

อุปกรณ์และวิธีการ

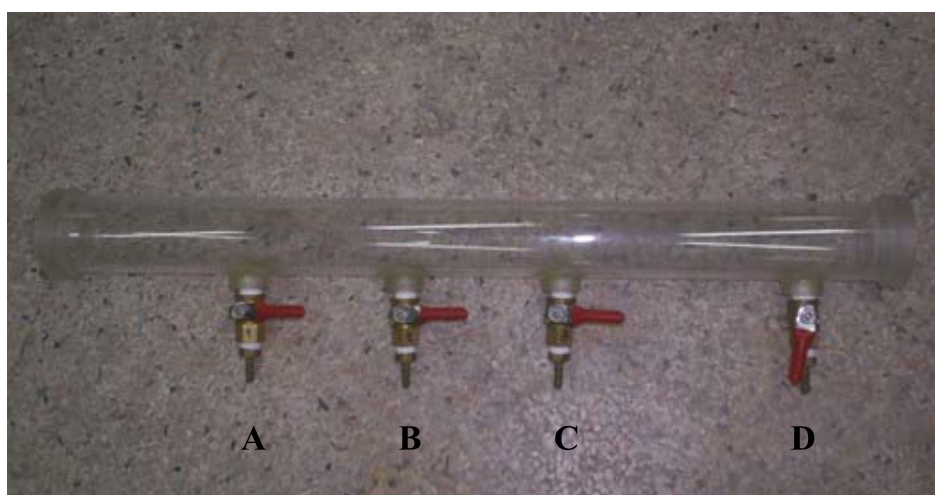
เครื่องมือ

1. เครื่อง Gas Chromatograph (GC) ของ Shimadzu รุ่น GC-14B ที่ใช้ Flame Ionization Detector (FID) ติดตั้งคอลัมน์ Packed Column J GC14A Glass ID. 32 x 1.1 m Unisole 10T + H_3PO_4 (5 + 1)% Unipore HP 80/100 โดยตั้งอุณหภูมิ Injector, Column และ Detector เท่ากับ 150, 150 และ 180 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และตั้งอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน 30 มิลลิตรต่อ นาที สารที่วิเคราะห์ คือ โพลีอิน ทำการวิเคราะห์ที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2. เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ของ Perkin elmer รุ่น AAnalte100 ใช้ Technique: Flame ความยาวคลื่น 279.5 นาโนเมตร ธาตุที่วิเคราะห์ คือ แมงกานีส ทำการวิเคราะห์ที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
3. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) 2 ตำแหน่ง ของ Hanna Instruments รุ่น HI98103
4. เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียด (analytical balance) 2 ตำแหน่ง ของ Denver Instrument รุ่น APX-1502
5. เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียด (analytical balance) 4 ตำแหน่ง ของ Denver Instrument รุ่น TB-224
6. เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ของ Philips รุ่น XL Series ของภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
7. เครื่อง Fluorescence X-ray Element Analysis หรือ X-ray Fluorescence (XRF) ของ Horiba X-ray analytical microscope รุ่น XGT-2000W ของภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
8. เครื่อง X-ray Diffraction (XRD) ของ Philips รุ่น X'pert ของภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
9. เครื่อง shaker ของ New Brunswick Scientific

วัสดุและอุปกรณ์

1. ชุดการทดลอง

1.1 คอลัมน์ทดลอง ทำด้วยพลาสติกอะคริลิก (acrylic) รูปทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5.08 เซนติเมตร (2 นิ้ว) ความยาว 50 เซนติเมตร โดยตีเกลียวหัวท้าย มีจุดวัดแรงดันที่ระยะ 11, 21, 31 และ 46 เซนติเมตร ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ลักษณะของคอลัมน์ที่ใช้ในการทดลอง

โดยกำหนดให้ จุด A เป็นจุดอ้างอิงสำหรับคำนวณค่า Pressure loss

จุด B เป็นจุดวัดแรงดันสำหรับคำนวณ Pressure loss AB

จุด C เป็นจุดวัดแรงดันสำหรับคำนวณ Pressure loss AC

จุด D เป็นจุดวัดแรงดันสำหรับคำนวณ Pressure loss AD

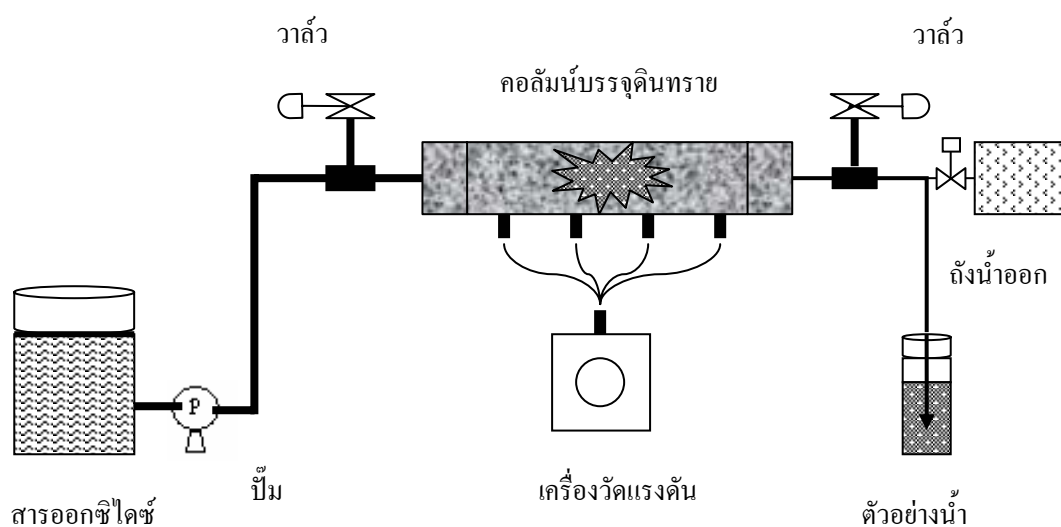
1.2 ปั๊ม (pump) ของ Masterflex[®] รุ่น Console Drive ใช้กับ Easy load 3 Model 77800-50 ใช้อัตราการไหลคงที่ตลอดการทดลองเท่ากับ 2 มิลลิลิตรต่อนาที

1.3 ระบบการขนส่ง และระบายน้ำ (ท่อ Tygon 14 ของ Masterflex[®], ท่อ PTFE ขนาด 0.635 เซนติเมตร (1/4 นิ้ว) ของ Masterflex[®], 3-way ball valve ขนาด 0.635 เซนติเมตร (1/4 นิ้ว) ของ Swagelok[®] รุ่น ss-43XS4, Reducing adapter ลดจากขนาด 1.270 เซนติเมตร (1/2 นิ้ว) เป็น

0.635 เซนติเมตร (1/4 นิ้ว) ของ Swagelok® รุ่น ss-8-RA-4, Cap tube ขนาด 0.635 เซนติเมตร (1/4 นิ้ว) ของ Swagelok® และตะแกรงกรอง)

1.4 เครื่องวัดแรงดันโดยใช้ตัวเซนเซอร์ สำหรับคำนวณหาค่าการสูญเสียแรงดัน (pressure loss) พัฒนาโดยภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

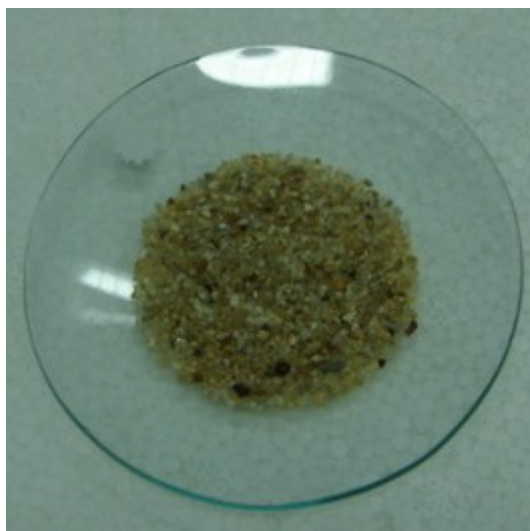
โดยการจัดอุปกรณ์ในการทดลอง ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แผนภาพแสดงการจัดอุปกรณ์การทดลอง

2. วัสดุตัวกลาง คือ ดินทราย

นำดินทรายหยาบสีน้ำตาลมาล้างด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 10% และน้ำประปา เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ และสิ่งสกปรกที่ปนมากับดินทราย ตากให้แห้ง และอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาร่อน เพื่อคัดแยกขนาดให้ได้ 0.85-2.00 มิลลิเมตร (ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 ค้างบนตะแกรง เบอร์ 20) ขนาดเม็ดทรายใหญ่ที่สุดที่ลอดผ่านตะแกรงปริมาณร้อยละ 50 (d_{50}) คือ 1.28 มิลลิเมตร โดยทำการทดสอบคุณสมบัติของทรายที่ห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ และภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ลักษณะของดินทราย แสดงดังภาพที่ 10 และผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4



ภาพที่ 10 ลักษณะของดินทรายที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 4 คุณสมบัติของดินทราย

คุณสมบัติ	ค่าที่ได้	วิธีการ
ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)	2.63	ASTM C 127 (ASTM, 1997)
การดูดซึม (Absorption)	0.92%	ASTM C 128 (ASTM, 1997)
ความซึมผ่าน (Permeability)	2.682×10^{-2} cm/s	ASTM D 2434 (ASTM, 1997)
หน่วยน้ำหนัก (Unit weight)	1.51 g/cm^3	ASTM C 29 (ASTM, 1997)
อัตราส่วนช่องว่าง (Void ratio)	41.64%	จากการคำนวณ
ความพรุน (Porosity)	0.2939	จากการคำนวณ
สารอินทรีย์รวม (Organic matter)	0.07%	ASTM C 40 (ASTM, 1997)
สารอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon)	0.04%	ASTM C 40 (ASTM, 1997)

3. สารเคมี

3.1 โทลูอิน 99.50% AR Grade ของ Merk®

3.2 โพลีเอทิลีนเพอร์เมอกรีน 99.00% AR Grade ของ Ajax Finechem

การเตรียมสารละลายโพลีเอทิลีนเพอร์เมอกรีน 0.20 โมลาร์ ซึ่งเป็นครึ่งหนึ่งของค่าการละลายน้ำของโพลีเอทิลีนเพอร์เมอกรีนเท่ากับ 64 กรัมต่อลิตร ณ 20 องศาเซลเซียส (Schnarr *et al.*, 1998) นั่นคือ 0.40 โมลาร์ โดยชั่งโพลีเอทิลีนเพอร์เมอกรีนจำนวน 31.9192 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน เก็บสารละลายในขวดแก้วสีชา หลีกเลี่ยงการโดนแสง เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นสารออกซิไดซ์

3.3 กรดซิตริก 99% AR Grade ของ Ajax Finechem

การเตรียมสารละลายกรดซิตริก 0.004 โมลาร์ โดยชั่งกรดซิตริกจำนวน 0.3843 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน เก็บสารละลายในขวดแก้ว

การเตรียมสารละลายกรดซิตริก 3.0 โมลาร์ ซึ่งใกล้เคียงกับค่าการละลายน้ำของกรดซิตริก คือ 590 กรัมต่อลิตร ณ 20 องศาเซลเซียส (International Programme on Chemical Safety: IPCS, 1998) โดยชั่งกรดซิตริกจำนวน 576.3900 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน เก็บสารละลายในขวดแก้ว

การเตรียมสารละลายกรดซิตริก 0.5 โมลาร์ โดยเปิดสารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 3.0 โมลาร์ ปริมาณ 16.67 มิลลิลิตร ถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน เก็บสารละลายในขวดแก้ว

การเตรียมสารละลายกรดซิตริก 1.0 โมลาร์ โดยเปิดสารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 3.0 โมลาร์ ปริมาณ 33.33 มิลลิลิตร ถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน เก็บสารละลายในขวดแก้ว

การเตรียมสารละลายกรดซัลฟริก 2.0 โมลาร์ โดยเปิดสารละลายกรดซัลฟริกเข้มข้น 3.0 โมลาร์ ปริมาณ 66.67 มิลลิลิตร ถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน เก็บสารละลายในขวดแก้ว

3.4 สารละลายกรดซัลฟริก 98.08% ของ J.T.Baker

การเตรียมสารละลายกรดซัลฟริก 10% เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ และสิ่งสกปรกที่ปะปนมากับดินทราย โดยเปิดสารละลายกรดซัลฟริก 98.08% ปริมาณ 101.96 มิลลิลิตร ถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน เก็บสารละลายลงในขวดแก้วชนิดที่ทนการกัดกร่อน เนื่องจากเป็นสารที่มีฤทธิ์กัดกร่อน และควรเตรียมสารละลายในตู้ดูดควัน

4. อุปกรณ์การวิเคราะห์

4.1 เครื่องแก้ว

4.2 ขวดแก้วสีชา (vial) พร้อมฝาเกลียวปิด และเคลือบด้วยแผ่น PTFE ขนาด 25 มิลลิลิตร ของ Cole-Parmer Instruments

4.3 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างเพื่อวัดปริมาณโทลูอินสำหรับใช้กับเครื่อง GC ชนิดเข็ม SPME ของ SUPELCO ประกอบด้วย Solid Phase Micro-Extraction Holder และ SPME Fiber Assembly 100 um Polydimethylsiloxane Coating

วิธีการ

1. การศึกษาการบำบัดโทลูอินด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตในระดับห้องปฏิบัติการ

ศึกษาความสามารถในการออกซิเดชันเคมีของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ในการบำบัดโทลูอินเข้มข้น (pure phase toluene)

การทดลองใช้โทลูอินเข้มข้น ปริมาณ 15 มิลลิลิตร (มากเกินไป) ผสมกับสารละลาย โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาณ 2 มิลลิลิตร เขย่าด้วยความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที, 30 นาที, 1 ชั่วโมง, 4 ชั่วโมง, 18 ชั่วโมง, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 วัน นำสารละลายผสมมากรองด้วยกระดาษกรองใยแก้ว (GFC) อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อกำจัดน้ำในตะกอนแมงกานีสออกไซด์ที่เกิดขึ้น ซึ่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งละเอียด

2. การศึกษาโครงสร้างตะกอนแมงกานีสออกไซด์ที่ได้จากการออกซิเดชันเคมี

ศึกษาลักษณะทางกายภาพของตะกอนแมงกานีสออกไซด์ ที่เป็นผลิตภัณฑ์จาก กระบวนการออกซิเดชันโทลูอินเข้มข้นด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ซึ่งส่งผลต่อ การลดลงของค่าการซึมผ่าน (permeability) ในตัวกลาง (ดินทราย)

การทดลองนำตะกอนแมงกานีสออกไซด์ที่ได้จากการบำบัดโทลูอินด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตในข้อที่ 1 ไปศึกษาลักษณะของตะกอนด้วย เครื่อง Fluorescence X-ray Element Analysis หรือ X-ray Fluorescence (XRF) เพื่อดูธาตุองค์ประกอบของตะกอน เครื่อง X-ray Diffraction (XRD) เพื่อดูโครงสร้างของตะกอน และเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) เพื่อดูลักษณะทางกายภาพของตะกอน

3. การศึกษาการละลายตะกอนแมงกานีสออกไซด์ด้วยกรดซิตริกในระดับห้องปฏิบัติการ

ศึกษาความสามารถในการละลายตะกอนแมงกานีสออกไซด์ ที่เป็นผลิตภัณฑ์จาก กระบวนการออกซิเดชันโทลูอินเข้มข้นด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ด้วยกรดซิตริก

ความเข้มข้น 0.004 โมลาร์ ทั้งแบบวัดปริมาณตะกอนเมงกานีสออกไซด์ที่ลดลง และแบบวัดปริมาณเมงกานีสไอออนที่ถูกละลายออกมา

3.1 แบบชั่งน้ำหนักตะกอน

การทดลองชั่งตะกอนเมงกานีสออกไซด์ที่ได้จากการบำบัดโทลูอินด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตในข้อที่ 1หนัก 0.0110 กรัม ใส่ลงขวดรูปชมพู่ เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร นั่นคือ ความเข้มข้นตะกอนเท่ากับ 0.1 กรัมต่อลิตร ผสมกับสารละลายกรดซัลฟริกความเข้มข้น 0.004 โมลาร์ ปริมาณ 2.5 มิลลิลิตร เขย่าด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 0,15, 45 และ 105 นาที กรองสารละลายผสมด้วยกระดาษกรองใยแก้ว อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อกำจัดน้ำในตะกอนเมงกานีสออกไซด์ที่เกิดขึ้น ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งละเอียด

3.2 แบบวัดปริมาณเมงกานีสไอออน

การทดลองชั่งตะกอนเมงกานีสออกไซด์ที่ได้จากการบำบัดโทลูอินด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตในข้อที่ 1หนัก 0.0100 กรัม ใส่ลงขวดรูปชมพู่ เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร นั่นคือ ความเข้มข้นตะกอนเท่ากับ 0.1 กรัมต่อลิตร ผสมกับสารละลายกรดซัลฟริกความเข้มข้น 0.004 โมลาร์ ปริมาณ 25 มิลลิลิตร เขย่าด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 0,15, 30, 60 และ 120 นาที กรองสารละลายผสมด้วยกระดาษกรองใยแก้ว นำสารละลายใส่ไปวิเคราะห์ปริมาณเมงกานีสไอออนด้วยเครื่อง AAS

4. การศึกษาหาความเข้มข้นของกรดซัลฟริกที่เหมาะสมสำหรับละลายตะกอนเมงกานีสออกไซด์ในระดับห้องปฏิบัติการ

ศึกษาหาความเข้มข้นของกรดซัลฟริกที่เหมาะสมในการละลายตะกอนเมงกานีสออกไซด์ที่เป็นผลิตภัณฑ์จากกระบวนการออกซิเดชันโทลูอินเข้มข้นด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตได้อย่างรวดเร็ว

การทดลองชั่งตะกอนเมงกานีสออกไซด์ที่ได้จากการบำบัดโทลูอินด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตในข้อที่ 1หนัก 0.0100 กรัม ใส่ลงขวดรูปชมพู่ เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร นั่นคือ ความ

เข้มข้นตะกอนเท่ากับ 0.1 กรัมต่อลิตร ผสมกับสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 โมลาร์ ปริมาณ 25 มิลลิลิตร เขย่าด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 0, 15, 30, 60 และ 120 นาที กรองสารละลายผสมด้วยกระดาษกรองใยแก้ว นำสารละลายไปวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีสไอออนด้วยเครื่อง AAS

5. การเตรียมดินทรายที่ปนเปื้อนโทลูอิน และการเตรียมคอลัมน์ทดลอง

แบ่งคอลัมน์ยาว 50 เซนติเมตรเป็นสามส่วน ส่วนที่หนึ่งบรรจุด้วยทรายที่อิมด้วยน้ำกลั่นนำโทลูอิน 15 มิลลิลิตร ใส่ลงในทราย 300 กรัม คลุกให้เข้ากัน ใส่ลงในคอลัมน์ส่วนที่สอง แล้วเติมน้ำกลั่นเพื่อให้คอลัมน์ส่วนที่สองอิมด้วยน้ำ แล้วบรรจุคอลัมน์ส่วนที่สามด้วยทรายที่อิมด้วยน้ำกลั่นเช่นเดียวกับส่วนที่หนึ่งปิดส่วนหัว และท้ายของคอลัมน์ด้วยตะแกรงกรอง

6. การศึกษากระบวนการออกซิเดชันเคมีของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

6.1 ชุดควบคุมการทดลอง

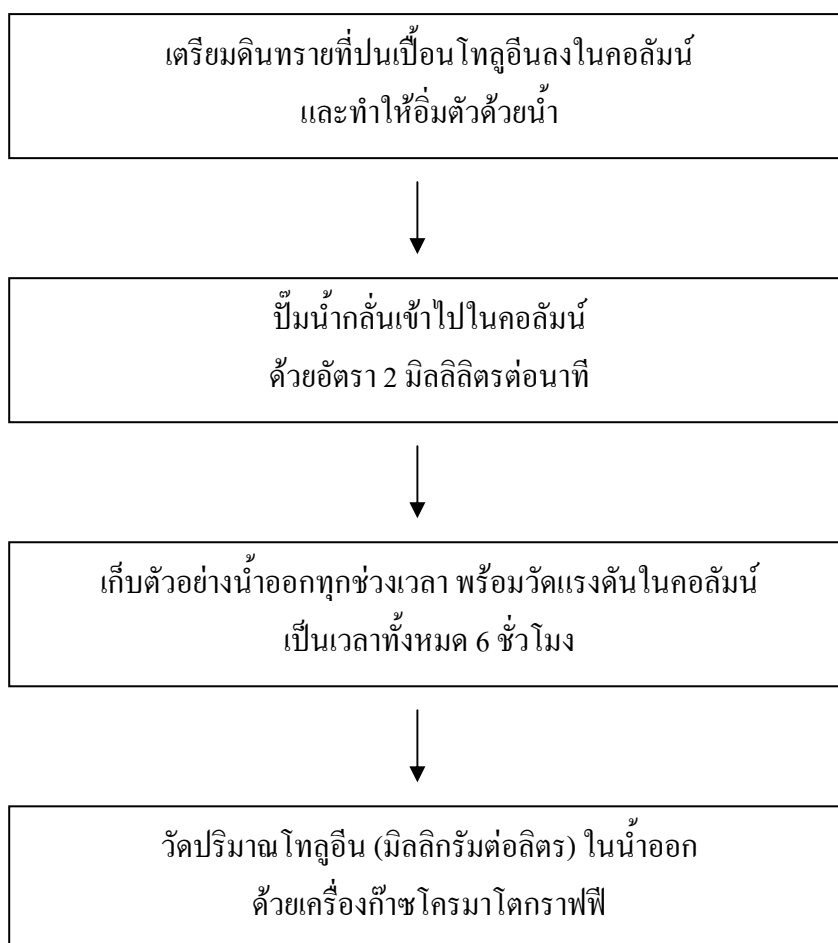
การทดลองใช้น้ำกลั่นป้อนด้วยอัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อนาที เข้าไปในคอลัมน์ทดลองซึ่งบรรจุดินทรายที่ปนเปื้อนโทลูอิน จากนั้นวัดแรงดัน และเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านคอลัมน์ทดลองที่เวลาต่างๆ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ปริมาณโทลูอินด้วยเครื่อง GC

ขั้นตอนการทดลอง แสดงดังภาพที่ 11

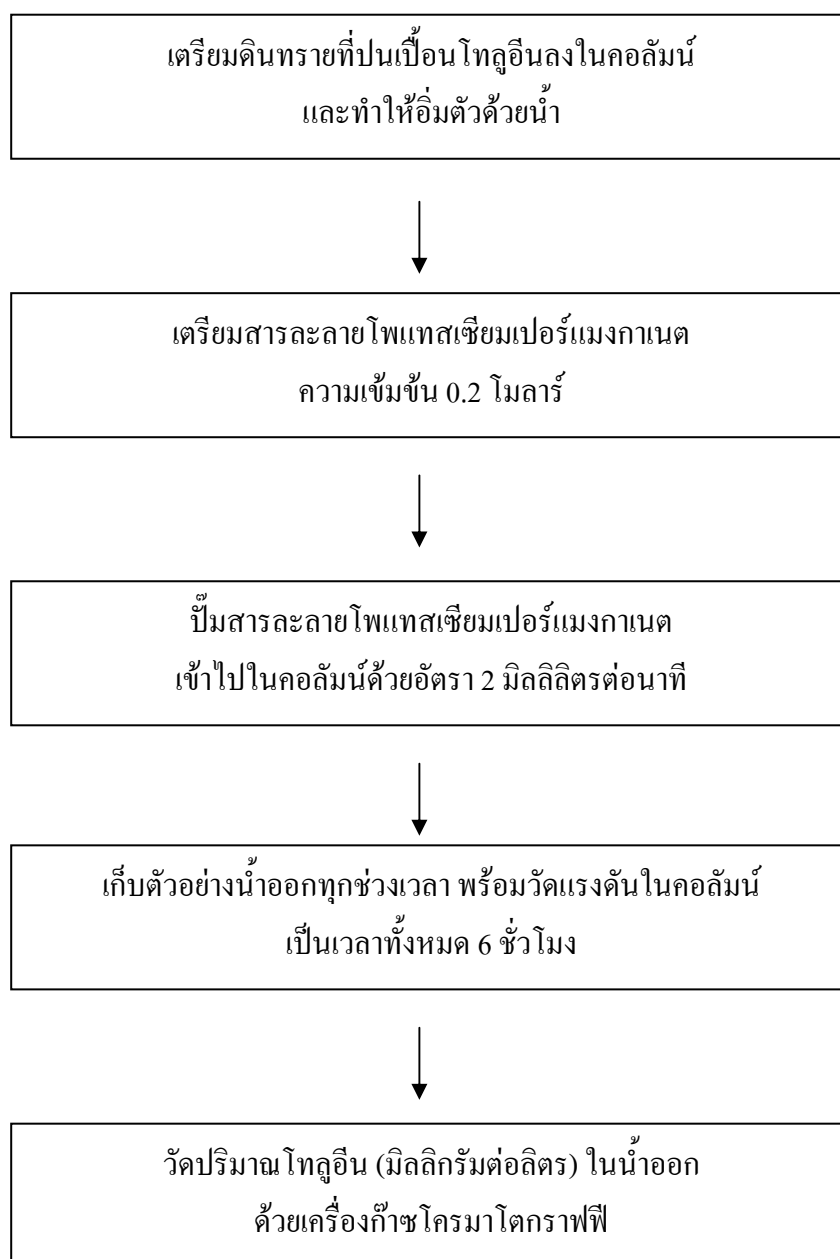
6.2 ศึกษาความสามารถในกระบวนการออกซิเดชันเคมีของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

การทดลองป้อนสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.20 โมลาร์ ด้วยอัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อนาที เข้าไปในคอลัมน์ทดลองซึ่งบรรจุดินทรายที่ปนเปื้อนโทลูอิน จากนั้นวัดแรงดัน และเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านคอลัมน์ทดลองที่เวลาต่างๆ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ปริมาณโทลูอินด้วยเครื่อง GC

ขั้นตอนการทดลอง แสดงดังภาพที่ 12



ภาพที่ 11 ขั้นตอนการทดลองของชุดควบคุมการทดลอง



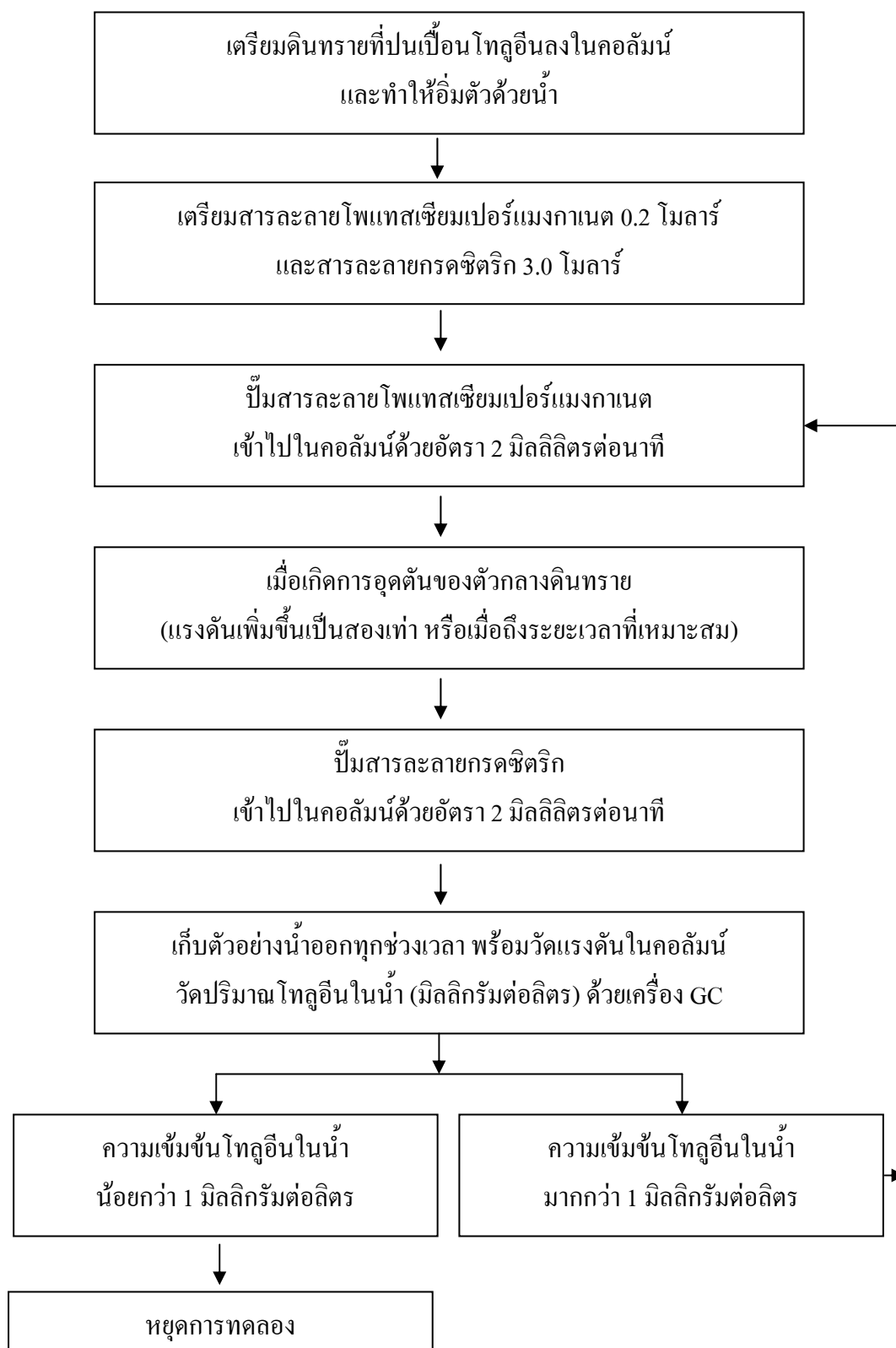
ภาพที่ 12 ขั้นตอนการทดลองโดยใช้สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเพียงอย่างเดียว

7. การศึกษากระบวนการออกซิเดชันเคมีของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตสลับด้วยการละลายตะกอนของกรดซิตริก

เพื่อศึกษาความสามารถในการออกซิเดชันเคมีของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตในการบำบัดโทลูอินที่ปนเปื้อนในดินทราย ร่วมกับการละลายตะกอนแมงกานีสออกไซด์ที่เกิดขึ้นด้วยกรดซิตริก

การทดลองป้อนสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.20 โมลาร์ ด้วยอัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อนาที เข้าไปในคอลัมน์ทดลองซึ่งบรรจุดินทรายที่ปนเปื้อนโทลูอิน จากนั้นวัดแรงดันและเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านคอลัมน์ทดลองที่เวลาต่างๆ เพื่อนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ปริมาณโทลูอินด้วยเครื่อง GC เมื่อเกิดการอุดตันของตัวกลางดินทราย (แรงดันเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า) หรือเมื่อถึงระยะเวลาที่เหมาะสม จึงเปลี่ยนจากการป้อนสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.2 โมลาร์ เป็นสารละลายกรดซิตริก 3.0 โมลาร์ จนไม่มีการอุดตันของตัวกลางดินทราย (แรงดันลดลงเหลือเท่าเดิม) หรือเมื่อถึงระยะเวลาที่เหมาะสม เก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านคอลัมน์ทดลองที่เวลาต่างๆ เช่นเดียวกัน เพื่อวิเคราะห์ปริมาณโทลูอิน ทำการทดลองสลับไปมาเป็นวัฏจักรของ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต/กรดซิตริก จนกระทั่งน้ำที่ผ่านคอลัมน์ทดลองมีคุณภาพน้ำผ่านมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาล คือ มีปริมาณโทลูอินน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร (พระราชบัญญัติคุณภาพน้ำบาดาล, 2542)

ขั้นตอนการทดลอง แสดงดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 ขั้นตอนการทดลองโดยใช้สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตสลับกับกรดซัลฟิวริก