไหลของน้ำ

คำนวณหาประสิทธิภาพของบ่อดักตะกอนได้เท่ากับ

$$E = \frac{(23168 - 3099)}{23168} \times 100$$

ได้ประสิทธิภาพของบ่อดักตะกอนเท่ากับ 87 เปอร์เซ็นต์ โดยแสดงประสิทธิภาพของบ่อดักตะกอน ดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 ประสิทธิภาพของบ่อดักตะกอน

จากภาพที่ 4.11 ทำให้รู้ประสิทธิภาพของบ่อดักตะกอนว่าสามารถกำจัดของแข็งที่มีขนาดใหญ่กว่า 3 μm แต่จะมีประสิทธิภาพต่ำเมื่อของแข็งมีขนาดเล็กกว่า 3 μm

จากการคำนวณหาประสิทธิภาพของบ่อดักตะกอนดังตารางที่ 4.10 ประสิทธิภาพที่ได้เกิดจากการคำนวณหาความเร็วของอนุภาคที่ขนาดต่างๆกันเทียบกับความเร็วของการไหลภายในบ่อดักตะกอนเพื่อบอกว่าอนุภาคขนาดใดที่สามารถเกิดการตกตะกอนได้ภายในบ่อดักตะกอน แต่ประ

ประสิทธิภาพที่คำนวณได้อาจไม่เกิดขึ้นจริงในการทดลอง ดังนั้นจึงได้ทำการหาประสิทธิภาพจากจำนวนอนุภาคที่ได้จากการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ประสิทธิภาพของบ่อดกตะกอนจากการทดลอง

ขนาด (μm)	น้ำเข้า (อนุภาค)	น้ำออก (อนุภาค)	อนุภาคที่ถูกกำจัด (อนุภาค)	อนุภาคที่ถูกกำจัด (อนุภาค)
1	2753	8590	-5836	-
3	1004	1688	-684	-
5	2012	2227	-215	-
10	5880	3389	2491	2491
20	8130	4191	3939	3939
50	2085	305	1780	1780
80	492	56	436	436
100	811	95	716	716
รวม	23168			9362

คำนวณหาประสิทธิภาพของบ่อดกตะกอนได้เท่ากับ

$$E = \frac{(23168 - 9362)}{23168} \times 100$$

ได้ประสิทธิภาพของบ่อดกตะกอนเท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์ จากตารางที่ 4.11 สามารถหาประสิทธิภาพของบ่อดกตะกอนที่ได้จากการทดลอง และทำให้รู้ว่าบ่อดกตะกอนนี้สามารถกำจัดของแข็งที่มีขนาดใหญ่กว่า 5 μm แต่จะมีประสิทธิภาพต่ำเมื่อของแข็งมีขนาดเล็กกว่า 5 μm

จากตารางที่ 4.10 และ 4.11 เป็นการแสดงประสิทธิภาพของบ่อดกตะกอนจากการคำนวณและจากการทดลองจริง ทำให้รู้ว่าประสิทธิภาพที่ได้จากการทดลองคือ 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าประสิทธิภาพที่ได้จากการคำนวณคือ 87 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากน้ำเสียที่ออกจากหอฟ่นน้ำมีลักษณะเหมือนคราบน้ำมันลอยอยู่ที่ผิวหน้าของน้ำเสียทำให้ไม่เกิดการตกตะกอนและ อนุภาคขนาดเล็กมีประจุเป็นลบจึงทำให้เกิดการผลักกันของแต่ละอนุภาคทำให้ไม่เกิดการตกตะกอน

4.3.3 จาร้ทดสอบ

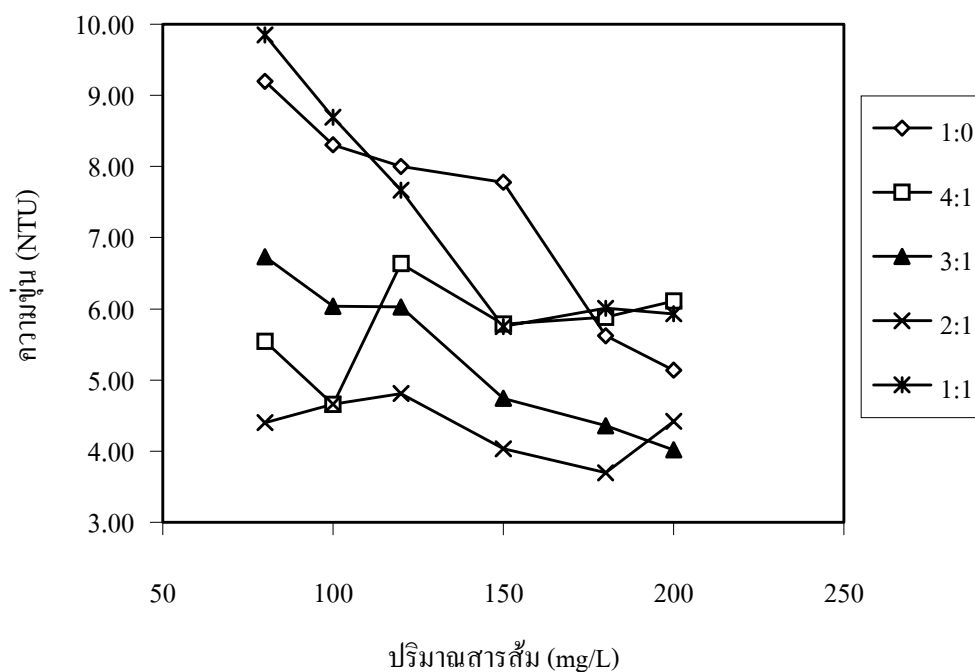
การทดลองจาร์ทดสอบเพื่อบำบัดน้ำเสียพบว่า ค่าเหมาะสมของ pH ความขุ่นของน้ำที่ผ่านบ่อดักตะกอน ปริมาณสารส้มที่ต้องการสำหรับการก่ตะกอน และปริมาณปูนขาวที่ใช้สำหรับการปรับ pH ให้เหมาะสมสำหรับการก่ตะกอนแสดงดังตารางที่ 4.12 (ข้อมูลดิบดังตารางที่ 6ข)

ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองจาร์ทดสอบ

รายการ	อัตราส่วนผสมของขยะ				
	1:0	4:1	3:1	2:1	1:1
1. pH (น้ำเสีย)	3.02	3.77	4.93	5.60	5.87
2. pH ที่เหมาะสม	8.00	6.50	8.00	6.00	8.00
3. ความขุ่นเริ่มต้น (NTU)	40.30	36.85	31.95	29.33	29.28
4. ปริมาณสารส้มที่เหมาะสม (mg/L)	200	100	200	180	150
5. ปริมาณปูนขาว (mg/L)	218	162	155	193	171

จากตารางที่ 4.12 พบว่า pH เริ่มต้นมีค่าต่ำกว่า 7 แสดงให้เห็นว่าน้ำเสียมีความเป็นกรดต้องได้รับการบำบัดก่อนที่จะระบายทิ้งหรือหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ อัตราส่วนผสมขยะที่พบว่ามีค่าความเป็นกรดสูงสุด คือ อัตราส่วนผสมขยะ 1:0 สอดคล้องกับค่าแอสซิไดตีในตารางที่ 4.6 ค่า pH ที่เหมาะสมในการทดลองพบว่า อยู่ในช่วง 6.00-8.00 ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีคือ การใช้สารส้มเป็นสารก่ตะกอนช่วง pH ที่เกิดการก่ตะกอนได้ดีคือช่วง pH เท่ากับ 6.00-8.00 ค่าความขุ่นของน้ำเสียพบว่า อัตราส่วนผสมขยะ 1:0 มีค่าความขุ่นสูงสุดสอดคล้องกับค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในตารางที่ 4.7 และมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารส้มที่ใช้ในการก่ตะกอน เมื่อความขุ่นมีค่ามากปริมาณสารส้มที่ใช้ก็จะมากตามด้วย การควบคุมสภาพความเป็นกรดของน้ำทำได้โดยการเติมปูนขาว เพื่อปรับ pH ของน้ำในระบบให้เป็นกลางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดมลสารทางอากาศ และการเติมปูนขาวยังช่วยปรับ pH ให้เหมาะสมสำหรับกำจัดของแข็งออกจากน้ำโดยการก่ตะกอนด้วยสารส้ม ($Al_2(SO_4)_3$) เมื่อนำค่าความขุ่นกับปริมาณสารส้มมาหาความสัมพันธ์จะได้ดังภาพที่ 4.12 จากภาพที่ 4.12 จะเห็นความสัมพันธ์ของความขุ่นกับปริมาณสารส้มที่ใช้ในการก่ตะกอนเมื่อความขุ่นมีค่าสูงปริมาณสารส้มที่ใช้ก็จะสูงตาม ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความขุ่น คือ ปริมาณของแข็งแขวนลอย เช่น ที่อัตราส่วนผสมขยะ 1:0 มีปริมาณขยะแห้งสูงเมื่อเผาไหม้ทำให้เกิดของแข็งแขวนลอยในน้ำสูง ความขุ่นก็สูงเป็นผลให้ต้องใช้สารส้มมากด้วย จากปริมาณปูนขาวและสารส้มที่ต้องเติมเพื่อบำบัดน้ำเสียที่แสดงนั้นสำหรับขยะ 200 kg แต่เนื่องจากการเผาขยะแต่ละครั้งได้ทำการ

เผาต่อเนื้อแต่ละครั้งมากกว่า 1000 kg ดังนั้นจึงเกิดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียดังนี้คือ



ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ของความขุ่นกับปริมาณสารส้มที่ต้องใช้ในการก่ตะกอนที่อัตราส่วนต่างๆ

ปูนขาว (สำหรับการเผาขยะ 1000 kg หรือ 1 ton)

- ต้องเติมปูนขาว 3 kg / ขยะ 1 ton
- ปูนขาวราคา 5 บาท / kg
- ต้องเสียค่าใช้จ่ายเท่ากับ 15 บาท / ton

สารส้ม (สำหรับการเผาขยะ 1000 kg หรือ 1 ton)

- ต้องเติมสารส้ม 3 kg / 1 ton
- สารส้มราคา 8 บาท / kg
- ต้องเสียค่าใช้จ่ายเท่ากับ 24 บาท / ton

รวมค่าใช้จ่ายสำหรับค่าสารเคมีที่ต้องเติมในการบำบัดน้ำเสียเท่ากับ 39 บาท / ขยะ 1 ton

4.4 ตัวอย่างการคำนวณ

4.4.1 ตัวอย่างการคำนวณค่ามลสารทางอากาศ

เช่น แก๊ส CO ที่อัตราส่วนผสมขยะ 1:0 ค่าเฉลี่ยของแก๊สเท่ากับ 1736 ppm, ค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 3272 ppm , ค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 607 ppm และค่าเฉลี่ยเวลาเท่ากับ 5.2 นาที/รอบ

หาค่าตัวแปรในสมการ

- C* = 1736 ppm
- a = (3272-607)/2 = 1332 ppm
- ω = $2\pi/5.2$ = 1.209 Hz
- t = สมมุติให้เป็นเวลาที่ 10 นาที

แทนค่าตัวแปรในสมการที่ 4.1

- C = 1736 ppm + 1332 ppm x sin(1.209 Hz x 10 min)
- C = 1123 ppm

เพราะฉะนั้นค่าความเข้มข้นของแก๊ส CO ที่เวลา 10 นาทีเท่ากับ 1123 ppm หลังจากนั้นทำการแทนค่าตัวแปรต่างๆดังตัวอย่างโดยทำการแทนค่าเวลาที่เวลาต่างๆกัน จะได้ค่าความเข้มข้นของแก๊ส CO ที่เวลาต่างๆ ที่อัตราส่วนผสมขยะ 1:0 ในอัตราส่วนผสมขยะอื่นๆและแก๊สชนิดอื่นก็ทำการแทนค่าตัวแปรต่างๆดังตัวอย่างก็จะได้ค่าความเข้มข้นของแก๊ส CO₂, CO และ NO_x ที่เวลาต่างๆ หลังจากได้ความเข้มข้นของแก๊สต่างๆแล้วเพื่อ้ง่ายต่อการหาความสัมพันธ์ของแก๊สแต่ละชนิด ได้นำข้อมูลมาแสดงด้วยกราฟดังภาพที่ 4.4, 4.5, 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ

4.4.2 ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณปูนขาวที่เติมในน้ำเสีย

เช่น ที่อัตราส่วนผสมขยะ 1:0 (ขยะ 200 kg) ค่าแะซิดิตีเท่ากับ 294.81 mg/L as CaCO₃

- มวลโมเลกุลของ CaCO₃ = 100 g/mole = 50 g/meq
- มวลโมเลกุลของ Ca(OH)₂ = 74 g/mole = 37 g/meq

หาปริมาณปูนขาว

$$\begin{aligned} \text{Ca(OH)}_2 &= (294.81 \text{ mg/L as CaCO}_3)(1/50000 \text{ mg/meq as CaCO}_3)(37000 \text{ mg/meq as Ca(OH)}_2) \\ &= 218.16 \text{ mg/L as Ca(OH)}_2 \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นปริมาณปูนขาวที่ต้องเติมในน้ำเสียหลังจากเผาขยะ 200 kg ที่อัตราส่วนผสมขยะ 1:0 เท่ากับ 218 mg/L และในอัตราส่วนผสมขยะอื่นๆก็ทำการแทนค่าตัวแปรต่างๆดังตัวอย่างก็จะได้ปริมาณปูนขาวที่ต้องเติมในน้ำเสียดังตารางที่ 4.9

4.4.3 ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณตะกอนที่ต้องรีดน้ำและฝังกลบ

จากผลการทดลองของแข็งแขวนลอยในน้ำเข้าตารางที่ 4.7 นำค่าของแข็งแขวนลอยมาคำนวณหาปริมาณที่เกิดขึ้นหลังจากทำการเผา 200 kg หรือ 120 นาที ได้ดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยปริมาณตะกอนที่ต้องรีดน้ำและปริมาณเถ้าจากการเผา

รายการ	อัตราส่วนผสมของขยะ				
	1:0	4:1	3:1	2:1	1:1
ของแข็งแขวนลอย (kg)	0.65	0.44	0.36	0.27	0.21
ขี้เถ้า (kg)	15.00	19.00	23.00	23.00	26.00
เถ้าที่ต้องฝังกลบ (kg)	15.65	19.44	23.36	23.27	26.21

จากตารางที่ 4.13 พบว่าปริมาณเถ้าที่เกิดขึ้นหลังจากการเผาขยะ อัตราส่วนที่เกิดเถ้ามากที่สุด คือ อัตราส่วน 1:1 ขี้เถ้าจากการเผามีน้ำหนักสูงสุดเนื่องจากในอัตราส่วนผสมขยะนี้มีปริมาณของขยะเปียกสูงการเผาไหม้เกิดได้แต่ไม่ดี ขยะมีความชื้นสูง อุณหภูมิการเผาไหม้ก็ต่ำ ทำให้เกิดขี้เถ้ามากเมื่อนำน้ำหนักขี้เถ้ารวมกับน้ำหนักของแข็งแขวนลอยในน้ำแล้วคือปริมาณเถ้าทั้งหมดที่เกิดและต้องนำไปกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดขี้เถ้า คือ ปริมาณขยะเปียก

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการศึกษาการควบคุมมลภาวะทางอากาศและน้ำจากเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็กโดยใช้ระบบหอพ่นน้ำและบ่อดักตะกอน ขยะที่นำมาทดลองเป็นขยะภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เพื่อให้ขยะมีส่วนผสมแตกต่างกันจึงได้ทำการคัดแยกขยะออกเป็นขยะแห้ง และขยะเปียก แล้วผสมขยะในอัตราส่วน 1:0, 4:1, 3:1, 2:1 และ 1:1 และทำการเผาด้วยเตาเผาขยะเพื่อศึกษามลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นหลังจากผ่านหอพ่นน้ำ และศึกษามลสารทางน้ำที่ออกจากหอพ่นน้ำ จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ขยะที่นำมาศึกษามีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 35-68 ขยะแห้งมีความชื้นโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 34.70 และขยะเปียกมีความชื้นโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 68.20 น้ำหนักจำเพาะของขยะก่อนทำการคัดแยกเท่ากับ 214.86 kg/m^3 จากผลของความชื้นขึ้นไปตามข้อกำหนดคือ ขยะแห้งมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 40 ขยะเปียกมีความชื้นมากกว่าร้อยละ 40 และเมื่อทำการเปรียบเทียบน้ำหนักจำเพาะของขยะภายในมหาวิทยาลัยกับขยะทั่วไปที่ (Tchobanoglous, 1993) ได้ทำการรวบรวมไว้คือ $178-451 \text{ kg/m}^3$ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

2. มลพิษทางอากาศ ปริมาณแก๊ส CO, NO_x และ CO₂ มีค่าอยู่ระหว่าง 803-1736 ppm 15-20 ppm และ 12000-18000 ppm ตามลำดับ คุณภาพอากาศที่ออกจากหอพ่นน้ำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่ค่า CO ก่อนข้างสูง เนื่องจากปริมาณของขยะแห้ง โดยมีปริมาณสูงสุดที่อัตราส่วนผสมขยะ 1:0 เท่ากับ 1736, 20 และ 18000 ppm ตามลำดับ ดังนั้นอัตราส่วนผสมของขยะจึงมีผลต่อการเกิดมลพิษทางอากาศ

3. อัตราการไหลของไอเสียที่เข้าสู่หอพ่นน้ำ และความเร็วในการไหลของแก๊สไอเสียมีค่าระหว่าง $4.13-6.53 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $0.43-0.68 \text{ m/s}$ ตามลำดับ อัตราการไหลของแก๊สไอเสียที่เข้าสู่หอพ่นน้ำ และความเร็วในการไหลของแก๊สไอเสียมีค่าสูงสุดที่อัตราส่วนผสมขยะ 1:0 เท่ากับ $6.53 \text{ m}^3/\text{min}$ และ 0.68 m/s เนื่องจากที่อัตราส่วน 1:0 มีปริมาณของขยะแห้งสูงสุดทำให้เกิดการลุกไหม้ได้ดีที่สุด อุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด และเตาเผาที่ใช้เป็นแบบเผาไหม้ด้วยตัวเอง โดยใช้ขยะแห้งเผาไหม้ขยะเปียกการไหลของอากาศและความเร็วในการไหลที่อาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิภายใน

ห้องเผาไหม้กับอุณหภูมิภายนอกโดยมีช่องเปิดที่กั้นเตา ดังนั้นเมื่อขยะเผาไหม้ได้ดีก็จะทำให้เกิดแก๊สไอเสียในปริมาณมากตามด้วย

4. ค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำเสีย น้ำที่ออกจากระบบหอพ่นน้ำมีค่า pH เป็นกรด มีค่าระหว่าง 3.02-5.87 อัตราส่วนผสมขยะ 1:0 มีค่า pH ต่ำสุดเท่ากับ 3.02 และในอัตราส่วน 1:0 ยังมีค่าของ แอซิดิซิตี คลอไรด์ ซัลเฟต และไนเตรตสูงที่สุดด้วย โดยมีค่าเท่ากับ 294.81 mg/L as CaCO₃, 162 mg/L, 0.0202 mg/L, 1.59 mg/L ตามลำดับ

5. ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำเสีย มีค่าระหว่าง 874-1660 mg/L โดยประกอบด้วย ของแข็งแขวนลอยมีค่าระหว่าง 63-192 mg/L และส่วนที่ละลายมีค่าระหว่าง 810-1472 mg/L ขนาดของอนุภาคของแข็งส่วนใหญ่มีขนาดอนุภาคเท่ากับ 20 μm น้ำที่ออกจากหอพ่นน้ำเข้าสู่บ่อดักตะกอนมีจำนวนอนุภาคระหว่าง 3877-14724 อนุภาค/ml และในน้ำที่ออกจากบ่อดักตะกอนมีขนาดของอนุภาคของแข็งส่วนใหญ่เท่ากับ 1 μm จำนวนอนุภาคอยู่ระหว่าง 2455-7271 อนุภาค/ml และการควบคุมมลสารทางน้ำได้ใช้บ่อดักตะกอนช่วยกำจัดอนุภาคออกจากน้ำเสีย โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนผสมขยะ 1:0 มีปริมาณของแข็งและจำนวนอนุภาคมากที่สุด

6. ปริมาณสารส้มที่ต้องเติมเพื่อก่อตะกอนในน้ำเสียมีปริมาณระหว่าง 100-200 mg/L และปริมาณปูนขาวที่ต้องเติมเพื่อปรับ pH ในน้ำมีค่าระหว่าง 218-155 mg/L-ขยะ 200 kg จากผลการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนผสมขยะ 1:0 ต้องเติมสารส้มและปูนขาวปริมาณมากที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยที่ได้ศึกษาไปแล้วนั้น มีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ศึกษาระบบบำบัดอากาศที่ใช้ได้ดีกับเตาเผาขยะชนิดเผาไหม้ด้วยตัวเอง เนื่องจากข้อจำกัดของแรงดันของแก๊สไอเสียค่อนข้างต่ำ ซึ่งเป็นปัญหาต่อการไหลของแก๊สไอเสียผ่านระบบบำบัด

2. ศึกษาประสิทธิภาพในการดักจับมลพิษทางอากาศด้วยน้ำที่เติมปูนขาวให้มีค่า pH สูงกว่า 7 เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับมลสารทางอากาศ

รายการอ้างอิง

- กองวิชาการ. (2542). **เอกสารของสำนักรักษาความสะอาด**. ฝ่ายวิจัยกองวิชาการและแผนงาน สำนักรักษาความสะอาด กรุงเทพมหานคร.
- ซิกาโอะ คานาโอกะ และ วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล. (2527). **มลภาวะอากาศ**. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี. คณะวิศวกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.
- พัฒนา มุลพฤษ์. (2539). **อนามัยสิ่งแวดล้อม**. ภาควิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม. คณะสาธารณสุขศาสตร์. มหาวิทยาลัยมหิดล. กรุงเทพมหานคร.
- บ. แมคโครคอนซัลแตนท์ จำกัด (2540, ธันวาคม). **การศึกษาความเหมาะสมและออกแบบเบื้องต้นระบบการจัดการขยะมูลฝอย เทศบาลนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา**. ร่างรายงานการศึกษาความเหมาะสมฉบับสมบูรณ์. 3-20
- ดร. สมรัฐ เกิดสุวรรณ. (2538, เมษายน). **เรื่องนำรู้เกี่ยวกับขยะ 2 : กรรมวิธีกำจัดขยะโดยการเผา**. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ปีที่ 5 ฉบับที่ 2, หน้า 16-21
- อรรถกร คำจักร และ อำนาจ ตังคนาวนิษฐ์ (2538, มิถุนายน). **การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเผาขยะชุมชนในเตาเผาแบบหมุน**. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 5(3): 37-43
- ผศ. ดร. อุตร จารุรัตน์ (1996, November-December). **การเลือกเตาเผาขนาดเล็กสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม**. Thai Environmental Engineering Journal. 10 (5): 20-21
- Abdel-Magid, I. M., Abdel-Wahid, H. M., and Rowe, D. R. (1996). **Modeling Methods for Environmental Engineering**. CRC Press. New York.
- APHA, AWWA and WEF. (1994). **Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater**. 19th ed. EPS Group. U.S.A.
- Calvert, S. (1977). **Air Pollution**. Vol. IV, A. C. Stern, Ed. Academic Press. New York.
- Calvert, S. and Englund, H. M. (1984). **Handbook of Air Pollution Technology**. Wiley. New York.
- Crawford, M. (1976). **Air Pollution Control Theory**. McGraw-Hill. New York.
- Cooper, D. C. and Alley, F. C. (1994). **Air Pollution Control a Design Approach**. 2nd ed. Waveland Press. Prospect Heights. Illinois.

- Davis, M. L., and Cornwell, D. A. (1991). **Introduction to Environmental Engineering**. 2nd ed. McGraw-Hill. New York.
- Fayed, M. E., and Otten, L. (1983). **Handbook of Powder Science and Technology**. Vannostrand Reinhold . New York.
- Heinsohn, R. J., and Robert, K. L. (1999). **Sources and Control of Air Pollution**. Prentice-Hall. Upper Saddle River. New Jersey.
- Henry, J. G., and Heinke, G. W. (1996). **Environmental Science and Engineering**. 2nd ed. Drentice-Hall Inc. Upper Saddle River. New Jersey.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., and Harriott, P. (1993). **Unit Operations of Chemical Engineering**. 5th ed. McGraw-Hill. New York.
- Mycock, J. C., McKenna, J. D., and Theodore, L. (1995). **Handbook of Air Pollution Control Engineering and Technology**. CRC Press, Inc. Lewis Publishers. New York.
- Mody, V., and Jakhete, R. (1988). **Dust Control Handbook**. Noyes Data Corporation. Park Ridge. New Jersey.
- Peavy, H. S., Rowe, D. R., and Tchobanoglous, G. (1985). **Environmental Engineering**. McGraw-Hill. New York.
- Stairmand, C. J. (1964). **Gas Purification Processes**. Newnet. London.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., and Vigil, S. (1993). **Integrated Solid Waste Management**. McGraw-Hill. Singapore.
- Theodore, L., and Buonicore, A. J. (1976). **Industrial Air Pollution Control Equipment for Particulates**. CRC Press. Ohio. Cleveland.
- Vesilind, P. A., Peirce, J. J., and Weiner, R. F. (1993). **Environmental Engineering**. Butterworth-Heinemann. Newton. Washington.

ภาคผนวก ก

ผลการศึกษาคู่ประกอบของขยะและมลสารทางอากาศ

ภาคผนวก ก.
ผลการศึกษารองศ์ประกอบของขยะ

ตารางที่ 1ก แสดงองค์ประกอบทางกายภาพของขยะในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ครั้งที่	เศษอาหาร ขยะเปียก	กระดาษ	พลาสติก	โฟม	ใบไม้/เศษ ไม้	เศษผ้า	กระป๋อง โลหะ	เศษแก้ว	อื่นๆ	น้ำหนัก จำเพาะ
1	65.41	9.16	15.34	2.20	0.00	0.92	1.42	2.63	2.91	213.43
2	64.92	9.88	15.31	2.13	0.00	0.78	1.36	3.49	2.13	207.24
3	68.47	7.80	15.93	2.37	0.00	0.68	1.53	1.69	1.53	201.14
4	62.21	13.36	16.79	1.91	0.00	0.00	1.91	2.67	1.15	278.96
5	59.35	11.87	19.06	2.88	0.00	1.08	2.16	2.52	1.08	210.39
6	50.41	19.01	19.83	3.72	0.00	0.00	3.72	2.89	0.41	207.24
7	45.87	16.51	21.56	3.67	1.38	0.00	3.67	4.13	3.21	249.90
8	44.71	21.18	25.88	2.94	0.00	0.00	2.94	2.35	0.00	227.05
9	62.65	15.66	15.66	1.20	0.00	0.00	1.20	1.81	1.81	202.77
10	61.18	16.94	15.29	1.65	0.00	1.65	2.12	1.18	0.00	257.52
เฉลี่ย	57.17	15.58	17.94	2.40	0.19	0.49	2.41	2.49	1.35	214.86

ตารางที่ 2ก ความชื้นของแต่ละองค์ประกอบของขยะในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ครั้งที่	เศษอาหาร ขยะเปียก	กระดาษ	พลาสติก	โฟม	ใบไม้/ เศษไม้	เศษผ้า	กระป๋อง โลหะ	เศษแก้ว	อื่นๆ
1	79.52	7.08	3.61	3.60	10.25	11.68	4.12	2.14	6.87
2	71.25	5.68	3.19	2.89	8.72	11.07	3.54	2.08	6.23
3	80.21	7.89	3.92	3.54	10.11	11.59	4.10	2.22	6.69
4	77.65	6.21	3.21	2.75	8.85	10.65	3.68	1.80	6.35
เฉลี่ย	77.16	6.72	3.48	3.20	9.48	11.25	3.86	2.06	6.54

ตารางที่ 3ก ผลของแก๊ส CO₂, CO และ NO_x ที่อัตราส่วนผสมขะ 1:0 น้ำหนักขะ 200Kg ทำการเผา 4 ครั้ง (ความเข้มข้นมีหน่วยเป็น ppm)

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			ครั้งที่ 4		
	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x
2	1.5	1021	16	2.3	2043	13	0.5	219	2	2.5	613	8
4	0.8	283	16	2.1	1953	17	0.6	211	3	2.2	1089	6
6	1.5	139	26	1.3	510	21	2.5	3000	0	2.2	1007	5
8	2	631	20	2	510	43	2.8	1553	22	2.1	1012	3
10	2.1	3380	18	2.9	4000	30	3.3	1431	26	2	1112	1
12	2.2	4000	59	1.5	1251	29	3.2	1317	50	1.6	1449	0
14	2.1	1903	40	1.5	281	30	2.6	1182	43	1.4	1756	0
16	2	3448	55	1.2	260	24	3.4	1548	59	1.3	2059	0
18	1.9	4000	53	2.8	626	25	3	1147	57	1.3	2353	0
20	1.9	4000	48	2.6	1890	20	3.3	702	55	1.5	2986	0
22	1.9	3313	19	2.6	494	26	3.3	592	61	2.3	4000	0
24	1.1	487	25	2.5	315	34	2.9	452	64	2.2	587	6
26	1.7	4000	20	2.1	213	29	3.2	524	50	2.2	587	6
28	0.8	777	13	2.9	1169	26	3.3	2720	41	2.2	559	6
30	1	1046	11	2.4	793	24	4	3991	44	1.5	510	26
32	1	1801	11	3.3	4000	36	3	3526	48	2	510	20
34	1.1	2499	12	3	4000	34	2.3	3534	49	2.1	4000	18
36	1.2	1973	8	2	1599	19	1.5	420	20	2.2	1251	59
38	0.7	234	14	1.3	746	17	3.7	2269	15	2.1	281	40
40	1.2	2267	10	2.8	3944	26	1.9	2057	47	2	260	55
42	1.3	3219	6	0.5	3571	21	3.1	2119	44	1.9	626	53
44	1	818	16	1.6	1260	18	2.9	4000	38	1.9	1890	48
46	1.3	1639	15	1.8	1249	19	2.7	2606	21	1.9	494	19
48	1.1	244	21	1.9	3532	15	2.4	869	35	1.1	315	25
50	1.5	1380	20	1.9	3612	12	1.9	492	32	1.7	213	20
52	1.2	528	22	1.9	416	23	1.2	1915	56	0.8	1169	13
54	1.6	1419	18	1.9	3029	16	1.3	4000	43	1	793	11
56	1.6	1371	17	2	3603	11	1.3	4000	56	1	4000	11

ตารางที่ 3ก (ต่อ)

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			ครั้งที่ 4		
	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x
58	0.5	1676	5	1.9	1997	13	1.3	1810	10	1.1	4000	12
60	1.2	460	19	1.1	455	15	1	1377	9	1.2	1599	8
62	1.2	309	19	1.7	774	19	1	1540	0	0.7	746	43
64	1.5	1745	16	1.7	3314	10	0.9	1524	0	2	631	30
66	1.5	1011	18	1.1	312	14	0.9	1774	0	2.9	3380	29
68	1.6	677	18	0.8	172	13	1	3424	0	1.5	4000	30
70	1	228	19	1.3	1334	15	1.1	3833	0	1.5	1903	24
72	1.3	330	22	1.5	3467	8	1.2	1553	0	1.2	3448	25
74	1.6	1152	21	1.5	1612	11	1.1	3111	0	2.8	4000	20
76	1.6	1971	14	1.5	199	21	1.4	1646	5	2.6	4000	26
78	1.5	683	19	1.6	387	18	1.6	925	14	2.6	3313	34
80	1.6	2687	13	1.7	1105	15	1.9	652	18	2.5	487	29
82	1.6	2956	11	1.8	1889	15	2	421	19	2.1	4000	26
84	1.6	2702	5	1.8	1540	13	1.8	365	14	2.9	777	24
86	0.7	481	16	1.8	1285	15	1.3	860	3	2.4	1046	36
88	1.4	2164	11	1.7	1013	16	1.7	2705	0	3.3	1801	34
90	1.4	1785	11	1.4	878	16	2.1	4000	0	3	2499	19
92	1.5	2313	8	0.6	136	12	3	4000	0	2	1973	17
94	1.5	4000	24	1.4	1739	12	2.4	801	16	1.3	234	26
96	1.5	3609	8	1.4	1784	12	2.3	2822	0	2.8	2267	21
98	1.5	2941	8	1.5	1677	11	2.3	2090	2	0.5	3219	18
100	1.5	2416	12	1.5	1047	13	2.1	1543	6	1.6	818	19
102	1.6	2732	8	0.9	246	15	1.9	975	8	1.8	1639	15
104	1.6	2363	9	0.8	164	14	1.8	642	10	1.9	244	12
106	1.7	2258	10							1.9	1380	10

ตารางที่ 4ก ผลของแก๊ส CO₂, CO และ NO_x ที่อัตราส่วนผสมขะ 4:1 น้ำหนักขะ 200Kg ทำการเผา 4 ครั้ง (ความเข้มข้นมีหน่วยเป็น ppm)

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			ครั้งที่ 4		
	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x
2	1.9	563	57	1.6	475	27	2.5	1680	18	1	153	18
4	1.3	136	39	1.6	415	33	2	1333	28	1.3	178	25
6	1.1	547	25	2.1	1919	35	1.5	777	31	1.2	236	20
8	1.7	381	48	1.9	1476	30	1.5	232	39	0.7	913	9
10	1.4	235	67	1.2	414	21	1.9	263	28	0.8	464	12
12	0.9	952	12	0.5	1171	4	1.5	163	32	0.5	585	5
14	1	1025	13	1.5	402	25	0.5	684	3	1.1	633	9
16	0.6	839	10	1.3	179	30	0.6	307	9	0.2	268	2
18	0.7	772	12	2.1	403	38	0.3	178	3	0.4	215	6
20	1.2	266	28	1.4	727	41	0.3	147	2	1.3	2003	3
22	1	245	23	1.9	194	30	1.7	2343	8	1.3	417	26
24	2	412	40	1.6	664	16	1.9	2833	4	1.7	158	17
26	2.8	195	33	1.3	364	38	1.9	1769	8	1.8	345	13
28	2.2	327	34	1.9	365	21	2	4000	20	1.8	1889	10
30	2	496	32	2	3135	13	2	4000	19	1.7	1177	10
32	3.1	1799	33	1.8	2889	7	1.1	490	18	1.7	1590	20
34	2.9	3646	16	2.2	446	24	1.4	460	19	1.8	3530	13
36	2.2	1160	23	2.2	1946	11	1.4	551	11	1.8	3857	14
38	1.7	787	20	1.9	502	33	1	164	14	1.7	2368	9
40	2.6	229	32	2.3	2909	12	1.7	1786	12	1.6	1921	7
42	2.2	764	29	1.5	916	10	1.8	3492	6	1.6	925	21
44	1	197	32	1.4	212	29	1.6	2416	6	1.9	1943	7
46	0.2	104	5	1.7	647	15	0.3	263	5	0.9	748	8
48	0.7	150	19	1.7	287	16	1.5	1148	8	1.2	1676	10
50	0.6	141	14	1.4	145	18	1	269	18	0.8	175	25
52	0.5	140	10	1.6	101	23	0.8	150	16	1.1	425	14
54	2.1	1278	21	1.7	456	18	0.7	105	14	1	356	13

ตารางที่ 4ก (ต่อ)

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			ครั้งที่ 4		
	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x
56	1.7	487	24	1.7	1142	13	0.6	661	13	1.2	1588	11
58	1	427	20	1.3	115	33	0.9	95	15	1.2	1954	14
60	1.1	161	34	1.5	78	20	1	70	16	1.2	2796	16
62	1.7	149	28	1.4	103	18	0.8	58	16	1.2	3333	16
64	1.1	517	21	1.4	170	15	0.7	532	17	1.2	1602	11
66	1	201	27	1.1	145	38	1.3	1264	9	1.2	2993	11
68	2	89	30	1.7	132	21	1.2	1384	9	1.3	2078	14
70	1.3	60	24	1.7	850	13	1.2	343	17	1.2	2075	12
72	1.3	256	20	1.1	308	40	0.7	93	18	1.2	2096	10
74	1.1	155	22	1.3	100	28	1.1	85	25	1.4	1568	12
76	1.6	143	31	1.3	76	24	1.2	145	19	1.3	1009	14
78	1.7	540	24	1	134	20	1.4	743	12	1	773	11
80	2	309	29	1	118	18	1.5	1094	9	1.2	1842	9
82	1.7	439	31	1.2	121	18	1.3	219	17	1.2	1465	13
84	1.5	257	24	0.9	61	18	1.5	447	12	1.1	1883	10
86	2.1	89	36	0.7	88	14	0.3	570	2	1.2	2322	12
88	2.4	1710	27	0.4	548	4	1.4	760	11	1.2	2319	11
90	2.1	858	22	1.4	92	41	1	374	28	1.2	2118	11
92	1.7	621	22	1	103	29	1.3	397	14	1.3	2136	14
94	2.1	373	36	0.7	86	19	1.3	1227	10	1.3	2789	12
96	2.1	375	29	0.5	146	23	1.3	1060	10	0.6	2215	5
98	1.7	314	28	0.8	159	20	1.3	2944	4	1.1	2067	13
100	1.5	182	31	0.8	382	12	1.2	2809	10	1.2	2395	12
102	2.4	2844	17	0.8	864	11	1.3	2268	9	1.2	2634	11
104	2	560	26	0.6	91	14	1.3	3123	8	1.2	2419	13
106	2.1	196	33	0.6	70	13	1.1	1142	13	1.2	2542	11
108	2.4	2019	22	0.6	74	13	1.3	1949	11	1.2	2363	10
110	1.9	647	24	0.8	101	11	1.2	912	11	1.4	2785	9
112	2.4	1117	27	0.5	64	12	1.3	1809	10	1.5	3002	6

ตารางที่ 5ก ผลของแก๊ส CO₂, CO และ NO_x ที่อัตราส่วนผสมขะ 3:1 น้ำหนักขะ 200Kg ทำการเผา 4 ครั้ง (ความเข้มข้นมีหน่วยเป็น ppm)

เวลา (นาท)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			ครั้งที่ 4		
	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x
2	2	1012	29	1.9	495	29	1.7	459	18	2.7	560	61
4	1.3	284	29	1.9	355	32	1.9	2879	5	2.7	339	48
6	1.6	161	34	2.2	776	18	1.1	155	27	2.1	1037	36
8	0.3	297	3	1.9	185	30	0.3	177	5	3.1	1037	36
10	0.2	142	2	1.5	129	28	0.3	396	4	3	4000	41
12	0.2	126	2	0.5	775	3	0.3	453	4	2.9	4000	50
14	0.2	237	3	0.3	840	4	0.2	328	4	2.8	3513	24
16	0.2	255	3	1.3	861	20	1.2	1108	13	2	1636	29
18	0.2	224	3	1.8	4000	18	1.5	2131	10	2.7	373	35
20	0.3	329	4	2	3319	14	0.8	2252	6	2.8	1084	22
22	0.8	233	10	1.6	673	23	0.3	1208	5	2.9	2890	22
24	1.2	175	16	0.6	265	20	1.2	2188	8	2.9	2737	25
26	0.2	202	3	1.7	517	57	1.2	466	15	2.9	4000	35
28	0.2	285	2	2.1	720	20	1.2	207	15	2.8	1774	30
30	0.5	333	6	2.1	2718	21	1.1	278	13	1.9	725	30
32	0.7	292	9	2.1	3551	17	1.3	1994	7	2.3	1070	25
34	0.8	279	13	2.1	3092	13	0.8	1231	12	2.4	1916	23
36	0.2	174	3	1.9	2105	13	1.5	3488	16	2.5	3354	21
38	0	143	3	1.6	1052	19	1.6	3481	13	2.6	2991	20
40	0	278	5	1.2	364	33	1.6	3435	10	1.3	1134	35
42	0	102	3	1.9	1861	21	1.3	923	16	2.6	3199	32
44	0	178	3	1.5	2249	23	1.1	952	14	2.6	3054	27
46	0	189	3	1.2	172	19	1.1	1947	11	2.6	4000	44
48	0	207	3	1.2	374	20	1.2	2304	11	2.7	2403	40
50	0	211	3	1.1	140	19	1.1	1210	8	2.7	2365	38
52	0	209	3	1	170	15	1	912	8	2.8	4000	30
54	0.5	1158	3	0.3	1156	4	1.1	1183	16	2.2	1980	18
56	0	336	3	0.3	1078	4	1.2	1654	14	2.4	1137	29

ตารางที่ 5ก (ต่อ)

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			ครั้งที่ 4		
	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x
58	0	183	3	0.5	902	16	1.2	1765	11	2.5	2205	26
60	0	226	3	1.1	120	30	1.1	685	13	2.6	2705	24
62	0	236	3	1.4	655	15	1.1	284	18	2.6	3141	18
64	0	251	4	1.5	1466	10	1.3	1262	14	2.1	970	25
66	0	216	4	1.3	797	13	1.3	1373	11	2	272	45
68	0	209	4	1.4	955	10	0.8	1130	18	2.1	221	47
70	0.6	257	7	1	167	19	1	191	18	2.5	747	37
72	0.5	286	6	0.7	134	18	1.1	167	18	2.6	2264	27
74	0.6	287	7	1	65	25	1.2	180	19	2.7	1660	33
76	1	1717	6	1.3	841	13	1.5	338	18	2.6	2272	17
78	1.4	3111	8	1.3	1025	12	1.3	172	20	1.5	980	26
80	1.5	2883	10	1.4	1039	11	1.7	658	17	2.2	352	39
82	1.5	2310	8	0.8	452	23	1.8	579	19	2.2	492	35
84	1.5	2421	5	1.3	333	21	1	352	31	2.1	305	41
86	1	162	41	1.5	1301	16	1.3	80	33	2.5	547	35
88	1.3	117	27	1.4	807	16	1.2	76	30	2.6	2290	29
90	1.3	150	27	1.4	428	17	1.5	175	25	2.3	1860	26
92	1.2	131	29	1.5	1168	15	1.6	202	25	2.6	3563	21
94	1.2	68	25	1.6	1292	15	1.7	500	19	2.2	1582	38
96	1.3	69	24	1.4	242	20	1.9	1411	14	2.4	537	34
98	1.5	347	28	1.5	445	18	2	2142	14	2.6	2193	31
100	0.2	656	4	1.5	581	18	1.9	1363	16	2.7	3158	27
102	0	356	4	1.5	334	19	2	2588	16	2.7	2974	23
104	0	256	4	1.6	769	16	2	847	29	2.8	3856	21
106	0	198	4	1.7	1642	17	1.9	1395	26	2.8	4000	36
108	0	152	4	1	2562	15	2	2970	17	2.8	3688	21
110	0	138	4	1.2	337	28	2	2366	16	2.8	2433	21
112	0	170	4	1.6	1150	19	1.8	1664	17	2.6	997	38
114	0.3	357	6	1.6	2073	18	1.9	1389	20	2.8	1521	33

ตารางที่ 6ก ผลของแก๊ส CO₂, CO และ NO_x ที่อัตราส่วนผสมขะ 2:1 น้ำหนักขะ 200Kg ทำการเผา 4 ครั้ง (ความเข้มข้นมีหน่วยเป็น ppm)

เวลา (นาทึ)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			ครั้งที่ 4		
	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x
2	2	561	45	2.2	386	39	1.9	3389	3	1	1692	7
4	2.5	1695	32	2.4	584	42	1.3	700	17	1.5	857	29
6	0.5	914	8	2	703	34	1	115	27	1.6	756	15
8	0.4	634	8	0.4	1070	5	1	578	17	1.1	173	30
10	0.3	474	6	0.3	2531	4	1.5	1975	15	0.4	273	4
12	0.7	396	16	0.6	1592	14	1.7	3417	14	0.5	584	5
14	1	193	17	0.9	681	25	1.7	2447	10	1.3	271	26
16	1	107	18	1.3	343	32	1.5	572	19	1.7	1189	12
18	0.3	369	3	0.5	381	8	1.6	456	20	1.7	1273	12
20	0.4	347	4	0.2	334	3	1.9	1938	15	1.3	473	26
22	0.3	320	3	0.2	363	2	2	1145	24	1.1	172	29
24	0.3	271	4	1.1	430	32	2.1	567	24	0.5	192	10
26	0.3	345	4	1	438	13	2.2	3384	24	0.7	818	10
28	0.4	355	5	1.2	1806	9	2.2	3617	26	1	834	29
30	0.4	260	4	1.7	2575	5	2.2	3850	21	1.5	1225	24
32	0.3	134	3	1.5	941	24	2.1	3791	16	1	144	25
34	0.2	178	2	1.6	350	27	2.1	3152	16	0.5	155	10
36	0.2	199	3	1.5	344	33	2	3003	12	0	482	3
38	0.2	198	3	1.5	318	27	1.7	1532	16	0.7	494	22
40	0.2	218	3	0.6	329	9	1.4	857	19	1	110	21
42	0.3	200	3	0.3	1855	3	1.3	372	17	1	144	14
44	0.4	107	5	0.3	1636	3	1	317	15	0.8	81	13
46	0.4	115	4	0.3	1594	4	1.5	346	26	0.2	231	4
48	0.6	69	6	1.6	377	13	0.2	121	14	0.8	330	9
50	0.4	127	3	1.3	355	15	1.1	140	16	0.9	562	9
52	0.5	268	4	1.2	357	13	1.2	188	14	0.9	175	16
54	1	678	6	1.2	399	12	1.2	93	21	0.8	79	16
56	1.1	355	11	1.2	403	12	1.7	1188	19	0.8	78	16

ตารางที่ 6ก (ต่อ)

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			ครั้งที่ 4		
	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x
58	0.8	83	18	1.2	446	13	1.8	2240	16	0.3	732	3
60	0.8	185	21	1.2	4000	14	1.8	2478	15	0.2	717	4
62	1.3	854	12	1.5	3680	16	1.7	2558	12	0	492	4
64	1.4	900	9	1.6	1316	20	1.6	1906	12	0.2	493	6
66	1.3	356	21	1.6	294	11	1.5	437	22	0.7	274	10
68	1	680	48	1.6	323	16	1.6	1650	16	0.6	786	5
70	1.5	116	40	1.6	313	12	1.6	1451	19	0.7	1165	7
72	1.9	244	26	1.6	284	12	1.7	3130	13	1.1	1908	10
74	2.1	1340	18	1.5	282	12	1.7	3741	4	0.3	379	17
76	2.2	3632	15	2	350	13	1.6	2809	8	0.3	538	5
78	2.1	3389	9	1	357	13	1.2	433	13	0.4	300	8
80	1.6	1275	11	2	3640	13	1.1	397	20	0.5	415	9
82	1.1	368	27	1	3480	13	1.2	189	20	0.8	1010	7
84	1.6	179	18	2.3	2990	18	1.4	400	20	0.6	443	20
86	1.7	617	14	2.3	286	18	1.4	532	18	0.7	92	31
88	1.5	435	20	1.2	327	14	1.3	209	19	0.7	78	31
90	1.6	216	18	1.2	358	13	1.3	207	19	0.8	76	17
92	1.1	238	30	1.2	359	13	1	160	24	0.8	205	12
94	1.3	76	30	1.2	452	13	1.4	561	22	0.8	349	11
96	1.3	68	28	1.2	427	14	1.6	1185	20	0.9	704	10
98	1.6	189	19	1.4	3333	19	1.6	2637	16	1	1689	11
100	1.6	526	16	1.4	317	19	1.7	3203	11	1.1	2605	10
102	1.6	451	14	1.6	322	19	1.6	2838	11	1.1	2577	9
104	0.6	351	17	1.6	357	13	1.6	2174	9	0.5	1751	9
106	1.3	83	34	1.3	459	15	1.6	1151	26	0.6	181	15
108	1.5	74	31	1.2	473	14	1.6	2674	14	1.1	920	12
110	1.9	1145	18	1.2	408	14	1.6	2123	13	1.2	1818	13
112	1.9	1650	19	1.2	344	15	1.7	2914	14	1.1	1693	9
114	2	2958	18	1.2	301	16	1.7	3800	5	1.1	904	10

ตารางที่ 7ก ผลของแก๊ส CO₂, CO และ NO_x ที่อัตราส่วนผสมขะ 1:1 น้ำหนักขะ 200Kg ทำการเผา 4 ครั้ง (ความเข้มข้นมีหน่วยเป็น ppm)

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			ครั้งที่ 4		
	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x
2	2.9	329	55	2.9	948	13	2.2	457	12	0.8	143	18
4	4.6	2534	53	2.6	216	14	1.3	1302	5	0.7	172	18
6	4.8	4000	81	2.8	111	15	2	668	34	0.8	216	20
8	2.8	753	72	1.8	228	13	1.6	621	31	0.6	235	15
10	1.1	474	17	1.1	445	22	2.3	613	28	2	3638	12
12	0.5	739	7	1.5	824	24	2.1	575	30	2.1	4000	38
14	0.5	1090	6	1.5	452	13	2.1	163	34	2	2850	27
16	0.9	565	13	1.9	944	35	2.2	1349	26	1.8	1328	19
18	0.8	234	14	1.8	2435	33	1.5	500	27	1.6	581	23
20	0.7	160	15	1.7	774	51	1.3	1573	35	1.3	262	23
22	1.2	948	13	1.2	404	42	2	1015	15	0.9	261	16
24	1.3	216	22	1.3	385	37	1.6	302	25	0.6	256	12
26	1	111	24	1	2371	27	1.5	617	12	0.3	119	4
28	0.2	228	3	1.2	587	16	1.9	1667	25	0.3	108	5
30	0.5	445	7	1.5	400	17	2	1892	45	0.3	105	5
32	0.8	824	7	0.8	329	15	2	4000	14	0.9	714	18
34	1	452	12	1	2534	12	1.6	2507	5	1.1	348	20
36	1.3	944	10	1.3	4000	19	1.9	3605	15	0.9	173	19
38	1.5	2435	9	1.5	753	11	2	2158	16	0.8	149	18
40	0.5	774	8	0.5	474	12	0.7	762	0	0.6	134	14
42	0.7	404	11	0.7	739	15	1.1	385	13	0.6	138	12
44	1	518	12	1.1	1090	20	1.7	2371	17	0.5	122	10
46	0.7	103	20	1.7	565	24	1.3	587	15	0.4	116	8
48	0.3	575	3	1.3	234	22	0.8	400	22	0.4	90	7
50	0.3	333	6	0.8	160	29	1.7	3778	12	0.4	96	7
52	0.5	187	7	1.7	3778	19	1.7	3885	9	0.7	366	13
54	0.5	678	7	1.7	3885	16	1.7	1640	12	0.3	2019	12
56	0.4	116	11	1.7	1640	19	1.4	262	25	1.1	930	14

ตารางที่ 7ก (ต่อ)

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			ครั้งที่ 4		
	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x
58	0.4	188	14	1.4	262	22	1.7	402	13	0.7	164	15
60	0.7	1258	11	1.7	402	20	1.9	3571	11	0.6	170	13
62	0.7	1801	11	1.9	3571	18	1.9	4000	27	0.5	108	9
64	0.8	1455	8	1.9	4000	24	1.2	795	13	0.5	93	9
66	0.6	311	28	1.2	795	20	1.3	528	17	0.5	90	9
68	1.1	2613	16	1.3	528	24	2	1485	20	0.3	598	5
70	1.2	3292	17	2	1485	27	1.8	1408	24	1	448	15
72	1.3	4000	29	1.8	1408	31	1.4	1276	29	1	210	17
74	1.2	411	17	1.4	276	26	1.1	581	24	1	83	23
76	1.4	867	15	1.1	181	31	1.3	191	23	0.7	71	17
78	1.2	1648	12	1.3	191	27	1.2	238	22	0.6	87	14
80	1.2	919	11	1.2	238	29	1.8	202	32	0.6	116	11
82	1	200	26	1.8	202	19	2.4	1185	32	0.5	88	10
84	1.2	160	22	0.5	88	10	2.2	3545	18	0.4	78	9
86	1.2	285	23	0.4	78	19	1.9	1885	12	0.6	341	11
88	1.2	403	19	0.6	341	11	1.3	522	14	1	141	13
90	1.6	698	17	1	141	13	1.7	4000	30	0.8	263	11
92	1.5	1218	15	1.8	263	11	1.9	1673	14	0.7	82	15
94	1	269	22	1.7	82	15	1.8	1291	15	0.5	103	11
96	1.2	115	38	1.5	103	11	2	2473	12	0.3	110	8
98	1.5	120	32	1.8	110	18	1.7	1040	14	0.3	94	8
100	1.7	629	21	1.9	94	18	1.7	749	13	0.3	114	6
102	1.3	249	23	1.8	114	16	1.7	581	12	0.2	99	4
104	1.3	167	39	1.7	99	14	1.3	262	9	0.4	216	6
106	1.6	116	36	1.4	216	16	2.1	261	12	0.8	77	15
108	1.8	427	29	1.8	77	15	1.7	256	15	1.1	321	10
110	1.4	171	27	2.1	321	10	1.6	119	13	1.1	308	9
112	1.1	362	38	2.1	308	19	1.5	108	11	1.1	451	9
114	2	212	33	2.1	451	9	1.5	105	27	1	278	10

ตารางที่ 7ก (ต่อ)

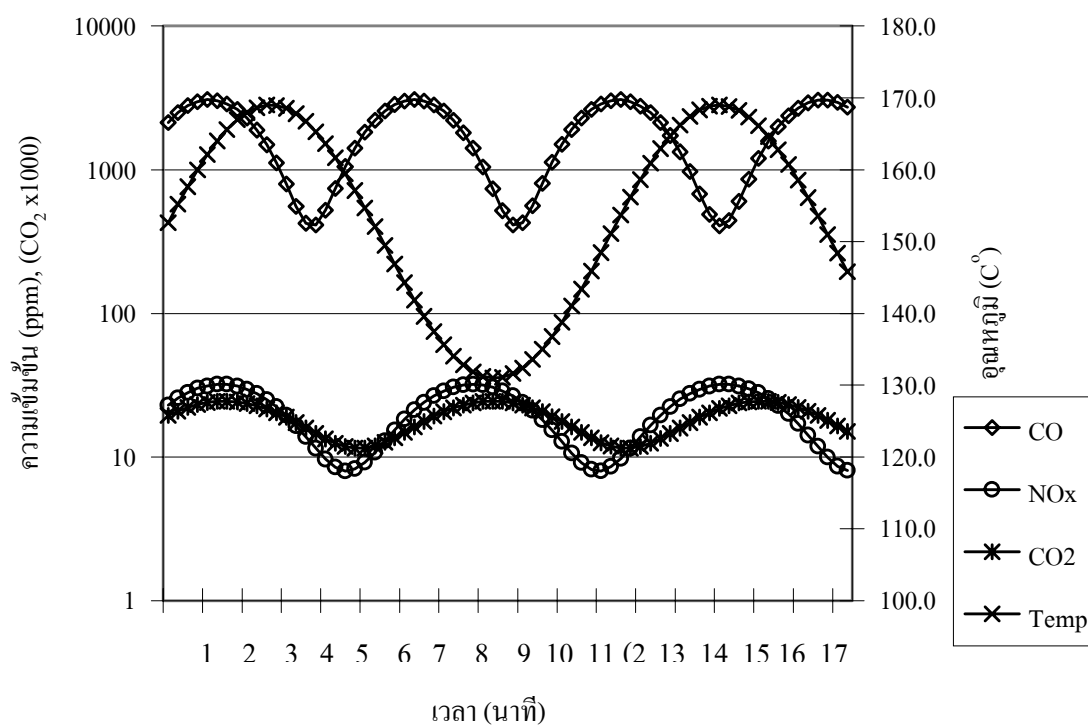
เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			ครั้งที่ 4		
	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x
116	2	405	29	2	278	10	1.5	714	13	0.6	62	15
118	2.4	1438	23	1.6	62	15	1.3	348	17	0.6	60	15
120	1.7	306	32	1.6	60	15	1	173	20	0.5	81	12
122	1.3	262	12	1.5	81	12	1	149	24	0.5	367	10
124	2	261	9	1.8	1455	8	1	134	29	1.1	554	12
126	1.6	256	12	1.6	311	28	1.7	138	24	1	158	14
128	1.5	119	25	1.1	2613	16	1.6	122	23	1.1	494	11
130	1.9	108	13	1.2	3292	17	1.6	116	22	1	103	15
132	1.9	105	11	1.3	4000	29	1.5	190	29	0.9	101	14
134	1.2	714	27	1.2	411	17	1.4	196	25	0.7	102	13
136	1.3	358	13	1.4	867	15	1.6	366	12	0.6	116	11
138	2	173	17	1.2	1648	12	1	1019	9	1	266	29
140	1.8	149	20	1.2	919	11	1.8	930	12	1.7	570	20
142	1.4	267	24	1	200	26	1.7	164	25	2.1	2342	25
144	1.1	262	29	1.2	160	22	1.5	170	23	2.8	2466	28
146	1.3	266	24	1.2	285	23	1.3	108	21	2.1	1002	23
148	1.2	191	23	1.2	403	19	1.3	193	27	1.3	262	24
150	1.8	180	22	1.6	698	17	1.5	190	13	1.1	215	28
152	2.4	150	32				1.5	598		3.4	199	58
154	2.2	741	32							3.7	1117	50
156	1.9	384	18							4.2	1661	71
158	1.3	183	12							4.2	3398	45
160	1.7	159	14							3.9	1589	36
162										2.2	1437	38
164										3	4000	46
166										1.9	978	59
168										3.1	276	78
170										4.1	1704	46

ตารางที่ 7ก (ต่อ)

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			ครั้งที่ 4		
	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x	CO ₂	CO	NO _x
172										4.3	814	50
174										4.1	2172	34
176										3.2	814	43
178										2.2	262	38
180										1.7	220	31

ตารางที่ 8ก ค่าของมลพิษทางอากาศที่ใช้ในการคำนวณ ที่อัตราส่วน 1:0

	อุณหภูมิ (C°)	CO ₂ (x1000 ppm)	CO (ppm)	NO _x (ppm)
ค่าสูงสุด	169	24	3272	37
ค่าเฉลี่ย	150	18	1736	20
ค่าต่ำสุด	131	11	607	13
คาบ (นาที)	11.4	6.8	5.2	6.4



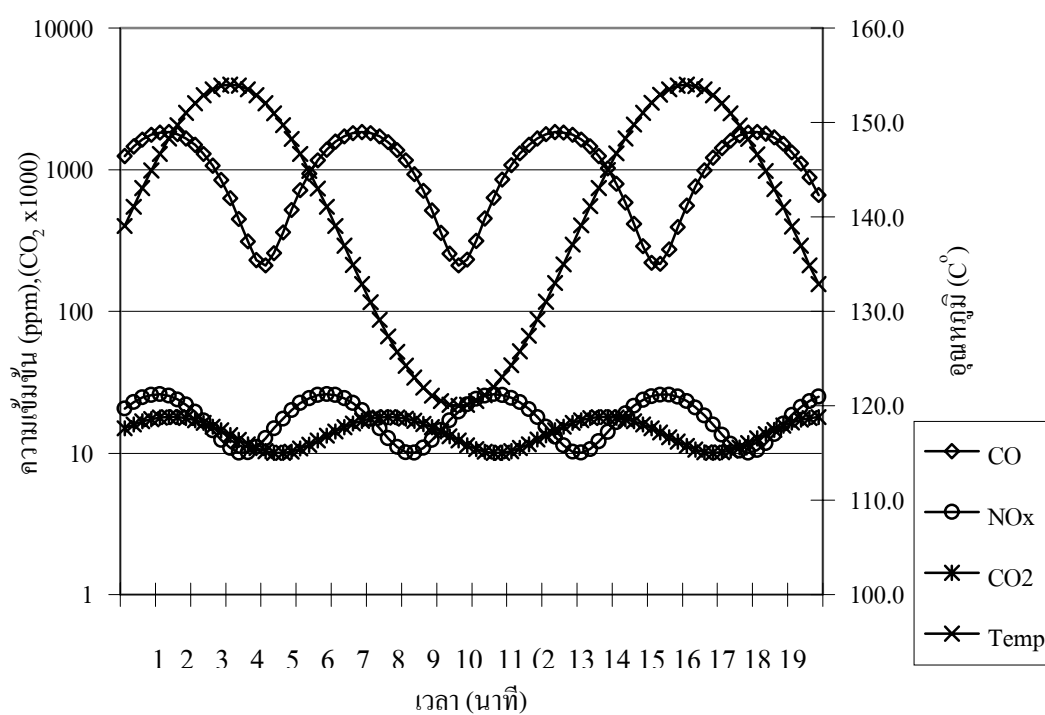
ภาพที่ 1ก ความสัมพันธ์ของแก๊สแต่ละชนิดและอุณหภูมิของแก๊สไอเสีย ที่อัตราส่วน 1:0

ตารางที่ 9ก ผลการคำนวณตามสมการแนวคิดที่อัตราส่วน 1:0

เวลา (นาที)	CO (ppm)	NO _x (ppm)	CO ₂ (x1000 ppm)	อุณหภูมิ (C ^o)
1	2982	30	23	160
2	2619	31	24	167
3	1115	22	20	169
4	414	11	15	165
5	1421	8	12	157
6	2835	15	14	147
7	2830	27	19	137
8	1412	32	24	132
9	412	27	24	132
10	1123	15	19	137
11	2626	8	14	146
12	2979	12	12	156
13	1727	22	15	165
14	487	31	20	169
15	861	30	24	167
16	2365	20	23	161
17	3057	10	18	151
18	2042	9	13	141
19	632	18	12	134
20	648	29	16	131

ตารางที่ 10ก ค่าของมลพิษทางอากาศที่ใช้ในการคำนวณ ที่อัตราส่วน 4:1

	อุณหภูมิ (C°)	CO ₂ (x1000 ppm)	CO (ppm)	NO _x (ppm)
ค่าสูงสุด	154	17	2063	27
ค่าเฉลี่ย	137	14	1026	18
ค่าต่ำสุด	120	9	431	11
คาบ (นาที)	13.0	6.2	5.6	4.8



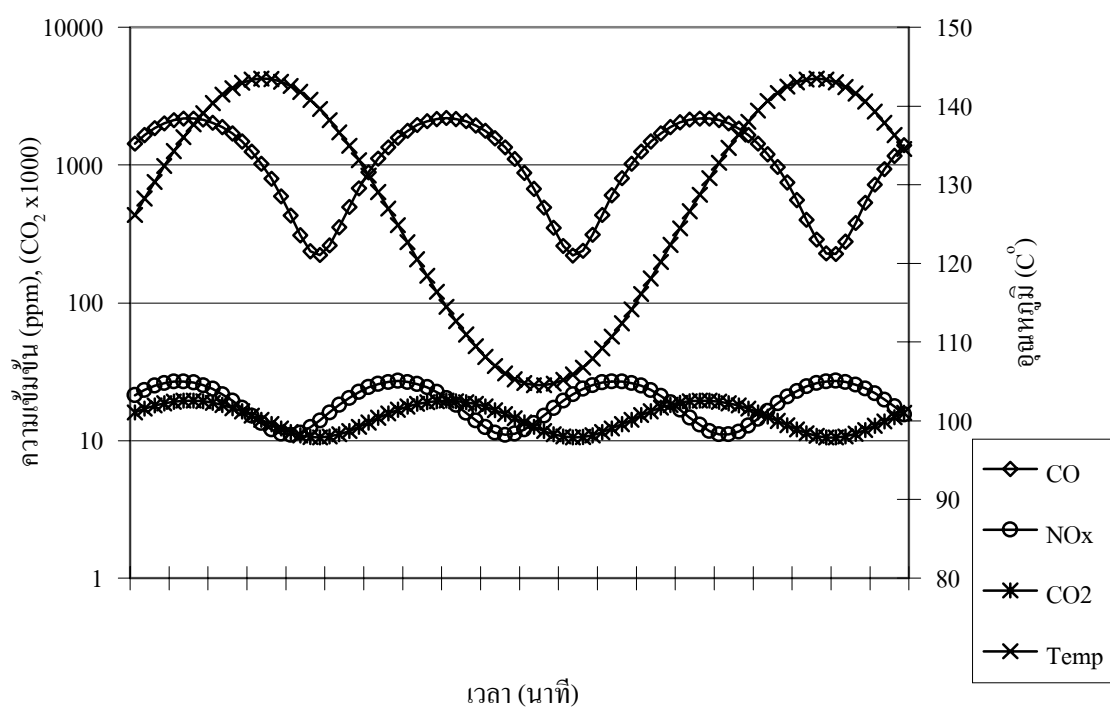
ภาพที่ 2ก ความสัมพันธ์ของแก๊สแต่ละชนิดและอุณหภูมิของแก๊สไอเสีย ที่อัตราส่วน 4:1

ตารางที่ 11ก ผลการคำนวณตามสมการแนวคิดที่อัตราส่วน 4:1

เวลา (นาที)	CO (ppm)	NO _x (ppm)	CO ₂ (x1000 ppm)	อุณหภูมิ (C ^o)
1	1761	26	17	145
2	1663	22	18	151
3	843	12	14	154
4	230	11	11	153
5	519	20	10	148
6	1382	26	13	141
7	1842	20	17	133
8	1377	11	18	126
9	514	12	15	121
10	231	22	11	120
11	849	26	10	123
12	1667	18	12	129
13	1759	10	16	137
14	1020	14	18	145
15	288	24	16	151
16	392	25	12	154
17	1214	16	10	153
18	1823	10	12	148
19	1529	16	16	141
20	665	25	18	133

ตารางที่ 12ก ค่าของมลพิษทางอากาศที่ใช้ในการคำนวณ ที่อัตราส่วน 3:1

	อุณหภูมิ (C°)	CO ₂ (x1000 ppm)	CO (ppm)	NO _x (ppm)
ค่าสูงสุด	140	18	2379	28
ค่าเฉลี่ย	124	15	1205	19
ค่าต่ำสุด	101	9	409	12
คาบ (นาทึ)	14.2	6.6	6.6	5.6



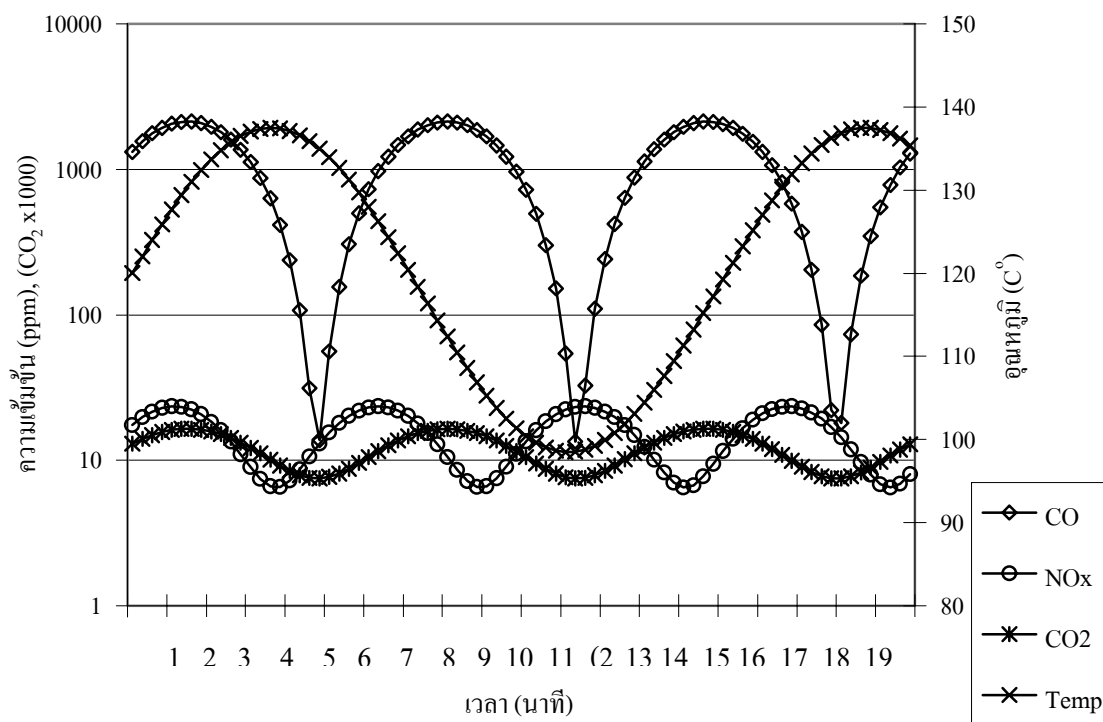
ภาพที่ 3ก ความสัมพันธ์ของแก๊สแต่ละชนิดและอุณหภูมิของแก๊สไอเสีย ที่อัตราส่วน 3:1

ตารางที่ 13ก ผลการคำนวณตามสมการแนวคิดที่อัตราส่วน 3:1

เวลา (นาที)	CO (ppm)	NO _x (ppm)	CO ₂ (x1000 ppm)	อุณหภูมิ (C°)
1	2008	26	19	132
2	2136	25	19	139
3	1481	17	16	143
4	595	11	12	143
5	221	14	11	140
6	675	22	13	133
7	1574	27	17	125
8	2163	22	19	116
9	1947	14	18	109
10	1107	11	15	105
11	350	17	11	105
12	311	25	11	108
13	1024	26	14	114
14	1889	19	18	122
15	2179	12	19	131
16	1650	13	17	138
17	747	21	13	142
18	229	27	11	143
19	531	24	12	141
20	1400	15	16	135

ตารางที่ 14ก ค่าของมลพิษทางอากาศที่ใช้ในการคำนวณ ที่อัตราส่วน 2:1

	อุณหภูมิ (C°)	CO ₂ (x1000 ppm)	CO (ppm)	NO _x (ppm)
ค่าสูงสุด	134	17	2684	26
ค่าเฉลี่ย	118	12	1072	15
ค่าต่ำสุด	95	8	565	9
คาบ (นาที)	15.1	6.6	6.6	5.2



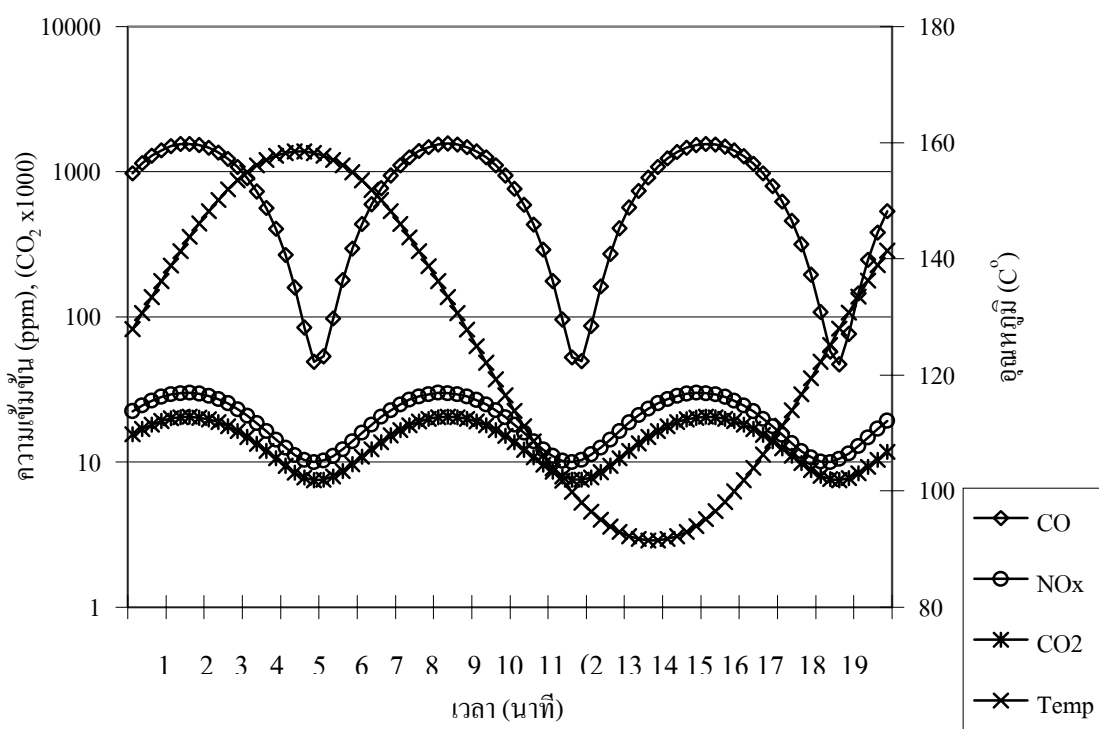
ภาพที่ 4ก ความสัมพันธ์ของแก๊สแต่ละชนิดและอุณหภูมิของแก๊สไอเสีย ที่อัตราส่วน 2:1

ตารางที่ 15ก ผลการคำนวณตามสมการแนวคิดที่อัตราส่วน 2:1

เวลา (นาที)	CO (ppm)	NO _x (ppm)	CO ₂ (x1000 ppm)	อุณหภูมิ (C°)
1	1935	23	16	126
2	2073	21	16	132
3	1369	11	13	136
4	416	7	9	137
5	14	13	8	135
6	501	22	10	130
7	1469	22	14	122
2	2073	21	16	132
8	2102	13	16	114
9	1870	7	15	107
10	967	11	12	101
11	152	21	8	99
12	111	23	8	99
13	877	15	11	103
14	1808	7	15	109
15	2120	9	16	117
16	1551	19	14	125
17	580	23	10	132
18	22	17	8	136
19	347	8	9	137
20	1281	8	13	135

ตารางที่ 16ก ค่าของมลพิษทางอากาศที่ใช้ในการคำนวณ ที่อัตราส่วน 1:1

	อุณหภูมิ (C°)	CO ₂ (x1000 ppm)	CO (ppm)	NO _x (ppm)
ค่าสูงสุด	151	23	1767	31
ค่าเฉลี่ย	125	14	803	20
ค่าต่ำสุด	84	10	253	11
คาบ (นาทึ)	18.5	6.8	6.8	6.7



ภาพที่ 5ก ความสัมพันธ์ของแก๊สแต่ละชนิดและอุณหภูมิของแก๊สไอเสีย ที่อัตราส่วน 1:1

ตารางที่ 17ก ผลการคำนวณตามสมการแนวคิดที่อัตราส่วน 1:1

เวลา (นาที)	CO (ppm)	NO _x (ppm)	CO ₂ (x1000 ppm)	อุณหภูมิ (C ^o)
1	1407	28	19	136
2	1531	30	20	146
3	1076	23	16	154
4	403	14	11	158
5	49	10	8	158
6	294	14	10	155
7	944	23	15	148
8	1482	29	20	139
9	1479	28	20	128
10	939	20	15	117
11	290	12	10	106
12	50	10	8	98
13	408	16	11	93
14	1081	25	16	92
15	1532	30	20	94
16	1404	26	19	100
17	798	18	14	109
18	196	11	9	119
19	77	11	8	131
20	535	19	12	141

ตารางที่ 18ก ผลของอุณหภูมิแก๊สไอเสียที่อัตราส่วน 1:0 (องศาเซลเซียส)

เวลา	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	เวลา	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4
2	142	116	140	129	56	191	130	129	194
4	138	125	166	132	58	174	159	123	159
6	153	110	161	134	60	185	154	128	154
8	135	109	153	129	62	164	142	134	142
10	134	124	169	123	64	191	146	136	146
12	129	125	177	128	66	194	165	144	120
14	123	121	201	134	68	201	149	127	130
16	128	115	179	136	70	194	137	120	159
18	134	159	171	138	72	187	132	130	154
20	136	151	191	136	74	188	145	159	142
22	131	134	125	141	76	198	149	154	146
24	142	132	123	140	78	180	144	142	165
26	167	160	140	141	80	175	155	146	124
28	165	175	126	140	82	171	143	165	125
30	148	167	123	166	84	153	147	149	121
32	138	150	144	161	86	147	148	137	115
34	136	174	127	153	88	155	148	132	159
36	141	155	120	169	90	165	167	145	151
38	140	134	130	177	92	148	158	149	134
40	166	125	159	201	94	165	144	144	132
42	161	123	154	179	96	152	136	155	160
44	153	140	142	171	98	146	139	143	175
46	169	126	138	191	100	147	153	147	167
48	177	123	136	174	102	140	165	148	162
50	201	144	141	185	104	135	163	148	160
52	179	127	140	164	106	142			161
54	171	120	134	191					

ตารางที่ 19ก ผลของอุณหภูมิแก๊สไอเสียที่อัตราส่วน 4:1 (องศาเซลเซียส)

เวลา	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	เวลา	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4
2	121	101	118	98	74	136	132	126	169
4	105	89	129	116	76	141	133	112	173
6	117	137	123	89	78	119	126	125	167
8	117	139	109	97	80	128	129	129	153
10	89	89	109	91	82	127	130	136	155
12	76	110	103	116	84	149	120	133	166
14	79	136	79	135	86	161	110	135	166
16	70	121	83	124	88	158	117	137	157
18	87	150	70	123	90	143	121	125	167
20	108	128	108	134	92	169	128	141	166
22	108	147	119	121	94	164	121	130	161
24	122	150	108	126	96	158	119	135	161
26	161	151	118	142	98	176	144	133	140
28	158	161	115	151	100	161	164	131	156
30	149	157	127	166	102	160	159	127	150
32	139	148	92	138	104	168	150	136	149
34	170	166	124	136	106	175	148	130	160
36	177	162	121	143	108	161	136	127	159
38	146	163	110	145	110	177	136	133	158
40	138	171	120	142	112	166	133	136	149
42	161	156	119	150	114	162	143	132	152
44	154	144	123	159	116	177	123	126	150
46	123	147	122	143	118	174	142	127	150
48	104	148	133	132	120	155	137	123	165
50	111	136	122	121	122	155	129	134	159
52	100	154	133	153	124	148	134	134	158
54	85	159	122	136	126	178	156		172
56	128	159	125	136	128	180	161		185

ตารางที่ 19ก (ต่อ)

<i>เวลา</i>	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	<i>เวลา</i>	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4
58	145	131	122	134	130	158	148		
60	122	135	110	134	132	173	144		
62	144	138	113	146	134	144	140		
64	171	130	117	148	136	150			
66	164	129	117	151	138	163			
68	143	139	117	148	140	170			
70	121	158	123	153	142	162			
72	146	136	128	158	144	159			

ตารางที่ 20ก ผลของอุณหภูมิแก๊สไอเสียที่อัตราส่วน 3:1 (องศาเซลเซียส)

เวลา	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	เวลา	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4
2	105	125	145	124	88	111	129	126	136
4	100	135	145	135	90	107	132	131	123
6	91	141	127	131	92	114	129	126	126
8	61	133	77	126	94	120	124	130	136
10	57	98	67	123	96	121	122	136	133
12	54	78	60	136	98	120	119	149	133
14	52	112	105	144	100	113	121	155	132
16	49	117	116	136	102	123	121	138	134
18	66	116	115	126	104	129	119	162	126
20	96	121	90	130	106	80	114	160	128
22	107	119	113	130	108	72	128	148	131
24	110	100	136	130	110	69	128	152	141
26	65	128	152	124	112	66	128	163	146
28	64	127	163	123	114	64	127	167	144
30	85	115	161	132	116	97	124	172	138
32	106	119	141	155	118	103	129	170	144
34	108	117	141	155	120	114	127	166	153
36	111	123	131	132	122	118	127		139
38	72	130	126	142	124	123	128		139
40	66	142	135	148	126	139	122		148
42	56	129	138	146	128	152	119		160
44	54	136	129	143	130	111	116		161
46	53	134	134	136	132	88	118		155
48	50	142	126	131	134	80	118		149
50	48	139	144	124	136	83	115		
52	46	109	150	119	138	85			
54	45	89	151	139	140	100			
56	65	81	141	142	142	125			

ตารางที่ 20ก (ต่อ)

<i>เวลา</i>	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	<i>เวลา</i>	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4
58	86	106	137	147	144	151			
60	105	125	150	134	146	163			
62	66	120	152	150	148	165			
64	60	125	142	159	150	160			
66	56	134	144	137	152	143			
68	54	129	132	141	154	148			
70	51	119	128	148	156	132			
72	54	104	127	142	158	140			
74	86	119	118	135	160	128			
76	107	123	120	145	162	134			
78	113	124	119	137	164	140			
80	116	119	125	135	166	147			
82	115	126	130	137	168	157			
84	109	129	126	136	170	154			
86	112	132	125	136					

ตารางที่ 21ก ผลของอุณหภูมิแก๊สไอเสียที่อัตราส่วน 2:1 (องศาเซลเซียส)

เวลา	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	เวลา	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4
2	94	94	136	88	72	123	124	128	119
4	104	110	127	98	74	133	97	130	118
6	62	109	118	108	76	117	75	138	109
8	57	66	141	99	78	122	68	140	75
10	100	86	138	68	80	118	66	140	87
12	118	85	137	90	82	117	112	139	96
14	119	98	161	106	84	126	147	153	126
16	110	105	159	110	86	127	147	152	111
18	87	71	130	111	88	124	80	155	108
20	69	65	154	112	90	129	74	158	113
22	70	98	143	111	92	112	72	141	125
24	61	108	140	78	94	119		147	129
26	93	121	129	76	96	121	73	132	130
28	121	122	135	115	98	127	119	129	125
30	81	121	135	121	100	128	130	128	117
32	65	105	145	115	102	131	147	128	116
34	59	122	144	80	104	111	146	137	119
36	56	120	149	93	106	118	148	139	123
38	54	120	153	111	108	123	89	138	133
40	94	85	149	112	110	122	86	132	138
42	102	69	156	121	112	119	85	131	132
44	109	72	147	122	114	120	152	134	135
46	111	106	158	88	116	119	160	145	141
48	117	110	145	115	118	120	151	160	134
50	138	78	148	120	120	114	92	160	144
52	139	69	151	124	122	130	80		127
54	146	64	137	123	124	135	85		128
56	153	63	136	95	126	123	86		125

ตารางที่ 21ก (ต่อ)

<i>เวลา</i>	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	<i>เวลา</i>	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4
58	134	97	129		128	123	119		133
60	128	114	129	70	130	121	125		139
62	135	117	128	66	132	123	134		133
64	142	117	140	65	134	126	133		
66	117	125	138	108	136	130	137		
68	116	126	144	117	138	125	143		
70	121	123	138	122	140		137		

ตารางที่ 22ก ผลของอุณหภูมิแก๊สไอเสียที่อัตราส่วน 1:1 (องศาเซลเซียส)

เวลา	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	เวลา	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4
2	40	170	99	106	92	110	143	88	136
4	44	207	101	109	94	94	140	105	115
6	51	210	113	113	96	70	124	108	104
8	48	104	114	102	98	49	119	102	100
10	60	70	111	127	100	48	134	115	96
12	45	65	115	127	102	49	144	118	87
14	40	58	122	143	104	49	148		73
16	50	112	130	157	106	79	158		94
18	88	105	128	141	108	136	133		119
20	86	87	116	125	110	151	122		120
22	110	110	112	113	112	81	140		130
24	135	116	137	108	114	68	150		130
26	117	96	130	90	116	60	135		139
28	69	71	119	83	118	53	124		130
30	79	109	132	67	120	52	136		131
32	93	117	113	92	122	96	135		118
34	133	117	122	131	124	116	138		111
36	100	123	128	125	126	140	126		137
38	54	127	151	115	128	148			140
40	48	118	157	106	130	132			147
42	46	128	151	103	132	76			145
44	43	127	144	95	134	67			141
46	43	95	164	91	136	61			132
48	44	69	166	85	138	114			112
50	45	115	130	70	140	126			96
52	42	125	118	101	142	100			127
54	56	129	132	140	144	85			127
56	63	123	158	156	146	69			133

ตารางที่ 22ก (ต่อ)

<i>เวลา</i>	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	<i>เวลา</i>	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4
58	66	122	119	127	148	65			133
60	78	117	119	120	150	60			143
62	129	121	110	113	152	57			148
64	126	132	107	103	154	54			138
66	145	118	136	98	156	52			109
68	138	115	134	101	158	52			143
70	57	111	113	152	160	52			140
72	56	110	150	149	162	52			136
74	51	108	123	144	164	51			140
76	50	118	134	136	166	51			150
78	47	125	132	129	168	56			142
80	52	122	119	116	170	115			181
82	58	129	125	113	172	75			147
84	64	133	123	107	174	82			145
86	70	128	134	120	176	59			156
88	85	135	136	144	178	57			152
90	100	137	140	140	180	63			157

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ ๒ (พ.ศ. ๒๕๓๖)

ตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. ๒๕๓๖

เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน

อาศัยความตามความในข้อ ๑๖ แห่งกฎกระทรวงฉบับที่ ๒ (พ.ศ. ๒๕๓๕) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. ๒๕๓๕ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม จึงออกประกาศกำหนดค่าปริมาณสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงานไว้ดังนี้

ข้อ ๑ อากาศที่สามารถระบายออกจากโรงงาน ต้องมีปริมาณของสารแต่ละชนิดเจือปนไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ดังต่อไปนี้

ลำดับที่	ชนิดของสารเจือปน	แหล่งที่มาของสาร	ค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศ
๑.	ฝุ่นละออง	หม้อไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงดังนี้	
		- น้ำมันเตา	๓๐๐ มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
		- ถ่านหิน	๔๐๐ มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
		- เชื้อเพลิงอื่นๆ	๔๐๐ มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
		การถลุง หล่อ หลอม รีดคัง และ/หรือ ผลิตเหล็กกล้า	๓๐๐ มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
	อลูมิเนียม		
	การผลิตทั่วไป		๔๐๐ มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
๒.	พลวง	การผลิตทั่วไป	๒๐ มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
๓.	สารหนู	การผลิตทั่วไป	๒๐ มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
๔.	ทองแดง	การหลอมหรือการถลุง	๓๐ มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
๕.	ตะกั่ว	การผลิตทั่วไป	๓๐ มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
๖.	คลอรีน	การผลิตทั่วไป	๓๐ มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ลำดับที่	ชนิดของสารเจือปน	แหล่งที่มาของสาร	ค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศ
๗.	ไฮโดรเจนคลอไรด์	การผลิตทั่วไป	๒๐๐ มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
๘.	ปรอท	การผลิตทั่วไป	๓ มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
๙.	คาร์บอนมอนนอกไซด์	การผลิตทั่วไป	๑๐๐๐ มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ ๘๗๐ ส่วนในล้านส่วน
๑๐.	กรดกำมะถัน	การผลิตทั่วไป	๑๐๐ มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ ๒๕ ส่วนในล้านส่วน
๑๑.	ไฮโดรเจนซัลไฟด์	การผลิตทั่วไป	๑๕๐ มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ ๑๐๐ ส่วนในล้านส่วน
๑๒.	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	การผลิตกรดซัลฟูริก	๑๓๐๐ มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ ๕๐๐ ส่วนในล้านส่วน
๑๓.	ออกไซด์ของไนโตรเจน	หม้อไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงดังนี้ - ถ่านหิน - เชื้อเพลิงอื่นๆ	(วัดในรูปแบบไนโตรเจนออกไซด์) ๕๕๐๐ มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ ๕๐๐ ส่วนในล้านส่วน ๔๗๐ มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ ๒๕๐ ส่วนในล้านส่วน
๑๔.	โซลีน	การผลิตทั่วไป	๘๗๐ มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ ๒๐๐ ส่วนในล้านส่วน

ข้อ ๒ การวัดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน ให้วัดอากาศที่ระบายออกจากปล่องในขณะที่ประกอบกิจการโรงงาน

ในกรณีที่ไม่มีปล่องให้วัดที่ช่องระบายอากาศซึ่งพนักงานเจ้าหน้าที่เห็นว่าน่าจะมีปริมาณของสารเจือปนระบายออกมากที่สุด

ข้อ ๓ ระดับค่าปริมาณของสารแต่ละชนิดที่เจือปนในอากาศ ให้คำนวณเทียบที่ความดัน ๑ บรรยากาศและอุณหภูมิ ๒๕ องศาเซลเซียส

ประกาศ ณ วันที่ ๒๐ กรกฎาคม ๒๕๓๖

พลตรี สนั่น ขจรประศาสน์

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

ภาคผนวก ข

ผลการศึกษามลสารทางน้ำ

ผลของน้ำเสีย

ตารางที่ 1ข ผลการวิเคราะห์น้ำเสียที่ออกจากหอฟนน้ำ

รายการ	อัตราส่วนผสมขยะ				
	1:0	4:1	3:1	2:1	1:1
pH น้ำเสีย	2.83	4.41	5.14	5.66	6.07
	3.20	3.44	5.17	5.50	5.80
	2.83	3.14	5.04	5.30	5.46
	3.20	4.09	4.36	5.93	6.15
	เฉลี่ย	3.02	3.77	4.93	5.60
แอมโมเนียทั้งหมด	419.50	222.25	162.00	241.50	289.75
	276.75	229.25	220.00	252.25	212.25
	245.00	243.75	210.00	217.75	183.75
	238.00	180.25	248.50	333.00	239.30
	เฉลี่ย	294.81	218.88	210.13	261.13
คลอไรด์	135.7	106.4	84.2	117.9	15.0
	193.7	129.4	74.5	63.2	74.9
	149.4	139.2	120.4	100.2	80.2
	169.2	102.0	102.0	68.5	135.2
	เฉลี่ย	162.0	119.3	95.3	87.5
ซัลเฟต	0.0227	0.0177	0.0182	0.0123	0.0062
	0.0213	0.0327	0.0303	0.0034	0.0050
	0.0173	0.0198	0.0304	0.0076	0.0083
	0.0194	0.0246	0.0355	0.0063	0.0066
	เฉลี่ย	0.0202	0.0237	0.0286	0.0074
ไนเตรต	1.36	0.97	0.79	0.58	0.18
	1.05	0.86	0.56	0.80	-0.16
	2.77	0.68	-0.02	0.37	0.12
	1.18	0.32	0.14	-0.17	0.67
	เฉลี่ย	1.59	0.71	0.37	0.39

ปริมาณของแข็งในน้ำเสีย

ตารางที่ 2ข ปริมาณของแข็งในน้ำเสียที่เข้าสู่บ่อดักตะกอน

รายการ	อัตราส่วนผสมขยะ				
	1:0	4:1	3:1	2:1	1:1
ของแข็งทั้งหมด	1780	941	1224	1070	509
	1620	1219	933	835	761
	1653	1225	1015	1012	1073
	1587	1481	1305	1084	1151
เฉลี่ย	1660	1217	1119	1000	874
ของแข็งแขวนลอย	254	27	123	49	53
	183	126	82	63	30
	165	127	101	139	78
	167	246	123	65	91
เฉลี่ย	192	132	107	79	63
ส่วนที่ละลาย	1532	891	1107	1017	461
	1448	1073	867	788	738
	1492	1117	913	936	957
	1414	1231	1188	1013	1085
เฉลี่ย	1472	1078	1019	939	810

ตารางที่ 3ข ปริมาณของแข็งในน้ำเสียที่ออกจากปอดตกตะกอน

รายการ	อัตราส่วนผสมขยะ				
	1:0	4:1	3:1	2:1	1:1
ของแข็งทั้งหมด	1250	858	936	456	732
	985	1020	692	705	734
	1250	1072	928	811	700
	985	884	754	1108	818
	เฉลี่ย	1118	959	828	770
ของแข็งแขวนลอย	24	17	24	10	14
	35	18	21	23	20
	63	44	25	32	15
	39	42	42	29	29
	เฉลี่ย	40	30	28	24
ส่วนที่ละลาย	1237	836	905	703	406
	966	1020	659	718	674
	1243	1049	885	642	726
	970	843	739	779	1024
	เฉลี่ย	1104	937	797	711

การควบคุมมลสารทางน้ำ

ตารางที่ 4 ข ขนาดของอนุภาคและจำนวนอนุภาคในน้ำเสียที่เข้าสู่บำบัดตะกอน

ขนาดอนุภาค (μm)	อัตราส่วนผสมขยะ				
	1:0	4:1	3:1	2:1	1:1
1	314	2171	3254	3272	6149
	1093	2962	2635	2264	3743
	586	2755	1997	2538	2135
	680	6517	1827	4724	3455
เฉลี่ย	668	3601	2428	3199	3870
3	6	33	2164	1695	2151
	749	317	64	413	1457
	488	132	1236	1441	391
	502	3793	634	919	1498
เฉลี่ย	436	1069	1024	1117	1374
5	179	1704	1724	4488	3131
	1860	1070	2612	946	3416
	1838	1661	883	3841	933
	1204	1344	557	2949	3900
เฉลี่ย	1270	1445	1444	3056	2845
10	7589	7869	2913	6803	2676
	8963	7743	6555	2406	5206
	7892	9291	3558	6080	2055
	7798	3883	4033	7958	6327
เฉลี่ย	8060	7196	4265	5812	4066
20	16504	11466	3357	3741	1420
	13062	12936	8584	7024	4611
	14734	12532	5367	3505	4744
	14597	6218	6528	6946	4735
เฉลี่ย	14724	10788	5959	5304	3877

ตารางที่ 4ข (ต่อ)

ขนาดอนุภาค (μm)	อัตราส่วนผสมขยะ				
	1:0	4:1	3:1	2:1	1:1
50	3490	2333	3084	214	79
	3181	2368	3818	2124	263
	3409	2107	3472	221	1255
	3430	2040	3634	900	276
เฉลี่ย	3377	2212	3502	865	468
80	509	417	1002	46	34
	490	429	1189	773	43
	506	386	1121	52	449
	512	384	1157	280	64
เฉลี่ย	504	404	1117	288	147
100	443	422	1447	92	49
	435	452	1697	3170	54
	441	394	1641	122	1703
	450	400	1697	958	156
เฉลี่ย	442	417	1620	1086	491

ตารางที่ 5 ขนาดของอนุภาคและจำนวนอนุภาคในน้ำเสียที่ออกจากบ่อดักตะกอน

ขนาดอนุภาค (μm)	อัตราส่วนผสมขยะ				
	1:0	4:1	3:1	2:1	1:1
1	3625	2612	2845	3444	22250
	1580	1821	19576	28783	21956
	2087	1821	6941	3664	7303
	1993	19187	8862	9821	1630
เฉลี่ย	2321	6360	9556	11428	13285
3	1302	1036	861	1506	1471
	559	752	3025	1700	597
	820	752	1789	1438	1931
	806	5829	2391	4671	517
เฉลี่ย	872	2092	2017	2329	1129
5	3233	2694	2154	3745	1045
	1551	2060	1266	594	267
	1573	2060	2995	3458	2954
	2208	2335	3321	3649	1375
เฉลี่ย	2141	2287	2434	2862	1410
10	5534	5192	4031	5996	654
	4160	5066	388	339	107
	5231	5066	3385	5180	3151
	5324	1206	2910	1373	3481
เฉลี่ย	5062	4132	2678	3222	1848
20	5491	6005	5545	4085	399
	8934	7476	317	399	61
	7262	7476	3535	4449	3154
	7399	757	2374	885	7827
เฉลี่ย	7271	5428	2943	2455	2860

ตารางที่ 5ข (ต่อ)

ขนาดอนุภาค (μm)	อัตราส่วนผสมขยะ				
	1:0	4:1	3:1	2:1	1:1
50	254	361	799	139	24
	563	396	65	98	13
	336	396	411	271	405
	315	68	248	156	788
เฉลี่ย	367	306	381	166	308
80	38	47	209	21	4
	57	59	23	41	6
	41	59	91	43	98
	35	14	55	61	112
เฉลี่ย	43	45	95	41	55
100	40	44	324	19	4
	48	74	75	170	54
	43	74	130	45	173
	34	22	75	332	124
เฉลี่ย	41	53	151	141	89

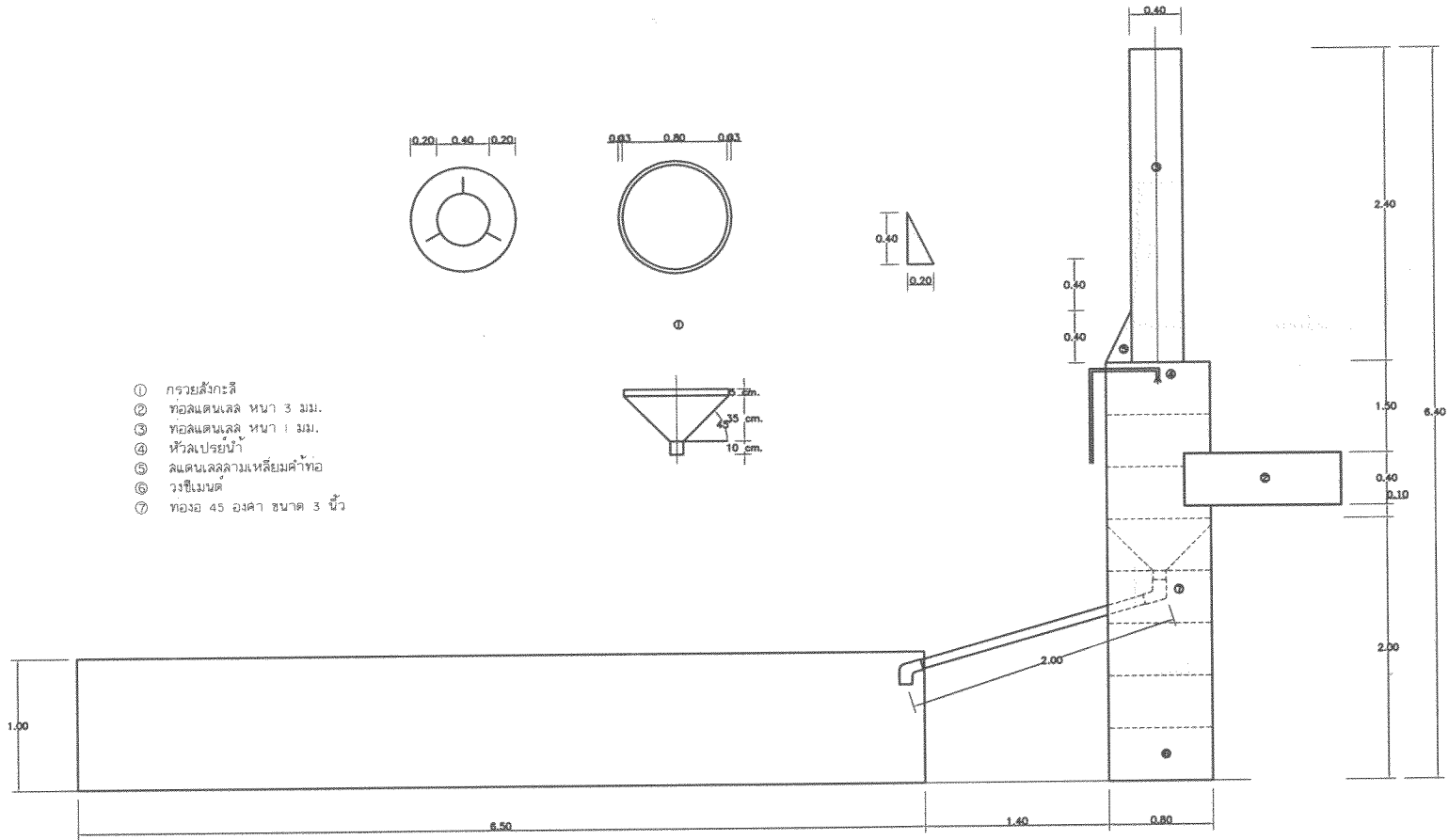
จาร์เทสต์

ตารางที่ 6ข ผลการทดลองจาร์เทสต์

อัตราส่วน	ครั้งที่	pH เริ่มต้น	ความขุ่นเริ่มต้น (NTU)	pH ที่เหมาะสม	สารส้มที่ใช้ (mg/L)
1:0	1	2.83	28.70	8.00	200
	2	3.20	43.80	8.00	200
	3	2.83	37.60	8.00	200
	4	3.20	51.10	8.00	200
	เฉลี่ย	3.02	40.30	8.00	200
4:1	1	4.41	45.10	6.00	100
	2	3.44	21.00	6.00	100
	3	3.14	51.50	7.00	100
	4	4.09	29.80	7.00	100
	เฉลี่ย	3.77	36.85	6.50	100
3:1	1	5.14	22.80	8.00	200
	2	5.17	19.60	8.00	200
	3	5.04	44.90	8.00	200
	4	4.36	40.50	8.00	200
	เฉลี่ย	4.93	31.95	8.00	200
2:1	1	5.66	30.30	6.00	150
	2	5.50	29.90	6.50	180
	3	5.30	32.10	6.00	200
	4	5.93	34.80	5.50	200
	เฉลี่ย	5.60	29.33	6.00	180
1:1	1	6.07	28.30	8.00	140
	2	5.80	30.40	8.00	160
	3	5.46	33.60	8.00	200
	4	6.15	25.00	8.00	100
	เฉลี่ย	5.87	29.28	8.00	150

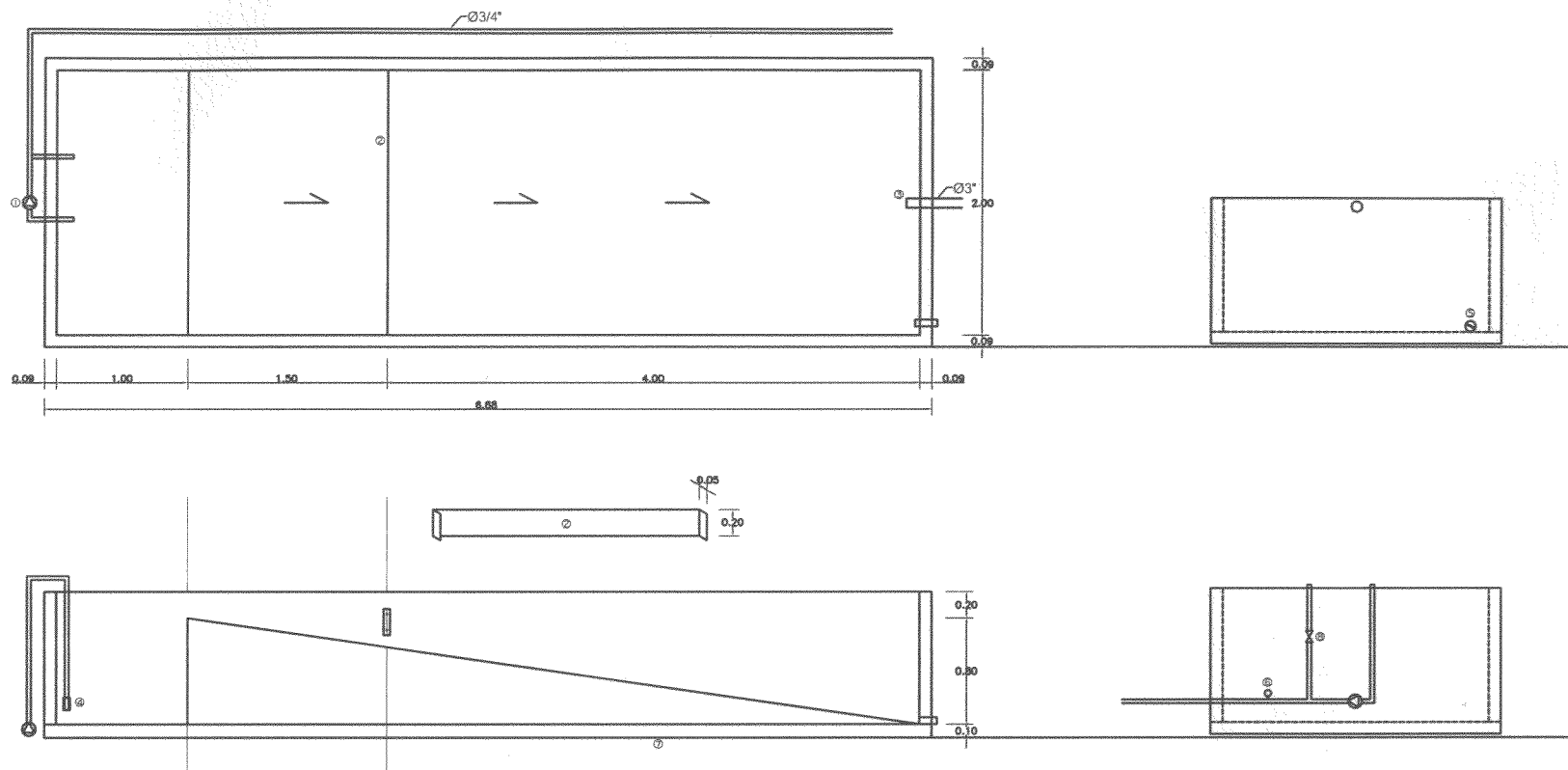
ภาคผนวก ค

แบบเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็กและระบบบำบัดอากาศและน้ำ



- ① กรวยสี่กระดี่
- ② ท่อลวดเหล็ก หน้า 3 มม.
- ③ ท่อลวดเหล็ก หน้า 1 มม.
- ④ หัวลวดเปรียน้ำ
- ⑤ ลวดเหล็กตามเหลี่ยมค้ำท่อ
- ⑥ วงซีเมนต์
- ⑦ ท่อฉ 45 องศา ขนาด 3 นิ้ว

ภาพที่ 1ค แบบเตาเผาขยะชุมชน ระบบบำบัดอากาศและน้ำ



- ① ปั๊มน้ำขนาด 0.5 แรงม้า
- ② แผ่นสังกะสีกั้นตะกอนลอย
- ③ ช่องงอ 45 องศา ขนาด 3 นิ้ว
- ④ หัวกรองทองเหลือง
- ⑤ ท่อถ่ายตะกอน
- ⑥ เกจวัดแรงดัน (PRESSURE GAUGE)
- ⑦ เตาदानรอบบ่อรับแรง หน้า 10 ซม.
- ⑧ วาล์วน้ำใช้รับแรงดัน

ภาพที่ 2ค แบบบ่อดักตะกอน

ประวัติผู้เขียน

นายเลิศศักดิ์ โคสูงเนิน เกิดเมื่อวันที่ 9 เมษายน พ.ศ. 2517 เริ่มเข้าศึกษาระดับปริญญาตรีที่ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันราชภัฏนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษา เมื่อปี พ.ศ. 2540 หลังจากสำเร็จการศึกษามีความสนใจทางด้านสิ่งแวดล้อมจึงเข้าศึกษาต่อในสาขา วิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปี พ.ศ. 2541