การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยกระบวนการอิเล็กโตรเฟนตอน

นายมารุต โปราณานนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยกระบวนการอิเล็กโตรเฟนตอน

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นายมารุต โปราณานนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

WASTEWATER TREATMENT FROM TEXTILE INDUSTRY BY ELECTROFENTON PROCESS

Mr. Marut Porananont

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Chemical Technology
Department of Chemical Technology
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2006

491901

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยกระบวนการอิเล็กโตรเฟนตอน
โดย	นายมารุต โปราณานนท์
สาขาวิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มะลิ หุ่นสม
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.เก็จวลี พฤกษาทร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)

.... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มะลิ หุ่นสม)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร.เก็จวลี พฤกษาทร)

.... กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ)

.... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กานดา ว่องไวลิขิต)

มารุต โปราณานนท์ : การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยกระบวนการอิเล็กโตรเฟนตอน. (WASTEWATER TREATMENT FROM TEXTILE INDUSTRY BY ELECTROCFENTON PROCESS) อ. ที่ปรึกษา: ผศ.ดร. มะลิ หุ่นสม, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ดร. เก็จวลี พฤกษาทร 96 หน้า.

น้ำเสียที่เกิดจากเครื่องทอผ้าแบบใช้น้ำของอุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นน้ำเสียที่มีน้ำมันและไขมันในปริมาณมาก งานวิจัยนี้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนทอผ้าด้วยกระบวนการอิเล็กโตรเฟนตอน ซึ่งจะแบ่งการทำงานออกเป็นสองส่วน คือ การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการอิเล็กโตรเฟนตอนในระบบกะ ตัวแปรที่ศึกษาคือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันและไขมัน ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า อัตราการไหลวนของน้ำเสียในเครื่องปฏิกรณ์ และความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ผลการทดลองพบว่าภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียระบบกะคือ ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 22 แอมแปร์ต่อตารางเมตร อัตราการไหลวน 6 ลิตรต่อนาที และความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.5 โมลต่อลิตร โดยที่ภาวะดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีน้ำมันและไขมันเริ่มต้น 150-450 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ใกล้เคียงกันกล่าวคือสามารถลดปริมาณน้ำมันและไขมัน ซีโอดี และบีโอดี ที่เวลา 45 นาที ได้ร้อยละ 93.9 89.2 และ 88.9 ตามลำดับ ส่วนที่สองจะเป็นการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการอิเล็กโตรเฟนตอนในระบบต่อเนื่อง ตัวแปรที่ศึกษาคือ อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบ ลักษณะการป้อนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และอัตราการป้อนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ผลการทดลองพบว่าภาวะที่เหมาะสมในระบบต่อเนื่องคือ อัตราการไหลของน้ำเสีย 0.1 ลิตรต่อนาที ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.5 โมลต่อลิตร ป้อนแบบเป็นจังหวะด้วยอัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อนาที โดยระบบจะเข้าสู่ภาวะคงตัวเมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที สามารถลดน้ำมันและไขมัน ซีโอดี และบีโอดีได้ร้อยละ 92.5 79.6 และ 69.8

ภาควิชา.............เคมีเทคนิค ....ลายมือชื่อนิสิต.......................................
สาขาวิชา...........เคมีเทคนิค.......................... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..................................
ปีการศึกษา.........2549....................................ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..............................

477 24286 23: MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY
KEY WORD: OIL AND GREASE / TREATMENT / ELECTROFENTON

MARUT PORANANONT: WASTEWATER TREATMENT FROM TEXTILE INDUSTRY BY ELETROFENTON. THESIS ADVISOR: ASST.PROF. MALI HUNSOM, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR: ASSOC.PROF. KEJVALEE PRUKSATHORN, Ph.D., 96 pp.

Wastewater from textile industry was consisted of large quantity of oil and grease. In this work, the treatment of wastewater from textile industry by using the electrofenton has been studies. This study was divide in two parts. The first part was the wastewater treatment in bacth process. The studied parameters in this part were initial concentration of oil and grease, current density, circulating flowrate, and concentration of hydrogen peroxide. The optimum condition in batch process was found at initial concentration of oil and grease 450 mg/l, current density of 22 A/m^2, circulating flowrate of 6 l/min, and concentration of hydrogen peroxide of 0.5 M. According to this condition the removal efficiency of oil and grease in the range of 150-450 mg/l was similar. The removal percentages of oil and grease, COD, and BOD in 45 minute were obtained 93.9%, 89.2%, and 88.9% respectively. The second part was the wastewater treatment with electrofenton in continuous process. The studied parameters in this part were flowrate of wastewater, mode of hydrogen peroxide feed, and feed rate of hydrogen peroxide. The results indicated that the optimum condition in continuous process found at the flowrate of 0.1 l/min by using 0.5 M H_20_2 in pulse feed with feed rate of 2 ml/min. Approximately 92.5%, 79.6%, and 69.8% of oil and grease, COD, and BOD were respectively removed within 60 minute.

Department.......Chemical Technology...........	Student's signature......Marut Porananont......
Field of study.....Chemical Technology...........	Advisor's signature......Mali Hunsom......
Academic year...2006................................	Co-Advisor's signature...K. Pruksathorn...

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มะลิ หุ่นสม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และรองศาสตราจารย์ ดร.เก็จวลี พฤกษาทร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งท่านทั้งสองได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ด้วยดีตลอดมารวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้คำแนะนำในงานวิจัยนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพรรณ ประศาสน์สาร ประธานกรรมการ ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กานดา ว่องไวลิขิต ที่กรุณารับเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ บริษัท ไทยเอเชียไฟเบอร์ จำกัด (มหาชน) จ.สมุทรปราการ ที่กรุณาเอื้อเฟื้อน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอเพื่อใช้ในการทดลองโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ทุกท่านของภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือในการสร้าง ซ่อมแซมเครื่องมือและอำนวยความสะดวกในการวิจัย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้อง ที่ให้ความช่วยเหลือเป็นกำลังใจอย่างดีและให้การสนับสนุนจนสำเร็จการศึกษา รวมทั้งขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ชาวเคมีเทคนิคทุกคนที่ให้กำลังใจ ช่วยเหลือและให้คำแนะนำด้วยดีเสมอมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ........ จ
กิตติกรรมประกาศ........ ฉ
สารบัญ........ ช
สารบัญตาราง........ ฏ
สารบัญรูปภาพ........ ฏ

บทที่

1. บทนำ........ 1
   1.1 ที่มาและความสำคัญ........ 1
   1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย........ 2
   1.3 ขอบเขตการวิจัย........ 2
   1.4 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย........ 2
   1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ........ 3

2. วารสารปริทัศน์........ 4
   2.1 กระบวนการทอผ้า........ 4
      2.1.1 การทอ........ 4
      2.1.2 การเตรียมการทอ........ 7
         2.1.2.1 การกรอด้าย........ 7
         2.1.2.2 การสาวด้ายยืน........ 7
         2.1.2.3 การลงแป้งด้ายยืน........ 7
         2.1.2.4 การสอดฟันหวี........ 10
         2.1.2.5 การร้อยตะกอ........ 11

หน้า

2.2 วิธีการจัดการน้ำเสีย.......... 11
2.2.1 กระบวนการบำบัดทางกายภาพ.......... 11
2.2.2 กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ.......... 12
2.2.2.1 การบำบัดไม่ใช้อากาศ.......... 12
2.2.2.2 การบำบัดแบบใช้อากาศ.......... 12
2.2.3 กระบวนการบำบัดทางเคมี.......... 13
2.3 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับเคมีไฟฟ้า.......... 13
2.3.1 องค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้า.......... 13
2.3.2 ปฏิกิริยาในเซลล์เคมีไฟฟ้า.......... 14
2.3.3 ชนิดของเซลล์เคมีไฟฟ้า.......... 14
2.3.4 ลักษณะของเซลล์เคมีไฟฟ้า.......... 15
2.3.5 ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของขั้วไฟฟ้า.......... 15
2.3.6 ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์.......... 16
2.3.7 หลักการอุณหพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า.......... 16
2.3.8 สมการเนินสท์.......... 17
2.3.9 กฎของฟาราเดย์.......... 19
2.3.10 การควบคุมการทำงานของกระบวนการเคมีไฟฟ้า.......... 19
2.3.10.1 การทำงานแบบควบคุมศักย์ไฟฟ้าคงที่.......... 20
2.3.10.2 การทำงานแบบควบคุมกระแสไฟฟ้าคงที่.......... 20
2.4 การประยุกต์ใช้หลักการเคมีไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสีย.......... 21
2.4.1 กระบวนการพอกพูนด้วยกระแสไฟฟ้า.......... 21
2.4.2 กระบวนการตกตะกอนด้วยเคมีไฟฟ้า.......... 23
2.4.3 กระบวนการออกซิเดชันด้วยกระแสไฟฟ้า.......... 25
2.4.4 กระบวนการรวมด้วยกระแสไฟฟ้า.......... 26
2.4.5 ปฏิกิริยาเฟนตอนและกระบวนการอิเล็กโตรเฟนตอน.......... 30
2.5 หลักการในการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้า.......... 32
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.......... 33

หน้า

3.วิธีดำเนินการวิจัย.. 35
3.1 รูปแบบการศึกษา.. 35
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.. 35
3.2.1 เครื่องปฏิกรณ์สำหรับกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้าและกระบวนการ
อิเล็กโตรเฟนตอนในระบบกะ.. 36
3.2.2 เครื่องปฏิกรณ์สำหรับกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้าในระบบต่อเนื่อง..... 37
3.2.3 เครื่องปฏิกรณ์สำหรับกระบวนการอิเล็คโตรเฟนตอนในระบบต่อเนื่อง............ 38
3.3 สารเคมี.. 39
3.4 น้ำตัวอย่าง.. 39
3.5 ขั้นตอนการวิจัย.. 40
3.5.1 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ...... 40
3.5.2 ศึกษาการกำจัดปริมาณน้ำมันและไขมันจากน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอโดย
กระบวนการรวมอิเล็กโตรเฟนตอน.. 40
3.5.2.1 ศึกษาการกำจัดปริมาณน้ำมันและไขมันจากน้ำเสียโดยกระบวนการ
อิเล็กโตรเฟนตอนในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ.. 40
3.5.2.2 ศึกษาการกำจัดปริมาณน้ำมันและไขมันจากน้ำเสียโดยกระบวนการ
อิเล็กโตรเฟนตอนในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง.................................. 41

4. ผลและอภิปรายผลการทดลอง.. 43
4.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ.......................... 43
4.2 การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยกระบวนการอิเล็กโตรเฟนตอน.............. 43
4.2.1 การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยกระบวนการอิเล็กโตรเฟนตอน
ในระบบกะ.. 44
4.2.1.1 ผลของปริมาณน้ำมันและไขมันเริ่มต้น.. 45
4.2.1.2 ผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 45

4.2.1.3 ผลของอัตราการไหลวนของน้ำเสียในเครื่องปฏิกรณ์.............................. 49
4.2.1.4 ผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์.. 51
4.2.2 การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยกระบวนการอิเล็กโตรเฟนตอน
ในระบบต่อเนื่อง.. 55
4.2.2.1 ผลของอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าเครื่องปฏิกรณ์.............................. 55
4.2.2.2 ผลของลักษณะการป้อนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์................................ 57
4.2.2.3 ผลกระทบของอัตราการป้อนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์........................... 59
4.3 สมการจลนพลศาสตร์.. 61
4.4 ต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ... 65
4.5 เปรียบเทียบกับงาน วิจัยอื่นๆ.. 66

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.. 67

รายการอ้างอิง 68

ภาคผนวก 71
ภาคผนวก ก.. 72
ภาคผนวก ข.. 75
ภาคผนวก ค 79
ภาคผนวก ง 92

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.. 96

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำทิ้ง.. 44
ตารางที่ 4.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอก่อน และหลังการบำบัดด้วยกระบวนการอิเล็กโตรเฟนตอน.. 54
ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยากับอุณหภูมิ................. 64
ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่นๆ ในการบำบัดน้ำเสียที่มีน้ำมันและไขมันปนอยู่.. 66

ตารางที่ ค (1) ปริมาณน้ำตัวอย่างและอัตราเจือจางที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์หาซีโอดี......... 86
ตารางที่ ค (2) ขนาดของหลอดแก้ว ปริมาตรตัวอย่างน้ำและสารเคมีที่เหมาะสม.................. 86
ตารางที่ ค (3) การเลือกปริมาณน้ำตัวอย่างและอัตราเจือจางสำหรับช่วงบีโอดี...................... 89

สารบัญรูปภาพ

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 2.1 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์กับเวลาในการควบคุมแบบศักย์ไฟฟ้า...... 20
(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับเวลาในการควบคุมแบบศักย์ไฟฟ้าคงที่...... 20
รูปที่ 2.2 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับเวลาในการควบคุมแบบไฟฟ้าคงที่............ 21
(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์กับเวลาในการควบคุมแบบกระแสไฟฟ้า คงที่.. 21
รูปที่ 2.3 เครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบ Tank cell.. 22
รูปที่ 2.4 กระบวนการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าชนิดที่มีเยื่อเลือกผ่านไอออนลบ................. 24
รูปที่ 2.5 กระบวนการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าชนิดที่มีเยื่อเลือกผ่านไอออนบวก................ 24
รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างของ Poly-nuclear hydroxyl aluminum (III) complexes (ก) Dimeric Al^{3+} hydroxo complexes (ข) Polymeric Al^{3+} hydroxo complexes... 27
รูปที่ 2.7 การจัดเรียงขั้วไฟฟ้าแบบโมโนโพลาร์ - เซลล์เดี่ยว... 29
รูปที่ 2.8 การจัดเรียงของขั้วไฟฟ้าโมโนโพลาร์แบบขนาน.. 29
รูปที่ 2.9 แสดงการจัดเรียงของขั้วไฟฟ้าโมโนโพลาร์แบบอนุกรม....................................... 29
รูปที่ 2.10 แสดงการจัดเรียงของขั้วไฟฟ้าไบโพลาร์.. 30
รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลองในระบบกะ.. 36
รูปที่ 3.2 เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลองกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้า ในระบบต่อเนื่อง.. 37
รูปที่ 3.3 เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลองด้วยกระบวนการอิเล็กโตรเฟนตอนในระบบต่อเนื่อง.. 38
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการลดลงของน้ำมันและไขมัน (ก) ซีโอดี (ข) บีโอดี (ค) กับเวลา ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันและไขมันค่าต่าง ๆ....................... 46
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการลดลงของน้ำมันและไขมัน (ก) ซีโอดี (ข) บีโอดี (ค) กับเวลา ที่ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ.................................. 48
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ประสิทธิภาพเชิงกระแสไฟฟ้ากับค่าความหนาแน่น กระแสไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ.. 49

รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการลดลงของปริมาณน้ำมันและไขมัน (ก) ซีโอดี (ข) บีโอดี (ค) กับเวลา ที่ค่าอัตราการไหลวนต่างๆ........ 50
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการลดลงของน้ำมันและไขมัน (ก) ซีโอดี (ข) บีโอดี (ค) กับเวลา ที่ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่างๆ........ 52
รูปที่ 4.6 ค่าความเข้มข้นของไอออนของเหล็กในสารละลายกับเวลา........ 53
รูปที่ 4.7 ลักษณะของน้ำเสีย (ก) ก่อนบำบัด (ข) หลังบำบัด........ 54
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการลดลงของน้ำมันและไขมัน (ก) ซีโอดี (ข) บีโอดี (ค) กับเวลาที่อัตราการไหลต่างๆ ในระบบต่อเนื่อง........ 56
รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการลดลงของปริมาณน้ำมันและไขมัน (ก) ซีโอดี (ข) บีโอดี (ค) กับเวลาที่ลักษณะการป้อนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์........ 58
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการลดลงของปริมาณน้ำมันและไขมัน (ก) ซีโอดี (ข) บีโอดี (ค) กับเวลาที่อัตราการไหลต่างๆ ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์........ 60
รูปที่ 4.11 ปฏิกิริยาอันดับต่างๆ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส........ 61
รูปที่ 4.12 ปฏิกิริยาอันดับต่างๆ ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส........ 62
รูปที่ 4.13 ปฏิกิริยาอันดับต่างๆ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส........ 63
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างล็อกกาลิทึมฐานอีของค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยากับส่วนกลับของอุณหภูมิ........ 65