

## บทที่ 2

### วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

#### 1. สารเคมี

##### 1.1 สารอินทรีย์ระเหยง่าย (volatile organic compounds, VOCs)

- อะซิโตน (95%, commercial grade, Lab scan)
- เมทิล เอทิล คีโตน (95%, commercial grade, Merck)
- โทลูอิน (95%, commercial grade, Merck)

##### 1.2 สารออกซิไดซ์ (oxidizing chemicals)

- โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (10%, commercial grade, Merck)

##### 1.3 สารเคมีอื่นๆ

- กรดอะซิติก (99.5%, AR grade, BDH)
- โพแทสเซียม ไฮไดรอกไซด์ (99.7%, AR grade, Carlo Erba)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (99.5%, AR grade, Merck)
- น้ำแข็ง (AR grade, BDH)

#### 2. อุปกรณ์

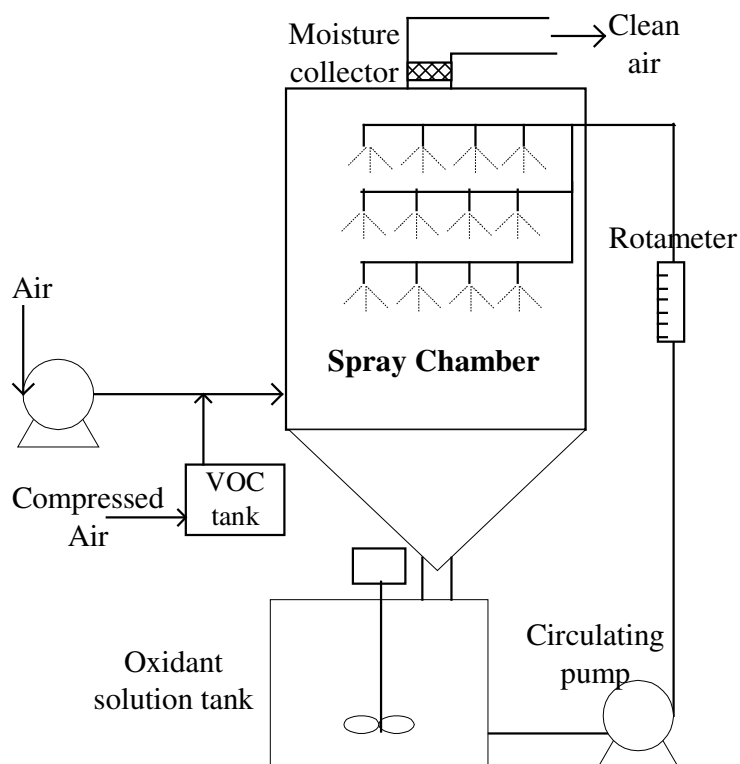
##### 2.1 wet scrubber ประกอบด้วย

- blower
- เครื่องวัดความเร็วลม (air velocity probe)
- เครื่องอัดอากาศ (air compressor)
- ชุดใบพัดกวน
- เครื่องควบคุมความเร็วรอบ (dimmer)
- ปั๊มน้ำ
- โรตารีมอเตอร์ควบคุมอัตราการไหล

- หัวพ่นฝอย (nozzle)
- วาล์วควบคุมอัตราการไหล
- ตะแกรงดักจับละอองน้ำ (moisture collector)
- ข้อต่อ และท่อ PVC
- หลอดไฟ

24

ชนิดของ wet scrubber สำหรับใช้ในการทดลองเป็นแบบ spray chamber wet scrubber ซึ่งมีการไหลสวนทาง (counter current) ระหว่างอากาศเสียและสารดูดซึม เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวถังบำบัดเท่ากับ 0.7 เมตร และสูง 1 เมตร ควบคุมอัตราการป้อน อากาศเสีย โดยลิ้นปิด - เปิด ที่ทางเข้าของ blower ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการป้อนอากาศได้จากความเร็วเฉลี่ยของอากาศ ควบคุมอัตราการไหลของสารดูดซึมโดยใช้วาล์วควบคุมอัตราการไหล และวัดอัตราการไหลโดยใช้โรตاميเตอร์ ในส่วนของถังผสมซึ่งบรรจุสารดูดซึมจะมีระบบหมุนเวียนสารดูดซึมกลับมาใช้ในระบบใหม่ และที่ท่อทางออกของ wet scrubber มีตะแกรงดักจับละอองน้ำเพื่อป้องกันการสูญเสียสารดูดซึม โดยลักษณะและส่วนประกอบของ wet scrubber ที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังภาพประกอบที่ 10



ภาพประกอบที่ 10 แสดงลักษณะและส่วนประกอบของ wet scrubber ที่ใช้ในการทดลอง

#### 2.2 ชุดเก็บตัวอย่างอากาศ

- sorbent tube (coconut charcoal, SKC)
- ปุ่มเก็บอากาศ (air sampling pump)
- สายยาง

#### 2.3 เครื่อง gas chromatography (GC)

- gas chromatography (model 6890, Hewlett Packard)
- capillary column
- flame ionization detector
- carrier gas : high purity helium

#### 2.4 syringe ขนาด 5 และ 10 $\mu$ l

#### 2.5 syringe filter (nylon) ขนาดรูพรุน 0.45 $\mu$ m

#### 2.6 micro pipette ขนาด 10 -100 $\mu$ l

#### 2.7 ultrasonic bath

#### 2.8 นาฬิกาจับเวลา

#### 2.9 เครื่องแก้ว

- บีกเกอร์
- บิวเรต
- ปิเปต
- ขวดปรับปริมาตร
- กระจกตวง
- ขวดรูปชมพู่
- ชุดเก็บตัวอย่างขนาด 2 และ 10 ml พร้อม septum และฝาปิด

### 3. วิธีการทดลอง

### 3.1 ขอบเขตการทดลอง และสภาวะการทดลอง

3.1.1 การศึกษาผลของสภาวะดำเนินการ ได้แก่ อัตราการป้อนอากาศเสีย ( $Q_G$ ) ความเข้มข้นของโทลูอินในอากาศเสีย ( $C_T$ ) อัตราการไหลของสารดูดซึม ( $Q_L$ ) และความเข้มข้นของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ในสารดูดซึม ( $C_{NaOCl}$ ) ที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดโทลูอิน โดยใช้ wet scrubber ร่วมกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน จะออกแบบการทดลองโดยใช้วิธี RSM (respond surface method) แบบ CCD (central composite design) ซึ่งได้ชุดการทดลองดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงชุดการทดลองจากการออกแบบด้วย RSM เพื่อศึกษาผลของ  $Q_G$ ,  $C_T$ ,  $Q_L$  และ  $C_{NaOCl}$  ที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดโทลูอินโดยใช้ wet scrubber ร่วมกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน

run no.	$Q_G$ ( $m^3/h$ )	$C_T$ (ppm)	$Q_L$ ( $m^3/h$ )	$C_{NaOCl}$ (mmol/l)
1	100	350	0.65	13
2	250	350	0.65	13
3	175	150	0.65	13
4	175	550	0.65	13
5	100	550	0.65	20
6	250	550	0.65	20
7	175	350	0.65	20
8	100	150	0.65	20
9	100	150	0.65	6
10	250	350	0.65	6
11	100	550	0.65	6
12	250	550	0.65	6
13	175	350	0.65	6
14	250	150	0.65	20
15	175	350	0.65	13
16	175	350	0.65	13

17	100	150	0.65	13
18	175	350	0.5	13
19	175	350	0.8	13
20	175	750	0.65	13
21	175	1,500	0.65	13

3.1.2 การศึกษาผลของขนาดอนุภาคของสารดูดซึ่ม ( $r_d$ ) ที่มีต่อประสิทธิภาพ ในการบำบัดโหลูอิน ทำการทดลองโดยเปลี่ยนขนาดของหัวพ่นฝอยจาก 1 mm เป็น 0.5 mm โดยมีชุดทดลองดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงชุดการทดลองเพื่อศึกษาผลของ  $r_d$  ที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดโหลูอินโดยใช้ wet scrubber ร่วมกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน

run no.	$Q_G$ (m <sup>3</sup> /h)	$C_T$ (ppm)	$Q_L$ (m <sup>3</sup> /h)	$C_{NaOCl}$ (mmol/l)	nozzle size (mm)
22	175	350	0.5	6	0.5
23	175	350	0.5	13	0.5
24	175	350	0.5	20	0.5
25	175	350	0.8	6	0.5
26	175	350	0.8	13	0.5
27	175	350	0.8	20	0.5

3.1.3 การประยุกต์ใช้ระบบบำบัดด้วย wet scrubber ร่วมกับปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดอื่น ซึ่งจะทำการทดลองโดยใช้ MEK และ อะซิโตนความเข้มข้น 350 ppm โดยมีสภาวะดำเนินการต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงชุดการทดลองเพื่อศึกษาผลของการประยุกต์ใช้ระบบบำบัดด้วย wet scrubber ร่วมกับปฏิกิริยาออกซิเดชันกับ MEK และ อะซิโตน

run no.	VOCs	$Q_G$ (m <sup>3</sup> /h)	$C_{VOCs}$ (ppm)	$Q_L$ (m <sup>3</sup> /h)	$C_{NaOCl}$ (mmol/l)
28	MEK	175	350	0.8	20
29	MEK	175	350	0.8	30

30	MEK	175	350	0.8	40
31	MEK	175	350	0.8	50
32	acetone	175	350	0.8	20
33	acetone	175	350	0.8	30
34	acetone	175	350	0.8	40
35	acetone	175	350	0.8	50

3.1.4 การศึกษาผลจากการดูดซับที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดต่างๆ ในระบบ wet scrubber โดยทำการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้น 350 ppm และใช้น้ำเป็นสารดูดซับแทนสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งมีการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงผลการทดลองเพื่อศึกษาผลจากการดูดซับที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดต่างๆ ในระบบ wet scrubber

run no.	VOCs	$Q_G$ (m <sup>3</sup> /h)	$C_{\text{VOCs}}$ (ppm)	$Q_L$ (m <sup>3</sup> /h)
36	toluene	175	350	0.8
37	MEK	175	350	0.8
38	acetone	175	350	0.8

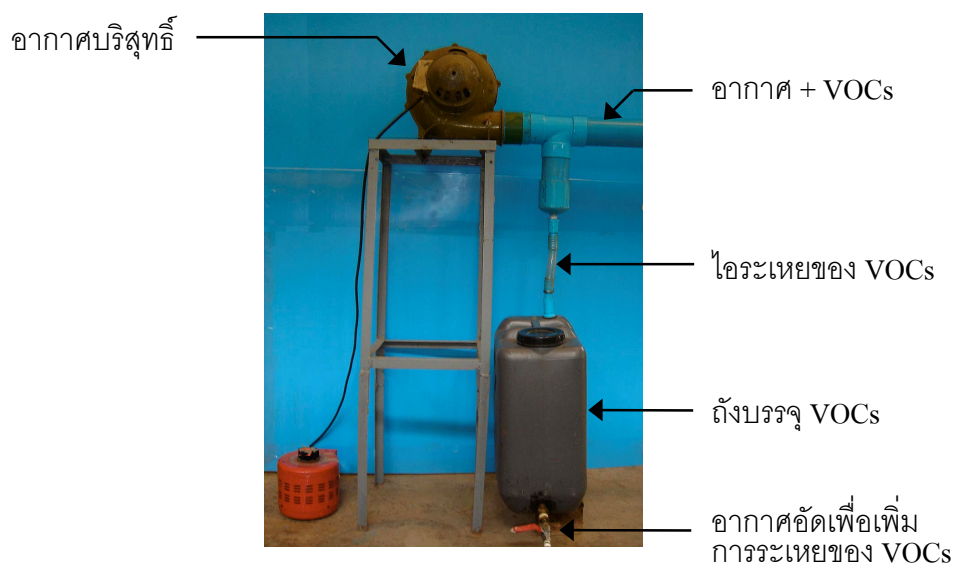
หมายเหตุ ในแต่ละชุดการทดลองอาจมีการทดลองเพิ่มเติมที่สภาวะอื่นตามความเหมาะสม

### 3.2 ขั้นตอน และรายละเอียดการทดลอง

#### 3.2.1 การเตรียมอากาศเสียจำลองที่ปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์ระเหยง่าย ในระดับความเข้มข้นต่างๆ

นำสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ต้องการบรรจุในถังระเหย ทำการอัดอากาศลงไปในถังเพื่อเร่งให้สารอินทรีย์ระเหยง่ายเกิดการระเหย เปิด blower ดูดอากาศด้วยอัตราการไหลที่ต้องการเพื่อนำอากาศบริสุทธิ์ไปผสมกับไอของสารอินทรีย์ระเหยง่าย ซึ่งระเหยขึ้นจากถังระเหยและป้อนเข้าสู่ทางเข้าของ wet scrubber วัดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอากาศ โดยเก็บตัวอย่างไปทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC หากความเข้มข้นไม่เป็นไปตามที่กำหนด ให้ควบคุม

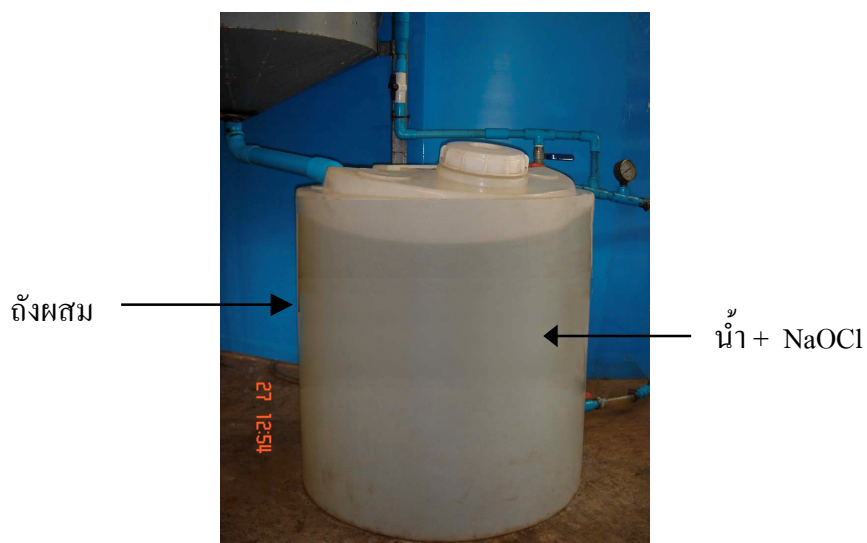
ปริมาณอากาศที่อัดเข้าสู่ถังระเหย ด้วยการปรับวาล์วจนได้ความเข้มข้นที่ต้องการ โดยชุดควบคุมความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ใช้ในการทดลองแสดงดังภาพประกอบที่ 11



ภาพประกอบที่ 11 แสดงชุดควบคุมความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอากาศเสียจำลอง

### 3.2.2 การเตรียมสารดูดซึม (scrubbing liquid)

ผสมสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ตามความเข้มข้นที่ต้องการศึกษาเข้ากับน้ำกรองให้ได้ปริมาตร 200 ลิตร กวนผสมให้เข้ากันในถังผสมดังแสดงในภาพประกอบที่ 12



ภาพประกอบที่ 12 แสดงลักษณะถังผสมสำหรับการเตรียมสารดูดซึม

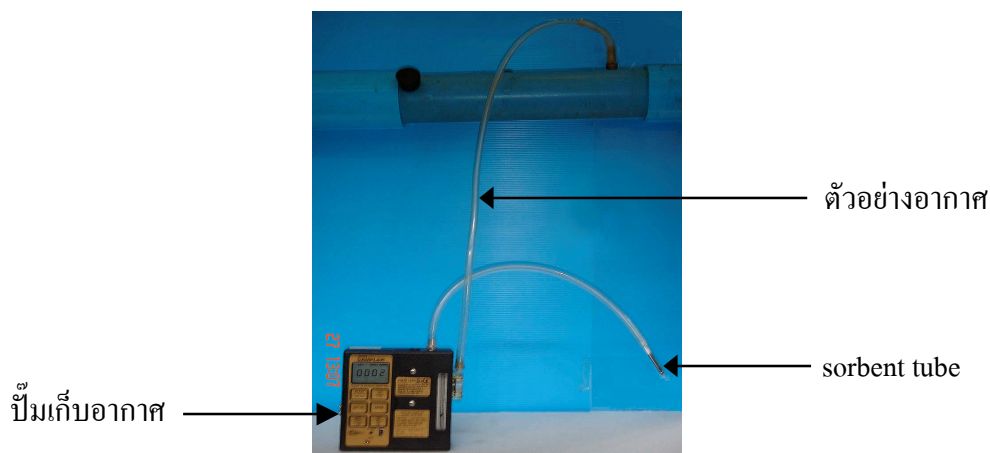
### 3.2.3 การเริ่มการทดลองบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วย wet scrubber

เมื่อปรับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่าย และอัตราการป้อนอากาศเสีย เข้าสู่ตัวถังบำบัดได้ตามที่ต้องการแล้ว ต้องทิ้งให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวประมาณ 2 ชั่วโมง จึงเริ่มทำการบำบัด โดยป้อนสารดูดซึมจากถังผสม ควบคุมอัตราการไหลให้ได้ตามต้องการโดยการปรับวาล์วควบคุมอัตราการไหล วัดอัตราการไหลของสารดูดซึมที่เข้าสู่ตัวถังบำบัดด้วยโรตารีเตอร์ และพ่นสารดูดซึมเป็นละอองเล็กๆ ด้วยหัวพ่นฝอย เพื่อให้สารดูดซึมสัมผัสกับอากาศเสีย และทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับไอระเหยของสารอินทรีย์ระเหยง่ายภายในตัวถังบำบัด โดยอากาศที่ผ่านการบำบัดแล้วจะออกทางท่อด้านบนของ wet scrubber ส่วนสารดูดซึมเมื่อผ่านการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารอินทรีย์ระเหยง่ายภายในตัวถังบำบัดแล้ว จะไหลออกทางท่อด้านล่างเข้าสู่ถังผสมเพื่อทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับไอระเหยของสารอินทรีย์ระเหยง่ายบางส่วนที่ถูกชะลงมา อยู่ในรูปของเหลว ก่อนป้อนสารดูดซึมกลับมาใช้งานอีกในลักษณะหมุนเวียนไปตลอดการทดลอง

### 3.2.4 การเก็บตัวอย่างอากาศ

ทำการเก็บตัวอย่างอากาศที่เข้าและออกจาก wet scrubber ทุกๆ 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 6 ชั่วโมง (หลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว) ด้วย sorbent tube โดยหักปลายทั้งสองด้านของ sorbent tube ออก และต่อปลายด้านทางเข้ากับปั๊มเก็บอากาศ ตั้งค่าอัตราการไหลของอากาศในการเก็บตัวอย่างเป็น 1,000 ml/min ทำการเก็บตัวอย่างอากาศเป็นเวลา 10 นาที โดยวิธีการเก็บตัวอย่างแสดงดังภาพประกอบที่ 13 จากนั้นปิดปลายทั้งสองของ sorbent tube ให้สนิท และแช่ผู้เย็นเก็บไว้เพื่อป้องกันการระเหยออกของสารอินทรีย์ระเหยง่าย ก่อนที่จะนำ sorbent tube ไปดำเนินการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในตัวอย่างอากาศต่อไป





ภาพประกอบที่ 13 แสดงวิธีการเก็บตัวอย่างด้วยปั๊มเก็บอากาศ และ sorbent tube

### 3.2.5 การเก็บตัวอย่างสารดูดซึม

ทำการเก็บตัวอย่างของสารดูดซึมในถังผสมทุกๆ 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เช่นเดียวกับการเก็บตัวอย่างอากาศ โดยจะเก็บตัวอย่างสารดูดซึมปริมาตร 10 ml เพื่อหาค่า ความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลงไปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ในระหว่างการบำบัด เพื่อควบคุม ความเข้มข้นของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ในสารดูดซึมให้มีค่าคงที่ตลอดเวลาของการทดลอง ซึ่งการควบคุมความเข้มข้นสามารถทำได้โดยเติมโซเดียมไฮโปคลอไรท์ใหม่ลงไปจนได้ความเข้มข้นเท่ากับความเข้มข้นเริ่มต้น

## 3.3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

### 3.3.1 การหาประสิทธิภาพของ sorbent tube

การหาประสิทธิภาพของ sorbent tube ที่ใช้ในการทดลอง จะทำให้ทราบปริมาณของตัวอย่างที่แท้จริง ซึ่งมีอยู่ใน sorbent tube ซึ่งวิธีการหาประสิทธิภาพของ sorbent tube แสดงในภาคผนวก ก

### 3.3.2 การสกัดตัวอย่าง

ตัวอย่างอากาศที่เก็บใน sorbent tube ก่อนนำมาวิเคราะห์หาความเข้มข้น ของสารอินทรีย์ระเหยง่าย จะต้องมีการสกัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ถูกดูดซับไว้โดย ผงคาร์บอนออก โดยเขียนผงคาร์บอนส่วนทางเข้าของ sorbent tube ออกให้หมด ละลายผงคาร์บอนด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสมกับสารอินทรีย์ระเหยง่ายแต่ละชนิด (หากตัวอย่างสารอินทรีย์ ระเหยง่าย

เป็นโทลูอีน หรือ MEK ตัวทำละลายที่ใช้ได้แก่ อะซิโตน และหากตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นอะซิโตน ตัวทำละลายที่ใช้ได้แก่ MEK) นำตัวอย่างไปสกัดใน ultrasonic bath ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็น เติมสารมาตรฐานภายใน (internal standard) และกรองตัวอย่างผ่าน syringe filter จนได้สารละลายใส เก็บตัวอย่างไว้ในขวดปิดสนิท เพื่อนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่าย โดยใช้ GC ต่อไป

### 3.4.3 การหาค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่าย

- กราฟมาตรฐานของสารอินทรีย์ระเหยง่าย

เตรียมสารละลายมาตรฐานสารอินทรีย์ระเหยง่ายความเข้มข้นต่างๆ โดยละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสม (โทลูอีน และ MEK ใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลาย ส่วนอะซิโตนใช้ MEK เป็นตัวทำละลาย) จากนั้นเติมสารมาตรฐานภายใน 0.1 ml และทำการวิเคราะห์หาพื้นที่ ได้กราฟของสารละลายมาตรฐานแต่ละความเข้มข้นด้วยเครื่อง GC โดยมีสภาวะดำเนินการของ GC ได้แก่

inlet temperature	: 180°C
oven temperature	: 40°C
detector temperature	: 200°C
column	: hp 1, 30 m capillary glass column crosslink Methyl-cyloxane, ID 0.32 mm
carrier gas flow	: 1.5 ml/min
time	: 6 min
inject sample	: 2 µl

กราฟมาตรฐานที่ได้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของสารมาตรฐานภายใน ดังแสดงในภาคผนวก ง

- ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในตัวอย่าง

ตัวอย่างอากาศที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายจะถูกนำมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายได้ โดยใช้ GC ภายใต้สภาวะเดียวกันกับการเตรียม กราฟมาตรฐาน ซึ่งอัตราส่วนพื้นที่ได้กราฟของสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่อสารมาตรฐานภายในที่ได้จะถูกนำมาเทียบกับกราฟมาตรฐาน เพื่อคำนวณหาค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่าย ในตัวอย่าง

### 3.3.4 การหาค่าความเข้มข้นของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaOCl)

#### - กราฟมาตรฐานของโซเดียมไฮโปคลอไรท์

ความเข้มข้นของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ สามารถหาได้จากปริมาณของคลอรีนที่มีอยู่ในสารละลาย ซึ่งทำได้โดยการเตรียมสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่มีความเข้มข้นต่างๆ โดยละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ในน้ำปราศจากไอออน (deionization water, DI) เติมกรดอะซิติก 2 ml และโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 1 g ลงในสารละลาย จากนั้นไตเตรทกับโซเดียมไทโอซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) 0.025 N จนกระทั่งสีเหลืองของไอโอดีนจางลง เติมน้ำเปล่า 1 ml และไตเตรทต่อจนกระทั่งสีน้ำเงินจางหายไป กราฟมาตรฐานที่ได้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรทกับความเข้มข้นของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ดังแสดงในภาพผนวก

#### - ความเข้มข้นของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ในตัวอย่างสารดูดซึม

นำตัวอย่างสารดูดซึมที่เวลาใดๆ 10 ml ไตเตรทกับโซเดียมไทโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.025 N ด้วยวิธีการเดียวกับการเตรียมกราฟมาตรฐานของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ซึ่งจะช่วยให้ทราบปริมาณโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรทสารละลายตัวอย่าง และสามารถหาความเข้มข้นของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ได้โดยการคำนวณเทียบกับกราฟมาตรฐาน

**3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อสร้างแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะดำเนินการต่างๆ กับประสิทธิภาพการบำบัดโทลูอีน โดยใช้ wet scrubber ร่วมกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน**

ผลการทดลองที่ได้ สามารถสร้างแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง สภาวะดำเนินการต่างๆ กับประสิทธิภาพการบำบัดโทลูอีน โดยใช้ wet scrubber ร่วมกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยใช้โปรแกรม regression ซึ่งแบบจำลองที่ได้จะอยู่ในรูปสมการกำลัง 2 ดังแสดง ในสมการที่ 8 โดยการพิจารณาสร้างแบบจำลองเริ่มจากกำหนดเทอมที่สามารถเกิดขึ้นได้ทุกเทอม และตัดเทอมที่ไม่มีนัยสำคัญออกโดยใช้ P value ( $P \text{ value} > 0.05$ ) โดยเหลือเพียงเทอมที่มี P value ต่ำ ซึ่งส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อแบบจำลอง

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \left( \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k \beta_{ij} x_i x_j \right)_{i < j} \quad (8)$$

### 3.5 การคำนวณหาสถานะดำเนินการที่เหมาะสม (optimum condition) ในการบำบัด โทลูอิน โดยใช้ wet scrubber ร่วมกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน

จากแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสถานะดำเนินการต่างๆ กับประสิทธิภาพการบำบัดโทลูอิน โดยใช้ wet scrubber ร่วมกับปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ได้ สามารถหาสถานะดำเนินการที่เหมาะสมได้โดยใช้โปรแกรม Matlab โดยการแก้สมการซึ่งกำหนดฟังก์ชันเป้าหมาย และขอบเขต ดังสมการที่ 9

$$\begin{aligned} \text{objective function} \quad & \min_x f(x) & (9) \\ \text{subject to} \quad & c(x) \leq 0, \quad \text{ecq}(x) = 0 \\ & A \cdot x \leq 0, \quad \text{Aeq} \cdot x = \text{beq}, \quad lb \leq x \leq ub \end{aligned}$$

เมื่อ  $x, b, \text{beq}$  และ  $ub = \text{vectors}$

$A$  และ  $\text{Aeq} = \text{matrices}$

$c(x)$  และ  $\text{ceq}(x) = \text{function that return vector}$

$f(x) = \text{function that return a scalar}$

จากสมการที่ 9  $f(x)$ ,  $c(x)$  และ  $\text{ceq}(x)$  อาจอยู่ในรูปฟังก์ชัน nonlinear โครงสร้างสมการสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบ ดังสมการที่ 10

$$[x] = f \text{min con} (@\text{myfun}, x0, A, b, \text{Aeq}, \text{beq}, lb, ub, @\text{nonlcon}, \text{options}) \quad (10)$$

การสร้างสมการให้ได้ผลดี ขึ้นอยู่กับการคาดคะเนรูปแบบโครงสร้าง การกำหนดขอบเขตสูงสุด และต่ำสุด ซึ่งมีผลทำให้ได้ค่าประสิทธิภาพในการบำบัดโทลูอินที่สูงที่สุด

### 3.6 วิเคราะห์ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นระหว่างสารอินทรีย์ระเหยง่าย โขเดียมไฮโปคลอไรท์

ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นสามารถวิเคราะห์ได้จากการตรวจเอกสารที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยานั้นๆ