



246777



การศึกษาในห้องปฏิบัติการเพื่อวัดปริมาณสารอันตรายปนเปื้อนในดิน
ที่พบในจังหวัดขอนแก่น

THE MEASUREMENT OF CONTAMINATED SORPTIONS
IN KHON KAEN SOILS FROM LABORATORY

นายถนงศักดิ์เดช มหาศิริกุล

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พ.ศ. 2553

600251758

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ



246777



การศึกษาในห้องปฏิบัติการเพื่อวัดปริมาณสารอันตรายปนเปื้อนในดิน
ที่พบในจังหวัดขอนแก่น

THE MEASUREMENT OF CONTAMINATED SORPTIONS
IN KHON KAEN SOILS FROM LABORATORY

นายณรงค์เดช มหาศิริกุล



วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พ.ศ. 2553

การศึกษาในห้องปฏิบัติการเพื่อวัดปริมาณสารอันตรายปนเปื้อนในดิน
ที่พบในจังหวัดขอนแก่น

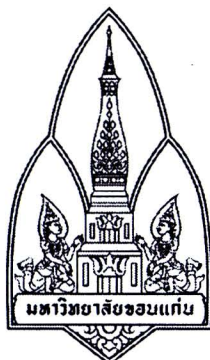
นายณรงค์เดช มหาศิริกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น
พ.ศ. 2553

**THE MEASUREMENT OF CONTAMINATED SORPTIONS
IN KHON KAEN SOILS FROM LABORATORY**

MR. NARONGDET MAHASIRIKUL

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
IN CIVIL ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL KHON KAEN UNIVERSITY
2010**



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

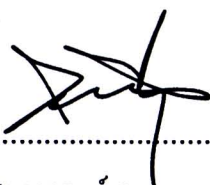
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

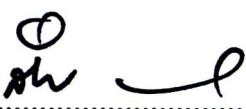
ชื่อวิทยานิพนธ์: การศึกษาในห้องปฏิบัติการเพื่อวัดปริมาณสารอันตรายปนเปื้อน
ในดินที่พบในจังหวัดขอนแก่น

ชื่อผู้ทำวิทยานิพนธ์: นายณรงค์เดช มหาศิริกุล

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์: ผศ.ดร. ธนาถล คงสมบูรณ์ ประธานกรรมการ
รศ. ชินะวัฒน์ มุกตพันธุ์ กรรมการ
ผศ.ดร. พงศกร พรณรัตน์ศิลป์ กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์:


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พงศกร พรณรัตน์ศิลป์)


.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. ลำปาง แมนมัตย์)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย


.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมนึก อีระกุลพิศุทธิ์)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น

ณรงค์เดช มหาศิริกุล. 2553. การศึกษาในห้องปฏิบัติการเพื่อวัดปริมาณสารอันตราย
ปนเปื้อนในดินที่พบในจังหวัดขอนแก่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงศกร พรณรัตน์ศิลป์

บทคัดย่อ

246777

งานวิจัยนี้นำเสนอผลการศึกษาเกี่ยวกับการวัดปริมาณสารอันตรายปนเปื้อนในดินที่พบ
ในจังหวัดขอนแก่น โดยทำการทดสอบคุณสมบัติการดูดซับและการคายสารละลายโลหะหนักด้วย
วิธีการทดสอบกะและแบบสดมภ์ ผลจากการทดสอบแบบกะชี้ให้เห็นว่าดินลมหอบสามารถดูดซับ
สารละลายโลหะหนักเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ สารละลายทองแดง, สารละลายนิกเกิล
และสารละลายสังกะสี และเมื่อผสมดินเหนียวเข้ากับดินลมหอบพบว่าการดูดซับสารละลาย
โลหะหนักจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น และปริมาณสัดส่วนของดินเหนียวโดยน้ำหนักตั้งแต่ 60 เปอร์เซ็นต์
เป็นต้นไปจะทำให้ค่าการดูดซับสารละลายโลหะหนักมีมากที่สุด ส่วนการทดสอบแบบสดมภ์เป็น
การนำดินลมหอบไปบดอัดแล้วนำไปบรรจุกับเครื่องมือทดสอบที่ถูกประดิษฐ์ขึ้นมาโดยเฉพาะ
เพื่อทดสอบหาค่าการดูดซับและการคายสารละลายโลหะหนัก ซึ่งสามารถจำลองสภาวะที่เกิดการ
ดูดซับสารละลายโลหะหนักในชั้นดินและการคายสารละลายโลหะหนักเนื่องมาจากการชะล้างด้วย
น้ำฝน ผลที่ได้ทำให้ทราบถึงระยะเวลา, ปริมาตร, ค่าการดูดซับและการคายสารละลายโลหะหนัก
ในแท่งดินลมหอบ

Narongdet Mahasirikul. 2010. *The Measurement of Contaminated Sorptions in Khon Kaen Soils from Laboratory*. Master of Engineering Thesis in Civil Engineering, Graduate School, Khon Kaen University.

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Pongsakorn Punrattanasin

ABSTRACT

246777

The objective of this study is to investigate the sorption capacity of Cu, Ni and Zn in loess and clay. From batch equilibrium technique, it showed that the loess and clay were able to absorb heavy metals and the adsorption capacities of the soils ranked from the highest were Cu, Ni and Zn, respectively. Langmuir Adsorption Isotherm can be well described the adsorption phenomena of Cu, Ni and Zn in both soil types. In the next series of batch equilibrium test, loess was mixed with various compositions of clay. It was found that mixing loess with 60% by weight of clay or higher can make the highest performance of sorption. Finally, this study performed a series of column tests and the main target of this part is to simulate the sorption behavior of the soil under various conditions that can occur in the field.

สิ่งตีพิมพ์ของวิทยานิพนธ์นี้ขอมอบส่วนดีให้แก่บุพการีและคณาจารย์คุณประโยชน์
ของวิทยานิพนธ์นี้ขอมอบประเทศชาติและส่วนรวม

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความรู้ความกรุณาจาก ผศ.ดร.พงศกร พรรณรัตนศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่า ให้ความรู้ คำแนะนำ ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่อง ให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ข้าพเจ้าจึงขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ผศ.ธนาตล คงสมบูรณ์และรศ.ชินะวัฒน์ มุกตพันธุ์ ที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์และมีค่าต่อการแก้ไขวิทยานิพนธ์นี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. อาทิตย์ และ ผศ.ดร. สุธาสินี เนรมิตตกพงศ์ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่า ให้ความรู้ คำแนะนำเกี่ยวกับงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณวิมลพร เอี่ยมอมรพันธ์ จากภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับงานวิจัยและความช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สำหรับเครื่องมือ อุปกรณ์ทดสอบ และการตรวจวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของสารเคมีในน้ำ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สำหรับเครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบ

ขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษาปริญญาโทและน้องนักศึกษาปริญญาตรีภาควิชาวิศวกรรมโยธา ตลอดจนเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา และบุคลากรที่เกี่ยวข้องที่ให้การช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้ให้กำเนิด อบรมเลี้ยงดู รวมถึงญาติพี่น้อง เพื่อนๆ รุ่นพี่ รุ่นน้อง และหลายท่านที่ไม่ได้เอ่ยนาม ที่คอยให้กำลังใจ ตลอดจนให้การช่วยเหลืออย่างดีในทุกๆด้าน จนสำเร็จการศึกษา ขอขอบพระคุณอย่างยิ่ง

ณรงค์เดช มหาศิริกุล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
คำอุทิศ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	5
1.3 ขอบเขตการวิจัย	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 การดูดซับ	6
2.2 ข้อมูลและหลักการทำงานของเครื่อง Atomic Absorption Spectrometer	14
2.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน SEM	18
2.4 ส่วนประกอบต่างๆ ของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน	20
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
บทที่ 3 วิธีการศึกษา	29
3.1 การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานดิน	31
3.2 การถ่ายภาพขยายขนาดกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (SEM)	32
3.3 การทดสอบแบบกะ	32
3.4 การทดสอบแบบสดมภ์	37
บทที่ 4 ผลการศึกษา	38
4.1 คุณสมบัติพื้นฐานของทางวิศวกรรม	38
4.2 คุณสมบัติพื้นฐานของสารเคมี	40
4.3 ภาพถ่ายขยายขนาดของเม็ดดิน	42
4.4 ผลการทดสอบแบบกะ	45
4.5 ผลการทดสอบแบบสดมภ์	84

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา	107
5.1 คุณสมบัติพื้นฐานของทางวิศวกรรมดิน	107
5.2 ภาพถ่ายขยายขนาดของเม็ดดิน	107
5.3 ค่าไอโซเทอมของดินเหนียวและดินลมหอบ	107
5.4 การทดสอบหาค่าความชื้นชั้นของสารละลายเมื่อผสมกับดินลมหอบดินเหนียว	107
5.5 ปริมาตรและอัตราการไหลของสารละลายเมื่อผ่านแท่งดินตัวอย่าง	109
5.6 ความชื้นชั้นของสารละลายที่ผ่านแท่งดินตัวอย่าง	111
5.7 ข้อเสนอแนะ	112
เอกสารอ้างอิง	113
ภาคผนวก	114
ประวัติผู้เขียน	124

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1	จำนวนโรงงานที่ได้รับใบอนุญาต พ.ศ. 2550 (อุตสาหกรรมจังหวัดขอนแก่น)
ตารางที่ 2.1	ลักษณะสมบัติของตัวอย่างดินที่ใช้ในการศึกษา
ตารางที่ 2.2	ตารางค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับของโลหะหนักในดินจากสมการฟรุนดิช
ตารางที่ 2.3	คุณสมบัติของดินลูกรังคองหงส์ที่นำมาทดสอบ
ตารางที่ 2.4	พารามิเตอร์ของไอโซเทอมของดินลูกรังคองหงส์
ตารางที่ 4.1	คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินหอบ
ตารางที่ 4.2	คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียว
ตารางที่ 4.3	ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายในน้ำเสียตามกฎหมายกำหนด
ตารางที่ 4.4	คุณสมบัติพื้นฐานของทองแดง
ตารางที่ 4.5	คุณสมบัติพื้นฐานของนิกเกิล
ตารางที่ 4.6	คุณสมบัติพื้นฐานของสังกะสี
ตารางที่ 4.7	ความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ทดสอบ
ตารางที่ 4.8	ผลการทดสอบดินลมหอบผสมกับสารละลายทองแดง
ตารางที่ 4.9	ค่าอัตราการดูดซับและค่าปริมาณสูงสุดของสิ่งเจือปนที่สามารถดูดซับได้โดยของแข็ง
ตารางที่ 4.10	ผลการทดสอบดินลมหอบผสมกับสารละลายนิกเกิล
ตารางที่ 4.11	ค่าอัตราการดูดซับและค่าปริมาณสูงสุดของสิ่งเจือปนที่สามารถดูดซับได้โดยของแข็ง
ตารางที่ 4.12	ผลการทดสอบดินลมหอบผสมกับสารละลายสังกะสี
ตารางที่ 4.13	ค่าอัตราการดูดซับและค่าปริมาณสูงสุดของสิ่งเจือปนที่สามารถดูดซับได้โดยของแข็ง
ตารางที่ 4.14	ค่าอัตราการดูดซับและค่าปริมาณสูงสุดของสิ่งเจือปนที่สามารถดูดซับได้โดยของแข็ง
ตารางที่ 4.15	ผลการทดสอบดินเหนียวผสมสารกับละลายทองแดง
ตารางที่ 4.16	ค่าอัตราการดูดซับและค่าปริมาณสูงสุดของสิ่งเจือปนที่สามารถดูดซับได้โดยของแข็ง
ตารางที่ 4.17	ผลการทดสอบดินเหนียวผสมกับสารละลายนิกเกิล
ตารางที่ 4.18	ค่าอัตราการดูดซับและค่าปริมาณสูงสุดของสิ่งเจือปนที่สามารถดูดซับได้โดยของแข็ง
ตารางที่ 4.19	ผลการทดสอบดินเหนียวผสมกับสารละลายสังกะสี

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.20 ค่าอัตราการดูดซับและค่าปริมาณสูงสุดของสิ่งเจือปนที่สามารถดูดซับได้ โดยของแข็ง	66
ตารางที่ 4.21 ค่าอัตราการดูดซับและค่าปริมาณสูงสุดของสิ่งเจือปนที่สามารถดูดซับได้ โดยของแข็ง	69
ตารางที่ 4.22 ผลการทดสอบผสมดินตัวอย่างกับสารละลายทองแดงความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร	70
ตารางที่ 4.23 ผลการทดสอบผสมดินตัวอย่างกับสารละลายทองแดงความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร	72
ตารางที่ 4.24 ผลการทดสอบผสมดินตัวอย่างกับสารละลายนิกเกิลความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร	74
ตารางที่ 4.25 ผลการทดสอบผสมดินตัวอย่างกับสารละลายนิกเกิลความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร	76
ตารางที่ 4.26 ผลการทดสอบผสมดินตัวอย่างกับสารละลายสังกะสีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร	78
ตารางที่ 4.27 ผลการทดสอบผสมดินตัวอย่างกับสารละลายสังกะสีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร	80
ตารางที่ 4.28 ปริมาตรและอัตราการไหลซึมของสารละลายทองแดงที่ผ่านแท่งดิน ลมหอบภายใต้ความดัน 10 kg/cm ²	86
ตารางที่ 4.29 ปริมาตรและอัตราการไหลซึมของสารละลายนิกเกิลที่ผ่านแท่งดินลมหอบ ภายใต้ความดัน 10 kg/cm ²	88
ตารางที่ 4.30 ปริมาตรและอัตราการไหลซึมของสารละลายสังกะสีที่ผ่านแท่งดินลมหอบ ภายใต้ความดัน 10 kg/cm ²	90
ตารางที่ 4.31 ความเข้มข้นของสารละลายทองแดงที่ไหลผ่านแท่งดินลมหอบภายใต้ ความดัน 10 kg/cm ²	94
ตารางที่ 4.32 ความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิลที่ไหลผ่านแท่งดินลมหอบภายใต้ความ ดัน 10 kg/cm ²	98
ตารางที่ 4.33 ความเข้มข้นของสารละลายสังกะสีที่ไหลผ่านแท่งดินลมหอบภายใต้ความ ดัน 10 kg/cm ²	102

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 ที่ตั้งของอำเภอต่าง ๆ ในจังหวัดขอนแก่น (อุตสาหกรรมจังหวัดขอนแก่น)	1
ภาพที่ 1.2 ลำน้ำพองในจังหวัดขอนแก่น	3
ภาพที่ 1.3 ตัวอย่างดินลมหอบที่พบในจังหวัดขอนแก่น	4
ภาพที่ 2.1 ไอโซเทอมการดูดซับแบบกายภาพ ตามการจำแนก IUPAC	9
ภาพที่ 2.2 Langmuir Adsorption Isotherm ในรูปแบบของกราฟเส้นตรง	10
ภาพที่ 2.3 Freundlich Adsorption Isotherm ในรูปแบบของกราฟเส้นตรง	11
ภาพที่ 2.4 ระบบการดูดซับแบบกะชั้นตอนเดียว	11
ภาพที่ 2.5 ระบบการดูดซับแบบกะไหลสวนทาง	12
ภาพที่ 2.6 ระบบดูดซับแบบต่อเนื่อง	13
ภาพที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงการดูดซับจนถึงจุดอิ่มตัว	14
ภาพที่ 2.8 เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer	15
ภาพที่ 2.9 Hollow cathode Lamp	16
ภาพที่ 2.10 Nebulizer, Spray Chamber & Burner	16
ภาพที่ 2.11 ส่วนประกอบของเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer	17
ภาพที่ 2.12 Calibration curve	18
ภาพที่ 2.13 Standard Addition curve	18
ภาพที่ 2.14 Scanning Electron Microscope	19
ภาพที่ 2.15 ส่วนประกอบต่าง ๆ รวมทั้งระบบภายใน	20
ภาพที่ 2.16 ปริมาณโลหะหนักที่ถูกดูดซับและความเข้มข้นของโลหะหนักในสารละลายที่จุดสมดุล	23
ภาพที่ 2.17 ไอโซเทอมการดูดซับด้วยดินลูกรังคองหงส์	27
ภาพที่ 3.1 ตัวอย่างดินลมหอบ	29
ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการทดสอบ	29
ภาพที่ 3.3 ตะแกรงร่อนเบอร์ 200	31
ภาพที่ 3.4 เครื่อง Scanning Electron Microscope	32
ภาพที่ 3.5 ขั้นตอนการทดสอบแบบกะ	33
ภาพที่ 3.6 ขั้นตอนการทดสอบแบบกะของดินลมหอบ	34
ภาพที่ 3.7 ขั้นตอนการทดสอบแบบกะของดินเหนียว	35
ภาพที่ 3.8 ขั้นตอนการทดสอบแบบกะของดินลมหอบผสมดินเหนียว	36
ภาพที่ 3.9 เครื่องมือทดสอบแบบสดมภ์	37

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.1 การกระจายตัวของเม็ดดินลมหอบ	39
ภาพที่ 4.2 สารละลายทองแดง, สารละลายนิกเกิล และสารละลายสังกะสี	40
ภาพที่ 4.3 ภาพขยายขนาดของเม็ดดินลมหอบและดินเหนียว	42
ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_0 กับ C_{solid} ของดินลมหอบผสมกับสารละลายทองแดง	47
ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_0 กับ C_0/C_{solid} ของดินลมหอบผสมกับสารละลายทองแดง	47
ภาพที่ 4.6 ค่าไอโซเทอมของดินลมหอบผสมกับสารละลายทองแดง	48
ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_0 กับ C_{solid} ของดินลมหอบผสมกับสารละลายนิกเกิล	50
ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_0 กับ C_0/C_{solid} ของดินลมหอบผสมกับสารละลายนิกเกิล	50
ภาพที่ 4.9 ค่าไอโซเทอมของดินลมหอบผสมกับสารละลายนิกเกิล	51
ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_0 กับ C_{solid} ของดินลมหอบผสมกับสารละลายสังกะสี	53
ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_0 กับ C_0/C_{solid} ของดินลมหอบผสมกับสารละลายสังกะสี	53
ภาพที่ 4.12 ค่าไอโซเทอมของดินลมหอบผสมกับสารละลายสังกะสี	54
ภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_0 กับ C_{solid} ของดินลมหอบผสมกับสารละลายชนิดต่าง ๆ	55
ภาพที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_0 กับ C_0/C_{solid} ของดินลมหอบผสมกับสารละลายชนิดต่าง ๆ	56
ภาพที่ 4.15 ค่าไอโซเทอมของดินลมหอบผสมกับสารละลายชนิดต่าง ๆ	57
ภาพที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_0 กับ C_{solid} ของดินเหนียวผสมกับสารละลายทองแดง	59
ภาพที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_0 กับ C_0/C_{solid} ของดินเหนียวผสมกับสารละลายทองแดง	59
ภาพที่ 4.18 ค่าไอโซเทอมของดินเหนียวผสมสารละลายทองแดง	60
ภาพที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_0 กับ C_{solid} ของดินเหนียวผสมกับสารละลายนิกเกิล	62

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_0 กับ C_0/C_{solid} ของดินเหนียวผสมกับสารละลาย นิกเกิล	62
ภาพที่ 4.21 ค่าไอโซเทอมของดินเหนียวผสมกับสารละลายนิกเกิล	65
ภาพที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_0 กับ C_{solid} ของดินเหนียวผสมกับสารละลาย สังกะสี	65
ภาพที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_0 กับ C/C_{solid} ของดินเหนียวผสมกับสารละลาย สังกะสี	66
ภาพที่ 4.24 ค่าไอโซเทอมของดินเหนียวผสมกับสารละลายสังกะสี	67
ภาพที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_0 กับ C_{solid} ของดินเหนียวผสมกับสารละลาย ชนิดต่างๆ	68
ภาพที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C กับ C/C_{solid} ของดินเหนียวผสมกับสารละลาย ชนิดต่างๆ	69
ภาพที่ 4.27 ค่าไอโซเทอมของดินเหนียวผสมกับสารละลายชนิดต่างๆ	71
ภาพที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณดินเหนียวกับค่าความเข้มข้นของสารละลาย ทองแดงที่วัดได้จากเครื่อง AAS	71
ภาพที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณดินเหนียวกับค่าความเข้มข้นของเม็ดดิน เมื่อผสมสารละลายทองแดงความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร	72
ภาพที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณดินเหนียวกับค่าความเข้มข้นของสารละลาย ทองแดงที่วัดได้จากเครื่อง AAS	73
ภาพที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณดินเหนียวกับค่าความเข้มข้นของเม็ดดิน เมื่อผสมสารละลายทองแดงความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร	75
ภาพที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณดินเหนียวกับค่าความเข้มข้นของสารละลาย นิกเกิลที่วัดได้จากเครื่อง AAS	75
ภาพที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณดินเหนียวกับค่าความเข้มข้นของเม็ดดิน เมื่อผสมสารละลายนิกเกิลความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร	76
ภาพที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณดินเหนียวกับค่าความเข้มข้นของสารละลาย นิกเกิลที่วัดได้จาก AAS	77
ภาพที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณดินเหนียวกับค่าความเข้มข้นของเม็ดดิน เมื่อผสมสารละลายนิกเกิลความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร	79

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณดินเหนียวกับค่าความเข้มข้นของสารละลาย สังกะสีที่วัดได้จากเครื่อง AAS	79
ภาพที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณดินเหนียวกับค่าความเข้มข้นของเม็ดดิน เมื่อผสมสารละลายสังกะสีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร	80
ภาพที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณดินเหนียวกับค่าความเข้มข้นของสารละลาย สังกะสีที่วัดได้จากเครื่อง AAS	81
ภาพที่ 4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณดินเหนียวกับค่าความเข้มข้นของเม็ดดิน เมื่อผสมสารละลายสังกะสีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร	82
ภาพที่ 4.40 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณดินเหนียวกับค่าความเข้มข้น ของสารละลายที่วัดได้จากเครื่อง AAS ของสารละลายทั้ง 3 ชนิด	82
ภาพที่ 4.41 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณดินเหนียวกับค่าความเข้มข้น ของเม็ดดินเมื่อผสมสารละลายความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้ง 3 ชนิด	83
ภาพที่ 4.42 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณดินเหนียวกับค่าความเข้มข้น ของสารละลายที่วัดได้จากเครื่อง AAS ของสารละลายทั้ง 3 ชนิด	83
ภาพที่ 4.43 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณดินเหนียวกับค่า ความเข้มข้นของเม็ดดินเมื่อผสมสารละลายความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อ ลิตร ทั้ง 3 ชนิด	84
ภาพที่ 4.44 อุปกรณ์การทดสอบแบบแท่ง	85
ภาพที่ 4.45 ตัวอย่างสารละลายที่ไหลออกมา	87
ภาพที่ 4.46 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาตรสารละลายทองแดงที่ผ่านแท่งดินลมหอบ กับเวลาภายใต้ความดัน 10 kg/cm ²	87
ภาพที่ 4.47 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารละลายทองแดงที่ผ่านแท่งดิน ลมหอบกับเวลาภายใต้ความดัน 10 kg/cm ²	89
ภาพที่ 4.48 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาตรสารละลายนิกเกิลที่ผ่านแท่งดินลมหอบกับ เวลาภายใต้ความดัน 10 kg/cm ²	89
ภาพที่ 4.49 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารละลายนิกเกิลที่ผ่านแท่งดิน ลมหอบ กับเวลาภายใต้ความดัน 10 kg/cm ²	91
ภาพที่ 4.50 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาตรสารละลายสังกะสีที่ผ่านแท่งดินลมหอบกับ เวลาภายใต้ความดัน 10 kg/cm ²	91

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.51 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารละลายสังกะสีที่ผ่านแท่งดิน ลมหอบกับเวลาภายใต้ความดัน 10 kg/cm ²	92
ภาพที่ 4.52 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาตรสารละลายที่ผ่านแท่งดินลมหอบกับ เวลาของสารละลายทั้ง 3 ชนิดภายใต้ความดัน 10 kg/cm ²	93
ภาพที่ 4.53 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารละลายที่ผ่านแท่งดิน ลมหอบกับเวลาของสารละลายทั้ง 3 ชนิดภายใต้ความดัน 10 kg/cm ²	95
ภาพที่ 4.54 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายทองแดงที่วัดได้กับเวลา 0-48 ชั่วโมงภายใต้ความดัน 10 kg/cm ²	96
ภาพที่ 4.55 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายทองแดงที่วัดได้กับเวลา 48-96 ชั่วโมงภายใต้ความดัน 10 kg/cm ²	96
ภาพที่ 4.56 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายทองแดงที่วัดได้กับเวลา 96-144 ชั่วโมงภายใต้ความดัน 10 kg/cm ²	97
ภาพที่ 4.57 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายทองแดงกับเวลา 0-144 ชั่วโมงภายใต้ความดัน 10 kg/cm ²	99
ภาพที่ 4.58 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิลที่วัดได้กับเวลา 0-48 ชั่วโมงภายใต้ความดัน 10 kg/cm ²	100
ภาพที่ 4.59 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิลที่วัดได้กับเวลา 48-96 ชั่วโมงภายใต้ความดัน 10 kg/cm ²	100
ภาพที่ 4.60 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิลที่วัดได้กับเวลา 96-144 ชั่วโมงภายใต้ความดัน 10 kg/cm ²	101
ภาพที่ 4.61 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิลที่วัดได้กับเวลา 0-144 ชั่วโมงภายใต้ความดัน 10 kg/cm ²	103
ภาพที่ 4.62 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายสังกะสีที่วัดได้กับเวลา 0-48 ชั่วโมงภายใต้ความดัน 10 kg/cm ²	104
ภาพที่ 4.63 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายสังกะสีที่วัดได้กับเวลา 48-96 ชั่วโมงภายใต้ความดัน 10 kg/cm ²	104
ภาพที่ 4.64 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายสังกะสีที่วัดได้กับเวลา 96-144 ชั่วโมงภายใต้ความดัน 10 kg/cm ²	105
ภาพที่ 4.65 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายสังกะสีที่วัดได้กับเวลา 0-144 ชั่วโมงภายใต้ความดัน 10 kg/cm ²	106

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.66 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายทั้ง 3 ชนิดที่วัดได้กับเวลา 0-144 ชั่วโมงภายใต้ความดัน 10 kg/cm ²	108
ภาพที่ 5.1 ค่าไอโซเทอมของสารละลายทองแดง, นิกเกิลและสังกะสีเมื่อผสมดินลมหอบ	109
ภาพที่ 5.2 ค่าไอโซเทอมของสารละลายทองแดง, นิกเกิลและสังกะสีเมื่อผสมดินเหนียว	110
ภาพที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ดินเหนียวกับค่าความเข้มข้นของเม็ดดินเมื่อผสมสารละลายทั้ง 3 ชนิดที่ความเข้มข้น 100 มก./ล.	110
ภาพที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ดินเหนียวกับค่าความเข้มข้นของเม็ดดินเมื่อผสมสารละลายทั้ง 3 ชนิดที่ความเข้มข้น 200 มล./ล.	110
ภาพที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของสารละลายทองแดง, สารละลายนิกเกิลและสารละลายสังกะสีกับเวลาภายใต้ความดัน	111
ภาพที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารละลายทองแดง, สารละลายนิกเกิลและสารละลายสังกะสีกับเวลา ภายใต้ความดัน	112
ภาพที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายทองแดง, สารละลายนิกเกิลและสารละลายสังกะสีที่วัดได้กับเวลา ภายใต้ความดัน	113