บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

1. สารเคมี

1.1 เมทิล เอทิล คีโตน (Lab-scan 99.5 %, AR Grade)

1.2 อะซีโตน (Lab-scan 99.5 %, AR Grade)

1.3 เมทานอล (Lab-scan 99.8 %, AR Grade)

1.4 โทลูอีน (Lab-scan 99.5 %, AR Grade)

2. อุปกรณ์ และวัสดุ หรือสารอื่นๆ

2.1 น้ำเสีย น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองนำมาจากน้ำก่อนการบำบัดของบ่อบำบัดน้ำเสียมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ซึ่งมีค่า BOD_5 อยู่ในช่วง 50-98 mg L^{-1} ค่า COD อยู่ในช่วง 2320-2960 mg L^{-1} และค่า SS อยู่ในช่วง 27-38 mg L^{-1}

2.2 ชุดการทดลองการระเหย VOC จากวัฏภาคของเหลวประกอบด้วย ถังระเหยรูปสี่เหลี่ยมขนาดกว้าง 0.5 เมตร ยาว 1 เมตร และสูง 1 เมตร (แสดงดังภาพประกอบ 1)

2.3 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

- Gas Chromatography (model 6890, Hewlett Packard)
- Capillary column
- Flame ionization detector
- Carier gas : High purity Helium

2.4 แหล่งกำเนิดลม (Model AV-E116, HRTITH Machinery)

2.5 ปั๊ม (Model WSP-105S, Mitsubishi electric)

2.6 อินเวอร์เตอร์ (Model NSP-4-001, NV)

2.7 เครื่องมือวัดความเร็วลม และอุณหภูมิ (Model 137000-60, Cole-Parmer Instrument Company)

2.8 เครื่องมือวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Taylor Instrument Company)

2.9 Micro pipette ขนาด 10 -100 μl

2.10 จุกยาง

2.11 Syringe ขนาด 5 และ 10 μl

2.12 Syringe filter (Nylon) ขนาดรูพรุน 0.45 μm

2.13 sorbent tube

2.14 กระดาษกรอง

2.15 เครื่องแก้ว

- บีกเกอร์
- บิวเรต
- ปิเปต
- ขวดปรับปริมาตร
- กระบอกตวง
- ขวดเก็บตัวอย่างขนาด 2 และ 10 ml พร้อม Septum และฝาปิด

3. วิธีการทดลอง

การพัฒนาแบบจำลองกลไกการระเหยของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากน้ำเสียทำโดยการศึกษาการระเหยของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชุดการทดลองการระเหยแสดงดังภาพประกอบ 1 ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์หลักๆ คือ ถังระเหยรูปสี่เหลี่ยมขนาด กว้าง 0.5 เมตร ยาว 1 เมตร และสูง 1 เมตร และชุดจำลองกระแสลมที่ประกอบด้วยพัดลมและอินเวอร์เตอร์สำหรับควบคุมความเร็วลมเหนือผิวน้ำและชุดจำลองกระแสลมสามารถปรับระดับขึ้นลงตามความสูงของถังระเหยที่ใช้ได้

ภาพประกอบ 1ถังระเหยที่สามารถปรับระดับความลึกของแหล่งน้ำได้

รายละเอียดขั้นตอนการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการระเหยของ VOC จากน้ำเสียจริงมีดังนี้

3.1 การเตรียมสารละลาย

ขั้นตอนการเตรียมน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

1. นำสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC) ที่ต้องการศึกษามาละลายในน้ำเสียให้มีความเข้มข้นตามที่ต้องการ
2. ทำการกวนผสมให้เข้ากันก่อนจะปั๊มสารละลายเข้าสู่ถังกวน
3. เก็บตัวอย่างจากน้ำเสียมาทำการวิเคราะห์คุณสมบัติเริ่มต้น โดยคุณสมบัติที่วิเคราะห์ประกอบด้วย ค่า BOD_5 ค่า COD และ ค่า SS

3.2 วิธีการเก็บตัวอย่าง

1. ในระหว่างการทดลองจะเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากถังระเหย ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของถังระเหยตามระดับความลึกต่างๆ ของถังระเหย
2. นำตัวอย่างที่ได้บรรจุในขวดเก็บตัวอย่าง
3. ปิดฝาขวดให้สนิท
4. นำตัวอย่างที่ได้ไปเก็บตู้เย็นก่อนวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ VOC ต่อไป
5. วิเคราะห์หาความเข้มข้นของ VOC ในน้ำเสียโดยใช้แก๊สโครมาโทกราฟี

3.3 การวิเคราะห์หาความเข้มข้นของตัวอย่างด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

3.3.1 การเตรียม Calibration curve ของสารอินทรีย์ระเหยง่าย

1. เจือจางสารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยน้ำให้มีความเข้มข้นตามที่ต้องการ
2. นำสารละลายเจือจางของสารอินทรีย์ระเหยง่ายตามข้อ 1 ปริมาตร 1 ml. ผสมกับสารอ้างอิงมาตรฐาน (internal standard) คือ อะซีโตน ปริมาตร 0.1 ml ผสมให้เข้ากัน
3. นำสารละลายผสมตามข้อ 2 ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี
4. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารกับอัตราส่วนของพื้นที่พีคของสารที่ต้องการต่อพื้นที่พีคของสารอ้างอิงมาตรฐาน

3.3.2 การหาความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในตัวอย่าง

1. นำตัวอย่างที่เก็บที่เวลาต่างๆ มาทำการกรองด้วยชุดกรองตัวอย่างขนาด 0.45 ไมครอน แล้วจึงนำตัวอย่างที่ผ่านการกรองแล้วปริมาตร 1 ml. มาผสมกับสารอ้างอิงมาตรฐาน ปริมาตร 0.1 ml. เขย่าให้เข้ากัน
2. นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ที่สภาวะเดียวกันกับการเตรียม calibration curve
3. คำนวณอัตราส่วนของพื้นที่พีคของสารที่ต้องการต่อพื้นที่พีคของสารอ้างอิงมาตรฐาน และนำไปหาความเข้มข้นของสารนั้นโดยการเทียบกับ calibration curve

3.4 การทดลองเพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวของถังระเหยต่อความลึกของแหล่งน้ำที่มีผลต่อการระเหยของสาร VOC

1. ทำการทดลองโดยการนำน้ำเสีย มาผสมกับสาร เมทิล เอทิล คีโตน (MEK) ให้ได้ความเข้มข้น 1000 ppm
2. ปั๊มสารละลายตามข้อ 1 เข้าสู่ถังระเหยให้ได้ระดับความลึกของน้ำเสียเท่ากับ 20 cm ควบคุมความเร็วลมเหนือผิวน้ำวัดที่ระยะ 10 cm เหนือผิวน้ำ ($U_{10\ cm}$) ให้คงที่เท่ากับ 2.81 m s^{-1} การระเหยดำเนินการที่อุณหภูมิห้อง (~ 30°C)
3. วัดอุณหภูมิของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง อุณหภูมิของอากาศ และค่าความชื้นสัมพัทธ์ขณะทำการทดลอง
4. เก็บตัวอย่างของสารละลายที่เวลา 0, 10, 30 นาทีและทุกๆ 1 ชั่วโมง
5. วิเคราะห์หาความเข้มข้นของเมทิล เอทิล คีโตน (MEK) ที่เวลาต่างๆ เพื่อหา $K_{OL}a$ ตามสมการ 1.7
6. ทำการทดลองซ้ำดังที่อธิบายข้างต้น แต่เปลี่ยนระดับความลึกเป็น 30, 40, 50, 60 และ 70 cm เมื่อพื้นที่หน้าตัดของถังระเหยคงที่ที่ 0.5 m^2
7. ทำการทดลองตามข้อ 1-6 แต่ใช้น้ำกรองแทนน้ำเสียจากบ่อบำบัดมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ในการทดลองเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการระเหยของ MEK จากน้ำเสียและน้ำกรอง

3.5 การทดลองเพื่อศึกษาผลของความเร็วลมที่มีผลต่อการระเหยของสาร VOC

1. ทำการทดลองโดยการนำน้ำเสีย มาผสมกับสาร เมทิล เอทิล คีโตน (MEK) ให้ได้ความเข้มข้น 1000 ppm
2. ปั๊มสารละลายตามข้อ 1 เข้าสู่ถังระเหยให้ได้ระดับความลึกของถังระเหยเป็น 20 cm การระเหยดำเนินการที่อุณหภูมิห้อง (~ 30°C)
3. วัดอุณหภูมิของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง อุณหภูมิของอากาศ และค่าความชื้นสัมพัทธ์ขณะทำการทดลอง
4. เก็บตัวอย่างของสารละลายที่เวลา 0, 10, 30 นาทีและทุกๆ 1 ชั่วโมง
5. วิเคราะห์หาความเข้มข้นของเมทิลเอทิลคีโตน (MEK) ที่เวลาต่างๆ เพื่อหา $K_{OL}a$ ตามสมการ 1.7
6. ทำการทดลองซ้ำดังที่อธิบายข้างต้น แต่ปรับความเร็วลมเหนือผิวน้ำวัดที่ระยะ 10 cm เหนือผิวน้ำ ($U_{10\ cm}$) เป็น 0.43, 1.86, 2.40, 2.81, 3.43 และ 4.42 m s^{-1} ตามลำดับ
7. ทำการทดลองตามข้อ 1-6 แต่ใช้น้ำกรองแทนน้ำเสียจากบ่อบำบัดมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ในการทดลองเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการระเหยของ MEK จากน้ำเสียและน้ำกรอง

3.6 การทดลองเพื่อศึกษาผลของแข็งแขวนลอยที่มีผลต่อการระเหยของสาร VOC

1. ทำการทดลองโดยการนำน้ำเสีย มาผสมกับสาร เมทิลเอทิลคีโตน (MEK) ให้ได้ความเข้มข้น 1000 ppm
2. ปั๊มสารละลายตามข้อ 1 เข้าสู่ถังระเหยให้ได้ระดับความลึกของถังระเหยเป็น 20 cm ในสภาวะอุณหภูมิห้อง (~ 30°C) และความเร็วลมเหนือผิวน้ำวัดที่ระยะ 10 cm เหนือผิวน้ำมีค่าเป็น 2.81 m s^{-1}
3. วัดอุณหภูมิของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง อุณหภูมิของอากาศ และค่าความชื้นสัมพัทธ์ขณะทำการทดลอง
4. เก็บตัวอย่างของสารละลายที่เวลา 0, 10, 30 นาทีและทุกๆ 1 ชั่วโมง
5. วิเคราะห์หาความเข้มข้นของเมทิล เอทิล คีโตน (MEK) ที่เวลาต่างๆ เพื่อหา $K_{OL}a$ ตามสมการ 1.7
6. ทำการทดลองซ้ำดังที่อธิบายข้างต้น แต่ปรับค่าของแข็งแขวนลอยให้มีค่าประมาณ 10, 20, 30, 35 และ 40 mg/l

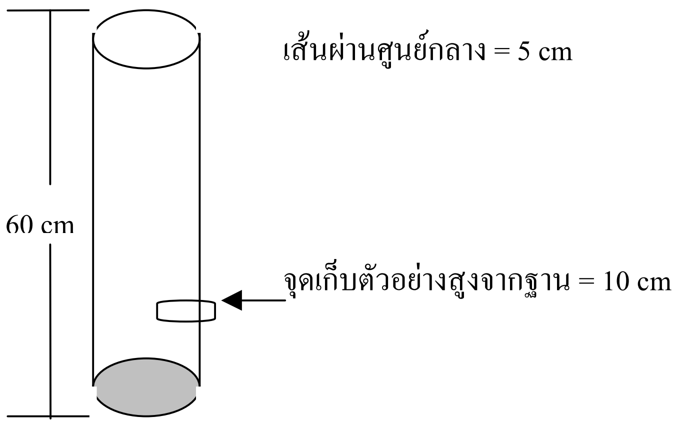
3.7 การทดลองเพื่อศึกษากลไกการย่อยสลายของ VOC ในน้ำเสียที่ศึกษา

แยกพิจารณาการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์เป็น 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน มีการทดลองดังนี้

1. เตรียมชุดทดลองโดยการนำน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองปริมาณ 1 ลิตรไปทำการฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งอัดความดัน (Autoclave)
2. นำน้ำเสียจากข้อ 1 ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วมาเติมสาร MEK โดยให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 1000 ppm
3. เตรียมชุดควบคุมเช่นเดียวกับข้อ 2 แต่ใช้น้ำเสียที่ไม่ได้ผ่านการฆ่าเชื้อในการทดลอง
4. ทำการเติมอากาศเข้าไปในปฏิกรณ์ในชุดทดลอง (แสดงดังภาพประกอบที่ 2) และชุดควบคุมเป็นระยะๆ
5. ทำการเก็บน้ำเสียและนำไปหาค่าความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลงไปกับเวลาเช่นเดียวกับกิจกรรมที่ 1

จะได้ว่าอัตราการย่อยสลายทางจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน ($r_{bio,\ aerobe}$) เท่ากับผลต่างของชุดควบคุมกับชุดทดลองเทียบต่อเวลา



ภาพประกอบ 2 รูปปฏิกรณ์ในการทดลองการย่อยสลายทางจุลินทรีย์

กรณีที่ 2 การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน

ทำการทดลองเช่นเดียวกับกรณีที่ 1 แต่ไม่มีการเติมอากาศเข้าไปในการทดลอง

ซึ่งจะได้อัตราการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน ($r_{bio,\ anaerobe}$) เท่ากับผลต่างของชุดควบคุมกับชุดทดลองเทียบต่อเวลา

3.8 พัฒนาสมการเอ็มพิริคัลของค่า $K_{OL}a$

1. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $K_{OL}a$ กับความลึกของแหล่งน้ำเสียในช่วงที่ศึกษา
2. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $K_{OL}a$ กับความเร็วลมเหนือแหล่งน้ำเสียในช่วงที่ศึกษา
3. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $K_{OL}a$ กับค่าของแข็งแขวนลอยในแหล่งน้ำเสียในช่วงที่ศึกษา
4. พัฒนาสมการเอ็มพิริคัลของ MEK จากความสัมพันธ์ระหว่างค่า $K_{OL}a$ กับตัวแปรต่างๆ ในช่วงที่ศึกษา
5. พัฒนาสมการเอ็มพิริคัลจากตัวแปรที่ส่งผลต่อการระเหยของ MEK จากน้ำเสียมากที่สุด โดยใช้ทฤษฎีสองฟิล์มเพื่อหาค่า k_La และ k_Ga ในน้ำเสีย (ตามสมการ 1.15 และ 1.16) ซึ่งมีโทลูอีนและเมทานอลเป็นสารอ้างอิงตามลำดับ

3.9 ตรวจสอบความถูกต้องของสมการเอ็มพิริคัลที่พัฒนาขึ้น

โดยการทำนายค่า $K_{OL}a$ ของ MEK ด้วยสมการเอ็มพิริคัลของ $K_{OL}a$ ที่ได้จากการพัฒนาสมการเอ็มพิริคัลเพื่อใช้ในการทำนายผลของอัตราส่วนระหว่างเส้นทแยงมุมของถังระเหยต่อความลึกของแหล่งน้ำ ผลของความเร็วลมเหนือผิวน้ำ และผลของค่าของแข็งแขวนลอย ที่มีผลต่อการระเหยของ MEK เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทำนายกับค่าที่วัดได้โดยตรงจากการทดลอง