สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย…….. I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ…… II

กิตติกรรมประกาศ..... III

สารบัญ..... IV

สารบัญตาราง..... IX

สารบัญรูป…….. XII

บทที่ 1 บทนำ……. 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 6

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... 6

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ…….. 7

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง…… 8

2.1 ซิลิกา..... 8

2.1.1 ชนิดของซิลิกา..... 8

2.1.2 การเกิดพอลิเมอไรซชัน (Polymerization) ของซิลิกา..... 11

2.2 ออโธโทลิดีน..... 12

2.3 คลอรีน (Chlorine:Cl_2) และคลอรีนอิสระตกค้าง (Free residual chlorine)…….. 14

2.3.1 สมบัติและลักษณะของคลอรีน……..14

2.3.2 การเกิดปฏิกิริยาเคมีของการเติมคลอรีนในน้ำ……... 17

2.3.3 การเกิดปฏิกิริยาของคลอรีนกับแอมโมเนีย (Ammonia : NH_3)……..20

2.3.4 การเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงของคลอรีน……21

2.3.5 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของคลอรีนอิสระตกค้าง……22

2.3.6 Superchlorination, คลอรีนอิสระตกค้างหรือ Break-Point Chlorination….. 23

2.3.7 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของคลอรีนในน้ำ..... 23

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.3.8 วิธีการวิเคราะห์หาคลอรีนอิสระ……...25

2.3.9 ข้อดีและข้อเสียของคลอรีน.....27

2.3.10มาตรฐานทางเคมีของน้ำ…….. 29

2.4 หลอดตรวจวัด (Detector tube)..... 34

2.4.1 ชนิดของหลอดตรวจวัด……35

2.4.2 ลักษณะของหลอดตรวจวัด……41

2.4.3 การใช้งานหลอดตรวจวัด …….. 42

2.4.4 วิธีการปรับเทียบหลอดตรวจวัด (Calibration gas generation method)……. 53

2.4.5 การทำประกันคุณภาพ (Quality assurance) หลอดตรวจวัด…….. 54

2.4.6 การวิเคราะห์และแปรข้อมูล…….. 55

2.4.7 ลักษณะของความแม่นยำที่ใช้ในหลอดตรวจวัด…… 58

2.4.8 ปัจจัยที่มีผลต่อความผิดพลาดของการตรวจวัดด้วยหลอดตรวจวัด……58

2.4.9 ข้อควรระวังในการใช้หลอดตรวจวัด..... 62

2.4.10ค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดแก๊สด้วยหลอดตรวจวัด…….. 62

2.4.11การเก็บรักษาหลอดตรวจวัด..... 62

2.4.12การกำจัดหลอดตรวจวัด..... 62

2.4.13การประยุกต์ใช้งานหลอดตรวจวัด…… 62

2.4.14ข้อดีของหลอดตรวจวัด……. 63

2.5 ทฤษฎีโครมาโทกราฟีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย…….. 63

2.5.1 หลักการของโครมาโทกราฟฟี..... 63

2.5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการแยก..... 66

2.5.3 Partition ratio (Partition Coefficient, K)..... 70

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 71

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย..... 75
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี……..75
3.1.1 สารเคมี……....75
3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์..... 75
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย…….. 77
3.3 วิธีวิจัย.....79
3.3.1 การเตรียมสาร.....79
3.3.2 ศึกษาการเตรียมซิลิกา – ออโธโทลิดีน (Silica–o–tolidine)……82
3.3.3 การเตรียมหลอดตรวจวัด.....83
3.3.3.1 การบรรจุซิลิกา – ออโธโทลิดีนลงในหลอดแก้วปลายปิดแบบต่างๆ..... 83
3.3.3.2 ศึกษาร้อยละการเคลือบออโธโทลิดีนที่เหมาะสม..... 84
3.3.3.3 ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการตรวจวัด..... 85
3.3.3.4 ศึกษา pH ที่เหมาะสมในการตรวจวัด..... 86
3.3.3.5 ศึกษาการระบุสเกลข้างหลอดตรวจวัดเพื่อระบุสเกลตามความเข้มข้น... 87
3.3.3.6 การเตรียมหลอดตรวจวัดคลอรีนอิสระเพื่อใช้งานจริง..... 87
3.3.4 การทดสอบความถูกต้องของวิธี (validation method) ของหลอดตรวจวัด..... 87
3.3.4.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานคลอรีนอิสระ..... 87
3.3.4.2 การศึกษาความเที่ยงของหลอดตรวจวัด..... 87
3.3.4.3 การตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระใน spiked sample..... 87
3.3.4.4 การตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระตกค้างในน้ำตัวอย่าง.....88
3.4 สถานที่ทำการวิจัย……88

บทที่ 4 ผลการวิจัย.....89
4.1 ผลการวิจัย..... 89
4.1.1 ศึกษาการเตรียมอนุภาคซิลิกา..... 89

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.1.1.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพของอนุภาคซิลิกาที่เตรียมได้จากแกลบข้าว..... 89

1. วิเคราะห์ลักษณะอนุภาคซิลิกาด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope…89
2. วิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคด้วยเทคนิค light scattering analysis.... 91
3. วิเคราะห์หาปริมาณพื้นที่ผิวและขนาดของรูพรุนด้วยเครื่อง Autosorb..... 92
4. วิเคราะห์ความบริสุทธิ์ด้วยเทคนิค X-ray Fluorescent……95
5. วิเคราะห์การเปลี่ยนเฟสด้วยเทคนิค Thermal Gravimetric Analysis……. 95
6. วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค Fourier transforms infrared Spectrometry 96
7. วิเคราะห์หาปริมาณธาตุที่ปนเปื้อนในซิลิกาด้วยเทคนิค ICP-MS…….. 97

4.1.2 ศึกษาการเตรียมซิลิกา – ออโธโทลิดีน (Silica – o – tolidine) 99

4.1.2.1 วิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพของอนุภาคซิลิกา – ออโธโทลิดีน..... 99

1. วิเคราะห์ลักษณะของอนุภาคซิลิกา – ออโธโทลิดีนด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope …… 99
2. วิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคด้วยเทคนิค light scattering analysis…… 99
3. วิเคราะห์การเปลี่ยนเฟสด้วยเทคนิค Thermal Gravimetric Analysis……. 100
4. วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค Fourier transforms infrared Spectrometry.. 102

4.1.3 ศึกษาการเตรียมหลอดวัด..... 103

4.1.3.1 ศึกษาร้อยละการเคลือบออโธโทลิดีนที่เหมาะสม..... 103

4.1.3.2 ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการตรวจวัด..... 108

4.1.3.3 ศึกษา pH ที่เหมาะสมในการตรวจวัด..... 111

4.1.3.4 ศึกษาการระบุสเกลข้างหลอดตรวจวัดเพื่อระบุสเกลตามความเข้มข้น..113

4.1.4 การทดสอบความถูกต้องของวิธีของหลอดตรวจวัด..... 119

4.1.4.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานคลอรีนอิสระ..... 119

4.1.4.2 การตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระใน spiked sample……123

4.1.4.3 การตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระตกค้างในน้ำตัวอย่าง…… 128

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 130

5.1 สรุปผลการวิจัย.....130

5.2 ข้อเสนอแนะ.....131

เอกสารอ้างอิง..... 132

ภาคผนวก..... 143

ภาคผนวก ก. วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเฟสของออโธโทลิดีนและซิลิกา-ออโธโทลิดีน ด้วยเทคนิค Thermal Gravimetric Analysis..... 144

ภาคผนวก ข. วิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคซิลิกาและซิลิกา – ออโธโทลิดีน ด้วยเทคนิค light scattering analysis..... 146

ภาคผนวก ค. วิเคราะห์หาปริมาณพื้นที่ผิวและขนาดรูพรุนของอนุภาคซิลิกา ที่เตรียมจากแกลบข้าวด้วยเครื่องAutosorb..... 149

ภาคผนวก ง. วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของออโธโทลิดีนด้วยเทคนิค Fourier transforms infrared Spectrometry..... 151

ภาคผนวก จ. เปรียบเทียบซิลิกาที่เตรียมจากแกลบข้าวกับซิลิกาในทางการค้า..... 153

ภาคผนวก ฉ. ผลการศึกษาประสิทธิภาพของหลอดตรวจวัด..... 158

ภาคผนวก ช. วิธีการคำนวณผลการทดลองทางสถิติ..... 197

ประวัติผู้เขียน.....203

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ระดับความรุนแรงของแก๊สคลอรีนในปริมาณต่างๆ..... 29

2.2 มาตรฐานคุณภาพน้ำของน้ำในสระว่ายน้ำ..... 29

2.3 มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง (ตามข้อแนะนำขององค์การอนามัยโลก ปี 2536)..... 30

2.4 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม..... 32

2.5 การตรวจวัด1,1,1-Trichloroethane ที่อุณหภูมิต่างๆ กัน..... 59

2.6 การตรวจวัด Tetrachloeoethylene ที่อุณหภูมิและความเข้มข้นต่างๆ กัน..... 60

3.1 อัตราส่วนปริมาณซิลิกา สารละลายออโธโทลิดีน และเอทานอล ด้วยร้อยละการเคลือบ 0.01, 0.05, 0.10, 0.50, 1.00 , 2.00, 3.00, 4.00, และ 5.00 % (w/w)..... 82

4.1 เปรียบเทียบขนาดอนุภาคซิลิกาที่เตรียมจากแกลบข้าวกับซิลิกาในทางการค้า..... 92

4.2 เปรียบเทียบพื้นที่ผิวสัมผัส ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนของอนุภาคซิลิกาที่เตรียมจากแกลบข้าวกับซิลิกาในทางการค้า..... 95

4.3 เปอร์เซ็นต์ของซิลิกาที่เตรียมขึ้นจากแกลบข้าว โดยวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-ray Fluorescent.....95

4.4 ปริมาณธาตุที่ปนเปื้อนในอนุภาคซิลิกาที่เตรียมจากแกลบข้าว วิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP-MS เปรียบเทียบกับซิลิกาในทางการค้า..... 98

4.5 เปรียบเทียบขนาดของอนุภาคซิลิกา และซิลิกา – ออโธโทลิดีนร้อยละการเคลือบ 0.01 % (w/w) โดยวิเคราะห์ด้วยเทคนิคด้วยเทคนิค light scattering analysis.....100

4.6 ผลร้อยละโดยน้ำหนักที่สูญหายและ % Carbon loading ของซิลิกา–ออโธโทลิดีนในช่วงอุณหภูมิ 150.0 – 800.0 °C โดยวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA..... 102

4.7 การศึกษาร้อยละการเคลือบออโธโทลิดีนที่เหมาะสมของหลอดตรวจวัดโดยทดสอบกับคลอรีนอิสระความเข้มข้น 50 ppm.....106

4.8 การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการตรวจวัดของหลอดตรวจวัด โดยทดสอบกับคลอรีนอิสระความเข้มข้น 50 ppm..... 110

4.9 การศึกษา pH ที่เหมาะสมในการตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระความเข้มข้น 50 ppm ของหลอดตรวจวัดที่บรรจุซิลิกา – ออโธโทลิดีน 0.05 % (w/w)..... 112

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.10 ระยะทางที่เกิดการเปลี่ยนสีของหลอดตรวจวัดที่บรรจุซิลิกา – ออโธโทลิดีน 0.05 % (w/w) เมื่อตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระความเข้มข้น 0-100 ppm..... 114

4.11 การเปรียบเทียบระยะทางที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของหลอดตรวจวัดจากการทดลอง และการคำนวณด้วยสมการ $y = 0.499x$..... 116

4.12 แสดง y – residual ของหลอดตรวจวัดในการตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระความเข้มข้น 0 – 25 ppm..117

4.13 ช่วงสเกลของหลอดตรวจวัดที่บรรจุซิลิกา – ออโธโทลิดีน 0.05 % (w/w) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.6 mm 118

4.14 ช่วงความเชื่อมั่น t-test และ F-test ของการตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระที่เตรียมขึ้น โดยใช้หลอดตรวจวัดเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานยูวี–วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี.... 120

4.15 แสดง Horwitz's equation และ HORRAT เพื่อเปรียบเทียบ $\%RSD_r$ ของการตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระที่เตรียมขึ้นด้วยหลอดตรวจวัด..... 121

4.16 แสดง y – residual ของการตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระที่เตรียมขึ้น โดยใช้หลอดตรวจวัดกับวิธีมาตรฐานยูวี–วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี..... 122

4.17 ช่วงความเชื่อมั่น t-test และ F-test ของการตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระที่เติมลงในน้ำตัวอย่าง โดยใช้หลอดตรวจวัดเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานยูวี–วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี..... 124

4.18 แสดง Horwitz's equation และ HORRAT เพื่อเปรียบเทียบ $\%RSD_r$ ของการตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระที่เติมลงในน้ำตัวอย่าง โดยใช้หลอดตรวจวัด..... 125

4.19 แสดง y – residual ของการตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระที่เติมลงในน้ำตัวอย่าง โดยใช้หลอดตรวจวัดกับวิธีมาตรฐานยูวี–วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี..... 126

4.20 ร้อยละการคืนกลับของการตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระที่เติมลงในน้ำตัวอย่างจากสระว่ายน้ำสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยใช้หลอดตรวจวัด....127

4.21 ช่วงความเชื่อมั่น t-test และ F-test ของการตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระในน้ำตัวอย่างโดยใช้หลอดตรวจวัดเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานยูวี–วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี.....129

4.22 Horwitz's equation และ HORRAT เพื่อเปรียบเทียบ $\%RSD_r$ ของการตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระในน้ำตัวอย่าง โดยใช้หลอดตรวจวัด..... 129

ข1 การกระจายตัวของอนุภาคซิลิกาที่เตรียมจากแกลบข้าว.....147

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ข2 การกระจายตัวของอนุภาคซิลิกา – ออโธโทลิดีน ด้วยร้อยละการเคลือบ 0.10 % (w/w)..... 148

1จ เปรียบเทียบซิลิกาที่เตรียมจากแกลบข้าวกับซิลิกาในทางการค้าชนิดต่างๆ..... 154

ฉ1 การศึกษาร้อยละการเคลือบออโธโทลิดีนที่เหมาะสมของหลอดตรวจวัด
โดยทดสอบกับคลอรีนอิสระความเข้มข้น 50 ppm..... 159

ฉ2 การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมของหลอดตรวจวัดที่บรรจุซิลิกา – ออโธโทลิดีน
0.10 % (w/w)ในการตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระ 50 ppm ทดสอบโดยการจุ่ม..... 168

ฉ3 การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมของหลอดตรวจวัดที่บรรจุซิลิกา – ออโธโทลิดีน
0.05 % (w/w)ในการตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระ 50 ppm ทดสอบโดยการฉีด..... 170

ฉ4 การศึกษา pH ที่เหมาะสมในการปริมาณคลอรีนอิสระความเข้มข้น 50 ppm ของ
หลอดตรวจวัดที่บรรจุซิลิกา – ออโธโทลิดีน 0.05 % (w/w)..... 172

ฉ 5 ระยะทางที่เกิดการเปลี่ยนสีของหลอดตรวจวัดที่บรรจุซิลิกา – ออโธโทลิดีน 0.05 % (w/w)
เมื่อตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระความเข้มข้น 0-100 ppm..... 173

ฉ6 การตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระที่เตรียมขึ้นด้วยหลอดตรวจวัดเปรียบเทียบกับ
วิธีมาตรฐานยูวี–วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี..... 186

ฉ7 การตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระที่เติมลงในน้ำตัวอย่างด้วยหลอดตรวจวัด
เปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานยูวี–วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี..... 190

ฉ8 การตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระตกค้างในน้ำตัวอย่างจากสระว่ายน้ำ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง..... 194

ฉ9 การตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระตกค้างในน้ำตัวอย่างจากสระว่ายน้ำสวนพระนคร..... 195

ฉ10 การตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระตกค้างในน้ำตัวอย่างจากสระว่ายน้ำ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลคลองหก..... 196

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การจัดเรียงตัวกันแบบทรงเหลี่ยมสี่หน้าของซิลิกา	8
2.2	ลักษณะของอนุภาคซิลิกาที่ใช้ทำเฟสที่อยู่กับที่ของHPLC	9
2.3	โครงสร้างและการเกิดพันธะภายในโครงร่างตาข่ายของซิลิกาโดยที่ผิวจะมีหมู่ไฮดรอกซีไซลานอล	9
2.4	หมู่ไฮดรอกซีไซลานอลบนผิวของซิลิกาแบบต่างๆ	10
2.5	ซิลิกาในรูปแบบต่างๆ ซึ่งจัดเรียงกันแบบเตตระฮีดอล	10
2.6	การเกิดการเชื่อมต่อกันเป็นโครงสร้างแบบร่างตาข่ายของซิลิกาแบบผลึก(ก)และแบบไม่เป็นผลึก(ข)	11
2.7	สูตรโครงสร้างของออโธโทลิดีน	12
2.8	ปฏิกิริยาของคลอรีนเมื่อเติมลงในน้ำจะเกิดเป็นคลอรีนในแบบต่างๆ กัน	19
2.9	ผลของ pH และการเปลี่ยนแปลงชนิดของคลอรีนอิสระตกค้าง	19
2.10	ชนิดของหลอดตรวจวัดแบบต่างๆ	35
2.11	Standard Detector Tubes แบบต่างๆ	36
2.12	หลอดตรวจวัดแบบ single tube (ก) และ twin tube (ข)	37
2.13	Dosi-Tubes (ก) และ Dosi-tube ที่ถูกใส่ใน Dosi-tube holder (ข)	37
2.14	Polytec Tubes ที่ต่อเข้ากับ PYROTEC Pyrolyzer และปั๊มสุญญากาศ	38
2.15	Breathing Air Tubes ซึ่งต่อเข้ากับถังแก๊สเพื่อวัดสารปนเปื้อนที่อยู่ในถังแก๊ส	39
2.16	วิธีการใช้ Breathing Air Tubes	40
2.17	ส่วนประกอบของหลอดตรวจวัด	42
2.18	อุปกรณ์และวิธีการใช้งานหลอดตรวจวัด	42
2.19	หลอดตรวจวัดก่อนใช้งาน (ก) เปรียบเทียบกับหลังใช้งาน (ข)	43
2.20	วิธีการใช้หลอดตรวจวัดสารตัวอย่างแบบ Vacuum method	45
2.21	วิธีการใช้หลอดตรวจวัดสารตัวอย่างแบบ Injection method	46

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.22 วิธีการใช้หลอดตรวจวัดสารตัวอย่างแบบ Motor-driven pump method..... 47

2.23 วิธีการใช้หลอดตรวจวัดสารตัวอย่างแบบ Diffusion method..... 48

2.24 วิธีการใช้หลอดตรวจวัดสารตัวอย่างแบบ Boring method..... 49

2.25 วิธีการใช้หลอดตรวจวัดสารตัวอย่างแบบ Reagent adding method..... 51

2.26 วิธีการใช้หลอดตรวจวัดสารตัวอย่างแบบ Vapor-liquid equilibrium method..... 52

2.27 วิธีการใช้หลอดตรวจวัดสารตัวอย่างแบบ Capillary method..... 53

2.28 การอ่านค่าความเข้มข้นของสารด้วยวิธีการอ่านจากสเกลของหลอดโดยตรง (ก) และอ่านโดยเปรียบเทียบกับ Chart ความเข้มข้นของสาร (ข) 56

2.29 การเปลี่ยนสีของหลอดตรวจวัดในลักษณะต่างๆ 57

2.30 การแยกสาร A ออกจาก สาร B โดยอาศัยหลักการทางโครมาโทกราฟี..... 64

2.31 การแพร่กระจายของโมเลกุลของสารไปในคอลัมน์..... 65

2.32 อัตราการกระจายตัวหรืออัตราการเคลื่อนที่ที่ไม่เท่ากันของสารชนิดเดียวกัน ซึ่งเกิดจากกระบวนการทางกายภาพ..... 66

2.33 การเกิด Eddy diffusion ในคอลัมน์..... 66

2.34 การเกิด Mobile Phase Mass Transfer..... 67

2.35 การเกิด Stagnant mobile phase mass transfer..... 68

2.36 การเกิด Stationary phase mass transfer..... 69

2.37 การเกิด Longitudinal diffusion..... 70

2.38 สาร A และ B ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายที่ต่างกันจึงทำให้ถูกแยกออกจากกันได้..... 71

3.1 วิธีการบรรจุซิลิกา – ออโธโทลิดีนลงในหลอดตรวจวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.0 และ 2.6 mm ทดสอบโดยวิธีจุ่ม (ก และ ข) กับ 2.6 mm ทดสอบโดยวิธีฉีด (ค)..... 84

3.2 วิธีการใช้หลอดตรวจวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.0 และ 2.6 mm ทดสอบโดยวิธีจุ่ม (ก และ ข) กับ 2.6 mm ทดสอบโดยวิธีฉีด(ค)..... 85

4.1 ลักษณะพื้นผิว รูปร่างและขนาดของอนุภาคซิลิกาที่เตรียมจากแกลบข้าว โดยผ่านตะแกรงร่อนขนาด 35 เมช ด้วยกำลังขยาย 30 และ 500 เท่า..... 89

4.2 ลักษณะพื้นผิว รูปร่างและขนาดของอนุภาคซิลิกาที่เตรียมจากแกลบข้าว โดยผ่านตะแกรงร่อนขนาด 70 เมช ด้วยกำลังขยาย 30 และ 500 เท่า..... 89

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.3 ลักษณะพื้นผิว รูปร่างและขนาดของอนุภาคซิลิกาที่เตรียมจากแกลบข้าว โดยผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช ด้วยกำลังขยาย 30 และ 500 เท่า…… 90

4.4 ลักษณะพื้นผิว รูปร่างและขนาดของอนุภาคซิลิกาที่เตรียมจากแกลบข้าว โดยผ่านตะแกรงร่อนขนาด 200 เมช ด้วยกำลังขยาย 30 และ 500 เท่า…… 90

4.5 การกระจายตัวของอนุภาคซิลิกาที่เตรียมจากแกลบข้าว..... 91

4.6 ไอโซเทอมที่ได้จากการแอดซอร์บและดีซอร์บแก๊สไนโตรเจนของอนุภาคซิลิกาที่เตรียมได้จากแกลบข้าว โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Autosorb..... 93

4.7 BJH desorption DV (log d) polt ของอนุภาคซิลิกาที่เตรียมจากแกลบข้าว ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Autosorb……..…... 94

4.8 กราฟการเปลี่ยนแปลงเฟสของซิลิกาที่เตรียมขึ้นจากแกลบข้าวโดยวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Thermal Gravimetric Analysis..... 96

4.9 สเปกตรัม FT-IR ของอนุภาคซิลิกาที่เตรียมจากแกลบข้าว..... 97

4.10 ลักษณะพื้นผิว รูปร่างและขนาดของอนุภาคซิลิกา – ออโธโทลิดีนด 0.01 % (w/w) โดยผ่านตะแกรงร่อนขนาด 200 เมช กำลังขยาย 50 และ 1500 เท่า..... 99

4.11 การกระจายตัวของอนุภาคซิลิกา – ออโธโทลิดีน 0.01 % (w/w) โดยวิเคราะห์ด้วยเทคนิคด้วยเทคนิค light scattering analysis……. 100

4.12 กราฟการเปลี่ยนแปลงเฟสของซิลิกาเปรียบเทียบกับซิลิกา – ออโธโทลิดีนร้อยละของการเคลือบต่างๆ ด้วยเทคนิค Thermal Gravimetric Analysis……..101

4.13 สเปกตรัม FT-IR ของซิลิกา – ออโธโทลิดีน 0.10 % (w/w)……..... 103

4.14 ซิลิกา – ออโธโทลิดีน 0.01 - 5.00 % (w/w)…… 104

4.15 ลักษณะของหลอดตรวจวัดที่ตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระความเข้มข้น 50 ppm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.0 และ 2.6 mm ทดสอบโดยวิธีจุ่ม (ก และ ข) กับ 2.6 mm ทดสอบโดยวิธีฉีด (ค)..... 105

4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการเคลือบออโธโทลิดีนกับระยะทางที่เกิดการเปลี่ยนสีของหลอดตรวจวัดโดยทดสอบกับคลอรีนอิสระความเข้มข้น 50 ppm……..108

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.17 ลักษณะของหลอดตรวจวัดที่ตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระในเวลาการตรวจวัดต่างๆ ทั้ง 3 แบบคือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.0 และ 2.6 mm ทดสอบโดยวิธีจุ่ม (ก และ ข) กับ 2.6 mm ทดสอบโดยวิธีฉีด (ค)).....109

4.18 ลักษณะของหลอดตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระในสภาวะที่ปรับ pH (1.79) และไม่ปรับ pH (10.05) โดยทดสอบกับคลอรีนอิสระความเข้มข้น 50 ppm…….. 111

4.19 ลักษณะการเปลี่ยนสีของหลอดตรวจวัดที่บรรจุซิลิกา – ออโธโทลิดีน 0.05 % (w/w) เมื่อตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระความเข้มข้น 0-100 ppm…… 113

4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางที่เกิดการเปลี่ยนสีของหลอดตรวจวัดที่บรรจุซิลิกา – ออโธโทลิดีน 0.05 % (w/w) ในการตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระความเข้มข้น 0-100 ppm……. 115

4.21 กราฟแสดงช่วงของความเป็นเส้นตรงของหลอดตรวจวัดในการตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระความเข้มข้น 0 – 25 ppm…….. .116

4.22 กราฟแสดง y–residual ของหลอดตรวจวัดในการตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระความเข้มข้น 0 – 25 ppm……..… 118

4.23 ลักษณะของหลอดตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระ……....119

4.24 กราฟแสดงช่วงของความเป็นเส้นตรงของการตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระที่เตรียมขึ้นโดยใช้หลอดตรวจวัด (y) กับวิธีมาตรฐานยูวี–วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี (x)…….. 122

4.25 กราฟแสดง y – residual ของการตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระที่เตรียมขึ้นโดยใช้หลอดตรวจวัดกับวิธีมาตรฐานยูวี–วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี…….. 123

4.26 กราฟแสดงช่วงของความเป็นเส้นตรงของหลอดตรวจวัดในตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระที่เติมลงในน้ำตัวอย่าง โดยใช้หลอดตรวจวัด (y) กับวิธีมาตรฐานยูวี–วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี (x)…….. 126

4.27 กราฟแสดง y – residual ของการตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระที่เติมลงในน้ำตัวอย่าง โดยใช้หลอดตรวจวัดกับวิธีมาตรฐานยูวี–วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี…….... 127

ก1 กราฟการเปลี่ยนแปลงเฟสของออโธโทลิดีนโดยวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Thermal Gravimetric Analysis……..….. 145

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

ก2 กราฟการเปลี่ยนแปลงเฟสของซิลิกา–ออโธโทลิดีนร้อยละการเคลือบ 4 % โดยวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Thermal Gravimetric Analysis……145

ค1 Bet plot ของอนุภาคซิลิกาที่เตรียมจากแกลบข้าว โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่องด้วยเครื่อง Autosorb…….. 150

ง1 สเปกตรัมFT-IR ของออโธโทลิดีน…… 152