การกำจัดแคดเมียมและนิกเกิลจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยซิลิกาเจลที่ใช้แล้วเคลือบด้วยเหล็กออกไซด์

นางสาวณัชนิชา แพอ่อน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-14-2277-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

17 มิ.ย. 2550
I22236877X

REMOVAL OF CADMIUM AND NICKEL FROM SYNTHETIC WASTEWATER BY IRON OXIDE - COATED WASTE SILICA GEL

Miss Nuchnicha Phaeon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science

(Inter-Department)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 974-14-2277-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำจัดแคดเมียมและนิกเกิลจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยซิลิกาเจลที่ใช้แล้วเคลือบด้วยเหล็กออกไซด์
โดย	นางสาวณัชนิชา แพอ่อน
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เฟื่องฟ้า อุ่นอบ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ม.ร.ว.กัลยา ติงศภัทิย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เฟื่องฟ้า อุ่นอบ)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เพ็งปรีชา)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พลกฤษณ์ แสงวณิช)

ณัชนิชา แพอ่อน : การกำจัดแคดเมียมและนิกเกิลจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยซิลิกาเจลที่ใช้แล้วเคลือบด้วยเหล็กออกไซด์ (REMOVAL OF CADMIUM AND NICKEL FROM SYNTHETIC WASTEWATER BY IRON OXIDE - COATED WASTE SILICA GEL) อาจารย์ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เฟื่องฟ้า อุ่นอบ ; 94 หน้า. ISBN 974-14-2277-6

ตัวดูดซับที่นำมาศึกษาได้จากการเตรียมซิลิกาเจลที่ใช้แล้วเคลือบเหล็กออกไซด์ซึ่งพบว่ามีความ สามารถในการกำจัดโลหะสูงกว่าซิลิกาเจลที่ไม่ได้เคลือบ เมื่อนำซิลิกาเจลที่ใช้แล้วจากต่างห้องปฏิบัติการมาเคลือบด้วยเหล็กออกไซด์ พบว่าสามารถกำจัดแคดเมียมได้อยู่ในช่วง 3.45 – 3.73 มิลลิกรัมต่อซิลิกาเจลหนึ่งกรัม และกำจัดนิกเกิลได้อยู่ในช่วง 3.01 – 3.32 มิลลิกรัมต่อซิลิกาเจลหนึ่งกรัม โดยภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดแคดเมียมและนิกเกิล คือ ใช้ระยะเวลาในการสัมผัสนาน 30 นาที และพีเอชของสารละลายโลหะในช่วง 4.0 – 8.0 โดยที่พีเอช 7.0 สามารถกำจัดแคดเมียมได้มากที่สุดเท่ากับ 3.93 มิลลิกรัมต่อหนึ่งกรัมตัวดูดซับ และที่พีเอช 8.0 สามารถกำจัดนิกเกิลได้มากที่สุดเท่ากับ 3.61 มิลลิกรัมต่อหนึ่งกรัมตัวดูดซับ ซึ่งเมื่อพีเอชของสารละลายโลหะเท่ากับ 2 หรือต่ำกว่า เหล็กออกไซด์ที่เคลือบอยู่บนผิวของตัวดูดซับจะถูกชะละลายให้ปนเปื้อนออกมาในสารละลายได้ และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความสามารถในการกำจัดแคดเมียมและนิกเกิลได้มากขึ้น และการเติมเกลือโซเดียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรด และโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.01 โมลต่อลิตรขึ้นไปในสารละลายโลหะจะส่งผลให้ตัวดูดซับสามารถกำจัดแคดเมียมและนิกเกิลได้น้อยลง โดย Cl^- จะทำให้ความสามารถในการกำจัดแคดเมียมและนิกเกิลลดลงมากกว่า NO_3^- และ K^+ จะทำให้ความสามารถในการกำจัดแคดเมียมและนิกเกิลลดลงมากกว่า Na^+ และเมื่ออยู่ในภาวะที่มีแคดเมียม นิกเกิล ตะกั่ว และทองแดงผสมกัน ตัวดูดซับมีความสามารถในการกำจัดทองแดงได้มากกว่า ตะกั่ว นิกเกิล และแคดเมียม ตามลำดับ โดยการดูดซับแคดเมียมและนิกเกิลที่เกิดขึ้นเป็นไปตามความสัมพันธ์ของไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนด์ลิช และประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียจริงที่มีแคดเมียมที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35.21 มิลลิกรัมต่อลิตร และนิกเกิลที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 42.46 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้เท่ากับ 84.52 และ 61.55 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

สหสาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2548 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

4689121720: MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEY WORD: IRON – OXIDE COATED WASTE SILICA GEL / ADSORPTION / CADMIUM / NICKEL
NUCHNICHA PHAEON: REMOVAL OF CADMIUM AND NICKEL FROM SYNTHETIC WASTEWATER BY IRON OXIDE - COATED WASTE SILICA GEL.
THESIS ADVISOR: FUANGFA UNOB, Ph.D., 94 pp. ISBN 974-14-2277-6

In this study, adsorbent was prepared from waste silica gel by coating with iron oxide. The coated silica gels showed higher metal adsorption capacity than the uncoated waste. The adsorbents prepared from waste silica gel of different sources had adsorption capacity in the range of 3.45 – 3.73 and 3.01 – 3.32 mg/g silica gel for Cd and Ni, respectively. In the study of metal removal using the adsorbent, the effect of contact time, pH and temperature of solution were investigated. The contact time of 30 minutes was chosen and used in adsorption experiments. Cd and Ni could be adsorbed on the adsorbent between pH 4 - 7. The maximum adsorption capacity of Cd attained at pH 7 was 3.93 mg/g silica gel and the maximum adsorption capacity of Ni at pH 8 was 3.61 mg/g silica gel. When the pH of metal solution is 2 or lower, the solubilization of iron oxide coating was observed. When temperature of metal solutions increased, the adsorption capacity of Cd and Ni also increased. The presence of $NaNO_3$, KNO_3 and NaCl in metal solution in the level of 0.01 M or higher could reduce the adsorption capacity of Cd and Ni. Cl^- caused higher degree of reduction in adsorption capacity than NO_3^- did. Moreover, K^+ caused higher degree of reduction in adsorption capacity than Na^+ did. In solutions containing a mixture of Cd, Ni, Pb and Cu, the order of adsorption capacity observed was Cu > Pb > Ni > Cd. The adsorption isotherm of Cd and Ni were defined by the function of Freundlich. The %removal of Cd and Ni from real wastewater having initial concentration of 35.21 mg/L for Cd and 42.46 mg/L for Ni were 84.52 % and 61.55%, respectively.

Field of study..Environmental Science (Inter-Department). Student's signature..Nuchnicha Phaeon.
Academic year.....2005..... Advisor's signature.....Fuangfa Unob.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เฟื่องฟ้า อุ่นอบ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ในการให้คำปรึกษา แนะนำ และแก้ไขรายละเอียดต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง รวมทั้งขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ รองศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เพ็งปรีชา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พลกฤษณ์ แสงวณิช ที่กรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์พร้อมทั้งให้คำแนะนำในการเขียนวิทยานิพนธ์ครั้งนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ และสมาชิกในกลุ่ม Environmental Analysis Research Group ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำและเป็นกำลังใจเป็นอย่างดีมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย และสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่ให้ความอนุเคราะห์ทุนอุดหนุนในการทำวิจัย รวมทั้งศูนย์เครื่องมือ และวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้ความอนุเคราะห์และให้คำแนะนำในการวิเคราะห์สารตัวอย่าง

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และสมาชิกในครอบครัวที่เป็นกำลังใจและสนับสนุนในด้านการศึกษาวิจัยเป็นอย่างดีโดยตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญรูป ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตการศึกษา 2

1.4 วิธีดำเนินการศึกษา 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร 6

2.1ซิลิกาเจล 6

2.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี 6

2.1.2 ลักษณะพื้นผิวของซิลิกาเจล 7

2.1.3 ประโยชน์ของซิลิกาเจล 8

2.2 เหล็ก 8

2.2.1 เหล็กในสิ่งแวดล้อม 8

2.2.2 ความสามารถในการละลายและการตกตะกอนของเหล็ก 10

2.2.3 เหล็กออกไซด์ 12

2.2.4 การเกิดปฏิกิริยาบนผิวสัมผัสของสารละลายออกไซด์ 12

2.3 โลหะหนัก 14

2.4 แคดเมียม 14

2.4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี 14

2.4.2 การนำไปใช้ประโยชน์ 15

2.4.3 ความเป็นพิษของแคดเมียม 17

หน้า

2.5 นิกเกิล. 19
2.5.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี..... 19
2.5.2 การนำไปใช้ประโยชน์..... 19
2.5.3 ความเป็นพิษของนิกเกิล..... 22
2.6 การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย..... 23
2.6.1 การตกตะกอนเคมี..... 23
2.6.2 การแลกเปลี่ยนไอออน..... 26
2.6.3 การรีเวิร์สออสโมซิส..... 26
2.6.4 การออกซิเดชันและรีดักชัน..... 26
2.6.5 การสกัดกลับคืนด้วยไฟฟ้า..... 27
2.6.6 การระเหย..... 27
2.6.7 การอิเลกโตรไดอะไลซิส..... 27
2.6.8 การดูดซับ..... 28
2.6.8.1 หลักการดูดซับ..... 28
2.7 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 40
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการทดลอง..... 46
3.1 ขั้นตอนการทดลอง..... 46
3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี..... 46
3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์..... 46
3.2.2 สารเคมี..... 47
3.3 วิธีดำเนินการทดลอง..... 48
3.3.1 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมซิลิกาเจล
เคลือบด้วยเหล็กออกไซด์ 48
3.3.2 ศึกษาลักษณะและคุณสมบัติของซิลิกาเจลเคลือบเหล็กออกไซด์..... 48
3.3.3 ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก
ของซิลิกาเจลที่มาจากต่างห้องปฏิบัติการ..... 50
3.3.4 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนัก..... 50
3.3.4.1 ระยะเวลาในการสัมผัส..... 50
3.3.4.2 พีเอชและการชะละลายของเหล็ก..... 51

หน้า

3.3.4.3 อุณหภูมิ 51
3.3.4.4 แคทไอออนและแอนไอออนร่วมในสารละลาย 51
3.3.5 ศึกษาความสามารถในการกำจัดเมื่อสารละลายเป็นโลหะผสม 52
3.3.6 ศึกษาการนำกลับมาใช้ซ้ำในรอบที่ 2, 3 52
3.3.7 ศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับโลหะ 53
3.3.8 ทดสอบกับน้ำเสียจริง 53
3.3.9 ศึกษาผลของ pH ต่อการชะออกของโลหะหนักจากซิลิกาเจลเคลือบเหล็กออกไซด์ที่จับโลหะแล้ว 54
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ 55
4.1 ผลการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมซิลิกาเจลเคลือบเหล็กออกไซด์ 55
4.1.1 ผลการศึกษาพื้นผิว ขนาดรูพรุน ปริมาตรรูพรุนและปริมาณเหล็กของซิลิกาเจลที่เคลือบและไม่เคลือบเหล็กออกไซด์ 55
4.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโลหะจากซิลิกาเจลที่มาจากต่างห้องปฏิบัติการ 58
4.3 ผลการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนักด้วยซิลิกาเจลเคลือบเหล็กออกไซด์ 61
4.3.1 ระยะเวลาในการสัมผัส 61
4.3.2 พีเอชของสารละลายและผลต่อการชะละลายของเหล็กขณะใช้กำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย 62
4.3.3 อุณหภูมิของสารละลาย 64
4.3.4 ผลของแคทไอออนและแอนไอออนในน้ำเสีย 65
4.4 ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดโลหะเมื่อในน้ำเสียมีโลหะผสมหลายชนิด 69
4.5 ผลการศึกษาการนำซิลิกาเจลเคลือบเหล็กออกไซด์มาใช้รอบ 2, 3 70
4.6 ผลการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับโลหะ 71
4.7 ผลการทดสอบกับน้ำเสียจริง 78
4.8 ผลการศึกษา pH ต่อการชะออกของโลหะจากซิลิกาเจลเคลือบเหล็กออกไซด์ 79
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 81
5.1 สรุปผลการวิจัย 81
5.2 ข้อเสนอแนะ 83

หน้า

รายการอ้างอิง..... 84
ภาคผนวก..... 88
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 94

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ค่าคงที่ในการละลายของสารประกอบของเหล็ก..... 11
3.1 การวิเคราะห์ลักษณะและคุณสมบัติของซิลิกาเจลเคลือบเหล็กออกไซด์..... 49
4.1 พื้นที่ผิว ขนาดรูพรุน ปริมาตรรูพรุน และปริมาณเหล็กของซิลิกาเจล..... 55
4.2 ความสามารถในการกำจัดแคดเมียมและนิกเกิลจากน้ำเสียสังเคราะห์ของสารดูดซับ
ชนิดต่างๆ..... 60
4.3 เปอร์เซ็นต์การดูดซับที่ลดลงของนิกเกิลและแคดเมียมเมื่อมีเกลือต่างๆในสารละลาย..... 67
4.4 เปอร์เซ็นต์การดูดซับแคดเมียมที่ลดลงเมื่อมีเกลือต่างๆในสารละลาย..... 67
4.5 เปอร์เซ็นต์การดูดซับนิกเกิลที่ลดลงเมื่อมีเกลือต่างๆในสารละลาย..... 68
4.6 ความสามารถในการกำจัดแคดเมียมและนิกเกิลเมื่อนำกลับมาใช้ซ้ำ..... 70
4.7 การดูดซับแคดเมียมและนิกเกิลจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นต่างๆ..... 71
4.8 ค่าคงที่ในการดูดซับแคดเมียมและนิกเกิลจากสมการของฟรุนด์ลิช..... 77
4.9 ความสามารถและประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมและนิกเกิลจากน้ำเสียจริง
ด้วยซิลิกาเจลเคลือบเหล็กออกไซด์..... 78
4.10 การชะออกของโลหะหนักจากซิลิกาเจลเคลือบเหล็กออกไซด์ที่จับโลหะแล้ว..... 79

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ลักษณะโครงสร้างของซิลิกาเจล 7

2.2 p*E*/pH ไดอะแกรมของเหล็ก 11

2.3 การดูดซับ ดูดซึม และการตกตะกอนของสังกะสีบนผิวของเหล็กออกไซด์ 13

2.4 การดูดซับแคทไอออนและแอนไอออนบริเวณผิวของไฮเดรตเหล็ก(III) ออกไซด์ 13

2.5 การตกตะกอนของโลหะหนักในรูปไฮดรอกไซด์และซัลไฟด์ 25

2.6 ขั้นตอนการดูดซับที่ผิวของตัวดูดซับที่มีรูพรุน 32

2.7 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตามแบบจำลองการดูดซับแบบแลงเมียร์ 34

2.8 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตามแบบจำลองการดูดซับแบบฟรุนด์ลิช 35

2.9 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตามแบบจำลองการดูดซับแบบ BET 36

2.9 แบบจำลองไอโซเทอมของการดูดซับแบบต่างๆ 36

3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการเตรียมซิลิกาเจลเคลือบเหล็กออกไซด์ 48

3.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการย่อยซิลิกาเจลเคลือบเหล็กออกไซด์ด้วยกรด HF เพื่อหาปริมาณเหล็ก 49

4.1 พื้นผิวของซิลิกกาเจลที่ไม่ได้เคลือบเหล็กออกไซด์ (กำลังขยาย 200 เท่า) 56

4.2 พื้นผิวของซิลิกกาเจลเคลือบเหล็กออกไซด์ (กำลังขยาย 500 เท่า) 57

4.3 พื้นผิวของซิลิกกาเจลเคลือบเหล็กออกไซด์ (กำลังขยาย 1500 เท่า) 57

4.4 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดนิกเกิลระหว่างซิลิกาเจลจากต่างห้องปฏิบัติการที่เคลือบเหล็กออกไซด์กับซิลิกาเจลที่ไม่ได้เคลือบเหล็กออกไซด์ 58

4.5 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดแคดเมียมระหว่างซิลิกาเจลจากต่างห้องปฏิบัติการที่เคลือบเหล็กออกไซด์กับซิลิกาเจลที่ไม่ได้เคลือบเหล็กออกไซด์ 59

4.6 ความสามารถในการกำจัดแคดเมียมและนิกเกิลที่ระยะเวลาการสัมผัสต่างๆ 61

4.7 ความสามารถในการกำจัดแคดเมียมและนิกเกิลในสารละลายที่พีเอชต่างๆ 62

4.8 ปริมาณเหล็กที่ชะละลายออกจากพื้นผิวซิลิกาเจลเคลือบเหล็กออกไซด์ที่พีเอชต่างๆ 64

4.9 ความสามารถในการกำจัดแคดเมียมและนิกเกิลในสารละลายที่อุณหภูมิต่างๆ 65

4.10 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดแคดเมียมในสารละลายโลหะที่มีเกลือ NaCl, $NaNO_3$, KNO_3 ที่ความเข้มข้นต่างๆ 66

4.11 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดนิกเกิลในสารละลายโลหะที่มีเกลือ NaCl, $NaNO_3$, KNO_3 ที่ความเข้มข้นต่างๆ 66

รูปที่ **หน้า**

4.12 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดโลหะในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโลหะผสมหลายชนิดของซิลิกาเจลเคลือบเหล็กออกไซด์..... 69
4.13 สมดุลการดูดซับนิกเกิลตามความสัมพันธ์ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์..... 73
4.14 สมดุลการดูดซับนิกเกิลตามความสัมพันธ์ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนด์ลิช..... 74
4.15 สมดุลการดูดซับแคดเมียมความสัมพันธ์ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์..... 75
4.16 สมดุลการดูดซับแคดเมียมตามความสัมพันธ์ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนด์ลิช..... 76