



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ชื่อโครงการ

การใช้ประโยชน์ซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอน
เพื่อการบำบัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย

Utilization of Synthetic Zeolite from Sludge
for Heavy Metals Contaminant Wastewater Treatment

คณะผู้วิจัย

1. นางสาวมาลี ประจวบสุข
2. นางสาวพรพรรณ พึ่งโพธิ์
3. นางสาวสายสมร ลำลอง
4. นายกัมปนาท ฉายจรัส
5. นางสาวสมจินตนา ทวีพาณิชย์
6. นางนุชนาพร พิจารณ์
7. นางดวงดาว สัตยากุล
8. นางสาวจิตรลดา เดชาติวงศ์

สังกัด

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานงบประมาณแผ่นดิน
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2562

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยเล่มนี้สำเร็จลงได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่านที่ได้ให้คำแนะนำและช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา ขอขอบคุณคณะผู้วิจัยทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ สนับสนุนในการวางแผนโครงการวิจัย ตลอดจนให้คำปรึกษาและคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานและการทดลอง ตลอดจนการชี้แนะข้อบกพร่องต่างๆ ในการจัดทำจนสำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ดร. ปาจริย์ ถาวรนิติ นักวิจัยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์ และสารเคมีในการทำวิจัย ตลอดจนทั้งให้คำปรึกษาและคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานและการทดลองด้วยดี

ขอขอบคุณนักศึกษาและผู้ช่วยวิจัยทุกท่าน ที่ทุ่มเทให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และสำนักงานการวิจัยแห่งชาติในการสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี สถานที่ทำงานหลักที่ได้ให้โอกาสในการทำวิจัยและการทำงานที่ดีเสมอมา

คณะผู้วิจัย

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)

คำสำคัญ : ซีโอไลต์ ดินตะกอน การดูดซับ แคดเมียม(II) แมงกานีส(II)

ปัจจุบันการปนเปื้อนของโลหะหนักในดิน ผิวน้ำ และน้ำบาดาลเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญปัญหาหนึ่งของโลกเนื่องจากโลหะหนักไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพและมีความเป็นพิษต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม วิธีการแก้ปัญหามลพิษทางโลหะหนักในน้ำได้กลายเป็นประเด็นที่สำคัญและหนึ่งในการจัดการกับปัญหานี้คือการดูดซับโลหะหนักด้วยตัวดูดซับ ซึ่งตัวดูดซับที่นิยมใช้ในการดูดซับน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อนนั่นคือถ่านกัมมันต์ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสูงทำให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสูง อย่างไรก็ตามถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุดูดซับที่มีราคาแพง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ใช้ดินตะกอนซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตน้ำประปามาเป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์ซีโอไลต์โดยใช้วิธี alkali fusion ด้วยการผสมกับเบส และทำการศึกษสมบัติของซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ได้ด้วยเทคนิค XRD XRF SEM FTIR และ BET ซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ถูกใช้สำหรับการบำบัดโลหะหนักสองชนิด ได้แก่ Cd(II) และ Mn(II) ประสิทธิภาพในการดูดซับต่อ Cd(II) และ Mn(II) ที่มีค่าการดูดซับที่แตกต่างกัน พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการดูดซับไอออน Cd(II) และไอออน Mn(II) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของ Cd(II) และ Mn(II) ในสารละลายในน้ำ คือ 50 mg/L ปริมาณของซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ได้ที่เหมาะสมในการดูดซับ Cd(II) คือ 4 กรัมต่อลิตร ใช้เวลาในการดูดซับ 30 นาที มีประสิทธิภาพการดูดซับไอออน Cd(II) ในสารละลายร้อยละ 98 สำหรับ Mn(II) ในสารละลายพบปริมาณที่เหมาะสมของตัวดูดซับคือ 8 กรัมต่อลิตร และเวลาการดูดซับที่เหมาะสมคือ 30 นาที โดยมีประสิทธิภาพการดูดซับร้อยละ 92 การดูดซับไอโซเทอร์มการดูดซับ Cd(II) และ Mn(II) สอดคล้องกับการดูดซับแลงเมียร์ไอโซเทอร์ม และจลนพลศาสตร์การดูดซับสอดคล้องกับปฏิกิริยาอันดับสองเหมือน นอกจากนี้ศึกษาอุณหพลศาสตร์ของการดูดซับของ Cd(II) entropy ΔS° , enthalpy ΔH° และพลังงานอิสระของกิบส์ ΔG° มีค่าเท่ากับ 168.42 J/mol K, 39.04 kJ/mol และ -10.69 (299K) kJ/mol ตามลำดับ สำหรับไอออน Mn(II) entropy ΔS° , enthalpy ΔH° และพลังงานอิสระกิบส์ ΔG° เท่ากับ 151.06 J/mol K, 34.27 kJ/mol และ -6.58 (299K) kJ/mol ตามลำดับ จากอุณหพลศาสตร์แสดงให้เห็นว่าเอนทัลปีมีค่าเป็นบวกแสดงว่าเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน เอนโทรปีเป็นบวกแสดงว่าโมเลกุลของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับบริเวณรอยต่อระหว่างตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับมีความเป็นไม่เป็นระเบียบสูงขึ้น และ พลังงานอิสระกิบส์เป็นลบแสดงว่ากระบวนการดูดซับสามารถเกิดขึ้นได้เอง จากผลการทดลองพบว่าซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ได้จากดินตะกอนซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตน้ำประปาสามารถใช้เป็นตัวดูดซับที่มีราคาถูกสำหรับการกำจัด Cd(II) และ Mn(II) จากสารละลายน้ำได้

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)

KEYWORDS : Zeolite, Sludge, Adsorption, Cadmium (II), Manganese (II)

Metal contamination, non-biodegradability and toxic substance, are a major problem in industrial wastewater. The low-cost adsorbents that popularly used for heavy metal adsorption from wastewater are activated carbon because of its high surface area, resulting to high efficiency in wastewater treatment. However, activated carbon is relatively expensive. The synthetic zeolites have been considered as heavy metal adsorbents. This work, water treatment sludge was used as raw material to synthesize zeolite using alkali fusion method. The structural characterization of the zeolite was performed using XRD, XRF, SEM, FTIR and BET. The synthetic zeolite was used for two heavy metals treatment including Cd(II) and Mn(II). The adsorption efficiency to removal Cd(II) and Mn(II) with different adsorption parameters were investigated. The optimum parameters of adsorbent of the removal of Cd(II) ions and Mn(II) ions at 50 mg/L of initial Cd(II) ions and Mn(II) concentration in aqueous solution were elucidated. The optimum dosage of adsorbent is 4 g/L and optimum adsorption time is 30 minutes with 98 % adsorption efficiency of Cd(II) ions in aqueous solution. For Mn(II) ions in aqueous solution, the optimum dosage of adsorbent is 8 g/L and optimum adsorption time is 30 minutes with 92 % adsorption efficiency. The adsorption isotherm and adsorption kinetic of Cd(II) ions and Mn(II) ions are corresponded to Langmuir adsorption and pseudo second order kinetic model. Moreover, thermodynamic properties of the adsorption for Cd(II) ions, entropy ΔS° , enthalpy ΔH° and Gibbs free energy ΔG° were determined to be 168.42 J/mol K, 39.04 kJ/mol and -10.69 (299K) kJ/mol, respectively. For Mn(II) ions, entropy ΔS° , enthalpy ΔH° and Gibbs free energy ΔG° were determined to be 151.06 J/mol K, 34.27 kJ/mol and -6.58 (299K) kJ/mol, respectively. The obtained results of thermodynamics parameters suggested that this adsorption process is an endothermic and spontaneous physisorption process driven by entropy. Based on the above results, the synthesized zeolite from water treatment sludge are a highly efficient and low-cost adsorbent for the removal of Cd(II) ions and Mn(II) ions in aqueous solution.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	i
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ii
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	iii
สารบัญตาราง	vi
สารบัญภาพ	viii
สารบัญกราฟ	ix
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	x
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ภาพรวมการผลิตน้ำประปา	4
2.2 แคดเมียม (Cadmium)	6
2.3 แมงกานีส (Manganese)	7
2.4 ซีโอไลต์ (Zeolite)	9
2.5 การดูดซับ (Adsorption)	12
2.6 ทบทวนวรรณกรรม	13
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	16
3.1 วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี	16
3.2 การเตรียมตัวอย่าง	16
3.3 การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาและพิกัดเอกลักษณะของดินตะกอนจากน้ำประปาและซีโอไลต์สังเคราะห์	17
3.4 การดูดซับโลหะหนักโดยใช้ดินตะกอนจากน้ำประปาและซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา	18
3.5 การศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการดูดซับไอออนโลหะหนักจากสารละลายตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ	18
3.6 การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลาย	19
3.7 การศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับ	20
3.8 การศึกษาอุณหพลศาสตร์การดูดซับ	20
บทที่ 4 ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์	21
4.1 การเตรียมซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาจังหวัดอุบลราชธานี	21

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 การวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ของดินตะกอนจากน้ำประปาและซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา	22
4.3 การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับแคดเมียม(II) และสารละลายแอมโมเนียม(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาจังหวัดอุบลราชธานี	25
4.4 การศึกษาปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสมของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาจังหวัดอุบลราชธานี ในการดูดซับแคดเมียม(II) และแอมโมเนียม(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ	27
4.5 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาจังหวัดอุบลราชธานีในการดูดซับแคดเมียม(II) และแอมโมเนียม(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ	30
4.6 การศึกษาผลทางจลนพลศาสตร์การดูดซับของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาจังหวัดอุบลราชธานี ในการดูดซับแคดเมียม(II)และแอมโมเนียม(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ	32
4.7 การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาจังหวัดอุบลราชธานี ในการดูดซับแคดเมียม(II)และแอมโมเนียม(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ	36
4.8 การศึกษาอุณหพลศาสตร์ในการดูดซับแคดเมียม(II) และแอมโมเนียม(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาจังหวัดอุบลราชธานี	41
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	45
เอกสารอ้างอิง	47
ประวัตินักวิจัย	49
บทความสำหรับการเผยแพร่	50
กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำผลจากโครงการไปใช้ประโยชน์	56
ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ กิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ	57
รายงานการเงิน	58
ภาคผนวก ก ค่าการดูดกลืนแสงและกราฟมาตรฐานของสารละลายแคดเมียม(II) และสารละลายแอมโมเนียม(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ	59
ภาคผนวก ข แผนผังการผลิตน้ำประปาและการกำจัดตะกอนของโรงงานผลิตน้ำบางเขน	60
ภาคผนวก ค การสังเคราะห์ซีโอไลต์	61
ภาคผนวก ง XRD pattern ของดินตะกอนจากน้ำประปา และซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา	65

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบในดินตะกอนจากน้ำประปาจังหวัดอุบลราชธานี	21
2	วิเคราะห์พื้นที่ผิวของดินตะกอนจากน้ำประปาและซีโอไลต์ที่สังเคราะห์	23
3	ประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียม(II) ของตัวดูดซับชนิดต่างๆ	25
4	ประสิทธิภาพการดูดซับแมงกานีส(II) ของตัวดูดซับทั้ง 2 ชนิด	26
5	ประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียม(II) ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาจังหวัดอุบลราชธานี (Zeo_UB) ที่น้ำหนักต่างๆ	28
6	ประสิทธิภาพการดูดซับแมงกานีส(II) ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาจังหวัดอุบลราชธานี (Zeo_UB) ที่น้ำหนักต่างๆ	29
7	ประสิทธิภาพในการดูดซับแคดเมียม(II) ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาจังหวัดอุบลราชธานี (Zeo_UB) ที่เวลาต่างๆ	30
8	ประสิทธิภาพในการดูดซับแมงกานีส(II) ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาจังหวัดอุบลราชธานี (Zeo_UB) ที่เวลาต่างๆ	31
9	ผลการศึกษาปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเหมือนในการดูดซับแคดเมียม(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา	32
10	ผลการศึกษาปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเหมือนในการดูดซับแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา	33
11	ผลการศึกษาปฏิกิริยาอันดับสองเหมือนในการดูดซับแคดเมียม(II) จาก สารละลายในห้องปฏิบัติการ ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา	34
12	ผลการศึกษาปฏิกิริยาอันดับสองเหมือนในการดูดซับแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา	35
13	ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ในการดูดซับแคดเมียม(II) ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา	37
14	ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ในการดูดซับแมงกานีส(II) ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา	37
15	ค่าคงที่จากสมการไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา ในการดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ	38
16	ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรอยลิชของการดูดซับแคดเมียม(II) ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา	39
17	ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรอยลิชของการดูดซับแมงกานีส(II) ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา	39
18	ค่าคงที่จากไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์และไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรอยลิชของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา ในการดูดซับแคดเมียม(II)	40
19	ค่าคงที่จากไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์และไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรอยลิชของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา ในการดูดซับแมงกานีส(II)	40

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
20	ผลการศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับแคดเมียม(II) ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์ จากดินตะกอนจากน้ำประปาจังหวัดอุบลราชธานีที่อุณหภูมิต่างๆ	41
21	ผลการศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับแมงกานีส(II) ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์ จากดินตะกอนจากน้ำประปาจังหวัดอุบลราชธานีที่อุณหภูมิต่างๆ	42
22	ค่าตัวแปรที่นำมาพล็อตกราฟตามสมการของเวนฮอฟของการดูดซับแคดเมียม(II)	42
23	ค่าตัวแปรที่นำมาพล็อตกราฟตามสมการของเวนฮอฟของการดูดซับแมงกานีส(II)	43
24	ค่าเอนทัลปี (ΔH) เอนโทรปี (ΔS) และพลังงานอิสระกิบส์ (ΔG) ของการดูดซับแคดเมียม(II)	43
25	ค่าเอนทัลปี (ΔH) เอนโทรปี (ΔS) และพลังงานอิสระกิบส์ (ΔG) ของการดูดซับแมงกานีส(II)	44

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	XRD pattern ของ (a) ดินตะกอนจากน้ำประปา และ (b) ซีโอไลต์สังเคราะห์	22
2	SEM ของ (a) ดินตะกอนจากน้ำประปาและ (b) ซีโอไลต์สังเคราะห์	23
3	สเปกตรัม FTIR ของ (บน) ดินตะกอนจากน้ำประปาและ (ล่าง) ซีโอไลต์สังเคราะห์	24

สารบัญกราฟ

กราฟที่		หน้า
1	เปรียบเทียบชนิดของตัวดูดซับกับประสิทธิภาพในการดูดซับ	26
2	เปรียบเทียบชนิดของตัวดูดซับกับประสิทธิภาพในการดูดซับ	27
3	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของตัวดูดซับกับประสิทธิภาพในการดูดซับแคดเมียม (II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ	28
4	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของตัวดูดซับกับประสิทธิภาพในการดูดซับแมงกานีส (II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ	29
5	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการดูดซับกับประสิทธิภาพในการดูดซับแคดเมียม(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ	30
6	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการดูดซับกับประสิทธิภาพในการดูดซับแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ	31
7	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา(t) กับค่า $\ln(q_e - q_t)$ จากสมการปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง เหมือนในการดูดซับแคดเมียม(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ ด้วยซีโอไลต์ สังเคราะห์จาก ดินตะกอนจากน้ำประปา	33
8	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา(t) กับค่า $\ln(q_e - q_t)$ จากสมการปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง เหมือน ในการดูดซับแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ ด้วยซีโอไลต์ สังเคราะห์จาก ดินตะกอนจากน้ำประปา	33
9	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา t กับค่า t/q_t จากสมการปฏิกิริยาอันดับสองเหมือน ใน การดูดซับแคดเมียม(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ ด้วยซีโอไลต์ สังเคราะห์ จากดินตะกอนจากน้ำประปา	34
10	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา t กับค่า t/qt จากสมการปฏิกิริยาอันดับสองเหมือน ใน การดูดซับแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์ จากดินตะกอนจากน้ำประปา	35
11	ความสัมพันธ์ระหว่าง C_e กับ $C_e/(X/m)$ ของไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ ในการดูดซับแคดเมียม(II) ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา	37
12	ความสัมพันธ์ระหว่าง C_e กับ $C_e/(X/m)$ ของไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ใน การดูดซับแมงกานีส(II) ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา	38
13	ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log C_e$ กับ $\log (x_m/m)$ ของไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ ฟลอยลิชในการดูดซับแคดเมียม(II) ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจาก น้ำประปา	39
14	ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log C_e$ กับ $\log (x_m/m)$ ของไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟลอย ลิชในการดูดซับแมงกานีส(II) ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา	40
15	ความสัมพันธ์ระหว่าง $1/T$ กับ $\ln K_c$ ตามสมการของเวนฮอฟของการดูดซับ แคดเมียม(II)	42
16	ความสัมพันธ์ระหว่าง $1/T$ กับ $\ln K_c$ ตามสมการของเวนฮอฟของการดูดซับ แมงกานีส(II)	43

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

cm	=	เซนติเมตร
°C	=	องศาเซลเซียส
K	=	องศาเคลวิน
M	=	หน่วยความเข้มข้นสารละลายโมลต่อลิตร
N	=	หน่วยความเข้มข้นนอร์มอล
mL	=	มิลลิลิตร (มล.)
mg/L	=	มิลลิกรัมต่อลิตร (มก./ล.)
R^2	=	Correlation Coefficient
X_m	=	จำนวนโมลของตัวละลายที่ถูกดูดซับบน X กรัมของตัวดูดซับ
C_e	=	ความเข้มข้นที่สมดุลของตัวถูกละลายที่อุณหภูมิเดียวกัน
K_F	=	ความจุในการดูดซับของฟรอยลิช
K_L	=	ความจุในการดูดซับของแลงเมียร์
N_m	=	จำนวนสูงสุดของตัวดูดซับต่อ X กรัมของตัวดูดซับ
R_L	=	ค่าคงที่การแยกของแลงเมียร์ (Separation factor of Langmuir)
ΔS°	=	เอนโทรปี (entropy)
ΔH°	=	เอนทาลปี (enthalpy)
ΔG°	=	พลังงานอิสระของกิบส์ (Gibb's free energy)
J	=	จูล (Joule)
kJ	=	กิโลจูล (Kilojoule)
mol	=	โมล (mole)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ด้วยในปัจจุบันมีสารเคมีจำนวนมากมีบทบาทในการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์ เช่น ใช้เป็นส่วนประกอบหรือปรุงแต่งอาหาร ยารักษาโรค เครื่องสำอาง ตลอดจนใช้เป็นสารเคมีป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ และที่สำคัญที่สุด คือการใช้ในกระบวนการผลิตด้านอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดของเสียอันตราย และเกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งทางอากาศ ทางดิน และทางน้ำ โดยเฉพาะทางน้ำจัดว่าเป็นปัญหามลพิษที่สำคัญ เพราะน้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีประโยชน์มากต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ สัตว์ และพืช ถ้าขาดน้ำสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ก็ไม่สามารถดำรงอยู่ได้ และถ้ามีน้ำมีพิษหรือมีสารเคมีปนเปื้อน ก็จะทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ได้เช่นกัน

น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ที่ถูกปล่อยลงสู่แม่น้ำลำคลองตามธรรมชาติ โดยไม่มีการบำบัด และมีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่นั้น จะก่อให้เกิดปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำอย่างมาก ถ้าโลหะหนักเหล่านี้มีอยู่ในสิ่งมีชีวิตตามปริมาณที่ต้องการก็จะมีประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิตนั้น แต่ถ้ามีในปริมาณมากเกินไปก็ทำให้เกิดอันตรายต่อชีวิตได้ [1] เช่น ทองแดง (Cu) เป็นธาตุที่ร่างกายมนุษย์ต้องการในปริมาณน้อยๆ เนื่องจากมีความสำคัญต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงอาหารในร่างกาย เนื้อเยื่อและระบบประสาท ถ้ามีปริมาณทองแดงในร่างกายมากเกินไปจะไปทำลายตับและรบกวนระบบประสาทส่วนกลาง สังกะสี (Zn) เป็นธาตุที่จำเป็นต่อร่างกายถ้ามีปริมาณมากเกินไป จะเกิดอาการอาเจียนปวดท้อง แมงกานีส (Mn) มีความสำคัญต่อร่างกาย คือ ทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบของเอ็นไซม์หลายชนิดเช่น อาจิเนส คาร์บอกซิเลส โคเลสเทอรินเลส และฟอสฟาเตส ดังนั้นจึงมีความสำคัญสำหรับการเจริญเติบโต การสืบพันธุ์ และการสร้างกระดูก มีความสัมพันธ์โดยตรงกับเมตาบอลิซึมของแคลเซียม และฟอสฟอรัส แมงกานีสยังเป็นโลหะที่กระจายอยู่ตามเหมืองแร่ เช่น โรงงานถลุงแร่แมงกานีส โรงงานผลิตโลหะผสม โรงงานเชื่อมโลหะไฟฟ้าและโรงงานทำถ่านไฟฉาย ซึ่งแมงกานีสจะอยู่ในภาพของแมงกานีสออกไซด์ (MnO_2) พิษของแมงกานีสจะทำให้มีอาการทางประสาท และอารมณ์แปรปรวน ความพิการเหล่านี้จะคงอยู่ตลอดไปและไม่อาจรักษาให้หายขาดได้ พาลาเดียม (Pd) จะขัดขวางการสร้างและการเจริญเติบโตของเม็ดเลือดแดง แคดเมียม (Cd) จะทำลายไตและกระดูกทำให้เกิดโรคอิไตอิไต (Itaiitai) โครเมียม (Cr) ทำให้ปวดอักเสบ และปรอท (Hg) จะทำลายระบบประสาทและสมอง ส่วนที่บังคับการเคลื่อนไหว ทำให้เกิดโรคมินามาตา (Minamata) โดยเฉพาะแคดเมียม (Cd) นั้น จัดเป็นกลุ่มโลหะหนักที่อันตราย ที่ต้องควบคุมปริมาณให้อยู่ในน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานไม่เกิน 0.03 mg/L ของค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539) [1] ดังนั้นโลหะหนักเหล่านี้ที่มีการปะปนอยู่ในน้ำเสีย จึงต้องมีการบำบัดให้ถูกวิธีก่อนที่จะปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แม่น้ำตามธรรมชาติเพื่อไม่ให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์สัตว์และสิ่งแวดล้อม

การบำบัดโลหะหนักมีอยู่หลายวิธี ทั้งกระบวนการทางเคมี-กายภาพ กระบวนการทางเคมี และตลอดจนกระบวนการทางชีวภาพ ซึ่งกระบวนการต่างๆเหล่านี้ มีประสิทธิภาพในการบำบัดที่แตกต่างกันออกไป ในการบำบัดทางกระบวนการทางเคมี เช่น การตกตะกอนโลหะหนักด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ กระบวนการทางชีวภาพ เช่น การใช้จุลินทรีย์บางชนิดเปลี่ยนภาพไอออนของโครเมียม (VI) ไปเป็นโครเมียม (III) เพื่อลดความเป็นพิษของโครเมียมลง และกระบวนการทางกายภาพ เช่น การดูดซับโลหะหนักด้วย ผักตบชวา เปลือกหอย ชี้แก้ว แกลบ ถ่าน และซีโอไลต์ธรรมชาติ

กระบวนการบำบัดโลหะหนัก [2] ในแต่ละวิธีจะให้ประสิทธิภาพที่ต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาใช้ในการบำบัด และสิ่งที่สำคัญอีกอย่างในการบำบัดนั่นก็คือ ต้นทุน หรือค่าใช้จ่ายในการบำบัด โดยที่การบำบัดโลหะหนักด้วยซีโอไลต์ธรรมชาติ เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพสูงในการบำบัดโลหะหนักจากน้ำเสีย และมีต้นทุนที่ต่ำ จึงได้มีการนำซีโอไลต์ธรรมชาติมาใช้ในการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียของชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรมในการใช้ซีโอไลต์ธรรมชาติบำบัดโลหะหนักในน้ำเสีย จะอาศัยคุณสมบัติพื้นฐานของซีโอไลต์ คือ การเป็นตัวแลกเปลี่ยนประจุ (ion-exchange) เนื่องจากซีโอไลต์ธรรมชาติ เป็นสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกต มีหน่วยย่อยเป็น $[\text{SiO}_4]^{4-}$ หรือ $[\text{AlO}_4]^{5-}$ ที่สร้างพันธะกันเป็นภาพทรงสี่หน้า (tetrahedral) และเชื่อมต่อกันที่มุม โดยใช้ออกซิเจนร่วมกัน ก่อให้เกิดเป็นโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่ เป็นผลึกที่แข็งแรง มีรูพรุนและช่องว่างหรือโพรงที่ต่อเชื่อมกันอย่างมีระเบียบในสามมิติ เมื่อมีอะตอมของ Al^{3+} ในหน่วยของทรงสี่หน้า จะทำให้เกิดประจุลบบนอะตอมของออกซิเจนโดยที่มีไอออนของโลหะอัลคาไล เช่น Na^+ และ K^+ และไอออนของโลหะอัลคาไลเอิร์ท เช่น Ca^{2+} และ Mg^{2+} เกาะกับอะตอมของออกซิเจน เมื่อมีไอออนของโลหะหนักผ่านเข้ามาภายในโพรงของซีโอไลต์ธรรมชาติ จะเกิดการแลกเปลี่ยนประจุกับโลหะอัลคาไลและโลหะอัลคาไลเอิร์ทเหล่านี้ ทำให้เกิดการดูดซับโลหะหนักได้ การดูดซับโลหะหนักด้วยซีโอไลต์ธรรมชาติ จึงเป็นกระบวนการบำบัดโลหะหนักอีกวิธีหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพสูงในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย และมีต้นทุนต่ำ เนื่องจากเป็นแร่ธรรมชาติที่มีปริมาณมาก จึงเป็นวิธีที่นิยมใช้ในกระบวนการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย ที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรม ดังนั้นผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาประสิทธิภาพของการกำจัดไอออนของโลหะหนักแคดเมียม(II) โดยการเตรียมสารละลายตัวอย่างที่มีไอออนของโลหะหนักแคดเมียม(II) จากห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

ในกระบวนการผลิตน้ำประปามีหลายกระบวนการที่จะทำให้ได้น้ำที่มีคุณภาพสำหรับการอุปโภคบริโภค แต่ก็มีของเสียจากกระบวนการผลิตเช่น ดินตะกอนจากน้ำประปานั้นเอง [3] ดังนั้นเพื่อเป็นการใช้ประโยชน์จากของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำประปา ผู้วิจัยสนใจที่จะพัฒนาประสิทธิภาพของดินตะกอนจากน้ำประปาให้สามารถใช้ประโยชน์ในทางสิ่งแวดล้อมให้มากขึ้น เช่นการนำเอาดินตะกอนมาใช้เป็นวัสดุตั้งต้นสำหรับการผลิตเซรามิกส์ [3] ตัวดูดซับฟอสเฟต ฟอสฟอรัส สังกะสีหรือโพลิเมอร์ เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้จึงจะทำการสังเคราะห์ซีโอไลต์จากดินตะกอนจากน้ำประปา เพื่อเพิ่มมูลค่าของดินตะกอนจากน้ำประปา และนำซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ขึ้นได้มาศึกษาการประยุกต์ใช้งานเป็นวัสดุดูดซับในการกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในสารละลาย โดยจะทำการศึกษาการดูดซับโลหะหนัก 2 ชนิดคือ แคดเมียมและแมงกานีส โดยการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับและหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวดูดซับ ได้แก่ ปริมาณและเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ รวมทั้งจะทำการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ จลนพลศาสตร์การดูดซับ อุณหพลศาสตร์การดูดซับสีย้อมด้วยวัสดุดูดซับ เพื่อจะได้นำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดแคดเมียมกับแมงกานีสที่ปนเปื้อนในสารละลายตามแหล่งน้ำธรรมชาติแม่น้ำ ลำคลอง น้ำทิ้งชุมชน น้ำทิ้งในอุตสาหกรรมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. ศึกษาการสังเคราะห์และพิสูจน์เอกลักษณ์ของซีโอไลต์สังเคราะห์ที่ได้จากดินตะกอนจากน้ำประปา จากการประปาส่วนภูมิภาคเพื่อเพิ่มมูลค่าของดินตะกอนจากน้ำประปา
2. ศึกษาประสิทธิภาพของซีโอไลต์สังเคราะห์ เพื่อใช้เป็นตัวดูดซับในการดูดซับโลหะหนักจากสารละลายในห้องปฏิบัติการ
3. ศึกษาพารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสมต่อการดูดซับโลหะหนักของซีโอไลต์สังเคราะห์
4. ศึกษาแบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับโลหะหนักบนซีโอไลต์สังเคราะห์
5. ศึกษาแบบจำลองจลนพลศาสตร์ในการดูดซับโลหะหนักของซีโอไลต์สังเคราะห์
6. ศึกษาอุณหพลศาสตร์ในการดูดซับโลหะหนักของซีโอไลต์สังเคราะห์

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งขอบเขตของการศึกษาออกเป็นดังนี้

1. สังเคราะห์และพิสูจน์เอกลักษณ์ซีโอไลต์จากดินตะกอนจากน้ำประปา
2. ศึกษาประสิทธิภาพของซีโอไลต์ที่ได้จากดินตะกอนจากน้ำประปาจากการประปาส่วนภูมิภาคในการดูดซับไอออนของแคดเมียม(II) และไอออนของแมงกานีส(II) จากสารละลายตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ
3. ศึกษาพารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสมต่อการดูดซับโลหะหนักของซีโอไลต์สังเคราะห์
4. ศึกษาแบบจำลองไอโซเทอร์มแบบจำลองจลนพลศาสตร์และอุณหพลศาสตร์ในการดูดซับโลหะหนักบนซีโอไลต์สังเคราะห์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เพิ่มมูลค่าของดินตะกอนจากน้ำประปาโดยพัฒนาเป็นวัสดุดูดซับที่มีประสิทธิภาพสูงในการดูดซับโลหะหนักที่ปนเปื้อนในสารละลายในระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งจะนำไปสู่การประยุกต์ใช้ในการบำบัดโลหะหนักแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) จากน้ำเสียจริงในชุมชนและในอุตสาหกรรมต่อไป
2. ทราบประสิทธิภาพและพารามิเตอร์ต่างๆที่เหมาะสมในการดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) ด้วยวัสดุดูดซับ
3. ทราบไอโซเทอร์มการดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) ด้วยวัสดุดูดซับ
4. ทราบจลนพลศาสตร์การดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) ด้วยวัสดุดูดซับ
5. เพื่อศึกษาอุณหพลศาสตร์การดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ภาพรวมการผลิตน้ำประปา

2.1.1 กระบวนการผลิตน้ำประปา

กระบวนการผลิตน้ำประปาเพื่อใช้ในการอุปโภคบริโภคในแต่ละครั้งจะมีปริมาณตะกอนที่เหลือน้ำทิ้งจำนวนมากซึ่งในแต่ละหน่วยพื้นที่ที่ผลิตน้ำประปาจะมีตะกอนเหล่านี้อยู่ประมาณ 40-50 ตันต่อสัปดาห์ ปกติแล้วตะกอนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตน้ำประปานี้ ไม่ได้ถูกนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ จึงได้นำตะกอนเหล่านี้นามาศึกษาสมบัติทางกายภาพและพัฒนาคุณสมบัติให้สามารถนำมาใช้เป็นตัวดูดซับเนื่องจากมีรูพรุนซึ่งสามารถที่จะนำมาดูดซับโลหะหนักได้

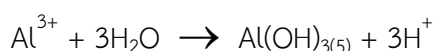
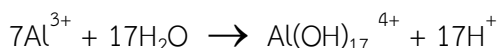
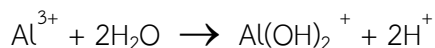
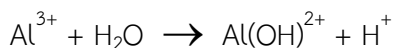
ปัจจุบันการผลิตน้ำประปาจะใช้น้ำจากแหล่งธรรมชาติ ซึ่งมีการผลิตวันหนึ่งๆหลายร้อยลิตร ในกระบวนการผลิตจะมีกรรมวิธีในการที่จะทำให้ตะกอนจับตัวกันตกลงสู่ก้นบ่อ แล้วจึงทำการสูบน้ำออกมาตากแห้ง เพื่อขนย้ายนำไปกำจัดต่อไป ซึ่งพบว่าปริมาณตะกอนในเดือนๆ หนึ่งจะมีจำนวนมาก ซึ่งไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์เท่าที่ควร การนำน้ำจากแหล่งน้ำผิวดินตามธรรมชาติมาใช้ในการผลิตน้ำประปาแยกเป็น 2 กรณีดังนี้

- กรณีเป็นแหล่งน้ำสาธารณะทั่วไป เมื่อพิจารณาความเหมาะสมทางด้านศักยภาพของแหล่งน้ำสาธารณะแล้วการประปาส่วนภูมิภาค สามารถดำเนินการได้ทันที เนื่องจากยังไม่มีกฎหมายที่ระบุให้ต้องขออนุญาตใช้น้ำและเสียค่าน้ำ แต่ถ้ามมีการก่อสร้างสิ่งล่วงล้ำน้ำจะต้องขออนุญาตจากกรมเจ้าท่า
- กรณีเป็นแหล่งน้ำสาธารณะที่ดูแลโดยองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นให้การประปาส่วนภูมิภาคประสานงานกับผู้ดูแลการแหล่งน้ำ ซึ่งอาจจะต้องมีการรับฟังความคิดเห็นหรือการทำประชาวิจารณ์ ในการขอใช้แหล่งน้ำจากท้องถิ่นก่อน แต่ปัจจุบันไม่มีการเรียกเก็บค่าน้ำโดยเฉพาะ

กระบวนการผลิตน้ำประปา โดยทั่วไปมีกระบวนการดังนี้ [3]

- การปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ โดยขณะที่น้ำดิบจะสัมผัสกับอากาศและแสงแดด แล้วจะก่อให้เกิดการตกตะกอนตามธรรมชาติและมีการแยกวัสดุที่ปนมากับน้ำ เช่น เศษสวะ เศษไม้ สาหร่ายหรือพืชน้ำ ถูกลาสดักด้วยตะแกรงหยาบและตะแกรงละเอียด
- การเพิ่มออกซิเจนและการเติมสารเคมี โดยจะเพิ่มออกซิเจนและการเติมสารเคมีในอัตราส่วนที่เหมาะสมลงไปเพื่อลดปริมาณน้ำดิบโดยอัตราส่วนสารเคมีจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำดิบในแต่ละฤดูกาล
- การตกตะกอน เมื่อน้ำดิบไหลเข้าสู่ถังตกตะกอน สารเคมีจะถูกกวนให้สัมผัส และทำปฏิกิริยากับตะกอนหรือความขุ่นที่อยู่ในน้ำ แล้วจับเป็นก้อนเล็กๆ และค่อยๆ มีขนาดโตขึ้น ตะกอนหนักจะตกลงสู่พื้นล่างของถัง เหลือแต่น้ำใสไปยังบ่อกรองน้ำ
- การกรอง น้ำดิบที่ผ่านการตกตะกอนจะไหลไปยังบ่อกรองน้ำซึ่งประกอบด้วย ผงถ่านแอนทราไซต์ และทรายละเอียด ซึ่งเป็นสารกรองและมีหัวกรองเพื่อกรองเอาตะกอนที่ละเอียดออกอีกครั้งหนึ่ง หลังจากนั้นน้ำจะถูกกรองอีกครั้งโดยหินหยาบ
- การฆ่าเชื้อโรค โดยการเติมคลอรีนซึ่งเป็นสารฆ่าเชื้อโรคได้เกือบทุกชนิด และจะทำลายสารอินทรีย์กลิน สี และสารประกอบพวกเหล็กได้
- การปรับปรุงคุณภาพน้ำประปา หลังจากฆ่าเชื้อโรคแล้วจะมีการเติมปูนขาวลงไปอีกในปริมาณเล็กน้อยเพื่อปรับสภาพความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำให้มีฤทธิ์เป็นกลางเล็กน้อย
- การสูบน้ำประปา น้ำประปาที่ผลิตได้มาตรฐานแล้วจะถูกสูบน้ำเข้าเส้นท่อประธานและเส้นท่อจ่ายน้ำเพื่อทำการจ่ายน้ำให้ประชาชนซึ่งอยู่ตามชุมชนต่างๆ ต่อไป

ในการทำน้ำดิบให้กลายเป็นน้ำใสต้องมีการเติมสารที่ทำให้เกิดการตกตะกอน โดยสารที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือสารส้มเนื่องจากมีประจุบวกมาก และมีราคาถูกกว่าสารชนิดอื่นโดยอาจใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_3) แทนสารส้ม หรือเฟอร์ริกซัลเฟต ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) แทนสารส้มได้ เมื่อเติมสารส้มลงในน้ำดิบ สารส้มจะทำปฏิกิริยาทางเคมีกับน้ำ (Hydrolysis) โดยมีปฏิกิริยาทางเคมี ดังนี้



2.1.2 ขั้นตอนการผลิตน้ำประปาของโรงงานผลิตน้ำบางเขน [3]

- Raw Material น้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำของการประปานครหลวงมาจากแม่น้ำเจ้าพระยาที่สถานีสูบน้ำสำแล จังหวัดปทุมธานี ห่างจากโรงผลิตน้ำบางเขนประมาณ 18 กิโลเมตร ไปทางทิศเหนือประกอบด้วยอาคารปั๊ม 3 หลัง ในแต่ละหลังใช้พื้นที่ 22x16 ตารางเมตร สูง 19 เมตร กำลังสูบสูงสุด 4.3 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน สูบคลองประปา น้ำดิบที่สูบจากคลองประปาจะถูกปั๊มโดยสถานีสูบน้ำบางเขนเข้าสู่โรงงานผลิตน้ำประปาบางเขนซึ่งใช้ปั๊มสูบแบบแนวตั้งกำลังสูบ 348 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที 6 เครื่อง และปั๊มสูบแบบแนวตั้งกำลังสูบ 174 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที อีก 3 เครื่อง

- Clarification ขณะที่น้ำดิบถูกส่งผ่านคลองส่ง สู่ส่วน Clarification จะมีการใส่ปูนขาวปริมาณระหว่าง 5-15 ppm. เพื่อช่วยในการตกตะกอน จากนั้นน้ำจะถูกปล่อยสู่ถังกรวยแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถึง 58 เมตร จำนวน 16 ถัง ซึ่งออกแบบมาเพื่อการตกตะกอนในอัตรา 70 มิลลิเมตรต่อวินาที และ 200,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ถึงเหล่านี้อาจแบ่งเป็น 2 เขต คือ เขตถังทำปฏิกิริยากับถังตกตะกอน เขตถังทำปฏิกิริยาจะอยู่ตรงกลาง มีการเติมสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte) และสารส้มเขตที่เหลือเป็นถังตกตะกอน

- Filtration น้ำที่ได้จากกระบวนการ Clarification จะถูกนำมาผ่านเครื่องกรองแบบ Rapid Sand Anthracite จำนวน 44 บ่อ แต่ในทางปฏิบัติจริงใช้เพียง 30-32 บ่อเท่านั้น ในแต่ละบ่อกรองมีขนาด 9.4 x 27.4 ตารางเมตร ซึ่งออกแบบสำหรับกรองน้ำเริ่มต้น 75,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน อย่างไรก็ตาม สามารถที่จะกรองได้สูงสุดถึง 120,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวันผ่านชั้นถ่าน Anthracite หนา 80 เซนติเมตร และชั้นทรายคัดขนาด 40 เซนติเมตร

- Water Storage น้ำที่ผ่านการกรองแล้วจะถูกเก็บไว้ในถังเก็บน้ำที่เรียกว่า Reservoir ปูนขาว และคลอรีนที่เหลืออยู่จะถูกควบคุมให้เป็นไปตามมาตรฐานน้ำดื่มของการประปานครหลวง

- Transmission and Distribution โรงงานผลิตน้ำประปาบางเขนเป็นโรงผลิตน้ำ และจ่ายน้ำหลักของการประปานครหลวงโดยการจ่ายน้ำ และกระจายไปตามสถานีสูบน้ำต่างๆ ผ่านท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 – 3.4 เมตร แต่ละสถานี จะมีอาคารสูบน้ำขนาด 13 x 69 ตารางเมตร สูง 12 เมตร ซึ่งเชื่อมต่อกับ Reservoir พื้นที่การใช้งานจะแบ่งเป็น 2 ระดับคือ ชั้น Basement อยู่ลึกลงไปใต้ดิน 3 เมตร ประกอบด้วยปั๊ม 5 ตัว ปั๊ม 1 ตัวมีอัตราการส่งน้ำ 153 ลูกบาศก์เมตร /นาที่ อีก 4 ตัวมีอัตราการส่งน้ำ 300 ลูกบาศก์เมตร /นาที่ และชั้น Overground อยู่สูงจากพื้นขึ้นไป 9 เมตร มีการติดตั้งส่วนควบคุมปั๊ม อุปกรณ์ไฟฟ้า และ เครื่องมือปั๊ม

- Sludge เป็นส่วนของน้ำดินตะกอนที่ตกตะกอนจากกระบวนการ Clarification และน้ำที่ใช้ล้าง Filter ซึ่งจะถูกปั๊มสู่ Sludge Lagoon จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการตากตะกอนเพื่อให้ตะกอนแห้งพอที่จะขนย้ายต่อไป ปัจจุบันตะกอนส่วนใหญ่นำไปใช้ถมที่ โดยน้ำมีปริมาณประมาณ 30,000 ลูกบาศก์เมตร /วัน จะถูกนำไป Recycle

ปัจจุบันดินตะกอนส่วนใหญ่นำไปใช้ถมที่ ดังนั้นเพื่อเป็นการใช้ประโยชน์จากของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำประปา ผู้วิจัยสนใจที่จะพัฒนาประสิทธิภาพของดินตะกอนของน้ำประปาให้สามารถใช้ประโยชน์ในทางสิ่งแวดล้อมให้มากขึ้น เช่นการนำเอาดินตะกอนมาใช้เป็นวัสดุตั้งต้นสำหรับการผลิตเซรามิกส์ ตัวดูดซับฟอสเฟต ฟอสฟอรัส สังกะสี จีโอโพลิเมอร์ เป็นต้น

2.2 แคดเมียม (Cadmium) [4]

แคดเมียมเป็นโลหะมีสีเงิน มีอยู่น้อยตามธรรมชาติ ในพื้นผิวโลกโดยทั่วไปจะพบแคดเมียมในระดับความเข้มข้นไม่เกิน 1 mg/L ส่วนที่พบในปริมาณมากมักปนเปื้อนอยู่กับแร่สังกะสี ตะกั่ว ทองแดง และดีบุก ปกติในธรรมชาติแคดเมียมจะรวมตัวอยู่กับกำมะถันเป็นแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS)

แคดเมียมเป็นโลหะอ่อน มีสีเงิน ดัดงอได้ง่าย ทนต่อการกัดกร่อน มีจุดหลอมเหลว (m.p.) 320.9 °C จุดเดือด (b.p.) 767 °C และมีความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) 8.65 (ที่ 20 °C) มีความดันไอ (vapor pressure) 1.4 mm ที่ 4000 °C และ 16 mm ที่ 5000 °C ดังนั้นเมื่อมีการใช้ความร้อนสูง เช่น การอบ การบัดกรี การหลอมเหล็ก และการ เผาของเสีย จะทำให้มีไอของแคดเมียมออกมาได้ในระหว่างกระบวนการที่มีการให้ความร้อน และไอของแคดเมียมในอากาศจะถูกออกซิไดส์อย่างรวดเร็วไปเป็นแคดเมียมออกไซด์ (CdO) แคดเมียมเป็นธาตุที่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในกรดไนตริก (HNO₃) และไฮโดรคลอริก (HCl) อย่างช้าๆ ทำให้แคดเมียมเป็นอันตรายเฉียบพลันเมื่อเข้าสู่ร่างกาย โลหะนี้ไม่จำเป็นและไม่มีประโยชน์ต่อร่างกาย แต่เป็นพิษต่อร่างกายในธรรมชาติ

โดยทั่วไปแคดเมียมที่ปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อมจะพบในแหล่งทำเหมืองสังกะสีและตะกั่ว ในอุตสาหกรรม ยาสูบและบุหรี่ พลาสติกและยาง นอกจากนี้ยังนิยมใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่ อุปกรณ์ไฟฟ้า โลหะผสม อะไหล่รถยนต์ โลหะผสมในอุตสาหกรรมเพชรพลอยอีกด้วย แคดเมียมที่ปนเปื้อนในน้ำ อาหาร และในยาสูบเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกดูดซึมในกระเพาะอาหาร แล้วแพร่กระจายไปที่ตับ ม้ามและลำไส้ และสะสมเพิ่มขึ้นในปริมาณสูงจะทำให้เกิดมะเร็ง ไตทำงานผิดปกติ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดโรคความดันโลหิตสูง ปวดกระดูกสันหลัง แขนขา ทำให้ไตพิการได้ โรคที่เกิดจากพิษของแคดเมียมเรียกว่า โรคอิไต-อิไต (Itai Itai disease)

1) ประโยชน์ของแคดเมียม

โลหะแคดเมียมแคดเมียมถูกนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆและสินค้าอุปโภค ดังนี้

1) ใช้ผสมกับโลหะอื่นๆ เป็นโลหะผสมหรืออัลลอยด์ (Alloy) เพื่อเพิ่มความเหนียว และทนต่อการสึกกร่อน เช่น อัลลอยด์ทองแดงที่มีแคดเมียม 1% (cadmium bronze) ใช้ในการผลิตเส้นลวด โทรเลขและโทรศัพท์ อัลลอยด์ทองแดง แคดเมียม และเซอร์โคเนียม ใช้ในอุปกรณ์การสื่อสารที่มีศักยภาพสูงๆ เป็นต้น

2) ใช้ในการชุบโลหะ (Electroplating) แคดเมียมเคลือบใช้บนแผ่นเหล็ก ทองแดงหรืออะลูมิเนียม โดยการชุบแคดเมียมลงบนแผ่นวัสดุเหล่านี้ด้วยไฟฟ้า โลหะที่ได้จากการชุบนำไปเป็นส่วนประกอบของเครื่องบิน รถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และวิทยุ เป็นต้น

3) ใช้เป็นเม็ดสีในอุตสาหกรรมสี เช่น สีอีนาเมล (Enamel) เซรามิก ยาง แก้ว ผ้า เส้นใยหนัง หมึกพิมพ์ และพลาสติก

4) ใช้ผลิตแบตเตอรี่ โดยใช้ร่วมกับโลหะนิเกิล เป็น Cadmium-nickel battery ซึ่งนำมาใช้เป็นแบตเตอรี่ในเครื่องคิดเลข กล้องถ่ายภาพ นาฬิกาและวิทยุเล็กๆ เป็นต้น

5) ใช้ในกิจการอื่นๆ เช่น ใช้ผสมในสารฆ่าเชื้อราที่ใช้ในการเกษตร ใช้ในการผลิตหลอดฟลูออเรสเซนต์ สารประกอบแคดเมียมบางชนิดใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวของพลาสติก เช่น cadmium stearate เป็นต้น

2) ความเป็นพิษของแคดเมียม

ในสภาวะปกติแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทางคือ

1) ระบบหายใจ จากการสูดหายใจเอาแคดเมียม ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นเนื่องจากกิจกรรมอุตสาหกรรม โดยเฉพาะการเชื่อมโลหะด้วยความร้อนสูง แต่ในขณะที่สูดหายใจจะไม่ปรากฏอาการหรือมีอาการเพียงเล็กน้อย อาการโดยรวมจะปรากฏภายหลังหายใจเข้าไป 2-3 ชั่วโมง คือเกิดอาการระคายเคืองที่หลอดลมและปอด มีอาการไอ ปวดศีรษะ อ่อนเพลีย หนาวสั่น มีไข้ เจ็บหน้าอก อาการเรื้อรังมีความเป็นพิษต่อปอด จะทำให้เกิดการบวมหรือฟองของเนื้อเยื่อปอด ประสิทธิภาพในการระบายลมของปอดจะลดลง ทำให้อากาศอยู่ภายในปอดนานกว่าปกติมีอาการหายใจขัดหรือหายใจไม่ออก

2) ทางผิวหนัง จะพบในกลุ่มคนงานที่ต้องสัมผัสกับแคดเมียม ซึ่งจะพบอาการโรคโลหิตจางมีความเป็นพิษต่อดับ เป็นโรคกระดูกพรุน และความดันโลหิตสูง

3) ระบบทางเดินอาหาร ระบบทางเดินอาหารจะเป็นระบบแรกในร่างกายที่จะได้รับพิษเมื่อร่างกายได้รับแคดเมียมโดยการกิน ซึ่งมาจากการกินอาหารที่มีแคดเมียมเจือปน จะมีอาการคลื่นไส้อย่างรุนแรงอาเจียน ท้องร่วง อาการเรื้อรังมีผลเป็นพิษต่อไต และที่ปรากฏเด่นชัดในกรณีการเกิดโรค อีไต อีไต โรคชนิดนี้เป็นโรคกระดูก คือ กระดูกจะพรุน กระดูกโก่ง งอโค้งได้จะทำให้กระดูกเสียรูปทรง แตกร้าวและหักได้ทำให้เกิดโรคกระดูกพรุน

2.3 แมงกานีส (Manganese) [5]

แมงกานีส (Manganese) เป็นธาตุโลหะ มีสัญลักษณ์ทางเคมี คือ Mn หมายเลขอะตอม 25 โลหะแมงกานีสมีสีขาวเงิน แข็ง และเปราะ ธาตุแมงกานีสเกิดแพร่กระจายในชั้นเปลือกโลก ประมาณร้อยละ 0.1 และเป็นธาตุที่มีมากเป็นอันดับที่ 12 ในลักษณะเป็นสารประกอบร่วมกับธาตุอื่น โลหะแมงกานีสที่บริสุทธิ์มีจุดหลอมเหลวที่ 1,246 °C และจุดเดือดที่ 2,061 °C ความถ่วงจำเพาะ 7.21 และความแข็งเท่ากับ 6 เป็นโลหะที่แข็งแรงแต่เปราะง่าย สีเทาขาวเหลือบแดง แมงกานีสจะมีอยู่ในธรรมชาติ โดยจะพบร่วมกับแร่เหล็ก แมงกานีสมีอยู่ในน้ำ ผิวดินและน้ำใต้ดิน โลหะแมงกานีส ได้จากการรีดิวซ์แมงกานีสออกไซด์ จากสินแร่ธรรมชาติ ด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ เช่น ใช้คาร์บอนโซเดียม อะลูมิเนียม หรือ อิเล็กโทรไลต์

ผู้ประกอบการที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคพิษแมงกานีส ได้แก่การผลิตแบตเตอรี่แห้ง อัลลอยด์ เหล็กกล้า การกลึงโลหะ การผลิตสี ไม้ขีดไฟ สารเคมีกำจัดศัตรูพืช การผลิตหรือการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มี แมงกานีส โดยเฉพาะในภาวะที่ไม่มีออกซิเจนหรือภาวะที่มีออกซิเดชันส่วนใหญ่ แมงกานีสใช้ในการทำโลหะ และเป็นสารออกซิไดส์สำหรับใช้ทำความสะอาด ชักฟอก และสารฆ่าเชื้อโรค (ต่างหีบห่อ) นอกจากนั้นในรูปของ Methylcyclopentadienyl manganese tricarbonyl (MMT) ใช้เป็นสารเพิ่มออกเทนในน้ำมันที่ใช้

1) อันตรายต่อระบบอวัยวะที่สำคัญของร่างกาย

การสัมผัสแมงกานีสจากการทำงานส่วนใหญ่ถูกดูดซึมทางการหายใจ แมงกานีสไดออกไซด์และสารประกอบแมงกานีสอื่น ๆ ซึ่งเกิดจากการแปรรูปโลหะ จะไม่ค่อยละลายน้ำ ทำให้เฉพาะอนุขนาดเล็กของแมงกานีสเท่านั้นที่สามารถลงไปถึงถุงลมปอดและถูกดูดซึมเข้าไปในกระแสเลือด อนุภาคใหญ่ของแมงกานีสจะถูกขับออกจากทางเดินหายใจและถูกกลืนลงไปในกระเพาะอาหาร นอกจากนี้แมงกานีสอาจถูกดูดซึมผ่าน

ทางเดินอาหาร จากอาหารหรือน้ำที่ปนเปื้อนแมงกานีส อัตราการดูดซึมของแมงกานีสผ่านทางเดินอาหาร ขึ้นกับปริมาณของแมงกานีสและเหล็กในอาหาร ชนิดของแมงกานีสที่ได้รับ ภาวะขาดออกซิเจน ภาวะขาดธาตุเหล็ก และอายุ อย่างไรก็ตามความเสี่ยงต่อการเกิดพิษจากแมงกานีสผ่านการดูดซึมทางเดินอาหารค่อนข้างน้อย สำหรับทางผิวหนังแมงกานีส สามารถซึมผ่านได้น้อยมากหลังการดูดซึมเข้าสู่ร่างกายแมงกานีส จะถูกกำจัดจากเลือดโดยรวดเร็ว โดยถูกส่งผ่านไปยังตับ ปริมาณแมงกานีสที่สูงมากอาจถูกส่งกระจายต่อไปยังไต ลำไส้เล็กส่วนต้น ต่อมไทรอยด์ และกระดูก แมงกานีส มักถูกสะสมในเนื้อเยื่อที่ไม่โตครอนเดรียสูง แมงกานีสสามารถผ่านเข้าไปในสมองได้นอกจากนี้ แมงกานีสถูกสะสมในอวัยวะที่เม็ดสีอยู่สูง เช่นจอตา เยื่อบุตาดำ ผิวหนังสีคล้ำ และผมดำ แมงกานีสส่วนใหญ่จะถูกขับทางน้ำดี ดังนั้นแมงกานีสเกือบทั้งหมดจะถูกขับออกจากร่างกายทางอุจจาระ มีเพียงร้อยละ 0.1 – 1.3 ของปริมาณแมงกานีสที่ได้รับในแต่ละวันที่ถูกขับออกทางปัสสาวะ ส่วน MMT ส่วนใหญ่ถูกขับถ่ายออกทางปัสสาวะ

อาการแบบเฉียบพลัน การสูดหายใจเอาไอแมงกานีส สามารถก่อให้เกิดไข้โลหะ ก่อให้เกิด การระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อการสัมผัสกับแมงกานีส MMT ทำให้เกิดอาการไหม้ของผิวหนัง ปวดศีรษะ ลื่นมือ รสโลหะ คลื่นไส้ ท้องเสีย หายใจเหนื่อย เจ็บหน้าอก และปวดอวัยวะสืบพันธุ์

อาการแบบเรื้อรัง มีอาการเรื้อรังทางระบบประสาท เชื่องซึม ง่วงนอน ขาอ่อนแรง ปวดศีรษะ เคลื่อนไหวลำบากคล้ายโรคพาร์กินสัน

มาตรฐานทางด้านสภาพแวดล้อมการทำงาน

Manganese ACGIH : TLV 0.2 mg/m³

OSHA : PEL 5 mg/m³

แมงกานีสไดออกไซด์ ACGIH : TLV (ในรูปแมงกานีส) 5mg/m³ (dust 1 mg/m³ (fume)

ACGIH : STEL 3 mg/m³ (fume)

MMT ACGIH : TLV (ในรูปแมงกานีส) 0.2 mg/m³ (skin)

2) การใช้ประโยชน์แมงกานีส

แมงกานีสมีปฏิกิริยาทางเคมีและสลายตัวช้าๆในน้ำเย็นเร็วขึ้นเมื่อถูกให้ความร้อน มีการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น

1. ใช้สำหรับโลหะผสมแมงกานีสและแมงกานีสอลูมิเนียมอุตสาหกรรมวัสดุแม่เหล็กอุตสาหกรรมเคมี และวัตถุดิบสำคัญอื่น ๆ ที่ขาดไม่ได้

2 ใช้ในโลหะผสมแข็ง เครื่องมือเพชร วัสดุเชื่อม แบตเตอรี่ เซรามิก สารเติมแต่งอลูมิเนียม

3. แมงกานีสใช้สำหรับการเคลือบป้องกันสนิมซิลิกอน polycrystalline และการหล่อโลหะผง

4. เหล็กกล้าแมงกานีสช่วยเพิ่มความแข็งแรงทนทานต่อการสึกหรอความแข็งแรงและคุณสมบัติอื่น ๆ

5. โลหะแมงกานีสบริสุทธิ์เป็นแบบ ferromagnetic เฉพาะหลังจากได้รับการบำบัดเป็นพิเศษจะทำให้เกิดโลหะผสมที่เป็น ferromagnetic สูงเมื่อรวมกับอะลูมิเนียมและแอนติโมนีหรือทองแดง

3) ผลของการได้รับมากเกินไป

การบริโภคแคลเซียมและฟอสฟอรัสสูงจะเป็นการเพิ่มความต้องการแมงกานีส การได้รับแมงกานีสในปริมาณที่มาก จะมีผลทำให้ปริมาณของเหล็กที่ถูกเก็บไว้ลดลง และการใช้เหล็กลดลงด้วย ผู้ที่ทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้สารแมงกานีสจะต้องทำอย่างระมัดระวัง เพราะมีอันตรายต่อร่างกายเป็นอย่างมาก กล่าวคือเมื่อหายใจเข้าไปในภาพของฝุ่นจะไปมีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง โดยจะมีอาการอ่อนเพลียต่อสมองมีความยุ่งยากในการสั่งงาน พุดไม่ชัดน้ำลายไหล และหงุดหงิด ซึ่งเท่าที่พบส่วนมากมักจะเป็นชนิดเรื้อรัง

กล่าวคือ เมื่อแมงกานีสเข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจมีจำนวนมากเพียงพอจะไปทำลายระบบประสาท โดยในระยะแรก คือ ระหว่าง 6 เดือนถึง 2 ปี จะทำให้เกิดอาการเป็นไข้ ปวดศีรษะกล้ามเนื้อไม่มีแรง เบื่ออาหารไม่สนใจในสภาพสิ่งแวดล้อม ถึงแม้จะมีอะไรเปลี่ยนแปลงไปก็ไม่สนใจไม่เสียใจไม่ตีใจ นอนไม่หลับเป็นครั้งคราว พูดน้อยลง ความรู้สึกทางเพศเสื่อมถอย ต่อมาอาการจะมากขึ้น เป็นตะคริวบ่อย ปวดตามกล้ามเนื้อบ่อยไม่ค่อยพูดจาหรือเวลาพูดจะพูดเป็นเสียงเดียวไม่มีเสียงสูงเสียงต่ำ พูดช้า และไม่ชัดเจนเวลาหัวเราะกล้ามเนื้อเกร็งไปทั่วใบหน้า เมื่อเวลาเดินมีอาการกระตุกระยะสุดท้ายอาการต่างๆ จะรุนแรงยิ่งขึ้น ทำเดินแกว่งไปแกว่งมา ก้าวขาสั้น ๆ เดินหัวซุนไปข้างหน้าเดินลักษณะคล้ายเป็ด หกล้มบ่อยมีการสั่นกระตุกของปลายแขนปลายขา บางรายมีอาการไม่แน่นอน บางครั้งหัวเราะ บางครั้งร้องไห้ กลืนน้ำลายลำบาก ทำให้น้ำลายยืดตลอดเวลา พูดไม่มีเสียง บางคนมีอาการอัมพาตที่ร่างกายเป็นบางส่วนในรายที่สูดหายใจเอาผง หรือไอระเหยของแมงกานีสไว้มากๆ ทำให้เกิดปวดบวมโดยมีอาการเริ่มต้นด้วยการเจ็บคอ เป็นไข้ ไอมีเสมหะมากขึ้น ๆ แล้วจะแน่นอึดอัดหายใจไม่ออก ผู้ที่ทำงานเกี่ยวกับแมงกานีส ควรจะมีความรู้ ระวังและรู้จักสังเกตเพื่อความปลอดภัยของตนเอง

2.4 ซีโอไลต์ (Zeolite) [6]

ซีโอไลต์ คือสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกต (crystalline aluminosilicates) หน่วยย่อยของซีโอไลต์ประกอบด้วยอะตอมของซิลิคอน (หรืออะลูมิเนียม) หนึ่งอะตอม และออกซิเจนสี่อะตอม ($[\text{SiO}_4]^{4-}$ หรือ $[\text{AlO}_4]^{5-}$) สร้างพันธะกันเป็นภาพทรงสี่หน้า (tetrahedral) โดยอะตอมของซิลิคอน (หรืออะลูมิเนียม) จะอยู่ตรงกลางล้อมรอบด้วยอะตอมของออกซิเจนที่มุมทั้งสี่ ซึ่งโครงสร้างทรงสี่หน้านี้จะเชื่อมต่อกันที่มุม (ใช้ออกซิเจนร่วมกัน) ก่อให้เกิดเป็นโครงสร้างที่ใหญ่ขึ้นและเกิดเป็นช่องว่างระหว่างโมเลกุล ทำให้ซีโอไลต์เป็นผลึกที่แข็ง มีรูพรุนและช่องว่างหรือโพรงที่ต่อเชื่อมกันอย่างเป็นระเบียบในสามมิติ ขนาดตั้งแต่ 2-10 อังสตรอม (1 อังสตรอม เท่ากับ 1×10^{-10} เมตร) นอกจากมีซิลิคอน (หรืออะลูมิเนียม) และออกซิเจนแล้ว ในโครงสร้างของซีโอไลต์ยังมีประจุบวกของโลหะ เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม เกาอยู่หลวมๆ และมีโมเลกุลน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ในช่องว่างในโครงสร้างผลึก สามารถต้มให้เดือดระเหยออกไปได้ ทำให้เป็นที่มาของชื่อซีโอไลต์นั่นเอง

ซีโอไลต์นั้นอาจเกิดขึ้นตามธรรมชาติในภาพของแร่ธาตุซึ่งมีการทำเป็นเหมืองซีโอไลต์ในพื้นที่หลายแห่งของโลกหรืออาจสังเคราะห์ขึ้นได้โดยกระบวนการทางเคมีเพื่อประโยชน์ทางการค้า ซึ่งจะทำให้ได้ซีโอไลต์ที่มีสมบัติเฉพาะเจาะจง รวมทั้งอาจมีการสังเคราะห์ซีโอไลต์ในห้องปฏิบัติการเพื่อประโยชน์ในการศึกษาลักษณะทางเคมีของซีโอไลต์

ซีโอไลต์ที่พบบ่อยและมีปริมาณค่อนข้างสูงในดินมีเพียง 9 ชนิดเท่านั้น ได้แก่ Clinoptilolite, Analcine, Chabazite, Heulandite, Mordenite, Phillipsite, Natrolite, Stilpite, และ Gismondite แร่ทั้ง 9 ชนิดในกลุ่มนี้ คลินอพิโอไลต์ (Clinoptilolite) และ มอร์ดไนท์ (Mordenite) เท่านั้นที่พบมากในดินทั่วไป ส่วนแหล่งที่พบจะมาจากการทับถมของเถาถ่านภูเขาไฟ เมื่อผ่านกระบวนการย่อยสลายก็จะให้ดินเค็มหรือดินด่าง ดังนั้นดินประเภทนี้จึงมีแร่ซีโอไลต์ปนอยู่อย่างเด่นชัดดังนั้นเราจึงพบแหล่งแร่ซีโอไลต์กระจายอยู่ตามภูมิภาคต่างๆของโลก ไม่ว่าจะเป็นทวีปเอเชีย อเมริกาเหนือรวมทั้งแอฟริกา

1) คุณสมบัติของซีโอไลต์

ซีโอไลต์เป็นแร่ที่มีคุณสมบัติพิเศษเฉพาะตัวที่เด่นชัด ไม่ว่าจะเป็นทางกายภาพหรือทางเคมีคุณสมบัติดังกล่าวเกิดจากการต่อเรียงตัวของโครงสร้างทางแร่ในภาพของวงแหวน ทำให้เกิดช่องว่างภายในจำนวนมาก ซึ่งมีขนาดพอเหมาะแก่การดูดซับอนุภาคต่างๆตลอดจนโมเลกุลของสารอินทรีย์และน้ำ นอกจากนี้การที่ Al^{3+} เข้ามาแทนที่ Si^{4+} ทำให้มีประจุลบเหลืออยู่ที่หน่วยของเตตระฮีดรอน เป็นแหล่งที่มาของการเกิด CEC (Cation exchange capacity) ในแร่ซีโอไลต์ซึ่งขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกจะมีค่าสูงกว่าแร่ดินเหนียว

ด้วยเหตุดังกล่าว ปัจจุบันจึงมีการนำเอาซีโอไลต์มาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางทั้งในด้านอุตสาหกรรม เกษตรกรรม ตลอดจนเพื่อการอนุรักษ์ดินและน้ำซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่นับวันที่จะเสื่อมโทรมลง

ปัจจัยที่กำหนดความสามารถในการดูดซับของสารซีโอไลต์ต่อแคตไอออนมีดังนี้คือ

1. ลักษณะโครงสร้างของโมเลกุลคือขนาดและภาพร่างของช่องว่างระหว่างโมเลกุล
2. ขนาดและลักษณะของไอออนที่ซีโอไลต์จะดูดซับได้
3. ความหนาแน่นระหว่างช่องว่างระหว่างโมเลกุล
4. จำนวนและความหนาแน่นของประจุแคตไอออนที่ต้องดูดซับ

1. คุณสมบัติทางเคมี

ซีโอไลต์มีคุณสมบัติทางเคมีที่พึงประสงค์อยู่หลายด้าน เริ่มด้วยค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) อยู่ระหว่าง 100-300 มิลลิอิควิวาเลนต์ต่อ 100 กรัมและค่าดังกล่าวอาจเพิ่มสูงขึ้นถึง 600 มิลลิอิควิวาเลนต์ต่อ 100 กรัมในซีโอไลต์สังเคราะห์ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสูงมากจึงสามารถดูดซับ ธาตุต่างๆได้หลายชนิด เช่น โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) โซเดียม (Na) แบเรียม (Ba) ตลอดจนโลหะหนักและสารกัมมันตรังสี เช่น ไทเทเนียม (Ti) รูบิเดียม (Rb) และซีเซียม (Cs) เป็นต้น อีกทั้งสามารถแลกเปลี่ยนธาตุที่มีประจุบวกดังกล่าวได้อีกด้วยคุณสมบัติเด่นอีกประการหนึ่งก็คือ แร่ชนิดนี้เมื่อกำจัด น้ำออก (Dehydration) สามารถดูดซับเอาโมเลกุลของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่มักเป็น สารพิษหรือก๊าซพิษ เช่น แอลกอฮอล์แอมโมเนีย ไนตรัสออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์และอื่นๆ โดยโมเลกุลของ สารเหล่านี้จะเข้าไปแทรกอยู่แทนที่โมเลกุลเดิมของน้ำนั่นเอง

2. คุณสมบัติทางกายภาพ

ซีโอไลต์เป็นแร่โปร่งจึงมีค่า Bulk density เฉลี่ยประมาณ 2-2.3 ก./ลบ.ซม. ยกเว้นชนิดที่มี แบเรียมอยู่มากๆจะยิ่งโปร่งมากขึ้นอีก คือ 2.5-2.8 ก./ลบ.ซม. นอกจากซีโอไลต์มีโพรงภายในมากจึงมีพื้นที่ผิว สูงไปด้วยโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 750-880 ตร.ซม./ก. ส่วนความสามารถในการดูดซับน้ำก็จะสูงเช่นกัน แต่ขึ้นอยู่กับ ชนิดของซีโอไลต์เป็นหลัก ปกติน้ำในโมเลกุลของซีโอไลต์จะระเหยออกไปเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 200 °C ถึงแม้จะสูญเสียน้ำไป แต่โครงสร้างของซีโอไลต์จะมีภาพร่างเหมือนเดิมและสามารถดูดซับน้ำหรือสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ ตลอดจนธาตุต่างๆเข้าแทนที่โมเลกุลของน้ำในผลึกได้

2) ประโยชน์ของซีโอไลต์

ลักษณะสำคัญที่ทำให้ซีโอไลต์กลายเป็นสารสารพัดประโยชน์ก็คือ โครงสร้างที่เป็นรูพรุนอย่างเป็น ระเบียบของซีโอไลต์ ซึ่งอาจใช้เป็นตัวกรองสารที่ต้องการโดยโมเลกุลที่เล็กกว่าขนาดโพรงซีโอไลต์ก็จะสามารถ ผ่านไปได้ในขณะที่โมเลกุลที่มีขนาดใหญ่จะไม่สามารถผ่านออกมาและโมเลกุลที่ต้องการซึ่งมีขนาดพอดีกับโพรง ซีโอไลต์ก็จะถูกกักไว้ภายในโพรง แต่ในการประยุกต์ใช้ซีโอไลต์ในการกลั่นปิโตรเลียมให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง และผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมอื่นๆนั้น ปัจจัยสำคัญไม่ใช่เรื่องขนาดของโพรงซีโอไลต์อย่างเดียว แต่ยังมีสมบัติทาง เคมีของอะตอมที่อยู่รอบๆโครงสร้างผลึกที่มีส่วนทำให้เกิดผลที่ต้องการด้วยเช่นในบางกรณีที่เราต้องการทำให้ สารไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่(ในกระบวนการปิโตรเคมี) แตกออกกลายเป็นโมเลกุลที่เล็กลง เพื่อให้สามารถ นำมาใช้ประโยชน์ได้นั้น การแตกออกของโมเลกุลใหญ่ๆ ก็เกิดจากการที่โมเลกุลทำปฏิกิริยากับอะตอมที่อยู่ รอบๆโพรงซีโอไลต์นั่นเอง

โดยสรุปแล้วการใช้ประโยชน์จากซีโอไลต์ จะถูกกำหนดด้วยสมบัติพื้นฐานในระดับโมเลกุลของสาร ซึ่งมีอยู่สามด้านหลักๆด้วยกันได้แก่เป็นตัวแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchanger) เป็นตัวดูดซับ (adsorbent) และ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst)

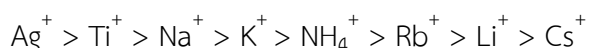
1. ตัวแลกเปลี่ยนประจุ

เนื่องจากประจุบวกของโลหะที่เกาะกับซีโอไลต์นั้นเกาะอยู่อย่างหลวมๆ มันจึงพร้อมที่จะแลกเปลี่ยนประจุกับโลหะอื่นเมื่ออยู่ในสารละลายได้ ด้วยหลักการนี้จึงสามารถประยุกต์ใช้กับการลดความกระด้างของน้ำ โดยโลหะอัลคาไล เช่นโซเดียม หรือ โพแทสเซียม ที่เกาะกับซีโอไลต์ จะแลกเปลี่ยนประจุกับแคลเซียมและแมกนีเซียมซึ่งเป็นประจุของโลหะในน้ำที่เป็นตัวการทำให้น้ำกระด้าง และมีการนำซีโอไลต์มาใช้ลดความกระด้างของน้ำแทนฟอสเฟตในผงซักฟอก เนื่องจากฟอสเฟตนั้นถือว่าเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

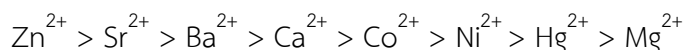
ด้วยหลักการแลกเปลี่ยนประจุนี้ ทำให้สามารถใช้ซีโอไลต์ในการกำจัดแอมโมเนียออกจากน้ำเสียโดยการแลกเปลี่ยนประจุบวกของแอมโมเนียกับโลหะโซเดียมที่อยู่ในโพรงของซีโอไลต์ รวมทั้งสามารถใช้กำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) จากไอเสียเครื่องยนต์ให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจน และก๊าซออกซิเจนที่ปลอดภัย (อุปกรณ์นี้เรียกว่า คตะไลติกคอนเวอร์เตอร์ ที่บังคับติดไว้ที่ท่อไอเสียของรถยนต์รุ่นใหม่ๆ ทุกคัน) และขจัดไอโซโทป แก๊สมันตรังสีของซีเซียมและสตรอนเชียมจากกากนิวเคลียร์ได้อีกด้วย

นอกจากนี้ การกำจัดความกระด้าง (Water softeners) ซีโอไลต์สามารถแลกเปลี่ยนไอออนบวกในโครงร่างผลึกกับแคลเซียมไอออนหรือแมกนีเซียมไอออนได้จึงช่วยลดความกระด้างของน้ำ และใช้เป็นเรซินแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange resins) จากคุณสมบัติการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของซีโอไลต์ทำให้สามารถนำไปใช้เป็นเรซิน เพื่อแลกเปลี่ยนกับไอออนบวก Univalent หรือ Divalent

Selectivity ของซีโอไลต์ของไอออนบวกที่เป็น Univalent จากมากไปหาน้อย ดังนี้



Selectivity ของซีโอไลต์ของไอออนบวกที่เป็น Divalent จากมากไปหาน้อย ดังนี้



พฤติกรรมการแลกเปลี่ยนไอออนบวกจะขึ้นอยู่กับ ธรรมชาติและชนิดของไอออนบวก เช่น ขนาดประจุ อุณหภูมิ ความเข้มข้นของไอออนบวกในสารละลาย ตัวทำละลาย (การแลกเปลี่ยนส่วนมากเกิดขึ้นได้ดีในสารละลาย) และลักษณะโครงสร้างของซีโอไลต์ เป็นต้น

2. สารรักษาความเป็นด่าง (Detergent builder)

ซีโอไลต์เป็นที่นิยมในหลายประเทศโดยใช้เป็นส่วนผสมของผงซักฟอกเนื่องจากซีโอไลต์มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับทำผงซักฟอก คือมีค่าความจุ (Capacity) และจลนพลศาสตร์ (Kinetics) ซึ่งทำให้การแลกเปลี่ยนไอออนบวกเป็นไปได้อย่างมากและเร็ว นอกจากนี้ซีโอไลต์ยังใช้แทนฟอสเฟตได้อีกด้วย ซึ่งฟอสเฟตทำให้ฟิชน้ำหรือพวกสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กๆ เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วทำให้มีปัญหาในการกำจัดและเมื่อมีการตายแล้วทับถมกันเข้าจึงทำให้น้ำเน่าเสียและสัตว์น้ำที่จำเป็นลดจำนวนลงได้เนื่องจากขาดออกซิเจนในการย่อยสลาย

3. ตัวดูดซับ

การใช้ซีโอไลต์เป็นตัวดูดซับนั้นใช้ทั้งในกระบวนการทำให้แห้ง (dehydration) การทำให้บริสุทธิ์ (purification) และ การแยกสาร (separation) ซึ่งซีโอไลต์นั้นมีสมบัติในการเลือกทำปฏิกิริยาตามรูปร่างอันเป็นหลักการพื้นฐานของกระบวนการดูดซับระดับโมเลกุล โดยสามารถเลือกให้มีการเลือกดูดซับเฉพาะบางโมเลกุล ส่วนการทำให้แห้งนั้น เนื่องจากซีโอไลต์ที่มีประจุบวกสามารถดูดซับน้ำได้ดีเป็นพิเศษและสามารถ

เกิดปฏิกิริยาแบบย้อนกลับได้ กล่าวคือ เมื่อมีการให้ความร้อน น้ำก็จะระเหยออกไปหมด แต่เมื่อซีโอไลต์เหล่านี้สัมผัสกับไอน้ำอีกครั้งก็สามารถดูดซับน้ำได้อีก หรือ อาจนำไปใช้ดูดซับสารอื่นแทน เช่น ก๊าซไอโอดีน ตะกั่ว หรือแอมโมเนีย แบบย้อนกลับได้เช่นกัน ซึ่งการใช้เป็นตัวดูดซับเนื่องจากโครงสร้างที่เป็นรูพรุนของซีโอไลต์ทำให้สามารถดูดซับสารต่างๆ ได้ตามขนาดและโครงสร้างของซีโอไลต์แต่ละชนิด เช่น ใช้ในขบวนการ แยก CO_2 และสารประกอบซัลเฟอร์จากแก๊สธรรมชาติแยกสารที่ทำให้เกิดสภาวะมลภาวะ เช่น SO_2 NO_2 และ O_2 จากอากาศ นอกจากนี้ยังใช้ในการแยกก๊าซ ซึ่งโมเลกุลของก๊าซต่างชนิดจะมีความแตกต่างกันในเรื่องของปฏิกิริยาทางไฟฟ้าสถิตกับไอออนโลหะ ในทางกลับกัน ซีโอไลต์บางชนิดจะไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำแต่จะดูดซับเฉพาะโมเลกุลอินทรีย์เท่านั้น

4. ตัวเร่งปฏิกิริยา

อาจใช้ซีโอไลต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเช่น ไฮโดรจิเนชัน (Hydrogenation), แอลคิเลชัน (Alkylation), อะโรมาติเซชัน (Aromatization) และไอโซเมอไรเซชัน (Isomerization) เป็นต้น

2.5 การดูดซับ (Adsorption) [7]

การดูดซับเป็นการแยกองค์ประกอบของสารที่ถูกดูดซับออกจากสารละลายของเหลว โดยให้สารละลายสัมผัสกับสารดูดซับ องค์ประกอบแต่ละชนิดในสารละลายมีความสามารถในการกระจายบนผิวและเกิดแรงดูดซับได้ต่างกับการดูดซับขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ลักษณะโครงสร้างที่ซับซ้อนของสารดูดซับ คุณสมบัติทางเคมีของสารดูดซับและสารที่ถูกดูดซับ จำนวนชั้นของโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับที่ผิวของสารดูดซับ และขนาดของรูพรุนที่ทำหน้าที่ดูดซับได้ ดังนั้นจึงต้องเลือกสารดูดซับให้เหมาะกับสารที่ถูกดูดซับ สำหรับการดูดซับหรือการเคลื่อนย้ายสารของสารที่ถูกดูดซับมายังผิวของสารดูดซับเกิดขึ้น 2 ลักษณะ ได้แก่

- การไม่ชอบของเหลวของตัวถูกละลาย (Hydrophobic of Solute) ในกรณีนี้ของเหลวเป็นสารที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) จะพยายามพาตัวเองเข้าสู่ชั้นที่อยู่ระหว่างน้ำกับสารดูดซับและดูดซับที่ผิวของสารดูดซับในที่สุด

- ความชอบของสารที่ถูกดูดซับที่จะไปเกาะติดที่ผิวของสารดูดซับ (High Affinity of Solute to Solid) ธรรมชาติของแรงระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับและผิวของสารดูดซับเป็นปัจจัยสำคัญในการบอกชนิดของกระบวนการดูดซับ ถ้าแรงยึดเหนี่ยวเป็นแรงยึดเหนี่ยวชนิดแวนเดอร์วาลส์จะเกิดการดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption) และถ้าแรงยึดเหนี่ยวเกิดพันธะเคมีระหว่างโมเลกุล ที่ถูกดูดซับกับสารดูดซับจะเรียกว่าการดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption)

1) การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption)

เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างอะตอม ที่ผิวหน้าของสารดูดซับกับสารที่ถูกดูดซับด้วยแรงยึดเหนี่ยวแบบแวนเดอร์วาลส์ เป็นอันตรกิริยาไม่แข็งแรงและไม่เกิดพันธะเคมีเกิดขึ้น เป็นการดูดซับที่มีค่าความร้อนในการดูดซับประมาณ 20 กิโลจูลต่อโมล หรือน้อยกว่าเป็นกระบวนการคายความร้อนที่มีพลังงานกระตุ้นต่ำ ไม่มีการแตกหักของพันธะและไม่ทำให้โครงสร้างของผิวของสารดูดซับเปลี่ยนแปลงไประหว่างการดูดซับเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิการดูดซับทางกายภาพจะไม่เกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นน้อยมาก การดูดซับทางกายภาพสามารถที่จะทำให้เกิดการผกผันได้อย่างสมบูรณ์ซึ่งสามารถศึกษาได้ทั้งกระบวนการดูดซับและคายซับ (Desorption) การดูดซับแบบนี้เป็นแบบไม่เฉพาะเจาะจง สารที่ถูกดูดซับสามารถที่จะเกาะอยู่รอบๆผิวของสารดูดซับได้หลายๆ ชั้น (Multilayer)

2) การดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption)

เกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิสูงเป็นการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างอะตอมที่ผิวหน้าของสารดูดซับกับอะตอมหรือโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับมีพันธะเคมีเกิดขึ้นจึงเป็นการจับที่แข็งแรง เป็นการดูดซับที่มีค่าความร้อนในการดูดซับประมาณ 50-400 กิโลจูลต่อโมล การดูดซับแบบนี้เป็นแบบเฉพาะเจาะจงและดูดซับสารที่ถูกดูดซับได้ในปริมาณน้อยต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับ เนื่องจากการดูดซับโดยปฏิกิริยาทางเคมีจะไม่สามารถเกิดการคายซับได้ พบว่าสารประกอบบางชนิดที่อุณหภูมิปกติไม่เกิดการดูดซับทางเคมีแต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิก็สามารถเกิดการดูดซับทางเคมีได้

2.6 ทบทวนวรรณกรรม

A. Chojnacki และคณะ [8] ได้ศึกษาการดูดซับโลหะหนักด้วยซีโอไลต์ธรรมชาติโดยการเกิด ion-exchange ระหว่างซีโอไลต์ธรรมชาติ Clinoptilolite กับโลหะหนัก Co^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} และ Mn^{2+} ที่เตรียมจากสารละลายตัวอย่างมีความเข้มข้นในช่วง 100-400 mg/L พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักเพิ่มขึ้นร้อยละการดูดซับและอัตราส่วนการกระจายตัว (K_d) จะลดลง ลำดับความสามารถของการเกิด ion-exchange ของโลหะหนักจากมากไปน้อยดังนี้ $\text{Co}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Mn}^{2+}$ เนื่องจากไอออนของโลหะหนักที่มีขนาดใหญ่จะเกิด ion-exchange ได้น้อยกว่าไอออนของโลหะหนักที่มีขนาดเล็ก จากการศึกษา Langmuir isotherm พบว่ามีค่า Langmuir constant ซึ่งเป็นความสามารถการดูดซับโลหะหนัก โดยมีลำดับความสามารถของการดูดซับจากมากไปน้อยดังนี้ $\text{Co}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Mn}^{2+}$ ส่วน Freundlich isotherm ไม่สามารถทำนายจุดดูดซับที่สมดุลได้ และผลจาก Dubinin-Kaganer- Radushkevich ได้ค่าพลังงานการดูดซับสูงสุดจากมากไปน้อยดังนี้ Cu^{2+} (11.95) > Co^{2+} (11.03) > Zn^{2+} (9.77) > Mn^{2+} (8.81) กิโลจูลต่อโมล

A. Ansari Mahabadi และคณะ [9] ได้ศึกษาการใช้ซีโอไลต์ธรรมชาติจากประเทศอิหร่านชนิด Clinoptilolite ดูดซับแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดิน 4 ชนิด คือ Clay, Sand, Loam และ Loamy Sand โดยใช้วิธี batch พบว่าเมื่อผสมปริมาณของซีโอไลต์ในดินเพิ่มขึ้นจะลดความเข้มข้นของแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินได้มากขึ้น โดยที่ใช้ร้อยละ 15 ของซีโอไลต์ผสมในดินจะทำให้ความเข้มข้นของแคดเมียมลดลงต่ำกว่า 0.1 mg/L โดยประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียมในดินมีลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ Loam > Loamy Sand > Clay > Sand และเมื่อใช้วิธี column พบว่าร้อยละ 9 ของซีโอไลต์ที่ผสมในดินจะลดความเข้มข้นของแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินได้สูงที่สุด และจะดูดซับแคดเมียมในดินชนิด Clay และ Sand ได้มากกว่า Loam และ Loamy Sand หลังจากการเติมซีโอไลต์ในดินแล้ว พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินจะเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 9.1 และการผสมซีโอไลต์ในดินจะมีผลต่อ pore size และค่า hydraulic conductivity ของดินโดยจะมีผลต่อ pore size มากกว่าค่า hydraulic conductivity

E.A. Ayvso และคณะ [10] ได้ศึกษาการนำซีโอไลต์สังเคราะห์ (NaP1) และซีโอไลต์ธรรมชาติชนิด Clinoptilolite ในการดูดซับไอออนของโลหะหนัก Cr^{3+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Cd^{2+} และ Zn^{2+} จากน้ำเสียที่มีโลหะหนักเข้มข้นถึง 10-200 mg/L จากการเปรียบเทียบความสามารถของการดูดซับโลหะหนักเหล่านี้พบว่า ซีโอไลต์สังเคราะห์ (NaP1) จะมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับมากกว่าซีโอไลต์ธรรมชาติชนิด Clinoptilolite ถึง 10 เท่า แต่การใช้ซีโอไลต์ธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียจะมีต้นทุนต่ำกว่าซีโอไลต์สังเคราะห์

S.K. Pitcher และคณะ [11] ได้ศึกษาการนำซีโอไลต์สังเคราะห์มาใช้ในการลดปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียที่ถูกชะล้างจากถนน ซึ่งทำการทดลองโดยใช้วิธี batch experiment โดยการนำเอาซีโอไลต์ 2 ชนิด คือ

ซีโอไลต์สังเคราะห์ (MAP) และซีโอไลต์ธรรมชาติชนิด Mordenite มาทดสอบความสามารถในการลดปริมาณโลหะหนักที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย ในการทดลองได้เตรียมสารละลายโลหะหนักขึ้นมาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดปริมาณโลหะหนักกับตัวอย่างของน้ำเสีย พบว่าซีโอไลต์สังเคราะห์สามารถกำจัดโลหะหนัก (Cu^{2+} , Ni^{2+} , Cd^{2+} และ Zn^{2+}) จากสารละลายทั้งสองชนิดได้ดีมากประมาณร้อยละ 91 ส่วนซีโอไลต์ธรรมชาติจะได้ประสิทธิภาพน้อยกว่าโดยสามารถลดปริมาณของโลหะหนักจากสารละลายตัวอย่างได้ประมาณร้อยละ 42-89 และจากตัวอย่างของน้ำเสียประมาณร้อยละ 6-44

L. Curkovic และคณะ [12] ได้ศึกษาการกำจัดไอออนของโลหะหนัก Pb^{2+} และ Cd^{2+} จากน้ำเสียที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยใช้วิธี Batch- type method ซึ่งจะใช้ซีโอไลต์ตัวอย่าง 3 ชนิด คือ ชนิดที่ 1 เป็นซีโอไลต์ธรรมชาติ ส่วนชนิดที่ 2 และ 3 จะเป็นซีโอไลต์สังเคราะห์ ทั้ง 3 ตัวอย่างจะพิสูจน์โครงสร้างโดยใช้เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน ในการเตรียมไอออนของโลหะหนัก Pb^{2+} และ Cd^{2+} นั้นเตรียมได้จากสารละลาย $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ และ $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ตามลำดับ แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Atomic Absorption Spectrophotometer เพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอน จากการศึกษาจะพบว่า ซีโอไลต์ธรรมชาติจะเกิดแลกเปลี่ยนไอออนกับ Pb^{2+} และ Cd^{2+} ได้ดีกว่า exchangeable เป็น $\text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+$ ในขณะที่ซีโอไลต์สังเคราะห์จะเป็นโซเดียมไอออนและพบว่าตัวอย่างของซีโอไลต์ทั้งสามชนิดนั้นจะเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนกับ Pb^{2+} และเป็น 0.38, 0.41 และ 0.44 มิลลิโมลต่อลิตร ส่วน Cd^{2+} เป็น 0.12, 0.16 และ 0.21 มิลลิโมลต่อลิตร โดยซึ่งตัวอย่างของซีโอไลต์หนัก 1 กรัม เท่านั้น และจะพบว่าเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนของ Pb^{2+} จะมากกว่า Cd^{2+} ซึ่งการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายไอออนของโลหะทั้งสองนั้นเพิ่มขึ้น

E. Siswoyo และคณะ [13] การศึกษาการดูดซับแคดเมียมไอออนในน้ำโดยใช้วัสดุดูดซับต้นทุนต่ำจากกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสีย (DWTP) และขยะมูลฝอยจากกระบวนการตกตะกอนใน DWTP โดยทำการศึกษารามิเตอร์บางอย่างเช่นปริมาณของตัวดูดซับ ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายและเวลาในการเขย่า เพื่อให้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมและความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับ กากตะกอนถูกเตรียมโดยทำตามขั้นตอนของ DWTP และตรวจสอบผลกระทบของกรดฮิวมิกที่สกัดจากตะกอน DWTP เพื่ออธิบายองค์ประกอบที่สำคัญและความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับ การศึกษานี้พบว่ากรดฮิวมิกและเหล็กออกไซด์เป็นส่วนประกอบสำคัญของวัสดุดูดซับในการดูดซับแคดเมียมไอออนในน้ำ ไอโซเทอมของการดูดซับเป็นแบบ Langmuir มีความเหมาะสมและมีความสามารถในการดูดซับ Cd (II) ผลจากการศึกษาครั้งนี้มีความสำคัญต่อการพัฒนาวัสดุดูดซับต้นทุนต่ำให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักได้สูงขึ้น

C. Belviso และคณะ [14] ทำการปรับปรุงกระบวนการบำบัดน้ำจำนวนมากขึ้นโดยอาศัยการใช้วัสดุต้นทุนต่ำที่มีประสิทธิภาพ ในการกำจัดมลพิษ ในงานวิจัยนี้ซีโอไลต์และซีโอไลต์สังเคราะห์จากซีโอไลต์ถูกใช้เป็นวัสดุดูดซับที่มีประสิทธิภาพสูง ทำการทดสอบการดูดซับคอลัมน์เพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมของการดูดซับแมงกานีสของซีโอไลต์ถ่านหินจากอิตาลีและซีโอไลต์สังเคราะห์ นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาการดูดซับแบบพหุเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับต่อการยิดเกาะ Mn ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าทั้งสองวัสดุมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลาย Mn จากสารละลายในน้ำโดยการตกตะกอนเนื่องจากความเป็นกรด-ด่างสูงของของแข็ง / ของเหลว อย่างไรก็ตามการทดสอบการชะล้างพบว่าจำนวน Mn ที่ถูกขจัดออกจากซีโอไลต์สูงกว่าที่ได้รับการพอกจากซีโอไลต์ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโลหะบางส่วนถูกดูดซับโดยซีโอไลต์

B. Nowak และคณะ [15] ศึกษาการผสมซีโอไลต์จากตะกอนและกากดินตะกอน (SSA) ในเครื่องปฏิกรณ์แบบโรตารีที่ประมาณ 1000 °C ทำให้โลหะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญการทดลองดำเนินการในเครื่องปฏิกรณ์โรตารีแบบหมุนเวียนทางอ้อมที่ให้ความร้อนในห้องปฏิบัติการจาก SSA หลังจากผ่านไป 10 นาทีที่อุณหภูมิ 1050 °C สามารถกำจัด Ca, Pb และ Zn ออกได้มากกว่าร้อยละ 95 การกำจัดโลหะหนักจากขยะมูลฝอยของเทศบาล (MSW) ดำเนินไปอย่างช้าๆและมีประสิทธิภาพน้อยลง หลังจากผ่านไป 45 นาทีที่อุณหภูมิ 1050 °C สามารถกำจัด Cd, Cu, Pb และ Zn ได้ร้อยละ 95, 60, 98 และ 80 ตามลำดับ นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาสมดุลทางอุณหพลศาสตร์ พบว่า SiO_2 ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักในเถ้าตะกอนจากตะกอนน้ำเสียช่วยเร่งการเกิด HCl และ Cl_2CaO ซึ่งมีอยู่ใน CaO-bearing faases ในเถ้าลอย MSW ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง Al_2O_3 ซึ่งบรรจุในเถ้าลอยแบบ MSW จะนำไปสู่การเกิด aluminates Cd-aluminate อาจได้รับผลกระทบจาก HCl และ Cl_2 ซึ่งส่งผลให้อัตราการกำจัดสารลดลง Zn-aluminate สามารถรับผลกระทบจาก Cl_2 ได้เท่านั้น Cu-aluminate มีเสถียรภาพภายใต้สภาวะที่มี Cl, Cu และ Zn สามารถรวมเข้ากับกากตะกอนได้อย่างง่ายดาย

X. Kong และคณะ [16] ทำการศึกษาซีโอไลต์ที่มีธาตุเหล็กที่ไม่มีธาตุเหล็ก (Z-mZVI) เป็นองค์ประกอบถูกสังเคราะห์และใช้ในการกำจัดไอออนโลหะหนัก (Cd^{2+}) และไอออน (Cr^{6+}) ออกจากสารละลายในน้ำ นอกจากนี้ยังทำการศึกษากิจกรรมของซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ได้ด้วยเทคนิค กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ได้มีความสามารถในการดูดซับ Cr^{6+} และ Cd^{2+} ได้สูงกว่าเมื่อเทียบกับซีโอไลต์ที่ไม่มีธาตุเหล็ก และซีโอไลต์แบบเปลือยเปล่า โดยมีค่าประสิทธิภาพการดูดซับพบว่า Cr^{6+} และ Cd^{2+} เท่ากับ 77% และ 99% ตามลำดับ ปฏิกิริยาการดูดซับเป็นแบบอันดับหนึ่งเหมือน จากการพิสูจน์เอกลักษณ์ของซีโอไลต์ที่มีธาตุเหล็กด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีของรังสีเอกซ์ (XPS) ยืนยันว่า Cr^{6+} ถูกเปลี่ยนเป็น Cr^{3+} ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการเป็นวัสดุที่มีปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพและมีแนวโน้มที่จะนำโลหะหนักต่างๆออกจากน้ำเสียหรือน้ำใต้ดินที่เป็นมลพิษได้

N. Moreno และคณะ [17] ศึกษาซีโอไลต์สังเคราะห์จากเถ้าลอย (NaP1) ที่ได้จากโรงงานสองแห่งของสเปน (Narcea และ Teruel Power Station) ผลจากการศึกษาพบว่าซีโอไลต์ที่ได้ที่มีองค์ประกอบของ NaP1 เป็นร้อยละ 65 และ 45 ตามลำดับ และมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) เท่ากับ 2.7 และ 2.0 มิลลิเอควิวาเลนต์ต่อกรัม ตามลำดับ สำหรับซีโอไลต์จาก Narcea และ Teruel Power Station การกำจัดสารปนเปื้อนในน้ำจากเหมืองแร่สามแห่งจากตะวันตกเฉียงใต้ของสเปนถูกทดสอบโดยใช้ซีโอไลต์ที่ได้จากเถ้าลอยและซีโอไลต์สังเคราะห์เชิงพาณิชย์ ผลการทดลองพบว่า ซีโอไลต์ที่ได้จากเถ้าลอยสามารถนำไปใช้ในการดูดซับโลหะหนักในกระบวนการทำน้ำให้บริสุทธิ์ได้ ปริมาณที่เหมาะสมของซีโอไลต์ถูกนำไปใช้ตามชนิดของซีโอไลต์และโลหะหนักคือ 5-30 กรัม นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของ pH ในการใช้ซีโอไลต์ทำให้โลหะแข็งตัวเพื่อทำให้เกิดการตกตะกอนและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการกำจัดสารปนเปื้อน

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

ในแต่ละการทดลองจะทำ 3 ซ้ำ โดยใช้วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี ดังนี้

- Cadmium nitrate ($\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) และ Manganese chloride ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
- วัสดุดูดซับ (ดินตะกอนและซีโอไลต์สังเคราะห์)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
- กระดาษกรอง No.1
- ปีกเกอร์
- กรวยแก้ว
- ขวดวัดปริมาตร
- ปิเปตอัตโนมัติ
- เครื่องกวนสาร (magnetic stirrer)
- โกร่งสำหรับบดตะกอน
- ตะแกรงร่อนขนาด 60 ไมครอน (sieve NO.60)
- เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
- เครื่อง AAS
- เครื่อง XRD
- เครื่อง XRF
- เครื่อง SEM
- เครื่อง FTIR
- เครื่อง BET

3.2 การเตรียมตัวอย่าง

1. การเตรียมดินตะกอนจากน้ำประปา

1. นำดินตะกอนจากน้ำประปาที่ได้มาทำการบดในโกร่งและร่อนดินตะกอนจากน้ำประปาที่บดได้ด้วยตะแกรงร่อนขนาด 60 ไมครอน (sieve No.60) เพื่อให้ได้ตะกอนที่มีขนาดเล็ก

2. ล้างดินตะกอนจากน้ำประปาด้วยน้ำกลั่นให้สะอาด และทิ้งไว้ให้ดินตะกอนจากน้ำประปาทกตะกอน จากนั้นค่อยๆ เทน้ำที่ทำการล้างออกอย่างระมัดระวังโดยที่ไม่ให้ดินตะกอนจากน้ำประปาออกมาพร้อมกับน้ำ เมื่อได้ดินตะกอนจากน้ำประปาที่สะอาดแล้วนำไปทำให้แห้งด้วยการอบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้ดินตะกอนจากน้ำประปาที่ต้องการ

2. การสังเคราะห์ซีโอไลต์

2.1 ชั่งน้ำหนักดินตะกอนจากน้ำประปาที่ผ่านการอบ 10.00 กรัม และชั่งน้ำหนักโซเดียมไฮดรอกไซด์ 12.00 กรัมลงในปีกเกอร์ จำนวน 4 ชุดการทดลอง

2.2 บดให้เป็นเนื้อเดียวกันกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ควรทำในตู้ดูดควัน เพราะโซเดียมไฮดรอกไซด์มีความว่องไวต่อความชื้นจึงทำให้เป็นสารระเหยซึ่งมีอันตรายต่อร่างกาย)

2.3 เเผาที่อุณหภูมิ 600 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

2.4 เติมน้ำกลั่นลงในดินตะกอนจากน้ำประปาที่ได้จากการเผาทั้ง 4 ชุดการทดลอง ในอัตราส่วน 0.5 กรัมต่อ 2 mL แล้วนำเข้าเครื่อง Shaking Incubator เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

2.5 นำชุดการทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มาแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 3, 6, 9 และ 10 ชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อครบกำหนดตามเวลาจะนำดินตะกอนจากน้ำประปาที่ได้มาล้างด้วยน้ำกลั่นจนได้ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 7 และอบให้แห้ง

3.3 การศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยาและพิสูจน์เอกลักษณ์ของดินตะกอนจากน้ำประปาและซีโอไลต์สังเคราะห์

ศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยาและพิสูจน์เอกลักษณ์ของดินตะกอนจากน้ำประปาและซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาที่เตรียมได้ ดังนี้

1. เทคนิค X-ray Diffraction

นำดินตะกอนจากน้ำประปาและซีโอไลต์สังเคราะห์ ไปวิเคราะห์หาปริมาณความเป็นผลึก และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ด้วย X-Ray Diffraction (XRD) PANalytical; รุ่น : X'Pert Pro MPD โดยไปอัดลงบน Holder plate และใช้ diffraction angle (2θ) ในช่วง 2–35

2. เทคนิค X-ray Fluorexcence

ศึกษาปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบในดินตะกอนและซีโอไลต์สังเคราะห์ โดยตัดสารตัวอย่างที่บดละเอียดแล้วบรรจุลงในภาชนะบรรจุสารตัวอย่างที่ประกอบวงแหวนพลาสติก Sample Holder และแผ่นไมลาร์ (Mylar) เข้าด้วยกัน ให้มีความหนาประมาณ 0.50 เซนติเมตร และนำกระดาษกาวปิดภาชนะบรรจุสารตัวอย่างเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของสารตัวอย่างในขณะทำการวิเคราะห์ด้วยระบบสเปกโตรเมทรี

3. เทคนิค Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR)

นำดินตะกอนจากน้ำประปาและซีโอไลต์ที่ได้จากการสังเคราะห์มาศึกษาพันธะด้วย Fourier transform infrared (FTIR) Spectrum Spotlight 300 FT-IR Imaging System โหมด ATR โดยสแกนในช่วง $400\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งตัวอย่างที่นำมาวัดต้องแห้ง

4. ศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยา ด้วย Scanning Electron Microscope (SEM)

นำดินตะกอนและซีโอไลต์สังเคราะห์มาศึกษาโครงสร้างจุลภาคและพื้นผิวด้วย Scanning Electron Microscope (SEM) โดยนำตัวอย่างไปติดบน Stub ให้อนุภาคเรียงตัวในลักษณะชั้นเดียวไม่เกาะ กลุ่มกัน เพื่อให้การฉาบผิวทำได้ทั่วถึง

5. Surface Area and Porosity Analyzer (BET)

นำดินตะกอนจากน้ำประปาและซีโอไลต์สังเคราะห์มาวิเคราะห์ขนาดพื้นที่ผิวและขนาดของรูพรุนด้วย Surface Area Analyzer (BET) โดยบรรจุตัวอย่างที่ต้องการทดสอบพื้นที่ผิวจำเพาะในเซลล์ที่ 1 ส่วนอีกเซลล์ไม่ใช่ตัวอย่างเป็นเซลล์อ้างอิง ก่อนจุ่มเซลล์ทั้งสองในไนโตรเจนเหลว เมื่อแก๊สไนโตรเจนเข้ามาในเซลล์จะทำให้ความดันภายในเซลล์ตัวอย่างลดลง ในขณะที่เซลล์อ้างอิงความดันจะคงที่ ข้อมูลที่เครื่องบันทึกผล คือ ค่าความดันสัมพัทธ์และปริมาณแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับจนความดันคงที่อีก

3.4 การดูดซับโลหะหนักโดยใช้ดินตะกอนจากน้ำประปาและซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา

3.4.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานและสร้างกราฟมาตรฐาน

- 1) เจือจาง Cd(II)-stock solution หรือ Mn(II)-stock solution เข้มข้น 1000 mg/L ปริมาตร 5 mL ด้วย DI-water ในขวดวัดปริมาตร 50 mL จะได้สารละลายมาตรฐานโลหะหนักเข้มข้น 100 mg/L
- 2) เจือจางสารละลายมาตรฐานโลหะหนักเข้มข้น 100 mg/L ปริมาตร 0.50, 0.75, 1.00, 1.25 และ 1.50 mL ด้วย DI-water 50 mL ในขวดวัดปริมาตร 50 mL จำนวน 4 ใบ ได้สารละลายมาตรฐานโลหะหนักเข้มข้น 1.00, 1.50, 2.00, 2.50 และ 3.00 mg/L ตามลำดับ
- 3) นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (AAS) ที่ความยาวคลื่น 228.8 และ 279.5 นาโนเมตรสำหรับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) ตามลำดับ โดยใช้ DI-water เป็น Blank
- 4) นำค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลายไปสร้างกราฟมาตรฐาน โดยให้แกน X เป็นความเข้มข้นของสารละลาย (mg/L) และแกน Y เป็นค่าการดูดกลืนแสง

3.4.2 การศึกษาประสิทธิภาพของดินตะกอนและซีโอไลต์สังเคราะห์ในการดูดซับไอออนของแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) จากสารละลายตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

1. หาความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) ก่อนการดูดซับ
 - 1.1 เตรียมสารละลายแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) เข้มข้น 1000 mg/L
 - 1.2 เจือจางสารละลายแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) เข้มข้น 1000 mg/L ให้เป็น 10 mg/L
 - 1.3 นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 228.8 และ 279.5 นาโนเมตร สำหรับ แคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) ตามลำดับ ด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer อ่านค่าและบันทึกผลการทดลอง
 - 1.4 นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) โดยคำนวณจากสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน
2. หาความเข้มข้นของสารละลายหลังการดูดซับ
 - 2.1 ชั่งวัสดุดูดซับใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 mL ชนิดละ 3 ใบ ใบละ 2 กรัม โดยใบที่ 1 เป็น blank
 - 2.2 นำไปเติมสารละลายโลหะหนัก ที่เตรียมไว้ บีกเกอร์ละ 50 mL แล้วแช่ทิ้งไว้เป็น เวลา 1 ชั่วโมง โดยแช่ที่เวลา 30 นาที เป็นเวลา 30 วินาที ด้วย magnetic stirrer ความเร็วระดับ 2
 - 2.3 กรองสารละลายที่แช่ด้วยวัสดุดูดซับ ด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1
 - 2.4 นำเอาสารละลายที่กรองได้ไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นที่ด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer โดยใช้ DI-water เป็น blank

3.5 การศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการดูดซับไอออนโลหะหนักจากสารละลายตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

3.5.1 การศึกษาปริมาณของตัวดูดซับ

1. เตรียมสารละลายโลหะหนักความเข้มข้น 10 mg/L และหาความเข้มข้นที่แน่นอนก่อนการดูดซับ โดยใช้วิธีการดัง 3.4.2 ข้อที่ 1
2. ทำการดูดซับโลหะหนักโดยเปลี่ยนน้ำหนักของวัสดุดูดซับเป็น 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 กรัม และทำการทดลองเช่นเดียวกันกับวิธีการดัง 3.4.2 ข้อที่ 2

3.5.2 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ

1. เตรียมสารละลายโลหะหนักความเข้มข้น 10 mg/L และหาความเข้มข้นที่แน่นอนก่อนการดูดซับ โดยใช้วิธีการดัง 3.4.2 ข้อที่ 1
2. ทำการดูดซับโลหะหนัก โดยใช้น้ำหนักของวัสดุดูดซับเป็นน้ำหนักที่เหมาะสมที่สุดจากการดูดซับในข้อ 3.5.1 โดยเปลี่ยนเวลาในการดูดซับเป็น 15, 30, 60, 90, 120, 180, 240 และ 480 นาที เขย่าเป็นเวลา 30 นาทีเป็นเวลา 30 วินาที ยกเว้นการศึกษาที่ 15 นาที และทำการทดลองเช่นเดียวกันกับวิธีการดัง 3.4.2 ข้อที่ 2

3.5.3 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะหนักที่มีผลต่อการดูดซับ

- 3.1 เตรียมสารละลายโลหะหนักความเข้มข้น 250, 500, 750, 1000, 1500, 2000 และ 3000 mg/L และหาความเข้มข้นที่แน่นอนของความเข้มข้นก่อนการดูดซับโดยใช้วิธีการดัง 3.4.2 ข้อที่ 1
- 3.2 ทำการดูดซับโลหะหนัก โดยใช้น้ำหนักของวัสดุดูดซับเป็นน้ำหนักที่เหมาะสมที่สุดจากการดูดซับในข้อ 3.5.1 โดยใช้เวลาในการดูดซับเป็นเวลาในการดูดซับที่เหมาะสมในข้อที่ 3.5.2 เขย่าเป็นเวลา 30 นาทีเป็นเวลา 30 วินาที และทำการทดลองเช่นเดียวกันกับวิธีการดัง 3.4.2 ข้อที่ 2

3.5.4 อุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับ

- 4.1 เตรียมสารละลายโลหะหนักความเข้มข้น 100 mg/L และหาความเข้มข้นที่แน่นอนก่อนการดูดซับ โดยใช้วิธีการ 3.4.2 ดังข้อที่ 1
- 4.2 ทำการดูดซับโลหะหนัก โดยใช้น้ำหนักของวัสดุดูดซับเป็นน้ำหนักที่เหมาะสมที่สุดจากการดูดซับในข้อ 3.5.1 โดยใช้เวลาในการดูดซับเป็นเวลาในการดูดซับที่เหมาะสมในข้อที่ 3.5.2 เขย่าเป็นเวลา 30 นาทีเป็นเวลา 30 วินาที และทำการทดลองเช่นเดียวกันกับวิธีการดัง 3.4.2 ข้อที่ 2 โดยศึกษาที่อุณหภูมิห้อง, 40, 50, 60 และ 70 °C

3.6 การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลาย

3.6.1 การศึกษาฟรอนด์ลิชไอโซเทอร์ม (Freundlich Isotherm)

1. นำค่าที่ได้จากการศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักที่มีผลต่อการดูดซับด้วยวัสดุดูดซับมาแทนค่าในตัวแปรของสมการไอโซเทอร์มการดูดซับตามสมการของ Freundlich Isotherm

$$\log (X_m/m) = (1/n)\log C_e + \log K_F$$

2. นำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟโดยให้แกน X คือ $\log C_e$ แกน Y คือ $\log (X_m/m)$
3. จากสมการเส้นตรงที่ได้ คำนวณหาค่าคงที่ของ Freundlich Isotherm คือ K_F และ $1/n$
4. เปรียบเทียบค่าคงที่ ที่คำนวณได้กับผลการทดลองว่ามีความสอดคล้องกันหรือไม่

3.6.2 การศึกษาแลงเมียร์ไอโซเทอร์ม (Langmuir Isotherm)

1. นำค่าที่ได้จากการศึกษาความเข้มข้นของแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) ที่มีผลต่อการดูดซับด้วยวัสดุดูดซับมาแทนค่าในตัวแปรของสมการไอโซเทอร์มการดูดซับตามสมการของ Langmuir Isotherm

$$C_e / (X_m / m) = (1 / K_L N_m) + (C_e / N_m)$$

2. นำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟโดยให้แกน X คือ C_e แกน Y คือ (X_m/m)

3. จากสมการเส้นตรงที่ได้ คำนวณหาค่าคงที่ของ Langmuir Isotherm คือ K_L และ N_m
4. เปรียบเทียบค่าคงที่ ที่คำนวณได้กับผลการทดลองว่ามีความสอดคล้องกันหรือไม่

3.7 การศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับ

3.7.1 ศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับแบบ Pseudo-first Order

1. นำค่าที่ได้จากการศึกษาเวลาที่มีผลต่อการดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) ด้วยวัสดุดูดซับซีโอไลต์สังเคราะห์มาแทนค่าในตัวแปรของสมการจลนพลศาสตร์การดูดซับตามสมการ Pseudo-First Order

$$\ln (q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t$$

2. นำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟโดยให้แกน X คือ t แกน Y คือ $\ln (q_e - q_t)$
3. จากสมการเส้นตรงที่ได้ คำนวณหาค่าคงที่ของ Pseudo-first Order คือ k_1
4. เปรียบเทียบค่าคงที่ได้คำนวณได้กับผลการทดลองว่ามีความสอดคล้องกันหรือไม่

3.7.2 ศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับแบบ Pseudo-second Order

1. นำค่าที่ได้จากการศึกษาเวลาที่มีผลต่อการดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) ด้วยวัสดุดูดซับซีโอไลต์สังเคราะห์มาแทนค่าในตัวแปรของสมการจลนพลศาสตร์การดูดซับตามสมการ Pseudo-Second Order

$$(t/q_t) = (1/k_2 q_e^2) + (t/q_e)$$

2. นำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟโดยให้แกน X คือ t แกน Y คือ t/q_t
3. จากสมการเส้นตรงที่ได้ คำนวณหาค่าคงที่ของ Pseudo-Second Order คือ k_2
4. เปรียบเทียบค่าคงที่ได้คำนวณได้กับผลการทดลองว่ามีความสอดคล้องกันหรือไม่

3.8 การศึกษาอุณหพลศาสตร์การดูดซับ

นำค่าที่ได้จากการศึกษาอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) ด้วยวัสดุดูดซับมาแทนค่าในตัวแปรของสมการอุณหพลศาสตร์การดูดซับตามสมการ van't Hoff

$$\ln K_C = (-\Delta H^\circ / RT) + (\Delta S^\circ / R)$$

และนำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟ โดยที่แกน X คือ $1/T$ และ แกน Y คือ $\ln K_C$ จากสมการเส้นตรงที่ได้ ความชัน คือ $-\Delta H^\circ / RT$ จุดตัดแกน Y คือ $\Delta S^\circ / R$ และ K_C คือ ค่าคงที่สมดุล ซึ่งหาได้จาก $K_C = C_{ads} / C_e$ เมื่อหาค่า K_C แล้ว จากนั้นคำนวณหา ΔG° ที่มีผลต่อการดูดซับได้ จากสมการ $\Delta G^\circ = -RT \ln K_C$

บทที่ 4

ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

การสังเคราะห์ซีโอไลต์สังเคราะห์ จะเตรียมจากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งใช้สารละลายเบสเป็นตัวกลาง โดยทำการศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยาและพิสูจน์เอกลักษณ์ของดินตะกอนจากน้ำประปาและซีโอไลต์สังเคราะห์ ด้วยเทคนิค XRD XRF SEM FTIR และ BET

การศึกษากการประยุกต์ใช้ซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี ในการกำจัดแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำตัวอย่างจากห้องปฏิบัติการ ซึ่งการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) จะใช้เทคนิค Atomic absorption spectrometry (AAS) ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) ของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนน้ำประปาและศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการดูดซับ ซึ่งพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา ได้แก่ ปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสม และเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับแคดเมียม(II) และสารละลายแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ

การศึกษากการดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนน้ำประปา ได้ศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ โดยศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์และไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรอยลิช ศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับ โดยศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับแบบปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเหมือนและปฏิกิริยาอันดับสองเหมือน และศึกษาอุณหพลศาสตร์การดูดซับ โดยหาค่าเอนโทรปี เอนทาลปี และพลังงานอิสระกิบส์

4.1 การเตรียมซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี

จากการศึกษาดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี มาวิเคราะห์หาปริมาณธาตุและสารประกอบด้วยเทคนิค X-Ray Fluorescence (XRF) พบว่าแร่ธาตุของดินตะกอนจากน้ำประปาประกอบด้วย Al_2O_3 SiO_2 และ Fe_2O_3 ดังตารางที่ 1 ซึ่ง Al_2O_3 และ SiO_2 นั้นเป็นส่วนประกอบพื้นฐานของดินตะกอนทุกชนิด ส่วน Fe_2O_3 เป็นแร่ธาตุในดินตะกอนที่ได้จากการผลิตน้ำประปา และ Al_2O_3 และ SiO_2 เป็นองค์ประกอบหลักในโครงสร้างของซีโอไลต์ ดังนั้นดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานีสามารถนำมาเตรียมซีโอไลต์สังเคราะห์ได้

ตารางที่ 1 องค์ประกอบในดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี

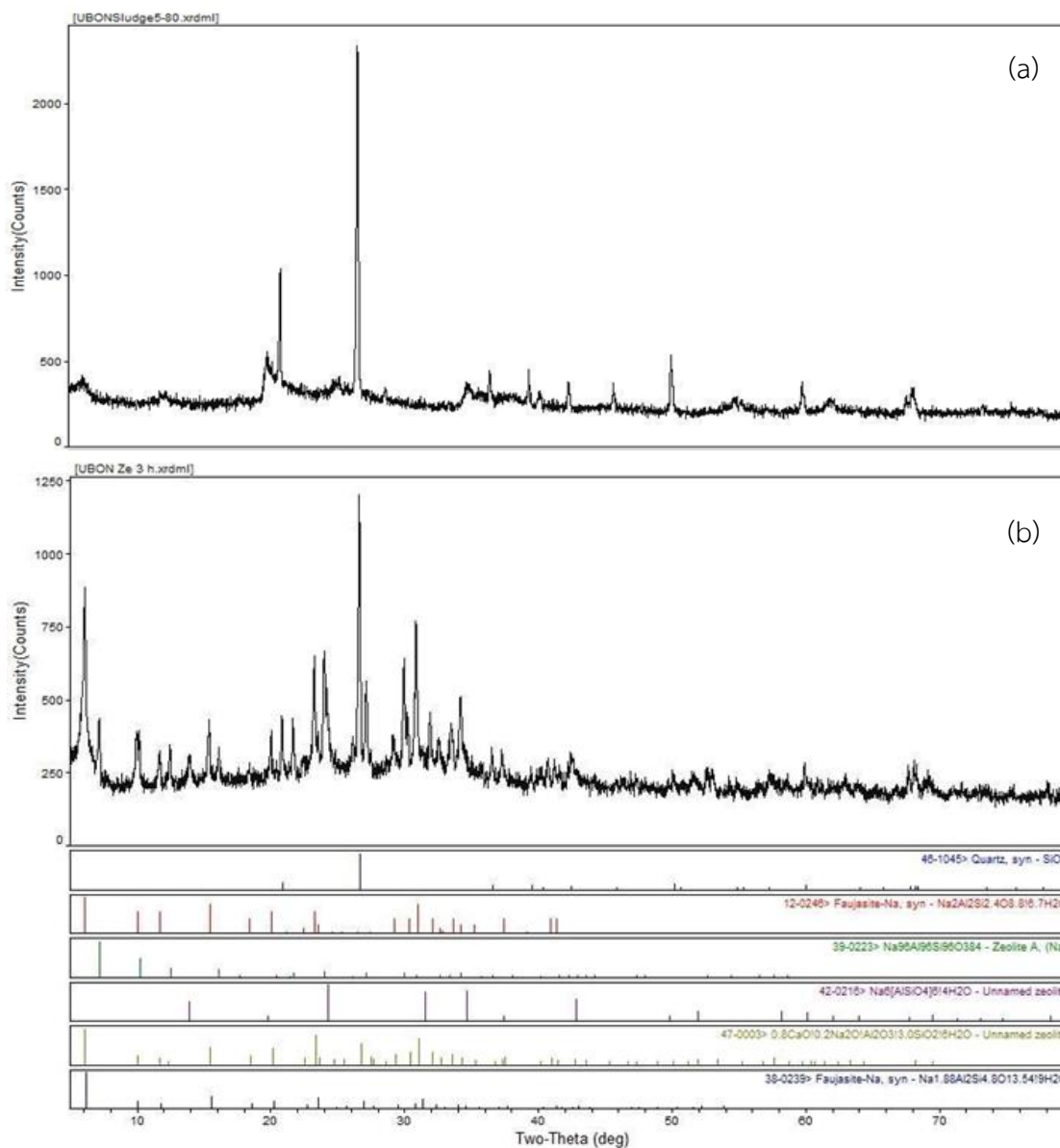
องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ (%)	องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ (%)
SiO_2	44.37	Na_2O	0.11
Al_2O_3	26.76	MnO	0.09
Fe_2O_3	7.21	V_2O_5	0.04
K_2O	1.21	ZrO_2	0.03
TiO_2	0.81	BaO	0.03
MgO	0.71	ZnO	0.02
CaO	0.52	Cr_2O_3	0.01
P_2O_5	0.42	LOI	17.29
SO_3	0.38		

สารประกอบอะลูมิเนียมซิลิเกต (Crystalline Aluminosilicates) หน่วยย่อยของซีโอไลต์ประกอบด้วยอะตอมของซิลิคอน (หรืออะลูมิเนียม) หนึ่งอะตอม และออกซิเจนสี่อะตอมสร้างพันธะกันเป็นภาพสามเหลี่ยมสี่หน้า (Tetrahedron) โดยอะตอมของซิลิคอน (หรืออะลูมิเนียม) อยู่ตรงกลาง ล้อมรอบด้วยอะตอมของออกซิเจนที่มุมทั้งสี่ ซึ่งโครงสร้างสามเหลี่ยมสี่หน้านี้จะเชื่อมต่อกันที่มุม (ใช้ออกซิเจนร่วมกัน) ก่อให้เกิดเป็นโครงสร้างที่ใหญ่ขึ้นและเกิดเป็นช่องว่างระหว่างโมเลกุล ทำให้ซีโอไลต์เป็นผลึกแข็งเป็นรูปพรุนและช่องว่างหรือโพรงที่ต่อเชื่อมกันอย่างเป็นระเบียบในสามมิติ ซีโอไลต์ หรือ อะลูมิเนียมซิลิเกต (aluminosilicates) ในโครงสร้างจะมีประจุลบของออกซิเจนอยู่ 1 อะตอม ทำให้สามารถดูดซับโลหะที่มีประจุบวกหรือสีย้อมที่มีประจุบวกได้

4.2 การวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ของดินตะกอนจากน้ำประปาและซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา

4.2.1 การพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction (XRD)

ดินตะกอนจากน้ำประปาและซีโอไลต์สังเคราะห์นำมาพิสูจน์เอกลักษณ์ โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD ผลของการพิสูจน์เอกลักษณ์แสดงดังภาพที่ 1 (ดูภาพขนาดใหญ่ที่ภาคผนวก ง)



ภาพที่ 1 XRD pattern ของ (a) ดินตะกอนจากน้ำประปา และ (b) ซีโอไลต์สังเคราะห์

จากการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction (XRD) ของดินตะกอนจากน้ำประปา (ภาพที่ 1a) ปรากฏพีคของดินตะกอนจากน้ำประปาประกอบด้วยแร่ควอตซ์ มีพีคของ SiO_2 ปรากฏตำแหน่ง 2θ ที่ 25 และยังมีพีคของ Kaolinite ปรากฏตำแหน่ง 2θ ที่ 20 [18] และเมื่อพิจารณาซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ (ภาพที่ 1b) ปรากฏแร่ควอตซ์ที่ประกอบอยู่มี Unnamed Zeolite ปรากฏตำแหน่ง 2θ ที่ 22 และ Zeolite A ปรากฏตำแหน่ง 2θ ที่ 2 ยืนยันจากภาพแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เป็นภาพแบบของเฟสซีโอไลต์ แสดงว่ายังมีโครงสร้างเป็นแบบอสัณฐานปนอยู่ อธิบายได้ว่าระหว่างกระบวนการให้ความร้อนเพิ่มมากขึ้นการกระจายตัวของรูพรุนมากขึ้นส่งผลต่อพื้นที่ที่พิกจำเพาะดีขึ้น [19-20]

4.2.2 การศึกษาพื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเทคนิค The Brunauer- Emmett-Teller (BET)

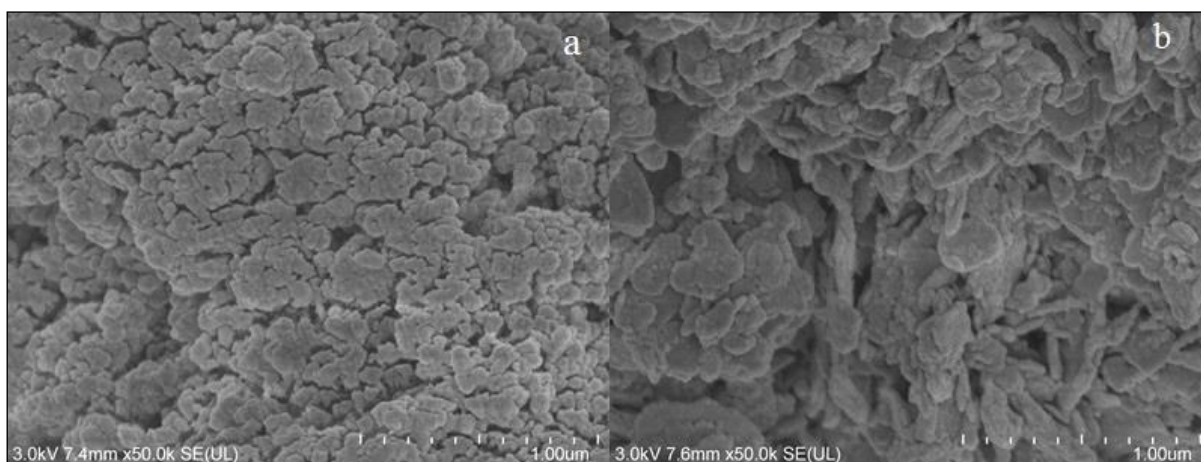
นำซีโอไลต์สังเคราะห์และดินตะกอนจากน้ำประปาไปศึกษาพื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเทคนิค BET แสดงดังตารางที่ 2 โดยปรากฏพื้นที่ผิวจำเพาะของซีโอไลต์สังเคราะห์มีจำนวนเพิ่มขึ้นมากกว่าพื้นที่ผิวของดินตะกอนจากน้ำประปา และขนาดรูพรุนลดลง แสดงให้เห็นถึงซีโอไลต์สังเคราะห์จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับ แคลเซียม(II) และแมงกานีส(II) ได้มากกว่าดินตะกอนจากน้ำประปา

ตารางที่ 2 วิเคราะห์พื้นที่ผิวของดินตะกอนจากน้ำประปาและซีโอไลต์ที่สังเคราะห์

ตัวดูดซับ	พื้นที่ผิว (ตร.ม.ต่อ ก.)	ขนาดรูพรุน (นาโนเมตร)	ปริมาตรรูพรุน (ตร.ซม.ต่อ ก.)
ดินตะกอนจากน้ำประปา	60.2629	9.2378	0.1391
ซีโอไลต์สังเคราะห์	140.7380	4.3063	0.1515

4.2.3 ลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM)

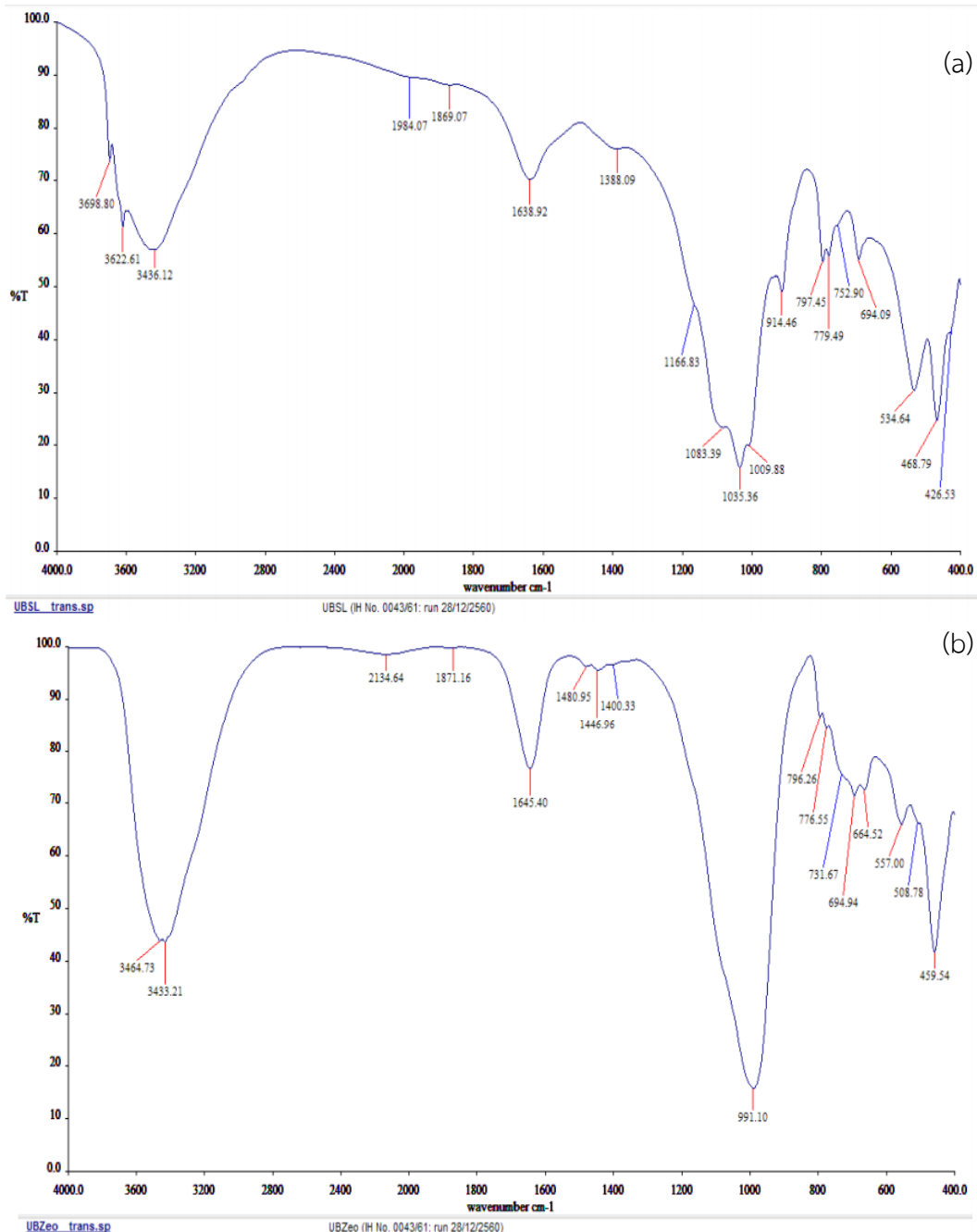
นำดินตะกอนจากน้ำประปาและซีโอไลต์สังเคราะห์มาวิเคราะห์หาลักษณะสัณฐานวิทยารายละเอียดของพื้นผิวตัวอย่างด้วยเทคนิค SEM ได้ภาพแบบ 3 มิติ แสดงดังภาพที่ 2 พบว่าดินตะกอนจากน้ำประปามีขนาดผิวหน้าที่เรียบมีลักษณะเป็นก้อนกลมติดกัน (2a) และเมื่อสังเคราะห์เป็นซีโอไลต์ลักษณะเป็นแผ่น ไม่มีภาพทรงที่แน่นอนชัดเจน (2b)



ภาพที่ 2 SEM ของ (a) ดินตะกอนจากน้ำประปาและ (b) ซีโอไลต์สังเคราะห์

4.2.4 การพิสูจน์เอกลักษณ์การเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR)

สเปกตรัม FTIR ของดินตะกอนจากน้ำประปา (ภาพที่ 3a) พิก 3,436.12 cm^{-1} เป็นการของการสั่นของการยืดตัวแบบไม่สมมาตรของ $\text{V}(\text{O}-\text{H})$ มีการปรากฏของวัสดุซิลิเกตอะลูมิเนียม (แก้ว) หรือซิลิเกตอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ที่ 1,638.92 cm^{-1} พบ H_2O ที่ 1,035.36 cm^{-1} ซึ่งเป็นผลมาจากการสั่นของ $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ ของซิลิกา ส่วน 797.45 cm^{-1} และ 468.79 cm^{-1} เป็นแร้วควอตซ์และซิลิกาตามลำดับ FTIR ของซีโอไลต์สังเคราะห์ (ภาพที่ 3b) แสดงสเปกตรัมในช่วง 650-745 cm^{-1} คือ symmetric $\text{V}_{\text{as}}(\text{T}-\text{O}-\text{T})$ ซึ่งแสดงพิกของซีโอไลต์ 664.52, 776.26 และ 796.26 cm^{-1} สำหรับ hydroxysodalite ของซีโอไลต์ อยู่ในช่วง 420-500 cm^{-1} มีการสั่นมุมภายในเตตระฮีดรอนของ $\text{Si}-\text{O}$ และ $\text{Al}-\text{O}$ ของโหนดการสั่นของ sodalite ($\text{T}-\text{O}-\text{T}$) อยู่ในช่วง 991.10 cm^{-1} และลักษณะระหว่างการสั่นแบบไม่สมมาตร 1,250 cm^{-1} - 950 cm^{-1} ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นพิกของซีโอไลต์



ภาพที่ 3 สเปกตรัม FTIR ของ (a) ดินตะกอนจากน้ำประปาและ (b) ซีโอไลต์สังเคราะห์

4.3 การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับแคดเมียม(II) และสารละลายแอมโมเนียม(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี

การเตรียมซีโอไลต์สังเคราะห์ จะทำโดยการบดดินตะกอนจากน้ำประปาให้เป็นเนื้อเดียวกันกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 600 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

การศึกษาการดูดซับแคดเมียม(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ ใช้ตัวดูดซับต่างๆ ดังนี้

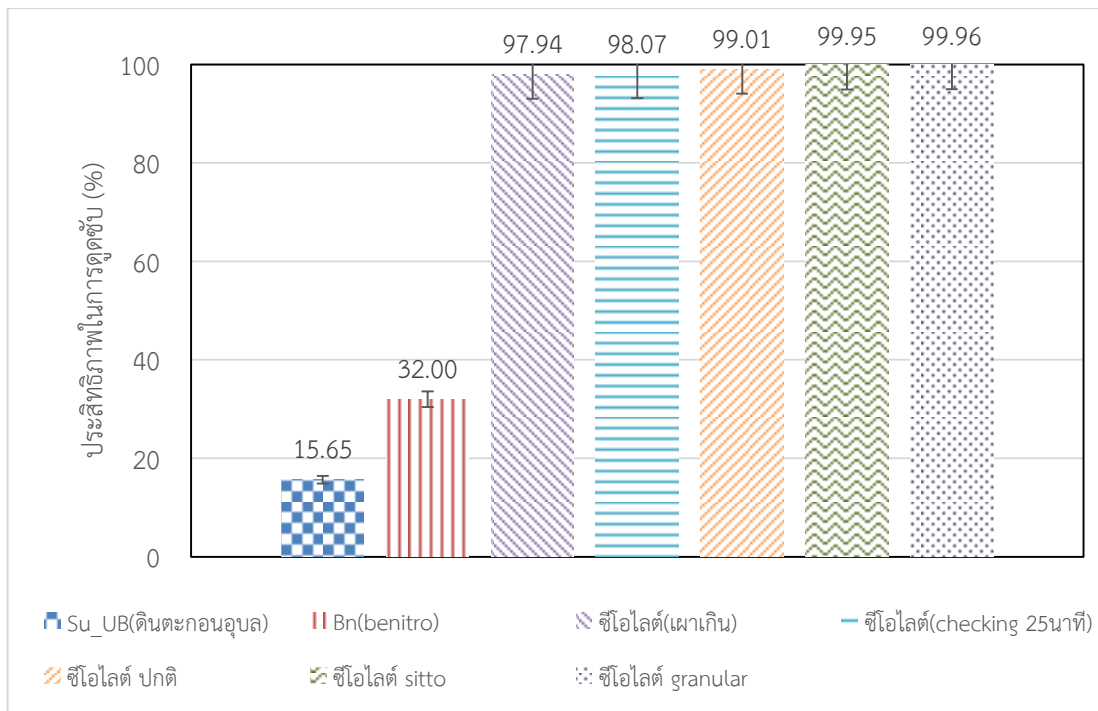
1. ดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี (Su_UB)
2. เบนโทไนท์ (Bn(benitro))
3. ซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี ที่เพิ่มขึ้นตอนเช็กเกอร์ก่อนนำไปเผา (shaker) 25 นาที (Zeo_UB shacking 25 นาที)
4. ซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี ที่เผาเพิ่มเป็น 9 ชั่วโมง (Zeo_UB 9 ชั่วโมง)
5. ซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานีที่เตรียมปกติ (Zeo_UB)
6. ซีโอไลต์ธรรมชาติ sitto* (ซีโอไลต์ sitto)
7. ซีโอไลต์ธรรมชาติ granular* (ซีโอไลต์ granular)

หมายเหตุ *ชื่อทางการค้า

ทำการดูดซับแคดเมียม(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการความเข้มข้น 50 mg/L ปริมาตร 25 mL ทำการกวน 30 วินาที ทุกๆ 30 นาที เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นก็นำไปปั่นเหวี่ยงแล้วดูดเอาส่วนที่ใสมาวัดหาความเข้มข้นหลังดูดซับด้วยเทคนิค Atomic absorption spectrometry (AAS) ความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียม(II) ก่อนการดูดซับ มีความเข้มข้น 53.25 mg/L และความเข้มข้นหลังการดูดซับ แสดงดังตารางที่ 3 และกราฟที่ 1

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียม(II) ของตัวดูดซับชนิดต่างๆ

ตัวดูดซับ	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นหลังดูดซับ (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
Su_UB	0.114	44.92	15.65 ± 0.017
Bn(benitro)	0.180	36.21	32.00 ± 0.043
Zeo_UB เผา 9 ชั่วโมง (ซีโอไลต์เผาเกิน)	0.071	1.03	97.94 ± 0.010
Zeo_UB shacking 25 นาที (ซีโอไลต์ shacking 25 นาที)	0.067	1.10	98.07 ± 0.010
Zeo_UB (ซีโอไลต์ปกติ)	0.038	0.53	99.01 ± 0.010
ซีโอไลต์ sitto	0.050	0.03	99.95 ± 0.012
ซีโอไลต์ granular	0.059	0.05	99.96 ± 0.014



กราฟที่ 1 เปรียบเทียบชนิดของตัวดูดซับกับประสิทธิภาพในการดูดซับ

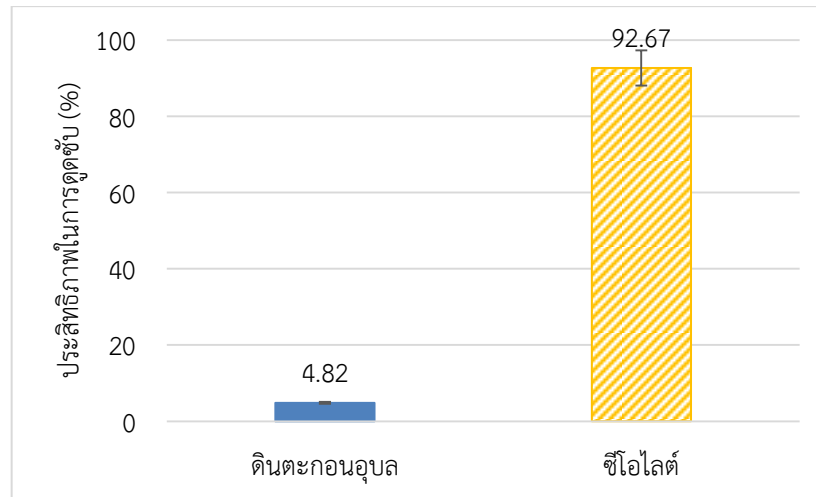
การศึกษาการดูดซับแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ ใช้ตัวดูดซับต่างๆดังนี้

1. ดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี (Su_UB)
2. ซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานีที่เตรียม (Zeo_UB)

การดูดซับสารละลายแมงกานีส(II) ใช้ตัวดูดซับ 2 ชนิด ดูดซับแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการที่มีความเข้มข้น 50 mg/L ปริมาตร 25 mL ทำการกวน 30 วินาที ทุกๆ 30 นาที เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นก็นำไปปั่นเหวี่ยงแล้วดูดเอาส่วนที่ใสมาวัดหาความเข้มข้นหลังดูดซับด้วยเทคนิค Atomic absorption spectrometry (AAS) ความเข้มข้นของสารละลายแมงกานีส(II) ก่อนการดูดซับมีความเข้มข้น 58.04 mg/Lและความเข้มข้นหลังดูดซับแสดงดังตารางที่ 4 และกราฟที่ 2

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพการดูดซับแมงกานีส(II) ของตัวดูดซับทั้ง 2 ชนิด

ตัวดูดซับ	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นหลังดูดซับ (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
Su_UB (ดินตะกอนอุบล)	0.002	55.24	4.82 ± 0.0002
Zeo_UB (ซีโอไลต์)	0.055	4.25	92.67 ± 0.0082



กราฟที่ 2 เปรียบเทียบชนิดของตัวดูดซับกับประสิทธิภาพในการดูดซับ

การดูดซับแคดเมียม(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ ด้วยดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี มีประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียม(II) 15.65% แต่เมื่อนำดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี มาสังเคราะห์ให้เป็นซีโอไลต์พบว่ามีประสิทธิภาพในการดูดซับแคดเมียม(II) เพิ่มขึ้นเป็น 99.01% ซึ่งใกล้เคียงกับซีโอไลต์ทางการค้าทั้ง 2 ชนิด

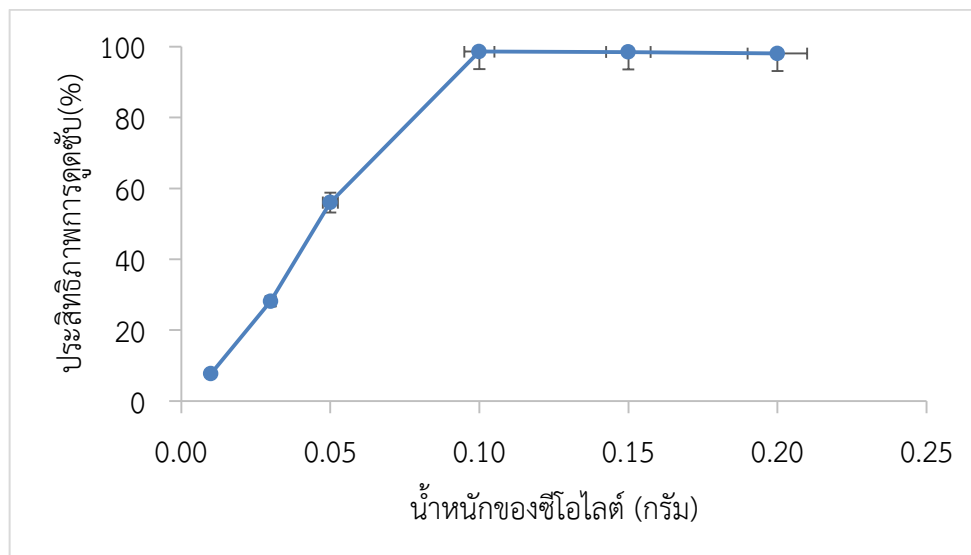
การดูดซับแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ ด้วยดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี มีประสิทธิภาพการดูดซับแมงกานีส(II) 4.82% หลังจากนั้นมาสังเคราะห์เป็นซีโอไลต์พบว่ามีประสิทธิภาพในการดูดซับแมงกานีส(II) เพิ่มขึ้นเป็น 92.67%

4.4 การศึกษาปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสมของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี ในการดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ

ในการศึกษาปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสมของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานีในการดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ โดยปริมาณตัวดูดซับที่ศึกษาการดูดซับแคดเมียม(II) คือ 0.01, 0.03, 0.05, 0.10, 0.15 และ 0.20 กรัม และปริมาณตัวดูดซับที่ศึกษาการดูดซับแมงกานีส(II) คือ 0.01, 0.03, 0.05, 0.10, 0.15, 0.25, 0.30, 0.35 และ 0.40 กรัม ในการดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการที่ความเข้มข้น 50.00 mg/L ปริมาตร 25 mL ทำการรบกวนระบบ 30 วินาที ทุกๆ 30 นาที เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) ทั้งก่อนดูดซับและหลังดูดซับ โดยคำนวณจากสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟมาตรฐานซึ่งคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) ก่อนการดูดซับได้เท่ากับ 54.20 mg/L และ 58.04 mg/L ตามลำดับ และความเข้มข้นหลังดูดซับได้ผลการทดลองดังตารางที่ 5 - 6 และกราฟที่ 3 - 4

ตารางที่ 5 ประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียม(II) ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี (Zeo_UB) ที่น้ำหนักต่างๆ

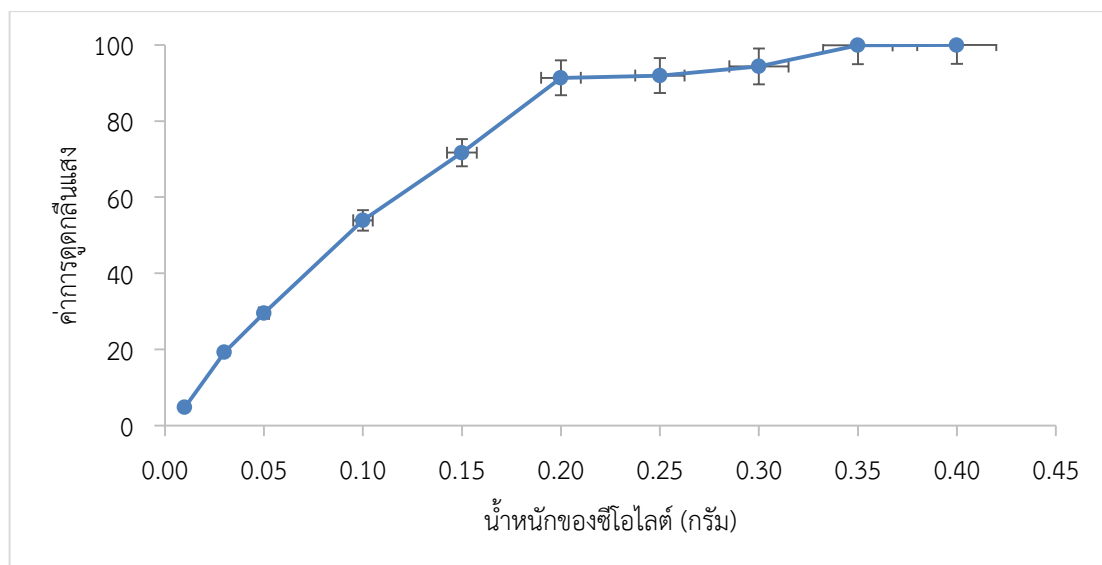
ปริมาณตัวดูดซับ (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นหลังการดูดซับ (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
0.01	0.2810	50.39	7.73 ± 0.24
0.03	0.2230	39.34	28.15 ± 1.12
0.05	0.1433	22.76	56.02 ± 1.22
0.10	0.2097	0.74	98.63 ± 0.06
0.15	0.2290	0.81	98.50 ± 0.05
0.20	0.2917	1.05	98.06 ± 0.02



กราฟที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของตัวดูดซับกับประสิทธิภาพในการดูดซับแคดเมียม(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 6 ประสิทธิภาพการดูดซับแมงกานีส(II) ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี (Zeo_UB) ที่น้ำหนักต่างๆ

ปริมาณตัวดูดซับ (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นหลังการดูดซับ (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
0.01	0.002	55.24	4.82 ± 0.0003
0.03	0.008	46.85	19.28 ± 0.0004
0.05	0.006	40.91	29.52 ± 0.0001
0.10	0.010	26.75	53.92 ± 0.0004
0.15	0.004	16.43	71.69 ± 0.0005
0.20	0.066	5.02	91.35 ± 0.0076
0.25	0.061	4.67	91.95 ± 0.0050
0.30	0.041	3.27	94.36 ± 0.0032
0.35	0.011	0.05	99.91 ± 0.0010
0.40	0.008	0.01	99.98 ± 0.0004



กราฟที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของตัวดูดซับกับประสิทธิภาพในการดูดซับแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ

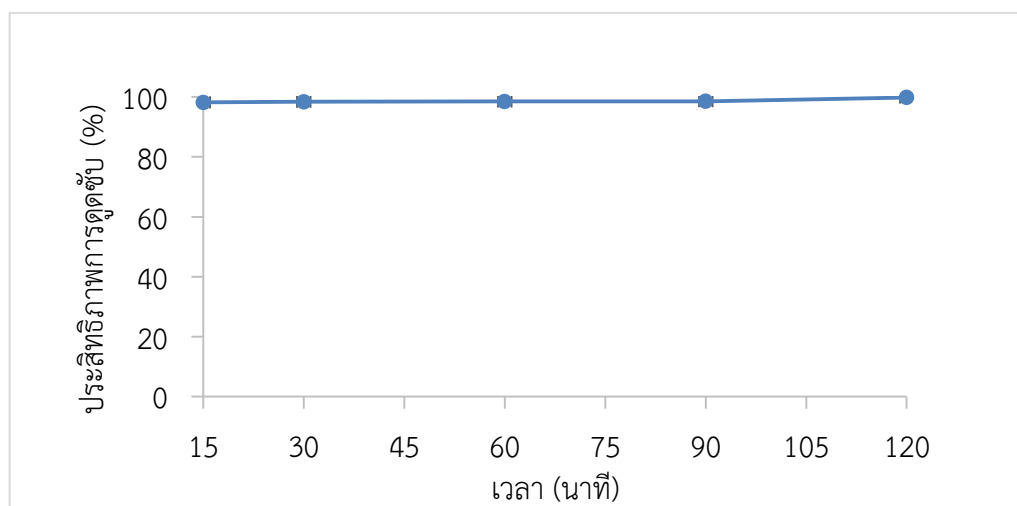
จากการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี ในการดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ พบว่าปริมาณที่เหมาะสมของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานีในการดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการที่ความเข้มข้น 54.20 mg/L และ 58.04 mg/L ปริมาตร 25 mL คือ 0.10 กรัม และ 0.20 กรัม โดยมีประสิทธิภาพการดูดซับเท่ากับ 98.63% และ 91.35% ตามลำดับ

4.5 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานีในการดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ

ในการศึกษาเวลาที่เหมาะสมของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานีในการดูดซับแคดเมียม(II)และแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการโดยใช้ตัวดูดซับปริมาณ 0.10 กรัม และ 0.20 กรัม ในการดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) ตามลำดับ จากสารละลายในห้องปฏิบัติการที่ความเข้มข้น 50.00 mg/L ปริมาตร 25 mL ทำการรบกวนระบบ 30 วินาที ทุกๆ 30 นาที โดยเวลาที่ศึกษาในการดูดซับแคดเมียม(II) คือ 15, 30, 60, 90 และ 120 นาที ส่วนเวลาที่ศึกษาในการดูดซับแมงกานีส(II) คือ 15, 30, 60 และ 120 นาที จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) ทั้งก่อนดูดซับและหลังดูดซับโดยคำนวณจากสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟมาตรฐานคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) ก่อนการดูดซับได้เท่ากับ 55.93 mg/L และ 56.30 mg/L ตามลำดับ และคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียม(II) หลังดูดซับดังตารางที่ 7 – 8 และกราฟที่ 5 – 6

ตารางที่ 7 ประสิทธิภาพในการดูดซับแคดเมียม(II) ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี (Zeo_UB) ที่เวลาต่างๆ

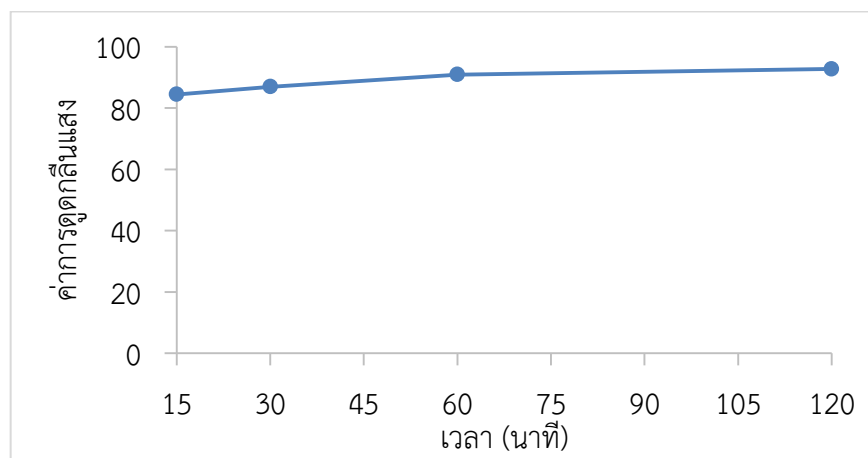
เวลาที่ใช้ในการดูดซับ (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นหลังดูดซับ (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
15	0.2690	1.01	98.21 ± 0.05
30	0.2437	0.90	98.38 ± 0.15
60	0.2237	0.81	98.52 ± 0.04
90	0.2173	0.65	98.57 ± 0.31
120	0.0320	0.09	99.84 ± 0.02



กราฟที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการดูดซับกับประสิทธิภาพในการดูดซับแคดเมียม(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 8 ประสิทธิภาพในการดูดซับแมงกานีส(II) ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี (Zeo_UB) ที่เวลาต่างๆ

เวลาที่ใช้ในการดูดซับ (นาทีก)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นหลังดูดซับ (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
15	0.115	8.77	84.42 ± 0.0101
30	0.096	7.36	86.92 ± 0.0029
60	0.066	5.14	90.87 ± 0.0063
120	0.052	4.10	92.71 ± 0.0025



กราฟที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการดูดซับกับประสิทธิภาพในการดูดซับแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ

จากการศึกษาเวลาที่เหมาะสมของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานีในการดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ตัวดูดซับปริมาณ 0.10 กรัมและ 0.20 กรัม ตามลำดับ มาศึกษาซึ่งผลการทดลองดังตารางที่ 7 - 8 และกราฟที่ 5 - 6 พบว่าเมื่อเวลาในการดูดซับมากขึ้นประสิทธิภาพในการดูดซับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากการเพิ่มเวลาทำให้พื้นที่ผิวของตัวดูดซับที่ยังไม่เกิดการดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) มีโอกาสสัมผัสกับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) จึงทำให้เกิดการดูดซับเพิ่มมากขึ้น เมื่อเวลาในการดูดซับแคดเมียม(II) เพิ่มขึ้นจาก 15 นาที เป็น 60 นาที ประสิทธิภาพในการดูดซับเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 98.21 % เป็น 98.38 % ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพของการดูดซับแมงกานีส(II) เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจาก 15 นาที เป็น 60 นาทีประสิทธิภาพในการดูดซับเพิ่มขึ้นมากจาก 84.42% เป็น 90.87% แต่เมื่อเวลาเพิ่มจาก 60 นาทีเป็น 120 นาที ประสิทธิภาพในการดูดซับของแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยหรือเรียกว่าเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ ดังนั้นเวลาที่เหมาะสมของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานีในการดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการที่ความเข้มข้น 55.93 mg/L และ 56.30 mg/L ตามลำดับ ปริมาตร 25 mL คือเวลา 30 นาที โดยมีประสิทธิภาพการดูดซับเท่ากับ 98.38% และ 90.87% ตามลำดับ ที่ 15 นาที มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงแต่ทั้งนี้ระบบอาจยังไม่เข้าสู่สมดุลมากนัก จึงเลือกเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับเป็น 30 นาที

4.6 การศึกษาผลทางจลนพลศาสตร์การดูดซับของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี ในการดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ

ในการศึกษาจลนพลศาสตร์ในการดูดซับแคดเมียม(II)และแมงกานีส(II) ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี ปริมาณ 0.10 กรัม และ 0.20 กรัม ในการดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ ที่ความเข้มข้น 50.00 mg/L ปริมาตร 25 mL ทำการรบกวนระบบ 30 วินาที ทุกๆ 30 นาที โดยเวลาที่ศึกษาในการดูดซับ คือ 15, 30, 60, 90 และ 120 นาที ซึ่งให้ผลการทดลอง แสดงในตารางที่ 7 – 8 จากนั้นจะนำผลของการศึกษาเวลาในการดูดซับมาคำนวณทางจลนพลศาสตร์ ทั้งปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเหมือน (Pseudo-first order) และปฏิกิริยาอันดับสองเหมือน (Pseudo-second order)

4.6.1 ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเหมือน (Pseudo-first order)

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t$$

โดยที่ q_e คือ ความสามารถในการดูดซับที่สภาวะสมดุล (mg/g)

q_t คือ ความสามารถในการดูดซับที่เวลาใดๆ (mg/g)

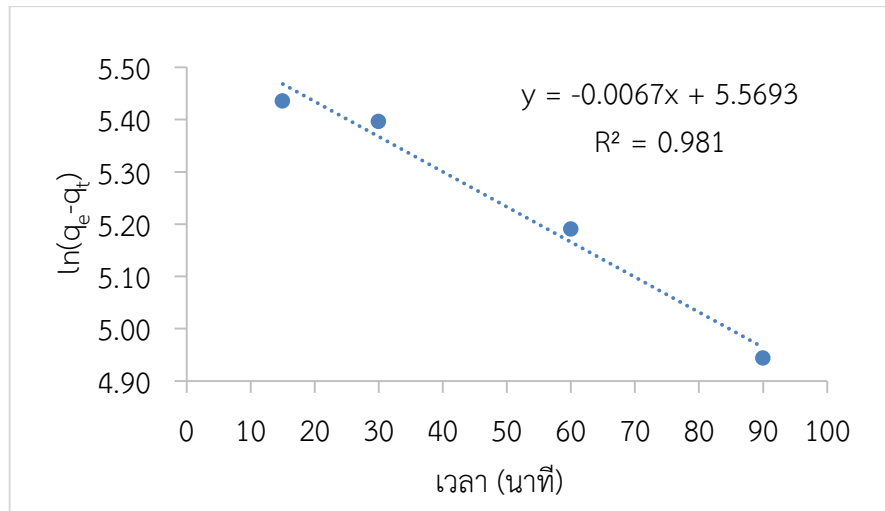
k_1 คือ ค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม (นาที⁻¹)

t คือ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ (นาที)

นำไปพล็อตกราฟโดยแกน x คือ เวลาในการดูดซับ และแกน y คือ $\ln(q_e - q_t)$ จะได้ กราฟเส้นตรง ค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเหมือน (k_1) หาได้จากความชันของเส้นตรง ซึ่งมีค่าเท่ากับ $-k_1$ ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 9 - 10 และกราฟที่ 7 - 8

ตารางที่ 9 ผลการศึกษาปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเหมือนในการดูดซับแคดเมียม(II) จากสารละลาย ในห้องปฏิบัติการ ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา

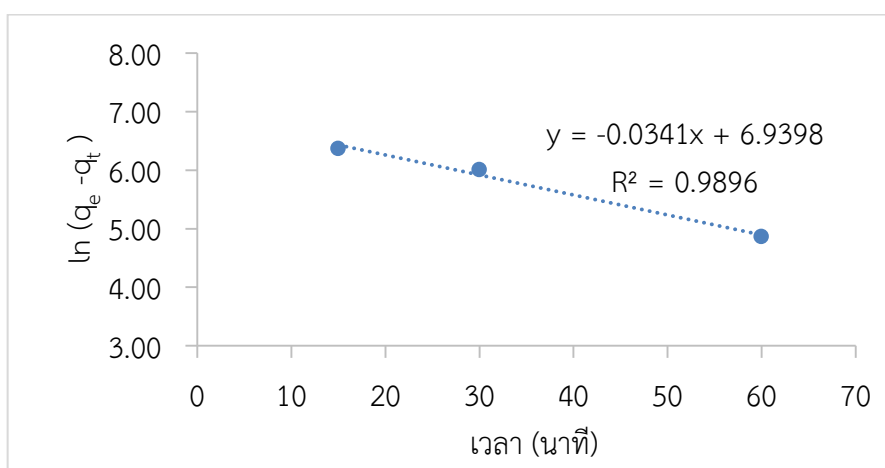
เวลา (นาที)	q_e (mg/g)	q_t (mg/g)	$\ln(q_e - q_t)$	k_1
15	13.94	13.71	5.44	0.0067
30	13.92	13.70	5.40	
60	13.93	13.75	5.19	
90	13.93	13.79	4.94	
120	13.94	13.94	-	



กราฟที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา(t) กับค่า $\ln(q_e - q_t)$ จากสมการปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเสมือนในการดูดซับแคดเมียม(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา

ตารางที่ 10 ผลการศึกษาปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเสมือนในการดูดซับแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา

เวลา (นาท)	q_e (mg/g)	q_t (mg/g)	$\ln(q_e - q_t)$	k_1
15	6.47	5.89	6.37	0.0341
30	6.47	6.06	6.01	
60	6.47	6.34	4.86	
120	6.47	6.47	-	



กราฟที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา(t) กับค่า $\ln(q_e - q_t)$ จากสมการปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเสมือน ในการดูดซับแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา

4.6.2 ปฏิกิริยาอันดับสองเทียม (Pseudo-second order)

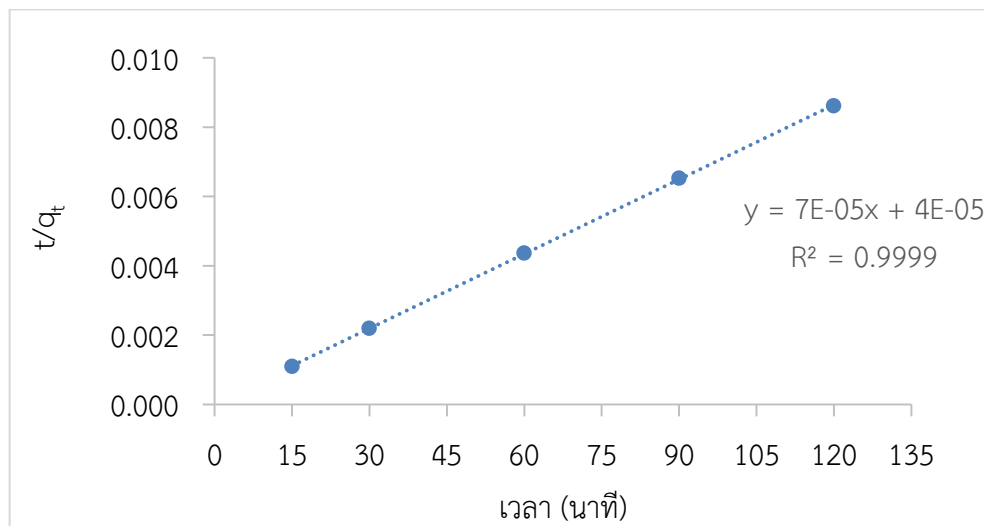
$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}$$

โดยที่ q_e คือ ความสามารถในการดูดซับที่สภาวะสมดุล (mg/g)
 q_t คือ ความสามารถในการดูดซับที่เวลาใดๆ (mg/g)
 k_2 คือ ค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับสองเทียม (นาท⁻¹)
 t คือ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ (นาท)

นำไปพล็อตกราฟโดยแกน x คือเวลา (t) และแกน y คือ t/q_t จะได้กราฟเส้นตรง มีค่าความชันเป็น $1/q_e$ และจุดตัดแกน y มีค่าเป็น $1/k_2 q_e^2$ สามารถหาค่าคงที่ปฏิกิริยา อันดับสองเทียม (k_2) ได้ดังตารางที่ 11 - 12 และกราฟที่ 9 - 10

ตารางที่ 11 ผลการศึกษาปฏิกิริยาอันดับสองเทียมในการดูดซับแคดเมียม(II) จาก สารละลายในห้องปฏิบัติการ ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา

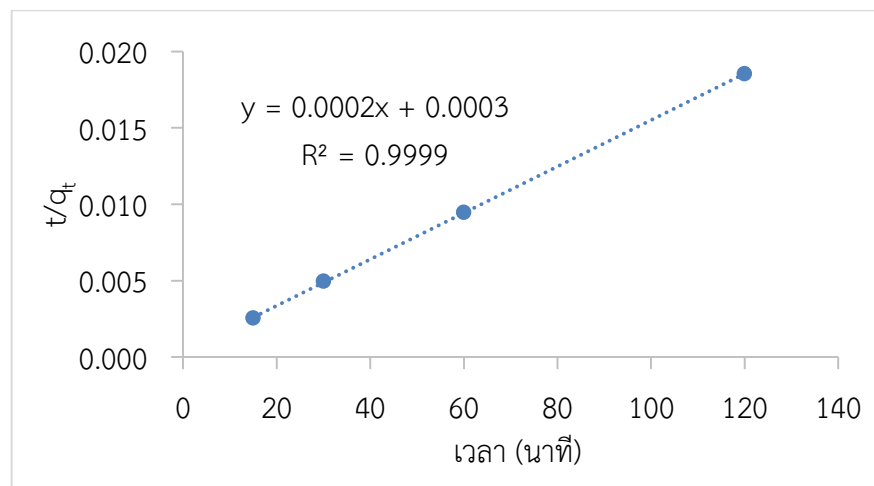
เวลา (นาท)	q_e (mg/g)	q_t (mg/g)	t/q_t	k_2
15	13.94	13.71	0.0011	131.46
30	13.92	13.70	0.0022	
60	13.93	13.75	0.0044	
90	13.93	13.79	0.0065	
120	13.94	13.94	0.0086	



กราฟที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา t กับค่า t/q_t จากสมการปฏิกิริยาอันดับสองเทียม ในการดูดซับ แคดเมียม(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ ด้วยซีโอไลต์ สังเคราะห์จากดินตะกอนจาก น้ำประปา

ตารางที่ 12 ผลการศึกษาปฏิกิริยาอันดับสองเสมือนในการดูดซับแมงกานีส(II) จากสารละลายใน
ห้องปฏิบัติการด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา

เวลา (นาท)	q_e (mg/g)	q_t (mg/g)	t/q_t	k_2
15	6.47	5.89	0.0025	1.33×10^{-4}
30	6.47	6.06	0.0050	
60	6.47	6.34	0.0095	
120	6.47	6.47	0.0185	



กราฟที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา t กับค่า t/q_t จากสมการปฏิกิริยาอันดับสองเสมือน ในการดูดซับ
แมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์ จากดินตะกอนจาก
น้ำประปา

จากการศึกษาจลนพลศาสตร์ในการดูดซับแคดเมียม(II)และแมงกานีส(II) จากสารละลายใน
ห้องปฏิบัติการ ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี ในตารางที่ 11 -
12 และกราฟที่ 9 - 10 ในการดูดซับแคดเมียม(II) พบว่าจากสมการปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเสมือนได้สมการ
เส้นตรงเป็น $y = -0.0067x + 5.5693$ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9810 ค่า k_1 เท่ากับ 5.5693 ส่วนการดูดซับ
แมงกานีส(II) พบว่าจากสมการปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเสมือนได้สมการเส้นตรงเป็น $y = -0.0341x + 6.9398$ มีค่า
 R^2 เท่ากับ 0.9896 ค่า k_1 เท่ากับ 0.0341 และในตารางที่ 10-11 และกราฟที่ 9-10 ในการดูดซับแคดเมียม(II)
พบว่าปฏิกิริยาอันดับสองเสมือนได้สมการเส้นตรงเป็น $y = (7 \times 10^{-5}) + (4 \times 10^{-5})$ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9999
และค่า k_2 เท่ากับ 131.46 และ ในการดูดซับแมงกานีส(II) พบว่าปฏิกิริยาอันดับสองเสมือนได้สมการเส้นตรง
เป็น $y = 0.0002x + 0.0003$ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9999 และค่า k_2 เท่ากับ 1.33×10^{-4} ดังนั้นจากการศึกษา
จลนพลศาสตร์ในการดูดซับแคดเมียม(II)และแมงกานีส(II) จึงสรุปได้ว่ากลไกในการดูดซับแคดเมียม(II)และ
แมงกานีส(II) ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี เป็นไปตามสมการ
ปฏิกิริยาอันดับสองเสมือน

จากการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับแคดเมียม(II)และแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ
ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานีสามารถอธิบายขั้นตอนการดูดซับ
ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นลำดับ ได้ดังนี้

1. เกิดการแพร่ของแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) ไปยังบริเวณของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานีผ่าน Subsurface
2. เกิดการแพร่ผ่านSubsurfaceของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่า Film Diffusion
3. แคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) เกิดการแพร่ผ่านไปยังรูพรุนของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาจังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่า Pore Diffusion
4. เกิดอันตรกิริยาระหว่างพื้นผิวของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี กับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II)

จากการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) มีผลไปในทางเดียวกัน คือ สอดคล้องกับปฏิกิริยาอันดับสองเสมือน (Pseudo-second Order) โดยขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นกำหนดอัตราในการดูดซับเกิดอันตรกิริยาระหว่างพื้นผิวของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานีกับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาการดูดซับเป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงทางเคมี (Chemisorptions)

4.7 การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี ในการดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ

ในการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี ในการดูดซับแคดเมียม(II)และแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการโดยใช้ตัวดูดซับปริมาณ 0.10 กรัม และ 0.20 กรัม ตามลำดับ ในการดูดซับแคดเมียม(II)และ แมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการที่ความเข้มข้น 50, 80, 120 และ 150 mg/L ปริมาตร 25 mL โดยทำการรบกวนระบบ 30 วินาที ทุกๆ 30 นาที ดูดซับเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียม(II)และ แมงกานีส(II) ทั้งก่อนดูดซับและหลังดูดซับ โดยนำผลการทดลองที่ได้มาคำนวณตามสมการเส้นตรงเพื่อหาความเข้มข้นก่อนและหลังการดูดซับ ส่วนการคำนวณหาไอโซเทอร์มการดูดซับจะใช้สมการเปรียบเทียบผลการทดลองว่าสอดคล้องกับไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์หรือไอโซเทอร์มแบบฟรอยลิตซ์

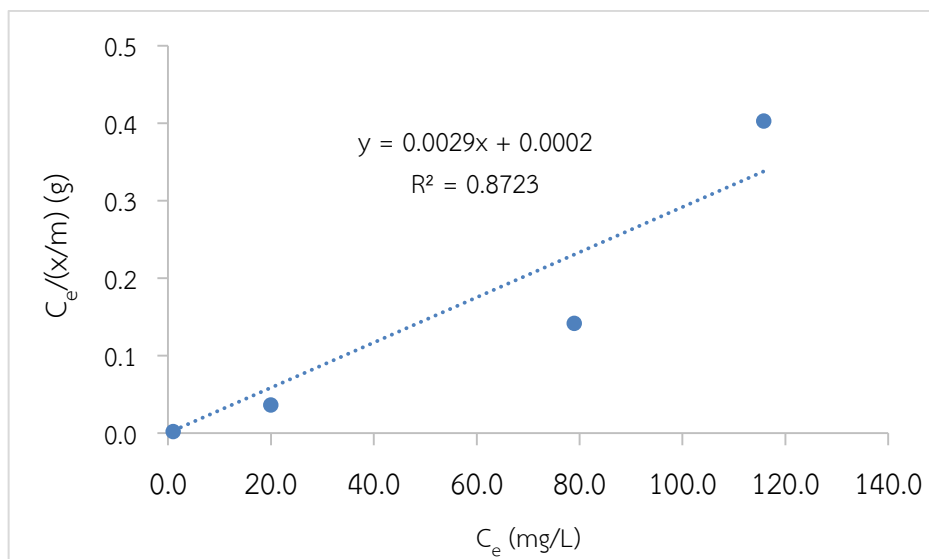
4.7.1 การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Langmuir Isotherm)

$$\frac{C_e}{\frac{x_m}{m}} = \frac{1}{K_L(N_m)} + \left(\frac{1}{N_m}\right) C_e$$

ทำการพล็อตกราฟโดย แกน x คือ C_e และ แกน y คือ $C_e/(X_m/m)$ จะได้ผลการการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ในการดูดซับแคดเมียม(II) ด้วยซีโอไลต์ สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานีทดลองดังตารางที่ 13 และกราฟที่ 11

ตารางที่ 13 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ในการดูดซับแคดเมียม(II) ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา

ความเข้มข้น ก่อนดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้น หลังดูดซับ (mg/L)	ปริมาณ ตัวดูดซับ (g)	X ($C_0 - C_e$)	(X/m)	$C_e/(x/m)$
55.93	1.02	0.1003	54.91	547.51	0.0019
75.51	20.00	0.1001	55.51	554.81	0.0361
134.89	78.96	0.1002	55.93	558.19	0.1415
144.63	115.83	0.1001	28.79	287.62	0.4027

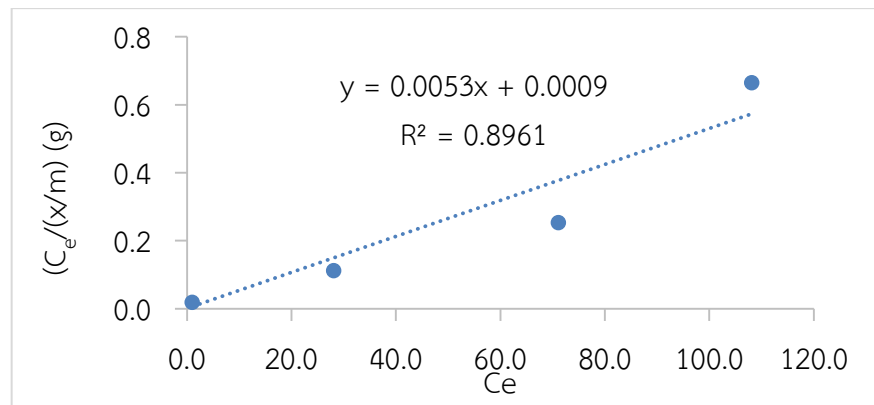


กราฟที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่าง C_e กับ $C_e/(X/m)$ ของไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ ในการดูดซับแคดเมียม(II) ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา

ผลการการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ในการดูดซับแมงกานีส(II) ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานีทดลองดังตารางที่ 14 และกราฟที่ 12

ตารางที่ 14 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ในการดูดซับแมงกานีส(II) ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา

ความเข้มข้น ก่อนดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้น หลังดูดซับ (mg/L)	ปริมาณ ตัวดูดซับ (g)	X ($C_0 - C_e$)	(X/m)	$C_e/(x/m)$
56.30	4.64	0.2000	51.66	258.30	0.0180
78.52	28.15	0.2001	50.37	251.73	0.1118
127.41	71.11	0.2003	56.30	281.07	0.2530
140.74	108.15	0.2003	32.59	162.72	0.6646



กราฟที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่าง C_e กับ $C_e/(X/m)$ ของไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ในการดูดซับแมงกานีส(II) ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา

จากผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี ในการดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ แสดงในตารางที่ 15 พบว่า การศึกษาด้วยไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ ในการดูดซับแคดเมียม(II) ได้สมการเส้นตรงคือ $y = 0.0029x + 0.0002$ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.8723 และมีค่าความจุในการดูดซับ (K_L) เท่ากับ 8.94 ส่วนการศึกษาด้วยไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ ในการดูดซับแมงกานีส(II) ได้สมการเส้นตรงคือ $y = 0.0053x + 0.0009$ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.8961 และมีค่าความจุในการดูดซับ (K_L) เท่ากับ 0.0011

ตารางที่ 15 ค่าคงที่จากสมการไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา ในการดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ

ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ การดูดซับแคดเมียม(II)				
สมการเส้นตรง	R^2	N_m	K_L	R_L
$y = 0.0029x + 0.0002$	0.8723	559.35	8.94	0.0007
ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ การดูดซับแมงกานีส(II)				
สมการเส้นตรง	R^2	N_m	K_L	R_L
$y = 0.0053x + 0.0009$	0.8961	172.41	6.44	0.0011

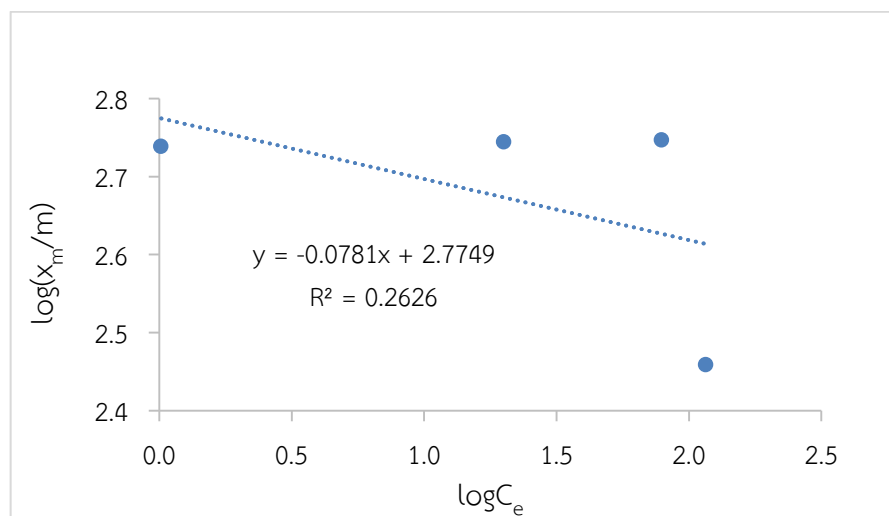
4.7.2 การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรอยลิช (Freundlich Isotherm)

$$\log\left(\frac{X}{m}\right) = \log K_F + \left(\frac{1}{n}\right) \log C_e$$

ทำการพล็อตกราฟโดย แกน x คือ $\log C_e$ และ แกน y คือ $\log X/m$ ได้ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรอยลิชของการดูดซับแคดเมียม(II) ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี ดังตารางที่ 16 และกราฟที่ 13

ตารางที่ 16 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรอยลิชของการดูดซับแคดเมียม(II) ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา

ความเข้มข้น ก่อนดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้น หลังดูดซับ (mg/L)	ปริมาณ ตัวดูดซับ (g)	$\log C_e$	$\log(x/m)$
55.93	1.02	0.1003	0.0069	2.7384
75.51	20.00	0.1001	1.3010	2.7441
134.89	78.96	0.1002	1.8974	2.7468
144.63	115.83	0.1001	2.0638	2.4589

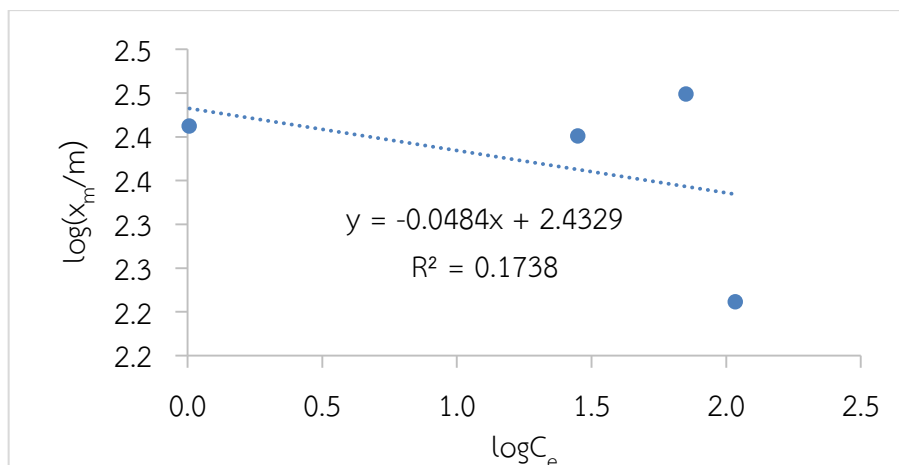


กราฟที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log C_e$ กับ $\log (x_m/m)$ ของไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรอยลิชในการดูดซับแคดเมียม(II) ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา

ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรอยลิชของการดูดซับแมงกานีส(II) ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี ดังตารางที่ 17 และกราฟที่ 14

ตารางที่ 17 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรอยลิชของการดูดซับแมงกานีส(II) ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา

ความเข้มข้น ก่อนดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้น หลังดูดซับ (mg/L)	ปริมาณ ตัวดูดซับ (g)	$\log C_e$	$\log(x/m)$
56.30	4.64	0.2000	0.0069	2.4120
78.52	28.15	0.2001	1.4494	2.4010
127.41	71.11	0.2003	1.8519	2.4490
140.74	108.15	0.2003	2.0340	2.2110



กราฟที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log C_e$ กับ $\log(x_m/m)$ ของไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟลอยลิชในการดูดซับแมงกานีส(II) ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา

จากผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี ในการดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส (II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ แสดงในตารางที่ 18 – 19

ตารางที่ 18 ค่าคงที่จากไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์และไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรอยลิชของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา ในการดูดซับแคดเมียม(II)

ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์				
สมการเส้นตรง	R^2	N_m	K_L	R_L
$y = 0.0029x + 0.0002$	0.8723	559.35	8.94	0.0007
ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรอยลิช				
สมการเส้นตรง	R^2	$1/n$	K_F	
$y = -0.0781x + 2.7749$	0.2626	225.85	595.53	

ตารางที่ 19 ค่าคงที่จากไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์และไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรอยลิชของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา ในการดูดซับแมงกานีส(II)

ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์				
สมการเส้นตรง	R^2	N_m	K_L	R_L
$y = 0.0053x + 0.0009$	0.8961	172.41	6.44	0.0011
ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรอยลิช				
สมการเส้นตรง	R^2	$1/n$	K_F	
$y = -0.0484x + 2.4329$	0.1738	20.66	270.96	

ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี ในการดูดซับแคดเมียม(II) แสดงในตารางที่ 17 พบว่า การศึกษาด้วยไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ ได้สมการเส้นตรงคือ $y = 0.0029x + 0.0002$ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.8723 และมีค่าความจุในการดูดซับ (K_L) เท่ากับ 8.94 ส่วนไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรอยลิชได้สมการเส้นตรง คือ $y = -0.0781x + 2.7749$ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.2626 และมีค่าความจุในการดูดซับ (K_F) เท่ากับ 595.53

ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี ในการดูดซับแมงกานีส(II) แสดงในตารางที่ 18 พบว่า การศึกษาด้วยไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ ได้สมการเส้นตรงคือ $y = 0.0053x + 0.0009$ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.8961 และมีค่าความจุในการดูดซับ (K_L) เท่ากับ 0.0011 ส่วนไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรอยลิชได้สมการเส้นตรง คือ $y = -0.0484x + 2.4329$ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.1738 และมีค่าความจุในการดูดซับ (K_F) เท่ากับ 270.96

จากผลการศึกษา ค่า R^2 ของไอโซเทอร์มการดูดซับทั้งของแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ มีค่า R^2 มากกว่าไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรอยลิชและมีค่าเข้าใกล้ 1 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี จะมีความสอดคล้องกับไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ ซึ่งเป็นกระบวนการดูดซับที่เกิดแบบชั้นเดียว (Monolayer Adsorption)

4.8 การศึกษาอุณหพลศาสตร์ในการดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี

ในการศึกษาอุณหภูมิจากการดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งใช้ตัวดูดซับปริมาณ 0.10 กรัม และ 0.20 กรัม ในการดูดซับแคดเมียม(II)และแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการที่ความเข้มข้น 50.00 mg/L ปริมาตร 25 mL และอุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษาการดูดซับคือ 20, อุณหภูมิห้อง (26), 30, 40 และ 50 °C โดยใช้อ่างน้ำแข็งแล้วใส่น้ำลงไปให้อ่างน้ำแข็งประมาณ 70 % ของความจุของอ่างน้ำแข็งและให้ความร้อนโดยฮอตเพลต (Hot plate) โดยสังเกตอุณหภูมิจากเทอร์โมมิเตอร์ที่จุ่มไว้ ทำการรบกวนระบบ 30 วินาที ที่ 30 นาที โดยดูดซับเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) ทั้งก่อนดูดซับและหลังดูดซับคำนวณตามสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานซึ่งความเข้มข้นก่อนดูดซับคือ 53.25 mg/L และ 51.59 mg/L ส่วนความเข้มข้นหลังดูดซับแสดงดังตาราง 20 – 21

ตารางที่ 20 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับแคดเมียม(II) ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์ จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานีที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (K)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นหลังดูดซับ (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)	S.D
293	0.2000	0.8283	98.48	± 0.03
299	0.1600	0.6450	98.80	± 0.02
303	0.0920	0.3547	99.33	± 0.03
313	0.0690	0.2561	99.51	± 0.04
323	0.0520	0.1825	99.64	± 0.01

ตารางที่ 21 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับแมงกานีส(II) ด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์ จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานีที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (K)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นหลังดูดซับ (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)	S.D
293	0.2000	0.4090	89.24	± 0.082
299	0.1600	0.2550	93.37	± 0.014
303	0.0920	0.1210	96.96	± 0.006
313	0.0690	0.0330	99.32	± 0.005
323	0.0520	0.0140	99.83	± 0.003

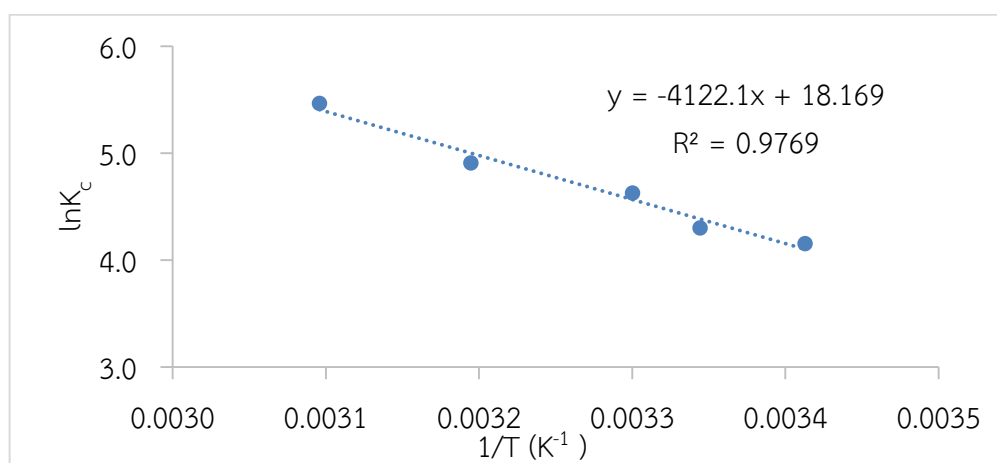
นำผลจากตาราง 20 – 21 มาคำนวณตามสมการของเวนฮอฟ เพื่อหาค่าเอนโทรปี เอนทาลปี และพลังงานอิสระกิบส์ ซึ่งได้ผลการคำนวณได้แสดงในตาราง 22 – 23 และพล็อตกราฟตามสมการเวนฮอฟจะได้สมการเส้นตรง $y = mX + C$ แสดงดังกราฟที่ 15 – 16

สมการของเวนฮอฟ

$$\ln K_L = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{RT}$$

ตารางที่ 22 ค่าตัวแปรที่นำมาพล็อตกราฟตามสมการของเวนฮอฟของการดูดซับแคดเมียม(II)

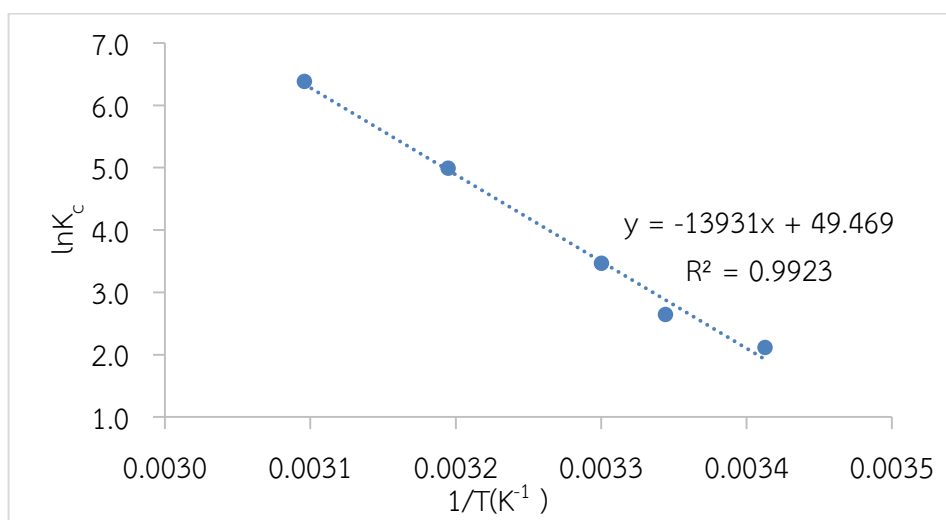
T	1/T	C _e (solution)	C _e (absorbent)	K _c	lnK _c
293	0.0034	0.81	52.44	64.94	4.17
299	0.0033	0.64	52.61	82.09	4.41
303	0.0033	0.36	52.89	147.95	5.00
313	0.0032	0.26	52.99	202.50	5.31
323	0.0031	0.19	53.06	278.04	5.63



กราฟที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่าง 1/T กับ lnK_c ตามสมการของเวนฮอฟของการดูดซับแคดเมียม(II)

ตารางที่ 23 ค่าตัวแปรที่นำมาพล็อตกราฟตามสมการของเวนฮอฟของการดูดซับแมงกานีส(II)

T	1/T	C _e (solution)	C _e (absorbent)	K _c	lnK _c
293	0.0034	5.55	46.04	8.29	2.12
299	0.0033	3.42	48.17	14.08	2.64
303	0.0033	1.57	50.02	31.92	3.46
313	0.0032	0.35	51.24	146.43	4.99
323	0.0031	0.09	51.50	591.06	6.38



กราฟที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่าง 1/T กับ lnK_c ตามสมการของเวนฮอฟของการดูดซับแมงกานีส(II)

การศึกษาลักษณะของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับสารละลายแคดเมียม(II) ของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี พบว่าได้สมการเส้นตรงที่มีความสัมพันธ์ $y = -4122.1x + 18.169$ และ $R^2 = 0.9769$ ซึ่งจากสมการเส้นตรงเมื่อนำมาหาค่า ΔH° (Enthalpy) ในการดูดซับแคดเมียม(II) มีค่าเป็น 39.04 kJ/mol ดังตารางที่ 24 การที่ ΔH° มีค่าเป็นบวกแสดงว่ากระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ส่วน ΔS° (Entropy) มีค่าเท่ากับ 168.43 J/mol K การที่ ΔS° เป็นบวก แสดงว่าโมเลกุลของตัวถูกละลายและตัวดูดซับบริเวณรอยต่อระหว่างตัวถูกละลายบนตัวดูดซับมีความเป็นไม่เป็นระเบียบสูงขึ้น และการที่ ΔG° เป็นลบแสดงว่ากระบวนการดูดซับนี้สามารถเกิดขึ้นได้เอง

ตารางที่ 24 ค่าเอนทาลปี (ΔH) เอนโทรปี (ΔS) และพลังงานอิสระกิบส์ (ΔG) ของการดูดซับแคดเมียม(II)

T (K)	ΔH (kJ/mol)	ΔS (J/mol K)	ΔG (kJ/mol)
293	39.04	168.43	-10.17
299			-10.96
303			-12.59
313			-13.82
323			-15.11

การศึกษาลักษณะของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับสารละลายแมงกานีส(II) ของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี พบว่าได้สมการเส้นตรงที่มีความสัมพันธ์ $y = -13931x + 49.469$ และ $R^2 = 0.9923$ ซึ่งจากสมการเส้นตรงเมื่อนำมาหาค่า ΔH° (Enthalpy) และ ΔS° (Entropy) ในการดูดซับแมงกานีส(II) มีค่าเป็น 34.27 kJ/mol และ 151.06 J/mol K ตามลำดับ ดังตารางที่ 25 การที่ ΔH° มีค่าเป็นบวกแสดงว่ากระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน และ ΔS° เป็นบวก แสดงว่าโมเลกุลของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับบริเวณรอยต่อระหว่างตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับมีความเป็นไม่เป็นระเบียบสูงขึ้น และการที่ ΔG° เป็นลบแสดงว่ากระบวนการดูดซับนี้สามารถเกิดขึ้นได้เอง

ตารางที่ 25 ค่าเอนทาลปี (ΔH) เอนโทรปี (ΔS) และพลังงานอิสระกิบส์ (ΔG) ของการดูดซับแมงกานีส(II)

T (K)	ΔH (kJ/mol)	ΔS (J/mol K)	ΔG (kJ/mol)
293	34.27	151.06	-5.15
299			-6.58
303			-8.72
313			-12.98
323			-17.14

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

1. เมื่อศึกษาองค์ประกอบของดินตะกอนจากน้ำประปา พบว่าธาตุที่มีมากที่สุดคือ Al_2O_3 , SiO_2 และ Fe_2O_3 ซึ่ง Al_2O_3 , SiO_2 เป็นองค์ประกอบหลักของซีโอไลต์ แต่ในดินตะกอนยังมี Fe_2O_3 อาจเกิดจากการตกตะกอนจากการผลิตน้ำประปาซึ่งมี Fe_2O_3 อยู่มาก

2. เมื่อพิสูจน์เอกลักษณ์ของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาพบว่า

- จาก BET ของดินตะกอนมีค่าเฉลี่ยพื้นผิวอยู่ที่ 60.2629 ตารางเมตรต่อกรัม และซีโอไลต์สังเคราะห์มีพื้นที่ผิวอยู่ที่ 140.7389 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งจะเห็นว่าการเพิ่มขึ้นของรูพรุน แต่ขนาดของรูพรุนลดลง

- การศึกษาโครงสร้างด้วยเทคนิค XRD ของดินตะกอนจากน้ำประปาปรากฏพีคของดินตะกอนจากน้ำประปาประกอบด้วยแร่ควอตซ์ มีพีคของ SiO_2 ปรากฏตำแหน่ง 2θ ที่ 25 และยังมีพีคของ Kaolinite ปรากฏตำแหน่ง 2θ ที่ 20 พิจารณาซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ ปรากฏแร่ควอตซ์ที่ประกอบอยู่มี Unnamed Zeolite ปรากฏตำแหน่ง 2θ ที่ 22 และ Zeolite A ปรากฏตำแหน่ง 2θ ที่ 2 ยืนยันจากภาพแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เป็นภาพแบบของเฟสซีโอไลต์แสดงว่ายังมีโครงสร้างเป็นแบบอสัณฐานปนอยู่อธิบายได้ว่าระหว่างกระบวนการให้ความร้อนเพิ่มมากขึ้นการกระจายตัวของรูพรุนมากขึ้นส่งผลต่อพื้นที่ที่พิคจำเพาะดีขึ้น

- เมื่อทำวิเคราะห์ด้วย SEM พบว่าดินตะกอนจากน้ำประปามีผิวหน้าเรียบและมีขนาดกลม เมื่อสังเคราะห์เป็นซีโอไลต์พบว่ามีลักษณะเป็นแผ่น ภาพร่างไม่ชัดเจน มีการกระจายตัวของขนาดรูพรุน มีรูพรุนมากขึ้น

- เมื่อนำมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงของหมู่ฟังก์ชัน โดย FTIR พบว่าซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ได้ปรากฏพีคของซีโอไลต์ขึ้น และพบพีคของ Si-O ในดินตะกอน

3. เมื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) จากสารละลาย ในห้องปฏิบัติการด้วยดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี พบว่า

- ประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียม(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ พบว่าดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานีมีประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียม(II) ได้ 15.65% แต่เมื่อนำดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานี มาสังเคราะห์ให้เป็นซีโอไลต์พบว่ามีประสิทธิภาพในการดูดซับแคดเมียม(II) เพิ่มขึ้นเป็น 99.01% และเมื่อทำการเปรียบเทียบซีโอไลต์ที่สังเคราะห์กับซีโอไลต์ทางการค้าพบว่า ซีโอไลต์ที่สังเคราะห์มีประสิทธิภาพในการดูดซับแคดเมียม(II) ใกล้เคียงกับซีโอไลต์ทางการค้าทั้ง 4 ชนิด

- ประสิทธิภาพการดูดซับแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ พบว่าดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานีมีประสิทธิภาพการดูดซับแมงกานีส(II) ได้ 4.82% และเมื่อนำมาสังเคราะห์เป็นซีโอไลต์พบว่ามีประสิทธิภาพในการดูดซับแมงกานีส(II) เพิ่มขึ้นเป็น 92.67%

แสดงว่าการนำดินตะกอนจากน้ำประปาของจังหวัดอุบลราชธานีมาสังเคราะห์เป็นซีโอไลต์สามารถทำให้ได้ตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับเพิ่มขึ้น

4. พารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสมต่อการดูดซับโลหะหนักของซีโอไลต์สังเคราะห์พบว่าปริมาณที่เหมาะสมของการดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) คือ 4 กรัมต่อลิตร และ 8 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับของโลหะทั้ง 2 ชนิดคือ 30 นาที

5. แบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) บนซีโอไลต์สังเคราะห์สอดคล้องกับแลงเมียร์ไอโซเทอร์ม เป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว

6. การศึกษาแบบจำลองจลนพลศาสตร์ในการดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) ของซีโอไลต์สังเคราะห์สอดคล้องกับอันดับสองเหมือน

7. ศึกษาอุณหพลศาสตร์ในการดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) ของซีโอไลต์สังเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเอนทัลปีมีค่าเป็นบวกแสดงว่าเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน เอนโทรปีเป็นบวก แสดงว่าโมเลกุลของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับบริเวณรอยต่อระหว่างตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับมีความเป็นไม่เป็นระเบียบสูงขึ้น และพลังงานอิสระกิบส์เป็นลบแสดงว่ากระบวนการดูดซับสามารถเกิดขึ้นได้เอง

8. โดยปกติดินตะกอนจากน้ำประปามักจะถูกนำไปถมที่ โดยชุดออกไปให้พ้นจาก sludge lagoon เท่านั้น ดังนั้นการนำดินตะกอนจากน้ำประปามาเตรียมเป็นซีโอไลต์สังเคราะห์นี้ จะเป็นการเพิ่มมูลค่าของดินตะกอนจากน้ำประปา ซึ่งสามารถนำซีโอไลต์สังเคราะห์ที่เตรียมได้ ไปเป็นวัสดุดูดซับที่มีประสิทธิภาพสูงในการดูดซับโลหะหนักที่ปนเปื้อนในสารละลายในระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งจะนำไปสู่การประยุกต์ใช้ในการบำบัดโลหะหนักแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) จากน้ำเสียจริงในชุมชนและในอุตสาหกรรมต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] วรารคณา วิเศษมณี. (2552). “การบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์,” วารสารสิ่งแวดล้อม. ปีที่ 13 (3) : 21-24.
- [2] <https://pradthana.wordpress.com/tag/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%94%E0%B8%B9%E0%B8%94%E0%B8%8B%E0%B8%B1%E0%B8%9A/> (เข้าถึงเมื่อ 30 เม.ย. 2560)
- [3] <http://www.dpim.go.th/service/download?articleid=3247&F=4765> (เข้าถึงเมื่อ 30 เม.ย. 2560)
- [4] สารพิษแคดเมียม [ออนไลน์] [อ้างถึงวันที่ 3 มีนาคม 2560] เข้าถึงได้จาก : <http://www.dld.go.th/niath/Publishing/Newsletter/2548/doc2005.pdf>.
- [5] <http://envocc.ddc.moph.go.th/contents/view/63> (เข้าถึงเมื่อ 30 เม.ย. 2560)
- [6] <http://www.bza.org/zeolite.html> (เข้าถึงเมื่อ 30 เม.ย. 2560)
- [7] <https://pradthana.wordpress.com/2008/04/13/adsorption-process> (เข้าถึงเมื่อ 30 เม.ย. 2560)
- [8] A. Chojnacki, K. Chojnacka, J. Hoffmann and H. Gorecki. **The application of natural zeolites for mercury removal: from laboratory tests to industrial scale**, Minerals Engineering, Vol. 17 (933-937), 2004.
- [9] A. Ansari Mahabadi, M.A. Hajabbasi, H. Khademi and H. Kazemian. **Soil cadmium stabilization using an Iranian natural zeolite**, Geoder, 2006.
- [10] E.A. Ayvso, A.G. Sanchez and X. Querol. **Purification of metal electroplating wastewater using zeolites**, Water Research, Vol. 37(4855-4862), 2003.
- [11] S.K. Pitcher, R.C.T. Slade and N.I. Ward. **Heavy metal removal from motorway storm water using zeolite**, Science Total Environment, Vol. 334-335 (161-166), 2004.
- [12] L. Curkovic, S. Cerjan-Stefanovic, T. Filipan, **Metal ion exchange by natural and modified zeolite**, Water Research, Vol. 31 (1379-1382), 1997.
- [13] E.Siswoyo, Y. Miharaa and S. Tanakaa. **Determination of key components and adsorption capacity of a low cost adsorbent based on sludge of drinking water treatment plant to adsorb cadmium ion in water**, Applied Clay Science, Vol. 97-98 (146-152), 2014.
- [14] C. Belviso, F. Cavalcante, S. D. Gennaro, A. Lettino, A. Palma, P. Ragone and S. Fiore. **Removal of Mn from aqueous solution using fly ash and its hydrothermal synthetic zeolite**, Journal of Environmental Management, Vol. 137 (16-22), 2014.
- [15] B. Nowak, P. Aschenbrenner, and F. Wintera. **Heavy metal removal from sewage sludge ash and municipal solid waste fly ash - A comparison**, Fuel Processing Technology, Vol. 105 (195-201), 2013
- [16] X. Kong, Z. Han, W. Zhang, L. Song and H. Li. **Synthesis of zeolite-supported microscale zero-valent iron for the removal of Cr⁶⁺ and Cd²⁺ from aqueous solution**, Journal of Environmental Management, Vol. 169 (84-90), 2016.

- [17] N. Moreno, X. Querol and C. Ayora. **Utilization of Zeolites Synthesized from Coal Fly Ash for the Purification of Acid Mine Waters**, Environmental science & technology letters, Vol. 35 (3526-3534), 2001
- [18] D. A. Fungaro, M.V.d.S. **Utilization of Water Treatment Plant Sludge and Coal Fly Ash in Brick Manufacturing**, American Journal of Environmental Protection, 2014.
- [19] M. Gougazeh, J.-C.B. **Synthesis and Characterization of Zeolite A by Hydrothermal Transformation of Natural Jordanian Kaolin**. Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences, Vol. 15(35-42), 2013.
- [20] V. P. Mallapur, J.U.K.O., Satish S. Lature, **Synthesis of Zeolite from Inorganic Wastes**, 2013.
- [21] การสังเคราะห์ซีโอไลต์ <http://wk.ixueshu.com/file/0afb89f9d887d33b.html> (เข้าถึงเมื่อ 30 เม.ย. 2560)

ประวัตินักวิจัย

ผู้วิจัย (หัวหน้าโครงการ) : นางสาวมาลี ประจวบสุข
การศึกษา : 2539 วท.บ. (เคมี) มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 : 2551 วท.ม. (เคมี) มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
 “Characterizations of transition metals doped SnO₂ nanoparticle prepared by autocombustion technique”
การทำงาน : 2540-ปัจจุบัน ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
 85 ถ.สถลมารค ต.เมืองศรีไค อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190
 โทรศัพท์ +66-45353400-3 ext 4129

LIST OF PUBLICATIONS

Proceeding/Journal

1. Issaraporn Saenglam, Uthai Donkwang, Warangkana Kittiwongwisan, Pornpan Pungpo, Saisamon LamLong, Daungdao Sattayakul, Pharit Kamsri, Khemmakorn Gomonsirisuk, Patthamawadee Thongsri, Darunee Sukchit, Parjaree Thavorniti and **Malee Prajuabsuk**, Utilization of zeolites synthesized from water sludge for study of manganese treatment in wastewater, Pure and Applied Chemistry International Conference (PACCON 2019), 2019, PH116-120.

2. Malinee Rangkatkij, Supawan Pimdee, Saisamorn LumLong, **Malee Prajuabsuk**, Duangdao Sattayakul, Jitlada Dechativong, Pisichanan Srisuwan, Patthamawadee Thongsri, Pajaree Thavorniti, Khemmakorn Gomonsirisuk and Pornpan Pungpo, Removal of Anionic Dyes from Aqueous Solution using Surfactant Modification of Ranong White Clay as Highly Potential Adsorbent, Pure and Applied Chemistry International Conference (PACCON 2019), 2019, 95-99.

3. Nittaya Phankon, Darunee Sukchit, Petcharee Kamphu, Bongkochawan Pakamwong, Paptawan Thongdee, Chayanin Hanwarinroj, **Malee Prajuabsuk**, Saisamorn LumLong, Somjintana Taweewanich, Pharit Kamsri, Warayuth Sajomsang and Pornpan Pungpo, Synthesis of Zero valent iron nanoparticles and the study of Congo red dye Adsorption efficiency: Equilibrium and Kinetic studies, Pure and Applied Chemistry International Conference (PACCON 2019), 2019, 89-94.

4. Warangkana Kittiwongwisan, Kotchakorn Yotyiamkrae, Uthai Donkwang, **Malee Prajuabsuk**, Saisamorn LumLong, Duangdao Sattayakul, Jitlada Deshativong, Pisichanun Srisuwan, Pharit Kamsri, Auradee Punkvang, Pajaree Thavorniti, Khemmakorn Gomonsirisuk and Pornpan Pungpo, The equilibrium study of methylene blue from aqueous solution using zeolite synthesized as highly potential adsorbent from water sludge, Pure and Applied Chemistry International Conference (PACCON2018) Proceedings, February, 2018, Hat Yai, Songkhla, Thailand, 271-275.

5. Issaraporn Saenglam, Uthai Donkwang, Kotchakorn Yotyiamkrae, Warangkana Kittiwongwisan, Bongkochawan Pakamwong, Nittaya Phankon, Orawan Simpan, Malinee Rangkatkij, Suphawan Pimdee, Thimpika Promprom, **Malee Prajuabsuk**, Saisamon LamLong, Janpen Intaraprasert, Daungdao Sattayakul, Pharit Kamsri, Khemmakorn Gomonsirisuk, Parjaree Thavorniti and Pornpan Pungpo, Utilization of zeolites synthesized from water sludge for heavy metal treatment in wastewater, Pure and Applied Chemistry International Conference (PACCON2018) Proceedings, February, 2018, Hat Yai, Songkhla, Thailand, 266-270.

บทความสำหรับการเผยแพร่

การนำเสนอผลงานทางวิชาการ

ผลงานการนำเสนองานวิจัยนี้ในภาพแบบโปสเตอร์ในงาน (ก) The 43rd Congress on Science and Technology of Thailand (STT 43) และ(ข) Pure and Applied Chemistry International Conference (PACCON)

(ก) The 43rd Congress on Science and Technology of Thailand (STT 43)

Issaraporn Seanglam, Uthai Donkwang, Kotchakorn Yotyiamkrae, Warangkana Kittiwongwisan, Bonchochawan Pakamwong, Nittaya Phankon, Chayanin Hanwarinroj, Malee Prajuabsuk, Saisamon LamLong, Daungdao Sattayakul, Pharit Kamsri, Parjaree Thavorniti, Pornpan Pungpo
Utilization of zeolites synthesized from water sludge for heavy metal treatment in wastewater. The 43rd Congress on Science and Technology of Thailand (STT 43). 10, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 17-19 October, 2017

Abstract:

Nowadays, heavy metal contamination in the soil, surface water and groundwater is one of the major environmental problems due to their non-biodegradability and toxicity. Thus, how to solve efficiently the heavy metal pollution in groundwater has become the most essential issue around the world. Commercialized adsorbents such as activated carbon are effective in removing heavy metals but remain costly. In this study, the synthetic zeolite water sludge was used as raw material to synthesize zeolite using alkali fusion method. The removal of Cd (II) ion from aqueous solutions using the zeolite synthesized was investigated under static conditions. The zeolite had higher surface area compared to water sludge. The structural characterization of the zeolite was performed using XRD and the surface morphology of the activated sludge was studied using scanning electron microscope studies and the functional groups were characterized using Fourier transform infrared spectroscopic method. The suitable conditions for removal of Cd (II) ion from solutions were investigated using batch method. The parameters including adsorption equilibrium and adsorption kinetics were studied. The adsorption isotherms for the adsorption of the metal ion were defined by Langmuir relation. The adsorption kinetics for Cd (II) ion followed pseudo-second order model. Therefore, we presented a highly potential adsorbent using synthetic zeolite from water sludge as a highly efficient adsorbent with economic for the removal of Cd (II) ions from aqueous solution.

(๗) Pure and Applied Chemistry International Conference (PACCON)

Issaraporn Saenglam, Uthai Donkwang, Kotchakorn Yotiamkrae, Warangkana Kittiwongwisan, Bongkotchawan Pakamwong, Nittaya Phankon, Orawan Simpan, Malinee Rangkatkij, Suphawan Pimdee, Thimpika Promprom, Malee Prajuabsuk, Saisamon LamLong, Janpen Intaraprasert, Daungdao Sattayakul, Pharit Kamsri, Parjaree Thavorniti, Pornpan Pungpo

Utilization of zeolites synthesized from water sludge for heavy metal treatment in wastewater.

The 18th Pure and Applied Chemistry International Conference (PACCON 2018). The 60th Anniversary of His Majesty the King's Accession to The Throne International Convention Center, Hat Yai, Songkhla, Thailand, 7-9 February, 2018, 266-270.

Abstract:

Metal contamination is a major problem in industrial wastewater. Because it non-biodegradability and toxic. The adsorbent popularly used for heavy metal adsorption of wastewater is activated carbon because of its high surface area, resulting in high efficiency in wastewater treatment. But activated charcoal is relatively expensive, so the synthetic zeolites have been considered as heavy metal adsorbent. This work, water sludge was used as raw material to synthesize zeolite using alkali fusion method. The structural characterization of the zeolite was performed using XRD, SEM and FTIR. The adsorption efficiency to removal Cd(II) with different adsorption parameters were investigated. The optimum parameters for adsorbent of the removal of Cd(II) ions at 50 mg/L initial Cd(II) ions in aqueous solution concentration were elucidated. The optimum dosage of adsorbent is 4 g/L and optimum adsorption time is 30 minutes with 98 % of Cd (II) ions in aqueous solution. The adsorption isotherm and adsorption kinetic are corresponded well to Langmuir adsorption and pseudo second order kinetic model, respectively. Based on the obtained results, the synthesized zeolite is a highly efficient adsorbent for the removal of Cd(II) ions in aqueous solution.

Utilization of zeolites synthesized from water sludge for heavy metal treatment in wastewater

Issaraporn Saenglam¹, Uthai Donkwang¹, Kotchakorn Yotiyamkras¹, Warangkana Kittiwongwan¹, Bongkotchawan Pakamwong¹, Nittaya Phankon¹, Orawan Simpan¹, Malinee Rangkatkij¹, Suphawan Pimdee¹, Thimpika Promprom¹, Malee Prajuabsuk¹, Saisamon Lamlong¹, Janpen Intaraprasert¹, Daungdao Sattayakul¹, Pharit Kamsri², Parjaree Thavorniti³, Pornpan Pungpo^{1*}



¹Department of Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani, 34190, Thailand

²Division of Chemistry, Faculty of Science, Nakhon Phanom University, Nakhon Phanom, 48000, Thailand

³National Metal and Materials Technology Center (MTEC), NSTDA, 111 Thailand Science Park, Klong Luang, Pathum Thani, Thailand

*e-mail: pornpan_uhu@yahoo.com



Introduction

Metal contamination is a major problem in industrial wastewater. Because it non-biodegradability and toxic. The adsorbent popularly used for heavy metal adsorption of wastewater is activated carbon because of its high surface area, resulting in high efficiency in wastewater treatment. But activated charcoal is relatively expensive, so the synthetic zeolites have been considered as heavy metal adsorbent. This work, synthetic zeolite from water sludge for the removal of Cd (II) ions in aqueous solution. Therefore, the synthesized zeolite is a highly efficient adsorbent for the removal of Cd (II) ions in aqueous solution.

Experimental

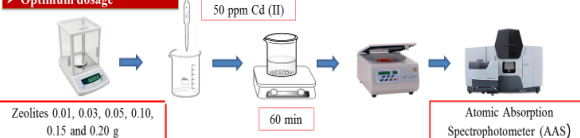
The synthesized zeolite is adsorbent for the removal of Cd (II) ions in aqueous solution. Zeolite is a Cd (II) adsorbent in aqueous solutions. Study the appropriate parameters and adsorption isotherm. The calibration curve of cadmium solution was used as a comparator in the analysis. The adsorption percentage of Cd (II) adsorbed on synthetic zeolite was calculated from the equation.

$$\% \text{ adsorption} = \frac{[A_0] - [A_t]}{[A_0]} \times 100\% \quad (1)$$

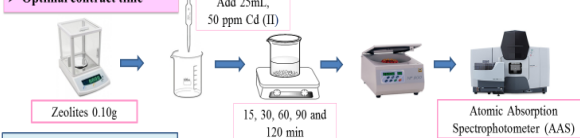
Where $[A_0]$ and $[A_t]$ are the initial and final concentrations of Cd (II) solution.

1. Efficiency adsorption

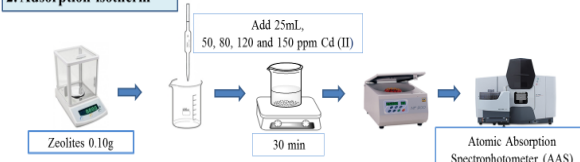
> Optimum dosage



> Optimal contract time



2. Adsorption isotherm



2. Adsorption isotherm

The adsorption isotherm is the relationship between the amount of substance adsorbed at the surface and the pressure of the gas, or the concentration of the solution at constant temperature. The adsorption isotherms are as follows.

2.1. Freundlich isotherm

The Freundlich isotherm describing equilibrium on heterogeneous system is described by the following equation

$$q_e = k_f C_e^{1/n} \quad (2)$$

The logarithmic form of the equation becomes

$$\log(q_e) = \log(k_f) + (1/n) \log(C_e) \quad (3)$$

Where k_f and n are Freundlich constants were calculated from the slope and intercept of the Freundlich plot.

2.2. Langmuir isotherm

The Langmuir isotherm is assumed that the adsorbent molecules adsorbed on the surface of the adsorbent and adsorbed on a single layer by the following equation.

$$C_e/q_e = 1/q_m b + C_e/q_m \quad (4)$$

Where C_e is the equilibrium concentration (mg/L), q_e the amount adsorbed at equilibrium (mg/g), q_m the maximum amount adsorbed (mg/g) and b is the energy of adsorption (Langmuir constant, L/mg). The values of q_m and b were calculated from the slope and intercept of the linear plot C_e/q_e versus C_e .

The adsorption isotherm of cadmium solution with 0.10 g of zeolite showed that when the concentration of cadmium solution was increased to 50.00, 80.00, 120.00 and 150.00 mg / L, in 25.00 mL at 30.00 minutes. The adsorption efficiency was decreased in sequence. Freundlich and Langmuir isotherms are summarized in Table 1. Therefore, the experimental data into Langmuir isotherm model indicate the formation of monolayer coverage of Cd (II) molecules at the surface of zeolite.

Table 1. Freundlich and Langmuir constants for the adsorption of Cd (II) onto zeolite.

Freundlich parameter				
Linear equation	R ²	1/n	K _f	-
y = -0.0781x + 2.7749	0.2626	225.85	1.83	-
Langmuir parameter				
Linear equation	R ²	q _m	b	R _L
y = 0.0029x + 0.0002	0.8723	559.35	8.94	0.0007

Results & Discussion

1. Efficiency adsorption

> Optimum dosage

Study of optimum dosage zeolite in for adsorption of cadmium solution. The amount of sorbent was increased to 0.01, 0.03, 0.05, 0.10, 0.15 and 0.20 g in the adsorption of cadmium solution at 50.00 mg / L in 25.00 mL at 60.00 minutes. As a result, the adsorption efficiency increased. The appropriate amount of adsorbent was 0.10 g and the adsorption efficiency was as high as 98.63% as shown in Fig 1.

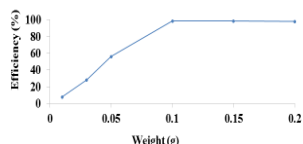


Fig 1. Efficiency adsorption of the optimal dosage at 50 ppm of Cd (II).

> Optimal contract time

Optimal contract time for Cd (II) adsorption on zeolite. Dosage of zeolite 0.10 g It was found that the increase in time of 15.00, 30.00, 60.00, 90.00 and 120.00 minutes in the adsorption of Cd (II) solution at 50.00 mg / L in 25.00 mL resulted in increased adsorption efficiency. The adsorption time was 30.00 minutes and the adsorption efficiency was 98.38%, as shown in Fig 2.

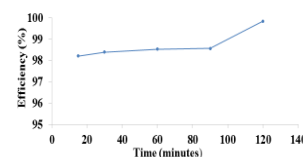


Fig 2. Efficiency adsorption of the optimal contact time at 50 ppm of Cd (II).

3. Adsorption kinetic

Two type of kinetic models including pseudo-first-order and pseudo-second-order kinetic models were selected to elucidate the adsorption mechanism of Cd (II) onto the zeolite. The rate constant of adsorption is determined from the pseudo-first-order equation given by Lagergren and Svenska

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (5)$$

Where q_e and q_t are the amount of Cd (II) ions in aqueous solution adsorbed (mg g⁻¹) at equilibrium and at time t (min), respectively, and k_1 is rate constant of adsorption.

A pseudo second-order equation based on equilibrium adsorption is expressed as :

$$t/q_t = 1/k_2 q_e^2 + (1/q_e) \quad (6)$$

Where k_2 is the rate constant of second-order adsorption.

The kinetic constant parameters and linear correlation coefficients (R²) of pseudo-first and pseudo-second-order kinetic model of Cd (II) were concluded in Table 2. Based on the R² of kinetic model fitting of cationic heavy metal on zeolite surface, the adsorption data of Cd (II) were fitted well to the pseudo-second-order kinetic model due to high correlation parameters. Moreover, the q_e values obtained from kinetic model is closely to q_e value from the experimental adsorption. Based on the results indicated that heavy metal interacted with surface of zeolite are rate determining step.

Table 2. Kinetic constants for the adsorption of heavy metal onto zeolite.

pseudo-first-order				
Linear equation	R ²	q _{e(cal)} (mg/g)	q _{e(expt)} (mg/g)	k ₁
y = -0.0067x + 5.5693	0.9810	13.93	13.70	5.5693
pseudo second-order				
Linear equation	R ²	q _{e(cal)} (mg/g)	q _{e(expt)} (mg/g)	k ₂
y = 7.10 ⁻⁵ x + 4.10 ⁻⁵	0.9995	13.93	13.79	131.46

Conclusion

The present study, synthetic zeolite from water sludge was used to investigate the adsorption efficiency of cationic heavy metal (Cd (II)) from aqueous solution. Zeolite has been demonstrated as excellent adsorbent for the removal of the cationic heavy metal (Cd (II)). The best-fit adsorption isotherm was achieved with Langmuir model for zeolite. Kinetic adsorption model was corresponded well to pseudo-second order model. Based on the obtained results, the synthesized zeolite is a highly efficient adsorbent for the removal of Cd (II) ions in aqueous solution.

Acknowledgements

The Young Scientist and Technologist Program (YSTP) (SCA-CO-2560-4663-TH) National Metal and Materials Technology Center (MTEC) and Faculty of Science, Ubon Ratchathani University are gratefully acknowledged for supporting this research.

(๓) Pure and Applied Chemistry International Conference (PACCON)

Issaraporn Saenglam, Uthai Donkwang, Warangkana Kittiwongwisan, Pornpan Pungpo, Saisamon LamLong, Daungdao Sattayakul, Pharit Kamsri, Khemmakorn Gomonsirisuk, Patthamawadee Thongsri, Darunee Sukchit, Parjaree Thavorniti and **Malee Prajuabsuk**,

Utilization of zeolites synthesized from water sludge for study of manganese treatment in wastewater,

The 19th Pure and Applied Chemistry International Conference (PACCON 2019), BITEC, Bangkok, Thailand, 7-8 February 2019, PH116-120.

Abstract:

Due to economic growth technology development industrial expansion, the waste is released into the environment beyond the limit. As a result, environmental problems are severe and difficult to resolve. One of the effects is heavy metal contamination in water, adsorption is one effective method to fix the problem. Manganese is widely used in the industry, resulting in the discharge of waste into the river, resulting in manganese contamination. The aim of this work is to synthesize zeolite as low-cost adsorbent from water sludge for Mn(II) adsorption from aqueous solutions. Because the major components in water sludge were found Al_2O_3 , SiO_2 and Fe_2O_3 by XRF. The optimum parameters of adsorbent of the removal of Mn(II) ions are at 50 mg/L of initial Mn(II) concentration in aqueous solution were elucidated. Amount of zeolite used in the Mn(II) adsorption from 0.4 to 16.0 g/L to find the optimum dosage of adsorbent. Adsorption times were studied from 15 to 120 minutes. The optimum dosage of adsorbent is 8.0 g/L and optimum adsorption time is 30 minutes with 86 % adsorption efficiency. The adsorption isotherm and adsorption kinetic of Mn(II) ions are corresponded well to Langmuir adsorption and pseudo second order kinetic model, respectively. Moreover, thermodynamic properties of the adsorption for Mn(II) ions, entropy (ΔS°), enthalpy (ΔH°) and Gibb's free energy (ΔG°) were determined to be 151.06 J/mol K, 34.27 kJ/mol and -6.58 (299K) kJ/mol, respectively. The obtained results of thermodynamics parameters suggested that this adsorption process an endothermic and spontaneous physisorption process driven by entropy. Based on the obtained results, the synthesized zeolite from water sludge are a highly efficient and low-cost adsorbent for the removal of Mn(II) ions in aqueous solution.

Utilization of zeolites synthesized from water sludge for study of manganese treatment in wastewater

Saenglam, P.¹; Donkwan, U.¹; Kittiwongwan, W.¹; Pungpo, P.¹; Lamlong, S.¹; Sattayakul, D.¹; Kamsri, P.²; Gomonsiruk, K.²; Thavorniti, P.³ and Prajujsuk, M.^{1*}



YSTP
Young Scientist and Technologist Program

MTEC
National Metal and Materials Technology Center

NSTDA
National Science and Technology Development Agency

¹Department of Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani, Thailand

²Faculty of Science, Nakhon Phanom University, Nakhon Phanom, Thailand

³National Metal and Materials Technology Center (MTEC), NSTDA, 111 Thailand Science Park, Klong Luang, Pathum Thani, Thailand

*E-mail: malce_p@hotmail.com



Introduction

Manganese is quite abundant metal in the earth crust and its presence in groundwater from leaching processes varies widely depending on rock types. Thus, it has been reported that the groundwater used as drinking water supply upwelled from the Etna volcano aquifer exceeds the maximum contaminant level more than 30 times. Also, manganese has a variety of applications such as in metallurgical processes, manufacture mining, ceramics, dry cell batteries, pigments and paints, which all can be the underground pollution sources. Therefore, this research the synthesized zeolite from water sludge are a highly efficient and low-cost adsorbent for the removal of Mn (II) ions in aqueous solution.

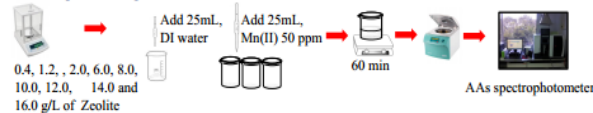
Materials and Methods

Synthesis zeolite

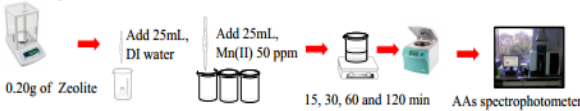
The synthetic zeolite was prepared from water sludge using hydrothermal transformation. Briefly, zeolite synthesis process was carried by water sludge mixed with sodium hydroxide in ratio 1 : 2 w/w and burn out at 600 °C for 6 h. Water were added into mixture with ratio of 1 : 4 w/v and shaken for 24 h. Then, the mixture were heated at 80°C by water bath for 3 h. The mixture were then washed with distilled water and dried.

Metal removals

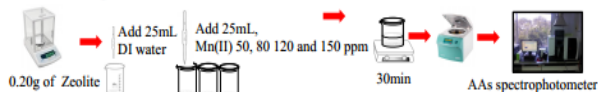
Optimal dosage



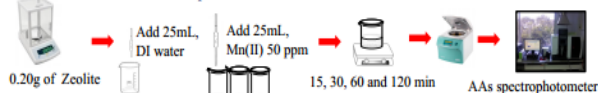
Optimal contract time



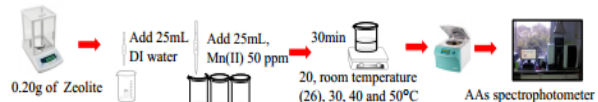
Adsorption isotherms



The kinetic for adsorption



Thermodynamic for adsorption

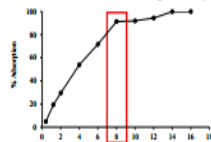


Results

Optimal dosage

The adsorption percentage of Mn (II) adsorbed on synthetic zeolite at time (t) was calculated as:

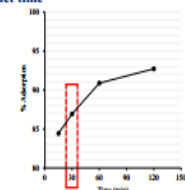
$$\% \text{ Adsorption} = \frac{[A_0] - [A_t]}{[A_0]} \times 100\% \quad (1)$$



The results show that synthetic zeolite was successfully used to adsorb Mn (II) with higher adsorption efficiency than 91.35%. the optimal adsorbent dosage for adsorption Mn (II) at 50 mg/L is 8 g/L.

Figure 1. Effect of adsorbent dosage on adsorption efficiency of Mn (II) ions in aqueous solution using zeolite.

Optimal contract time



zeolite is an efficient adsorbent to adsorb Mn (II) ions in aqueous solution and the optimal time for Mn (II) adsorption is 30 minutes with 86 % adsorption efficiency.

Figure 2. Effect of contact time on adsorption efficiency of Mn (II) ions in aqueous solution using zeolite.

Adsorption isotherms

Freundlich and Langmuir adsorption isotherms were analyze the adsorption data at equilibrium process. The Freundlich adsorption isotherm model considers a heterogeneous adsorption surface that has unequal available sites with different energies of adsorption. The Freundlich adsorption isotherm model is represented as follows :

$$q_e = k_f C_e^{1/n} \quad (2)$$

The logarithmic form of the equation becomes

$$\log(q_e) = \log(k_f) + (1/n)\log(C_e) \quad (3)$$

Where k_f and n are Freundlich constants were calculated from the slope and intercept of the Freundlich plot.

The Langmuir adsorption isotherm model assumed that adsorption takes place at specific homogeneous sites within the adsorbent, and it has been used successfully for many adsorption processes of monolayer adsorption. The Langmuir equation is expressed by the following relation :

$$C_e/q_e = 1/q_m + C_e/q_m \quad (4)$$

Where q_e is the amount of Mn (II) adsorbed at equilibrium time (mg/g), C_e is the equilibrium concentration of Mn (II) in solution (mg/L), q_m is the maximum adsorption capacity (mg/g) and b were calculated from the slope and intercept of the linear plot C_e/q_e versus C_e .

The results showed that the adsorption of cationic Mn (II) in to zeolite corresponds well to the Langmuir adsorption isotherm for Mn (II) ions in aqueous solution. So, the information of Langmuir isotherm model indicate the formation of monolayer coverage of Mn (II) molecules at the surface of zeolite.

Table 1. Freundlich and Langmuir constants for the adsorption of Mn (II) onto zeolite.

Freundlich parameter				
Linear equation	R ²	1/n	K _f	-
y = -0.0484x + 2.4329	0.1738	20.66	270.96	-
Langmuir parameter				
Linear equation	R ²	q _m	b	R _L
y = 0.0029x + 0.0002	0.8961	172.41	6.44	0.0011

The adsorption of cationic Mn (II) in to zeolite corresponds well to the Langmuir adsorption isotherm for Mn (II) ions in aqueous solution. So, the information of Langmuir isotherm model indicate the formation of monolayer coverage of Mn (II) molecules at the surface of zeolite.

The kinetic for adsorption

The rate constant of adsorption is determined from the pseudo-first-order equation given by Lagergren and Svenska :

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (5)$$

Where q_e and q_t are the amount of Mn (II) ions in aqueous solution adsorbed (mg/g) at equilibrium and at time t (min), respectively, and k_1 is rate constant of adsorption.

A pseudo second-order equation based on equilibrium adsorption is expressed as :

$$t/q_t = 1/k_2 q_e^2 + (1/q_e) t \quad (6)$$

Where k_2 is the rate constant of second-order adsorption.

Table 2. Kinetic constants for the adsorption of heavy metal onto zeolite.

pseudo-first-order				
Linear equation	R ²	q _{e(expt)} (mg/g)	q _{e(cal)} (mg/g)	k ₁
y = -0.0341x + 6.9398	0.9896	6.47	6.06	0.0341
pseudo second-order				
Linear equation	R ²	q _{e(expt)} (mg/g)	q _{e(cal)} (mg/g)	k ₂
y = 7x10 ⁻⁴ x + 4x10 ⁻⁵	0.9995	6.47	6.34	1.33x10 ⁻⁴

Based on the R² of kinetic model fitting of cationic heavy metal on zeolite surface, the adsorption data of Mn (II) were fitted well to the pseudo-second-order kinetic model due to high correlation parameters. Moreover, the q_e values obtained from kinetic model is closely to q_e value from the experimental adsorption. The results indicated that heavy metal interacted with surface of zeolite are rate determining step.

Thermodynamic for adsorption

Thermodynamic parameters such as Gibb's free energy (ΔG°), enthalpy change (ΔH°) and change in entropy (ΔS°) for the adsorption of Mn (II) on pine cone biomass have been determined by using the following equations :

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ \quad (7)$$

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_c \quad (8)$$

ΔH° and ΔS° are estimated from the slope and intercept of the Van't Hoff plot of $1/T$ with $\log K_c$.

$$\ln K_c = \Delta H^\circ/RT - \Delta S^\circ/R \quad (9)$$

Table 3 Thermodynamic parameters for the adsorption of Mn (II)

T (K)	ΔH° (kJ/mol)	ΔS° (J/mol K)	ΔG° (kJ/mol)
293	34.27	151.06	-5.15
299			-6.58
303			-8.72
313			-12.98
323			-17.14

➤ Positive value of ΔH° indicates that the adsorption process is endothermic in nature.

➤ The negative values of ΔG° indicate the spontaneous nature of adsorption.

➤ ΔS° is positive value showed the adsorbent seam area and the adsorbate was high disorganized

Conclusion

An effective adsorbent is developed from water sludge used successfully and low-cost adsorbent for the removal of Mn (II) from the aqueous solution. Adsorption isotherm was achieved with Langmuir model for zeolite. Kinetic adsorption model was corresponded well to pseudo-second order model. In addition, thermodynamic properties of the adsorption for Mn (II) ions, entropy (ΔS°), enthalpy (ΔH°) and Gibb's free energy (ΔG°) were determined to be 151.06 J/mol K, 34.27 kJ/mol and -6.58 (299K) kJ/mol, respectively.

Acknowledgments

1. National Research Council of Thailand (NRCT)
2. The Center of Excellence for Innovation in Chemistry (PERCH-CIC)
3. The Young Scientist and Technologist Program (YSTP) (SCA-CO-2560-4663-TH)
4. National Metal and Materials Technology Center (MTEC)
5. Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำผลจากโครงการไปใช้ประโยชน์

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้เพิ่มมูลค่าของดินตะกอนจากน้ำประปาโดยพัฒนาเป็นวัสดุดูดซับที่มีประสิทธิภาพสูงในการดูดซับโลหะหนักที่ปนเปื้อนในสารละลายในระดับห้องปฏิบัติการซึ่งจะนำไปสู่การประยุกต์ใช้ในการบำบัดโลหะหนักแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) จากน้ำเสียจริงในชุมชนและในอุตสาหกรรมต่อไป

2. ทราบประสิทธิภาพและพารามิเตอร์ต่างๆที่เหมาะสมในการดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II)

ด้วยวัสดุดูดซับ

3. ทราบไอโซเทอร์มการดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) ด้วยวัสดุดูดซับ

4. ทราบจลนพลศาสตร์การดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) ด้วยวัสดุดูดซับ

5. เพื่อศึกษาอุณหภูมิพลศาสตร์การดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ

การนำไปใช้ประโยชน์ในด้านสังคมและชุมชน

สำนักงานประปาส่วนภูมิภาคและหน่วยงานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับของเสียจากดินตะกอนและแหล่งเกิดน้ำเสียจากโลหะหนักที่ปนเปื้อนในสารละลาย สามารถนำองค์ความรู้มาใช้เป็นข้อมูลในการกำจัดของเสียจากดินตะกอนและแหล่งกำเนิดน้ำเสียที่จะเกิดขึ้น และนำซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ได้ไปบำบัดน้ำเสียเพื่อช่วยลดความเป็นพิษ จากโลหะหนักที่ปนเปื้อนในสารละลาย

แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีและผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

1. นำเสนอวิธีการสังเคราะห์ซีโอไลต์ที่เหมาะสมกับหน่วยงานและกลุ่มผู้วิจัยที่เกี่ยวข้อง

2. นำเสนอพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักทั้ง 2 ชนิด ทั้งแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II)

จากซีโอไลต์สังเคราะห์ที่กับหน่วยงานและกลุ่มผู้วิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อการนำไปใช้ประโยชน์จริง

3. นำผลการวิจัยที่ได้แสดงหรือบรรยายในที่ประชุมวิชาการที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศ

4. ผลการวิจัยที่ได้สามารถนำไปตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิชาการทั้งในและต่างประเทศ

**ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้
กิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ**

ผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้ตลอดระยะเวลาโครงการ

ชื่อผลลัพธ์	ประเภท	ปริมาณ	รายละเอียด
ต้นแบบซีโอไลต์ที่ผลิตจากดินตะกอนที่มีประสิทธิภาพสูงในการดูดซับโลหะหนักที่ปนเปื้อนในสารละลาย	เชิงปริมาณ	1	ได้เพิ่มมูลค่าของดินตะกอนจากน้ำประปา โดยพัฒนาเป็นวัสดุดูดซับ (ซีโอไลต์) ที่มีประสิทธิภาพสูงในการดูดซับโลหะหนักที่ปนเปื้อนในสารละลายในระดับห้องปฏิบัติการซึ่งจะนำไปสู่การประยุกต์ใช้ในการบำบัดโลหะหนักแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) จากน้ำเสียจริงในชุมชนและในอุตสาหกรรมต่อไป
จลนพลศาสตร์การดูดซับแคดเมียม (II) และแมงกานีส (II) ด้วยวัสดุดูดซับเพื่อศึกษาอุณหพลศาสตร์การดูดซับแคดเมียม (II) และแมงกานีส (II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ	เชิงคุณภาพ		ทราบจลนพลศาสตร์การดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) ด้วยวัสดุดูดซับเพื่อศึกษาอุณหพลศาสตร์การดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) จากสารละลายห้องปฏิบัติการ
ประสิทธิภาพและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เหมาะสมในการดูดซับแคดเมียม (II) และแมงกานีส (II) ด้วยวัสดุดูดซับ	เชิงคุณภาพ		ทราบประสิทธิภาพและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เหมาะสมในการดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) ด้วยวัสดุดูดซับ
ไอโซเทอร์มการดูดซับแคดเมียม (II) และแมงกานีส (II) ด้วยวัสดุดูดซับ	เชิงคุณภาพ		ทราบไอโซเทอร์มการดูดซับแคดเมียม(II) และแมงกานีส(II) ด้วยวัสดุดูดซับ
ผลงานตีพิมพ์ - ในวารสารต่างประเทศ/ระดับประเทศ - เอกสารประกอบการประชุม/สัมมนา ระดับชาติและนานาชาติ	เชิงปริมาณ	1 ชิ้น 2 ชิ้น	- นำเสนอในรูปแบบโปสเตอร์ ในการประชุมวิชาการระดับชาติ (วทท.43) - นำเสนอในรูปแบบโปสเตอร์ และ proceeding ในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ 2 เรื่อง (PACCON 2018 และ PACCON 2019)

รายงานการเงิน

งบประมาณตลอดโครงการ	205,700 บาท
รายละเอียดงบประมาณที่ได้ทำการเบิกจ่าย	
- ค่าจ้างเหมาผู้ช่วยนักวิจัย (7 เดือน เดือนละ 7,500 บาท)	52,500 บาท
- ค่าวัสดุสำนักงาน	6,220 บาท
- ค่าสารเคมีและวัสดุวิทยาศาสตร์	51,706 บาท
- ค่าถ่ายเอกสาร	5,000 บาท
- ค่าวิเคราะห์ตัวอย่าง	14,000 บาท
- ค่าสารเคมีและวัสดุวิทยาศาสตร์	32,249 บาท
- ค่าวิเคราะห์ตัวอย่าง	8,600 บาท
รวม	170,275 บาท
- ค่าสาธารณูปโภคสำหรับมหาวิทยาลัย ร้อยละ 10	18,700 บาท
รวม	188,975 บาท

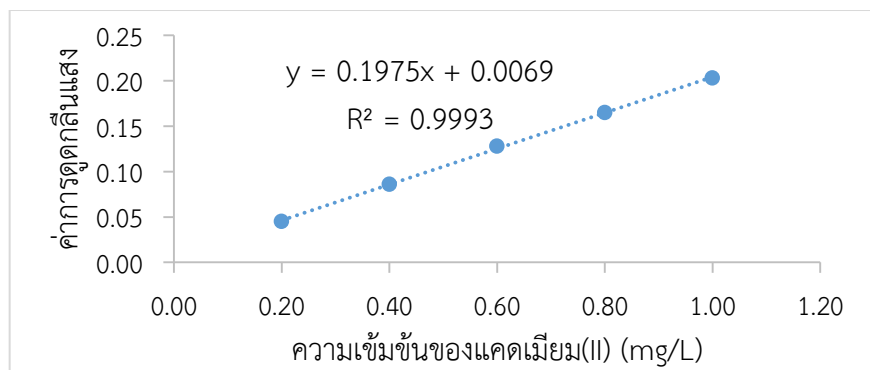
ภาคผนวก

ก. ค่าการดูดกลืนแสงและกราฟมาตรฐาน
ของสารละลายแคดเมียม(II) และสารละลายแมงกานีส(II) จากสารละลายในห้องปฏิบัติการ

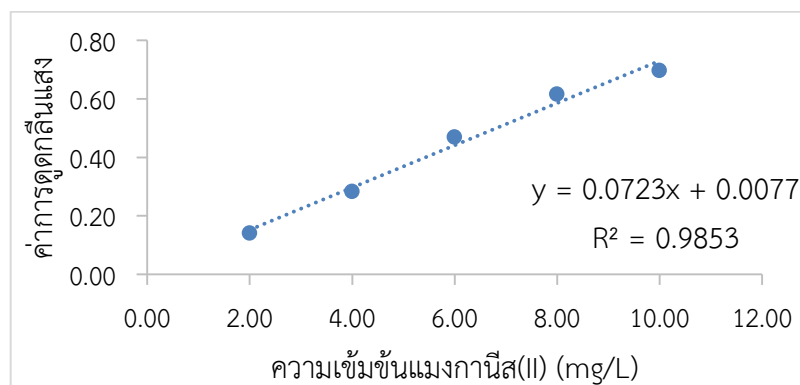
เตรียมสารละลายมาตรฐานแคดเมียม(II) เข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 mg/L และสารละลายมาตรฐานแมงกานีส(II) เข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 mg/L โดยใช้ 1%HNO₃ เป็นตัวทำละลาย จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคดเมียม(II) กับค่าการดูดกลืนแสง ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ ก-1 และกราฟที่ ก-1 และ ก-2

ตารางที่ ก-1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแคดเมียม(II) และสารละลายแมงกานีส(II)

ความเข้มข้นของ Cd(II) (mg/L)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของ Mn(II) (mg/L)	ค่าการดูดกลืนแสง
0.2	0.045	2	0.141
0.4	0.086	4	0.283
0.6	0.128	6	0.469
0.8	0.165	8	0.616
1.0	0.203	10	0.697

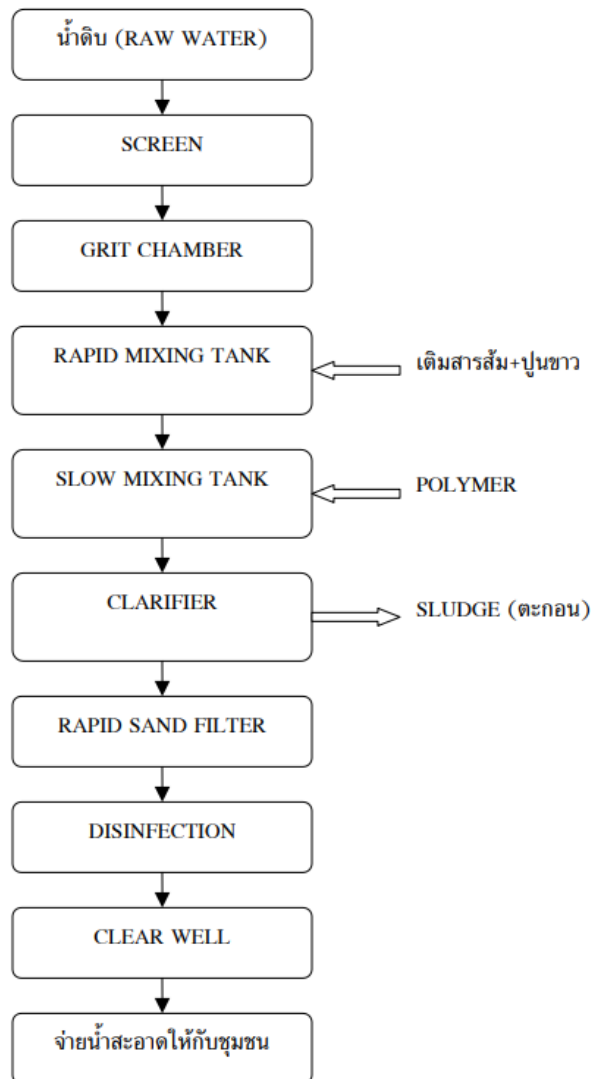


กราฟที่ ก-1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียม(II) กับค่าการดูดกลืนแสง

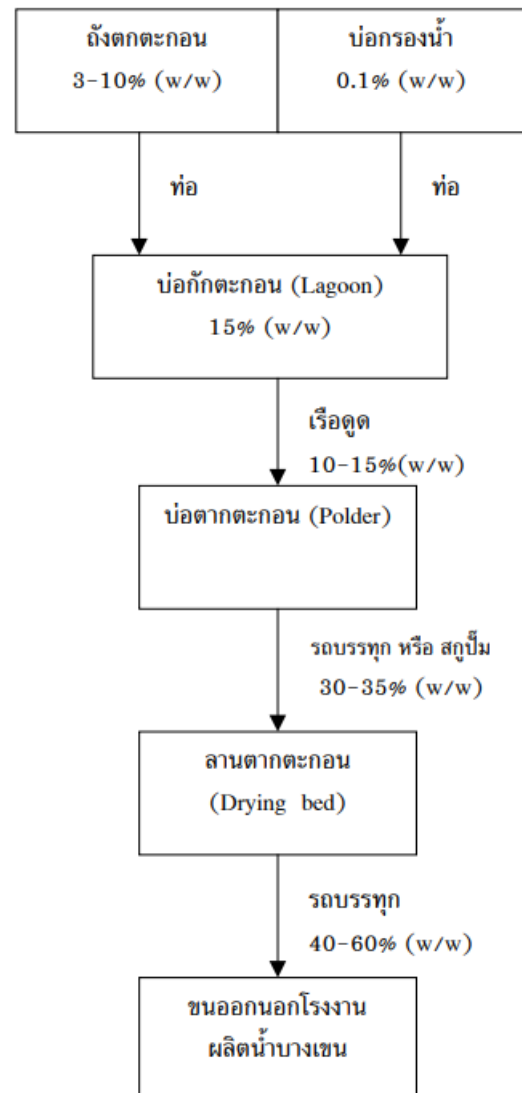


กราฟที่ ก-2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายแมงกานีส(II) กับค่าการดูดกลืนแสง

ข. แผนผังการผลิตน้ำประปาและขั้นตอนการกำจัดตะกอนของโรงงานผลิตน้ำบางเขน



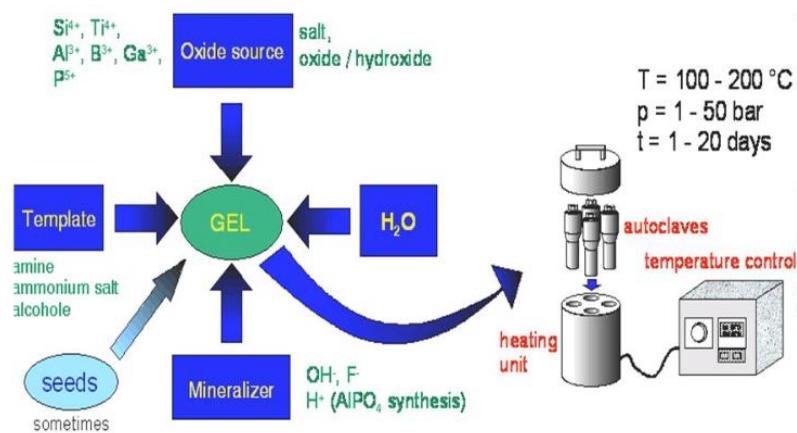
แผนผังการผลิตน้ำประปา [3]



ขั้นตอนการกำจัดตะกอนของ
โรงงานผลิตน้ำบางเขน [3]

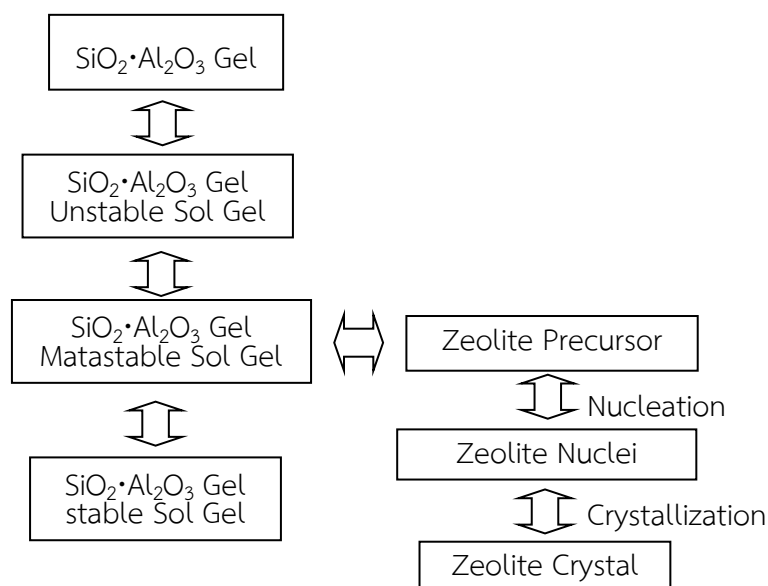
ค. การสังเคราะห์ซีโอไลต์

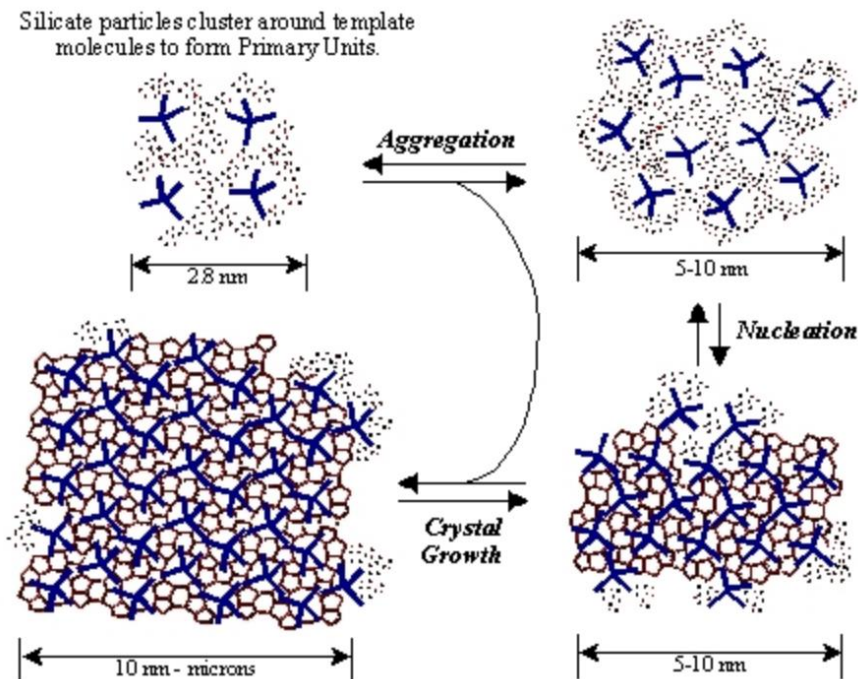
ปัจจุบันการสังเคราะห์ซีโอไลต์ มีหลายวิธีการ [21] เช่น การใช้ Microwave ในการให้ความร้อน การใช้สารละลายที่มีฟลูออไรด์ การสังเคราะห์โดยไม่ใช้น้ำ เป็นต้น การสังเคราะห์แบบดั้งเดิม ใช้สารละลายเบสเป็นตัวกลางกระบวนการก่อผลึกจะเกิดในระบบปิด (Autogenous Pressure) ผ่านการเป็นเจลของสารประกอบ ภายใต้สมดุล การเป็นสารละลายและเจลเรียกว่ากระบวนการโซล-เจล (Sol-Gel Process)



ที่มา : <https://slideplayer.com/slide/6427680/>

เมื่อนำสารละลายหรือเจลของซิลิกาผสมกับสารละลายอะลูมินา ในสภาวะเบสที่มีการปั่นกววน จะได้ เจลผสม Aluminosilicate Gel ที่เป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อให้ความร้อน และ/หรือความดัน จะเกิดการเปลี่ยนแปลงผ่านกระบวนการ Hydrolysis และ condensation ในช่วงแรกบางส่วนจะเกิด hydrolysis อยู่ในรูปสารละลายโดยอยู่ในรูปของผสมของ monomer และ oligomer เป็นเจลที่ไม่เสถียร (Unstable Gel) โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างตลอดเวลา เป็นเจลสัณฐาน Amorphous Gel การจัดเรียงตัวใหม่จะให้ aluminosilicate gel ที่เป็นระเบียบมากขึ้น เรียกว่า เจลกึ่งเสถียร (Metastable Gel) ที่สภาวะนี้สำคัญอย่างยิ่ง ในการก่อผลึกโดยสามารถเกิด Condensation ไปเป็น unstable gel Hydrolysis ไปเป็น primary building unit ซึ่งทำให้เกิดสารละลายอิ่มตัวยิ่งยวด (Supersaturated Solution) Condensation เป็น secondary building units ที่เป็น precursor ในการเกิดผลึกซีโอไลต์

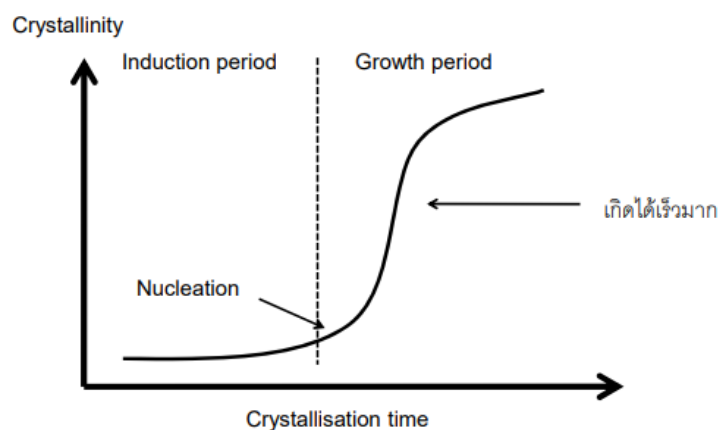




<http://www.umich.edu/~becklab/research.html>

การเกิดผลึก

ในการสังเคราะห์จำเป็นต้องควบคุมองค์ประกอบทางเคมีความเนบส อุณหภูมิและความดัน หากอุณหภูมิสูงเกินไป สารละลายจะมีประจุสูง ละลายน้ำได้ดี aluminosilicate species จะเสถียรในรูปสารละลายและไม่เกิดเป็นผลึกซีโอไลต์หากควบคุมให้เกิด metastable gel มากก็จะมีโอกาสเปลี่ยนไปเป็น SBUs มากขึ้น ทำให้เกิดเป็นซีโอไลต์ เรียกช่วงแรกนี้ว่า ช่วงเหนียวนำ (Induction Period) หลังจากนั้นจึงเกิดช่วงก่อผลึก (Growth Period)



ขั้นการริเริ่มเกิดผลึก (Nucleation) เมื่อ aluminosilicate gel เข้าสู่สภาพ metastable gel แล้ว zeolite precursors ในรูป SBUs เริ่มจัดเรียงตัวเป็นโครงสร้างขนาดเล็ก Nucleation Alumina species มีบทบาทสำคัญอย่างมาก สำหรับซีโอไลต์ Si/Al ต่ำ alumina species จะเหนียวนำ ไอออนบวกในสารละลายให้เกิดการรวมตัวและจัดเรียงโครงสร้างให้มีขนาดใหญ่ขึ้น Si/Al สูงการตกผลึกจะเหนียวนำโดย Template

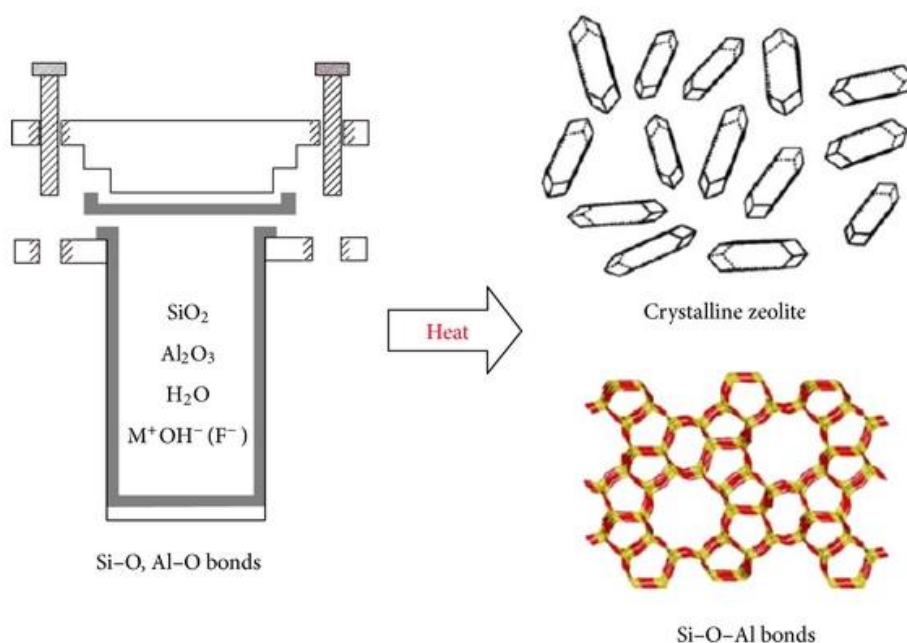
ในสภาวะที่อุณหภูมิและความดันสูง สารละลายอิมัตวเร็วยิ่งขึ้น ช่วงเวลา Induction จะลดลง เกิด nucleation ได้เร็ว ที่อุณหภูมิต่ำ สารละลายมีความหนืดสูงการจัดเรียงตัวของ aluminosilicate species ขำ อัตราการเกิด nucleation จึงต่ำ Nuclei ไม่เสถียร สามารถถูก hydrolysis กลับไปใน sol gel ได้ ในช่วงนี้ การโตของผลึกจะช้าจนถึงระดับขนาดวิกฤต (Critical Size) จึงจะเสถียรอยู่ได้ ขึ้นการเลี้ยงผลึก (Crystal Growth) เมื่อ Nuclei มีขนาด critical size พลังงานการเกิดสูงมาก (Free Energy of Formation) และเกิดการเติบโตของผลึกอย่างรวดเร็วโดยการลำเลียง aluminosilicate species ในเจลไปยังสารละลายในสภาวะที่เหมาะสมจะไม่เกิด Nucleation ในขั้นตอน crystal growth ได้ผลึกขนาดใกล้เคียงกัน โครงสร้างจะถูกกำหนดจากขั้น nucleation ซีโอไลต์ที่มี Si/Al สูงและมีขนาดผลึกใหญ่อาจมีองค์ประกอบทางเคมีของผลึก ที่ผิดแตกต่างจากในเนื้อผลึกได้เนื่องจากการตกผลึกจะถูกเหนี่ยวนำจากองค์ประกอบที่มี Al อยู่จึงอาจมีปริมาณ Al ในเนื้อผลึกมากกว่าที่บริเวณผิวนอกเมื่อผลึกขนาดใหญ่ขึ้น จะมีค่า Free Energy of Formation ค่อยๆ ลดลง Si/Al ต่ำ Free Energy สูงและลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อผลึกโตขึ้น Si/Al สูง หรือการสังเคราะห์ที่ อุณหภูมิสูงและรูปผลึกที่มีพื้นที่ผิวสูง เช่นผลึกรูปเข็ม จะมี free Energy สูงกว่ารูปเหลี่ยม ในช่วงท้ายของขั้น Crystal growth ผลึกจะหยุดโตเมื่อปริมาณ aluminosilicate species ถูกใช้ไปในการเกิดผลึกจนหมด แต่หาก free energy of formation ถูกใช้ไปจนหมดแล้วยังเหลือ aluminosilicate species อยู่อาจนำไปสู่ การ nucleation ใหม่ได้ทำให้ขนาดผลึกไม่เท่ากัน ทำให้ซีโอไลต์ที่ได้ไม่บริสุทธิ์และอาจมี Amorphous Aluminosilicateปน การตกผลึกที่สมบูรณ์จะเกิดได้ เมื่อการ nucleation ให้ nuclei มี critical size ใกล้เคียงกัน และเกิดขึ้น crystal growth ในเวลารวดเร็วรวมทั้งใช้ aluminosilicate species จนหมดในช่วง ท้ายการสังเคราะห์หากอัตราการเติบโตของผลึก (Crystal Growth) ช้ากว่าอัตราการริเริ่ม (Nucleation Rate) มากจะทำให้เกิด nucleation ขึ้นภายหลังและมีการกระจายของขนาดผลึก

การลดเวลาการตกผลึกทำได้โดย การบ่ม (Aging) เจลของผสมก่อนตกผลึกโดยปั่นจนเจลเริ่มต้น ที่ อุณหภูมิต่ำโดยไม่ให้ความร้อนเป็นเวลานาน อาจใช้ aging 6-24 ชม. สำหรับการสังเคราะห์ซีโอไลต์ Si/Al ต่ำ ที่อุณหภูมิ 80-120 °C สำหรับ Si/Al สูงอาจใช้เวลามากกว่า 1 สัปดาห์ การ aging จะทำให้ metastable gel เกิดได้ดีเมื่อให้ความร้อน การ nucleation เกิดได้เร็วจำนวน nuclei มากเร่งการโตได้อีกทาง ปัจจัยที่มีผลต่อ การสังเคราะห์ (Synthesis Variables)

- อัตราส่วน Si ต่อ Al Si/Al ratio
- ความเป็นเบส Basicity
- สารเทมเพลต Template
- อุณหภูมิและเวลา Temperature and Time Si/Al ratio
- เจลที่มี Si/Al ratio ต่ำจะเกิด โครงสร้างแบบ Cage Structure เช่น Zeolite A ส่วนเจลที่มี Si/Al ratio สูง มักจะเกิดโครงสร้าง Channel Structure ซีโอไลต์ที่มี Si/Al ต่ำจะตกผลึกได้เร็วกว่า ซีโอไลต์ Si/Al สูงเนื่องจาก alumina species ในเจลก่อให้เกิด interaction ระหว่าง negative charge กับ ไอออนบวก เช่น Zeolite A (Si/Al 1) ที่ 80-100 °C ใช้เวลาในการตกผลึก 1-2 ชม. ในขณะที่ Zeolite Y ที่ 100-110 °C ใช้เวลาในการตกผลึก 12-48 ชม. สำหรับพวก Si/Al สูงจะเกิดการตกเรียงตัวของ silica species รอบกัผลึก (Template) ในกรณีนี้ alumina species จะขัดขวางการจัดเรียงตัวรอบ template ทำให้ตกผลึกช้า เช่น Silicalite (Si/Al ∞) ที่ 150-180 °C ใช้เวลาในการตกผลึก 2-3 วัน ในขณะที่ ZSM-5 (Si/Al 15) ใช้เวลา 5-7 วัน ความเป็นกรด-เบส (pH) เบสจะสลายพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bonding) ของหมู่ Silanol: Si-OH และเร่งให้เกิดปฏิกิริยา Hydrolysis เพื่อให้เกิด Si-O-Si และ Al-O-Al ความเป็นกรด-เบสควบคุมการเกิด metastable gel และการก่อผลึก หากสูงเกินไป จะทำให้ซิลิกาละลายได้ดีเกินไปจนไม่ก่อผลึก

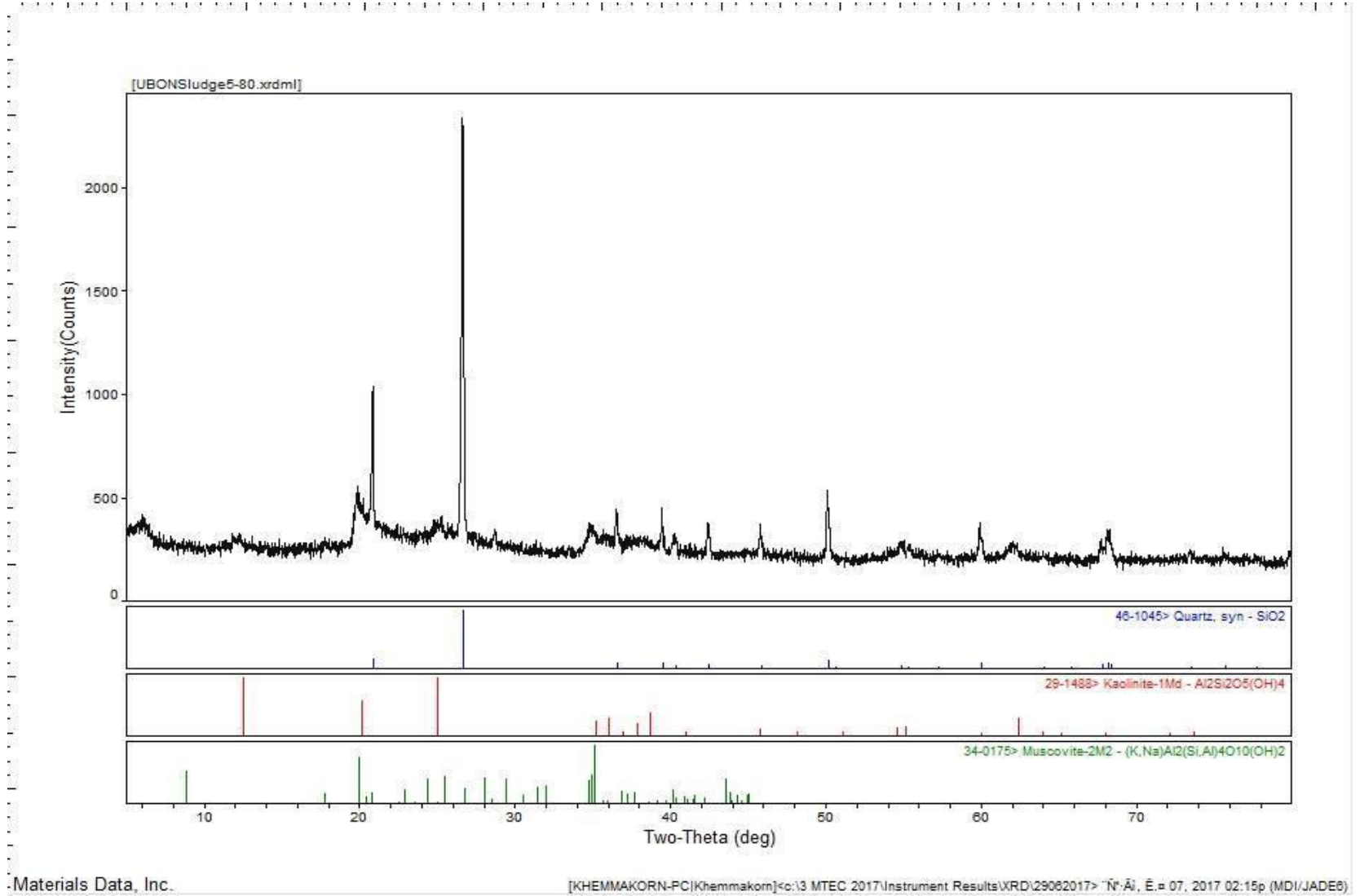
ในกรณีที่ความเข้มข้นเบสเท่ากันหากใช้ Si/Al ต่างกันจะได้โครงสร้างแตกต่างกัน ในกรณีที่ความเป็นกรด-เบสต่างกันจะไม่ทำให้ซีโอไลต์เปลี่ยนโครงสร้างแต่จะมีขนาดเล็กลง เมื่อความเป็นกรด-เบสสูงขึ้นเนื่องจาก สารละลายเข้าสู่สภาวะอิ่มตัวยิ่งยวด และ metastable gel ได้เร็ว ทำให้มีอัตรา nucleation สูง และเกิด nuclei มาก ทำให้ผลึกมีขนาดเล็กจำนวนมากเมื่อเทียบกับการสังเคราะห์ที่ pH ต่ำ ที่ pH ต่ำจำนวน nuclei เกิดได้น้อย aluminosilicate species ที่เหลือจึงไปเลี้ยง nuclei ให้โตขึ้น ทำให้ผลึกมีขนาดใหญ่ ตัวอย่างเช่น การสังเคราะห์ ZSM-5 ที่ pH 13 จะใช้เวลาในการสังเคราะห์น้อยกว่าได้ ผลึกเล็กกว่าการสังเคราะห์ที่ pH 12 เป็นต้น หากใช้ pH สูงไป ผลึกจะมี Si/Al น้อยกว่าที่ควรจะเป็น หากความเป็นกรด-เบสสูงเกินไป ผลึกจะไม่เสถียรและละลายกลับมาเป็น aluminosilicate species เช่น การสังเคราะห์ zeolite A Template สารเหนียวทำให้เกิดผลึก Template คือสารไอออนบวก มี 2 ชนิดคือ สารเทมเพลตอินทรีย์ (Inorganic Template) และสารเทมเพลตอินทรีย์ (Organic Template)

การสังเคราะห์ซีโอไลต์ ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล (Hydrothermal)

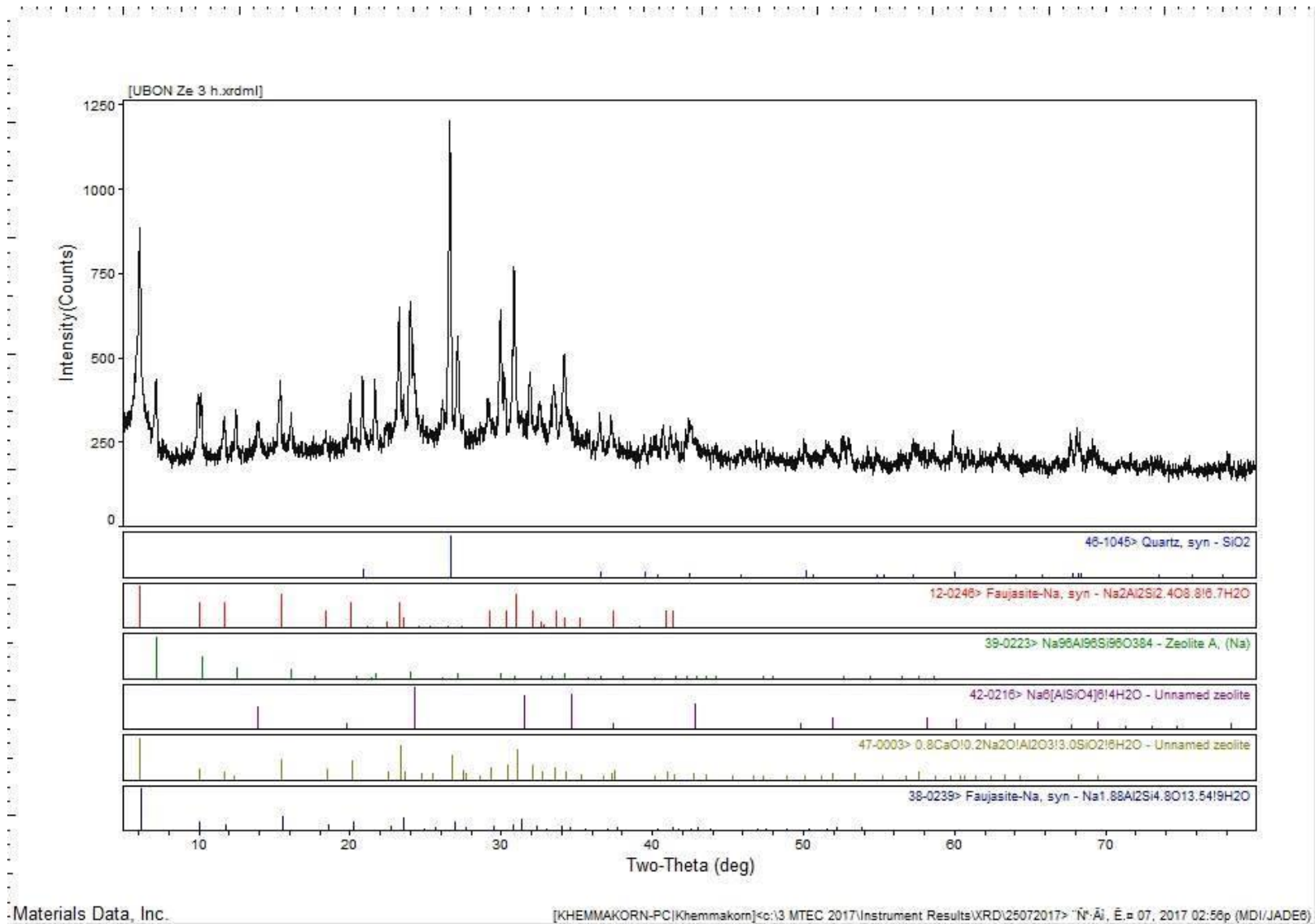


<https://www.hindawi.com/journals/isrn/2013/257047/fig3/>

ง. XRD pattern ของดินตะกอนจากน้ำประปา และ ซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปา



ภาพที่ ค-1 XRD pattern ของดินตะกอนจากน้ำประปาจากจังหวัดอุบลราชธานี



ภาพที่ ค-2 XRD pattern ของซีโอไลต์สังเคราะห์จากดินตะกอนจากน้ำประปาจังหวัดอุบลราชธานี