การสกัดโลหะในน้ำด้วยเฟสของแข็งโดยใช้เมโซพอรัสซิลิกาโดปด้วยพอร์ไฟริน

นางสาวประกายพฤกษ์ บุญเกิด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2547
ISBN 974-53-1245-2
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SOLID-PHASE EXTRACTION OF METAL FROM AQUEOUS SOLUTION USING PORPHYRIN DOPED MESOPOROUS SILICA

Miss Prakaipruek Boonkerd

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Environmental Science (Inter-Department)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-53-1245-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสกัดโลหะในน้ำด้วยเฟสของแข็งโดยใช้เมโซพอรัสซิลิกาโดปด้วยพอร์ไฟริน
โดย	นางสาว ประกายพฤกษ์ บุญเกิด
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. อมราวรรณ อินทศิริ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. อมราวรรณ อินทศิริ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรุณศิริ ชิตางกูร)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ปรีเปรม พัฒนมหกุล)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นางสาว ประกายพฤกษ์ บุญเกิด : การสกัดโลหะในน้ำด้วยเฟสของแข็งโดยใช้เมโซพอรัสซิลิกาโดปด้วยพอร์ไฟริน. (SOLID-PHASE EXTRACTION OF METAL FROM AQUEOUS SOLUTION USING PORPHYRIN DOPED MESOPOROUS SILICA) อ. ที่ปรึกษา : ดร. อมราวรรณ อินทศิริ, 63 หน้า. ISBN 974-53-1245-2

ได้ทำการสังเคราะห์เมโซพอรัสซิลิกาโดปพอร์ไฟรินผ่านกระบวนการโซล-เจล โดยใช้เททระเอทอกซีไซเลน (TEOS) เป็นสารตั้งต้น, CTAB เป็นสารต้นแบบและโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารเร่งปฏิกิริยา โดยมีโมเลกุลพอร์ไฟรินที่ใช้โดปจำนวน 2 ชนิดได้แก่ TPP และ TNPP ซึ่งพบว่าสามารถโดป TPP และ TNPP ลงในซิลิกาได้ 7.1 และ 7.2 μmole ต่อ TEOS 1 mole ตามลำดับ การตรวจสอบทางสัณฐานวิทยาของเมโซพอรัสซิลิกาทั้งสองชนิดด้วยเทคนิค SEM พบว่าซิลิกาที่เตรียมได้มีลักษณะเป็นทรงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.4 μm การศึกษาสมบัติทางกายภาพของเมโซพอรัสซิลิกาโดปด้วยพอร์ไฟรินได้แก่ ความเป็นผลึก, การเป็นเมโซพอรัสและพื้นที่ผิวด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์และการดูดซับไนโตรเจน พบว่า ซิลิกาที่เตรียมได้ทุกชนิดมีพื้นที่ผิวมาก มีปริมาตรของรูพรุนสูงและมีการกระจายของขนาดรูพรุนอยู่ในช่วงแคบ นอกจากนั้น ซิลิกาเหล่านี้เป็นเมโซพอรัสซิลิกาที่มีการจัดเรียงโครงสร้างอย่างเป็นระเบียบ การศึกษาความสามารถในการสกัด Cd(II), Cu(II), Fe(II), Fe(III), Ni(II), Pb(II) และ Zn(II) ของเมโซพอรัสซิลิกาโดปด้วยพอร์ไฟริน พบว่า ปริมาณของโลหะที่สกัดได้ขึ้นอยู่กับการมีเกลือเช่น $NaNO_3$ และ NaCl ผสมอยู่ในสารละลายโลหะ นอกจากนั้น ยังได้ทำการศึกษาถึงผลของปริมาณซิลิกาที่ใช้ในการสกัดและค่า pH เริ่มต้นของสารละลายโลหะที่มีต่อการสกัด Cd(II), Ni(II) และ Pb(II) ด้วย และการคายโลหะทั้งสามชนิดนี้ออกจากซิลิกาสามารถทำได้โดยใช้ 0.1 M HNO_3 เป็นสารคายโลหะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต ประกายพฤกษ์ บุญเกิด

ปีการศึกษา 2547 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

4689102820 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD: MESOPOROUS SILICA / PORPHYRIN / METAL EXTRACTION / SOLID PHASE EXTRACTION

PRAKAIPRUEK BOONKERD : (SOLID-PHASE EXTRACTION OF METAL FROM AQUEOUS SOLUTION USING PORPHYRIN DOPED MESOPOROUS SILICA). THESIS ADVISOR : AMARAWAN INTASIRI Ph.D., 63 pp. ISBN 947-53-1245-2.

Porphyrin doped mesoporous silica were prepared by the sol-gel route using tetraethoxysilane (TEOS) as a silica precursor, cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) as a template and sodium hydroxide as a catalyst. Two types of porphyrin, namely *meso*-tetraphenylporphyrin (TPP) and *meso*-tetrakis(*p*-nitrophenyl)porphyrin (TNPP) were used as doping molecules. The amount of incorporated TPP and TNPP were 7.1 and 7.2 μmole per 1 mole of TEOS, respectively. The morphology studied from SEM technique indicated the spherical particle of mesoporous silica with an average diameter of 0.4 μm. The physical properties of porphyrin doped mesoporous silica such as crystallinity, mesoporosity and surface area were characterized using X-ray diffraction and nitrogen sorption techniques. The results suggested the high surface area, large pore volume and narrow pore size distribution of all materials. In addition, these silica were mesostructure and had good ordered arrangement. The ability of porphyrin doped mesoporous silica to extract Cd(II), Cu(II), Fe(II), Fe(III), Ni(II), Pb(II) and Zn(II) were evaluated. The extent of metal extraction were found to be dependent on the presence of salts including $NaNO_3$ and NaCl, in metal solution. The effect of silica mass and initial pH of metal solution on the extraction of Cd(II), Ni(II) and Pb(II) were also investigated. The desorption of these metals was possible with 0.1 M HNO_3.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Field of study Environmental Science Student's signature Prakaipruek Boonkerd

Academic year 2004 Advisor's signature Intasiri Amarawan

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. อมราวรรณ อินทศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือผู้วิจัยเป็นอย่างดีตลอดการวิจัย รวมถึงให้ความรู้ คำปรึกษาจนกระทั่งการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรุณศิริ ชิตางกูร และ อาจารย์ ดร. ปรีเปรม พัฒนมหกุล ที่ให้ความสนใจและให้เกียรติมาเป็นกรรมการสอบในครั้งนี้ อีกทั้งยังยินดีสละเวลาอันมีค่าในการตรวจทาน แก้ไขและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์สำหรับการปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. รัชฎา บุญเต็ม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่กรุณามอบ TPP และ TNPP สำหรับใช้ในการศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้และขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทความรู้อันมีค่ายิ่งต่อผู้วิจัย ซึ่งทำให้ผู้วิจัยสามารถนำความรู้เหล่านั้น มาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยครั้งนี้อย่างมีประสิทธิภาพ

ขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อนุเคราะห์เครื่องมืออุปกรณ์ และห้องปฏิบัติการในการวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบคุณพี่ๆ ห้องปฏิบัติการ SPE ที่คอยให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำในการแก้ไขปัญหาทุกๆ ด้านด้วยดีเสมอมา

เหนือสิ่งอื่นใดขอขอบพระคุณอย่างสูงต่อบิดา มารดาของผู้วิจัยที่ได้มอบความรักและกำลังใจที่ดีเสมอมาโดยไม่หวังผลตอบแทน ทำให้ผู้วิจัยสามารถผ่านพ้นอุปสรรคได้ด้วยดีจนเสร็จสิ้นการวิจัย

ท้ายนี้ขอขอบคุณสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้ทุนอุดหนุนในการวิจัยครั้งนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญรูป..... ญ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 1

1.2.1. การสกัดด้วยเฟสของแข็ง..... 1

1.2.2. ซิลิกา..... 4

1.2.3. การศึกษาสมบัติทางกายภาพของเมโซพอรัสซิลิกา..... 9

1.2.4. โมเลกุลอินทรีย์ที่ใช้เพิ่มความเฉพาะเจาะจงให้แก่ซิลิกา..... 14

1.2.5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 15

1.2.6. วัตถุประสงค์..... 17

บทที่ 2 การทดลอง..... 18

2.1. เครื่องมือและสารเคมี..... 18

2.1.1. เครื่องมือ..... 18

2.1.2. สารเคมี..... 18

2. 2. วิธีการทดลอง..... 19

2.2.1. การสังเคราะห์เมโซพอรัสซิลิกา..... 19

2.2.2. การศึกษาสมบัติทางกายภาพของเมโซพอรัสซิลิกา..... 20

2.2.3. การศึกษาสมบัติด้านการสกัดโลหะของเมโซพอรัสซิลิกา..... 21

บทที่ 3 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล..... 22

3.1. การสังเคราะห์เมโซพอรัสซิลิกา..... 22

3.2. การศึกษาสมบัติทางกายภาพของเมโซพอรัสซิลิกา..... 22

3.2.1. การหาปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดที่มีอยู่ในเมโซพอรัสซิลิกา..... 22

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

3.2.2. การหาปริมาณพอร์ไฟรินในเมโซพอรัสซิลิกาที่สารละลายสามารถเข้าถึงและทำให้พอร์ไฟรินหลุดออกมาได้ (accessible porphyrin)..... 23
3.2.3. การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในเมโซพอรัสซิลิกาชนิดต่างๆ..... 24
3.2.4. การศึกษาความเป็นผลึกของเมโซพอรัสซิลิกา..... 27
3.2.5. การหาพื้นที่ผิว ขนาดรูพรุนและการกระจายขนาดรูพรุนของเมโซพอรัสซิลิกา..... 28
3.2.6. การศึกษารูปร่างและขนาดอนุภาคของเมโซพอรัสซิลิกา..... 30
3.3. การศึกษาสมบัติด้านการสกัดโลหะของเมโซพอรัสซิลิกา..... 31
3.3.1. การมี $NaNO_3$ ในสารละลายโลหะ..... 31
3.3.2. ความเข้มข้นของ $NaNO_3$ ที่มีในสารละลายโลหะ..... 34
3.3.3. ปริมาณซิลิกาที่ใช้ในการสกัด..... 35
3.3.4. pH ของสารละลายโลหะ..... 37
3.3.5. ความสามารถในการสกัด Pb(II) ของเมโซพอรัสซิลิกา..... 38
3.4. การคายโลหะออกจากเมโซพอรัสซิลิกา..... 39
3.5. การสกัดซ้ำ..... 41
บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง..... 43
รายการอ้างอิง..... 44
ภาคผนวก..... 47
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 50

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดที่มีอยู่ในเมโซพอรัสซิลิกาชนิดต่างๆ ที่หาได้จากการทดลองและที่หาโดยใช้วิธีการคำนวณทางทฤษฎี	23
3.2	ตำแหน่งความยาวคลื่นที่เกิดการดูดกลืนแสงของหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ใน IR สเปกตรัมของ CTAB, TPP, TNPP และเมโซพอรัสซิลิกาทั้งสามชนิด	26
3.3	ระยะระหว่างระนาบของเมโซพอรัสซิลิกาชนิดต่างๆ ที่ได้จากการสังเคราะห์และของเมโซพอรัสซิลิกาชนิดเดียวกันที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูง	28
3.4	สมบัติทางกายภาพของของเมโซพอรัสซิลิกาชนิดต่างๆ	30
3.5	ปริมาณ Pb(II) ที่ถูกสกัดโดยเมโซพอรัสซิลิกาชนิดต่างๆ จากการสกัดซ้ำเทียบกับการสกัดครั้งแรก	42

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	กลไกในการทำงานแบบ reversed-phase SPE	2
1.2	กลไกในการทำงานแบบ normal-phase SPE	3
1.3	กลไกในการดูดซับแบบ Ion exchange SPE	3
1.4	ลักษณะโครงสร้างของซิลิกา	4
1.5	วิธีการสังเคราะห์ซิลิกาในทางอุตสาหกรรม	5
1.6	กลไกในการเกิดโครงสร้างของเมโซพอรัสซิลิกาที่เสนอโดย Beck และคณะ	7
1.7	กลไกในการเกิดโครงสร้างของเมโซพอรัสซิลิกาที่เสนอโดย Davis และคณะ	8
1.8	กลไกในการเกิดโครงสร้างของเมโซพอรัสซิลิกาที่เสนอโดย Stucky และคณะ	8
1.9	แนวทางในการรวมตัวกันระหว่างสารลดแรงตึงผิวกับสารอนินทรีย์ตามการเสนอของ Stucky และคณะ	9
1.10	การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์เมื่อตกกระทบอะตอม	10
1.11	ลักษณะของรูพรุนประเภทต่างๆ	11
1.12	ชนิดของรูพรุน	11
1.13	รูปแบบของ N_2 adsorption - desorption isotherms ตาม IUPAC	12
1.14	รูปแบบของ hysteresis ทั้ง 4 แบบ จำแนกตาม IUPAC	13
1.15	สูตรโครงสร้างของ TPP และ TNPP	14
2.1	แผนผังการสังเคราะห์เมโซพอรัสซิลิกาโดปด้วยพอร์ไฟริน	19
2.2	รูปแบบการเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการหาปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดที่มีอยู่ในซิลิกา	20
3.1	IR สเปกตรัมของ (ก) เมโซพอรัสซิลิกาที่ไม่มีการเติมหมู่ฟังก์ชันและ CTAB (ข) เมโซพอรัสซิลิกาโดปด้วย TPP, CTAB และ TPP (ค) เมโซพอรัสซิลิกาโดปด้วย TNPP, CTAB และ TNPP	25
3.2	รูปแบบการเบี่ยงเบนรังสีเอ็กซ์ของ (ก) เมโซพอรัสซิลิกาที่ไม่มีการเติมหมู่ฟังก์ชัน (ข) เมโซพอรัสซิลิกาโดปด้วย TPP และ (ค) เมโซพอรัสซิลิกาโดปด้วย TNPP	27
3.3	Nitrogen adsorption-desorption isotherms ของ (ก) เมโซพอรัสซิลิกาที่ไม่มีการเติมหมู่ฟังก์ชัน (ข) เมโซพอรัสซิลิกาโดปด้วย TPP และ (ค) เมโซพอรัสซิลิกาโดปด้วย TNPP	28
3.4	BJH pore size distributions ของ (ก) เมโซพอรัสซิลิกาที่ไม่มีการเติมหมู่ฟังก์ชัน (ข) เมโซพอรัสซิลิกาโดปด้วย TPP และ (ค) เมโซพอรัสซิลิกาโดปด้วย TNPP	29

หน้า

3.5 ภาพถ่าย SEM ของเมโซพอรัสซิลิกาชนิดต่างๆ..... 30
3.6 ความสามารถในการสกัด Fe(II) ของเมโซพอรัสซิลิกาทั้งสามชนิด จากสารละลาย Fe(II) ในน้ำและใน 0.1 M $NaNO_3$..... 31
3.7 ความสามารถในการสกัด Pb(II) ของเมโซพอรัสซิลิกาทั้งสามชนิด จากสารละลาย Pb(II) ในน้ำและใน 0.1 M $NaNO_3$..... 32
3.8 ความสามารถในการสกัด Zn(II) ของเมโซพอรัสซิลิกาทั้งสามชนิด จากสารละลาย Zn(II) ในน้ำและใน 0.1 M $NaNO_3$..... 32
3.9 ความสามารถในการสกัด Cd(II) ของเมโซพอรัสซิลิกาทั้งสามชนิด จากสารละลาย Cd(II) ในน้ำ, ใน 0.1 M $NaNO_3$ และใน 0.1 M NaCl..... 33
3.10 ความสามารถในการสกัด Ni(II) ของเมโซพอรัสซิลิกาทั้งสามชนิด จากสารละลาย Ni(II) ในน้ำ, ใน 0.1 M $NaNO_3$ และใน 0.1 M NaCl..... 34
3.11 ปริมาณ Pb(II) ที่ถูกสกัดโดยเมโซพอรัสซิลิกา ในภาวะที่มี $NaNO_3$ ความเข้มข้นค่าต่างๆ ผสมอยู่ในสารละลายโลหะ..... 35
3.12 ผลของปริมาณซิลิกาชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการสกัดต่อปริมาณ Cd(II) ที่ถูกสกัดได้..... 35
3.13 ผลของปริมาณซิลิกาชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการสกัดต่อปริมาณ Ni(II) ที่ถูกสกัดได้..... 36
3.14 ผลของปริมาณซิลิกาชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการสกัดต่อปริมาณ Pb(II) ที่ถูกสกัดได้..... 36
3.15 ปริมาณ Cd(II) ที่ถูกสกัดโดยเมโซพอรัสซิลิกาที่ไม่มีการเติมหมู่ฟังก์ชัน เมโซพอรัสซิลิกาโดปด้วย TPP และเมโซพอรัสซิลิกาโดปด้วย TNPP จากสารละลายโลหะที่มี pH เริ่มต้นค่าต่างๆ..... 37
3.16 ปริมาณ Ni(II) ที่ถูกสกัดโดยเมโซพอรัสซิลิกาที่ไม่มีการเติมหมู่ฟังก์ชัน เมโซพอรัสซิลิกาโดปด้วย TPP และเมโซพอรัสซิลิกาโดปด้วย TNPP จากสารละลายโลหะที่มี pH เริ่มต้นค่าต่างๆ..... 37
3.17 ปริมาณ Pb(II) ที่ถูกสกัดโดยเมโซพอรัสซิลิกาที่ไม่มีการเติมหมู่ฟังก์ชัน เมโซพอรัสซิลิกาโดปด้วย TPP และเมโซพอรัสซิลิกาโดปด้วย TNPP จากสารละลายโลหะที่มี pH เริ่มต้นค่าต่างๆ..... 37
3.18 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย Pb(II) ต่อปริมาณ Pb(II) ที่ถูกสกัดได้โดยเมโซพอรัสซิลิกาชนิดต่างๆ..... 38
3.19 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Pb(II) ที่ถูกคายออกโดยใช้ 0.1 M HNO_3 เป็นสารคายโลหะต่อปริมาณ Pb(II) ที่ถูกสกัดได้โดยเมโซพอรัสซิลิกาชนิดต่างๆ..... 39

หน้า

3.20 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะที่ถูกคายออกโดยใช้ 0.1 M HNO_3 เป็นสารคายโลหะต่อปริมาณโลหะที่ถูกสกัดได้เมื่อใช้ (ก) เมโซพอรัสซิลิกาที่ไม่มีการเติมหมู่ฟังก์ชัน (ข) เมโซพอรัสซิลิกาโดปด้วย TPP และ (ค) เมโซพอรัสซิลิกาโดปด้วย TNPP เป็นสารดูดซับ..... 40

3.21 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Cd(II) ที่ถูกคายออกโดยใช้ 0.1 M HNO_3 เป็นสารคายโลหะต่อปริมาณ Cd(II) ที่ถูกสกัดได้โดยเมโซพอรัสซิลิกาชนิดต่างๆ..... 41

3.22 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Ni(II) ที่ถูกคายออกโดยใช้ 0.1 M HNO_3 เป็นสารคายโลหะต่อปริมาณ Ni(II) ที่ถูกสกัดได้โดยเมโซพอรัสซิลิกาชนิดต่างๆ..... 41

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

BET	Brunauer-Emmett-Teller
BJH	Barret-Joyner-Halenda
CMC	critical micellar concentration
cps	count per second
CTAB	cetyltrimethylammonium bromide
deg.	degree
DMF	dimethylformamide
DMSO	dimethyl sulfoxide
FTIR	fourier transform infrared spectometer
MeOH	methanol
rpm	round per minute
SEM	scanning electron microscopy
SPE	solid-phase extraction
TEOS	tetraethoxysilane
TNPP	*meso*-tetrakis(*p*-nitrophenyl)porphyrin
TPP	*meso*-tetraphenylporphyrin
XRD	x-ray driffraction

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย