การออกแบบระบบ
การนำน้ำกรดทิ้งกลับมาใช้ใหม่ในอุตสาหกรรมรีดเหล็ก

นางสาวประไพรัตน์ เอนกนันท์

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-331-728-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I18559475X

SYSTEM DESIGN OF ACID RECYCLE
IN
THE METAL WIRE INDUSTRY

Miss Prapairat Anakenant

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

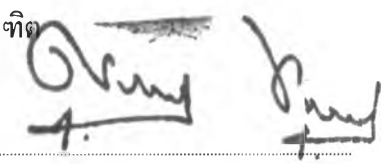
Academic Year 1998

ISBN 974-331-728-7

2544

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบระบบการนำน้ำกรดทิ้งกลับมาใช้ใหม่ในอุตสาหกรรมรีดเหล็ก
โดย	นางสาวประไพรัตน์ เอนกนันท์
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
สาขา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. อุรา ปานเจริญ

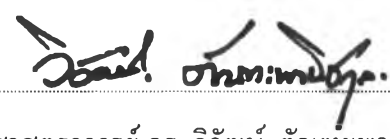
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต



คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

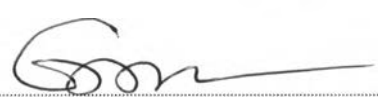
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์สุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล)



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. อุรา ปานเจริญ)

กรรมการ

(อาจารย์ ดร. สุพจน์ พัฒนศรี)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ประไพรัตน์ เอนกนันท์ : การออกแบบระบบการนำน้ำกรดทิ้งกลับมาใช้ใหม่ในอุตสาหกรรมรีดเหล็ก (SYSTEM DESIGN OF ACID RECYCLE IN THE METAL WIRE INDUSTRY) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. อุรา ปานเจริญ , 131 หน้า. ISBN 974-331-728-7

การออกแบบระบบการนำน้ำกรดทิ้งกลับมาใช้ใหม่ในอุตสาหกรรมรีดเหล็กนี้ ได้ออกแบบเป็นกระบวนการแบบต่อเนื่อง (Continuous process) โดยนำหน่วยแลกเปลี่ยนประจุ (Retardation unit) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีจากสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน ทำการฟื้นฟูคุณภาพน้ำกรดที่ผ่านการใช้งานจากกระบวนการกำจัดสนิมเหล็ก (Spent pickling acid) ให้สามารถนำกลับมาใช้งานได้ใหม่แทนที่จะปล่อยเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อทำการบำบัด ซึ่งต้องประเมินความคุ้มค่าของการลงทุน ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ

การออกแบบระบบดังกล่าว มีหน่วยปฏิบัติการ (Unit operation) ที่ใช้ประกอบด้วยถังปฏิกริยาสำหรับกระบวนการกำจัดสนิมเหล็ก จำนวน 1 ถัง ถังรวบรวมน้ำกรดทิ้งที่ปล่อยออกจากถังปฏิกริยา จำนวน 1 ถัง นำหน่วยแลกเปลี่ยนประจุ (Retardation unit) เข้าทำการติดตั้งเพื่อรับน้ำกรดจากถังรวบรวมมาทำการฟื้นฟูคุณภาพให้สามารถนำกลับมาใช้งานได้ใหม่ น้ำกรดในที่นี้เป็นกรดไฮโดรคลอริค (HCl) เมื่อผ่านการฟื้นฟูคุณภาพแล้วจะนำเข้าถังเตรียมน้ำกรดเพื่อผสมรวมกับ 35% HCl ให้ได้ความเข้มข้น 15% HCl แล้วนำกลับไปใช้ได้ทันทีในกระบวนการกำจัดสนิมเหล็กต่อไป

ในการออกแบบนี้ จะใช้ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริค 15% ในการกำจัดสนิมเหล็ก เมื่อผ่านการใช้งาน แล้วจะมีปริมาณความเข้มข้นเกลือของเหล็กสูงไม่สามารถใช้งานได้ต่อไป จึงนำเข้าหน่วยแลกเปลี่ยนประจุเพื่อฟื้นฟูคุณภาพกรดไฮโดรคลอริค ซึ่งระบบแลกเปลี่ยนประจุสามารถฟื้นฟูคุณภาพน้ำกรดได้ถึง 88.83% และสามารถกำจัดเหล็กได้ 41.89 %

จากการประเมินความคุ้มค่าของการลงทุน พบว่าผู้ประกอบการสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการใช้สารเคมีได้ถึง 1,536,450 บาทต่อปี และเมื่อนำระบบดังกล่าวมาใช้สามารถใช้เวลาคืนทุนภายใน3 ปี

การออกแบบระบบการนำน้ำกรดทิ้งกลับมาใช้งานใหม่ด้วยกระบวนการแบบต่อเนื่องดังกล่าว เป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในอุตสาหกรรมรีดเหล็กประเภทเดียวกัน เนื่องจากมีความคล่องตัวและสะดวกรวดเร็วต่อกระบวนการผลิต และจากการนำหน่วยแลกเปลี่ยนประจุมาใช้ในการฟื้นฟูคุณภาพน้ำกรดที่ผ่านการใช้งานแล้ว สามารถนำกลับมาใช้งานได้ใหม่ ผู้ประกอบการสามารถการลดต้นทุนการผลิตได้อย่างมาก ตลอดจนเป็นการลดผลกระทบที่เป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย ซึ่งถือว่าเป็นความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์โดยรวมของประเทศเป็นอย่างยิ่ง

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี (นอกเวลาราชการ) ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C817575 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING
KEY WORD: Acid recycling / Ion exchanger / Retardation process/ Metal finishing

PRAPAIRAT ANAKENAN : SYSTEM DESIGN OF ACID RECYCLE IN THE METAL WIRE INDUSTRY. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. URA PANCHAROEN, D.Eng. Sc., 131 pp. ISBN 974-331-728-7

The waste acid recycling system has been design using the continuous process by installing the Ion exchanger unit(retardation unit) was performed to investigate its performance on free acid recovery in spent pickling acid solution. The pickling acid solution circulates continuously between the pickling bath and the regeneration plant. The financial profitability can be analyzed by calculating the amortization of the capital investment

To design this system the unit operation consist of 1 the pickling bath , 1 unit of waste storage tank to hold waste acid drainage from reactor tank , and 1 unit of ion exchanger unit . Part of the pickling solution is pumped from storage tank into the retardation unit which recoveries free acid and removes the metal salt. The free acid is pumped through into preparation tank to mixing with 35% HCL then can be reuse in pickling process.

The system has been designed using 15% hydrochloric acid to remove the oxides and rust. The iron salt concentration increases, while the concentration of free acid decreases. This means, that the pickling effect will be reduced continuously until the concentration of dissolved metals reaches a 'critical value' at which the pickling solution has to be renewed. The pickling solution fed into retardation unit to recovery acid, the retardation unit can recover acid at 88.83% and can remove Fe^{+2} from 41.89% while flow rate and concentration of pickling solution has no effect to capability of recycling acid and eliminate of rust

Economic evaluation value of this process found that the owner can save a lot of cost up to 1,536,450 Bath/year and the pay back period for this technology is 3 years

The design to recycling waste acid using continuous process above has been proved that appropriate to use in the each metal finishing industry using retardation unit to recovery of free acid. This system can save cost for the loss of free acid and equivalent demand of sodium hydroxide for neutralization, decreasing salt effluent into watercourse and also reduce impact the environment which lead to an economic value for society

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี (นอกเวลาราชการ) ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเคมี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ถึงแนวทางการดำเนินงาน พร้อมการแก้ไขปัญหาและข้อเสนอแนะต่างๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์เป็นรูปเล่ม ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล ประธานกรรมการ และ อาจารย์ ดร. สุพจน์ พัฒนศรี กรรมการ ที่ได้กรุณาให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ กรมโรงงานอุตสาหกรรม Mr.Bernhard Meyhoefer(ผู้เชี่ยวชาญโครงการความร่วมมือไทย-เยอรมัน) และบริษัท ไทยสะเปรเชียลไวร์ จำกัด ที่ให้โอกาสผู้เขียนได้ปฏิบัติงานในโครงการ พร้อมการช่วยเหลือต่างๆ ที่ทำให้การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ ดร. สุทธิชัย อัสสะบำรุงรัตน์ ที่ให้คำแนะนำด้านข้อมูล คุณจิตติมา เลาหพจนารถ คุณสุนารี วีระสวัสดิรักษ์และคุณสาคร คำสว่าง ที่ได้ช่วยเหลือระหว่างการศึกษา คุณชูเกียรติ มหาวรการ ที่ได้ช่วยการจัดพิมพ์งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ พี่ๆ ทุกท่าน คุณรัศมี ลาวัณย์วัฒนกุล ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจด้วยดีมาตลอดการศึกษาและการจัดทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ คุณทองพูน เอนกนันท์(มารดา) คุณขวัญเมือง เอนกนันท์ ที่เป็นทุกสิ่งทุกอย่างตลอดจนส่งเสริม สนับสนุน และให้กำลังใจมาโดยตลอด และอีกท่านหนึ่งที่ระลึกอยู่เสมอ ท่านเป็นแรงผลักดันให้ผู้เขียนเข้ารับการศึกษาปริญญาโทนี้และคอยให้กำลังใจอยู่ตลอดเวลา คือ นายเพลิน เอนกนันท์(บิดา) ขอขอบพระคุณ อาจารย์ และเพื่อนๆ ปริญญาโท ที่ได้ช่วยเหลือและให้คำแนะนำในเรื่องการศึกษาและการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จในครั้งนี้

สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฑ

บทที่

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตงานการออกแบบ..... 2

1.4 ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

2. การเลือกเทคโนโลยีในการนำน้ำกรดทิ้งกลับมาใช้งานใหม่

2.1 การศึกษาและสำรวจข้อมูลเบื้องต้น..... 4

2.2 การศึกษาระบบการนำน้ำกรดทิ้งกลับมาใหม่ 7

3. ศึกษาการทำงานของหน่วยแลกเปลี่ยนประจุ

3.1 ข้อมูลของบริษัท ไทยสะเปเชียลไวร์ จำกัด 10

3.2 หลักการพื้นฐานของ Retardation process 17

3.3 หลักการทำงานของหน่วยแลกเปลี่ยนประจุ 27

3.4 การศึกษาประสิทธิภาพของหน่วยแลกเปลี่ยนประจุ 32

4. การออกแบบระบบการนำน้ำกรดทิ้งกลับมาใช้งานใหม่
ด้วยกระบวนการแบบต่อเนื่อง
4.1 หน่วยปฏิบัติการที่ใช้ในกระบวนการ 35
4.2 การออกแบบระบบ 38
4.3 การคำนวณค่าใช้จ่ายสารเคมี 47
4.4 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย 49

5. ความคุ้มค่าของการลงทุน
5.1 การประเมินราคาการลงทุน 50
5.2 การคำนวณระยะเวลาคืนทุน 53

6. บทสรุป และข้อเสนอแนะ
6.1 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการใช้กรดไฮโดรคลอริค 60
6.2 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 60
6.3 ผลประโยชน์ที่ได้รับ 61
6.4 ข้อเสนอแนะ 62

รายการอ้างอิง 63
ภาคผนวก
ก. ข้อมูลการสำรวจโรงงาน 64
ข. ศึกษาระบบการฟื้นฟูน้ำกรด (Acid recovery system) 68
ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2
(พ.ศ.2539 ออกตามความใน พ.ร.บ.โรงงาน พ.ศ.2535)
เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน..... 79
ง. ข้อมูลของบริษัท ไทยสะเปเชียลไวร์ จำกัด..... 100
จ. ประสิทธิภาพของระบบแลกเปลี่ยนประจุ..... 101

ฉ. ข้อมูลการเก็บตัวอย่าง
เพื่อทำสมดุลมวลสารที่บ่อกำจัดสนิมเหล็ก 121
ช. ตารางข้อมูลใช้ในการอ้างอิงการคำนวณระยะเวลาคืนทุน 122

ประวัติผู้เขียน 131

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.2.1	ลำดับการถูกแลกเปลี่ยนประจุของสารปนเปื้อนในน้ำเสีย.....	22
4.2.1	ข้อมูลพื้นฐาน	38
4.3.1	แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการใช้สารเคมี.....	49
5.1	แสดงการประเมินราคาการลงทุนก่อสร้างระบบ การนำน้ำกรดทิ้งกลับมาใช้ใหม่(ระบบต่อเนื่อง).....	55
5.2	แสดงการประเมินราคาการลงทุนก่อสร้างระบบ การนำน้ำกรดทิ้งกลับมาใช้ใหม่(ระบบต่อเนื่อง) ต่อ	57
ก.1	แสดงปริมาณการใช้ลวดเหล็กและกรดไฮโดรคลอริค.....	64
ก.2	แสดงสภาวะของ pickling solution.....	65
ก.3	แสดงปริมาณการสูญเสียกรดไฮโดรคลอริค.....	66
ข.1	Comparison of acid recovery systems..... .	77
ง.1	แสดงอัตรากำลังผลิตลวดเหล็กของโรงงาน.....	85
ง.2	ปริมาณลวดเหล็กที่เข้าโรงงาน ปี พ.ศ.2537.....	86
ง.3	ปริมาณลวดเหล็กที่เข้าโรงงาน ปี พ.ศ.2538..... .	87
ง.4	ปริมาณลวดเหล็กที่เข้าโรงงาน ปี พ.ศ.2539.....	88

ง.5 แสดงปริมาณการใช้กรด โซเดียมไฮดรอกไซด์
และผลิตภัณฑ์ที่ได้ในปี 2536 และปี 2537..... 89

ง.6 แสดงปริมาณการใช้กรด โซเดียมไฮดรอกไซด์
และผลิตภัณฑ์ที่ได้ในปี 2538 และปี 2539..... 90
ง.7 แสดงปริมาณการใช้ 35 % HCl ปริมาณการใช้เหล็ก
ในบ่อขจัดสนิมเหล็ก ในปี 2535..... 91
ง.8 แสดงปริมาณการใช้ 35 % HCl ปริมาณการใช้เหล็ก
ในบ่อขจัดสนิมเหล็ก ในปี 2536..... 92
ง.9 แสดงปริมาณการใช้35 % HCl ปริมาณการใช้เหล็ก
ในบ่อขจัดสนิมเหล็ก ในปี 2537..... 93
ง.10 แสดงปริมาณการใช้ 35 % HCl ปริมาณการใช้เหล็ก
ในบ่อขจัดสนิมเหล็ก ในปี 2538..... 94
ง.11 แสดงปริมาณการใช้ 35 % HCl ปริมาณการใช้เหล็ก
ในบ่อขจัดสนิมเหล็ก ในปี 2539..... 95
ง. 12 แสดงการใช้กรด และ ปริมาณการใช้เหล็ก
ในบ่อขจัดสนิมเหล็กในปี 2538..... 96
ง.13 แสดงปริมาณการใช้กรด และปริมาณการใช้เหล็ก
ในบ่อขจัดสนิมเหล็กในปี 2539..... 97
ง.14 แสดงความเข้มข้นของกรดและเหล็กในน้ำเสีย 98
ง.15 แสดงอัตราส่วนไอออนของเหล็กที่เกิดขึ้นต่อเหล็กทั้งหมด
โดยคำนวณจากปริมาณกรดที่ทำปฏิกริยา..... 99

ง.16 แสดงอัตราส่วนไอออนของเหล็กที่เกิดขึ้นต่อเหล็กทั้งหมด
โดยคำนวณจากไอออนของเหล็ก..... 99
ง.17 แสดงอัตราส่วนของไอออนของเหล็กที่เกิดต่อเหล็กทั้งหมด
โดยคำนวณจากปริมาณกรดที่ทำปฏิกริยา..... 100

จ.1 ข้อมูลการทดลองของวันที่ 3/3/97 (ช่วงชาร์จ)..... 104
จ.2 ข้อมูลการทดลองของวันที่ 3/3/97 (ช่วงดิสชาร์จ)..... 105
จ.3 แสดงประสิทธิภาพของระบบแลกเปลี่ยนประจุ
ในการนำกรดทิ้งกลับไปใช้ใหม่..... 107
จ.4 แสดงประสิทธิภาพของระบบแลกเปลี่ยนประจุ
ในการกำจัดสนิมเหล็ก..... 110
จ.5 การนำกรดกลับคืนที่ช่วงความเข้มข้นต่างๆ..... 114
จ.6 การกำจัดสนิมเหล็กที่ช่วงความเข้มข้นต่างๆ..... 114
จ.7 แสดงปริมาณของกรดที่ถ่ายออกจากบ่อกำจัดสนิมเหล็ก 117
จ.8 แสดงปริมาณกรดที่สูญเสียจากบ่อกำจัดสนิมเหล็ก 117
จ.9 แสดงปริมาณกรดไฮโดรคลอริค และโซเดียมไฮดรอกไซด์
ที่สามารถประหยัดได้ 119

ฉ.1 แสดงอัตราส่วนของไอออนของเหล็กที่เกิด
ต่อเหล็กทั้งหมด (Fe^{++} /Fe) ข้อมูลจากโรงงาน
(คิดจากปริมาณกรดที่ทำปฏิกิริยา)..... 122
ฉ.2 แสดงสมดุลมวลสารของเหล็ก ที่บ่อกำจัดสนิมเหล็ก..... 123
ฉ.3 แสดงสมดุลมวลสารของกรดที่บ่อกำจัดสนิมเหล็ก 124
ฉ.4 แสดงสมดุลมวลสารของกรดและเหล็กที่บ่อกำจัดสนิมเหล็ก..... 125
ฉ.5 คุณสมบัติน้ำเสียของโรงงานไทยสะเปเชียลไวร์ 126

๗.1 Typical factors for estimation of project fixed capital cost..... 127

๗.2 Purchase cost of miscellaneous equipment,cost factors..... 128

๗.3 Summary of production costs..... 130

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงระบบการจัดการสารละลาย ในกระบวนการกำจัดสนิมเหล็ก.....	8
3.1.4	แสดงกระบวนการผลิตเส้นลวดทนแรงดึงสูง.....	12
3.1.6.1	แผนผังแสดงวิธีการบำบัดน้ำเสีย.....	15
3.1.6.2	กระบวนการบำบัดน้ำเสีย.....	18
3.2.1	ระบบแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange System).....	19
3.2.2	ลักษณะการถูกใช้งานของตัวกลางในถังแลกเปลี่ยนประจุ.....	23
3.2.3	แสดงกระบวนการ recovery กรดไฮโดรคลอริค.....	25
3.3.1	แผนผังแสดง Retardation unit.....	29
3.3.2	การติดตั้งระบบ Retardation เพื่อรองรับน้ำเสีย.....	31
4.1	แสดงการจัดการน้ำกรดกัดสนิมเหล็กที่ไม่สามารถใช้งานต่อไปได้.....	33
4.2	แผนผังระบบการนำน้ำกรดกลับมาใช้งานใหม่(ระบบเท).....	34
4.3	แผนผังระบบการนำน้ำกรดกลับมาใช้งานใหม่(ระบบต่อเนื่อง).....	36
4.2.1	กระบวนการล้างกรด(Rinsing).....	41
4.2.2	แสดง Input-output Structure ของกระบวนการกำจัดสนิมเหล็ก.....	42

4.2.3 แสดง Input-output Structure ของกระบวนการ
นำน้ำกรดกลับมาใช้งานใหม่ 46

5.1 กราฟแสดง Project cash flow diagram..... 59

ข.1 แผนผังแสดงกระบวนการปรับสภาพกรดซัลฟูริค..... 69
ข.2 กราฟแสดงการละลายของ Iron(II) sulfate
ในสารละลายของกรดซัลฟูริค..... 70
ข.3 แผนผังแสดงการ Recovery กรดไฮโดรคลอริค..... 71
ข.4 แสดงระบบ Fluidize-bed pyrohydrolysis..... 73
ข.5 แสดง Chromatography ของเรซิน..... 74
ข.6 แผนผังแสดงการ Regeneration โดยใช้ retardation process..... 76

จ.1 กราฟ break-through curve แสดงอัตราส่วนความเข้มข้น
ของกรดไฮโดรคลอริคเทียบกับเวลา..... 102
จ.2 กราฟ break-through curve แสดงอัตราส่วนความเข้มข้น
ของเหล็กเทียบกับเวลา..... 103
จ3. แสดงผลของความเข้มข้นของกรด HCl ที่มีผล
ต่อ % การนำกรดกลับคืนที่อัตราการไหลแตกต่างกัน..... 113
จ.4 แสดงผลของความเข้มข้นของเหล็กที่มีผล
ต่อ % การกำจัดสนิมเหล็กอัตราการไหลแตกต่างกัน..... 113