

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(5)
สัญลักษณ์และคำย่อ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ขอบเขตการวิจัย	3
การตรวจเอกสาร	4
ทองแดง	4
การบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะผสม	5
การดูดซับ	11
ถ่านกัมมันต์	12
การคืนสภาพของสารดูดซับที่ไม่ใช้แล้ว	20
การแยกโลหะด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี	25
การบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะผสมด้วยวิธีอิเล็กโทรดีโพสิชัน	33
อุปกรณ์และวิธีการ	38
รูปแบบรายละเอียดของระบบกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี	39
สถานที่ศึกษาวิจัย	41
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	41
ปัจจัยที่มีผลต่อการศึกษา	42
ขั้นตอนและวิธีการ	46
ผลและการวิจารณ์	49
การทดลองขั้นต้นเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการ	49
การศึกษาประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการทดลอง	50
การศึกษาการนำโลหะทองแดงกลับมาใช้ใหม่ด้วยวิธีทางไฟฟ้าเคมี	53
การทดสอบประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการนำกลับด้วยไฟฟ้าแล้ว	74

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
การประยุกต์ใช้งานจริงของระบบ	75
ความคุ้มค่าของระบบ	76
สรุปและข้อเสนอแนะ	77
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	82
ภาคผนวก	86
ภาคผนวก ก ข้อมูลผลการทดลอง	87
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ค่าไอโอคีนัมเบอร์	96

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	วัสดุในการผลิตถ่านกัมมันต์ (Faust และ Aly, 1987)	13
2	หมายเลขตัวอย่างและค่าตัวแปรหลักที่ใช้ในการทดลองเมื่อแปรผันค่า pH	43
3	หมายเลขตัวอย่างและค่าตัวแปรหลักที่ใช้ในการทดลองเมื่อแปรผันค่าความเข้มข้นสารละลายอิเล็กโตรไลต์	44
4	หมายเลขตัวอย่างและค่าตัวแปรหลักที่ใช้ในการทดลองเมื่อแปรผันค่าความต่างศักย์	45
5	หมายเลขตัวอย่างและค่าตัวแปรหลักที่ใช้ในการทดลองเมื่อแปรผันระยะเวลา	46
6	ปริมาณทองแดงที่ดูดซับได้โดยถ่านกัมมันต์ 1 กรัม	51
7	ผลการทดลองปริมาณ Cu ที่บริเวณขั้วแคโทด ขั้วแอโนดและ Cu^{+} ที่อยู่ในสารละลาย เมื่อแปรผันค่า pH	53
8	ค่า pH น้ำหนักถ่านกัมมันต์ และน้ำหนักแท่งคาร์บอนภายหลังการทดลองเมื่อแปรผันค่า pH	53
9	ผลการทดลองปริมาณ Cu ที่บริเวณขั้วแคโทด ขั้วแอโนดและ Cu^{+} ที่อยู่ในสารละลาย เมื่อแปรผันความเข้มข้นอิเล็กโตรไลต์	58
10	ค่า pH น้ำหนักถ่านกัมมันต์ และน้ำหนักแท่งคาร์บอนภายหลังการทดลองเมื่อแปรผันความเข้มข้นอิเล็กโตรไลต์	58
11	ผลการทดลองปริมาณ Cu ที่บริเวณขั้วแคโทด ขั้วแอโนดและ Cu^{+} ที่อยู่ในสารละลาย เมื่อแปรผันค่าความต่างศักย์	62
12	ค่า pH น้ำหนักถ่านกัมมันต์ และน้ำหนักแท่งคาร์บอนภายหลังการทดลองเมื่อแปรผันค่าความต่างศักย์	63
13	ผลการทดลองปริมาณ Cu ที่บริเวณขั้วแคโทด ขั้วแอโนดและ Cu^{+} ที่อยู่ในสารละลาย เมื่อแปรผันระยะเวลา	69
14	ค่า pH น้ำหนักถ่านกัมมันต์ และน้ำหนักแท่งคาร์บอนภายหลังการทดลองเมื่อแปรผันระยะเวลา	70

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก1	ตารางแสดงผลของปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีเมื่อแปรผันค่า pH	87
ก2	ตารางแสดงผลของปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีเมื่อแปรผัน ความเข้มข้นสารละลายอิเล็กโทรไลต์	89
ก3	ตารางแสดงผลของปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีเมื่อแปรผันความต่างศักย์	91
ก4	ตารางแสดงผลของปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีเมื่อแปรผันระยะเวลา	93

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ค่าความเข้มข้นของโลหะที่ละลายในน้ำเสียที่มีค่าความเป็นกรด – เบส ต่างๆ	7
2	กลไกการดูดซับ	14
3	ไอโซเทอมของการดูดซับ	15
4	กระบวนการไฟฟ้าเคมี	26
5	(a) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์กับเวลาในการควบคุมศักย์ไฟฟ้าคงที่ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้ากับเวลาในการควบคุมศักย์ไฟฟ้าคงที่	27
6	(a) ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้ากับเวลาในการควบคุมกระแสไฟฟ้าคงที่ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์กับเวลาในการควบคุมกระแสไฟฟ้าคงที่	28
7	การถ่ายโอนมวลสารในสารละลาย	30
8	การเปรียบเทียบค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของแต่ละธาตุ	31
9	กระบวนการทางไฟฟ้าเคมีขณะทำปฏิกิริยา	39
10	ระบบของกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี	40
11	ขั้นตอนการวิจัย	48
12	ความเข้มข้นของทองแดงที่เหลืออยู่ในสารละลาย CuSO_4	52
13	การเปลี่ยนแปลงปริมาณทองแดงที่ออกจากขั้วแอโนด และที่เกาะขั้วแคโทด เมื่อแปรผันค่า pH	55
14	ความเข้มข้นของทองแดงที่เปลี่ยนแปลงเมื่อแปรผันค่า pH	56
15	เปรียบเทียบค่า pH ก่อนและหลังการทดลองเมื่อแปรผันค่า pH	56
16	เปรียบเทียบน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ก่อนและหลังการทดลองเมื่อแปรผันค่า pH	57
17	น้ำหนักของแท่งคาร์บอนที่เปลี่ยนแปลงภายหลังกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี เมื่อแปรผันค่า pH	57
18	การเปลี่ยนแปลงปริมาณทองแดงที่ออกจากขั้วแอโนด และที่เกาะขั้วแคโทด เมื่อแปรผันความเข้มข้นสารละลายอิเล็กโทรไลต์	60
19	ความเข้มข้นของทองแดงที่เปลี่ยนแปลงเมื่อแปรผันความเข้มข้นสารละลาย อิเล็กโทรไลต์	60

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
20	เปรียบเทียบค่า pH ก่อนและหลังการทดลองเมื่อแปรผันความเข้มข้นสารละลายอิเล็กโทรไลต์	61
21	เปรียบเทียบน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ก่อนและหลังการทดลองเมื่อแปรผันความเข้มข้นสารละลายอิเล็กโทรไลต์	61
22	น้ำหนักของแท่งคาร์บอนที่เปลี่ยนแปลงภายหลังกระบวนการทางไฟฟ้าเคมีเมื่อแปรผันความเข้มข้นสารละลายอิเล็กโทรไลต์	62
23	แท่งคาร์บอนที่ผ่านกระบวนการทางไฟฟ้าเคมีที่ความต่างศักย์ต่างๆ	64
24	น้ำหนักของขั้วแคโทดที่เปลี่ยนแปลงเมื่อแปรผันค่าความต่างศักย์	66
25	การเปลี่ยนแปลงปริมาณทองแดงที่ออกจากขั้วแอโนด และเกาะที่ขั้วแคโทดเมื่อแปรผันค่าความต่างศักย์	66
26	ความเข้มข้นของทองแดงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์เมื่อแปรผันค่าความต่างศักย์	67
27	เปรียบเทียบค่า pH ก่อนและหลังการทดลองเมื่อแปรผันค่าความต่างศักย์	67
28	เปรียบเทียบน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ก่อนและหลังการทดลองเมื่อแปรผันค่าความต่างศักย์	68
29	น้ำหนักของแท่งคาร์บอนที่เปลี่ยนแปลงภายหลังกระบวนการทางไฟฟ้าเคมีเมื่อแปรผันค่าความต่างศักย์	68
30	การเปลี่ยนแปลงปริมาณทองแดงที่ออกจากขั้วแอโนด และที่เกาะขั้วแคโทดเมื่อแปรผันระยะเวลา	72
31	ความเข้มข้นของทองแดงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อแปรผันระยะเวลา	72
32	เปรียบเทียบค่า pH ก่อนและหลังการทดลองเมื่อแปรผันระยะเวลา	73
33	เปรียบเทียบน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ก่อนและหลังการทดลองเมื่อแปรผันระยะเวลา	73
34	น้ำหนักของแท่งคาร์บอนที่เปลี่ยนแปลงภายหลังกระบวนการทางไฟฟ้าเคมีเมื่อแปรผันระยะเวลา	74

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
35	เปรียบเทียบประสิทธิภาพของ GAC ในสถานะเดิมกับสถานะที่นำโลหะทองแดงออกจาก GAC แล้ว	75

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	แอมแปร์
Ag^+	เงินประจุ 1+
ASD	แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร
ASF	แอมแปร์ต่อตารางฟุต
Cl^-	คลอไรด์ไอออน
cm^2	ตารางเซนติเมตร
cm^3	ลูกบาศก์เซนติเมตร
Cu	โลหะทองแดง
CuSO_4	คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper Sulfate)
Cu^+	ทองแดงประจุ 1+ (Cuprous)
Cu^{2+}	ทองแดงประจุ 2+ (Cupric)
Dm^2	ตารางเดซิเมตร
e^-	อิเล็กตรอน
E^0	ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน
ft^2	ตารางฟุต
g	กรัม
GAC	ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular Activated Carbon)
H	ไฮโดรเจน
H_2SO_4	กรดซัลฟิวริก
HCl	กรดไฮโดรคลอริก
H^+	ไฮโดรเจนไอออน
KNO_3	โพแทสเซียมไนเตรท
l	ลิตร
lb	ปอนด์
mg	มิลลิกรัม
NaCl	โซเดียมคลอไรด์
Na_2SO_4	โซเดียมซัลเฟต
Ni	โลหะนิกเกิล

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

Ni^{2+}	นิกเกิลประจุ 2+
O_2	ก๊าซออกซิเจน
OH^-	ไฮดรอกไซด์ไอออน
PAC	ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder Activated Carbon)
ppm	หนึ่งในล้านส่วน (Part per Million)
SO_4^{2-}	ซัลเฟตไอออน
t	เวลา
V	ปริมาตร
\$	เงินเหรียญสหรัฐอเมริกา
μm	ไมโครเมตร