

1. ชื่อชุดโครงการ -

2. ชื่อโครงการเดี่ยว

- 1) ภาษาไทย การสังเคราะห์อนุภาคเงินบนฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เจือไนโตรเจน ร่วมกับซัลเฟอร์ที่เคลือบบนใยแก้วเพื่อบำบัดน้ำดื่ม
- 2) ภาษาอังกฤษ Synthesis of Ag nanoparticles on N, S co-doped TiO₂ film coated on glass fibers for cleaning drinking water

3. คณะนักวิจัย และหน่วยงานต้นสังกัด

- 1) รองศาสตราจารย์ ดร.เล็ก สีคง
ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หัวหน้าโครงการวิจัย
- 2) รองศาสตราจารย์กัลยาณี คุปตานนท์
ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ผู้ร่วมวิจัย
- 3) นางสาวเบญจมาศ หนูพุ่ม
นักศึกษาปริญญาโทสาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ
ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ผู้ช่วยวิจัย

หน่วยงานต้นสังกัด

ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ได้รับอนุมัติงบประมาณ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555
งบประมาณที่ได้รับ 400,000 บาท ระยะเวลาทำการวิจัย 2 ปี
เริ่มทำการวิจัยเมื่อ (เดือน ปี) เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2555 ถึง (เดือน ปี) มิถุนายน พ.ศ. 2557

สารบัญ

	หน้า
1. ชื่อชุดโครงการ	1
2. ชื่อโครงการเดี่ยว	1
3. คณะนักวิจัย และ หน่วยงานต้นสังกัด	1
4. สารบัญ	2
4.1 รายการตาราง	3
4.2 รายการรูปภาพ	4
5. กิตติกรรมประกาศ	10
6. บทคัดย่อ	11
6.1 บทคัดย่อภาษาไทย	11
6.2 บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	13
7. บทนำ	15
8. วัตถุประสงค์	20
9. การตรวจเอกสาร	20
10. วิธีการทดลอง	38
11. ผลการทดลองและวิจารณ์	45
12. สรุปผลการทดลอง	106
13. เอกสารอ้างอิง	108
14. ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไป	114
15. ภาคผนวก	114
15.1 บทความที่ตีพิมพ์แล้ว	114
15.2 นิพนธ์ต้นฉบับที่ส่งตีพิมพ์	114
15.3 บทความวิจัยที่นำเสนอที่ประชุมวิชาการ	114
15.4 ข้อคิดเห็น/ข้อเสนอแนะในส่วนที่ไม่สามารถดำเนินการวิจัยได้ตามวัตถุประสงค์	114

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
1. อัตราป่วยมะเร็งในเพศชาย ปี พ.ศ. 2542	18
2. การเปรียบเทียบผลวิเคราะห์แบบที่เรียในตัวอย่างน้ำประปาและน้ำดื่มบรรจุขวด	18
3. เปรียบเทียบลักษณะของน้ำดื่มแต่ละชนิด	19
4. ขนาดผลึกของผงไทเทเนียมไดออกไซด์สูตรต่างๆ	49
5. สัดส่วนปริมาณเฟสของผงไทเทเนียมไดออกไซด์สูตรต่างๆ	49
6. ขนาดผลึกของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์สูตรต่างๆ	52
7. สัดส่วนปริมาณเฟสของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์สูตรต่างๆ	53
8. เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายสีของเมทิลีนบลูของฟิล์มสูตรต่างๆ เผาที่อุณหภูมิ 300, 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส ที่เวลารับแสงยูวีนาน 6 ชั่วโมง	59
9. เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายสีของเมทิลีนบลูของฟิล์มสูตรต่างๆ เผาที่อุณหภูมิ 300, 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส ที่เวลารับแสงฟลูออเรสเซนซ์นาน 6 ชั่วโมง	62
10. ความถี่และชนิดการสั่นของพันธะด้วยเทคนิค FT-IR ของผง PT และ 5NST เผาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส	64
11. เปอร์เซ็นต์อะตอมที่วิเคราะห์ได้จากเทคนิค XPS ของฟิล์ม 5NST เผาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส	67
12. แถบช่องว่างพลังงานของผงไทเทเนียมไดออกไซด์สูตรต่างๆ เผาที่อุณหภูมิ 300, 400 และ 500 องศาเซลเซียส	70
13. แถบช่องว่างพลังงานของผง 5NST ที่มีอนุภาคซิลเวอร์นาโนเป็นองค์ประกอบสูตรต่างๆ เผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส	83
14. เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายสีของเมทิลีนบลูของฟิล์มสูตรต่างๆ เผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ที่เวลา 6 ชั่วโมง ของการรับแสงยูวี และฟลูออเรสเซนซ์ 50 วัตต์	85

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
15. เพอร์เซ็นต์การย่อยสลาย BPA ของฟิล์มPT, 5NST และ 0.01A5NST ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่เวลา 12 ชั่วโมง ของการรับแสงยูวี และฟลูออเรสเซนซ์ 50 วัตต์	87
16. เพอร์เซ็นต์การย่อยสลาย BPA ของฟิล์มPT, 5NST และ 0.01A5NST ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่เวลา 12 ชั่วโมง ของการรับแสงยูวี และฟลูออเรสเซนซ์ 110 วัตต์	89
17. เพอร์เซ็นต์การย่อยสลาย 2,4-DCP ของฟิล์มPT, 5NST และ 0.01A5NST ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่เวลา 12 ชั่วโมง ของการรับแสงยูวี และฟลูออเรสเซนซ์ 50 วัตต์	91
18. เพอร์เซ็นต์การย่อยสลาย 2,4-DCP ของฟิล์มPT, 5NST และ 0.01A5NST ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่เวลา 12 ชั่วโมง ของการรับแสงยูวี และฟลูออเรสเซนซ์ 110 วัตต์	93
19. เพอร์เซ็นต์การฆ่าเชื้อ <i>E.coli</i> ความเข้มข้นเชื้อ 10^5 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ของฟิล์มสูตรต่างๆ ที่เวลา 60 นาที ของการรับแสงยูวีและฟลูออเรสเซนซ์ 50 วัตต์	97
20. เพอร์เซ็นต์การฆ่าเชื้อ <i>E.coli</i> ความเข้มข้นเชื้อ 10^3 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ของฟิล์ม 0.01A5NST ที่ปริมาณใยแก้วต่างๆ 10, 20, 30, 40 และ 50 กรัมต่อหลอด ด้วยอัตราไหล 200 มิลลิลิตรต่อนาที ของการรับแสงยูวีและฟลูออเรสเซนซ์ 60 วัตต์	102
21. เพอร์เซ็นต์การฆ่าเชื้อ <i>E.coli</i> ความเข้มข้นเชื้อ 10^5 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ของฟิล์ม 0.01A5NST ผ่านเครื่องปฏิกรณ์ที่ออกแบบ ด้วยอัตราไหล 500 มิลลิลิตรต่อนาที	104
22. เพอร์เซ็นต์การย่อยสลายสารละลาย BPA ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ของฟิล์ม 0.01A5NST ผ่านเครื่องปฏิกรณ์ที่ออกแบบ ด้วยอัตราไหล 500 มิลลิลิตรต่อนาที	106
23. เพอร์เซ็นต์การย่อยสลายสารละลาย 2,4-DCP ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ของฟิล์ม 0.01A5NST ผ่านเครื่องปฏิกรณ์ที่ออกแบบ ด้วยอัตราไหล 500 มิลลิลิตรต่อนาที	106

รายการรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1. กลไกการเคลื่อนที่ของประจุใน SnO ₂ /TiO ₂ composite ของ Hou และคณะ (2007)	25
2. กลไกการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกของ C-TiO ₂ ของ Lin และคณะ (2013)	26
3. Total DOS ของ (A) undoped TiO ₂ , (B) S-doped TiO ₂ และ(C) partial DOS of S atoms in S-doped TiO ₂ ของ Ohno และคณะ (2004)	26
4. กลไกปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกของไทเทเนียมไดออกไซด์เฟสอะนาเทส และไทเทเนียมไดออกไซด์รูไทล์ที่เจือด้วยไนโตรเจน	28
5. กลไกปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เจือด้วยซัลเฟอร์ ภายใต้การกระตุ้นด้วยแสงขาว ของ Liu และคณะ (2009)	28
6. ชุดทดสอบของ Gu และคณะ (2010)	32
7. ชุดทดสอบของ Zhao และคณะ (2007)	33
8. ชุดทดสอบของ Sun และคณะ (2003)	34
9. กลไกการย่อยสลาย RhB ของ Sung-Suh และคณะ (2004) (a) ภายใต้แสงขาว และ (b) ภายใต้แสงยูวี	36
10. กลไกการย่อยสลายฟีนอล ของ Gomathi Devi และ Eraiah Rajashekhar (2011)	36
11. กลไกการทำงานของเมมเบรนและลักษณะเมมเบรน ของ Liu และคณะ (2012) (a) แบบจำลองการทำงานของไส้กรองชนิดแผ่น และ (b) ภาพถ่ายไส้กรองชนิดแผ่น	36
12. กลไกการเกิดปฏิกิริยาของ AgI/AgCl/TiO ₂ ภายใต้แสงขาวของ Cao และคณะ (2011)	37
13. กลไกการย่อยสลาย 4-CP ภายใต้แสงขาวของ Zhou และคณะ (2011)	37
14. การเตรียมผงและฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ (PT) ด้วยวิธีโซล-เจล	41
15. การเตรียมผงและฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เจือไนโตรเจนร่วมกับซัลเฟอร์ (NST) ด้วยวิธีโซล-เจล	42
16. การเตรียมอนุภาคซิลเวอร์นาโนบนฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ เจือไนโตรเจนร่วมกับซัลเฟอร์ (ANST) ด้วยวิธีทางเคมี	43
17. XRD patterns ของผงไทเทเนียมไดออกไซด์สูตรต่างๆ เมาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส	46

รายการรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
18. XRD patterns ของผงไทเทเนียมไดออกไซด์สูตรต่างๆ เเผที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส	46
19. XRD patterns ของผงไทเทเนียมไดออกไซด์สูตรต่างๆ เเผที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส	47
20. XRD patterns ของผงไทเทเนียมไดออกไซด์สูตรต่างๆ เเผที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส	47
21. XRD patterns ของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์สูตรต่างๆ เเผที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส	50
22. XRD patterns ของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์สูตรต่างๆ เเผที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส	50
23. XRD patterns ของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์สูตรต่างๆ เเผที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส	51
24. XRD patterns ของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์สูตรต่างๆ เเผที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส	51
25. ลักษณะของฟิล์มบาง PT และ 5NST ที่เคลือบบนเส้นใยแก้ว เเผที่อุณหภูมิ 300, 400, 500 และ 600 องศาเซลเซีย	54
26. ความสัมพันธ์อัตราส่วน C/C_0 ของเมทิลีนบลูของฟิล์มสูตรต่างๆ เเผที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 6 ชั่วโมง ของการรับแสงยูวี 50 วัตต์	57
27. ความสัมพันธ์อัตราส่วน C/C_0 ของเมทิลีนบลูของฟิล์มสูตรต่างๆ เเผที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 6 ชั่วโมง ของการรับแสงยูวี 50 วัตต์	57
28. ความสัมพันธ์อัตราส่วน C/C_0 ของเมทิลีนบลูของฟิล์มสูตรต่างๆ เเผที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 6 ชั่วโมง ของการรับแสงยูวี 50 วัตต์	58
29. ความสัมพันธ์อัตราส่วน C/C_0 ของเมทิลีนบลูของฟิล์มสูตรต่างๆ เเผที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 6 ชั่วโมง ของการรับแสงยูวี 50 วัตต์	58
30. ความสัมพันธ์อัตราส่วน C/C_0 ของเมทิลีนบลูของฟิล์มสูตรต่างๆเเผที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 6 ชั่วโมง ของการรับแสงฟลูออเรสเซนซ์ 50 วัตต์	60
31. ความสัมพันธ์อัตราส่วน C/C_0 ของเมทิลีนบลูของฟิล์มสูตรต่างๆ เเผที่อุณหภูมิ 400องศาเซลเซียส ภายในเวลา 6 ชั่วโมง ของการรับแสงฟลูออเรสเซนซ์ 50 วัตต์	60
32. ความสัมพันธ์อัตราส่วน C/C_0 ของเมทิลีนบลูของฟิล์มสูตรต่างๆเเผที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 6 ชั่วโมง ของการรับแสงฟลูออเรสเซนซ์ 50 วัตต์	61
33. ความสัมพันธ์อัตราส่วน C/C_0 ของเมทิลีนบลูของฟิล์มสูตรต่างๆเเผที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 6 ชั่วโมง ของการรับแสงฟลูออเรสเซนซ์ 50 วัตต์	61
34. FT-IR spectra ของผง PT และ 5NST เเผที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส	63
35. XPS spectra ของฟิล์ม (a) PT และ (b) 5NST เเผที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส	65

รายการรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
36. XPS spectra ของฟิล์ม 5NST เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (a) Ti 2p (b) O 1s (c) N 1s (d) S 2p และ (e) C 1s	65
37. ความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha hv)^2$ และแถบช่องว่างพลังงานของผงไทเทเนียมไดออกไซด์ สูตรต่างๆเผาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส	69
38. ความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha hv)^2$ และแถบช่องว่างพลังงานของผงไทเทเนียมไดออกไซด์ สูตรต่างๆเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส	69
39. ความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha hv)^2$ และแถบช่องว่างพลังงานของผงไทเทเนียมไดออกไซด์ สูตรต่างๆเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส	70
40. ลักษณะของอนุภาคซิลเวอร์นาโน 0.05A5NST บนฟิล์มบาง 5NST เคลือบบนเส้นใยแก้ว เตรียมโดยวิธีทางเคมี ที่เวลาในการจุ่มแช่นาน 60 นาที เผาที่อุณหภูมิ 200, 300 และ 400 องศาเซลเซียส	72
41. ลักษณะของอนุภาคซิลเวอร์นาโน 0.05A5NST บนฟิล์มบาง 5NST เคลือบบนเส้นใยแก้ว เตรียมโดยวิธีทางเคมี ศึกษาเวลาในการจุ่มแช่ที่ 5, 15, 30 และ 60 นาที เผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส	74
42. ลักษณะของฟิล์มบาง 5NST และฟิล์มบาง A5NST ที่มีอนุภาคซิลเวอร์นาโนเป็นองค์ประกอบ สูตรต่างๆ เตรียมโดยวิธีทางเคมี ใช้เวลาในการจุ่มแช่นาน 15 นาที เผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส	76
43. ภาพตัดขวางของเส้นใยแก้วที่เคลือบด้วยฟิล์มบาง 5NST และ 0.01A5NST (a) ภาพตัดขวางของเส้นใยแก้ว 5NST, (b) ความหนาของชั้นเคลือบ 5NST, (c) ภาพตัดขวางของเส้นใยแก้ว 0.01A5NST และ (d) ความหนาของชั้นเคลือบ 0.01A5NST	78
44. EXD Spectra และ X-ray Mapping ของเส้นใยแก้วที่เคลือบด้วยฟิล์มบาง PT เผาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส	79
45. EXD Spectra และ X-ray Mapping ของเส้นใยแก้วที่เคลือบด้วยฟิล์มบาง 5NST เผาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส	79
46. EXD Spectra และ X-ray Mapping ของเส้นใยแก้วที่เคลือบด้วยฟิล์มบาง 0.01A5NST เผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส	80
47. EDX spectra ของฟิล์ม 0.01A5NST (a) EDX point scanning (b) EDX spectrum point 1, 80 (c) EDX spectrum point 2 และ (d) EDX spectrum point 3	80

รายการรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
48. XRD patterns ของฟิล์ม 5NST ที่มีอนุภาคเงินเป็นองค์ประกอบที่ความเข้มข้นต่างๆ เผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส	81
49. ความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha_{hv})^2$ และแถบช่องว่างพลังงานของผง 5NST ที่มีอนุภาคซิลเวอร์นาโนเป็นองค์ประกอบสูตรต่างๆ เผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส	83
50. ความสัมพันธ์อัตราส่วน C/C_0 ของเมทิลีนบลูโดยฟิล์ม A5NST สูตรต่างๆ เผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 6 ชั่วโมง ของการรับแสงยูวี 50 วัตต์	84
51. ความสัมพันธ์อัตราส่วน C/C_0 ของเมทิลีนบลูโดยฟิล์ม A5NST สูตรต่างๆ เผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 6 ชั่วโมง ของการรับแสงฟลูออเรสเซนซ์ 50 วัตต์	84
52. เปอร์เซ็นต์การย่อยสลาย BPA ที่ความเข้มข้นต่างๆของฟิล์ม PT, 5NST และ 0.01A5NST ที่เวลา 12 ชั่วโมง ของการรับแสงยูวี และฟลูออเรสเซนซ์ 50 วัตต์	86
53. เปอร์เซ็นต์การย่อยสลาย BPA ความเข้มข้นต่างๆ ของฟิล์ม 0.01A5NST ในเวลา 12 ชั่วโมง ของการรับแสงยูวี 110 วัตต์	88
54. เปอร์เซ็นต์การย่อยสลาย BPA ความเข้มข้นต่างๆ ของฟิล์ม 0.01A5NST ในเวลา 12 ชั่วโมง ของการรับแสงฟลูออเรสเซนซ์ 110 วัตต์	88
55. เปอร์เซ็นต์การย่อยสลาย 2,4-DCP ที่ความเข้มข้นต่างๆของฟิล์ม PT, 5NST และ 0.01A5NST ที่เวลา 12 ชั่วโมง ของการรับแสงยูวี และฟลูออเรสเซนซ์ 50 วัตต์	90
56. เปอร์เซ็นต์การย่อยสลาย 2,4-DCP ความเข้มข้นต่างๆ ของฟิล์ม 0.01A5NST ในเวลา 12 ชั่วโมง ของการรับแสงยูวี 110 วัตต์	92
57. เปอร์เซ็นต์การย่อยสลาย 2,4-DCP ความเข้มข้นต่างๆ ของฟิล์ม 0.01A5NST ในเวลา 12 ชั่วโมง ของการรับแสงฟลูออเรสเซนซ์ 110 วัตต์	92
58. ภาพถ่ายแสดงผลการฆ่าเชื้อ <i>E.coli</i> ความเข้มข้นเชื้อ 10^5 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ของฟิล์มสูตรต่างๆ ภายใต้การรับแสงยูวี 50 วัตต์ นาน 60 นาที	95
59. เปอร์เซ็นต์การฆ่าเชื้อ <i>E.coli</i> ความเข้มข้นเชื้อ 10^5 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ของฟิล์มสูตรต่างๆ ภายใต้การรับแสงยูวี 50 วัตต์ นาน 60 นาที	95
60. ภาพถ่ายแสดงผลการฆ่าเชื้อ <i>E.coli</i> ความเข้มข้นเชื้อ 10^5 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ของฟิล์มสูตรต่างๆ ภายใต้การรับแสงฟลูออเรสเซนซ์ 50 วัตต์ นาน 60 นาที	96
61. เปอร์เซ็นต์การฆ่าเชื้อ <i>E.coli</i> ความเข้มข้นเชื้อ 10^5 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ของฟิล์มสูตรต่างๆ ภายใต้การรับแสงฟลูออเรสเซนซ์ 50 วัตต์ นาน 60 นาที	96

รายการรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
62. ภาพถ่ายแสดงโซนปลอดเชื้อของฟิล์มสูตรต่างๆ (a) เส้นใยแก้ว (control) (b) PT (c) 5NST (d) 0.01A5NST และ (e) ภาพขยายของ 0.01A5NST	97
63. ภาพถ่าย SEM ของเชื้อ <i>E.coli</i> . เมื่อถูกยับยั้งการเจริญเติบโตด้วย (a) เชื้อควบคุมก่อนการยับยั้ง (b) ยับยั้งด้วย PT (c) ยับยั้งด้วย 5NST และ (d) ยับยั้งด้วย 0.01A5NST ภายใต้การรับแสงยูวีนาน 60 นาที	98
64. เครื่องปฏิกรณ์ที่ออกแบบและพัฒนา	99
65. การทดสอบประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ <i>E.coli</i> ความเข้มข้น 10^3 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ของฟิล์ม 0.01A5NST ที่ปริมาณใยแก้วที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 กรัมต่อหลอด ด้วยอัตราไหล 200 มิลลิลิตรต่อนาที ภายใต้การรับแสงยูวี 60 วัตต์	100
66. ภาพถ่ายแสดงผลการฆ่าเชื้อ <i>E.coli</i> ความเข้มข้นเชื้อ 10^3 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ของฟิล์ม 0.01A5NST ที่ปริมาณใยแก้ว 10, 20, 30, 40 และ 50 กรัมต่อหลอด ด้วยอัตราไหล 200 มิลลิลิตรต่อนาที ภายใต้การรับแสงยูวี 60 วัตต์	100
67. ภาพถ่ายแสดงผลการฆ่าเชื้อ <i>E.coli</i> ความเข้มข้นเชื้อ 10^3 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ของฟิล์ม 0.01A5NST ที่ปริมาณใยแก้ว 10, 20, 30, 40 และ 50 กรัมต่อหลอด ด้วยอัตราไหล 200 มิลลิลิตรต่อนาที ภายใต้การรับแสงฟลูออเรสเซนซ์ 60 วัตต์	101
68. ประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ <i>E.coli</i> ความเข้มข้น 10^3 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ของฟิล์ม 0.01A5NST ที่ปริมาณใยแก้ว 10, 20, 30, 40 และ 50 กรัมต่อหลอด ด้วยอัตราไหล 200 มิลลิลิตรต่อนาที ภายใต้การรับแสงยูวีและฟลูออเรสเซนซ์ 60 วัตต์	101
69. เครื่องปฏิกรณ์ที่ออกแบบ และใช้ในการทดสอบ	103
70. ภาพถ่ายแสดงผลการฆ่าเชื้อ <i>E.coli</i> ความเข้มข้นเชื้อ 10^5 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ของฟิล์ม 0.01A5NST ผ่านเครื่องปฏิกรณ์ที่ออกแบบด้วยอัตราการไหล 500 มิลลิลิตรต่อนาที ภายใต้แสงยูวี ฟลูออเรสเซนซ์ และไม่มีแสง	103
71. เปอร์เซ็นต์การฆ่าเชื้อ <i>E.coli</i> ความเข้มข้นเชื้อ 10^5 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ของฟิล์ม 0.01A5NST ผ่านเครื่องปฏิกรณ์ที่ออกแบบด้วยอัตราการไหล 500 มิลลิลิตรต่อนาที ภายใต้แสงยูวี ฟลูออเรสเซนซ์ และไม่มีแสง	104
72. เปอร์เซ็นต์การย่อยสลาย BPA ของฟิล์ม 0.01A5NST ผ่านเครื่องปฏิกรณ์ที่ออกแบบ ด้วยอัตราการไหล 500 มิลลิลิตรต่อนาที ภายใต้แสงยูวี และฟลูออเรสเซนซ์	105
73. เปอร์เซ็นต์การย่อยสลาย 2,4-DCP ของฟิล์ม 0.01A5NST ผ่านเครื่องปฏิกรณ์ที่ออกแบบ ด้วยอัตราการไหล 500 มิลลิลิตรต่อนาที ภายใต้แสงยูวี และฟลูออเรสเซนซ์	105

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และสำนักงานวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้งบประมาณอุดหนุนบางส่วนในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ และบุคลากรภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความร่วมมือและคำปรึกษาต่างๆ เป็นอย่างดี ขอขอบคุณ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบในงานวิจัยนี้

คณะผู้วิจัย

6. บทคัดย่อ

6.1 บทคัดย่อภาษาไทย

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของใยแก้วที่มีอนุภาคเงินเป็นองค์ประกอบบนฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เจือไนโตรเจนร่วมกับซัลเฟอร์เคลือบบนใยแก้วด้วยวิธีโซล-เจล และการจุ่มเคลือบ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีของเมทิลีนบลู บิสฟีนอลเอ ไดคลอโรฟีนอล และสมบัติการยับยั้งแบคทีเรีย *E. coli* ในน้ำดื่ม โดยฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เจือไนโตรเจนร่วมกับซัลเฟอร์สังเคราะห์โดยใช้ไทโอยูเรียเป็นสารตั้งต้นให้ไนโตรเจนและซัลเฟอร์ พบว่าสารตั้งต้นไทโอยูเรียให้ผลของปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกที่ดี โดยแปรค่าความเข้มข้นของไทโอยูเรียและอุณหภูมิในการเผาฟิล์ม ปรากฏว่าปริมาณสารเจือที่ 5 เปอร์เซ็นต์โมลและเผาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที่เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง เป็นภาวะที่เหมาะสมที่สุด พบว่าเกิดเฉพาะเฟสอะนาเทสเท่านั้นโดยมีขนาดผลึกเท่ากับ 7 นาโนเมตร มีแถบช่องว่างพลังงานเท่ากับ 3.15 อิเล็กตรอนโวลต์ การลดลงของแถบช่องว่างพลังงานเนื่องจากเกิดการแทรกของไนโตรเจนในแลตทิซของไทเทเนียมไดออกไซด์ และเกิดการฟอร์มตัวเป็น Ti-O-N และซัลเฟอร์จะเข้าไปแทนที่ Ti^{4+} ในแลตทิซของไทเทเนียมไดออกไซด์ จะเห็นว่าทั้งไนโตรเจนและซัลเฟอร์มีผลต่อการทำให้ความเป็นผลึก ขนาดผลึก และแถบช่องว่างพลังงานของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบอยู่บนใยแก้วลดลง เป็นผลทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกได้ จากการทดสอบปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกในการย่อยสลายสีของเมทิลีนบลูภายใต้แสงยูวี และฟลูออเรสเซนซ์ในการรับแสงนาน 6 ชั่วโมง พบว่าฟิล์ม 5NST สามารถย่อยสลายสีของเมทิลีนบลูได้เท่ากับ 95.18 เปอร์เซ็นต์ และ 94.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จึงนำฟิล์มตัวอย่างสูตรดังกล่าวนี้มาพัฒนาประสิทธิภาพโดยการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนเตรียมด้วยวิธีทางเคมี โดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต ที่ความเข้มข้น ต่างๆเป็นสารละลายตั้งต้นในการเตรียมอนุภาคเงิน และใช้น้ำตาลกลูโคสความเข้มข้น 0.7 โมลาร์ เป็นสารรีดิวซ์ โดยนำเส้นใยแก้วที่เคลือบด้วยฟิล์มสูตร 5NST จุ่มแช่ลงในสารละลายดังกล่าวนาน 15 นาที และเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสโดยให้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที่เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง จากการแปรค่าความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต พบว่าความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต ที่เหมาะสมคือ 0.01 โมลาร์ พบว่าฟิล์มสูตร 0.01A5NST เกิดเฟสของโลหะซิลเวอร์ มีค่าแถบช่องว่างพลังงานของฟิล์ม 0.01A5NST จะลดลงเป็น 1.62 อิเล็กตรอนโวลต์ จากการศึกษาประสิทธิภาพของปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกในการย่อยสลายสีของเมทิลีนบลู ภายใต้การรับแสงยูวีและฟลูออเรสเซนซ์เป็นเวลานาน 6 ชั่วโมง และการย่อยสลายสารละลายบิสฟีนอลเอ และสารละลายไดคลอโรฟีนอล ภายใต้การรับแสงยูวีและฟลูออเรสเซนซ์เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และฆ่าเชื้ออีโคไลที่ปนเปื้อนในน้ำดื่มภายใต้การรับแสงยูวีและฟลูออเรสเซนซ์เป็นเวลา 60 นาที พบว่าฟิล์มสูตร 0.01A5NST สามารถย่อยสลายสีของเมทิลีนบลู สารละลายบิสฟีนอลเอ และสารละลายไดคลอโรฟีนอลได้ประมาณ 95-99 เปอร์เซ็นต์ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด และสามารถฆ่าเชื้อ *E. coli* ได้เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ในเวลา 20 นาทีของการรับแสงยูวี และฟลูออเรสเซนซ์ และ 60 นาทีในภาวะไม่มีแสง จากภาพถ่าย

SEM พบว่าเซลล์แบคทีเรียเกิดการแตกหัก ผนังเซลล์ถูกทำลาย เซลล์เหี่ยว และตายในที่สุดซึ่งเกิดจากกลไกของปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกและอนุภาคเงินร่วมกัน จากผลที่ได้ดังกล่าวจึงเลือกฟิล์มสูตร0.01A5NST มาใช้ในเครื่องปฏิกรณ์ที่ออกแบบ พบว่าสามารถบำบัดน้ำที่มีสารปนเปื้อนบิสฟีนอลเอ ไดคลอโรฟีนอล และเชื้อ *E.coli* ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6.1 บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

Abstract

The purpose of this research is to synthesize silver nanoparticles on N, S co-doped titanium dioxide films coated on glass fibers via sol-gel and dipping method, and to investigate the photocatalytic performance of as-synthesized films on degradation of methylene blue, bisphenol A (BPA) and 2,4-Dichlorophenol (2,4-DCP), and on anti-microbial properties against *Escherichia coli* (*E.coli*) contaminated in drinking water. N, S co-doped titanium dioxide films were prepared by using thiourea as the sources of nitrogen and sulphur. It is found that the photocatalytic activity of N, S co-doped TiO₂ films prepared from thiourea at 5 mol percent calcined at 300°C with a heating rate of 5°C/min for 2 hours is greatest. The films prepared at these optimum conditions have only anatase phase with 7 nm of crystallite size and band gap energy of 3.15 eV. The reduction of band gap energy is due to the interstitial nitrogen atom incorporated in Ti-O-N and O-Ti-N linkages and sulphur atom in TiO₂ lattice through substituting Ti⁴⁺. It is seen that N and S in titanium dioxide affects on crystallinity of anatase, crystallite size and band energy gap of TiO₂ films. This results in an enhancement of photocatalytic reaction on methylene blue degradation of the 5NST film which it could degrade methylene blue about 95.18 and 94.28 percents under UV and fluorescence irradiations for 6 hours, respectively. The 5NST films on glass fibers were selected as substrates for preparing Ag nanoparticles coating on 5NST film via chemical method using silver nitrate solution with various concentrations and 0.7 molar of sucrose solution. The 5NST films coated on glass fibers were soaked in silver nitrate-sucrose mixed solution holding for 15 min, then dried in air and calcined at 400°C for 2 h with the heating rate of 5°C/min for 2 hours. It is found that the optimum dosage of silver nitrate utilized is 0.01 molar that at this condition, silver metal phase. The band gap energy of 0.01A5NST can be reduced to be about 1.62 eV. From photocatalytic reaction tests by means of methylene blue degradation under UV and fluorescence irradiations for 6 hours, degradation of BPA and 2,4-DCP under UV and fluorescence irradiations for 12 hours, and *E.coli* disinfection under UV, fluorescence and dark conditions for 60 minutes, it is found that 0.01A5NST films could degrade methylene blue, BPA and 2,4-DCP about 95-99 percents

under the given conditions and could kill *E.coli* nearly 100 percents under UV and fluorescence for 20 minutes and under dark condition for 60 minutes. It is seen from SEM images of the photocatalytic treated *E.coli* cells under UV, fluorescence and dark conditions for 60 minutes that their cell walls have severely damaged, shrunk and finally died resulting from the photocatalytic disinfection of 5NST film incorporated with an anti-microbial effect of Ag. From this result, the 0.01A5NST films were selected for applying in the designated water treatment reactor and it is found that they could degrade BPA and 2,4-DCP contaminants and could kill bacteria efficiently.