# การศึกษาการบำบัดอากาศเสียด้วยระบบไบโอสครับเบอร์ กรณีศึกษา โรงงานผลิตถังไฟเบอร์กลาส

# A STUDY OF AIR POLLUTION TREATMENT OF BIO SCRUBBER SYSTEM: A CASE STUDY OF FIBER GLASS TANK

อัจฉรา วุฒิกาญจน์

AUDCHARA WUTTIKAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2559

KMITL-2016-EN-M-217-113

# การศึกษาการบำบัดอากาศเสียด้วยระบบไบโอสครับเบอร์ กรณีศึกษา โรงงานผลิตถังไฟเบอร์กลาส

# A STUDY OF AIR POLLUTION TREATMENT OF BIO SCRUBBER SYSTEM: A CASE STUDY OF FIBER GLASS TANK


**อัจฉรา วุฒิกาญจน์**

AUDCHARA WUTTIKAN


**วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต**

**สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ**

**คณะวิศวกรรมศาสตร์**

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

**พ.ศ. 2559**


KMITL-2016-EN-M-217-113



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# A STUDY OF AIR POLLUTION TREATMENT OF BIO SCRUBBER SYSTEM: A CASE STUDY OF FIBER GLASS TANK

AUDCHARA WUTTIKAN

A THISIS SUBMITTED IN PARTIAL FUFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2016

KMITL-2016-EN-M-217-113

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2016
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**คณะวิศวกรรมศาสตร์**
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**
**ใบรับรองวิทยานิพนธ์**

---

**หัวข้อวิทยานิพนธ์** การศึกษาการบำบัดอากาศเสียด้วยระบบไบโอสครับเบอร์ กรณีศึกษาโรงงานผลิตถังไฟเบอร์กลาส

**Thesis Title** A Study of Air Pollution Treatment of Bio Scrubber System : A Case Study of Fiber Glass Tank

**นักศึกษา** นางสาวอัจฉรา วุฒิกาญจน์

**รหัสประจำตัว** 54613220

**ปริญญา** วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

**สาขาวิชา** วิศวกรรมอุตสาหการ

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์** รศ.ดร.สกนธ์ คล่องบุญจิต

**หมายเลขวิทยานิพนธ์** KMITL-2016-EN-M-217-113

| คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ | | ลายมือชื่อ |
|---|---|---|
| รศ.ดร.สิทธิพร | พิมพ์สกุล | |
| ดร.เชาวลิต | หามนตรี | |
| ผศ.ดร.บรรหาญ | ลิลา | |
| ผศ.ดร.สรรพสิทธิ์ | ลิ่มนรรัตน์ | |
| รศ.ดร.สกนธ์ | คล่องบุญจิต | |

**วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ** วันพุธที่ 6 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 เวลา 09.30-11.30 น.
**สถานที่สอบ** ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

**คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว**

**(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)**
**คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์**
**วันที่ 6 กรกฎาคม พ.ศ. 2559**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **หัวข้อวิทยานิพนธ์** | การศึกษาการบำบัดอากาศเสียด้วยระบบไบโอสครับเบอร์ กรณีศึกษาโรงงานผลิตถังไฟเบอร์กลาส |
| **นักศึกษา** | นางสาวอัจฉรา วุฒิกาญจน์ |
| **รหัสประจำตัว** | 54613220 |
| **ปริญญา** | วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต |
| **สาขาวิชา** | วิศวกรรมอุตสาหการ |
| **พ.ศ.** | 2559 |
| **อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์** | รศ.ดร.สกนธ์ คล่องบุญจิต |


**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้ศึกษาเทคโนโลยีในการบำบัดอากาศเสียประเภทสารระเหยง่ายจากกระบวนการสเปรย์ถังไฟเบอร์กล๊าสของโรงงานผลิตถังไฟเบอร์กล๊าสแห่งหนึ่ง ซึ่งส่งกลิ่นรบกวนและเป็นอันตรายต่อสุขภาพต่อพนักงานและชุมชนข้างเคียง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาแนวทางในการบำบัดอากาศเสียก่อนปล่อยสู่ภายนอก ในงานวิจัยได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของเทคโนโลยีบำบัดอากาศเสียต่างๆ พบว่าเทคโนโลยีบำบัดอากาศเสียแบบไบโอสครับเบอร์เหมาะสำหรับบำบัดสารระเหยง่าย โดยการติดตั้งระบบไบโอสครับเบอร์ จำนวน 4 ชุด ในการบำบัดอากาศเสียจากกระบวนการสเปรย์ถังไฟเบอร์กล๊าส จากการศึกษาพบว่าจะสามารถลดค่า $VOC_S$ เฉลี่ยจาก 58.5 ppm เหลือ 26.25 ppm ที่อัตราการไหล 1.12 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที โดยใช้เงินลงทุนเบื้องต้นประมาณ 932,000 บาทที่มูลค่าการลงทุนปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 1,787,149.29 บาท อัตราผลตอบแทนภายในร้อยละ 42.4 ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 3 ปี 1 เดือน ที่ค่าอัตราผลตอบแทนต่ำสุด 7 %ต่อปี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **Thesis** | A Study of Air Pollution Treatment of Bio Scrubber System : A Case Study of Fiber Glass Tank |
| **Student** | Miss. Audchara Wuttikan |
| **Student ID.** | 54613220 |
| **Degree** | Master of Engineering |
| **Program** | Industrial Engineering |
| **Year** | 2016 |
| **Thesis Advisor** | Assoc.Prof.Dr.Sakon Klongboonjit |


## ABSTRACT

This research is feasibility study technology the air pollution treatment of Volatile Organic Compound class from the spray fiber glass tank process of one Fiber Glass Tank Product Industry. The factory has been releasing gas of Volatile Organic Compound that impacts to health of employees and nearby community. So there should be any of air pollution treatment system for this kind of gas before releasing it to the environment. In this research, the 4-system of bio scrubber system is studied to treat toxic air from the spray fiber glass tank process. The study result shows that VOCs is averagely reduced from 58.5 ppm to 26.25 ppm at Flow rate 1.12 cubic meter per second with the investment cost about 932,000 THB at NPV 1,787,149.29 THB, IRR 42.4% per year and the payback period 3 years and 1 months for the 7% per year of MARR



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สกนธ์ คล่องบุญจิต ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ไขปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ บริษัท พรีเมียร์ โพรดักส์ จำกัด (มหาชน) และทีมงานที่ให้โอกาสข้าพเจ้าได้มีส่วนร่วมคิด ออกแบบระบบบำบัดอากาศเสียและทำการทดลอง สำหรับโครงการในครั้งนี้ หากทางบริษัทไม่ให้โอกาสข้าพเจ้า วิทยานิพนธ์นี้ก็ไม่สามารถสำเร็จ สมบูรณ์ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจทั่วไปและนักวิจัยทุกท่านเป็นอย่างมาก

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสอบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

อัจฉรา วุฒิกาญจน์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย ..... I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... II
กิตติกรรมประกาศ ..... III
สารบัญ ..... IV
สารบัญตาราง ..... VII
สารบัญรูป ..... VIII

บทที่ 1 บทนำ ..... 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา ..... 1
1.3 ขอบเขตการวิจัย ..... 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ..... 2
1.5 ลำดับขั้นตอนของงานวิจัย ..... 2
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ ..... 4

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 5
2.1 สารอินทรีย์ระเหยง่าย ($VOC_s$) ..... 5
2.1.1 แหล่งกำเนิดสาร $VOC_s$ ..... 5
2.1.2 ประเภทของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds) ..... 6
2.1.3 ผลกระทบของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย ($VOC_s$) ..... 7
2.1.4 มาตรฐานสาร $VOC_s$ ..... 8
2.2 เทคโนโลยีบำบัดอากาศเสีย ..... 8
2.2.1 การปล่อยอากาศทางปล่องสูง ..... 8
2.2.2 สารกลบกลิ่นหรือระงับกลิ่น (Oder Neulralizer) ..... 9
2.2.3 การควบแน่นและนำมาใช้ใหม่ (Condensation) ..... 9
2.2.4 ระบบเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion) ..... 12
2.2.5 ระบบการเผาไหม้โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ..... 15
2.2.6 ระบบออกซิเดชัน (Oxidation) ..... 16
2.2.7 ระบบสครับบิง (Scrubbing) ..... 17
2.2.8 ระบบดูดซับ (Adsorption) ..... 19
2.2.9 ระบบบำบัดกลิ่นด้วยกระบวนการทางชีวภาพ (Bio Filtration) ..... 22
2.3 หัวดูดอากาศ ..... 26
2.3.1 ชนิดของหัวดูดอากาศ ..... 26



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)

หน้า


2.3.2 รูปแบบของความเร็วที่เกี่ยวข้องกับหัวดูด ..... 29
2.3.3 อัตราการไหลของอากาศ ..... 30
2.3.4 การกระจายการไหลของอากาศภายในหัวดูด ..... 34
2.4 เทคโนโลยีสะอาด ..... 37
2.4.1 หลักการของเทคโนโลยีสะอาดหลักการของเทคโนโลยีสะอาด ..... 38
2.5 ทฤษฎีในการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ ..... 40
2.5.1 การใช้เศรษฐศาสตร์ในการวิเคราะห์ ..... 40
2.5.2 ปัจจัยการเปลี่ยนแปลงค่าของเงินไปตามเวลา ..... 41
2.5.3 ค่าเสื่อมราคา (Depreciation) ..... 44
2.5.4 ระยะเวลาคืนทุน (Payback period: PB) ..... 46
2.5.5 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ..... 46
2.5.6 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return: IRR) ..... 47
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 48

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย ..... 51
3.1 ขั้นตอนงานวิจัย ..... 51
3.2 เก็บข้อมูลการผลิตถังไฟเบอร์กลาสและอากาศเสียที่เกิดขึ้น ..... 52
3.3 ศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสม ..... 53
3.4 ออกแบบและทดสอบประสิทธิภาพ ..... 54
3.5 วิเคราะห์การลงทุนเพื่อหาขนาดของระบบที่เหมาะสมและคุ้มค่าตามหลักเศรษฐศาสตร์ ..... 55
3.6 สรุปแผนการลงทุน ..... 56
3.7 ติดตั้งระบบจริงและทดสอบ ระยะเวลา 5 เดือน ..... 57
3.8 ติดตั้งระบบจริงและทดสอบ ระยะเวลา 5 เดือน ..... 58

บทที่ 4 ผลการวิจัย ..... 59
4.1 ข้อมูลการผลิตถังไฟเบอร์กลาสและอากาศเสียที่เกิดขึ้น ..... 59
4.2 ศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสม ..... 63
4.3 ออกแบบและทดลอง ..... 69
4.4 วิเคราะห์การลงทุนเพื่อหาขนาดของระบบที่เหมาะสมและคุ้มค่าตามหลักเศรษฐศาสตร์ ..... 74

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง ..... 76
5.1 สรุปผลการวิจัย ..... 76
5.2 ข้อเสนอแนะ ..... 76
เอกสารอ้างอิง ..... 7


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ก. แบบระบบบำบัดอากาศไบโอสครับเบอร์ ..... 79
ภาคผนวก ข. เครื่องมือและการตรวจวัด ..... 81
ภาคผนวก ค. มาตรฐานสารอินทรีย์ระเหยง่าย VOCs ..... 83
ภาคผนวก ง. คู่มือเครื่องจักร ..... 92
ภาคผนวก จ. บทความที่ได้รับตีพิมพ์จากงานประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยทักษิณ ..... 103

ประวัติผู้เขียน ..... 110

ธนานนท์โนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1 | กลุ่ม $VOC_S$ แบ่งตามโครงสร้างโมเลกุล | 6 |
| 2.2 | ค่ามาตรฐานของสาร $VOC_s$ ของหน่วยงานด้านสิ่งแวดล้อมต่างๆ [6] $\mu g/m^3$ | 13 |
| 2.3 | ตัวอย่างค่าใช้จ่ายของการบำบัดกลิ่นด้วยเทคโนโลยีชีวภาพ | 25 |
| 2.4 | ความเร็วจับยึดที่จำแนกตามลักษณะการแพร่กระจายของสารปนเปื้อน | 30 |
| 2.5 | อัตราการไหลของอากาศที่ไหลเข้าหัวดูด | 31 |
| 2.6 | ค่าแนะนำของความเร็วด้านหน้า | 34 |
| 2.7 | ค่าใช้จ่ายของการบำบัดกลิ่นด้วยวิธีการต่างๆ | 37 |
| 2.8 | สูตรดอกเบี้ย ในการเทียบค่าเงิน | 43 |
| 3.1 | ตารางข้อมูลการผลิตและผล VOCs ที่ได้จากการตรวจวัดขณะผลิตถังไฟเบอร์กลาส | 52 |
| 3.2 | บันทึกข้อร้องเรียน | 52 |
| 3.3 | ผลการตรวจสุขภาพประจำปีของพนักงานในกระบวนการผลิต | 53 |
| 3.4 | เกณฑ์การศึกษาเทคโนโลยีในการออกแบบระบบบำบัด | 54 |
| 3.5 | ค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ที่ได้รับ | 55 |
| 3.6 | เกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้ของโครงการ | 57 |
| 3.7 | บันทึกผลตรวจวัด VOCs หลังการติดตั้งระบบบำบัดอากาศเสีย | 57 |
| 4.1 | ข้อมูลการผลิตและผล VOCs ที่ได้จากการตรวจวัดขณะผลิตถังไฟเบอร์กลาส | 61 |
| 4.2 | ตัวอย่างข้อร้องเรียนก่อนติดตั้งระบบบำบัดอากาศเสีย (ตุลาคม 2557-มกราคม 2558) | 61 |
| 4.3 | ข้อมูลด้านสุขภาพทางปอดของพนักงานภายในแผนกสเปรย์ชิ้นงาน | 62 |
| 4.4 | เกณฑ์การศึกษาเทคโนโลยีในการออกแบบระบบบำบัด | 63 |
| 4.5 | ผลการตรวจวัด ค่า VOCS ตัวต้นแบบ ทั้งก่อนและหลังการบำบัดอากาศเสีย | 70 |
| 4.6 | ผลวิเคราะห์ค่า VOCS ขนาด 80 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที | 73 |
| 4.7 | ค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ที่ได้รับคำนวณทั้งหมด 4 ชุด | 74 |
| 4.8 | วิเคราะห์การลงทุน | 75 |




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1.1 | ขั้นตอนงานวิจัย | 3 |
| 2.1 | แหล่งกำเนิดสาร VOCs ในปีศ.ศ. 2005 | 5 |
| 2.3 | ระบบบำบัดแบบควบแน่น | 10 |
| 2.4 | Refrigeration Unit Equipment Cost (Single Stage) | 11 |
| 2.5 | Refrigeration Unit Equipment Cost (Multistage) | 12 |
| 2.6 | Gasoline Vapor Recovery System Equipment Cost | 12 |
| 2.7 | แสดงลักษณะของเตาเผาระบบเผาไหม้โดยตรง | 14 |
| 2.8 | การเผาไหม้โดยส่งอากาศที่มีกลิ่นไปเผาในหม้อน้ำ หรือเตาเผาที่มีอยู่แล้ว | 14 |
| 2.9 | Pack Tower Equipment Cost | 19 |
| 2.10 | แสดงระบบดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ | 20 |
| 2.11 | แสดงระบบดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ที่เคลือบสารเคมี | 21 |
| 2.12 | กลไกการกรองด้วยกระบวนการทางชีวภาพ | 23 |
| 2.13 | การเปลี่ยนแปลงทางชีววิทยา และกระบวนการ transport ในเครื่องกรอง | 23 |
| 2.14 | ระบบไบโอฟิลเตอร์ที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรม | 24 |
| 2.16 | ลักษณะการทำงานของหัวดูดปิดล้อม | 27 |
| 2.17 | ลักษณะของหัวดูดปิดล้อม | 27 |
| 2.18 | ลักษณะการทำงานของหัวดูดภายนอก | 28 |
| 2.19 | หัวดูดภายนอกแบบดูดด้านข้างสำหรับงานชุบผิวโลหะ | 28 |
| 2.20 | หัวดูดภายนอกแบบดูดลง | 28 |
| 2.21 | ลักษณะหัวดูดรับ | 29 |
| 2.22 | รูปแบบของความเร็วที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของหัวดูด | 29 |
| 2.23 | ผลกระทบของการไหลของอากาศรอบหัวดูดและการป้องกัน | 31 |
| 2.24 | การไหลของอากาศที่ไหลเข้าสู่หัวดูดแบบช่องเปิดปากเรียบ | 33 |
| 2.25 | ตัวอย่างของพื้นที่เปิดสำหรับหัวดูดปิดล้อม | 34 |
| 2.26 | การติดตั้งช่องแคบที่ด้านหน้าหัวดูด | 35 |
| 2.27 | การติดตั้งกรวย | 35 |
| 2.28 | รูการติดตั้งแผ่นแบ่งอากาศ | 36 |
| 2.29 | การติดตั้งแผ่นปะทะภายในหัวดูดปิดล้อม | 36 |
| 2.30 | หลักการจัดการของเสียของเทคโนโลยีสะอาด | 38 |
| 2.31 | หลักการของเทคโนโลยีสะอาด | 39 |




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป (ต่อ)


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.32 | ค่าเทียบเท่าของเงินในวาระเวลาต่างกันโดยมีตัวประกอบคือดอกเบี้ย | 42 |
| 2.33 | อัตราการลดลงของมูลค่าทรัพย์สิน | 45 |
| 2.34 | แผนภาพการไหลของค่าเสื่อมราคาที่ใช้ในการศึกษาเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม | 46 |
| 3.1 | ขั้นตอนการศึกษางานวิจัย | 51 |
| 4.1 | แผนผังกระบวนการผลิตถังไฟเบอร์กลาส | 59 |
| 4.2 | แผนผังพื้นที่บริเวณโรงงาน | 60 |
| 4.3 | กราฟความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบในการผลิตกับผล VOCs | 61 |
| 4.4 | แสดงระบบไบโอสครับเบอร์ขนาดบำบัด 30 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที | 69 |
| 4.5 | แสดงรูปแบบท่อและ hood ดูดอากาศ | 70 |
| 4.6 | ส่วนประกอบของระบบบำบัดอากาศเสียไบโอสครับเบอร์ | 71 |
| 4.7 | แสดง Hood ดูดอากาศ ระบบไบโอสครับเบอร์ที่ใช้งานจริง | 72 |
| 4.8 | แสดงระบบไบโอสครับเบอร์ขนาด 80 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที | 73 |
| 4.9 | แผนภาพแสดงตำแหน่งระบบไบโอสครับเบอร์ขนาด 80 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที | 73 |




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันโลกเกิดการพัฒนาในด้านต่างๆเพิ่มมากขึ้น ทั้งด้านอุตสาหกรรม ด้านวิถีการใช้ชีวิต การก่อสร้างตึก การอุปโภคบริโภค จากกิจกรรมต่างๆ ที่ได้กล่าวข้างต้น ส่งผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็น มลพิษทางน้ำ อากาศ และกากของเสีย ซึ่งนับวันยิ่งเพิ่มความรุนแรงและความถี่มากขึ้น โดยเฉพาะมลพิษอากาศจากสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compound, $VOC_s$)ซึ่งส่วนใหญ่เกิดเนื่องมาจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมเช่นกระบวนการพ่นสีรถกระบวนการพิมพ์และกระบวนการทางปิโตรเคมี เป็นต้นนอกจากจะส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมแล้ว อากาศยังส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ได้รับมลพิษอากาศนั้นๆ จากสถิติในรอบ 10 ปี ในช่วงปีพ.ศ.2534 - 2544 ประเทศไทย พบว่า มีผู้ป่วยด้วยโรคแพ้พิษอากาศหรือโรคภูมิแพ้ทางจมูกเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า คือ เป็นหวัดเรื้อรัง น้ำมูกไหล จามบ่อย หรือมีไซนัสอักเสบ และอาการคันตาร่วมด้วย ผู้ป่วยด้วยโรคหืดเพิ่มขึ้น 3 เท่า หรือประมาณ ร้อยละ 13 ของประชากร โดยพบว่ามีสาเหตุจากมลพิษอากาศและการที่ไม่ได้รับอากาศบริสุทธิ์ ผลงานวิจัยของโรงพยาบาลรามาธิบดีปีพ.ศ. 2544 ระบุว่า ในการสำรวจประชากร 1,823 คน พบว่าร้อยละ 46.7 มีอาการเข้าได้กับโรคภูมิแพ้ระบบทางเดินหายใจ โดยพบว่าเป็นโรคภูมิแพ้ทางจมูกร้อยละ 41.6 มีโรคหอบหืดร้อยละ 16.6 และมีประชากรที่ป่วยด้วยโรคทั้งสองโรคร้อยละ 11.5สำหรับโรคภูมิแพ้ทางผิวหนังพบว่า ประชากรที่เข้าได้กับโรคนี้ร้อยละ 18.2 ประชากรที่เป็นโรคภูมิแพ้ทั้งระบบทางเดินหายใจและผิวหนังมีร้อยละ 12.1 โดยพบว่าจังหวัดสมุทรปราการมีอุบัติการณ์ของโรคภูมิแพ้ระบบทางเดินหายใจมากที่สุดคือร้อยละ 57.7 ซึ่งร้อยละ 51.5 ของผู้ประกอบอาชีพในโรงงานอุตสาหกรรม [33]

อุตสาหกรรมผลิตถังไฟเบอร์กลาสซึ่งเป็นอุตสาหกรรมกรณีศึกษา พบว่าเป็นอุตสาหกรรมที่ส่งผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในเรื่องกลิ่น เนื่องจากในกระบวนการผลิตมีการใช้สารเคมีเป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ระเหยง่าย(Volatile Organic Compound, $VOC_s$)ส่งผลให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพโดยเฉพาะพนักงานที่ปฏิบัติงานในพื้นที่เช่น ปอดทำงานผิดปกติ ทางเดินหายใจบ่งพร่อง พนักงานป่วยง่าย เป็นต้น อันตรายสิ่งแวดล้อม เช่น สภาวะโลกร้อน ภัยพิบัติต่างๆ เพิ่มความรุนแรงและเพิ่มความถี่ เป็นต้น ปัญหาเรื่องกลิ่นเกิดข้อร้องเรียนทั้งภายในและภายนอกบ่อยครั้งจากข้อมูลที่เก็บได้ พบข้อร้องเรียน 7 เรื่องภายใน 6 เดือนพนักงานเสียเวลาการทำงานเพื่อติดต่อและชี้แจงข้อร้องเรียนซ้ำๆ ซึ่งคิดค่าใช้จ่ายรวมแล้ว เดือนละประมาณ 30,000 บาทต่อเดือน ซึ่งปัญหาดังกล่าวเกิดจากการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่าย($VOC_s$) ประเภทสารสไตรีนออกสู่บรรยากาศจากอุตสาหกรรมผลิตถังไฟเบอร์กลาส ให้เป็นไปตามมาตรฐานประกาศกระทรวงมหาดไทย[1]และลดความเป็นอันตรายของสารเคมีที่มีผลต่อสุขภาพของพนักงานและชุมชนรอบข้างรวมทั้งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมดังนั้น การลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อช่วยลดปัญหาข้างต้นโดยสามารถนำเทคโนโลยีระบบบำบัดอากาศเสียที่ใช้ในอุตสาหกรรม ได้แก่ การปล่อยอากาศจากปล่องสูง การควบแน่นและนำมาใช้ใหม่ ระบบเผาไหม้โดยตรง ระบบบำบัดอากาศเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพ ระบบออกซิเดชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบสครับบิง และระบบดูดซับ มาช่วยในการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่าย ($VOC_s$)ซึ่งแต่ละระบบจะแยกประเภท ประสิทธิภาพและข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไปดังนั้นการเลือกระบบบำบัดอากาศเสียที่เหมาะสมในการบำบัดอากาศเสียจึงต้องพิจารณาหลายปัจจัย เช่น ลักษณะของอากาศเสีย อุณหภูมิ อัตราการไหล สารปนเปื้อนที่ต้องบำบัด เป็นต้น

จากที่กล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่าผลกระทบมลภาวะอากาศที่เกิดจากสารอินทรีย์ระเหยง่าย ($VOC_s$)ในกระบวนการผลิตถังไฟเบอร์กลาสเป็นเรื่องที่สำคัญการช่วยลดความเข้มข้นให้เจือจางลงจากบรรยากาศ ลดความเป็นพิษต่อมนุษย์กลิ่นอันไม่พึงประสงค์และเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมลดลง จึงเป็นแนวทางที่ดีหากเลือกระบบบำบัดอากาศเสียที่สามารถช่วยลดผลกระทบที่เกิดขึ้นอีกทั้งเพิ่มความเชื่อมั่นในการแข่งขัน เชิงอุตสาหกรรมให้กับบริษัทรวมถึงลูกค้าอีกด้วย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบและเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการบำบัดอากาศเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตถังไฟเบอร์กลาส

1.2.2 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนติดตั้งระบบบำบัดอากาศเสีย

1.2.3 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัดอากาศเสีย

1.2.4 เพื่อลดข้อร้องเรียนจากภายนอกและเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดี

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ข้อมูลในการวิเคราะห์อากาศเสียในกระบวนการผลิตถังไฟเบอร์กลาส(กันยายน2557-พฤศจิกายน 2558)

1.3.2 ข้อมูลการผลิตถังไฟเบอร์กลาส(กันยายน2557-พฤศจิกายน2558)

1.3.3 การติดตั้งระบบบำบัดอากาศเสียจะอยู่ภายในพื้นที่การสเปรย์ชิ้นงานเท่านั้น

1.3.4 เปรียบเทียบเทคโนโลยีที่จะศึกษาและเปรียบเทียบมี12 เทคโนโลยีเท่านั้น

1.3.5 สาร$VOC_s$ประเภทสารสไตรีน (มาตรฐาน 100ppm)

1.3.6 พื้นที่ในการทำงาน35 ตารางเมตรต่อชุด

1.3.7 ข้อมูลสุขภาพเฉพาะพนักงานปฏิบัติงานภายในพื้นที่สเปรย์ชิ้นงานเท่านั้น (20คน)

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่าย ($VOC_s$)

1.4.2 เพิ่มคุณภาพชีวิตให้กับพนักงานและคนในชุมชน

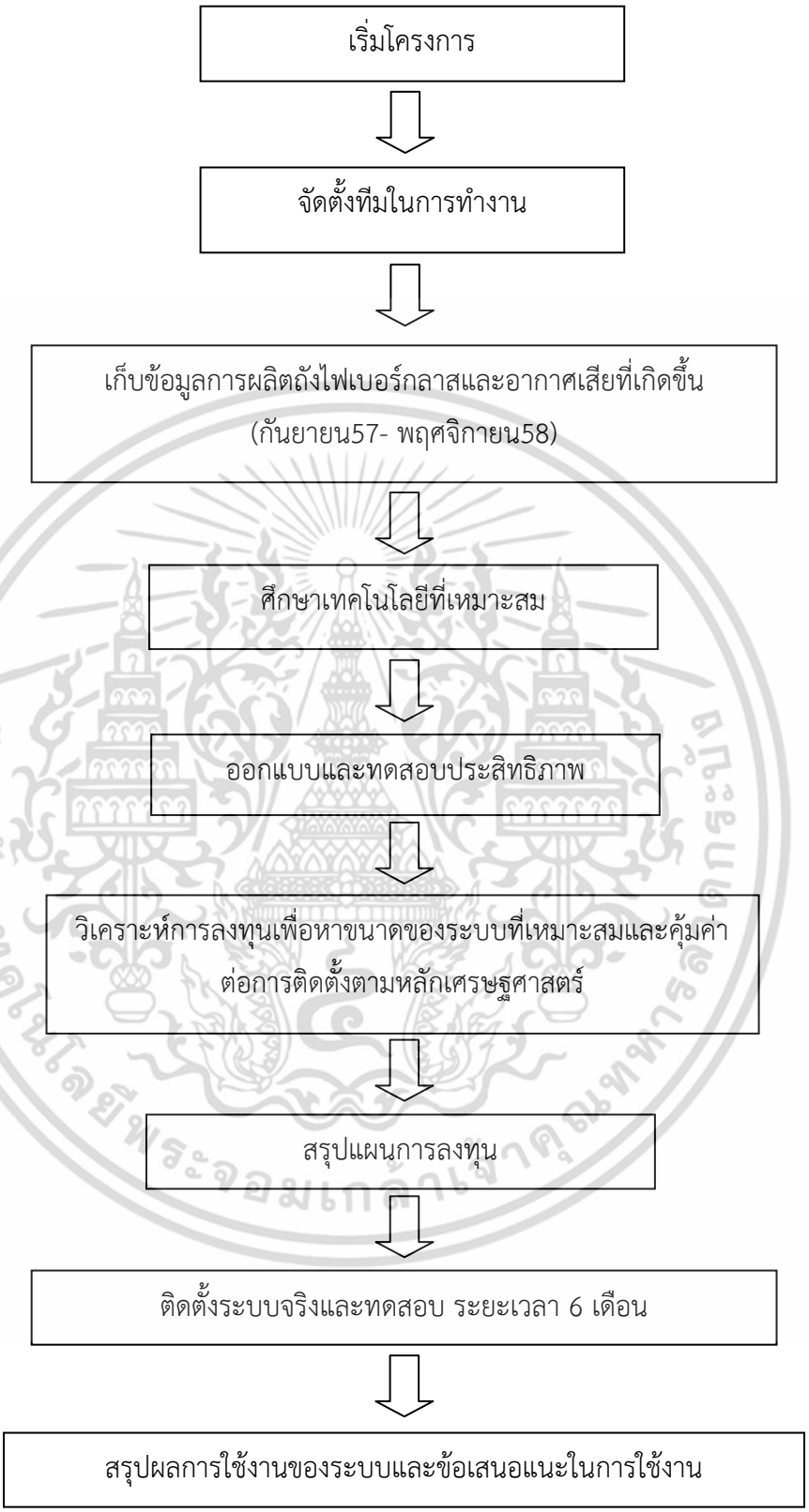
1.4.3 ลดปัญหาร้องเรียนในชุมชน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.5 ลำดับขั้นตอนของงานวิจัย

1.5.1 เริ่มโครงการ
1.5.2 จัดตั้งทีมการทำงาน
1.5.3 เก็บข้อมูลการผลิตถังไฟเบอร์กลาสและปริมาณอากาศเสียที่เกิดขึ้น
1.5.4 ศึกษาและเลือกเทคโนโลยีบำบัดอากาศเสียที่เหมาะสมในการบำบัด
1.5.5 ออกแบบและทดสอบประสิทธิภาพ
1.5.6 วิเคราะห์การลงทุนเพื่อหาขนาดของระบบที่เหมาะสมและคุ้มค่าต่อการติดตั้ง
1.5.7 สรุปแผนการลงทุน
1.5.8 ติดตั้งระบบจริงและทดสอบเป็นเวลา6 เดือน
1.5.9 สรุปผลการใช้งานของระบบและข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 1.1** ขั้นตอนงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.6นิยามคำศัพท์เฉพาะ

โพลิเอสเทอร์เรซิ่น คือ พลาสติกหล่อชนิดหนึ่ง อยู่ในสภาพของเหลว หลังเกิดปฏิกิริยาความร้อนแข็งตัวเป็นพลาสติกแข็งที่ไม่สามารถแปรสภาพเป็นพลาสติกเหลวคืนรูปได้อีกอีพอกซี่เรซิ่นเป็นพลาสติกเหลวชนิดหนึ่ง แยกเป็นสองส่วนคือ ส่วนเนื้ออีพ๊อกซี่และส่วนทำแข็งเมื่อผสมเข้ากับอีพ๊อกซี่แล้วจะให้คุณสมบัติที่มีความแตกต่างกัน เมื่ออีพ๊อกซี่แข็งตัวแล้วจะไม่สามารถทำให้กลับไปสู่สภาพเดิมได้ อีพ๊อกซี่มี คุณสมบัติในการยึดเกาะสูง และทนต่อแรงดึงมาก มีความทนทานต่อการใช้

เทอร์โมเซ็ตติ้ง(Thermoseting) คือ เป็นพลาสติกที่มีสมบัติพิเศษ ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และทน อุณหภูมิและทนปฏิกิริยาเคมีได้ดี เกิดคราบและรอยเปื้อนได้ยาก คงรูปหลังการผ่านความร้อนหรือแรงดันเพียงอย่างเดียว เมื่อเย็นลงจะแข็งมาก ทนความร้อนและความดันไม่อ่อนตัวและไม่เปลี่ยนรูปร่างไม่ได้ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงก็จะแตกและไหม้เป็นขี้เถ้าสีดำ พลาสติกประเภทนี้โมเลกุลจะเชื่อมโยงกันเป็นร่างแหจับกันแน่น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแข็งแรงมาก

ทรายแก้ว (Silica Sand) คือ ทรายที่สะอาดมีเปอร์เซ็นต์ของซิลิกา ($SiO_2$) สูงกว่า 95% มีเปอร์เซ็นต์เหล็กต่ำ อาจมีสารอื่นๆเจือปนอยู่เพียงเล็กน้อย

หินปูน (Limestone) คือ สารธรรมชาติที่เกิดจากการตกตะกอน และสะสมตัวของหินในทะเล เปลืองหอยปะการัง กระดูกสัตว์กลายเป็นหินปูนหรือแคลเซียมคาร์บอเนต ถือเป็นสารตั้งต้นสำคัญในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมต่างๆ

ปฏิกิริยา Photochemical Smogหรือที่เรียกว่าหมอกน้ำตาล (Brown-Air Smog) เป็นหมอกควันที่เกิดจากการปล่อยมลพิษจากเครื่องยนต์ต่างๆ หรือโรงไฟฟ้า ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นพวกแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ และพวกไฮโดรคาร์บอนต่างๆ เมื่อแก๊สเหล่านี้เกิดปฏิกิริยาเคมีกับแสงอาทิตย์ จะก่อให้เกิดมลพิษได้แก่ โอโซน (Ozone) เป็นต้น หมอกควันลักษณะนี้มักเกิดในพื้นที่ที่มีสภาพอากาศอบอุ่นถึงแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

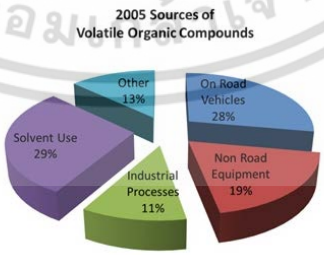
ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยฉบับนี้ รวมถึงงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องซึ่งแบ่งเป็น 7ส่วนได้แก่สารอินทรีย์ระเหยง่าย ($VOC_s$)เทคโนโลยีบำบัดอากาศเสีย หัวดูดอากาศการเลือกเครื่องมือเครื่องจักรเทคโนโลยีสะอาดหลักการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์บทความวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยมีรายละเอียดดังนี้

## 2.1สารอินทรีย์ระเหยง่าย($VOC_s$)

2.1.1 แหล่งกำเนิดสาร $VOC_s$

สารอินทรีย์ระเหยง่ายหรือสาร $VOC_s$เป็นกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ที่โมเลกุลส่วนใหญ่ประกอบด้วยอะตอมคาร์บอนและไฮโดรเจนหรืออาจมีออกซิเจนและคลอรีนร่วมด้วย จุดเด่นของสาร $VOC_s$คือสามารถระเหยเป็นไอได้ง่ายที่อุณหภูมิและความดันปกติสามารถอยู่ปะปนกับอากาศส่งผลให้เกิดมลพิษทางอากาศและปัญหาด้านสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ไอระเหยของสาร $VOC_s$บางชนิดก่อให้เกิดสารมะเร็งได้ แหล่งปล่อยสาร $VOC_s$สู่บรรยากาศมี 2 แหล่งหลักๆ จากกระบวนการทางธรรมชาติ เช่น การเน่าเสียของซากพืชซากสัตว์ ก๊าซจากไฟป่า การขับถ่ายของเสียและการหายใจของสิ่งมีชีวิตเป็นต้น และจากกิจกรรมของมนุษย์โดยเฉพาะสาร $VOC_s$ที่ถูกปล่อยออกจากกระบวนการอุตสาหกรรมต่างๆ กระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง การคมนาคม การใช้น้ำยาเคมีในชีวิตประจำวัน [1,2]

สาร $VOC_s$ในบรรยากาศมาจากอุตสาหกรรมเคมีและปิโตรเลียม สาเหตุหลักมาจากการรั่วไหลในระหว่างการถ่ายเทสารลงถังเก็บ การรั่วของท่อส่งสาร และกลิ่นของน้ำเสียเป็นต้นนอกจากนี้ในปี ค.ศ. 2005 หน่วยงาน Us Environmental Protection Agency [3] สรุปแหล่งกำเนิดสาร $VOC_s$แสดงดังรูปที่ 2.1พบว่าไอระเหยสาร $VOC_s$เป็นตัวทำละลายสูงสุด (29%) รองลงมาคือยานพาหนะ (28%)




**รูปที่ 2.1**แหล่งกำเนิดสาร $VOC_s$ในปีศ.ศ. 2005 [4]

2.1.2ประเภทของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds)

การแบ่งกลุ่มสาร $VOC_s$สามารถแบ่งได้เป็น2 กลุ่ม ตามลักษณะของโมเลกุลของสารกลุ่ม $VOC_s$แสดงในตารางที่ 2.1[5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.1**กลุ่ม $VOC_S$ แบ่งตามโครงสร้างโมเลกุล

| กลุ่มสาร $VOC_s$ | ตัวอย่างสาร $VOC_s$ |
|---|---|
| 1.กลุ่ม Non-chlorinated $VOC_s$หรือ Non-halogenated Hydrocarbons ได้แก่ กลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่ไม่มีอะตอมของธาตุคลอรีนในโมเลกุล สารกลุ่มนี้มาจากสิ่งแวดล้อม การเผาไหม้กองขยะ พลาสติก วัสดุ สารตัวทำละลายสีทาวัสดุ ซึ่งทำให้มีผลเสียต่อสุขภาพของผู้ได้รับคือทำให้ป่วยเป็นโรคทางเดินหายใจ | - กลุ่มสาร Aliphatic Hydrocarbons เช่น Fuel Oils, Industrial Sovents, Propane, 1,3-Butadiene, Gasoline, Hexane<br>- กลุ่มสาร Alcohols, Aldehyde, Ketone เช่น Ethyl Alcohol, Methyl Alcohol, Formaldehyde<br>- กลุ่มสาร Aromatic Hydrocarbons เช่น Toluene, Xylene, Benzene, Styrene |
| 2. กลุ่ม Chlorinated $VOC_s$หรือ Halogenated Hydrocarbons ได้แก่ กลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่มีอะตอมของธาตุคลอรีนในโมเลกุล ได้แก่ สารเคมีที่ใช้สังเคราะห์ในอุตสาหกรรม สารกลุ่มนี้มีความเป็นพิษมากกว่าและเสถียรในสิ่งแวดล้อมมากกว่าสารในกลุ่มสาร Non-Chlorinated $VOC_s$นั่นคือ สลายตัวได้ยากใน ธรรมชาติและในทางเคมีจะมีความคงตัวสูง สะสมได้นาน รบกวนการทำงานของสารพันธุกรรม ยับยั้งปฏิกิริยาชีวเคมีในเซลล์ มีฤทธิ์ในการก่อมะเร็ง หรือกระตุ้นการเกิดมะเร็งได้ | - 1,1,1,2-Tetrachloroethane<br>- 1,1,1-Trichloroethane<br>- 1,1,2,2,-Tetrachloroethane<br>- 1,1,2-Tetrachloroethane<br>- 1,1-Dichloroethane<br>- 1,1-Dichloroethylene<br>- 1,2,2-Trifluoroethane (Freon 113)<br>- Chloromethane<br>- Pentachloroethane<br>- Bromoform<br>- Glycerol Trichlorohydrin<br>- Bromomethane<br>- Hexachlorobutadiene<br>- Carbon Tetrachloride<br>- Hexachlorocyclopentadiene<br>- Chlorodibromomethane<br>- Hexachloroethane |

2.1.3ผลกระทบของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย ($VOC_s$)

2.1.3.1 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสาร $VOC_s$มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมคือมีผลต่อชั้นของโอโซนของโลกโดยปกติโอโซนจะอยู่ในชั้นบรรยากาศสูง ทำหน้าที่กรองแสงอุตราไวโอเลต (UV) แต่สาร $VOC_s$มีผลทำให้โอโซนบนชั้นบรรยากาศสูงเข้ามาอยู่ในชั้นบรรยากาศใกล้โลก และโอโซนนี้จะทำให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ เช่น ทำให้ไม่สบายเจ็บคอ หายใจไม่สะดวก ระคายเคืองตา แก้วตา จมูก คอ ทรวงอก ไอปวดศีรษะ นอกจากนี้โอโซนยังเป็นตัวทำให้สิ่งก่อสร้างชำรุด ผลผลิตทางการเกษตรตกต่ำ

2.1.3.2 ผลกระทบต่อสุขภาพสาร$VOC_s$แม้ว่าสาร $VOC_s$ ไม่ถูกจัดเป็นสารเคมีที่มีพิษรุนแรงแต่การควบคุมการปล่อยสาร $VOC_s$ออกสู่บรรยากาศก็เป็นสิ่งสำคัญเพราะสาร $VOC_s$มีผลต่อสุขภาพสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทางคือการหายใจการกิน-ดื่มทางปากการสัมผัสทางผิวหนังเมื่อสาร $VOC_s$เข้าสู่ร่างกายแล้วจะผ่านเข้าสู่ตับและในขั้นตอนสุดท้ายจะถูกขับทิ้งทางปัสสาวะในรูปของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรด เช่น สารไตรคลอโรเอทธิลลีน ซึ่งความเป็นพิษต่อร่างกายจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ คือ ช่วงครึ่งชีวิตของสาร $VOC_s$ในร่างกายสภาวะความสมบูรณ์ของร่างกายระบบการขับถ่ายของเสีย ผลกระทบต่อด้านภูมิคุ้มกันสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายหลายชนิดทำให้ระบบภูมิคุ้มกันถูกรบกวนหรือทำลาย ศักยภาพการป้องกันโรคการติดเชื้อจะลดลง เช่น จากการศึกษาประชากรโดยการตรวจเลือด และผิวหนังในคนที่อยู่ใกล้ที่ทิ้งขยะสารเคมีมีพิษ (Pesticide Dump Sites) พบว่ามีสาร Dichloroethane (DCE) ในเลือดมากกว่าผู้ที่อยู่ไกลกว่า ยิ่งอยู่ในบริเวณนั้นนานยิ่งได้รับมากขึ้น นอกจากนี้ประชากรที่อยู่ใกล้ขยะมีพิษจะมีเม็ดเลือดขาวต่ำกว่าในกลุ่มประชากรที่อยู่ห่างไกลออกไป ผลกระทบต่อระบบประสาทการได้รับสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายจะทำให้เกิดอาการกดประสาท เช่น การง่วงนอนวิงเวียนศีรษะซึมเศร้า หรือหมดสติได้ ยิ่งได้รับนานๆจะยิ่งทำให้มีผลมากขึ้นถ้าสะสมในร่างกายเป็นเวลานานจะทำให้เยื่อหุ้มปอดถูกทำลาย นอกจากนี้สาร $VOC_s$ บางกลุ่มเช่น อะ-โรเมติก ไฮโดรคาร์บอน ที่พบจากเขม่าควันรถยังเป็นสารที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งการสัมผัสกับสาร Carbon tetrachloride, Methylene Chloride, Tetrachloroethylene, Trichloroethylene ในกลุ่มคนงานที่ทำงานในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและปิโตรเคมี มีปัจจัยเสี่ยงก่อการเกิดโรคมะเร็งสมองชนิด Astrocyticโดยเฉพาะสาร Methylene Chloride พบว่าอัตราการตายด้วยมะเร็งสมองชนิดดังกล่าวเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับสัมผัสสาร Methylene Chloride รวมถึงการได้รับสาร $VOC_s$ในบริเวณปิดเช่นในบ้านก่อให้เกิดอันตรายมากกว่าในบริเวณเปิดโล่งถึง 5 เท่า [5]

2.1.4มาตรฐานสาร $VOC_s$จากความรุนแรงต่อร่างกายและสิ่งแวดล้อมของสาร $VOC_s$ หน่วยงานที่ดูแลด้านสิ่งแวดล้อมทั้งในและต่างประเทศจึงหันมาใส่ใจและร่วมกันกำหนดค่ามาตรฐานของสาร $VOC_s$ซึ่งกรมควบคุมมลพิษได้ทำการรวบรวมค่ามาตรฐานสาร $VOC_s$ของหน่วยงานต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.2โดยสารทั้ง9 ชนิดเป็นสารที่มีความรุนแรงต่อร่างกาย การใช้งานต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน ค่าที่แสดงใช้ค่าเฉลี่ยรายปีในการพิจารณา ซึ่งกำหนดภายใต้เงื่อนไขของการใช้ Unit Risk ที่ $10^{-5}$ หรือ $10^{-4}$ เป็นค่า Factor สำหรับการกำหนดค่ามาตรฐาน

**ตารางที่ 2.2**ค่ามาตรฐานของสาร $VOC_s$ของหน่วยงานด้านสิ่งแวดล้อมต่างๆ [6] $\mu g/m^3$

| ชนิดของสาร (สถาบันที่ใช้อ้างอิง) | Unit Risk = $10^{-5}$ $\mu g/m^3$ | Unit Risk = $10^{-4}$ $\mu g/m^3$ |
|---|---|---|
| Benzene (WHO) | 1.7 | 0.17 |
| Vinyl Choloride (WHO) | 10 | 1 |
| 1, 2 Dichloroethane, (US.EPA) | 0.4 | 0.04 |
| Trichloroethylene (WHO) | 23 | 2.3 |
| Dichloroethylene (US.EPA) | 22 | 2.2 |
| 1, 2Dichloropropane (US.EPA) | 4 | 0.4 |
| Tetrachloroethylene (WHO) | 200 | 20 |
| Chloroform (US.EPA) | 0.43 | 0.043 |
| 1, 3 Butadiene (US.EPA) | 0.33 | 0.033 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2เทคโนโลยีบำบัดอากาศเสีย

ในกรณีสารปนเปื้อนปนเปื้อนที่มีขนาดเล็ก เช่น ควัน ไอ หรือก๊าซ ซึ่งมีระดับพลังงานจลน์ต่ำ การแพร่กระจายจะอยู่ในรูปของการแขวนลอยอยู่ในกระแสการไหลของอากาศ การลดความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในลักษณะนี้ สามารถทำได้ด้วยการควบคุมทิศทางการไหลของอากาศซึ่งเป็นลักษณะของการระบายอากาศแบบเจือจาง บางกรณีอาจใช้การระบายอากาศเฉพาะจุดร่วมด้วย

หลักการในการเลือกเทคนิคหรือวิธีการควบคุมอากาศเสียที่ระบายจากขบวนการหรือปล่องจากอุตสาหกรรมขึ้นกับปัจจัยต่อไปนี้

- ปริมาณของแก๊ส
- องค์ประกอบของสารเคมีที่ทำให้เกิดกลิ่น
- อุณหภูมิ
- ปริมาณของน้ำในก๊าซไอเสีย

ระบบบำบัดอากาศเสียแต่ละชนิดที่ถูกออกแบบขึ้นมาจะมีความสามารถตามชนิดหรือประเภทของสารที่ก่อให้เกิดอากาศเสียด้วยเหตุที่สารที่ก่อให้เกิดอากาศเสียมีมากมาย ดังนั้นการเลือกใช้ระบบบำบัดอากาศเสีย จึงต้องพิจารณาถึงประสิทธิภาพของระบบให้เหมาะสม ซึ่งสามารถแบ่งแยกระบบ ดังนี้ [7]

2.2.1 การปล่อยอากาศทางปล่องสูง

การปล่อยอากาศทางปล่องสูงการระบายอากาศที่มีกลิ่นออกทางปล่องโดยตรงนั้นไม่ควรกระทำนอกจากว่ากลิ่นนั้นเจือจางมาก และได้รับการตรวจสอบโดย Panel Test ว่ากลิ่นที่ออกมาจะถูกเจือจางในอากาศจนมีค่าประมาณไม่เกิน 50% ของความเข้มข้นที่ผู้ทดสอบได้กลิ่นต่ำที่สุด วิธีการคำนวณโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการแพร่กระจายของมลพิษในอากาศ เช่น ของ US.EPA และออสเตรเลีย(Ausplume) ซึ่งมีการใช้กันแพร่หลายด้านสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย

การประเมินราคาระบบ ขึ้นกับปริมาณและอัตราการไหลของอากาศที่มีกลิ่น องค์ประกอบทางเคมีของสารที่มีกลิ่น และความเข้มข้น (อาจต้องเจือจางก่อน) เพื่อไม่ก่อให้เกิดความเดือดร้อน อุณหภูมิ ของอากาศ หากอุณหภูมิสูงมาก เช่นกว่า 100°C จะทำให้อากาศลอยตัวขึ้นสูงและทำให้สร้างปล่องที่สูงน้อยลงได้หากเป็นกลิ่นที่มากับฝุ่นหรือละอองที่มองเห็นได้ควรดักด้วยที่กรองเช่น ตะแกรงหรือถุงกรองก่อน[8]

2.2.2 สารกลบกลิ่นหรือระงับกลิ่น(Oder Neutralizer)

สารกลบกลิ่นหรือระงับกลิ่น (Odor Neutralizer ) สามารถใช้กับโรงงานปลาป่น โรงงานตากปลา ทำปลาแห้ง โรงงานแปรรูปอาหารทะเล โรงงานผลิตสี ตัวทำละลาย หรือต้มกลั่นตัวทำละลายโรงกลิ่นน้ำมัน โรงงานฟอกหนัง โรงงานกระดาษและเยื่อกระดาษโรงงานผลิตสุรา โรงบำบัดน้ำเสีย ฟาร์มเลี้ยงสัตว์ กระบวนการประกอบอาหารสามารถใช้กับกลิ่น ก๊าซไข่เน่า วานิลาสารเคมีบางชนิดสามารถระงับกลิ่นได้โดยกระบวนการทางเคมีหรือชีวภาพ โดยทั่วไปมักจะใช้ระงับกลิ่นในกรณีที่เกิดจากแหล่งกำเนิดที่เป็นพื้นที่ เช่น กองหรือลานตากมูลสัตว์ ตัวอย่างเช่น การใช้แบคทีเรีย Bacillus บางชนิดที่ผลิตเอนไซม์โปรตีเอส (Protease) ไลเปส (Lipase) และอะไมเลส (Amylase) ไปย่อยสลายโมเลกุลที่มีกลิ่น เช่น กรดไขมันโพรพิโอนิก (Propionic) อะซิติก (Acetic) บิวทิริก (Butyric) ไอโซบิวทิริก (Isobutyric) และกรดแลคติก (Lactic Acid) อีกวิธีหนึ่งคือ ใช้สารเคมีที่ทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารที่มีกลิ่น ทำให้กลายเป็นสารที่ไม่มีกลิ่น การใช้เอมีนในการทำลายกลิ่นก๊าซไข่เน่า($H_2S$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการประเมินราคา จะมีความคลาดเคลื่อนถึง 30% เพราะรายละเอียดเล็กๆน้อยๆ แตกต่างกัน 5 % ในขั้นตอนกำหนดลักษณะเฉพาะ (Specification)ถึงขั้นตอนออกแบบให้เพียงพอต่อการใช้งาน แตกต่างกันถึง 20%ถึงขั้นตอนผู้รับเหมา แตกต่างกันได้ถึง 30% ค่าใช้จ่าย ประกอบด้วย เงินลงทุนอุปกรณ์เงินค่าดำเนินงานค่าวัสดุสิ้นเปลือง ค่าบำบัดของเสียที่เกิดขึ้น (หากมี) เช่น น้ำเสีย กากตะกอนค่าแรงงาน และผู้ควบคุมดูแล

การประเมินราคาระบบ ขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมีของสารที่มีกลิ่น และความเข้มข้น (อาจต้องเจือจางก่อน)ค่าสารกลบกลิ่น หรือระงับกลิ่น ส่วนใหญ่เป็นพวกจุลินทรีย์ (หากเติมที่จุดกำเนิดกลิ่นเลย เช่นกองกากตะกอน) หรือในกรณีสารกลบกลิ่น เช่น ใช้กลิ่นวานิลา มีการใช้น้อยมาก ประสิทธิภาพและราคา ขึ้นกับแต่ละกรณีไป เพราะไม่มีการสร้างและใช้เครื่องกลไก เป็นการเติมสารเท่านั้น[8]

2.2.3 การควบแน่นและนำมาใช้ใหม่(Condensation)

การควบแน่นและการนำมาใช้ใหม่ สามารถใช้กับโรงงานยางและผลิตภัณฑ์จากน้ำยาง โรงงานเคมีและปิโตรเคมี โรงงานผลิตสี ตัวทำละลาย หรือต้มกลั่นตัวทำละลาย โรงงานทำเส้นใยและพลาสติก โรงงานผสมปุ๋ยเคมี หรือยาปราบศัตรูพืช โรงกลั่นน้ำมัน อู่ซ่อมรถ โรงงานประกอบรถยนต์ โรงพิมพ์ โรงงานแปรรูปอาหารทะเล สามารถใช้กับกลิ่นสไตรีน (Styrene)Acrylonitrile ตัวทำละลาย Adipateตัวทำละลาย 1.1.2-Trichloroethane, Methyl Tertiary-Butyl Ether, ไฮโดรคาร์บอน เช่นกลิ่นน้ำมัน (Fuel Oils) Acetaldehydeตัวทำละลาย 1.1-Dichloroethylene Ethylbenzene ตัวทำละลายBenzene, ตัวทำละลาย Xylenes ตัวทำละลาย 1.3 Butadiene ตัวทำละลาย 1.1.1-Trichloroethane, ตัวทำละลาย Dichloroethane, ตัวทำละลาย Toluene, ตัวทำละลาย Methyl Ethyl Ketone(MEK) และ Methyl Isobutyl Ketone, ตัวทำละลาย Carbon Tetrachloride, Ortho-Dichlorobenzene, Hexachlorocyclopentadiene,Methoxychlor, Tetrachoroethylene

การควบแน่นคือ การเพิ่มความดันหรือลดอุณหภูมิให้ไอระเหยกลายเป็นของเหลว เพื่อลดการแพร่กระจายของกลิ่น การควบแน่นจะมีประสิทธิภาพและได้ผลคุ้มค่าในการนำสารที่ควบแน่นมาใช้ใหม่เมื่อมีความเข้มข้นของสารนั้นสูงเพียงพอ เช่นอากาศที่ดูดจากหม้อผสมสี เป็นต้น โดยทั่วไปการควบแน่นจะใช้เครื่องทำความเย็น และค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่จะเป็นค่าไฟฟ้า

ระบบควบแน่น (Condensation Process) ใช้หลักการบำบัดกลิ่นโดยอากาศเสียที่มีสารก่อให้เกิดกลิ่นถูกทำให้เย็นลงจนควบแน่นเป็นของเหลว ซึ่งอุณหภูมิที่ต้องการจะขึ้นกับคุณสมบัติของสารนั้นๆ ลักษณะของระบบควบแน่น แสดงดังรูปที่ 2.3

ข้อดี

1. ใช้ได้กับกลิ่นของตัวทำละลายที่ปกติเป็นของเหลว เช่น ทินเนอร์ ไซลีน โทลูอีน
2. เหมาะกับสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นที่มีความเข้มข้นสูงๆ เช่นอากาศในถังผสมสีน้ำมัน
3. ได้ตัวทำละลายคืนในระดับที่คุ้มค่า

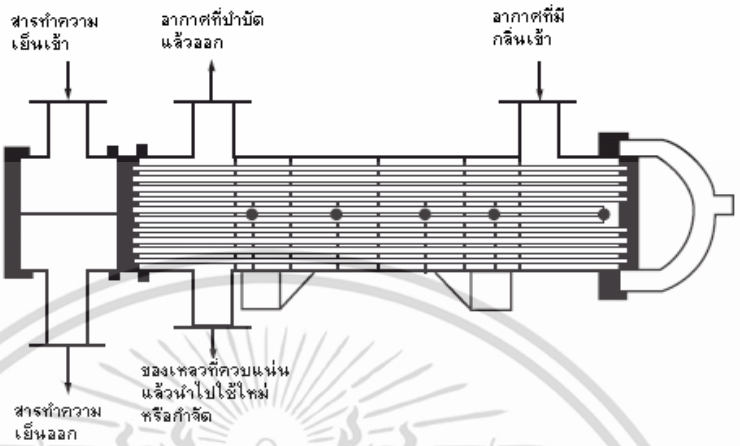
ข้อเสีย

1. ค่าไฟฟ้าในการทำความเย็นสูง
2. ไม่สามารถกำจัดสารก่อให้เกิดกลิ่นอนินทรีย์สารที่ไม่ควบแน่น หรือสารที่ควบแน่นที่อุณหภูมิต่ำเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อากาศที่ระบายออกมีความเย็นและกลิ่นที่ยังเหลืออาจไม่ลอยตัว ทำให้รบกวนผู้ที่อยู่อาศัยข้างเคียง

4. อาจต้องมีระบบเสริม เช่น ดูดซับกลิ่นที่ยังเหลือด้วยถ่านกัมมันต์




**รูปที่ 2.3**ระบบบำบัดแบบควบแน่น [9]

การประเมินราคา จะมีความคลาดเคลื่อนได้ถึง 30% เพราะรายละเอียดเล็กๆน้อยๆ แตกต่างกันได้ถึง 5% ในขั้นตอนกำหนดลักษณะเฉพาะ (Specification ) ถึงการออกแบบให้เพียงพอต่อการใช้งาน แตกต่างกันได้ถึง 20% ขั้นตอนผู้รับเหมา แตกต่างกันได้ถึง 30% ค่าใช้จ่าย ประกอบด้วย เงินลงทุนอุปกรณ์ค่าวัสดุก่อสร้างและอุปกรณ์รวมภาษีและค่าขนส่ง ค่าแรงงาน ค่าเตรียมสถานที่ ค่าที่ดิน (หากต้องมี) ค่าอุปกรณ์วัดคุมค่าที่ปรึกษาออกแบบและคุมงาน ค่าทดสอบระบบ ค่าดัดแปลง (หากมีก่อนใช้งานจริง) ค่าเดินระบบน้ำ ไฟฟ้า ค่าทาสี

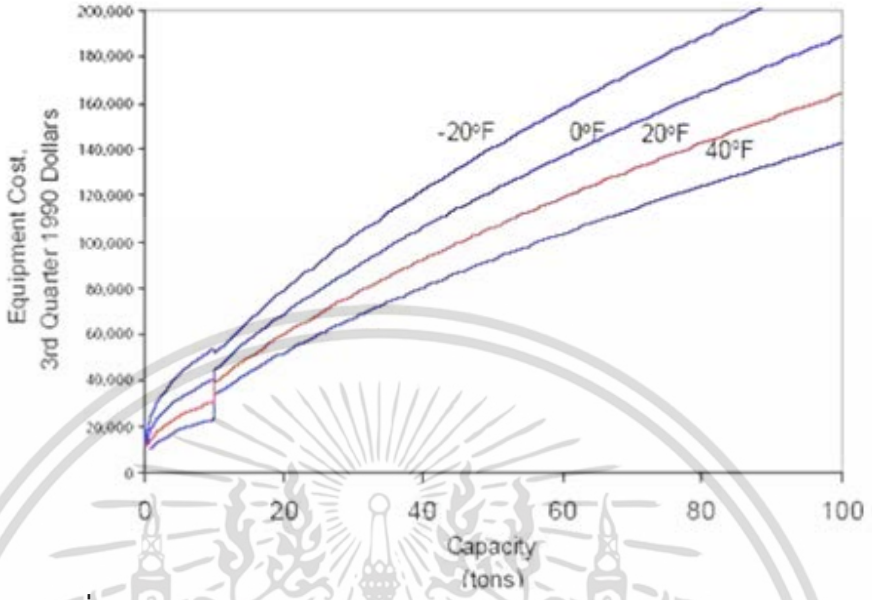
เงินค่าดำเนินงานค่าวัสดุสิ้นเปลือง ค่าไฟฟ้าน้ำไอน้ำ ฯลฯค่าบำบัดของเสียที่เกิดขึ้น (หากมี) เช่น น้ำเสีย กากตะกอนค่าแรงงาน และผู้ควบคุมดูแลค่าบำรุงรักษา/อะไหล่ ค่าดอกเบี้ยค่าประกันรายได้ (หากมีจากพลังงานหรือวัสดุที่ได้จากการดำเนินการ) นำมาหักออกจากค่าดำเนินงาน

ราคาระบบการควบแน่นและนำมาใช้ใหม่ ปริมาณและอัตราการไหลของอากาศที่มีกลิ่น องค์ประกอบทางเคมีของสารที่มีกลิ่น และความเข้มข้น อุณหภูมิ และความชื้นของอากาศนั้น อาจมีค่าใช้จ่ายมากในการลดอุณหภูมิหากเป็นกลิ่นที่มากับฝุ่นหรือละอองที่มองเห็นได้ ควรดักด้วยที่กรองเช่นตะแกรง หรือถุงกรองก่อน

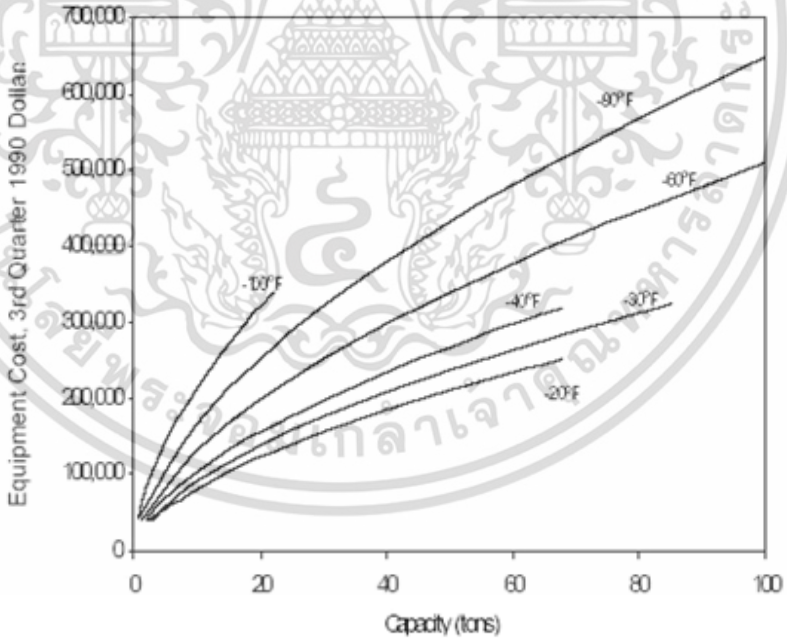
ตัวอย่างราคาที่ทาง US EPA (EPA Air Pollution Cost Control Manual, 6 th Ed, US EPA, Research Triangle Park, NC, USA, January 2002 ) ประเมินมาให้เป็นค่าเงินในปี 1990 หากเป็นเงินไทยในปัจจุบันควรคิดที่ดอลลาร์ละ 100 บาท (เมื่อคิดอัตราเงินเฟ้อแล้ว) ราคาของระบบทำความเย็นที่คิดเป็นตัน คือ 12,000 BTU/ ชั่วโมง ขนาด 20 ตันที่ 0°F (-18°C) มีราคาประมาณ 7 ล้านบาทขึ้นไป แต่ราคาในประเทศไทยควรถูกกว่านำเข้ารูปที่ 2.6เป็นการประเมินราคาของระบบควบแน่นของการเก็บและขนถ่ายน้ำมันเบนซินที่คลัง ซึ่งน่าจะเป็นกิจการที่ใช้ระบบนี้มากที่สุด ราคาแปรผันตามอัตราการไหลผ่านของน้ำมัน เช่น 4000 แกลลอนต่อนาที หรือประมาณ 900,000 ลิตรต่อชั่วโมง จะมีค่าอุปกรณ์ราว 50 ล้านบาทส่วนรายได้จากการนำกลับมาใช้ใหม่สามารถคำนวณได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามราคาน้ำมัน และค่าใช้จ่ายในการใช้งาน สามารถให้ผู้จำหน่ายประเมินมาให้ดังรูปที่ 2.4 และรูปที่ 2.5

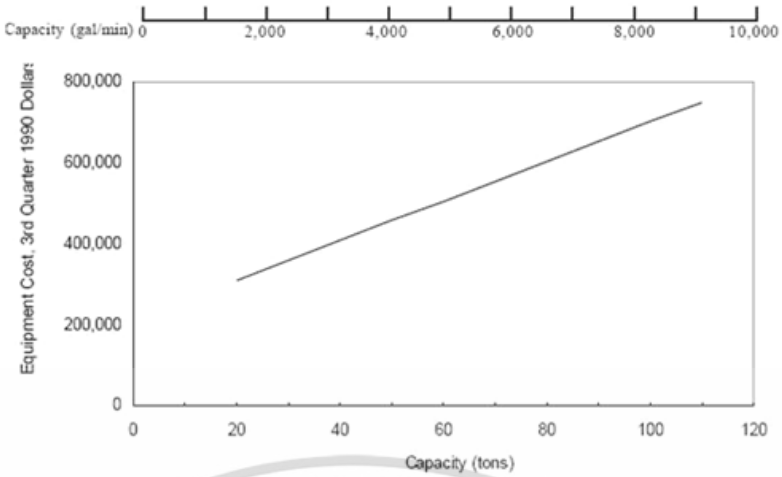



**รูปที่ 2.4** Refrigeration Unit Equipment Cost (Single Stage) [9]




**รูปที่ 2.5** Refrigeration Unit Equipment Cost (Multistage)[9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.6** Gasoline Vapor Recovery System Equipment Cost[9]

2.2.4 ระบบเผาไหม้โดยตรง(Direct Combustion)

สามารถใช้กับกระบวนการประกอบอาหาร โรงงานยางและผลิตภัณฑ์จากน้ำยาง โรงงานเคมีและปิโตรเคมี โรงงานผลิตสี ตัวทำละลาย หรือต้มกลั่นตัวทำละลาย โรงงานทำเส้นใยและพลาสติก โรงงานผสมปุ๋ยเคมี หรือยาปราบสัตรูพืชอู่ซ่อมรถยนต์โรงพิมพ์ โรงงานแปรรูปอาหารทะเล โรงงานตากปลา ทำปลาแห้ง โรงงานฟอกหนัง โรงงานผลิตสุรา โรงบำบัดน้ำเสีย โรงงานปลาป่น โรงงานกระดูกป่น ฟาร์มเลี้ยงสตร์ โรงงานมันสำปะหลัง แป้งมัน ขนถ่ายมันเส้นหรืออัดเม็ดโรงงานอาหารสัตว์ โรงงานที่ใช้ไขสัตว์หรือไขมันในกระบวนการผลิต

สามารถใช้กับกลิ่นสไตรีน (Styrene), Acrylonitrile, ตัวทำละลาย Adipate, ตัวทำละลาย 1,1,2- Trichloroethane, vinyl chloride, methyl tertiary-butyl etherไฮโดรคาร์บอน เช่นกลิ่นน้ำมัน (Fuel Oils), Acetaldehyde,ตัวทำละลาย 1,1- Dichloroethylene,Ethylbenzene, ตัวทำละลาย Benzene, ตัวทำละลาย Xylenes, ตัวทำละลาย 1,3 butadiene, ตัวทำละลาย 1,1,1-Trichloroehane, ตัวทำละลาย Dichloroethane, ตัวทำละลาย Toluene, ตัวทำละลาย Methyl Ethyl Ketoneและ Methyl Isobutyl Ketone, ตัวทำละลาย Carbon Tetrachloride, CresolsChlordane,Para-dichlorobenzene, Ortho-dichlorobenzene, Methoxychlor, Carbofuran,Tetrachloroethylene, Methyl Mercaptan, ก๊าซไข่เน่า Hydrogen Sulphide,Methyl Methacrylate, กรดไขมันPhthalic Anhydride

ระบบเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion Process)ใช้หลักการบำบัดกลิ่นโดยอากาศเสียที่มีสารก่อให้เกิดกลิ่นถูกทำให้ร้อนอยู่ระหว่างอุณหภูมิ 550 – 800°c เพื่อออกซิไดซ์ (Oxidize) และสลาย (Decompose) สารที่มีกลิ่นและเผาไหม้ได้ ซึ่งจะทำให้มีกลิ่นเจือจางลงหรือไม่มีกลิ่นเลย

ข้อดี

1. ใช้ได้กว้างขวางสามารถ บำบัด กลิ่นได้มากที่สุด
2. ระบบนี้ใช้ได้ดีกับสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นที่มีความเข้มข้นสูง ๆ
3. วิธีนี้ค่อนข้างง่ายและการบำบัดกลิ่นสูง

ข้อเสีย

1. ค่าเชื้อเพลิงสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ไม่สามารถกำจัดสารก่อให้เกิดกลิ่นจำพวกอนินทรีย์ที่ไม่สามารถเผาได้ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์

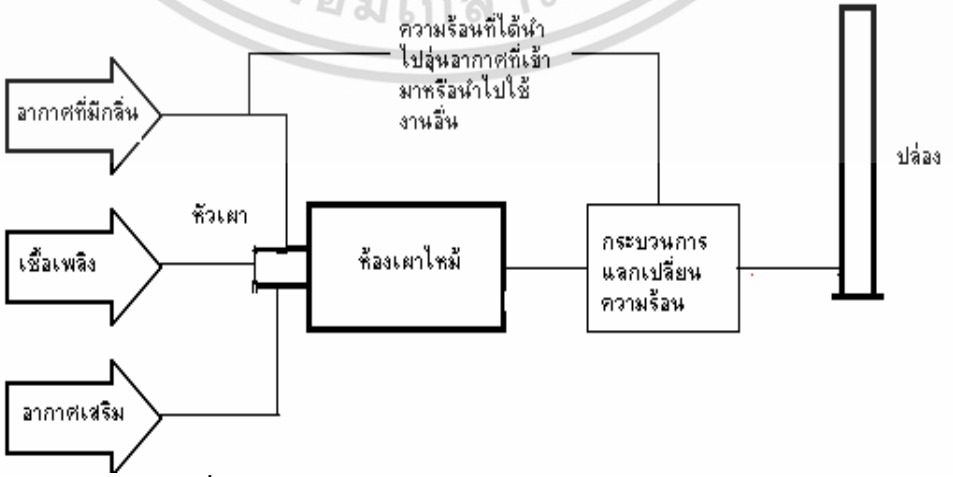
3. ไนโตรเจนออกไซด์ ($NO_x$) และซัลเฟอร์ออกไซด์ ($SO_x$) อาจเกิดขึ้นได้ จากการใช้น้ำมันก๊าด และน้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง [10]

การเผาโดยตรงจะทำให้เกิดสารเคมีพวกคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ และสารประกอบอื่นๆ ที่อาจมีกลิ่นของตัวมันเองได้ จึงต้องศึกษาให้รอบครอบก่อนที่จะใช้วิธีนี้ ตัวอย่างเช่น การเผาไหม้ก๊าซไข่เน่า ($H_2S$) จะทำให้เกิดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ซึ่งมีกลิ่นฉุนแสบจมูก

เพราะเผาแล้วไม่ทำให้เกิดกลิ่นโดยตัวของเชื้อเพลิงเอง ก่อนส่งอากาศที่มีกลิ่นเข้าสู่เตาเผาควรมีการดึงไอน้ำออกจากอากาศให้มากโดยใช้วิธีการควบแน่นเพราะหากอากาศมีไอน้ำมากจะต้องใช้ความร้อนมากขึ้นในการเผา อากาศที่อิ่มตัวด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 85°C จะต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการเผาถึง 2.22 เท่าของอากาศที่อิ่มตัวด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 40°C

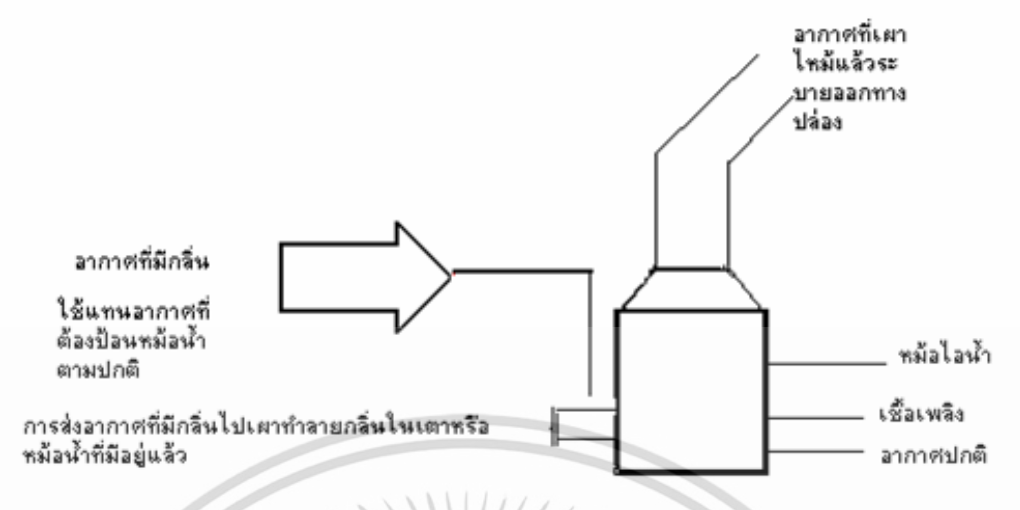
อุปกรณ์ในการเผาเรียกว่า Afterburner ใช้เผาอากาศที่มีกลิ่นก่อนจะระบายออกทางปล่อง มีลักษณะเป็นห้องบุด้วยอิฐทนไฟ มีหัวเผาที่เชื้อเพลิงและอากาศจะเข้าไป ปกติจะทำเป็นสองห้อง โดยห้องแรกเป็นที่ผสมระหว่างอากาศที่มีกลิ่นกับเชื้อเพลิง มีความเร็วของอากาศในช่วง 8-15เมตร/วินาที เพื่อให้มีการผสมที่เพียงพอ การเผาไหม้อาจทำในห้องที่สอง แต่การออกแบบจะมีห้องเดียวก็ได้ โดยแบ่งเป็นส่วนผสม และส่วนการเผาไหม้ การฉีดอากาศที่มีกลิ่นเข้าไปพร้อมกับเชื้อเพลิง หลังจากการเผาไหม้อากาศร้อนอาจนำไปแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchange) เพื่อนำความร้อนไปใช้งานอื่นๆ หรือทำไอน้ำ หรือน้ำร้อน

เตาเผาจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.7 โดยอากาศที่มีกลิ่นและก๊าซเชื้อเพลิงจะผสมเข้าด้วยกันและฉีดเข้าไปในเตาเผา โดยอุณหภูมิที่เผาประมาณ 550°C ขึ้นไปเพื่อให้มั่นใจว่าเผาก๊าซที่มีกลิ่นได้อย่างสมบูรณ์ ก๊าซบางชนิดเช่นคาร์บอนมอนอกไซด์และพวก $VOC_s$ต้องใช้อุณหภูมิสูง เมื่ออากาศถูกทำให้ร้อนในระดับที่ต้องการแล้วจะต้องการเวลาที่อุณหภูมินี้ (Residence Time) เพื่อออกซิไดซ์สารที่มีกลิ่นให้เปลี่ยนเป็นสารอื่น เช่น พวกกำมะถัน ก็จะเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น ในกรณีที่จะนำความร้อนที่เกิดขึ้นไปใช้ เตาเผาก็จะมีลักษณะคล้ายหม้อต้มน้ำอุตสาหกรรม ลักษณะดังรูปที่ 2.8 หัวฉีดจะเป็นลักษณะ Forced Draft Burner เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูงและคงที่ แล้วนำก๊าซร้อนที่ได้ไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำในท่อ(Water-Tube)




**รูปที่ 2.7** แสดงลักษณะของเตาเผาระบบเผาไหม้โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.8** การเผาไหม้โดยส่งอากาศที่มีกลิ่นไปเผาในหม้อน้ำ หรือเตาเผาที่มีอยู่แล้ว

นอกจากนี้ยังสามารถเผาไหม้โดยส่งอากาศเข้าไปเป็นอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ของเตาหรือหม้อน้ำที่มีอยู่แล้ว แต่ต้องระมัดระวัง เพราะในกระบวนการอุตสาหกรรม เตาหรือหม้อน้ำมักจะไม่ได้ใช้งานต่อเนื่อง เช่น บางครั้งจะตัดการทำงาน และจะต้องมีเตาเผาเสริมสำหรับในช่วงที่เตาหรือหม้อน้ำตัด [8]

2.2.5 ระบบการเผาไหม้โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ระบบการเผาไหม้โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Combustion) สามารถใช้กับโรงงานยางและผลิตภัณฑ์จากน้ำยาง โรงงานเคมีและปิโตรเคมี โรงงานผลิตสี ตัวทำละลาย หรือต้มกลั่นตัวทำละลาย โรงงานทำเส้นใยและพลาสติก โรงงานผสมปุ๋ยเคมี หรือยาปราบศัตรูพืช โรงกลั่นน้ำมัน อู่ซ่อมรถ โรงงานประกอบรถยนต์ โรงพิมพ์ โรงงานแปรรูปอาหารทะเล โรงงานตากปลา ทำปลาแห้ง โรงงานฟอกหนัง โรงงานผลิตสุรา โรงงานบำบัดน้ำเสีย โรงงานปลาป่น โรงงานกระดูกป่น ฟาร์มเลี้ยงสัตว์

สามารถใช้ได้กับกลิ่น สไตรีน(Styrene), Acrylonitrile, ตัวทำละลาย Adipate, ตัวทำละลาย 1,1,2- Trichloroethane, Vinyl Chloride, Methyl Tertiary-Butyl Ether, ไฮโดรคาร์บอน เช่นกลิ่นน้ำมัน (Fuel Oils), Acetaldehyde, ตัวทำละลาย 1,1- Dichloroethylene, Ethylbenzene, ตัวทำละลาย Benzene, ตัวทำละลาย Xylenes, ตัวทำละลาย 1,3 Butadiene, ตัวทำละลาย 1,1,1- Trichloroehane, ตัวทำละลาย Dichloroethane,ตัวทำละลาย Toluene, ตัวทำละลาย Methyl Ethyl Ketone (Mek) และ Methyl Isobutyl Ketone, ตัวทำละลาย Carbon Tetrachloride, Cresols,ChlordanePara-Dichlorobenzene, Ortho-Dichlorobenzene, Carbofuran, TetrachloroethyleneMethyl Mercaptan

การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยลดอุณหภูมิในการเผาไหม้ จึงช่วยลดค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิง แต่ตัวเร่งปฏิกิริยามักจะทำงานที่อุณหภูมิเหมาะสมในช่วงแคบๆ และต้องไม่มีสารที่ทำลายคุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาหรือมีสารไปปกคลุมพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา

อุณหภูมิที่ใช้กันประมาณ 500°C และต่ำกว่า ปัญหาของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ ราคาแพง และบางชนิดเป็นสารที่เป็นโลหะหนักเมื่อต้องทิ้งจัดเป็นกากของเสียอันตรายที่มีค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูง นอกจากนั้นในกรณีของโรงงานที่มีการผลิตไม่ต่อเนื่อง ทำให้อากาศที่มีกลิ่น มีอุณหภูมิไม่คงที่เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบายออก ทำให้ต้องควบคุมอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ให้คงที่ เพื่อเหมาะสมกับตัวเร่งปฏิกิริยาตลอดเวลา (เพราะตัวเร่งปฏิกิริยาจะใช้เวลามากในการอุ่นก่อนจะทำงานได้เต็มที่ จึงไม่อาจติดๆ ดับๆ อุปกรณ์ได้บ่อยครั้ง )

การประเมินราคาระบบ ขึ้นกับปริมาณและอัตราการไหลของอากาศที่มีกลิ่น องค์ประกอบทางเคมีของสารที่มีกลิ่นและความเข้มข้น (หากเข้มข้นและมีค่าความร้อนจะประหยัดเชื้อเพลิง) อุณหภูมิ และความชื้นของอากาศนั้น (หากอุณหภูมิสูงและความชื้นต่ำ จะประหยัดเชื้อเพลิง) หากเป็นกลิ่นที่มากับฝุ่นหรือละอองที่มองเห็นได้ ควรดักด้วยที่กรอง เช่น ตะแกรง หรือถุงกรองก่อน เตาเผาอากาศมีราคาขึ้นกับค่าสร้างเตา ฉนวน หัวเผา ค่าใช้จ่ายหลักของระบบไม่ใช่ตัวอุปกรณ์แต่คือค่าเชื้อเพลิง ซึ่งหากไม่มีการนำความร้อนมาใช้ใหม่จะสิ้นเปลืองมาก

ระบบที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาประหยัดค่าเชื้อเพลิงประมาณครึ่งหนึ่งของระบบเผาไหม้โดยตรง เพราะอุณหภูมิที่ต้องการในการเผาไหม้จะต่ำลง 270-420 °C

ข้อดี

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบไม่ต้องทนความร้อนสูงมากนัก

2. มลพิษ $NO_x$ เกิดที่อุณหภูมิสูงๆ โอกาสเกิดน้อยมาก

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นออกไซด์ของโลหะ นิยมใช้มากในการเผา $VOC_s$ ที่ความเข้มข้นไม่สูงมากนัก คือ 100-3,000 ppm ถ้าหากสูงกว่านี้ (1,000-5,000 ppm) ควรใช้วิธีการเผาโดยตรงจะดีกว่า นอกจากนั้น การเผาแบบตัวเร่งปฏิกิริยาควรให้ความเข้มข้นของ $VOC_s$ ต่ำกว่าร้อยละ 25 ของค่า LEL (Lower Explosive Limit)

ราคาอุปกรณ์ประเภทนี้ส่วนใหญ่ต้องสอบราคาจากต่างประเทศ ราคาแพงกว่าการเผาไหม้โดยตรงคือ ระบบวัดคุม ราคาค่าใช้จ่ายในการเผาแบบนี้อยู่ระหว่าง 100-1,000 บาทต่อสารที่มีกลิ่น 1 กิโลกรัม ส่วนใหญ่คือ ค่าเชื้อเพลิง ค่าตัวเร่งปฏิกิริยา ค่ากำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้งานแล้ว ค่าระบบควบคุมการทำงาน [8]

2.2.6 ระบบออกซิเดชัน(Oxidation)

สามารถใช้กับโรงงานปลาป่น โรงงานกระดูกป่น โรงงานตากปลา ทำปลาแห้ง โรงงานแปรรูปอาหารทะเล โรงงานอาหารสัตว์ โรงบำบัดน้ำเสีย ฟาร์มเลี้ยงสัตว์สามารถใช้กับกลิ่นAmines: Triethylamine /Trimethylamine

2.2.6.1 ระบบออกซิเดชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาหรือการเผาที่อุณหภูมิต่ำ

ระบบออกซิเดชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Oxidation Process) มีหลักการบำบัดอากาศเสียที่มีสารก่อให้เกิดกลิ่นถูกทำให้ร้อนอยู่ระหว่างอุณหภูมิ 250 – 350°C และผ่านคาตาลิสต์เบด (Catalyst Bed) ซึ่งเป็นการเผาที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้น สารที่ก่อให้เกิดกลิ่นจะอยู่ภายใต้สภาวะที่ถูกออกซิเดชัน (Catalytic Oxidation) บนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ซึ่งจะถูกเผาไหม้ให้มีกลิ่นเจือจางหรือไม่มีกลิ่นเลย

ข้อดี

1. การใช้ตัวเร่ง (Catalyst) ช่วยให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) จะทำให้การเผาไหม้ของสารที่มีกลิ่นใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าปกติ โดยจะเสียค่าเชื้อเพลิงน้อยกว่าการเผาไหม้โดยตรง

2. สามารถบำบัดสารที่เป็นอันตรายในความเข้มข้นต่ำได้ดี

3. ระบบมีขนาดกะทัดรัดและใช้พื้นที่ติดตั้งน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. บำรุงรักษาง่าย

ข้อเสีย

1. ไม่สามารถบำบัดกลิ่นจำพวกอินทรีย์

2. ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) จะมีอายุการใช้งานต่ำ ถ้าอากาศเสีย มีสารโลหะหนักปนอยู่

3. ทำให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ ($SO_3$) ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาและเชื้อเพลิงที่ใช้

การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยลดอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไหม้ จึงช่วยลดค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงแต่ตัวเร่งปฏิกิริยามักจะทำงานได้ในกรณีที่อุณหภูมิเหมาะสมในช่วงแคบๆ และจะต้องไม่มีสารที่ทำลายคุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เสื่อมสภาพ หรือมีสารไปปกคลุมพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา

ปัญหาของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในประเทศไทยคือ ราคาแพงและบางชนิดเป็นสารที่เป็นโลหะหนักและเมื่อต้องทิ้งจัดเป็นกากของเสียอันตรายที่มีค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูง นอกจากนั้นในกรณีของโรงงานที่มีการผลิตไม่ต่อเนื่อง ทำให้อากาศที่มีกลิ่นมีอุณหภูมิไม่คงที่เมื่อระบายออก และทำให้ต้องควบคุมอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ให้คงที่เหมาะสมกับตัวเร่งปฏิกิริยาตลอดเวลาเพราะตัวเร่งปฏิกิริยาจะใช้เวลามากในการอุ่นก่อนจะทำงานได้เต็มที่ จึงไม่อาจติด ๆ ดับๆ อุปกรณ์ได้บ่อยครั้ง[8]

2.2.6.2 ระบบออกซิเดชันด้วยโอโซน

ระบบออกซิเดชันด้วยโอโซน (Ozone – Oxidation Process) กระบวนการบำบัดกลิ่นโดย โอโซนจะถูกฉีดสู่อากาศเสียที่มีสารก่อให้เกิดกลิ่น เพื่อออกซิไดซ์ (Oxidize) สารที่มีกลิ่น ซึ่งโอโซนเป็นสารที่มีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดซ์อย่างแรง (Strong Oxidizing) จึงทำให้อากาศเสียมีกลิ่นเจือจางลง

ข้อดี

1. วิธีนี้ใช้หัวฉีดแบบธรรมดา เพื่อให้โอโซนเข้าสู่อากาศเสีย

2. ระบบไม่ขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) และอุณหภูมิของอากาศที่เข้าสู่ระบบ ง่ายในการเดินระบบ และการซ่อมบำรุงรักษา

3. สามารถใช้ร่วมกับวิธีการบำบัดกลิ่นแบบอื่นๆ ได้

ข้อเสีย

1. ไม่เหมาะแก่การบำบัดแอมโมเนีย และประสิทธิภาพไม่สูง

2. อาจต้องใช้อุปกรณ์เสริมเพื่อกำจัดโอโซนที่เหลือ

3. การป้อนโอโซนต้องมีการปรับปริมาณโอโซนให้เหมาะสม โดยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของกลิ่น

2.2.6.3 ระบบออกซิเดชันด้วยโอโซนและตัวเร่งปฏิกิริยา

ระบบออกซิเดชันด้วยโอโซนและตัวเร่งปฏิกิริยา (Ozone – Catalytic Oxidation Process) มีกระบวนการบำบัด กลิ่นโดยโอโซนจะถูกฉีดสู่อากาศเสียที่มีสารก่อให้เกิดกลิ่น เพื่อออกซิไดซ์ (Oxidize) สารนั้น โดยที่โอโซนเป็นสารที่มีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดซ์อย่างแรง (Strong Oxidizing) รวมกับการเร่งปฏิกิริยาของสารเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ทำให้อากาศเสียมีกลิ่นเจือจางลง

ข้อดี

1. เพิ่มคาตาลิสต์ เบด (Catalyst Bed) ในระบบออกซิเดชันด้วยโอโซน (Ozone

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Oxidation) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดให้สูงขึ้น

2. โอโซนที่เหลือจะถูกกำจัดไปพร้อมกันในคาตาลิสต์ เบด และการกำจัดกลิ่นที่รุนแรง

3. สามารถใช้ร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซน (ขั้นสุดท้าย) โดยใช้เครื่องผลิตโอโซนร่วมกันได้ ในกรณีของโรงบำบัดน้ำเสีย

ข้อเสีย

1. การป้อนโอโซนต้องปรับตามความเข้มข้นของกลิ่น

2. ระบบตรวจวัดจึงมีความจำเป็นและมีราคาสูง

3. ตัวเร่งปฏิกิริยาต้องปรับเปลี่ยนเสริมตลอดเวลา และมีราคาแพง

2.2.7 ระบบสครับบิง(Scrubbing)

สามารถใช้กับโรงงานปลาป่น โรงงานกระดูกป่น โรงงานมันสำปะหลัง แป้งมัน ขนถ่ายมันเส้นหรืออัดเม็ด โรงงานเคมีและปิโตรเคมี โรงงานกลั่นน้ำมัน โรงงานกระดาษและเยื่อกระดาษ โรงงานตากปลา ทำปลาแห้ง โรงงานแปรรูปอาหารทะเล โรงงานอาหารสัตว์ โรงบำบัดน้ำเสีย ฟาร์มเลี้ยงสัตว์ โรงงานผสมปุ๋ยเคมี หรื่อปราบศัตรูพืช โรงงานยางและผลิตภัณฑ์จากน้ำยาง โรงงานฟอกหนัง, โรงงานผลิตสุรา, กระบวนการประกอบอาหาร

สามารถใช้กับกลิ่นปลาย่างก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SULFUR DIOXIDE)แอมโมเนีย AMMONIA, Amines: TRIETHYLAMINE / TRIMETHYLAMINEคลอรีน (CHLORINE) กรดเกลือ HYDROGEN CHLORIDE, PHENOLกรดไขมันวานิลากรดน้ำส้มกลิ่นยางไหม้กลิ่นกำมะถัน

ระบบสครับบิง (Chemical Scrubbing Process) มีกระบวนการบำบัดกลิ่นโดยในกรณีที่ส่วนหนึ่งของสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นที่มีสภาพเป็นด่าง เช่น แอมโมเนีย (Ammonia) ไตรเมทิลลามีน (Trimethylamine) เป็นต้น จะนำมาทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดได้สารประกอบต่าง ๆ ที่ไม่มีกลิ่น ส่วนสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นมีสภาพเป็นกรด เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen Sulfide) เมทิลเมอร์แคปแทน (Methyl Mercaptan) เป็นต้น จะทำปฏิกิริยากับสารละลายด่าง (Alkaline Solution) ได้เป็นสารประกอบต่าง ๆ ที่ไม่มีกลิ่นหรือมีกลิ่นน้อยลง

2.2.8 ระบบดูดซับ(Adsorption)

สามารถใช้กับโรงงานยางและผลิตภัณฑ์จากน้ำยาง โรงงานเคมีและปิโตรเคมี โรงงานผลิตสี โรงงานทำเส้นใยและพลาสติก โรงงานผสมปุ๋ยเคมีหรือยาปราบศัตรูพืช โรงกลั่นน้ำมัน อู่ซ่อมรถ โรงงานประกอบรถยนต์ โรงพิมพ์ โรงงานแปรรูปอาหารทะเล โรงงานตากปลา ทำปลาแห้ง โรงงานฟอกหนังโรงงานผลิตสุรา โรงบำบัดน้ำเสีย โรงงานปลาป่น โรงงานกระดูกป่น ฟาร์มเลี้ยงสัตว์

สามารถใช้กับกลิ่นสไตรีน (Styrene), Acrylonitrile, ตัวทำละลาย Adipate, ตัวทำละลาย 1,1,2- Trichloroethane, Vinyl Chloride, Methyl Tertiary-Butyl Ether, ไฮโดรคาร์บอน เช่น กลิ่นน้ำมัน (Fuel Oils), Acetaldehyde, ตัวทำละลาย 1,1- Dichloroethylene, Ethylbenzene, ตัวทำละลาย Benzene, ตัวทำละลาย Xylenes, ตัวทำละลาย 1,3 Butadiene, ตัวทำละลาย 1,1,1-Trichloroehane, ตัวทำละลาย Dichloroethane, ตัวทำละลาย Toluene, ตัวทำละลาย Methyl Ethyl Ketone (Mek) และ Methyl Isobutyl Ketone, ตัวทำละลาย Carbon Tetrachloride,

2.2.8.1ระบบดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

ระบบดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon - Adsorption Process) มีกระบวนการบำบัดกลิ่นโดยสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นจะถูกดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ระบบนี้ใช้เสริมการบำบัดกลิ่นร่วมกับระบบอื่นๆ แสดงดังรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดี

1. ง่ายต่อการควบคุมและบำรุงรักษา

2. มีประสิทธิผลสูงในการบำบัดสารอินทรีย์ และสามารถดูดซับสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นได้มาก

3. เหมาะสมในการบำบัดอากาศเสียที่มีปริมาตรมาก และความเข้มข้นของกลิ่นต่ำ

ข้อเสีย

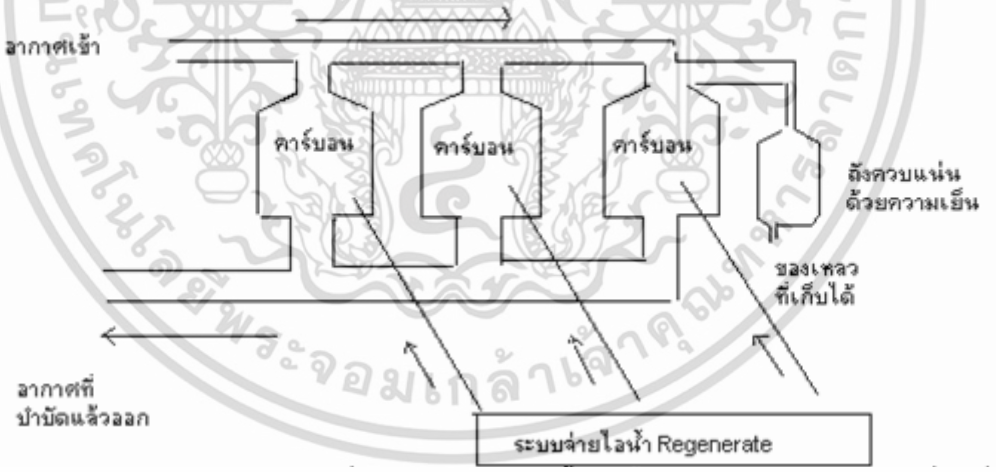
1. ไม่เหมาะกับการบำบัดสารแอมโมเนีย (Ammonia) เอมีน (Amine) และ อัลดีไฮด์ (Aldehydes)

2. แก๊สที่มีกลิ่นความเข้มข้นสูง ต้องทำการเปลี่ยนผงถ่านกัมมันต์บ่อย หรือต้องทำการปรับสภาพ (Regeneration) บ่อยครั้ง และอาจทำให้ถ่านกัมมันต์ร้อนจัด เพราะการดูดซับเป็นปฏิกิริยาที่คายความร้อน

3. ช่วงเวลาที่ใช้สัมผัส ต้องปรับตามสภาพของอัตราการดูดซับกลิ่น

4. ประสิทธิภาพลดลงหากอากาศที่เข้ามามีความร้อนสูง (ไม่ควรเกิน 50°C)

สารเคมีที่มีกลิ่นที่เป็นประเภทไฮโดรคาร์บอนจะถูกจับติดอยู่บนผิวของถ่านกัมมันต์ซึ่งมีรูเล็กๆและมีพื้นที่ผิวจำนวนมาก เมื่อสารถูกจับจนถ่านอิ่มตัวก็จะต้องไล่สารเคมีออกไปเพื่อให้ถ่านกลับมาใช้งานได้ใหม่ (Regeneration) จากข้อมูลที่มีการใช้งานในประเทศไทย ระบบดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์เหมาะสมที่จะใช้กำจัดกลิ่นจากบริเวณที่เก็บวัตถุดิบ ( กองวัตถุดิบ ) ระบบบำบัดน้ำเสียที่ทำงานที่มีกลิ่นจากการใช้ตัวทำละลาย เพราะสารมีกลิ่นมีความเข้มข้นไม่สูงมากจึงไม่ต้องเปลี่ยนถ่านบ่อยๆ




**รูปที่ 2.10** แสดงระบบดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์

2.2.8.2. ระบบดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ที่เคลือบสารเคมี

ระบบดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ที่เคลือบสารเคมี (Impregnated Activated Carbon (A/C) - Adsorption Process) มีกระบวนการบำบัดกลิ่นโดยใช้ Impregnated A/C ที่ถูกเคลือบด้วยสารเคมีบางชนิด เช่น กรดหรือด่างอย่างใดอย่างหนึ่ง เพื่อให้ความสามารถในการดูดซับมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเป็นหลายสิบเท่าของผงถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Impregnated A/C สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ โดยการบำบัดสารที่ดูดซับไว้และทำการปรับสภาพใหม่ แสดงดังรูปที่2.11

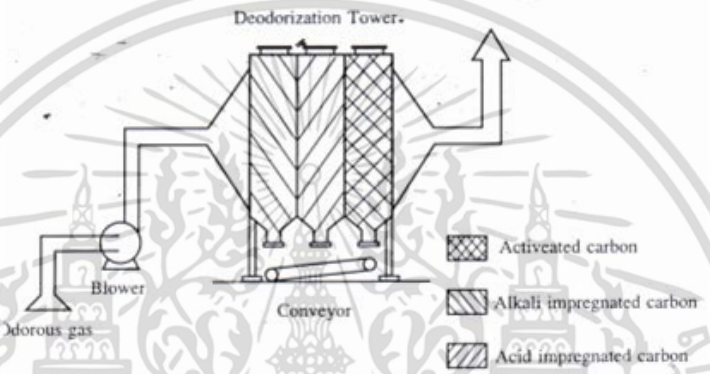
ข้อดี

1. ประสิทธิผลสูงในการบำบัดสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นหลายชนิด

2. ง่ายต่อการควบคุมและบำรุงรักษา

3. สามารถนำ Impregnated A/C กลับมาใช้ใหม่ได้เมื่อผ่านการปรับสภาพ (Regeneration) ข้อเสีย

1. การเปลี่ยน หรือการปรับสภาพของ Impregnated A/C จำเป็นต้องเป็นไปตามเวลาที่กำหนดไว้




**รูปที่ 2.11** แสดงระบบดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ที่เคลือบสารเคมี

ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เป็นปัจจัยสำคัญซึ่งเป็นวัสดุสิ้นเปลืองโดยขึ้นกับการเลือกใช้อาจเป็นชนิดธรรมดา หรือชนิดที่มีการ Impregnate เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับสารที่มีกลิ่นได้มากขึ้น

ถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพสูง ทำจากถ่านกะลามะพร้าว ซึ่งอาจมีพื้นที่ผิวสูงถึง 1,200 ตารางเมตรต่อน้ำหนักเพียง 1 กรัม นอกจากถ่านกะลามะพร้าวแล้วยังมีการใช้ Zeolites ซึ่งเป็น Aluminosilicatesที่อยู่ในรูปผลึกและสามารถดูดซับโมเลกุลบางชนิดที่ถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพน้อย พื้นที่ผิวของ Zeolites อาจอยู่ระหว่าง 700-900 ตารางเมตรต่อน้ำหนัก 1 กรัม การเลือกถ่านกัมมันต์ต้องพิจารณาจากค่า Isotherm ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสามารถในการดูดซับกับความดันและอุณหภูมิ โดยปกติแล้วถ่านกัมมันต์จะดูดซับสารเคมีได้ไม่มากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักถ่าน แต่การดูดซับที่แท้จริงขึ้นกับปัจจัยดังนี้

1. การจัดเรียงตัวของชั้นถ่านโดยทั่วไปเป็นทรงกระบอก อากาศเข้าด้านใดก็ได้ การบรรจุถ่านจะมีชั้นเดียวหรือทำเป็นหลายชั้นความสะดวกในการใส่และเอาถ่านออก

2. ความเร็วของอากาศที่ผ่านชั้นถ่านไม่เกิน 0.5 เมตรต่อวินาที และไม่น้อยกว่า 0.1 เมตรต่อวินาที จะทำให้ความดันลด (Static Pressure Drop) ในระบบไม่สูงมาก จะไม่เปลืองพลังงานพัดลม

3. จำนวนถ่านที่ใส่ ตามที่เหมาะสมของการอิ่มตัวและการที่ต้องเปลี่ยนหรือนำถ่านไป Regenerate ในบางระบบจะมีการ Regenerate ที่เดียวกับระบบ จึงสามารถทำได้บ่อยครั้ง แต่ส่วนใหญ่จะให้ผู้ขายถ่านมาเปลี่ยนแล้วเอาถ่านที่ใช้งานแล้วกลับไป Regenerate ที่โรงงานของผู้ขาย เพราะการ Regenerate ค่อนข้างยากและต้องมีการใช้กรดและไอน้ำที่อุณหภูมิสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ถ้ากลิ่นในอากาศมีสารเคมีหลายชนิด สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะเข้าแทนที่สารที่มีโมเลกุลต่ำ (เบา) ในถ่าน ทำให้สารที่เบามีโอกาสหลุดออกมา และจะต้องเพิ่มความลึกของชั้นดูดซับให้มากขึ้น การตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานจึงมีความสำคัญในช่วงแรกๆ เพื่อปรับระบบให้เข้าที่

สารอีกชนิดหนึ่งที่มักเติมลงในถ่านกัมมันต์หรือ Zeolites คือ ผงโลหะพวก Rare Earth ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มประสิทธิภาพ นอกจากการใช้สารตัวเร่งปฏิกิริยาแล้ว การให้ประจุไฟฟ้าลบแก่ก๊าซที่จะเข้าไปบำบัด และทำให้ถ่านกัมมันต์เป็นขั้วบวก ก็ช่วยในการดูดซับดีขึ้น ถ่านกัมมันต์ หรือ Zeolites มีราคาแพง จึงต้องมีการ Regeneration ให้ใช้งานใหม่ได้ ซึ่งอาจใช้การเปลี่ยนถ่านใหม่ แล้วนำถ่านเก่าส่งผู้จำหน่ายเพื่อนำไป Regenerate หรือทำการ Regenerate ภายในอุปกรณ์ดูดซับโดยออกแบบให้มีสารเคมีไหลผ่านถ่านกัมมันต์เพื่อชะล้างสิ่งที่ดูดซับออก หากสารที่ดูดซับเป็นพวกสารกำมะถัน (ก๊าซไข่เน่า) ก็สามารถใช้ด่างล้างและตามด้วยน้ำการใช้ด่างหรือน้ำจะล้างกรดและเกลือที่เกิดขึ้นได้ แต่หลังจากล้างหลายๆ ครั้ง ก็จะต้องส่งไป Regenerate ครั้งใหญ่ รูปแบบระบบบำบัดกลิ่นแบบ Activated Carbon มักจะนำไปใช้หลังระบบบำบัดแบบอื่นๆ เช่น Scrubber อีกชุดหนึ่ง โดยระบบบำบัดแบบ Activated Carbon มักจะอยู่ด้านท้ายเสมอ เพราะหากมีฝุ่นหรือก๊าซที่เป็นกรดด่างมากๆ ก็อาจมีปัญหาได้ จึงควรกำจัดก๊าซอื่นๆ ที่ดูดซับไม่ได้ออกไปก่อน รวมทั้งฝุ่น [8]

2.2.9 ระบบบำบัดกลิ่นด้วยกระบวนการทางชีวภาพ(Bio Filtration)

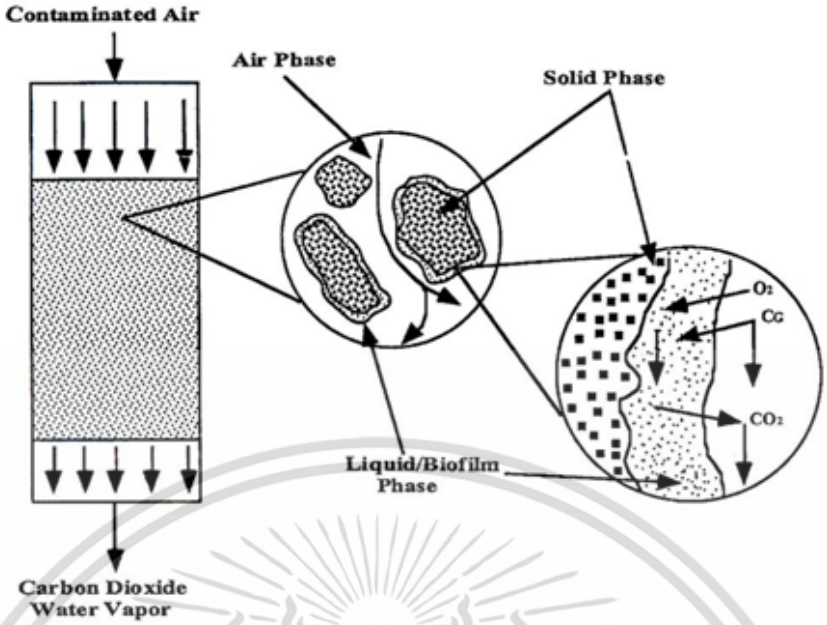
สามารถใช้กับโรงงานปลาป่น โรงงานกระดูกป่น โรงงานตากปลา ทำปลาแห้ง โรงงานแปรรูปอาหารทะเล โรงงานผลิตสี ตัวทำละลาย หรือต้มตัวทำละลาย โรงกลั่นน้ำมัน โรงงานฟอกหนัง โรงงานกระดาษและเยื่อกระดาษ โรงงานผลิตสุรา โรงบำบัดน้ำเสีย ฟาร์มเลี้ยงสัตว์ โรงงานผสมปุ๋ยเคมีหรือยาปราบศัตรูพืช โรงงานยางและผลิตภัณฑ์จากน้ำยาง โรงงานอาหารสัตว์ กระบวนการประกอบอาหาร โรงงานมันสำปะหลัง แป้งมัน ขนถ่ายมันเส้นหรืออัดเม็ด

สามารถใช้กับกลิ่นปลายก๊าซไข่เน่า Hydrogen Sulphide, แอมโมเนีย Ammonia Amines: Triethylamine / Trimethylamine, กลิ่นฉุนของพริกวานิลาและกรดน้ำส้ม

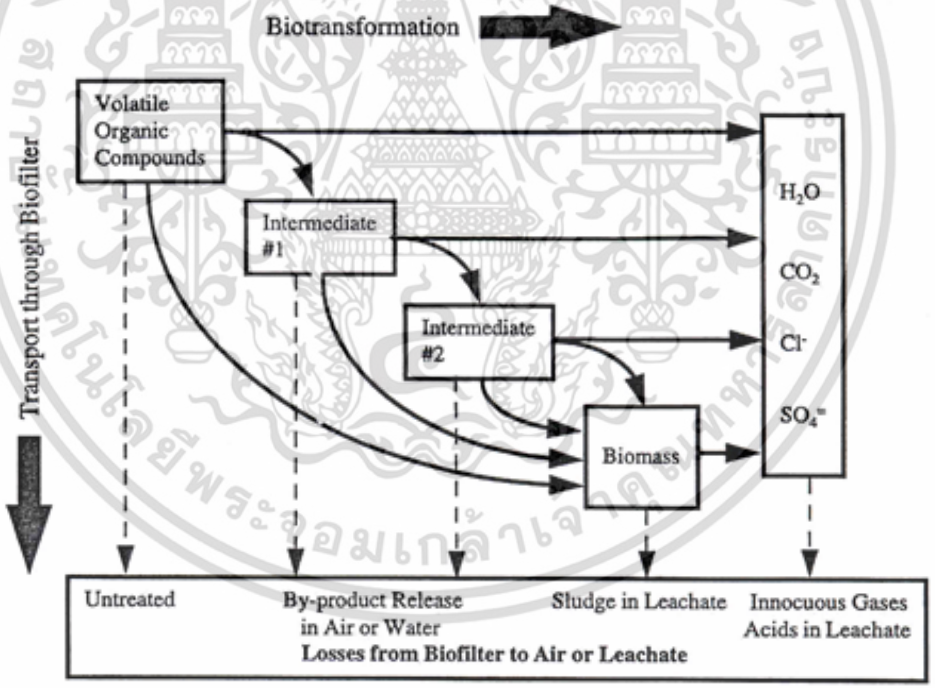
ระบบตัวกรองชีวภาพ เป็นระบบบำบัดมลพิษทางอากาศที่มีการใช้กันมาแพร่หลายทั่วโลกมากกว่า 30 ปี ซึ่งหลักการของระบบนี้ได้อาศัยจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ทำให้กลายเป็นสารที่ ไม่เป็นมลพิษต่อไป มีการนำระบบตัวกลางแบบชีวภาพไปใช้ในการกำจัดกลิ่นที่เกิดจากระบบน้ำเสีย ต่อมามีการพัฒนานำมาใช้เป็นเทคโนโลยีในการบำบัดสารอินทรีย์ระเหย ($VOC_s$) และสารมลพิษที่เป็นอันตราย (HAPs) สารประเภทไฮโดรคาร์บอนรวมทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์อื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.13

ในการบำบัดกลิ่นนั้น ไอของสารอินทรีย์ที่จะนำเข้ามาสู่ระบบบำบัดโดยใช้ตัวกรองชีวภาพจะต้องมีการปรับสภาพก่อน เพื่อควบคุมความชื้นและอุณหภูมิ หรือฝุ่นละอองให้มีค่าที่เหมาะสมก่อนนำเข้าสู่ระบบตัวกรองชีวภาพดังแสดงในรูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.12** กลไกการกรองด้วยกระบวนการทางชีวภาพ [12]




**รูปที่ 2.13** การเปลี่ยนแปลงทางชีววิทยา และกระบวนการ transport ในเครื่องกรองชีวภาพ[12]

ตัวระบบของตัวกรองชีวภาพจะประกอบด้วย ตัวกลางที่มีรูพรุนซึ่งอาจเป็นวัสดุที่เป็นสารประเภทอินทรีย์ซึ่งอาจจะใช้เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ ได้แก่ ดิน เปลือกไม้ กากตะกอนน้ำเสีย ขยะอินทรีย์ เป็นต้น ซึ่งโดยทั่วไปความหนาของตัวกลางควรจะน้อยกว่า 1 เมตร เมื่อผ่านอากาศที่มีสารปนเปื้อนที่ต้องการบำบัดผ่านเข้าสู่ตัวกลางซึ่งมีจุลินทรีย์อาศัยอยู่ จุลินทรีย์จะทำหน้าที่ในการย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สลายสารปนเปื้อนให้กลายเป็นสารประกอบขนาดเล็กได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ

ระบบบำบัดกลิ่นแบบชีวภาพ สามารถใช้ในการบำบัดสารได้หลายประเภท ได้แก่

1.สารประเภท Aliphatic Hydrocarbon ได้แก่ Hexane

2. สารประเภท Aromatic Hydrocarbon ได้แก่ Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene และ Styrene

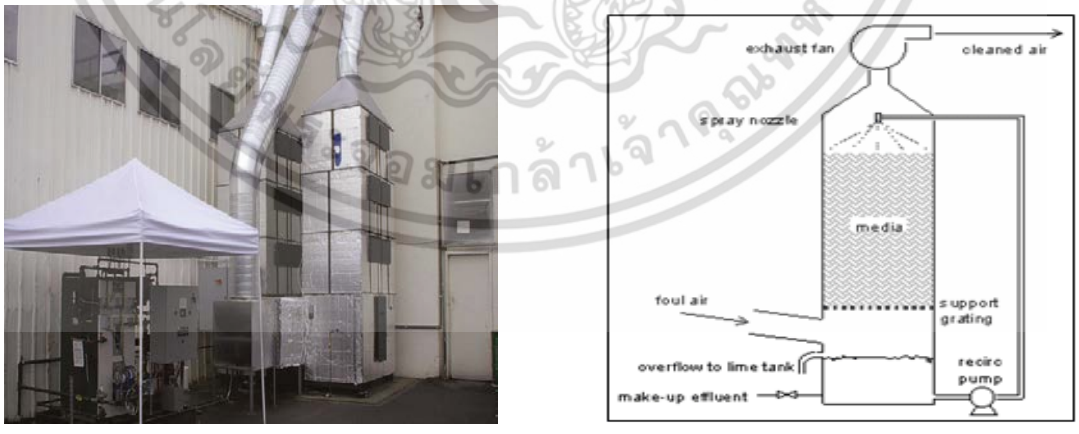
3. สารประกอบที่มีออกซิเจน ได้แก่ Alcohol

- กลุ่ม Alcohol เช่น Methanol ,Ethanol ,Propanol
- กลุ่ม Aldehyde เช่น Formaldehyde, Acetaldehyde, Methyl Isobutyl Ketone
- กลุ่ม Ketones เช่น Acetone, Methyl Ethyl Ketone, Methyl Isobutyl Ketone
- กลุ่ม CarborineAcid , Butyric Acid
- กลุ่ม Carboric Acid Esters เช่น Ethylaldehyde, Methyl Methacrylate
- กลุ่ม Phenol

4. สารประกอบที่มีซัลเฟอร์ ได้แก่ Hydrogen Sulfide, Throcyanates, Methyl Mercaptan

5. สารประกอบที่มีไนโตรเจน ได้แก่ Ammonia, Amides, Trimethylamine, Pyridive, Acetonitrile

ตัวกรองชีวภาพนี้ จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดถ้าอากาศมีสารมลพิษที่ปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนทั้งหมดไม่เกิน 1,500 ppm โดยพบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดสารบางชนิดสูงกว่า 99% ระบบนี้สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภทคือไบโอฟิลเตอร์ (Biofilter) ดังรูปที่ 2.14(ก), ไบโอทริคคลิ่งฟิลเตอร์(Biotrickling Filter) และไบโอสครับเบอร์ (Bio Scrubber) ดังรูปที่ 2.14(ข) ถึงแม้ว่าจะเพิ่งมีการนำเทคโนโลยีไบโอฟิลเตอร์ มาใช้ในการบำบัดสาร $VOC_S$ ไม่นานแต่ประวัติเกี่ยวกับ การพัฒนาไบโอฟิลเตอร์ก็ได้ดำเนินมานาหลายทศวรรษแล้วนักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าอาจมีการใช้เทคโนโลยีไบโอฟิลเตอร์ตั้งแต่ทศวรรษที่ 1920[13]




(ก) (ข)

**รูปที่ 2.14** ระบบไบโอฟิลเตอร์ที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรม [14]

ข้อดี

1. เป็นระบบที่ไม่ต้องใช้สารเคมี แต่อาจจะมีการเติมเกลือแร่และสารอาหารบางอย่างเพื่อให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุลินทรีย์เติบโต ในกรณีที่สารปนเปื้อนในอากาศมีไม่เพียงพอที่จะเลี้ยงจุลินทรีย์

2. เป็นเทคโนโลยีที่ไม่เป็นอันตรายและไม่ก่อให้เกิดมลพิษข้างเคียง

3. วัสดุที่ใช้เช่นกาบมะพร้าว เศษไม้ ปุ๋ยคอก เป็นของที่หาได้ง่าย

4. ค่าใช้จ่ายในการทำงานของระบบบำบัดต่ำ

ข้อเสีย

1. ค่อนข้างจะอ่อนไหวต่อความเปลี่ยนแปลงของสารปนเปื้อน หามีสารพิษเข้ามาในระบบมา ระบบอาจจะล้มเหลวได้

2. ใช้เวลาในช่วงแรกก่อนที่จะบำบัดอย่างมีประสิทธิภานนานกว่าระบบอื่น เนื่องจากต้องรอจนมีปริมาณของจุลินทรีย์เพียงพอ

3. ความเข้มข้นของกลิ่นต้องไม่สูงมาก

ราคาระบบ บำบัดกลิ่นแบบชีวภาพ ขึ้นกับปริมาณและอัตราการไหลของอากาศที่มีกลิ่น องค์ประกอบทางเคมีของสารที่มีกลิ่น และความเข้มข้น (อาจต้องเจือจางก่อน) อุณหภูมิ และความชื้นของอากาศนั้น อาจมีค่าใช้จ่ายในการลดอุณหภูมิควรลดลงมาเสียก่อนไม่ให้เกิน 40°C หากเป็นกลิ่นที่มากับฝุ่นหรือละอองที่มองเห็นได้ ควรดักด้วยที่กรอง เช่น ตะแกรง หรือถุงกรองก่อน เทคโนโลยีบำบัดอากาศเสียที่ได้กล่าวมาทุกระบบ อาจจะต้องติดตั้งอุปกรณ์เพิ่ม ดังนี้

ประกอบด้วย Hood หรือตู้ดูดอากาศ,ท่อ,พัดลม จนถึงปล่อง โดยระบบบำบัดกลิ่นจะต้องมีระบบระบายอากาศประกอบด้วยเสมอ เพื่อดูดกลิ่นมาเข้าสู่และออกจากระบบบำบัด

- Hood ราคาขึ้นกับสถานที่และชนิดที่เหมาะสม แต่ราคาไม่แพงเพราะเป็นโลหะธรรมดา และมีผู้จำหน่ายให้สอบประเมินราคาได้

- ท่อ ขายเป็นเมตร ส่วนข้องอ ข้อเชื่อม และ Blast Gate ขึ้นอยู่กับวัสดุว่าเป็นเหล็กคาร์บอน เหล็กชุบสังกะสี เหล็กสแตนเลส FRP หรือ PVC

- ค่าติดตั้ง ประมาณ 30% ของค่าอุปกรณ์ แต่ขึ้นกับความยากง่ายในการติดตั้ง ควรให้ผู้รับเหมาแจกแจงค่าแรง ค่าทดสอบ ค่าคุมงานมาให้

- ค่าใช้จ่ายรายปี ค่าไฟฟ้าของพัดลม ขึ้นโดยตรงกับอัตราการไหลของอากาศในระบบ และ Static Pressure Drop ในระบบ

- อายุใช้งาน 5 ถึง 10 ปี

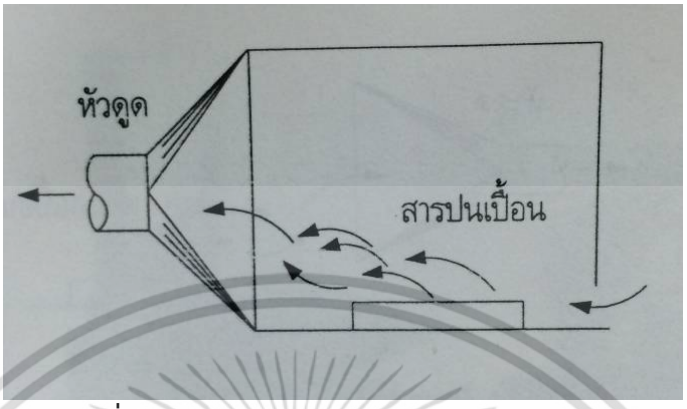
## 2.3 หัวดูดอากาศ

2.3.1ชนิดของหัวดูดอากาศการที่จะติดตั้งระบบบำบัดอากาศเสียได้นั้น จะต้องมีระบบนำทางอากาศจากแหล่งกำเนิดไปยังระบบบำบัดโดยใช้หัวดูดอากาศ ซึ่งแบ่งชนิดหัวดูดอากาศดังนี้

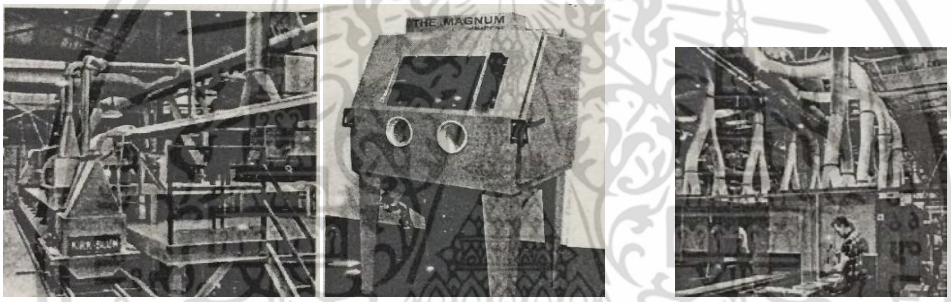
2.3.1.1หัวดูดปิดล้อม ติดตั้งครอบแหล่งกำเนิดสารปนเปื้อนบางส่วนหรือทั้งหมดเอาไว้ สารปนเปื้อนจะถูกกักเก็บเอาไว้ภายในหัวดูดและถูกดูดเข้าสู่ระบบผ่านทางช่องเปิดของหัวดูด ข้อดีของหัวดูดปิดล้อม คือ ต้องการปริมาณอากาศค่อนข้างน้อยซึ่งหมายถึงการใช้พนักงานน้อยด้วยเช่นกัน แต่หัวดูดปิดล้อมไม่ได้ถูกออกแบบมาเพื่อดึงสารปนเปื้อนที่มีแหล่งกำเนิดอยู่ภายนอก เนื่องจากความเร็วของอากาศไม่เพียงพอที่จะดึงสารปนเปื้อนเข้าสู่หัวดูดได้ ลักษณะของหัวดูดปิดล้อมแสดงไว้ในรูปที่ 2.16 โดยตัวอย่างของการนำไปใช้งาน ได้แก่ หัวดูดซึ่งติดตั้งที่สายพานลำเลียงวัสดุ (conveyor belt ) ดังรูปที่ 2.17 (ก)หัวดูดที่ใช้ในห้องทดลองทางเคมีที่มีลักษณะเป็นกล่องลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Plenum) และมีช่องสำหรับสอดมือเข้าไปปฏิบัติงาน ดังรูปที่ 2.17 (ข)หรืออาจเป็นบริเวณปฏิบัติงานที่มีลักษณะเป็นคอกกั้น (booth) ดังรูปที่ 2.17 (ค) หรือแม้กระทั่งตัวเรือน (Casing) ของกระพ้อลำเลียง (bucket elevator) ที่ใช้ในการขนถ่ายวัสดุในแนวดิ่งก็ถือเป็นหัวดูดปิดล้อม




**รูปที่ 2.16** ลักษณะการทำงานของหัวดูดปิดล้อม

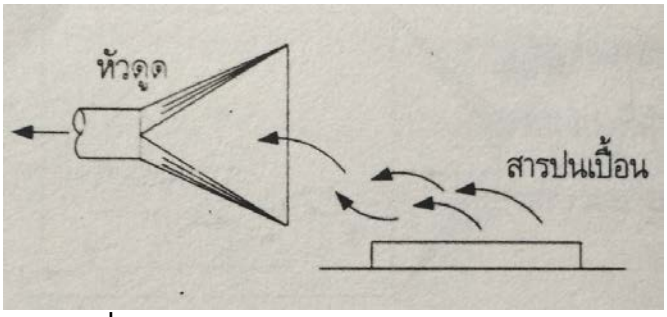



(ก)(ข) (ค)

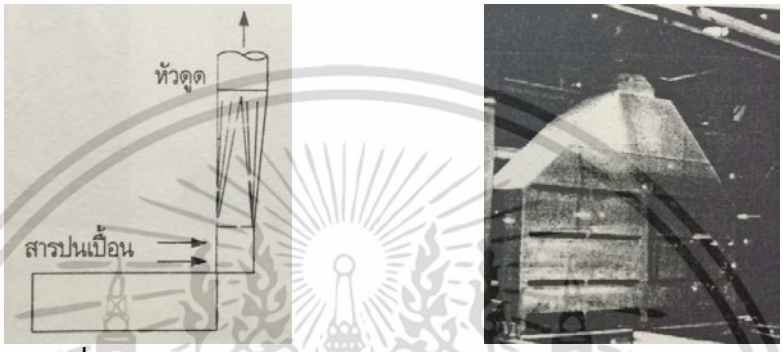
**รูปที่ 2.17**ลักษณะของหัวดูดปิดล้อม

2.3.1.2 หัวดูดภายนอกติดตั้งอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กับแหล่งกำเนิดสารปนเปื้อนสารปนเปื้อนจะถูกดึงเข้าสู่หัวดูดโดยอาศัยความเร็วของอากาศซึ่งไหลผ่านหัวดูดในปริมาณที่เหมาะสมด้วยการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนเกิดขึ้นภายนอกหัวดูด ส่งผลให้ปริมาณอากาศที่ใช้ในการดึงสารปนเปื้อนให้เข้าสู่หัวดูดค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับหัวดูดปิดล้อม ต้องใช้พลังงานมากกว่า นอกจากนี้ตำแหน่งติดตั้งของหัวดูดภายนอกก็ไม่สามารถอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดสารปนเปื้อนมากๆได้ ถึงจะมีข้อเสีย หัวดูดชนิดนี้ก็ยังถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภทโดยลักษณะการทำงานของหัวดูดภายนอกแสดงดังรูปที่ 2.18หัวดูดภายนอกติดตั้งและมีทิศทางได้หลายรูปแบบ ซึ่งแต่ละแบบก็เหมาะกับลักษณะงานแตกต่างกันไป เช่น แบบดูดด้านข้าง (Sidedraft hood)หรือแบบดูดลง (downdraft hood) เป็นต้น หัวดูดภายนอกแบบดูดด้านข้างเป็นหัวดูดภายนอกที่ได้รับความนิยมใช้อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะงานชุบโลหะซึ่งจะติดตั้งที่ด้านข้างของอ่างชุบ ใช้กับงานเจียระไน งานขัดผิว หรืองานเชื่อม โดยหัวดูดประเภทนี้จะมีทั้งแบบติดตั้งอยู่กับที่และสามารถเคลื่อนย้ายได้ หัวดูดภายนอกแบบดูดด้านข้างแสดงดังรูปที่ 2.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

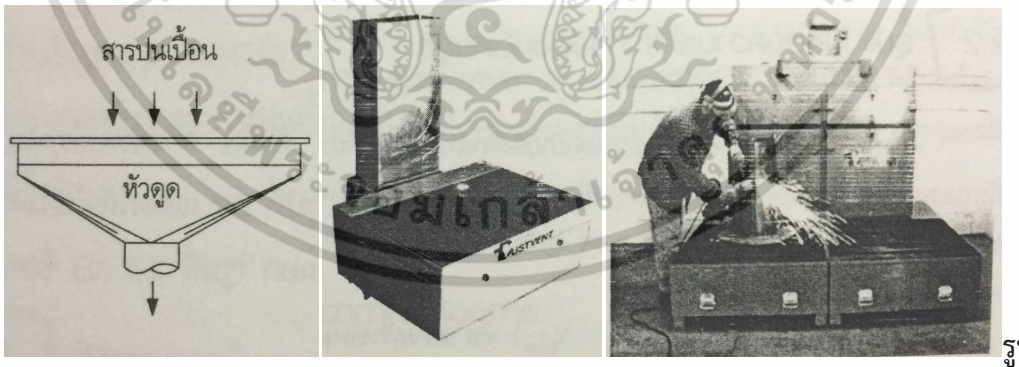



**รูปที่ 2.18**ลักษณะการทำงานของหัวดูดภายนอก




**รูปที่ 2.19**หัวดูดภายนอกแบบดูดด้านข้างสำหรับงานขุบผิวโลหะ

หัวดูดภายนอกแบบดูดลงดังแสดงในรูปที่ 2.20มีลักษณะคล้ายกับหัวดูดด้านข้าง สิ่งที่ต่างกัน คือ หัวดูดจะติดตั้งที่ด้านล่างของแหล่งกำเนิดสารปนเปื้อน ในบางกรณีอาจใช้ช่องเปิดของหัวดูดซึ่งมีการติดตั้งตะแกรงเอาไว้ใช้เป็นปริมาณปฏิบัติงาน เช่น กระบวนการขัดผิวชิ้นงานซึ่งจะเกิดฝุ่นที่มีน้ำหนักมาก โดยฝุ่นจะตกลงสู่ด้านล่างผ่านตะแกรงและดูดเข้าสู่ระบบ หัวดูดชนิดนี้สามารถใช้ในการควบคุมการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนได้เป็นอย่างดีโดยเฉพาะงานประเภทตัดหรืองานขัดผิว

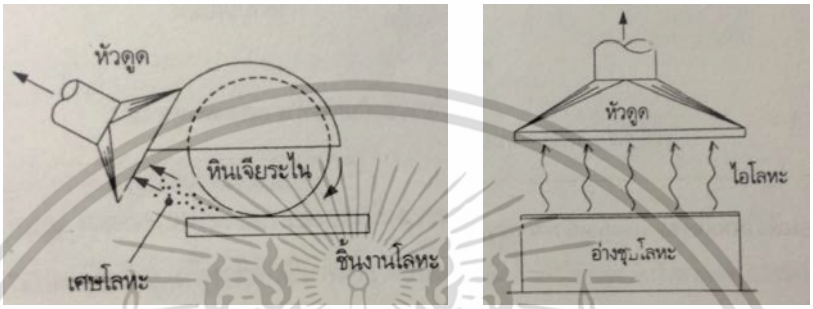



**รูปที่ 2.20**หัวดูดภายนอกแบบดูดลง

ในกรณีของสารปนเปื้อนที่มีมวลมากและมีการแพร่กระจายไปในทิศทางหนึ่งที่แน่นอน เช่น ฝุ่นหรือเศษโลหะที่เกิดจากกระบวนการเจียระไนซึ่งมีพลังงานจลน์ค่อนข้างมาก การใช้หัวดูภายนอกอาจไม่สามารถดึงสารปนเปื้อนให้เข้าสู่หัวดูดได้ หรือถ้าได้ก็ต้องใช้อากาศในปริมาณมาก วิธีการที่ดีกว่าคือการติดตั้งหัวดูดให้อยู่ในแนวการแพร่กระจายของสารปนเปื้อน ดังรูป2.21 (ก) เพื่อที่สารปนเปื้อนจะได้เคลื่อนที่เข้าสู่หัวดูดด้วยตัวเอง ส่งผลให้ปริมาณอากาศที่ใช้มีค่าลดลง โดยทั่วไปเราจะเรียกหัวดูดที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ติดตั้งในลักษะนี้ว่า หัวดูดรับ (receiving hood)นอกจากจะถูกนำมาใช้ในกรณีที่สารปนเปื้อนที่มีมวลแล้ว หัวดูดรับถูกนำมาใช้ในกรณีสารปนเปื้อนเกิดการแพร่กระจายในทิศทางที่ลอยขึ้นด้านบนมักเกิดขึ้นกับกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับความร้อนโดยสารปนเปื้อนที่แพร่กระจายอยู่ในรูปของไอร้อนอุณหภูมิสูงลอยขึ้นด้านบนด้วยแรงลอยตัวอื่นเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยหัวดูดรับซึ่งมักมีลักษณะเป็นฝาครอบ (canopy hood) จะถูกติดตั้งอยู่ด้านขนของแหล่งกำเนิดสารปนเปื้อน ดังรูปที่ 2.21 (ข) เพื่อให้อากาศปนเปื้อนที่มีอุณหภูมิสูงลอยเข้าสู่หัวดูดด้วยตัวของมันเองส่งผลให้ปริมาณอากาศที่ใช้น้อยลง



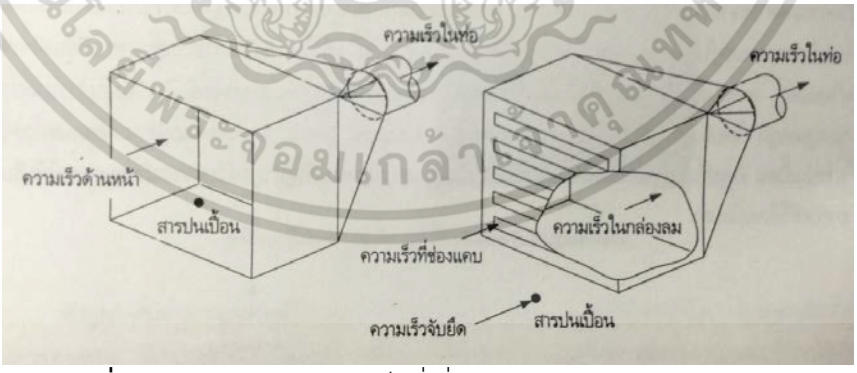

(ก) (ข)

**รูปที่ 2.21**ลักษณะหัวดูดรับ

2.3.2รูปแบบของความเร็วที่เกี่ยวข้องกับหัวดูด

เนื่องจากหัวดูดมีลักษณะแตกต่างกัน รูปแบบและนิยามของความเร็วที่เกี่ยวข้องจึงเป็นสิ่งสำคัญ ตำแหน่งและความเร็วรูปแบบต่างๆแสดงในรูปที่ 2.22มีดังนี้

2.3.2.1 ความเร็วด้านหน้า(face velocity :Vface) คือ ความเร็วของอากาศที่ช่องเปิดของหัวดูดมีค่ามากพอสำหรับการดึงสารปนเปื้อนที่อยู่ภายในหัวดูดปิดล้อมให้เข้าสู่ระบบท่อ โดยความเร็วด้านหน้าจะมีความสำคัญต่อการออกแบบหัวดูด




**รูปที่ 2.22**รูปแบบของความเร็วที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของหัวดูด

2.3.2.2 ความเร็วจับยึด(capture velocity) คือ ความเร็วของอากาศที่จุดใดๆ บริเวณด้านหน้าหัวดูดหรือบริเวณช่องเปิดของหัวดูดมีค่ามากพอสำหรับดึงสารปนเปื้อนซึ่งอยู่ภายนอกหัวดูดให้เข้าสู่ระบบท่อได้ โดยความเร็วจับยึดมีความสำคัญต่อการออกแบบหัวดูดภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.3 ความเร็วที่ช่องแคบ(slot velocity :Vs) คือ ความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านช่องแคบ (slot) โดยผ่านช่องแคบจะมีลักษณะเป็นช่องเปิดปากเรียบที่มีอัตราส่วนของความกว้างต่อความยาวของช่องน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.2 เพื่อต้องการให้อากาศที่ไหลผ่านด้านหน้าของหัวดูดมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ (uniform distribution)

2.3.2.4 ความเร็วในกล่องลม(plenum velocity) คือ ความเร็วของอากาศภายในกล่องลม โดยทั่วไปค่าสูงสุดของความเร็วในกล่องลมสำหรับหัวดูดที่ติดตั้งช่องแคบควรมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของความเร็วที่ช่องแคบ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการกระจายตัวของอากาศที่ดี

2.3.2.5 ความเร็วในท่อ(duct velocity:Vd) คือ ความเร็วของอากาศที่ผ่านมาหน้าตัดท่อ ในกรณีที่มีสารปนเปื้อนในรูปอนุภาคของแข็ง (ฝุ่น) ปะปนมากับอากาศ ความเร็วในท่อต้องมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าความเร็วต่ำสุดที่ต้องการสำหรับพาสารปนเปื้อนให้ไหลไปพร้อมกับอากาศได้โดยไม่เกิดการตกค้างในระบบ

2.3.3อัตราการไหลของอากาศ

การประเมินอัตราการไหลหรือปริมาณของอากาศที่ต้องการเพื่อดึงสารปนเปื้อนให้เข้าสู่ระบบถือเป็นเรื่องสำคัญในการพิจารณาเป็นสิ่งแรกในการออกแบบระบบระบายอากาศเฉพาะจุด โดยตัวแปรหลักที่ส่งผลโดยตรงต่ออัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านหัวดูดก็คือ ความเร็วจับยึดและความเร็วด้านหน้า แสดงให้เห็นหลักการประเมินอัตราการไหลของอากาศที่ต้องการสำหรับหัวดูดสองชนิด

2.3.3.1กรณีหัวดูดภายนอก ก่อนที่จะออกแบบ จำเป็นต้องทราบรายละเอียดเกี่ยวกับความเร็วจับยึด คือความเร็วของอากาศบริเวณด้านหน้าหัวดูดที่ใช้สำหรับดึงสารปนเปื้อนที่อยู่ภายนอกให้เข้าสู่หัวดูดซึ่งจะต้องมีค่ามากพอ โดยค่าความเร็วจับยึดที่ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบหัวดูดสามารถดูได้จาก ตารางที่ 2.4

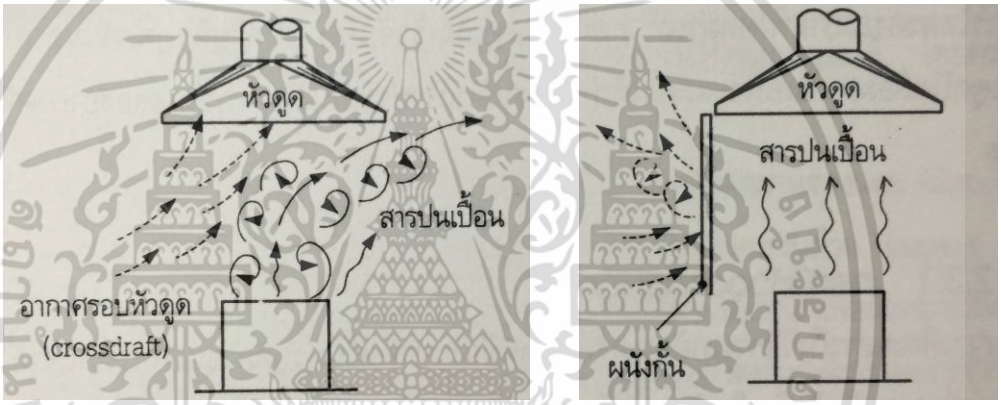
**ตารางที่ 2.4**ความเร็วจับยึดที่จำแนกตามลักษณะการแพร่กระจายของสารปนเปื้อน

| ลักษณะการแพร่กระจายของสารปนเปื้อน | ความเร็วจับยึด, fpm | ตัวอย่าง |
|---|---|---|
| แพร่กระจายโดยธรรมชาติสู่อากาศภายนอกที่อยู่นิ่ง | 50 – 100 (0.25 – 0.5 m/s) | การระเหยของไอ |
| แพร่กระจายด้วยความเร็วต่ำสู่อากาศภายนอกที่เคลื่อนที่เล็กน้อย | 100 – 200 (0.25 – 0.5 m/s) | การเติมวัสดุเป็นช่วง การขนถ่ายวัสดุที่ความเร็วต่ำ การเชื่อม |
| แพร่กระจายด้วยการถูกกระตุ้นให้เข้าสู่บริเวณที่อับอากาศเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง | 200 – 500 (1.0 – 2.5 m/s) | การพ่นสีคอกกั้น การเติมวัสดุลงถัง การจ่ายวัสดุออก การโม่ |
| แพร่กระจายด้วยความเร็วเริ่มต้นสูงเข้าสู่บริเวณที่อากาศเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงมาก | 500 – 2000 (2.5 – 10 m/s) | การบด การตกของวัสดุจากที่สูงกระทบวัตถุแข็ง |

ความเร็วจับยึดได้แสดงลักษณะของช่วงความเร็วใน ตารางที่ 2.5 คือ มีค่าต่ำและค่าสูงในแต่ละลักษณะการแพร่กระจายของสารปนเปื้อน ดังนั้น การพิจารณาค่าความเร็วจับยึดในช่วงได้สำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

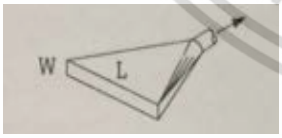
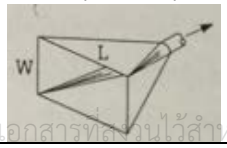
การออกแบบหัวดูดพิจารณาจากองค์ประกอบอื่นๆที่ส่งผลต่อการทำงานของหัวดูด หากอากาศในสิ่งแวดล้อมซึ่งอยู่รอบหัวดูดมีความเร็วไม่มากหรือส่งเสริมให้สารปนเปื้อนไม่มีลักษณะเป็นสารพิษ อัตราการผลิตต่ำและกระบวนการผลิตเกิดขึ้นเป็นช่วง รวมถึงหัวดูดมีขนาดใหญ่ซึ่งอากาศไหลผ่านในปริมาณมาก สามารถใช้ความเร็วในการจับยึดในช่วงค่าต่ำได้ แต่ถ้าการไหลของอากาศในสิ่งแวดล้อมมีลักษณะปั่นป่วนหรือไม่ส่งเสริมให้สารปนเปื้อนไหลเข้าหัวดูดได้โดยง่าย สารปนเปื้อนมีลักษณะเป็นพิษมีอัตราการผลิตสูงและกระบวนการเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง รวมถึงหัวดูดที่ใช้มีขนาดเล็ก ดังนั้นควรเลือกใช้ความเร็วจับยึดในช่วงค่าสูง ทั้งนี้ก็เพื่อสารปนเปื้อนจะถูกดึงเข้าสู่หัวดูดได้ความเร็วของอากาศในสิ่งแวดล้อมซึ่งอยู่รอบหัวดูดจะมีอิทธิพลต่อการออกแบบหัวดูดภายนอกรวมถึงหัวดูดที่ใช้กับกระบวนการทางความร้อน ซึ่งโดยปกติแล้วความเร็วดังกล่าวจะอยู่ในช่วง 200-300 fpm แต่ในกรณีที่มีค่าเกิน 500 fpm ก็อาจส่งผลให้สารปนเปื้อนถูกพัดพาให้มีทิศทางเบี่ยงเบนออกจากหัวดูดได้ดังแสดงในรูปที่ 2.23(ก) ลักษณะนี้ควรติดตั้งแผ่นกั้นเพื่อป้องกันไม่ให้การไหลของอากาศมีความเร็วสูงไปรบกวนการทำงานของหัวดูดซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.23(ข)




(ก) (ข)

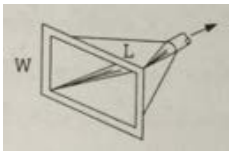
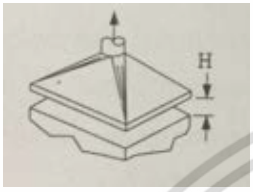
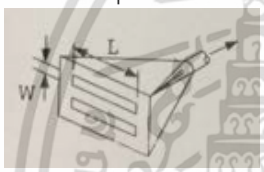
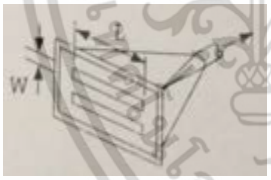
**รูปที่ 2.23**ผลกระทบของการไหลของอากาศรอบหัวดูดและการป้องกัน

**ตารางที่ 2.5**อัตราการไหลของอากาศที่ไหลเข้าหัวดูด

| ชนิดของหัวดูด | อัตราส่วนด้าน W/L | อัตราการไหลของอากาศ |
|---|---|---|
| ช่องแคบ (slot)   | 0.2 หรือน้อยกว่า | Q = 3.7 LVX |
| ช่องแคบ มีหน้าแปลน | 0.2 หรือน้อยกว่า | Q = 2.6LVX |
| ปากเรียบ (plain opening)   | 0.2 หรือมากกว่า (ทั้งหน้าตัดวงกลมและสี่เหลี่ยม) | $Q = V(10X^2 + A)$ เมื่อ A = WL (สี่เหลี่ยม) $A = \frac{\pi}{4} D^2$ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.5** (ต่อ) อัตราการไหลของอากาศที่ไหลเข้าหัวดูด

| ชนิดของหัวดูด | อัตราส่วนด้าน W/L | อัตราการไหลของอากาศ |
|---|---|---|
| ปากเรียบ มีหน้าแปลน   | 0.2 หรือมากกว่า (ทั้งหน้าตัดวงกลมและสี่เหลี่ยม) | $Q = 0.75V(10X^2 + A)$ เมื่อ A = WL (สี่เหลี่ยม) $A = \frac{\pi}{4} D^2$ |
| ฝาครอบ (canopy)   | ตามความเหมาะสมของงาน | $Q = 1.4\ PVH$ เมื่อ P = ความยาวเส้นขอบหัวดูด H = ความสูงของหัวดูดเหนือแหล่งกำเนิดสารปนเปื้อน |
| ช่องแคบหลายช่อง (multiple slot)   | 0.2 หรือมากกว่า | $Q = V(10X^2 + A)$ |
| ช่องแคบหลายช่อง มีหน้าแปลน   | 0.2 หรือมากกว่า | $Q = 0.75V(10X^2 + A)$ |

ความสัมพันธ์ระหว่างการไหลของอากาศและความเร็วจับยึดของหัวดูดภายนอกรูปแบบต่างๆ สามารถดูได้จากตารางที่ 2.5 ตัวอย่างเช่น อัตราการไหลของอากาศที่ไหลเข้าสู่หัวดูดแบบช่องเปิดปากเรียบ (plain opening hood) ซึ่งหมายถึงหัวดูดธรรมดาที่มีหน้ากลมหรือสี่เหลี่ยมประมาณได้จากสมการที่ (2.1)

$$Q = V(10X^2 + A) \qquad (2.1)$$

เมื่อ Q = อัตราการไหลของอากาศที่เข้าหัวดูด($m^3/s$)

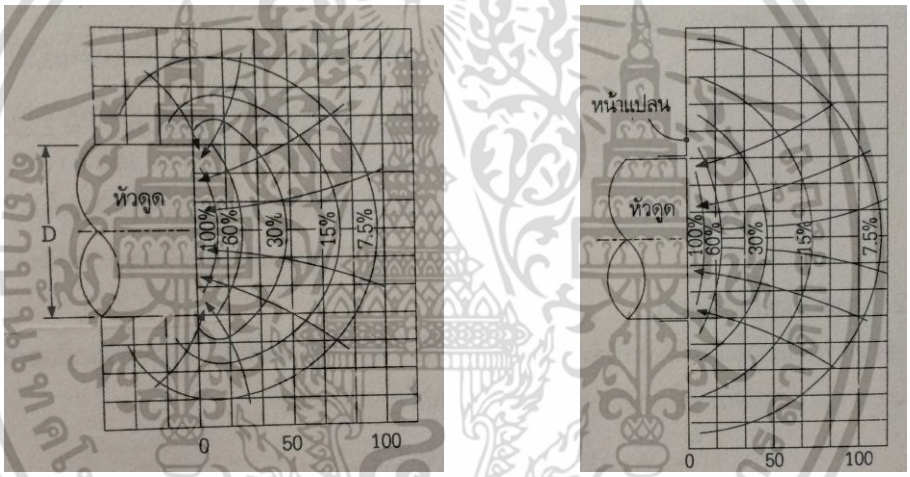
V =ความเร็วของอากาศ (ความเร็วจับยึด) ในแนวศูนย์กลางที่ระยะห่าง X จากด้านหน้าหัวดูด(m/s)

X =ระยะห่างในแนวศูนย์กลางจากด้านหน้าหัวดูดถึงจุดที่ต้องการดึงสารปนเปื้อนเข้าหัวดูด(m)

A =พื้นที่หน้าตัดช่องเปิดของหัวดูด($m^2$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปร่างความเร็ว (velocity contour) หรือลักษณะการไหลของอากาศที่ไหลเข้าสู่หัวดูดแบบช่องเปิดปากเรียบซึ่งได้จากการทดลองแสดงดังรูปที่ 2.24 (ก) หัวดูดลักษณะนี้ไม่เหมาะสมในการนำมาใช้งาน เนื่องจากจะดึงอากาศจากด้านหลังหัวดูด ซึ่งไม่ได้อยู่ในบริเวณที่เปิดการแพร่กระจายของสารปนเปื้อน ส่งผลให้ต้องดึงอากาศในปริมาณที่มากเข้าสู่หัวดูดซึ่งหมายถึงการสิ้นเปลืองพลังงาน นอกจากนี้ อากาศที่บริเวณด้านหลังหัวดูดยังหักเหเข้าสู่หัวดูดอย่างรวดเร็วและมารวมกับกระแสการไหลของอากาศจากด้านหน้าส่งผลให้เกิดความปั่นป่วนในการไหล หมายถึงลักษณะการกระจายตัวของอากาศที่ไหลเข้าสู่หัวดูดดูแย่ลง ความไม่เหมาะสมสามารถแก้ไขโดยการติดตั้งหน้าแปลน (flange) ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบที่ติดขนานไปกับระนาบผิวด้านหน้าของหัวดูด โดยหน้าแปลนจะช่วยป้องกันไม่ให้อากาศด้านหลังไหลเข้าหัวดูดได้โดยสังเกตได้จากรูปที่ 2.24 (ข) ดังนั้นปริมาณอากาศที่ใช้จึงมีค่าลดลง ซึ่งโดยทั่วไปจะลดลงได้ประมาณ 25% ในกรณีที่อัตราการไหลของอากาศที่เข้าหัวดูดมีค่าเท่ากัน บริเวณที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของความเร็วจับยึดสำหรับหัวดูดที่มีหน้าแปลนจะขยายออกไปไกลกว่าหัวดูดที่ไม่มีหน้าแปลน โดยความกว้างของหน้าแปลนที่เหมาะสมจะมีค่าเท่ากับรากที่สองของพื้นที่ด้านหน้าหัวดูด




(ก) (ข)

**รูปที่ 2.24**การไหลของอากาศที่ไหลเข้าสู่หัวดูดแบบช่องเปิดปากเรียบ

2.3.3.2 กรณีหัวดูดปิดล้อม การหาอัตราการไหลของอากาศที่ต้องการสำหรับหัวดูดปิดล้อมจะมีหลักการพิจารณาแตกต่างไปจากหัวดูดภายนอก โดยสามารถหาอัตราการไหลของอากาศที่ต้องการได้จาก

$$Q = A_{opening} V_{face} \qquad (2.2)$$

โดยที่ $A_{opening}$= พื้นที่เปิดทั้งหมดที่อากาศภายนอกไหลเข้ามาแทนที่อากาศซึ่งถูกดูดเข้าสู่หัวดูด($m^2$)
$V_{face}$= ความเร็วของอากาศที่ไหลเข้าสู่หัวดูดผ่านทางพื้นที่เปิดความเร็วด้านหน้า (m/s)
จากสมการ (2.2) พบว่า ความเร็วด้านหน้าถือเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการออกแบบหัวดูดปิดล้อม ความเร็วด้านหน้านี้ต้องมีค่ามากพอที่จะดึงสารปนเปื้อนที่อยู่ภายในหัวดูดให้เข้าสู่ระบบท่อได้ สำหรับค่าแนะนำของความเร็วด้านหน้าสำหรับลักษณะงานต่างๆ สามารถดูได้จากตารางที่ 2.6 เมื่อเลือกความเร็วด้านหน้าของหัวดูดแล้วก็สามารถหาอัตราการไหลของอากาศที่หัวดูดต้องการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.6**ค่าแนะนำของความเร็วด้านหน้า

| ลักษะงาน | ความเร็วด้านหน้า, fpm |
|---|---|
| คอกกั้นสำหรับงานเชื่อมโลหะ | 150 (0.75 m/s) |
| ห้องพ่นสี | 100 - 200 (0.5 - 1.0 m/s) |
| หัวดูดในห้องทดลอง | 100 - 150 (0.5 – 0.75 m/s) |
| สายพานลำเลียงวัสดุ | 150 - 200 (0.75 - 1.0 m/s) |
| ถังเก็บวัสดุ (bin) หรือกรวยจ่ายวัสดุ(hopper) | 150 - 200 (0.75 - 1.0 m/s) |
| เครื่องผสม (mixer) | 100 - 200 (0.5 - 1.0 m/s) |
| เตาหลอมโลหะ (รวมไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้) | 150 - 250 (0.75 - 1.25 m/s) |

พื้นที่เปิดทั้งหมดที่อากาศภายนอกไหลผ่านเข้าสู่หัวดูดสำหรับหัวดูดปิดล้อม จะแตกต่างกันไปตามลักษณะงานหรือลักษณะหัวดูดที่ติดตั้ง ทั้งนี้ด้วยหลักความเป็นจริงที่ว่าอากาศที่ถูกดูดเข้าสู่หัวดูดต้องเป็นอากาศภายนอก ดังนั้น หากอากาศจากภายนอกไกลเข้าสู่บริเวณของหัวดูดปิดล้อมที่ใดสามารถพิจารณาให้บริเวณนั้นเป็นพื้นที่เปิดทั้งสิ้น ในกรณีที่มีพื้นที่เปิดหลายๆจุดก็ให้นำพื้นที่เปิดเหล่านั้นมารวมกันเป็นพื้นที่เปิดรวม แสดงตัวอย่างของพื้นที่เปิดของหัวดูดลักษณะต่างๆ ดังรูปที่ 2.25

(ก) (ข) (ค)

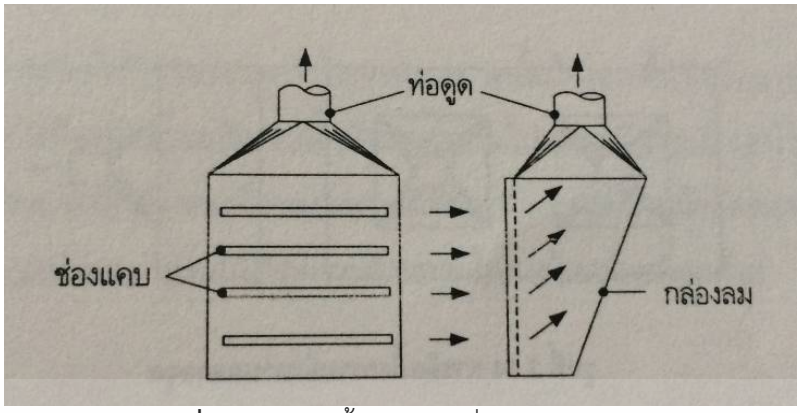
**รูปที่ 25**ตัวอย่างของพื้นที่เปิดสำหรับหัวดูดปิดล้อม

2.3.4 การกระจายการไหลของอากาศภายในหัวดูด

การกระจายการไหลของอากาศภายในหัวดูดอย่างสม่ำเสมอ เป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยให้ดึงสารปนเปื้อนเข้าสู่ระบบท่อเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ในทางปฏิบัติสามารถทำให้อากาศมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอได้หลายวิธี ได้แก่

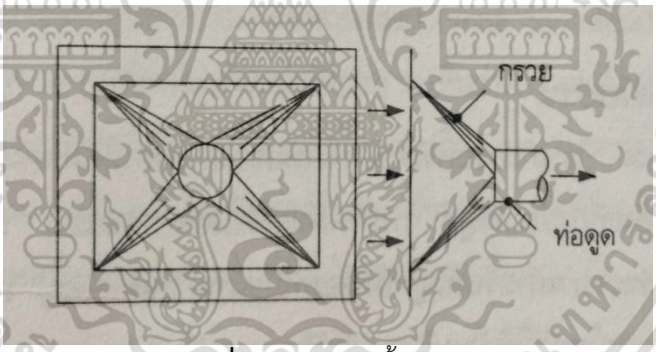
2.3.4.1ติดตั้งช่องแคบ หัวดูดที่ด้านหน้าที่ลักษณะเป็นช่องแคบ สามารถช่วยให้อากาศภายนอกไหลเข้าสู่หัวดูดด้วยการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ การไหลของอากาศช่องแคบนี้ก็จะทำให้เกิดการสูญเสียค่อนข้างมากดังนั้นต้องใช้พลังงานที่มากขึ้นในการทำให้อากาศผ่านช่องแคบ โดยทั่วไปหัวดูดลักษณะนี้จะประกอบอยู่กับกล่องลมซึ่งมีความลึกมากๆ เพื่อให้อากาศที่ไหลผ่านช่องแคบมีความเร็วสูงกว่าความเร็วของอากาศในกล่องลมดังแสดงในรูปที่ 2.26ความเร็วสูงสุดของอากาศในกล่องลมควรมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของความเร็วอากาศที่ไหลผ่านช่องแคบที่ต้องการให้มีการกระจายตัวของอากาศที่ดีและมีการสูญเสียความดันไม่มากนัก ความเร็วที่ช่องแคบควรมีค่าประมาณ 2000 fpm ในขณะที่ความเร็วในกล่องลมควรมีค่าประมาณ 1000fpm ในกรณีที่กล่องลมมีขนาดใหญ่และความลึกมาก ความเร็วที่ช่องแคบสามารถมีค่าต่ำได้ถึง 1000 fpm ในขณะที่ความเร็วในกล่องลมจะมีค่า 500 fpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่2.26**การติดตั้งช่องแคบที่ด้านหน้าหัวดูด

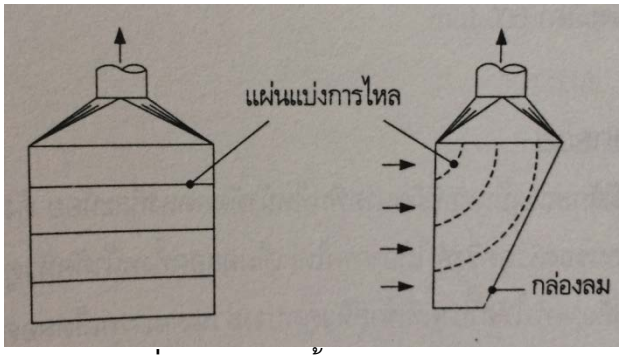
2.3.4.2ติดตั้งกรวย จะมีลักษณะเป็นท่อที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดลดลงทีละน้อย ดังแสดงในรูปที่ 2.27กรวยจะช่วยรีดอากาศให้วิ่งตรงเข้าแนวแกนของหัวดูดซึ่งทำให้อากาศไหลเต็มตลอดทั้งหน้าตัดหัวดูด หากกรวยที่ใช้มีขนาดกว้างหรือใหญ่เกินไปทำให้อากาศที่เข้าสู่หัวดูดบางส่วนเล็ดลอดออกไปได้ส่งผลให้การกระจายการไหลของอากาศแย่ลง โดยทั่วไปมุมกรวยไม่ควรเกิน 60° สำหรับพื้นที่ดูดหรือแหล่งกำเนิดสารปนเปื้อนที่มีความยาวมากดังเช่นหัวดูดปิดล้อมที่ใช้ดูดฝุ่นบนสายพานลำเลียงที่จุดเปลี่ยนถ่าย (transfer point) การใช้กรวยพียงจุดเดียวอาจไม่สามารถทำได้ เนื่องจากอาจทำให้ส่วนของกรวยมีขนาดใหญ่เกินไปกรณีนี้ควรติดตั้งกรวยจำนวนหลายจุด




**รูปที่ 2.27**การติดตั้งกรวย

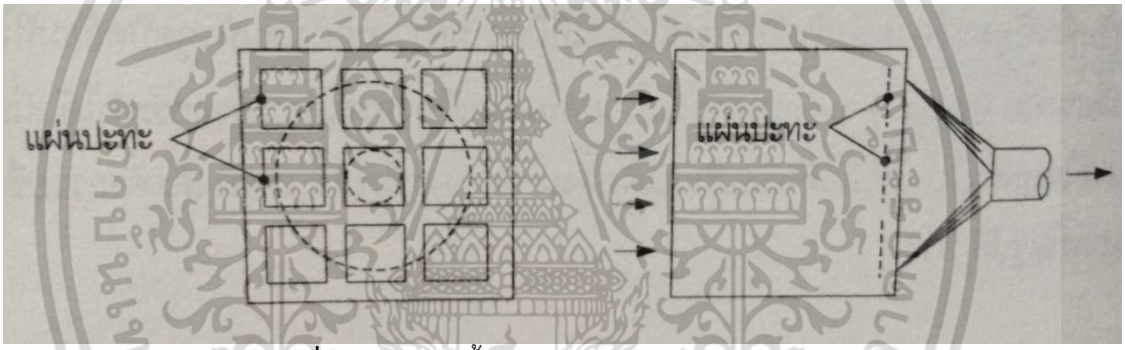
2.3.4.3 ติดตั้งแผ่นแบ่งอากาศ(splitter vanes) จะติดตั้งไว้ภายในกล่องลมดังแสดงในรูปที่ 2.28ข้อดีของการติดตั้งแผ่นแบ่งอากาศ คือ ไม่ทำให้เกิดความต้านทานการไหลของอากาศมากนักเมื่อเทียบกับการใช้ช่องแคบ รวมถึงใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อยกว่าการใช้กรวย อย่างไรก็ตามอาจเกิดปัญหาการสึกหรอจากการกัดเซาะหรือการอุดตันของสารปนเปื้อนที่มีลักษณะเป็นฝุ่นในบริเวณที่ติดตั้งแผ่นแบ่งอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.28**การติดตั้งแผ่นแบ่งอากาศ

2.3.4.4ติดตั้งแผ่นปะทะ สามารถกระจายการไหลของอากาศให้สม่ำเสมอโดยอาศัยอุปกรณ์ที่เรียกว่าแผ่นปะทะ (buffle) ซึ่งติดตั้งอยู่ภายในหัวดูด การติดตั้งทำได้หลายรูปแบบ รวมถึงจำนวนของแผ่นปะทะที่ใช้ก็แตกต่างกันไปด้วย แผ่นปะทะเหมาะสำหรับหัวดูดปิดล้อมที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ เช่นกรณีของห้องพ่นสี หรือคอกกั้นขนาดใหญ่ที่ใช้เป็นบริเวณปฏิบัติงาน แสดงการใช้แผ่นปะทะเพื่อช่วยกระจายการไหลของอากาศให้สม่ำเสมอ ดังรูปที่ 2.29[15]




**รูปที่ 2.29**การติดตั้งแผ่นปะทะภายในหัวดูดปิดล้อม

## 2.4 การเลือกเครื่องมือเครื่องจักร

2.4.1 การเลือกปั้มน้ำ (Water Pump)

การเลือกปั้มน้ำเริ่มจากรู้ว่าจะใช้น้ำมากน้อยอย่างไรและรู้ว่าปั๊มรุ่นไหนมีความสามารถตรงกับความต้องการของเรา คือ ต้องมีข้อมูลปริมาณการใช้น้ำเลือกปั๊มน้ำที่สามารถจ่ายน้ำได้ในปริมาณที่ต้องการ ในระดับแรงดันที่ต้องการ โดยคำนึงถึงช่วงเวลาที่ใช้น้ำพร้อมกันสูงสุด แรงดันที่ต้องการหาจากแรงดันที่อุปกรณ์ต้องการความสูงของอุปกรณ์วัดจากปั๊มน้ำ แรงเสียดทานในท่อ ปั๊มน้ำเป็นอุปกรณ์เพิ่มแรงดันน้ำ ซึ่งส่วนใหญ่ทำงานด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ทำหน้าที่เป็นต้นกำลังหมุนส่งกำลังให้ปั๊มน้ำทำงาน เพิ่มแรงดันให้น้ำและส่งน้ำไปตามท่อ

โดยทั่วไปจะระบุขนาดของปั้มน้ำด้วยกำลังหรือขนาดของมอเตอร์ที่ใช้หมุนปั้ม เช่น ปั๊มน้ำขนาด 200 วัตต์ ปั้มน้ำขนาด 400 วัตต์ ซึ่งใช้เลือกปั้มได้เพียงคร่าวๆเท่านั้น เพราะการเลือกใช้ปั๊มต้องดูว่าปั๊มสามารถจ่ายปริมาณน้ำได้มากแค่ไหนเพียงพอกับการใช้งานหรือไม่ และที่แรงดันน้ำที่ต้องการหรือไม่

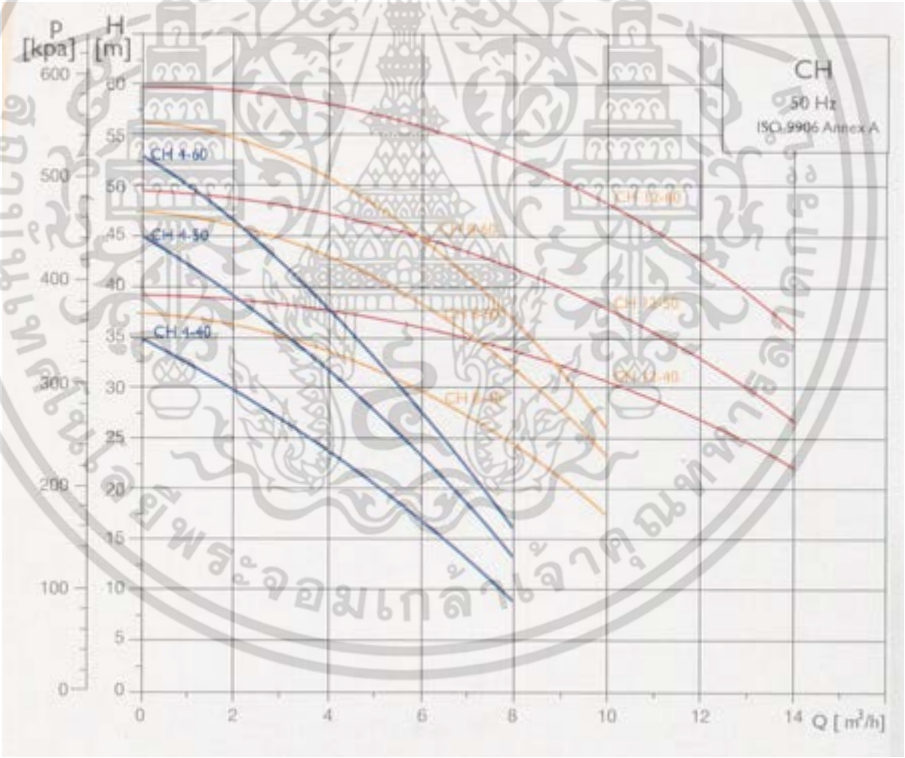
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณการจ่ายน้ำ แสดงเป็นปริมาณในหน่วยปริมาตรน้ำต่อเวลา หมายถึงปั๊มสามารถจ่ายน้ำได้มากเท่าไรในช่วงเวลาหนึ่ง เช่น 150 ลิตร/นาที (l/min) หมายถึง ปั๊มน้ำสามารถจ่ายน้ำได้ปริมาณ 150 ลิตรในเวลา1 นาที

แรงดันน้ำ แสดงเป็นความสูงของน้ำ (เมตร) ซึ่งปรับเทียบให้เป็นความสูงของน้ำเพื่อให้ง่ายในการใช้งาน ความสูงน้ำ 10 เมตร ประมาณแรงดัน = 1 bar หรือ ประมาณ 1 kg/cm2) ปั๊มทำงานจ่ายน้ำได้ที่ความสูงปลายท่อสูงเท่าไหร่ เช่น 10 เมตร หมายถึง ปั๊มจ่ายน้ำได้เมื่อความสูงปลายท่อสูง 10 เมตร

อัตราการไหล หรือปริมาณการจ่ายน้ำ โดยปกติจะบอกเป็นหน่วยของปริมาตรต่อหนึ่งหน่วยเวลา เช่น อัตราการไหล 1 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโม (m3/h) หมายถึงน้ำไหลได้ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตรในเวลา 1 ชั่วโมง อัตราการไหล 50 ลิตรต่อนาที (l/min) หมายถึงน้ำไหลได้ปริมาตร 50 ลิตรในเวลา 1 นาที

การเลือกใช้ปั้ม ควรเลือกใช้ในช่วงกลางๆ ของความสามารถของปั๊ม ไม่ควรเลือกใช้ที่ความสามารถสูงสุดที่ปั๊มทำได้โดยเลือกจากประสิทธิภาพของปั้ม ดังแสดงในรูปที่ 2.30 ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพดีกว่าช่วงปลาย และถ้าคนทำปั๊มให้ข้อมูลเกินจริง ปั้มก็ยังรองรับความต้องการ [34]

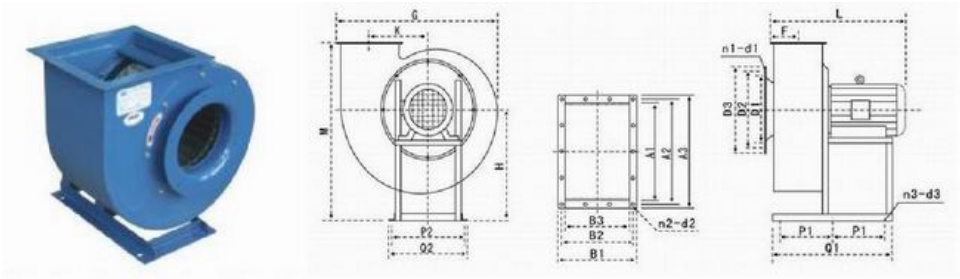



**รูปที่ 2.30**ประสิทธิภาพของปั้ม

2.4.2การเลือกเครื่องดูดอากาศ (Blower)

การเลือกเครื่องดูดอากาศที่เหมาะสมควรดูจากการคำนวณอัตราการไหลของอากาศ ลักษณะเครื่องดูดอากาศ แสดงดังรูปที่ 2.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 2.31**ลักษณะเครื่องดูดอากาศ

**ตารางที่ 2.7**ตารางเครื่องดูดอากาศ

| MODEL | POWER SUPPLY | | | AIR VOLUME | PRESSURE | DIMENSION | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | V | HP | RPM | CMH | mmWG | A | B | D | H | L | M | P |
| 2.8A. | 220/380 | 1 | 1450 | 1150-2500 | 45-48 | 270 | 240 | 230 | | 525 | 525 | 220 |
| 3A | 220/380 | 2 | 1450 | 2000-4250 | 48-60 | 270 | 300 | 230 | | 565 | 560 | 230 |
| 4A | 220/380 | 3 | 960 | 4400-9500 | 33-48 | 350 | 420 | 360 | | 800 | 780 | 335 |
| 5A | 220/380 | 7.5 | 960 | 5600-3500 | 76-86 | 365 | 340 | 410 | | 825 | 935 | 385 |
| 6A | 220/380 | 10 | 960 | 8000-15000 | 45-100 | 445 | 420 | 560 | | 935 | 1015 | 420 |
| 6.5A | 220/380 | 15 | 960 | 13000-21000 | 70-120 | 510 | 430 | 600 | | 950 | 1220 | 430 |

## 2.5เทคโนโลยีสะอาด

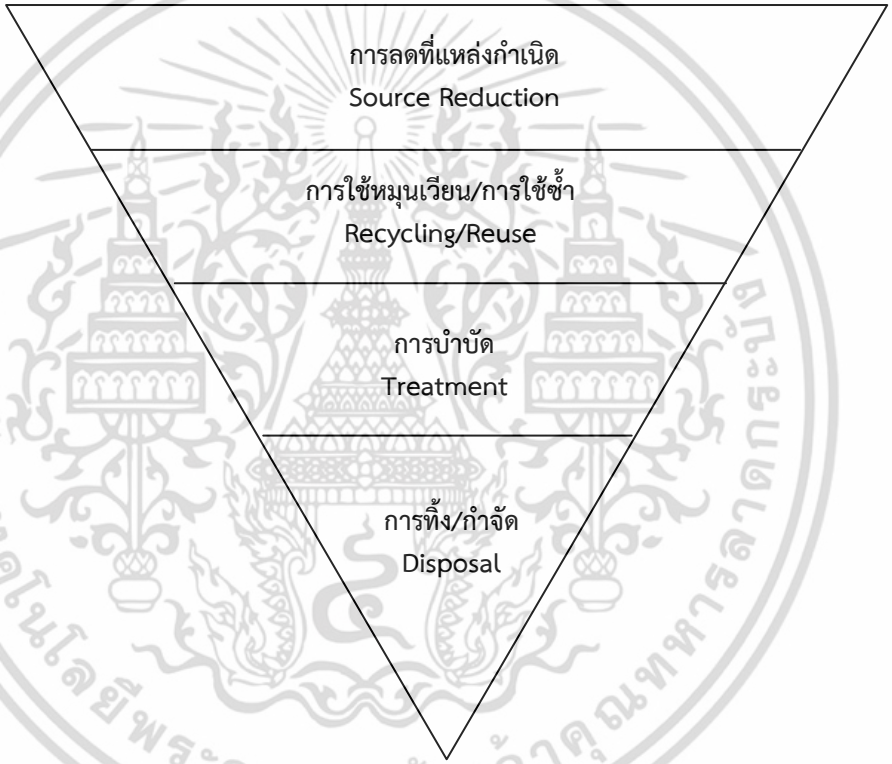
เทคโนโลยีสะอาด คือ กลยุทธ์ที่ใช้ในการผลิตเชิงอุตสาหกรรม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้วัตถุดิบ และพลังงานในการผลิต ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิต โดยการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ บริการ และกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง เพื่อลดของเสียที่แหล่งกำเนิด เป็นการลดภาระในการกำจัดของเสียช่วยประหยัดวัตถุดิบและพลังงาน เพิ่มความปลอดภัยในการทำงาน ป้องกันและรักษาสิ่งแวดล้อม รวมทั้งช่วยสร้างภาพพจน์ที่ดีให้แก่ผู้ประกอบการ ซึ่งเป็นการเสริมสร้างความสามารถในการแข่งขันในตลาดโลกอีกทั้งเป็นการพัฒนาขีดความสามารถ และประสิทธิภาพของการประกอบธุรกิจ นอกจากนี้ยังเป็นจุดเริ่มต้นในการก้าวไปสู่มาตรฐาน ISO 14000 ของอุตสาหกรรม

การแก้ปัญหาตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาดจะเน้นการลดที่ต้นเหตุ กล่าวคือเน้นที่การลดปริมาณการใช้ทรัพยากรลง โดยใช้ปริมาณที่พอดีและเหลือเป็นของเสียน้อยที่สุด ของเสียที่ออกมาต้องนำมาผ่านกระบวนการเพื่อจะนำกลับมาใช้ใหม่ จะทำให้ลดปริมาณของเสียและต้นทุนของการใช้สารเคมีให้น้อยลง ของเสียที่ยังคงเหลืออยู่ต้องผ่านกระบวนการบำบัดจนมีคุณสมบัติดีพอที่จะปล่อยทิ้งได้การลดการใช้และการนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมด้วยการแก้ปัญหาที่ต้นเหตุ จึงเป็นแนวทางหลักของเทคโนโลยีสะอาดมากกว่าการแก้โดยการบำบัดดังเช่นที่ทำกันโดยทั่วไป ซึ่งเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายของโรงงาน[17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

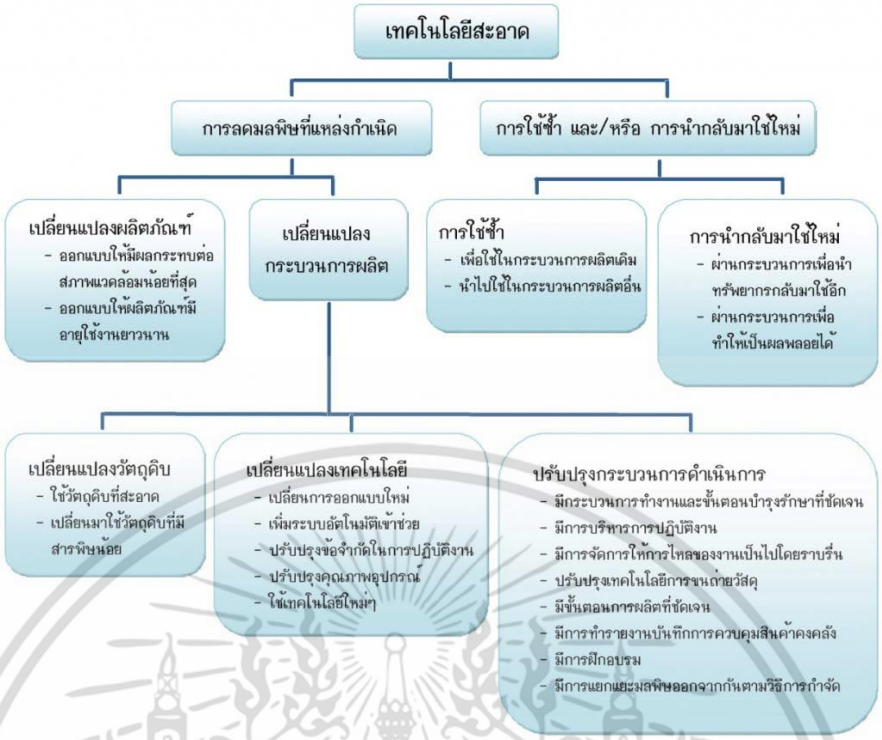
2.5.1 หลักการของเทคโนโลยีสะอาด

มุ่งเน้นไปที่การแก้ปัญหาที่ต้นเหตุ คือ การลดการใช้พลังงาน การใช้น้ำ และทรัพยากรธรรมชาติอื่นๆ ซึ่งหลักการของเทคโนโลยีสะอาดจะเน้นที่การป้องกันมากกว่าการแก้ปัญหาโดยลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการต่างๆ ให้น้อยที่สุด โดยวิธีการแยกสารพิษที่เกิดขึ้นจากการบวนการผลิตในทุกขั้นตอน ซึ่งประกอบด้วยการเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิต การเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบ ที่ทำให้เกิดผลพลอยได้ที่ไม่เป็นอันตรายรวมทั้งการลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นโดยกระบวนการนำกลับมาใช้ซ้ำ (Reuse)หรือ การนำกลับไปใช้ใหม่ (Recycle) จนกระทั่งของเสียเหล่านั้นไม่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีก จึงนำไปบำบัดหรือกำจัดตามหลักวิชาการต่อไป หลักการจัดการของเสียของเทคโนโลยีสะอาด แสดงดังรูปที่ 2.31หลักการเทคโนโลยีสะอาด แสดงดังรูปที่ 2.31




**รูปที่ 2.31**หลักการจัดการของเสียของเทคโนโลยีสะอาด[18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.32**หลักการของเทคโนโลยีสะอาด[19]

2.5.1.1 การลดมลพิษที่แหล่งกำเนิด แบ่งเป็น 2 แนวทางใหญ่ๆ คือ การเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์ และ การเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิต

1. การเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์ (Product Reformulation) อาจทำได้โดยการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด หรือการออกแบบให้มีอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ได้นานขึ้น

2. การเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิต (Process Change) แบ่งได้ 3 กลุ่ม

- การเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบ (Input Material Change) โดยเลือกใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพ ลดหรือเลิกการใช้วัตถุดิบที่เป็นอันตราย เพื่อหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนของสารอันตรายเข้าไปในกระบวนการผลิต และพยายามใช้วัตถุดิบที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้
- การเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี (Technology Improvement) เป็นการเพิ่มศักยภาพการผลิตหรือการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า ได้แก่ การปรับปรุงแผนผังโรงงาน การเพิ่มระบบอัตโนมัติ การปรับปรุงเครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิต รวมถึงการนำเทคโนโลยีใหม่ๆ มาใช้ เพื่อก่อให้เกิดของเสียน้อยที่สุด
- การปรับปรุงกระบวนการดำเนินงาน (Operation Management) เป็นการบริหารระบบการวางแผนและควบคุมการผลิต เพื่อเพิ่มศักยภาพของกระบวนการผลิต ให้สามารถลดต้นทุนในการผลิตและลดการก่อมลพิษทางสิ่งแวดล้อม โดยกำหนดให้มีขั้นตอนการผลิต กระบวนการทำงาน กระบวนการบำรุงรักษา รวมไปถึงการจัดการระบบ การบริหารงานในโรงงานอย่างชัดเจน

2.5.1.2 กระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ แบ่งออกได้ 2 แนวทางคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การใช้ผลิตภัณฑ์หมุนเวียน โดยการนำวัตถุดิบที่ไม่คุณภาพกลับมาใช้ประโยชน์ หรือ การใช้ประโยชน์จากสารหรือวัสดุที่ปนอยู่กับของเสีย โดยการนำมาใช้ในกระบวนการผลิตเดิม หรือ กระบวนการผลิตในขั้นตอนอื่น

2. การใช้เทคโนโลยีหมุนเวียน เป็นการนำเอาของเสียผ่านกระบวนการต่าง ๆ เพื่อนำทรัพยากรกลับมาใช้อีก

แนวคิดของเทคโนโลยีสะอาด คือ การป้องกันมลพิษที่แหล่งกำเนิด และการลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ให้น้อยที่สุด โดยทำได้ตามขั้นตอนที่เรียงลำดับความสำคัญจากมากไปน้อย ดังนี้

- การลดที่แหล่งกำเนิด
- การใช้หมุนเวียน
- การบำบัด
- การปล่อยทิ้ง

การดำเนินการตามหลักการของเทคโนโลยีสะอาด คือ จะเน้นการลดมลพิษที่ต้นกำเนิดมากกว่าการแก้ปัญหาที่ปลายทาง กล่าวคือ ลดปริมาณการใช้ทรัพยากรลง โดยใช้หลักการบริหารจัดการอย่างมีคุณภาพเพื่อให้เกิดของเสียน้อยที่สุด ของเสียที่เกิดขึ้น ต้องมีการนำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อลดของเสียที่จะส่งไปสู่ขั้นตอนการบำบัดของเสียที่นำไปบำบัดผ่านกระบวนการที่มีประสิทธิภาพจึงสามารถปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้ [20]

## 2.6ทฤษฎีในการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

2.6.1การใช้เศรษฐศาสตร์ในการวิเคราะห์

เศรษฐศาสตร์โดยทั่วไปเป็นการศึกษาและกล่าวถึงคุณลักษณะที่เกี่ยวข้องกับความต้องการและความพึงพอใจของมนุษย์ ซึ่งความต้องการของมนุษย์เป็นแรงผลักที่ทำให้เกิดทั้งเหตุการณ์และสิ่งต่างๆ ด้านวัตถุขึ้นมากมาย สิ่งใดเป็นความต้องการของมนุษย์ก็จะให้ความสำคัญมาก สิ่งใดต้องการน้อยก็ให้ความสำคัญน้อย จึงทำให้สิ่งเหล่านั้นเกิดคุณค่าขึ้นตามความสำคัญ จะกระทั่งมีการวัดคุณค่าเหล่านั้นขึ้นเป็นราคาเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบสำหรับแลกเปลี่ยนซึ่งกันและกัน

ในการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมก็คือการหาคุณค่าหรือราคาของงานวิศวกรรมในด้านปฏิบัติเพื่อเปรียบเทียบในการตัดสินใจที่จะเลือกให้เป็นไปตามประสิทธิภาพที่ต้องการและความเหมาะสม ซึ่งเป็นการตัดสินใจสำหรับการดำเนินงานในอนาคต ดังนั้นคุณค่าหรือราคาซึ่งอยู่ในรูปของตัวเงินที่เป็นค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์นั้นๆ เป็นการคาดคะเนเอาทั้งสิ้น โดยมีพื้นฐานและเงื่อนไขที่จะเป็นจริงเมื่ออนาคตนั้นมาถึงปัจจุบันและเกิดขึ้นจริง ซึ่งจะมีเงื่อนไขมาจากคุณลักษณะของเงินคือ

1. ค่าของเงินจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาในขณะที่จำนวนเงินเท่าเดิม โดยมากมักจะมีค่าลดลง ตามเวลา
2. ค่าของเงินเปลี่ยนแปลงตามเวลามากน้อยขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าของเงินโดยทั่วไปจะยึดถืออัตราดอกเบี้ยเป็นหลัก

ในหลักการวิเคราะห์อนาคตของเศรษฐศาสตร์ นอกจากคุณลักษณะของเงินเป็นตัวแปรแล้วในการเปลี่ยนแปลงของเงินในอนาคตที่ไม่สามารถทราบได้มักจะให้การเปลี่ยนแปลงมีไม่มากในอนาคตหรือคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงื่อนไขอีกอย่างที่ทำให้เกิดความแม่นยำในการวิเคราะห์คือ เวลาการวิเคราะห์อนาคต ยิ่งไกลเท่าใด ความเปลี่ยนแปลงจะมีมากเท่านั้นซึ่งทำให้การวิเคราะห์ห่างจากความเป็นจริงยิ่งขึ้น ดังนั้นในการวิเคราะห์มักจะวิเคราะห์ในระยะสั้นๆเป็นช่วง หรือถ้าจำเป็นต้องวิเคราะห์ระยะยาว ก็ต้องทำการวิเคราะห์ระยะสั้นตามเป็นช่วงๆ เพื่อการปรับข้อมูลตัวแปรให้เป็นไปตามความเป็นจริงที่จะเกิดขึ้นจึงจะสามารถวิเคราะห์อนาคตได้แม่นยำ

จากเงื่อนไขต่างๆรายรับรายจ่ายจากการรวบรวมข้อมูลเพื่อชี้ถึงค่าในอนาคตจะเปรียบเทียบกันได้ก็ต่อเมื่อทำการปรับรายรับรายจ่ายต่างๆ เข้าสู่เวลาเดียวกัน ซึ่งจะปรับเป็นปัจจุบันหรืออนาคตก็ได้ ถึงจะสามารถเปรียบเทียบค่านั้นในเชิงปริมาณได้ นั่นคือวิธีการเปรียบเทียบค่าจะต้องเปรียบเทียบเป็นจำนวน โดยปรับมา ณ จุดเวลาเดียวกัน ไม่ว่าราคาหรือค่านั้นเกิดเวลาใดก็ตาม

ในการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ เป็นข้อมูลหนึ่งสำหรับใช้ในการตัดสินใจโดยมีองค์ประกอบในการตัดสินใจด้านอื่นๆอีกที่เหมาะสมจำเป็น ดังนั้นการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์นี้ไม่ใช่แนวทางที่บ่งบอกถึงการตัดสินใจที่แน่นอน ซึ่งการตัดสินใจจริงๆแล้วอาจจะไม่ได้คล้อยตามการวิเคราะห์นี้ก็ได้ ขึ้นอยู่กับน้ำหนักของการตัดสินใจจะยึดถือองค์ประกอบใดเป็นส่วนสำคัญมากน้อย แต่การตัดสินใจแทบทุกการดำเนินงานจะขาดหลักการของการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ไม่ได้ ถ้าสามารถวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ได้ โดยทั่วไปจะใช้กับการวิเคราะห์ดังนี้

1. ต้องทราบเป้าหมายของปัญหาก่อน เพื่อกำหนดและจำกัดแนวของการวิเคราะห์
2. วิเคราะห์แนวปฏิบัติที่สามารถเป็นไปได้ทุกแนวเพื่อทำการเปรียบเทียบแนวทางที่ดีที่สุดจากข้อมูลแยกองค์ประกอบออกเป็นส่วน โดยทั่วไปองค์ประกอบจะมีอยู่สองส่วนคือส่วนที่เป็นปริมาณที่แน่นอน กับส่วนกะปริมาณไม่ได้ ซึ่งจำเป็นต้องทำการประเมิน
3. โดยทั่วไปปริมาณจะอยู่ในรูปของรายได้และรายจ่าย ซึ่งในทางเศรษฐศาสตร์รายได้และรายจ่ายนี้เป็นอนาคต ดังนั้นข้อมูลรายได้รายจ่ายในอดีตจะเป็นข้อมูลสำหรับการประเมินรายได้รายจ่ายในอนาคตเท่านั้น ไม่ใช่ข้อมูลที่จะนำมาคิดร่วม
4. ช่วงระยะเวลาในการวิเคราะห์ไม่ควรเกินช่วงระยะเวลาที่สามารถประเมินข้อมูลได้ถูกต้อง เพราะไม่เช่นนั้นผลของการวิเคราะห์ที่จะพยากรณ์ได้ไม่ถูกต้อง

2.6.2ปัจจัยการเปลี่ยนแปลงค่าของเงินไปตามเวลา

เงิน ถูกใช้เป็นตัวกลางในการดำเนินการกำหนดการแลกเปลี่ยนมาตั้งแต่สมัยโบราณ กำหนดขึ้นเป็นราคาสำหรับสิ่งของแต่ละชนิด เมื่อต้องการสินค้าหรือสิ่งของก็จะต้องใช้เงินที่มีราคาเทียบเท่ากับสินค้าที่แลกมาซึ่งเรียกว่าเป็นการซื้อหา แต่จากอดีตจนถึงปัจจุบันโดยมีช่วงระยะห่างกัน 10 ปี จะพบว่าเงินจำนวนเดียวกันไม่สามารถใช้แลกเปลี่ยนสินค้าซึ่งเคยแลกเปลี่ยนได้เมื่อ 10 ปีก่อน

จากการเปลี่ยนค่าของเงินไปตามเวลา ค่าของการเปลี่ยนแปลงได้ถูกกำหนดขึ้นมาเพื่อเป็นตัวปรับเปลี่ยนจำนวนเงินในแต่ละเวลาเพื่อให้มีค่าของเงินในแต่ละวันเท่ากัน

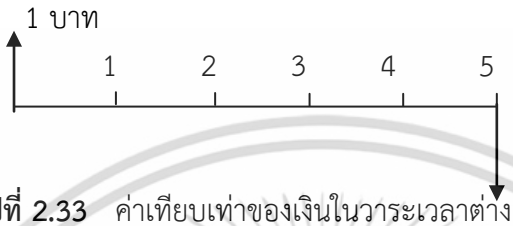
2.6.2.1 ดอกเบี้ยและอัตราดอกเบี้ย(Interest and Interest Rate)ดอกเบี้ย เป็นจำนวนเงินที่จ่ายให้เพื่อเป็นผลตอบแทนหรือผลประโยชน์เมื่อเกิดการกู้ยืมโดยเป็นผลประโยชน์ต่อผู้ให้กู้ในด้านของการลงทุน ดอกเบี้ยก็จะมีผลประโยชน์หรือกำไรที่เป็นผลตอบแทนจากการลงทุน

อัตราดอกเบี้ย คือ ดอกเบี้ยที่คิดจากเงินต้น 1 หน่วย ภายในระยะเวลา 1 หน่วยเวลาซึ่งในทางปฏิบัติ 1 หน่วยเวลาคือระยะเวลา 1 ปี 1หน่วยของเงินคือ 100หน่วย กรณีที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น ดอกเบี้ยจะเป็น 16 บาท เมื่อยืมเงิน 100 บาทครบ 1 ปี อัตราดอกเบี้ยก็จะเป็น 0.16 ต่อปี หรือ 16% ต่อปี หรือ ร้อยละ16 ต่อปี

2.6.2.2 ค่าเทียบเท่า(Equivalence) ของเงินที่เปลี่ยนไปตามเวลาก็คือ ของสองสิ่งมีค่าเท่าเทียมกัน โดยผลที่ได้ออกมาเหมือนกันไม่ว่าจะต่างปริมาณกันหรือไม่ ในทางเศรษฐศาสตร์ก็คือค่าของเงินที่ให้ผลตอบแทนหรือผลประโยชน์ที่เหมือนกัน ซึ่งจำนวนอาจจะไม่เท่ากันเมื่อวาระเวลาต่างกันโดยมีตัวประกอบของเวลาคือดอกเบี้ยเข้ามามีปัจจัย ดังแสดงในรูป2.33




**รูปที่ 2.33** ค่าเทียบเท่าของเงินในวาระเวลาต่างกันโดยมีตัวประกอบคือดอกเบี้ย

ในขณะทีฝากเงิน 1 บาทในปัจจุบันกับธนาคารในระยะเวลา 5 ปีข้างหน้าจะได้ดอกเบี้ยและเงินรวมจะได้เท่ากับ 1 บาทบวกดอกเบี้ย ในปัจจุบันจะมีค่าเทียบเท่ากับเงินจำนวน 1 บาทบวกดอกเบี้ยในอนาคตอีก 5 ปี โดยในระหว่าง 5 ปีนี้จำนวนเงินจะเพิ่มขึ้นจากอัตราดอกเบี้ยตามระยะเวลา โดยแสดงการเปลี่ยนแปลงของเงินตามเวลาสามารถเขียนเป็นแผนผังจำแนกลักษณะการไหลของเงินเป็นรายรับ(Receipt) และรายจ่าย (Payment) ณ เวลาใดๆได้ซึ่งเรียกว่าเป็นแผนภาพการไหลของเงินสด (Cash Flow Diagram) ซึ่งรายรับจะแทนด้วยขนาดของลูกศรบวกและรายจ่ายจะแสดงด้วยขนาดลูกศรในทางลบที่เป็นสัดส่วนกัน

2.6.2.3 ชนิดของดอกเบี้ย

1. ดอกเบี้ยเชิงเดี่ยว (Simple Interest) เป็นดอกเบี้ยที่จ่ายให้ในการกู้เงินโดยเป็นสัดส่วนตรงกับเวลาและเงินต้นที่กู้ยืมมา

จากอัตรากอกเบี้ย i ที่กำหนด

ในระยะเวลา 1 ปี จากเงิน 100 บาท จะต้องจ่ายดอกเบี้ย iบาท

ถ้าในระยะเวลา n ปี จากเงิน P บาท จะต้องจ่ายดอกเบี้ย Pniบาท

นั่นคือ ดอกเบี้ย I = Pni

2. ดอกเบี้ยเชิงซ้อน (Compound Interest) หรือดอกเบี้ยทบต้น จากกรณีของดอกเบี้ยเชิงเดี่ยวเมื่ออายุของดอกเบี้ยครบกำหนดในแต่ละงวด แต่ผู้กู้ยืมไม่นำดอกเบี้ยจ่ายให้แก่ผู้ถูกกู้เมื่อครบงวดจะเปลี่ยนสภาพไปเป็นเงินต้นอีกส่วนหนึ่งที่ผู้กู้ติดค้างอยู่ด้วย เพราะฉะนั้นในงวดต่อไปนอกจากดอกเบี้ยของเงินต้นต้องจ่ายแล้วยังมีดอกเบี้ยของดอกเบี้ยค้างชำระที่ต้องจ่ายเพิ่มอีก เรียกว่าดอกเบี้ยเชิงซ้อน หรือดอกเบี้ยทบต้น [21]

2.6.2.4 ข้อสังเกตการใช้สูตรในการคิดคำนวณเทียบค่า

สูตรที่ใช้มาจากการไหลของเงิน ดังนั้นการจะใช้สูตรคำนวณจำเป็นต้องดูรูปแบบที่มาของสูตรว่าเป็นเล่นเดียวกันกับที่จะใช้ในการคำนวณหรือไม่ ซึ่งโดยทั่วไปการไหลของเงินอาจประกอบไปด้วยรูปแบบหลายรูปแบบ ข้อสังเกตของรูปแบบที่ใช้สูตรดังนี้

1. จุดปลายปีของแต่ละปีจะเป็นจุดต้นปีของปีถัดไป
2. ค่า Pเป็นค่าปัจจุบันจะอยู่ที่จุดต้นปีของปีปัจจุบันใดๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ค่า F เป็นค่าอนาคตที่คิดที่จุดปลายปีของปีใดๆ

4. ค่า A เป็นค่าเงินงวดจะอยู่ที่จุดปลายปีของทุกๆปีที่กำหนด รูปแบบของสูตรความสัมพันธ์ระหว่าง P และ A นั้น A งวดแรกจะอยู่ที่ปลายปีเดียวกับ P หรือต้นปีถัดจากปีของ P รูปแบบของสูตรความสัมพันธ์ระหว่าง F และ A นั้น A งวดสุดท้ายจะอยู่ ณ จุดเวลาเดียวกับ F

2.6.2.5ความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์ดอกเบี้ย สามารถรวมถึงการเชื่อมโยงสัมประสิทธิ์พื้นฐานจากสูตรขึ้นเป็นค่าในการคำนวณที่อาจใช้แทนกันได้ เพื่อความสะดวกหรือกรณีที่ไม่มีในตารางกำหนด ซึ่งมีดังนี้

$$(P/F\ i,n) = \frac{1}{(F/P\ i,n)} \quad (2.3)$$

$$(F/A\ i,n) = \frac{1}{(A/F\ i,n)} \quad (2.4)$$

$$(P/A\ i,n) = \frac{1}{(A/P\ i,n)} \quad (2.5)$$

$(F/A\ i,n) = 1 + (F/P\ i,1) + (F/P\ i,2) + (F/P\ i,3) + \ldots\ldots\ldots + (F/P\ i,n-1)$

$(P/A\ i,n) = (P/F\ i,1) + (P/F\ i,2) + (P/F\ i,3) + \ldots\ldots\ldots\ldots + (P/F\ i,n)$

$(A/P\ i,n) = (A/F\ i,n) + i$

$(F/G\ i,n) = (A/G\ i,n)(F/A\ i,n)$

ในกรณีที่ไม่สามารถหาค่าของ n ในตารางได้นั้น สามารถใช้ผลคูณสัมประสิทธิ์ได้ดังนี้

$(F/G\ i,n) = (F/P\ i,n_1)(F/P\ i,n_2)\ldots\ldots\ldots\ldots (F/P\ i,n_k)$

$n = n_1 + n_2 + n_3 + \ldots\ldots\ldots + n_k$

**ตารางที่ 2.8**สูตรดอกเบี้ย ในการเทียบค่าเงิน

| ต้องการหา | | กำหนด | สัญลักษณ์ |
|---|---|---|---|
| P | = | F | (P/F,i,n) |
| F | = | P | (F/P,i,n) |
| P | = | A | (P/A,i,n) |
| A | = | P | (A/P,i,n) |

2.6.3ระยะเวลาคืนทุน (Payback period: PB)

ระยะเวลาที่กิจการได้รับผลตอบแทนและคืนทุนได้หลักเกณฑ์การตัดสินใจ คือ จะต้องเลือกโครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนที่เร็วที่สุดเพราะมีความเสี่ยงน้อยที่สุด โดยการหาระยะเวลาคืนทุนทำได้ดังสมการที่ 2.6

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินสดจ่ายลงทุนสุทธิ (Total investment)}}{\text{ต้นทุนการทำโครงการ}} \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพิจารณาว่าโครงการ ควรจะลงทุนหรือไม่ สามารถพิจารณาได้ดังนี้

ถ้า PB ของโครงการน้อยกว่า PB ที่กำหนด ควรลงทุน

ถ้า PB ของโครงการมากกว่า PB ที่กำหนด ไม่ควรลงทุน

ถ้า PB ของโครงการเท่ากับ PB ที่กำหนด ลงทุนหรือไม่ลงทุนก็ได้

ถ้าต้องเลือกโครงการเดียว ต้องเลือกโครงการที่ PB สั้นที่สุด

2.6.4มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)

ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับในแต่ละปีตลอดอายุโครงการกับมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนเริ่มต้นโครงการ ณ อัตราผลตอบแทนที่ต้องการ หรือต้นทุนของเงินทุนโครงการ หลักเกณฑ์ในการตัดสินใจ คือ จะต้องเลือกโครงการที่มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิมากกว่าศูนย์ เพราะโครงการลงทุนนั้นให้ผลตอบแทนมากกว่าต้นทุนของเงินทุนหรือหมายถึงโครงการนั้นมีผลกำไร โดยคำนวณได้จากสมการที่ 2.7

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{ES_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad (2.7)$$

โดยที่

n = อายุของโครงการ (เดือน)

$ES_t$ = ต้นทุนรายเดือน ตั้งแต่เดือนที่ 1 ถึง n

$I_0$ = เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ (Total Investment)

I = อัตราส่วนลด (Discount Rate)

การพิจารณาว่าโครงการ ควรจะลงทุนหรือไม่ สามารถพิจารณาได้ดังนี้

ถ้า NPV ของโครงการมากกว่า 0 ควรลงทุน

ถ้า NPV ของโครงการน้อยกว่า 0 ไม่ควรลงทุน

ถ้า NPV ของโครงการเท่ากับ 0 ลงทุนหรือไม่ลงทุนก็ได้

ถ้าต้องเลือกโครงการเดียว ต้องเลือกโครงการที่ NPV สูงที่สุด

2.6.5อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return: IRR)

ค่าอัตราผลตอบแทนภายใน คือ อัตราผลตอบแทนการลงทุนหรืออัตราส่วนลด (discount rate) หรืออัตราดอกเบี้ย (interest) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนภายใน คือ อัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิในการลงทุนมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งสามารถเขียนสมการของอัตราผลตอบแทนภายในโครงการได้ดังสมการที่ 2.8

ในการลงทุนโครงการขนาดใหญ่ มีการใช้เงินลงทุนสูง จึงจำเป็นที่ผู้ลงทุนต้องคำนวณหาอัตราผลตอบแทนที่คุ้มค่ากับการลงทุน เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับอัตราผลตอบแทนต่ำสุดที่สามารถตอบสนองความพึงพอใจ MARR(minimum attractive rate of return) ในกรณีที่ผู้ลงทุนกู้เงินจากแหล่งเงินกู้ อัตราผลตอบของโครงการที่ถูกเลือกจะต้องมีค่าสูงกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ กรณีลงทุนโดยใช้เงินส่วนตัวหรือของหน่วยงานเอง อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการที่ถูกเลือกจะต้องมีค่าสูงกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินฝาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$-I_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{ES_t}{(1+IRR)^t} = 0 \quad (2.8)$$

โดยที่

IRR = อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการลงทุน

$ES_t$ = ต้นทุนรายเดือน ตั้งแต่เดือนที่ 1 ถึง n

$I_0$ = เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ (Total Investment)

n = อายุของโครงการ(เดือน)

เกณฑ์การตัดสินใจว่าโครงการใดควรลงทุนหรือไม่ จะพิจารณาโดยเปรียบเทียบอัตราผลตอบแทนภายในIRR มีค่ามากกว่า MARR ก็สรุปได้ว่าโครงการดังกล่าวเหมาะแก่การลงทุนหรือกรณีที่เปรียบเทียบหลายโครงการ โครงการที่มี IRR สูงสุดจะเป็นโครงการที่ถูกเลือก

การพิจารณาว่าโครงการ ควรจะลงทุนหรือไม่ สามารถพิจารณาได้ดังนี้

ถ้า IRR ของโครงการมากกว่าMARR ควรลงทุน

ถ้า IRR ของโครงการน้อยกว่าMARRไม่ควรลงทุน

ถ้า IRR ของโครงการเท่ากับMARRลงทุนหรือไม่ลงทุนก็ได้

ถ้าต้องเลือกโครงการเดียว ต้องเลือกโครงการที่ค่า IRR สูงสุด

**2.7งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

Lu และคณะ (2010)[24]ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีไบโอฟิลเตอร์ทำการวิจัยการบำบัดก๊าซ $VOC_s$ได้แก่ ก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) เบนซีน (Benzene) โทลูอีน (Toluene) และไซลีน (Xylene) ด้วยเทคโนโลยีไบโอฟิลเตอร์พบว่า ที่อัตราการไหลของก๊าซ 600 L/h ความเร็วเชิงของเหลว 3.14 m/h, ค่าพีเอช 6–7 และอุณหภูมิ30 °C ให้ค่าประสิทธิภาพของการบำบัดของก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ เบนซีน โทลูอีน และไซลีนเรียงลำดับดังนี้ 100%, 65–70%, 93% และ 85–90% และเนื่องจากสาร $VOC_s$บางชนิดเช่น O-Xylene เป็นสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยากที่สุด มีประสิทธิในการบำบัดด้วยระบบการไบโอฟิลเตอร์ต่ำ อีกทั้งเมื่อผสมกับก๊าซโทลูอีนทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซโทลูอีนลดต่ำลง จึงได้มีการพัฒนาระบบไบโอฟิลเตอร์โดยใช้ระบบ UV photolysis มาใช้บำบัดก๊าซก่อนส่งเข้าสู่ระบบไบโอฟิลเตอร์ เพื่อช่วยให้ไอระเหยของสาร $VOC_s$เกิดการออกซิไดซ์ ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสาร $VOC_s$สูงขึ้น

ในงานวิจัยของ Moussaviและคณะ(2007) [25] ทำการศึกษาเปรียบเทียบระบบไบโอฟิลเตอร์แบบมีระบบ UV photolysis และไม่มีระบบ UV Photolysis ของการบำบัดก๊าซ $VOC_s$ผสมระหว่าง โทลูอีนและไซลีน (O-Xylene) ผลการวิจัยพบว่าการระบบไบโอฟิลเตอร์แบบมีระบบ UV Photolysis ร่วมด้วย ให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด (100 % ภายใน 2 สัปดาห์) รองลงมาคือระบบไบโอฟิลเตอร์แบบดั้งเดิม (ประสิทธิภาพการบำบัดประมาณ 80 %) และระบบ UV Photolysis อย่างเดียว (ประสิทธิภาพการบำบัดประมาณ 40 %)

สุวิมล ยสราโม (2551)[26]งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการกำจัดโทลูอีนในอากาศเสียด้วยวิธีการดูดซับ (Absorption) บนฟองแก๊สแอฟรอน(CGA) ร่วมกับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกซิแดนท์ชนิดโซเดียมไฮโปคลอไรท์(NaOCl) ในคอลัมน์ดูดซับ (Absorber) แบบทรงกระบอกกลวงที่ทำจากพลาสติกใสชนิดอะคริลิค มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง200 เซนติเมตร ฟองแก๊ส CGA เป็นฟองที่มีความเสถียร ไม่แตกง่าย ประกอบด้วยพื้นที่ผิวของสารลดแรงตึงผิว 2 ชั้น มีคุณสมบัติในการดูดซับ การผลิตฟองแก๊ส CGA มีการดำเนินการในถังกวนขนาด 50ลิตร ที่ความเร็วรอบ 500-5000 รอบต่อนาที โดยทำการกวนสลับที่วามเร็วรอบสูงและต่ำ การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดโทลูอีนในอากาศเสียประกอบด้วยตัวแปรดำเนินการ คือ ชนิดของสารลดแรงตึงผิว SDS (Anionic) และ CTAB (cationic) ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 1.0-5.0 CMC (Critical Micelle Concentration) ความเข้มข้นของ NaOCl 0.015-0.08 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของโทลูอีนในอากาศเสีย 100 – 2000 ppm ซึ่งนำไปสู่การหาสภาวะการดำเนินการที่เหมาะสมและการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายประสิทธิภาพของระบบ พบว่า SDS 1.0 CMC เป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดที่เหมาะสมในการเตรียมฟองแก๊ส CGA โดยความเข้มข้นของสารลกแรงตึงผิวที่มากกว่า 1.0CMC ไม่ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงขึ้น การใช้ NaOClร่วมในการบำบัดอากาศเสียทำให้ระบบมีประสิทธิภาพ และความเข้มข้นที่เหมาะสมของการใช้ NaCOl คือ 0.05 โมลต่อลิตร

ระพีพร ธนะนู (2553) [27] งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการออกแบบและประเมินราคาไซโคลน (Cyclones) เวทส์สครับเบอร์ (Wet Scrubbers) และเตาเผาก๊าซและไอ (Afterburners หรือ VOC Incinerators) ขั้นตอนและวิธีการออกแบบอุปกรณ์เหล่านี้อยู่ในงานวิจัย แต่ถูกนำมาบรรจุในโปรแกรมเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน โดยการออกแบบไซโคลนจะหาจากประสิทธิภาพรวมที่ต้องการในการกำจัดฝุ่น โดยใช้วิธีการลองผิดลองถูกเพื่อหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไซโคลน คำนวณหาขนาดคัทไซด์ของฝุ่นที่ถูกแยกด้วยประสิทธิภาพ 50 % (Cut Size) จนได้ประสิทธิภาพรวมตามที่ต้องการการออกแบบเวทสครับเบอร์ที่เน้นในการกำจัดฝุ่น จะใช้แบบจำลองที่ใช้ในการทำนายสัดส่วนของอนุภาคที่เวทสครับเบอร์ไม่สามารถดักจับไว้ได้โดยแบบจำลองที่ใช้จะแตกต่างกันตามชนิดของเวทสครับเบอร์ส่วนเวทสครับเบอร์ที่เน้นในการกำจัดก๊าซและไอ คือ Packed Bed Column จะใช้แบบจำลองทฤษฎีฟิล์มสองชั้นและใช้เดอะแกรม U.S Stoneware’s Generalized Pressure Drop Correlation ในการหาขนาดเส้นผ่านศูนย์ลางและความดันสูญเสียการออกแบบเตาเผาก๊าซและไอจะกำหนดอุณหภูมิในห้องเผาไหม้จากนั้นคำนวณหาปริมาณเชื้อเพลิงโดยใช้หลักการสมดุลมวลและพลังงาน แล้วจึงคำนวณหาขนาดของเตาเผาการประเมินราคาของอุปกรณ์แบ่งออกเป็นเงินลงทุนทั้งหมดและค่าใช้จ่ายรายปีที่เกิดจากการเดินระบบในส่วนของเงินทุนทั้งหมดสำหรับอุปกรณ์จะคำนวณจากสมการการประเมินราคาที่ได้จากผู้ลิตอุปกรณ์แต่ละชนิด ซึ่งราคาอุปกรณ์ที่คำนวณได้จะนำมาปรับเทียบให้เป็นราคา ณ ปัจจุบันโดยการคูณด้วยดัชนีปรับเปลี่ยนราคา ส่วนค่าใช้จ่ายรายปีจะขึ้นกับขนาดและสภาวะการทำงานของอุปกรณ์หลักรวมทั้งตัวแปรที่ขึ้นกับอุปกรณ์ควบคุมต่างๆสรุปผลที่ได้จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้คือได้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการออกแบบ ไซโคลน เวทสครับเบอร์และ เตาเผาก๊าซและไอ ภายในโปรแกรมประกอบไปด้วยโปรแกรมย่อยในการคำนวณหาขนาดของอุปกรณ์ค่าความดันสูญเสียพลังงานและทรัพยากรอื่นๆที่ใช้ในการเดินระบบ เงินลงทุนทั้งหมด และค่าใช้จ่ายรายปี

Christian Kennes, Eldon R. Rene and María C (2552)[28]งานวิจัยนี้กล่าวถึงกระบวนการทางชีวภาพในการควบคุมมลพิษอากาศซึ่งเป็นทางเลือกที่พัฒนาเทคโนโลยีสำหรับการบำบัดก๊าซเสียและการควบคุมมลพิษทางอากาศ โดยงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ ที่สำคัญใน2 ระบบและกำหนดค่า ศึกษานวัตกรรมหรือการใช้ปัจจุบันไว้ การบำบัดมลพิษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศระยะที่ 1 และ 2 ด้วยระบบกรองชีวภาพและระบบกรองของเหลว ด้วยระบบ ไบโอทริคคลิ่งฟิลเตอร์ (Biotrickling Filter), ไบโอสครับเบอร์ (Bioscrubber), ถังหมักแผ่นหมุนชีวภาพและ Biodrumระยะที่ 1 และ 2 เกิดการแพ่งกระจายของสารแวนลอยอยู่จึงจำเป็นต้องมีถังหมักเพื่อระงับการเจริญเติบโตของสารแขวนลอยเช่นเดียวกับการกำหนดส่วนประกอบของถังแบบไฮบริด บางส่วนของถังหมักเหล่านี้จะนำมาใช้อย่างเต็มรูปแบบสำหรับการแก้ไขปัญหาด้านมลพิษอากาศได้เป็นอย่างดี ในขณะที่โครงการส่วนใหญ่ยังอยู่ในขั้นตอนการวิจัยและพัฒนาในแลบ

GeroLesonและ Arthur M. Winer (2009) [29]งานวิจัยนี้กล่าวถึงนวัตกรรมการควบคุมมลพิษทางอากาศสำหรับปล่อยสารระเหยด้วยระบบการกรองชีวภาพซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ระเหย($VOC_s$)หรือสารมลพิษอากาศที่เกิดจากอินทรีย์สารที่มีการระบายอากาศผ่านวัสดุที่ใช้งานทางชีวภาพ เทคโนโลยีนี้ถูกนำมาใช้จนประสบความสำเร็จในประเทศเยอรมนีและเนเธอร์แลนด์ในการใช้งานอย่างเต็มรูปแบบ ในการควบคุมกลิ่นสารระเหยที่เป็นพิษและการปล่อยมลพิษทางอากาศจากความหลากหลายของอุตสาหกรรมและภาคประชาชน ประสบผลสำเร็จมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ เป็นเทคโนโลยีที่นิยมกันเนื่องจากต้นทุนต่ำสามารถให้ประโยชน์ทางเศรษฐกิจได้มากกว่าเทคโนโลยีบำบัดอากาศอื่นๆ หากนำไปใช้กับสารมลพิษที่สามารถย่อยสลายง่ายและความเข้มข้นต่ำๆจะเกิดผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมรวมถึงใช้พลังงานต่ำและหลีกเลี่ยงการขนถ่ายมลพิษ งานวิจัยนี้เล่าถึงประวัติศาสตร์และสถานการณ์ปัจจุบันของหลักการทางวิทยาศาสตร์และด้านวิศวกรรม การใช้งานของระบบกรองชีวภาพโดยเฉพาะแหล่งที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจก

BenoilGuieysse (2008) [30]งานวิจัยนี้กล่าวถึงการบำบัดอากาศเสีย ซึ่งยังไม่มีวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการกำจัด $VOC_s$ภายในอาคารเนื่องจากปัญหาความเข้มข้นที่ต่ำมาก ความหลากหลายและความแปรปรวนของ$VOC_s$แม้ว่าวิธีการทางชีวภาพจะมีประสิทธิภาพแต่เนื่องด้วยลักษณะเฉพาะของอากาศภายในอาคารและสภาพแวดล้อมในอาคาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิธีการใหม่จะต้องได้รับการพัฒนาในการบำบัดและรักษาความสามารถในสภาวะเหมาะสมภายใต้เงื่อนไขของความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่ไม่อาจรักษาอัตราการเติบโตของจุลินทรีย์ นอกจากนี้การบำบัดอากาศทางชีวภาพภายในอาคารจะต้องสามารถควบคุมปริมาณอากาศในสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมที่สุด โดยต้องใช้นวัตกรรมการพัฒนาทางด้านเทคนิคของการทดสอบโปรโตคอลที่เฉพาะเจาะจงและความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับจุลินทรีย์และกลไกของการบำบัดให้มากขึ้น

Reza Iranpour, Huub H.J. Cox, Marc A. Deshusses,b and Edward D. Schroederc(2005)[31] เป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบระบบตัวกรองชีวภาพและตัวกรองไบโอทริคคลิ่งสำหรับการบำบัดกลิ่นไฮโดรเจนซัลไฟด์ ($H_2S$), ลดสารประกอบอินทรีย์และสารระเหยง่าย ($VOC_s$) .ในการศึกษาพื้นที่นำร่องเกษตรกรรม 40 พื้นที่และระบบบำบัดน้ำเสียอย่างเต็มรูปแบบในพื้นที่เกษตรกรรมการออกแบบประสิทธิภาพในการลดมลพิษอากาศ ผลการสำรวจชี้ให้เห็นว่าทั้งระบบตัวกรองชีวภาพและตัวกรองไบโอทริคคลิ่งพบว่าทั้งสองระบบมีประสิทธิภาพในการรวมตัวและกำจัด $H_2S$และกำจัดกลิ่น $VOC_s$ได้เป็นอย่างดี ดังนั้นการบำบัดด้วยระบบทั้งสองจริงเป็นสิ่งที่ดีในการลด $VOC_s$ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งจากระบบบำบัดน้ำเสียและสิ่งอื่นๆที่ก่อให้เกิด ประสิทธิภาพการบำบัด $VOC_s$ต่ำกว่าบำบัด $H_2S$ ซึ่ง $H_2S$ มีอยู่ทั่วไป จึงควรดำเนินการลด $VOC_s$ ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในการก่อให้เกิดมลพิษและอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

Marc A. Deshusses and Huub (1999)[32] ในงานวิจัยปัจจุบันรูปแบบทั่วไปที่ได้รับการพัฒนาสำหรับการควบคุมมลพิษทางอากาศที่ช่วยให้การเลือกของการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

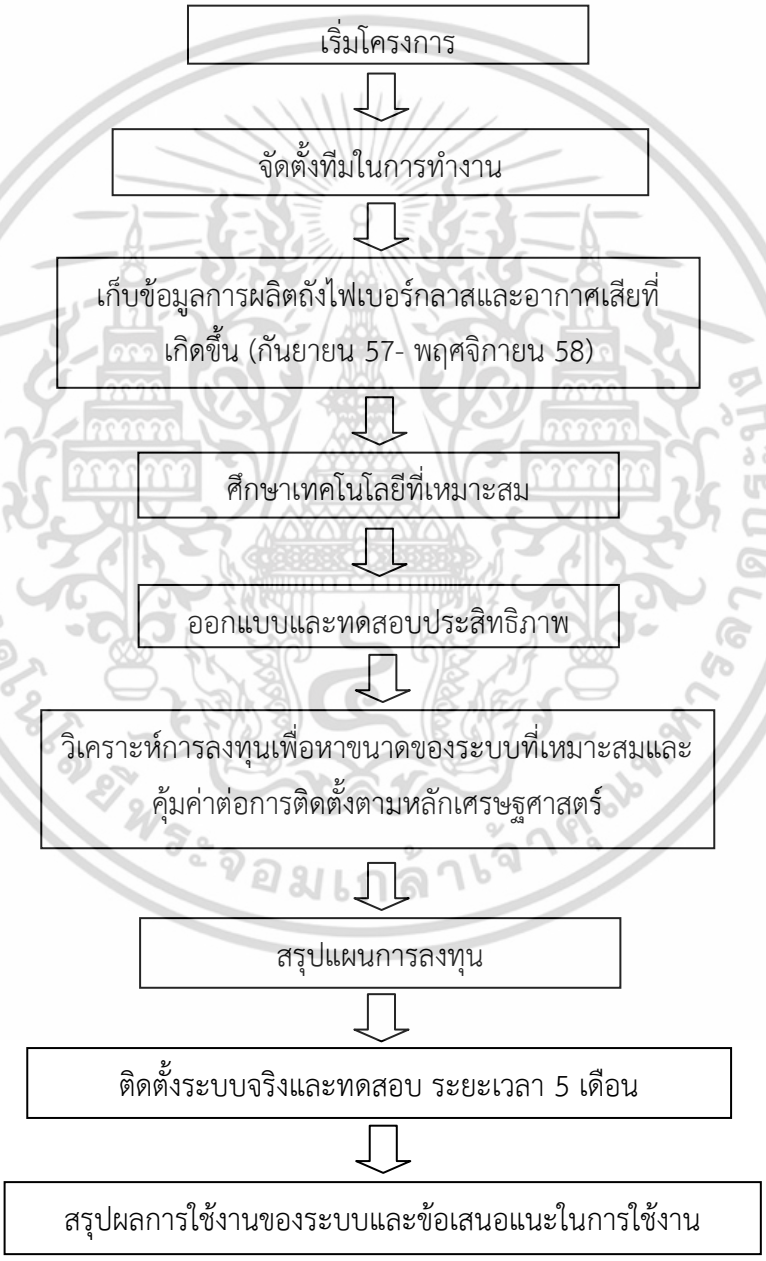
ของตัวกรองไบโอทริคคลิ่งในการบำบัดมลพิษทางอุตสาหกรรมใช้กระแส 10,000 $m^3$/hrปริมาณอากาศปนเปื้อน1.5 กรัมต่อลูกบาศ์กเมตร โทลูอีน ผลของไนโตรเจน (ไนเตรต) โหลดเข้าไปในระบบโดยพิจารณา ประสิทธิภาพในการกำจัดมลพิษและอัตราการเติบโตของจุลินทรีย์ใช้การจำลองรูปแบบของการโหลดไนเตรตในค่าใช้จ่ายบำบัดอากาศโดยรวมที่ได้รับและวัดไนเตรตอัตราโหลดที่ดีที่สุดก็ ผลปรากฏว่าระบบตัวกรองไบโอทริคคลิ่งได้ผลเป็นอย่างมากเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีระบบบำบัดอากาศแบบเดิมจากการศึกษาที่ดีที่สุดของค่าใช้จ่ายในการบำบัด คือต้องใช้ปริมาณสารอาหารที่โหลด 8 กรัม N-ไนเตรทต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน นี้แสดงให้เห็นค่อนข้างรุนแรงข้อจำกัด ของสารอาหาร ช่วงของการโหลดสารอาหารสำหรับค่าใช้จ่ายที่มีประสิทธิภาพการบำบัดประมาณ 4-30 กรัม N-ไนเตรต $m^3$/d วิธีการที่นำเสนอนี้ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับกำหนดของการออกแบบระบบที่ดีที่สุดและสภาพการใช้งานของระบบที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีดำเนินการวิจัยในแต่ละขั้นตอนโดยจะอธิบายรายละเอียดของการดำเนินการในแต่ละขั้นตอนโดยละเอียด อธิบายถึง วิธีการ รูปแบบ ขั้นตอน รวมไปถึงแบบฟอร์มต่างๆ ที่ใช้ในการบันทึกผลการศึกษา โดยมีขึ้นตอนการดำเนินงาน ดังต่อไปนี้

## 3.1 ขั้นตอนงานวิจัย




**รูปที่ 3.1** ขั้นตอนการศึกษางานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลขั้นตอนการศึกษางานวิจัยแสดงดังรูปที่ 3.1 เพื่อวางแผนงานและจัดทำตามขั้นตอน โดยขั้นตอนแรก ฝ่ายผู้บริหารจัดตั้งทีมงานของโครงการ ต่อมาเก็บข้อมูลรายละเอียดของปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น เช่น กระบวนการผลิต ผลตรวจวัด $VOC_s$ ในกระบวนการสเปรย์ชิ้นงาน ผลตรวจสุขภาพของพนักงาน เป็นต้น จากนั้นค้นหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการบำบัดอากาศเสียที่เกิดจากสารอินทรีย์ระเหยง่าย ($VOC_s$) ตลอดจนการออกแบบและติดตั้งด้วยหลักเศรษฐศาสตร์และวิศวกรรม สุดท้ายสรุปผลความคุ้มค่าต่อการลงทุน จากนั้นติดตามผลหลังจากติดตั้ง สรุปผลการใช้งานของระบบและข้อเสนอแนะการจัดทำโครงการในครั้งนี้ ซึ่งรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงานจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

## 3.2 เก็บข้อมูลการผลิตถังไฟเบอร์กลาสและอากาศเสียที่เกิดขึ้น

การเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ เป็นข้อมูลที่ชี้วัดสำคัญเพื่อการตัดสินใจลงทุนที่ง่ายขึ้นและเห็นผลได้จริง โดยข้อมูลที่เก็บมีดังหัวข้อต่อไปนี้

3.2.1 ข้อมูลการผลิตและผล $VOC_s$ ประเภทสารสไตรีนซึ่งใช้ในกระบวนการสเปรย์ชิ้นงาน เก็บข้อมูล 2 ช่วงเวลา คือ ก่อนการบำบัดอากาศเสียรวมระยะเวลา 5 เดือน (กันยายน 2557- มกราคม 2558) แสดงในตารางที่ 3.1 ส่วนหลังบำบัดจะกล่าวในหัวข้อที่ 3.7.1 ข้อมูลกระบวนการสเปรย์ชิ้นงานของถังไฟเบอร์กลาส ได่แก่ เวลาการสเปรย์ชิ้นงาน ค่าเฉลี่ย $VOC_s$ ของแต่ละชิ้นงาน ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการสเปรย์ของแต่ละชิ้นงาน ข้อมูลนี้จัดทำเพื่อให้ทราบว่า ชิ้นงานใดเกิดค่า $VOC_s$ สูงที่สุด เพื่อเฝ้าระวังและหาเทคโนโลยีการบำบัดที่เหมาะสมเข้ามาช่วยลด $VOC_s$ ในกระบวนการที่ศึกษาเป็นอาคารปิด อุณหภูมิอยู่ที่ 25-27 องศาเซลเซียส ซึ่ง $VOC_s$ ประเภทสารสไตรีน สามารถระเหยได้ในอุณหภูมิห้องและความดันปกติ

**ตารางที่ 3.1** ตารางข้อมูลการผลิตและผล $VOC_s$ ที่วัดขณะผลิตถังไฟเบอร์กลาส

| Product name | Material(kg) | $VOC_s$ | Time Spray |
|---|---|---|---|
| | | | |
| | | | |
| | | | |

หลังจากได้ข้อมูลในตารางที่ 3.1 จัดทำกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ชื่อผลิตภัณฑ์ (Product name), $VOC_s$ และวัตถุดิบ (Material) พิจารณากราฟดังกล่าว เพื่อหาความสัมพันธ์และแก้ไขปัญหาอย่างตรงจุด ในการหาเทคโนโลยีที่ช่วยลดปริมาณความเข้มข้น $VOC_s$ ประเภทสารสไตรีน หากความเข้มข้น $VOC_s$ สูง เป็นผลให้เกิดร้องร้องเรียนทั้งภายในและภายนอก ผลกระทบต่อสุขภาพของพนักงาน ซึ่งแสดงในหัวข้อถัดไป

3.2.2 ข้อมูลข้อร้องเรียนด้านสิ่งแวดล้อมทั้งภายในและภายนอก โดยติดตามข้อร้องเรียนก่อนติดตั้งระบบบำบัดอากาศเสียรวมระยะเวลา 5 เดือน (กันยายน 2557- มกราคม 2558) แสดงดังตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 3.2** บันทึกข้อร้องเรียน

| Date | รายละเอียดที่ร้องเรียน | สาเหตุ | ผู้ร้องเรียน |
|---|---|---|---|
| | | | |
| | | | |

3.2.3 ข้อมูลตรวจสุขภาพของพนักงาน ได้แก่ สมรรถภาพการทำงานของปอด (Lung) ซึ่งเป็นข้อมูลการตรวจสุขภาพประจำปีของพนักงาน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวได้จากหน่วยงานความปลอดภัยภายในโรงงาน ระยะเวลา 2 ปี ก่อนติดตั้งระบบบำบัดอากาศเสีย ข้อมูลตรวจสุขภาพพนักงาน ปี 2556 และ 2557 แสดงดังตารางที่ 3.3 ซึ่งมีพนักงานปฏิบัติงานในพื้นที่ทั้งหมด 20 คน แบ่งตามอายุงานี่ปฏิบัติงาน ดังตารางที่ 3.4

**ตารางที่ 3.3** ผลการตรวจสุขภาพปอดของพนักงานในกระบวนการผลิต

| ผลการตรวจ | |
|---|---|
| ปี 2556 | ปี 2557 |
| | |
| | |
| | |

**ตารางที่ 3.4** ตารางอายุการปฏิบัติงานของพนักงานผลการตรวจสุขภาพปอดผิดปกติ

| คนที่ | อายุงาน | ชั่วโมงการทำงาน | รวม ชั่วโมงการทำงานทั้งหมด |
|---|---|---|---|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |

เนื่องจากพนักงานการได้รับสารเคมีจากสารอินทรีย์ระเหยง่าย ($VOC_s$) ส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจของพนักงาน โดยสามารถเข้าไปในร่างกาย 3 ทาง คือ การกิน การสัมผัสและการหายใจ อาการเบื้องต้นที่ได้รับ ได้แก่ เจ็บคอ อาเจียน หากได้รับเป็นประจำสารเคมีประเภทสารอินทรีย์ระเหยง่ายซึ่งอยู่ในกลุ่มสารก่อมะเร็ง หากสะสมในร่างกายส่งผลให้เป็นโรคมะเร็งและเสียชีวิตลงไปในที่สุด ข้อมูลการตรวจสุขภาพประจำปีเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นในการศึกษาและเป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีบำบัดอากาศเสีย แสดงในตารางที่ 3.3 และได้วิเคราะห์อายุงานที่พนักงานปฏิบัติงานตั้งแต่เริ่มทำงาน เพื่อวิเคราะห์สาเหตุที่แท้จริง ดังตารางที่ 3.4 เพราะพนักงานปฏิบัติงานได้รับผลกระทบจาก $VOC_s$ ประเภทสไตรีน ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่ดีหากมีระบบบำบัดอากาศเสียก่อนปล่อยออกสู่ภายนอก ช่วยลดความเข้มข้นของสารเคมีในกระบวนการผลิต รวมทั้งลดความเสี่ยงให้กับพนักงานในการเกิดโรคทางเดินหายใจหรือโรคต่างๆ ตามมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.3 ศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสม

การศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการบำบัดอากาศเสียประเภทสารอินทรีย์ระเหยง่าย ($VOC_s$) ทีมงานโดยผู้จัดการฝ่ายโรงงาน หน่วยงานวิจัยและพัฒนา ผู้จัดการฝ่ายผลิต เจ้าหน้าที่สิ่งแวดล้อม และทีมงาน ทำการศึกษาหาข้อมูลเทคโนโลยีต่างๆ ได้แก่ การปล่อยอากาศจากที่สูง สารกลบกลิ่นหรือระงับกลิ่น (Order Neutralizer) การควบแน่นและนำกลับมาใช้ใหม่ (Condensation) ระบบเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion) ระบบการเผาไหม้โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา(Catalytic Combustion) ระบบออกซิเดชัน (Oxidation) ระบบสครับบิง (Scrubbing) ระบบดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon Adsorption) ระบบชีวภาพ (Bio Filtration) และเทคนิคเทคโนโลยีสะอาดด้วยวิธีการลดสารเคมี ณ แหล่งกำเนิด ซึ่งวิเคราะห์ตามเกณฑ์ที่ทางทีมงานกำหนดซึ่งได้จากข้อดี-ข้อเสียของแต่ละระบบระบบ โดยใช้หลักการ Scoring Model แสดงดังตารางที่ 3.5

**ตารางที่ 3.5** น้ำหนักเกณฑ์ในการเลือกเทคโนโลยีบำบัดอากาศเสีย

| เทคโนโลยี | เงินลงทุน W1 = 8 | ค่าใช้จ่ายดำเนินการ W2 = 8 | ค่าไฟฟ้า W3 = 7 | สารเคมี W4 = 6 | ประสิทธิภาพ W5 = 10 | อันตราย W6=10 | คะแนนรวม |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

**หมายเหตุ** : W1-W5 คือ น้ำหนักแต่ละเกณฑ์การให้คะแนน

**ตารางที่ 3.6** เกณฑ์การให้คะแนน

| รายการ / คะแนน | (3) | (2) | (1) |
|---|---|---|---|
| เงินลงทุน | 1,000-2,000 บาทต่อการไหลของอากาศ 1 ลบ.ม. ต่อนาที | 2,000-3,000 บาทต่อการไหลของอากาศ 1 ลบ.ม. ต่อนาที | 3,000 บาทต่อการไหลของอากาศ 1 ลบ.ม. ต่อนาทีขึ้นไป |
| ค่าใช้จ่ายดำเนินการ | ไม่มีเครื่องมือ เครื่องจักรและอุปกรณ์เสริม ไม่มีของเสียที่เกิดขึ้น | มีระบบทำความเย็นหรือระบบพัดลม ใช้ระบบน้ำ มีของเสีย | มีระบบควบคุม มีน้ำเสียปนเปื้อนเคมีต้องกำจัด ใช้เครื่องจักร |
| ค่าไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิง | ไม่ใช้เชื้อเพลิงและไฟฟ้า | ใช้ไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิง | ใช้เชื้อเพลิงและไฟฟ้า |
| สารเคมีที่ใช้ | ไม่ใช้เลย | ใช้น้ำหรือ | น้ำและสารอาหาร |
| ประสิทธิภาพ | 85 % ขึ้นไป | 70-85% | ต่ำกว่า 70% |
| มลพิษ | ไม่เกิดผลกระทบด้าน น้ำ อากาศ และของเสีย | เกิดผลกระทบ น้ำ อากาศ และของเสีย 1 หรือ 2 ทาง | เกิดผลกระทบ น้ำ อากาศ และของเสีย ทั้ง 3 ทาง |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมนี้ผู้ที่สามารถตัดสินใจในการเลือก คือ ผู้จัดการฝ่ายวิจัยและพัฒนา ผู้จัดการโรงงาน พิจารณาข้อมูลร่วมกัน ส่วนผู้ประเมินคือ ผู้จัดการฝ่ายผลิตทุกแผนกที่เกี่ยวข้อง ทีมงานวิจัยทุกท่าน โดยระบบที่คัดเลือก ต้องมีคะแนนระหว่าง 110-147 คะแนนเท่านั้น ในการให้คะแนนทั้งหมด คิดตามอัตราการไหล เมื่อได้ตารางน้ำหนักเกณฑ์การเลือกเทคโนโลยีบำบัดอากาศเสียเรียบร้อยแล้ว จากนั้นทีมงานได้ตั้งเกณฑ์การให้คะแนนของแต่ละเทคโนโลยีขึ้น ดังตารางที่ 3.6 เพื่อความคุมค่าและคัดเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมที่สุด

**ตารางที่ 3.7** การคำนวณคะแนน

| คะแนน | ต่ำ (3) | ปานกลาง (2) | สูง (1) |
|---|---|---|---|
| W1 (8) | 24 | 16 | 8 |
| W2 (8) | 24 | 16 | 8 |
| W3 (7) | 21 | 14 | 7 |
| W4 (6) | 18 | 12 | 6 |
| W5 (10 | 30 | 20 | 10 |

เกณฑ์การตัดสินใจเลือก

85-117 คะแนน ผ่านเกณฑ์

ต่ำกว่า 85 คะแนน ไม่ผ่านเกณฑ์

เมื่อผู้ประเมินได้ร่วมลงคะแนนตามเกณฑ์ที่กำหนดเรียบร้อยแล้ว จากนั้นคำนวณคะแนนโดยนำน้ำหนักคูณด้วยคะแนน ดังแสดงในตารางที่ 3.7 ซึ่งเทคโนโลยีที่ผ่านเกณฑ์จะต้องมีคะแนนระหว่าง 85-117 คะแนน และมีผู้ให้คะแนนไม่ต่ำกว่า 12 คนจากผู้ประเมินทั้งหมด 15 คน หรือต้องไม่ต่ำกว่า 80% ของจำนวนผู้ประเมิน จากนั้นออกแบบเทคโนโลยีที่คัดเลือกได้ ตามหัวข้อถัดไป

## 3.4 ออกแบบและทดสอบประสิทธิภาพ

ทำการเลือกเทคโนโลยีที่ทีมงานและผู้ร่วมประเมินให้คะแนนสูงที่สุด โดยระบบที่เลือกคือ ระบบ บำบัดอากาศเสียแบบชีวภาพ เนื่องจากเป็นระบบการบำบัดกลิ่นที่มีประสิทธิภาพสูง โดยอาศัยการเลี้ยงจุลินทรีย์ให้เกาะติดกับผิวของวัสดุตัวกลาง เพื่อให้จุลินทรีย์บำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ปนมากับอากาศเสีย เป็นระบบที่ไม่ต้องใช้สารเคมี ไม่อันตราย ซึ่งขั้นตอนในการออกแบบมีดังนี้

3.4.1 กำหนดเงื่อนไขในการออกแบบหรือข้อกำหนดข้อมูลในการออกแบบ เช่น ปริมาณอากาศเสีย ความเข้มข้นของสารระเหยง่าย $VOC_s$ ความเร็วของอากาศผ่านชั้นตัวกลาง< 0.5 m/s และเวลาสัมผัสชั้นตัวกลาง

3.4.2 กำหนดรายการคำนวณที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

3.4.2.1 คำนวณหัวดูดอากาศและท่อดูดอากาศ [22]

$$Q = V(10X^2 + A) \quad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ Q = อัตราการไหลของอากาศที่เข้าหัวดูด ($m^3/s$)

V = ความเร็วของอากาศ (ความเร็วจับยึด) ในแนวศูนย์กลองที่ระยะห่าง X จากด้านหน้าหัวดูด (m/s)

X = ระยะห่างในแนวศูนย์กลางจากด้านหน้าหัวดูดถึงจุดที่ต้องการดึงสารปนเปื้อนเข้าหัวดูด (m)

A = พื้นที่หน้าตัดช่องเปิดของหัวดูด ($m^2$)

จะได้อัตราการไหลและจำนวนหัวดูดอากาศ โดยกำหนดค่า A, V และ

การคำนวณท่อดูดอากาศ

$$Q = AV \quad (3.2)$$

เพื่อหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่เหมาะกับอัตราการไหลของอากาศ และจำนวนหัวดูดและท่อดูดอากาศ

3.4.2.2 คำนวณปริมาตรถัง

ใช้สมการ ที่ 3.2 คือ Q = AV

โดย พื้นที่ถังเป็นทรงกลม ฉะนั้น $A = \pi r^2$ ค่าที่ต้องการทราบคือ r แทน r ในสมการที่ 3.2

$$Q = \pi r^2 V \quad (3.3)$$

3.4.2.3 การคำนวณหาชั้นตัวกลางและวัสดุที่ใช้เป็นตัวกลางในการดูดซับและเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ ซึ่งมีหลักการคำนวณดังนี้ [23]

ปริมาณมีเดียที่ต้องการ = อัตราการไหลของอากาศเสีย x ระยะเวลาสัมผัส (3.4)

เลือกขนาดถังไฟเบอร์กลาสโดยกำหนดตามพื้นที่และขนาดที่ต้องการ จากนั้นหาความเร็วที่ผ่านตัวกลางคำนวณจากสมการที่ 3.5

$$\text{ความเร็วที่ผ่านตัวกลาง} = \frac{\text{อัตราการไหล}}{\text{พื้นที่หน้าตัด}} \quad (3.5)$$

$$\text{ความสูงของชั้นมีเดียที่ต้องการ} = \frac{\text{ปริมาตรมิเดีย}}{\text{พื้นที่หน้าตัด}} \quad (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.5 วิเคราะห์การลงทุนเพื่อหาขนาดของระบบที่เหมาะสมและคุ้มค่าตามหลักเศรษฐศาสตร์

เมื่อได้ทำการเลือกและออกแบบระบบบำบัดบำบัดอากาศเสียที่เหมาะสมแล้ว ทำให้ทราบส่วนประกอบของระบบบำบัดอากาศเสีย ในขั้นตอนนี้จะเป็นการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ โดยข้อมูลส่วนประกอบนั้นเป็นการแจกแจงค่าใช้จ่าย วัสดุ-อุปกรณ์ทั้งหมดในการออกแบบ ผลิต ติดตั้ง ตลอดจนอายุการใช้งานและการบำรุงรักษา เมื่อมีค่าใช้จ่ายในการออกแบบและติดตั้ง ก็ต้องมีผลประโยชน์ที่ได้รับ เช่น ลดเวลาในการรับข้อร้องเรียน ลดความเสี่ยงต่อการปิดปรับปรุงโรงงานและลดค่าใช้จ่ายในส่วนค่าแรงพนักงานที่ต้องเสียเวลา เป็นต้น ผลประโยชน์ที่ได้รับ แสดงดังตารางที่ 3.5 เพื่อคำนวณหาจุดคุ้มทุน

**ตารางที่ 3.8** ค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ที่ได้รับ

| ลำดับ | รายการ | ราคา |
|---|---|---|
| | | |
| | | |
| | | |

จากข้อมูลในตารางที่ 3.8 นำมาคำนวณด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อหาผลตอบแทนและคืนทุน โดยใช้หลักเกณฑ์การตัดสินใจ คือ ระยะเวลาคืนทุน (PB) น้อยกว่าอายุของโครงการถือว่าน่าลงทุน แต่ทั้งนี้ต้องหาค่า NPV และ IRR ควบคู่ไปด้วย เนื่องจากวิธีนี้ไม่ได้คำนึงถึงผลประโยชน์ที่จะได้รับหลังระยะเวลาคุ้มทุน การวิเคราะห์และประเมินโครงการได้โดยสูตรคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนคำนวณได้จากสมการที่ 3.7

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (PB)} = \text{จำนวนงวดที่คืนทุน} + \frac{\text{เงินที่ไม่คืนทุน}}{\text{กระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในปีที่คืนทุน}} \quad (3.7)$$

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) หรือต้นทุนของเงินทุนโครงการหลักเกณฑ์ในการตัดสินใจ คือ จะต้องเลือกโครงการที่มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิมากกว่าศูนย์ เพราะโครงการลงทุนนั้นต้องได้ผลตอบแทนมากกว่าต้นทุนของเงินทุนหรือหมายถึงโครงการนั้นมีผลกำไร โดยคำนวณได้จากสมการที่ 3.8

$$NPV = \sum_{t=0}^{n} \frac{Est}{(1+i)^t} - l_0 \quad (3.8)$$

โดยที

n = อายุของโครงการ (เดือน)

$ES_t$ = กระแสเงินสดที่ได้รับ ณ ช่วงเวลา t

$I_0$ = เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ (Total Investment)

I = อัตราส่วนลด (Discount Rate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เป็นอัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของรายรับจากโครงการเท่ากับมูลค่าปัจจุบันสุทธิ เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความสามารถในการทำกำไรของโครงการ สามารถคำนวณได้จากดังสมการที่ 3.9

$$-l_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{Est}{(1+IRR)^t} = 0 \qquad (3.9)$$

โดยที่

IRR = อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการลงทุน

$ES_t$ = กระแสเงินสดที่ได้รับ ณ ช่วงเวลา t

$I_0$ = เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ (Total Investment)

n = อายุของโครงการ (ปี)

จากการคำนวณด้านเศรษฐศาสตร์สามารถสรุปการลงทุนได้ดังหัวข้อถัดไป

## 3.6 สรุปแผนการลงทุน

จากการคำนวณด้านเศรษฐศาสตร์ โดยวิเคราะห์ตามเกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้ของโครงการดังแสดงในตารางที่ 3.9 พบว่า หาก NPV มากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ IRR มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ MARR และ PB คือระยะเวลาคืนทุน หากใช้ระยะเวลาสั้นกว่าอายุโครงการ ในการคืนทุนก็ถือว่าดี และเหมาะแก่การลงทุน ต้องพิจารณาให้ควบคู่กันทั้ง 3 ค่า ถึงจะสรุปผลการลงทุนที่เหมาะสมได้

**ตารางที่ 3.9** เกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้ของโครงการ

| การลงทุน | NPV | IRR | PB |
|---|---|---|---|
| คุ้มค่า | >0 | >MARR | <life time |
| ไม่คุ้มค่า | <0 | <MARR | >life time |
| ไม่มีความแตกต่าง | =0 | =MARR | =life time |

ทั้งนี้ไม่ว่าผลออกมาจะเป็นอย่างไรก็ตาม ระบบบำบัดอากาศเสียยังคงต้องติดตั้ง เนื่องจากสารอินทรีย์ระเหยง่าย ($VOC_s$) ส่งผลกระทบด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดข้อร้องเรียนส่งผลต่อสุขภาพของตัวพนักงาน ซึ่งหากติดตั้งระบบบำบัดอากาศเสีย ผลจากการติดตั้งสามารถเปรียบเทียบข้อมูลร้องเรียนก่อนและหลังการปรับปรุงและผลตรวจวัด $VOC_s$ ทำให้ทราบประสิทธิภาพของระบบบำบัดอากาศเสีย เพื่อสร้างความเชื่อมั่นให้กับพนักงาน โรงงาน ชุมชนและโรงงานข้างเคียง รายละเอียดการติดตั้งและข้อมูลหลังติดตั้งระบบบำบัดอากาศเสีย แสดงดังหัวข้อ 3.7 ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.7 ติดตั้งระบบจริงและทดสอบ

หลังจากการทดลองประสิทธิภาพของระบบต้นแบบและวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์เรียบร้อยแล้ว จากนั้นทำการติดตั้งระบบขนาดจริงเพื่อครอบคลุมทั้งกระบวนการสเปรย์ชิ้นงานถังไฟเบอร์กลาสทั้งหมด 4 จุด และติดตามผลการใช้งานโดยใช้การเปรียบเทียบ ดังนี้

3.7.1 ผลวิเคราะห์ $VOC_s$ หลังติดตั้งระบบบำบัดอากาศเสียทั้งหมด 4 ชุด ตรวจติดตามเป็นเวลา 5 เดือน(กรกฎาคม 2558 – พฤศจิกายน 2558) แสดงดังตารางที่ 3.10

**ตารางที่ 3.10** บันทึกผลตรวจวัด $VOC_s$ หลังการติดตั้งระบบบำบัดอากาศเสีย

| วันที่ | ครั้งที่ | ความเร็วลม | $VOC_s$ (ppm) | | % Removel |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | In | out | |
| | 1 | | | | |
| | 2 | | | | |

จากตารางบันทึกผลตรวจวัด $VOC_s$ หลังการติดตั้งโดยการเปรียบเทียบค่า $VOC_s$ ก่อนเข้าระบบบำบัดและหลังเข้าระบบบำบัด หากระบบบำบัดมีประสิทธิภาพในการบำบัด $VOC_s$ หลังจากผ่านระบบบัดแล้ว จะต้องน้อยกว่า $VOC_s$ ก่อนเข้าระบบบัด

3.7.2 ตารางเปรียบเทียบผลข้อร้องเรียนทั้งภายในและภายนอกหลังจากติดตั้งระบบบำบัดอากาศเสีย แสดงดังตารางที่ 3.11 เพื่อเปรียบเทียบข้อร้องเรียนก่อนและหลังการติดตั้งระบบบำบัดอากาศเสีย หากข้อร้องเรียนลดลงแสดงว่าระบบบำบัดอากาศเสียใช้ได้ผล เกิดความน่าเชื่อถือในการแก้ไขปัญหา โดยเปรียบเทียบก่อนติดตั้งระบบบำบัดอากาศเสีย (กันยายน 2557- มกราคม 2558) และหลังการติดตั้งระบบบำบัดอากาศเสีย (กรกฎาคม 2558 – พฤศจิกายน 2558)

**ตารางที่ 3.11** ตารางข้อร้องเรียนก่อนและหลังการติดตั้งระบบบำบัดอากาศเสีย

| ผู้ร้องเรียน | จำนวนข้อร้องเรียน | |
|---|---|---|
| | ก่อนการติดตั้ง | หลังการติดตั้ง |
| ชุมชน | | |
| โรงงานข้างเคียง | | |
| โรงเรียน | | |

3.7.3 ตารางเปรียบเทียบผลสุขภาพของพนักงานที่ทำงานภายในกระบวนการสเปรย์ชิ้นงาน แสดงดังตารางที่ 3.12 เพื่อเป็นข้อมูล หากมีการติดตั้งระบบบำบัดอากาศเสียเรียบร้อยแล้ว พนักงานจะมีสุขภาพดีขึ้นหรือไม่ โดยเปรียบเทียบผลการตรวจสุขภาพประจำปี ก่อนการติดตั้ง ในปี 2556 และ 2557 กับ ผลตรวจสุขภาพหลังการติดตั้งระบบบำบัด ในปี 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 3.12** ตารางแสดงผลการตรวจสุขภาพก่อนและหลังการติดตั้งระบบบำบัดอากาศเสีย

| ผลการตรวจ | | |
|---|---|---|
| ปี 2556 | ปี 2557 | ปี 2558 |
| | | |
| | | |
| | | |

เมื่อได้จำนวนพนักงานแล้วคำนวณอายุงานของแต่ละคน ดังแสดงในตารางที่ 3.13 เพื่อพิจารณาความเป็นไปได้ที่เกิดขึ้นจากสาร VOC$_s$ จริงหรือไม่ ซึ่งอาจจะเกิดจากหลายปัจจัย

ตารางที่ 3.13 ตารางอายุการทำงานของพนักงานที่มีปัญหาสุภาพปอด

| คนที่ | อายุงาน | ชั่งโมงการทำงานรวม (285วันต่อปี) |
|---|---|---|
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |

## 3.8 สรุปผลการใช้งานจริงและข้อเสนอแนะ

การสรุปจะมีเนื้อหาเกี่ยวกับปัญหาในการทำงาน ผลกระทบที่เกิดขึ้นหากไม่ติดตั้งระบบ เปรียบเทียบผลข้อร้องเรียนและผลตรวจสุขภาพทั้งก่อนและหลังการติดตั้งระบบบำบัดอากาศเสีย สุดท้ายกล่าวถึงความคุ้มค่าในการลงทุน รวมทั้งข้อเสนอแนะและผลที่ได้รับจากการติดตั้งระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4
# ผลการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงสภาพทั่วไปของโรงงานที่เป็นกรณีศึกษา ข้อมูลผลกระทบที่เกิดขึ้นจากสารอินทรีย์ระเหยง่าย ($VOC_s$) ข้อมูลในการศึกษาระบบบำบัดอากาศเสียที่เหมาะสมในการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่าย ($VOC_s$) ข้อมูลการติดตั้งและออกแบบระบบบำบัดอากาศเสีย ตลอดจนข้อมูลวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ในการตัดสินใจลงทุนติดตั้งระบบบำบัดอากาศเสีย และการติดตามผลหลังจากติดตั้ง ตามลำดับ

## 4.1 ข้อมูลการผลิตถังไฟเบอร์กลาสและอากาศเสียที่เกิดขึ้น

4.1.1 ข้อมูลโดยทั่วไปของโรงงาน

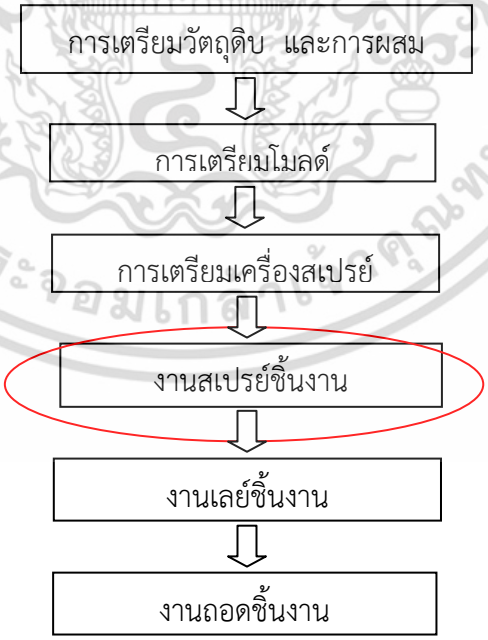
โรงงานที่เป็นกรณีศึกษาเป็นโรงงานผลิตและจัดจำหน่ายวัสดุก่อสร้าง อาคาร และผลิตภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อมประเภทถังไฟเบอร์กลาส ถังกักเก็บน้ำพลาสติก เป็นต้น

ที่ตั้งโรงงาน : เขตนิคมอุตสาหกรรมกบินทร์บุรี ต.หนองกี่ อ.กบินทร์บุรี จ.ปราจีนบุรี

ก่อตั้งเมื่อ : พ.ศ. 2518

จำนวนพนักงาน : 315 คน

4.1.1.1 ข้อมูลโดยทั่วไปของโรงงาน



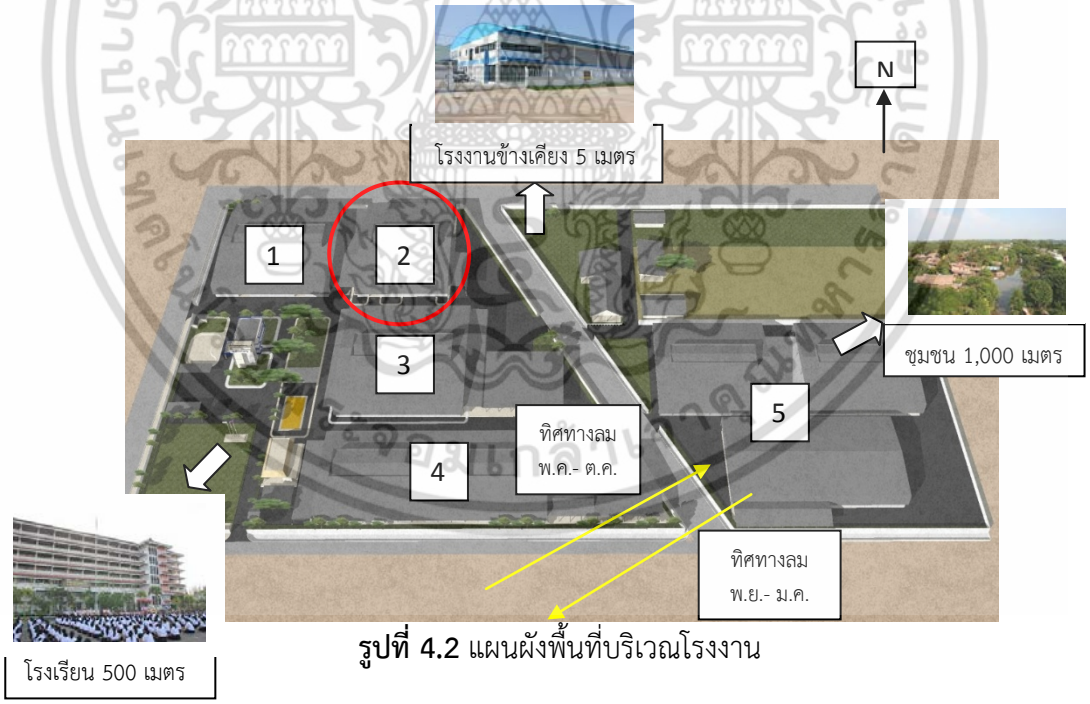

**รูปที่ 4.1** แผนผังกระบวนการผลิตถังไฟเบอร์กลาส

กระบวนการผลิตถังไฟเบอร์กลาสแสดงดังรูปที่ 4.1 จากการสำรวจพื้นที่โดยรอบกระบวนการผลิต พบว่า กระบวนการสเปรย์ถังไฟเบอร์กลาสส่งผลให้เกิดกลิ่นจากสารอินทรีย์ระเหย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง่ายมากที่สุด เพราะมีวัตถุดิบเป็นแหล่งกำเนิดกลิ่น คือ สารอินทรีย์ระเหยง่าย ($VOC_s$) ประเภทสไตรีน ดังนั้นขอบเขตศึกษาเฉพาะขั้นตอนการสเปรย์ถังไฟเบอร์กลาสเท่านั้น เมื่อได้ข้อมูลกระบวนการที่เกิดปัญหาแล้วจากนั้นวิเคราะห์พื้นที่ตั้งบริเวณอาคารผลิตดังกล่าว ดังหัวข้อถัดไป

4.1.1.2 แผนผังพื้นที่บริเวณโรงงานกรณีศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 4.2 จากข้อมูลแผนผังของโรงงานกรณีศึกษา พบว่า ณ อาคารที่ 2 เป็นโรงผลิตถังไฟเบอร์กลาสขนาดใหญ่ ปัญหาของขั้นตอนการสเปรย์ถังไฟเบอร์กลาสคือ เกิดกลิ่นจากสารอินทรีย์ระเหยง่าย ($VOC_s$) ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพระบบทางเดินหายใจของพนักงานภายในโรงงานเป็นอย่างมาก นอกจากนี้กลิ่นรบกวนดังกล่าวยังส่งผลกระทบถึงโรงงานข้างเคียงและชุมชนภายนอก โดยในช่วงเดือนพฤษภาคม - ตุลาคม ทิศทางลมพัดจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ไปทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศทางลมจะพัดอากาศเสียไปยังเขตชุมชนขนาดใหญ่ซึ่งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของโรงงาน ห่างจากโรงงานประมาณ 1000 เมตร ส่งผลต่อสุขภาพทางเดินหายใจของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชนอย่างมาก ส่วนในช่วงเดือนพฤศจิกายน - มกราคม ทิศทางลมพัดจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือไปทิศตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งทิศทางลมจะพัดอากาศเสียไปยังโรงเรียนมัธยมขนาดใหญ่ซึ่งอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของโรงงาน ห่างจากโรงงานประมาณ 500 เมตร ส่งผลต่อสุขภาพทางเดินหายใจของนักเรียนโรงเรียนดังกล่าว ยิ่งไปกว่านั้นทิศเหนือของอาคาร 2 ห่างจากกำแพงโรงงานประมาณ 5 เมตร ติดกับโรงงานข้างเคียงทำให้อากาศเสียถูกพัดเข้าไปภายในบริเวณของโรงงานข้างเคียงตลอดปี ส่งผลต่อสุขภาพทางเดินหายใจของพนักงานโรงงานข้างเคียงเป็นอย่างมาก จึงเป็นสาเหตุให้ต้องศึกษาความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยง่าย ($VOC_s$) ประเภทสารสไตรีน ในกระบวนการผลิตและหาวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าว



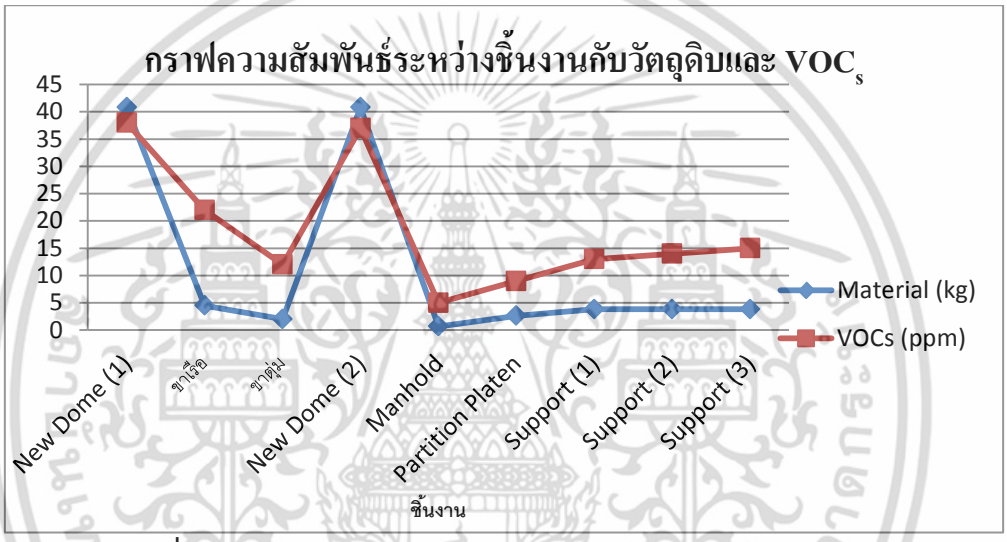

**รูปที่ 4.2** แผนผังพื้นที่บริเวณโรงงาน

4.1.2 ข้อมูลการผลิตและผล $VOC_s$ ก่อนการบำบัดอากาศเสีย เก็บข้อมูลโดยจับเวลาการสเปรย์ชิ้นงานแต่ละชิ้นงานและวัดผลค่าเฉลี่ย $VOC_s$ ของแต่ละชิ้นงาน ชิ้นงานแต่ละชิ้น สเปรย์ต่างเวลากัน แต่ระยะเวลาสเปรย์ชิ้นงานเท่าๆ กัน ข้อมูลการผลิตและผลตรวจวัด $VOC_s$ ของแต่ละชิ้นงานแสดงในตารางที่ 4.1 เก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์หาเทคโนโลยีบำบัดอากาศเสียที่เหมาะสมในการลด $VOC_s$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.1** ข้อมูลการผลิตและผล $VOC_s$ ที่ได้จากการตรวจวัดขณะผลิตถังไฟเบอร์กลาส

| Product | Material (kg) | VOCs (ppm) | Time (min) |
|---|---|---|---|
| New Dome (1) | 40.79 | 38 | 5 |
| ขาเรือ | 4.5 | 22 | 3 |
| ขาตุ่ม | 2 | 12 | 3 |
| New Dome (2) | 40.79 | 37 | 5 |
| Manhold | 0.7 | 5 | 10 |
| Partition Platen | 2.63 | 9 | 3 |
| Support (1) | 3.84 | 13 | 3 |
| Support (2) | 3.84 | 14 | 3 |
| Support (3) | 3.84 | 15 | 3 |




**รูปที่ 4.3** กราฟความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบในการผลิตกับผล $VOC_s$

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 4.1 แปลงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบของแต่ละชิ้นงานและ $VOC_s$ แสดงดังรูปที่ 4.3 พบว่า ปริมาณค่า $VOC_s$ แปรผันตรงกันกับวัตถุดิบ จะมีบางชิ้นงานได้แก่ ขาเรือและขาตุ่ม สังเกตได้ว่าค่า $VOC_s$ สูงกว่า Manhold ทั้งที่ปริมาณวัตถุดิบของ ขาเรือ ขาตุ่มและ Manhold ใกล้เคียงกัน อาจเนื่องมาจาก $VOC_s$ จุดสเปรย์ชิ้นงานจุดอื่นๆ แพร่กระจายมาบริเวณที่กำลังตรวจวัด เนื่องจาก จุดสเปรย์ชิ้นงานมีทั้งหมด 4 จุด อยู่ภายในอาคารเดียวกัน จึงมีโอกาสที่จะเป็นไปได้ ส่วนชิ้นงานอื่นๆ ไม่ว่าจะเป็น Support, Partition Platen, New Dome พบว่าเมื่อการใช้ปริมาณวัตถุดิบในการผลิตมากค่าความเข้มข้น $VOC_s$ ก็มากตามไปด้วย จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวไปเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการบำบัดอากาศเสีย

4.1.3 ข้อมูลปัญหาข้อร้องเรียนด้านสิ่งแวดล้อม

จากข้อมูลข้อ 4.1.2 เป็นข้อมูลเกี่ยวกับการผลิต ในหัวข้อนี้ จะกล่าวถึงผลกระทบต่อชุมชนและสถานที่ใกล้เคียงกับบริเวณโรงงานกรณีศึกษา โดยเก็บข้อมูลสถิติข้อร้องเรียน ระยะเวลา 5 เดือนก่อนการระบบบำบัดอากาศเสีย ดังแสดงในตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.2** ตัวอย่างข้อร้องเรียนก่อนติดตั้งระบบ (กันยายน 2557-มกราคม 2558)

| Date | รายละเอียดที่ร้องเรียน | สาเหตุ | ผู้ร้องเรียน |
|---|---|---|---|
| 7/10/2557 | กลิ่นเหม็นจากกระบวนการผลิต | การสเปรย์ชิ้นงานมีจังหวะลมพัดส่งผ่านให้กลิ่นออกไปบริเวณภายนอกได้ | เขตอุตสาหกรรมและชุมชน |
| 16/10/2557 | กลิ่นเหม็นจากกระบวนการผลิตส่งผลต่อระบบหายใจเจ็บคอ | การสเปรย์ชิ้นงานมีจังหวะลมพัดส่งผ่านให้กลิ่นออกไปบริเวณภายนอกได้ | เขตอุตสาหกรรมและชุมชน |
| 20/11/2557 | กลิ่นเหม็นจากกระบวนการผลิต | การสเปรย์ชิ้นงานมีจังหวะลมพัดส่งผ่านให้กลิ่นออกไปบริเวณภายนอกได้ | เขตอุตสาหกรรมและชุมชน |
| 8/12/2557 | กลิ่นเหม็นจากกระบวนการผลิตทำให้เกิดความรำคาญและเสียสุขภาพจิต ต่อบุคคลอื่น ที่สัญจรไปมาและทำงานบริเวณนั้นๆ | อาจจะมีกลิ่นจากการ Set ตัวของวัสดุไฟเบอร์กลาสหลงเหลืออยู่ และอาจเกิดการสเปรย์ชิ้นงานมีจังหวะลมพัดส่งผ่านให้กลิ่นออกไปบริเวณภายนอกได้ | เขตอุตสาหกรรมและชุมชน |
| 20/12/2557 | กลิ่นเหม็นจากกระบวนการผลิตส่งผลต่อระบบหายใจ มีอาการแสบจมูก อาเจียน ก่อให้เกิดความรำคาญต่อการปฏิบัติงานของพนักงาน | การสเปรย์ชิ้นงานมีจังหวะลมพัดส่งผ่านให้กลิ่นออกไปบริเวณภายนอกได้ | เขตอุตสาหกรรมและชุมชน |
| 23/1/2558 | กลิ่นเหม็นจากกระบวนการผลิตส่งผลต่อระบบหายใจ มีอาการแสบจมูก อาเจียน ก่อให้เกิดความรำคาญต่อนักเรียนโรงเรียนใกล้เคียง | การสเปรย์ชิ้นงานมีจังหวะลมพัดส่งผ่านให้กลิ่นออกไปบริเวณภายนอกได้ | โรงเรียน |

จากตัวอย่างข้อร้องเรียน แสดงในตารางที่ 4.2 พบว่า ในช่วงเดือน พฤศจิกายน-มกราคม มีข้อร้องเรียนจากชุมชน ผู้สัญจร ไป-มา บนถนน และโรงเรียน วิเคราะห์แนวโน้มข้อร้องเรียนเป็นไปตามทิศทางลมที่พัดผ่าน จากรูปที่ 4.2 ทิศทางลมพัดจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือไปทิศตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งทิศทางลมพัดจากโรงงานกรณีศึกษา ไปยังโรงเรียนพร้อมเกิดข้อร้องเรียนในวันที่ 23 มกราคม 2558 จึงเป็นข้อมูลสำคัญเพื่อชี้วัดการแก้ไขปัญหาโดยนำเทคโนโลยีบำบัดอากาศเสียเข้ามาช่วยลดความเข้มข้นและลดข้อร้องเรียนลงไปได้

4.1.3 ข้อมูลผลการตรวจสุขภาพพนักงานประจำปี ก่อนการติดตั้งระบบบำบัดอากาศเสียและหลังการบำบัดอากาศเสีย เป็นไปตามตารางที่ 4.3 ข้อมูลการตรวจสุขภาพที่ได้มาเป็นข้อมูลการตรวจสุขภาพประจำปีของพนักงานซึ่งเฉพาะผลตรวจสุขภาพปอดเท่านั้น เนื่องจาก สารอินทรีย์ระเหยง่าย ($VOC_s$) ที่ใช้ภายในโรงงานกรณีศึกษาเป็น $VOC_s$ ชนิด Non-chlorinated $VOC_s$ หรือ Non-halogenated Hydrocarbons (รายละเอียดจากหัวข้อ 2.1 สารอินทรีย์ระเหยง่าย) กลุ่มสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

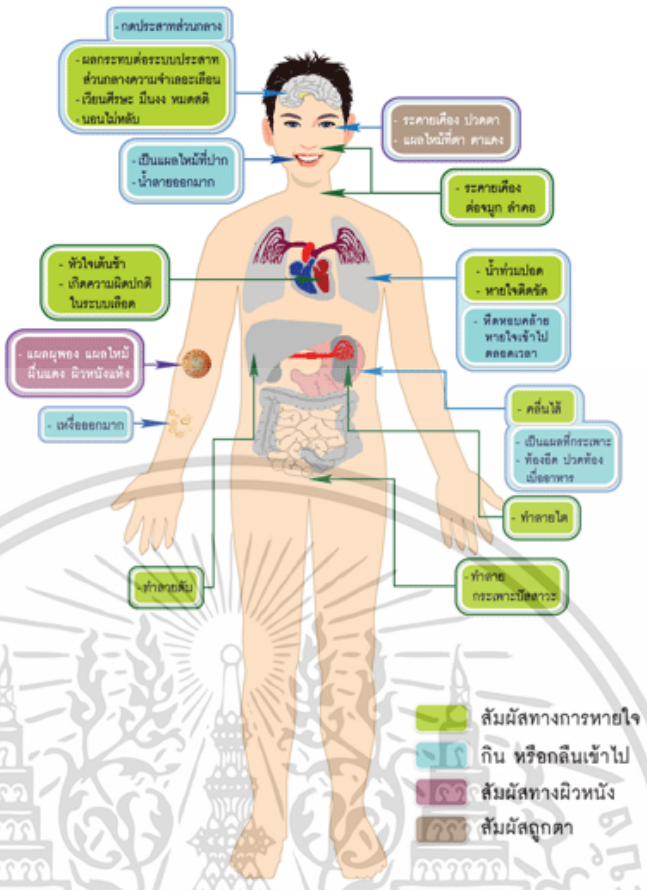
Aromatic Hydrocarbons (เช่นสารตัวทำละลาย - Toluene, Benzene, Ethylbenzene, Xylenes, Styrene, Phenol) ประเภทสารสไตรีน ซึ่งความเข้มข้นต่ำสุดที่มีกลิ่น คือ 0.08-0.32 ppm แม้ว่ามาตรฐานได้กำหนดไว้ 100 ppm [ภาคผนวก ค] แต่ $VOC_s$ ประเภทสารสไตรีนมีกลิ่นที่ความเข้มข้นน้อยมาก เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมและต่อสุขภาพเกิดขึ้น ทำให้เกิดการเจ็บป่วยโดยทำให้เกิดพิษได้ 2 ลักษณะ คือ พิษแบบเฉียบพลัน ทำให้เกิดการระคายเคือง ตา เยื่อบุทางเดินหายใจ ผิวหนัง และเยื่อบุกระเพาะอาหาร มึนงง เวียนศีรษะ คลื่นไส้ หากได้สัมผัสบริเวณผิวหนังนาน ๆ ทำให้ผิวหนังร้อนแดง เป็นผื่นนูน ผิวหนังแห้ง ตกสะเก็ด ในรายที่รุนแรงอาจมีภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะ การหายใจล้มเหลว ความรุนแรงของการได้รับพิษ ขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นที่ได้รับ ถ้าได้รับมากกว่า 20,000 ppm ใน 5 - 10 นาที จะเสียชีวิตทันที และพิษแบบเรื้อรัง มีผลต่อระบบประสาท ทำให้ปวดศีรษะ เวียนศีรษะ เบื่ออาหาร อ่อนเพลีย หงุดหงิด กระวนกระวาย การ ตัดสินใจไม่ดี นอนไม่หลับ กล้ามเนื้ออ่อนแรง สมองถูกทำลาย ทำให้จำนวนเม็ดเลือดขาว และเกล็ดเลือดต่ำ เกิดโลหิตจาง แบบ Aplastic Anemia อาจทำให้เกิดมะเร็งเม็ดเลือดขาว [37] ซึ่งอันตรายด้านสุขภาพของสารอินทรีย์ละเหยง่าย แสดงดังรูปที่ 4.4 ข้อมูลผลการตรวจสุขภาพจะเน้นการผิดปกติที่ปอด เนื่องจากส่วนใหญ่อาการที่เห็นได้ชัดเจนคือ ระบบทางเดินหายใจของพนักงาน ดังแสดงในตารางที่ 4.3

**ตารางที่ 4.3** ข้อมูลด้านสุขภาพทางปอดของพนักงานภายในแผนกสเปรย์ชิ้นงาน

| ผลการตรวจปอดผิดปกติ (คน) | |
|---|---|
| ปี 2556 | ปี 2557 |
| 7 | 6 |

จากข้อมูลการตรวจสุขภาพพนักงานปฏิบัติการ พบว่า ในปี 2556 และ 2557 ตรวจพบพนักงานที่มีความผิดปกติทางปอด จำนวน 7 คน และ 6 คน ตามลำดับ จากพนักงานทั้งหมด 20 คน ซึ่งปริมาณพนักงานที่ป่วยจำนวนใกล้เคียงกันและอาจจะเพิ่มมากขึ้นหากไม่มีระบบบำบัดอากาศ แต่ทั้งนี้พนักงานปฏิบัติงานภายในอาคารซึ่งได้รับสารอินทรีย์ระเหยงาน ณ แหล่งกำเนิด จึงมีความเสี่ยงกว่าผู้ที่ได้รับภายนอกอาคาร ทั้งนี้จะนำข้อมูลที่ได้เปรียบเทียบกับผลตรวจสุขภาพหลังมีการติดตั้งระบบบำบัดอากาศเสียเรียบร้อยแล้ว ซึ่งจะแสดงผลในตารางที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

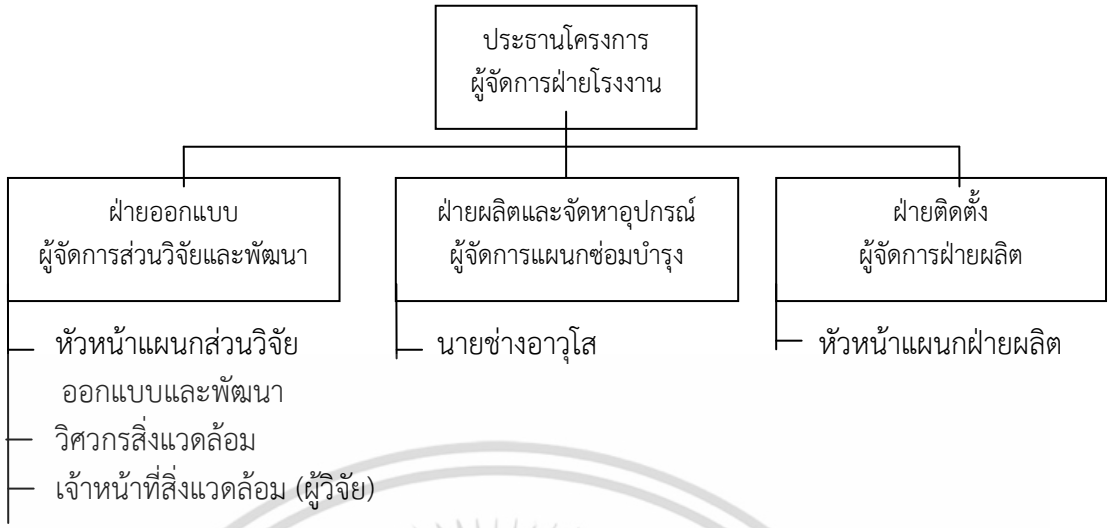



**รูปที่ 4.4** อันตรายที่เกิดจากสารอินทรีย์ระเหยง่าย ($VOC_s$) [36]

ก่อนการติดตั้งระบบบำบัดอากาศเสียได้เกิดข้อร้องเรียนต่างๆ ทั้งภายในและภายนอกองค์กร ร่วมถึงสุขภาพอนามัยของพนักงานด้านระบบทางเดินหายใจ ฝ่ายผู้บริหารได้เล็งเห็นปัญหา จึงมอบหมายให้ผู้จัดการโรงงานเป็นประธานโครงการครั้งนี้ และจัดตั้งทีมงานโครงการทั้งหมด 10 คน แบ่งเป็น 3 ฝ่าย ได้แก่ ฝ่ายออกแบบ ฝ่ายผลิตและจัดหาอุปกรณ์และฝ่ายติดตั้ง ช่วยค้นหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่าย ($VOC_s$) ขึ้น และร่วมตัดสินใจในการให้คะแนนเทคโนโลยีต่างๆ ประชุม ซึ่งคณะทีมงาน 10 คนดังนี้

1. ผู้จัดการฝ่ายโรงงาน
2. ผู้จัดการส่วนวิจัย ออกแบบและพัฒนา
3. ผู้จัดการฝ่ายผลิต
4. ผู้จัดการแผนกซ่อมบำรุง
5. หัวหน้าแผนกส่วนวิจัย ออกแบบและพัฒนา
6. หัวหน้าแผนกฝ่ายผลิต
7. วิศวกรส่วนวางแผนการผลิต/บริการข้อมูล
8. วิศวกรสิ่งแวดล้อม
9. เจ้าหน้าที่สิ่งแวดล้อม (ผู้วิจัย)
10. นายช่างอาวุโส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.5** แผนผังแสดงหน้าที่ของทีมงานโครงการ

## 4.2 ศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสม

ในการศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการบำบัดอากาศเสีย ทางทีมงานรวมถึงตัวผู้วิจัยเองได้ร่วมค้นหางานวิจัยและบทความต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังแสดงในหัวข้อที่ 2.6 และศึกษาหลักการทำงานของระบบบำบัดอากาศเสียแต่ละระบบ ดังแสดงในหัวข้อที่ 2.2 จากแบบฟอร์มที่ให้ทุกคนประเมินตามเกณฑ์ที่ได้ตั้งไว้ โดยเกณฑ์การประเมินวิเคราะห์จากข้อดีและข้อเสียแต่ละเทคโนโลยีดูได้ จากตารางที่ 3.6 ผลการประเมิน ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ซึ่งผู้เข้าร่วมประเมิน มีดังต่อไปนี้

1. ผู้จัดการฝ่ายโรงงาน
2. ผู้จัดการส่วนวิจัย ออกแบบและพัฒนา
3. ผู้จัดการฝ่ายผลิต
4. ผู้จัดการแผนกซ่อมบำรุง
5. หัวหน้าแผนกส่วนวิจัย ออกแบบและพัฒนา
6. หัวหน้าแผนกฝ่ายผลิต
7. วิศวกรส่วนวางแผนการผลิต/บริการข้อมูล
8. วิศวกรสิ่งแวดล้อม
9. เจ้าหน้าที่สิ่งแวดล้อม (ผู้วิจัย)
10. นายช่างอาวุโส
11. ผู้จัดการส่วนผลิต แผนก PE
12. หัวหน้าแผนก GRC/RW
13. หัวหน้าแผนก Mould
14. วิศวกรอาวุโส ส่วนบัญชีและ MIS
15. หัวหน้าแผนก ส่วนผลิตถัง CR Tank

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.4** สรุปข้อดี-ข้อเสีย ของเทคโนโลยีต่างๆ

| เทคโนโลยี | ข้อดี | ข้อเสีย |
|---|---|---|
| 1. เทคโนโลยีสะอาดลดปริมาณการใช้สารเคมี | 1. ต้นทุนต่ำ | 1. ชิ้นงานไม่ได้ตามคุณภาพไม่ตรงตามที่ลูกค้าต้องการ |
| 2. การปล่อยอากาศทางปล่องสูง | 1. ไม่สามารถเจือจางอากาศได้ | 1. มลพิษยังคงอยู่ เพียงเกิดผลกระทบน้อยลง เกิดปัจหามลพิษ |
| 3. สารกลบกลิ่นหรือระงับกลิ่น (Oder Neulralizer) | 1. สามารถย่อยและทำปฏิกิริยาโดยตรงกับกลิ่นได้ | 1. ค่าใช้จ่ายสารเคมีค่อนข้างสูง |
| 4. การควบแน่นและนำมาใช้ใหม่ (Condensation) | 1. ใช้ได้กับกลิ่นของตัวทำละลายที่ปกติเป็นของเหลว เช่น ทินเนอร์ ไซลีนโทลูอีน<br>2. เหมาะกับสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นที่มีความเข้มข้นสูง ๆ เช่นอากาศในถังผสมสีน้ำมัน<br>3. ง่ายและในขณะเดียวกันอาจได้ตัวทำละลายคืนในระดับที่คุ้มค่า | 1. ค่าไฟฟ้าในการทำความเย็นสูง<br>2. ไม่สามารถกำจัดสารก่อให้เกิดกลิ่นจำพวกอนินทรีย์ที่ไม่ควบแน่น หรือสารที่ควบแน่นที่อุณหภูมิต่ำเกินไป<br>3. อากาศที่ระบายออกมีความเย็นและกลิ่นที่ยังเหลืออาจไม่ลอยตัว ทำให้อาจรบกวนผู้ที่อยู่อาศัยข้างเคียง<br>4. อาจต้องมีระบบเสริม เช่น ดูดซับกลิ่นที่ยังเหลือด้วยถ่านกัมมันต์ |
| 5. ระบบเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion) | 1. ใช้ได้กว้างขวางสามารถบำบัด กลิ่นได้มากที่สุด<br>2. ระบบนี้ใช้ได้ดีกับสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นที่มีความ | 1. ค่าเชื้อเพลิงสูง<br>2. ไม่สามารถกำจัดสารก่อให้เกิดกลิ่นจำพวกอนินทรีย์ที่ไม่สามารถเผาได้ |
| 5. ระบบเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion) | เข้มข้นสูง ๆ<br>3. วิธีนี้ค่อนข้างง่ายและในขณะเดียวกันมีผลในการบำบัดกลิ่นสูง | เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ ($NO_x$) และซัลเฟอร์ออกไซด์ ($SO_x$ ) อาจเกิดขึ้นได้ จากการใช้ น้ำมันก๊าด และน้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง<br>3. เกิดมลพิษอากาศตามมาจากการเผาไหม้ |
| 6. ระบบการเผาไหม้โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา | 1. ตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยลดอุณหภูมิในการเผาไหม้ จึงช่วยลดค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิง | 1. ราคาแพง<br>2. เหมาะกับอุณหภูมิในช่วงแคบๆ และจะต้องไม่มีสารที่ทำลายคุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เสื่อมสภาพ หรือมีสารไปปกคลุมพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.4** (ต่อ) เกณฑ์การศึกษาเทคโนโลยีในการออกแบบระบบบำบัด

| เทคโนโลยี | ข้อดี | ข้อเสีย |
|---|---|---|
| 6. ระบบการเผาไหม้โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา | | 3. ต้องควบคุมอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ 4. ต้องใช้เวลานานในการอุ่นตัวเร่งปฏิกิริยาก่อนจะทำงานได้เต็มที่ |
| 7. ระบบออกซิเดชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาหรือการเผาที่อุณหภูมิต่ำ | 1. การใช้ตัวเร่ง (Catalyst) ช่วยให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) จะทำให้การเผาไหม้ของสารที่มี กลิ่นใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าปกติ โดยจะเสียค่าเชื้อเพลิงน้อยกว่าการเผาไหม้โดยตรง<br>2. สามารถบำบัดสารที่เป็นอันตรายในความเข้มข้นต่ำได้ดี<br>3. ระบบมีขนาดกะทัดรัดและใช้พื้นที่น้อย<br>4. บำรุงรักษาระบบได้ง่าย | 1. ไม่สามารถบำบัดสารก่อให้เกิดกลิ่นจำพวกอินทรีย์ที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้<br>2. ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) จะมีอายุการใช้งานต่ำ ถ้าอากาศเสีย มีสารโลหะหนักปนอยู่ เช่น สังกะสี ปรอท ตะกั่ว และสารจำพวกฟลูออรีน ซัลเฟอร์ เป็นต้น<br>3. ทำให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ ($SO_3$) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาและเชื้อเพลิงที่ใช้ |
| 8. ระบบออกซิเดชันด้วยโอโซน | 1. ใช้อะไรก็ได้เป็นหัวฉีดแบบธรรมดา เพื่อให้โอโซนเข้าสู่อากาศเสีย<br>2. ระบบไม่ขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) และอุณหภูมิของอากาศที่เข้าสู่ระบบ ซึ่งทำให้ง่ายในการเดินระบบและการซ่อมบำรุงรักษา<br>3. สามารถใช้ร่วมกับวิธีการบำบัดกลิ่นอื่นได้ | 1. ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับแอมโมเนีย และประสิทธิภาพไม่สูงการใช้ร่วมกับวิธีการอื่น ๆ อาจจำเป็นในบางกรณี<br>2. อาจต้องใช้อุปกรณ์เสริมเพื่อกำจัดโอโซนที่เหลือ<br>3. การป้อนโอโซนต้องมีการปรับปริมาณให้เหมาะสม โดยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของกลิ่น |
| 9. ระบบออกซิเดชันด้วยโอโซนและตัวเร่งปฏิกิริยา | 1. เพิ่มคาตาลิสต์ เบด (Catalyst Bed) ในระบบออกซิเดชันด้วยโอโซน (Ozone Oxidation) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดให้สูงขึ้น<br>2. โอโซนที่เหลือจะถูกกำจัดไปพร้อมกันในคาตาลิสต์ เบด และการกำจัดกลิ่นที่รุนแรงสามารถดำเนินการได้โดยใช้ระบบนี้ | 1. การป้อนโอโซนต้องปรับตามความเข้มข้นของกลิ่น<br>ตัวเร่งปฏิกิริยาต้องปรับเปลี่ยนเสริมตลอดเวลา และมีราคาแพง |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.4** สรุปข้อดี-ข้อเสีย ของเทคโนโลยีต่างๆ

| เทคโนโลยี | ข้อดี | ข้อเสีย |
|---|---|---|
| 10.ระบบสครับบิง (Scrubbing) | 1. ของเหลวสามารถนำกลับมาใช้หมุนเวียนในระบบได้<br>2. มีขนาดเล็ก เมื่อมีการออกแบบเพื่อใช้งานเฉพาะจุดใช้งานกับอากาศที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูงได้<br>3. เหมาะกับสารปนเปื้อนที่ละลายน้ำได้ดี 4. โดยทั่วๆ ไปไม่เกิดปัญหาเรื่องไฟไหม้หรือระเบิด<br>5. ใช้เงินลงทุนต่ำ 6. สามารถบำบัดกลิ่นที่มีความเข้มข้นสูงได้ | 1. ประสิทธิภาพต่ำเมื่อใช้กับสารปนเปื้อนที่มีขนาด |
| 11.ระบบดูดซับ (Adsorption) | 1. ประสิทธิผลสูงมากในการบำบัดสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นหลายชนิด<br>2. ง่ายต่อการควบคุมและบำรุงรักษา<br>3. สามารถนำ Impregnated A/C กลับมาใช้ใหม่ได้เมื่อผ่านการปรับสภาพ | 1. การเปลี่ยน หรือการปรับสภาพของ Impregnated A/C จำเป็นต้องเป็นไปตามเวลาที่กำหนดไว้เล็กหรือไม่ละลายน้ำและมีปริมาณมาก<br>2. จะมีน้ำเสียเกิดขึ้นจากการใช้ระบบนี้<br>3. ผู้ควบคุมต้องมีความชำนาญในการควบคุมและบำรุงรักษา<br>4. ค่าใช้จ่ายการใช้งานสูง<br>5. ออกแบบได้เฉพาะงาน |
| 12. ระบบบำบัดกลิ่นด้วยกระบวนการทางชีวภาพ (Bio Filtration) | 1. เป็นระบบที่ไม่ต้องใช้สารเคมี แต่อาจจะมีการเติมเกลือแร่และสารอาหารบางอย่างเพื่อให้จุลินทรีย์เติบโต<br>2. ในกรณีที่สารปนเปื้อนในอากาศมีไม่เพียงพอที่จะเลี้ยงจุลินทรีย์<br>3. เป็นเทคโนโลยีที่ไม่เป็นอันตรายและไม่ก่อให้เกิดมลพิษข้างเคียงอื่นๆ<br>4. วัสดุที่ใช้เช่นกาบมะพร้าว เศษไม้ ปุ๋ยคอก เป็นของที่หาได้ง่าย<br>5. ค่าใช้จ่ายในการทำงานของระบบบำบัดกลิ่นค่อนข้างต่ำ | 1. ค่อนข้างจะอ่อนไหวต่อความเปลี่ยนแปลงของสารปนเปื้อน หากมีสารพิษเข้ามาในระบบมาก ระบบอาจจะล้มเหลวได้<br>2. ใช้เวลาในช่วงแรกก่อนที่จะบำบัดอย่างมีประสิทธิภาพนานกว่าระบบอื่น เนื่องจากต้องรอจนมีปริมาณของจุลินทรีย์เพียงพอ<br>3. ความเข้มข้นของกลิ่นต้องไม่สูงมาก |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.4** ตัวอย่างผลการประเมินเทคโนโลยีที่เหมาะสม

| ระบบ | ค่าใช้จ่ายลงทุน W1=8 | ค่าใช้จ่ายดำเนินการ W2=8 | ไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิง W3=7 | สารเคมีที่ใช้ W4 = 6 | ประสิทธิภาพ W5=10 | มลพิษ W6=10 | คะแนนรวม |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. เทคโนโลยีสะอาดลดปริมาณการใช้สารเคมี | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 3 | 121 |
| 2. การปล่อยอากาศทางปล่องสูง | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 | 100 |
| 3. สารกลบกลิ่นหรือระงับกลิ่น (Oder Neulralizer) | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 82 |
| 4. การควบแน่นและนำมาใช้ใหม่ (Condensation) | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 80 |
| 5. ระบบเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion) | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 83 |
| 6. ระบบการเผาไหม้โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 77 |
| 7. ระบบออกซิเดชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาหรือการเผาที่อุณหภูมิต่ำ | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 81 |
| 8. ระบบออกซิเดชันด้วยโอโซน | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 91 |
| 9. ระบบออกซิเดชันด้วยโอโซนและตัวเร่งปฏิกิริยา | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 83 |
| 10.ระบบสครับบิง (Scrubbing) | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 100 |
| 11.ระบบดูดซับ (Adsorption) | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 77 |
| 12. ระบบบำบัดกลิ่นด้วยกระบวนการทางชีวภาพ (Bio Filtration) | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 117 |

จากตารางผลการประเมินเทคโนโลยี พบว่า เทคโนโลยีที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดอากาศเสีย คือ เทคโนโลยีสะอาดด้วยการลดปริมาณสารเคมีในกระบวนการสเปรย์ชิ้นงาน ซึ่งผู้ประเมินทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15 คนเห็นด้วยและคะแนนอยู่ระหว่าง 110-147 คะแนน ตามเกณฑ์การประเมิน แต่หลังจากทดลองลดสารเคมีในกระบวนการแล้ว ปรากฏว่าการลดสารเคมีในกระบวนการสเปรย์ชิ้นงานมีผลต่อคุณภาพชิ้นงาน เทคโนโลยีสะอาดจึงไม่เหมาะสม จากนั้นทีมงานช่วยตรวจสอบผลประเมินอีกครั้ง พบว่าเทคโนโลยีระบบบำบัดกลิ่นด้วยกระบวนการทางชีวภาพ มีผู้ประเมินให้คะแนนอยู่ในช่วงระหว่าง 110-147 ทั้งหมด 14 คน ซึ่งกระบวนการทางชีวภาพมีทั้งหมด 3 กระบวนการ ดังนั้นต้องทำการประเมินซ้ำอีกครั้งของทั้ง 3 กระบวน คือไบโอฟิลเตอร์ (Biofilter) ไบโอทริคคลิ่งฟิลเตอร์ (Biotrickling Filter) และ ไบโอสครับเบอร์ (Bio Scrubber) เพื่อหาเทคโนโลยีบำบัดอากาศเสียที่เหมาะสมที่สุด โดยผลการประเมินการด้วยเกณฑ์การประเมินเดียวกัน ตัวอย่างการประเมินดังแสดงในตารางที่

**ตารางที่ 4.5** ตัวอย่างผลการประเมินระบบบำบัดกลิ่นด้วยกระบวนการชีวภาพ

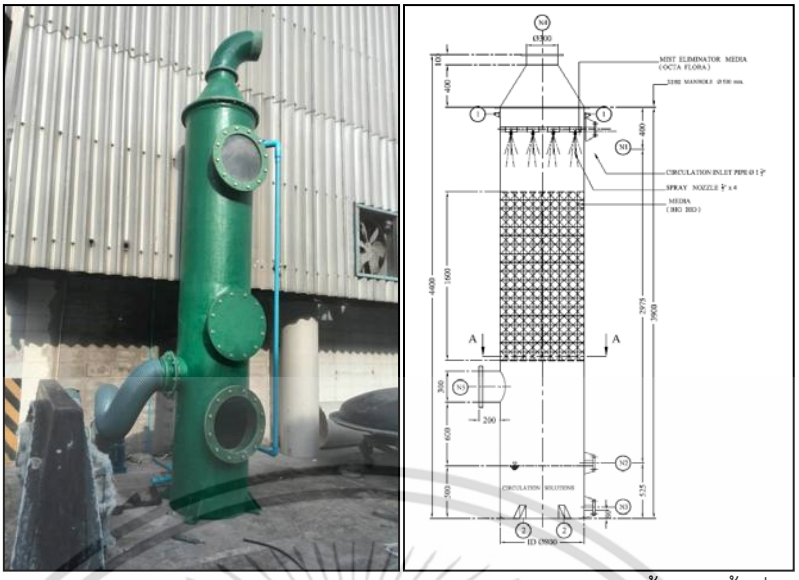
| ระบบ | ค่าใช้จ่ายลงทุน W1=8 | ค่าใช้จ่ายดำเนินการ W2=8 | ไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิง W3=7 | สารเคมีที่ใช้ W4 = 6 | ประสิทธิภาพ W5=10 | มลพิษ W6=10 | คะแนนรวม |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.ไบโอฟิลเตอร์ (Biofilter) | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 90 |
| ไบโอทริคคลิ่งฟิลเตอร์ (Biotrickling Filter) | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 90 |
| ไบโอสครับเบอร์ (Bio Scrubber) | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 110 |

จากตัวอย่างผลการประเมินระบบบำบัดกลิ่นด้วยกระบวนการชีวภาพ แสดงดังตารางที่ 4.5 พบว่า ผู้ประเมินทั้งหมด 15 คน ให้คะแนน ระบบไบโอสครับเบอร์ สูงที่สุด อยู่ในช่วง 110-147 คะแนน จึงได้ผลสรุปว่า ระบบบำบัดกลิ่นด้วยกระบวนการชีวภาพ ประเภทไบโอสครับเบอร์เหมาะสมสำหรับบำบัดอากาศเสียในกระบวนการสเปรย์ชิ้นงานมากที่สุด เนื่องจากมีต้นทุนในการติดตั้งและดำเนินการที่ถูกกว่าวิธีอื่น ๆ และยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย อีกทั้งหลังการบำบัดด้วยวิธีนี้ไม่จัดว่าเป็นก๊าซมลพิษสามารถปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้ทันที จากนั้นจึงทำการทดลองและออกแบบระบบ

## 4.3 ออกแบบและทดลอง

4.3.1 ทดลองใช้ระบบไบโอสครับเบอร์ขนาดบำบัด 30 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที โดยทำการคำนวณและออกแบบชุดต้นแบบเพื่อทดสอบประสิทธิภาพระบบไบโอสครับเบอร์ ก่อนออกแบบระบบใช้งานจริง ซึ่งระบบทดสอบจะทดสอบอยู่ในพื้นที่ควบคุมประมาณ แสดงในรูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.6** แสดงระบบไบโอสครับเบอร์ขนาดบำบัด 30 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ติดตั้งอยู่ในพื้นที่ 10 ตารางเมตร

เมื่อทำการติดตั้งระบบไบโอสครับเบอร์ขนาด 30 ลูกบาศก์เมตร แบบของระบบไบโอสครับเบอร์ในการบำบัดอากาศเสียประเภทสารระเหยง่าย $VOC_S$ ผลจากการทดลองใช้งานระบบไบโอสครับเบอร์ขนาด 30 ลูกบาศก์เมตร พบว่าค่า $VOC_S$ เฉลี่ย หลังผ่านระบบไบโอสครับเบอร์ลดลงเฉลี่ยจาก 69 ppm เหลือ 22 ppm หรือคิดเป็น 65.03 % ที่อัตราการไหล 0.375 ลูกบาศ์กเมตรต่อวินาที แสดงว่าระบบไบโอสครับเบอร์สามารถลดค่า $VOC_S$ ได้จริง ดังแสดงในตารางที่ 4.6

**ตารางที่ 4.6** ผลการตรวจวัด ค่า $VOC_S$ ตัวต้นแบบ ทั้งก่อนและหลังการบำบัดอากาศเสีย

| ความเร็วลม (m/s) | ค่า VOCs เฉลี่ย(ppm) | |
|---|---|---|
| | เข้า | ออก |
| 3.9 | 66 | 24 |
| 3.8 | 78 | 19 |
| 3.6 | 68 | 23 |
| 3.6 | 64 | 22 |
| เฉลี่ย | 69 | 22 |

**หมายเหตุ :** พื้นที่ควบคุมการใช้งานของระบบบำบัดอากาศเสียต้นแบบ ขนาดบำบัด 30 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที มีพื้นที่ประมาณ 10 ตารางเมตร

เมื่อทดสอบการทำงานด้วยระบบไบโอสครับเบอร์ขนาดบำบัด 30 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที สามารถลด $VOC_S$ ได้จริง จึงทำการเปลี่ยนให้เป็นระบบใช้งานจริง ขนาดบำบัด 108 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ต่อ 1 จุด โดยออกแบบระบบจริงเพื่อให้ครอบคลุมทั้งกระบวนการผลิตทั้งหมดซึ่งมีพื้นที่มากกว่าพื้นที่ทำการทดสอบระบบบำบัดขนาด 30 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที 3.5 เท่า โดยระบบจริงสามารถบำบัดได้มากกว่าตัวทดสอบประมาณ 3.5 เท่า การคำนวณและติดตั้งขนาดบำบัด 108 ลูกบาศ์กเมตร สามารถคำนวณได้ดังรายละเอียดในหัวข้อ 4.3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 การติดตั้งและออกแบบระบบจริง (ขนาดบำบัด 108 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีพื้นที่ใช้งาน)

4.3.2.1. คำนวณหาอัตราการดูดอากาศของท่อดูดอากาศ (Hood)

จากสมการที่ 3.1 $Q = 0.75\ V\ (10X^2 + A)$

โดย $V = 0.1$ m/s

$X = 0.5$ m

$A = 0.5\ m^2$

ดังนั้น $Q = 0.225\ m^3/s$

$= 13.5\ m^3/min/hood$

ต้องใช้ Hood ทั้งหมด 8 Hood ดังนั้นขนาดจริงเท่ากับ 108 $m^3$/min ถึงจะครบคลุมกระบวนการ โดยรูปร่างและขนาด Hood แสดงดังรูปที่ 4.7

**รูปที่ 4.7** แสดงรูปแบบท่อและ Hood ดูดอากาศ (ขนาดท่อดูดอากาศตามภาคผนวก ก รูปที่ ก.2)

4.3.2.2. รายการออกแบบ ระบบ Bio Scrubber เพื่อกำจัดกลิ่น

ข้อกำหนดในการออกแบบ

ปริมาณอากาศเสีย = 108 $m^3$/min

ความเข้มข้นของสารระเหยง่าย = 40 มก./ล (จากการเก็บข้อมูลเฉลี่ย)

ความเร็วที่ผ่านชั้นตัวกลาง < 0.5 m/s

เวลาสัมผัสชั้นตัวกลาง 5 วินาที

ปริมาณมิเดียที่ต้องการ = อัตราการไหลของอากาศเสีย x ระยะเวลาสัมผัส

= ( 108 $m^3$/min x 5 sec) /60 sec

= 9 $m^3$

เลือกใช้ถังไฟเบอร์กล๊าส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เมตร

ดังนั้น ความเร็วที่ผ่านตัวกลาง = อัตราการไหล/ พื้นที่หน้าตัด

= (108 $m^3$/min/60sec)/(3.14 m x1.25m x 1.25m)

= 0.37 m/s

ความสูงของชั้นมิเดียที่ต้องการ = ปริมาตรมิเดีย / พื้นที่หน้าตัด

= 6.67 $m^3$/(3.14x1.25mx1.25m)

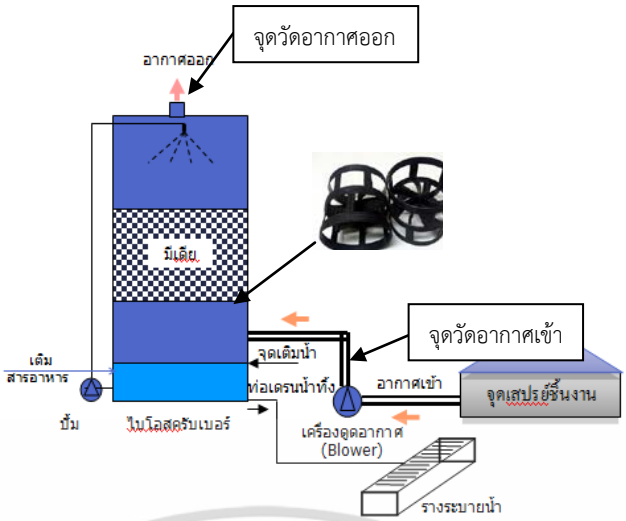
= 1.83 m

ชนิดของมิเดีย

เลือกใช้ Big Bio Media ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 90 mm สูง 90 mm สัดส่วนช่องว่าง 95% พื้นที่ผิว 105 ต่อเมตร ใช้วิธีการเรียงมิเดียแบบ Random วัสดุทำมาจาก Polyethylene

4.3.2.3. ส่วนประกอบและวัสดุ-อุปกรณ์และหลักการทำงานของระบบ สำหรับหลักการทำงานและส่วนประกอบของวัสดุที่ใช้ในระบบบำบัดอากาศเสียแสดงดังรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่** 4.8 ส่วนประกอบของระบบบำบัดอากาศเสียไบโอสครับเบอร์

- ส่วนประกอบและวัสดุ-อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ

1. ถังสครับเบอร์ (Scrubber Tank) ผลิตมาจาก Fiber Glass + Resin มีความหนาประมาณ 1.5 เซนติเมตรเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เมตร สูง 5 เมตร อายุการใช้งาน 20 ปี

2. เครื่องดูดอากาศ (Blower) เครื่องดูดอากาศ ยี่ห้อ Sankudo ของสงวนการไฟฟ้าใช้มอเตอร์ 10 แรงม้า (7.5kw) ควบคุมการทำงานโดยวงจร Star Delta ซึ่งจะลดกระแสตอนสตาร์

3. ปั้มน้ำ (Water Pump) ใช้ Motor 2 แรงม้าโดยใช้ Twin Timer ควบคุมการทำงานของปั้มจะต่อท่อSection 2 นิ้ว จากด้านล่างถังแล้วส่งออก

- หลักการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบบำบัด

1. เครื่องดูดอากาศ (Blower) ทำหน้าที่ดูดอากาศเข้าไปบำบัดในถังสครับเบอร์ (Scrubber) ท่ออยู่ด้านข้างของถังโดยสูงจากก้นถังประมาณ 1.5 เมตร ซึ่งต่ำกว่าตะแกรงรองตัวกลาง อากาศผ่านตัวกลางซึ่งมีจุลินทรีย์ในการบำบัด

2. ปั้มน้ำ (Water Pump) ทำหน้าที่ดูดน้ำที่ผสมสารละลายจุลินทรีย์จากก้นถังขึ้นไปด้านบนของถังซึ่งจะเป็นหัวสเปรย์ฉีดน้ำเป็นช่วงๆ ฉีด 5 นาที หยุด 25 นาที เพื่อให้ตัวกลางเปียกอยู่เสมอและเลี้ยงจุลินทรีย์

- การบำรุงรักษา

1. เติมอาหารให้จุลินทรีย์

2. ล้างทำความสะอาดถัง 3 เดือน/ครั้ง

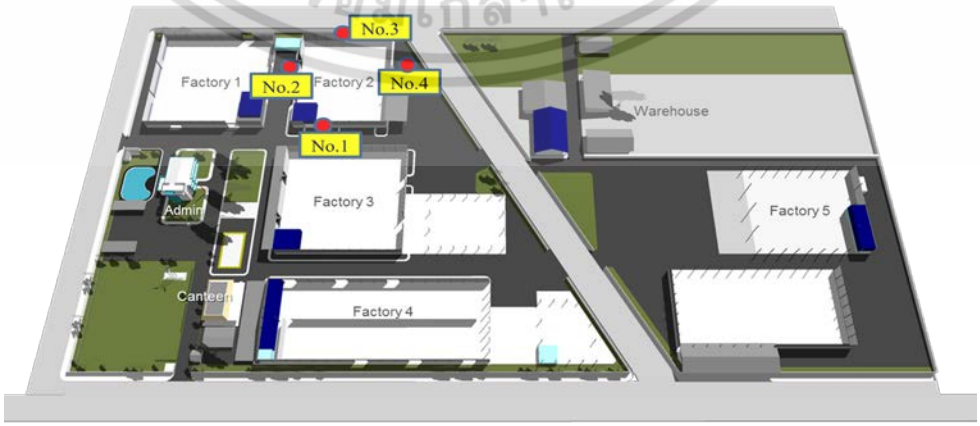
โดยรายละเอียดคู่มือการดูแลและการบำรุงรักษาระบบบำบัดอากาศเสีย รวมทั้งอุปกรณ์เครื่องจักร ในระบบบำบัดอากาศเสีย (สามารถดูจากภาคผนวก ง)

ส่วนการคำนวณด้านเศรษฐศาสตร์การลงทุนของระบบไบโอสครับเบอร์ขนาด 108 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที แสดงไว้ในหัวข้อ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 4.9** แสดง Hood ดูดอากาศ ระบบไบโอสครับเบอร์ขนาด 108 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

**รูปที่ 4.10** แสดงระบบไบโอสครับเบอร์ขนาด 108 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที




**รูปที่ 4.11** แผนภาพแสดงตำแหน่งระบบไบโอสครับเบอร์ขนาด 108 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดตั้งระบบบำบัดอากาศเสียขนาด 108 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีโดยมีการติดตั้ง Hood ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ซึ่ง 1 จุด มี Hood ทั้งหมด 8 Hood จากการคำนวณหัวข้อที่ 4.3.2.1 ส่วนรูปแบบถังระบบไบโอสครับเบอร์ขนาด 108 ลูกบาศ์กเมตร แสดงดังรูปที่ 4.10 ซึ่งใช้เวลาในการติดตั้ง 5 เดือน (เดือนกุมภาพันธ์ – มิถุนายน 2558) จึงจะติดตั้งเสร็จทั้งหมด 4 จุด เนื่องจากจุดสเปรย์ชิ้นงานมีทั้งหมด 4 จุด โดยตำแหน่งการติดตั้งแต่ละจุด ดังแสดงในรูปที่ 4.11 เมื่อทำการติดตั้งครบทุกจุดแล้ว ทางทีมงานร่วมกันติดตามผลของระบบไบโอสครับเบอร์ ลักษณะการตรวจวัดหลังติดตั้ง แสดงดังรูปที่ 4.12 โดยผลการตรวจวัดค่า $VOC_s$ สัปดาห์ละ 2 ครั้ง (เดือนกรกฎาคม-พฤศจิกายน 2558) ซึ่งรายละเอียดในการเก็บข้อมูล (แสดงในภาคผนวก จ)

**รูปที่ 4.12** ภาพขณะการตรวจวัด

**ตารางที่ 4.7** ตัวอย่างผลวิเคราะห์ค่า $VOC_S$ ขนาด 108 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

| ความเร็วลม (m/s) | ค่า VOCs เฉลี่ย (ppm) | |
|---|---|---|
| | เข้า | ออก |
| 9.4 | 73 | 36 |
| 9.5 | 49 | 18 |
| 9.2 | 52 | 29 |
| 9.4 | 60 | 22 |
| เฉลี่ย | 58.5 | 26.25 |

จากตารางที่ 4.7 เป็นตัวอย่างการตรวจติดตามวัดค่า $VOC_S$ หลังติดตั้งระบบแล้ว พบว่า ค่า $VOC_S$ เฉลี่ยก่อนเข้าระบบไบโอสครับเบอร์เท่ากับ 58.5 ppm หลังผ่านการบำบัด ลดลงเหลือ 26.25 ppm หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 55.3% ที่ความเร็วลม 9.2-9.5เมตรต่อวินาที แสดงให้เห็นว่า ระบบไบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โอสครับเบอร์สามารถช่วยลดค่า $VOC_S$ ได้จริง ซึ่งเมื่อคิดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งทั้งหมด 4 ชุด เพื่อวิเคราะห์การลงทุนและความคุ้มค่าตามหลักเศรษฐศาสตร์ สามารถอธิบายในหัวข้อถัดไป

## 4.4 วิเคราะห์การลงทุนและความคุ้มค่าตามหลักเศรษฐศาสตร์

จากการติดตั้งและออกแบบระบบไบโอสครับเบอร์ สามารถแจกแจงค่าใช้จ่ายทั้งเงินลงทุนและค่าใช้จ่ายหลังการติดตั้ง รวมทั้งค่าใช้จ่ายที่ได้รับหลังการติดตั้งระบบบำบัดทั้ง 4 ชุด

**ตารางที่ 4.8** ค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ที่ได้รับคำนวณทั้งหมด 4 ชุด

| รายการ | จำนวนเงิน(บาท) |
|---|---|
| <u>เงินลงทุนเบื้องต้น (I.C)</u> | **<u>932,000</u>** |
| 1. Blower | 260,000 |
| 2. Motor 20 HP | 164,000 |
| 3. Water Pump 2 HP | 20,000 |
| 4. PVC tube | 4,000 |
| 5. PVC Valve | 4,000 |
| 6. Resin Tank & Tube & Media | 400,000 |
| 7. Electric Control Box | 20,000 |
| 8. Media | 30,000 |
| 9. ค่าแรงพนักงาน | 30,000 |
| <u>ค่าใช้จ่ายรายเดือน</u> | |
| 1. อาหารของจุลินทรีย์หรือจุลินทรีย์ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบ | 500 บาท/เดือน |
| 2. ค่าน้ำที่ใช้เปลี่ยนทุก 3 เดือน | 700 บาท/เดือน |
| 3. ค่าบำรุงรักษา (รายปี) | 20,000 บาท/ปี |
| <u>ผลประโยชน์ที่ได้รับ</u><br>ลดเวลาในการรับข้อร้องเรียนจากค่าใช้จ่ายในส่วนของค่าแรงพนักงานที่ต้องเสียเวลาติดต่อประสานงานกับผู้ร้องเรียน | 30,000 บาท/เดือน |

จากตารางที่ 4.8 สามารถคำนวณความคุ้มค่าในการลงทุน ซึ่งสามารถแจกแจงรายละเอียดรายการคำนวณ ดังตารางที่ 4.9 ซึ่งสามารถวิเคราะห์เกณฑ์การตัดสินใจในการลงทุนได้จากเกณฑ์ในตารางที่ 3.6 สำหรับสรุปความคุ้มค่าในการลงทุน ผลตอบแทนหรือกระแสเงินสดรับสุทธิหลังภาษีไม่เท่ากันทุกปีตลอดอายุโครงการ จะคำนวณได้โดยการพิจารณากระแสเงินสดเข้าสุทธิสะสม ดังแสดงในตารางที่ 4.9 ต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.9** ตารางการคำนวณด้านเศรษฐศาสตร์

| n (เดือน) | เงินสดรับสุทธิ | มูลค่าปัจจุบัน | ผลรวม |
|---|---|---|---|
| 0 | -932,000 | -932,000 | |
| 1 | 29,500 | 29,334.14 | |
| 2 | 29,500 | 29,169.21 | |
| 3 | 28,800 | 28,316.95 | |
| 4 | 29,500 | 28,842.14 | |
| . | . | . | |
| . | . | . | |
| . | . | . | |
| 36 | 8,800 | 7,183.42 | |
| 37 | 29,500 | 23,945.40 | -9,629.71 |
| 38 | 29,500 | 23,810.77 | 14,181.06 |
| 39 | 29,500 | 23,115.07 | |
| 40 | 29,500 | 23,543.77 | |

ตัวอย่างการคำนวณหาจุดคุ้มทุนในการลงทุน

4.4.1.1 การคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน (PB)

คิดที่ n = 12 ปี

เงินลงทุนสุทธิ = 932,000 บาท

i = คิดที่ 7 % ต่อปี หรือ 0.5654 % ต่อเดือน (ดอกเบี้ยเงินกู้)

4.4.1 ตัวอย่างการคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV ของ n เดือน) หาได้จาก

ตัวอย่างเดือนที่ n = 2 ; $NPV = \frac{29,500}{(1 - 0.005654)^2} = 29,169.21$ บาท

4.4.2 ตัวอย่างการคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน

จากสมการที่ 3.7 ระยะเวลาคืนทุน (PB) = จำนวนงวดที่คืนทุน $+ \frac{\text{เงินที่ไม่คืนทุน}}{\text{กระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในปีที่คืนทุน}}$

$$= 37 + \frac{(0-(-9,629.71))}{(14,181.06 -(-9629.71))}$$

= 37.04 เดือน หรือ 3 ปี 1 เดือน

4.4.3 การคำนวณหาค่าปัจจุบันสุทธิ

จากสมการที่ 3.8 สามารถหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ของทั้งโครงการ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{ES_t}{(1+i)^t} - I_0$$

n = อายุของโครงการ (ปี)

$ES_t$ = ต้นทุน ตั้งแต่ปลายปีที่ 1 ถึง n

$I_0$ = เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ (Total Investment)

i = อัตราส่วนลด (Discount Rate)

จากตารางที่ 4.8 ผลรวมมูลค่าปัจจุบันทั้งโครงการ ของ 144 เดือน เท่ากับ 2,719,149.29

ดังนั้น จะได้ NPV = 2,719,149.29 – 932,000

= 1,787,149.29 บาท

4.4.3 การคำนวณหาอัตราผลตอบแทนภายในของการลงทุน (IRR)

จากสมการที่ 3.9 สามารถหามูลค่า อัตราผลตอบแทนภายในของการลงทุน (IRR) ดังนี้

$$-I_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{ES_t}{(1+IRR)^t} = 0$$

IRR = อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการลงทุน

$ES_t$ = ต้นทุนที่ได้รับตั้งแต่ปลายปีที่ 1 ถึง n

$I_0$ = เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ (Total Investment)

n = อายุของโครงการ (ปี)

คำนวณจนกว่า NPV = 0 จะได้ อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) = 42.4% ต่อปี

**ตารางที่ 4.10** วิเคราะห์การลงทุน

| รายการ | มูลค่า |
|---|---|
| การลงทุนปัจจุบันสุทธิ (NPV) | 1,787,149.29 บาท |
| ระยะเวลาคืนทุน | 3 ปี 1 เดือน |
| อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) | 42.4 % ต่อปี |

จากตารางที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าหลังจากการติดตั้งระบบไบโอสครับเบอร์ในการบำบัดอากาศเสียจากกระบวนการสเปรย์ชิ้นงานในโรงงานผลิตไฟเบอร์กลาส เกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้ของโครงการทางเศรษฐศาสตร์ ตามตารางที่ 3.6 พบว่า มูลค่าการลงทุนปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 1,787,149.29 บาท ซึ่งมีค่ามากกว่า 0 อัตราผลตอบแทนภายใน 42.4 % ต่อปี ซึ่งมีค่ามากกว่า 0 และผลกำไรตอบแทนภายในระยะเวลา 3 ปี 1 เดือน ซึ่งน้อยกว่าอายุโครงการ (12 ปี) แสดงให้เห็นว่าโครงการบำบัดอากาศเสียด้วยระบบไบโอสครับเบอร์ มีความคุ้มค่าต่อการลงทุนตามหลักการด้านเศรษฐศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.11** ผลการตรวจสุขภาพก่อนและหลังการติดตั้งระบบบำบัดอากาศเสีย

| ผลการตรวจปอดผิดปกติ (คน) | | |
|---|---|---|
| ปี 2556 | ปี 2557 | ปี 2558 |
| 7 | 6 | 4 |

จากตารางที่ 4.11 แสดงผลการตรวจสุขภาพประจำปีของพนักงานปฏิบัติงานภายในกระบวนการเสปรย์ชิ้นงาน พบว่า ปี 2556 และ 2557 มีพนักงานผิดปกติทางปอด 7 คน และ 6 คน ตามลำดับระบบ ในปี 2558 พนักงานผิดปกติทางปอด 4 คน หาก ซึ่งลดลง 33% จากพนักงานทั้งหมด 20 คน

**ตารางที่ 4.12** ตารางอายุการทำงานของพนักงานที่มีปัญหาสุภาพปอด

| คนที่ | อายุงาน | ชั่งโมงการทำงานรวม (285วันต่อปี) |
|---|---|---|
| 1 | 5 | 11,400 ชั่วโมง |
| 2 | 10 | 22,800 ชั่วโมง |
| 3 | 6 | 13,680 ชั่วโมง |
| 4 | 7 | 15,960 ชั่วโมง |
| 5 | 7 | 15,960 ชั่วโมง |
| 6 | 8 | 18,240 ชั่วโมง |
| 7 | 5 | 11,400 ชั่วโมง |

แม้ผลการตรวจจะลดลง แต่ก็ยังคงมีพนักงานผิดปกติทางปอด เนื่องจากระบบไบโอสครับเบอร์ เป็นระบบบำบัดอากาศเสียปลายทาง ไม่สามารถลด $VOC_S$ ณ แหล่งกำเนิดได้ อายุการทำงานในกระบวนการสเปรย์ชิ้นงาน ทั้ง 7 คนที่มีปัญหาสุขภาพด้านปอด ดังแสดงในตารางที่ 4.12 ทำงานอยู่ในบริษัท 5 ปีขึ้นไปเมื่อคิดซึ่งอาจจะเกิดจากการสะสมของสาร $VOC_s$ ได้ เนื่องจาก 4 ใน 3 คน ไม่เคยมีปัญหาสุขภาพด้านปอด ซึ่งหากได้รับสาร VOCs ประเภทสารสไตรีน ด้วยความเข้มข้น 50 ppm ทันทีก็สามารถเกิดการระคายเคืองเล็กน้อยต่อตาได้ [7]

**ตารางที่ 4.10** ผลข้อร้องเรียนก่อนและหลังการติดตั้งระบบบำบัดอากาศเสีย

| ผู้ร้องเรียน | จำนวนข้อร้องเรียน | |
|---|---|---|
| | ก่อนการติดตั้ง | หลังการติดตั้ง |
| ชุมชน | 2 | 0 |
| โรงงานข้างเคียง | 3 | 2 |
| โรงเรียน | 1 | 0 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อร้องเรียนเป็น 3 ส่วน คือ ข้อร้องเรียนจากชุมชน โรงงานข้างเคียงและโรงเรียน พบว่า หลังจากติดตั้ง ข้อร้องเรียนจากชุมชนและโรงเรียนลดลง 100% ส่วนโรงงานข้างเคียงยังคงมีข้อร้องเรียนก่อนติดตั้ง 3 ข้อร้องเรียน หลังติดตั้ง 2 ข้อร้องเรียน ซึ่งลดลงเพียง 33% แสดงว่าหลังจากมีระบบไบโอสครับเบอร์ช่วยในเรื่องลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่าย ($VOC_s$) แต่ก็ยังคงมีผลกระทบกับโรงงานข้างเคียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# สรุปผลการทดลอง

## 5.1 สรุปผลการวิจัย

ปัญหาข้อร้องเรียนเรื่องกลิ่นรบกวนจากโรงงานกรณีศึกษาผลิตถังไฟเบอร์กลาส ในส่วนขั้นตอนการสเปรย์ชิ้นงาน ซึ่งมีทั้งหมด 4 จุด กลิ่นที่ได้รับเป็นกลิ่นจากสารอินทรีย์ระเหยง่าย ($VOC_s$) ส่งผลกระทบไปยังโรงเรียน ชุมชนและโรงงานข้างเคียง โดยวิเคราะห์ตามช่วงเวลาของทิศทางลมเทียบกับข้อร้องเรียน พบว่า ในช่วงเดือนพฤษภาคม - ตุลาคม ทิศทางลมพัดจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ไปทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศทางลมจะพัดอากาศเสียไปยังเขตชุมชนขนาดใหญ่ซึ่งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของโรงงาน ห่างจากโรงงานประมาณ 1000 เมตร ส่งผลต่อสุขภาพทางเดินหายใจของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชนอย่างมาก ส่วนในช่วงเดือนพฤศจิกายน - มกราคม ทิศทางลมพัดจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือไปทิศตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งทิศทางลมจะพัดอากาศเสียไปยังโรงเรียนมัธยมขนาดใหญ่ซึ่งอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของโรงงาน ห่างจากโรงงานประมาณ 500 เมตร ส่งผลต่อสุขภาพทางเดินหายใจของนักเรียนโรงเรียนดังกล่าว ยิ่งไปกว่านั้นทิศเหนือของอาคาร 2 ห่างจากกำแพงโรงงานประมาณ 5 เมตร ติดกับโรงงานข้างเคียงทำให้อากาศเสียถูกพัดเข้าไปภายในบริเวณของโรงงานข้างเคียงตลอดปี จึงเกิดข้อร้องเรียนตามมา รวมถึงสุขภาพของพนักงานปฏิบัติภายในพื้นที่จากผลการตรวจสุขภาพปอดของพนักงานในปี 2556และ2557 พบพนักงานป่วยด้านปอด 7และ 6 คนตามลำดับ ทางผู้บริหารจึงได้แต่งตั้งทีมงานเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น โดยทีมงานโครงการมีจำนวนทั้งหมด 10 คน ทำหน้าที่ค้นหาเทคโนโลยีในการบำบัดอากาศเสียให้เหมาะสำหรับบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่าย ($VOC_s$) โดยหาข้อดีขอเสียรวมถึงหลักการทำงานของเทคโนโลยีทั้งหมด 12 เทคโนโลยี คัดเลือกโดยการให้คะแนนแต่ละเทคโนโลยี โดยมีผู้ร่วมให้คะแนนทั้งหมด 15 คน คือทีมงานโครงการ 10 คนและผู้จัดการแผนกต่างๆ อีก 5 คน ผลการให้คะแนนสรุปได้ว่า เทคโนโลยีที่ให้คะแนนเหมาะสมที่สุด 14 คะแนน เป็นเทคโนโลยีบำบัดกลิ่นด้วยกระบวนการชีวภาพ ประเภทไบโอสครับเบอร์ ทีมงานร่วมหาข้อมูลเพื่อออกแบบระบบไบโอสครับเบอร์ ซึ่งเบื้องต้นได้ทำการออกแบบระบบขนาดบำบัด 30 ลูกบาศก์เมตร ที่พื้นที่ประมาณ 10 ตารางเมตร เพื่อทดลองประสิทธิภาพก่อนที่จะติดตั้งระบบไบโอสครับเบอร์ ผลการตรวจวัดค่าสารอินทรีย์ระเหยง่าย ($VOC_s$) สามารถลดค่า $VOC_S$ ได้จริง จากค่า $VOC_S$ เฉลี่ย หลังผ่านระบบไบโอสครับเบอร์ลดลงเฉลี่ยจาก 69 ppm เหลือ 22 ppm หรือคิดเป็น 65.03 % ที่อัตราการไหล 0.375 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที จากนั้น ฝ่ายออกแบบร่วมทำการคำนวณเพื่อหาขนาดจริงเพื่อให้ครอบคลุมทั้งกระบวนการผลิต เริ่มจากคำนวณ Hood และอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในระบบไบโอสครับเบอร์เช่น ถังไบโอสครับเบอร์ ปั๊ม โบเวอร์ ท่อ มิเดีย เป็นต้น ต่อ 1 จุดสเปรย์ชิ้นงาน ต้องใช้ระบบไบโอสครับเบอร์ใช้งานจริงขนาดบำบัด 108 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที 350 ตารางเมตร มากกว่า 3.5 เท่าของขนาดบำบัด 30 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที พบว่า ค่า $VOC_S$ เฉลี่ยจาก 58.5 ppm หลังผ่านการบำบัด ลดลงเหลือ 26.25 ppm หรือคิดเป็น 55.3% ที่ความเร็วลม 9.2-9.5เมตรต่อวินาที

เมื่อได้ขนาดบำบัด 108 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ทำการติดตั้งระบบไบโอสครับเบอร์ที่หมด 4 จุด จนครบทุกจุดสเปรย์ชิ้นงาน สามารถแจกแจงค่าใช้จ่ายทั้งเงินลงทุน และค่าใช้จ่ายหลังการติดตั้งตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักเศรษฐศาสตร์ ซึ่งใช้เวลาในการติดตั้งทั้งหมด 5 เดือน (หลังติดตั้งระบบ ทำการติดตามผลวิเคราะห์เป็นเวลา 5 เดือน (เดือนกรกฎาคม-พฤศจิกายน 2558)

จากนั้นประเมินผลด้วยเทคนิคเชิงเศรษฐศาสตร์การเงินตลอดระยะเวลาการใช้งาน พบว่า มูลค่าการลงทุนปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 1,787,149.29 บาท ซึ่งมีค่ามากกว่า 0 อัตราผลตอบแทนภายใน 42.4 % ต่อปี ซึ่งมีค่ามากกว่า 0 และผลกำไรตอบแทนภายในระยะเวลา 3 ปี 1 เดือน ซึ่งน้อยกว่าอายุโครงการ (12 ปี) แสดงให้เห็นว่าโครงการบำบัดอากาศเสียด้วยระบบไบโอสครับเบอร์ มีความคุ้มค่าต่อการลงทุนตามหลักการด้านเศรษฐศาสตร์ ผลการตรวจสุขภาพประจำปีของพนักงานปฏิบัติงานภายในกระบวนการเสปรย์ชิ้นงาน พบว่า ปี 2556 และ 2557 มีพนักงานผิดปกติทางปอด 7 คน และ 6 คน ตามลำดับ หลังจากติดตั้งระบบ ในปี 2558 พนักงานผิดปกติทางปอด 4 คน ซึ่งลดลง 33% แต่ก็ยังคงมีพนักงานผิดปกติทางปอดเพราะพนักงานยังคงได้รับสารอินทรีย์ระเหยง่าย ($VOC_s$) โดยตรง สำหรับผลการร้องเรียนก่อนและหลังการติดตั้งระบบบำบัดอากาศเสีย ซึ่งแบ่งหัวข้อร้องเรียนเป็น 3 ส่วน คือ ข้อร้องเรียนจากชุมชน โรงงานข้างเคียงและโรงเรียน พบว่า หลังจากติดตั้งข้อร้องเรียนจากชุมชนและโรงเรียนลดลง 100% ส่วนโรงงานข้างเคียงยังคงมีข้อร้องเรียนก่อนติดตั้ง 3 ข้อร้องเรียน หลังติดตั้ง 2 ข้อร้องเรียน ซึ่งลดลงเพียง 33% แสดงว่า หลังจากมีระบบไบโอสครับเบอร์ช่วยในเรื่องลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่าย ($VOC_s$) แต่ก็ยังคงมีผลกระทบกับโรงงานข้างเคียง

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 อนาคตเพื่อปรับปรุงและพัฒนาประสิทธิภาพของระบบไบโอสครับเบอร์ให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ ลดค่า $VOC_s$ ให้เหลือแค่เลข 1 หลักเท่านั้น

5.2.2 ระบบบำบัดอากาศเสียไม่ได้ช่วยแก้ไขปัญหาที่ต้นทาง ซึ่งอนาคตอาจจะมีเทคโนโลยีใหม่ที่ดีกว่าระบบบำบัดอากาศเสียด้วยไบโอสครับเบอร์ นำมาใช้ทดแทนและมีประสิทธิภาพ ปลอดภัยทั้งพนักงานและชุมชนรอบข้างต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง


[1] Khan, F.I. and Ghoshal, A . “ **Removal of Volatile Organic Compounds from polluted air. Journal of Loss**” , Prevention in the Process Industries . 2000

[2] U.S. Environmental Protection Agency. “**Volatile Organic Compounds**”. เข้าถึงได้จาก URL : http://en.wikipedia.org/wiki/File:2005_sources_of_vocs.png . 2010

[3] สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้. “**แหล่งมลพิษทางอากาศ**”. เข้าถึงได้จาก : URL: http://www.il.mahidol.ac.th/eng. 2558

[4] Wikipedia. “**volatile organic compounds**”. เข้าถึงได้จาก URL: http://en.wikipedia.org /wiki/File:2005_sources_of_vocs.png, 2005

[5] OSH. “**Information sheet**”. เข้าถึงได้จาก URL:www.oshthai.org/upload/file_linkitem/20100126090841_2.pdf, 2012

[6] กรมควบคุมมลพิษ. “**ส่วนคุณภาพอากาศในบรรยากาศ สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง**”. เข้าถึงได้จาก URL : http://infofile.pcd.go.th/air/voc07_standard.pdf?CFID =8720703& ;CFTOKEN=70237361. 2546

[7] JOTUN. “**เอกสารข้อมูลความปลอดภัย**”. เข้าถึงได้จาก : URL: http://www.jotun.com/Datasheets. 2559

[8] กรมควบคุมมลพิษ. “**เทคโนโลยีบำบัดกลิ่น**”. เข้าถึงได้จาก : URL: http://www.pcd.go.th/info_serv/Datasmell/l4tallstack.htm. 2558

[9] US EPA. “ EPA Air Pollution Cost Control Manual” , 6th Ed,US EPA,Research Triangle Park. NC,USA,January 2002

[10] นพภาพร พานิชและคณะ“ระบบบำบัดมลพิษอากาศ.” **ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ**

[11] กรมควบคุมมลพิษ. “สไตรีน”. เข้าถึงได้จาก : URL : http://www.pcd.go.th/info_serv /Datasmell/l3styrene.htm. 2558

[12] : Devinny, Deshusses and Webster, 1999

[13] Blank, L.T.and Tarquim, “Edition” Engineering Economy, 1989

[14] **อมรพล ช่างสุพรรณ.** “เทคโนโลยีการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยระบบการกรองชีวภาพ”. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ ปีที่ 62 ฉบับที่ 194. 2557

[15] **ฉัตรชัย นิมมล.** “หัวดูด”. ระบบกำจัดฝุ่นและการระบายอากาศ. 2548

[16] Biotechnology. “**ชีวบำบัดภัณฑ์เชิงนิเวศสิ่งแวดล้อม**”. เข้าถึงได้จาก URL : http://www.greenandcleansolution.com. 2558

[17] กรมควบคุมมลพิษ. “**เทคโนโลยีสะอาด**”. เข้าถึงได้จาก : URL: http://www.therm-eng.com/product/detail/5

[18] กรมควบคุมมลพิษ. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม “**เทคโนโลยีสะอาด**”. เข้าถึงได้จาก : URL: http://ptech.pcd.go.th/#


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[19] กรมควบคุมมลพิษ. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม “**เทคโนโลยีสะอาด**”. เข้าถึงได้จาก : URL: http://jumpon-yangomoot.blogspot.com/2012/09/blog-post_18.html

[20] เทคโนโลยีสะอาด (Clean Technology).“การผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม”. เข้าถึงได้จาก : URL: http://www.environnet.in.th/2014/?p=8145

[21] **กรกฎ ใยบัวเทศ, วัชระ ทองงอกและคมกฤต เล็กสกุล.** “การใช้เศรษฐศาสตร์ในการวิเคราะห์”. **เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม.** 2549

[22] Environmental and Oder Control Engineering. “**Technologies**”. เข้าถึงได้จาก : URL: http://www.odor.net/odorcontrol.htm

[23] กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. “**มลพิษอากาศ**”. เข้าถึงได้จาก : URL: http:// www.deqp.go.th/

[24] **Y. Lu, J. Liu, B. Lu, A. Jiang, C. Wan.** 2010. Study on the removal of indoor VOCs using biotechnology. *J Hazard Mater.* Vol.182: 204–209.

[25] **G. Moussavi, M. Mohseni**. 2007. Using UV pretreatment to enhance biofiltration of mixtures of aromatic VOCs. *J Hazard Mater*. Vol. 144: 59–66.

[26] **สุวิมล ยสราโม.** 2551. “การกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอากาศเสียด้วยฟองแก๊สแอฟรอน (CGA) ร่วมกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน.” **วิทยานิพนธ์วิศวกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.**

[27] ระพีพร ธนะนูและคณะ. 2553. “โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยการออกแบบและประเมินราคาสำหรับไซโคลน เวสสครับเบอร์ และเตาเผาก๊าซและไอ.” หน้าที่ 777- 784. ในการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 7. กรุงเทพ : **คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน**

[28] Christian Kennes, Eldon R. Rene and Maria C. 2009 “Bioprocesses for Air Pollution Control.” Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 84(10) : 1419-1436

[29] Gero Leson and Arthur M. Winer . 1991 “Biofiltration:An Innovation Air Pollution Control Technology For VOC Emissions.” the Air & Waste Management Association, 41(8) : 1045-1054

[30] Benoit Guieysse, Cecile Hort, Vincent Platel, Raul Munoz, Michel Ondarts, Sergio Revah . 2008 “Biological treatment of indoor air for VOC removal: Potential and challenges.” Biotechnology Advances, 26 : 398-410

[31] Reza Iranpour, Huub H.J. Cox, Marc A. Deshusses,b and Edward D. Schroederc. 2005 “Literature Review of Air Pollution Control Biofilters and Biotrickling Filters for Odor and Volatile Organic Compound Removal.” Environmental Progress, 24(3) : 254-267

[32] Marc A. Deshusses* and Huub H. J. 1999 “A Cost Benefit Approach to Reactor Sizing and Nutrient Supply for Biotrickling Filters for Air Pollution Control”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Department of Chemical and Environmental Engineering University of California, Environmental Progress 18(3) : 188-196

[33] สำนักงานพัฒนาระบบข้อมูลข่าวสารสุขภาพ. “**มลพิษทางอากาศในประเทศไทย**”. เข้าถึงได้จาก : www.hiso.or.th/hiso/picture/reportHealth/pro-5_Chapter4(1).doc

[34] Honours HVAC. “**การเลือกใช้ปั๊มน้ำ**”. เข้าถึงได้จาก : URL: http://www.honor1999.co.th

[35] บริษัท ซาปีะเอ็นจิเนียริ่ง. “**Blower, Centrifugal Fan**”. เข้าถึงได้จาก : URL: http://www.sapaengineer.com

[36] กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. “**ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสารอินทรีย์ระเหยง่าย**”. เข้าถึงได้จาก : URL: http://www.industry.in.th/

[37] กัณฐิกา ถิ่นทิพย์. 2557 “**พิษสารอินทรีย์ระเหยและสารทำลาย.**”หน้าที่ 170-172. สรุปรายงานการเฝ้าระวังโรค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

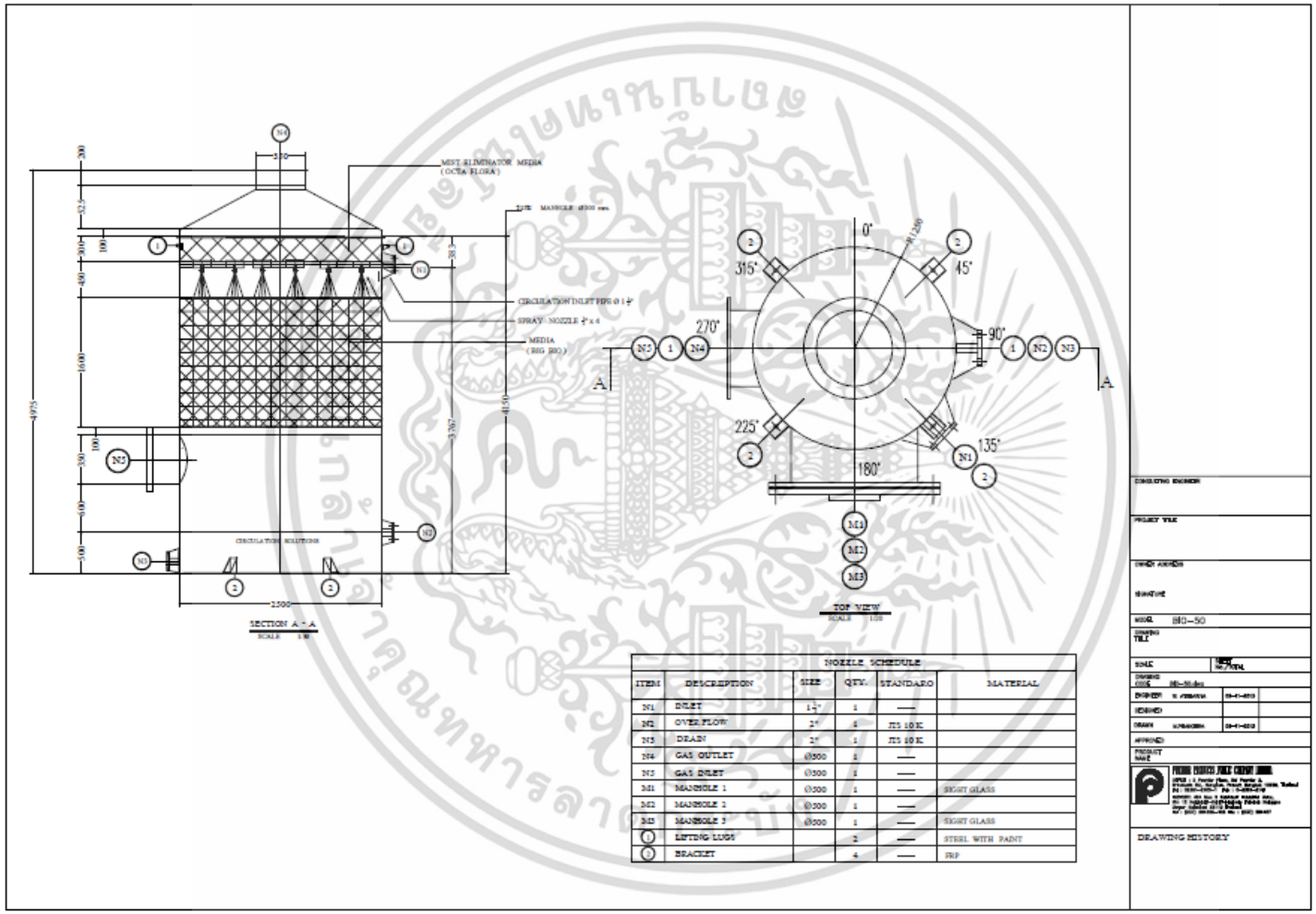
# ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก

## แบบระบบบำบัดอากาศไบโอสครับเบอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ ก.1** แบบระบบบำบัดอากาศเสีย ขนาด 80 ลูกบาศ์กเมตรต่อนาที

**รูปที่ ก.2** แบบท่อดูดอากาศ (Hood) ของระบบปัดอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ข

## เครื่องมือและการตรวจวัด

**รูปที่ ข.1 เครื่องวัดก๊าซ รุ่น MultiRAE Lite (Multi Gas Detector)**

**รายละเอียด:**

- MULTI RAE LITE เครื่องวัดก๊าซ RAE
- เครื่องวัดก๊าซได้สูงสุด 6 ก๊าซ ด้วยเซ็นเซอร์คุณภาพสูง และตรวจวัดได้อย่าวรวดเร็วแม่นยำ
- พร้อมหน้าจอขนาดใหญ่ มองเห็นได้ชัด
- สามารถวัดก๊าซออกซิเจน, ก๊าซหรือไอสารไวไฟ, สารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) และก๊าซพิษ
- สามารถอ่านค่าได้พร้อมกันได้แก่

- Oxygen (O2) 0-30% Vol อ่านความละเอียด 0.1% Vol
- Combustible0-100% LEL อ่านความละเอียด 1% LEL หรือ NDIR 0-100% LEL
- Methaneอ่านความละเอียด 1% LEL หรือ NDIR 0-100% Vol
- Ethaneอ่านความละเอียด 0.1% Vol
- VOC 0-1,000 ppm อ่านความละเอียด 1 ppm
- Carbon Monoxide (CO) 0-500 ppm อ่านความละเอียด 1 ppm
- Hydrogen Sulfide (H2S) 0-1,000 ppmอ่านความละเอียด 1 ppm
- Sulfur Dioxide (SO2) 0-20 ppm อ่านความละเอียด 0.1 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ ข.2** เครื่องมือวัดความเร็วลม

http://www.waterindex.com/Anemo-5stars-AM-4204-p1.htm

SPECIFICATIONS :

| Measurement | Range | Resolution | Accuracy |
|---|---|---|---|
| **Velocity** | **0.2 to 20.0 m/s**<br>**0.7 to 72.0 km/h**<br>**40 to 3940 ft/min**<br>**0.5 to 44.7 mph**<br>**0.4 to 38.8 knots** | **0.1 m/s**<br>**0.1 m/s**<br>**1 ft/min**<br>**0.1 mph**<br>**0.1 knots** | <br><br>**± (1%+1d)**<br>**Fu**<br>**Scale** |
| Temperature | 32° to 122 °F<br>0° to 50 °C | 0.1 F<br>0.1 C | 1.5 °F<br>0.8 °C |
| Sensor Structure :<br><br><br>Memory:<br>Sampling time:<br>Data Output:<br>Operating Temp:<br>Operating Humidity:<br>Power Supply:<br>Dimension:<br><br>Weight: | -Air velocity : Tiny glass bead thermistor<br>Temperature :Precision thermistor<br>-Maximum & Minimum with recall<br>-Approx. 0.8 sec<br>-RS 232 PC serial Interface<br>-0 to 50 C<br>-Less than 80%RH<br>-1.5V AAA(UM-4) battery x 9 pcs.<br>-Main Instrument : 180x72x32 mm<br>-Telescope Probe : Round with diameter 12 mm.<br>-355g | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ค

**มาตรฐานสารอินทรีย์ระเหยง่าย $VOC_s$**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ประกาศกระทรวงมหาดไทย**
**เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม**
**(สารเคมี)**

---

อาศัยอำนาจตามความในข้อ 2 (7) แห่งประกาศของคณะปฏิวัติ ฉบับที่ 103 ลงวันที่ 16 มีนาคม 2515 กระทรวงมหาดไทยจึงกำหนดสวัสดิการเกี่ยวกับสุขภาพอนามัยและความปลอดภัยสำหรับลูกจ้างไว้ ดังต่อไปนี้

**ความทั่วไป**

*ข้อ 1* ในประกาศนี้

"เส้นใย" หมายความว่า สารที่มีลักษณะเหนียวและยาวคล้ายเส้นด้าย มีต้นกำเนิดจาก แร่ พืช สัตว์ หรือใยสังเคราะห์

"ฝุ่น" หมายความว่า อนุภาคของของแข็งที่สามารถฟุ้ง กระจาย ปลิว หรือลอยอยู่ในอากาศได้

"ละออง" หมายความว่า อนุภาคของของเหลวที่สามารถลอยอยู่ในอากาศได้

"ฟูม"หมายความว่าอนุภาคของของแข็งที่เกิดขึ้นจากการรวมตัวของไอของสารและสามารถลอยอยู่ในอากาศได้

"แก๊ส" หมายความว่า ของไหลมีปริมาตรหรือรูปทรงไม่แน่นอนที่สามารถฟุ้ง กระจาย และเปลี่ยนสภาพเป็นของเหลวหรือของแข็งได้ โดยการเพิ่มความดันหรือลดอุณหภูมิ

"ไอเคมี" หมายความว่า ไอที่เกิดขึ้นจากสารเคมีที่เป็นของเหลวหรือของแข็งในสภาวะปกติ

"นายจ้าง" หมายความว่า ผู้ซึ่งตกลงรับลูกจ้างเข้าทำงานโดยจ่ายค่าจ้างให้ และหมายความรวมถึงผู้ซึ่งได้รับมอบหมายให้ทำงานแทนนายจ้าง ในกรณีที่นายจ้างเป็นนิติบุคคล หมายความว่าผู้มีอำนาจกระทำการแทนนิติบุคคลนั้น และหมายความรวมถึงผู้ซึ่งได้รับมอบหมายให้ทำงานแทนผู้มีอำนาจกระทำการแทนนิติบุคคล

"ลูกจ้าง" หมายความว่า ผู้ซึ่งตกลงทำงานให้แก่นายจ้างเพื่อรับค่าจ้างไม่ว่าจะเป็นผู้รับค่าจ้างด้วยตนเองหรือไม่ก็ตามและหมายความรวมถึงลูกจ้างประจำและลูกจ้างชั่วคราวแต่ไม่รวมถึงลูกจ้างซึ่งทำงานเกี่ยวกับงานบ้าน

"ลูกจ้างประจำ" หมายความว่า ลูกจ้างซึ่งนายจ้างตกลงจ้างไว้เป็นการประจำ

"ลูกจ้างชั่วคราว" หมายความว่า ลูกจ้างซึ่งนายจ้างตกลงจ้างไว้ไม่เป็นการประจำ เพื่อทำงานอันมีลักษณะเป็นครั้งคราว เป็นการจร หรือเป็นไปตามฤดูกาล

**หมวด 1**
**สารเคมี**

*ข้อ 2* ตลอดระยะเวลาทำงานปกติภายในสถานที่ประกอบการที่ให้ลูกจ้างทำงานจะมีปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีในบรรยากาศของการทำงานโดยเฉลี่ยเกินกว่าที่กำหนดไว้ในตารางหมายเลข 1 ท้ายประกาศนี้มิได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*ข้อ 3* ไม่ว่าระยะเวลาใดของการทำงานปกติ ห้ามมิให้นายจ้างให้ลูกจ้างทำงานในที่ที่มีปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีเกินกว่าที่กำหนดไว้ในตารางหมายเลข 2 ท้ายประกาศนี้

*ข้อ 4* ห้ามมิให้นายจ้างให้ลูกจ้างทำงานในที่ที่มีปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีเกินกว่าที่กำหนดไว้ในตารางหมายเลข 3 ท้ายประกาศนี้

*ข้อ 5* ห้ามมิให้นายจ้างให้ลูกจ้างทำงานในที่ที่มีปริมาณฝุ่นแร่ในบรรยากาศของการทำงานตลอดระยะเวลาการทำงานปกติโดยเฉลี่ยเกินกว่าที่กำหนดไว้ในตารางหมายเลข 4 ท้ายประกาศนี้

*ข้อ 6* ภายในสถานที่ประกอบการที่มีการใช้สารเคมีที่กำหนดไว้ในตารางหมายเลข 1, 2, 3 หรือ 4 ซึ่งสภาพของการใช้นั้นอาจเป็นอันตรายต่อผู้ใช้หรือผู้อยู่ใกล้เคียง ให้นายจ้างจัดห้องหรืออาคารสำหรับการใช้สารเคมีไว้โดยเฉพาะ

*ข้อ 7* ในกรณีที่ภายในสถานที่ประกอบการที่มีสารเคมีหรือฝุ่นแร่ฟุ้งกระจายสู่บรรยากาศของการทำงานเกินกว่าที่กำหนดไว้ในตารางหมายเลข 1, 2, 3, หรือ 4 ให้นายจ้างดำเนินการแก้ไขหรือปรับปรุงเพื่อลดความเข้มข้นของสารเคมี หรือปริมาณฝุ่นแร่มิให้เกินกว่าที่กำหนดไว้ในตารางดังกล่าวแล้ว หากแก้ไขหรือปรับปรุงไม่ได้ นายจ้างจะต้องจัดให้ลูกจ้างสวมใส่อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ในหมวด 2 ตลอดเวลาที่ลูกจ้างทำงานเกี่ยวกับสารเคมีที่มีลักษณะหรือปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพร่างกายของลูกจ้างดังต่อไปนี้

(1) ฝุ่น ละออง ฟูม แก๊ส หรือไอเคมีต้องสวมใส่ที่กรองอากาศหรือเครื่องช่วยหายใจที่เหมาะสม

(2) สารเคมีในรูปของของเหลวที่เป็นพิษ ต้องสวมใส่ถุงมือยาง รองเท้าพื้นยางหุ้มแข้ง กระบังหน้าชนิดใสและที่กันสารเคมีกระเด็นถูกร่างกาย

(3) สารเคมีในรูปของของแข็งที่เป็นพิษ ต้องสวมใส่ถุงมือยางและรองเท้าพื้นยางหุ้มส้น

## หมวด 2
## มาตรฐานเกี่ยวกับอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล

*ข้อ 8* ถุงมือยางต้องทำด้วยยางหรือวัตถุอื่นที่คล้ายกัน มีความยาวหุ้มถึงข้อมือ มีลักษณะใช้สวมกับนิ้วมือได้ทุกนิ้ว มีความเหนียวไม่ฉีกขาดง่าย สามารถกันน้ำและสารเคมีได้

*ข้อ 9* รองเท้ายางหุ้มแข้ง ต้องทำด้วยยางหรือยางผสมวัตถุอื่น เมื่อสวมแล้วมีความสูงไม่น้อยกว่าครึ่งแข้ง ไม่ฉีกขาดง่าย สามารถกันน้ำและสารเคมีได้

*ข้อ 10* กระบังหน้าชนิดใส ตัวกระบังต้องทำด้วยพลาสติกใสหรือวัตถุอื่นที่มีลักษณะคล้ายกันมองเห็นได้ชัด สามารถป้องกันอันตรายจากสารเคมีกระเด็นหรือหกรดและทนแรงกระแทกได้ ตัวกรอบต้องมีน้ำหนักเบาและต้องไม่ติดไฟง่าย

*ข้อ 11* ที่กรองอากาศสำหรับใช้ครอบจมูกและปากกันสารเคมี ต้องสามารถลดปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีมิให้เกินกว่าที่กำหนดไว้ในตารางหมายเลข 1, 2 และ 3

*ข้อ 12* ที่กรองอากาศสำหรับใช้ครอบจมูกและปากกันฝุ่นแร่ ต้องสามารถลดปริมาณฝุ่นแร่มิให้เกินกว่าที่กำหนดไว้ในตารางหมายเลข 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*ข้อ 13* เครื่องช่วยหายใจที่ใช้กับ ฟูม แก๊ส หรือไอเคมี ต้องเป็นแบบหน้ากากครอบเต็มหน้าประเภทที่มีถังอากาศสำหรับหายใจอยู่ในตัวหรือประเภทที่มีท่ออากาศต่อมาจากที่อื่น

*ข้อ 14* ที่กันอันตรายจากสารเคมีกระเด็น ต้องทำด้วยผ้าพลาสติก หนัง หนังเทียม หรือวัตถุอื่นที่สามารถกันอันตรายจากสารเคมีได้

**หมวด 3**
**เบ็ดเตล็ด**

*ข้อ 15* ข้อกำหนดเกี่ยวกับสุขภาพอนามัยและความปลอดภัยที่กำหนดไว้ในประกาศนี้เป็นมาตรฐานขั้นต่ำที่จะต้องปฏิบัติเท่านั้น

*ข้อ 16* งานใดที่มีลักษณะไม่เหมาะสมแก่การที่จะให้ลูกจ้างใช้อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลดังที่ระบุไว้ในประกาศนี้ นายจ้างอาจผ่อนผันให้ลูกจ้างระงับการใช้อุปกรณ์นั้นเฉพาะการปฏิบัติงานในลักษณะเช่นว่านั้นเป็นการชั่วคราวได้

*ข้อ 17* ในกรณีที่พนักงานเจ้าหน้าที่ตรวจพบว่าสารเคมีในบริเวณสถานประกอบการมิได้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในประกาศนี้ ให้พนักงานเจ้าหน้าที่ให้คำแนะนำตักเตือนเป็นหนังสือให้นายจ้างปฏิบัติการให้ถูกต้องภายในระยะเวลาที่กำหนดไว้

*ข้อ 18* ประกาศกระทรวงมหาดไทยฉบับนี้ให้ใช้บังคับเมื่อพ้นกำหนดหนึ่งร้อยแปดสิบวันนับแต่วันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ 30 พฤษภาคม 2520

คนึง ฤาไชย
รัฐมนตรีช่วยว่าการฯ รักษาราชการแทน
รัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**บัญชีท้ายประกาศกระทรวงมหาดไทย**
**เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี)**

*ตารางหมายเลข 1*

| ลำดับที่ | ชื่อสารเคมี | ปริมาณสารเคมี | |
|---|---|---|---|
| | | ส่วนในล้านส่วนโดยปริมาตร (p.p.m) | มิลลิกรัมต่ออากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร ($mg/M^3$) |
| 1. | อัลดริน (Aldrin) | - | 0.25 |
| 2. | อะซินฟอส-เมทธิล (Azinphos-methyl) | - | 0.2 |
| 3. | คลอเดน (Chlordane) | - | 0.5 |
| 4. | ดี ดี ที (DDT) | - | 1 |
| 5. | ดี ดี วี พี (DDVP) | - | 1 |
| 6. | ไดคลอวอส (Dichlorvos) | - | 1 |
| 7. | ดิลดริน (Dieldrin) | - | 0.25 |
| 8. | ไดเมทธิล 1, 2 ไดโบรโม 2, 2 ไดคลอโรเอทธิลฟอสเฟต (ไดบรอม) (Dimethyl 1, 2-dibromo 2, 2 dichloroethyl phosphate (Dibrom) | - | 3 |
| 9. | เอนดริน (Endrin) | - | 0.1 |
| 10. | กูไธออน (Guthion) | - | 0.2 |
| 11. | ตะกั่วอาร์ซีเนต (Lead arsenate) | - | 0.15 |
| 12. | ลินเดน (Lindane) | - | 0.5 |
| 13. | มาลาไธออน (Malathion) | - | 15 |
| 14. | เมธอกซีคลอ (Methoxychlor) | - | 15 |
| 15. | นิโคติน (Nicotine) | - | 0.5 |
| 16. | ซีสทอกซ์ (Systox) | - | 0.1 |
| 17. | แตลเลียมและสารประกอบที่ละลายได้ (Thallium (Soluble compounds) as TI) | - | 0.1 |
| 18. | ไธแรม (Tiram) | - | 5 |
| 19. | ท๊อกซาฟีน (Toxaphene) | - | 0.5 |
| 20. | พาราไธออน (Parathion) | - | 0.11 |
| 21. | ฟอสดริน (Phosdrin) | - | 0.1 |
| 22. | ไพริธรัม (Pyrethrum) | - | 5 |
| 23. | วาร์ฟฟารีน (Warfarin) | - | 0.1 |
| 24. | คาร์บาริล (เซวิน (อาร์)) [Carbaryl (Sevin (R)] | - | 5 |
| 25. | 2, 4-ดี (2,4-D) | - | 10 |
| 26. | พาราควอท (Paraquat) | - | 0.5 |
| 27. | 2, 4,5 ที (2, 4,5 T) | - | 10 |
| 28. | กรดน้ำส้ม (Acetic Acid) | 10 | 25 |
| 29. | แอมโมเนีย (Ammonia) | 50 | 35 |
| 30. | สารหนูและสารประกอบของสารหนู [Arsenic and Compounds (as As)] | - | 0.5 |
| 31. | อาร์ซีน (Arsine) | 0.05 | 0.2 |
| 32. | ไบฟีนิล (Biphenyl) | 0.2 | 1 |
| 33. | บิสฟีนอล เอ (Bisphenol A) | 0.5 | 2.8 |
| 34. | คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide) | 5,000 | 9,000 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | |
|---|---|---|---|
| 35. | คาร์บอนมอนนอกไซด์ (Carbon monoxide) | 50 | 55 |
| 36. | คลอรีน (Chlorine) | 1 | 3 |
| 37. | คลอรีนไดออกไซด์ (Chlorine dioxide) | 0.1 | 0.3 |
| 38. | โครเมี่ยมและสารประกอบของโครเมี่ยม | - | 1 |
| 39. | ฟูมของทองแดง | - | 0.1 |
| 40. | ฝุ่นหรือละอองของทองแดง | - | 1 |
| 41. | ฝุ่นฝ้ายดิบ [Cotton dust (raw)] | - | 1 |
| 42. | ไซยาไนด์ (Cyanide as CN) | - | 5 |
| 43. | เอทธิล อัลกอฮอล์ (เอทธานอล) [Ethyl alcohol (Ethanol)] | 1,000 | 1,900 |
| 44. | ฟลูออไรด์ [Fluoride (as F)] | - | 2.5 |
| 45. | ฟลูออรีน (Fluorine) | 0.1 | 0.2 |
| 46. | ไฮโดรเจนไซยาไนด์ (Hydrogen Cyanide) | 10 | 11 |
| 47. | ฟูมเหล็กออกไซด์ (Iron Oxide Fume) | - | 10 |
| 48. | เมทธิลอัลกอฮอล์ (เมทธานอล) [Methyl alcohol (Methanol)] | 200 | 260 |
| 49. | นิเกิล คาร์โบนิล (Nickel carbonyl) | 0.001 | 0.007 |
| 50. | นิเกิล ในรูปของโลหะและสารประกอบที่ละลายได้ (Nickel, Metal and Soluble Compounds, as Ni) | - | 1 |
| 51. | กรดไนตริค (Nitric acid) | 2 | 5 |
| 52. | ไนตริคออกไซด์ (Nitric oxide) | 25 | 30 |
| 53. | ไนโตรเจนไดออกไซด์ (Nitrogen dioxide) | 5 | 9 |
| 54. | ไนโตรกลีเซอรีน (Nitroglycerin) | 0.2 | 2 |
| 55. | โซเดียมไฮดรอกไซ์ (Sodium hydroxide) | - | 2 |
| 56. | ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur dioxide) | 5 | 13 |
| 57. | กรดกำมะถัน (Sulfuric acid) | - | 1 |
| 58. | เตตราเอทธิลเลด [Tetraethyl lead (ad Pb)] | - | 0.075 |
| 59. | เตตราเมทธิลเลด [Tetramethyl lead (as Pb)] | - | 0.07 |
| 60. | ดีบุก และสารประกอบอนินทรีย์ของดีบุก | - | 2 |
| 61. | ดีบุก และสารประกอบอินทรีย์ของดีบุก | - | 0.1 |
| 62. | ฟีนอล (Phenol) | 5 | 19 |
| 63. | ฟอสจีน (คาร์โบนิล คลอไรด์) [Phosgene (Carbonyl chloride)] | 0.1 | 0.4 |
| 64. | ฟอสฟีน (Phosphine) | 0.3 | 0.4 |
| 65. | กรดฟอสฟอริค (Phosphoric acid) | - | 1 |
| 66. | ฟอสฟอรัส (เหลือง) [Phosphorus (yellow)] | - | 0.1 |
| 67. | ฟอสฟอรัส เพนตะคลอไรด์ (Phosphorus pentachloride) | - | 1 |
| 68. | ฟอสฟอรัส เพนตะซัลไฟด์ (Phosphorus pentasulfide) | - | 1 |
| 69. | ฟอสฟอรัส ไตรคลอไรด์ (Phosphorus trichoride) | 0.5 | 3 |
| 70. | ไซลีน (ไซลอล) [Xylene (Xylol)] | 100 | 435 |
| 71. | ฟูมของสังกะสีคลอไรด์ (Zinc chloride fume) | - | 1 |
| 72. | ฟูมของสังกะสีออกไซด์ (Zine oxide fume) | - | 5 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*ตารางหมายเลข 2*

| ลำดับที่ | ชื่อสารเคมี | ปริมาณสารเคมี | |
|---|---|---|---|
| | | ส่วนในล้านส่วนโดยปริมาตร (p.p.m.) | มิลลิกรัมต่ออากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร ($mg/M^3$) |
| 1. | อัลลิน ไกลซิดิล อีเทอร์ (Allyl glycidyl ether (AGE)) | 10 | 45 |
| 2. | โบรรอน ไตรฟลูออไรด์ (Boron Tifluoride) | 1 | 3 |
| 3. | บิวทิลอะไมน์ (Butylamine) | 5 | 15 |
| 4. | เทอเทียรี่-บิวทิล โครเมต (Tert-Butyl chromate (as $CrO_3$)) | - | 0.1 |
| 5. | คลอรีนไตรฟลูออไรด์ (Chlorine trifluoride) | 0.1 | 0.4 |
| 6. | คลอโรอะเซ็ทตัลดีไฮด์ (Chloroacetaldehyde) | 1 | 3 |
| 7. | คลอโรฟอร์ม (ไตรคลอโรมีเทน) (Chloroform (trichloromethane)) | 50 | 240 |
| 8. | ออโธ-ไดคลอโรเบนซีน (o-Dichlorobenzene) | 50 | 300 |
| 9. | ไดคลอโรเอทธิล อีเธอร์ (Dichloroethyl ether) | 15 | 90 |
| 10. | 1,1-ไดคลอโร-1-ไนโตรอีเทน (1,1-Dichloro-1-nitroethane) | 10 | 60 |
| 11. | ไดไกลซิดิล อีเทอร์ (ดี จี อี) (Diglycidyl ether (DGE)) | 0.5 | 2.8 |
| 12. | เอทธิล เมอร์แคปแตน (Ethyl mercaptan) | 10 | 25 |
| 13. | เอทธีลลีน ไกลคอลไดไนเตรต และ / หรือ ไนโตรไกลเซอรีน (Ethylene glycol dinitrate and / on Nitroglycerin) | 0.2 | 1 |
| 14. | ไฮโดรเจน คลอไรด์ (Hydrogen chloride) | 5 | 7 |
| 15. | ไอโอดีน (Iodine) | 0.1 | 1 |
| 16. | แมงกานีส (Manganese) | - | 5 |
| 17. | เมทธิลโบรไมด์ (Methyl bromide) | 20 | 80 |
| 18. | เมทธิล เมอร์แคปแตน (Methyl mercaptan) | 10 | 20 |
| 19. | แอลฟาเมทธิล สไตรีน (α Methyl styrene) | 100 | 480 |
| 20. | เมทธีลลีน บีสฟีนิล ไอโซไซยาเนต (เอ็ม ดี ไอ) (Methylene bisphenyl isocyanate (MDI) | 0.02 | 0.2 |
| 21. | โมโนเมทธิล ไฮดราซิ (Monomethyl hydrazine) | 0.2 | 0.35 |
| 22. | เทอร์เฟนนิลส์ (Terphenyls) | 1 | 9 |
| 23. | โทลูอีน-2,4-ไดไอโซไซยาเนต (Toluene-2,4-Diisocyanate) | 0.02 | 0.14 |
| 24. | ไวนิล คลอไรด์ (Vinyl chloride) | 1 | 2.8 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## *ตารางหมายเลข 3*

| ลำดับที่ | ชื่อสารเคมี | ปริมาณสารเคมี | | | ปริมาณความเข้มข้นที่อาจยอมให้มีได้ |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาทำงานปกติ | ปริมาณความเข้มข้นสูงสุดในช่วงเวลาที่จำกัด | | |
| | | | ปริมาณความเข้มข้น | ระยะเวลาที่กำหนดให้ทำงานได้ | |
| 1 | เบนซีน (Benzene) | 10 ส่วน/ล้านส่วน | 50 ส่วน/ล้านส่วน | 10 นาที | 25 ส่วน/ล้านส่วน |
| 2 | เบอริลเลี่ยมและสารประกอบเบอริลเลี่ยม (Berylium and Berylium compounds) | 2 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร | 25 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร | 30 นาที | 5 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร |
| 3 | ฟูมแคดเมี่ยม (Cadmium fume) | 0.1 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร | - | - | 0.3 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร |
| 4 | ฝุ่นแคดเมี่ยม (Cadmium dust) | 0.2 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร | - | - | 0.6 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร |
| 5 | คาร์บอนไดซัลไฟด์ (Carbondisulfide) | 20 ส่วน/ล้านส่วน | 100 ส่วน/ล้านส่วน | 30 นาที | 30 ส่วน/ล้านส่วน |
| 6 | คาร์บอนเตตราคลอไรด์ (Carbontetrachloride) | 10 ส่วน/ล้านส่วน | 200 ส่วน/ล้านส่วน | 5 นาทีในทุกช่วงเวลา 4 ชั่วโมง | 25 ส่วน/ล้านส่วน |
| 7 | เอทธิลลีน ไดโบรไมด์ (Ethylene dibromide) | 20 ส่วน/ล้านส่วน | 50 ส่วน/ล้านส่วน | 5 นาที | 30 ส่วน/ล้านส่วน |
| 8 | เอทธิลลีน ไดคลอไรด์ (Ethylene dichloride) | 50 ส่วน/ล้านส่วน | 200 ส่วน/ล้านส่วน | 5 นาทีในทุกช่วงเวลา 3 ชั่วโมง | 100 ส่วน/ล้านส่วน |
| 9 | ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) | 3 ส่วน/ล้านส่วน | 10ส่วน/ล้านส่วน | 30 นาที | 5 ส่วน/ล้านส่วน |
| 10 | ฝุ่นฟลูออไรด์ (Fluoride as dust) | 2.5 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร | - | - | - |
| 11 | ตะกั่วและสารประกอบอนินทรีย์ของตะกั่ว (Lead and its inorganic compounds) | 0.2 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร | - | - | - |
| 12 | เมทธิล คลอไรด์ (Methyl chloride) | 100 ส่วน/ล้านส่วน | 300 ส่วน/ล้านส่วน | 5 นาทีในทุกช่วงเวลา 3 ชั่วโมง | 200 ส่วน/ล้านส่วน |
| 13 | เมทธิลลีน คลอไรด์ (Methylene chloride) | 500 ส่วน/ล้านส่วน | 2,000ส่วน/ล้านส่วน | 5 นาทีในทุกช่วงเวลา 2 ชั่วโมง | 1,000 ส่วน/ล้านส่วน |
| 14 | ออแกนโน (แอลไคล์) เมอคิวรี่ (Organo (alkyl) (mercury)) | 0.01 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร | - | - | 0.04 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร |
| 15 | สไตรีน (Styrene) | 100 ส่วน/ล้านส่วน | 600 ส่วน/ล้านส่วน | 5 นาทีในทุกช่วงเวลา 3 ชั่วโมง | 200 ส่วน/ล้านส่วน |
| 16 | ไตรคลอโร เอทธิลลีน (Trichloroethylene) | 100 ส่วน/ล้านส่วน | 300 ส่วน/ล้านส่วน | 5 นาทีในทุกช่วงเวลา 2 ชั่วโมง | 200 ส่วน/ล้านส่วน |
| 17 | เตตราคลอโร เอทธิลลีน (Tetrachloroethylene) | 100 ส่วน/ล้านส่วน | 300ส่วน/ล้านส่วน | 5 นาทีในทุกช่วงเวลา 3 ชั่วโมง | 200 ส่วน/ล้านส่วน |
| 18 | โทลูอีน (Toluene) | 200 ส่วน/ล้านส่วน | 500 ส่วน/ล้านส่วน | 10 นาที | 300 ส่วน/ล้านส่วน |
| 19 | ไฮโดรเจน ซัลไฟด์ (Hydrogen sulfide) | - | 50 ส่วน/ล้านส่วน | 10 นาที | 20 ส่วน/ล้านส่วน |
| 20 | ปรอท (Mercury) | - | - | - | 0.05 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร |
| 21 | กรดโครมิค และเกลือโครเมตส์ | - | - | - | 0.1 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*ตารางหมายเลข 4*

| ลำดับที่ | ชื่อสารเคมี | ประมาณฝุ่นแร่, เฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ | |
|---|---|---|---|
| | | ส่วนอนุภาคต่อปริมาตรของอากาศ 1 ลูกบาศก์ฟุต (Mppcf) | มิลลิกรัมต่ออากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร ($mg/M^3$) |
| 1. | ซิลิกา (Silica) | | |
| | คริสตัลลีน (Crystalline) | | |
| | - ควอร์ซ (Quartz) ฝุ่นขนาดที่สามารถเข้าถึงและสะสมในถุงลมของปอดได้ (Respirable dust) | $\frac{250}{\% SiO_2 + 5}$ | $\frac{10\ mg/M^3}{\% SiO_2 + 2}$ |
| | - ควอร์ซ (Quartz) ฝุ่นทุกขนาด (Total dust) | – | $\frac{30\ mg/M^3}{\% SiO_2 + 2}$ |
| | - คริสโตบาไลท์ (Cristobalite) | $\frac{1}{2}\left[\frac{250}{\% SiO_2 + 5}\right]$ | $\frac{1}{2}\left[\frac{10\ mg/M^3}{\% SiO_2 + 2}\right]$ |
| 2. | เอมอร์ฟัส รวมทั้งแร่ธรรมชาติ (Amorphus) | 20 | $\frac{80\ mg/M^3}{\% SiO_2}$ |
| 3. | ซิลิเคต (ที่มีผสมซิลิกาต่ำกว่า 1%) (Silicates) | | |
| | - แอสเบสตอส (Asbestos) | 5* | - |
| | - ทรีโมไลท์ (Tremolite) | 5* | - |
| | - ทอล์ค (Talc) พวกที่เป็นเส้นใย (Asbestos form) | 5* | - |
| | - ทอล์ค (Talc) พวกที่ไม่เป็นเส้นใย (non-asbestos form) | 20 | - |
| | - ไมกา (Mica) | 20 | - |
| | - โซปสโตน (Soapstone) | 20 | - |
| | - ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ (Portland cement) | 50 | - |
| | - แกรไฟท์ (Graphite) | 15 | - |
| | - ฝุ่นถ่านหิน (Coal dust) ที่มี $SiO_2$ น้อยกว่า 5% | - | $24\ mg/M^3$ |
| | - ฝุ่นถ่านหิน (Coal dust) ที่มี $SiO_2$ มากกว่า 5% | - | $\frac{10\ mg/M^3}{\% SiO_2 + 2}$ |
| 4. | ฝุ่นที่ก่อให้เกิดความรำคาญ (Inert or Nuisance dust) | | |
| | - ฝุ่นขนาดที่สามารถเข้าถึงและสะสมในถุงลมของปอดได้ (Respirable dust) | 15 | $5\ mg/M^3$ |
| | - ฝุ่นทุกขนาด (Total dust) | 50 | $15\ mg/M^3$ |

* **หมายถึง** จำนวนเส้นใย/อากาศ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

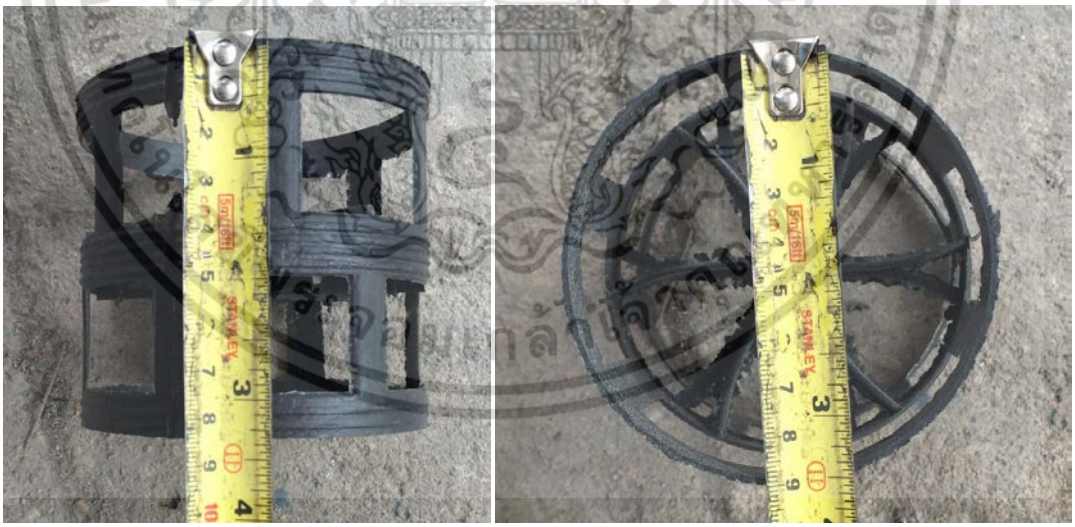
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ง

## คู่มือเครื่องจักรและคู่มือการดูแลระบบ

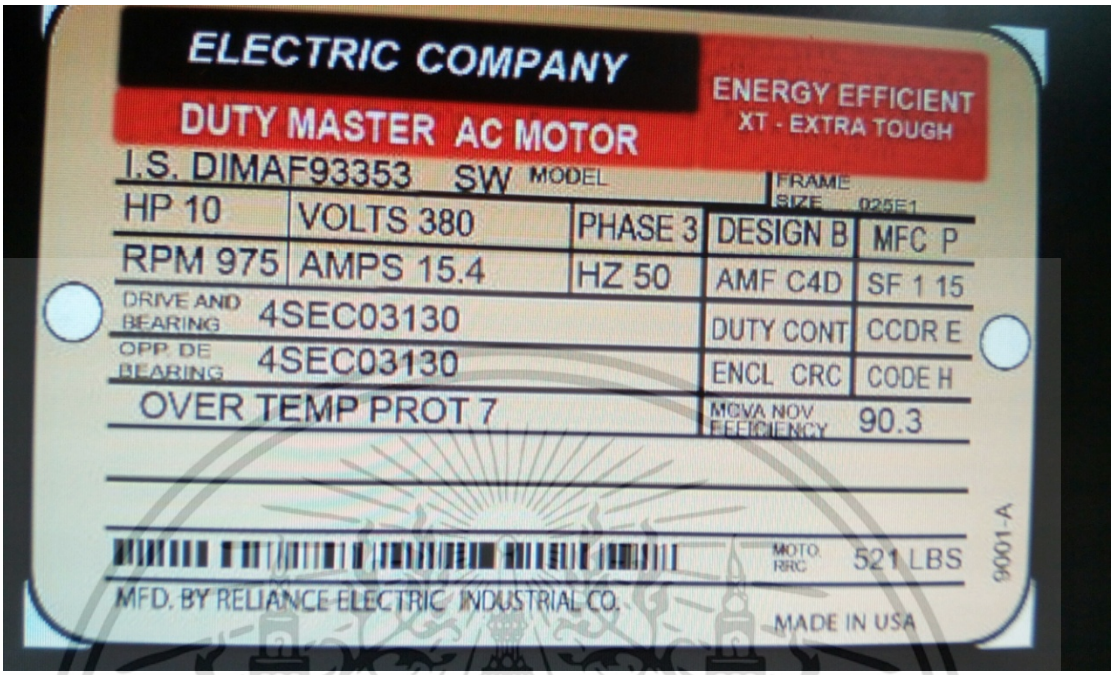
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ ง.1 เครื่องดูดอากาศ (Blower)**

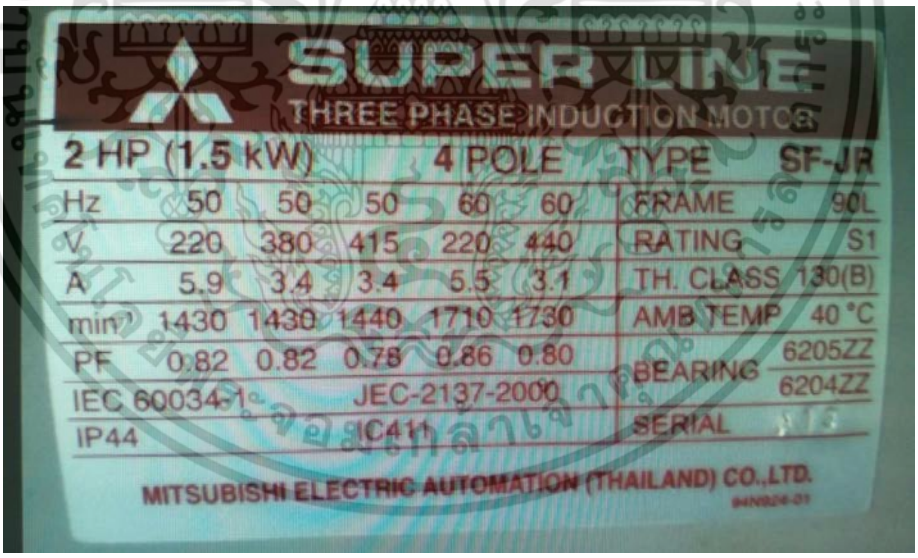


**รูปที่ ง.2 ชนิดของตัวกลาง (Media)**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ ง.3 ชนิดของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนปั๊ม**




**รูปที่ ง.4 ชนิดของปั๊มน้ำ (Water Pump)**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

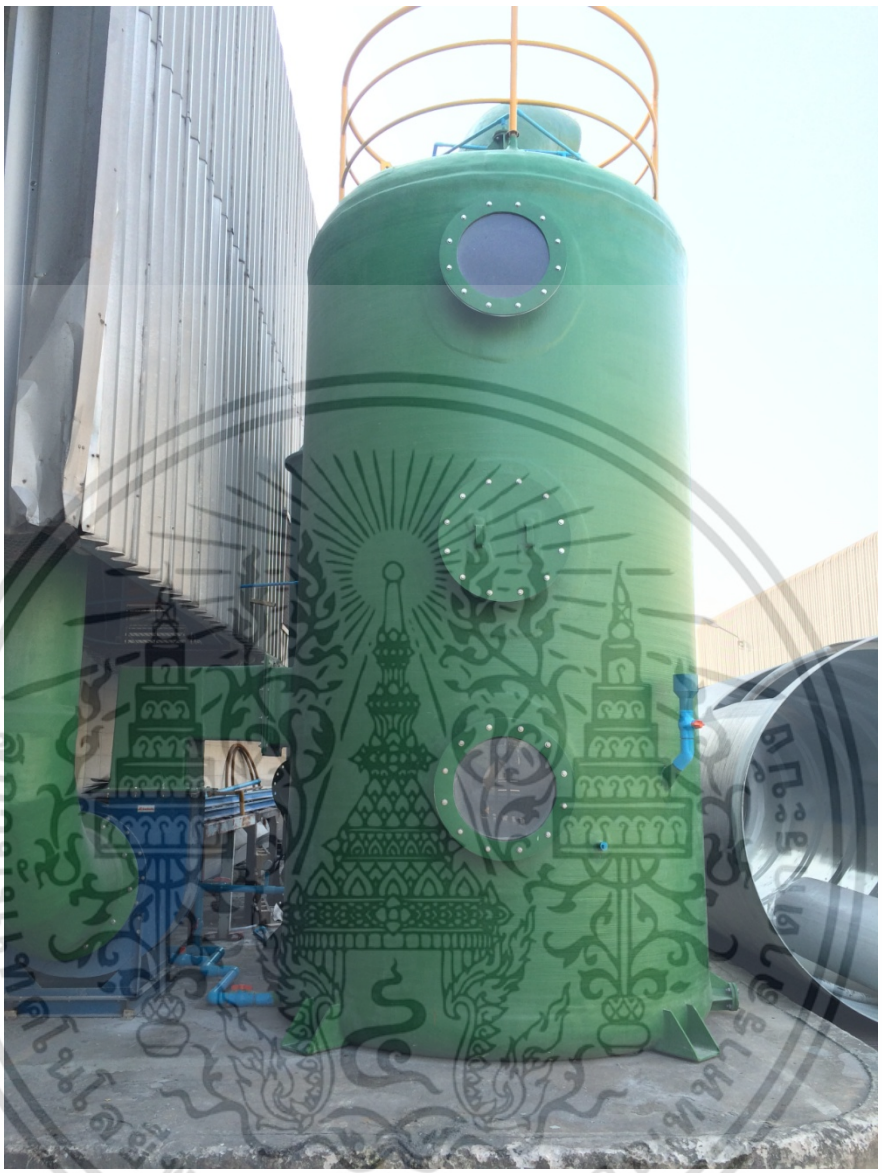
**รูปที่ ง.5 ตู้ควบคุมที่ใช้ในระบบไบโอสครับเบอร์**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก จ

## คู่มือการดูแลระบบ ไบโอสครับเบอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**1.ข้อมูลทั่วไปของระบบ**

Bio Scrubber คือระบบบำบัดกลิ่นจำพวกสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) โดยใช้การเลี้ยงจุลินทรีย์ไว้บนผิวของพลาสติกมีเดีย จากนั้นจึงผ่านอากาศเสียเข้าไปยังชั้นมีเดีย เพื่อให้จุลินทรีย์ทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เจือปนอยู่ให้หมดไป โดยมีปั๊มสำหรับหมุนเวียนน้ำเพื่อให้ความชื้นกับจุลินทรีย์และมีการเติมสารอาหาร ( Nitrogen & Phosporus) ประมาณเดือนละสองครั้ง จึงเป็นระบบที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและค่าบำรุงรักษาต่ำอีกด้วย

ข้อดี

-เป็นระบบที่ใช้จุลินทรีย์บำบัด จึงเป็นกระบวนการทางชีววิทยา ซึ่งไม่มีผลเสียต่อคนและสิ่งแวดล้อม

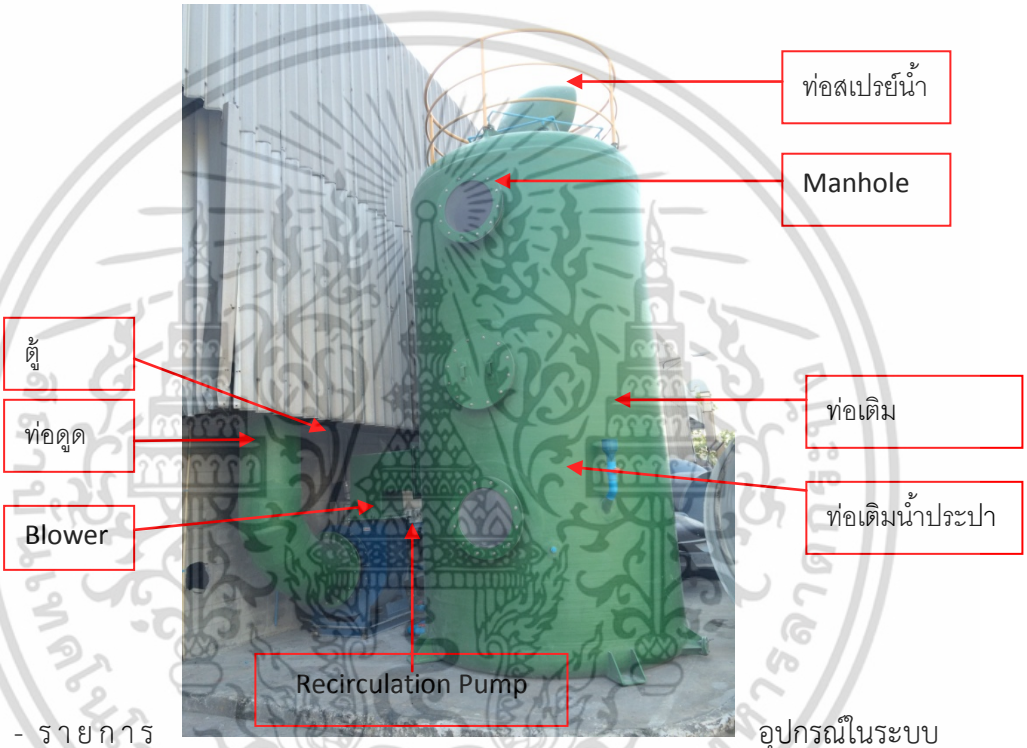
- สามารถประยุกต์ใช้กับกลิ่นได้หลายประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่าดูแลและค่าบำรุงรักษาต่ำ

ข้อเสีย
-ประสิทธิภาพที่แน่นนอนจะขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของกลิ่นนั้นๆ จึงต้องมีการทำระบบตัวทดลองก่อนที่จะออกแบบจริง

**2.ส่วนประกอบของระบบ**




- รายการอุปกรณ์ในระบบ

1. Blower ใช้พัดลมโบล์เวอร์ แบบเทอร์โบ ชนิดใช้สายพาน รุ่น TFB-3274 ขนาด 10 แรงม้า ใบพัดทำด้วยเหล็ก ขนาดใบพัด 27 นิ้ว ความเร็วรอบ 1558 รอบ/นาที อัตราระบายอากาศสูงสุดที่ 188 ลบ.ม.อากาศ/นาที ที่ความดันลด 125 มม.

2. Recirculation Pump ใช้ Single Impeller Centrifugal Electric Pump Series VMS รุ่น VMS-32-160C ขนาด 2 แรงม้า ไฟฟ้า 1 เฟส 220 โวลต์ อัตราการสูบ 300 ลิตร/นาที ที่ความดันลด 12 เมตร ตัวเรือนและใบพัดทำจาก Stainless Steel

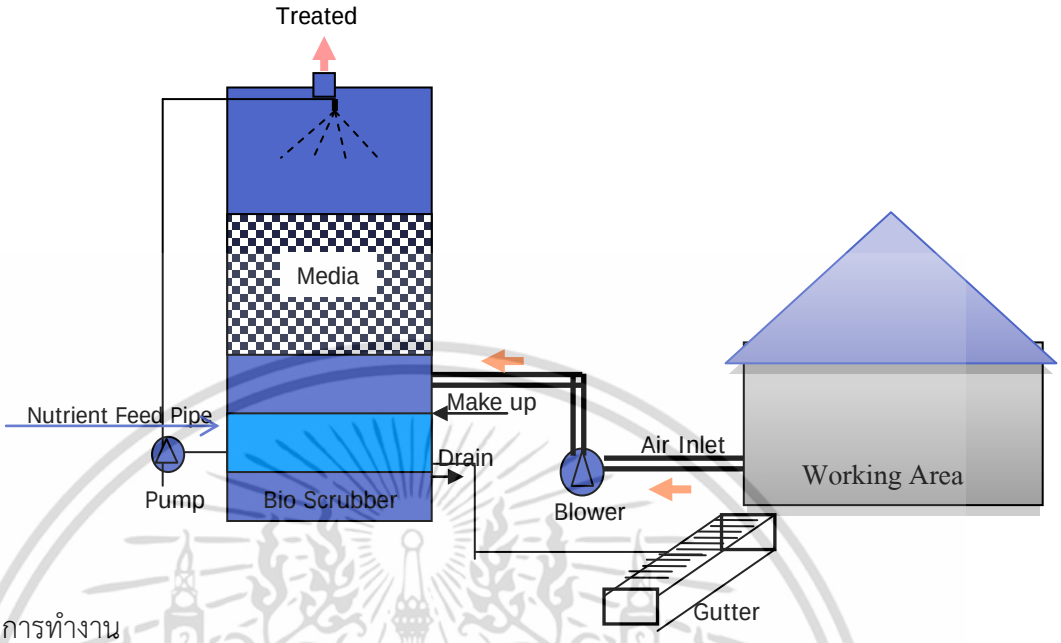
3. Media ใช้ตัวกลางชนิด Big Bio Media ทำจาก Poly Ethylene พื้นที่ผิว 105 ตร.ม./ลบ.ม. จำนวน 8.7 ลบ.ม. ใช้การจัดเรียงแบบ Random

4. Ventilation Duct & Hood ทำจาก Fiberglass Reinforce Plastic ความหนา 5 มม.

5. Spray Nozzle ใช้ Spiral Spray Nozzle ชนิด Full Cone Spray ( FSR) วัสดุทำจาก PP ขนาดของหัวสเปรย์ 1/2 นิ้ว อัตราสเปรย์ 67 ลิตร/นาที ที่ 1.5 บาร์

**3.หลักการทำงานของระบบ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




- อธิบายการทำงาน

- Blower ทำหน้าที่ดูดอากาศที่มีไอระเหยของ VOCs เจือปนอยู่จากพื้นที่ปฏิบัติงาน เพื่อผ่านอากาศเข้าไปยังชั้นของตัวกลาง ในขณะที่อากาศกำลังเคลื่อนที่ขึ้นผ่านชั้นตัวกลาง จุลินทรีย์ที่เกาะอยู่ที่ผิวของมีเดียจะทำการย่อยสลายสาร VOCs ที่เจือปนอยู่ ทำให้อากาศที่ผ่านระบบแล้วมีความเข้มข้นของ VOCs ในปริมาณต่ำ ไม่เป็นอัตรายต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ การปรับความเร็วรอบของ Blower เพื่อให้ปริมาณลมอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสามารถทำได้โดยการตั้งค่าที่ Power Inverter

- Pump ทำหน้าที่ในการสูบน้ำที่มีส่วนผสมของสารอาหารจากส่วนพักน้ำขึ้นไปสเปรย์เพื่อให้ความชื้นแก่ชั้นมีเดีย ผ่านหัว SPRAY NOZZLE ซึ่งติดตั้งอยู่ภายในถัง จากนั้นน้ำที่สเปรย์แล้วจะไหลลงสู่ส่วนพักน้ำด้านล่าง เพื่อสูบกลับไปใช้สเปรย์ซ้ำต่อไป เมื่อระดับน้ำในถังพักน้ำลดลง สวิตช์ลูกลอยที่ติดตั้งไว้ จะเปิดออก และน้ำประปาจะไหลเข้ามาเติมแบบอัตโนมัติ ในส่วนของการเติมสารอาหารจะเติมเดือนละ 2 ครั้ง ผ่านทางท่อเติมสารอาหาร ( Nutrient Feed Pipe )

- ตัวกลาง (Media) ทำหน้าที่ในการเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ โดยก่อนที่จะมีการเริ่มเดินระบบจะต้องทำการเลี้ยงจุลินทรีย์ให้เกาะติดบนผิวของตัวกลางด้วยการนำน้ำจากถังเติมอากาศของระบบบำบัดน้ำเสียมาทำการสเปรย์ผ่านชั้นตัวกลาง เมื่อสังเกตเห็นมีเมือกของจุลินทรีย์เกาะติดที่ผิวของมีเดียแล้วจึงระบายน้ำออกแล้วทำการเติมน้ำสะอาดผสมสารอาหารลงในถังพักน้ำเพื่อให้ความชื้นแก่ตัวกลางต่อไป

- การควบคุมการทำงาน

- Blower การควบคุมการทำงานของ Blower ใช้วิธี เปิด-ปิด ตามช่วงเวลาที่ปฏิบัติงานจริง โดยให้พนักงานที่รับผิดชอบในพื้นที่ทำหน้าที่ในการเปิดสวิตช์ และปิดสวิตช์ ควบคุม

- Pump การควบคุมการทำงานชของ Pump จะใช้ Timer เป็นตัวควบคุมการทำงาน เนื่องจากจะต้องมีการสเปรย์น้ำเพื่อให้ความชื้นตลอดเวลา โดยปกติแล้วจะตั้งค่าการทำงานไว้ที่ ON 5 นาที และ OFF 15 นาที ตลอด 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การเติมสารอาหาร การเติมสารอาหาร ใช้การละลายปุ๋ยเคมี สูตร 46-0-0 และ 16-16-16 อย่างละ 1 กก. ลงในน้ำ 10 ลิตร จากนั้นนำไปเติมในถังพักน้ำผ่านทางท่อเติมสารอาหารทุกๆ 2 สัปดาห์

**4. รายการตรวจเช็คและเฝ้าติดตาม**

| ลำดับ | รายการ | ความถี่ | ผู้รับผิดชอบ | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|
| 1. | ตรวจสอบการทำงานของ Blower | ทุกวัน | ซ่อมบำรุง | |
| 2. | ตรวจสอบการทำงานของ Pump | ทุกวัน | ซ่อมบำรุง | |
| 3. | ตรวจวัดปริมาณ VOCs เข้า-ออก จากระบบ | ทุกสองสัปดาห์ | จนท.สวล. | |
| 4. | ตรวจสอบลักษณะไบโอฟิล์มที่ผิวมีเดีย | ทุกสองสัปดาห์ | จนท.สวล. | |
| 5. | เติมสารอาหาร | ทุกสองสัปดาห์ | จนท.สวล. | |
| 6. | ตรวจสอบลักษณะน้ำในถังพักน้ำ | ทุกสองเดือน | จนท.สวล. | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ฉ

**บทความที่ได้รับตีพิมพ์จากงานประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยทักษิณ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ประวัติผู้เขียน

| | |
|---|---|
| **ชื่อ-นามสกุล** | **นางสาวอัจฉรา วุฒิกาญจน์** |
| วัน เดือน ปีเกิด | 20 กันยายน 2530 ที่สกลนคร |
| ที่อยู่ | 63 หมู่ 11 ต.ช้างมิ่ง อ.พรรณานิคม จ.สกลนคร 47130 |
| ประวัติการศึกษา | 2552 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| **ความชำนาญเฉพาะด้าน** | 1.) ควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย<br>2.) การจัดการด้านสิ่งแวดล้อมภายในโรงงานอุตสาหกรรม |
| พ.ศ.2553-2556 | ตำแหน่งนัก Training บริษัท โตชินเคมิเทค (ประเทศไทย) จำกัด |
| พ.ศ.2556-2558 | ตำแหน่งวิศวกรสิ่งแวดล้อม บริษัท พลังงานบริสุทธิ์ จำกัด (มหาชน) |
| พ.ศ.2558-ปัจจุบัน | วิศวกรโครงการ บริษัท ยูทิลิตี้ บิสเนส อัลไลน์แอนด์ จำกัด |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้