

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ	(7)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ขอบเขตของการศึกษา	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	23
เครื่องมือ	23
วัสดุและอุปกรณ์	24
วิธีการ	29
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	36
สรุปและข้อเสนอแนะ	65
สรุปผลการทดลอง	66
ข้อเสนอแนะ	68
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	69
ภาคผนวก	73
ภาคผนวก ก กราฟมาตรฐานและการคำนวณ	74
ภาคผนวก ข ตารางบันทึกผลการทดลอง	84

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1	ลักษณะของผลผลิตของสารปิโตรเลียม
2	ค่า LD ₅₀ และค่า TLV ของ BTEX
3	ส่วนประกอบทางเคมีของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันเชื้อเพลิงและค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้มีในน้ำใต้ดิน
4	คุณสมบัติของดินทราย
5	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปริมาณแอมกานีสไอออนที่ละลายด้วยกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นต่างๆ
ตารางผนวกที่	
ก1	ค่าพื้นที่ใต้กราฟ (peak area) ที่ความเข้มข้นโทลูอินต่างๆ
ก2	ค่าพื้นที่ใต้กราฟของโทลูอินในตัวอย่างน้ำออก
ก3	ค่าพื้นที่ใต้กราฟ (peak area) ที่ความเข้มข้นแอมกานีสไอออนต่างๆ
ก4	ค่าพื้นที่ใต้กราฟของแอมกานีสไอออนในน้ำตัวอย่าง
ก5	ค่าศักย์ไฟฟ้าเริ่มต้นของตัวเซนเซอร์ในเครื่องวัดแรงดันก่อนการทดลอง
ก6	แสดงการคำนวณค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นค่าแรงดัน
ก7	ผลการทดลองค่าการสูญเสียแรงดัน ในชุดควบคุมการทดลอง
ข1	ผลการทดลองบำบัดโทลูอินด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตในระดับห้องปฏิบัติการ
ข2	ผลการทดลองละลายตะกอนแอมกานีสออกไซด์ด้วยกรดซัลฟิวริกในระดับห้องปฏิบัติการ แบบชั่งน้ำหนักตะกอน
ข3	ผลการทดลองละลายตะกอนแอมกานีสออกไซด์ด้วยกรดซัลฟิวริกในระดับห้องปฏิบัติการ แบบวัดปริมาณแอมกานีสไอออน
ข4	ผลการทดลองหาความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสมสำหรับละลายตะกอนแอมกานีสออกไซด์ในระดับห้องปฏิบัติการ
ข5	ผลการทดลองปริมาณโทลูอินในน้ำ เมื่อใช้น้ำกลั่นผ่านคอลัมน์ทดลองเป็นเวลา 6 ชั่วโมง (ชุดควบคุมการทดลอง)

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ข6 ผลการทดลองค่าการสูญเสียแรงดัน เมื่อชะลอลิมน้ำทดลองด้วยน้ำกลั่นเป็นเวลา 6 ชั่วโมง (ชุดควบคุมการทดลอง)	88
ข7 ผลการทดลองปริมาณโทลูอินในน้ำ เมื่อชะลอลิมน้ำทดลองด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นเวลา 6 ชั่วโมง	89
ข8 ผลการทดลองค่าการสูญเสียแรงดัน เมื่อชะลอลิมน้ำทดลองด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นเวลา 6 ชั่วโมง	90
ข9 ผลการทดลองชะลอลิมน้ำทดลองด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต สลับกับสารละลายกรดซิตริกในวัฏจักรที่ 1	91
ข10 ผลการทดลองชะลอลิมน้ำทดลองด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต สลับกับสารละลายกรดซิตริกในวัฏจักรที่ 2	92
ข11 ผลการทดลองชะลอลิมน้ำทดลองด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต สลับกับสารละลายกรดซิตริกในวัฏจักรที่ 3	93
ข12 ผลการทดลองชะลอลิมน้ำทดลองด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต สลับกับสารละลายกรดซิตริกในวัฏจักรที่ 4	94
ข13 ผลการทดลองชะลอลิมน้ำทดลองด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต สลับกับสารละลายกรดซิตริกในวัฏจักรที่ 5	95
ข14 ผลการทดลองชะลอลิมน้ำทดลองด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต สลับกับสารละลายกรดซิตริกในวัฏจักรที่ 6	96
ข15 ผลการทดลองชะลอลิมน้ำทดลองด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต สลับกับสารละลายกรดซิตริกในวัฏจักรที่ 7	97
ข16 ผลการทดลองชะลอลิมน้ำทดลองด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต สลับกับสารละลายกรดซิตริกในวัฏจักรที่ 8	98
ข17 ผลการทดลองชะลอลิมน้ำทดลองด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต สลับกับสารละลายกรดซิตริกในวัฏจักรที่ 9	98
ข18 ผลการทดลองชะลอลิมน้ำทดลองด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต สลับกับสารละลายกรดซิตริกในวัฏจักรที่ 10	99

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ข19 ผลการทดลองชะลอกลิ่นที่ทดลองด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต สลับกับสารละลายกรดซิตริกในวัฏจักรที่ 11	100
ข20 ผลการทดลองชะลอกลิ่นที่ทดลองด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต สลับกับสารละลายกรดซิตริกในวัฏจักรที่ 12	101
ข21 ผลการทดลองชะลอกลิ่นที่ทดลองด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต สลับกับสารละลายกรดซิตริกในวัฏจักรที่ 13	101
ข22 ผลการทดลองชะลอกลิ่นที่ทดลองด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต สลับกับสารละลายกรดซิตริกในวัฏจักรที่ 14	102
ข23 ผลการทดลองชะลอกลิ่นที่ทดลองด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต สลับกับสารละลายกรดซิตริกในวัฏจักรที่ 15	103
ข24 ผลการทดลองชะลอกลิ่นที่ทดลองด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต สลับกับสารละลายกรดซิตริกในวัฏจักรที่ 16	103
ข25 ผลการทดลองชะลอกลิ่นที่ทดลองด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต สลับกับสารละลายกรดซิตริกในวัฏจักรที่ 17	104
ข26 ผลการทดลองชะลอกลิ่นที่ทดลองด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต สลับกับสารละลายกรดซิตริกในวัฏจักรที่ 18	105
ข27 ผลการทดลองชะลอกลิ่นที่ทดลองด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต สลับกับสารละลายกรดซิตริกในวัฏจักรที่ 19	106

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ชั้นไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (unsaturated zone) และชั้นอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated zone)	4
2	รูปจำลองการทดลองของ Darcy	6
3	การไหลของน้ำใต้ดิน	7
4	แบบการเคลื่อนที่ของสาร LNAPLs	13
5	แบบการเคลื่อนที่ของสาร DNAPLs	13
6	โครงสร้างเมงกานีสออกไซด์ A-E แบบสายหรือแบบช่อง F-H แบบชั้น	17
7	สูตรทั่วไปของกลไกของกรดซัลฟิวริก ($Me =$ ไอออนของโลหะ)	19
8	ลักษณะของคอลัมน์ที่ใช้ในการทดลอง	24
9	แผนภาพแสดงการจัดอุปกรณ์การทดลอง	25
10	ลักษณะของดินทรายที่ใช้ในการทดลอง	26
11	ขั้นตอนการทดลองของชุดควบคุมการทดลอง	32
12	ขั้นตอนการทดลองโดยใช้สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเพียงอย่างเดียว	33
13	ขั้นตอนการทดลองโดยใช้สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตสลับกับ สารละลายกรดซัลฟิวริก	35
14	ปริมาณตะกอนเมงกานีสออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการออกซิเดชันเคมี เป็นเวลา 7 วัน	36
15	เส้นสเปกตรัมจากตะกอนเมงกานีสออกไซด์ ทดสอบด้วยเครื่อง XRD	39
16	เส้นสเปกตรัมเปรียบเทียบจากตะกอนเมงกานีสออกไซด์ที่เกิดจาก TCE โดย Li and Schwartz	39
17	ลักษณะตะกอนเมงกานีสออกไซด์ ถ่ายด้วยเครื่อง SEM กำลังขยาย 2500 เท่า	40
18	ลักษณะตะกอนเมงกานีสออกไซด์ ถ่ายด้วยเครื่อง SEM กำลังขยาย 20000 เท่า	40
19	ลักษณะตะกอนเมงกานีสออกไซด์จาก TCE ถ่ายด้วยเครื่อง TEM โดย Li and Schwartz	41
20	การละลายตะกอนเมงกานีสออกไซด์ด้วยกรดซัลฟิวริก เป็นเวลา 105 นาที	42
21	การละลายตะกอนเมงกานีสออกไซด์ด้วยกรดซัลฟิวริก เป็นเวลา 120 นาที	43
22	การละลายตะกอนเมงกานีสออกไซด์ด้วยกรดซัลฟิวริกทั้ง 2 วิธี	45
23	การละลายตะกอนเมงกานีสออกไซด์ด้วยกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 120 นาที	46

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
24	ความเข้มข้นของโทลูอินในน้ำในชุดควบคุมการทดลอง เป็นเวลา 6 ชั่วโมง	49
25	ค่าการสูญเสียแรงดันในชุดควบคุมการทดลอง เป็นเวลา 6 ชั่วโมง	50
26	ความเข้มข้นโทลูอินในน้ำภายหลังการออกซิเดชันเคมี เป็นเวลา 6 ชั่วโมง	52
27	ค่าการสูญเสียแรงดันในการออกซิเดชันเคมี เป็นเวลา 6 ชั่วโมง	53
28	ความเข้มข้นโทลูอินในน้ำภายหลังการออกซิเดชันเคมีด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตสลับกับการละลายตะกอนด้วยกรดซิตริก	55
29	ค่าการสูญเสียแรงดันในการออกซิเดชันเคมีด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตสลับกับการละลายตะกอนด้วยกรดซิตริก	56
30	คอลัมน์ทรายขณะหะด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตและกรดซิตริก	58
31	ความเข้มข้นของโทลูอินในน้ำ และค่าการสูญเสียแรงดันในวัฏจักรที่ 3	60
ภาพผนวกที่		
ก1	กราฟมาตรฐานโทลูอิน	76
ก2	กราฟมาตรฐานแมงกานีสไอออน	78
ก3	การคำนวณหาค่า K (hydraulic conductivity) ในชุดควบคุมการทดลอง	83

คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ

A	=	พื้นที่หน้าตัด [L^2]
AAS	=	Atomic Absorption Spectrophotometer
ASTM	=	American Society for Testing and Materials
A°	=	องศาตรอม
BTEX	=	Benzene, Toluene, Ethylbenzene และ Xylene
C_{toluene}	=	ความเข้มข้นโทลูอินที่เกิดการละลาย [mg/l]
cm H ₂ O	=	เซนติเมตรน้ำ
cm/s	=	เซนติเมตรต่อวินาที
°C	=	องศาเซลเซียส
DNAPLs	=	Dense Non Aqueous Phase Liquids
dh/dl	=	hydraulic gradient [-]
d ₅₀	=	ขนาดตัวกลางใหญ่สุดที่ผ่านตะแกรงปริมาตรร้อยละ 50 [mm]
EDTA	=	Ethylenediaminetetraacetic Acid
FID	=	Flame Ionization Detector
f _{oc}	=	สัดส่วนสารอินทรีย์คาร์บอน [%]
GC	=	Gas Chromatography
GFC	=	กระดาษกรองใยแก้ว
g/cm ³	=	กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
g/l•min	=	กรัมต่อลิตรนาที
h	=	head loss [cm H ₂ O]
<i>h</i>	=	aqueous-phase pressure head [cm H ₂ O]
IR	=	Infrared
K	=	hydraulic conductivity [L/T]
K _d	=	ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายดิน [ml/g]
K _{oc}	=	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ [ml/g]
kPa	=	กิโลปาสกาล
k _{rw}	=	aqueous-phase relative permeability [-]
L	=	ความยาว [m]

คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ (ต่อ)

LD ₅₀	=	mean Lethal Dose 50 [mg/kg]
LNAPLs	=	Light Non Aqueous Phase Liquids
M	=	โมลาร์
M _{adsorption}	=	มวลส่วนที่ถูกดูดซับไว้ในตัวกลาง [g]
M _{effluent}	=	มวลส่วนที่ออกมาพร้อมกับน้ำออก [g]
M _{LNAPL}	=	มวลส่วนที่ตกค้าง (residue) อยู่ [g]
M _{loss}	=	มวลของส่วนที่สูญเสียไป หรือความผิดพลาดอื่นๆ [g]
M _{oxidation}	=	มวลส่วนที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน [g]
M _{sand}	=	มวลของทรายที่เกิดการดูดซับ [g]
mg/kg	=	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
mg/l	=	มิลลิกรัมต่อลิตร
ml	=	มิลลิลิตร
mM	=	มิลลิโมลาร์
mM/m ² •h	=	มิลลิโมลาร์ต่อตารางเมตรชั่วโมง
mol/g•s	=	โมลต่อกรัมวินาที
m ² /g	=	ตารางเมตรต่อกรัม
ND	=	ไม่สามารถตรวจวัดได้
NAPLs	=	Non Aqueous Phase Liquids
n	=	ความพรุน [-]
ORP	=	Oxidation Reduction Potential [V]
PAHs	=	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons
PCE	=	Perchloroethylene
ppm	=	หนึ่งในล้านส่วน
PTFE	=	Polytetrafluoroethene
PV	=	Pore Volume [-]
Q	=	อัตราการไหล [L ³ /T]
Re	=	Reynolds number [-]
SD	=	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ (ต่อ)

SEM	=	Scanning Electron Microscope
SPME	=	Solid Phase Micro Extraction
T	=	ระยะเวลา [min]
TCE	=	Trichloroethylene
TEM	=	Transmission Electron Microscope
TLV	=	ค่าความเป็นพิษเรื้อรัง [ppm]
$\mu\text{g/l}$	=	ไมโครกรัมต่อลิตร
μm	=	ไมโครเมตร
V	=	โวลต์
V_{liquid}	=	ปริมาตรของน้ำ [L ³]
V_{void}	=	ปริมาตรช่องว่าง [L ³]
v	=	ความเร็วของการไหล [L/T]
v_a	=	ความเร็วของน้ำในช่องว่าง [L/T]
VOCs	=	Volatile Organic Compounds
XRD	=	X-Ray Diffraction
XRF	=	X-Ray Fluorescence