การใช้กากตะกอนจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตลาเท็กซ์เป็นตัวเติมสำหรับเรซินอิพ็อกซี

สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นางสาวอลิสา เชาว์ไวพจน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5171482021

USE OF PRECIPITATE FROM WASTEWATER TREATMENT OF LATEX FACTORY AS FILLER FOR EPOXY RESIN

Miss Alisa Chaowaiphot

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

522281

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้กากตะกอนจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตลาเท็กซ์เป็นตัวเติมสำหรับเรซินอิพ็อกซี
โดย	นางสาวอลิสา เชาว์ไวพจน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ศราวุธ ริมดุสิต)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ พัฒนะศรี)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ)

อลิสา เชาว์ไวพจน์ : การใช้กากตะกอนจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตลาเท็กซ์เป็นตัวเติมสำหรับเรซินอิพ็อกซี (Use of precipitate from wastewater treatment of latex factory as filler for epoxy resin), อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร. อุรา ปานเจริญ, 115 หน้า

งานวิจัยนี้ศึกษาการนำกากตะกอนซึ่งเป็นของเสียจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตลาเท็กซ์ที่เป็นกรณีศึกษามาใช้เป็นตัวเติมหรือฟิลเลอร์ในผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งเรซินอิพ็อกซี ซึ่งเป็นการลดต้นทุนการผลิตจากการสั่งซื้อตัวเติมและลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อม กากตะกอนจะถูกทำให้แห้งและบดคัดขนาดเพื่อผสมทดแทนและเปรียบเทียบกับตัวเติมแบบเดิมที่ใช้อยู่ ได้แก่ $CaCO_3$ และ Glass spheres ในปริมาณ 25, 50, 75 และ 100% (w/w) จากการศึกษาพบว่าขนาดของผงตะกอนใกล้เคียงกับ Glass spheres และใหญ่กว่า $CaCO_3$ จึงสามารถนำมาใช้เป็นตัวเติมแทน Glass spheres ได้ดีกว่า $CaCO_3$ โดยอัตราส่วนโดยน้ำหนักที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ epoxy prepolymer 50.00% diluent 13.50% silica fume 6.00% TiO_2 8.00% $CaCO_3$ 18.00% glass spheres 3.00% solvent No.1 0.50% และผงตะกอน 1.00% ที่อัตราส่วนนี้ผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งเรซินอิพ็อกซีที่ได้มีสมบัติทางกลด้านความต้านทานแรงอัด (Compressive strength) และความแข็ง (Hardness) อยู่ในมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งเรซินอิพ็อกซีของบริษัท คือ 46.76 – 51.82 MPa และ 79.71 – 81.49 MPa ตามลำดับ นอกจากนี้ยังให้ความหนืดและระยะเวลาการแห้งสัมผัสใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐานที่ทางบริษัทใช้อยู่ และผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ด้วย Balanced scorecard อยู่ในเกณฑ์ที่คุ้มค่า นอกจากนี้พบว่าการนำผงตะกอนมาแทน Glass spheres และ $CaCO_3$ ไม่มีผลต่อการทนทานต่อการกัดกร่อนของน้ำทะเลเทียม ทั้งนี้เนื่องจากการทนทานต่อการกัดกร่อนของน้ำทะเลขึ้นกับชนิดของพรีพอลิเมอร์อิพ็อกซีและสารทำแข็ง

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่อนิสิต.....อลิสา เชาว์ไวพจน์.....
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา 2552	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5171482021 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS : PRECIPITATE / FILLER / EPOXY RESIN

ALISA CHAOWAIPHOT : USE OF PRECIPITATE FROM WASTEWATER TREATMENT OF LATEX FACTORY AS FILLER FOR EPOXY RESIN

THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF.DR.URA PANCHAROEN, D.Eng.Sc., 115 pp.

The reuse of precipitate from wastewater treatment of a latex factory as fillers for epoxy compound products has been intensively studied. The merit of this work is a lower production cost in terms of the replacement of fillers and precipitate treatment. The precipitate was dried, ground, sieved and used in stead of the common fillers, $CaCO_3$ or glass spheres, in the epoxy compound formulation. The amount of precipitate in the formulation has been varied from 25, 50, 75 and 100 %(w/w). It was found that the particle size of sieved precipitate was close to those of glass spheres and larger than $CaCO_3$, therefore it could be replaced glass spheres better than $CaCO_3$. The recommended formulation consists of epoxy resin 50.00%, diluent 13.5%, silica fume 6.00%, TiO_2 8.00%, $CaCO_3$ 18.00%, glass spheres 3.00%, solvent No.1 0.50% and precipitate 1.00% (w/w). The mechanical properties in terms of compressive strength and hardness of the obtained epoxy compound products at this formulation stays within the standards of the company, i.e., 46.76 – 51.82 MPa and 79.71 – 81.49 MPa, respectively. In addition, the viscosity and drying time of this formulation are under specifications, and a cost-and-profit analysis using the balanced scorecard is also competitive. The precipitate in the formulation does not affect the corrosion resistance from artificial sea-water because this property depends on types of epoxy pre-polymers and hardeners.

Department : Chemical Engineering	Student's signature……:
Field of study : Chemical Engineering	Advisor's signature……
Academic year : 2009	Co-advisor's signature……

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณในความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร. อุรา ปานเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำแนวทางการศึกษาและช่วยให้คำปรึกษาตลอดระยะเวลาของการจัดทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ศราวุธ ริมดุสิต ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ พัฒนะศรี และรองศาสตราจารย์ ดร.อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำ แนวคิดอันทรงคุณค่ายิ่งต่องานวิจัยเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุน สกว.- อุตสาหกรรม ประจำปี 2551 ที่ได้ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้ และ ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยีแห่งชาติที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทดสอบตัวอย่าง

ขอขอบพระคุณ คุณณรงค์ สุวัฒนพิมพ์ ประธานกรรมการบริษัท ซีลิค เคมิคอล จำกัด ที่ได้ให้ความกรุณาสนับสนุนทางด้านการศึกษา ให้โอกาสในการพัฒนาความรู้และอนุเคราะห์สถานที่ตลอดจนสิ่งอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่สาว และญาติพี่น้องทุกคน รวมทั้งผู้มีพระคุณทุกท่าน ครูอาจารย์ทุกท่านที่เคยอบรมสั่งสอนมา ตลอดจนเพื่อนๆ พี่ๆ และพี่วรรณที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจในการศึกษา จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ประโยชน์อันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์นี้ ล้วนแต่เป็นผลจากความกรุณาของบุคคลทั้งหมดที่กล่าวมาแล้วทั้งสิ้น ผู้เขียนจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง มา ณ โอกาสนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญรูปภาพ ..... ฐ
บทที่ 1
1 บทนำ 1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย 5
ขอบเขตการวิจัย 5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5
วิธีดำเนินการวิจัย 5
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8
แนวคิดและทฤษฎี 8
2.1 หลักการและทฤษฎีของตัวเติม (Fillers) 8
2.1.1 $CaCO_3$ 9
2.1.2 Glass spheres 9
2.2 หลักการและทฤษฎีของเรซินอิพ็อกซี 11
2.3 การทดสอบสมบัติของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งเรซินอิพ็อกซี 15
2.3.1 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งเรซินอิพ็อกซี 15
2.3.1.1 การศึกษาลักษณะพื้นผิวทางกายภาพโดยใช้เครื่อง Scanning electron microscope (SEM) หรือกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 15
2.3.1.2 การศึกษาขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของแสง (Laser diffraction technique) 16
2.3.1.3 ความหนาแน่น 16
2.3.1.4 ระยะเวลาการแห้งตัว (Drying time) 17
2.3.1.5 ความหนืด 18

บทที่ หน้า

2.3.2 การทดสอบสมบัติทางกลของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งเรซินอิพ็อกซี 19
2.3.2.1 การทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึง 19
2.3.2.2 การทดสอบความทนแรงอัด 20
2.3.2.3 การทดสอบความแข็ง 20
2.3.2.3.1 การทดสอบความแข็งแบบร็อกเวลล์ (Rockwell) 21
2.3.2.3.2 การทดสอบความแข็งแบบชอร์ดูโรมิเตอร์ (Shore durometer) 22
2.3.3 การทดสอบสมบัติทางเคมี 23
2.3.3.1 การทดสอบเพื่อประเมินสภาพผิวเคลือบด้วยหมอกเกลือ 23
2.4 การวิเคราะห์ขนาดของอนุภาค 23
2.5 Balanced scorecard สำหรับวิเคราะห์ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ 24
2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 24
3 วิธีดำเนินการวิจัย 28
3.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งเรซินอิพ็อกซี 28
3.1.1 พรีพอลิเมอร์อิพ็อกซี 28
3.1.2 สารทำแข็ง (Hardener) 28
3.1.3 ผงสี (Pigment) 28
3.1.4 ตัวเติม 29
3.1.5 ไดลูเอนต์ (Diluent) 29
3.1.6 ซิลิกาฟูม (Silica fume) 30
3.1.7 ตัวทำละลายหมายเลข 1 (Solvent No.1) 30
3.1.8 ตัวทำละลายหมายเลข 2 (Solvent No.2) 30
3.1.9 เกลือสำหรับเตรียมน้ำทะเลเทียม 30
3.2 การเตรียมตัวอย่างผงตะกอน 31
3.3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของผงตะกอน 5 ตัวอย่าง 31
3.4 การเตรียมตัวอย่างผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งเรซินอิพ็อกซี 31
3.5 การเตรียมตัวอย่างสารทำแข็ง 33
3.6 การศึกษาความหนืดของพรีพอลิเมอร์อิพ็อกซีและระยะเวลาการแห้งสัมผัสของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งเรซินอิพ็อกซีเมื่อใช้ผงตะกอน 33

บทที่ หน้า

3.7 การเตรียมตัวอย่างชิ้นงานและการศึกษาสมบัติทางกลของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งเรซินอิพ็อกซี 33
3.8 การศึกษาสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งเรซินอิพ็อกซี 34
3.9 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย 34
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 35
4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของผงตะกอน 35
4.2 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพจากการเตรียมตัวอย่างผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งเรซินอิพ็อกซี 39
4.2.1 ความหนืดของพรีพอลิเมอร์อิพ็อกซีเมื่อใช้ผงตะกอนแทน $CaCO_3$ 39
4.2.2 ระยะเวลาการแห้งสัมผัสของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งเรซินอิพ็อกซีเมื่อใช้ผงตะกอนแทน $CaCO_3$ 40
4.2.3 ความหนืดของพรีพอลิเมอร์อิพ็อกซีเมื่อใช้ผงตะกอนแทน Glass spheres 41
4.2.4 ระยะเวลาการแห้งสัมผัสเมื่อใช้ผงตะกอนแทน Glass spheres 42
4.2.5 การเปรียบเทียบความหนืดของพรีพอลิเมอร์อิพ็อกซีเมื่อใช้ผงตะกอนแทน $CaCO_3$ และ Glass spheres 43
4.2.6 การเปรียบเทียบระยะเวลาการแห้งสัมผัสเมื่อใช้ผงตะกอนแทน $CaCO_3$ และ Glass spheres 44
4.3 การวิเคราะห์สมบัติทางกลของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งเรซินอิพ็อกซี 45
4.3.1 ความทนแรงอัดเมื่อใช้ผงตะกอนแทน $CaCO_3$ 45
4.3.2 ความแข็งเมื่อใช้ผงตะกอนแทน $CaCO_3$ 46
4.3.3 ความทนแรงอัดเมื่อใช้ผงตะกอนแทน Glass spheres 47
4.3.4 ความแข็งเมื่อใช้ผงตะกอนแทน Glass spheres 48
4.3.5 การเปรียบเทียบความทนแรงอัดเมื่อใช้ผงตะกอนแทน $CaCO_3$ และ Glass spheres 49
4.3.6 การเปรียบเทียบความแข็งเมื่อใช้ผงตะกอนแทน $CaCO_3$ และ Glass spheres 50
4.4 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งเรซินอิพ็อกซีในการทนทานต่อการกัดกร่อนจากน้ำทะเล 51
4.4.1 การทนทานต่อการกัดกร่อนจากน้ำทะเลเทียมเมื่อใช้ผงตะกอนแทน $CaCO_3$ 51
4.4.2 การทนทานต่อการกัดกร่อนจากน้ำทะเลเทียมเมื่อใช้ผงตะกอนแทน Glass spheres 53

บทที่ **หน้า**

4.5 ตารางสรุปผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ ทางกลและทางเคมีของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งเรซินอิพ็อกซี 54
4.6 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ 56
5 สรุปผลการวิจัย ละข้อเสนอแนะ 60
สรุปผลการวิจัย 60
ข้อเสนอแนะ 62
รายการอ้างอิง 64
ภาคผนวก 68
ภาคผนวก ก ปริมาณกากตะกอนที่ได้จากกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตลาเท็กซ์ประจำปี 2551 69
ภาคผนวก ข รายงานผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนน้ำเสีย 70
ภาคผนวก ค เทคนิคและวิธีการวิเคราะห์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของอนุภาค ความหนาแน่น pH การนำไฟฟ้า และความชื้นของผงตะกอนที่ใช้ในงานวิจัย 72
ภาคผนวก ง การวัดความหนืดของพรีพอลิเมอร์อิพ็อกซี การตรวจสอบระยะเวลาการแห้งสัมผัส และการทดสอบการทนทานต่อการกัดกร่อนจากน้ำทะเลเทียมผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งเรซินอิพ็อกซีตามเกณฑ์ของบริษัท ซีลิค เคมิคอล จำกัด 74
ภาคผนวก จ ค่ากำหนดของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งเรซินอิพ็อกซีสำหรับงานซ่อมแซมเรือประมงที่ใช้ในงานวิจัย 77
ภาคผนวก ฉ ASTM D 695 Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics และ ASTM D 2240000 Standard Test Method for Rubber Property-Durometer Hardness 78
ภาคผนวก ช คู่มือการใช้เครื่องวัด pH รุ่น Tester 30 และเครื่องวัดการนำไฟฟ้า รุ่น Ecoscan CON5 100
ภาคผนวก ซ เอกสารกำกับความปลอดภัยของสารเคมี (Material safety data sheet) ของพรีพอลิเมอร์อิพ็อกซีและสารทำแข็ง 103
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 115

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1.1 ปริมาณกากตะกอนจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียของการผลิตลาเท็กซ์ 2

2.1 ตัวอย่างตัวเติมที่ใช้ในพอลิเมอร์ 7

2.2 ปริมาณการใช้ตัวเติมทั่วโลกในปี ค.ศ. 1999 8

2.3 ชนิดและสมบัติของพรีพอลิเมอร์อิพ็อกซี 13

2.4 ข้อดี/ ข้อเสียและการประยุกต์ใช้งานของสารทำแข็งแต่ละประเภท 13

2.5 ประเภทของการทดสอบความแข็งแบบชอร์ดูโรมิเตอร์ 22

3.1 อัตราส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งเรซินอิพ็อกซีเมื่อใช้ผงตะกอนแทน $CaCO_3$ 32

3.2 อัตราส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งเรซินอิพ็อกซีเมื่อใช้ผงตะกอนแทน Glass spheres 32

3.3 องค์ประกอบของสารทำแข็ง 33

4.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย ความหนาแน่น pH การนำไฟฟ้า และเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผงตะกอน 38

4.2 เปรียบเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของอนุภาค ความหนาแน่น pH การนำไฟฟ้า และเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผงตะกอนกับ $CaCO_3$ และ Glass spheres 39

4.3 ความหนืดของพรีพอลิเมอร์อิพ็อกซีเมื่อใช้ผงตะกอนแทน $CaCO_3$ 40

4.4 ระยะเวลาการแห้งสัมผัสของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งเรซินอิพ็อกซีเมื่อใช้ผงตะกอนแทน $CaCO_3$ 41

4.5 ความหนืดของพรีพอลิเมอร์อิพ็อกซีเมื่อใช้ผงตะกอนแทน Glass spheres 42

4.6 ระยะเวลาการแห้งสัมผัสของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งเรซินอิพ็อกซีเมื่อใช้ผงตะกอนแทน Glass spheres 43

4.7 ความทนแรงอัดของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งเรซินอิพ็อกซีเมื่อใช้ผงตะกอนแทน $CaCO_3$ 46

4.8 ความแข็งของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งเรซินอิพ็อกซีเมื่อใช้ผงตะกอนแทน $CaCO_3$ 47

4.9 ความทนแรงอัดของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งเรซินอิพ็อกซีเมื่อใช้ผงตะกอนแทน Glass spheres 48

4.10 ความแข็งของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งเรซินอิพ็อกซีเมื่อใช้ผงตะกอนแทน Glass spheres 49

ตารางที่ **หน้า**

4.11 สรุปผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ ทางกล และทางเคมีของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งเรซินอิพ็อกซี 55

4.12 ราคาต้นทุนของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งเรซินอิพ็อกซีเมื่อใช้ผงตะกอนแทน $CaCO_3$ และ Glass spheres สูตรต่างๆ (บาท /กิโลกรัม) 57

4.13 การทำ Balance scorecard เพื่อพิจารณาความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ 58

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

1.1 กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมีของบริษัท ซีลิค เคมิคอล จำกัด 3

1.2 การนำผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งเรซินอิพ็อกซีไปใช้งานซ่อมแซมเรือประมง 4

1.3 เรือประมงที่ซ่อมแซมด้วยผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งเรซินอิพ็อกซีเสร็จแล้วและกำลังตกแต่งด้วยสีเคลือบภายนอก 5

2.1 Glass spheres ชนิด Solid glass spheres กำลังขยาย 50 เท่า 10

2.2 Glass spheres ชนิด Hollow glass spheres, 3M type BB กำลังขยาย 63 เท่า 10

2.3 ปฏิกิริยาระหว่างบิสฟีนอลเอและเอพิคลอโรไฮดริน 11

2.4 สูตรโครงสร้างทางเคมีของพรีพอลิเมอร์อิพ็อกซี 11

2.5 ปฏิกิริยาระหว่างไดแอมีนในสารทำแข็งกับพรีพอลิเมอร์อิพ็อกซี 12

2.6 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 15

2.7 เทคนิคการเลี้ยวเบนแบบฟรอนโฮเฟอร์ 16

2.8 รูปแสดงการทดสอบความแข็งแบบร็อกเวลล์ 21

4.1 ผงตะกอนจากกระบวนการสร้างและรวมตะกอนหลังการคัดขนาด 35

4.2 ลักษณะพื้นผิวทางกายภาพของผงตะกอนตัวอย่างที่ 1 จากเครื่อง SEM ด้วยกำลังขยาย 100 เท่า 36

4.3 ลักษณะพื้นผิวทางกายภาพของผงตะกอนตัวอย่างที่ 2 จากเครื่อง SEM ด้วยกำลังขยาย 100 เท่า 36

4.4 ลักษณะพื้นผิวทางกายภาพของผงตะกอนตัวอย่างที่ 3 จากเครื่อง SEM ด้วยกำลังขยาย 100 เท่า 37

4.5 ลักษณะพื้นผิวทางกายภาพของผงตะกอนตัวอย่างที่ 4 จากเครื่อง SEM ด้วยกำลังขยาย 100 เท่า 37

4.6 ลักษณะพื้นผิวทางกายภาพของผงตะกอนตัวอย่างที่ 5 จากเครื่อง SEM ด้วยกำลังขยาย 100 เท่า 37

4.7 ลักษณะพื้นผิวทางกายภาพของ $CaCO_3$ จากเครื่อง SEM ด้วยกำลังขยาย 100 เท่า 38

4.8 ลักษณะพื้นผิวทางกายภาพของ Glass spheres จากเครื่อง SEM ด้วยกำลังขยาย 100 เท่า 38

4.9 เปรียบเทียบความหนืดของพรีพอลิเมอร์อิพ็อกซีเมื่อใช้ผงตะกอนแทน $CaCO_3$ และ Glass sphere 44

ภาพที่ หน้า

4.10 เปรียบเทียบระยะเวลาการแห้งสัมผัสของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งเรซินอิพ็อกซีเมื่อใช้ผงตะกอนแทน $CaCO_3$ และ Glass spheres 45

4.11 ความทนแรงอัดของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งเรซินอิพ็อกซีเมื่อใช้ผงตะกอนแทน $CaCO_3$ และ Glass spheres 50

4.12 ความแข็งของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งเรซินอิพ็อกซีเมื่อใช้ผงตะกอนแทน $CaCO_3$ และ Glass spheres 51

4.13 ลักษณะพื้นผิวทางกายภาพของชิ้นงานก่อนและหลังการทดสอบการทนทานต่อการกัดกร่อนจากน้ำทะเลเทียมเมื่อใช้ผงตะกอนแทน $CaCO_3$ โดยเครื่อง SEM ด้วยกำลังขยาย 200 เท่า 52

4.14 ลักษณะพื้นผิวทางกายภาพของชิ้นงานก่อนและ หลังการทดสอบการทนทานต่อการกัดกร่อนจากน้ำทะเลเทียมเมื่อใช้ผงตะกอนแทน Glass spheres โดยเครื่อง SEM ด้วยกำลังขยาย 200 เท่า 54