

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของไอระเหย  
กรดไฮโดรคลอริกด้วยวิธีดูดซึม

นางสาวปฐวี จิรณราวุฒิ

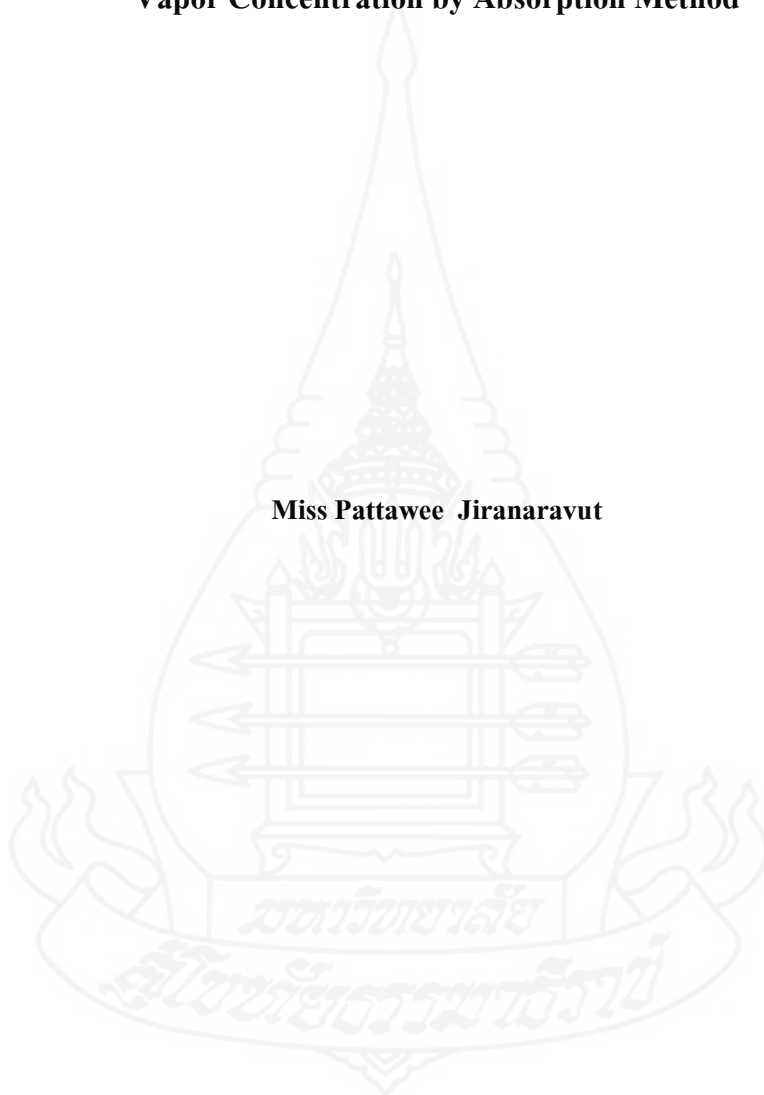


การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
วิชาเอกการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

พ.ศ. 2560

**Efficiency Comparison for Reducing Hydrochloric Acid  
Vapor Concentration by Absorption Method**

**Miss Pattawee Jiranaravut**



An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for  
the Degree of Master of Science in Industrial Environment Management

School of Health Science

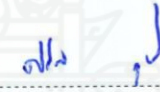
Sukhothai Thammathirat Open University

2017

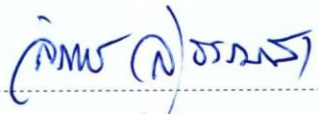
หัวข้อการศึกษาค้นคว้าอิสระ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของไอระเหย  
กรดไฮโดรคลอริกด้วยวิธีดูดซึม  
ชื่อและนามสกุล นางสาวปฐวี จิณรรากูฒิ  
วิชาเอก การจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม  
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช  
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีศักดิ์ สุนทรไชย

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้ ได้รับความเห็นชอบให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรระดับปริญญาโท เมื่อวันที่ 30 ตุลาคม 2560

คณะกรรมการสอบการศึกษาค้นคว้าอิสระ

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีศักดิ์ สุนทรไชย)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริรัตน์ สุวนิชย์เจริญ)

  
.....  
(รองศาสตราจารย์สุราษฎร์ สุธรรมมาสา)  
ประธานกรรมการประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ

**ชื่อการศึกษาค้นคว้าอิสระ** การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของไอระเหย

กรดไฮโดรคลอริกด้วยวิธีดูดซึม

**ผู้ศึกษา** นางสาวปฐวี จิรณราวุฒิ **รหัสนักศึกษา** 2575001108

**ปริญญา** วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม)

**อาจารย์ที่ปรึกษา** รองศาสตราจารย์ ดร.ศรัศกดิ์ สุนทรไชย **ปีการศึกษา** 2560

### บทคัดย่อ

เนื่องจากการขนถ่ายกรดไฮโดรคลอริกจากรถไปสู่อ่างเก็บ ทำให้ไอระเหยกรดไฮโดรคลอริกที่อยู่ภายในอ่างเก็บถูกขับออกมาสู่บรรยากาศ ก่อให้เกิดผลกระทบต่อพนักงานที่เกี่ยวข้องและชุมชนใกล้เคียง การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) สร้างระบบบำบัดไอระเหยกรดไฮโดรคลอริกด้วยวิธีการดูดซึม และ 2) เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดไอระเหยกรดไฮโดรคลอริกโดยการดูดซึมด้วยน้ำและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

การวิจัยนี้ได้ต่อท่อระบายกรดไฮโดรคลอริกจากอ่างเก็บเข้าสู่ระบบบำบัดกรดไฮโดรคลอริกที่สร้างขึ้น เพื่อให้ไอระเหยกรดไฮโดรคลอริกทำปฏิกิริยากับสารดูดซึม 2 ชนิดคือ น้ำ และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของสารดูดซึมแต่ละชนิดจะทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้น จึงวิเคราะห์ข้อมูลด้วยค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

ผลการศึกษา พบว่า 1) ถังระบบบำบัดที่ทำด้วยพลาสติกโพลีเอทิลีนสร้างขึ้นใช้หลักการดูดซึมกันระหว่างไอระเหยกรดไฮโดรคลอริกกับน้ำหรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งติดตั้งอยู่บนโครงสร้าง สแตนเลสขนาด 1.05 ตารางเมตร ความสูง : ความกว้าง เท่ากับ 3.5 เมตร X 1.5 เมตร และ 2) ระบบการดูดซึมไอระเหยกรดไฮโดรคลอริกที่สร้างขึ้นมาสามารถบำบัดไอระเหยกรดไฮโดรคลอริกได้ ระหว่างร้อยละ 9.80 - 61.39 ทั้งนี้ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะสามารถบำบัดไอระเหยกรดไฮโดรคลอริกได้เฉลี่ยร้อยละ 61.39 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าการใช้น้ำเป็นสารดูดซึมร้อยละ 34.90 เมื่อพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ จะพบว่า ระบบบำบัดโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะมีความคุ้มค่ามากกว่า เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการบำบัด คิดเป็น 676 บาทต่อไอระเหยกรดไฮโดรคลอริก 1 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ณ สภาวะมาตรฐานที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ) ถูกกว่าการใช้น้ำเป็นสารดูดซึม

**คำสำคัญ** ประสิทธิภาพ ระบบบำบัด กรดไฮโดรคลอริก โซเดียมไฮดรอกไซด์ วิธีดูดซึม

**Independent Study title:** Efficiency Comparison for Reducing Hydrochloric Acid Vapor Concentration by Absorption Method

**Author:** Miss.Pattawee Jiranaravut; **ID:** 2575001157;

**Degree:** Master of Science (Industrial Environment Management);

**Independent Study advisor:** Dr.Sarisak Soontornchai, Associate Professor;

**Academic year:** 2017

### Abstract

Upon transferring hydrochloric acid from a transport truck to a storage tank, the vapor of hydrochloric acid inside the storage tank would spread to the surroundings. This would affect related personnel and adjacent communities. The objectives of this research were: (1) to design and establish a disposal system of hydrochloric acid vapor using the absorption method; and (2) to compare the hydrochloric acid vapor absorption efficiencies of two vapor disposal systems using water and sodium hydroxide solution as absorbents.

This research was conducted by connecting a pipe to transfer hydrochloric acid from a storage tank to the hydrochloric acid absorption or disposal systems so that the acid vapor would react with two absorbents: water and sodium hydroxide solution. The efficiency of each absorbent was measured three times. Data were collected and then analyzed to determine means and standard deviation, and one-way analysis of variance.

The findings of this research revealed that: (1) the polyethylene disposal tank was designed and established for absorbing hydrochloric acid vapor with either water or sodium hydroxide as absorbents; the tank was placed on top of a stainless steel structure 3.5 meters tall and 1.5 meters wide (1.05 sq.m.); and (2) the erected absorption system could absorb 9.8% to 61.4% of the vapor. The sodium hydroxide solution was more efficient as it could absorb 61.4% of hydrochloric acid vapor, compared with only 34.9% for the water system. Economically, the sodium hydroxide system was more cost-effective as it cost only 676 baht per hydrochloric acid vapor of 1 mg/m<sup>3</sup> (at standard condition: 25°C and a pressure of 1 atmosphere), which was cheaper than that using water for absorption.

**Keywords:** Efficiency, Disposal system, Hydrochloric acid, Sodium hydroxide, Absorption method

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความอนุเคราะห์และคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีศักดิ์ สุนทรไชย และสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช นอกจากนี้ยังได้รับความกรุณาจากเจ้าหน้าที่ต่างๆ ของโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่งในจังหวัดปทุมธานีในการดำเนินงาน

ผู้วิจัยหวังว่า องค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ในการศึกษาค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติม รวมถึงเป็นแนวทางในการทำวิจัยให้กับผู้ที่สนใจต่อไป

ปฐวี จิรณราวุฒิ

กันยายน 2560



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญตาราง .....	ฅ
สารบัญภาพ .....	ญ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
วัตถุประสงค์การวิจัย .....	2
กรอบแนวคิดการวิจัย .....	2
ขอบเขตของการวิจัย .....	2
นิยามศัพท์เฉพาะ .....	3
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง .....	4
กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid; HCl) .....	4
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH) .....	12
หลักการควบคุมมลพิษทางอากาศชนิดก๊าซและไอโดยวิธีการดูดซึม .....	13
ชนิดของอุปกรณ์ระบบการดูดซึม .....	15
การนำสารที่ได้จากการดูดซึมมาใช้ใหม่ .....	24
หลักการออกแบบอุปกรณ์ระบบการดูดซึม .....	25
แนวคิดเกี่ยวกับการเลือกใช้อุปกรณ์ควบคุมมลพิษทางอากาศในอุตสาหกรรม .....	26
แนวคิดหลักการทำงานของระบบบำบัดอากาศเสีย (Air Pollution System) .....	28
มาตรฐานคุณภาพอากาศจากแหล่งกำเนิดอุตสาหกรรมทั่วไป .....	31
ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ที่ศึกษา .....	34
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	36
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	40

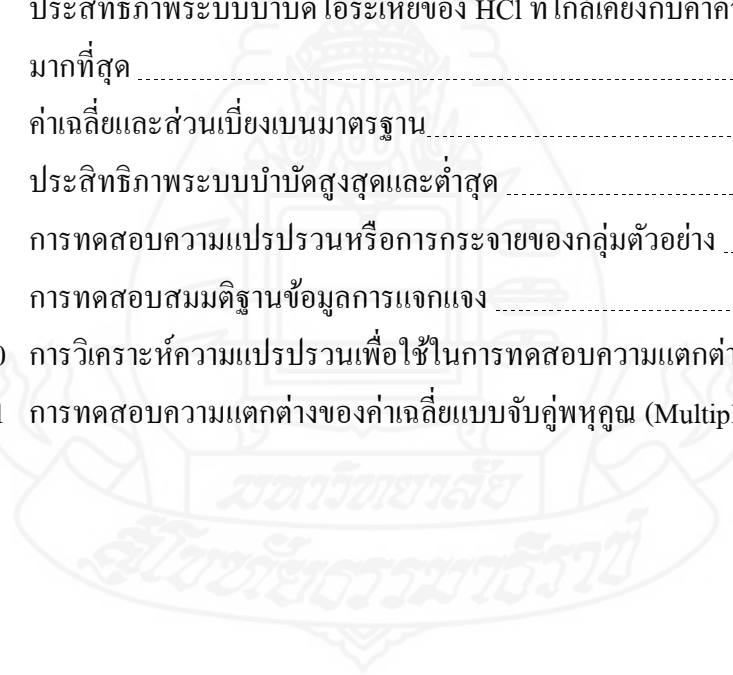
## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย .....	42
รูปแบบการวิจัย .....	42
วัสดุ/อุปกรณ์และเครื่องมือ .....	42
การเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง .....	43
วิธีการทดลอง .....	43
การเก็บตัวอย่างอากาศ .....	47
การวิเคราะห์ข้อมูล .....	47
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล .....	48
การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของไอระเหยกรดไฮโดรคลอริก ด้วยวิธีดูดซึม .....	48
การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบบำบัดในการลดความเข้มข้นไอระเหย HCl .....	57
ผลการตรวจวัด .....	62
การทดสอบสถิติเพื่อหาประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของไอระเหย HCl .....	68
บทที่ 5 สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ .....	77
สรุปการวิจัย .....	77
อภิปรายผล .....	79
ข้อเสนอแนะการสร้างระบบบำบัดไอระเหย HCl .....	81
บรรณานุกรม .....	83
ภาคผนวก .....	85
ก การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One way ANOVA) .....	86
ข ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพอากาศจากปล่องระบาย .....	90
ค เอกสารรับรองการสอบเทียบชุดเครื่องมือการเก็บตัวอย่าง .....	100
ประวัติผู้ศึกษา .....	108



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	อาการพิษเฉียบพลันและพิษเรื้อรังของ HCl ..... 8
ตารางที่ 2.2	LC <sub>50</sub> และ LD <sub>50</sub> ของ HCl ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ..... 9
ตารางที่ 2.3	ข้อดีและข้อด้อยของสกรับเบอร์ ..... 30
ตารางที่ 2.4	ค่ามาตรฐานการระบายสารมลพิษจากโรงงานอุตสาหกรรม ..... 32
ตารางที่ 2.5	กฎหมายและข้อเสนอแนะที่ใช้ควบคุมกรดไฮโดรคลอริกและไฮโดรเจนคลอ ..... 33
ตารางที่ 4.1	รายการวัตถุประสงค์และค่าแรงงานสร้างระบบบำบัดไอระเหย HCl ..... 51
ตารางที่ 4.2	แผนการดำเนินงานตรวจวัดคุณภาพอากาศจากปล่องระบาย ..... 57
ตารางที่ 4.3	ผลวิเคราะห์การตรวจวัดคุณภาพอากาศจากปล่องระบาย ..... 67
ตารางที่ 4.4	ประสิทธิภาพระบบบำบัดไอระเหยของ HCl ..... 68
ตารางที่ 4.5	ประสิทธิภาพระบบบำบัดไอระเหยของ HCl ที่ใกล้เคียงกับค่าความเป็นจริงมากที่สุด ..... 69
ตารางที่ 4.6	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ..... 71
ตารางที่ 4.7	ประสิทธิภาพระบบบำบัดสูงสุดและต่ำสุด ..... 72
ตารางที่ 4.8	การทดสอบความแปรปรวนหรือการกระจายของกลุ่มตัวอย่าง ..... 72
ตารางที่ 4.9	การทดสอบสมมติฐานข้อมูลการแจกแจง ..... 73
ตารางที่ 4.10	การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อใช้ในการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ..... 74
ตารางที่ 4.11	การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณ (Multiple Comparisons) ..... 75

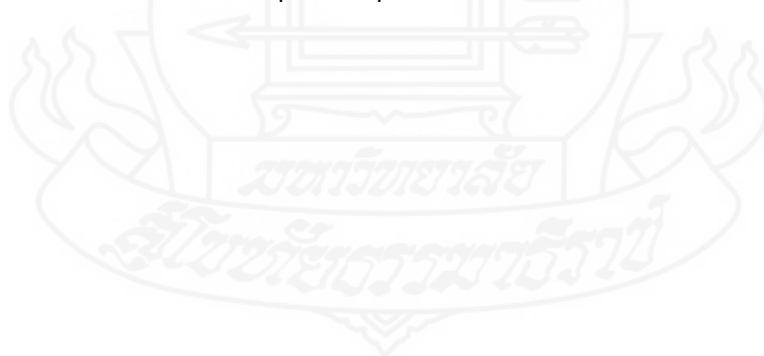


สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดการวิจัย .....	2
ภาพที่ 2.1 แพคเกจทาวเออร์ แบบไหลสวนทาง .....	15
ภาพที่ 2.2 แพคเกจทาวเออร์ แบบไหลผ่าน .....	16
ภาพที่ 2.3 วัสดุที่บรรจุในแพคเกจคอล์มน์ (ก) เบียร์ล แซคเคิล (ข) อินทาล็อกซ์ แซคเคิล (ค) แร่ซิงก์ ริง (ง) เลสซิ่ง ริง (จ) พอลล์ ริง (ฉ) เทอเลอเรต .....	17
ภาพที่ 2.4 การไหลของกระแสอากาศภายในเพลทคอล์มน์ .....	18
ภาพที่ 2.5 ฮอริซอนทอล สเปรย์แชมเบอร์ .....	19
ภาพที่ 2.6 ซิมเปิล เวอร์ติคอลล สเปรย์ทาวเออร์ .....	20
ภาพที่ 2.7 ไซโคไนคส์ สเปรย์ทาวเออร์ ฟิช แอนโทนีไทน์ .....	21
ภาพที่ 2.8 ไซโคไนคส์ สเปรย์ทาวเออร์ เอ็กซ์เทอร์นอล สเปรย์ .....	22
ภาพที่ 2.9 แบบเฟิลทาวเออร์ .....	23
ภาพที่ 2.10 เซ็นตริฟิวกัลป์ ก๊าซแอบซอบเบอร์ .....	24
ภาพที่ 2.11 ระบบควบคุมสารมลพิษในโรงงานอุตสาหกรรม .....	27
ภาพที่ 2.12 หลักการทำงานของระบบสครับเบอร์ .....	30
ภาพที่ 2.13 ผู้ควบคุมระบบบำบัดมลพิษประจำบริษัท .....	35
ภาพที่ 2.14 การใช้ทฤษฎีจลน์อธิบายปรากฏการณ์การระเหย .....	36
ภาพที่ 2.15 ทฤษฎีเชื้อ 2 ชั้น .....	38
ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างไอระเหย HCl .....	43
ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างไอระเหย HCl เมื่อไม่มีน้ำ .....	44
ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างไอระเหย HCl เมื่อมีน้ำ .....	45
ภาพที่ 3.4 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างไอระเหย HCl เมื่อมีสารละลาย NaOH .....	46
ภาพที่ 4.1 การเปิดวาล์วรถบรรทุกขนถ่าย HCl ลงแท็งก์พลาสติก PE .....	48
ภาพที่ 4.2 การไหลของ HCl ขณะขนถ่าย .....	49
ภาพที่ 4.3 รูปแบบการสร้างระบบบำบัดไอระเหย HCl .....	51
ภาพที่ 4.4 งานโครงสร้างแท็งก์ HCl .....	53
ภาพที่ 4.5 การติดตั้งงานระบบท่อ .....	54
ภาพที่ 4.6 การติดตั้งงานระบบวาล์วน้ำเข้า .....	55

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.7 การติดตั้งงานระบบวาล์วน้ำทิ้งส่งไปบำบัด .....	56
ภาพที่ 4.8 ไม่มีน้ำในถังระบบบำบัด .....	59
ภาพที่ 4.9 มีน้ำในถังระบบบำบัด .....	60
ภาพที่ 4.10 มีสารละลาย NaOH ในถังระบบบำบัดฯ .....	61
ภาพที่ 4.11 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อไม่มีน้ำ .....	62
ภาพที่ 4.12 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีน้ำ .....	63
ภาพที่ 4.13 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีสารละลาย NaOH .....	63
ภาพที่ 4.14 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อไม่มีน้ำ .....	64
ภาพที่ 4.15 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีน้ำ .....	64
ภาพที่ 4.16 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีสารละลาย NaOH .....	65
ภาพที่ 4.17 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อไม่มีน้ำ .....	65
ภาพที่ 4.18 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีน้ำ .....	66
ภาพที่ 4.19 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีสารละลาย NaOH .....	66
ภาพที่ 4.20 กราฟแสดงการทดสอบสมมติฐานข้อมูลการแจกแจง .....	73
ภาพที่ 4.21 กราฟแสดงการพล็อตจุดของกลุ่มค่าเฉลี่ยสารละลายต่างๆ .....	75



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กรดเกลือ หรือกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid; HCl) นี้ เป็นกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรมเหล็ก ชุบโลหะด้วยไฟฟ้า อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมน้ำมันและก๊าซ อุตสาหกรรมอาหาร เป็นส่วนประกอบในน้ำยาทำความสะอาดภายในครัวเรือน เช่น น้ำยาล้างห้องน้ำ เป็นต้น

ปัจจุบันอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่ผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ (Print Circuit Board; PCB) ใช้สารเคมี กรดไฮโดรคลอริกเป็นวัตถุดิบในขบวนการกัดทองแดงที่แผ่นบอร์ดในส่วนนอกเหนือวงจร โดยการกัดทองแดงที่ไม่ต้องการออกและการลอกฟิล์มที่อยู่บนบอร์ดก็จะได้ทองแดงที่ต้องการไว้ โดยการขนส่ง HCl ของโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่งในจังหวัดปทุมธานี จะใช้รถบรรทุกสารเคมีที่ได้รับอนุญาตตามกฎหมาย (ประกาศมติดังกล่าว) โดยเป็นแท็งก์ติดตึ๊งถาวรกับตัวรถ (Fixed Tank เพื่อนำมาขนถ่ายลงแท็งก์พลาสติกโพลีเอทิลีน (Polyethylene; PE) ซึ่งเป็นไปตามหลักความปลอดภัยในการจัดเก็บสารเคมีของสถานประกอบการ โดยขณะขนถ่าย HCl ดังกล่าว แท็งก์พลาสติก PE มีปริมาณ HCl เพิ่มขึ้นที่ละนิดทำให้เกิดความดันภายในแท็งก์และลักษณะเฉพาะของ HCl ซึ่งระเหยเป็นไอได้รวดเร็ว จึงพบว่าที่แท็งก์พลาสติก PE มีไอระเหยของ HCl จำนวนมากออกมาจากรูระบายที่ฝาถังฟุ้งกระจายออกสู่บรรยากาศสิ่งแวดล้อมส่งผลกระทบต่อชาวบ้านข้างเคียง ซึ่งเกิดปัญหาข้อร้องเรียนรวมถึงพนักงานที่เกี่ยวข้องเมื่อสัมผัสและสูดดมเข้าไปจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ

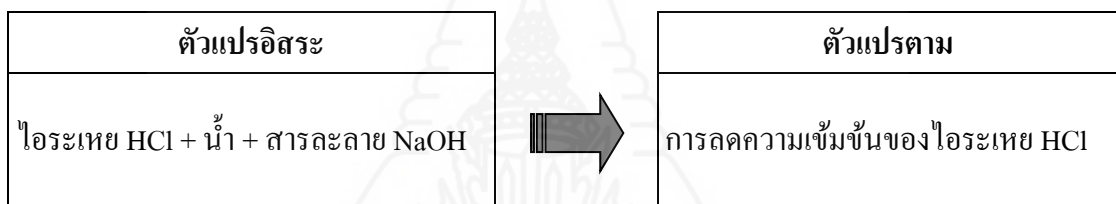
จากการศึกษาเพื่อตัดสินใจที่จะเลือกใช้อุปกรณ์ควบคุมมลพิษทางอากาศนั้นโดยทั่วไปจะพิจารณาความสามารถหรือประสิทธิภาพของอุปกรณ์ควบคุมว่า สามารถลดปริมาณสารมลพิษลงจากแหล่งกำเนิดก่อนปล่อยออกไปให้มีปริมาณสารพิษคงเหลืออยู่น้อยที่สุดหรือไม่เกินตามที่กฎหมายกำหนด โดยมีค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ควบคุมฯ รวมทั้งค่าติดตั้งและการดูแลบำรุงรักษาต่ำสุด ดังนั้นจึงควรมีการสร้างอุปกรณ์ควบคุมมลพิษทางอากาศระบบบำบัดไอระเหย HCl ขึ้น

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 สร้างระบบบำบัดไฮโดรเจนคลอไรด์ของโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่งในจังหวัดปทุมธานี

2.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบบำบัดในการลดความเข้มข้นไฮโดรเจนคลอไรด์เมื่อไม่มีน้ำ มีน้ำและมีสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH) ของโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่งในจังหวัดปทุมธานี

## 3. กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดการวิจัย

## 4. ขอบเขตของการวิจัย

4.1 ขอบเขตการศึกษา การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของไฮโดรเจนคลอไรด์ด้วยวิธีดูดซึม โรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่งในจังหวัดปทุมธานี

4.2 ขอบเขตเวลาที่ศึกษา เมษายน – กันยายน 2560

4.3 ขอบเขตสถานที่ศึกษา ณ จุดขนถ่าย HCl แท็งก์พลาสติก PE ของโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่งในจังหวัดปทุมธานี

## 5. นิยามศัพท์เฉพาะ

**5.1 ระบบบำบัดไอระเหย HCl** หมายถึง การต่อท่อ PVC อากาศเสียจากรูระบายที่ฝาแท็งก์พลาสติก PE ของ HCl เข้า (ท่อ Inlet) กับถังระบบบำบัด ขนาด 100 ลิตรที่สร้างขึ้น ซึ่งบรรจุน้ำหรือสารละลาย NaOH 75 ลิตร และเจาะรูด้านบนฝาดังจุดที่ 1 ซึ่งจุ่มปลายท่อดังกล่าวมีความลึกลงไปประมาณ 2 นิ้ว จากผิวของน้ำหรือสารละลาย NaOH จากนั้นจึงเจาะรูด้านบนฝาดังจุดที่ 2 สำหรับต่อท่อ PVC อากาศที่บำบัดแล้วออก (ท่อ Outlet) โดยที่ปลายท่อมีความลึกประมาณ 0.5 นิ้ว จากฝาดังของระบบบำบัดเพื่อให้ไอระเหย HCl ที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีดูดซึมแล้วระบายออกของโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่งในจังหวัดปทุมธานี

**5.2 ประสิทธิภาพของระบบบำบัดไอระเหย HCl** หมายถึง ความสามารถในการบำบัดไอระเหย HCl และลดค่าความเข้มข้น HCl ที่เกิดขึ้น ไม่ให้เกินมาตรฐานตามกฎหมายกำหนดโดยใช้น้ำและสารละลาย NaOH รวมทั้งใช้ทรัพยากร 4 M ที่มีอยู่อย่างคุ้มค่าของโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่งในจังหวัดปทุมธานี

**5.3 ไอระเหย HCl** หมายถึง ไอของ HCl ที่เกิดขึ้นขณะมีและไม่มีรถบรรทุกขนถ่ายลงแท็งก์พลาสติก PE ซึ่งฟุ้งกระจายออกมาจากรูระบายที่ฝาแท็งก์พลาสติก PE ของโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่งในจังหวัดปทุมธานี

**5.4 วิธีดูดซึม** หมายถึง เป็นกระบวนการถ่ายเทมวล ซึ่งใช้กำจัดไอระเหย HCl ที่เป็นก๊าซออกจากกระแสอากาศโดยให้สัมผัสกับน้ำหรือสารละลาย NaOH ของโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่งในจังหวัดปทุมธานี

## บทที่ 2

### วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้รวบรวมหลักการแนวคิด และทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาใช้ในการกำหนดกรอบแนวคิดในการศึกษาการสร้างระบบบำบัดไอระเหย HCl และการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบบำบัดในการลดความเข้มข้นของไอระเหย HCl เมื่อไม่มีน้ำ มีน้ำและมีสารละลาย NaOH ซึ่งมีประเด็นที่ศึกษาดังนี้

1. กรดไฮโดรคลอริก
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์
3. หลักการควบคุมมลพิษทางอากาศชนิดก๊าซและไอโดยวิธีการดูดซึม
4. ชนิดของอุปกรณ์ระบบการดูดซึม
5. การนำสารที่ได้จากการดูดซึมมาใช้ใหม่
6. หลักการออกแบบอุปกรณ์ระบบการดูดซึม
7. แนวคิดเกี่ยวกับการเลือกใช้อุปกรณ์ควบคุมมลพิษทางอากาศในอุตสาหกรรม
8. แนวคิดหลักการทำงานของระบบบำบัดอากาศเสีย
9. มาตรฐานคุณภาพอากาศจากแหล่งกำเนิดอุตสาหกรรมทั่วไป
10. ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ที่ศึกษา
11. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 1. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid; HCl)

HCl เป็นสารประกอบเคมีประเภทกรดละลายในน้ำโดยเป็นสารละลายไฮโดรเจนคลอไรด์ ในน้ำ มีสูตรเคมีคือ HCl มีคุณสมบัติเป็นได้ทั้งก๊าซและของเหลว HCl จัดเป็นกรดแก่ เนื่องจากมีความสามารถในการแตกตัวได้ 100 % ถ้าพบในรูปของเหลว เรียกว่ากรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) หรือกรดเกลือ ถ้ามีสถานะเป็นก๊าซ เรียกว่าไฮโดรเจนคลอไรด์ (Hydrogen chloride) กรดเกลือเป็นสารที่ไม่มีสี มีกลิ่นฉุน มีฤทธิ์ผุกร่อนอย่างรุนแรง

## 1.1 ประเภทการจำแนก HCl ตามข้อกำหนดขององค์การสหประชาชาติ

HCl หรือกรดเกลือ เป็นสารประกอบเคมีประเภทกรดที่ได้จากการละลายของก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์ในน้ำ เป็นของเหลวใส ไม่มีสีหรือมีสีเหลืองอ่อน มีกลิ่นฉุน HCl ถูกจัดจำแนกตามข้อกำหนดขององค์การสหประชาชาติให้เป็นวัตถุอันตรายประเภทที่ 2 คือ ก๊าซ โดยเป็นก๊าซพิษ (Toxic Gas) และยังจัดอยู่ในกลุ่มวัตถุอันตรายประเภทที่ 8 สารกัดกร่อน

**1.1.1 UN Number** 1789

**1.1.2 Chemical Abstracts Service Registry Number (CAS)** 7647-01-0

**1.1.3 ข้อมูลเกี่ยวกับส่วนผสม** HCl 35%

## 1.2 ความเป็นพิษของ HCl ที่มีต่อร่างกาย

**1.2.1 ระบบทางเดินหายใจ HCl** ก่อให้เกิดการระคายเคืองเยื่อจมูก ลำคอ และเยื่อทางเดินหายใจ อาการจะเริ่มเกิดขึ้นเมื่อสูดดมเข้าไปในปริมาณ 35 ส่วนในล้าน หากได้รับเข้าไป 50-100 ส่วนในล้าน อาการจะรุนแรงจนทนไม่ได้ ผลที่เกิดขึ้นกับเยื่อทางเดินหายใจส่วนบน เมื่อได้รับ HCl ในปริมาณมาก อาจทำให้เนื้อเยื่อวมอย่างมาก จนเกิดการอุดตันทางเดินหายใจ ผู้ที่ได้รับพิษขั้นรุนแรงจะมีอาการหายใจหอบ หายใจไม่ทัน เนื่องจากภาวะอุดกั้นหลอดลมขนาดเล็ก บางรายอาจเกิดภาวะปอดบวมน้ำซึ่งเป็นอันตรายอย่างมาก ระบบหายใจอาจล้มเหลว ทำให้เสียชีวิตได้ สำหรับในเด็ก อาจเกิดอาการคล้ายหอบหืด ซึ่งจะเป็นอยู่นานหลายเดือน และไม่ตอบสนองต่อการรักษาด้วยยาขยายหลอดลม

**1.2.2 สมดุลกรด-ด่างของร่างกาย** อาจเกิดขึ้นได้จากการได้รับพิษทางระบบทางเดินอาหาร เนื่องจากคลอไรด์ไอออนเพิ่มสูงขึ้น ในเด็กที่มีอัตราการเผาผลาญในร่างกายสูงจะได้รับผลกระทบมากกว่าปกติ ถึงขั้นเป็นอันตรายต่อชีวิตได้

**1.2.3 ผิวหนัง** แผลที่ผิวหนังเป็นลักษณะแผลลึก คล้ายแผลไฟไหม้ น้ำร้อนลวก อาจเกิดแผลที่เยื่อซึ่งเป็นเนื้อเยื่ออ่อนได้เช่นกัน การได้รับพิษโดยการสัมผัส HCl เข้มข้น จะทำให้เกิดแผลเป็นขนาดใหญ่และลึก หากสัมผัสสารละลายที่เจือจาง ก็จะทำให้เกิดเป็นผื่นผิวหนังอักเสบและระคายเคือง ในเด็กจะพบปัญหาที่ผิวหนังมากกว่าผู้ใหญ่

**1.2.4 พิษต่อตา** ฤทธิ์ของ HCl ทำให้เซลล์กระจกตาเกิดการตาย เลนส์ตาเกิดเป็นต่อกระจก และความดันภายในลูกตาเพิ่มขึ้นจนกลายเป็นต้อหินได้ กรณีที่สัมผัสกับสารละลายที่เจือจาง จะเกิดแผลที่กระจกตาด้านนอก อาจทำให้เกิดแผลไหม้อย่างรุนแรง และก่อให้เกิดทำลายตาอย่างถาวรได้

**1.2.5 ระบบทางเดินอาหาร** ก่อให้เกิดอาการปวดท้องรุนแรง กลืนลำบาก คลื่นไส้ อาเจียน การได้รับพิษโดยการกิน HCl เข้มข้น จะทำให้เกิดการหลุดลอกของเยื่อหลอดอาหารและ



กระเพาะอาหาร เกิดเป็นแผลภายใน มีเลือดออก แผลอาจทะลุได้

**1.2.6 ระบบหัวใจและหลอดเลือด** เกิดขึ้นเมื่อได้รับพิษจากการกินเข้าไป หรือสัมผัสในปริมาณสูง HCl ทำให้ความดันโลหิตลดต่ำลง เกิดภาวะเลือดออกในทางเดินอาหาร และระบบสมดุมน้ำและของเหลวในร่างกายเสียไป การทำหน้าที่ของปอดจะกลับมาเป็นปกติหลังจากได้รับพิษ 7-14 วัน

นอกจากนี้ยังพบว่า HCl เป็นสารละลายของก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์ (Hydrogen chloride) โดยทั้งกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) และก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์ (Hydrogen chloride) มีฤทธิ์กัดกร่อนสูง

### 1.3 การเข้าสู่สิ่งแวดล้อมของ HCl

**1.3.1 การผลิตสารประกอบของ HCl** รวมทั้งการผสมปรุงแต่งผลิตภัณฑ์และการแบ่งบรรจุ โรงงานที่ไม่มีมาตรการควบคุมไอก๊าซที่ดี จะทำให้ HCl ฟู่งกระจายเข้าสู่บรรยากาศและถ้าโรงงานไม่มีระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพดีพอจะทำให้ HCl ในน้ำทิ้งจากโรงงานปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติได้

**1.3.2 การเก็บรักษาและการขนส่ง** ซึ่งเกิดจากอุบัติเหตุ การหกหรือรั่วไหล

**1.3.3 การใช้ HCl** ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในทางอุตสาหกรรมและห้องปฏิบัติการ ซึ่งอาจปนเปื้อนในน้ำเสีย ถ้าโรงงานและห้องปฏิบัติการนั้นมีระบบบำบัดน้ำเสียที่ไม่มีประสิทธิภาพในการกำจัด HCl จะทำให้ HCl ปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติและตะกอนดิน

**1.3.4 การเข้าสู่สิ่งแวดล้อมของ HCl** ยังเกิดได้โดยธรรมชาติคือการระเบิดของภูเขาไฟ

### 1.4 ความเข้มข้นของ HCl ในสิ่งแวดล้อม (Concentrations)

**1.4.1 การสูญเสียและการคงสภาพ (Loss and persistence)** HCl เป็นสารอนินทรีย์ซึ่งไม่ถูกย่อยสลายโดยชีวภาพ

**1.4.2 ความเข้มข้น (Concentrations)** ไม่พบข้อมูลความเข้มข้นของ HCl ในสิ่งแวดล้อม

**1.4.3 การรับสารของมนุษย์ (Human intake)** ประชาชนมีโอกาสได้รับ HCl ได้น้อยมาก ประชาชนกลุ่มเสี่ยง ได้แก่ คนงานที่ทำงานในโรงงานผลิตหรือนำ HCl ไปใช้ผลิตสินค้าอื่นและบุคลากรในห้องปฏิบัติการ

### 1.5 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงของ HCl ในสิ่งแวดล้อม (Environmental fate tests)

**1.5.1 การย่อยสลายโดยชีวภาพและการเปลี่ยนรูปโดยชีวภาพ (Biodegradation and biotransformation)** HCl เป็นสารอนินทรีย์จึงไม่ถูกย่อยสลายโดยชีวภาพและไม่พบข้อมูลดังกล่าว

**1.5.2 การย่อยสลายโดยแสง (Photodegradation)** ไม่พบข้อมูลการย่อยสลาย HCl โดยแสง

**1.5.3 การแตกสลายด้วยน้ำ (Hydrolysis)** HCl ที่ปนเปื้อนในน้ำสามารถแตกตัวเป็นไฮโดรเจนไอออนและคลอไรด์ไอออน ซึ่งสามารถรวมตัวกับอนุภาคแขวนลอยในน้ำที่มีไอออนบวกได้

**1.5.4 การรวมตัว (Sorption)** HCl ที่ปนเปื้อนในดินชั้นบนสามารถแตกตัวเป็นไฮโดรเจนไอออนและคลอไรด์ไอออน ซึ่งรวมตัวได้กับไอออนบวกในดิน จึงเคลื่อนตัวในดินได้น้อยมาก อย่างไรก็ตามในสภาวะที่มีน้ำท่วมหรือน้ำไหลผ่านไอออนทั้งสองจะถูกชะออกจากดินได้ เนื่องจากละลายน้ำได้ดี

**1.5.5 การกลายเป็นไอ (Evaporation)** HCl เป็นสารอนินทรีย์และละลายน้ำดีมาก ดังนั้น HCl ที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำจึงระเหยกลายเป็นไอได้น้อยมาก

**1.5.6 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation)** ไม่พบข้อมูลการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ HCl

**1.5.7 การศึกษารูปแบบทางระบบนิเวศ (Model ecosystem studies)** ไม่พบข้อมูลการศึกษารูปแบบทางระบบนิเวศของ HCl

## 1.6 การเปลี่ยนแปลงของ HCl ในสิ่งแวดล้อม (Environmental fate)

**1.6.1 ไม่พบข้อมูลการเปลี่ยนแปลงในสิ่งแวดล้อมและการสะสมของ HCl ในสิ่งมีชีวิต**

### 1.7 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของ HCl ในสิ่งมีชีวิต (Chemobiokinetics)

**1.7.1 การดูดซึม (Absorption)** HCl จะถูกดูดซึมได้ในปริมาณจำกัดและเป็นอันตรายกับเนื้อเยื่อเฉพาะบริเวณนั้นๆ เมื่อได้รับโดยการสูดดม การดูดซึมจะเกิดขึ้นมากที่บริเวณทางเดินหายใจส่วนบน และมีบางส่วนแพร่กระจายลงไปที่ปอด การได้รับ HCl โดยการกินการดูดซึมจะเกิดขึ้นคล้ายกับการดูดซึมของน้ำย่อยในกระเพาะอาหาร (IPCS 1982) รายงานผลการศึกษาของ Nagao และคณะ (1972) ศึกษาการดูดซึม HCl ผ่านทางผิวหนัง กรณีที่ผิวหนังปกคลุมด้วยเหงื่อมากๆ โดยใช้ HCl ความเข้มข้น 1 N หยดลงบนผิวหนัง ปรากฏว่าหลังจากนั้น 15-180 นาที พบการระคายเคืองที่ผิวหนังและอาจทำให้เกิดผิวหนังไหม้ได้

**1.7.2 การแพร่กระจาย (Distribution)** Darmer และคณะ (1974) ทำการศึกษาในหนู Rat และหนู Mouse ที่ได้รับ HCl ในรูปของก๊าซและเป็นละออง พบว่ามีการแพร่กระจายไปยังต่อทางเดินหายใจส่วนบนและเยื่อตาเป็นเป้าหมายแรก สอดคล้องกับรายงานของ Barrow และคณะ (1979) ที่ใช้ HCl ความเข้มข้นระหว่าง 29.8 - 29,800 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร (20-20,000 ppm) ให้กับหนู

Fischer 344 rats พบว่ามีการแพร่กระจายไปยังท่อทางเดินหายใจส่วนบนและบริเวณลูกตาเป็นส่วนใหญ่ และยังสามารถพบการกระจายไปที่ปอด ลำไส้ ผิวหนัง ลูกอ้นตะ ตับ และไตได้ด้วย

**1.7.3 การสะสมในร่างกาย (Bioconcentration)** นอกจากพบการแพร่กระจายของ HCl ไปยังอวัยวะต่างๆ ดังหัวข้อ 1.7.2 แล้วยังพบว่าในระยะยาวมีการสะสมที่บริเวณพิน โดยเฉพาะส่วนหน้าของพินตัดและก่อให้เกิดการกร่อนและพินถูกทำลายตามมา (IPCS 1982)

**1.7.4 เมแทบอลิซึม (Metabolism)** HCl มีความสามารถในการละลายน้ำได้สูง Hydrogen ions จะเข้าจับกับโมเลกุลของน้ำแตกตัวเป็น Hydronium ions และ Chloride ions แล้วเข้าสู่กระบวนการแลกเปลี่ยน ions ตามปกติของร่างกาย

**1.7.5 การขับออกจากร่างกาย (Excretion)** IARC (1992) รายงานว่า อาสาสมัครที่ได้รับ HCl ความเข้มข้น 50 มิลลิโมล/วัน ติดต่อกัน 4 วัน โดยการกิน พบว่าระดับยูเรียในเลือดและปัสสาวะลดลงแต่จะพบแอมโมเนียขับออกทางปัสสาวะเพิ่มขึ้น และเมื่อให้ HCl ความเข้มข้น 50 มิลลิโมล/กิโลกรัม/ชั่วโมงฉีดเข้าทางเส้นเลือดของหนู Rat และความเข้มข้น 20 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/ชั่วโมงฉีดเข้าทางเส้นเลือดของสุนัข พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของ Chloride ions ในปัสสาวะของสัตว์ทั้งสองชนิด

## 1.8 ผลต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Mammalian toxicity)

พิษเฉียบพลันของ HCl ในมนุษย์เกิดได้จากการได้รับสารโดยการสูดดม การกิน และการสัมผัสทางผิวหนัง ซึ่งส่วนใหญ่ทำให้เกิดการอักเสบของอวัยวะที่ได้รับสาร ดังแสดงในตารางที่ 2.1 อาการพิษเฉียบพลันและพิษเรื้อรังของ HCl

ตารางที่ 2.1 อาการพิษเฉียบพลันและพิษเรื้อรังของ HCl

วิธีการได้รับสาร	เฉียบพลัน	เรื้อรัง
การสูดดม	ไอ เสี่ยงแหบ ระบบทางเดินหายใจ อักเสบ ปวดหน้าอก น้ำท่วมปอด	หลอดลมอักเสบเรื้อรัง เยื่อทางเดินหายใจหนาขึ้น
การกิน	คลื่นไส้ อาเจียน ท้องเสีย	พินเปลี่ยนสีและฟู กระเพาะอาหารอักเสบ
สัมผัสทางผิวหนัง	รอยไหม้ แผลเปื่อย (ulceration)	ผิวหนังอักเสบ

HCl มีพิษเฉียบพลันระดับปานกลางในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม LD<sub>50</sub> โดยการกิน ในกระต่ายมีค่า 900 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว และ LC<sub>50</sub> โดยการสูดดมที่ 1 ชั่วโมง มีค่าระหว่าง 1,108-3,124 ส่วนในล้านส่วน LC<sub>50</sub> และ LD<sub>50</sub> ของ HCl ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมแสดงในตารางที่ 2.2 LC<sub>50</sub> และ LD<sub>50</sub> ของ HCl ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

ตารางที่ 2.2 LC<sub>50</sub> และ LD<sub>50</sub> ของ HCl ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

สปีชีส์	LC <sub>50</sub> / LD <sub>50</sub>	เอกสารอ้างอิง
โดยการได้รับทางปาก	(มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว)	
กระต่าย	900	Lewis (1996)
โดยการฉีดเข้าช่องท้อง	(มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว)	
หนู Mouse	1,449	Lewis (1996)
โดยการสูดดม	(ส่วนในล้านส่วน, ที่ 1 ชั่วโมง)	
หนู Rat	3,124	Toxnet (2002)
หนู Mouse	1,108	Lewis (1996)

ที่มา: สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ (2551)

## 1.9 การศึกษาความเป็นพิษเฉพาะด้าน (Special toxicity studies)

**1.9.1 ปฏิกริยาทางชีวเคมี (Biochemical interactions)** การได้รับ HCl ทำให้เกิดสภาวะเป็นกรด (Acidosis) ในร่างกาย HCl ในร่างกายสามารถแตกตัวได้ไฮโดรเจนไอออน และคลอไรด์ไอออน ไฮโดรเจนไอออนทำปฏิกริยากับน้ำได้ไฮโดรเนียมไอออน (Hydronium ion) ซึ่งสามารถทำปฏิกริยากับสารอินทรีย์ในร่างกายได้ และเป็นสาเหตุทำให้เซลล์ตายได้

**1.9.2 การเป็นสารก่อมะเร็ง (Carcinogenicity)** ไม่มีข้อมูลการเกิดมะเร็งของ HCl ในมนุษย์และสัตว์ทดลอง International Agency for Research on Cancer จึงจัดให้ HCl เป็นสารในกลุ่ม 3 คือ ไม่เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (IARC 2002)

**1.9.3 การเป็นสารก่อเกิดการกลายพันธุ์ (Mutagenicity)** HCl ไม่เป็นสารก่อเกิดการกลายพันธุ์ในการทดลองที่ใช้แบคทีเรีย Escherichia coli แต่เป็นสารก่อเกิดการกลายพันธุ์ในการทดลองที่ใช้เซลล์หนู Mouse lymphoma L5178Y (IARC 1992)

**1.9.4 การเสริมพิษ/การต่อต้านพิษ (Potentiation/antagonism)** ไม่พบข้อมูลการเสริมพิษ/การต่อต้านพิษของ HCl

**1.9.5 ความเป็นพิษต่อระบบประสาท (Neurotoxicity)** ไม่พบข้อมูลความเป็นพิษต่อระบบประสาทของ HCl

**1.9.6 การระคายเคืองเบื้องต้น (Primary irritation)** HCl มีฤทธิ์กัดกร่อนผิวหนังตา และเยื่อหู ทำให้เกิดแผลไหม้และแผลเปื่อยได้

**1.9.7 ผลต่อการพัฒนาของตัวอ่อน (Embryotropic action)** ไม่พบข้อมูลผลต่อการพัฒนาของตัวอ่อนของ HCl

**1.9.8 ความเป็นพิษต่อภูมิคุ้มกัน (Immunotoxicity)** ไม่พบข้อมูลความเป็นพิษต่อภูมิคุ้มกันของ HCl

**1.9.9 ความผิดปกติต่อการสืบพันธุ์ (Reproduction)** ไม่พบข้อมูลความผิดปกติต่อการสืบพันธุ์ของ HCl

**1.9.10 ความผิดปกติที่เกิดในทารก (Teratogenicity)** ไม่พบข้อมูลความผิดปกติที่เกิดในทารกของ HCl

**1.9.11 พฤติกรรม (Behavior)** ไม่พบข้อมูลผลต่อพฤติกรรมของ HCl

## 1.10 ผลต่อสิ่งมีชีวิตในสิ่งแวดล้อม (Effects on organisms in the environment)

**1.10.1 สิ่งมีชีวิตในน้ำ (Aquatic)** ไม่พบข้อมูลผลของ HCl ต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

**1.10.2 สิ่งมีชีวิตบนบก (Terrestrial)** ไม่พบข้อมูลผลของ HCl ต่อสิ่งมีชีวิตบนบก

## 1.11 การหกกรด (Spills)

### 1.11.1 การหกกรด

1) ให้ออกกั้นแยกบริเวณที่มีการหกกรดของ HCl อย่างน้อย 25-50 เมตรโดยรอบทันที ให้ออกกั้นไม่ให้บุคคลที่ไม่เกี่ยวข้องออกไปจากบริเวณ กรณีที่มีการหกกรดมาก ให้อพยพผู้ที่อยู่ใกล้เคียงออกอย่างน้อย 100 เมตร

2) ห้ามแตะต้องภาชนะบรรจุที่ได้รับเสียหายหรือ HCl ที่หกกรด โดยไม่ได้ใส่ชุดป้องกัน และถ้าไม่เสี่ยงที่จะได้รับอันตรายให้รีบหยุดการหกกรด

3) ป้องกันไม่ให้ HCl ไหลลงสู่แหล่งน้ำ ท่อระบายน้ำ ชั้นใต้ดินหรือบริเวณที่อับอากาศ

4) ดูดซับ HCl ที่หกกรดด้วย ดิน ทราย และสารดูดซับอื่นที่ไม่ติดไฟ และเก็บในภาชนะปิดเพื่อดำเนินการจัดการต่อไป

## 1.12 การเกิดอัคคีภัยหรือระเบิด

**1.12.1** เมื่อ HCl ได้รับความร้อนสูงหรือเมื่อไหม้ไฟจะสลายตัวให้ควันที่มีฤทธิ์กัดกร่อน ทำให้เกิดการระคายเคือง และเป็นพิษ ในการดับเพลิงให้สวมชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีที่ปิดมิดชิดทั้งตัวพร้อมเครื่องช่วยหายใจชนิดมีถังอากาศในตัว

**1.12.2** กรณีเกิดเพลิงไหม้เล็กน้อย ใช้ผงเคมีแห้ง ทรายแห้ง หรือน้ำปริมาณมากๆ ถ้าไม่เสี่ยงต่ออันตรายให้เคลื่อนย้ายภาชนะบรรจุหรือหีบห่อที่ไม่เสียหายออกจากบริเวณที่เกิดเพลิงไหม้ กรณีเกิดเพลิงไหม้รุนแรง ใช้น้ำปริมาณมากๆ ในการดับไฟ ขณะเดียวกันใช้น้ำฉีดพ่นเพื่อคลุมไอระเหย

**1.12.3** กรณีเกิดเพลิงไหม้ภาชนะบรรจุขนาดใหญ่ รวมถึงภาชนะขนส่งทางรถไฟ และรถยนต์ ให้อพยพผู้คนห่างออกไปอย่างน้อย 800 เมตร โดยรอบพื้นที่ ห้ามอยู่บริเวณหัวหรือท้ายของท่อหรือภาชนะบรรจุเพราะภาชนะบรรจุอาจจะระเบิดเมื่อได้รับความร้อนสูง ให้ดับเพลิงในระยะไกล หรือใช้สายฉีดน้ำชนิดที่ไม่ต้องใช้น้ำแรงดันหรือใช้หัวฉีดที่มีระบบควบคุม ถ้าได้ยินเสียงจากอุปกรณ์ระบายไอหรือเมื่อภาชนะบรรจุเปลี่ยนสีให้ออกจากบริเวณนั้นทันทีเพราะอาจเกิดระเบิดได้

**1.12.4** หลีกเลี่ยงภาชนะบรรจุด้วยน้ำปริมาณมากๆ หลังจากที่ได้ดับไฟได้แล้ว

**1.12.5** น้ำจากการดับเพลิงมีฤทธิ์กัดกร่อนอาจเป็นพิษ และก่อให้เกิดปัญหาน้ำเสียได้

## 1.13 การบำบัดเมื่อเกิดพิษ (Treatment of poisoning)

### 1.13.1 การปฐมพยาบาล

- 1) นำผู้ป่วยไปบริเวณที่มีอากาศบริสุทธิ์ ถอดเสื้อผ้าและรองเท้าที่เปื้อน HCl ออกทันที
- 2) ถ้าสัมผัส HCl เพียงเล็กน้อยให้รีบล้างสารออกทันทีโดยให้น้ำไหลผ่านอย่างน้อย 15 นาที
- 3) ถ้าผู้ป่วยหยุดหายใจหรือหายใจลำบากให้ใช้เครื่องช่วยหายใจและให้ออกซิเจน
- 4) พยายามช่วยผู้ป่วยโดยให้ความอบอุ่นและให้นอนนิ่งๆ

## 1.14 การจัดการกากของเสีย (Waste management)

วิธีการกากของเสีย HCl ที่ International Register of Potentially Toxic Chemicals แนะนำคือ การทำให้เป็นกลางโดยค่อยๆ ริน HCl ลงในสารละลายแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) โซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) หรือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) พร้อมทั้งคนตลอดเวลาแล้วจึงเทสารละลายที่ได้ทิ้ง พร้อมทั้งรดน้ำตามมากๆ (IRPTC 1985)

## 2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH)

NaOH เป็นสารประกอบชนิดหนึ่งที่มีฤทธิ์ในการกัดกร่อน เนื่องจากเป็นเบสแก่ ดูดความชื้นได้ดีมาก เมื่อเอาออกจากภาชนะบรรจุ ตั้งทิ้งไว้ จะกลายเป็นของเหลว เพราะถูกเจือจางด้วยความชื้น ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมการทำสบู่ ผงซักฟอก เยื่อและกระดาษ การทำความสะอาด โรงกลั่นน้ำมัน การใช้งานทาง อุตสาหกรรมโลหะ และอุตสาหกรรมอาหาร สิ่งทอ

### 2.1 UN Number 1823

### 2.2 สูตรเคมี NaOH

### 2.3 ข้อมูลเกี่ยวกับส่วนผสม NaOH 98%

2.4 การละลาย สามารถละลายในน้ำ เอทานอล และเมทานอล เนื่องจากเป็นตัวทำละลายที่มีขั้ว แต่ไม่สามารถละลายได้ในอีเทอร์ หรือตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว

### 2.5 ลักษณะทางกายภาพ เป็นของแข็งสีขาว

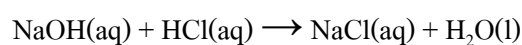
2.6 การใช้ประโยชน์ การใช้แก้ปัญหาท่ออุดตัน ควรใส่โซดาไฟในภาชนะก่อนแล้วค่อยๆ เติมน้ำแล้วคนให้ละลายให้หมดก่อนที่จะนำไปเทลงท่อระบายน้ำ เพื่อป้องกันไม่ให้โซดาไฟไปเกาะผนังท่อ ซึ่งจะทำให้อุดตันเพิ่มขึ้น เหมาะกับการอุดตันที่เกิดจากคราบไขมัน คราบสบู่ และคราบผงซักฟอก

2.7 ข้อควรระวังในการใช้ หากเตรียมในความเข้มข้นสูงๆ ห้ามเตรียมในภาชนะพลาสติก เนื่องจากความร้อนที่เกิดจากการละลายด้วยน้ำจะทำให้พลาสติกละลายได้ โซดาไฟ สามารถทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกายได้อย่างเฉียบพลัน ถ้าสูดดมฝุ่นควันของสารเข้าไปจะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ อาจเกิดปอดอักเสบ น้ำท่วมปอดได้ หากเข้าตาอาจระคายเคืองจนถึงตาบอดได้ หากถูกผิวหนังจะทำให้เกิดการไหม้จนเป็นแผลลึก หากรับประทานเข้าไปจะเกิดการไหม้ในปาก ลำคอ ทางเดินอาหาร คลื่นไส้ อาเจียน ท้องเสีย หมดสติ จนถึงเสียชีวิตได้ ซึ่งการรับประทานเข้าไปจะพัฒนากลายเป็นมะเร็งได้อีกประมาณ 12-42 ปี หลังจากรับประทานเข้าไป

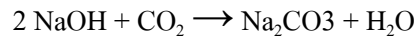
### 2.8 การเก็บรักษา ควรเก็บในภาชนะที่ปิดสนิท ไม่ให้โดนอากาศ

#### 2.8.1 ตัวอย่างการเกิดปฏิกิริยา

1) ทำปฏิกิริยากับกรด ได้เกลือกับน้ำ ดังสมการ



2) ทำปฏิกิริยากับออกไซด์ของกรด (ใช้ประโยชน์ในการจับก๊าซที่เป็นกรด เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ หรือซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จากกระบวนการผลิต ก่อนปล่อยสู่บรรยากาศ) ดังสมการ



3) การแยกสลายด้วยไฟฟ้า (Electrolysis) ในการหลอมเหลวโซดาไฟ จะได้ โลหะโซเดียม ก๊าซออกซิเจน และน้ำ ดังสมการ



### 3. หลักการควบคุมมลพิษทางอากาศชนิดก๊าซและไอโดยวิธีการดูดซึม

การดูดซึม (Absorption) เป็นกระบวนการทางวิศวกรรมเคมีซึ่งใช้หลักการถ่ายโอนมวลสาร (Mass Transfer) ระหว่างก๊าซ (หรือไอ) ซึ่งมีความสามารถในการละลาย (Soluble Gas) กับ สารละลายที่เป็นของเหลว (Solvent Liquid) โดยทำให้กระบวนการนี้เกิดขึ้นในเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่จัดให้มีการสัมผัสกันระหว่างก๊าซมลพิษและสารละลายดังกล่าว แรงผลักดัน (Driving Force) ที่ใช้ในการผลักดันก๊าซมลพิษที่ต้องการกำจัดออกมาจากอากาศเสีย (Emission) ที่ถูกปล่อยออกมาจากกระบวนการไปสู่สารละลาย ได้แก่ ความแตกต่างของความดันย่อย (Partial Pressure) ของก๊าซชนิดนั้นๆ ในอากาศเสียที่ถูกปล่อยออกมากับความดันไอ (Vapor Pressure) ของก๊าซชนิดดังกล่าวที่ผิวหน้าของสารละลายที่สัมผัสกับก๊าซนั้น การดูดซึมจะเกิดขึ้นเมื่อแรงผลักดันเป็นบวก ถ้าแรงผลักดันเป็นลบจะไม่มีการดูดซึมเกิดขึ้น สิ่งที่เกิดขึ้นคือกระบวนการที่ตรงกันข้ามกับการดูดซึมนั้นคือดีซอร์ปชัน (Desorption) หรือ สตรีปปิง (Stripping) ซึ่งใช้ในการกำจัดสารมลพิษที่ปะปนอยู่ในน้ำเสีย (Wastewater) ออกสู่อากาศนั่นเอง

ระบบดูดซึมแบ่งออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ แบบที่ใช้น้ำเป็นสารละลาย และแบบที่ใช้สารละลายอินทรีย์ที่มีค่าการระเหยต่ำ (Low Volatility) เป็นสารละลาย ดังนี้

#### 3.1 ระบบที่ใช้น้ำ (Aqueous Systems)

ในระบบที่ใช้น้ำเป็นสารละลายนี้ ก๊าซที่ต้องการกำจัดออกไปจะต้องมีความสามารถในการละลาย (Solubility) ในน้ำที่เพียงพอ คุณสมบัติของกระแสก๊าซที่ถูกปล่อยออกมาจากกระบวนการผลิต สำหรับก๊าซที่มีความสามารถในการละลายในน้ำต่ำ เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) หรือไอของเบนซีน (Benzene Vapors) จะต้องใช้น้ำในการบำบัดเป็นจำนวนมาก จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้น้ำ



ในการบำบัด ก๊าซที่เหมาะสมสำหรับใช้น้ำในการบำบัด ได้แก่ ก๊าซไฮโดรคลอริก (Hydrochloric) และก๊าซไฮโดรฟลูออริก (Hydrofluoric) เป็นต้น และถ้าใช้น้ำที่มีค่า (pH) สูง หรือมีความเป็นด่างก็จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซที่มีคุณสมบัติเป็นกรดให้สูงขึ้นได้ เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซคลอรีน ( $Cl_2$ ) หรือก๊าซไข่เน่า ( $H_2S$ ) เป็นต้น บางครั้งจึงมีการใช้น้ำจากแหล่งน้ำที่มีค่าพีเอชสูง หรือทำการเติมสารที่มีความเป็นด่างลงในน้ำเพื่อเพิ่มค่าพีเอชของน้ำให้สูงขึ้น เช่น การเติมโซดาไฟ (NaOH) หรือปูนขาว (Lime) เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วจะใช้น้ำเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ที่มีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดีเท่านั้น

### 3.2 ระบบที่ไม่ใช้น้ำ (Nonaqueous Systems)

ในระบบนี้จะใช้ของเหลวที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น ไดเมทิลอานาลีน (Dimethylalanine) และเอมีน (Amines) แทนน้ำ ข้อจำกัดของของเหลวหรือสารละลายเหล่านี้คือสามารถที่จะใช้ได้เฉพาะกับสารมลพิษที่เป็นก๊าซล้วนๆ ไม่มีอนุภาคเจือปน เพราะถ้ามีอนุภาคเจือปนอยู่ในอากาศเสียแล้ว จะทำให้เกิดการรวมตัวระหว่างสารละลายดังกล่าวกับอนุภาคกลายเป็นกากตะกอน (Sludges) ซึ่งยากที่จะกำจัดกากตะกอนออกไปจากสารละลายเหล่านี้ในภายหลังได้

สารละลายอินทรีย์นี้เหมาะสำหรับใช้ในการกำจัดไอของสารอินทรีย์ เพราะไอของสารอินทรีย์จะละลายและผสมกันได้ดีกับสารละลายเหล่านี้ และเมื่อต้องการนำไอของสารอินทรีย์เหล่านั้นมาใช้ใหม่ก็สามารถสกัดออกมาได้ที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะเป็นการประหยัดพลังงาน นอกจากนี้สารละลายดังกล่าวข้างต้นแล้ว พวกไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากชนิดต่างๆ เช่น เฮกซะดีเคน (Hexadecane) ก็สามารถใช้ในการดูดซึมไอของสารอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นต่ำๆ ได้อย่างดีเยี่ยม

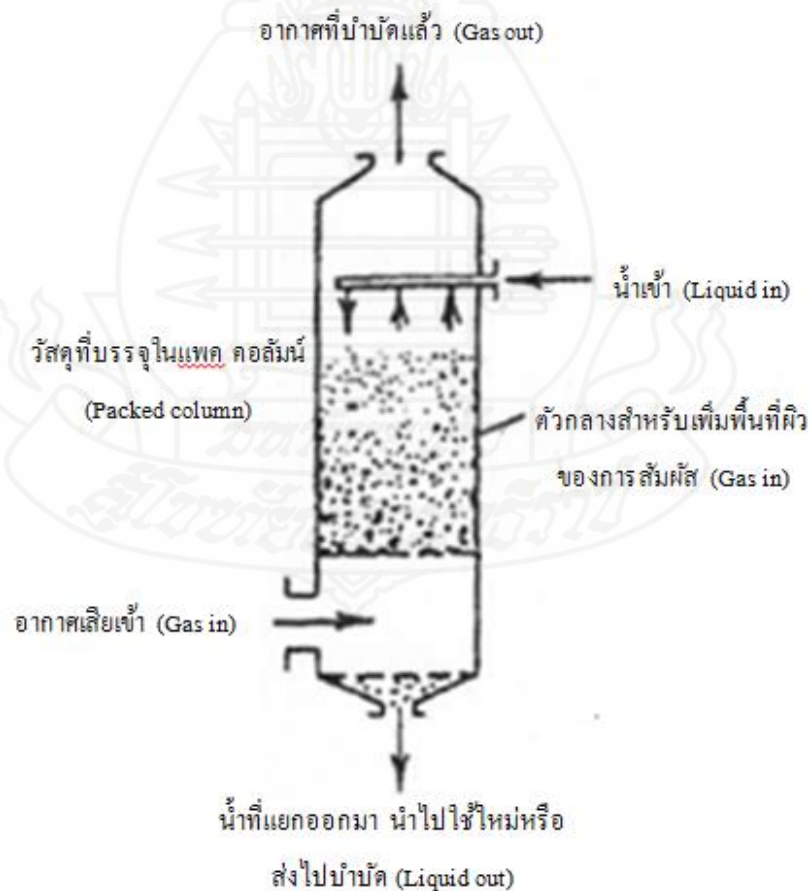
ในระบบดูดซึม ไม่ว่าจะเป็ระบบที่ใช้น้ำหรือไม่ใช้น้ำก็ตาม อาจใช้วิธีง่ายๆ โดยการผ่านก๊าซมลพิษที่ต้องการดูดซึมผ่านสารละลาย เมื่อดูดซึมแล้วก็กำจัดสารละลายที่ถูกปนเปื้อนแล้วนั้นทิ้งไป โดยไม่นำสารละลายนั้นมาใช้ซ้ำอีก หรือหลังจากการดูดซึมแล้วอาจนำสารละลายมาแยกก๊าซมลพิษที่ดูดซึมเอาไว้ออกไป เพื่อนำสารละลายนั้นมาใช้ใหม่ การแยกก๊าซมลพิษจากสารละลายสามารถทำได้หลายวิธีนอกจากวิธีดีซอพชั่น และสตรippingแล้ว อาจจะใช้วิธีการทำให้ตกตะกอน (Precipitation) การทำให้เป็นกลาง (Neutralization) ออกซิเดชัน (Oxidation) รีดักชัน (Reduction) ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) และการสกัด (Extraction) เป็นต้น

#### 4. ชนิดของอุปกรณ์ระบบการดูดซึม

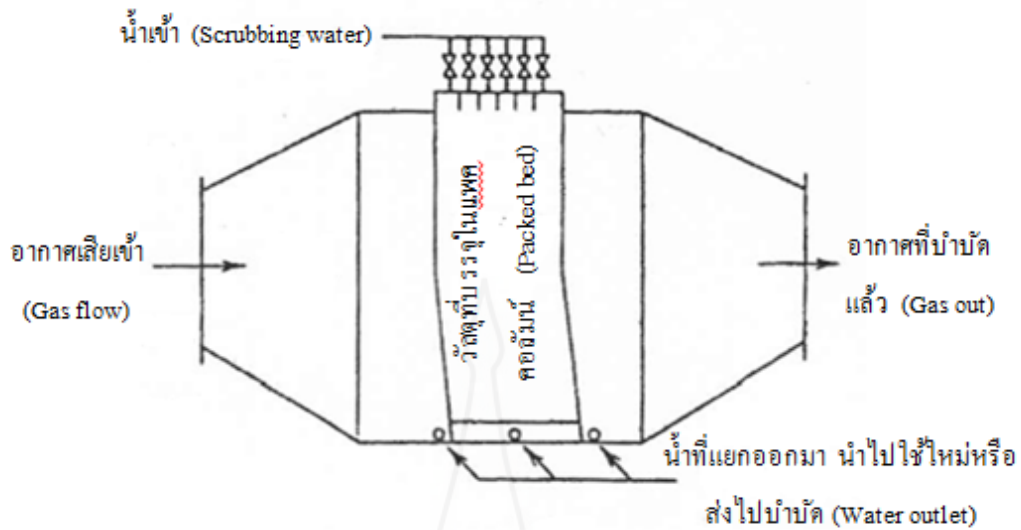
หน้าที่ของอุปกรณ์ระบบการดูดซึม คือ การทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างกระแสอากาศที่มีมลพิษปนเปื้อนกับของเหลวที่เป็นตัวทำละลายโดยทำให้ของเหลวกลายเป็น หยดเล็กๆ หรือเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัส ซึ่งจะทำให้เกิดการถ่ายโอนมวลสารได้ดี อุปกรณ์ระบบการดูดซึมที่นิยมใช้กันมากมีดังต่อไปนี้

##### 4.1 แพคทาวเออร์ (Packed tower)

แพคทาวเออร์ (Packed tower) เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการถ่ายโอนมวลสารได้ดีมาก จึงทำให้แพคทาวเออร์มีขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ชนิดอื่นๆ ที่ใช้สำหรับ บำบัดมลพิษทางอากาศจากแหล่งเดียวกัน แพคทาวเออร์ที่นิยมใช้มี 2 แบบ ได้แก่ แบบไหลสวนทาง (Countercurrent) และแบบไหลผ่าน (Cross-flow) ดังแสดงในภาพที่ 2.1 แพคทาวเออร์ แบบไหลสวนทางและภาพที่ 2.2 แพคทาวเออร์ แบบไหลผ่าน



ภาพที่ 2.1 แพคทาวเออร์ แบบไหลสวนทาง



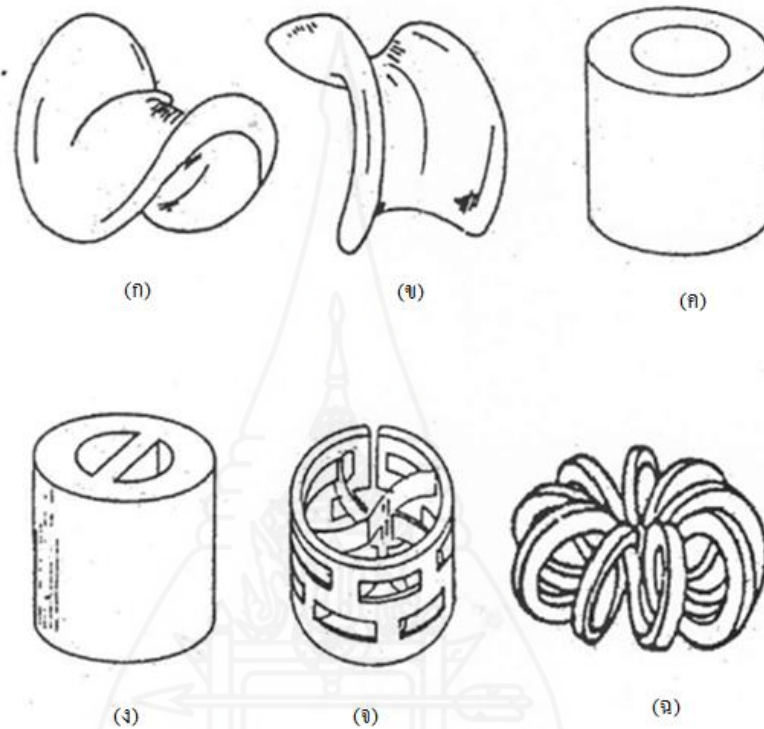
ภาพที่ 2.2 แพคเกิดทาวเออร์ แบบไหลผ่าน

วัสดุที่บรรจุในแพคคอลัมน์ (Packed column) หรือแพคเบด (Packed bed) เพื่อใช้เป็นตัวกลางสำหรับเพิ่มพื้นที่ผิวของการสัมผัสอาจจะเป็นวัสดุแบบต่างๆ ดังภาพที่ 2.3 วัสดุที่บรรจุในแพคคอลัมน์ (ก) เบิร์ด เชคเคิล (ข) อินทาล็อกซ์ เชคเคิล (ค) แรชชิก ริง (ง) เลสซิง ริง (จ) พอลล์ ริง (ฉ) เทอเลอเรต

วัสดุที่ใช้บรรจุในแพคคอลัมน์นี้ ควรจะมีพื้นที่ผิวมากเพื่อบรรจุในแพคคอลัมน์แล้ว จะทำให้เกิดการสัมผัสระหว่างก๊าซกับของเหลวได้มากและควรมีช่องว่าง (Void space) มากพอ เพื่อให้ของเหลวไหลได้โดยสะดวกรวมทั้งต้องมีความแข็งแรงทนทานพอสมควร ไม่แตกหักง่าย เมื่อทำการบรรจุและใช้งานนอกจากนี้ วัสดุดังกล่าวต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมีและราคาไม่สูงจนเกินไปนัก วัสดุที่มีรูปร่างแบบอานม้า (Saddles) จะทำให้การสัมผัสระหว่างก๊าซและของเหลวดีมาก รวมทั้งมีการสูญเสียความดันน้อยกว่าวัสดุชนิดอื่นๆ ข้อเสียของวัสดุชนิดนี้คือมีราคาแพงวัสดุชนิด พอลล์ ริง (Pall ring) จะทำให้มีการถ่ายโอนมวลสารดีกว่าชนิดแรชชิก ริง (Raschig ring) หรือเลสซิง ริง (Lessing ring) แต่ต้องเคลือบด้วยโลหะเพื่อป้องกันการกัดกร่อนทำให้มีราคาแพง วัสดุที่เป็นเซรามิก หรือถ่านจะทนการกัดกร่อนได้ดี วัสดุที่เป็นพลาสติก เช่น เทอเลอเรต (Tellerette) จะใช้ได้ดีที่อุณหภูมิไม่เกิน 355-360 องศา เคลวินเท่านั้น

การจัดเรียงวัสดุในแพคคอลัมน์ อาจทำได้ 2 แบบด้วยกัน คือ การกองแบบสุ่มหรือ การเรียงแบบสมมาตร การกองแบบสุ่มให้พื้นที่ผิวที่มากกว่าแต่ทำให้เกิดความดันลดสูงกว่า การเรียงแบบสมมาตรนอกจากจะทำให้เกิดความดันลดน้อยแล้วยังก่อให้เกิด การกระจายตัวของของเหลว

บนพื้นผิวของวัสดุดีกว่าด้วย การจัดเรียงวัสดุแบบสมมาตรมักไม่ใช้กับระบบขนาดใหญ่ ยกเว้นในกรณีที่ต้องการอัตราการไหลสูง



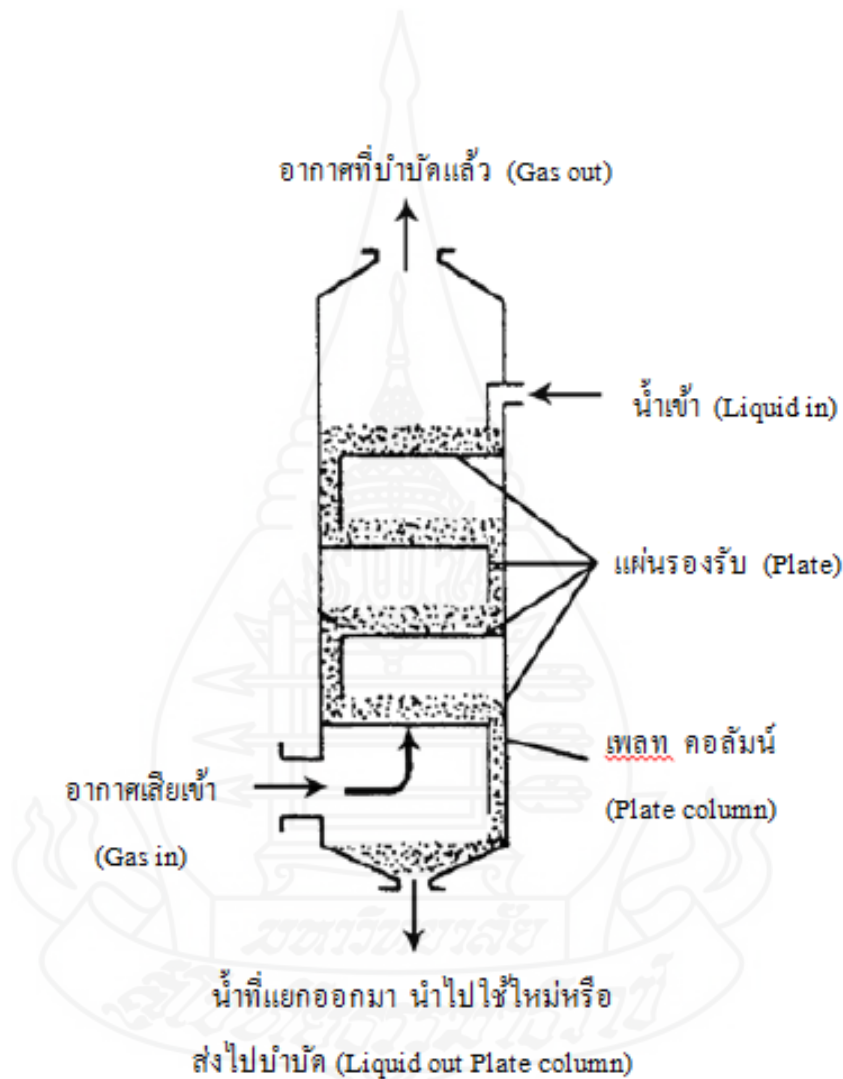
ภาพที่ 2.3 วัสดุที่บรรจุในแพคคอลัมน์ (ก) เบิร์ด แซคเคล (ข) อินทาล็อกซ์ แซคเคล (ค) แรตซิก ริง (ง) เลสซิ่ง ริง (จ) พอลล์ ริง (ฉ) เทอเลอร์เรต

แพคทาวเออร์ชนิดไหลสวนทางจะทำให้เกิดแรงผลักและการถ่ายโอนมวลสารได้ดีมากและเหมาะที่จะใช้สำหรับบำบัดก๊าซมลพิษที่ไม่มีอนุภาคปะปนอยู่ในกระแสอากาศเสียเพราะถ้ามีอนุภาคปะปนอยู่จะทำให้เกิดการอุดตันได้ง่าย หากมีอนุภาคอยู่ในกระแสอากาศควรจะใช้ชนิดไหลไปทางเดียวกัน (Concurrent) คือปล่อยให้กระแสอากาศกับของเหลวไหลลงมาพร้อมๆ กันเพื่อลดการอุดตัน ถ้าต้องการลดการอุดตันให้มากยิ่งขึ้นก็ควรใช้ชนิดไหลผ่าน

#### 4.2 เพลทคอลัมน์ (Plate column)

เพลทคอลัมน์ (Plate column) อุปกรณ์ชนิดนี้ใช้หลักการบังคับให้กระแสอากาศไหลย้อนขึ้นด้านบนผ่านรูเล็กๆ ของแผ่นรองรับ (Plate) ไปสัมผัสกับชั้นของน้ำหรือของเหลวที่เป็นตัวทำละลายซึ่งไหลอยู่บนแผ่นรองรับนั้นๆ โดยสามารถปรับอัตราการไหลของกระแสอากาศได้

ดังภาพที่ 2.4 การไหลของกระแสอากาศภายในเพลทคอลัมน์ ซึ่งชนิดของการไหลเป็นวิธีไหลสวนทาง โดยให้กระแสอากาศไหลขึ้นและให้ของเหลวไหลลงโดยทั่วไปจะใช้แผ่นรองรับต่อเป็นอนุกรม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการบำบัดให้ได้ตามที่ต้องการ ข้อดีของอุปกรณ์ชนิดนี้คือมีราคาถูก แต่มีข้อจำกัดคือการปรับอัตราการไหลของ กระแสอากาศสามารถทำได้เฉพาะช่วงแคบๆ เท่านั้น ทำให้ยากต่อการเดินระบบเมื่อปริมาณก๊าซมลพิษมีการเปลี่ยนแปลงมาก

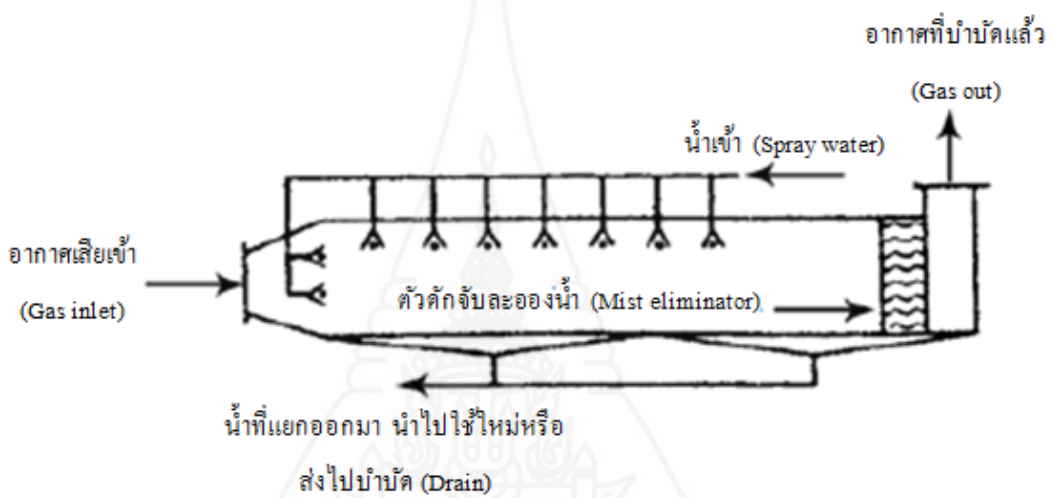


ภาพที่ 2.4 การไหลของกระแสอากาศภายในเพลทคอลัมน์

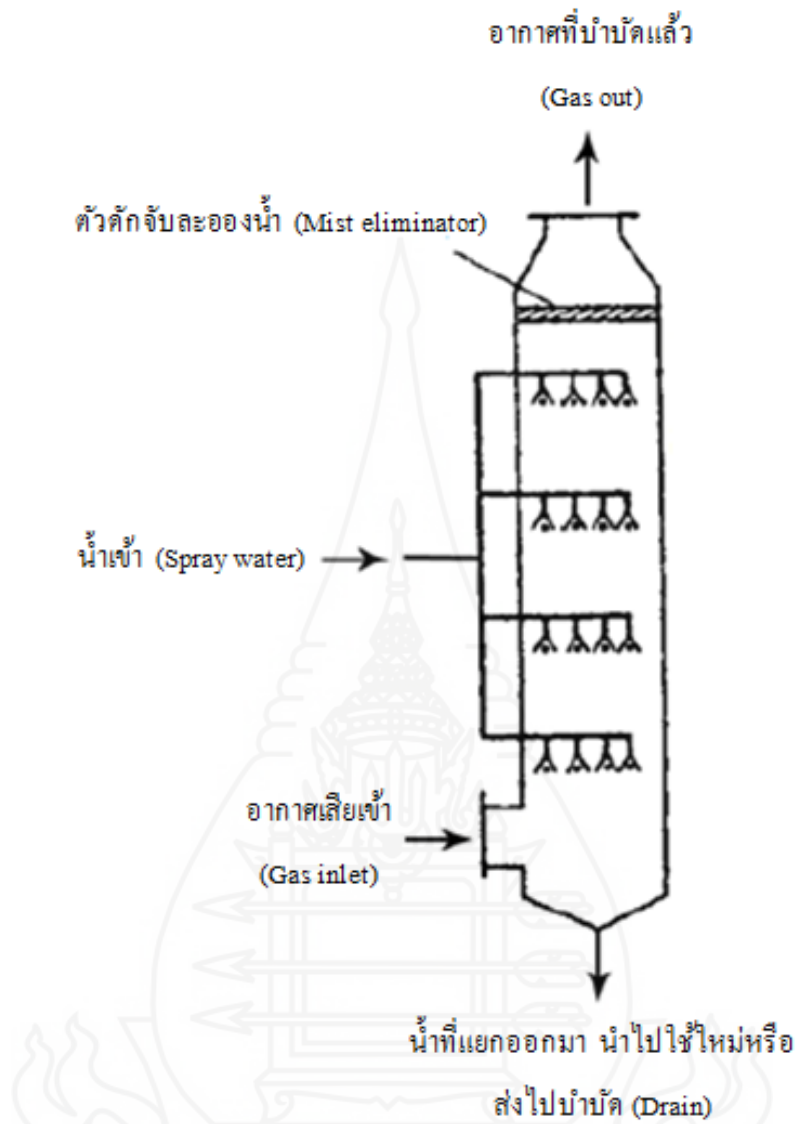
#### 4.3 หอสเปรย์

ลักษณะทั่วไปของหอสเปรย์ (Spray towers) หลักการของอุปกรณ์คือ การพ่นฝอยของเหลวลงสู่กระแสอากาศเพื่อชะล้างสารมลพิษที่ต้องการบำบัดออกจากกระแสอากาศไปสู่ของเหลว ข้อดีของอุปกรณ์ชนิดนี้คือ แม้ว่าจะมีอนุภาคปะปนอยู่ในกระแสอากาศก็ จะไม่มีการอุดตัน แต่ถ้ามี

การนำของเหลวกลับมาใช้ใหม่ โดยไม่ได้กำจัดอนุภาคออกเสียก่อนก็จะทำให้เกิดการอุดตันที่หัวพ่นของเหลว (Nozzle) ได้โดยง่าย อุปกรณ์ประเภทนี้มีหลายชนิด ดังภาพที่ 2.5 ฮอริซอนทอล สเปรย์แชมเบอร์ และภาพที่ 2.6 ซิมเปิล เวอร์ติคอล สเปรย์ทาวเออร์ เป็นชนิดที่ใช้กันมากในการควบคุมก๊าซที่มีอนุภาคปะปนอยู่ด้วยอุปกรณ์ ดังภาพที่ 2.7 ไซโคลนิกส์ สเปรย์ทาวเออร์ ฟิช แอนโทนีไทน์ และ 2.8 ไซโคลนิกส์ สเปรย์ทาวเออร์ เอ็กซ์เทอร์นอล สเปรย์ ใช้หลักการของไซโคลนซึ่งใช้สำหรับบำบัดอนุภาคและมีประสิทธิภาพสูงกว่า 2 ชนิดแรกเล็กน้อย

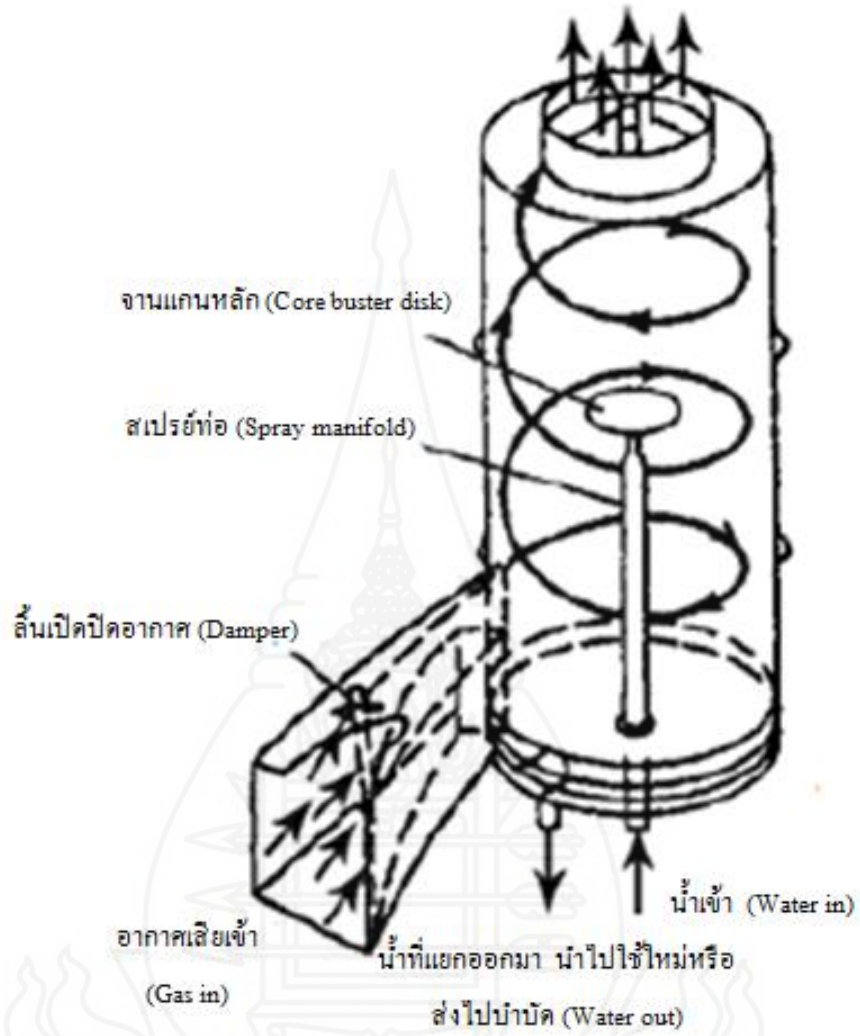


ภาพที่ 2.5 ฮอริซอนทอล สเปรย์แชมเบอร์



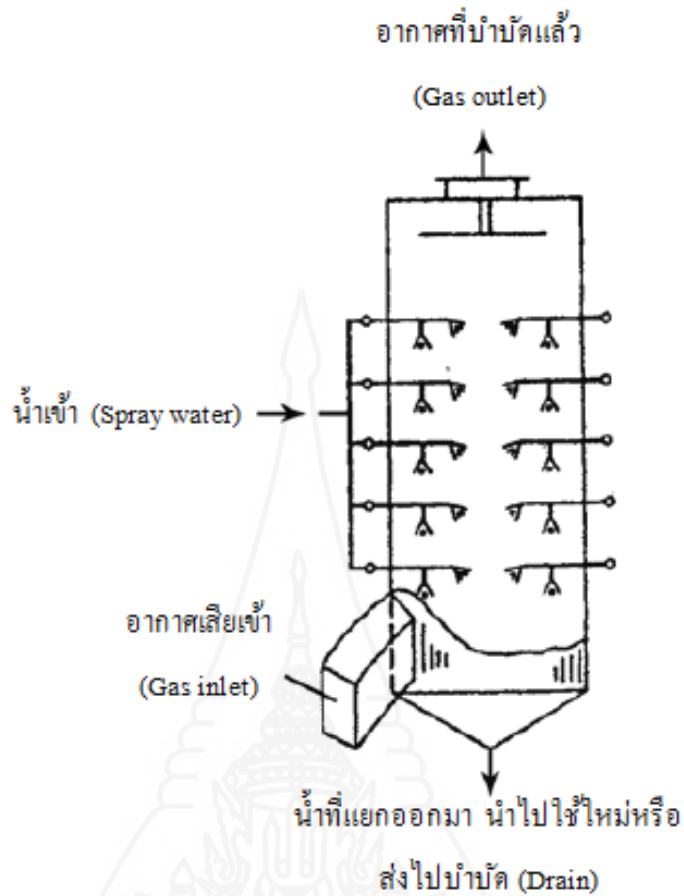
ภาพที่ 2.6 ซิมเปิล เวิร์ดคอลล สเปรย์ทาวเออร์

อากาศที่บำบัดแล้ว (Clean gas out)



ภาพที่ 2.7 ไชโคนิคส์ สเปรย์ทาวเออร์ พิช แอนโทนีไทน



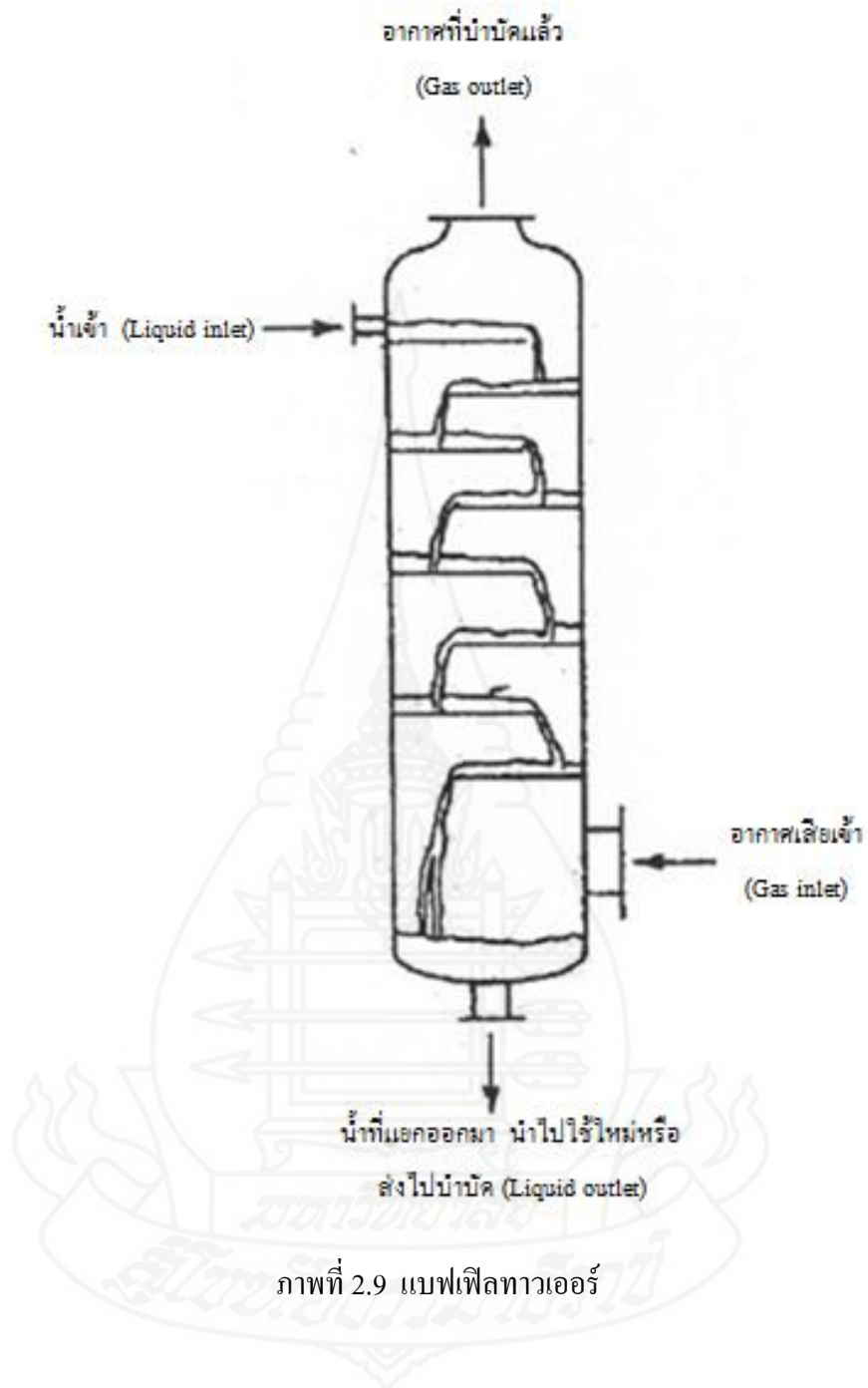


ภาพที่ 2.8 โซโคติกส์ สเปรย์ทาวเออร์ เอ็กซ์เทอร์นอล สเปรย์

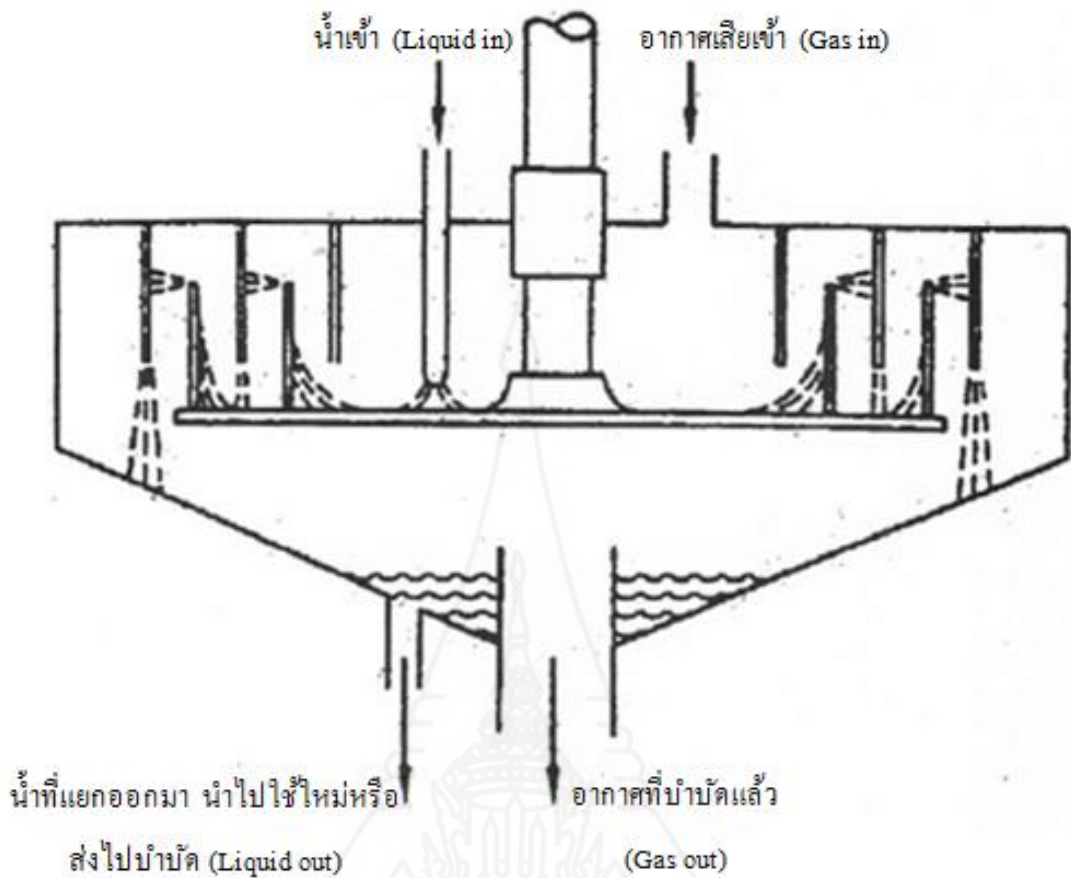
#### 4.4 อุปกรณ์ชนิดอื่นๆ

อุปกรณ์ที่กล่าวมาแล้วเป็นอุปกรณ์ระบบดูดซึมที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้สำหรับบางกรณี เช่น แบบเฟิล ทาวเออร์ (Baffle Tower) และเซ็นตริฟิวกัลป์ ก๊าซ แอบซอร์เบอร์ (Centrifugal Gas Absorber) อุปกรณ์ชนิดแบบเฟิล ทาวเออร์ เหมาะสำหรับแก้ปัญหาเมื่อเกิดตะกอนในระบบ โดยจะไม่เกิดการอุดตันเนื่องจากตะกอน หลักการของระบบคือปล่อยให้ของเหลวไหลผ่านชั้นแบบเฟิลลงมาสัมผัสกับกระแสก๊าซซึ่งไหลย้อนขึ้นสู่ด้านบน

ส่วนระบบเซ็นตริฟิวกัลป์ ก๊าซ แอบซอร์เบอร์ เป็นระบบที่นิยมใช้กันในทวีปยุโรป หลักการคือ ทำให้เกิดการสัมผัสระหว่างก๊าซกับของเหลวโดยอาศัยแรงเหวี่ยง ซึ่งเป็นแรงเหวี่ยงที่เกิดจากการกวนของใบพัดที่ยึดติดไว้กับแผ่นจานที่ถูกทำให้หมุนอย่างรวดเร็ว ดังแสดงในภาพที่ 2.9 แบบเฟิล ทาวเออร์ และภาพที่ 2.10 เซ็นตริฟิวกัลป์ ก๊าซ แอบซอร์เบอร์



ภาพที่ 2.9 แอฟเฟิลทาวเออร์



ภาพที่ 2.10 เซ็นตริฟิวกัลป์ ก๊าซแอบซอบเบอร์

## 5. การนำสารที่ได้จากการดูดซึมมาใช้ใหม่

ก๊าซที่ถูกดูดซึมไว้ในของเหลวในระบบการดูดซึมเป็นสิ่งที่ต้องการทางกำจัดที่เหมาะสมต่อไป เพื่อจะไม่ให้เกิดปัญหาในการกำจัดจึงควรที่จะนำก๊าซเหล่านั้นกลับมาใช้ใหม่ (Recovery) อีกครั้ง ในกรณีที่ก๊าซถูกดูดซึมไว้ในของเหลวมีเพียงชนิดเดียวก็จะง่ายต่อการแยกก๊าซดังกล่าวออกจากของเหลว เพื่อนำมาใช้ประโยชน์อีก วิธีแยกก๊าซที่นิยมใช้กันมีหลายวิธีดังนี้

**5.1 วิธีสตรipping (Stripping)** เป็นวิธีที่ทำให้ของเหลวที่ดูดซึมก๊าซเอาไว้ให้สัมผัสกับบรรยากาศ เพื่อให้ก๊าซแพร่กระจายจากของเหลวออกมาสู่อากาศ ทำให้สามารถนำของเหลวนั้นไปใช้ในการดูดซึมก๊าซได้อีกต่อไปวิธีนี้จึงเป็นวิธีที่ใช้กันมากและเป็นวิธีที่ดีที่สุดสำหรับการแยกก๊าซมลพิษที่เป็นสารอินทรีย์ โดยเฉพาะเมื่อต้องการนำสารอินทรีย์กลับมาใช้ใหม่ในรูปของเชื้อเพลิง แต่ถ้าหากว่าความเข้มข้นของก๊าซมลพิษในกระแสก๊าซที่จะนำไปเป็นเชื้อเพลิงต่ำกว่า 100-300 พีพีเอ็ม การใช้วิธีนี้จะไม่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

**5.2 วิธีตกตะกอน (Precipitation)** เป็นวิธีที่ทำให้ก๊าซมลพิษที่ละลายในของเหลวตกตะกอน โดยการเติมสารช่วยตกตะกอน (Coagulants) เช่น ปูนขาว สารส้ม เป็นต้น ลงไปในของเหลวแล้วทำการกวนผสมสารช่วยตกตะกอนกับของเหลวจนเกิดตะกอนขึ้น แล้วปล่อยให้ตะกอนแยกจากของเหลวโดยการตกตะกอน หลังจากนั้นจะทำให้ตะกอนเข้มข้นมากขึ้นโดยขจัดน้ำออกจากตะกอนด้วยวิธีต่างๆ เช่น การกรอง (Filtration) การใช้แรงเหวี่ยง (Centrifugation) เป็นต้น แล้วนำตะกอนที่แยกออกมาไปใช้ประโยชน์ต่อไป ตัวอย่างเช่น เกลือโซเดียมซัลเฟตหรือซัลไฟด์ ซึ่งอาจนำไปใช้ในโรงงานผลิตเยื่อกระดาษหรือเมื่อนำไปทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียก็จะเป็นปุ๋ย เป็นต้น

**5.3 วิธีอื่นๆ** นอกจากสองวิธีที่กล่าวมาแล้ว วิธีอื่นๆ ได้แก่ วิธีออกซิเดชัน (Oxidation) โดยใช้โอโซนหรือสารออกซิแดนท์อื่นๆ เช่น  $H_2O_2$ ,  $HClO$ ,  $KClO_4$ ,  $KMnO_4$  และ  $HNO_3$  เป็นต้น หรือวิธีไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) หรือให้ทำปฏิกิริยากับสารเคมีอื่นๆ เพื่อทำให้ก๊าซที่ถูกดูดซึมกลายเป็นของเสียที่ไม่เป็นอันตรายก่อนที่จะปล่อยทิ้งสู่สิ่งแวดล้อมต่อไป

## 6. หลักการออกแบบอุปกรณ์ระบบการดูดซึม

อุปกรณ์ระบบการดูดซึมที่ดี คือระบบที่ได้รับการออกแบบให้มีการสัมผัสระหว่างผิวหน้าของก๊าซกับของเหลวให้มากที่สุด การถ่ายโอนมวลสารนอกจากจะขึ้นกับการสัมผัสดังกล่าวแล้ว ยังขึ้นกับความสามารถในการละลาย (Solubility) ของก๊าซในของเหลว และปฏิกิริยาทางเคมีของก๊าซและของเหลวดังกล่าวด้วยและแพคเกจทาวเออร์ ชนิดไหลสวนทาง เป็นอุปกรณ์ระบบการดูดซึมที่นิยมใช้กันมากที่สุดในที่นี้จะกล่าวถึงหลักการออกแบบเฉพาะอุปกรณ์ชนิดนี้เท่านั้น หลักการในการออกแบบประกอบด้วยองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

### 6.1 วัสดุที่ใช้บรรจุในแพคเกจคอลัมน์

วัสดุที่ใช้บรรจุแพคเกจคอลัมน์ ควรจะมีพื้นที่ผิวมาก เพื่อให้เกิดการสัมผัสระหว่างก๊าซกับของเหลวได้มาก เมื่อบรรจุในแพคเกจคอลัมน์แล้วควรมีช่องว่าง (Void Space) มากพอที่จะให้ของเหลวไหลผ่านได้โดยสะดวกและต้องมีความแข็งแรงทนทานพอสมควร ไม่แตกหักง่ายเมื่อทำการบรรจุและใช้งาน นอกจากนี้ต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมี และราคาไม่สูงจนเกินไปนัก ซึ่งคุณสมบัติของวัสดุแต่ละชนิดนั้นผู้ผลิตจะต้องให้ข้อมูลต่อผู้ใช้

### 6.2 การกระจายของของเหลว

เพื่อให้ของเหลวที่ปล่อยลงมาในคอลัมน์มีการกระจายอย่างทั่วถึงจะต้องติดตั้งกระจายของเหลว (Distributors) ให้มีจุดปล่อยของเหลวอย่างน้อย 5 จุดต่อตารางฟุตของพื้นที่ตัดขวางของคอลัมน์ นอกจากนี้ต้องปรับอัตราการไหลของของเหลวให้พอดีไม่ให้มากเกินไปจนเกิดการท่วมขัง

(Flooding) ในคอลัมน์ อัตราการไหลที่พอเหมาะคืออย่างน้อย 800 ปอนด์ของของเหลวต่อชั่วโมง ต่อตารางฟุตของพื้นที่ตัดขวางของคอลัมน์ ในกรณีที่อุปกรณ์มีความสูงมาก ควรจะต้องติดตั้งตัวกระจายของเหลวที่ความสูงทุกๆ 10 ถึง 15 ฟุตของคอลัมน์ และถ้าหากอุปกรณ์มีพื้นที่หน้าตัดน้อย ควรที่จะระมัดระวังในการเลือกวัสดุที่ใช้บรรจุในแพ็คเกจคอลัมน์ โดยเลือกชนิดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า  $1/8$  ของเส้นผ่านศูนย์กลางของคอลัมน์

### 6.3 อัตราการไหลของก๊าซและของเหลว

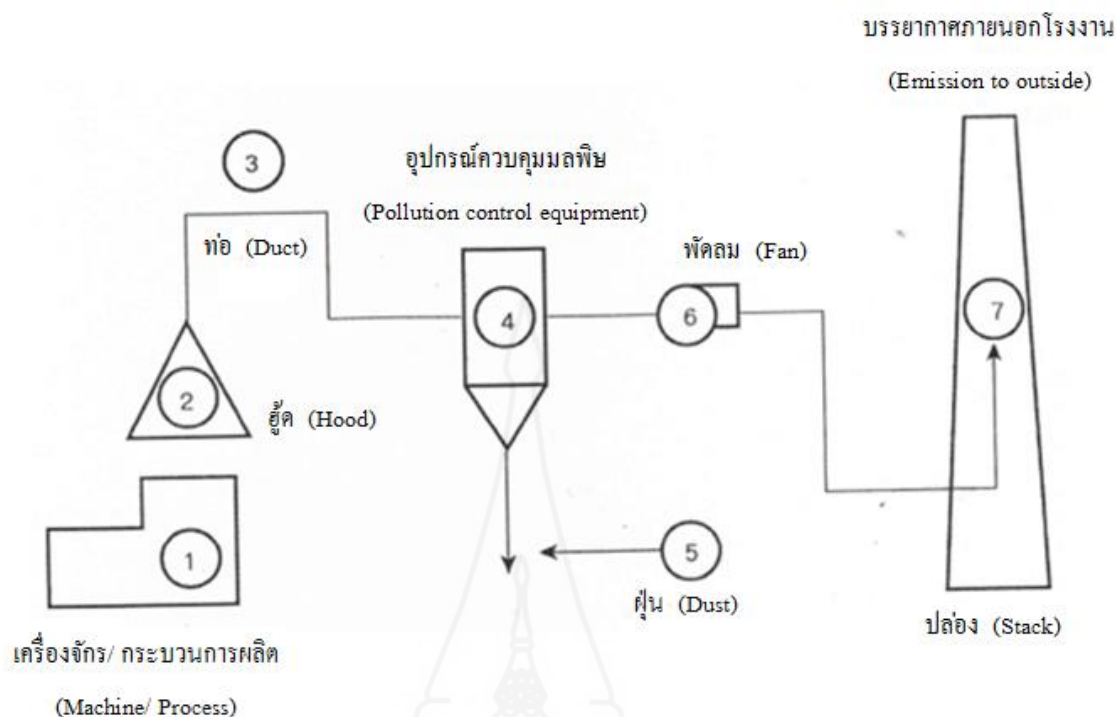
ในการออกแบบจะต้องกำหนดอัตราการไหลของก๊าซและของเหลวให้เหมาะสม ถ้าหากอัตราการไหลของของเหลวน้อยเกินไปหรืออัตราการไหลของก๊าซมากเกินไป แรงดันของก๊าซจะทำให้เกิดการท่วมของของเหลวขึ้นในคอลัมน์ (Flooding) และทำให้การสูญเสียความดัน (Pressure Loss) เกิดขึ้นได้มาก ในทางทฤษฎีจะไม่ยอมให้เกิดการท่วมของของเหลวขึ้นในคอลัมน์เลย แต่ในทางปฏิบัติจะทำตามทฤษฎีไม่ได้และจะยอมให้เกิดการท่วมได้บ้าง โดยทั่วไปจะออกแบบความเร็วของกระแสก๊าซไว้ที่ร้อยละ 40-70 ของความเร็วที่ทำให้เกิดการท่วม Flooding Velocity ที่นิยมมากที่สุดคือร้อยละ 50

### 6.4 ขนาดของแพ็คเกจคอลัมน์

การออกแบบระบบการดูดซึม ประกอบด้วย การออกแบบในส่วนต่างๆ ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแพ็คเกจคอลัมน์ จำนวนหน่วยถ่ายโอนมวลสาร ความสูงของหน่วยถ่ายโอนมวลสาร และการสูญเสียความดัน

## 7. แนวคิดเกี่ยวกับการเลือกใช้อุปกรณ์ควบคุมมลพิษทางอากาศในอุตสาหกรรม

การตัดสินใจที่จะเลือกใช้อุปกรณ์ควบคุมมลพิษทางอากาศนั้น โดยทั่วไป จะพิจารณาความสามารถหรือประสิทธิภาพของอุปกรณ์ควบคุมว่าสามารถลดปริมาณสารมลพิษลงจากแหล่งกำเนิดก่อนปล่อยออกไปให้มีปริมาณสารพิษคงเหลืออยู่น้อยที่สุดหรือไม่เกินตามที่กฎหมายกำหนด โดยมีค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ควบคุมฯ รวมทั้งค่าติดตั้งและการดูแลบำรุงรักษาต่ำสุด ระบบควบคุมมลพิษทางอากาศในโรงงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไปแสดงในภาพที่ 2.11 ระบบควบคุมสารมลพิษในโรงงานอุตสาหกรรม



ภาพที่ 2.11 ระบบควบคุมมลพิษในโรงงานอุตสาหกรรม

จากภาพที่ 2.11 จะเห็นว่า จากกระบวนการผลิตภายในโรงงานที่มีการใช้เครื่องจักรต่างๆ (1) ทำให้เกิดสารมลพิษต่างๆ ออกมา ซึ่งจะมี Hood (2) รับสารมลพิษกับกระแสอากาศเหล่านี้เข้าไปสู่ท่อ (3) เพื่อทำสารมลพิษเหล่านี้ไปยังอุปกรณ์ควบคุมมลพิษ (4) ซึ่งจะทำหน้าที่กำจัดเอาสารมลพิษออกมาในภาพสิ่งที่กำจัดออกมาก็คือ ฝุ่น (Duct) (5) ซึ่งจะนำไปกำจัดต่อไป ในท่อต่อจาก (4) ก็มีพัดลม (Fan) (6) ทำหน้าที่ดูด พัดพาเอากระแสอากาศที่ปราศจากสารมลพิษหรือมีปริมาณสารมลพิษตามที่กฎหมายกำหนด ออกไปทางปล่อง (Stack) (7) ปล่อยบรรยากาศภายนอกโรงงานต่อไป อย่างไรก็ตามในการเปรียบเทียบหรือเลือกใช้อุปกรณ์ควบคุมมลพิษทางอากาศ จะต้องมีความรู้ความเข้าใจในหลักการ ทำงานของอุปกรณ์ควบคุมมลพิษทางอากาศแต่ละชนิดเป็นอย่างดีเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดสารมลพิษและอากาศที่ออกมาจากปล่องหรือท่อจะได้คุณภาพตามที่กฎหมายกำหนด ซึ่งมีข้อควรพิจารณาต่างๆ ที่สำคัญได้แก่

**7.1 ข้อดีและข้อจำกัดของอุปกรณ์ควบคุมมลพิษทางอากาศ** ควรพิจารณาข้อดีและข้อจำกัดของอุปกรณ์ควบคุมฯ แต่ละชนิด เช่น ถ้าในโรงงานหรือสถานประกอบการนั้นๆ ไม่มีระบบบำบัดน้ำเสีย ก็ไม่ควรเลือกใช้ระบบ Wet scrubber ในระบบควบคุมมลพิษทางอากาศในโรงงานเหล่านั้น เพราะในระบบ Wet scrubber นี้จะต้องใช้น้ำสะอาดในการดักจับเอาสารมลพิษต่างๆ แล้วนำ

น้ำที่ดักจับสารมลพิษนี้ไปกำจัดอีกครั้งหนึ่ง ดังนั้นถ้าโรงงานไม่มีระบบบำบัดน้ำเสียก็จะต้องลงทุนสร้างระบบบำบัดน้ำเสียขึ้นมาใหม่ ทำให้เสียเงินลงทุนเพิ่มมากขึ้น

**7.2 แหล่งและชนิดของพลังงานหรือเชื้อเพลิง** ในกรณีที่โรงงานไม่สามารถหาแหล่งและชนิดพลังงานหรือเชื้อเพลิงมาใช้ได้อย่างต่อเนื่องตลอดไป ย่อมไม่สามารถใช้อุปกรณ์ควบคุมฯ ในระบบการสันดาปหรือการเผาไหม้ (Incineration system) เพื่อเผาไหม้ไอของสารมลพิษอินทรีย์ (Organic pollutants) ได้ต้องเลือกอุปกรณ์ควบคุมฯ ชนิดอื่น

**7.3 ขนาดของอนุภาค** ในกรณีที่อนุภาคที่เป็นสารมลพิษที่ขนาดเล็กมากๆ ก็ย่อมไม่สามารถใช้ไซโคลอนได้ อาจต้องใช้ถุงกรองหรือเครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิตก็ต้องพิจารณาต่อไปถึงราคาค่าก่อสร้างและการดูแลบำรุงรักษาด้วย

**7.4 การนำสารมลพิษกลับมาใช้ประโยชน์** ในกรณีที่ไอของสารมลพิษนั้นสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีก ก็จะต้องเลือกใช้อุปกรณ์ควบคุมฯ

ดังนั้นเมื่อพิจารณาความสามารถหรือประสิทธิภาพของอุปกรณ์ควบคุมฯ ว่าสามารถลดปริมาณสารมลพิษลงจากแหล่งกำเนิดก่อนปล่อยออกไปให้มีปริมาณสารพิษคงเหลืออยู่ไม่เกินตามที่กฎหมายกำหนด ผู้วิจัยจึงเลือกอุปกรณ์ควบคุมมลพิษทางอากาศที่เป็นก๊าซ โดยใช้หลักการแนวคิดของระบบหอสเปรย์ (Spray Tower)

## 8. แนวคิดหลักการทำงานของระบบบำบัดอากาศเสีย (Air Pollution System)

ระบบบำบัดอากาศเสีย (Air Pollution System) เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่ใช้ในการควบคุมมลพิษทางอากาศโดยเฉพาะ แก๊สและไอ (Gas and Vapor) เมื่อก้าวถึงแก๊สและไอ ที่มีอันตรายต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อม เราจะนึกถึง ไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCl) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO<sub>2</sub>) แอมโมเนีย (NH<sub>3</sub>) และตะกั่ว (Pb) แหล่งกำเนิดส่วนใหญ่ของแก๊สเหล่านี้มาจาก โรงงานอุตสาหกรรม เมื่อมลพิษทางอากาศเพิ่มมากขึ้น จึงจำเป็นต้องใช้ “ระบบบำบัดอากาศเสีย” เข้ามาบำบัด อุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการบำบัดอากาศเสียที่เป็นที่นิยมได้แก่ สครับเบอร์ (Scrubber) หรือ Wet Scrubber เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับกำจัดแก๊สและไอ (Gas and Vapor) ตลอดจนอนุภาคที่มีขนาดเล็ก โดยใช้ของเหลว เช่น น้ำ เป็นตัวดักจับด้วยการพ่นฝอยของเหลวหรือน้ำให้เป็นละอองฝอยขนาดเล็กให้กระจายไปปะทะกับกระแสแก๊ส โดยสครับเบอร์ (Scrubber) หรือ Wet Scrubber มีด้วยกันหลายชนิดแต่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ สครับเบอร์แบบสเปรย์ (Spray Tower Scrubber) และ สครับเบอร์แบบมีเดีย (Packed Bed Scrubber)

## 8.1 ระบบสครับเบอร์ (Scrubber) มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ

**8.1.1 พัดลมดูดอากาศ (Exhaust Fan)** ทำหน้าที่ดูดอากาศเสียเข้าสู่สครับเบอร์ (Scrubber)

**8.1.2 ปั๊ม (Circulation Pump)** ทำหน้าที่ดูดน้ำจากถังหมุนเวียนน้ำไปสู่หัวฉีด (Nozzle) และฉีดเป็นละอองฝอยไปทั่วทั้งสครับเบอร์

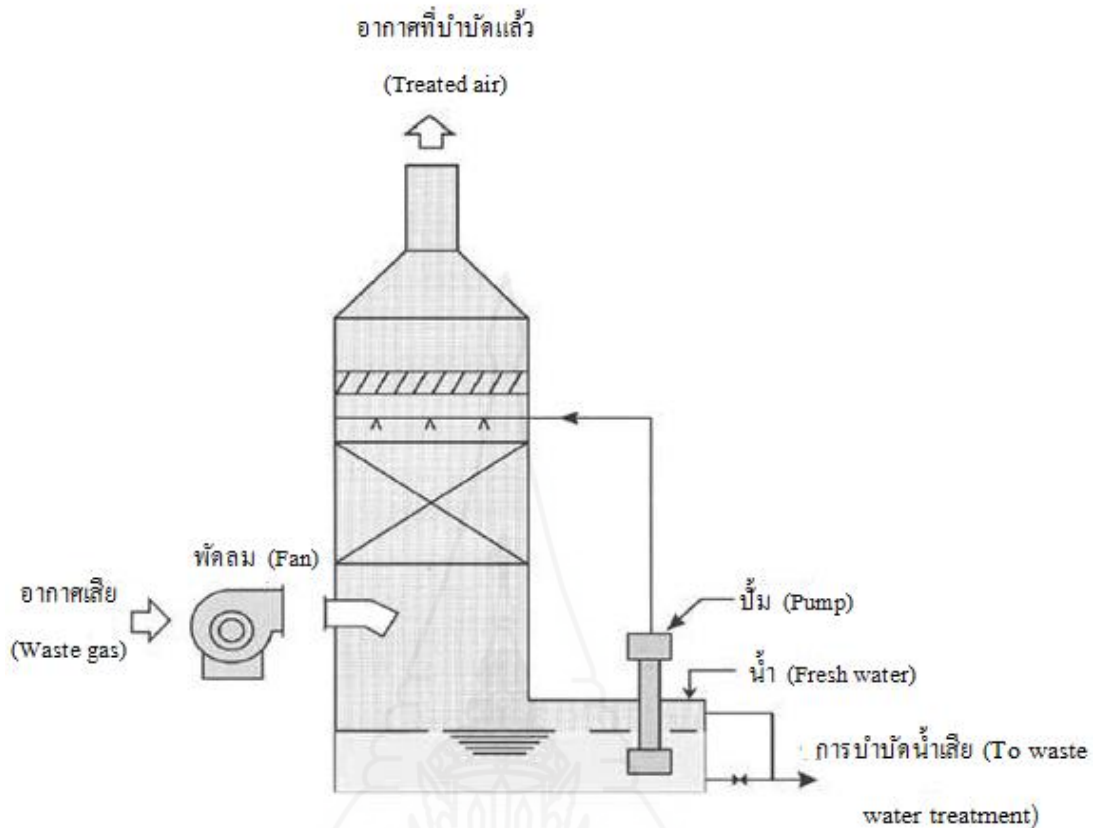
**8.1.3 ตัวสครับเบอร์ (Scrubber Main Body)** ประกอบไปด้วย

- 1) ตัวเพิ่มพื้นที่ในการกระจายตัวของแก๊ส (Scrubber Tower Packing) ทำหน้าที่ในการช่วย เพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสกันระหว่างแก๊สกับของเหลว
- 2) หัวฉีดสเปรย์ (Spray nozzle) ทำหน้าที่ฉีดน้ำให้ทั่วถึงอย่างสม่ำเสมอ ภายในตัวสครับเบอร์ (Scrubber)
- 3) ตัวดักจับละอองน้ำ (Mist Separator) ทำหน้าที่ดักจับละอองน้ำที่เกิดจากการฉีดสเปรย์ในสครับเบอร์ (Scrubber) ไม่ให้หลุดออกไปภายนอกเพราะจะนำพาแก๊สเสียปนออกไปด้วย
- 4) ถังหมุนเวียนน้ำ (Circulation Tank) ทำหน้าที่เก็บกักน้ำไว้สำหรับ หมุนเวียนใช้ในระบบ

## 8.2 หลักการทำงานของระบบสครับเบอร์

สครับเบอร์ (Scrubber) เป็นอุปกรณ์สำหรับดักจับแก๊สเสีย โดยหลักการทำงานของ สครับเบอร์ (Scrubber) ตาม Flow Diagram ได้แก่ พัดลม (Fan) จะดึงแก๊สเสียจากแหล่งกำเนิดเข้าสู่ สครับเบอร์ (Scrubber) ซึ่งมีน้ำบรรจุอยู่ในส่วนของ Circulation Tank จากนั้น Pump ก็จะทำกรสูบน้ำ จาก Circulation Tank ขึ้นไปยังส่วนบนของ สครับเบอร์ (Scrubber) และปล่อยให้ น้ำฉีดสเปรย์เป็น ละอองฝอยด้วย Spray nozzle ซึ่งละอองน้ำที่ฉีดลงมาจะไหลในทิศทางที่สวนกันกับแก๊ส และทำการ ดักจับแก๊สเสีย ส่วนของน้ำที่ทำปฏิกิริยากับแก๊สจะมีการปล่อยออกจากสครับเบอร์ (Scrubber) โดย ผ่าน Over flow ดังนั้นจึงต้องมีการเติมน้ำ Fresh Water เข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่องเพื่อรักษาสมดุลของ น้ำภายในระบบและเพื่อเจือจางน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการบำบัดแก๊ส สำหรับในส่วนของท่าน้ำเสีย จะเปิดเพื่อปล่อยน้ำออกจากระบบเฉพาะในกรณีที่ต้องทำการบำรุงรักษาหรือตรวจสอบแก้ไขระบบ ดังภาพที่ 2.12 หลักการทำงานของระบบสครับเบอร์ และตารางที่ 2.3 ข้อดีและข้อด้อยของสครับเบอร์





ภาพที่ 2.12 หลักการทำงานของระบบสครับเบอร์

ตารางที่ 2.3 ข้อดีและข้อด้อยของสครับเบอร์

ข้อดี	ข้อจำกัด
1. ไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ควบคุมฯ ที่ใช้กำจัดฝุ่นอีกต่อจากอุปกรณ์ควบคุมชนิดนี้	1. อาจทำให้เกิดปัญหาต้องกำจัดน้ำเสียที่ออกจากอุปกรณ์ควบคุมฯ
2. ต้องการใช้พื้นที่ติดตั้งน้อย	2. อากาศที่ออกจากอุปกรณ์ควบคุมฯ จะเปียกชื้น
3. สามารถใช้กำจัดก๊าซได้เช่นเดียวกับอนุภาค โดยเฉพาะพวกที่มีลักษณะเหนียว (Sticky)	3. อาจมีปัญหาการกัดกร่อนซึ่งรุนแรงกว่าอุปกรณ์ควบคุมฯ ชนิดแห้ง
4. ใช้ได้ดีกับสารมลพิษทางอากาศที่มีอนุภาคนิวเคลียสและความชื้นสูง	4. อากาศที่ออกจากอุปกรณ์ควบคุมฯ อาจชุ่มฉ่ำเนื่องจากมีไอน้ำ
5. ค่าลงทุนก่อสร้างต่ำ (ถ้าไม่จำเป็นต้องสร้างระบบกำจัดน้ำเสียจากอุปกรณ์ควบคุมฯ นี้)	5. อาจมีปัญหาความดันลด และต้องใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น

## ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

ข้อดี	ข้อจำกัด
6. ไม่ต้องคำนึงถึงความดันลดมากนัก เพราะส่วนมากสารมลพิษที่เข้ามากับกระแสอากาศจะมีความดันสูงอยู่แล้ว	6. อาจเกิดปัญหาการอุดตันขึ้นได้ เนื่องจาก การจับตัวกันของอนุภาคขนาดต่างๆ กับน้ำ
7. สามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพดี กับอนุภาคที่มีขนาดเล็ก (Fine particulates)	7. ต้องการการดูแลบำรุงรักษาสูง

## 9. มาตรฐานคุณภาพอากาศจากแหล่งกำเนิดอุตสาหกรรมทั่วไป

### 9.1 มาตรฐานคุณภาพอากาศของประเทศไทย

หน่วยงานที่กำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ จากแหล่งกำเนิดอุตสาหกรรม ได้แก่

9.1.1 กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535

9.1.2 กระทรวงอุตสาหกรรม ตามพระราชบัญญัติโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2535

9.1.3 การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ตามพระราชบัญญัตินิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2522

9.1.4 ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 พ.ศ.2536, ฉบับที่ 9 พ.ศ.2538 และ ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2543 ออกตามความในพระราชบัญญัติ โรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่องกำหนดค่าความเข้มข้นของสารเจือปน ในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน ประกาศ ณ วันที่ 20 กรกฎาคม พ.ศ. 2536 วันที่ 6 กันยายน พ.ศ. 2538 และวันที่ 11 เมษายน พ.ศ. 2543

ดังนั้นอากาศที่ระบายออกจาก โรงงาน ต้องมีค่าความเข้มข้นของสารแต่ละชนิดเจือปนไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ดังในตารางที่ 2.4 ค่ามาตรฐานการระบายสารมลพิษจากโรงงานอุตสาหกรรม

ตารางที่ 2.4 ค่ามาตรฐานการระบายสารมลพิษจากโรงงานอุตสาหกรรม

ชนิดของสารเจือปน	แหล่งที่มาของสาร	ค่าความเข้มข้นของสารเจือปนในอากาศ (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
ฝุ่นละออง	หม้อไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิง ดังนี้	
	- น้ำมันเตา	300
	- ถ่านหิน	400
	- เชื้อเพลิงอื่นๆ	400
	การถลุง หล่อหลอม ริดคิง และ/หรือผลิตเหล็กกล้า	300
	อลูมิเนียม	
	การผลิตทั่วไป	400
พลวง	การผลิตทั่วไป	20
ทองแดง	หลอมหรือการถลุง	30
ตะกั่ว	การผลิตทั่วไป	30
คลอรีน	การผลิตทั่วไป	30
ไฮโดรเจนคลอไรด์	การผลิตทั่วไป	200
ปรอท	การผลิตทั่วไป	3
คาร์บอนมอนอกไซด์	การผลิตทั่วไป	1,000
กรดกำมะถัน	การผลิตทั่วไป	100
ไฮโดรเจนซัลไฟด์	การผลิตทั่วไป	140
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	การผลิตกรดซัลฟูริก	1,300
ออกไซด์ของไนโตรเจน	หม้อไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิง ดังนี้ (วัดในรูปไนโตรเจนไดออกไซด์)	
	- ถ่านหิน	940
	- เชื้อเพลิงอื่นๆ	470
โซลีน	การผลิตทั่วไป	870
กรีซอล	การผลิตทั่วไป	22
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	การเผาไหม้ที่ใช้น้ำมันเตา เป็นเชื้อเพลิง	1,250

## 9.2 มาตรฐานคุณภาพอากาศของต่างประเทศ

กฎหมายและข้อเสนอแนะที่ใช้ควบคุมกรดไฮโดรคลอริกและไฮโดรเจนคลอไรด์  
ในต่างประเทศ ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 กฎหมายและข้อเสนอแนะที่ใช้ควบคุมกรดไฮโดรคลอริกและไฮโดรเจนคลอไรด์

ประเทศ	กฎหมาย / ข้อเสนอแนะ	มาตรฐาน	วันที่เริ่มบังคับใช้
แคนาดา	กฎหมาย	ความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาทำงาน ปกติ 8 ชั่วโมง/วัน เท่ากับ 7 มิลลิกรัม/ ลูกบาศก์เมตร (5 ppm.)	13 มีนาคม 2529
เม็กซิโก	กฎหมาย	ความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาทำงาน ปกติ 8 ชั่วโมง/วัน เท่ากับ 7 มิลลิกรัม/ ลูกบาศก์เมตร (5 ppm.)	28 พฤษภาคม 2527
เยอรมนี	กฎหมาย	ความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาทำงาน ปกติ 8 ชั่วโมง/วัน เท่ากับ 7 มิลลิกรัม/ ลูกบาศก์เมตร (5 ppm.) และปริมาณความ เข้มข้นสูงสุดในช่วงเวลาที่กำหนดให้ทำงาน ได้ 15 นาที เท่ากับ 14 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์ เมตร	ไม่มีข้อมูล
สหราชอาณาจักร	กฎหมาย	ความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาทำงาน ปกติ 8 ชั่วโมง/วัน เท่ากับ 7 มิลลิกรัม/ ลูกบาศก์เมตร (5 ppm.)	1 มกราคม 2535
สหรัฐอเมริกา	ข้อเสนอแนะ	ความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาทำงาน ปกติ 8 ชั่วโมง/วัน เท่ากับ 7.5 มิลลิกรัม/ ลูกบาศก์เมตร (5 ppm.)	พ.ศ. 2532

ตารางที่ 2.4 (ต่อ)

ชนิดของสารเจือปน	แหล่งที่มาของสาร	ค่าความเข้มข้นของสารเจือปนในอากาศ (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
อาร์เซนิตินา	กฎหมาย	ความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาทำงาน ปกติ 8 ชั่วโมง/วัน เท่ากับ 7 มิลลิกรัม/ ลูกบาศก์เมตร (5 ppm.)

ที่มา: IRPTC (1992-1993)

## 10. ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

### 10.1 ข้อมูลโรงงาน

โรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่งในจังหวัดปทุมธานี ก่อตั้งขึ้นในปี 1987 ในฐานะที่เป็นโรงงานผลิตแผ่นพิมพ์วงจรไฟฟ้า PCB โดยขยายฐานกำลังการผลิตขึ้นที่ไทยเป็นแห่งแรกที่ตั้งขึ้นในต่างประเทศ โรงงานในประเทศไทยมีวัตถุประสงค์ที่จะขยายตลาดต่างประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภูมิภาคเอเชีย ด้วยประสิทธิภาพการทำงานที่มีคุณภาพที่ดีเยี่ยมและการบริการหลังการขาย โรงงานในประเทศไทยได้รับการยอมรับว่าเป็นหนึ่งในผู้ผลิตแผ่นพิมพ์วงจรไฟฟ้า PCB ชั้นนำในประเทศ โรงงานในประเทศไทยมีพื้นที่ ประมาณ 33,892 ตารางเมตรของพื้นที่ใช้ และผลิต PCBs หลายชั้นถึง 12 ชั้นมีกำลังการผลิตประมาณ 840,000 ตารางฟุตต่อเดือนและบริษัทกำหนดเป้าหมายเพิ่มที่จะผลิตและขยายในอุปกรณ์เครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วง ยานยนต์ การสื่อสาร เครื่องมือและด้วยตลาดอุปกรณ์โรงงานในประเทศไทยทางภูมิศาสตร์และความได้เปรียบในเรื่องค่าใช้จ่ายประกอบกับในด้านจุดบริการทำให้โรงงานในไทยมีภูมิประเทศที่เป็นพันธมิตรที่สมบูรณ์แบบสำหรับลูกค้าในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

### 10.2 ข้อมูลพนักงาน

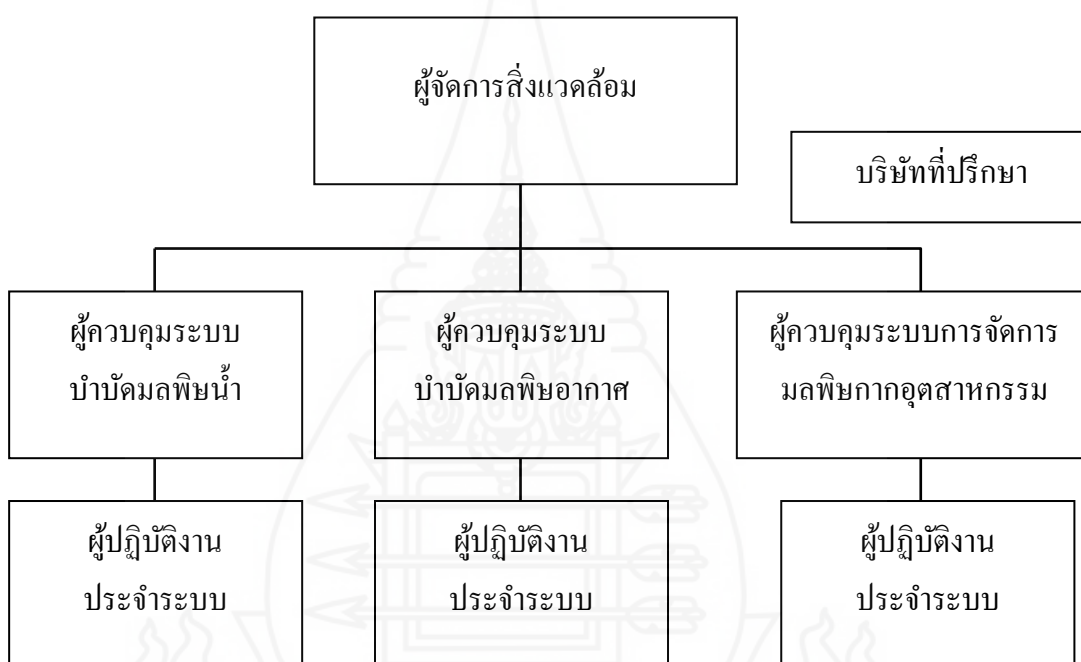
บริษัทมีจำนวนพนักงานทั้งสิ้น 1,254 คน แบ่งเป็น ชาย 505 คน หญิง 749 คน โดยมีกระบวนการผลิตแผ่นพิมพ์วงจรไฟฟ้า (Print circuit board) ประกอบด้วย

**10.2.1 กระบวนการถ่ายลายวงจรชั้นใน (Inner layer)** เป็นกระบวนการถ่ายลายวงจรชั้นใน เช่น การตัดบอร์ด การถ่ายลายวงจรชั้นใน การกัดทองแดง การอัดให้เป็นแผ่น การเจาะรู เป็นต้น

**10.2.2 กระบวนการถ่ายโอนพลังงานชั้นนอก (Outer layer)** เป็นกระบวนการถ่ายโอนพลังงานชั้นนอก เช่น การชุก การเคลือบผิว การตัดร่องและหักแต่ละหน่วย (Unit) ออกจากกัน การทดสอบทางไฟฟ้า เป็นต้น

### 10.3 ข้อมูลการบริหารจัดการด้านสิ่งแวดล้อม

บริษัทเข้าข่ายเป็นโรงงานที่ต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์การขึ้นทะเบียนผู้ควบคุมดูแลสำหรับระบบป้องกันสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ ดังภาพที่ 2.13 ผู้ควบคุมระบบบำบัดมลพิษประจำบริษัท

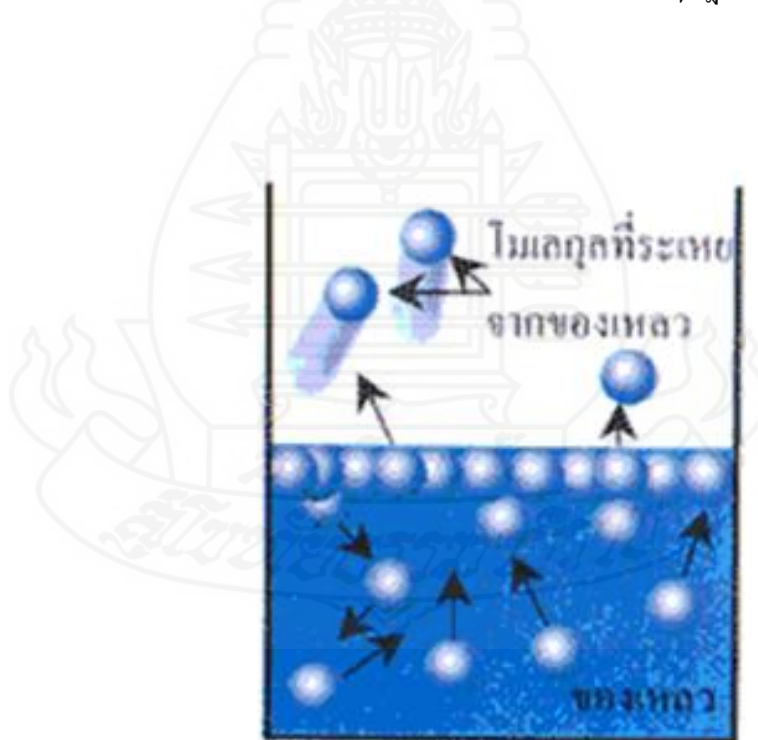


ภาพที่ 2.13 ผู้ควบคุมระบบบำบัดมลพิษประจำบริษัท

## 11. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 11.1 การใช้ทฤษฎีจลน์อธิบายปรากฏการณ์การระเหยของ HCl

จากทฤษฎีจลน์ โมเลกุลของของเหลวเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา และเกิดการชนกันเอง ในการชน โมเลกุลของของเหลวจะมีการถ่ายเทพลังงานให้แก่กัน ภายหลังจากการชน บางโมเลกุลของของเหลวจะมีพลังงานจลน์น้อยลง และบางโมเลกุลมีพลังงานจลน์เพิ่มขึ้น ถ้าโมเลกุลที่มีพลังงานจลน์เพิ่มขึ้นอยู่ที่ผิวหน้าของของเหลวหรือสามารถเคลื่อนที่มายู่ที่ผิวหน้าได้ และสามารถเอาชนะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลจะหลุดออกจากผิวหน้าของของเหลวกลายเป็นไอ ซึ่งเรียกว่า การระเหย เนื่องจากโมเลกุลที่มีพลังงานจลน์สูงกลายเป็นไอ จึงทำให้พลังงานจลน์เฉลี่ยของของเหลวลดลง ของเหลวจะดูดพลังงานจากสิ่งแวดล้อมเข้ามาแทนที่พลังงานที่เสียไปกับโมเลกุลที่กลายเป็นไอ และการระเหยเป็นปรากฏการณ์ซึ่งเกิดขึ้นได้ทั้งอุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำ ตัวอย่างเช่น เมื่อเทเอทิลแอลกอฮอล์ใส่มือจะรู้สึกเย็น ทั้งนี้เพราะว่าเอทิลแอลกอฮอล์มีจุดเดือดต่ำระเหยได้ง่าย จึงดูดพลังงานความร้อนจากมือเราไปช่วยในการระเหย ทำให้มือเราเย็นลง ดังภาพที่ 2.14 การใช้ทฤษฎีจลน์อธิบายปรากฏการณ์การระเหย

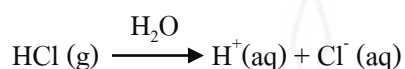


ภาพที่ 2.14 การใช้ทฤษฎีจลน์อธิบายปรากฏการณ์การระเหย

## 11.2 ทฤษฎีกรด-เบสของอาร์เรเนียส

อาร์เรเนียส เป็นนักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดน ได้ตั้งทฤษฎีกรด-เบส ใน ค.ศ. 1887 (พ.ศ. 2430) อาร์เรเนียสศึกษาสารที่ละลายน้ำ (Aqueous solution) และการนำไฟฟ้าของสารละลายนั้น เขาพบว่าสารอิเล็กโทรไลต์จะแตกตัวเป็นไอออน เมื่อละลายอยู่ในน้ำและให้นิยามไว้ว่า

กรด คือ สารที่เมื่อละลายน้ำแล้วแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออน เช่น



เบส คือ สารที่เมื่อละลายน้ำแล้วแตกตัวให้ไฮดรอกไซด์ไอออน เช่น

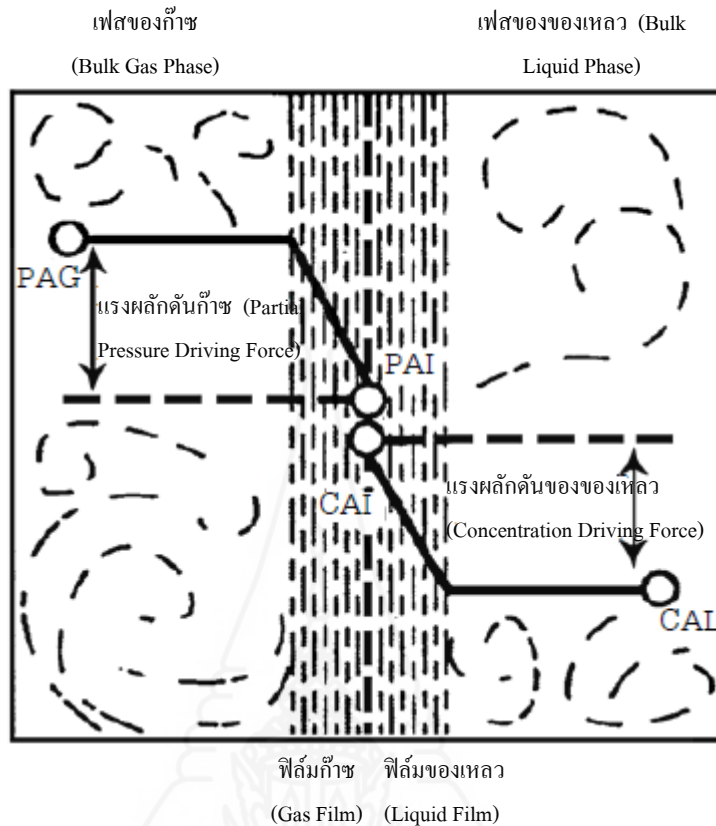


รูปแบบของปฏิกิริยา คือ กรด + เบส  $\rightarrow$  เกลือ + น้ำ เรียกปฏิกิริยาลักษณะนี้ว่า Neutralization หรือปฏิกิริยาสะเทิน มีผลิตภัณฑ์สำคัญที่เกิดขึ้นก็คือเกลือ  $\text{HCl (aq)} + \text{NaOH (aq)} \rightarrow \text{NaCl (aq)} + \text{H}_2\text{O (l)}$  โดย NaCl เป็นเกลือที่เกิดจากกรดแก่ + เบสแก่ เมื่อละลายน้ำจะไม่เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส โมเลกุลของน้ำไม่มีการรับหรือเสีย  $\text{H}^+$  ฉะนั้น  $(\text{H}^+) = (\text{OH}^-)$  เช่นเดียวกับขณะที่เป็นน้ำบริสุทธิ์ สารละลายจึงเป็นกลาง  $\text{pH} = 7$  เหมือนน้ำบริสุทธิ์

## 11.3 แบบจำลองของการดูดซึมทฤษฎีเยื่อสองชั้น (Two films theory)

การดูดซึมเป็นการเคลื่อนย้ายมวลของก๊าซหรือไอที่เป็นสารมลพิษออกจากกระแสอากาศไปสู่ตัวทำละลายแบบจำลองที่ใช้สำหรับอธิบายกลไกของกระบวนการดูดซึมคือ ทฤษฎีเยื่อ 2 ชั้น (Two films theory) แบบจำลองนี้อธิบายเกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายมวลที่มีอยู่ในสถานะก๊าซและของเหลวบริเวณระหว่างผิวของ 2 ส่วน ดังภาพที่ 2.15 คือส่วนของก๊าซและของเหลว





ภาพที่ 2.15 ทฤษฎีเยื่อ 2 ชั้น

ทฤษฎีนี้สมมติว่าส่วนของก๊าซและของเหลวมีการผสมอย่างสมบูรณ์ ทำให้ผิวของส่วนที่เป็นก๊าซและของเหลวสัมผัสกัน และมีการถ่ายโอนมวลสารของสิ่งที่อยู่ในก๊าซหรือของเหลว โดยการแพร่กระจายของโมเลกุลทะลุผ่านเยื่อที่กั้นระหว่างก๊าซกับของเหลว จนกระทั่งเข้าสู่จุดสมดุล จากภาพที่ 2.14 เมื่อการแพร่กระจายของโมเลกุลของสารเข้าสู่จุดสมดุลแล้ว ความเข้มข้นของมวลของสาร A ในสถานะก๊าซจะเปลี่ยนจาก  $P_{AG}$  เป็น  $P_{AI}$  ที่ผิวระหว่างเนื้อเยื่อทั้ง 2 ในทำนองเดียวกัน ความเข้มข้นของมวลของสารในสถานะของเหลวจะเปลี่ยนจาก  $C_{AI}$  เป็น  $C_{AL}$  อัตราส่วนการเคลื่อนย้ายอธิบายได้โดยสมการ ต่อไปนี้

$$N_A = k_g (P_{AG} - P_{AI})$$

$$N_A = k_l (C_{AG} - C_{AI})$$

เมื่อ  $N_A$  = อัตราส่วนของการเคลื่อนย้ายองค์ประกอบของสาร A กรัมโมล/  
ชั่วโมงตารางเมตร

$k_g$  = ค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนย้ายมวลสถานะก๊าซ กรัมโมล/ชั่วโมง  
ตารางเมตร Pa

$k_l$  = ค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนย้ายมวลสถานะของเหลว กรัมโมล/ชั่วโมง  
ตารางเมตร Pa

ค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนย้ายมวล  $k_g$  และ  $k_l$  แสดงถึงค่าความต้านทานการไหลของตัวทำละลายที่พบว่า มีการกระจายทะลุผ่านผิวเนื้อเยื่อ สมการทั้ง 2 จะมีความแตกต่างกันในการใช้งาน เนื่องจากไม่สามารถวัดค่าความเข้มข้นที่ระหว่างเนื้อเยื่อทั้ง 2 ได้ จึงได้มีการอธิบายการเคลื่อนย้ายมวลที่สภาวะสมดุล และมีการรวมค่าความต้านทานของแต่ละเนื้อเยื่อที่มีอยู่ทั้งหมดเข้าไปด้วย ซึ่งถ้าเส้นสมดุลเป็นเส้นตรง อัตราการดูดซึมจะเป็นดังนี้

$$N_A = K_{OG} (P_{AG} - P_{A*})$$

$$N_A = K_{OL} (C_{A*} - C_{AI})$$

เมื่อ  $P_{A*}$  = ความดันที่จุดสมดุลของตัวทำละลาย A

$C_A$  = ความเข้มข้นที่จุดสมดุลของตัวทำละลาย A

$K_{OG}$  = ค่าสัมประสิทธิ์พื้นฐานของการเคลื่อนย้ายมวลทั้งหมดในสภาวะก๊าซ  
กรัมโมล/ชั่วโมงตารางเมตร Pa

$K_{OL}$  = ค่าสัมประสิทธิ์พื้นฐานของการเคลื่อนย้ายมวลทั้งหมดในสภาวะ  
ของเหลว กรัมโมล/ชั่วโมงตารางเมตร Pa

ที่จุดสมดุล ค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนย้ายมวลทั้งหมดจะสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนย้ายมวลแต่ละตัว ดังนี้

$$\frac{1}{K_{OG}} = \frac{1}{K_g} + \frac{H}{K_l}$$

$$\frac{1}{K_{OL}} = \frac{1}{K_l} + \frac{1}{H \cdot k_g}$$

H เป็นค่าคงที่ของ Henry's Law จากสมการถ้า H มีค่าน้อยมาก หมายถึงก๊าซสามารถละลายได้ดีในของเหลว ดังนั้น  $K_{OG}$  มีค่าใกล้เคียงกับ  $k_g$  และการดูดซึมดังกล่าวนี้จะถูกควบคุมด้วยเยื่อก๊าซในทางตรงกันข้ามถ้า H มีค่ามาก จะมีผลทำให้  $K_{OL}$  มีค่าใกล้เคียงกับ  $k_l$  นั่นคือ ก๊าซละลาย

ยากในขอเหลวจะถูกควบคุมด้วยเยื่อของของเหลว ดังนั้นส่วนใหญ่ระบบการควบคุมมลพิษทางอากาศ จะใช้ระบบควบคุมด้วยก๊าซ

ดังนั้นกลไกของการดูดซึมที่ใช้ในการบำบัดมลพิษทางอากาศอธิบายได้โดยใช้ ทฤษฎีเยื่อ 2 ชั้น ซึ่งสมมติว่าก๊าซมลพิษที่ต้องการบำบัดมีการผสมกับของเหลวที่เป็นตัวทำละลาย ทำให้ผิวของทั้ง 2 ส่วนสัมผัสกัน และมีการถ่ายโอนมวลสารของก๊าซมลพิษจากกระแสอากาศเสีย ไปสู่สารละลาย โดยการถ่ายโอนนั้นถูกควบคุมด้วยส่วนที่เป็นเยื่อก๊าซ

ที่มา: ตำราบำบัดมลพิษอากาศ

## 12. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เจริญ คงเจริญ (2548) ได้ศึกษาการลดปริมาณก๊าซอันตรายที่เกิดจากกระบวนการอัด ประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่รถยนต์ โดยวิธีจับด้วยละอองน้ำให้อยู่ในมาตรฐานความปลอดภัยสากลสำหรับ คลังสินค้า พบว่า การอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้าขนาดใหญ่จะพบว่าจะเกิดก๊าซที่เป็น อันตรายสำคัญ 2 ชนิด คือ ก๊าซไฮโดรเจน และไอกรดซัลฟูริก การบำบัดก๊าซที่มีไอกรดซัลฟูริกทำ โดยวิธีจับด้วยละอองน้ำแบบยืดหยุ่น ซึ่งสามารถควบคุมรอบการทำงานของพัดลมดูดและปั้มน้ำให้ เหมาะสมกับความเข้มข้นของก๊าซภายในระบบ ด้วยระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ ก๊าซที่ผ่านการบำบัด มีความเข้มข้นไม่เกินมาตรฐานปริมาณของสารเจือปนในอากาศตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม และน้ำเสียภายในระบบจะถูกควบคุมระดับ pH ที่ 6.5 กรณีน้ำภายหลังใช้งานมี pH ต่ำกว่า 6.5 จะถูก ปลดปล่อยสู่ระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลางเพื่อทำการบำบัดให้ได้มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง

สุรชาติ สินวรรณ และคณะ (2550) ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องต้นแบบระบบ บำบัดไอระเหยเบนซีนและ โทลูอิน โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเศษไม้จากสถานประกอบการประเภท ผลิตภัณฑ์ไม้ในเขตบางซื่อ พบว่าต้นแบบระบบบำบัดไอระเหยได้ถูกออกแบบมาให้มีความเร็วจับ (Capture velocity) อยู่ ระหว่าง 80 fpm (0.40 m/s) ซึ่งจะทำให้อากาศในท่อไหลราบเรียบที่สุดเพื่อที่ จะลดการสูญเสียพลังงานในการดูดซับ ซึ่งในระดับความเข้มข้นไอระเหยในระดับ 100 ส่วนในล้าน ส่วน (ppm) วัสดุดูดซับจะสามารถดูดซับไอระเหยที่ไหลผ่านในระดับนี้ได้ดีที่สุดในระดับความ เข้มข้น 200 และ 300 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งมีความเข้มข้นมากๆ ความเร็วในการไหลผ่านวัสดุดูดซับ จะช้ามาก จึงทำให้ไอระเหยย้อนกลับเข้าไปและตกค้างในในระบบอีก

เรวัตร ช่อมสุข และศุภเอก ประมูลมาก (2551) ได้ศึกษาทดลองระบบการควบคุม มลภาวะทางอากาศอุตสาหกรรมงานชุบโลหะ พบว่าเมื่ออัตราส่วน L/G ที่มีค่าสูงขึ้นประสิทธิภาพ ของเครื่องสครับเบอร์จะสูงขึ้น สภาวะการทำงานทำให้ประสิทธิภาพสูงสุด คือ อัตราส่วน L/G เท่ากับ

3.07 l/m<sup>3</sup> ที่จำนวนหัวฉีดน้ำเท่ากับ 5 หัว ความเข้มข้นของฝุ่นที่ทางเข้าเท่ากับ 2 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นของเครื่องเท่ากับ 86.60% ที่ขนาดอนุภาคของฝุ่นช่วง 4-20 ไมครอน

อานนท์ สิทธิเวช (2552) ได้ศึกษาทดลองการควบคุมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยแพคเบดสครับเบอร์ ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยแพคเบดสครับเบอร์ พบว่าเมื่ออัตราส่วนโดยโมลของของเหลวต่อก๊าซ และความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพระบบบำบัดก๊าซเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เริ่มต้นเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการบำบัดลดลงและพบว่าอัตราส่วนโดยโมลของของเหลวต่อก๊าซเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด

กฤษชัย ทะแยแก้ว และพิสิทธิ์ ดวงฟู (2556) ได้ทดสอบและหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องดักจับเขม่าควันใช้ความสามารถในการทำงานเป็นตัวชี้วัด พบว่าอุปกรณ์ต่างๆ สามารถทำงานได้อย่างสะดวกเครื่องสามารถทำงานดักจับเขม่าควันในพื้นที่ 10 ตารางเมตร โดยปริมาณเขม่าควันแบบไม่มีเครื่องดักจับเขม่าควัน ความเข้มข้นของเขม่าควันอยู่ที่ 100% และปริมาณเขม่าควันแบบผ่านเครื่องดักจับเขม่าควัน ความเข้มข้นของเขม่าควันอยู่ที่ 60% เครื่องดักจับสามารถดักจับเขม่าควันได้ 40% ของเขม่าควันที่ดูมาได้



# บทที่ 3

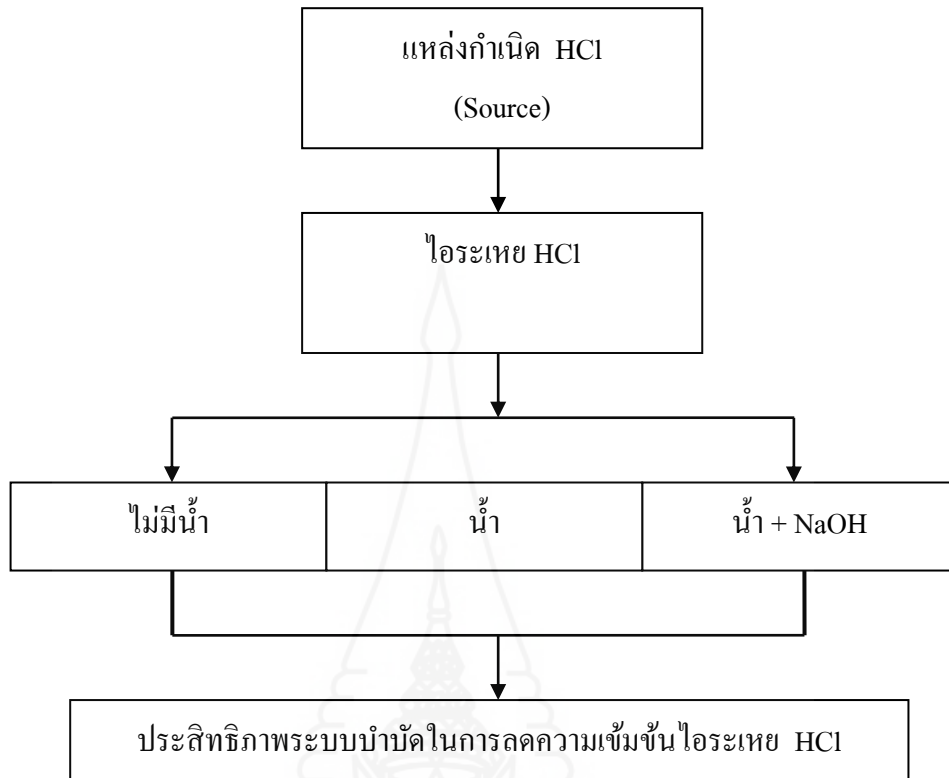
## วิธีดำเนินการวิจัย

### 1. รูปแบบการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงกึ่งทดลองในโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์  
แห่งหนึ่งในจังหวัดปทุมธานี

### 2. วัสดุ/อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 2.1 แท็งก์พลาสติก PE ขนาด 3,000 ลิตร สำหรับรองรับการขนถ่าย HCl
  - 2.2 ถังระบบบำบัดไอระเหย HCl พลาสติก PE ขนาด 100 ลิตรที่สร้างขึ้น สำหรับบรรจุ  
น้ำหรือสารละลาย NaOH
  - 2.3 น้ำ
  - 2.4 สารละลาย NaOH ความเข้มข้น 98%
  - 2.5 เครื่องวัดกรดด่าง-พีเอช (pH Meter) ยี่ห้อ Lutron รุ่น PH-222 ผู้ผลิต Hanna  
ประเทศ Romania
  - 2.6 หลอดเก็บตัวอย่างอากาศ (Solid Sorbent Tube) ประเภทซิลิกาเจล (Silica gel)  
ยี่ห้อ SKG ผู้ผลิต SKC ประเทศ USA
  - 2.7 อุปกรณ์การเก็บตัวอย่างอากาศ (Personal Pump) ยี่ห้อ Gilair LFS 113D ผู้ผลิต  
Gilian Personal Pump ประเทศ USA
- วิธีการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างคุณภาพอากาศประเภท HCl จากปล่องระบาย โดยมี  
ขั้นตอนดังภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างไอระเหย HCl



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างไอระเหย HCl

### 3. การเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

3.1 การปนเปื้อนมลพิษในอากาศ → ควบคุมโดยใช้แบบจำลองระบบบำบัดไอระเหย HCl

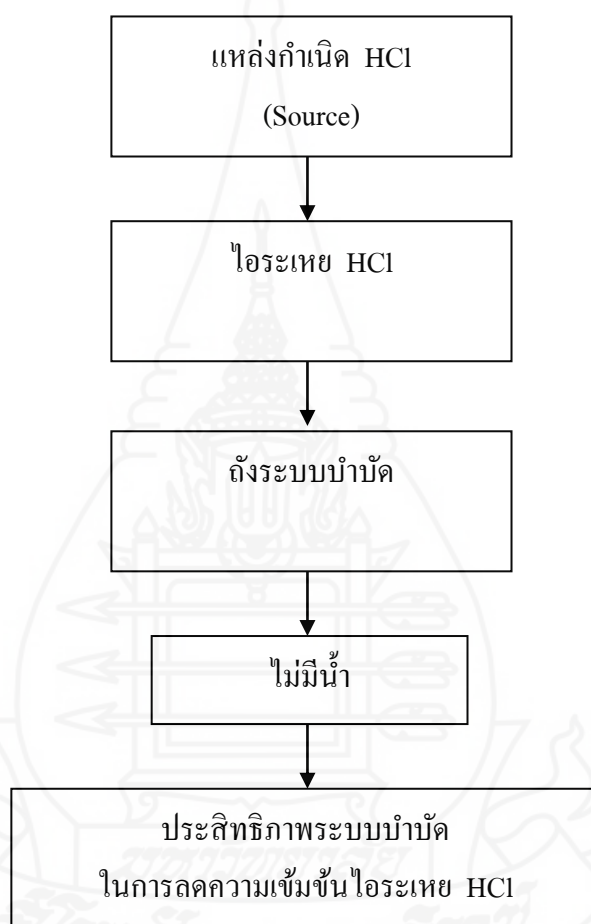
3.2 ค่าความเข้มข้นของจุดมลพิษในแต่ละการทดลอง → ควบคุมโดยการขนถ่าย HCl จากระถาวรทุก (Fixed Tank)

### 4. วิธีการทดลอง

#### 4.1 การเตรียมระบบบำบัดไอระเหย HCl ไม่ผ่านน้ำ

ขณะรถบรรทุก (Fixed Tank) ขนถ่าย HCl ด้วยอัตราการไหล 2 นาที / 1,000 ลิตร ลงสู่แท็งก์พลาสติก PE ขนาด 3,000 ลิตร พบว่ามีไอระเหย HCl ออกจากรูระบายที่ฝาแท็งก์พลาสติก PE ดังกล่าว ฟุ้งกระจายสู่บรรยากาศสิ่งแวดล้อมจึงทำการต่อท่อ PVC อากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet) เข้ากับ

ถึงเปล่าของระบบบำบัด ขนาด 100 ลิตรที่สร้างขึ้น และเจาะรูด้านบนฝาดังจุดที่ 1 ซึ่งจุ่มปลายท่อดังกล่าวลงไปในถังเปล่าของระบบบำบัด จากนั้นจึงเจาะรูด้านบนฝาดังจุดที่ 2 สำหรับต่อท่อ PVC เพื่อให้อากาศที่ผ่านถังเปล่าของระบบบำบัดออก (ท่อ Outlet) โดยที่ปลายท่อมีความลึกประมาณ 0.5 นิ้ว จากฝาดังเปล่าของระบบบำบัด ดังภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างไอระเหย HCl เมื่อไม่มีน้ำ

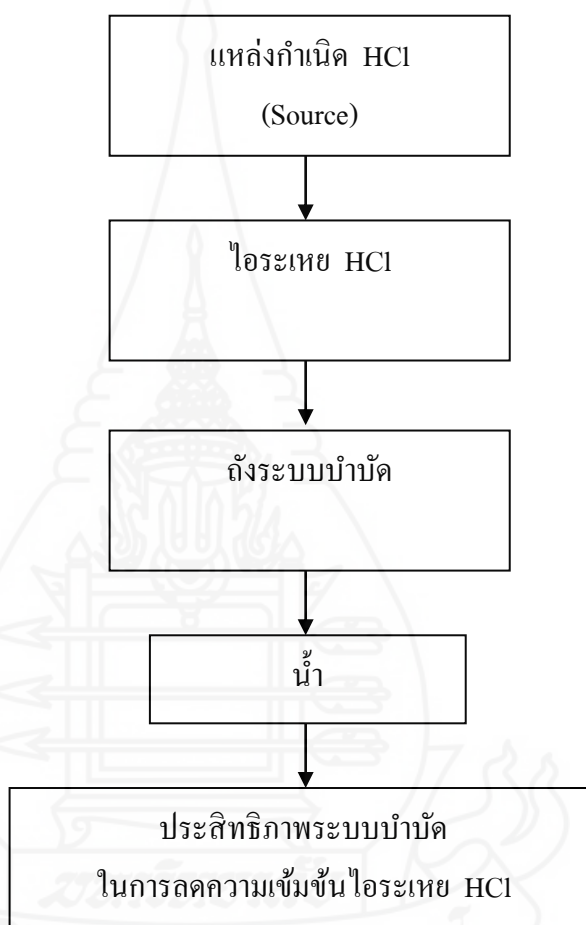


ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างไอระเหย HCl เมื่อไม่มีน้ำ

#### 4.2 การเตรียมระบบบำบัดไอระเหย HCl ผ่านน้ำ

ขณะรถบรรทุก (Fixed Tank) ขนถ่าย HCl ด้วยอัตราการไหล 2 นาที / 1,000 ลิตร ลงสู่แท็งก์พลาสติก PE ขนาด 3,000 ลิตร พบว่ามีไอระเหย HCl ออกจากรูระบายที่ฝาแท็งก์พลาสติก PE ดังกล่าว ฟุ้งกระจายสู่บรรยากาศสิ่งแวดล้อมจึงทำการต่อท่อ PVC อากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet) เข้ากับถังระบบบำบัด ขนาด 100 ลิตรที่สร้างขึ้น ซึ่งบรรจุน้ำ 75 ลิตร และเจาะรูด้านบนฝาดังจุดที่ 1 ซึ่งจุ่ม

ปลายท่อดังกล่าวมีความลึกลงไปประมาณ 2 นิ้ว จากผิวของน้ำ จากนั้นจึงเจาะรูด้านบนฝาดังจุดที่ 2 สำหรับต่อท่อ PVC อากาศที่บำบัดแล้วออก (ท่อ Outlet) โดยที่ปลายท่อมีความลึกประมาณ 0.5 นิ้ว จากฝาดังของระบบบำบัด เพื่อให้ไอระเหย HCl ที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีดูดซึมแล้วระบายออก ดังภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างไอระเหย HCl เมื่อมีน้ำ



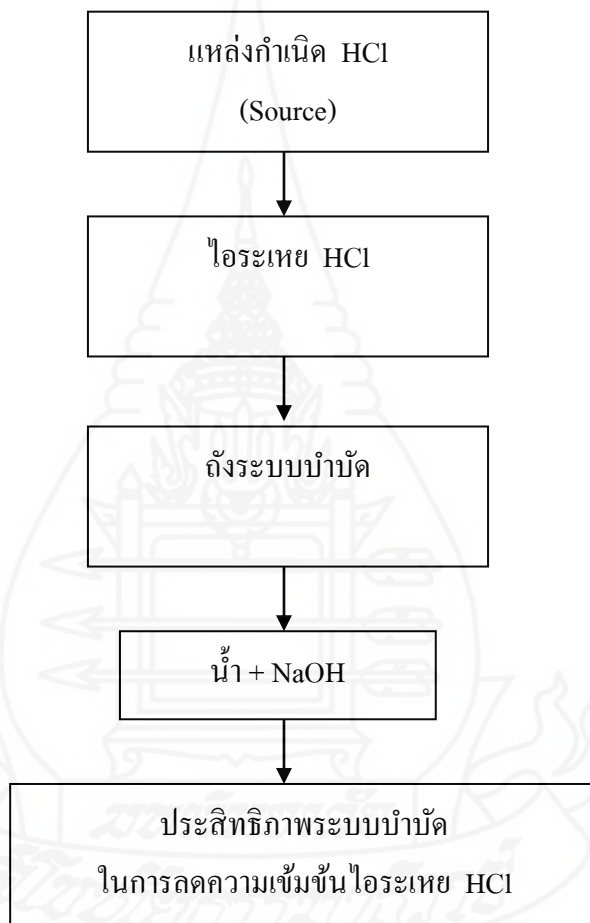
ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างไอระเหย HCl เมื่อมีน้ำ

#### 4.3 การเตรียมระบบบำบัดไอระเหย HCl ผ่านสารละลาย NaOH

ขณะรถบรรทุก (Fixed Tank) ขนถ่าย HCl ด้วยอัตราการไหล 2 นาที / 1,000 ลิตร ลงสู่แท็งก์พลาสติก PE ขนาด 3,000 ลิตร พบว่ามีไอระเหย HCl ออกจากรูระบายที่ฝาแท็งก์พลาสติก PE ดังกล่าว ฝูงกระจายสู่บรรยากาศสิ่งแวดล้อมจึงทำการต่อท่อ PVC อากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet) เข้ากับถังระบบบำบัด ขนาด 100 ลิตรที่สร้างขึ้น ซึ่งบรรจุสารละลาย NaOH 75 ลิตร ประกอบด้วย น้ำ 65



ลิตร และ NaOH 98% 10 ลิตร และเจาะรูด้านบนฝาดังจุดที่ 1 ซึ่งจุ่มปลายท่อดังกล่าวมีความลึกลงไปประมาณ 2 นิ้ว จากผิวของสารละลาย NaOH จากนั้นจึงเจาะรูด้านบนฝาดังจุดที่ 2 สำหรับต่อท่อ PVC อากาศที่บำบัดแล้วออก (ท่อ Outlet) โดยที่ปลายท่อมีความลึกประมาณ 0.5 นิ้ว จากฝาดังของระบบบำบัด เพื่อให้ไอระเหย HCl ที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีดูดซึมแล้วระบายออก ดังภาพที่ 3.4 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างไอระเหย HCl เมื่อมีสารละลาย NaOH



ภาพที่ 3.4 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างไอระเหย HCl เมื่อมีสารละลาย NaOH

## 5. การเก็บตัวอย่างอากาศ

**5.1 เจาะปล่องด้าน Inlet และด้าน Outlet** ตามมาตรฐานวิธีการตรวจวัดคุณภาพอากาศจากปล่องระบาย

**5.2 ทำการเก็บตัวอย่างอากาศขณะมีรถบรรทุกขนถ่าย HCl ลงแท็งก์พลาสติก PE ขนาด 3,000 ลิตร ด้วยอัตราการไหล 1,000 ลิตร/ 2 นาที** โดยดำเนินการเก็บตัวอย่างอากาศ 3 ซ้ำ ได้แก่

**5.2.1 กรณีไม่มีน้ำในถังระบบบำบัด** ดำเนินการเก็บตัวอย่างอากาศด้าน Inlet และด้าน Outlet พร้อมกัน ซึ่งใช้อุปกรณ์การเก็บตัวอย่างอากาศ (Personal Pump) ดูดอากาศจากปล่องระบายผ่านหลอดเก็บตัวอย่างอากาศ (Solid Sorbent Tube) ประเภทซิลิกาเจล (Silica gel) เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 2 นาทีแรก โดยไม่มีน้ำในถังระบบบำบัดขนาด 100 ลิตรที่สร้างขึ้น และปิดระบบวาล์วของรถบรรทุกขนถ่าย HCl จากนั้นจึงเติมน้ำเข้าถังระบบบำบัดดังกล่าว

**5.2.2 กรณีมีน้ำในถังระบบบำบัด** ดำเนินการเก็บตัวอย่างอากาศด้าน Inlet และด้าน Outlet พร้อมกันซึ่งใช้อุปกรณ์การเก็บตัวอย่างอากาศ (Personal Pump) ดูดอากาศจากปล่องระบายผ่านหลอดเก็บตัวอย่างอากาศ (Solid Sorbent Tube) ประเภทซิลิกาเจล (Silica gel) เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 2 นาทีถัดมา โดยมีน้ำในถังระบบบำบัดขนาด 100 ลิตรที่สร้างขึ้น และปิดระบบวาล์วของรถบรรทุกขนถ่าย HCl จากนั้นจึงปล่อยน้ำออกจากถังระบบบำบัด HCl และเติมสารละลาย NaOH เข้าถังระบบบำบัดดังกล่าว

**5.2.3 กรณีมีสารละลาย NaOH ในถังระบบบำบัด** ดำเนินการเก็บตัวอย่างอากาศด้าน Inlet และด้าน Outlet พร้อมกัน ซึ่งใช้อุปกรณ์การเก็บตัวอย่างอากาศ (Personal Pump) ดูดอากาศจากปล่องระบายผ่านหลอดเก็บตัวอย่างอากาศ (Solid Sorbent Tube) ประเภทซิลิกาเจล (Silica gel) เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 2 นาทีสุดท้าย โดยมีสารละลาย NaOH ในถังระบบบำบัดขนาด 100 ลิตรที่สร้างขึ้น และปิดระบบวาล์วของรถบรรทุกขนถ่าย HCl

## 6. การวิเคราะห์ข้อมูล

การทดสอบสถิติโดยใช้สถิติค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One way ANOVA)

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

#### 1. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของไอระเหยกรดไฮโดรคลอริก ด้วยวิธีดูดซึม

โรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่งในจังหวัดปทุมธานี ผลิตแผ่นพิมพ์วงจรไฟฟ้า (Print Circuit Board ; PCB) ใช้สารเคมี HCl เป็นวัตถุดิบในขบวนการกัดทองแดงที่แผ่นบอร์ดในส่วนนอกเหนือวงจร โดยการกัดทองแดงที่ไม่ต้องการออกและการลอกฟิล์มที่อยู่บนบอร์ดก็จะได้ทองแดงที่ต้องการไว้ สำหรับขั้นตอนการขนถ่ายสารเคมี HCl จะใช้รถบรรทุกสารเคมีที่ได้รับอนุญาตตามกฎหมาย (ประกาศมติคณะกรรมการวัตถุอันตรายเรื่องการขนส่งวัตถุอันตรายทางบก พ.ศ. 2545) เป็นแท็งก์ติดตึ๊งถาวรกับตัวรถ (Fixed Tank) โดยมีจุดเชื่อมต่อสายและวาล์วเปิดเพื่อนำ HCl จากรถบรรทุกไปลงแท็งก์พลาสติก PE ขนาด 3,000 ลิตร ดังภาพที่ 4.1 การเปิดวาล์วรถบรรทุกขนถ่าย HCl ลงแท็งก์พลาสติก PE



ภาพที่ 4.1 การเปิดวาล์วรถบรรทุกขนถ่าย HCl ลงแท็งก์พลาสติก PE

ขณะขนถ่าย HCl จากรถไปลงแท็งก์พลาสติก PE ขนาด 3,000 ลิตร ด้วยอัตราการไหล 1,000 ลิตร/2 นาที เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 6 นาทีและเมื่อแท็งก์พลาสติก PE มีปริมาณ HCl เพิ่มสูงขึ้นทีละนิดทำให้เกิดความดันภายในแท็งก์และลักษณะเฉพาะของ HCl ซึ่งระเหยเป็นไอได้รวดเร็ว จึงพบว่าที่แท็งก์พลาสติก PE มีไอระเหยของ HCl จำนวนมากออกมาจากรูระบายที่ฝาถังฟุ้งกระจายออกสู่บรรยากาศสิ่งแวดล้อมส่งผลกระทบต่อชาวบ้านข้างเคียง ซึ่งเกิดปัญหาข้อร้องเรียนรวมถึงพนักงานที่เกี่ยวข้องเมื่อสัมผัสและสูดดมเข้าไปจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ ดังภาพที่ 4.2 การไหลของ HCl ขณะขนถ่าย



ภาพที่ 4.2 การไหลของ HCl ขณะขนถ่าย

จากกรณีปัญหาดังกล่าวข้างต้น ทั้งนี้ HCl เป็นสารประกอบเคมีประเภทกรดละลายในน้ำ โดยเป็นสารละลายไฮโดรเจนคลอไรด์ในน้ำ มีสูตรเคมีคือ HCl มีคุณสมบัติเป็นได้ทั้งก๊าซและของเหลว HCl จัดเป็นกรดแก่ ถ้าพบในรูปของเหลวเรียกว่ากรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) หรือกรดเกลือ ถ้ามีสถานะเป็นก๊าซ เรียกว่าไฮโดรเจนคลอไรด์ (Hydrogen chloride) และ HCl เป็นสารที่ไม่มีสี มีกลิ่นฉุน มีฤทธิ์สุกร้อนอย่างรุนแรง เพื่อควบคุมและลดผลกระทบที่เกิดขึ้นจึงควรมีอุปกรณ์ควบคุมมลพิษทางอากาศ โดยพิจารณาความสามารถหรือประสิทธิภาพของอุปกรณ์ควบคุมฯ ว่าสามารถลดปริมาณสารมลพิษลงจากแหล่งกำเนิดก่อนปล่อยออกไปให้มีปริมาณสารพิษคงเหลืออยู่น้อยที่สุดหรือไม่เกินตามที่กฎหมายกำหนด โดยมีค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ควบคุมฯ รวมทั้งค่าติดตั้งและการดูแลบำรุงรักษาต่ำสุด ดังนั้น โรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่งในจังหวัดปทุมธานีจึงดำเนินการสร้างระบบบำบัดไอระเหย HCl และการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบบำบัดในการลดความเข้มข้นไอระเหย HCl ได้แก่

## 1.1 สร้างระบบบำบัดไอระเหย HCl

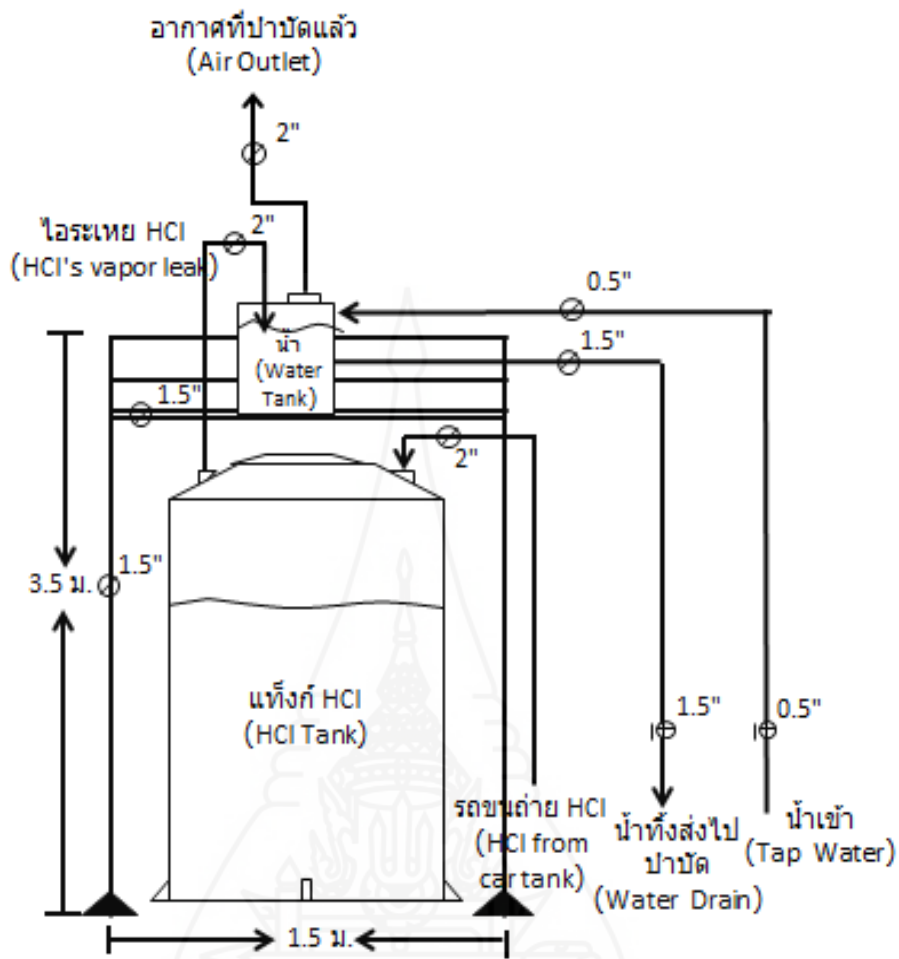
### 1.1.1 วัสดุอุปกรณ์การสร้างระบบบำบัดไอระเหย HCl

ทรัพยากรที่ต้องให้ความสนใจเพื่อให้การสร้างระบบบำบัดไอระเหย HCl ของโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่งในจังหวัดปทุมธานี ประสบความสำเร็จประกอบด้วยปัจจัย ดังต่อไปนี้

- 1) คน (Man)
- 2) เงิน (Money)
- 3) ทรัพยากรหรือวัสดุอุปกรณ์ (Material)
- 4) การจัดการ (Management)

### 1.1.2 รูปแบบการสร้างระบบบำบัดไอระเหย HCl

รูปแบบการสร้างระบบบำบัดไอระเหย HCl มีลักษณะการทำงานที่จัดให้มีการดูดซึมกันระหว่างไอระเหย HCl กับน้ำหรือสารละลาย NaOH ดังภาพที่ 4.3 รูปแบบการสร้างระบบบำบัดไอระเหย HCl และตารางที่ 4.1 รายการวัสดุอุปกรณ์และค่าแรงงานสร้างระบบบำบัดไอระเหย HCl



ภาพที่ 4.3 รูปแบบการสร้างระบบบำบัดไอระเหย HCl

ตารางที่ 4.1 รายการวัสดุอุปกรณ์และค่าแรงงานสร้างระบบบำบัดไอระเหย HCl

ลำดับ	รายการ	จำนวน	ราคา/ หน่วย	เป็นเงิน
<b>งานโครงสร้างแท็งก์ HCl</b>				
1.	สแตนเลส 1.5 นิ้ว สูง 3.5 เมตร (เสา 4 เสา)	4 ท่อน	6,940 บาท (ยาว 6 เมตร)	20,820 บาท
2.	สแตนเลส 1.5 นิ้ว ยาว 1.5 เมตร (ลาดกลาง)	6 ท่อน	6,940 บาท (ยาว 6 เมตร)	13,880 บาท
<b>งานระบบท่ออากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet)</b>				
1.	เกลียวนอก PVC 2 นิ้ว	2 ตัว	28 บาท	56 บาท
2.	ข้องอ PVC 2 นิ้ว	2 ตัว	30 บาท	60 บาท
3.	ท่อ PVC 2 นิ้ว ยาว 2 เมตร (ความสูงท่อ Inlet)	1 เส้น	260 บาท (ยาว 4 เมตร)	260 บาท

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ลำดับ	รายการ	จำนวน	ราคา/ หน่วย	เป็นเงิน
<b>งานระบบท่ออากาศที่บำบัดแล้ว</b>				
<b>(ท่อ Outlet)</b>				
1.	ท่อ PVC 2 นิ้ว ยาว 4 เมตร (ความสูงท่อ Outlet)	1 เส้น	260 บาท (ยาว 4 เมตร)	260 บาท
2.	สแตนเลสฉาก 1.5 นิ้ว ยาว 6 เมตร (โครงยึดท่อ Outlet)	1 เส้น	2,400 บาท (ยาว 6 เมตร)	2,400 บาท
3.	ถังระบบบำบัดพลาสติก PE ขนาด 100 ลิตร เส้นผ่าศูนย์กลาง : ความสูง เท่ากับ 0.50 เมตร X 0.65 เมตร	1 ถัง	918 บาท	918 บาท
<b>งานระบบวาล์วน้ำเข้า (Tap water valve)</b>				
1.	ท่อ PVC 0.5 นิ้ว ยาว 4 เมตร	1 เส้น	50 บาท (ยาว 4 เมตร)	50 บาท
2.	ข้อต่อ PVC 0.5 นิ้ว	2 ตัว	8 บาท	16 บาท
3.	วาล์ว PVC 0.5 นิ้ว	1 ตัว	245 บาท	245 บาท
4.	เกลียวนอก 0.5 นิ้ว (หน้าถัง 1 / วาล์ว 2 ตัว)	3 ตัว	6 บาท	18 บาท
<b>งานระบบวาล์วน้ำทิ้ง</b>				
<b>(Drain water valve)</b>				
1.	เกลียวนอก PVC 1.5 นิ้ว (รวมหน้า Water tank)	3 ตัว	24 บาท	72 บาท
2.	ข้อต่อ PVC 1.5 นิ้ว	1 ตัว	20 บาท	20 บาท
3.	วาล์ว PVC 1.5 นิ้ว	1 ตัว	710 บาท	710 บาท
4.	ท่อ PVC 1.5 นิ้ว ยาว 4 เมตร (ตามหน้างานจากถังระบบบำบัด)	1 เส้น	160 บาท (ยาว 4 เมตร)	160 บาท
<b>ค่าแรงงาน</b>				
1	พนักงานแผนกบำบัดน้ำเสีย	5 คน	310 บาท	1,550 บาท
			<b>รวม</b>	<b>41,495 บาท</b>

### 1.1.3 ขั้นตอนดำเนินการสร้างระบบบำบัดไอระเหย HCl

ขั้นตอนดำเนินการสร้างระบบบำบัดไอระเหย HCl ประกอบด้วย งานโครงสร้างแท็งก์ HCl งานระบบท่อไอระเหย HCl และการติดตั้งงานระบบวาล์วน้ำสำหรับเปลี่ยนถ่าย

#### 1) งานโครงสร้างแท็งก์ HCl

ประกอบด้วยแท็งก์พลาสติก PE ขนาด 3,000 ลิตร ซึ่งบรรจุ HCl เส้นผ่าศูนย์กลางกลาง : ความสูง เท่ากับ 1.5 เมตร X 2.7 เมตร จำนวน 1 ถัง โดยล้อมรอบด้วยการติดตั้งเสาเสตมเลส ขนาด 1.5 นิ้ว สูง 3.5 เมตร จำนวน 4 เสา และมีระยะห่างแต่ละเสาเท่ากับ 1.5 เมตร พร้อมทั้งยึด (คาดกลาง) ระหว่างเสาให้มั่นคง แข็งแรงด้วยเสตมเลส ขนาด 1.5 นิ้ว ยาว 1.5 เมตร จำนวน 6 เส้น (ประกอบด้วยด้านซ้าย 2 เส้น ด้านขวา 2 เส้น และด้านหลัง 2 เส้น) ยกเว้นด้านหน้า เนื่องจากเอาไว้สำหรับเข้าตรวจสอบปริมาณ HCl จากนั้นจึงนำพื้นเสตมเลสขนาด 1.05 ตารางเมตร (ความกว้าง : ความยาว เท่ากับ 0.70 เมตร X 1.50 เมตร) ติดตั้งไว้ที่ด้านบนสุดของเสาโครงสร้างดังกล่าว สำหรับรองรับถังพลาสติกขนาด 100 ลิตร เส้นผ่าศูนย์กลางกลาง : ความสูง เท่ากับ 0.50 เมตร X 0.65 เมตร ดังภาพที่ 4.4 งาน โครงสร้างแท็งก์ HCl

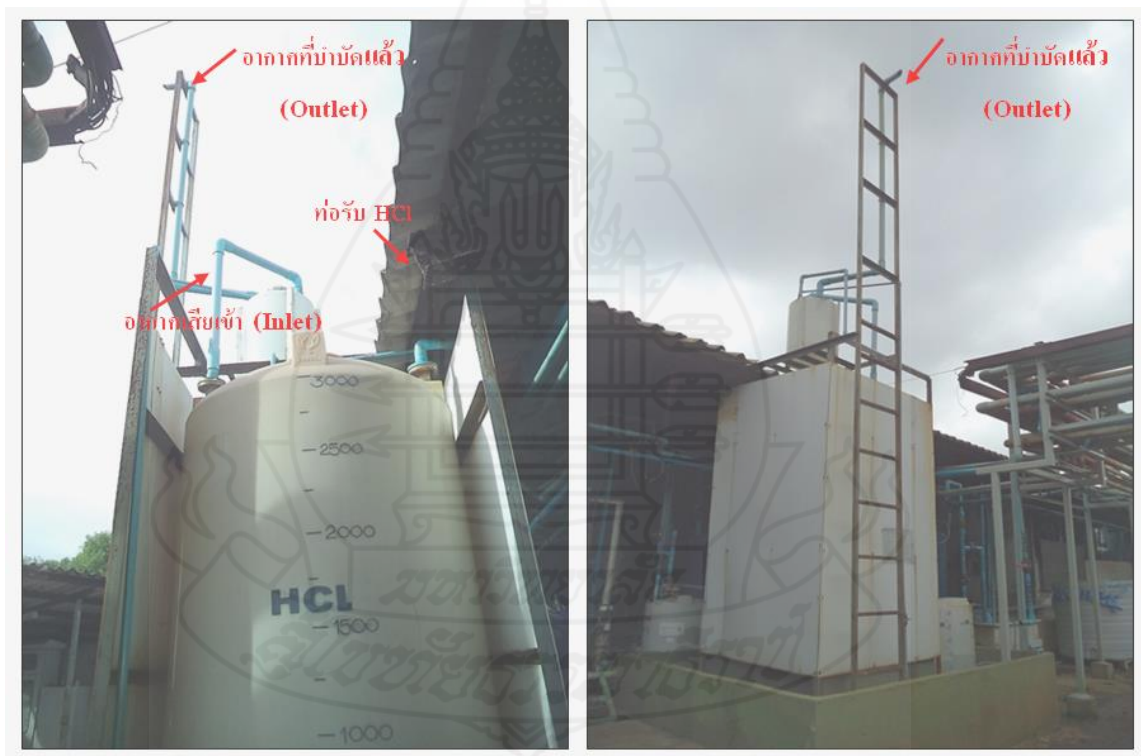


ภาพที่ 4.4 งานโครงสร้างแท็งก์ HCl



## 2) การติดตั้งงานระบบท่อไฮโดรเจน คลอไรด์ HCl

ถังระบบบำบัดไฮโดรเจน คลอไรด์ HCl จะทำการเจาะรูด้านบนฝา 2 จุด คือ จุดที่ 1 สำหรับต่อท่อจากกระบอกที่ฝาถัง HCl ขนาด 3,000 ลิตร ที่พบปัญหาการฟุ้งกระจาย ซึ่งเป็นอากาศเสียเข้า (Inlet) โดยใช้ท่อ PVC ขนาด 2 นิ้ว ยาว 2 เมตร พร้อมข้องอ PVC ขนาด 2 นิ้ว (หัว - ท้าย) โดยให้ปลายท่อดังกล่าวจุ่มเข้าถังระบบบำบัดไฮโดรเจน HCl ความลึก 2 นิ้ว จากผิวของน้ำหรือสารละลาย NaOH และจุดที่ 2 สำหรับต่อท่ออากาศจากถังระบบบำบัดไฮโดรเจน HCl ซึ่งเป็นอากาศที่บำบัดแล้ว ออก (Outlet) โดยใช้ท่อ PVC ขนาด 2 นิ้ว ยาว 4 เมตร พร้อมติดตั้งสแตนเลสฉาก ขนาด 1.5 นิ้ว ยาว 6 เมตร (โครงยึดท่อ Outlet) สำหรับยึดท่อ PVC ดังกล่าวให้มั่นคง แข็งแรง ดังภาพที่ 4.5 การติดตั้งงานระบบท่อ



ภาพที่ 4.5 การติดตั้งงานระบบท่อ

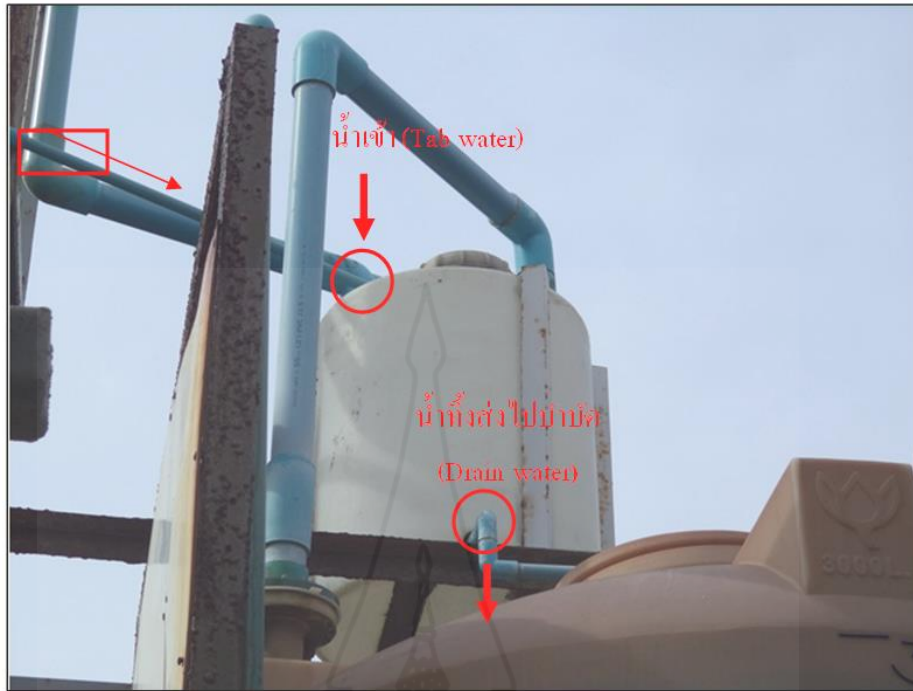
### 3) การติดตั้งงานระบบวาล์วน้ำสำหรับเปลี่ยนถ่าย

(1) การติดตั้งงานระบบวาล์วน้ำเข้า (Tab water valve) ใช้ท่อ PVC ขนาด 0.5 นิ้ว ยาว 4 เมตร พร้อมข้องอ PVC ขนาด 0.5 นิ้ว (หัว - ท้าย) สำหรับให้น้ำเข้าถังระบบบำบัดไอระเหย HCl และควบคุมการเปิด-ปิด ด้วยวาล์ว PVC ขนาด 0.5 นิ้ว ที่ระยะความสูงประมาณ 0.80 เมตร จากพื้นดิน ดังภาพที่ 4.6 การติดตั้งงานระบบวาล์วน้ำเข้า



ภาพที่ 4.6 การติดตั้งงานระบบวาล์วน้ำเข้า

(2) การติดตั้งงานระบบวาล์วน้ำทิ้งส่งไปบำบัด (Drain water valve) ใช้ข้องอ PVC ขนาด 1.5 นิ้ว สำหรับต่อท่อออกจากด้านล่างของถังระบบบำบัดไอระเหย HCl และต่อเข้ากับท่อ PVC ขนาด 1.5 นิ้ว ยาว 4 เมตร สำหรับระบายน้ำจากถังระบบบำบัดไอระเหย HCl ออก และควบคุมการเปิด-ปิด ด้วยวาล์ว PVC ขนาด 1.5 นิ้ว ที่ระยะความสูงประมาณ 0.80 เมตร จากพื้นดิน ดังภาพที่ 4.7 การติดตั้งงานระบบวาล์วน้ำทิ้งส่งไปบำบัด



ภาพที่ 4.7 การติดตั้งงานระบบวาล์วน้ำทิ้งส่งไปบำบัด

## 2. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบบำบัดในการลดความเข้มข้นไอระเหย HCl

เมื่อสร้างระบบบำบัดไอระเหย HCl แล้วเสร็จ จึงดำเนินการตรวจวัดไอระเหย HCl จากปล่องระบายก่อนและหลังผ่านระบบบำบัด (คือ กำหนดจุดเจาะสำหรับตรวจวัด จำนวน 2 จุด ได้แก่ จุดอากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet) และจุดตรวจวัดอากาศที่บำบัดแล้วออก (ท่อ Outlet) ตามมาตรฐานวิธีการตรวจวัดคุณภาพอากาศจากปล่องระบาย) เพื่อจะนำข้อมูลไปคำนวณหาประสิทธิภาพระบบบำบัดเมื่อไม่มีน้ำ มีน้ำและมีสารละลาย NaOH และทำการเก็บข้อมูลทำซ้ำกัน 3 ชุด แต่ละชุดประกอบด้วย 1) การตรวจวัดไอระเหย HCl จากปล่องระบายก่อนและหลังผ่านระบบบำบัดเมื่อไม่มีน้ำ 2) การตรวจวัดไอระเหย HCl จากปล่องระบายก่อนและหลังผ่านระบบบำบัดเมื่อมีน้ำ และ 3) การตรวจวัดไอระเหย HCl จากปล่องระบายก่อนและหลังผ่านระบบบำบัดเมื่อมีสารละลาย NaOH ดังตารางที่ 4.2 แผนการดำเนินงานตรวจวัดคุณภาพอากาศจากปล่องระบาย

ตารางที่ 4.2 แผนการดำเนินงานตรวจวัดคุณภาพอากาศจากปล่องระบาย

คุณภาพสิ่งแวดล้อม	จุดตรวจวัด	จำนวนครั้งการเก็บตัวอย่าง
	<b>ชุดที่ 1</b>	
คุณภาพอากาศ จากปล่องระบาย	<b>1. ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อไม่มีน้ำ</b>	
	- อากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet)	1 ครั้ง
	- อากาศที่บำบัดแล้วออก (ท่อ Outlet)	1 ครั้ง
	<b>2. ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีน้ำ</b>	
	- อากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet)	1 ครั้ง
	- อากาศที่บำบัดแล้วออก (ท่อ Outlet)	1 ครั้ง
	<b>3. ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีสารละลาย NaOH</b>	
	- อากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet)	1 ครั้ง
	- อากาศที่บำบัดแล้วออก (ท่อ Outlet)	1 ครั้ง

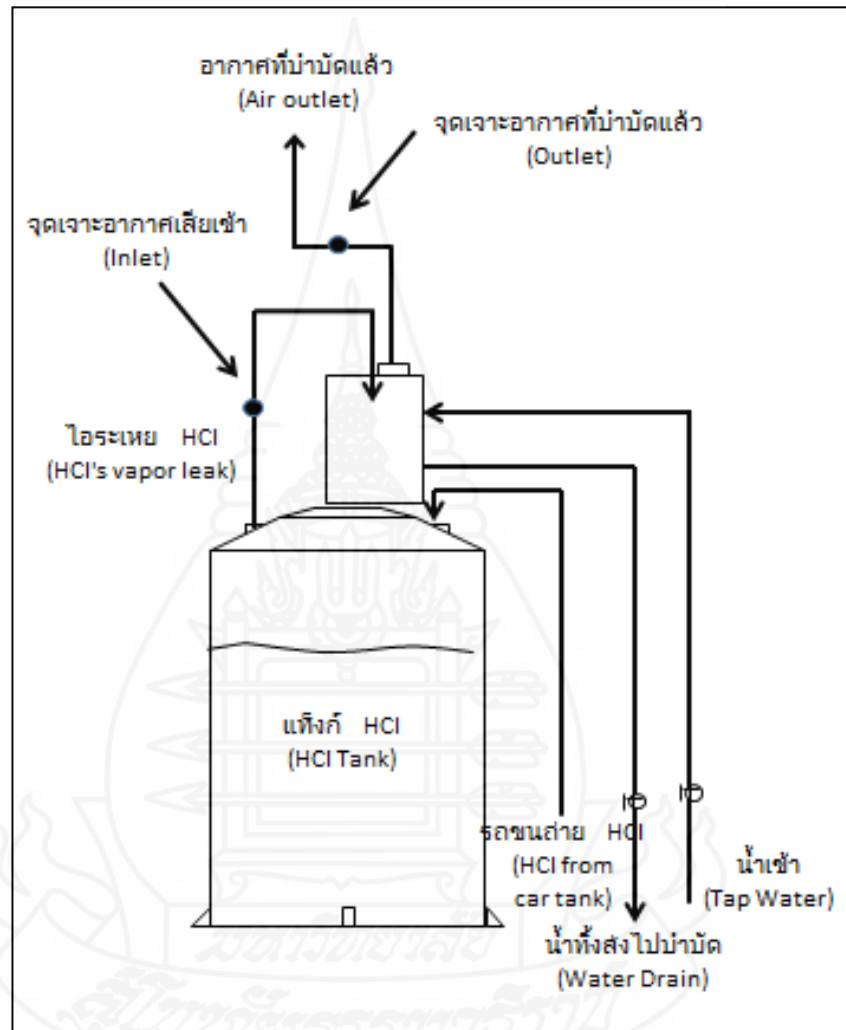
ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

คุณภาพสิ่งแวดล้อม	จุดตรวจวัด	จำนวนครั้งการเก็บตัวอย่าง
	<b>ชุดที่ 2</b>	
คุณภาพอากาศ	<b>1. ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อไม่มีน้ำ</b>	
จากปล่องระบาย	- อากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet)	1 ครั้ง
	- อากาศที่บำบัดแล้วออก (ท่อ Outlet)	1 ครั้ง
	<b>2. ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีน้ำ</b>	
	- อากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet)	1 ครั้ง
	- อากาศที่บำบัดแล้วออก (ท่อ Outlet)	1 ครั้ง
	<b>3. ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีสารละลาย NaOH</b>	
	- อากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet)	1 ครั้ง
	- อากาศที่บำบัดแล้วออก (ท่อ Outlet)	1 ครั้ง
	<b>ชุดที่ 3</b>	
คุณภาพอากาศ	<b>1. ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อไม่มีน้ำ</b>	
จากปล่องระบาย	- อากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet)	1 ครั้ง
	- อากาศที่บำบัดแล้วออก (ท่อ Outlet)	1 ครั้ง
	<b>2. ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีน้ำ</b>	
	- อากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet)	1 ครั้ง
	- อากาศที่บำบัดแล้วออก (ท่อ Outlet)	1 ครั้ง
	<b>3. ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีสารละลาย NaOH</b>	
	- อากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet)	1 ครั้ง
	- อากาศที่บำบัดแล้วออก (ท่อ Outlet)	1 ครั้ง

### 2.1 การทดลองที่ 1 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อไม่มีน้ำ

การเก็บตัวอย่างคุณภาพอากาศประเภท HCl จากปล่องระบายพร้อมกัน 2 จุด จากท่อ PVC ณ จุดอากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet) ก่อนผ่านถึงระบบบำบัดเมื่อไม่มีน้ำ และจากท่อ PVC ณ จุดอากาศที่บำบัดแล้ว (ท่อ Outlet) หลังผ่านถึงระบบบำบัดเมื่อไม่มีน้ำดังกล่าว ตามมาตรฐานวิธีการตรวจวัดคุณภาพอากาศจากปล่องระบาย ภายใต้สภาวะขณะที่มีรถบรรทุกขนถ่าย HCl ลงแท็งก์พลาสติก PE ขนาด 3,000 ลิตร ด้วยอัตราการไหล 1,000 ลิตร/ 2 นาที โดยใช้ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง 2 นาที

แรกพบว่าแท็งก์พลาสติก PE มีปริมาณ HCl เท่ากับ 1,000 ลิตร จากนั้นจึงปิดระบบวาล์วของรถบรรทุกขนถ่าย HCl ดังภาพที่ 4.8 ไม่มีน้ำในถังระบบบำบัด

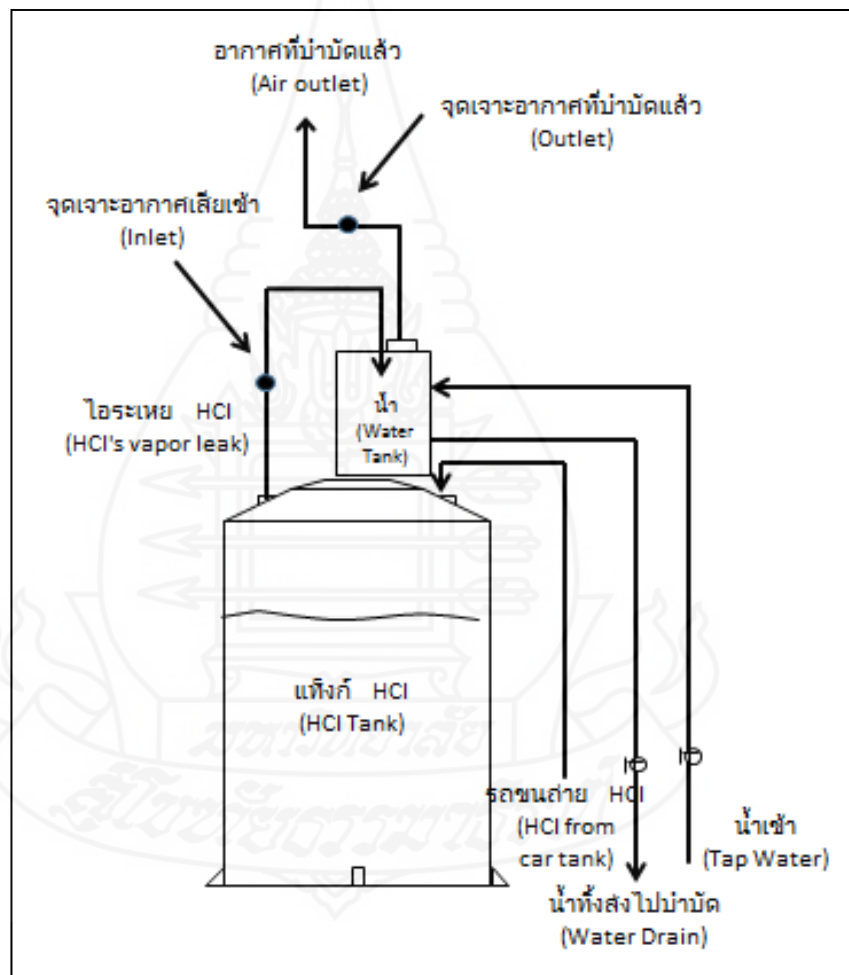


ภาพที่ 4.8 ไม่มีน้ำในถังระบบบำบัด

## 2.2 การทดลองที่ 2 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีน้ำ

ดำเนินการเติมน้ำปริมาณ 75 ลิตร เข้าถังระบบบำบัด ขนาด 100 ลิตรที่สร้างขึ้นเป็นระยะเวลา 5 นาที (ต่อเนื่องจากการทดลองที่ 1) และเปิดระบบวาล์วของรถบรรทุกขนถ่าย HCl พร้อมทั้งทำการการเก็บตัวอย่างคุณภาพอากาศประเภท HCl จากปล่องระบายพร้อมกัน 2 จุด จากท่อ

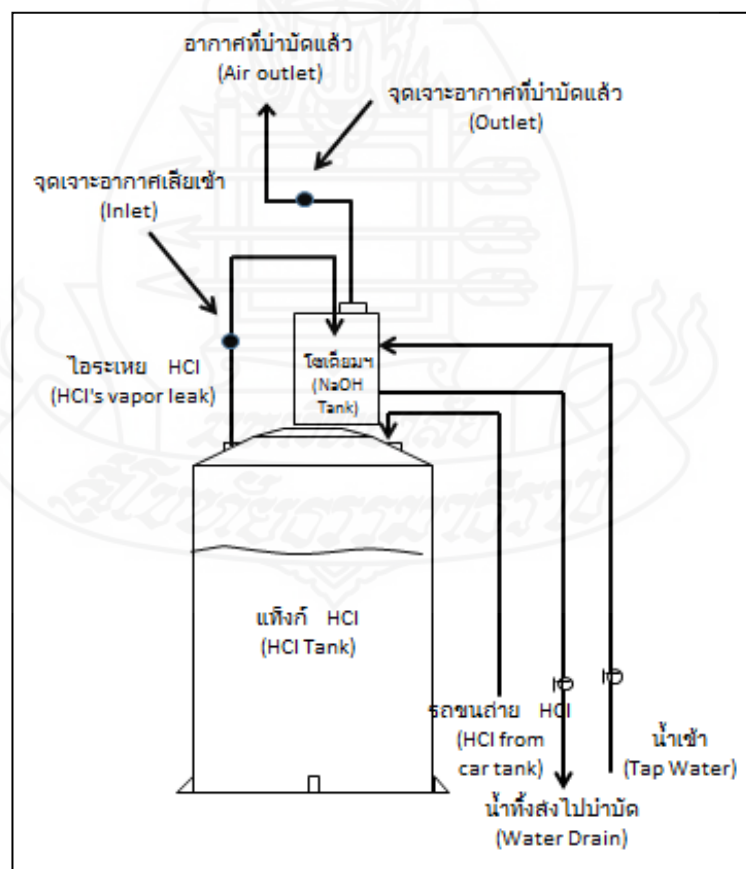
PVC ณ จุดอากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet) ก่อนผ่านถังระบบบำบัดเมื่อน้ำ และจากท่อ PVC ณ จุดอากาศที่บำบัดแล้ว (ท่อ Outlet) หลังผ่านถังระบบบำบัดเมื่อน้ำดังกล่าว ตามมาตรฐานวิธีการตรวจวัดคุณภาพอากาศจากปล่องระบาย ภายใต้สภาวะขณะที่มีรถบรรทุกขนถ่าย HCl ลงแท็งก์พลาสติก PE ขนาด 3,000 ลิตร ด้วยอัตราการไหล 1,000 ลิตร/ 2 นาที โดยใช้ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง 2 นาทีต่อมาพบว่าแท็งก์พลาสติก PE มีปริมาณ HCl เท่ากับ 2,000 ลิตร จากนั้นจึงปิดระบบวาล์วของรถบรรทุกขนถ่าย HCl ดังภาพที่ 4.9 มีน้ำในถังระบบบำบัด



ภาพที่ 4.9 มีน้ำในถังระบบบำบัด

### 2.3 การทดลองที่ 3 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีสารละลาย NaOH

ดำเนินการปล่อยน้ำออกจากถังระบบบำบัด HCl เป็นระยะเวลา 5 นาที และเติมสารละลาย NaOH ปริมาณ 75 ลิตร ประกอบด้วย น้ำ 65 ลิตร และ NaOH 98% 10 ลิตร เข้าถังระบบบำบัด ขนาด 100 ลิตรที่สร้างขึ้น เป็นระยะเวลา 5 นาที (ต่อเนื่องจากการทดลองที่ 2) และเปิดระบบวาล์วของรถบรรทุกขนถ่าย HCl พร้อมทั้งทำการการเก็บตัวอย่างคุณภาพอากาศประเภท HCl จากปล่องระบายพร้อมกัน 2 จุด จากท่อ PVC ณ จุดอากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet) ก่อนผ่านถังระบบบำบัดเมื่อมีสารละลาย NaOH และจากท่อ PVC ณ จุดอากาศที่บำบัดแล้ว (ท่อ Outlet) หลังผ่านถังระบบบำบัดเมื่อมีสารละลาย NaOH ดังกล่าว ตามมาตรฐานวิธีการตรวจวัดคุณภาพอากาศจากปล่องระบายภายใต้สภาวะขณะที่มีรถบรรทุกขนถ่าย HCl ลงแท็งก์พลาสติก PE ขนาด 3,000 ลิตร ด้วยอัตราการไหล 1,000 ลิตร/ 2 นาที โดยใช้ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง 2 นาทีสุดท้ายพบว่าแท็งก์พลาสติก PE มีปริมาณ HCl เท่ากับ 3,000 ลิตร จากนั้นจึงปิดระบบวาล์วของรถบรรทุกขนถ่าย HCl ดังภาพที่ 4.10 มีสารละลาย NaOH ในถังระบบบำบัด



ภาพที่ 4.10 มีสารละลาย NaOH ในถังระบบบำบัด



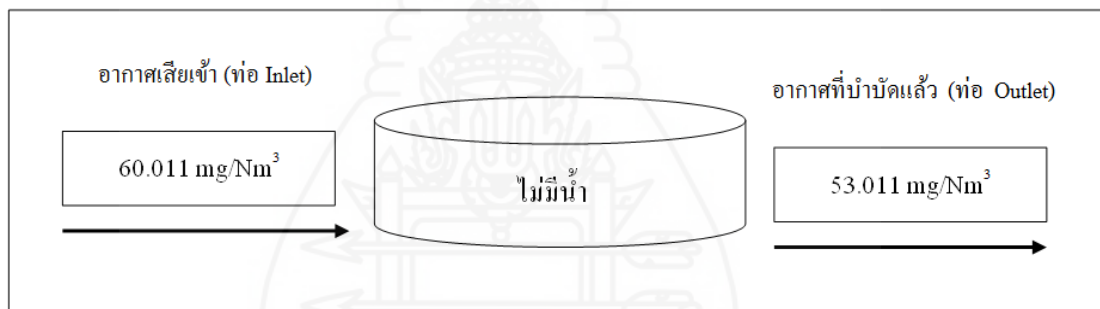
### 3. ผลการตรวจวัด

การวิเคราะห์ตัวอย่างโดยวิธี Ion Chromatography ทั้งนี้อ้างอิงวิธีการเก็บและวิเคราะห์ตาม US.EPA Method 26 ได้แก่

#### 3.1 ข้อมูลชุดที่ 1

##### 3.1.1 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อไม่มีน้ำ

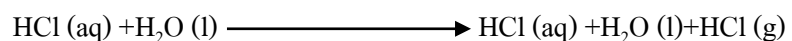
ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อไม่มีน้ำ พบค่าความเข้มข้นไอระเหย HCl ณ จุดอากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet) เท่ากับ  $60.011 \text{ mg/Nm}^3$  และ ณ จุดอากาศที่บำบัดแล้ว (ท่อ Outlet) เท่ากับ  $53.011 \text{ mg/Nm}^3$  และมีประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 12% ดังภาพที่ 4.11 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อไม่มีน้ำ

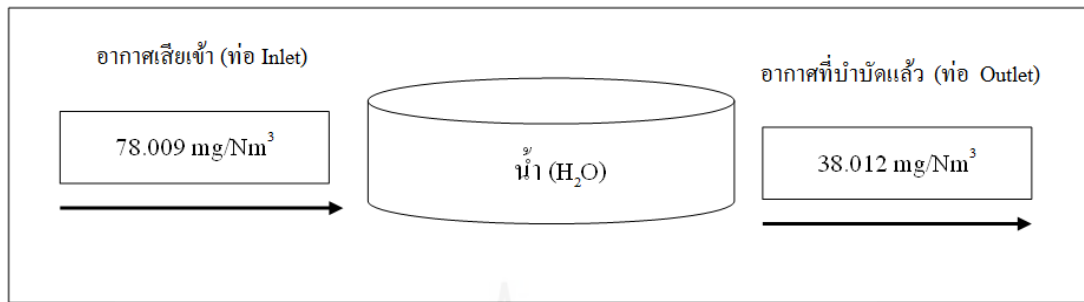


ภาพที่ 4.11 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อไม่มีน้ำ

##### 3.1.2 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีน้ำ

ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีน้ำ พบค่าความเข้มข้นไอระเหย HCl ณ จุดอากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet) เท่ากับ  $78.009 \text{ mg/Nm}^3$  และ ณ จุดอากาศที่บำบัดแล้ว (ท่อ Outlet) เท่ากับ  $38.012 \text{ mg/Nm}^3$  และมีประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 51% ดังภาพที่ 4.12 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีน้ำ

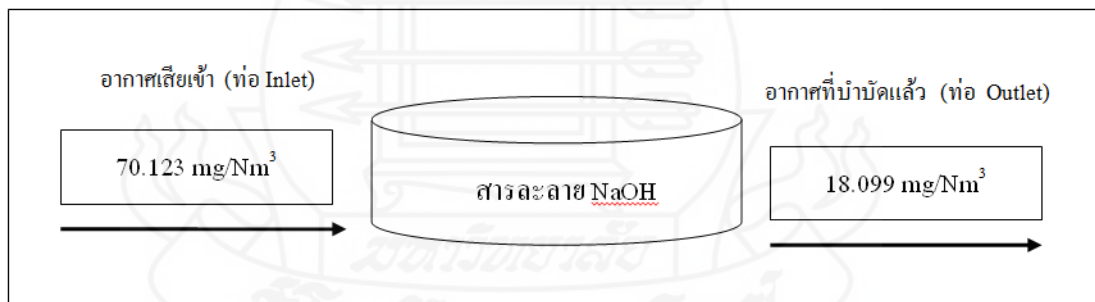




ภาพที่ 4.12 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีน้ำ

### 3.1.3 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีสารละลาย NaOH

ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีสารละลาย NaOH พบค่าความเข้มข้นไอระเหย HCl ณ จุดอากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet) เท่ากับ 70.123 mg/Nm<sup>3</sup> และ ณ จุดอากาศที่บำบัดแล้ว (ท่อ Outlet) เท่ากับ 18.099 mg/Nm<sup>3</sup> และมีประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 74% ดังภาพที่ 4.13 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีสารละลาย NaOH



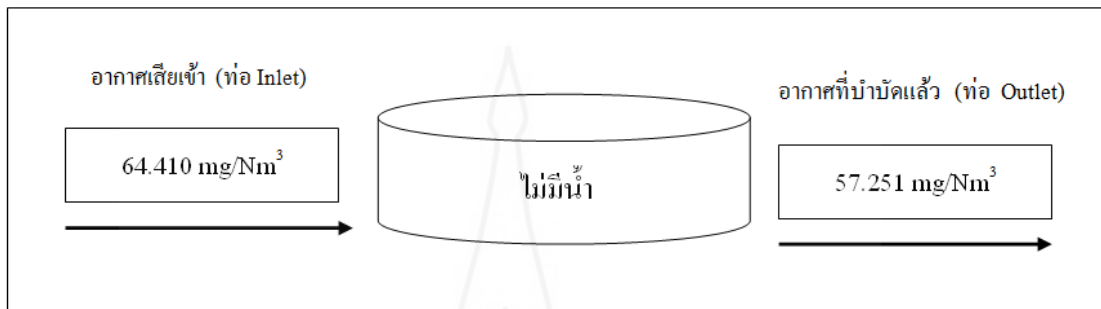
ภาพที่ 4.13 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีสารละลาย NaOH

## 3.2 ข้อมูลชุดที่ 2

### 3.2.1 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อไม่มีน้ำ

ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อไม่มีน้ำ พบค่าความเข้มข้นไอระเหย HCl ณ จุดอากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet) เท่ากับ 64.410 mg/Nm<sup>3</sup> และ ณ จุดอากาศที่บำบัดแล้ว (ท่อ Outlet)

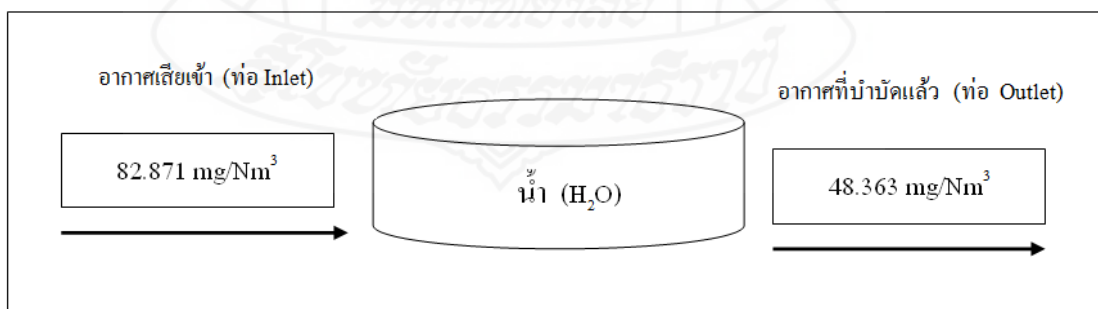
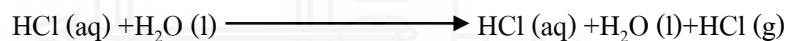
เท่ากับ  $57.251 \text{ mg/Nm}^3$  และมีประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 11% ดังภาพที่ 4.14 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อไม่มีน้ำ



ภาพที่ 4.14 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อไม่มีน้ำ

### 3.2.2 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีน้ำ

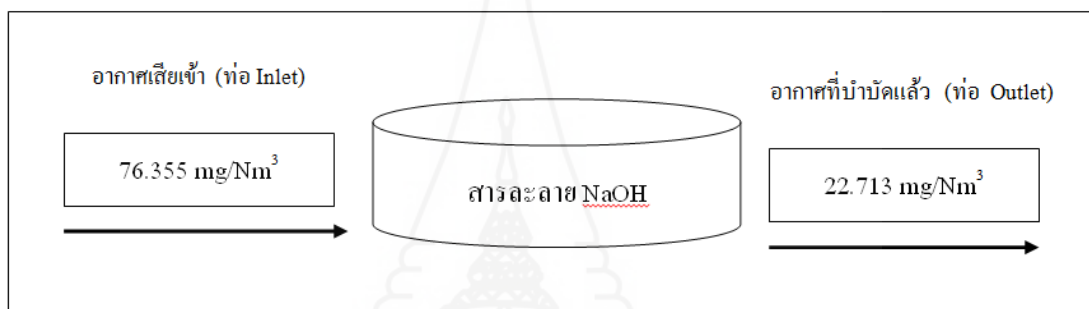
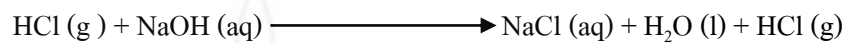
ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีน้ำ พบค่าความเข้มข้นไอระเหย HCl ณ จุดอากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet) เท่ากับ  $82.871 \text{ mg/Nm}^3$  และ ณ จุดอากาศที่บำบัดแล้ว (ท่อ Outlet) เท่ากับ  $48.363 \text{ mg/Nm}^3$  และมีประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 42% ดังภาพที่ 4.15 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีน้ำ



ภาพที่ 4.15 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีน้ำ

### 3.2.3 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีสารละลาย NaOH

ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีสารละลาย NaOH พบค่าความเข้มข้นไอระเหย HCl ณ จุดอากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet) เท่ากับ  $76.355 \text{ mg/Nm}^3$  และ ณ จุดอากาศที่บำบัดแล้ว (ท่อ Outlet) เท่ากับ  $22.713 \text{ mg/Nm}^3$  และมีประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 70% ดังภาพที่ 4.16 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีสารละลาย NaOH

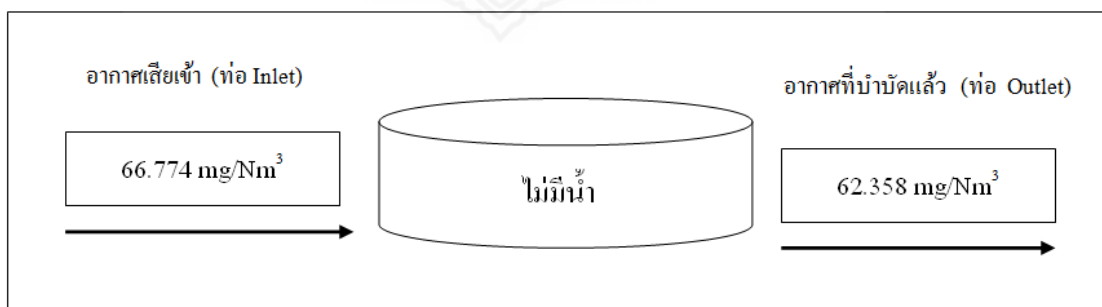


ภาพที่ 4.16 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีสารละลาย NaOH

## 3.3 ข้อมูลชุดที่ 3

### 3.3.1 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อไม่มีน้ำ

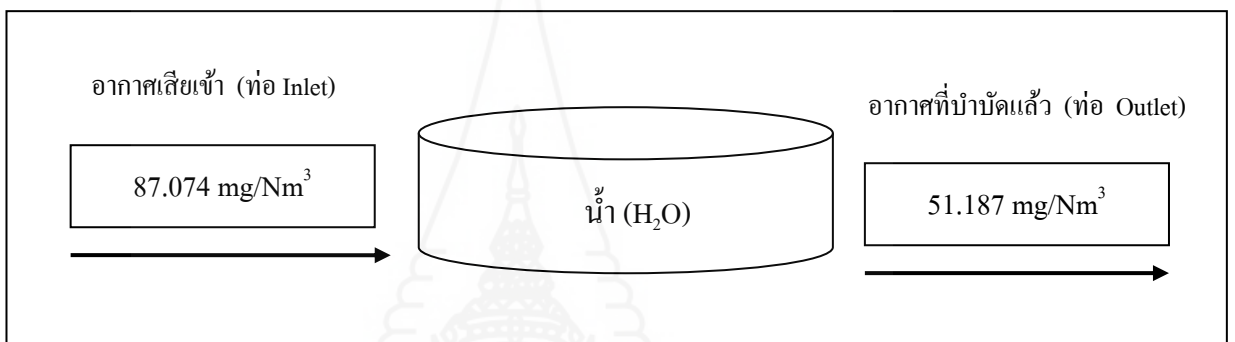
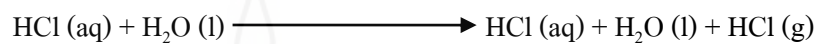
ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อไม่มีน้ำ พบค่าความเข้มข้นไอระเหย HCl ณ จุดอากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet) เท่ากับ  $66.774 \text{ mg/Nm}^3$  และ ณ จุดอากาศที่บำบัดแล้ว (ท่อ Outlet) เท่ากับ  $62.358 \text{ mg/Nm}^3$  และมีประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 7% ดังภาพที่ 4.17 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อไม่มีน้ำ



ภาพที่ 4.17 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อไม่มีน้ำ

### 3.3.2 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีน้ำ

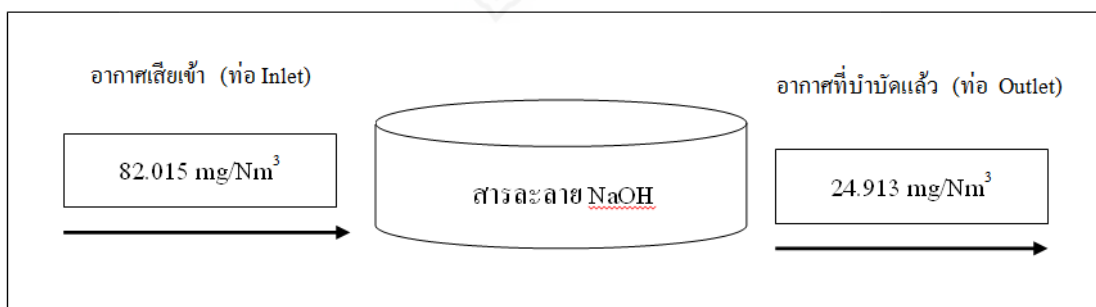
ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีน้ำ พบค่าความเข้มข้นไอระเหย HCl ณ จุดอากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet) เท่ากับ  $87.074 \text{ mg/Nm}^3$  และ ณ จุดอากาศที่บำบัดแล้ว (ท่อ Outlet) เท่ากับ  $51.187 \text{ mg/Nm}^3$  และมีประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 41% ดังภาพที่ 4.18 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีน้ำ



ภาพที่ 4.18 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีน้ำ

### 3.3.3 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีสารละลาย NaOH

ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีสารละลาย NaOH พบค่าความเข้มข้นไอระเหย HCl ณ จุดอากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet) เท่ากับ  $82.015 \text{ mg/Nm}^3$  และ ณ จุดอากาศที่บำบัดแล้ว (ท่อ Outlet) เท่ากับ  $24.913 \text{ mg/Nm}^3$  และมีประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 69% ดังภาพที่ 4.19 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีสารละลาย NaOH



ภาพที่ 4.19 ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีสารละลาย NaOH

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดังกล่าวข้างต้นจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์เอกชนแห่งหนึ่ง โดยวิธี Ion Chromatography ทั้งนี้อ้างอิงวิธีการเก็บและวิเคราะห์ตาม US.EPA Method 26 และการรายงานผลมีหน่วยเป็น  $\text{mg}/\text{Nm}^3$  อ้างอิงประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องกำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน พ.ศ. 2549 ข้อ 6. ระบุว่า การรายงานผลการตรวจวัดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศ ให้รายงานผลดังต่อไปนี้ (1) ในกรณีที่ไม่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง ให้คำนวณผลที่ความดัน 1 บรรยากาศ หรือที่ 760 มิลลิเมตรปรอท อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่สภาวะแห้ง (Dry Basis) โดยมีปริมาณออกซิเจนในอากาศเสียสภาวะจริงในขณะตรวจวัด และสรุปผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศจากปล่องระบายดังตารางที่ 4.3 ผลวิเคราะห์การตรวจวัดคุณภาพอากาศจากปล่องระบาย

ตารางที่ 4.3 ผลวิเคราะห์การตรวจวัดคุณภาพอากาศจากปล่องระบาย

ข้อมูล	สารละลาย	ผลวิเคราะห์การตรวจวัดคุณภาพอากาศจากปล่องระบาย	
		อากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet)	อากาศที่บำบัดแล้ว (ท่อ Outlet)
ชุดที่ 1	ไม่มีน้ำ	60.011 $\text{mg}/\text{Nm}^3$	53.011 $\text{mg}/\text{Nm}^3$
	มีน้ำ	78.009 $\text{mg}/\text{Nm}^3$	38.012 $\text{mg}/\text{Nm}^3$
	มีสารละลาย NaOH	70.123 $\text{mg}/\text{Nm}^3$	18.011 $\text{mg}/\text{Nm}^3$
ชุดที่ 2	ไม่มีน้ำ	64.410 $\text{mg}/\text{Nm}^3$	57.251 $\text{mg}/\text{Nm}^3$
	มีน้ำ	82.871 $\text{mg}/\text{Nm}^3$	48.363 $\text{mg}/\text{Nm}^3$
	มีสารละลาย NaOH	76.355 $\text{mg}/\text{Nm}^3$	22.713 $\text{mg}/\text{Nm}^3$
ชุดที่ 3	ไม่มีน้ำ	66.794 $\text{mg}/\text{Nm}^3$	62.358 $\text{mg}/\text{Nm}^3$
	มีน้ำ	87.074 $\text{mg}/\text{Nm}^3$	51.187 $\text{mg}/\text{Nm}^3$
	มีสารละลาย NaOH	82.015 $\text{mg}/\text{Nm}^3$	24.913 $\text{mg}/\text{Nm}^3$

#### 4. การทดสอบสถิติเพื่อหาประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของไอระเหย HCl

ต้องการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบบำบัดในการลดความเข้มข้นของ HCl โดยมีวิธีการบำบัด 3 วิธี คือ ไม่มีน้ำ มีน้ำ และมีสารละลาย NaOH และต้องการเปรียบเทียบว่าวิธีการใดมีประสิทธิภาพมากที่สุด ดังตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพระบบบำบัดไอระเหยของ HCl

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพระบบบำบัดไอระเหยของ HCl

สารละลาย	ประสิทธิภาพระบบบำบัดความเข้มข้นไอระเหย HCl			ค่าเฉลี่ย
	ข้อมูลชุดที่ 1	ข้อมูลชุดที่ 2	ข้อมูลชุดที่ 3	
ไม่มีน้ำ	11.66 mg/Nm <sup>3</sup>	11.11 mg/Nm <sup>3</sup>	6.64 mg/Nm <sup>3</sup>	9.80 mg/Nm <sup>3</sup>
มีน้ำ	51.27 mg/Nm <sup>3</sup>	41.64 mg/Nm <sup>3</sup>	41.21 mg/Nm <sup>3</sup>	44.71 mg/Nm <sup>3</sup>
มีสารละลาย NaOH	74.32 mg/Nm <sup>3</sup>	70.25 mg/Nm <sup>3</sup>	69.00 mg/Nm <sup>3</sup>	71.19 mg/Nm <sup>3</sup>

$$\text{การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพระบบบำบัด} = \frac{(\text{Inlet} - \text{Outlet})}{\text{Inlet}} \times 100$$

แต่เนื่องจากในการดำเนินการทดลองดังกล่าวข้างต้น โดยทำการเก็บข้อมูลซ้ำกัน 3 ชุด แต่ละชุดประกอบด้วย 1) การตรวจวัดไอระเหย HCl จากปล่องระบายก่อนและหลังผ่านระบบบำบัดเมื่อไม่มีน้ำ โดยใช้ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง 2 นาทีแรกพบว่า แท็งก์พลาสติก PE มีปริมาณ HCl เท่ากับ 1,000 ลิตร จากนั้นจึงปิดระบบวาล์วของรถบรรทุกขนถ่าย HCl เพื่อเติมน้ำเข้าถังระบบบำบัดเป็นระยะเวลา 5 นาที และเปิดระบบวาล์วของรถบรรทุกขนถ่าย HCl สำหรับการเข้าสู่การเก็บข้อมูล 2) การตรวจวัดไอระเหย HCl จากปล่องระบายก่อนและหลังผ่านระบบบำบัดเมื่อมีน้ำ โดยใช้ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง 2 นาทีต่อมาพบว่า แท็งก์พลาสติก PE มีปริมาณ HCl เท่ากับ 2,000 ลิตร จากนั้นจึงปิดระบบวาล์วของรถบรรทุกขนถ่าย HCl เพื่อปล่อยน้ำออกจากถังระบบบำบัด HCl เป็นระยะเวลา 5 นาที และเติมสารละลาย NaOH เข้าถังระบบบำบัด เป็นระยะเวลา 5 นาที และเปิดระบบวาล์วของรถบรรทุกขนถ่าย HCl สำหรับการเข้าสู่การเก็บข้อมูล 3) การตรวจวัดไอระเหย HCl จากปล่องระบายก่อนและหลังผ่านระบบบำบัดเมื่อมีสารละลาย NaOH โดยใช้ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง 2 นาทีสุดท้ายพบว่า แท็งก์พลาสติก PE มีปริมาณ HCl เท่ากับ 3,000 ลิตร จากนั้นจึงปิดระบบวาล์วของรถบรรทุกขนถ่าย HCl

ดังนั้นประสิทธิภาพของระบบบำบัดเมื่อไม่มีน้ำของข้อมูลแต่ละชุดควรจะเป็น  $0 \text{ mg/Nm}^3$  เนื่องจากไม่มีการดูดซึมกันระหว่างไอระเหย HCl กับสารละลายใดๆ ในระบบบำบัด แต่เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพระบบบำบัดความเข้มข้นไอระเหย HCl เมื่อไม่มีน้ำของข้อมูลชุดที่ 1 เท่ากับ  $11.66 \text{ mg/Nm}^3$  ข้อมูลชุดที่ 2 เท่ากับ  $11.11 \text{ mg/Nm}^3$  และข้อมูลชุดที่ 3 เท่ากับ  $6.64 \text{ mg/Nm}^3$  ทำให้มีการเก็บกักและตกค้างไว้ ทั้งนี้เพื่อให้ประสิทธิภาพของระบบบำบัดเมื่อมีน้ำ และมีสารละลาย NaOH ใกล้เคียงกับค่าความเป็นจริงมากที่สุดจึงได้นำค่าดังกล่าว มาหักลบออกด้วยประสิทธิภาพของระบบบำบัดตั้งต้นเมื่อไม่มีน้ำ ดังตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพระบบบำบัดไอระเหยของ HCl ที่ใกล้เคียงกับค่าความเป็นจริงมากที่สุด

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพระบบบำบัดไอระเหยของ HCl ที่ใกล้เคียงกับค่าความเป็นจริงมากที่สุด

สารละลาย	ประสิทธิภาพระบบบำบัดความเข้มข้นไอระเหย HCl			ค่าเฉลี่ย
	ข้อมูลชุดที่ 1	ข้อมูลชุดที่ 2	ข้อมูลชุดที่ 3	
ไม่มีน้ำ	$11.66 \text{ mg/Nm}^3$	$11.11 \text{ mg/Nm}^3$	$6.64 \text{ mg/Nm}^3$	$9.80 \text{ mg/Nm}^3$
มีน้ำ	$39.61 \text{ mg/Nm}^3$	$30.53 \text{ mg/Nm}^3$	$34.57 \text{ mg/Nm}^3$	$34.90 \text{ mg/Nm}^3$
มีสารละลาย NaOH	$62.66 \text{ mg/Nm}^3$	$59.14 \text{ mg/Nm}^3$	$62.36 \text{ mg/Nm}^3$	$61.39 \text{ mg/Nm}^3$

$$\text{การคำนวณหาประสิทธิภาพระบบบำบัด} = \frac{(\text{Inlet} - \text{Outlet})}{\text{Inlet}} \times 100$$

วัตถุประสงค์ที่ต้องให้ความสนใจเพื่อให้การสร้างระบบบำบัดไอระเหย HCl ของโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่งในจังหวัดปทุมธานีประสบความสำเร็จประกอบด้วยปัจจัยดังต่อไปนี้

**1.1.1 คน (Man)** เป็นปัจจัยสำคัญของการบริหารงาน โดยผู้ปฏิบัติงานมาจากช่างของแผนกบำบัดน้ำเสีย ซึ่งมีทักษะ ความรู้ความชำนาญการติดตั้งงาน โครงสร้าง งานตัดต่อระบบท่อจำนวน 5 คน

**1.1.2 เงิน (Money)** เป็นปัจจัยที่จะช่วยสนับสนุนให้การดำเนินการสร้างระบบบำบัดไอระเหย HCl ดำเนินการต่อไป โดยคำนวณค่าใช้จ่ายจากการถอดแบบโครงสร้างระบบบำบัดไอระเหย HCl เป็นเงินทั้งสิ้น 41,495 บาท

**1.1.3 ทรัพยากรหรือวัสดุอุปกรณ์ (Material)** การบริหารวัสดุอุปกรณ์ในการสร้างระบบบำบัดไอระเหย HCl ว่าจะทำอย่างไรให้สิ้นเปลืองน้อยที่สุด หรือเกิดประโยชน์สูงสุด แบ่งเป็น



1) งานโครงสร้างแท็งก์ HCl คิดเป็นค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น 34,700 บาท ประกอบด้วย สแตนเลส ขนาด 1.5 นิ้ว สูง 3.5 เมตร (เสา 4 เสา) จำนวน 4 ท่อน ราคาท่อนละ 6,940 บาท (1 ท่อน ยาว 6 เมตร) เป็นเงิน 20,820 บาท สแตนเลสขนาด 1.5 นิ้ว ยาว 1.5 เมตร (ลาดกลาง) จำนวน 6 ท่อน ราคาท่อนละ 6,940 บาท (1 ท่อน ยาว 6 เมตร) เป็นเงิน 13,880 บาท

2) งานระบบท่ออากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet) คิดเป็นค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น 376 บาท ประกอบด้วย เกลียวนอก PVC ขนาด 2 นิ้ว จำนวน 2 ตัว ราคาตัวละ 28 บาท เป็นเงิน 56 บาท ข้องอ PVC ขนาด 2 นิ้ว จำนวน 2 ตัว ราคาตัวละ 30 บาท เป็นเงิน 60 บาท ท่อ PVC ขนาด 2 นิ้ว ยาว 2 เมตร (ความสูงท่อ Inlet) จำนวน 1 เส้น ราคาเส้นละ 260 บาท (1 เส้น ยาว 4 เมตร) เป็นเงิน 260 บาท

3) งานระบบท่ออากาศที่บำบัดแล้ว (ท่อ Outlet) คิดเป็นค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น 3,578 บาท ประกอบด้วย ท่อ PVC ขนาด 2 นิ้ว ยาว 4 เมตร (ความสูงท่อ Outlet) จำนวน 1 เส้น ราคาเส้นละ 260 บาท (1 เส้น ยาว 4 เมตร) เป็นเงิน 260 บาท สแตนเลสฉาก ขนาด 1.5 นิ้ว ยาว 6 เมตร (โครงสร้างท่อ Outlet) จำนวน 1 เส้น ราคาเส้นละ 2400 บาท (1 เส้น ยาว 6 เมตร) เป็นเงิน 2400 บาท ถังพลาสติกขนาด 100 ลิตร ความสูง : ความกว้าง เท่ากับ 0.65 X 0.50 เมตร จำนวน 1 ถัง ราคาถังละ 918 บาท เป็นเงิน 918 บาท

4) งานระบบวาล์วน้ำเข้า (Tab water valve) คิดเป็นค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น 329 บาท ประกอบด้วย ท่อ PVC ขนาด 0.5 นิ้ว ยาว 4 เมตร จำนวน 1 เส้น ราคาเส้นละ 50 บาท (1 เส้น ยาว 4 เมตร) เป็นเงิน 50 บาท ข้องอ PVC ขนาด 0.5 นิ้ว จำนวน 2 ตัว ราคาตัวละ 8 บาท เป็นเงิน 16 บาท วาล์ว PVC ขนาด 0.5 นิ้ว จำนวน 1 ตัว ราคาตัวละ 245 บาท เป็นเงิน 245 บาท เกลียวนอกขนาด 0.5 นิ้ว (หน้าถึง 1 / วาล์ว 2 ตัว) จำนวน 3 ตัว ราคาตัวละ 6 บาท เป็นเงิน 18 บาท

5) งานระบบวาล์วน้ำทิ้ง (Drain water valve) คิดเป็นค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น 962 บาท ประกอบด้วย เกลียวนอก PVC ขนาด 1.5 นิ้ว (รวมหน้า Water tank) จำนวน 3 ตัว ราคาตัวละ 24 บาท เป็นเงิน 72 บาท ข้องอ PVC ขนาด 1.5 นิ้ว จำนวน 1 ตัว ราคาตัวละ 20 บาท เป็นเงิน 20 บาท วาล์ว PVC ขนาด 1.5 นิ้ว จำนวน 1 ตัว ราคาตัวละ 710 บาท เป็นเงิน 710 บาท ท่อ PVC ขนาด 1.5 นิ้ว ยาว 4 เมตร (ตามหน้างานจากถังระบบบำบัด) จำนวน 1 เส้น ราคาเส้นละ 160 บาท (1 เส้น ยาว 4 เมตร) เป็นเงิน 160 บาท

6) ค่าแรงงานของพนักงานแผนกบำบัดน้ำเสีย จำนวน 5 คน โดยมีค่าแรงงาน วันละ 310 บาท ระยะเวลา 1 วัน คิดเป็นค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น 1,550 บาท รวมค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบบำบัดไอระเหย HCl เป็นเงินทั้งสิ้น 41,495 บาท

**1.1.4 การจัดการ (Management)** โรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่งในจังหวัดปทุมธานีมีนโยบายการบริหารจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อม

การทำงาน (OHSAS 18001) และลงนามโดยผู้บริหารสูงสุด ดังนั้นการดำเนินงานทั้งหมดจึงเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และเกิดประสิทธิผลอย่างเต็มที่

#### 4.2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

ดำเนินการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การทดสอบความแปรปรวน หรือการกระจายของกลุ่มตัวอย่าง การทดสอบสมมติฐานข้อมูลการแจกแจงแบบปกติด้วยสถิติ Shapiro-Wilk W test การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อใช้ในการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ANOVA และการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณ (Multiple Comparisons) ดังนี้

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการทดลอง	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
ไม่มีน้ำ	3	9.80	2.75	1.59	2.96	16.64
มีน้ำ	3	34.90	4.55	2.63	23.60	46.20
มีสารละลาย NaOH	3	61.39	1.95	1.13	56.54	66.23
<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>35.36</b>	<b>22.52</b>	<b>7.51</b>	<b>18.06</b>	<b>52.67</b>

จากตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพระบบบำบัดเมื่อไม่มีน้ำ มีน้ำและมีสารละลาย NaOH มีค่าเฉลี่ยโดยรวมอยู่ที่ 35.36 เมื่อพิจารณาแต่ละระบบบำบัดพบว่าประสิทธิภาพระบบบำบัดเมื่อมีสารละลาย NaOH มีค่าเฉลี่ยสูงสุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 61.39 รองลงมาอันดับที่ 2 ได้แก่ ประสิทธิภาพระบบบำบัดเมื่อมีน้ำ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 34.90 และอันดับต่ำที่สุดคือ ประสิทธิภาพระบบบำบัดเมื่อไม่มีน้ำ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 9.80

ตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพระบบบำบัดสูงสุดและต่ำสุด

ผลการทดลอง	Minimum	Maximum
ไม่มีน้ำ	6.64	11.66
มีน้ำ	30.53	39.61
มีสารละลาย NaOH	59.14	62.66
<b>Total</b>	<b>6.64</b>	<b>62.66</b>

จากตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพระบบบำบัดโดยรวมมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 6.64 สูงสุดอยู่ที่ 62.66 เมื่อพิจารณาแต่ละระบบบำบัดพบว่าประสิทธิภาพระบบบำบัดเมื่อมีสารละลาย NaOH มีค่าประสิทธิภาพระบบบำบัดสูงสุด โดยมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 59.14 สูงสุดอยู่ที่ 62.66 รองลงมาอันดับที่ 2 ได้แก่ ประสิทธิภาพระบบบำบัดเมื่อมีน้ำ โดยมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 30.53 สูงสุดอยู่ที่ 39.61 และอันดับต่ำที่สุดคือ ประสิทธิภาพระบบบำบัดเมื่อไม่มีน้ำ โดยมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 6.64 สูงสุดอยู่ที่ 11.66

ตารางที่ 4.8 การทดสอบความแปรปรวนหรือการกระจายของกลุ่มตัวอย่าง

ผลการทดลอง	df1	df2	Sig.
<b>Levene Statistic</b>			
.849	2	6	.473

จากตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบความแปรปรวน (Test of Homogeneity of Variances) ของกลุ่มตัวอย่างของประสิทธิภาพระบบบำบัดในแต่ละกลุ่มสารละลาย พบว่าค่าความน่าจะเป็น Sig. ที่โปรแกรมคำนวณได้ออยู่ที่ 0.473 มีค่ามากกว่า  $\alpha = 0.05$  จึงยอมรับสมมติฐานหลัก ( $H_0$ ) ความแปรปรวนของประสิทธิภาพระบบบำบัดในแต่ละกลุ่มสารละลายไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

$H_0$  ความแปรปรวนของประสิทธิภาพระบบบำบัดในแต่ละกลุ่มสารละลาย  
ไม่แตกต่างกัน

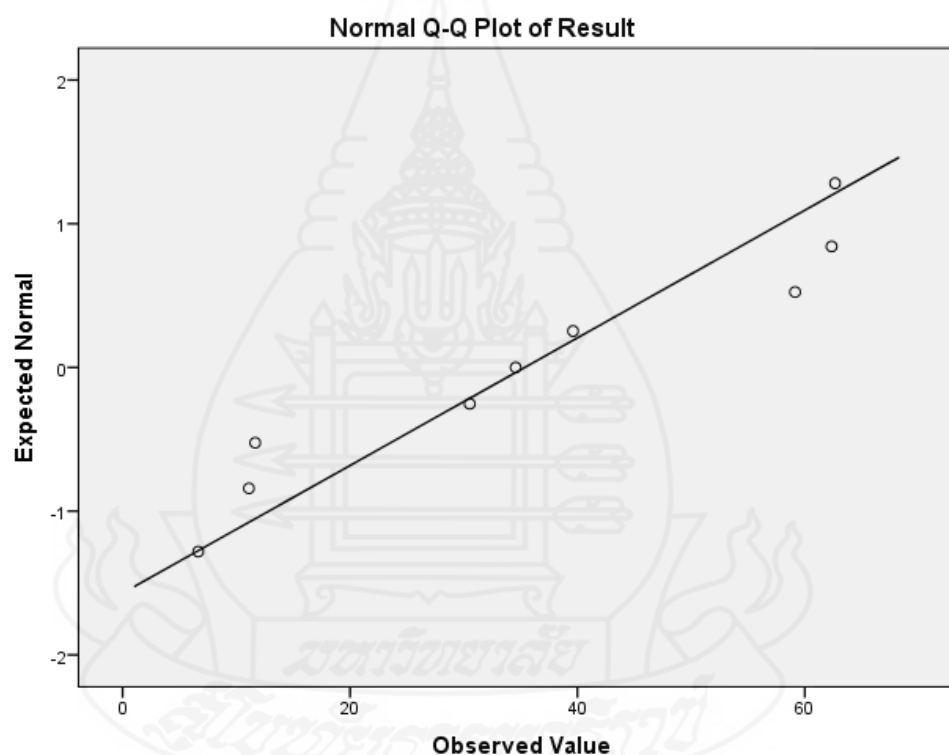
$H_1$  มีอย่างน้อยสองกลุ่มที่ประสิทธิภาพระบบบำบัดในแต่ละกลุ่มสารละลาย  
แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.9 การทดสอบสมมติฐานข้อมูลการแจกแจง

ผลการทดลอง	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
	.188	9	.200*	.884	9	.171

\* This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction



ภาพที่ 4.20 กราฟแสดงการทดสอบสมมติฐานข้อมูลการแจกแจง

จากตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบสมมติฐานข้อมูลการแจกแจงประสิทธิภาพระบบ บำบัด พบว่าค่าความน่าจะเป็น Sig. ที่โปรแกรมคำนวณได้อยู่ที่ 0.171 มีค่ามากกว่า  $\alpha = 0.05$  จึงยอมรับสมมติฐานหลัก ( $H_0$ ) ข้อมูลประสิทธิภาพระบบบำบัดมีการแจกแจงแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญทาง

สถิติ 0.05 และสามารถใช่วิธีพารามเมตริก (Parametric) ในการทดสอบได้ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

$H_0$  ข้อมูลประสิทธิภาพพระบบบำบัดมีการแจกแจงแบบปกติ

$H_1$  ข้อมูลประสิทธิภาพพระบบบำบัดไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

ตารางที่ 4.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อใช้ในการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย

ผลการทดลอง	Sum	df	Mean Square	F	Sig.
<b>Of Squares</b>					
ระหว่างกลุ่ม	3992.217	2	1996.109	186.647	.000
ภายในกลุ่ม	64.167	6	10.695		
<b>Total</b>	<b>4056.385</b>	<b>8</b>			

จากตารางที่ 4.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อใช้ในการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพพระบบบำบัดในแต่ละกลุ่มสารละลายต่างๆ พบว่าค่าความน่าจะเป็น Sig. ที่โปรแกรมคำนวณได้อยู่ที่ 0.000 มีค่าน้อยกว่า  $\alpha = 0.001$  จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก ( $H_0$ ) และยอมรับสมมติฐานรอง ( $H_1$ ) ประสิทธิภาพพระบบบำบัดในแต่ละกลุ่มสารละลายต่างๆ แตกต่างกันอย่างน้อยหนึ่งคู่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

$H_0$  ประสิทธิภาพพระบบบำบัดในแต่ละกลุ่มสารละลายต่างๆ ไม่แตกต่างกัน

$H_1$  ประสิทธิภาพพระบบบำบัดในแต่ละกลุ่มสารละลายต่างๆ แตกต่างกันอย่างน้อยหนึ่งคู่

ตารางที่ 4.11 การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณ (Multiple Comparisons)

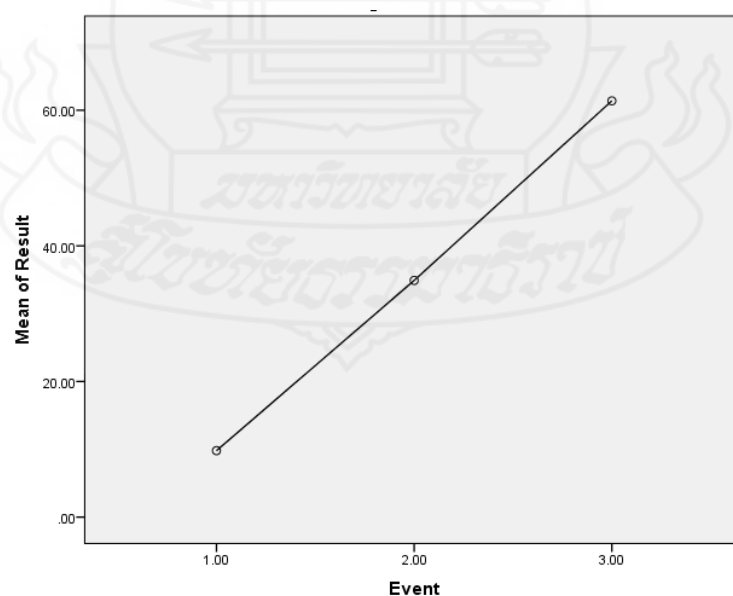
Multiple Comparisons

Dependent Variable: ผลการทดลอง

Scheffe

(I) เหตุการณ์	(J) เหตุการณ์	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
ไม่มีน้ำ	มีน้ำ	-34.667*	3.139	.000	-44.73	-24.60
	มีสารละลาย NaOH	-61.000*	3.139	.000	-71.07	-50.93
มีน้ำ	ไม่มีน้ำ	34.667*	3.139	.000	24.60	44.73
	มีสารละลาย NaOH	-26.333*	3.139	.000	-36.40	-16.27
มีสารละลาย NaOH	ไม่มีน้ำ	61.000*	3.139	.000	50.93	71.07
	มีน้ำ	26.333*	3.139	.000	16.27	36.40

\* The mean difference is significant at the 0.05 level.



ภาพที่ 4.21 กราฟแสดงการพล็อตจุดของกลุ่มค่าเฉลี่ยสารละลายต่างๆ

จากตารางที่ 4.11 การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณ (Multiple Comparisons) โดยค่าสถิติ Scheffe พบว่า

การเปรียบเทียบกลุ่มระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อไม่มีน้ำ กับกลุ่มระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีน้ำ มีค่า Sig. จากการทดสอบความแตกต่างรายคู่ด้วยสถิติ Scheffe เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.001 จึงสรุปได้ว่า กลุ่มระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อไม่มีน้ำ แตกต่างจากกลุ่มระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001

การเปรียบเทียบกลุ่มระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อไม่มีน้ำ กับกลุ่มระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีสารละลาย NaOH มีค่า Sig. จากการทดสอบความแตกต่างรายคู่ด้วยสถิติ Scheffe เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.001 จึงสรุปได้ว่ากลุ่มระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อไม่มีน้ำ แตกต่างจากกลุ่มระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีสารละลาย NaOH อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001

การเปรียบเทียบกลุ่มระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีน้ำ กับกลุ่มระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีสารละลาย NaOH มีค่า Sig. จากการทดสอบความแตกต่างรายคู่ด้วยสถิติ Scheffe เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.001 จึงสรุปได้ว่ากลุ่มระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีน้ำ แตกต่างจากกลุ่มระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อมีสารละลาย NaOH อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001

#### 4.3 สรุปผลการวิจัย

ประสิทธิภาพระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อไม่มีน้ำ มีน้ำและมีสารละลาย NaOH แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001 โดยพบว่าเมื่อมีสารละลาย NaOH จะสามารถบำบัดไอระเหย HCl ได้เฉลี่ยร้อยละ 61.39 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าการใช้น้ำเป็นสารดูดซับ ร้อยละ 34.90 และไม่มีน้ำเป็นสารดูดซับร้อยละ 9.80 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ คน (Man) เงิน (Moeny) ทรัพยากรหรือวัสดุอุปกรณ์ (Material) และการจัดการ (Management) จะพบว่า ระบบบำบัดโดยใช้สารละลาย NaOH จะมีความคุ้มค่ามากกว่า เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการบำบัดเป็นเงินทั้งสิ้น 41,495 บาท คิดเป็น 676 บาท ต่อไอระเหย HCl 1 mg/Nm<sup>3</sup>สูงกว่าการใช้น้ำเป็นสารดูดซับ ซึ่งเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและเกิดประโยชน์สูงสุด

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การพัฒนาต้นแบบชิ้นงาน โดยศึกษาข้อมูลและรายละเอียดต่างๆ ในการสร้างระบบบำบัด เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของไอระเหย HCl นี้จนเสร็จสมบูรณ์ และได้นำไปทดลองใช้เป็นอุปกรณ์ช่วยในการควบคุม ไอระเหยของ HCl ที่พุ่งกระจายออกสู่บรรยากาศสิ่งแวดล้อม

#### 1. สรุปการวิจัย

##### 1.1 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.1.1 สร้างระบบบำบัดไอระเหย HCl ของโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่งในจังหวัด ปทุมธานี

1.1.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบบำบัดในการลดความเข้มข้นไอระเหย HCl เมื่อไม่มีน้ำ มีน้ำและมีสารละลาย NaOH ของโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่งในจังหวัด ปทุมธานี

##### 1.2 ผลการวิจัย

1.2.1 ผลการวิจัยพบว่า **ถังระบบบำบัดที่สร้างขึ้นใช้หลักการดูดซึมกันระหว่างไอระเหย HCl กับน้ำหรือสารละลาย NaOH** ซึ่งติดตั้งอยู่บน โครงสร้างสแตนเลส ความสูง : ความกว้างเท่ากับ 3.5 เมตร X 1.5 เมตร สามารถควบคุมและลดปริมาณไอระเหย HCl จากแหล่งกำเนิดก่อนปล่อยออกไปให้มีปริมาณคงเหลืออยู่น้อยที่สุดหรือไม่เกินตามที่กฎหมายกำหนด โดยมีวัสดุอุปกรณ์การสร้างระบบบำบัดไอระเหย HCl ดังต่อไปนี้

1) **คน (Man)** เป็นปัจจัยสำคัญของการบริหารงาน โดยผู้ปฏิบัติงานมาจากช่างของแผนกบำบัดน้ำเสีย ซึ่งมีทักษะ ความรู้ความชำนาญการติดตั้งงาน โครงสร้าง งานตัดต่อระบบท่อ จำนวน 5 คน

2) **เงิน (Money)** เป็นปัจจัยที่จะช่วยสนับสนุนให้การดำเนินการสร้างระบบบำบัดไอระเหย HCl ดำเนินการต่อไป โดยคำนวณค่าใช้จ่ายจากการถอดแบบ โครงสร้างระบบบำบัดไอระเหย HCl เป็นเงินทั้งสิ้น 41,495 บาท



3) *ทรัพยากรหรือวัสดุอุปกรณ์ (Material)* การบริหารวัสดุอุปกรณ์ในการสร้างระบบบำบัดไอระเหย HCl จะทำอย่างไรให้สิ้นเปลืองน้อยที่สุด หรือเกิดประโยชน์สูงสุด รวมเป็นเงินทั้งสิ้น 41,495 บาท แบ่งเป็น

- (1) งานโครงสร้างแท้งก์ HCl คิดเป็นค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น 34,700 บาท
- (2) งานระบบท่ออากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet) คิดเป็นค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น 376 บาท
- (3) งานระบบท่ออากาศที่บำบัดแล้ว (ท่อ Outlet) คิดเป็นค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น 3,578 บาท
- (4) งานระบบวาล์วน้ำเข้า (Tab water valve) คิดเป็นค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น 329 บาท
- (5) งานระบบวาล์วน้ำทิ้ง (Drain water valve) คิดเป็นค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น 962 บาท
- (6) ค่าแรงงานของพนักงานแผนกบำบัดน้ำเสีย คิดเป็นค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น 1,550 บาท

4) *การจัดการ (Management)* โรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่งในจังหวัดปทุมธานีมีนโยบายการบริหารจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมการทำงาน (OHSAS 18001) และลงนามโดยผู้บริหารสูงสุด ดังนั้นการดำเนินงานทั้งหมดจึงเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และก่อให้เกิดประสิทธิผลอย่างเต็มที่

**1.2.2 ผลการวิจัยพบว่า ประสิทธิภาพระบบบำบัดในการลดความเข้มข้นไอระเหย HCl** เมื่อไม่มีน้ำ มีน้ำและมีสารละลาย NaOH โดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One way ANOVA) เพื่อใช้ในการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยพบว่าประสิทธิภาพระบบบำบัดในแต่ละกลุ่มสารละลายต่างๆ แตกต่างกันอย่างน้อยหนึ่งคู่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001 และทดสอบต่อเนื่องด้วยวิธีจับคู่พหุคูณ (Multiple comparison) โดยทดสอบความแตกต่างรายคู่ด้วยสถิติ Scheffe พบว่าประสิทธิภาพระบบบำบัดในแต่ละกลุ่มสารละลายต่างๆ ทุกคู่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001 ทั้งนี้สารละลาย NaOH จะสามารถบำบัดไอระเหย HCl ได้เฉลี่ยร้อยละ 61.39 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าการใช้น้ำเป็นสารดูดซับร้อยละ 34.90 และไม่มีน้ำเป็นสารดูดซับร้อยละ 9.80 ตามลำดับ ซึ่งมีรูปแบบของปฏิกิริยา คือ กรด + เบส  $\rightarrow$  เกลือ + น้ำ เรียกปฏิกิริยาลักษณะนี้ว่า ปฏิกิริยาสะเทิน (Neutralization) มีผลิตภัณฑ์สำคัญที่เกิดขึ้นคือเกลือ  $\text{HCl(aq)} + \text{NaOH(aq)} \rightarrow \text{NaCl(aq)} + \text{H}_2\text{O(l)}$  เมื่อพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ วัสดุอุปกรณ์ในการสร้างระบบบำบัดไอระเหย HCl ได้แก่ คน (Man) เงิน (Moeny) ทรัพยากรหรือวัสดุอุปกรณ์ (Material) และการจัดการ (Management) จะพบว่า ระบบบำบัดโดยใช้สารละลาย NaOH จะมีความคุ้มค่ามากกว่า

เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการบำบัดเป็นเงินทั้งสิ้น 41,495 บาท คิดเป็น 676 บาท ต่อไอระเหย HCl 1 mg/Nm<sup>3</sup> ถูกกว่าการใช้น้ำเป็นสารดูดซึม

## 2. อภิปรายผล

### 2.1 สร้างระบบบำบัดไอระเหย HCl

เนื่องจากการขนถ่าย HCl จากรถไปสู่อ่างเก็บ ทำให้ไอระเหยของ HCl ที่อยู่ภายในอ่างเก็บถูกขับออกมาสู่บรรยากาศขณะขนถ่าย ก่อให้เกิดผลกระทบต่อพนักงานที่เกี่ยวข้องและชุมชนใกล้เคียง จึงมีความจำเป็นต้องศึกษาแนวทางการจัดการเพื่อควบคุมมลพิษอากาศที่แหล่งกำเนิด และพบว่าจากแนวความคิดการทำงานของอุปกรณ์ระบบการดูดซึม ได้แก่ ระบบบำบัดมลพิษอากาศแบบเปียก (Wet Scrubber) ทั้งนี้ถึงระบบบำบัดที่สร้างขึ้นมีลักษณะการทำงานที่จัดให้มีการดูดซึมกันระหว่างไอระเหยของ HCl กับน้ำหรือสารละลาย NaOH และทำการเก็บตัวอย่างไอระเหยของ HCl ก่อนและหลังผ่านระบบบำบัดตามมาตรฐานวิธีการตรวจวัดคุณภาพอากาศจากปล่องระบาย ซึ่งขั้นตอนแรกเติมน้ำลงไปในระบบบำบัด และเนื่องจากก๊าซหรือไอระเหยของ HCl ที่ต้องการกำจัดออกไปมีความสามารถในการละลาย (Solubility) ในน้ำที่เพียงพอ ณ อุณหภูมิของกระแสก๊าซที่ถูกปล่อยออกมาจากอ่างเก็บ จากนั้นจึงเปลี่ยนถ่ายน้ำในระบบบำบัดดังกล่าวทิ้ง และขั้นตอนต่อมาเติมสารละลาย NaOH ลงไปแทน ซึ่งเป็นสารที่มีความเป็นด่างเพื่อเพิ่มค่าพีเอชน้ำให้สูงขึ้นจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซหรือไอระเหยของ HCl ที่มีคุณสมบัติเป็นกรดให้สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีกรด - เบสของอาร์เรเนียส โดยมีรูปแบบของปฏิกิริยา คือ กรด + เบส  $\rightarrow$  เกลือ + น้ำ เรียกปฏิกิริยาลักษณะนี้ว่า ปฏิกิริยาสะเทิน (Neutralization) มีผลิตภัณฑ์สำคัญที่เกิดขึ้นก็คือเกลือ  $\text{HCl(aq)} + \text{NaOH(aq)} \rightarrow \text{NaCl(aq)} + \text{H}_2\text{O(l)}$

### 2.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของไอระเหย HCl

การเก็บตัวอย่างอากาศขณะที่มีรถบรรทุกขนถ่าย HCl ลงแท็งก์พลาสติก PE ขนาด 3,000 ลิตร ด้วยอัตราการไหล 1,000 ลิตร/ 2 นาที โดยใช้เวลาทั้งสิ้น 6 นาที จึงจะเต็มแท็งก์พลาสติก PE ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ขออนุญาตจากผู้บริหารโรงงาน สำหรับทำการเก็บตัวอย่างอากาศก่อนและหลังผ่านระบบบำบัดไอระเหย HCl ของสารดูดซึมแต่ละชนิด (ได้แก่ ระบบบำบัดไอระเหย HCl เมื่อไม่มีน้ำ มีน้ำและมีสารละลาย NaOH) ในแต่ละชุดการทดลองเป็นชนิดละ 2 นาที ได้แก่ 2 นาทีแรกจะมีปริมาณ HCl ในแท็งก์พลาสติก PE เท่ากับ 1,000 ลิตร และ 2 นาทีต่อมาจะมีปริมาณ HCl ในแท็งก์พลาสติก PE เท่ากับ 2,000 ลิตร จากนั้น 2 นาทีสุดท้ายจะมีปริมาณ HCl ในแท็งก์พลาสติก PE เท่ากับ 3,000 ลิตร เนื่องจากผู้วิจัยมีข้อจำกัดด้านระยะเวลา โดยขณะทำการทดลองเก็บตัวอย่างอากาศกรณี

เมื่อไม่มีน้ำในถังระบบบำบัดไฮโดรเจน HCl พบว่าไฮโดรเจน HCl ที่อยู่ในแท็งก์พลาสติก PE ถูกขับออกมาสู่บรรยากาศขณะขนถ่ายฟุ้งกระจายเป็นจำนวนมากซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพพนักงานที่เกี่ยวข้องและชุมชนใกล้เคียง ดังนั้นกรณีการเก็บตัวอย่างอากาศของสารดูดซึมแต่ละชนิดดังกล่าวข้างต้นเป็นเวลามากกว่า 2 นาที หรือจนกระทั่ง HCl เต็มแท็งก์พลาสติก PE จึงมีข้อจำกัด

จากการพิจารณาหาประสิทธิภาพระบบบำบัดเมื่อไม่มีน้ำและผลวิเคราะห์การตรวจวัดคุณภาพอากาศจากปล่องระบายกรณีเฉพาะกรณีอากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet) ของข้อมูลทั้ง 3 ชุด พบว่ามีประเด็นดังนี้

**2.2.1 ประสิทธิภาพระบบบำบัดเมื่อไม่มีน้ำ** โดยเฉลี่ยอยู่ที่  $9.80 \text{ mg/Nm}^3$  ซึ่งในความจริงควรต้องเป็น  $0 \text{ mg/Nm}^3$  เนื่องจากอากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet) ควรต้องเท่ากับอากาศที่บำบัดแล้ว (ท่อ Outlet) ดังนั้นจึงมีการตกค้างของไฮโดรเจน HCl อยู่ในระบบบำบัดเมื่อไม่มีน้ำ

**2.2.2 ผลวิเคราะห์การตรวจวัดคุณภาพอากาศจากปล่องระบาย** กรณีเฉพาะกรณีอากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet) ของข้อมูลทั้ง 3 ชุด เมื่อไม่มีน้ำ มีน้ำ และมีสารละลาย NaOH จะเห็นได้ว่าค่าตัวเลขมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลง โดยสาเหตุอาจเนื่องมาจาก

1) การทดลองเก็บตัวอย่างไฮโดรเจน HCl ช่วงแรกเมื่อถังระบบบำบัดไม่มีน้ำ ภายใต้สภาวะขณะที่มีรถบรรทุกขนถ่าย HCl ลงแท็งก์พลาสติก PE ขนาด 3,000 ลิตร ด้วยอัตราการไหล 1,000 ลิตร/ 2 นาที โดยใช้ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง 2 นาทีแรก พบว่าแท็งก์พลาสติก PE มีปริมาณ HCl เท่ากับ 1,000 ลิตร จากนั้นจึงปิดระบบวาล์วของรถบรรทุกขนถ่าย HCl เพื่อนำไปวิเคราะห์ฯ อากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet)

2) การทดลองเก็บตัวอย่างไฮโดรเจน HCl ช่วงต่อมาเมื่อถังระบบบำบัดมีน้ำ เพิ่มขึ้นตอนดำเนินการเติมน้ำปริมาณ 75 ลิตร เข้าถังระบบบำบัด ขนาด 100 ลิตร เป็นระยะเวลา 5 นาที (ต่อเนื่องจากการทดลองที่ 1) และเปิดระบบวาล์วของรถบรรทุกขนถ่าย HCl ในสภาวะขณะที่มีรถบรรทุกขนถ่าย HCl ลงแท็งก์พลาสติก PE ขนาด 3,000 ลิตร ด้วยอัตราการไหล 1,000 ลิตร/ 2 นาที

โดยใช้ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง 2 นาทีต่อมาพบว่า แท็งก์พลาสติก PE มีปริมาณ HCl เท่ากับ 2,000 ลิตร จากนั้นจึงปิดระบบวาล์วของรถบรรทุกขนถ่าย HCl เพื่อนำไปวิเคราะห์ฯ อากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet) พบว่าค่าความเข้มข้นไฮโดรเจน HCl เพิ่มขึ้น

ประเด็นที่นำมาพิจารณาค่าความเข้มข้นไฮโดรเจน HCl เพิ่มขึ้น คือ 1) ระยะเวลาในการเติมน้ำปริมาณ 75 ลิตร เข้าถังระบบบำบัด ขนาด 100 ลิตร เป็นระยะเวลา 5 นาที รวมทั้งช่วงไว้ทั้งสิ้น 5 นาที ทำให้ในถังระบบบำบัดอาจมีการตกค้างไฮโดรเจน HCl ก่อนหน้านั้นระบายออกไป และหลงเหลืออยู่จำนวนหนึ่งผนวกกับ 2) อัตราการไหลของ HCl จากรถบรรทุกขนถ่ายคงเดิม

แต่แท็งก์พลาสติก PE มีปริมาณ HCl เท่ากับ 2,000 ลิตร (ซึ่งเพิ่มขึ้นจากเดิม 1,000 ลิตร) ทำให้มีแรงดันไออากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet) เพิ่มขึ้น และผลการวิเคราะห์ พบว่าความเข้มข้นไอระเหย HCl เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 18.90 mg/Nm<sup>3</sup>จากการทดลองก่อนหน้านี้ เนื่องจากทั้งช่วงเวลาไว้ทั้งสิ้น 5 นาที

3) การทดลองเก็บตัวอย่างไอระเหย HCl ช่วงสุดท้ายเมื่อถึงระบบบำบัด มีสารละลาย NaOH

เพิ่มขึ้นตอนดำเนินการปล่อยน้ำออกจากถังระบบบำบัด HCl เป็นระยะเวลา 5 นาที และเติมสารละลาย NaOH ปริมาณ 75 ลิตร (ประกอบด้วย น้ำ 65 ลิตร และ NaOH 98% 10 ลิตร) เข้าถังระบบบำบัด ขนาด 100 ลิตร เป็นระยะเวลา 5 นาที (ต่อเนื่องจากการทดลองที่ 2) และเปิดระบบวาล์วของรถบรรทุกขนถ่าย HCl ในสถานะขณะที่มีรถบรรทุกขนถ่าย HCl ลงแท็งก์พลาสติก PE ขนาด 3,000 ลิตร ด้วยอัตราการไหล 1,000 ลิตร/2 นาที โดยใช้ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง 2 นาที สุดท้ายพบว่า แท็งก์พลาสติก PE มีปริมาณ HCl เท่ากับ 3,000 ลิตร จากนั้นจึงปิดระบบวาล์วของรถบรรทุกขนถ่าย HCl เพื่อนำไปวิเคราะห์ฯ อากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet) พบว่าค่าความเข้มข้นไอระเหย HCl ลดลง

ประเด็นที่นำมาพิจารณาค่าความเข้มข้นไอระเหย HCl ลดลง คือ 1) ระยะเวลาในการปล่อยน้ำออกจากถังระบบบำบัด HCl เป็นระยะเวลา 5 นาที และเติมสารละลาย NaOH ปริมาณ 75 ลิตร เข้าถังระบบบำบัด ขนาด 100 ลิตร เป็นระยะเวลา 5 นาที ทำให้ในถังระบบบำบัด อาจมีการตกค้างไอระเหย HCl ก่อนหน้านั้นระบายออกไปและหลงเหลืออยู่จำนวนหนึ่งซึ่งต้องน้อยกว่าการทดลองก่อนหน้านี้ ผนวกกับ 2) อัตราการไหลของ HCl จากรถบรรทุกขนถ่ายคงเดิม แต่แท็งก์พลาสติก PE มีปริมาณ HCl เท่ากับ 3,000 ลิตร (ซึ่งเพิ่มขึ้นจากเดิม 2,000 ลิตร) ทำให้มีแรงดันไออากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet) เพิ่มขึ้น แต่ผลการวิเคราะห์ พบว่าความเข้มข้นไอระเหย HCl ลดลงโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 6.49 mg/Nm<sup>3</sup>จากการทดลองก่อนหน้านี้ เนื่องจากทั้งช่วงเวลาไว้ทั้งสิ้น 10 นาที

### 3. ข้อเสนอแนะการสร้างระบบบำบัดไอระเหย HCl

3.1 ควรติดตั้งระบบ Pump pH Controller สำหรับการเติมสารละลาย NaOH เข้าสู่ถังระบบบำบัดไอระเหย HCl

3.2 การต่อท่อระบาย HCl จากถังเก็บเข้าสู่ถังระบบบำบัดไอระเหย HCl โดยการติดตั้งให้ปลายท่ออากาศเสียเข้า (ท่อ Inlet) จุ่มเข้าถังระบบบำบัดไอระเหย HCl ความลึก 2 นิ้ว จากผิวของน้ำหรือสารละลาย NaOH และมีระยะเวลาการเก็บตัวอย่างแต่ละสารดูดซึม 2 นาที เมื่อพิจารณาแล้ว อาจจะไม่เพียงพอในการดูดซึมกัน

3.3 ควรติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศจากปล่องระบาย อย่างน้อยปีละ 2 ครั้ง เพื่อศึกษาแนวโน้มและเพื่อเป็นการเฝ้าระวังผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเพื่อเป็นการปฏิบัติตามระเบียบปฏิบัติที่กำหนดไว้ในระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14000





บรรณานุกรม

## บรรณานุกรม

- กฤษชัย ทะแยแก้ว และ พิสิทธิ์ ดวงฟู. (2556). พัฒนาเครื่องดักจับเขม่าควันแบบเปียก. กรุงเทพฯ: สาขาเทคโนโลยีเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2551). *กรดเกลือ Hydrochloric acid*. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: ไอเดีย สแควร์.
- เจริญ คงเจริญ. (2548). *การลดปริมาณก๊าซอันตรายที่เกิดจากกระบวนการอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่รถยนต์ โดยวิธีจับด้วยละอองน้ำให้อยู่ในมาตรฐานความปลอดภัยสากลสำหรับคลังสินค้า*. กรุงเทพฯ: สาขาวิศวกรรมความปลอดภัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน พ.ศ. 2549. (2549). *ราชกิจจานุเบกษา*. เล่ม 123 ตอนพิเศษ 125 ง. หน้า 7-11.
- มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช. (2555). การจัดการและควบคุมมลพิษทางอากาศจากอุตสาหกรรม. (พิมพ์ครั้งที่ 1). นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช.
- มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช. (2555). *สถิติและระเบียบวิธีวิจัยสำหรับสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม*. (พิมพ์ครั้งที่ 2). นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช.
- เรวัตร ช่อมสุข และ สุกเอก ประมูลมาก. (2551). การพัฒนาระบบการควบคุมมลภาวะทางอากาศ อุตสาหกรรมงานชุบโลหะ. กรุงเทพฯ: คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช. (2554). *คู่มือวิชาการด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม*. สืบค้นจาก: <http://www.stou.ac.th/schools/shs/booklet/book544/sanitation.html>
- สุรชาติ สีนวรรณ์ และคณะ. (2550). การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องต้นแบบระบบบำบัดไอระเหยเบนซินและโทลูอิน โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเศษไม้จากสถานประกอบการประเภทผลิตภัณฑ์ไม้ในเขตบางซื่อ. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต.
- ศูนย์วิจัยสุขภาพกรุงเทพ. (2556). *พิษของกรดเกลือที่มีต่อร่างกาย*. สืบค้นจาก: <http://www.bangkokhealth.com/health>
- อานนท์ สิทธิเวช. (2552). *การควบคุมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยแพคเกจสครับเบอร์*. กรุงเทพฯ: สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.



ภาคผนวก

มหาวิทยาลัย

สกลนครราชภัฏ



**ภาคผนวก ก**

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One way ANOVA)



## การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One way ANOVA)

ตารางที่ 1 พรรณนาลักษณะของข้อมูล

Descriptives								
Result	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1.00	3	9.8033	2.75329	1.58962	2.9638	16.6429	6.64	11.66
2.00	3	34.9033	4.54917	2.62646	23.6026	46.2041	30.53	39.61
3.00	3	61.3867	1.95144	1.12667	56.5390	66.2343	59.14	62.66
Total	9	35.3644	22.51773	7.50591	18.0558	52.6731	6.64	62.66

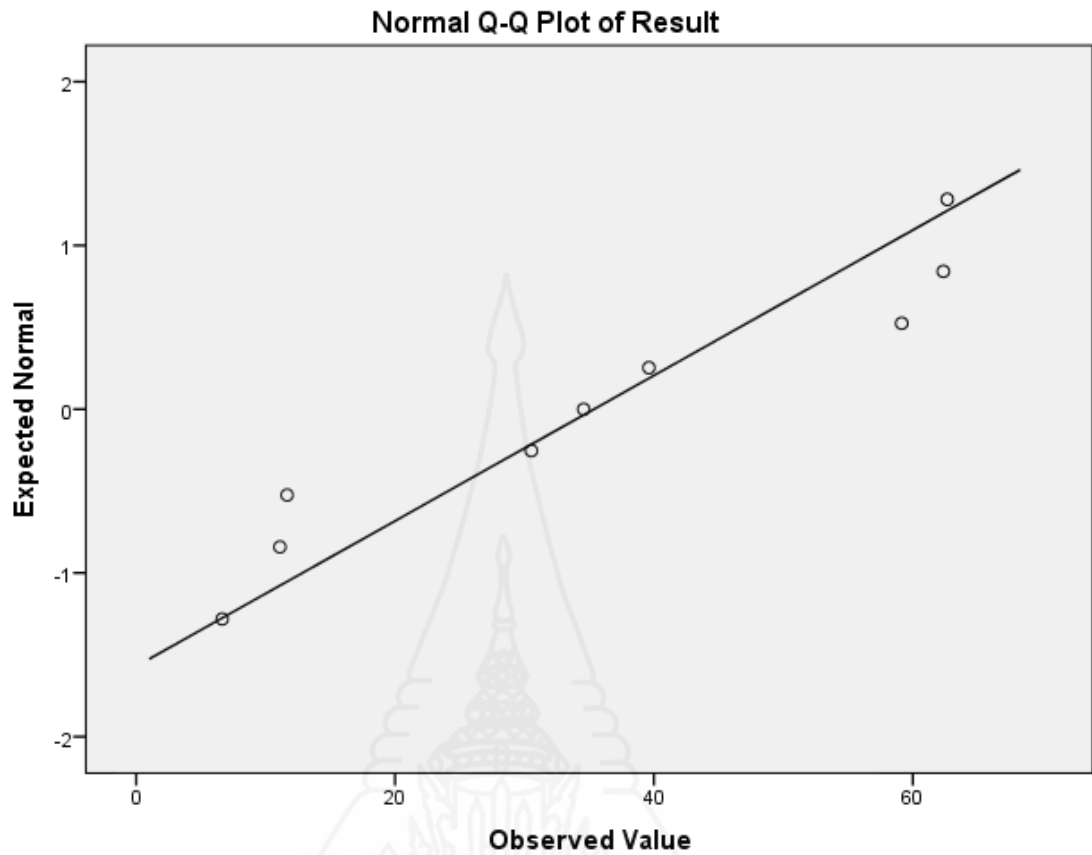
ตารางที่ 2 การทดสอบความแปรปรวนหรือการกระจายของกลุ่มตัวอย่าง

Test of Homogeneity of Variances				
Result	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
	.849	2	6	.473

ตารางที่ 3 การทดสอบสมมติฐานข้อมูลการแจกแจง

Tests of Normality						
Result	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
	.188	9	.200*	.884	9	.171

\*. This is a lower bound of the true significance.  
a. Lilliefors Significance Correction



ภาพที่ 1 กราฟแสดงการทดสอบสมมติฐานข้อมูลการแจกแจง

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อใช้ในการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย (ANOVA)

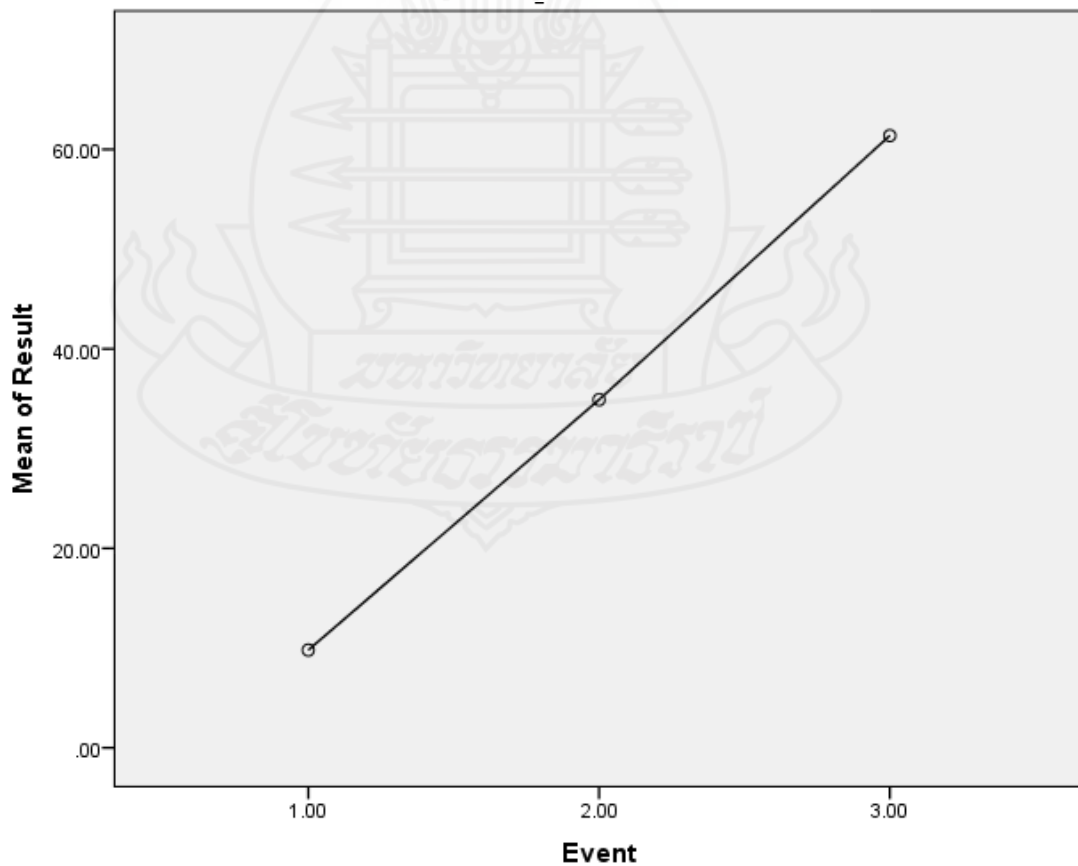
<b>ANOVA</b>					
Result	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3992.217	2	1996.109	186.647	.000
Within Groups	64.167	6	10.695		
Total	4056.385	8			

ตารางที่ 5 การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณ (Multiple Comparisons)

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: Result						
Scheffe						
(I) Event	(J) Event	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1.00	2.00	-25.10000 <sup>*</sup>	2.67015	.000	-33.6639	-16.5361
	3.00	-51.58333 <sup>*</sup>	2.67015	.000	-60.1472	-43.0195
2.00	1.00	25.10000 <sup>*</sup>	2.67015	.000	16.5361	33.6639
	3.00	-26.48333 <sup>*</sup>	2.67015	.000	-35.0472	-17.9195
3.00	1.00	51.58333 <sup>*</sup>	2.67015	.000	43.0195	60.1472
	2.00	26.48333 <sup>*</sup>	2.67015	.000	17.9195	35.0472

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ภาพที่ 6 กราฟแสดงการพล็อตจุดของกลุ่มค่าเฉลี่ยสารละลายต่างๆ



**ภาคผนวก ข**

ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพอากาศจากปล่องระบาย





บริษัท โกลบอล เอ็นไวรอนเม้นท์ แมนเนจเม้นท์ จำกัด  
Global Environmental Management Co.,Ltd.

8 ซอยสตรีวิทยา 2 (ซอย 10 แยก 2-3-2) แขวง/เขตลาดพร้าว กรุงเทพฯ 10230 โทร 029422208-9 โทรสาร 029420266  
8 Soi Striwitaya 2 (Soi 10 Cross Street 2-3-2) Ladprao Bangkok 10230 Tel.029422208-9 Fax. 029420266 E-mail: gem-2003@hotmail.com

**ANALYSIS REPORT**

Customer Name : Elec & Eltek (Thailand) Limited  
Address : 134 Moo.2, T. Bang-khayang, A. Muang, Pathumthani 12000  
Sampling Site : - Sample Type : Air Sampling  
Sampling Date : 01/06/17 Sample Condition : Good  
Analytical Date : 05/06/17 Report No. : S-600515  
Report Date : 21/06/17

Area: HCl Tank (น้ำออก)

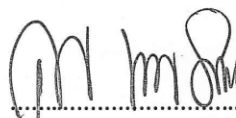
Item	Parameter	Unit	Result			Standard <sup>(1)</sup>
			Inlet	ในถัง	Outlet	
1	Sampling Date	-	01/06/17			-
2	Stack Dimensions	m.	Ø 0.04	Ø 0.04	Ø 0.04	-
3	Temperature <sup>(2)</sup>	°C	42.00	39.00	40.00	-
4	Air Velocity <sup>(2)</sup>	m/s	3.10	3.20	2.80	-
5	Emission Rate <sup>(2)</sup>	Nm <sup>3</sup> /s	0.00	0.00	0.00	-
6	Absolute Stack Pressure	mm. Hg	758.07	758.07	758.07	-
7	Hydrochloric acid (HCl) <sup>(3)</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>	60.011	55.101	53.011	200.00

Source : <sup>(1)</sup> Notification of the Ministry of Industry (2006)

Remark : <sup>(2)</sup> Flue Condition

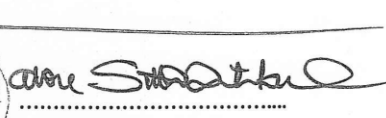
: Result of analysis refer to condition is 25 °C at 1 atm or 760 mm Hg and dry basis

: <sup>(3)</sup> Analysis by Ministry of Public Health

  
(Mr. Pichai Larsing)  
Analyst

จ-220-ก-5155



  
(Mr. Tawee Sithilutrakul)  
Analyst Supervisor

จ-220-ก-5154

Do not copy partial of this analysis report without authorize signature approval

Report analysis refer to submitted sample(s) only



บริษัท โกลบอล เอ็นไวรอนเมนท์ แมเนจเม้นท์ จำกัด  
Global Environmental Management Co.,Ltd.

8 ซอยสตรีวิทยา 2 (ซอย 10 แยก 2-3-2) แขวง/เขตลาดพร้าว กรุงเทพฯ 10230 โทร 029422208-9 โทรสาร 029420266  
8 Soi Striwitaya 2 (Soi 10 Cross Street 2-3-2) Ladprao Bangkok 10230 Tel.029422208-9 Fax. 029420266 E-mail: gem-2003@hotmail.com

### ANALYSIS REPORT

Customer Name : Elec & Eltek (Thailand) Limited  
Address : 134 Moo.2, T. Bang-khayang, A. Muang, Pathumthani 12000  
Sampling Site : - Sample Type : Air Sampling  
Sampling Date : 01/06/17 Sample Condition : Good  
Analytical Date : 05/06/17 Report No. : S-600515  
Report Date : 21/06/17

Area: HCl Tank (เติมน้ำ)

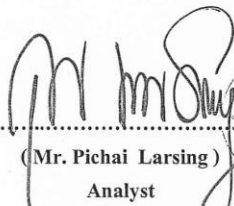
Item	Parameter	Unit	Result			Standard <sup>(1)</sup>
			Inlet	ในอั้ง	Outlet	
1	Sampling Date	-	01/06/17			-
2	Stack Dimensions	m.	Ø 0.04	Ø 0.04	Ø 0.04	-
3	Temperature <sup>(2)</sup>	°C	40.00	39.00	37.00	-
4	Air Velocity <sup>(2)</sup>	m/s	3.10	3.20	2.80	-
5	Emission Rate <sup>(2)</sup>	Nm <sup>3</sup> /s	0.00	0.00	0.00	-
6	Absolute Stack Pressure	mm. Hg	758.07	758.07	758.07	-
7	Hydrochloric acid (HCl) <sup>(3)</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>	78.009	44.124	38.012	200.00

Source : <sup>(1)</sup> Notification of the Ministry of Industry (2006)

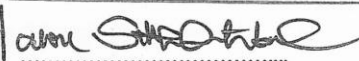
Remark : <sup>(2)</sup> Flue Condition

: Result of analysis refer to condition is 25 °C at 1 atm or 760 mm Hg and dry basis

: <sup>(3)</sup> Analysis by Ministry of Public Health

  
(Mr. Pichai Larsing)  
Analyst  
จ-220-ก-5155



  
(Mr. Tawe Sittiluttrakul)  
Analyst Supervisor  
จ-220-ก-5154

Do not copy partial of this analysis report without authorize signature approval  
Report analysis refer to submitted sample(s) only



บริษัท โกลบอล เอ็นไวรอนเมนท์ แมเนจเม้นท์ จำกัด  
Global Environmental Management Co.,Ltd.

8 ซอยสตรีวิทยา 2 (ซอย 10 แยก 2-3-2) แขวง/เขตลาดพร้าว กรุงเทพฯ 10230 โทร 029422208-9 โทรสาร 029420266  
8 Soi Striwitaya 2 (Soi 10 Cross Street 2-3-2) Ladprao Bangkok 10230 Tel.029422208-9 Fax. 029420266 E-mail: gem-2003@hotmail.com

### ANALYSIS REPORT

Customer Name : Elec & Eltek (Thailand) Limited

Address : 134 Moo.2, T. Bang-khayang, A. Muang, Pathumthani 12000

Sampling Site : -

Sample Type : Air Sampling

Sampling Date : 01/06/17

Sample Condition : Good

Analytical Date : 05/06/17

Report No. : S-600515

Report Date : 21/06/17

Area: HCl Tank (เติมน้ำ)

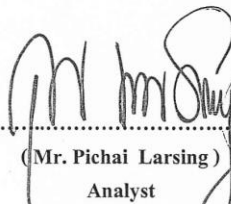
Item	Parameter	Unit	Result			Standard <sup>(1)</sup>
			Inlet	ในอั้ง	Outlet	
1	Sampling Date	-	01/06/17			-
2	Stack Dimensions	m.	Ø 0.04	Ø 0.04	Ø 0.04	-
3	Temperature <sup>(2)</sup>	°C	40.00	39.00	37.00	-
4	Air Velocity <sup>(2)</sup>	m/s	3.10	3.20	2.80	-
5	Emission Rate <sup>(2)</sup>	Nm <sup>3</sup> /s	0.00	0.00	0.00	-
6	Absolute Stack Pressure	mm. Hg	758.07	758.07	758.07	-
7	Hydrochloric acid (HCl) <sup>(3)</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>	78.009	44.124	38.012	200.00

Source : <sup>(1)</sup> Notification of the Ministry of Industry (2006)

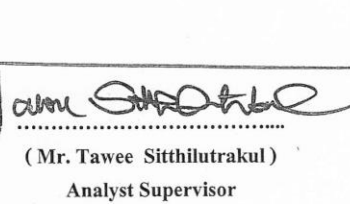
Remark : <sup>(2)</sup> Flue Condition

: Result of analysis refer to condition is 25 °C at 1 atm or 760 mm Hg and dry basis

: <sup>(3)</sup> Analysis by Ministry of Public Health

  
(Mr. Pichai Larsing)  
Analyst  
จ-220-ก-5155



  
(Mr. Tawee Sitthilutrakul)  
Analyst Supervisor  
จ-220-ก-5154

Do not copy partial of this analysis report without authorize signature approval  
Report analysis refer to submitted sample(s) only





บริษัท โกลบอล เอ็นไวรอนเมนท์ แมนเนจเม้นท์ จำกัด  
Global Environmental Management Co.,Ltd.

8 ซอยสตรีวิทยา 2 (ซอย 10 แยก 2-3-2) แขวง/เขตลาดพร้าว กรุงเทพฯ 10230 โทร 029422208-9 โทรสาร 029420266  
8 Soi Striwitaya 2 (Soi 10 Cross Street 2-3-2) Ladprao Bangkok 10230 Tel.029422208-9 Fax. 029420266 E-mail: gem-2003@hotmail.com

### ANALYSIS REPORT

Customer Name : Elec & Eltek (Thailand) Limited  
Address : 134 Moo.2, T. Bang-khayang, A. Muang, Pathumthani 12000  
Sampling Site : - Sample Type : Air Sampling  
Sampling Date : 26/09/17 Sample Condition : Good  
Analytical Date : 29/09/17 Report No. : S-600943  
Report Date : 12/10/17

Area: HCl Tank (น้ำออก)

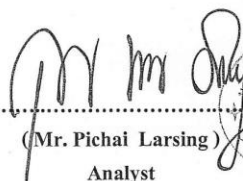
Item	Parameter	Unit	Result			Standard <sup>(1)</sup>
			Inlet	ในถัง	Outlet	
1	Sampling Date	-	26/09/17			-
2	Stack Dimensions	m.	Ø 0.04	Ø 0.04	Ø 0.04	-
3	Temperature <sup>(2)</sup>	°C	40.00	40.00	39.00	-*
4	Air Velocity <sup>(2)</sup>	m/s	3.00	3.00	2.80	-
5	Emission Rate <sup>(2)</sup>	Nm <sup>3</sup> /s	0.00	0.00	0.00	-
6	Absolute Stack Pressure	mm. Hg	758.07	758.07	758.07	-
7	Hydrochloric acid (HCl) <sup>(3)</sup>	mg/ Nm <sup>3</sup>	64.410	60.776	57.251	200.00

Source : <sup>(1)</sup> Notification of the Ministry of Industry (2006)

Remark : <sup>(2)</sup> Flue Condition

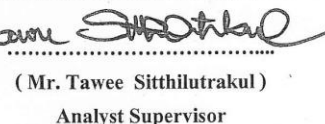
: Result of analysis refer to condition is 25 °C at 1 atm or 760 mm Hg and dry basis

Remark : <sup>(3)</sup> Analysis by Ministry of Public Health

  
(Mr. Pichai Larsing)  
Analyst

จ-220-ก-5155



  
(Mr. Tawee Sithilutrakul)  
Analyst Supervisor

จ-220-ก-5154

Do not copy partial of this analysis report without authorize signature approval  
Report analysis refer to submitted sample(s) only



บริษัท โกลบอล เอ็นไวรอนเม้นท์ แมนเนจเม้นท์ จำกัด  
Global Environmental Management Co.,Ltd.

8 ซอยสตรีวิทยา 2 (ซอย 10 แยก 2-3-2) แขวง/เขตลาดพร้าว กรุงเทพฯ 10230 โทร 029422208-9 โทรสาร 029420266  
8 Soi Striwitaya 2 (Soi 10 Cross Street 2-3-2) Ladprao Bangkok 10230 Tel.029422208-9 Fax. 029420266 E-mail: gem-2003@hotmail.com

**ANALYSIS REPORT**

Customer Name : Elec & Eltek (Thailand) Limited  
Address : 134 Moo.2, T. Bang-khayang, A. Muang, Pathumthani 12000  
Sampling Site : - Sample Type : Air Sampling  
Sampling Date : 26/09/17 Sample Condition : Good  
Analytical Date : 29/09/17 Report No. : S-600943  
Report Date : 12/10/17

Area: HCl Tank (เติมน้ำ)

Item	Parameter	Unit	Result			Standard <sup>(1)</sup>
			Inlet	ในถัง	Outlet	
1	Sampling Date	-	26/09/17			-
2	Stack Dimensions	m.	Ø 0.04	Ø 0.04	Ø 0.04	-
3	Temperature <sup>(2)</sup>	°C	39.00	39.00	38.00	- *
4	Air Velocity <sup>(2)</sup>	m/s	3.00	3.00	2.80	-
5	Emission Rate <sup>(2)</sup>	Nm <sup>3</sup> /s	0.00	0.00	0.00	-
6	Absolute Stack Pressure	mm. Hg	758.07	758.07	758.07	-
7	Hydrochloric acid (HCl) <sup>(3)</sup>	mg/ Nm <sup>3</sup>	82.871	52.121	48.363	200.00

Source : <sup>(1)</sup> Notification of the Ministry of Industry (2006)

Remark : <sup>(2)</sup> Flue Condition

: Result of analysis refer to condition is 25 ° C at 1 atm or 760 mm Hg and dry basis

Remark : <sup>(3)</sup> Analysis by Ministry of Public Health

  
 (Mr. Pichai Larsing)  
 Analyst  
 3-220-ก-5155


  
 (Mr. Tawee Sitthilutrakul)  
 Analyst Supervisor  
 3-220-ก-5154

Do not copy partial of this analysis report without authorize signature approval

Report analysis refer to submitted sample(s) only



บริษัท โกลบอล เอ็นไวรอนเม้นท์ แมนเนจเม้นท์ จำกัด  
Global Environmental Management Co.,Ltd.

8 ซอยสตรีวิทยา 2 (ซอย 10 แยก 2-3-2) แขวง/เขตลาดพร้าว กรุงเทพฯ 10230 โทร 029422208-9 โทรสาร 029420266  
8 Soi Striwitaya 2 (Soi 10 Cross Street 2-3-2) Ladprao Bangkok 10230 Tel.029422208-9 Fax. 029420266 E-mail: gem-2003@hotmail.com

**ANALYSIS REPORT**

Customer Name : Elec & Eltek (Thailand) Limited  
Address : 134 Moo.2, T. Bang-khayang, A. Muang, Pathumthani 12000  
Sampling Site : - Sample Type : Air Sampling  
Sampling Date : 26/09/17 Sample Condition : Good  
Analytical Date : 29/09/17 Report No. : S-600943  
Report Date : 12/10/17

Area: HCl Tank (เติม NaOH)

Item	Parameter	Unit	Result			Standard <sup>(1)</sup>
			Inlet	ในถัง	Outlet	
1	Sampling Date	-	26/09/17			-
2	Stack Dimensions	m.	Ø 0.04	Ø 0.04	Ø 0.04	-
3	Temperature <sup>(2)</sup>	°C	40.00	40.00	39.00	-
4	Air Velocity <sup>(2)</sup>	m/s	3.00	3.00	2.80	-
5	Emission Rate <sup>(2)</sup>	Nm <sup>3</sup> /s	0.00	0.00	0.00	-
6	Absolute Stack Pressure	mm. Hg	758.07	758.07	758.07	-
7	Hydrochloric acid (HCl) <sup>(3)</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>	76.355	30.350	22.713	200.00
8	pH	-	-	-	11.30	-

Source : <sup>(1)</sup> Notification of the Ministry of Industry (2006)

Remark : <sup>(2)</sup> Flue Condition

: Result of analysis refer to condition is 25 °C at 1 atm or 760 mm Hg and dry basis

Remark : <sup>(3)</sup> Analysis by Ministry of Public Health

  
 (Mr. Pichai Larsing)  
 Analyst  
 ๖-220-ก-5155

  
 (Mr. Tawee Sitthilutrakul)  
 Analyst Supervisor  
 ๖-220-ก-5154



Do not copy partial of this analysis report without authorize signature approval

Report analysis refer to submitted sample(s) only



บริษัท โกลบอล เอ็นไวรอนเมนท์ แมเนจเม้นท์ จำกัด  
Global Environmental Management Co.,Ltd.

8 ซอยสตรีวิทยา 2 (ซอย 10 แยก 2-3-2) แขวง/เขตลาดพร้าว กรุงเทพฯ 10230 โทร 029422208-9 โทรสาร 029420266  
8 Soi Striwitaya 2 (Soi 10 Cross Street 2-3-2) Ladprao Bangkok 10230 Tel.029422208-9 Fax. 029420266 E-mail: gem-2003@hotmail.com

### ANALYSIS REPORT

Customer Name : Elec & Eltek (Thailand) Limited  
Address : 134 Moo.2, T. Bang-khayang, A. Muang, Pathumthani 12000  
Sampling Site : - Sample Type : Air Sampling  
Sampling Date : 07/10/17 Sample Condition : Good  
Analytical Date : 10/10/17 Report No. : S-600943  
Report Date : 12/10/17  
Area: HCl Tank (น้ำออก)

Item	Parameter	Unit	Result			Standard <sup>(1)</sup>
			Inlet	ในถัง	Outlet	
1	Sampling Date	-	07/10/17			-
2	Stack Dimensions	m.	Ø 0.04	Ø 0.04	Ø 0.04	-
3	Temperature <sup>(2)</sup>	°C	39.00	39.00	38.00	-
4	Air Velocity <sup>(2)</sup>	m/s	2.80	2.80	2.60	-
5	Emission Rate <sup>(2)</sup>	Nm <sup>3</sup> /s	0.00	0.00	0.00	-
6	Absolute Stack Pressure	mm. Hg	758.07	758.07	758.07	-
7	Hydrochloric acid (HCl) <sup>(3)</sup>	mg/ Nm <sup>3</sup>	66.794	65.687	62.358	200.00

Source : <sup>(1)</sup> Notification of the Ministry of Industry (2006)

Remark : <sup>(2)</sup> Flue Condition

: Result of analysis refer to condition is 25 °C at 1 atm or 760 mm Hg and dry basis

Remark : <sup>(3)</sup> Analysis by Ministry of Public Health

  
 (Mr. Pichai Larsing)  
 Analyst  
 3-220-ก-5155


  
 (Mr. Tawee Sitthilutkul)  
 Analyst Supervisor  
 3-220-ก-5154

Do not copy partial of this analysis report without authorize signature approval

Report analysis refer to submitted sample(s) only



บริษัท โกลบอล เอ็นไวรอนเมนท์ แมนเนจเม้นท์ จำกัด  
Global Environmental Management Co.,Ltd.

8 ซอยสตรีวิทยา 2 (ซอย 10 แยก 2-3-2) แขวง/เขตลาดพร้าว กรุงเทพฯ 10230 โทร 029422208-9 โทรสาร 029420266  
8 Soi Striwitaya 2 (Soi 10 Cross Street 2-3-2) Ladprao Bangkok 10230 Tel.029422208-9 Fax. 029420266 E-mail: gem-2003@hotmail.com

### ANALYSIS REPORT

Customer Name : Elec & Eltek (Thailand) Limited  
Address : 134 Moo.2, T. Bang-khayang, A. Muang, Pathumthani 12000  
Sampling Site : - Sample Type : Air Sampling  
Sampling Date : 07/10/17 Sample Condition : Good  
Analytical Date : 10/10/17 Report No. : S-600943  
Report Date : 12/10/17

Area: HCl Tank (เติมน้ำ)

Item	Parameter	Unit	Result			Standard <sup>(1)</sup>
			Inlet	ในถัง	Outlet	
1	Sampling Date	-	07/10/17			-
2	Stack Dimensions	m.	Ø 0.04	Ø 0.04	Ø 0.04	-
3	Temperature <sup>(2)</sup>	°C	33.00	33.00	34.00	-*
4	Air Velocity <sup>(2)</sup>	m/s	2.80	2.80	2.60	-
5	Emission Rate <sup>(2)</sup>	Nm <sup>3</sup> /s	0.00	0.00	0.00	-
6	Absolute Stack Pressure	mm. Hg	758.07	758.07	758.07	-
7	Hydrochloric acid (HCl) <sup>(3)</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>	87.074	54.431	51.187	200.00

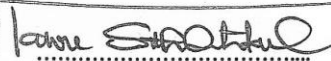
Source : <sup>(1)</sup> Notification of the Ministry of Industry (2006)

Remark : <sup>(2)</sup> Flue Condition

: Result of analysis refer to condition is 25 ° C at 1 atm or 760 mm Hg and dry basis

Remark : <sup>(3)</sup> Analysis by Ministry of Public Health

  
(Mr. Pichai Larsing)  
Analyst  
3-220-ก-5155

  
(Mr. Tawee Sitthilutrakul)  
Analyst Supervisor  
3-220-ก-5154

Do not copy partial of this analysis report without authorize signature approval

Report analysis refer to submitted sample(s) only



บริษัท โกลบอล เอ็นไวรอนเม้นท์ แมนเนจเม้นท์ จำกัด  
Global Environmental Management Co.,Ltd.

8 ซอยสตรีวิทยา 2 (ซอย 10 แยก 2-3-2) แขวง/เขตลาดพร้าว กรุงเทพฯ 10230 โทร 029422208-9 โทรสาร 029420266  
8 Soi Striwitaya 2 (Soi 10 Cross Street 2-3-2) Ladprao Bangkok 10230 Tel.029422208-9 Fax. 029420266 E-mail: gem-2003@hotmail.com

**ANALYSIS REPORT**

Customer Name : Elec & Eltek (Thailand) Limited  
Address : 134 Moo.2, T. Bang-khayang, A. Muang, Pathumthani 12000  
Sampling Site : - Sample Type : Air Sampling  
Sampling Date : 07/10/17 Sample Condition : Good  
Analytical Date : 10/10/17 Report No. : S-600943  
Report Date : 12/10/17

Area: HCl Tank (เติม NaOH)

Item	Parameter	Unit	Result			Standard <sup>(1)</sup>
			Inlet	ในถัง	Outlet	
1	Sampling Date	-	07/10/17			-
2	Stack Dimensions	m.	Ø 0.04	Ø 0.04	Ø 0.04	-
3	Temperature <sup>(2)</sup>	°C	41.00	41.00	39.00	-
4	Air Velocity <sup>(2)</sup>	m/s	2.80	2.80	2.60	-
5	Emission Rate <sup>(2)</sup>	Nm <sup>3</sup> /s	0.00	0.00	0.00	-
6	Absolute Stack Pressure	mm. Hg	758.07	758.07	758.07	-
7	Hydrochloric acid (HCl) <sup>(3)</sup>	mg/ Nm <sup>3</sup>	82.015	29.746	24.913	200.00
8	pH	-	-	-	11.18	-

Source : <sup>(1)</sup> Notification of the Ministry of Industry (2006)

Remark : <sup>(2)</sup> Flue Condition

: Result of analysis refer to condition is 25 °C at 1 atm or 760 mm Hg and dry basis

Remark : <sup>(3)</sup> Analysis by Ministry of Public Health

  
Mr. Pichai Larsing  
Analyst  
GEM  
Environmental Management Co.,Ltd.

๖-220-ก-5155



(Mr. Tawee Sithilutrakul)

Analyst Supervisor

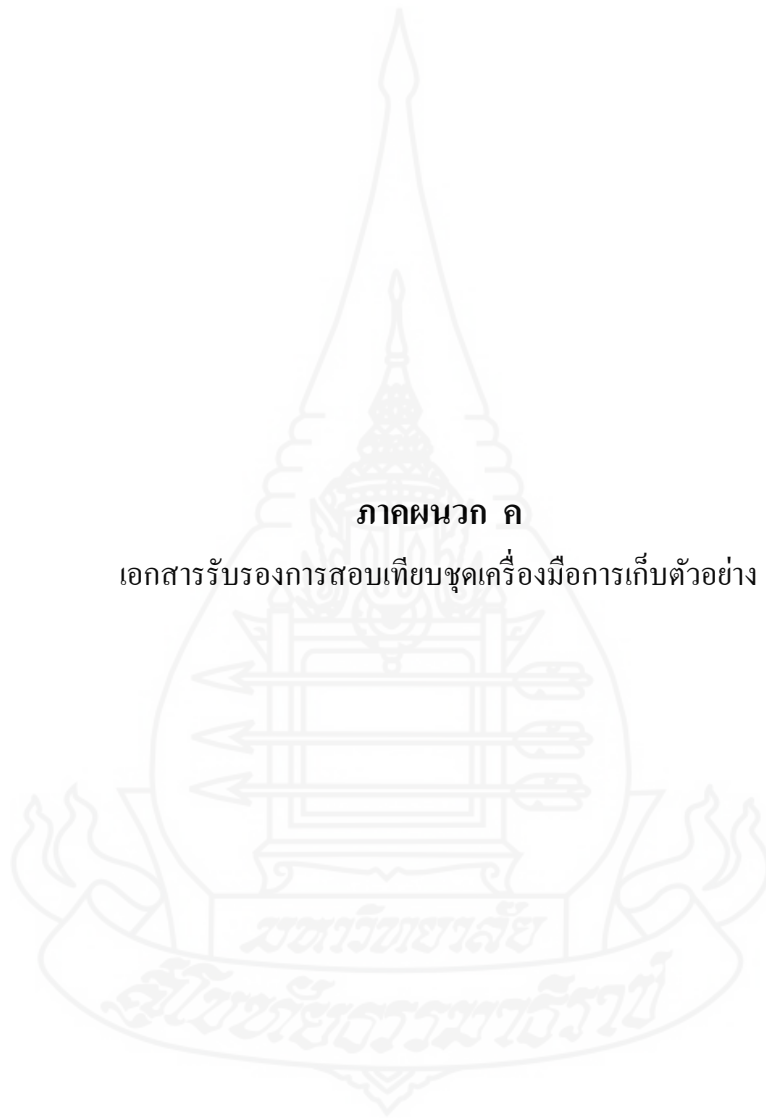
๖-220-ก-5154

Do not copy partial of this analysis report without authorize signature approval

Report analysis refer to submitted sample(s) only

**ภาคผนวก ก**

เอกสารรับรองการสอบเทียบชุดเครื่องมือการเก็บตัวอย่าง





TECHNOLOGY PROMOTION ASSOCIATION (THAILAND-JAPAN)  
CORPORATE SERVICES 3: EQUIPMENT CALIBRATION AND TESTING SERVICES  
5344 PATTANAKARN ROAD SOI 18, SUANLIANG, SUANLIANG BANGKOK 10250  
TEL: 02-2717-3000-24 FAX: 02-2719-9484



Cert.No.: 17CHO489  
Page.: 1 of 2

## Certificate of Calibration

**Equipment:** pH Meter  
**Model:** pH 211  
**Serial No.:** 509800  
**ID No.:**  
**Manufacturer:** Hanna  
**Submitted by:** Global Environmental Management Co. Ltd.  
8 Satriwitthaya 2 Soi 10 Cross Street 2-3-2  
Ladprao 71 Rd., Ladprao, Bangkok 10230

**Calibration Place:** Laboratory (Global Environment Management Co., Ltd.)  
**Ambient Temperature:** (25.5 - 25.4) °C (On-Site)  
**Relative Humidity:** (58 - 55) % (On-Site)  
**Calibration Procedure:** In-house method : GP-OCH2 based on direct measurement by using standard voltage calibrator and certified reference material (CRM)

**Calibrated by:** Ulthen Kankawi

**Approved by:**   
Approved Signatory

( ) Porphippa Tameyakul  
( ) Meisee Bulkruea  
( ) Porpan Paljipim  
( ) Sathip Meangmai

**Issue Date:** 14 June 2017

The Uncertainties are for a confidence probability of approximately 95%.

This certificate may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the head of Corporate Services 3: Equipment Calibration and Testing Services.

A 0065951



Cert.No.: 17CHO489  
Page.: 2 of 2

**Equipment:** pH Meter  
**Model:** pH 211  
**Serial No.:** 509800  
**ID No.:**  
**Manufacturer:** Hanna  
**Received Date:** 8 June 2017  
**Condition As-Received:** Used Item  
**Calibration Date:** 8 June 2017  
**Reference:** 1705-02450N-2

### Condition of this calibration result

1. Reference Standard Instrument : Calibrator Digital Thermometer ID No.130RC017  
Certificate No.17T1297 Due Date 07 May 2018
2. Reference Standard Instrument : Calibrator Fluke 701 S/N.0440311  
Certificate No.16E4526 Due Date 20 Dec 2017  
(Traceable to National Institute of Metrology Thailand (NIMTT)  
: pH calibration standard :
3. Reference Standard Materials : The calibration of the standard buffer solution is performed by two-point calibration using glass electrode.  
(Traceable to Danish Institute of Fundamental Metrology (DFM))

**Material**  
pH 4.004 Radiometer Lot. No. Exp. date  
pH 7.000 Radiometer C02355 22 Nov 2020  
pH 10.013 Radiometer C02365 16 Dec 2020  
pH 10.013 Radiometer C02363 09 Dec 2020

4. This certificate is certified only for the instrument we calibrated.
5. This result of calibration was found accurate as shown on date and place of calibration only.

### Calibration Results

#### Performing standard curve by Fluke at pH (4.71,7.10)

Unit Under Calibration	Nominal Value	Standard Voltage Input		Actual Reading		Uncertainty of Measurement (±mV)	Coverage factor k
		mV	pH	mV	pH		
pH Meter S/N: 509800	4.00	177.48	4.01	178.6	4.01	0.058	2.00
	7.00	0.00	-0.1	7.01	7.01	0.058	2.00
	10.00	-177.48	-178.7	10.01	10.01	0.058	2.00

#### Performing three-buffer standard curve using buffer nominal pH (4.71,7.10)

Unit Under Calibration	Standard pH Buffer Solution	Actual pH Reading (mV)		Uncertainty of pH Measurement (±)	Coverage factor k
		Actual pH Reading (mV)	Actual pH Reading		
pH Electrode S/N: 033689EN	4.004	4.01	167.8	0.011	2.00
	7.000	7.01	-7.4	0.019	2.00
	10.013	7.01	-8.4	0.019	2.00
		10.01	-185.0	0.058	2.00

The reported uncertainty of measurement was based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor k, providing a level of confidence of approximately 95%.

000-

A 0819786



Before

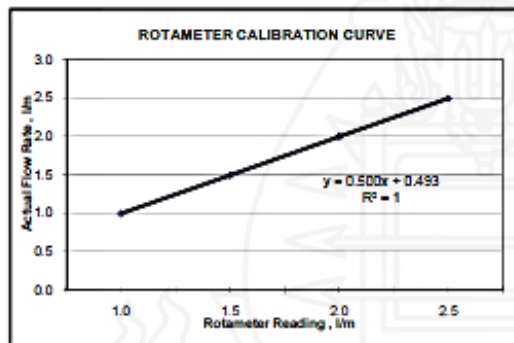


Global Environmental Management Co.,Ltd.

8 Soi Satreewithaya 2 (Soi 10 Crossroad 2-3-2) Ladprao Road, Ladprao, Bangkok 10230 Tel:029422208-9 Fax: 029420266

CERTIFICATE OF CALIBRATION

Equipment Personal Pump  
 Manufacture Gilian Personal Pump  
 Model Gilair LFS 113D  
 Serial No. G. 5  
 Pump No. 5  
 Certified Reference Instrument Soap Bubble \*Primary Flow Standard\*  
 Technical Calibration Flow Test  
 Capacity 500 ml  
 Ambient Temp 25 °C  
 Barometric pressure 758.00 mmHg  
 Air Humidity 50%



Rotameter (l/m)	Actual Flow Rate Reading (l/m)					Avg. (l/m)	% error
	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5		
1.00	0.98	0.97	0.99	1.02	1.01	0.994	0.60
1.50	1.47	1.49	1.49	1.50	1.50	1.490	0.67
2.00	1.97	1.99	2.02	2.00	2.01	1.998	0.10
2.50	2.51	2.49	2.47	2.50	2.49	2.492	0.32

Calibrated Location Global Environmental Management Co.Ltd

Calibration Date 22 September 2017

Calibration Time 9:30:00 AM

CALIBRATION BY ... *Benjaporn* ...  
 (Ms.Benjaporn Khamswan)



APPROVED BY ... *Waraporn* ...  
 (Ms.Waraporn Seewised)

After

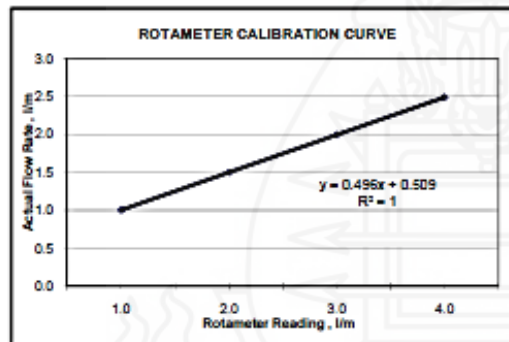


Global Environmental Management Co.,Ltd.

8 Soi Satreewitthaya 2 (Soi 10 Crossroad 2-3-2) Ladprao Road, Ladprao, Bangkok 10230 Tel.029422208-9 Fax. 029420266

CERTIFICATE OF CALIBRATION

Equipment	Personal Pump
Manufacture	Gilian Personal Pump
Model	Gilair LFS 11SD
Serial No.	G. 5
Pump No.	5
Certified Reference Instrument	Scap Bubble "Primary Flow Standard"
Technical Calibration	Flow Test
Capacity	500 ml
Ambient Temp	25 °C
Barometric pressure	758.00 mm.Hg
Air Humidity	50%



Rotameter (l/m)	Actual Flow Rate Reading (l/m)					Avg. (l/m)	% error
	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5		
1.00	0.98	0.99	1.03	1.01	1.01	1.004	-0.40
1.50	1.49	1.51	1.49	1.52	1.50	1.502	-0.13
2.00	1.98	1.98	2.01	2.01	2.01	1.998	0.10
2.50	2.49	2.48	2.49	2.50	2.50	2.492	0.32

Calibrated Location Global Environmental Management Co.,Ltd

Calibration Date 29 September 2017

Calibration Time 9.30.00 AM

CALIBRATION BY ... *Benjaporn*  
(Ms.Benjaporn Khamnuwan)



APPROVED BY ... *Waraporn*  
(Ms.Waraporn Sreevised)

Before

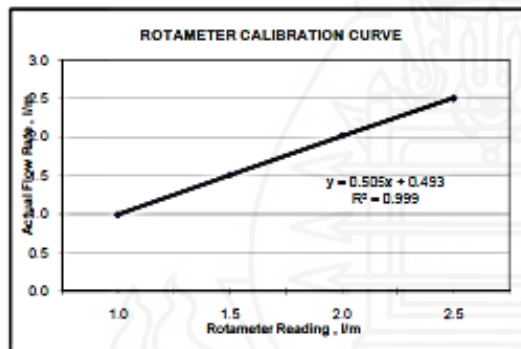


Global Environmental Management Co.,Ltd.

8 Soi Satsreewithaya 2 (Soi 10 Crossroad 2-3-2) Ladprao Road, Ladprao, Bangkok 10230 Tel:029422208-9 Fax: 029420266

CERTIFICATE OF CALIBRATION

Equipment Personal Pump  
 Manufacture Gilian Personal Pump  
 Model Gilair LFS 113D  
 Serial No. G. 7  
 Pump No. 7  
 Certified Reference Instrument Soap Bubble \*Primary Flow Standard\*  
 Technical Calibration Flow Test  
 Capacity 800 ml  
 Ambient Temp 25 °C  
 Barometric pressure 758.00 mmHg  
 Air Humidity 80%



Rotameter (l/m)	Actual Flow Rate Reading (l/m)					Avg. (l/m)	% error
	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5		
1.00	0.97	0.99	1.01	0.99	1.00	0.992	0.80
1.50	1.56	1.48	1.49	1.50	1.51	1.508	-0.53
2.00	2.10	1.99	2.00	2.00	2.00	2.018	-0.90
2.50	2.52	2.48	2.52	2.51	2.50	2.506	-0.24

Calibrated Location Global Environmental Management Co.,Ltd  
 Calibration Date 26 May 2017  
 Calibration Time 9.30.00 AM

CALIBRATION BY Punyane  
 (Ms.Punyawee Sota)



APPROVED BY Waraporn  
 (Ms Waraporn Sreewised)



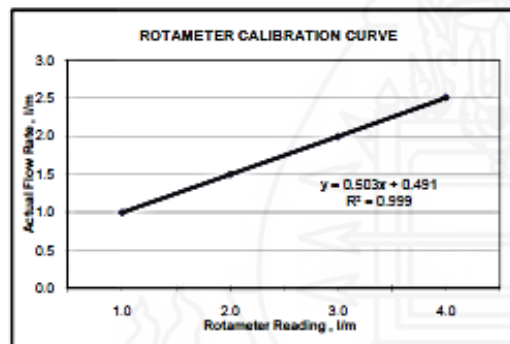
Global Environmental Management Co.,Ltd.

8 Soi Satreewithaya 2 (Soi 10 Crossroad 2-5-2) Ladprao Road, Ladprao, Bangkok 10230 Tel:029422208-9 Fax: 029420266

After

**CERTIFICATE OF CALIBRATION**

Equipment Personal Pump  
 Manufacture Gilian Personal Pump  
 Model Gilair LFS 113D  
 Serial No. G. 7  
 Pump No. 7  
 Certified Reference Instrument Soap Bubble "Primary Flow Standard"  
 Technical Calibration Flow Test  
 Capacity 500 ml  
 Ambient Temp 25 °C  
 Barometric pressure 758.00 mmHg  
 Air Humidity 50%



Rotameter (l/m)	Actual Flow Rate Reading (l/m)					Avg. (l/m)	% error
	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5		
1.00	1.02	0.98	0.98	1.01	1.00	0.998	0.20
1.50	1.48	1.52	1.50	1.49	1.50	1.498	0.13
2.00	1.96	2.00	2.00	1.99	2.02	1.994	0.30
2.50	2.50	2.52	2.53	2.51	2.50	2.512	-0.48

Calibrated Location Global Environmental Management Co.,Ltd

Calibration Date 2 June 2017

Calibration Time 9:30:00 AM

CALIBRATION BY Punyawee  
 (Ms.Punyawee Sota)



APPROVED BY Waraporn  
 (Ms.Waraporn Sreevised)

Before

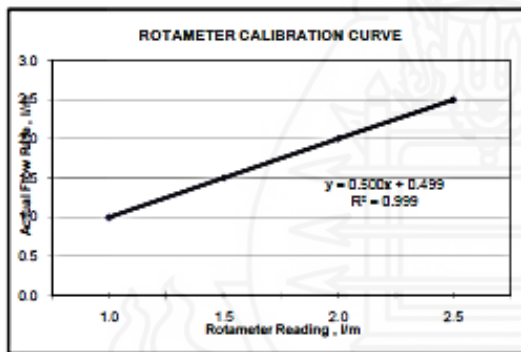


**Global Environmental Management Co.,Ltd.**

8 Soi Sateewithaya 2 (Soi 10 Crossroad 2-3-2) Ladprao Road, Ladprao, Bangkok 10230 Tel.029422208-9 Fax. 029420268

**CERTIFICATE OF CALIBRATION**

Equipment Personal Pump  
 Manufacture Gilian Personal Pump  
 Model Gilair LFS 11SD  
 Serial No. G. 11  
 Pump No. 11  
 Certified Reference Instrument Soap Bubble \*Primary Flow Standard\*  
 Technical Calibration Flow Test  
 Capacity 500 ml  
 Ambient Temp 25 °C  
 Barometric pressure 758.00 mmHg  
 Air Humidity 50%



Rotameter (l/m)	Actual Flow Rate Reading (l/m)					Avg. (l/m)	% error
	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5		
1.00	0.98	0.98	1.01	0.99	1.02	0.996	0.40
1.50	1.51	1.48	1.51	1.50	1.51	1.502	-0.13
2.00	2.01	2.00	2.01	1.99	2.02	2.006	-0.30
2.50	2.49	2.50	2.49	2.49	2.51	2.496	0.16

Calibrated Location Global Environmental Management Co.,Ltd  
 Calibration Date 6 October 2017  
 Calibration Time 9.30.00 AM

CALIBRATION BY ... *Benjaporn* ...  
 (Ms.Benjaporn Khamnuwan)



APPROVED BY ... *Waraporn* ...  
 (Ms Waraporn Seewiwad)

After

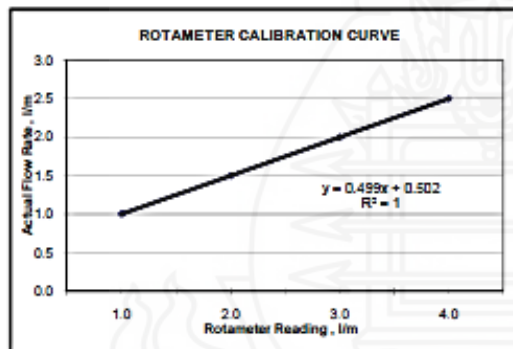


Global Environmental Management Co.,Ltd.

8 Soi Satreewithaya 2 (Soi 10 Crossroad 2-3-2) Ladprao Road, Ladprao, Bangkok 10230 Tel:029422208-9 Fax: 029420266

CERTIFICATE OF CALIBRATION

Equipment	Personal Pump
Manufacture	Gilian Personal Pump
Model	Gilair LFS 113D
Serial No.	G. 11
Pump No.	11
Certified Reference Instrument	Scap Bubble "Primary Flow Standard"
Technical Calibration	Flow Test
Capacity	500 ml
Ambient Temp	25 °C
Barometric pressure	758.00 mmHg
Air Humidity	50%



Rotameter (l/m)	Actual Flow Rate Reading (l/m)					Avg. (l/m)	% error
	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5		
1.00	1.00	1.02	0.99	1.01	1.00	1.004	-0.40
1.50	1.50	1.49	1.49	1.50	1.51	1.498	0.13
2.00	1.98	1.99	2.01	2.00	2.02	2.000	0.00
2.50	2.50	2.51	2.50	2.50	2.50	2.502	-0.08

Calibrated Location	Global Environmental Management Co.,Ltd
Calibration Date	13 October 2017
Calibration Time	9.30.00 AM

CALIBRATION BY ... Benjaporn  
(Ms.Benjaporn Khamsuwan)



APPROVED BY ... Waraporn  
(Ms.Waraporn Sreevised)

## ประวัติผู้ศึกษา

ชื่อ	นางสาวปฐวี จิรณราวุฒิ
วัน เดือน ปีเกิด	3 กุมภาพันธ์ 2525
สถานที่เกิด	อำเภอสุวรรณภูมิ จังหวัดสุโขทัย
ประวัติการศึกษา	สาขาสาธารณสุขชุมชน วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ) มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ พ.ศ. 2548 ประกาศนียบัตรวิชาชีพครู มหาวิทยาลัยสุโขทัยศรีนครินทร์ราชสีมา พ.ศ. 2548 อาชีวอนามัยและความปลอดภัย สาธารณสุขศาสตร์บัณฑิต (ส.บ.) มหาวิทยาลัยสุโขทัยศรีนครินทร์ราชสีมา พ.ศ. 2550
สถานที่ทำงาน	บริษัท เอลเดค แอนด์ เอลเทค (ประเทศไทย) จำกัด จังหวัดปทุมธานี
ตำแหน่ง	Safety Officer - III

