การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีไฟฟ้าเคมีเพื่อกำจัดสารอินทรีย์และสี

นางสาว กัณฑมาศ สุทธิเรืองวงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาเคมีเทคนิค
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ.2539

ISBN 974-633-815-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17378415

ELECTROCHEMICAL WASTEWATER TREATMENT FOR REMOVAL OF ORGANIC AND COLOUR SUBSTANCES

MISS KANTHAMAT SUTTHIRUANGWONG

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Chemical Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1996

ISBN 974-633-815-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	:	การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีไฟฟ้าเคมีเพื่อกำจัดสารอินทรีย์และสี
โดย	:	นางสาว กัณฑมาศ สุทธิเรืองวงศ์
ภาควิชา	:	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา	:	อาจารย์ ดร.สุเมธ ชวเดช
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	:	ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย โอสุวรรณ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ กัญจนา บุณยเกียรติ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.สุเมธ ชวเดช)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย โอสุวรรณ)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.เพียรพรรค ทัศคร)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

กัณฑมาศ สุทธิเรืองวงศ์ : การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีไฟฟ้าเคมีเพื่อกำจัดสารอินทรีย์และสี (ELECTROCHEMICAL WASTEWATER TREATMENT FOR REMOVAL OF ORGANIC AND COLOUR SUBSTANCES) อ.ที่ปรึกษา : อ.ดร.สุเมธ ชวเดช, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ศ.ดร.สมชาย โอสุวรรณ, 192 หน้า. ISBN 974-633-815-3

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกำจัดสีและสารอินทรีย์ของน้ำกากส่าด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี ระบบการทดลองใช้เซลล์อิเล็กโตรลิติกที่ทำด้วยพลาสติกอะครีลิค ปริมาตรจุ 3 ลิตร ใช้อิเล็กโตรด 3 ชนิดคือ ไทเทเนียมเคลือบแพลทินัมสีดำ, เหล็ก หรืออะลูมิเนียม จัดเรียงอิเล็กโตรดแบบโมโนโพลาร์ ทำการทดลองเป็นแบบกะและใช้ไฟฟ้ากระแสตรง โดยทำการทดลองที่อัตราเจือจางน้ำกากส่า 5, 10, 20 เท่า จากผลการทดลองพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีและสารอินทรีย์ได้แก่ ความต่างศักย์ไฟฟ้า, พื้นที่ผิวอิเล็กโตรด และระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด ระบบที่ใช้ไทเทเนียมเคลือบแพลทินัมสีดำเป็นแคโทดและเหล็กเป็นแอโนดมีความเหมาะสมที่สุดในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่า เพื่อกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance คือใช้ไทเทเนียมเคลือบแพลทินัมสีดำ 2 แผ่นเป็นแคโทด เหล็ก 2 แผ่นเป็นแอโนด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร ความต่างศักย์ไฟฟ้า 4 โวลท์ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 140 แอมแปร์ต่อตารางเมตร พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ 110 kWh/m^3 และระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัด 5.21 ชั่วโมง ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกำจัด COD 50.4% pH เท่ากับ 7.0 นอกจากนี้ระบบไฟฟ้าเคมียังสามารถลดปริมาณสารแคลเซียมและซัลเฟต แต่ไม่สามารถลดปริมาณสารโพแทสเซียมได้

ภาควิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่อนิสิต กัณฑมาศ

สาขาวิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C425572 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY
KEY WORD: ELECTROCHEMICAL TREATMENT/ORGANIC REMOVAL/COLOUR REMOVAL

KANTHAMAT SUTTHIRUANGWONG : ELECTROCHEMICAL WASTEWATER TREATMENT FOR REMOVAL OF ORGANIC AND COLOUR SUBSTANCES. THESIS ADVISOR : DR. SUMAETH CHAVADEJ, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR : PROF. DR. SOMCHAI OSUWAN, Ph.D. 192 pp. ISBN 974-633-815-3

The purpose of this research work was to determine electrochemical treatment of distillery waste for colour and organic removals. In these experiments, an electrolytic cell was made of acrylic and had the holding volume of 3 litres. Titanium coated with black platinum, iron and aluminium were used as electrode materials and the cell arrangement was monopolar. In these experimental studies, the electrolytic cell was operated as a batch system with D.C. supply. Dilution rates of distillery waste were 5, 10, 20 times. From the experimental results, it indicates that colour and organic removal efficiencies were governed by the applied voltage, the electrode surface area and the interelectrode distance. The most suitable materials for the electrodes were platinum coated titanium and iron as cathode and anode, respectively. The optimum conditions for treatment of 5 times dilution distillery waste for colour reduction to 60% transmittance level were two platinum coated titanium cathodes and two iron anodes, interelectrode distance of 0.8 cm., voltage of 4 volt, current density of 140 A/m^2 and the retention time of 5.21 hours. At these optimum conditions, energy consumption was 110 kWh/m^3 of raw distillery waste and COD removal was 50.4%. Furthermore, the electrochemical treatment could remove calcium and sulfate except potassium.

ภาควิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาและช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ดร.สุเมธ ชวเดช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และศาสตราจารย์ ดร.สมชาย โอสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งท่านได้กรุณาให้คำปรึกษาและแนวทาง พร้อมทั้งดูแลงานวิจัยมาด้วยดีตลอด จึงขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ กัญจนา บุณยเกียรติ หัวหน้าภาควิชาเคมีเทคนิคในฐานะประธานกรรมการ และอาจารย์ ดร.เพียรพรรค ทัศคร ที่กรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ บริษัท สุราแสงโสม ที่กรุณาเอื้อเฟื้อน้ำกากส่าเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบและวิธีในการวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟตและโพแทสเซียมสำหรับงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณทางภาควิชาเคมีเทคนิค และบัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้ทุนแก่งานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ภาควิชาเคมีเทคนิค ช่างเทคนิค เพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณ คุณกรเกียรติ กฤตยานุกูล ที่ให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้านด้วยดีตลอดมา

และสุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตารางประกอบ ..... ฌ

สารบัญรูปประกอบ ..... ฐ

บทที่

1 บทนำ 1

2 วารสารปริทัศน์ 3

2.1 กล่าวนำ 4

2.2 การบำบัดน้ำเสีย 4

2.3 มลสารในน้ำ 5

2.4 หลักการทำงานของกระบวนการไฟฟ้าเคมี 8

2.5 การประยุกต์ใช้ระบบไฟฟ้าเคมีในการบำบัดน้ำเสีย 23

2.6 ดรรชนีที่มีผลต่อกระบวนการไฟฟ้าเคมี 28

2.7 วัสดุที่ใช้ทำอิเล็กโตรด 33

2.8 หลักการในการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ไฟฟ้าเคมี 36

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 41

2.10 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมโดยวิธีไฟฟ้าเคมี 68

3 อุปกรณ์และการทดลอง 73

3.1 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง 73

3.2 อุปกรณ์ทดลอง 73

3.3 การทำงานของระบบ 76

3.4 แผนการทดลอง 76

3.5 การเก็บตัวอย่าง 78

3.6 วิธีวิเคราะห์ 79

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
4	ผลการทดลองและวิจารณ์	80
	4.1 ลักษณะสมบัติน้ำกากส่า	80
	4.2 ระบบไฟฟ้าเคมีที่มีไทเทเนียมเคลือบแพลทินัมสีดำเป็นอิเล็กโตรด	81
	4.2.1 ที่ความเข้มข้นน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่า	81
	4.2.2 ที่ความเข้มข้นน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่า	87
	4.3 ระบบไฟฟ้าเคมีที่มีไทเทเนียมเคลือบแพลทินัมสีดำ, เหล็ก หรือ อะลูมิเนียมเป็นอิเล็กโตรด ที่ความเข้มข้นน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่า	93
	4.4 ระบบไฟฟ้าเคมีที่มีไทเทเนียมเคลือบแพลทินัมสีดำเป็นแคโทดและ อะลูมิเนียมหรือเหล็กเป็นแอโนด	99
	4.4.1 ที่ความเข้มข้นน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่า	99
	4.4.2 ที่ความเข้มข้นน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่า	125
	4.5 การพิจารณาประยุกต์ใช้ระบบไฟฟ้าเคมีสำหรับกำจัดสีของน้ำกากส่า	148
5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	149
รายการอ้างอิง		152
ภาคผนวก ก		156
ภาคผนวก ข		162
ภาคผนวก ค		168
ภาคผนวก ง		185
ภาคผนวก จ		187
ประวัติผู้เขียน		192

สารบัญตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
2.1	มาตรฐานคุณภาพน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ.2513	6
2.2	การแยกประเภทของมลสารในน้ำ	7
2.3	ความหมายของเครื่องหมาย ΔG และ ΔE	10
2.4	ตัวอย่างศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของอิเล็กโตรดที่ 25 องศาเซลเซียส	11
2.5	ผลการบำบัดน้ำทิ้งโดยระบบกำจัดโลหะหนักและไซยาไนด์	26
2.6	ผลการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมี	47
2.7	ผลการบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี	51
2.8	ผลการบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม	52
2.9	คุณสมบัติของน้ำเสียประเภทต่างๆ จากอุตสาหกรรมการหมักสุราที่ใช้โมลาสเป็นวัตถุดิบ	55
2.10	อิทธิพลของวัสดุที่ใช้ทำแอโนดต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา	61
2.11	คุณสมบัติของน้ำเสียประเภทต่างๆ จากอุตสาหกรรมการหมักสุราที่ใช้ในการทดลอง	64
3.1	คุณลักษณะของน้ำกากส่า	74
3.2	ตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์ และความถี่ในการวิเคราะห์	79
4.1	ผลการทดลองในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่าโดยใช้ Pt-Pt เป็นอิเล็กโตรด	82
4.2	อัตราการใช้พลังงานในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่าโดยใช้ Pt-Pt เป็นอิเล็กโตรด เพื่อกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance	86
4.3	ผลการทดลองในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Pt เป็นอิเล็กโตรด	88
4.4	อัตราการใช้พลังงานในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Pt เป็นอิเล็กโตรด เพื่อกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance	92
4.5	ผลการทดลองในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่าโดยใช้อิเล็กโตรดชนิดต่างๆ	94
4.6	อัตราการใช้พลังงานในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่าโดยใช้อิเล็กโตรดชนิดต่างๆ เพื่อกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance	97

สารบัญตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.7 สภาวะที่เหมาะสมและผลการทดลองในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่า เพื่อกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance 98

4.8 ผลการทดลองในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al หรือ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด 100

4.9 อัตราการใช้พลังงานในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด เพื่อกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance 122

4.10 อัตราการใช้พลังงานในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด เพื่อกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance 122

4.11 อัตราการใช้พลังงานในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด เพื่อกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance 124

4.12 สภาวะที่เหมาะสมและผลการทดลองในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่า เพื่อกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance 124

4.13 ผลการทดลองในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al หรือ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด 126

4.14 อัตราการใช้พลังงานในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด เพื่อกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance 146

4.15 อัตราการใช้พลังงานในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด เพื่อกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance 146

4.16 อัตราการใช้พลังงานในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด เพื่อกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance 147

4.17 สภาวะที่เหมาะสมและผลการทดลองในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่า เพื่อกำจัดสีให้เหลือสีที่ 60 %Transmittance 147

ข.1 ลำดับของความยาวคลื่นที่ใช้หาความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับน้ำตัวอย่างด้วยเครื่อง Spectrophotometer 163

ข.2 สีที่สอดคล้องกับช่วงความยาวคลื่นต่างๆ 165

สารบัญตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

ข.3 %Transmittance ทั้งหมด 30 ลำดับของน้ำกากส่าเจือจาง ณ ความยาวคลื่นต่างๆ ที่สอดคล้องกับตารางที่ ข.1 166

ค.1 ผลการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่าโดยใช้ Pt-Pt เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร 170

ค.2 ผลการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Pt เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร 171

ค.3 ผลการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่าโดยใช้อิเล็กโตรดขนิดต่างๆ ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร 172

ค.4 ผลการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้อิเล็กโตรดขนิดต่างๆ ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 โวลท์ 173

ค.5 ผลการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้อิเล็กโตรดขนิดต่างๆ ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 โวลท์ 174

ค.6 ผลการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด จำนวนอิเล็กโตรด 2, 4 แผ่น ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8, 1.6 เซนติเมตร ความต่างศักย์ไฟฟ้า 4, 6, 8, 10 โวลท์ 175

ค.7 ผลการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด จำนวนอิเล็กโตรด 2, 4 แผ่น ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8, 1.6 เซนติเมตร ความต่างศักย์ไฟฟ้า 4, 6, 8, 10 โวลท์ 178

ค.8 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้บำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่าโดยใช้ Pt-Pt เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร 181

ค.9 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้บำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Pt เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร 181

ค.10 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้บำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่าโดยใช้อิเล็กโตรดขนิดต่างๆ ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร 182

สารบัญตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

ค.11 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้บำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้อิเล็กโตรดชนิดต่างๆ ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 โวลท์.....182

ค.12 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้บำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 โวลท์.....182

ค.13 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้บำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด จำนวนอิเล็กโตรด 2 และ 4 แผ่น ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8, 1.6 เซนติเมตร ความต่างศักย์ไฟฟ้า 4, 6, 8 และ 10 โวลท์.....183

ค.14 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้บำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด จำนวนอิเล็กโตรด 2 และ 4 แผ่น ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8, 1.6 เซนติเมตร ความต่างศักย์ไฟฟ้า 4, 6, 8 และ 10 โวลท์.....184

สารบัญรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
2.1	การทำงานของเซลล์อิเล็กโตรลิติก	14
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้าในเซลล์อิเล็กโตรลิติก	15
2.3	การอิเล็กโตรลิซิสของโซเดียมคลอไรด์ที่หลอมเหลว	18
2.4	ขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียที่ประกอบด้วยไอออนของโลหะหนักและไซยาไนด์ไอออน	27
2.5	ระบบคอลลอยด์ที่ถูกทำให้เสถียรโดยการดูดซับไอออนบวกและไอออนลบ	33
2.6	ตัวอย่างของเครื่องปฏิกรณ์แบบต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการไฟฟ้าเคมี	37
2.7	การจัดเรียงอิเล็กโตรดโมโนโพลาร์-เซลล์เดี่ยว	38
2.8	การจัดเรียงอิเล็กโตรดโมโนโพลาร์แบบขนาน	39
2.9	การจัดเรียงอิเล็กโตรดโมโนโพลาร์แบบอนุกรม	39
2.10	การจัดเรียงอิเล็กโตรดไบโพลาร์	40
2.11	เซลล์อิเล็กโตรลิติกเดี่ยว	42
2.12	เครื่องมือการทดลองแบบต่อเนื่องในเซลล์อิเล็กโตรลิติกจำนวน 2 เซลล์ที่ต่อแบบอนุกรม	42
2.13	ระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ	43
2.14	ระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมประเภทปิโตรเคมี	45
2.15	เซลล์อิเล็กโตรลิติกของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมี	46
2.16	ระบบบำบัดน้ำเสียจากชุมชน	48
2.17	เซลล์อิเล็กโตรลิติกของระบบบำบัดน้ำเสียจากชุมชน	48
2.18	ระบบบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี	50
2.19	เซลล์อิเล็กโตรลิติกที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม	52
2.20	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนคลอริฟอร์มกับเวลา	57
2.21	เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองของ Pretorius และคณะ	60
2.22	กลไกในการเกิดปฏิกิริยาเคมีด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี	61
2.23	ประเภทต่างๆ ของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการหมักสุราที่ใช้ในการทดลอง	63

สารบัญรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.24	ผลการทดลองในการกำจัดสีน้ำเสียประเภทต่างๆ จากอุตสาหกรรมการหมักสุรา ด้วยสารตกตะกอนชื่อ เฟอร์ริคไฮดรอกซีซัลเฟต	65
2.25	ผลการทดลองในการกำจัดสีน้ำเสียประเภทต่างๆ จากอุตสาหกรรมการหมักสุรา ด้วยสารตกตะกอนชื่อ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์	66
2.26	ระบบบำบัดน้ำใต้ดิน ANDCO	67
3.1	ระบบบำบัดไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในการทดลองนี้	75
3.2	อิเล็กโตรดที่ใช้ในการทดลอง	75
3.3	แผนผังการทดลอง	77
4.1	การเปลี่ยนแปลงสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่าโดยใช้ Pt-Pt เป็น อิเล็กโตรด	83
4.2	ประสิทธิภาพการกำจัดสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่าโดยใช้ Pt-Pt เป็น อิเล็กโตรด	83
4.3	การเปลี่ยนแปลงค่า COD ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่าโดยใช้ Pt-Pt เป็นอิเล็กโตรด	84
4.4	การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่าโดยใช้ Pt-Pt เป็น อิเล็กโตรด	84
4.5	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่าโดยใช้ Pt-Pt เป็น อิเล็กโตรด	86
4.6	การเปลี่ยนแปลงสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Pt เป็น อิเล็กโตรด	89
4.7	ประสิทธิภาพการกำจัดสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Pt เป็น อิเล็กโตรด	89
4.8	การเปลี่ยนแปลงค่า COD ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Pt เป็นอิเล็กโตรด	90

สารบัญรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.9	การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Pt เป็นอิเล็กโตรด	90
4.10	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Pt เป็นอิเล็กโตรด	91
4.11	การเปลี่ยนแปลงสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่าโดยใช้อิเล็กโตรดขนิดต่างๆ	95
4.12	ประสิทธิภาพการกำจัดสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่าโดยใช้อิเล็กโตรดขนิดต่างๆ	95
4.13	การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่าโดยใช้อิเล็กโตรดขนิดต่างๆ	96
4.14	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 20 เท่าโดยใช้อิเล็กโตรดขนิดต่างๆ	97
4.15	การเปลี่ยนแปลงสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด	102
4.16	การเปลี่ยนแปลงสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด	103
4.17	การเปลี่ยนแปลงสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 1.6 เซนติเมตร	104
4.18	การเปลี่ยนแปลงสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร	105
4.19	ประสิทธิภาพการกำจัดสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด	106
4.20	ประสิทธิภาพการกำจัดสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด	107

สารบัญรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.21 ประสิทธิภาพการกำจัดสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 1.6 เซนติเมตร..... 108

4.22 ประสิทธิภาพการกำจัดสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร..... 109

4.23 การเปลี่ยนแปลงค่า COD ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด..... 111

4.24 การเปลี่ยนแปลงค่า COD ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด..... 111

4.25 การเปลี่ยนแปลงค่า COD ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 1.6 เซนติเมตร..... 112

4.26 การเปลี่ยนแปลงค่า COD ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร..... 112

4.27 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด..... 115

4.28 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด..... 115

4.29 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 1.6 เซนติเมตร..... 116

4.30 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร..... 116

4.31 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด..... 117

4.32 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด..... 117

สารบัญรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.33	การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 1.6 เซนติเมตร	118
4.34	การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร	118
4.35	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด	119
4.36	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด	119
4.37	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 1.6 เซนติเมตร	120
4.38	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 10 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร	120
4.39	การเปลี่ยนแปลงสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด	127
4.40	การเปลี่ยนแปลงสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด	128
4.41	การเปลี่ยนแปลงสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 1.6 เซนติเมตร	129
4.42	การเปลี่ยนแปลงสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร	130
4.43	ประสิทธิภาพการกำจัดสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด	131
4.44	ประสิทธิภาพการกำจัดสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด	132

สารบัญรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.45 ประสิทธิภาพการกำจัดสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 1.6 เซนติเมตร..... 133

4.46 ประสิทธิภาพการกำจัดสีในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร..... 134

4.47 การเปลี่ยนแปลงค่า COD ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด..... 136

4.48 การเปลี่ยนแปลงค่า COD ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด..... 136

4.49 การเปลี่ยนแปลงค่า COD ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 1.6 เซนติเมตร..... 137

4.50 การเปลี่ยนแปลงค่า COD ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร..... 137

4.51 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด..... 139

4.52 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด..... 139

4.53 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 1.6 เซนติเมตร..... 140

4.54 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร..... 140

4.55 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด..... 141

4.56 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด..... 141

สารบัญรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.57	การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 1.6 เซนติเมตร	142
4.58	การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร	142
4.59	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด	143
4.60	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด	143
4.61	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 1.6 เซนติเมตร	144
4.62	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการบำบัดน้ำกากส่าเจือจาง 5 เท่าโดยใช้ Pt-Al, Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.8 เซนติเมตร	144
ก.1	เครื่องมือกรองในการวิเคราะห์สี	157
ข.1	Chromaticity diagrams	164
จ.1	สีของน้ำกากส่าเจือจางในรูปของ %Transmittance ที่ความยาวคลื่น 580 นาโนเมตร	188
จ.2	อิเล็กโตรดที่ทำด้วยอะลูมิเนียม	189
จ.3	อิเล็กโตรดที่ทำด้วยเหล็ก	189
จ.4	ระบบการทดลองที่ใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด	190
จ.5	น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วด้วยระบบการทดลองที่ใช้ Pt-Al เป็นอิเล็กโตรด หลังจากตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน	190
จ.6	ระบบการทดลองที่ใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด	191
จ.7	น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วด้วยระบบการทดลองที่ใช้ Pt-Fe เป็นอิเล็กโตรด หลังจากตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน	191