

## สารบัญ

## หน้า

|                                             |     |
|---------------------------------------------|-----|
| สารบัญ                                      | (1) |
| สารบัญตาราง                                 | (2) |
| สารบัญภาพ                                   | (5) |
| คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ                   | (7) |
| คำนำ                                        | 1   |
| วัตถุประสงค์                                | 3   |
| การตรวจเอกสาร                               | 4   |
| อุปกรณ์และวิธีการ                           | 28  |
| สารเคมีและอุปกรณ์                           | 28  |
| วิธีการ                                     | 30  |
| ผลและวิจารณ์                                | 36  |
| สรุปและข้อเสนอแนะ                           | 52  |
| สรุป                                        | 52  |
| ข้อเสนอแนะ                                  | 53  |
| เอกสารและสิ่งอ้างอิง                        | 57  |
| ภาคผนวก                                     | 58  |
| ภาคผนวก ก ตารางข้อมูลผลการทดลอง             | 59  |
| ภาคผนวก ข ภาพอุปกรณ์เครื่องมือและการทดลอง   | 86  |
| ภาคผนวก ค ลักษณะและคุณสมบัติทั่วไปของเบนซีน | 90  |
| ประวัติการศึกษา และการทำงาน                 | 93  |

### สารบัญตาราง

| ตารางที่            |                                                                                                                                                                       | หน้า |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1                   | ค่าครึ่งชีวิตของเบนซีนในสิ่งแวดล้อม                                                                                                                                   | 8    |
| 2                   | ความเข้มข้นของเบนซีนในอากาศประเภทต่างๆ                                                                                                                                | 9    |
| <b>ตารางผนวกที่</b> |                                                                                                                                                                       |      |
| ก1                  | ความเข้มข้นของเบนซีนในอากาศ และประสิทธิภาพในการกำจัดเบนซีนด้วยตัวกลางเปลือกถั่วลิสง ที่ความเข้มข้นของเบนซีนประมาณ 50 พีพีเอ็ม อัตราการไหลอากาศเท่ากับ 0.42 ลิตร/นาทึ  | 60   |
| ก2                  | ความเข้มข้นของเบนซีนในอากาศ และประสิทธิภาพในการกำจัดเบนซีนด้วยตัวกลางเปลือกถั่วลิสง ที่ความเข้มข้นของเบนซีนประมาณ 50 พีพีเอ็ม อัตราการไหลอากาศเท่ากับ 0.85 ลิตร/นาทึ  | 61   |
| ก3                  | ความเข้มข้นของเบนซีนในอากาศ และประสิทธิภาพในการกำจัดเบนซีนด้วยตัวกลางเปลือกถั่วลิสง ที่ความเข้มข้นของเบนซีนประมาณ 50 พีพีเอ็ม อัตราการไหลอากาศเท่ากับ 1.27 ลิตร/นาทึ  | 61   |
| ก4                  | ความเข้มข้นของเบนซีนในอากาศ และประสิทธิภาพในการกำจัดเบนซีนด้วยตัวกลางเปลือกถั่วลิสง ที่ความเข้มข้นของเบนซีนประมาณ 100 พีพีเอ็ม อัตราการไหลอากาศเท่ากับ 0.42 ลิตร/นาทึ | 62   |
| ก5                  | ความเข้มข้นของเบนซีนในอากาศ และประสิทธิภาพในการกำจัดเบนซีนด้วยตัวกลางเปลือกถั่วลิสง ที่ความเข้มข้นของเบนซีนประมาณ 100 พีพีเอ็ม อัตราการไหลอากาศเท่ากับ 0.85 ลิตร/นาทึ | 63   |
| ก6                  | ความเข้มข้นของเบนซีนในอากาศ และประสิทธิภาพในการกำจัดเบนซีนด้วยตัวกลางเปลือกถั่วลิสง ที่ความเข้มข้นของเบนซีนประมาณ 100 พีพีเอ็ม อัตราการไหลอากาศเท่ากับ 1.27 ลิตร/นาทึ | 63   |
| ก7                  | ผลการตรวจวัดพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมระบบกรองชีวภาพตัวกลางเปลือกถั่วลิสง ที่ความเข้มข้นของเบนซีนเท่ากับ 50 พีพีเอ็ม อัตราการไหลอากาศเท่ากับ 0.42 ลิตร/นาทึ              | 65   |

## สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางผนวกที่                                                                                                                                                                   | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ก8 ผลการตรวจวัดพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมระบบกรองชีวภาพตัวกลางเปลือกกล้วย<br>ลิสง ที่ความเข้มข้นของเบนซีนเท่ากับ 50 พีพีเอ็ม อัตราการไหลอากาศเท่ากับ<br>0.85 ลิตร/นาที่           | 66   |
| ก9 ผลการตรวจวัดพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมระบบกรองชีวภาพตัวกลางเปลือกกล้วย<br>ลิสง ที่ความเข้มข้นของเบนซีนเท่ากับ 50 พีพีเอ็ม อัตราการไหลอากาศเท่ากับ<br>1.27 ลิตร/นาที่           | 68   |
| ก10 ผลการตรวจวัดพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมระบบกรองชีวภาพตัวกลางเปลือกกล้วย<br>ลิสง ที่ความเข้มข้นของเบนซีนเท่ากับ 100 พีพีเอ็ม อัตราการไหลอากาศเท่า<br>กับ 0.42 ลิตร/นาที่        | 69   |
| ก11 ผลการตรวจวัดพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมระบบกรองชีวภาพตัวกลางเปลือกกล้วย<br>ลิสง ที่ความเข้มข้นของเบนซีนเท่ากับ 100 พีพีเอ็ม อัตราการไหลอากาศเท่า<br>กับ 0.85 ลิตร/นาที่        | 71   |
| ก12 ผลการตรวจวัดพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมระบบกรองชีวภาพตัวกลางเปลือกกล้วย<br>ลิสง ที่ความเข้มข้นของเบนซีนเท่ากับ 100 พีพีเอ็ม อัตราการไหลอากาศเท่า<br>กับ 1.27 ลิตร/นาที่        | 73   |
| ก13 ความเข้มข้นของเบนซีนในอากาศ และประสิทธิภาพในการกำจัดเบนซีนด้วย<br>ตัวกลางแลกเปลี่ยน ที่ความเข้มข้นของเบนซีนประมาณ 50 พีพีเอ็ม อัตราการไหล<br>อากาศเท่ากับ 0.42 ลิตร/นาที่  | 74   |
| ก14 ความเข้มข้นของเบนซีนในอากาศ และประสิทธิภาพในการกำจัดเบนซีนด้วย<br>ตัวกลางแลกเปลี่ยน ที่ความเข้มข้นของเบนซีนประมาณ 50 พีพีเอ็ม อัตราการไหล<br>อากาศเท่ากับ 0.85 ลิตร/นาที่  | 75   |
| ก15 ความเข้มข้นของเบนซีนในอากาศ และประสิทธิภาพในการกำจัดเบนซีนด้วย<br>ตัวกลางแลกเปลี่ยน ที่ความเข้มข้นของเบนซีนประมาณ 100 พีพีเอ็ม อัตราการไหล<br>อากาศเท่ากับ 0.42 ลิตร/นาที่ | 76   |

## สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางผนวกที่                                                                                                                                                           | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ก16 ความเข้มข้นของเบนซีนในอากาศ และประสิทธิภาพในการกำจัดเบนซีนด้วยตัวกลางแลกเปลี่ยน ที่ความเข้มข้นของเบนซีนประมาณ 100 พีพีเอ็ม อัตราการไหลอากาศเท่ากับ 0.85 ลิตร/นาที่ | 77   |
| ก17 ผลการตรวจวัดพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมระบบกรองชีวภาพตัวกลางแลกเปลี่ยน ที่ความเข้มข้นของเบนซีนเท่ากับ 50 พีพีเอ็ม อัตราการไหลอากาศเท่ากับ 0.42 ลิตร/นาที่              | 78   |
| ก18 ผลการตรวจวัดพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมระบบกรองชีวภาพตัวกลางแลกเปลี่ยน ที่ความเข้มข้นของเบนซีนเท่ากับ 50 พีพีเอ็ม อัตราการไหลอากาศเท่ากับ 0.85 ลิตร/นาที่              | 80   |
| ก19 ผลการตรวจวัดพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมระบบกรองชีวภาพตัวกลางแลกเปลี่ยน ที่ความเข้มข้นของเบนซีนเท่ากับ 100 พีพีเอ็ม อัตราการไหลอากาศเท่ากับ 0.42 ลิตร/นาที่             | 82   |
| ก19 ผลการตรวจวัดพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมระบบกรองชีวภาพตัวกลางแลกเปลี่ยน ที่ความเข้มข้นของเบนซีนเท่ากับ 100 พีพีเอ็ม อัตราการไหลอากาศเท่ากับ 0.42 ลิตร/นาที่ (ต่อ)       | 83   |
| ก20 ผลการตรวจวัดพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมระบบกรองชีวภาพตัวกลางแลกเปลี่ยน ที่ความเข้มข้นของเบนซีนเท่ากับ 100 พีพีเอ็ม อัตราการไหลอากาศเท่ากับ 0.85 ลิตร/นาที่             | 84   |
| ก20 ผลการตรวจวัดพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมระบบกรองชีวภาพตัวกลางแลกเปลี่ยน ที่ความเข้มข้นของเบนซีนเท่ากับ 100 พีพีเอ็ม อัตราการไหลอากาศเท่ากับ 0.85 ลิตร/นาที่ (ต่อ)       | 85   |

## สารบัญภาพ

| ภาพที่ |                                                                                                                                              | หน้า |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1      | แผนภูมิกระบวนการที่เกิดขึ้นระหว่างแผ่นฟิล์มชีวภาพและช่องว่างภายในระบบกรองชีวภาพ                                                              | 13   |
| 2      | แผนภูมิระบบกรองชีวภาพ                                                                                                                        | 14   |
| 3      | ระบบกรองชีวภาพที่ใช้ในการทดลอง                                                                                                               | 30   |
| 4      | ขั้นตอนการทดลอง                                                                                                                              | 33   |
| 5      | ลำดับการเดินระบบ                                                                                                                             | 35   |
| 6      | ประสิทธิภาพการกำจัดเบนซีนที่ความเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม ณ จุดที่อากาศออกจากคอลัมน์ด้วยตัวกลางเปลือกถั่วลิสง                                      | 37   |
| 7      | ประสิทธิภาพการกำจัดเบนซีนที่ความเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม ณ จุดเก็บตัวอย่างแต่ละตำแหน่งด้วยตัวกลางเปลือกถั่วลิสง                                   | 37   |
| 8      | ประสิทธิภาพการกำจัดเบนซีนที่ความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ณ จุดที่อากาศออกจากคอลัมน์ด้วยตัวกลางเปลือกถั่วลิสง                                     | 38   |
| 9      | ประสิทธิภาพการกำจัดเบนซีนที่ความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ณ จุดเก็บตัวอย่างแต่ละตำแหน่งด้วยตัวกลางเปลือกถั่วลิสง                                  | 39   |
| 10     | ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของคอลัมน์กับอัตราส่วนความเข้มข้นเบนซีนในระบบ 50 พีพีเอ็ม ต่อความเข้มข้นเบนซีนออกจากระบบด้วยตัวกลางเปลือกถั่วลิสง  | 40   |
| 11     | ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของคอลัมน์กับอัตราส่วนความเข้มข้นเบนซีนในระบบ 100 พีพีเอ็ม ต่อความเข้มข้นเบนซีนออกจากระบบด้วยตัวกลางเปลือกถั่วลิสง | 41   |
| 12     | ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพของระบบกับความสามารถการกำจัดเบนซีนในอากาศด้วยตัวกลางเปลือกถั่วลิสง                                          | 41   |
| 13     | ประสิทธิภาพการกำจัดเบนซีนที่ความเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม ณ จุดที่อากาศออกจากคอลัมน์ด้วยตัวกลางแกลบ                                                | 44   |

### สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่            |                                                                                                                                    | หน้า |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 14                | ประสิทธิภาพการกำจัดเบนซีนที่ความเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม ณ จุดเก็บตัวอย่างแต่ละตำแหน่งด้วยตัวกลางเกลบ                                   | 45   |
| 15                | ประสิทธิภาพการกำจัดเบนซีนที่ความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ณ จุดที่อากาศออกจากคอลัมน์ด้วยตัวกลางเกลบ                                     | 46   |
| 16                | ประสิทธิภาพการกำจัดเบนซีนที่ความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ณ จุดเก็บตัวอย่างแต่ละตำแหน่งด้วยตัวกลางเกลบ                                  | 47   |
| 17                | ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของคอลัมน์กับอัตราส่วนความเข้มข้นเบนซีนในระบบ 50 พีพีเอ็ม ต่อความเข้มข้นเบนซีนออกจากระบบด้วยตัวกลางเกลบ  | 48   |
| 18                | ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของคอลัมน์กับอัตราส่วนความเข้มข้นเบนซีนในระบบ 100 พีพีเอ็ม ต่อความเข้มข้นเบนซีนออกจากระบบด้วยตัวกลางเกลบ | 49   |
| 19                | ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพของระบบกับความสามารถการกำจัดเบนซีนในอากาศด้วยตัวกลางเกลบ                                          | 50   |
| <b>ภาพผนวกที่</b> |                                                                                                                                    |      |
| ข1                | เปลือกอั้วลิสง(ซ้าย) และเกลบ(ขวา)                                                                                                  | 87   |
| ข2                | ชุดทดลองระบบกรองชีวภาพ                                                                                                             | 87   |
| ข3                | การเก็บตัวอย่างอากาศ                                                                                                               | 88   |
| ข4                | การตรวจวัดพารามิเตอร์ควบคุมต่างๆ                                                                                                   | 88   |
| ข5                | เครื่อง Gas Chromatograph                                                                                                          | 89   |

### คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

|      |   |                                                    |
|------|---|----------------------------------------------------|
| VOC  | = | Volatile Organic Compounds<br>สารอินทรีย์ระเหยง่าย |
| ppm  | = | part per million<br>ส่วนในล้านส่วน                 |
| EBRT | = | Empty Bed Residence Time<br>ระยะเวลาที่กักเก็บก๊าซ |
| RE   | = | Removal Efficiency<br>ประสิทธิภาพการกำจัด          |
| EC   | = | Elimination Capacity<br>ความสามารถในการกำจัด       |
| pH   | = | ค่าความเป็นกรด-ด่าง                                |