สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
ขอบเขตการวิจัย	3
การตรวจเอกสาร	5
เหล็ก	5
ออกไซด์ของโลหะไฮดรัส	15
แคดเมียม	19
การดูดซับ	33
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	52
อุปกรณ์และวิธีการ	61
อุปกรณ์	61
สารเคมีและตัวอย่างที่ใช้ในการทำวิจัย	65
วิธีการ	66
ผลและวิจารณ์	75
สรุป	101
ข้อเสนอแนะ	103
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	104
ภาคผนวก	111

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงคุณสมบัติของเหล็กบริสุทธิ์	5
2	แสดงสินแร่เหล็กที่พบในธรรมชาติและปริมาณเหล็กที่เจือปนอยู่	6
3	อากาศเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมผลิตเหล็กครบวงจร	13
4	น้ำเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมผลิตเหล็กครบวงจร	14
5	สมการดูดซับของ Surface Complexation	18
6	แสดงคุณสมบัติโดยทั่วไปของแคดเมียม	20
7	สารประกอบแคดเมียมต่างๆที่ใช้ในด้านอุตสาหกรรม	25
8	ค่าประมาณปริมาณแคดเมียมที่ปนเปื้อนสู่บรรยากาศและมหาสมุทร	26
9	มาตรฐานค่าความเข้มข้นของแคดเมียมที่ยอมให้มีในสิ่งแวดล้อม	28
10	ข้อแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี	36
11	คุณลักษณะของเหล็กออกไซด์จากผลพลอยได้จากโรงงานเหล็ก	54
12	วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในการทดลอง	74
13	องค์ประกอบทางเคมีของเหล็กออกไซด์ วิเคราะห์โดยเครื่อง XRF	77
14	การคายซับแคดเมียมไอออน (II) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 2.8 มก./ล.ด้วยน้ำกลั่นและสารละลายพีเอช 5	86
15	ปริมาณน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีความเข้มข้นแคดเมียมไอออน(II) ที่เหลืออยู่ไม่เกินเกณฑ์กำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม น้ำหนักเหล็กออกไซด์ที่ใช้ และปริมาณแคดเมียมไอออน (II) ที่ถูกดูดซับไว้บนเหล็กออกไซด์ (X/M) จนถึงจุดเบรคทรูจ์ของแคดเมียมไอออน(II) ที่ความสูงของเหล็กออกไซด์ต่างๆ	92
16	แสดงเวลาใช้งานของคอลัมน์ดูดซับที่บรรจุด้วยเหล็กออกไซด์ความสูงต่างๆในการดูดซับแคดเมียมในสารละลาย ที่อัตราการกรอง 0.3 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.	94
17	ผลการคำนวณระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ระดับความสูงของเหล็กออกไซด์ระดับต่างๆ	95

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
18	แสดงค่าคงที่ N_0 และค่า K จากการคำนวณตามสมการ Bohart-Adams ของเหล็กออกไซด์ในการดูดซับแคดเมียมไอออน (II) ในสารละลายที่อัตราการกรอง 0.3 ลบ.ม/ตร.ม-ชม. ที่อุณหภูมิ 30.9 องศาเซียส	96
19	การคำนวณค่าใช้จ่ายในการบำบัดแคดเมียมไอออน (II) ในสารละลายโดยการดูดซับด้วยเหล็กออกไซด์	98

ตารางผนวกที่

ง1	ผลการทดลองหาพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดแคดเมียมไอออน(II) โดยเหล็กออกไซด์เป็นตัวดูดซับ	121
ง2	ผลการทดลองทดสอบว่าแคดเมียมไอออน (II) จะตกตะกอนหรือไม่ โดยไม่มีการเติมเหล็กออกไซด์ Cd^{+2} เริ่มต้น เท่ากับ 3.0 มก./ล. และปริมาณแคดเมียม 100 มล. ทดลองที่พีเอช 2, 5, 7 และ 9	121
ง3	ผลการทดลองหาเวลาที่เข้าสู่สมดุลในการดูดซับแคดเมียมไอออน(II) โดยเหล็กออกไซด์เป็นตัวดูดซับ	122
ง4	ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ของเหล็กออกไซด์ที่มีอนุภาคขนาด 0.4-0.8 มม. ในการดูดซับแคดเมียม (Cd^{2+} เริ่มต้น = 2.4 มก./ล.) ที่ระยะเวลาสัมผัส 2 ชั่วโมง	124
ง5	ผลการทดลองการคายซับแคดเมียมไอออน(II) ด้วยน้ำกลั่นและสารละลายพีเอช 5 (Cd^{2+} เริ่มต้น = 2.8 มก./ล. และแคดเมียมที่เหลืออยู่ก่อนนำเหล็กออกไซด์ ไปทดสอบน้ำกลั่นและสารละลายกรดพีเอช 5 เท่ากับ 2.370 มก./ล.)	125
จ1	ผลการทดลองประสิทธิภาพการดูดซับโดยใช้เหล็กออกไซด์เป็นตัวดูดซับที่มีอนุภาคขนาด 0.4-0.8 มม. และอัตราการกรอง 0.3 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.	127
จ2	ผลการทดลองค่าพีเอชหลังการดูดซับ โดยใช้เหล็กออกไซด์เป็นตัวดูดซับที่มีอนุภาคขนาด 0.4-0.8 มม. ที่ค่าพีเอชเริ่มต้น 9 และอัตราการกรอง 0.3 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.	131

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
จ3	ผลการทดลองอุณหภูมิของน้ำตัวอย่างหลังการดูดซับโดยใช้เหล็กออกไซด์เป็นตัวดูดซับที่มีอนุภาคขนาด 0.4-0.8 มม. ที่ค่าพีเอชเริ่มต้น 9 และอัตราการกรอง 0.3 ลบ.ม./ตร.ม.- ชม.	134
ฉ1	การคำนวณราคาตัวดูดซับและการคัดแยกขนาดที่ใช้ในการทดลอง	142
ฉ2	การคำนวณค่าใช้จ่ายในการบำบัดแคดเมียมไอออน (II) ในสารละลายโดยการดูดซับด้วยเหล็กออกไซด์	143
ฉ3	การคำนวณค่าใช้จ่ายในการบำบัดแคดเมียมไอออน(II) ในสารละลายโดยการดูดซับด้วยเหล็กออกไซด์ (รวมราคาการคัดแยกเหล็กออกไซด์)	144

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงเหล็กที่ละลายอยู่ในน้ำ	7
2	ความสามารถในการละลาย (Solubility) ของเหล็กที่พีเอช (pH) ของน้ำต่างๆ กัน	8
3	โครงสร้างการผลิตของอุตสาหกรรมเหล็ก	9
4	ขั้นตอนการผลิตเหล็กรีดร้อน	12
5	แสดงขอบเขตสถานะของแคดเมียมในน้ำที่มีซัลเฟอร์และคาร์บอเนต	23
6	ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของการดูดซับ	34
7	สารประกอบเชิงซ้อนของแคดเมียมในสารละลายพีเอชต่างๆ	38
8	ผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับของแคดเมียมไอออนบนถ่านกัมมันต์	39
9	กราฟแสดงการหาค่าคงที่ในสมการไอโซเทอมในรูปแบบต่างๆ	44
10	การเคลื่อนตัวของ Adsorption Zone สำหรับชั้นตัวดูดซับที่อยู่กับที่ ตามทิศทางการไหลของน้ำเสีย	48
11	ลักษณะของเส้นโค้งเบรคทรูจ์สำหรับชั้นตัวดูดซับที่อยู่กับที่ ตามทฤษฎี	49
12	กราฟแสดง (ก) อาร์ซีเนท (As^{+5}) และ (ข)อาร์ซีไนท์ (As^{+3}) ที่เหลืออยู่ที่เวลาต่างๆ	56
13	ไอโซเทอมของการดูดซับของดินผสมเหล็กออกไซด์ที่สัดส่วน 2:1 อุณหภูมิ 28$\pm$1 องศาเซลเซียส	56
14	เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนแสงยูวีของเหล็กออกไซด์	57
15	ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ดูดกลืนแสงยูวี กับเปอร์เซ็นต์กำจัดซีโอดี หรือดีโอซี	57
16	การทดลองใช้อนุภาคแมกนีไทต์และสนามแม่เหล็กแยกเฟอร์ริกไฮดรัส จากน้ำเสีย	58
17	ประสิทธิภาพการกำจัดเฟอร์ริไฮดรัสโดยใช้สนามแม่เหล็กขนาด 6900 G.	59
18	แผนภาพการทำงานของคอลัมน์ดูดซับ	63
19	คอลัมน์ดูดซับที่ใช้ในการทดลอง	64
20	ลักษณะทางกายภาพของเหล็กออกไซด์ที่ใช้ในการทดลอง ขนาด 0.4-0.8 มม. ในสภาพก่อนการดูดซับ (ก) และหลังการดูดซับ (ข)	65

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
21	การศึกษาทดลองแบบไม่ต่อเนื่องในการหาระยะเวลาการดูดซับที่เข้าสู่สมดุลด้วย เครื่องเขย่าและการวัดค่าพีเอช สารละลายตัวอย่างใสโดยเครื่องวัดพีเอชมิเตอร์	67
22	แผนผังการทดลองเพื่อศึกษาหาระดับพีเอชที่เหมาะสม	68
23	แผนผังการทดลองเพื่อศึกษาหาเวลาที่เข้าสู่สมดุลดูดซับ	70
24	แผนผังการศึกษา Adsorption Isotherm ของเหล็กออกไซด์	71
25	แผนผังการทดลองศึกษาการคายออกแคดเมียมด้วยน้ำกลั่นและสารละลายกรดพีเอช 5	73
26	ภาพถ่าย SEM ของเหล็กออกไซด์ก่อน (ก)และหลังการดูดซับ(ข) ที่กำลังขยาย 4,500 เท่า	76
27	การตรวจสอบลักษณะของเหล็กออกไซด์ก่อนทำปฏิกิริยากับแคดเมียม ด้วยเครื่อง SEM-EDS	79
28	การตรวจสอบลักษณะของเหล็กออกไซด์หลังทำปฏิกิริยากับแคดเมียมด้วยเครื่อง SEM-EDS	79
29	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของสารละลายเริ่มต้นกับประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมไอออน (II) ด้วยเหล็กออกไซด์ที่มีอนุภาคขนาด 0.4-0.8 มิลลิเมตร	82
30	ผลความเข้มข้นของแคดเมียมไอออน (II) ที่เกิดขึ้นที่พีเอชต่างๆ โดยไม่มีการเติมเหล็กออกไซด์	83
31	ผลของเวลาเข้าสู่สมดุลการดูดซับแคดเมียมไอออน (II) ปริมาณ 100 มล.โดยใช้เหล็กออกไซด์น้ำหนัก 1 กรัม ขนาดอนุภาค 0.4- 0.8 มิลลิเมตร เป็นตัวดูดซับ	84
32	ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมไอออน(II) กับเวลาในการกำจัดที่ความสูงของเหล็กออกไซด์ 20 เซนติเมตร	87
33	ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมไอออน(II) กับเวลาในการกำจัดที่ความสูงของเหล็กออกไซด์ 50 เซนติเมตร	88
34	ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมไอออน(II) กับเวลาในการกำจัดที่ความสูงของเหล็กออกไซด์ 80 เซนติเมตร	88

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
35	ความเข้มข้นของแคดเมียมไอออน(II) ที่เหลือกับเวลาการใช้งานที่ความสูงของเหล็กออกไซด์ 20 เซนติเมตร	89
36	ความเข้มข้นของแคดเมียมไอออน(II) ที่เหลือกับเวลาการใช้งานที่ความสูงของเหล็กออกไซด์ 50 เซนติเมตร	89
37	ความเข้มข้นของแคดเมียมไอออน(II) ที่เหลือกับเวลาการใช้งานที่ความสูงของเหล็กออกไซด์ 80 เซนติเมตร	90
38	เวลาใช้งานและปริมาณน้ำที่ผ่านการบำบัดจนถึงจุดเบรคทรูจ์ของแคดเมียมไอออน(II) ที่ความสูงของเหล็กออกไซด์ต่างๆ	93
39	กราฟแสดงความเข้มข้นของแคดเมียมไอออน(II) ที่เหลือหลังการกำจัดโดยใช้คอลัมน์ดูดซับที่บรรจุเหล็กออกไซด์ความสูงต่างๆ (20 ซม. 50 ซม. และ 80 ซม.) ที่อัตราการกรอง 0.3 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.	94
40	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของเหล็กออกไซด์กับระยะเวลาเก็บกักน้ำในการดูดซับแคดเมียมไอออน (II) ในสารละลาย ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 2.8 มก./ล. (C_o) จนกระทั่งมีค่าความเข้มข้นแคดเมียมไอออน(II) ที่เหลืออยู่เท่ากับ 0.03 มก./ล. (C_e) และอัตราการกรอง 0.3 ลบ.ม./ตร.ม-ชม.	95
41	ค่าใช้จ่ายต่อปริมาตรน้ำทิ้งในการกำจัดแคดเมียมไอออน(II) ความเข้มข้นเริ่มต้น 2.8 มก./ล. ด้วยเหล็กออกไซด์ ขนาด 0.4-0.8 มม. และอัตราการกรอง 0.3 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.	100
42	ค่าใช้จ่ายในการดูดซับแคดเมียมไอออน (II) ความเข้มข้นเริ่มต้น 2.8 มก./ล. ด้วยเหล็กออกไซด์ ขนาด 0.4-0.8 มม. และอัตราการกรอง 0.3 ลบ.ซม./ตร.ม.-ซม.	100

ภาพผนวกที่

ข1	การตรวจสอบลักษณะของเหล็กออกไซด์ก่อนทำปฏิกิริยากับแคดเมียมไอออน(II) ด้วยเครื่อง SEM-EDS	116
ข2	การตรวจสอบลักษณะของเหล็กออกไซด์หลังทำปฏิกิริยากับแคดเมียมไอออน(II) ด้วยเครื่อง SEM-EDS	116