ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
249037

การบำบัดน้ำเสียที่มีพื้นธรรมชาติที่ไหลออกนิคมอุตสาหกรรมเชิงเร่งปฏิกิริยาในน้ำภายใต้ยูวีกลุ่มในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดกะทัดรัด

นายวินูรย์ ศิริมาวิเชษ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

b00254068

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
249037

การบำบัดน้ำเสียที่มีฟีนอลและไพริดีนโดยออกซิเดชันเชิงเร่งปฏิกิริยาในน้ำภาวะเหนือวิกฤตใน เครื่องปฏิกรณ์ขนาดกะทัดรัด

นายวิบูลย์ ศิริมาวิเศษ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5172605023

TREATMENT OF WASTEWATER CONTAINING PHENOL AND PYRIDINE BY CATALYTIC SUPERCRITICAL WATER OXIDATION IN COMPACT-SIZED REACTOR

Mr. Viboon Sirimaviset

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 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การบำบัดน้ำเสียที่มีฟีนอลและไพริดีนโดยออกซิเดชันเชิงเร่งปฏิกิริยาในน้ำภาวะเหนือวิกฤตในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดกะทัดรัด
โดย	นายวิบูลย์ ศิริมาวิเศษ
สาขาวิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.คุณากร ภู่จินดา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิทิตศานต์)

คุณากร ภู่จินดา ..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ ดร.คุณากร ภู่จินดา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. เก็จวลี พฤกษาทร)

ธีรดา ร่วมชาติ ..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.ธีรดา ร่วมชาติ)

วิบูลย์ ศิริมาวิเศษ : การบำบัดน้ำเสียที่มีฟีนอลและไพริดีนโดยออกซิเดชันเชิงเร่งปฏิกิริยาในน้ำภาวะเหนือวิกฤตในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดกะทัดรัด. (TREATMENT OF WASTEWATER CONTAINING PHENOL AND PYRIDINE BY CATALYTIC SUPERCRITICAL WATER OXIDATION IN COMPACT-SIZED REACTOR) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อ.ดร.คุณากร ภู่จินดา, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: รศ. ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์, 112 หน้า.

249037

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมและห้องปฏิบัติการมักประกอบด้วยสารเคมีหลายชนิด ออกซิเดชันเชิงเร่งปฏิกิริยาในน้ำภาวะเหนือวิกฤตสามารถทำให้ของเสียอินทรีย์หลายชนิดสลายตัวได้อย่างรวดเร็ว งานวิจัยนี้จึงใช้เครื่องปฏิกรณ์ขนาดกะทัดรัดสำหรับการบำบัดที่แหล่งกำเนิดน้ำเสียด้วยออกซิเดชันเชิงเร่งปฏิกิริยาในน้ำภาวะเหนือวิกฤต ซึ่งใช้แมงกานีสไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นตัวออกซิไดส์ ทั้งนี้เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์และปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟีนอลและไพริดีนในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีฟีนอล ไพริดีน และของผสมระหว่างฟีนอลและไพริดีน โดยใช้ความดันคงที่เท่ากับ 25 เมกะพาสคัล ที่อุณหภูมิ 380-410 องศาเซลเซียสและร้อยละไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มากเกินพอเท่ากับ 100 ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลและไพริดีนเริ่มต้นเท่ากับ 0.046 และ 0.049 โมลต่อลิตร เวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่าง 2-10 วินาที พบว่าร้อยละการเปลี่ยนของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดของฟีนอล ไพริดีน และของผสมฟีนอล/ไพริดีนมีค่าสูงถึงร้อยละ 99, 76 และ 92 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาผลของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดและความเข้มข้นของออกซิเจนต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา พบว่าได้ค่าพลังงานการกระตุ้น (E_a) = 65.54 kJ/mol ค่า pre-exponential factor (A) = 6.55×10^4 $L^{0.59}mol^{-0.59}s^{-1}$ และอันดับการเกิดปฏิกิริยาของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (a) และความเข้มข้นออกซิเจน (b) เท่ากับ 1.29 และ 0.3 ตามลำดับ ในกรณีของฟีนอล E_a = 79.85 kJ/mol, A = 1.06×10^4 $L^{1.17}mol^{-1.17}s^{-1}$ และ a = 1.77, b = 0.4 ในกรณีของไพริดีน และ E_a = 20.8 kJ/mol, A = 9.35×10^{-1} $L^{1.3}mol^{-1.3}s^{-1}$ และ a = 1.8, b = 0.5 ในกรณีของของผสมฟีนอล/ไพริดีน

ภาควิชา..... เคมีเทคนิค.....ลายมือชื่อนิสิต.....วิบูลย์ ศิริมาวิเศษ.....
สาขาวิชา..... เคมีเทคนิค.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....คุณากร ภู่จินดา.....
ปีการศึกษา.....2553.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์.....

5172605023 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEYWORDS : Supercritical Water Oxidation / Phenol / Pyridine / Manganese dioxide / Catalytic

VIBOON SIRIMAVISET : TREATMENT OF WASTEWATER CONTAINING PHENOL AND PYRIDINE BY CATALYTIC SUPERCRITICAL WATER OXIDATION IN COMPACT-SIZED REACTOR. THESIS ADVISOR : KUNAKORN POOCHINDA, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR : ASSOC.PROF.SOMKIAT NGAMPRASERTSITH, Ph.D., 112 pp.

249037

Supercritical water oxidation (SCWO) can treat various types of hazardous waste. The research uses a compact-sized catalytic reactor for wastewater treatment at origin by SCWO. Manganese dioxide, 80-100 mesh size, was used as the catalyst. The experiments were carried out at the pressure of 25 MPa and the temperature range of 380-410 °C. The initial concentrations of phenol and pyridine were 0.046 and 0.049 mol/L and 100% excess of hydrogen peroxide (H_2O_2) was used as the initial oxidant. The contact time was varied between 2-10 s. By considering the dependence of reaction rate on TOC and O_2 concentration, global rate expression was determined with an activation energy (E_a) of 65.54 kJ/mol; the pre-exponential factor (A) of 6.55×10^4 $L^{0.59}mol^{-0.59}s^{-1}$ and the reaction orders for TOC (a) and O_2 (b) concentration were 1.29 and 0.3 for phenol, E_a = 79.85 kJ/mol; A = 1.06×10^4 $L^{1.17}mol^{-1.17}s^{-1}$ and a = 1.77; b = 0.4 for pyridine and E_a = 20.8 kJ/mol; A = 9.35×10^{-1} $L^{1.3}mol^{-1.3}s^{-1}$ and a = 1.8; b = 0.5 for mixture of phenol/pyridine. The results showed that it was possible to apply catalytic SCWO for phenol, pyridine and mixture of phenol/pyridine treatment, with more than 99%, 76% and 92% TOC conversion, respectively.

Department : Chemical Technology Student's Signature Viboon Sirimaviset

Field of Study : Chemical Technology Advisor's Signature K. Poochinda

Academic Year : 2010 Co-Advisor's Signature S. Ngamprasertsith

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.คุณากร ภู่จินดา และรองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำการทำวิจัย ตลอดจนให้ข้อคิดเห็นเพื่อปรับปรุงแก้ไขการทำวิจัยให้มีความสมบูรณ์ด้วยดียิ่ง รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้คำแนะนำในการวิจัยมาตลอด

งานวิจัยเรื่อง "การบำบัดน้ำเสียที่มีฟีนอลและไพริดีนโดยออกซิเดชันเชิงเร่งปฏิกิริยาในน้ำภาวะเหนือวิกฤตในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดกะทัดรัด" สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีโดยได้รับการสนับสนุนจากศูนย์วิจัยเชื้อเพลิง ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านปิโตรเลียม ปิโตรเคมีและวัสดุขั้นสูง ซึ่งผู้ทำวิจัยต้องขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในการวิจัยเป็นอย่างดี และวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในการสร้างเครื่องมือวิจัย รวมถึง เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาเคมีเทคนิค ที่ให้การสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ให้กำเนิด เลี้ยงดูอบรมสั่งสอน ให้คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือ และให้การสนับสนุนเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญภาพ..... ฑ

บทที่

1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย..... 3

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 4

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับของไหลภาวะเหนือวิกฤต..... 4

2.2 การประยุกต์ใช้ของไหลภาวะเหนือวิกฤต..... 7

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับน้ำภาวะเหนือวิกฤต..... 7

2.4 การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ในน้ำภาวะเหนือวิกฤต..... 11

2.5 ออกซิเดชันในน้ำภาวะเหนือวิกฤต..... 12

2.6 ฟีนอล (Phenol)..... 18

2.7 ไพริดีน (Pyridine)..... 20

2.8 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 21

3 เครื่องมือและวิธีการทดลอง..... 26

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 26

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง..... 34

3.3 การดำเนินการวิจัย..... 34

3.4 ขั้นตอนการทดลอง..... 35

บทที่ หน้า

4 การทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง..... 36
4.1 เครื่องปฏิกรณ์ขนาดกะทัดรัดแบบท่อ..... 37
4.2 ผลของตัวแปรต่างๆที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยนของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด..... 41
4.2.1 ออกซิเดชันเชิงเร่งปฏิกิริยาในน้ำภาวะเหนือวิกฤตของฟีนอลในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดกะทัดรัด..... 42
4.2.2 ออกซิเดชันเชิงเร่งปฏิกิริยาในน้ำภาวะเหนือวิกฤตของไพริดีนในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดกะทัดรัด..... 45
4.2.3 ออกซิเดชันเชิงเร่งปฏิกิริยาในน้ำภาวะเหนือวิกฤตของของผสมระหว่างฟีนอลและไพริดีนในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดกะทัดรัด..... 48
4.3 การศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงเร่งปฏิกิริยาในน้ำภาวะเหนือวิกฤตของฟีนอล ไพริดีน และของผสมระหว่างฟีนอลและไพริดีนในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดกะทัดรัด..... 50
4.3.1 การหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาโดยรวมของการออกซิเดชันเชิงเร่งปฏิกิริยาในน้ำภาวะเหนือวิกฤตของฟีนอล ไพริดีน และของผสมระหว่างฟีนอลและไพริดีนแบบปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง..... 50
4.3.2 การหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาโดยรวมของการออกซิเดชันเชิงเร่งปฏิกิริยาในน้ำภาวะเหนือวิกฤตของฟีนอล ไพริดีน และของผสมระหว่างฟีนอลและไพริดีนโดยขึ้นกับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดและความเข้มข้นของออกซิเจน..... 53
4.4 การศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่มีของผสมฟีนอลและไพริดีนโดยออกซิเดชันเชิงเร่งปฏิกิริยาในน้ำภาวะเหนือวิกฤตในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดกะทัดรัด 59
4.5 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สของออกซิเดชันเชิงเร่งปฏิกิริยาในน้ำภาวะเหนือวิกฤตของฟีนอล ไพริดีน และของผสมระหว่างฟีนอลและไพริดีนในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดกะทัดรัด..... 62
4.6 การเปรียบเทียบออกซิเดชันในน้ำภาวะเหนือวิกฤตของฟีนอลและไพรดีนในกรณีที่มีตัวเร่งปฏิกิริยากับไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา..... 65
5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ..... 67

บทที่ หน้า

5.1 สรุปผลการทดลอง..... 67
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 69
รายการอ้างอิง..... 70
ภาคผนวก..... 74
ภาคผนวก ก ตารางแสดงข้อมูลดิบ..... 75
ภาคผนวก ข ตารางแสดงผลการคำนวณ..... 83
ภาคผนวก ค การคำนวณและตัวอย่างการคำนวณ..... 103
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 112

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงอุณหภูมิและความดันวิกฤตของสารต่างๆ.....	5
2.2	สมบัติทางกายภาพของของไหลที่สถานะต่างๆ.....	6
2.3	การประยุกต์ใช้น้ำภาวะเหนือวิกฤต.....	7
2.4	ค่าอันดับปฏิกิริยาและตัวแปรทางจลนพลศาสตร์ของสารประกอบในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำภาวะเหนือวิกฤต.....	14
2.5	แสดงการศึกษาออกซิเดชันเชิงเร่งปฏิกิริยาในน้ำภาวะเหนือวิกฤต.....	15
2.6	สมบัติทางกายภาพของฟีนอล.....	20
2.7	สมบัติทางกายภาพของไพริดีน.....	21
3.1	ภาวะในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สด้วยคอลัมน์ Molecular sieve.....	32
3.2	ภาวะในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สด้วยคอลัมน์ Unibead C.....	33
3.3	ตัวแปรต่างๆที่ทำการศึกษาของการออกแบบการทดลองสำหรับการศึกษาการบำบัดฟีนอล ไพริดีน และของผสมฟีนอลและไพริดีน.....	35
4.1	ภาวะต่างๆในการทดลองออกซิเดชันเชิงเร่งปฏิกิริยาในน้ำภาวะเหนือวิกฤต.....	39
4.2	ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สของออกซิเดชันเชิงเร่งปฏิกิริยาในน้ำภาวะเหนือวิกฤตในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดกะทัดรัด.....	62
4.3	แสดงการเปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาโดยรวมของออกซิเดชันในน้ำภาวะเหนือวิกฤตของฟีนอลแบบที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา.....	66
ก.1	ตารางแสดงข้อมูลดิบของฟีนอลความเข้มข้น 0.046 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของออกซิเจน (100% excess) = 0.644 โมลต่อลิตร.....	76
ก.2	ตารางแสดงข้อมูลดิบของฟีนอลความเข้มข้น 0.046 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของออกซิเจน (100% excess) = 0.644 โมลต่อลิตร.....	76
ก.3	ตารางแสดงข้อมูลดิบของฟีนอลความเข้มข้น 0.046 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของออกซิเจน (100% excess) = 0.644 โมลต่อลิตร.....	77
ก.4	ตารางแสดงข้อมูลดิบของฟีนอลความเข้มข้น 0.046 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของออกซิเจน (100% excess) = 0.644 โมลต่อลิตร.....	77

ตารางที่		หน้า
ก.5	ตารางแสดงข้อมูลดิบของฟีนอลความเข้มข้น 0.0304 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของออกซิเจน (100% excess) = 0.4256 โมลต่อลิตร.....	78
ก.6	ตารางแสดงข้อมูลดิบของไพริดีนความเข้มข้น 0.049 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของออกซิเจน (100% excess) = 0.614 โมลต่อลิตร.....	78
ก.7	ตารางแสดงข้อมูลดิบของไพริดีนความเข้มข้น 0.049 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของออกซิเจน (100% excess) = 0.614 โมลต่อลิตร.....	79
ก.8	ตารางแสดงข้อมูลดิบของไพริดีนความเข้มข้น 0.049 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของออกซิเจน (100% excess) = 0.614 โมลต่อลิตร.....	79
ก.9	ตารางแสดงข้อมูลดิบของไพริดีนความเข้มข้น 0.049 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของออกซิเจน (100% excess) = 0.614 โมลต่อลิตร.....	80
ก.10	ตารางแสดงข้อมูลดิบของไพริดีนความเข้มข้น 0.0246 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของออกซิเจน (100% excess) = 0.307 โมลต่อลิตร.....	80
ก.11	ตารางแสดงข้อมูลดิบของของผสมระหว่างฟีนอลความเข้มข้น = 0.046 โมลต่อลิตร กับไพริดีนความเข้มข้น 0.049 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของออกซิเจน (100% excess) = 1.2585 โมลต่อลิตร.....	81
ก.12	ตารางแสดงข้อมูลดิบของของผสมระหว่างฟีนอลความเข้มข้น = 0.046 โมลต่อลิตร กับไพริดีนความเข้มข้น 0.049 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของออกซิเจน (100% excess) = 1.2585 โมลต่อลิตร.....	81
ก.13	ตารางแสดงข้อมูลดิบของของผสมระหว่างฟีนอลความเข้มข้น = 0.046 โมลต่อลิตร กับไพริดีนความเข้มข้น 0.049 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของออกซิเจน (100% excess) = 1.2585 โมลต่อลิตร.....	82
ก.14	ตารางแสดงข้อมูลดิบของของผสมระหว่างฟีนอลความเข้มข้น = 0.046 โมลต่อลิตร กับไพริดีนความเข้มข้น 0.049 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของออกซิเจน (100% excess) = 1.2585 โมลต่อลิตร.....	82
ข.1	ความหนาแน่นของน้ำที่ภาวะต่างๆ.....	84
ข.2	ค่า Contact time ณ ภาวะต่างๆ.....	84
ข.3	ค่าพื้นที่ใต้กราฟ ร้อยละโดยโมล อัตราการไหลโดยโมลของแก๊สที่ภาวะต่างๆ.....	85
ข.4	ตารางแสดงผลการคำนวณของฟีนอลความเข้มข้น 0.046 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของออกซิเจน (100% excess) = 0.644 โมลต่อลิตร.....	88

ตารางที่ หน้า

ข.5 ตารางแสดงผลการคำนวณของฟีนอลความเข้มข้น 0.046 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของออกซิเจน (100% excess) = 0.644 โมลต่อลิตร..... 89

ข.6 ตารางแสดงผลการคำนวณของฟีนอลความเข้มข้น 0.046 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของออกซิเจน (100% excess) = 0.644 โมลต่อลิตร..... 90

ข.7 ตารางแสดงผลการคำนวณของฟีนอลความเข้มข้น 0.046 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของออกซิเจน (100% excess) = 0.644 โมลต่อลิตร..... 91

ข.8 ตารางแสดงผลการคำนวณของฟีนอลความเข้มข้น 0.0304 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของออกซิเจน (100% excess) = 0.4256 โมลต่อลิตร..... 92

ข.9 ตารางแสดงผลการคำนวณของไพริดีนความเข้มข้น 0.049 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของออกซิเจน (100% excess) = 0.614 โมลต่อลิตร..... 93

ข.10 ตารางแสดงผลการคำนวณของไพริดีนความเข้มข้น 0.049 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของออกซิเจน (100% excess) = 0.614 โมลต่อลิตร..... 94

ข.11 ตารางแสดงผลการคำนวณของไพริดีนความเข้มข้น 0.049 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของออกซิเจน (100% excess) = 0.614 โมลต่อลิตร..... 95

ข.12 ตารางแสดงผลการคำนวณของไพริดีนความเข้มข้น 0.049 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของออกซิเจน (100% excess) = 0.614 โมลต่อลิตร..... 96

ข.13 ตารางแสดงผลการคำนวณของไพริดีนความเข้มข้น 0.0246 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของออกซิเจน (100% excess) = 0.307 โมลต่อลิตร..... 97

ข.14 ตารางแสดงผลการคำนวณของผสมระหว่างฟีนอลความเข้มข้น = 0.046 โมลต่อลิตร กับไพริดีนความเข้มข้น 0.049 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของออกซิเจน (100% excess) = 1.2585 โมลต่อลิตร..... 98

ข.15 ตารางแสดงผลการคำนวณของผสมระหว่างฟีนอลความเข้มข้น = 0.046 โมลต่อลิตร กับไพริดีนความเข้มข้น 0.049 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของออกซิเจน (100% excess) = 1.2585 โมลต่อลิตร..... 99

ข.16 ตารางแสดงผลการคำนวณของผสมระหว่างฟีนอลความเข้มข้น = 0.046 โมลต่อลิตร กับไพริดีนความเข้มข้น 0.049 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของออกซิเจน (100% excess) = 1.2585 โมลต่อลิตร..... 100

ตารางที่ หน้า

ข.17 ตารางแสดงผลการคำนวณของผสมระหว่างฟีนอลความเข้มข้น = 0.046 โมลต่อลิตร กับไพริดีนความเข้มข้น 0.049 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของออกซิเจน (100% excess) = 1.2585 โมลต่อลิตร..... 101

ข.18 ตารางแสดงร้อยละการเปลี่ยนของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดของฟีนอลความเข้มข้น = 0.046 M และไพริดีนความเข้มข้น = 0.049 M โดยออกซิเดชันในน้ำภาวะเหนือวิกฤตแบบไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 410 องศาเซลเซียส ความดัน 25 เมกะพาสคัล และร้อยละความมากเกินพอของออกซิเจน = 100% 102

ข.19 ค่าพื้นที่ใต้กราฟ และร้อยละโดยโมลของแก๊สที่อุณหภูมิ 410 องศาเซลเซียส ความดัน 25 เมกะพาสคัล และร้อยละความมากเกินพอของออกซิเจน = 100% ในกรณีที่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา..... 102

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิความดันและสถานะของของไหล.....	4
2.2	แสดงการเกิด 2 เฟสในภาวะที่ต่ำกว่าจุดวิกฤต.....	6
2.3	แสดงการเกิดเฟสเดียวในภาวะ SCWO.....	6
2.4	จำนวนพันธะไฮโดรเจนต่อโมเลกุลน้ำ.....	9
2.5	สมบัติของน้ำบริสุทธิ์ที่ความดัน 250 บาร์.....	10
2.6	แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานการกระตุ้นระหว่างมีตัวเร่งปฏิกิริยากับไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา.....	14
2.7	ปัญหาที่พบในส่วนต่างๆของกระบวนการภาวะเหนือวิกฤตแบบดั้งเดิม.....	18
2.8	โครงสร้างของฟีนอล.....	18
2.9	ฟีนอลในธรรมชาติ.....	19
2.10	โครงสร้างของไพริดีน.....	20
2.11	สูตรโครงสร้างของ CI Disperse Orange 25.....	23
3.1	แผนผังชุดเครื่องปฏิกรณ์เชิงเร่งปฏิกิริยาขนาดกะทัดรัดสำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำภาวะเหนือวิกฤต.....	26
3.2	เครื่องปฏิกรณ์เชิงเร่งปฏิกิริยาขนาดกะทัดรัดสำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำภาวะเหนือวิกฤต.....	27
3.3	ปั๊มแรงดันสูง(HPLC Pump) (a) รุ่น PU-1580 และ (b) รุ่น PU-2080 plus.....	28
3.4	Check valve.....	28
3.5	Relief valve.....	28
3.6	Pre-heater.....	29
3.7	เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อที่พันขดลวดให้ความร้อนและประกบด้วยปูนซีเมนต์.....	29
3.8	อุปกรณ์หล่อเย็น.....	30
3.9	Inline Filter.....	30
3.10	เครื่องแยกแก๊สและของเหลว.....	31
3.11	เครื่องวัดอัตราการไหลของแก๊สแบบฟอง.....	31
3.12	เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี.....	32
3.13	เครื่องวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด.....	33

ภาพที่ หน้า

4.1 ผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่มีต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดของออกซิเดชันเชิงเร่งปฏิกิริยาในน้ำภาวะเหนือวิกฤตของฟีนอล..... 42

4.2 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองที่มีต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดของออกซิเดชันเชิงเร่งปฏิกิริยาในน้ำภาวะเหนือวิกฤตของฟีนอล..... 43

4.3 ผลของความเข้มข้นฟีนอลเริ่มต้นที่มีต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด..... 44

4.4 ผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่มีต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดของออกซิเดชันเชิงเร่งปฏิกิริยาในน้ำภาวะเหนือวิกฤตของไพริดีน..... 45

4.5 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองที่มีต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดของออกซิเดชันเชิงเร่งปฏิกิริยาในน้ำภาวะเหนือวิกฤตของไพริดีน..... 46

4.6 ผลของความเข้มข้นไพรดีนเริ่มต้นที่มีต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด..... 47

4.7 ผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่มีต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดของออกซิเดชันเชิงเร่งปฏิกิริยาในน้ำภาวะเหนือวิกฤตของของผสมระว่างฟีนอลและไพริดีน..... 48

4.8 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองที่มีต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดของออกซิเดชันเชิงเร่งปฏิกิริยาในน้ำภาวะเหนือวิกฤตของของผสมระว่างฟีนอลและไพริดีน..... 49

4.9 อาร์รีเนียส (Arrhenius plot) ของออกซิเดชันเชิงเร่งปฏิกิริยาในน้ำภาวะเหนือวิกฤตของฟีนอล (a) ไพริดีน (b) และของผสมระหว่างฟีนอลและไพริดีน (c) ในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดกะทัดรัด ที่อุณหภูมิ 380–410 องศาเซลเซียส ความดัน 25 เมกะพาสคัล และเวลาในการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง 2-10 วินาที..... 52

ภาพที่ หน้า

4.10 แสดงสัดส่วนการเปลี่ยนของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดที่ได้จากการคำนวณตามสมการที่เป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (สมการที่ 4.5), การคำนวณตามสมการที่ 4.9 และการทดลองของออกซิเดชันเชิงเร่งปฏิกิริยาในน้ำภาวะเหนือวิกฤตของฟีนอลในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดกะทัดรัด เมื่อใช้ความเข้มข้นฟีนอลเริ่มต้นเท่ากับ 0.046 โมลต่อลิตร ที่อุณหภูมิระหว่าง 380-410 องศาเซลเซียส ความดัน 25 เมกะพาสคัล..... 55

4.11 แสดงสัดส่วนการเปลี่ยนของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดที่ได้จากการคำนวณตามสมการที่เป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (สมการที่ 4.6), การคำนวณตามสมการที่ 4.10 และการทดลองของออกซิเดชันเชิงเร่งปฏิกิริยาในน้ำภาวะเหนือวิกฤตของไพริดีนในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดกะทัดรัด เมื่อใช้ความเข้มข้นไพริดีนเริ่มต้นเท่ากับ 0.049 โมลต่อลิตร ที่อุณหภูมิระหว่าง 380-410 องศาเซลเซียส ความดัน 25 เมกะพาสคัล..... 56

4.12 แสดงสัดส่วนการเปลี่ยนของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดที่ได้จากการคำนวณตามสมการที่เป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (สมการที่ 4.7), การคำนวณตามสมการที่ 4.11 และการทดลองของออกซิเดชันเชิงเร่งปฏิกิริยาในน้ำภาวะเหนือวิกฤตของของผสมระหว่างฟีนอลและไพริดีนในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดกะทัดรัด เมื่อใช้ความเข้มข้นฟีนอลเริ่มต้นเท่ากับ 0.046 โมลต่อลิตร ความเข้มข้นไพริดีนเริ่มต้นเท่ากับ 0.049 โมลต่อลิตร ที่อุณหภูมิระหว่าง 380-410 องศาเซลเซียส ความดัน 25 เมกะพาสคัล..... 57

4.13 แสดงการเปรียบเทียบของออกซิเดชันเชิงเร่งปฏิกิริยาในน้ำภาวะเหนือวิกฤตของฟีนอล ไพริดีน และของผสมระหว่างฟีนอลและไพริดีนในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดกะทัดรัดที่อุณหภูมิ 380 (a), 390 (b), 400 (c) และ 410 (d) องศาเซลเซียส ความดัน 25 เมกะพาสคัล และเวลาในการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง 2-10 วินาที..... 59

4.14 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างออกซิเดชันในน้ำภาวะเหนือวิกฤตของฟีนอล (a) และไพริดีน (b) แบบที่มีกับไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 410 องศาเซลเซียส ความดัน 25 เมกะพาสคัล ความเข้นข้นฟีนอลและไพริดีนเท่ากับ 0.046 และ 0.049 โมลต่อลิตร และปริมาณออกซิเจนมากเกินพอ 100%..... 65