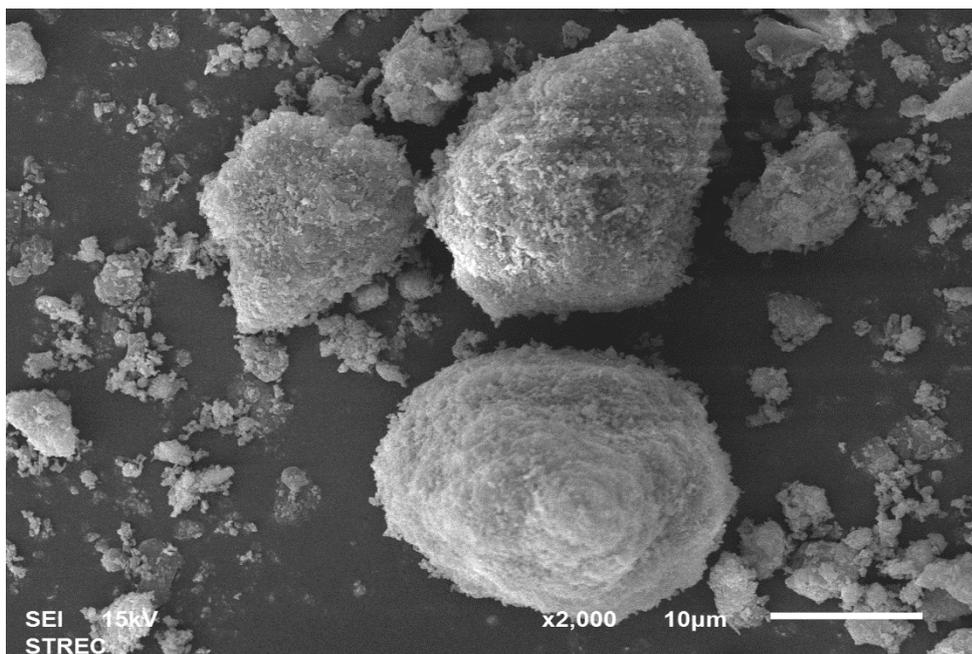


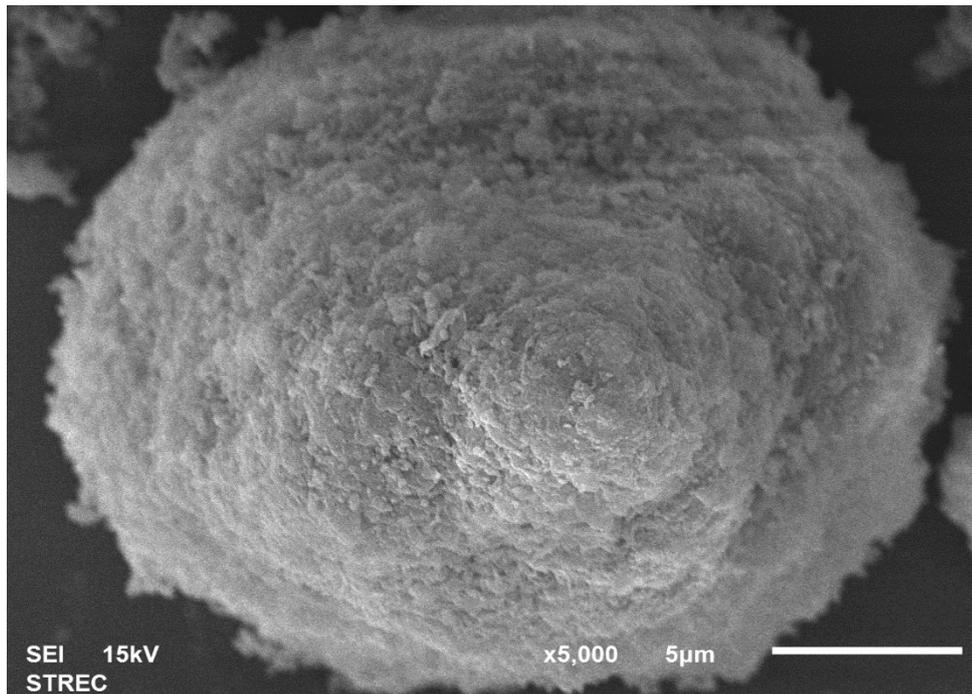
บทที่ 4 ผลการวิจัย

การศึกษาลักษณะของตัวดูดซับด้วย Scanning Electron Microscope with Electron Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM/EDX)

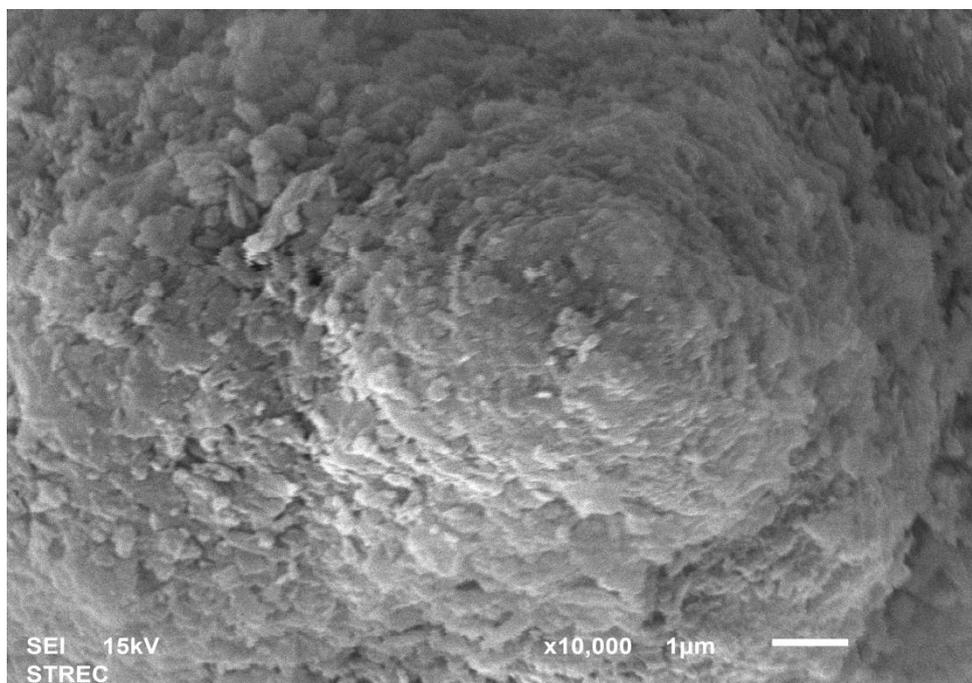
ลักษณะของพื้นผิวของดินขาวบด (K-G) , ดินขาวที่ปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสและตามด้วยปรับสภาพทางเคมีด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 M (K-G-F100-R-KOH 2 M), ดินมอนต์มอริลโลไนต์บด (M-G) และ ดินมอนต์มอริลโลไนต์ที่ปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสและตามด้วยปรับสภาพทางเคมีด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 M (M-G-F100-R-KOH 2 M) แสดงดังภาพที่ 4.1-4.2 ซึ่งจากภาพจะเห็นว่า K-G-F100-R-KOH 2 M และ M-G-F100-R-KOH 2 M ในภาพถ่ายด้วย SEM จะเห็นว่าจะมีผลึกของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เกาะติดอยู่บนพื้นผิวเมื่อเปรียบเทียบกับดินขาวและดินมอนต์มอริลโลไนต์ที่บดเพียงอย่างเดียว ส่วนรูพรุนบนพื้นผิวของดินทั้ง 4 ชนิด K-G, M-G, K-G-F100-R-KOH 2 M และ M-G-F100-R-KOH 2 M จากภาพ SEM มีรูพรุนเพียงเล็กน้อยและจากภาพไม่เห็นความแตกต่างกันอย่างชัดเจนทั้งนี้อาจเพราะมีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เคลือบอยู่บนพื้นผิวทำให้การมองเห็นรูพรุนไม่ชัดเจน



(ก). K-G X 2000 เท่า

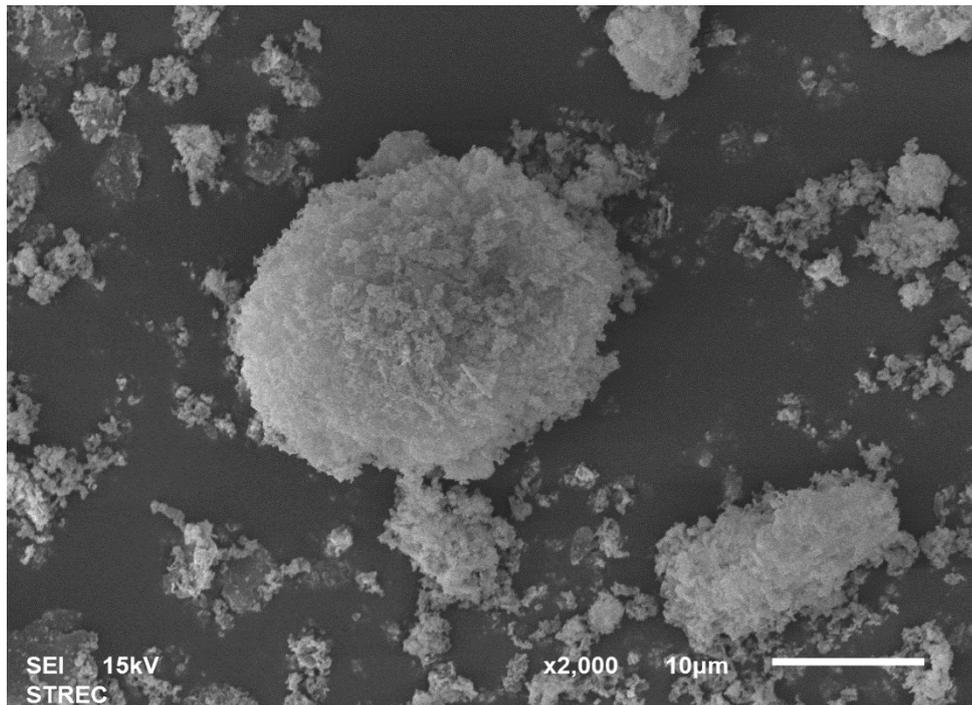


(ข). K-G X 5000 เท่า

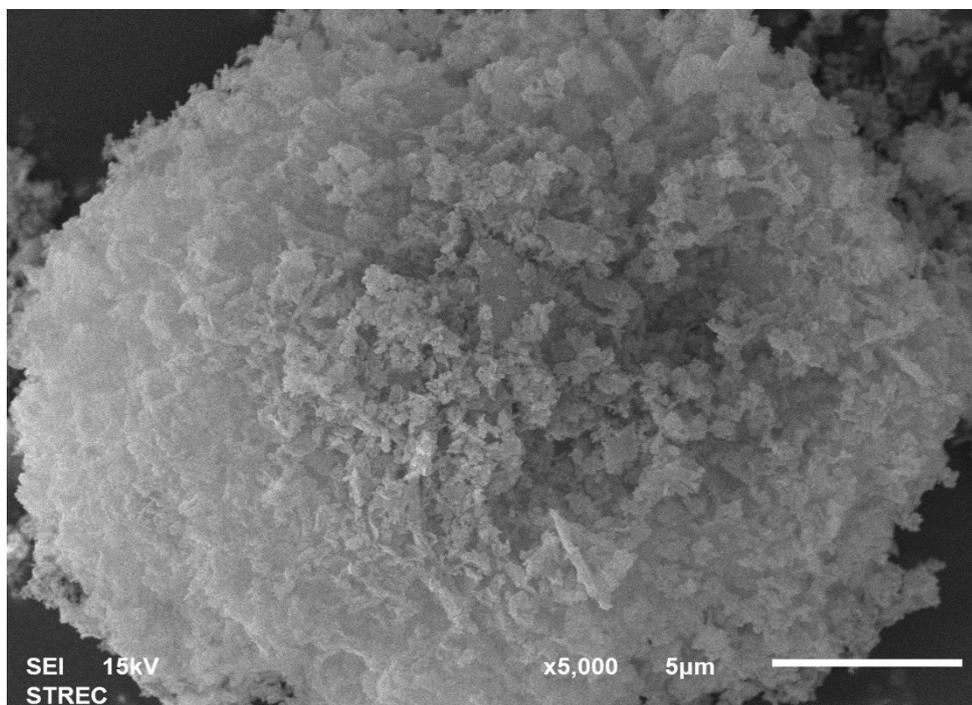


(ค). K-G X 10000 เท่า

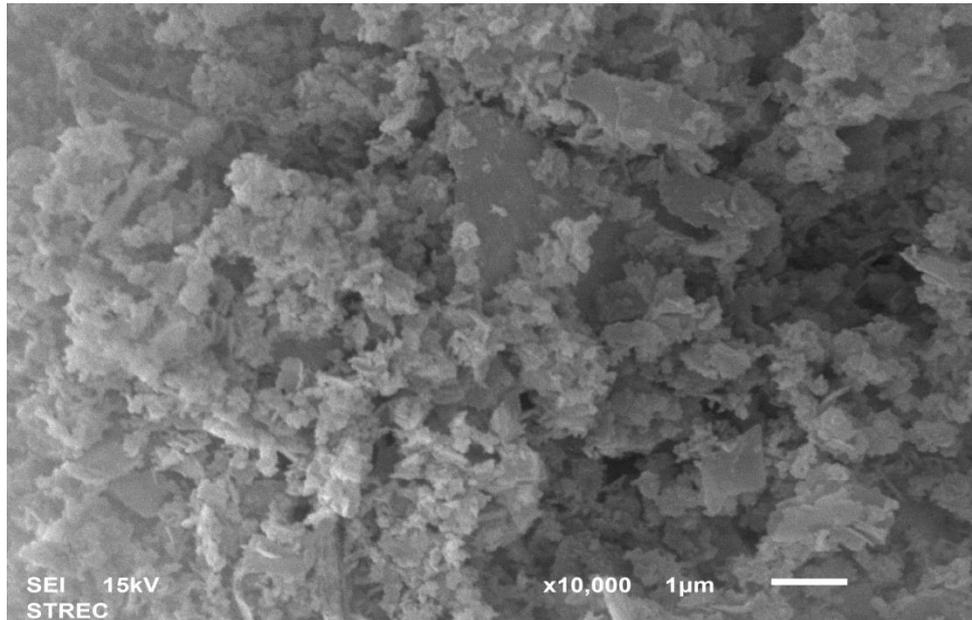
ภาพที่ 4.1 ภาพถ่ายจาก SEM ของดินขาวที่ผ่านการบด (K-G) (ก) K-G X 1000 เท่า (ข) K-G X 5000 เท่า (ค) K-G X 10000 เท่า



(ก). K-G-F100-R-KOH 2 M X 2000 เท่า

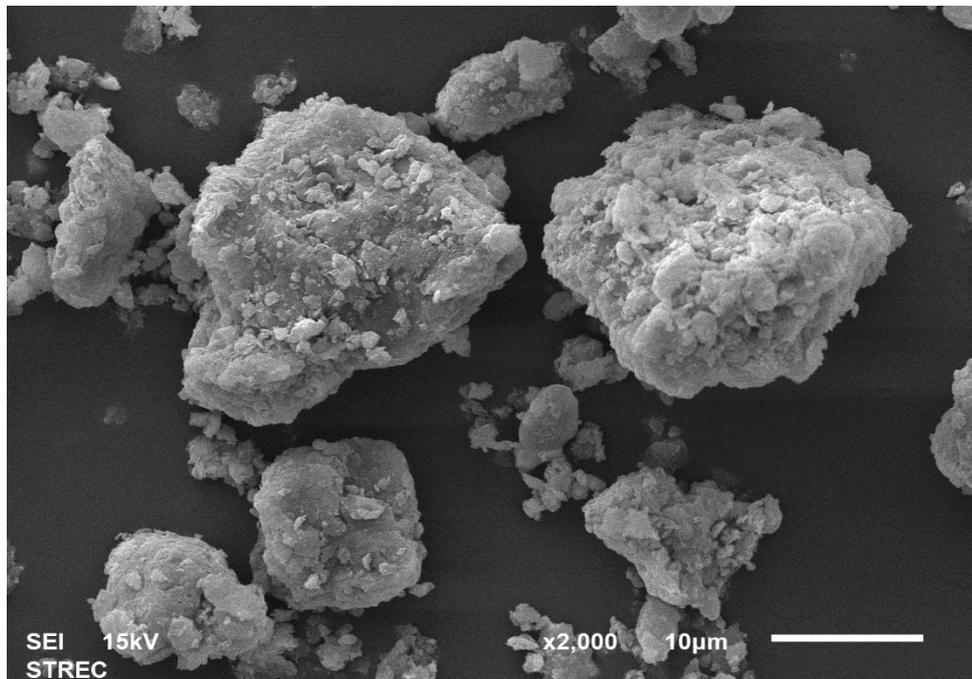


(ข). K-G-F100-R-KOH 2 M X 5000 เท่า

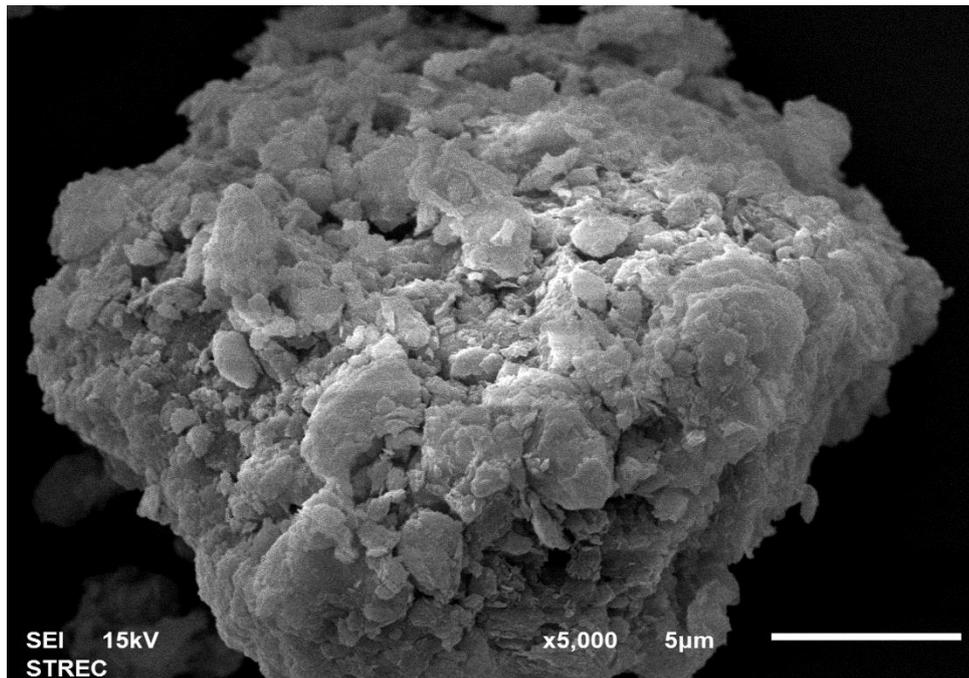


(ค). K-G-F100-R-KOH 2 M X 10000 เท่า

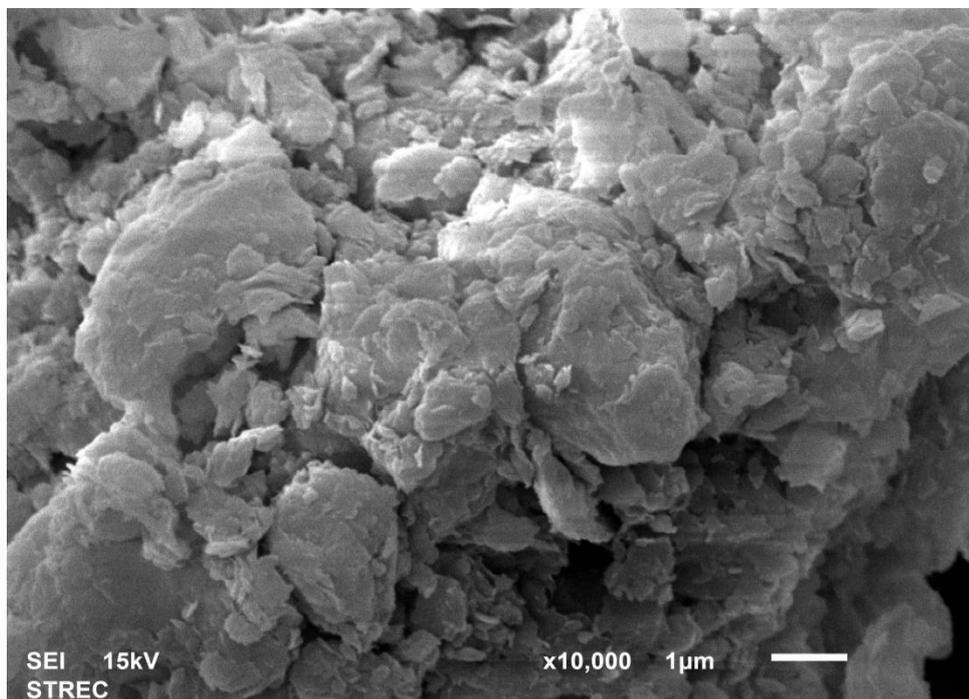
ภาพที่ 4.2 ภาพถ่ายจาก SEM ของดินขาวที่ปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบด- เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสและปรับสภาพทางเคมีด้วยโปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 M (K-G-F100-R-KOH 2 M) (ก) K-G-F100-R-KOH 2 M X 2000 เท่า (ข) K-G-F100-R-KOH 2 M X 5000 เท่า (ค) K-G-F100-R-KOH 2 M X 10000 เท่า



(ก). M-G X 2000 เท่า

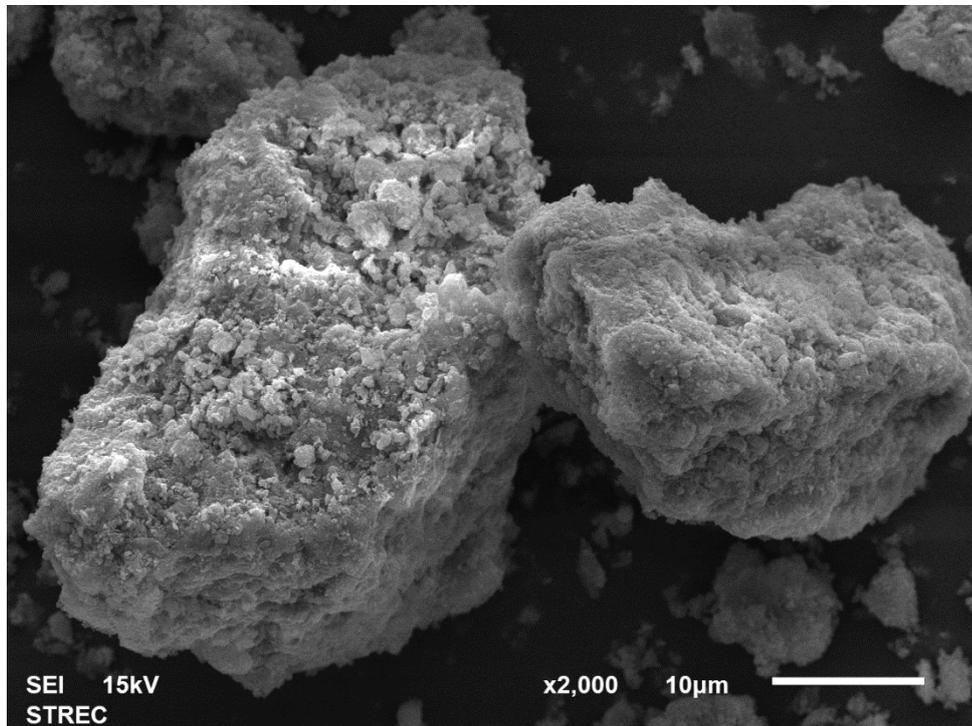


(ข). M-G X 5000 เท่า

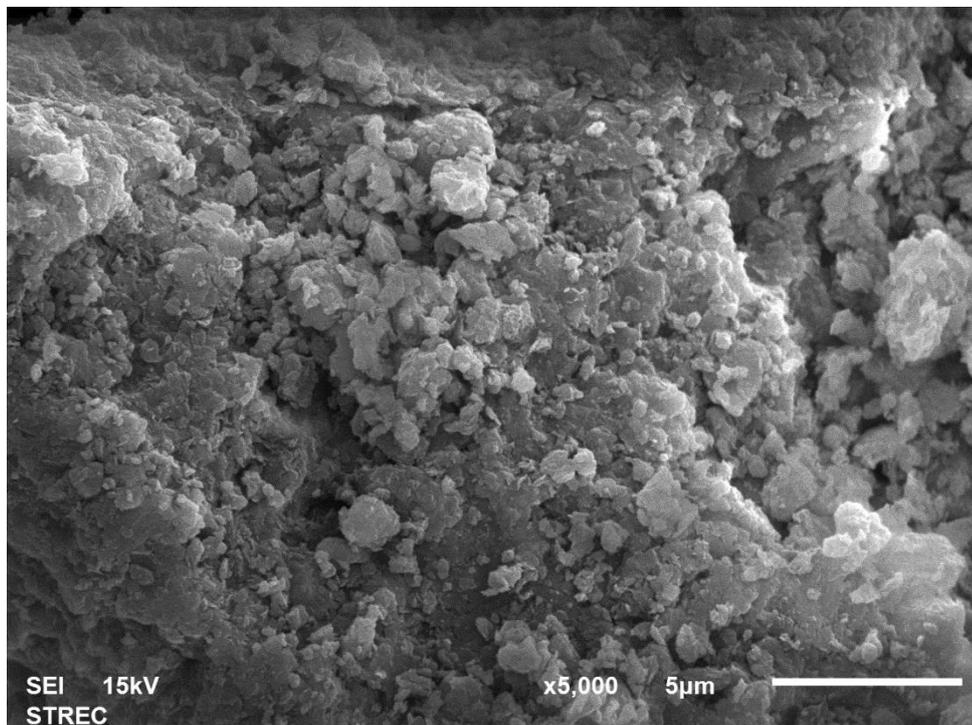


(ค). M-G X 5000 เท่า

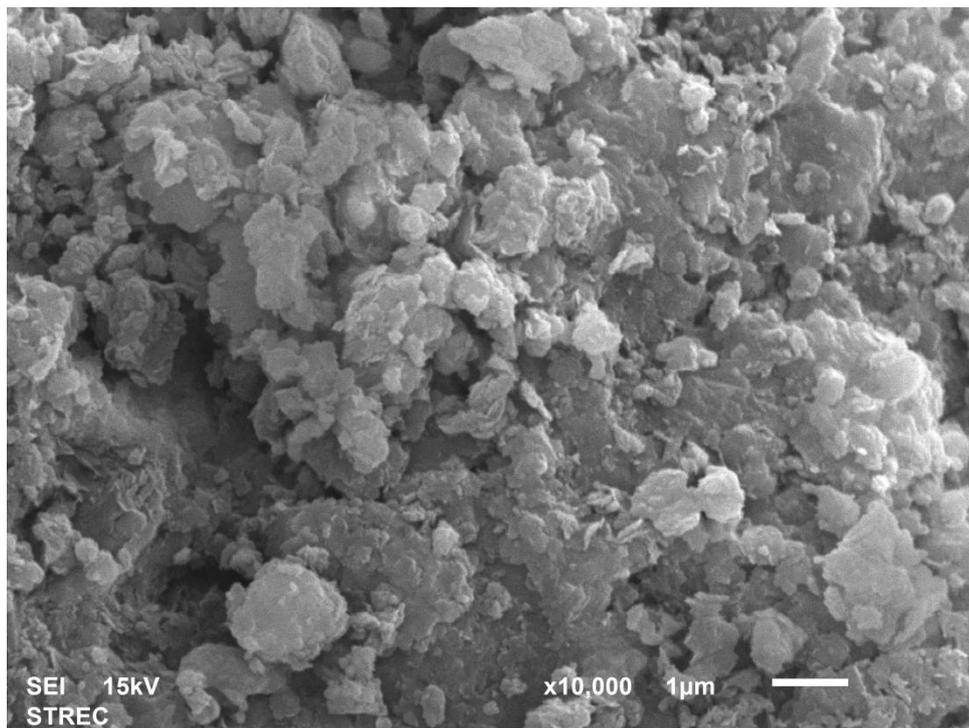
ภาพที่ 4.3 ภาพถ่ายจาก SEM ของแรมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการบด (K-G) (ก) M-G X 1000 เท่า (ข) M-G X 5000 เท่า (ค) M-G X 10000 เท่า



(ก). M-G-F100-R-KOH 2 M X 2000 เท่า



(ข). M-G-F100-R-KOH 2 M X 5000 เท่า



(ค). M-G-F100-R-KOH 2 M X 10000 เท่า

ภาพที่ 4.4 ภาพถ่ายจาก SEM ของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ที่ปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบด-
เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสและปรับสภาพทางเคมีด้วยโปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 M (K-G-
F100-R-KOH 2 M) (ก) K-G-F100-R-KOH 2 M X 2000 เท่า (ข) K-G-F100-R-KOH 2 M X 5000
เท่า (ค) K-G-F100-R-KOH 2 M X 10000 เท่า

ลักษณะพื้นที่ผิวของ (BET surface area) ของดินขาวและแร่มอนต์มอริลโลไนต์ที่ปรับสภาพทางกายภาพและเคมี

พื้นที่ผิวของดินขาว แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ ดินขาวและแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ที่ปรับสภาพทางกายภาพและเคมี แสดงดังตารางที่ 4.1 โดยการทดลองจะทดสอบตัวอย่างดินขาวและแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ โดยการเตรียมตัวอย่างหลายชนิดได้แก่ ดินขาวบด (K-G), ดินขาวปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และตามด้วยการปรับสภาพทางเคมีด้วยกรดซัลฟูริก 2 M (K-G-F100-R-H₂SO₄ 2 M), ดินขาวปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และตามด้วยการปรับสภาพทางเคมีด้วยกรดไฮโดรคลอริก 2 M (K-G-F100-R-HCl 2 M) , ดินขาวปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และตามด้วยการปรับสภาพทางเคมีด้วยกรดไฮโดรคลอริก 2 M (K-G-F100-R-HCl 2 M) , ดินขาวปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และตามด้วยการปรับสภาพทางเคมีด้วยแคลเซียมคลอไรด์ 2 M (K-G-F100-R-CaCl₂), ดินขาวปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และตามด้วยการปรับสภาพทางเคมีด้วยโปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 M (K-G-F100-R-KOH 2 M), แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ (M-G), แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และตามด้วยการปรับสภาพทางเคมีด้วยกรดซัลฟูริก 2 M (M-G-F100-R-H₂SO₄ 2 M), แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และตามด้วยการปรับสภาพทางเคมีด้วยกรดไฮโดรคลอริก 2 M (M-G-F100-R-HCl 2 M), แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสและตามด้วยการปรับสภาพทางเคมีด้วยแคลเซียมคลอไรด์ 2 M (M-G-F100-R-CaCl₂), แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสและตามด้วยการปรับสภาพทางเคมีด้วยโปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 M (M-G-F100-R-KOH 2 M) ซึ่งจากตารางที่ 4.1 พบว่าแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสและตามด้วยการปรับสภาพทางเคมีด้วยกรดซัลฟูริก 2 M (M-G-F100-R-H₂SO₄ 2 M) จะมีค่าพื้นที่ผิว (BET surface area) สูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 215.17 m²/g รองลงมาได้แก่ แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และตามด้วยการปรับสภาพทางเคมีด้วยกรดไฮโดรคลอริก 2 M (M-G-F100-R-HCl 2 M) (203.15 m²/g) และแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และตามด้วยการปรับสภาพทางเคมีด้วยโปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 M (M-G-F100-R-KOH 2 M) (132.37 m²/g) โดยที่แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์บด (M-G) ที่ไม่ได้ปรับสภาพทางกายภาพและเคมีมีค่าพื้นที่ผิวเพียง 40.12 m²/g ส่วนดินขาวบด (K-G) มีค่าพื้นที่ผิวเพียง 30.12 m²/g และเมื่อมีการปรับสภาพทางกายภาพและเคมีค่าพื้นที่ผิวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยดินขาวที่ปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และตามด้วยการปรับสภาพทางเคมีด้วย

กรดซัลฟูริก 2 M (K-G-F100-R-H₂SO₄ 2 M) จะมีค่าพื้นที่ผิวสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ K-G-F100-R-HCl 2 M, K-G-F100-R-CaCl₂ 2 M และ K-G-F100-R-KOH 2 M โดยมีค่าเท่ากับ 81.12 m²/g

ตารางที่ 4.1 พื้นที่ผิวจำเพาะของดินขาว แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ ดินขาวและแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ที่ปรับสภาพทางกายภาพและเคมี

ตัวอย่าง	BET (m ² /g)	Total pore volume (cc/g)	Average pore diameter (nm)
K-G	30.12	0.2104	19.421
K-G-F100-R-H ₂ SO ₄ 2 M	81.12	0.1286	6.341
K-G- F100-R-HCl 2 M	71.86	0.1235	6.880
K-G- F100-R-CaCl ₂ 2 M	27.19	0.1002	13.104
K-G -F100-R-KOH 2 M	36.04	0.1146	13.046
M-G	40.12	0.2107	7.123
M-G-F100-R-H ₂ SO ₄ 2 M	215.17	0.2678	4.785
M-G-F100-R-HCl 2 M	203.15	0.2654	4.705
M-G- F100-R-CaCl ₂ 2 M	122.48	0.2001	6.542
M-G-F100-R-KOH 2 M	132.37	0.2008	6.691

จากผลการทดลอง ตารางที่ 4.1 เมื่อปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และตามด้วยปรับสภาพทางเคมีปรับสภาพด้วยสารเคมีชนิดที่แตกต่างกัน ได้แก่ กรดซัลฟูริก (H₂SO₄) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (CaCl₂) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ของดินขาวและแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ จะเห็นว่าเมื่อใช้กรดซัลฟูริก 2 M เป็นสารเคมีในการปรับสภาพ จะทำให้มีค่าพื้นที่ผิว (BET surface area) สูงที่สุดในดินขาวและแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ทั้งนี้เนื่องจากการปรับสภาพดินขาวและแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยกรดที่แรงจะทำองค์ประกอบ Al₂O₃ ในโครงสร้างลดลง เนื่องจาก Al₃⁺ ในชั้น Octahedral sheet ถูกชะ (leaching) ออกจากโครงสร้าง จึงทำให้พื้นที่ผิวมีค่าเพิ่มขึ้น (Panda et al., 2010; Aung et al., 2014)

ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสารหนูที่ปนเปื้อนในน้ำเมื่อใช้ดินขาวและแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ที่ปรับสภาพด้วยวิธีทางกายภาพร่วมกับเคมีเป็นตัวดูดซับ

- ผลของความเข้มข้นและชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพดินขาวและแร่มอนต์มอริลโลไนต์ต่อประสิทธิภาพการดูดซับสารหนู (As(V)) ในน้ำ

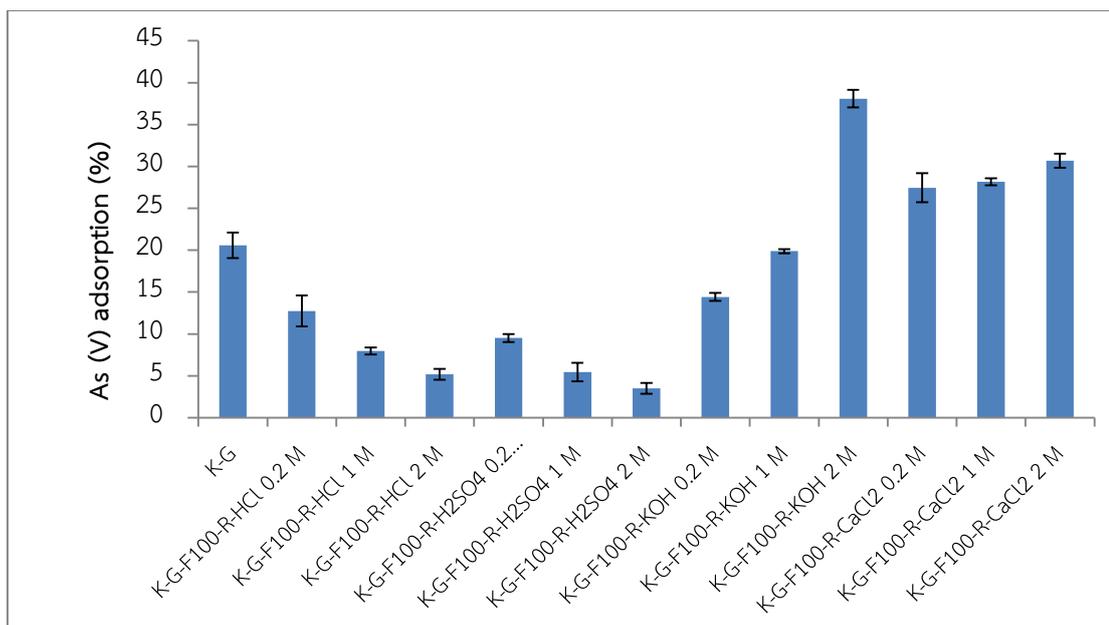
ผลของความเข้มข้นที่ใช้ 0.2, 1 และ 2 M และชนิดของสารเคมี ได้แก่ กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่ใช้ในการปรับสภาพดินขาวและแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ต่อประสิทธิภาพการดูดซับสารหนู (As(V)) ในน้ำ แสดงดังตารางที่ 4.2-4.3 และภาพที่ 4.5-4.6 ตามลำดับ และจากตารางที่ 4.2 และ 4.3 และภาพที่ 4.5-4.6 พบว่า การใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสและตามด้วยปรับสภาพทางเคมีด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 M (M-G-F100-R-KOH 2 M) ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด คือ 100% รองลงมาได้แก่ แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และตามด้วยปรับสภาพทางเคมีด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 M (M-G-F100-R-KOH 1 M) (70.11%) และ แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสและตามด้วยปรับสภาพทางเคมีด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 M (M-G-F100-R-KOH 0.2 M) (67.46 %) ตามลำดับ ส่วนการใช้ดินขาวปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และตามด้วยปรับสภาพทางเคมีด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 M มีแนวโน้มมีประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูเพิ่มขึ้นเช่นกันเมื่อเทียบกับการใช้สารเคมี เช่น กรดซัลฟูริก กรดไฮโดรคลอริก และสารแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในการปรับสภาพ และจากผลการทดลอง แสดงว่าการใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 M ในการปรับสภาพทางเคมีจะช่วยให้ประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูที่ปนเปื้อนในน้ำได้สูงขึ้นและจะไม่มีสารหนู (As (V)) ปนเปื้อนในน้ำ เมื่อใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสและตามด้วยปรับสภาพทางเคมีด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 M (M-G-F100-R-KOH 2 M) ซึ่งเป็นตามมาตรฐานของ WHO (World Health Organization) ที่กำหนดให้มีปริมาณสารหนูในน้ำดื่มไม่เกิน 10 ไมโครกรัม/ลิตร หรือ 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร การปรับสภาพทางเคมีด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 M ของดินมอนต์มอริลโลไนต์ (M-G-F100-R-KOH 2 M) มีประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูสูงถึง 100 % ถึงแม้ผลของค่าพื้นที่ผิว (ตารางที่ 4.1) เพียง $132.37 \text{ m}^2/\text{g}$ ซึ่งค่าต่ำกว่าแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ปรับสภาพทางเคมีด้วยกรดซัลฟูริก 2 M (M-G-F100-R- H_2SO_4 2 M) ($215.17 \text{ m}^2/\text{g}$) แสดงให้เห็นว่าการดูดซับสารหนู (As (V)) ในน้ำไม่ได้ขึ้นกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับเพียงอย่างเดียวแต่จะขึ้นกับสัดส่วนของปริมาณ Al^{3+} ในองค์ประกอบของตัวดูดซับด้วย เนื่องจากปริมาณของอลูมิเนียมของตัวดูดซับมีผลต่อ

การดูดซับสารหนู (Shevade and Ford, 2004) ในการทดลองนี้จะเห็นว่าดินมอนต์มอริลโลไนต์ ชนิด M-G-F100-R-H₂SO₄ 2 M จะมีปริมาณ Al₂O₃ น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ ชนิด M-G-F100-R-KOH 2 M เนื่องจาก Al₃⁺ ถูกชะ(leaching) ออกจากโครงสร้างจากการปรับสภาพด้วยกรด (ตารางที่ 4.5)

และจากการทดลองยังพบว่าความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ก็มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูในน้ำเช่นกันโดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของการปรับสภาพ จาก 0.2 เป็น 1 และ 2 M ของสารโปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมคลอไรด์ ประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ปรับสภาพเพิ่มขึ้น แต่สำหรับการปรับสภาพเคมีด้วยกรดซัลฟูริกและกรดไฮโดรคลอริกพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารเคมีในการปรับสภาพประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูลดลง

ตาราง 4.2 ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูด้วยดินขาวปรับสภาพด้วยความเข้มข้นและชนิดของสารเคมีต่าง ๆ

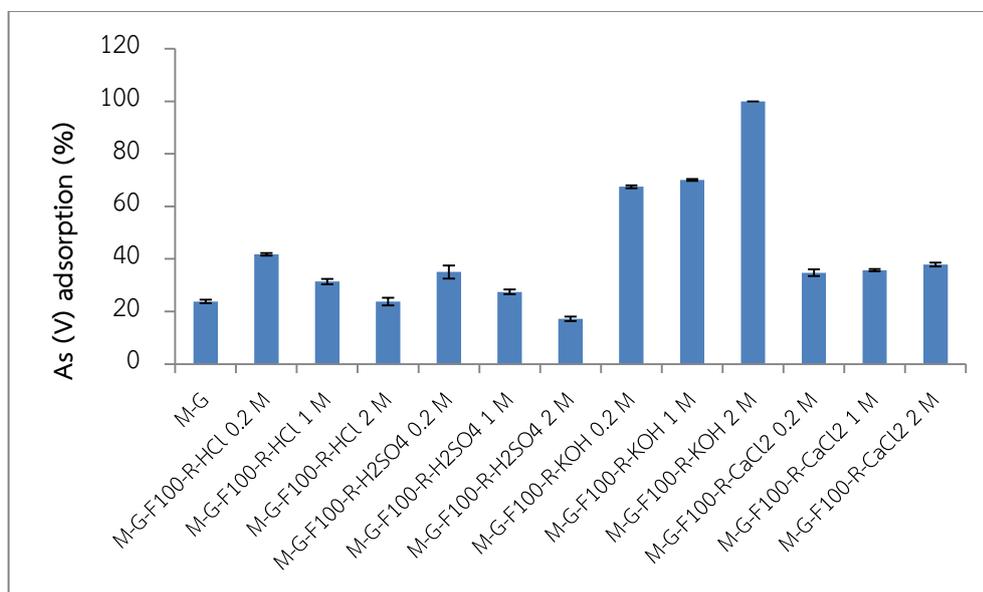
ตัวดูดซับ	ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนู (%)
K-G	20.58±1.51
K-G-F100-R-HCl 0.2 M	12.74±1.84
K- G-F100-R-HCl 1 M	7.98±0.42
K- G-F100-R- HCl 2 M	5.18±0.64
K- G-F100-R-H ₂ SO ₄ 0.2 M	9.52±0.48
K- G-F100-R- H ₂ SO ₄ 1 M	5.46±1.11
K- G-F100-R- H ₂ SO ₄ 2 M	3.50±0.64
K- G-F100-R-KOH 0.2 M	14.42±0.48
K- G-F100-R-KOH 1 M	19.88±0.24
K- G-F100-R-KOH 2 M	38.09±1.05
K- G-F100-R-CaCl ₂ 0.2 M	27.45±1.74
K-G-F100-R-CaCl ₂ 1 M	28.15±0.42
K-G-F100-R-CaCl ₂ 2 M	30.67±0.84



ภาพที่ 4.5 ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูด้วยดินขาวปรับสภาพด้วยความเข้มข้นและชนิดของสารเคมีต่าง ๆ

ตาราง 4.3 ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูด้วยแร่ดินดินมอนต์มอริลโลไนต์ ปรับสภาพด้วยความเข้มข้นและชนิดของสารเคมีต่าง ๆ

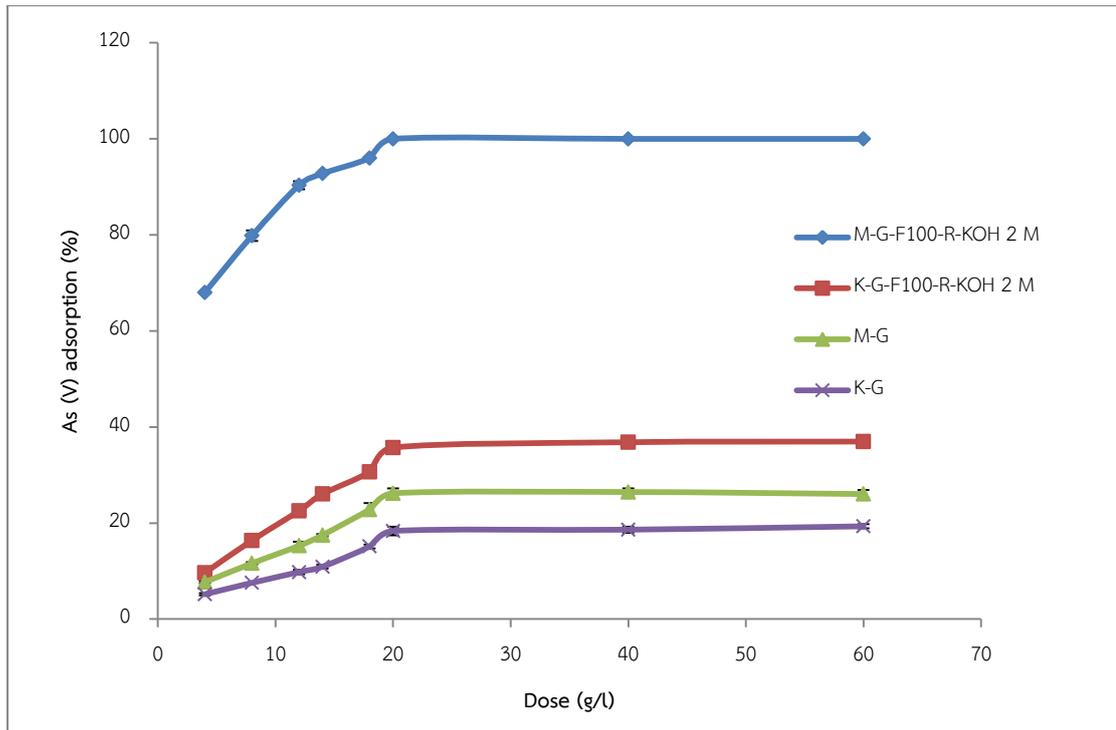
ตัวดูดซับ	ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนู (%)
M-G	23.80±0.64
M-G-F100-R-H ₂ SO ₄ 0.2 M	35.01±2.46
M- G-F100-R-H ₂ SO ₄ 1 M	27.45±0.87
M- G-F100-R-H ₂ SO ₄ 2 M	17.22±0.84
M- G-F100-R-HCl 0.2 M	41.73±0.48
M- G-F100-R-HCl 1 M	31.37±1.05
M- G-F100-R-HCl 2 M	23.80±1.47
M- G-F100-R-KOH 0.2 M	67.46±0.56
M- G-F100-R-KOH 1 M	70.11±0.36
M- G-F100-R-KOH 2 M	100±0.00
M- G-F100-R-CaCl ₂ 0.2 M	34.73±1.28
M- G-F100-R-CaCl ₂ 1 M	35.71±0.42
M- G-F100-R-CaCl ₂ 2 M	37.81±0.72



ภาพที่ 4.6 ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูด้วยแร่ดินดินมอนต์มอริลโลไนต์ปรับสภาพด้วยความเข้มข้นและชนิดของสารเคมีต่าง ๆ

-ผลของปริมาณตัวดูดซับ (Dose) ต่อประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูที่ปนเปื้อนในน้ำ

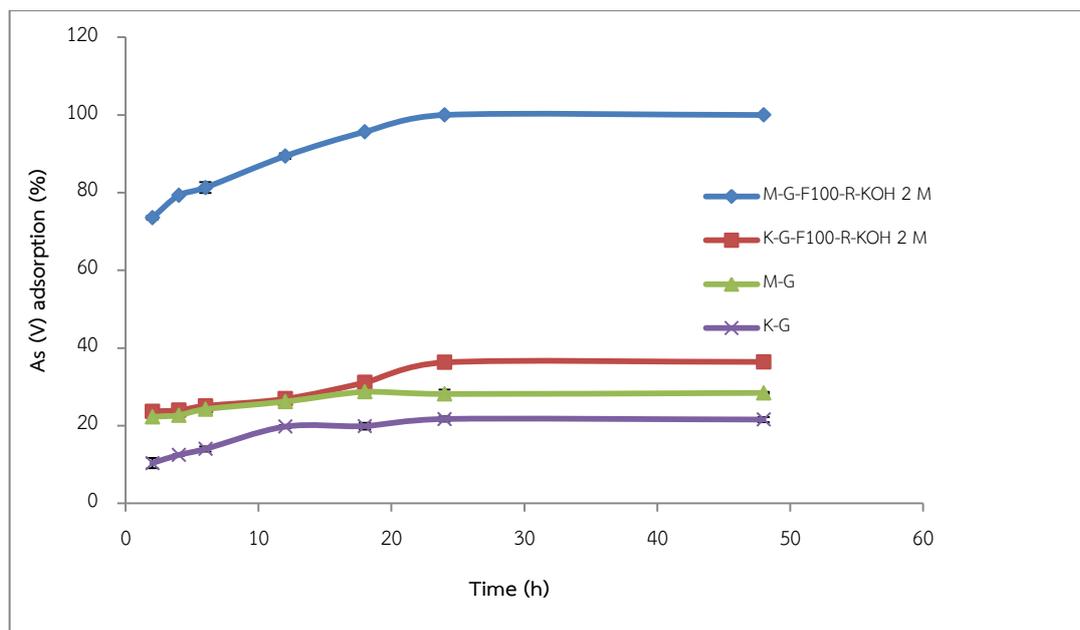
ผลของปริมาณตัวดูดซับ (dose) ต่อประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูที่ปนเปื้อนในน้ำ แสดงดังภาพที่ 4.7 โดยจากกราฟพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับของ K-G-F100-R-KOH 2 M, M-G-F100-R-KOH 2 M, K-G และ M-G จะทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูในน้ำเพิ่มสูงขึ้นและประสิทธิภาพจะคงที่ถึงจุดสมดุลเมื่อปริมาณตัวดูดซับมีค่าเท่ากับ 20 กรัม/ลิตร (การทดลองใช้ปริมาณ 0.2 กรัม ต่อ สารหนู (As (V)) 10 มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร) แสดงว่าค่าปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสมที่ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 20 กรัม/ลิตร ของ K-G-F100-R- KOH 2 M, M-G-F100-R- KOH 2 M, K-G และ M-G โดยทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนู (As(V)) มีค่าเท่ากับร้อยละ 35.71, 100, 18.34 และ 26.19 ตามลำดับ การที่ปริมาณตัวดูดซับเพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อมีปริมาณตัวดูดซับเพิ่มขึ้นทำให้พื้นที่ของตัวดูดซับที่เป็นจุดในดูดซับเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Ren et al. (2014) ที่บำบัดสารหนูในน้ำด้วยดินมอนต์มอริลโลไนต์โดยการปรับสภาพทางเคมีด้วยสาร Fe polycations และ Cetyltrimethylammonium ที่พบว่าเมื่อเพิ่มตัวดูดซับสูงขึ้นประสิทธิภาพการดูดซับ As (V) ในน้ำก็จะเพิ่มสูงขึ้น



ภาพที่ 4.7 ผลของปริมาณตัวดูดซับ (Dose) ต่อประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูที่ปนเปื้อนในน้ำ

-ผลของระยะเวลา (Time) ต่อประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูที่ปนเปื้อนในน้ำ

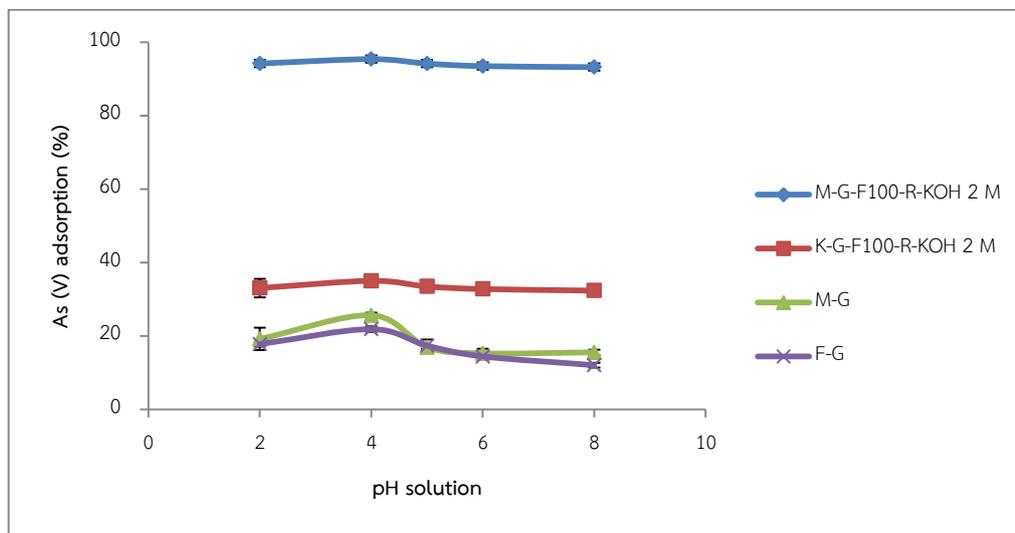
ผลของระยะเวลาต่อประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูที่ปนเปื้อนในน้ำ แสดงดัง ภาพที่ 4.8 จากกราฟได้มีการกำหนดระยะเวลาการดูดซับสารหนูในน้ำ (As(V)) แตกต่างกันตั้งแต่ 2-48 ชั่วโมง โดยผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาการดูดซับเพิ่มขึ้นจาก 2 ชั่วโมง เป็น 24 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มขึ้นและหลังจากระยะเวลาดูดซับหลัง 24-48 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูเริ่มคงที่ถึงจุดสมดุล แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาการดูดซับ 24 ชั่วโมงของ K-G-F100-R-KOH 2 M, M-G-F100-R-KOH 2 M, K-G และ M-G เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมโดยประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูมีค่าเท่ากับร้อยละ 36.27, 100, 21.70 และ 28.15 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามระยะเวลาที่เหมาะสมการดูดซับสารหนูในน้ำอาจขึ้นกับชนิดของตัวดูดซับด้วย เช่น Saha และ Sarkar (2012) ได้ศึกษาการใช้นาโนอลูมินา (Nano alumina) ที่ตั้งด้วยไคโตซานที่กราฟต์ด้วย Polyacrylamide ในการดูดซับสารหนู (V) ที่ปนเปื้อนในน้ำดื่ม พบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับเพียง 6 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.8 ผลของระยะเวลา (Time) ต่อประสิทธิภาพการดูดซับสารหนู (As(V)) ที่ปนเปื้อนในน้ำ

-ผลของพีเอช ต่อประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูที่ปนเปื้อนในน้ำ

ผลของพีเอช ต่อประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูที่ปนเปื้อนในน้ำแสดงดังภาพที่ 4.9 โดยการทดลองกำหนดให้ pH solution ของสารละลาย As (V) มีค่า 2 , 4 , 5 6 และ 8 ซึ่งผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการดูดซับสารหนู (As (V)) เพิ่มขึ้นจากพีเอช 2 เป็น พีเอช 4 เพียงเล็กน้อย เมื่อปรับพีเอชเป็น 5 , 6 และ 8 จะทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนู (As (V)) ลดลงของทั้ง M-G-F100-R- KOH 2 M, M-G-F100-R- KOH 2 M, M-G และ K-G แสดงว่าที่ พีเอช 4 เป็นค่าที่เหมาะสมในการดูดซับสารละลาย As (V) ในน้ำ ซึ่งสารละลายสารหนูเมื่อพีเอชเท่ากับ 4 จะมีรูปเป็น $H_2AsO_4^-$ (Mohan and Pittman, 2007) และพื้นที่ผิวตัวดูดซับจะมีประจุเป็นบวก (Positive charge) จึงทำให้มีการดึงดูดกันด้วยแรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic attraction force) (Yazdani et al., 2016) ส่วนเมื่อค่าพีเอชของสารละลายสารหนูมีค่าสูงขึ้น เช่น พีเอช 8 จะทำให้สภาพพื้นที่ผิวตัวดูดซับมีประจุเป็นลบ (Negative charge) ทำให้เกิดแรงผลักรันของไฟฟ้าสถิต (Electrostatic repulsive force) ของ $H_2AsO_4^-$ กับประจุลบของตัวดูดซับ (Yazdani et al., 2016) ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูมีแนวโน้มลดลง อย่างไรก็ตามค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับสารหนูก็ขึ้นกับชนิดของตัวดูดซับด้วย โดย Yazdani et al. (2016) ศึกษาการใช้หินฟันม้า (Feldspars) ในการกำจัดสารหนู (V) ในน้ำ และพบว่าค่าพีเอชเท่ากับ 3 ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูในน้ำสูงที่สุด ส่วน Amera and Awwad (2018) พบว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมของการบำบัดสารหนู (As(V)) ในน้ำ ด้วย Nanocrytalline kaolinite คือพีเอช 8



ภาพที่ 4.9 ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพการดูดซับสารหนู (As(V)) ที่ปนเปื้อนในน้ำ

การศึกษาผลของสัดส่วนอลูมิเนียมต่อประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูที่ปนเปื้อนในน้ำเมื่อใช้ดินขาวและแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ที่ปรับสภาพด้วยวิธีทางกายภาพร่วมกับเคมีเป็นตัวดูดซับ

องค์ประกอบทางเคมีของดินขาวและดินขาวปรับสภาพทางกายภาพและเคมีจากการวิเคราะห์ด้วย X-ray fluorescence (XRF) และผลของ Al:Si ต่อประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูในน้ำแสดงดังตารางที่ 4.4-4.5 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเปรียบระหว่างดินขาวที่ผ่านบด (K-G) เพียงอย่างเดียว กับดินขาวที่ผ่านการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสและตามด้วยปรับสภาพการปรับสภาพทางเคมีด้วยสารเคมี เช่น K-G-F100-R-KOH 2 M, K-G-F100-R-H₂SO₄ 2 M, K-G-F100-R-HCl 2 M และ K-G-F100-R-CaCl₂ 2 M พบว่าเมื่อมีการเผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสและตามด้วยการปรับสภาพด้วยสารเคมีจะทำให้องค์ประกอบของอลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃) ลดลง (ตารางที่ 4.4) ซึ่งผลของการเปรียบเทียบดินมอนต์มอริลโลไนต์ที่บด (M-G) กับ ดินมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสและตามด้วยปรับสภาพการปรับสภาพทางเคมีด้วยสารเคมี ก็เช่นเดียวกันที่มีองค์ประกอบของอลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃) ลดลง (ตารางที่ 4.5) เนื่องจากการเผาและการปรับสภาพด้วยสารเคมีทำให้ Al³⁺ ถูกชะออกจากองค์ประกอบของดินขาวและดินมอนต์มอริลโลไนต์ทำให้อลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃) ลดลง (Aung et al., 2014) และจากผลการทดลองยังพบว่าพบว่าสัดส่วนของ Al:Si ในตัวดูดซับมีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับสารหนู (As (V)) ในน้ำ โดยการทดลองพบว่าสัดส่วนที่ดีที่สุด Al:Si เท่ากับ 0.345 ที่ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูในน้ำได้ 100 % เมื่อใช้ M-G-F100-R-KOH 2 M เป็นตัวดูดซับ และ

เมื่อ Al:Si 0.347 เมื่อใช้ M-G-F100-R-KOH 1 M เป็นตัวดูดซับได้ประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูในน้ำ 70.41% และจากผลการทดลองพบว่า Al:Si มีผลต่อประสิทธิภาพในตัวดูดซับสารหนูโดยถ้ามากกว่าหรือน้อยกว่า 0.345 ประสิทธิภาพการบำบัดสารหนู (V) ก็จะมีค่าต่ำลงจาก 100% แสดงว่าสัดส่วนของ Al:Si ในตัวดูดซับมีผลต่อประสิทธิภาพประสิทธิผลการดูดซับสารหนู (As (V) ในน้ำ นอกเหนือจากปริมาณรูพรุน (BET Surface area) ของตัวดูดซับ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Yazdani et al. (2016) ที่ศึกษาการใช้หินฟันม้า (Feldspars) ในการกำจัดสารหนู (V) ในน้ำ โดยใช้หินฟันม้า 2 ชนิด หินฟันม้า A และหินฟันม้าชนิด B ที่มีสัดส่วน Si:Al แตกต่างกัน คือ 3.33 และ 2.7 ตามลำดับ และพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสารหนู (V) ในน้ำของหินฟันม้าชนิด B มีสูงกว่าชนิด A เนื่องจาก มีปริมาณอลูมิเนียม (Al) ในองค์ประกอบสูงกว่า แต่อย่างไรก็ตามการทดลองของ Yazdani et al. (2016) ใช้สัดส่วนของ Si:Al ในการศึกษาผลของประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูในน้ำขณะที่การทดลองนี้ใช้สัดส่วนของ Al:Si ในการดูผลของประสิทธิภาพการดูดซับสารหนู

นอกจากนี้ Shevade and Ford (2004) พบว่าปริมาณอลูมิเนียมในองค์ประกอบของตัวดูดซับมีผลต่อการดูดซับสารหนูในน้ำโดยเชื่อว่ามีการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง Al กับสารหนู (V) ในน้ำเป็นดังนี้



โดยที่ $\text{Al}_5\text{-OH}$ คือพื้นที่ผิวของตัวดูดซับที่มีอลูมิเนียม (Aluminol site) และการดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อ Alumino site มีประจุเป็นบวก (Protonation status)

และ Arnamwong et al. (2016) ได้ทดลองใช้ดินขาวในการลดสารหนูในข้าวที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนสารหนูพบว่าสารหนู (V) โดยพบว่าสารหนูในข้าวลดลงเนื่องจากมีการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอลูมิเนียม (Al) ที่มีในดินขาวกับ สารหนู (V) ที่อยู่ในดินดังนี้



ตารางที่ 4.4 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของดินขาวและดินขาวปรับสภาพทางกายภาพและเคมีจากการวิเคราะห์ด้วย X-ray fluorescence (XRF) และผลของ Al:Si ต่อประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูในน้ำ

ตัวดูดซับ	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	MnO (%)
K-G	54.2	42.0	2.21	0.04	1.14	0.053	-	0.059
K-G-F100-R-KOH 0.2 M	52.4	37.9	5.52	1.92	1.27	0.562	0.562	0.132
K-G-F100-R-KOH 1 M	48.1	34.3	12.9	2.60	1.03	0.614	0.170	0.073
K-G-F100-R-KOH 2 M	45.6	30.0	13.3	6.70	2.10	1.55	0.226	0.121
K-G-F100-R-H ₂ SO ₄ 2 M	77.3	19.3	2.42	0.125	0.481	0.057	-	0.037
K- G-F100-R-HCl 2 M	66.8	29.8	2.24	0.14	0.584	0.060	-	0.039
K- G-F100R-CaCl ₂ 2 M	52.4	40.5	2.30	2.23	1.18	0.089	0.092	0.060

ตารางที่ 4.4 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของดินขาวและดินขาวปรับสภาพทางกายภาพและเคมีจากการวิเคราะห์ด้วย X-ray fluorescence (XRF) และผลของ Al:Si ต่อประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูในน้ำ (ต่อ)

ตัวดูดซับ	TiO ₂ (%)	Rb ₂ O (%)	SO ₃ (%)	ZnO (%)	CuO (%)	P ₂ O ₅ (%)	Al:Si	% As (V) adsorption
K-G	0.040	0.029	0.038	0.006	0.01	0.022	0.80	20.58
K-G-F100-R-KOH 0.2 M	0.046	0.028	0.021	0.020	0.014	0.020	0.74	14.42
K-G-F100-R-KOH 1 M	0.048	0.028	0.018	0.016	0.010	-	0.72	19.88
K-G-F100-R-KOH 2 M	0.077	0.060	0.033	0.043	0.015	0.017	0.66	38.09
K-G-F100-R-H ₂ SO ₄ 2 M	0.040	0.016	0.122	0.008	0.007	0.016	0.23	3.50
K-G-F100-R-HCl 2 M	0.043	0.022	0.008	0.004	0.008	-	0.43	5.18
K- G-F100-R-CaCl ₂ 2 M	0.041	0.026	0.036	0.017	0.014	0.021	0.80	30.67

ตารางที่ 4.5 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์และแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ที่ปรับสภาพสภาพทางกายภาพและเคมีและผลของ Al:Si ต่อประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูในน้ำ

ตัวดูดซับ	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	K ₂ O (%)	MgO (%)	TiO ₂ (%)	Na ₂ O (%)
M-G	55.0	17.8	14.2	4.84	0.947	3.29	0.040	0.863
M-G-F100-R-KOH 0.2 M	52.7	16.8	12.3	5.66	5.64	3.74	2.07	0.388
M-G-F100-R-KOH 1 M	48.8	15.8	14.6	7.33	5.94	4.11	2.34	0.253
M-G-F100-R-KOH 2 M	44.7	15.3	15.9	8.12	5.97	5.80	2.77	0.578
M-G-F100-R-H ₂ SO ₄ 2 M	89.1	4.09	1.97	0.462	0.691	0.388	2.64	0.343
M- G-F100-R-HCl 2 M	84.1	7.26	2.82	0.870	0.697	0.955	2.78	0.327
M- G-F100-R-CaCl ₂ 2 M	53.5	17.1	13.8	8.14		2.63	2.24	0.326

ตารางที่ 4.5 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์และแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ที่ปรับสภาพสภาพทางกายภาพและเคมีและผลของ Al:Si ต่อประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูในน้ำ (ต่อ)

ตัวดูดซับ	P ₂ O ₅ (%)	MnO (%)	SrO (%)	ZrO ₂ (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	ZnO (%)	SO ₃ (%)	Al:Si	% As (V) adsorption
M-G	0.334	0.095	0.079	0.055	0.047	0.020	0.016	0.321	23.80
M-G-F100-R-KOH 0.2 M	0.340	0.102	0.059	0.043	0.032	0.024	0.021	0.319	67.46
M-G-F100-R-KOH 1 M	0.454	0.137	0.045	0.033	0.033	0.038	0.053	0.347	70.11
M- G-F100-R-KOH 2 M	0.454	0.137	0.045	0.033	0.033	0.038	0.053	0.345	100
M- G-F100-R-H ₂ SO ₄ 2 M	0.020	0.013	0.001	0.010	0.025	0.003	0.142	0.041	17.22
M- G-F100-R-HCl 2 M	0.042	0.010	0.002	0.020	0.026	0.006	0.040	0.079	23.80
M- G-F100-R-CaCl ₂ 2 M	0.333	0.112	0.010	0.035	0.035	0.033	0.012	0.330	37.81

ศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสารหนู (As(V)) ด้วยดินขาวและแ래ดินมอนต์มอริลโลไนต์ที่ปรับสภาพสภาพทางกายภาพและเคมี

ค่าไอโซเทอมตามสมการแลงเมอว์เป็นการอธิบายค่าความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความจุของสารหนู (q_e) และ ค่าความเข้มข้นของสารหนู (V) ที่เหลือ (C_e) ณ สภาวะสมดุลโดย สมการของแลงเมอว์แสดงไว้ในสมการที่ 1 (Agrafiot et al., 2014)

$$q_e = \frac{q_{max} b C_e}{(1 + b C_e)} \quad (1)$$

q_e คือ ปริมาณของตัวถูกดูดซับที่สามารถดูดซับแบบชั้นเดียวต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/กรัม)

q_{max} คือ ปริมาณสูงสุดของตัวถูกดูดซับที่สามารถดูดซับแบบชั้นเดียวต่อน้ำหนัก(มิลลิกรัม/กรัม)

C_e คือ ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร)

b คือ ค่าจำเพาะของการดูดซับ

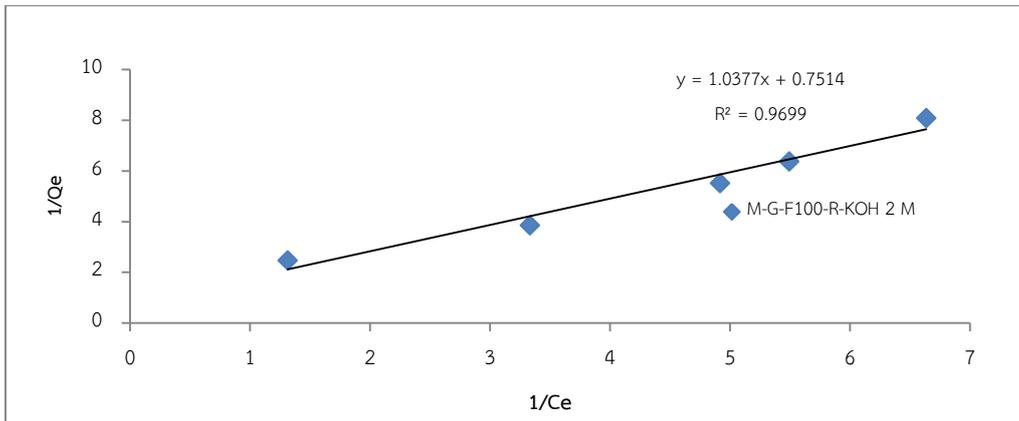
สมการที่ 1 เมื่อนำมาเขียนใหม่ในรูปความสัมพันธ์เชิงเส้นได้ดังนี้

$$\frac{C_e}{q} = \frac{1}{q_{max} b} + \frac{C_e}{q_{max}} \quad (2)$$

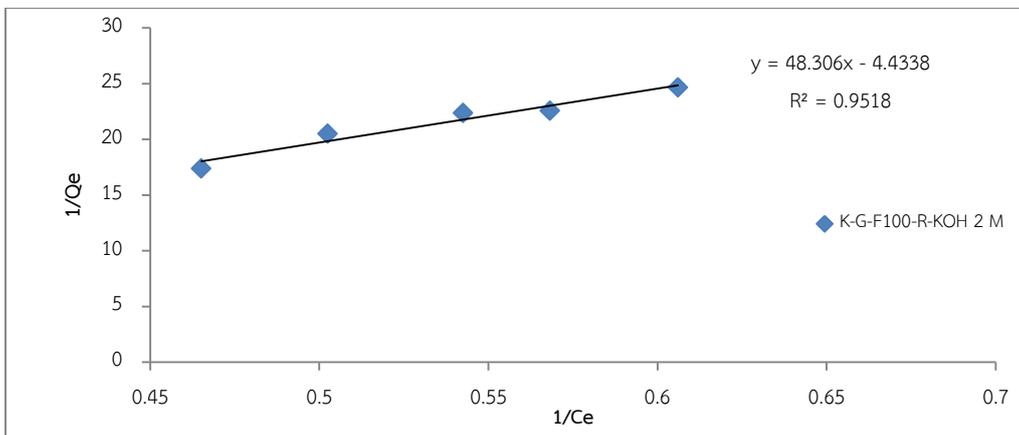
$$q_e = q_{max} - \frac{q_e}{b C_e} \quad (3)$$

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_{max}} + \frac{1}{b q_{max} C_e} \quad (4)$$

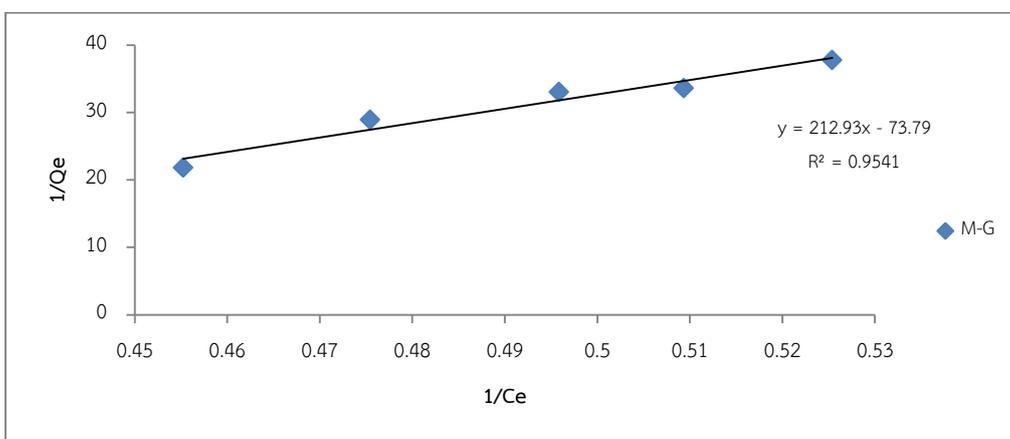
ดังนั้นเมื่อเขียนกราฟ ระหว่าง $1/C_e$ และ $1/q_e$ แล้ว ค่า q_{max} หาได้จาก intercept= $1/q_{max}$ ส่วน slope = $1/bq_{max}$ ซึ่งการทดลองได้คำนวณไอโซเทอมตามสมการแลงเมอว์ของ M-G-F100-R-KOH 2 M , K-G-F100-R-KOH 2 M, M-G และ K-G ดังภาพที่ 4.10



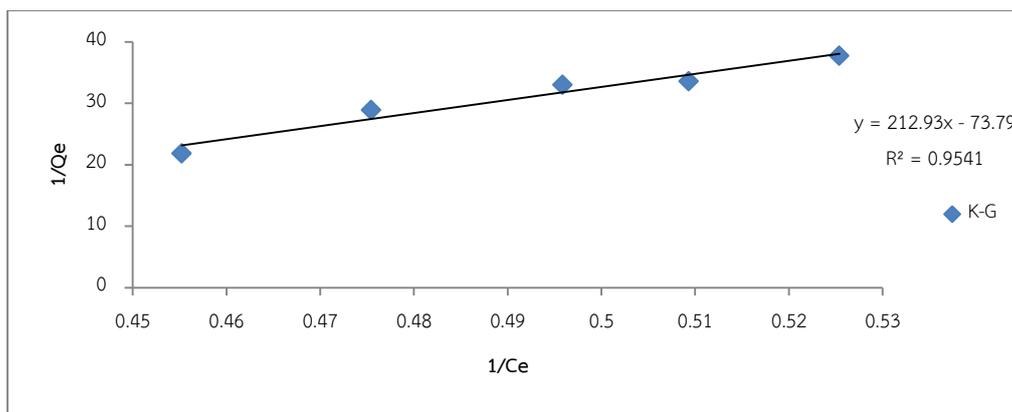
(ก). ดินมอนต์มอริลโลไนต์ที่ปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสและปรับสภาพทางเคมีด้วยโปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 M (M-G-F100-R-KOH 2 M)



(ข). ดินขาวที่ปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสและปรับสภาพทางเคมีด้วยโปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 M (K-G-F100-R-KOH 2 M)



(ค). ดินมอนต์มอริลโลไนต์บด (M-G)



(ง).ดินขาวบด (K-G)

ภาพที่ 4.10 ไอโซเทอมตามสมการแลงเมียร์ของสารหนู (As(V)) ที่ดูดซับด้วย M-G-F100-R-KOH 2 M (ก), K-G-F100-R-KOH 2 M (ข), M-G (ค) และ K-G (ง)

จากกราฟที่ 4.10 สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 Langmuir constants ของสารหนู (V) ที่ถูกดูดซับ บนดินขาวบด,แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์บดและดินขาวและแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสและปรับสภาพทางเคมีด้วยโปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 M

ตัวดูดซับ (Adsorbents)	Langmuir constants		
	q_{max} (mgg^{-1})	b (lmg^{-1})	r^2
M-G-F100-R-KOH 2 M	1.330	0.7245	0.9699
K-G-F100-R-KOH 2 M	0.225	0.0940	0.9518
M-G	0.013	0.3612	0.9541
K-G	0.003	0.4708	0.9771

หมายเหตุ: ความเข้มข้นสารหนู (V) เท่ากับ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากการทดลองพบว่าเมื่อนำดินมอนต์มอริลโลไนต์มาปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และปรับสภาพทางเคมีด้วยโปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 M (M-G-F100-R-KOH 2 M) จะทำให้ปริมาณความจุของสารหนู (V) (q_{max}) มีค่าสูงสุดคือมีค่าเท่ากับ 1.330 มิลลิกรัมของ As (V) /กรัมของตัวดูดซับ และมีค่ามากกว่าการใช้ดินมอนต์มอริลโลไนต์บด (M-G) เพียงอย่างเดียว (0.013 มิลลิกรัมของ As (V) /กรัมตัวดูดซับ) เป็นตัวดูดซับ ส่วนดินขาวปรับสภาพ

ทางกายภาพด้วยการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และปรับสภาพทางเคมีด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 M (K-G-F100R-KOH 2 M) ก็เช่นเดียวกันมีความจุของสารหนู (V) สูงขึ้นเป็น 0.225 มิลลิกรัมของ As (V) /กรัมของตัวดูดซับ จากเดิมที่มีความจุการดูดซับสารหนูสูงสุดเพียง 0.003 มิลลิกรัมของ As (V) /กรัมตัวดูดซับ เมื่อใช้ดินขาวบด (K-G) เป็นตัวดูดซับแสดงให้เห็นว่าการปรับสภาพทางเคมีด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 M ทำให้ความจุของการดูดซับ As (V) สูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการใช้ดินมอนต์มอริลโลไนต์มาปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสและปรับสภาพทางเคมีด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 M (M-G-F100-R-KOH 2 M) จะมีความจุของสารหนูได้สูงกว่าการใช้ดินขาวปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และปรับสภาพทางเคมีด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 M (K-G-F100-R-KOH 2 M) ทั้งนี้อาจเนื่องจากดินมอนต์มอริลโลไนต์ชนิด M-G-F100-R-KOH 2 M มีพื้นที่ผิวสูงกว่าดินขาวชนิด K-G-F100-R-KOH 2 M (ตารางที่ 4.1) และมีอัตราส่วน Al:Si ที่เหมาะสม (Al:Si =0.345) จึงทำให้มีค่าความจุของดูดซับสารหนูในน้ำมีค่าสูงกว่าดินขาวชนิด K-G-F100-R-KOH 2 M และเมื่อเปรียบเทียบค่าความจุสูงสุดดูดซับของดินขาวชนิด K-G-F100-R-KOH 2 M กับการทดลองของ Muknopadhyay et al. (2017) ที่ใช้ดินขาวปรับสภาพด้วยฟอสเฟตเป็นตัวดูดซับสารหนูพบว่ามีความจุการดูดซับสารหนู (q_{max}) เพียง 0.124 มิลลิกรัมของ As (V) /กรัมของตัวดูดซับ ขณะที่งานวิจัยของ Ren et al. (2014) ใช้ดินมอนต์มอริลโลไนต์ที่ปรับสภาพทางเคมีด้วย Fe polycations และ Cetyltrimethylammonium พบว่าค่าความจุการดูดซับสารหนู (q_{max}) ประมาณ 8.85 มิลลิกรัมของ As (V) /กรัมของตัวดูดซับซึ่งสูงกว่าดินมอนต์มอริลโลไนต์ชนิด M-G-F100-R-KOH 2 M ที่มีค่าเพียง 1.330 มิลลิกรัมของ As (V) /กรัมของตัวดูดซับ แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้จะได้ค่าความจุการดูดซับสารหนู (q_{max}) ต่ำกว่าแต่สารเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพก็มีราคาถูกกว่าและวิธีการปรับสภาพก็ง่ายกว่าและไม่ซับซ้อน

ศึกษาการปลดปล่อยของสารหนู (As (V) ด้วยดินขาวและแร่มอนต์มอริลโลไนต์ที่ปรับสภาพทางกายภาพและเคมี

- ศึกษาการแยกชะของสารหนู (V) ออกจากตัวดูดซับ (Desorption)

การศึกษการแยกชะของสารหนูในดินมอนต์มอริลโลไนต์ที่ปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และปรับสภาพทางเคมีด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 M (M-G-F100-R-KOH 2 M) และการแยกชะของสารหนูในดินขาวที่ปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสและตามด้วยการปรับสภาพทางเคมีด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 M (K-G-F100-R-KOH 2 M) การทดลองจะใช้น้ำปราศจากไอออน (DI) กรดซัลฟูริก 0.5 M และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 M เป็นสารแยกชะ (Eluents) ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพการชะ (Desorption) ของสารหนู (V) เมื่อใช้สารแยกชะชนิดต่างๆ

สารแยกชะ (Eluents)	% Desorption	
	M-G-F100-R-KOH 2 M	K-G-F100-R-KOH 2 M
น้ำ DI	24.69±0.33	21.94±0.50
H ₂ SO ₄ 0.5 M	45.63±1.02	42.49±1.69
NaOH 0.5 M	99.20±0.40	98.72±0.45

จากผลการทดลองพบว่า การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 M ในการแยกชะสารหนูในแร่ดินมอนมอริลโลไนต์ชนิด M-G-F100-R-KOH 2 M และดินขาวชนิด K-G-F100-R-KOH 2 M มีประสิทธิภาพการแยกชะสูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 99.20±0.40 และ 98.72±0.45 ตามลำดับ รองลงมาได้แก่ การใช้ กรดซัลฟูริก 0.5 M และ น้ำปราศจากอออน (DI) เป็นตัวชะ (Eluent) ซึ่งจากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่ากลไกการดูดซับสารหนู (V) กับดินมอนมอริลโลไนต์ชนิด M-G-F100-R-KOH 2 M และดินขาวชนิด K-G-F100-R-KOH 2 M น่าจะเป็นกลไกการดูดซับประเภทกายภาพ-เคมี (Physiochemical adsorption) โดยส่วนใหญ่จะเป็นการดูดซับทางเคมีและบางส่วนจะดูดซับทางกายภาพทั้งนี้อ้างอิงจากผลจากการที่สารหนู (V) สามารถชะออกจากสารละลายต่างคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์เกือบ 100% แสดงว่า กลไกการดูดซับระหว่างสารหนู กับตัวดูดซับ น่าจะเป็น

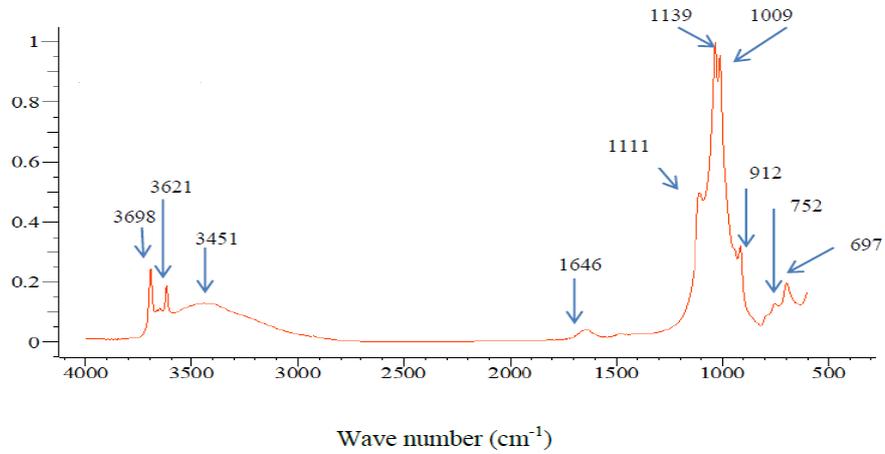


โดย $\text{Al}_5\text{-OH}_2^+$ คือ Alumino site ของตัวดูดซับมีประจุเป็นบวก จึงสามารถจับ (Bond) กับสารหนูที่อยู่ในรูป H_2AsO_4^- เมื่อสารละลายอยู่ในสภาวะกรดอ่อน ๆ ซึ่งกลไกการดูดซับดังกล่าวสอดคล้องกับ งานวิจัยของ Shevade and Ford (2004) และ Yazdani et al. (2016) ที่ได้พบว่าอลูมิเนียมเป็นธาตุที่สำคัญในการจับ (Bond) กับสารหนูในรูป H_2AsO_4^- ได้ดี ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูสูงขึ้น นอกจากนี้การทดลองพบว่าสารหนู (V) สามารถชะออกจากตัวดูดซับได้ประมาณร้อยละ 21.94±0.50 และ 21.94±0.50 สำหรับ M-G-F100-R-KOH 2 M และดินขาวชนิด K-G-F100-R-KOH 2 M ตามลำดับ เมื่อใช้น้ำปราศจากอออน (DI) เป็นตัวแยกชะ แสดงให้เห็นว่ากลไกการ

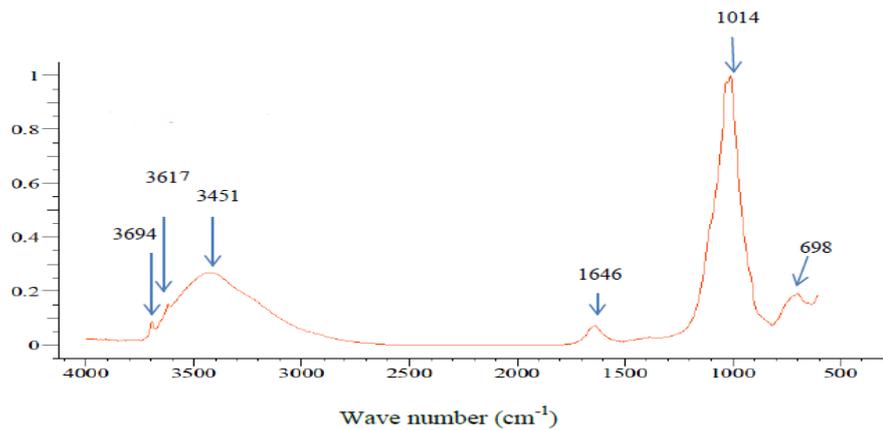
ดูดซับบางส่วนเป็นกลไกการดูดซับแบบกายภาพโดย H_2AsO_4^- สามารถดูดซับเข้าไปในตัวดูดซับ ผ่านรูพรุนของดินขาว และแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์โดยสามารถดูดซับเข้าไปในรูพรุนจะอาศัยด้วยแรง วาล-เดอว์วาล (Van der Waals force) ทำให้เวลาแยกขยะโดยใช้เพียงน้ำปราศจากอ็อกซิเจนจึงสามารถแยกขยะสารหนู (V) ออกมาได้

-การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับด้วย FTIR ก่อนและหลังการดูดซับสารหนู (V)

ภาพที่ 4.11 และ 4.12 แสดงผลการทดลองการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันก่อนและหลังการดูดซับสารหนูด้วยดินขาวที่ปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสและปรับสภาพทางเคมีด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 M ซึ่งคือ (K-G-F100-R-KOH 2 M) และแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ที่ปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และปรับสภาพทางเคมีด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 M (M-F₁₀₀-G-R-KOH 2 M)

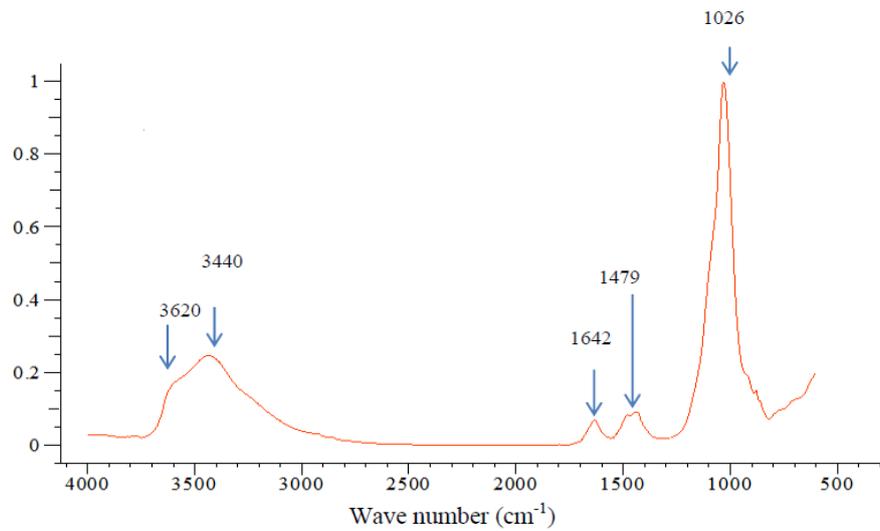


(ก). ก่อนการดูดซับของ K-G-F100-R-KOH 2 M

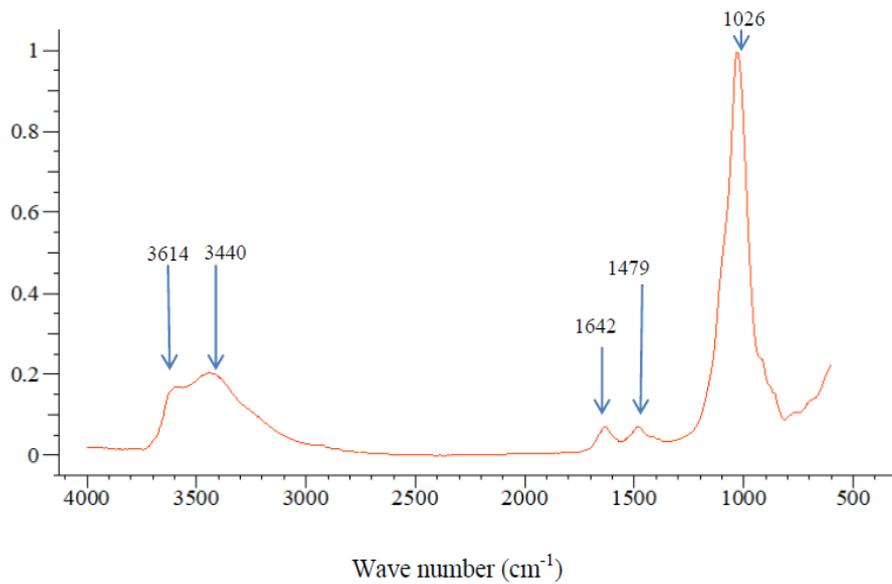


(ข). หลังการดูดซับของ K-G-F100-R-KOH 2 M

ภาพที่ 4.11 หมู่ฟังก์ชันก่อนและหลังการดูดซับสารหนูด้วยดินมอนต์มอริลโลไนต์มาปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสและตามด้วยปรับสภาพทางเคมีด้วยโพแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 M (K-G-F100-R-KOH 2 M)



(ก). ก่อนการดูดซับของ M-G-F100-R-KOH 2 M



(ข). หลังการดูดซับ M-G-F100-R-KOH 2 M

ภาพที่ 4.12 หมู่ฟังก์ชันก่อนและหลังการดูดซับสารหนูด้วยดินมอนต์มอริลโลไนต์มาปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบด-เผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และปรับสภาพทางเคมีด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 M (M-G-F100-R-KOH 2 M)

ผลของหมู่ฟังก์ชันก่อนการดูดซับของดินขาวชนิด K-G-F100-R-KOH 2 M (ภาพที่ 4.11 ก) จะพบพีคที่ตำแหน่ง 3698 และ 3621 cm^{-1} ซึ่งคือหมู่ไฮดรอกซิล (OH) (Aung et al., 2015) ที่น่าจะเชื่อมกับ (link) Al-OH และยังพบหมู่ OH อิสระที่ตำแหน่ง 3451 cm^{-1} นอกจากนี้ยังพบหมู่ C=O (ที่ตำแหน่ง 1646 cm^{-1}) , Si-O (ตำแหน่ง 1111,1139,1009, 752,697 cm^{-1}) (Aung et al., 2015) , หมู่ OH deformation ของ ALOH ที่ตำแหน่ง 912 cm^{-1} และหลังดูดซับสารหนู (V) (ภาพที่ 4.11 ข) พบว่า peak intensity ของหมู่ OH ที่เชื่อมกับ Al-OH ลดลงมากและพีคยังเคลื่อน (Shift) จาก 3698 cm^{-1} เป็น 3694 cm^{-1} และจาก 3621 cm^{-1} เป็น 3617 cm^{-1} แสดงให้เห็นว่าหมู่ Al-OH น่าจะมีบทบาทในการดูดซับสารหนูในน้ำ

ส่วนผลของฟังก์ชันก่อนการดูดซับของดินมอนต์มอริลโลไนต์ชนิด M-G-F100-R-KOH 2 M (ภาพที่ 4.12 ก) จะพบหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ที่เชื่อมกับ (link) Al-OH ที่ตำแหน่ง 3620 cm^{-1} และหมู่ OH อิสระที่ตำแหน่ง 3440 cm^{-1} และยังพบหมู่ C=O (ที่ตำแหน่ง 1642 cm^{-1}) , หมู่ C-H (1479 cm^{-1}) และ Si-O (ตำแหน่ง 1026 cm^{-1}) และหลังการดูดซับสารหนูพบว่า ที่ตำแหน่ง 3620 cm^{-1} พีคเคลื่อนตำแหน่งเล็กน้อย จาก 3620 เป็น 3614 cm^{-1} แสดงให้เห็นว่าหมู่ Al-OH น่าจะมีบทบาทในการดูดซับสารหนูในน้ำเช่นเดียวกัน

การประยุกต์ใช้คอลัมน์ในการบำบัดสารหนูที่ปนเปื้อนในน้ำ

เพื่อให้การใช้งานที่ง่ายและสะดวกและสามารถบำบัดน้ำปนเปื้อนสารหนูแบบระบบต่อเนื่อง ได้ผู้วิจัยจึงพัฒนาดินขาวและแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ชนิดผงเป็นเม็ดก้อนกลมบรรจุในคอลัมน์ขนาดเล็กในห้องปฏิบัติการ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูด้วยดินขาวและดินมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการปรับสภาพทางกายภาพและเคมีชนิดเม็ดในคอลัมน์

ตัวดูดซับ	ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนู (%)
ดินขาวชนิดเม็ดที่ผ่านการสภาพทางกายภาพและเคมี	4.51±0.89
ดินมอนต์มอริลโลไนต์ชนิดเม็ดที่ผ่านการสภาพทางกายภาพและเคมี	19.12±1.23

จากผลการทดลองจะเห็นว่าเมื่อนำดินขาวและดินมอนต์มอริลโลไนต์ชนิดเม็ดที่ผ่านการสภาพทางกายภาพ (บด-เผา) และเคมี (KOH 2 M) พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับค่อนข้างต่ำ เพียงร้อยละ 4.51 และ 19.12 เมื่อเปรียบเทียบกับดินขาวและดินมอนต์มอริลโลไนต์ชนิดผงที่ผ่านการปรับสภาพทางกายภาพและเคมี ที่มีประสิทธิภาพสูงถึง 38.09 และ 100 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องจากการพัฒนาให้มีรูปร่างเป็นเม็ดก่อนกลบสามารถคงรูปได้เมื่อน้ำไหลผ่าน ผู้วิจัยได้ใช้ดินเหนียวผสมด้วยก้อนกับตัวดูดซับแล้วจึงนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ทำให้เมื่อนำมาเป็นตัวดูดซับบรรจุในคอลัมน์เนื้อของตัวดูดซับจะแข็งและน้ำสารละลายสารหนูสามารถซึมผ่านเข้าไปในเนื้อตัวดูดซับได้น้อย อย่างไรก็ตามหากไม่ใช้ดินเหนียวสำหรับเป็นตัวเชื่อมประสานเพื่อให้มีรูปร่างคงตัวเวลาทำการทดลองเมื่อน้ำผ่านเข้าไปในเนื้อตัวดูดซับจะทำให้เม็ดก้อนของดินขาวและดินมอนต์มอริลโลไนต์แตกทันที