

การดูดซับกลุ่มไอออนลบโดยใช้วัสดุแมกนีเซียม-อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์

นายติณห์ ศรีเมฆ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2561  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)  
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.



929108882

CU Thesais 5870154621 thesais / recv: 01082562 10:45:48 / seq: 15

Synthesis of Mg-Al LDHs Accumulate on Magnetite and Investigations of  
Anion Adsorption

Mr. Tin Srimake

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering  
Department of Environmental Engineering  
Faculty of Engineering  
Chulalongkorn University  
Academic Year 2018  
Copyright of Chulalongkorn University



929108982

CU ThesIs 5870154621 thesis / recv: 01082562 10:45:48 / seq: 15

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การดูดซับกลุ่มไอออนลบโดยใช้วัสดุแมกนีเซียม-  
อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์

โดย

นายติณห์ ศรีเมฆ

สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.เขมรัฐ โอสถาปนธ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

รองศาสตราจารย์ ดร.ปฎิภาณ ปัญญาพลกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ขวาลภาฤทธิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดร.เขมรัฐ โอสถาปนธ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปฎิภาณ ปัญญาพลกุล)

..... กรรมการ  
(อาจารย์ดาว สุวรรณแสง จันเจริญ)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.เบญจพร สุวรรณศิลป์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จีมา ศรีลัมพ์)



ดิฉันทน์ ศรีเมฆ : การดูดซับกลุ่มไอออนลบโดยใช้วัสดุแมกนีเซียม-อะลูมิเนียมเลเยอร์  
 ดับเบิลไฮดรอกไซด์. ( Synthesis of Mg-Al LDHs Accumulate on Magnetite and  
 Investigations of Anion Adsorption) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.เขมรัฐ โอสถาปนธ์,  
 อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ. ดร.ปฎิภาณ ปัญญาพลกุล

งานวิจัยฉบับนี้มุ่งเน้นศึกษาการดูดซับไอออนลบอันได้แก่ ฟอสเฟต ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) โครเมต ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ) และอาร์เซนิต ( $\text{AsO}_4^{3-}$ ) โดยใช้วัสดุแมกนีเซียม/อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (Mg/Al LDHs) และวัสดุแมกนีเซียม/อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ที่เกาะบนอนุภาคแม่เหล็ก (Mg/Al LDHs-Fe) จากผลการทดลองในระบบแบบที่ละเทพบว่า Mg/Al LDHs มีประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนลบทั้งสามชนิดมากกว่า Mg/Al LDHs-Fe เนื่องจาก Mg/Al LDHs มีพื้นที่ผิวที่มีประจุบวกมากกว่า Mg/Al LDHs-Fe และเมื่อทดสอบการดูดซับพบว่าวัสดุทั้งสองชนิดมีความเร็วการดูดซับเข้าสู่สมดุลใกล้เคียงกัน แต่ Mg/Al LDHs จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงกว่า Mg/Al LDHs-Fe ประสิทธิภาพในการดูดซับไอออนลบของวัสดุทั้งสองลดลงเล็กน้อยเมื่อค่าพีเอชสูงขึ้น เมื่อนำไอออนลบทั้งสามชนิดมาแข่งขันในการถูกดูดซับพบว่า วัสดุทั้งสองชนิดจะดูดซับฟอสเฟตได้ดีที่สุด รองลงมาได้แก่อาร์เซนิต และโครเมตตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากโครงสร้างของไอออนลบเหล่านั้น ได้แก่ ฟอสเฟตและอาร์เซนิตมีประจุลบสามในขณะที่โครเมตมีประจุลบสอง จึงทำให้ฟอสเฟตและอาร์เซนิตสามารถเกิดปฏิสัมพันธ์กับหมู่โลหะไฮดรอกไซด์ที่ถูกเหนี่ยวนำเป็นบวกบนพื้นผิวดูดซับ วัสดุทั้งสองชนิดเมื่อนำกลับมาใช้ใหม่พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับไอออนลบทั้งสามชนิดลดลงประมาณร้อยละ 50

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
 ปีการศึกษา 2561

ลายมือชื่อนิสิต .....  
 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....  
 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

# # 5870154621 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORD: Layered Double Hydroxides, Magnetite

Tin Srimake : Synthesis of Mg-Al LDHs Accumulate on Magnetite and Investigations of Anion Adsorption. Advisor: Assoc. Prof. Khemarath Osathaphan, Ph.D. Co-advisor: Assoc. Prof. Patiparn Punyapalakul, Ph.D.

This research investigated the adsorption of three anions, which are phosphate, chromate, and arsenate by using Mg/Al layered double hydroxides (Mg/Al LDHs) and Mg/Al layered double hydroxides accumulate on magnetite (Mg/Al LDHs-Fe). Adsorption rate of three anions by using Mg/Al LDHs was faster than Mg/Al LDHs-Fe because Mg/Al LDHs had a more positive charge on the surface than Mg/Al LDHs-Fe. Batch adsorption studies revealed that both materials had the same equilibrium time, but Mg/Al LDHs had more adsorption capacity than that for Mg/al LDHs-Fe. Adsorption capacities of three anions were decreased by increasing of pH due to the reducing of positive charge on the material's surface. For mixed anion solution, phosphate can be adsorbed by both materials with the highest adsorption capacity following with arsenate and chromate, respectively. The tri-valence structures of phosphate and arsenate might promote adsorption capacity of those anions, while chromate was di-valance anion. Hence, phosphate and arsenate can interact with protonated metal hydroxide on adsorbent surfaces. For reuse experiment, adsorption capacities of three anions were decreased around 50% compared with virgin adsorbents.

Field of Study: Environmental Engineering      Student's Signature .....

Academic Year: 2018      Advisor's Signature .....

Co-advisor's Signature .....



929108982

CD :Thesis 5870154621 thesis / rev: 01082562 10:45:48 / seq: 15

## กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณประธานการสอบวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ และคณะกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. เขมรัฐ โอสถาปนธุ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ปฏิภาณ ปัญญาพกุล อาจารย์ ดาว สุวรรณแสง จันเจริญ รองศาสตราจารย์ ดร. เบญจพร สุวรรณศิลป์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จีมา ศรลัมภ์ ที่ให้เกียรติสละเวลาเพื่อการสอบวิทยานิพนธ์นี้ และได้ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ซึ่งช่วยให้วิทยานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รวมทั้งห้องปฏิบัติการโครงสร้างนาโนไฮบริดและนาโนคอมโพสิต ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่ให้ความรู้ ความช่วยเหลือ และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ตลอดการทำงานวิจัยนี้

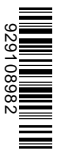
ขอขอบพระคุณอาจารย์รามนรี เนตรวิเชียร เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ นักวิจัยทุกท่านที่ห้องปฏิบัติการโครงสร้างนาโนไฮบริดและนาโนคอมโพสิต ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่ให้ความรู้ ความช่วยเหลือ และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ตลอดการทำงานวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่สนับสนุนส่งเสริมทางการศึกษาให้แก่ผู้ทำวิจัยทำให้การศึกษาสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบคุณพี่ๆเพื่อนๆในห้องปฏิบัติการทดลองที่คอยให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือตลอดมาจนทำให้การทดลองสำเร็จไปได้

ดิณฑ์ ศรีเมฆ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	1
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ไอออนและคุณสมบัติของไอออน.....	4
2.1.1 ฟอสเฟต (Phosphate : $\text{PO}_4^{2-}$ ).....	4
2.1.1.1 สมบัติทั่วไปของฟอสเฟต.....	4
2.1.1.2 ประโยชน์ของฟอสเฟต .....	4
2.1.1.3 ผลกระทบต่อสุขภาพอันเนื่องมาจากฟอสเฟต .....	5
2.1.1.3-1 การดูดซึมของฟอสฟอรัสเข้าสู่ร่างกาย .....	5
2.1.1.3-2 พิษของฟอสเฟตต่อร่างกายมนุษย์ .....	5
2.1.1.4 เส้นทางการปนเปื้อนของฟอสเฟต.....	5
2.1.2 โครเมต (Chromate : $\text{CrO}_4^{2-}$ ).....	6
2.1.2.1 สมบัติทั่วไปของโครเมต.....	6



929108882

CD :Thesis 5870154621 thesis / revv: 01082562 10:45:48 / seq: 15

2.1.2.2	ประโยชน์ของโครเมต.....	6
2.1.2.3	ผลกระทบต่อสุขภาพอันเนื่องมาจากโครเมต .....	6
2.1.2.3-1	การดูดซึมของโครเมตเข้าสู่ร่างกาย.....	6
2.1.2.3-2	พิษของโครเมตต่อร่างกายมนุษย์ .....	7
2.1.2.4	เส้นทางการปนเปื้อนของโครเมต.....	7
2.1.3	อาร์เซเนต (Arsenate :AsO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ).....	7
2.1.3.1	สมบัติทั่วไปของอาร์เซเนต.....	7
2.1.3.2	ประโยชน์ของอาร์เซเนต.....	8
2.1.3.3	ผลกระทบต่อสุขภาพอันเนื่องมาจากอาร์เซเนต.....	8
2.1.3.3-1	การดูดซึมของอาร์เซเนตเข้าสู่ร่างกาย.....	8
2.1.3.3-2	พิษของอาร์เซเนตต่อร่างกายมนุษย์ .....	8
2.1.3.4	เส้นทางการปนเปื้อนของอาร์เซเนต.....	9
2.2	การกำจัดไอออนลบในน้ำ.....	9
2.2.1	การกรองผ่านเมมเบรน (Membrane Process).....	9
2.2.2	การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange).....	10
2.3	การดูดซับ (Adsorption).....	11
2.3.1	กลไกการดูดซับ .....	12
2.3.2	อัตราการถูกดูดซับของโมเลกุล (Rate of Molecular Transfer) .....	12
2.4	วัสดุดับเบิลเลเยอร์ไฮดรอกไซด์ (Layered Double Hydroxides : LDHs) .....	13
2.5	วัสดุเหล็กดับเบิลเลเยอร์ไฮดรอกไซด์ (Layered Double Hydroxides accumulating on Magnetite : LDHs-Fe) .....	14
2.5	สมบัติทางแม่เหล็ก .....	15
2.5.1	ไดอะแมกเนติก (Diamagnetic material).....	15
2.5.2	พาราแมกเนติก (Paramagnetic material).....	16



929108982



2.5.3 เฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic material).....	16
2.6 การสังเคราะห์วัสดุขนาดนาโนด้วยกระบวนการทางเคมี.....	17
2.6.1 การสังเคราะห์โดยกระบวนการตกตะกอนร่วม .....	17
2.6.2 การสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโซล-เจล (Sol-Gel).....	18
2.6.3 การสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโซลโวเทอร์มอล (Solvothermal).....	18
2.7 ทบทวนงานวิจัย .....	19
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย .....	21
3.1 วัสดุอุปกรณ์ และสารเคมี.....	21
3.1.1 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ .....	21
3.1.2 วัสดุดิบและสารเคมี .....	22
3.2 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง.....	22
3.2.1 น้ำเสียสังเคราะห์ .....	22
3.2.1-1 น้ำเสียสังเคราะห์ฟอสเฟต.....	22
3.2.1-2 น้ำเสียสังเคราะห์โครเมต.....	22
3.2.1-3 น้ำเสียสังเคราะห์อาร์เซนิก.....	23
3.3 การดำเนินการทดลอง.....	23
3.3.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุ.....	24
3.3.1-1 การหาหมู่ฟังก์ชันของวัสดุดูดซับ .....	24
3.3.1-2 การหาชนิดของสารประกอบและโครงสร้างผลึกของวัสดุดูดซับ .....	24
3.3.1-3 การหาขนาดของอนุภาควัสดุดูดซับ.....	24
3.3.1-4 การหาอำนาจแม่เหล็กของวัสดุดูดซับ .....	24
3.3.2 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุดูดซับ .....	25
3.3.4 ขั้นตอนการทดลองแบบทีละเท.....	27
3.3.4-1 การหาความจุในการดูดซับของวัสดุดูดซับ.....	27



929108982

3.3.4-2 การหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับของวัสดุดูดซับ ..... 29

3.3.4-3 การหาช่วงค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับของวัสดุดูดซับ ..... 31

3.3.4-4 การหาการแข่งขันของโลหะหนักในการถูกดูดซับโดยวัสดุดูดซับ..... 33

3.3.4-5 การทดสอบการล้างแยกเอาไอออนลบออกจากวัสดุดูดซับ ..... 35

บทที่ 4 ผลการวิจัย ..... 38

4.1 การเตรียมวัสดุดูดซับ ..... 38

4.1.1 ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมวัสดุดูดซับ ..... 38

4.1.1.1 ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอนุภาคแม่เหล็ก ..... 38

4.1.1.2 ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์..... 40

4.1.1.3 ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมในการเกาะเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์บนอนุภาคแม่เหล็ก..... 44

4.2 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุดูดซับ ..... 47

4.2.1 ผลการวิเคราะห์วัสดุทั้งหมดด้วยเครื่อง FT-IR..... 47

4.2.2 ผลการวิเคราะห์วัสดุทั้งหมดด้วยเครื่อง XRD ..... 48

4.2.4 ผลการวิเคราะห์อำนาจแม่เหล็กของอนุภาคแม่เหล็กและวัสดุดูดซับ ..... 49

4.3 ผลการทดลองแบบแบตช์ (Batch) ..... 50

4.3.1 ผลจากการดูดซับของวัสดุดูดซับต่อฟอสเฟต..... 50

4.3.1.1 ผลการหาระยะเวลาที่เหมาะสมของวัสดุดูดซับต่อฟอสเฟต ..... 50

4.3.1.2 ผลการหาความจุของวัสดุดูดซับต่อฟอสเฟต ..... 51

4.3.1.3 ผลการหาช่วงค่าพีเอชที่เหมาะสมของวัสดุดูดซับต่อฟอสเฟต ..... 52

4.2.4 ผลจากการดูดซับของวัสดุดูดซับต่อโครเมต..... 53

4.2.4.1 ผลการหาระยะเวลาที่เหมาะสมของวัสดุดูดซับต่อโครเมต ..... 53

4.2.4.2 ผลการหาความจุของวัสดุดูดซับต่อโครเมต ..... 54

4.2.4.3 ผลการหาช่วงค่าพีเอชที่เหมาะสมของวัสดุดูดซับต่อโครเมต ..... 56

4.2.5 ผลจากการดูดซับของวัสดุดูดซับต่ออาร์เซเนต .....	57
4.2.4.1 ผลการหาระยะเวลาที่เหมาะสมของวัสดุดูดซับต่ออาร์เซเนต .....	57
4.2.4.2 ผลการหาความจุของวัสดุดูดซับต่ออาร์เซเนต.....	58
4.2.4.3 ผลการหาช่วงค่าพีเอชที่เหมาะสมของวัสดุดูดซับต่ออาร์เซเนต .....	59
4.1.6 ผลการดูดซับไอออนลบผสม .....	60
4.2.6.1 ผลการดูดซับไอออนลบผสมสำหรับฟอสเฟต .....	60
4.2.6.2 ผลการดูดซับไอออนลบผสมสำหรับโครเมต.....	61
4.2.6.3 ผลการดูดซับไอออนลบผสมสำหรับอาร์เซเนต.....	62
4.2.7 ผลการนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่.....	63
4.2.7.1 ผลการนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่จากการดูดซับฟอสเฟต .....	63
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	64
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	64
5.1.1 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุดูดซับ .....	64
5.1.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไอออนลบของวัสดุ.....	64
5.1.2.1 การศึกษาความจุในการดูดซับ .....	64
5.1.2.2 การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ .....	64
5.1.2.3 การศึกษาช่วงค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับ .....	65
5.1.3 การศึกษาการดูดซับไอออนลบแบบผสม .....	65
5.1.4 การศึกษาการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุ LDHs-Fe.....	65
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	65
ภาคผนวก.....	66
บรรณานุกรม.....	73
ประวัติผู้เขียน.....	76



929108882

CD :Thesis 5870154621 thesis / recv: 01082562 10:45:48 / seq: 15

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1 โครงสร้างของเรซินที่มีหมู่ฟังก์ชันและเปลี่ยนไอออนประจุบวก (Wheaton & Lefevre, 2000).....	10
รูปที่ 2 ปฏิกริยาในการเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันของเรซินให้มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Wheaton & Lefevre, 2000).....	11
รูปที่ 3 ปฏิกริยาในการเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันของเรซินให้มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุลบ (Wheaton & Lefevre, 2000).....	11
รูปที่ 4 กลไกการแพร่ผ่านของไอออนลบเข้าสู่โครงสร้างของเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอก (Li et al., 2016) .....	14
รูปที่ 5 การปรับปรุงหมู่ฟังก์ชันของอนุภาคแม่เหล็กนาโนในทางการแพทย์ (บุญยงช บัญไสย, อรรรรณ สุขสมบัติ, & ปิยะพร ณ หนองคาย, 2557).....	15
รูปที่ 6 การจัดเรียงตัวของโมเมนต์แม่เหล็กของวัสดุไดอะแมกเนติก (นุชรีย์ ชมเชย, 2553).....	16
รูปที่ 7 การจัดเรียงตัวของโมเมนต์แม่เหล็กของวัสดุพาราแมกเนติก (นุชรีย์ ชมเชย, 2553) .....	16
รูปที่ 8 การจัดเรียงตัวของโมเมนต์แม่เหล็กของวัสดุเฟอร์โรแมกเนติก (นุชรีย์ ชมเชย, 2553) .....	17
รูปที่ 9 แผนผังการดำเนินการทดลอง .....	23
รูปที่ 10 แผนผังขั้นตอนการสังเคราะห์วัสดุ LDHs-Fe.....	27
รูปที่ 11 แผนผังการทดลองหาความจุของวัสดุดูดซับ .....	28
รูปที่ 12 แผนผังการทดลองหาระยะเวลาที่เหมาะสมของวัสดุดูดซับ.....	30
รูปที่ 13 แผนผังการทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับ.....	32
รูปที่ 14 แผนผังการทดลองหาประสิทธิภาพในการดูดซับไอออนผสม .....	34
รูปที่ 15 แผนผังขั้นตอนการทดลองการล้างแยกไอออนลบออกจากวัสดุ .....	37
รูปที่ 16 อนุภาคแม่เหล็กที่สังเคราะห์ได้ในช่วงแรกของการทดลอง(x100k) .....	38
รูปที่ 17 อนุภาคแม่เหล็กจากงานวิจัยของ Lu (2017)(x100k).....	39
รูปที่ 18 อนุภาคแม่เหล็กที่สังเคราะห์โดยใช้วิธีการสังเคราะห์จากงานวิจัยของ Zheng (2012)(x100k).....	39



929108882

CD :Thesis 5870154621 thesis / rev: 01082562 10:45:48 / seq: 15

รูปที่ 19	อนุภาคแม่เหล็กจากงานวิจัยของ Zheng (2012)(x50k)	40
รูปที่ 20	วัสดุเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ที่สังเคราะห์ได้(x30k)	40
รูปที่ 21	วัสดุเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์จากงานวิจัยของ Qu (2017)(x60k)	41
รูปที่ 22	ผลการวิเคราะห์เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ Zn/Al ที่สังเคราะห์เองโดยใช้เครื่อง XRD.....	41
รูปที่ 23	ผลการวิเคราะห์เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ Zn/Al ที่มาจากงานวิจัยของ Qu (2017) โดยใช้เครื่อง XRD .....	41
รูปที่ 24	อนุภาคแม่เหล็กที่สังเคราะห์ได้ในงานวิจัย(x30k)	42
รูปที่ 25	วัสดุเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์จากงานวิจัยของ Ardhayanti (2016)(x20k)	42
รูปที่ 26	ผลการวิเคราะห์เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ Mg/Al ที่สังเคราะห์เองโดยใช้เครื่อง XRD .....	43
รูปที่ 27	ผลการวิเคราะห์เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ Zn/Al ที่มาจากงานวิจัยของ Ardhayanti (2016) โดยใช้เครื่อง XRD .....	43
รูปที่ 28	วัสดุดูดซับที่เวลาสังเคราะห์ 6 ชั่วโมง(x50k, x30k)	44
รูปที่ 29	วัสดุดูดซับที่เวลาสังเคราะห์ 17 และ 24 ชั่วโมง(x30k)	45
รูปที่ 30	วัสดุดูดซับที่ใช้เพียงน้ำกลั่นและหยดสารตั้งต้นอย่างคงที่(x30k)	45
รูปที่ 31	วัสดุดูดซับที่ใช้การแช่สารตั้งต้นก่อนการทำปฏิกิริยา(x30k)	46
รูปที่ 32	วัสดุดูดซับที่สังเคราะห์ได้(x50k)	46
รูปที่ 33	วัสดุดูดซับจากงานวิจัยของ Lu (2017)(x100k)	47
รูปที่ 34	ผลการวิเคราะห์วัสดุด้วยเครื่อง FT-IR.....	47
รูปที่ 35	ผลการวิเคราะห์วัสดุด้วยเครื่อง XRD.....	48
รูปที่ 36	ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง VSM.....	49
รูปที่ 37	ความสัมพันธ์ระหว่างฟอสเฟตที่กำจัดได้กับเวลาของวัสดุดูดซับทั้งสามชนิด.....	50
รูปที่ 38	ความสัมพันธ์ระหว่างความจุในการดูดซับต่อความเข้มข้นของฟอสเฟตที่สมดุล .....	51
รูปที่ 39	ความจุในการดูดซับฟอสเฟตของวัสดุเหล็กเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ต่อวัสดุชนิดอื่น .....	51
รูปที่ 40	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของฟอสเฟตที่กำจัดได้ต่อค่าพีเอชของวัสดุดูดซับทั้งสองชนิด .....	52



929108982

CU Thesisis 5870154621 thesisis / revv: 01082562 10:45:48 / seq: 15

รูปที่ 41 ความสัมพันธ์ระหว่างโครเมตที่กำจัดได้กับเวลาของวัสดุดูดซับทั้งสองชนิด .....	53
รูปที่ 42 ความสัมพันธ์ระหว่างความจุในการดูดซับต่อความเข้มข้นของโครเมตที่สมดุล .....	54
รูปที่ 43 ความจุในการดูดซับโครเมตของวัสดุเหล็กเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ต่อวัสดุชนิดอื่น .....	55
รูปที่ 44 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของโครเมตที่กำจัดได้ต่อค่าพีเอชของวัสดุดูดซับทั้งสองชนิด .....	56
รูปที่ 45 ความสัมพันธ์ระหว่างอาร์เซนิตที่กำจัดได้กับเวลาของวัสดุดูดซับทั้งสองชนิด .....	57
รูปที่ 46 ความสัมพันธ์ระหว่างความจุในการดูดซับต่อความเข้มข้นของอาร์เซนิตที่สมดุล .....	58
รูปที่ 47 ความจุในการดูดซับอาร์เซนิตของวัสดุเหล็กเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ต่อวัสดุชนิดอื่น .....	58
รูปที่ 48 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของอาร์เซนิตที่กำจัดได้ต่อค่าพีเอชของวัสดุดูดซับทั้งสองชนิด .....	59
รูปที่ 49 ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตแบบไอออนเดี่ยวและแบบไอออนผสม .....	60
รูปที่ 50 ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตแบบไอออนเดี่ยวและแบบไอออนผสม .....	61
รูปที่ 51 ประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิตแบบไอออนเดี่ยวและแบบไอออนผสม .....	62
รูปที่ 52 ความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตในการดูดซับครั้งแรกและครั้งที่สอง .....	63



929108982

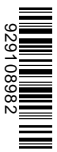
## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันนี้ ประเทศไทยมีปริมาณประชากรเพิ่มสูงขึ้นทุกๆปี ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจ โดยหนึ่งในสิ่งที่เป็นปัจจัยของเศรษฐกิจนั้นคือด้านอุตสาหกรรม ในการประกอบกิจการของอุตสาหกรรมนั้นมักจะมีสิ่งที่เหลือจากการบวนการผลิต หรือเรียกกันโดยปกติว่าของเสียจากอุตสาหกรรมซึ่งมีทั้งของแข็ง ของเหลว และแก๊ส โดยส่วนมากจะเป็นของเสียในรูปของน้ำเสีย สำหรับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมนั้น สารบางชนิดสามารถย่อยสลายได้เองโดยกระบวนการตามธรรมชาติ ซึ่งสารบางชนิดแม้จะสามารถบำบัดได้ด้วยวิธีทางธรรมชาติแต่ก็ยังบำบัดได้ยาก เช่น ฟอสเฟต ที่ต้องอาศัยกระบวนการทางชีวภาพในการดึงฟอสเฟตให้อยู่ในรูปชีวมวล และอีกส่วนหนึ่งนั้นจะไม่ย่อยสลายตามธรรมชาติทำให้มีการปนเปื้อนลงสู่สิ่งแวดล้อมหากไม่มีการบำบัดน้ำเสียเหล่านี้ก่อน โดยสารที่มักมีปัญหาเหล่านี้คือสารที่มีไอออนของโลหะหนักเป็นองค์ประกอบ เช่น โครเมต และอาร์เซเนต โดยอุตสาหกรรมที่มักจะเป็นแหล่งกำเนิดสารเหล่านี้ ได้แก่ การประกอบการเหมืองแร่ การอุตสาหกรรมฟอกย้อมสี การอุตสาหกรรมชุบโลหะ การอุตสาหกรรมผลิตและบรรจุยาฆ่าแมลง และการอุตสาหกรรมกลั่นน้ำมัน (Järup, 2003) ในบางกรณี อาจมีการผสมรวมกันของสารที่ย่อยสลายได้และไม่ได้ตามธรรมชาติ เช่น การผสมน้ำเสียจากการซักล้างซึ่งมีฟอสเฟตปนเปื้อน รวมกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตที่มีโครเมตหรืออาร์เซเนตปนเปื้อน ซึ่งการกำจัดหรือนำไปบำบัดนั้นอาจทำได้ยากขึ้นเนื่องจากกระบวนการกำจัดฟอสเฟตใช้การดึงฟอสเฟตเข้าสู่โครงสร้างของแบคทีเรีย ซึ่งความเป็นพิษจากโครเมตหรืออาร์เซเนตในระบบอาจทำให้แบคทีเรียไม่สามารถมีชีวิตอยู่ในระบบบำบัดได้ จึงเป็นที่มาในการศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่มีไอออนลบปนเปื้อนอยู่

จากปัญหาการปนเปื้อนไอออนลบของโลหะหนักในน้ำเสีย จึงนำไปสู่การบำบัดน้ำเสียที่มีไอออนลบของโลหะหนักปนเปื้อน โดยในการบำบัดนั้นมีหลายวิธี ได้แก่ การกรอง การแลกเปลี่ยนประจุ การดูดซับด้วยวัสดุดูดซับ จากวิธีการบำบัดน้ำเสียข้างต้น จึงได้มาดูในรายละเอียดถึงวัสดุที่ใช้ในกระบวนการบำบัด โดยในที่นี้ได้ทำการศึกษาวัสดุเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (Layered double hydroxides: LDHs) ซึ่งวัสดุชนิดนี้เป็นโครงสร้างผลึกของโลหะออกไซด์ผสมระหว่างโลหะประจุสอง



929108882

CU Thesisis 5870154621 thesisis / revv: 01082562 10:45:48 / seq: 15

บวกและสามบวก ทำให้ในโครงสร้างของวัสดุมีประจุไปทางบวก ทำให้พื้นผิวของวัสดุมีประจุบวก ทำให้เกิดความสอดคล้องเชิงประจุนต์อไอออนลบในน้ำเสีย ซึ่งช่วยให้สามารถดึงเอาไอออนลบในสารละลายมาเกาะติดบนพื้นผิวได้ เนื่องจากวัสดุ LDHs นั้นไม่มีอำนาจแม่เหล็กในตัวเองทำให้เกิดปัญหาในกระบวนการหลังการบำบัด ซึ่งยากต่อการแยกเอาวัสดุดูดซับออกจากน้ำเสียโดยอาจต้องทำการกรองหรือปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกเอาวัสดุดูดซับออกมา ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองงบประมาณในการดำเนินระบบบำบัด จึงทำการนำ LDHs มาเกาะบนพื้นผิวของอนุภาคแม่เหล็กได้เป็นวัสดุเหล็กเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (LDHs-Fe) ซึ่งช่วยให้วัสดุใหม่นี้มีอำนาจแม่เหล็ก ซึ่งเราสามารถใช้นามแม่เหล็กจากภายนอกในการแยกเอาวัสดุดูดซับออกจากน้ำเสียหลังการบำบัดได้

สำหรับข้อดีของวัสดุชนิดนี้คือความสามารถในการแยกออกจากน้ำเสีย โดยทั่วไปวัสดุที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียมักจะมีขนาดอนุภาคเล็กเพื่อให้มีปริมาณพื้นที่ผิวมาก แต่ขนาดของอนุภาคที่เล็กส่งผลให้แยกวัสดุออกจากน้ำเสียได้ยากด้วยเช่นกัน ซึ่งกระบวนการแยกวัสดุดูดซับออกจากน้ำเสียที่นิยมกันจะเป็นการตกตะกอน โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงให้เป็นตัวดึงวัสดุดูดซับออกจากน้ำเสีย โดยวัสดุ LDHs-Fe นั้นจะสามารถแยกออกจากน้ำเสียได้ดีขึ้นโดยอาศัยอำนาจแม่เหล็กของวัสดุในการเพิ่มแรงกระทำให้กับตัวอนุภาค ทำให้มีทั้งแรงโน้มถ่วงและแรงทางแม่เหล็กเป็นตัวดึงวัสดุออกจากน้ำเสีย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. สามารถสังเคราะห์วัสดุ LDHs-Fe ที่มีอำนาจแม่เหล็กได้
2. ทราบถึงคุณสมบัติทางกายภาพพื้นฐานของวัสดุดูดซับ
3. ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ระยะเวลาและค่าพีเอช ของน้ำเสียที่ทำให้วัสดุดูดซับสามารถดูดซับไอออนลบได้มากที่สุด
4. ทราบถึงศักยภาพในการกำจัดฟอสเฟต โครเมต และอาร์เซนิตโดย LDHs-Fe ภายใต้สารละลายแบบเดี่ยวและแบบผสม
5. ทราบถึงศักยภาพในการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุ



929108882

CT :Thesis 5870154621 thesis / rev: 01082562 10:45:48 / seq: 15



### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ เป็นการสังเคราะห์วัสดุ LDHs-Fe โดยจะมีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ วิธีการในการสังเคราะห์วัสดุชนิดนี้ขึ้นมา และศึกษาการดูดซับเปรียบเทียบกับวัสดุ LDHs ในน้ำเสียสังเคราะห์

หลังจากได้วัสดุที่มีคุณสมบัติเบื้องต้นตามที่ต้องการแล้ว จึงนำมาทดสอบการดูดไอออนลบ โดยใช้น้ำเสียที่สังเคราะห์ขึ้นที่มีฟอสเฟต โครเมต และอาร์เซนิต ในการทดสอบหาความจุในการดูดซับในขอบเขตที่ 10 ถึง 40 ppm ระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับในขอบเขตที่ 30 นาที ถึง 5 ชั่วโมง ค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับในขอบเขตที่ 4 ถึง 9 และการล้างแยกเอาไอออนลบออกจากวัสดุดูดซับ

โดยที่การทดลองในห้องปฏิบัติการนั้น จะดำเนินการภายในห้องปฏิบัติการห้องปฏิบัติการ โครงสร้างนาโนไฮบริดและนาโนคอมโพสิต ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และห้องปฏิบัติการของสาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถสังเคราะห์วัสดุ LDHs-Fe ที่มีอำนาจแม่เหล็กได้
2. ทราบถึงคุณสมบัติทางกายภาพพื้นฐานของวัสดุดูดซับ และประสิทธิภาพในสถานะที่เหมาะสมของน้ำเสียที่ทำให้วัสดุดูดซับสามารถดูดซับไอออนลบได้มากที่สุด
4. ทราบถึงศักยภาพในการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุ LDHs-Fe

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ไอออนและคุณสมบัติของไอออน

##### 2.1.1 ฟอสเฟต (Phosphate : $\text{PO}_4^{2-}$ )

###### 2.1.1.1 สมบัติทั่วไปของฟอสเฟต

ฟอสเฟตเป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยอะตอมของฟอสฟอรัสและออกซิเจน มีมวลโมเลกุล (molecule mass) เท่ากับ 94.9714 กรัม/โมล มีกระจายตัวอยู่ทั่วไปในธรรมชาติและเป็นองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิต แต่จะพบมากในหินฟอสเฟต ในปกติจะพบฟอสเฟตในรูปของแคลเซียมฟอสเฟต ( $\text{Ca}_2(\text{PO}_4)_2$ ) หรือ ฟลูออโรอะพาไทต์ ( $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$ ) นอกจากนี้ยังพบฟอสเฟตในกระดูก ฟัน ระบบประสาท ไข่แดงทั้งของมนุษย์และสัตว์ โดยฟอสเฟตส่วนใหญ่ในแหล่งน้ำในปัจจุบันมีที่มาจากสิ่งมีชีวิต ทั้งจากวัฏจักรธรรมชาติและจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับอาหารหรือปุ๋ย โดยแหล่งน้ำทั่วไปควรมีฟอสเฟตอยู่ที่ 0.05-1 มิลลิกรัม/ลิตร (พันธ์ & ชัยชนะ, 2014)

###### 2.1.1.2 ประโยชน์ของฟอสเฟต

โดยทั่วไปนั้นจะใช้งานฟอสเฟตเป็นธาตุอาหารให้กับพืช และมีการใช้กันมากในอุตสาหกรรมการผลิตเนื้อสัตว์ โดยฟอสเฟตจะช่วยให้สีของเนื้อสัตว์ไม่เปลี่ยนแปลงมาก เพิ่มความชุ่มน้ำของเนื้อสัตว์เพื่อปรับปรุงเนื้อและรสสัมผัส ช่วยป้องกันการเกิดการเหม็นหืนของเนื้อ รวมทั้งช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์



929108882

CD :Thesis 5870154621 thesis / recv: 01082562 10:45:48 / seq: 15

### 2.1.1.3 ผลกระทบต่อสุขภาพอันเนื่องมาจากฟอสเฟต

#### 2.1.1.3-1 การดูดซึมของฟอสฟอรัสเข้าสู่ร่างกาย

ฟอสฟอรัสนั้นสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 เส้นทางคือ

1. การดูดซึมจากระบบทางเดินอาหาร ซึ่งมาจากสิ่งมีชีวิตที่นำมาประกอบเป็นอาหาร
2. การดูดซึมทางผิวหนัง โดยมาจากฟอสเฟตที่เป็นส่วนประกอบปุ๋ย ผงซักฟอก หรือยาฆ่าแมลงกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟต

#### 2.1.1.3-2 พิษของฟอสเฟตต่อร่างกายมนุษย์

เมื่อได้รับฟอสเฟตในปริมาณมากจะมีผลต่อร่างกายในหลายระบบ ได้แก่

1. อาการทางระบบทางเดินอาหาร โดยจะมีอาการคลื่นไส้อาเจียน มีอาการอักเสบในช่องท้อง และท้องเสีย
2. ฟอสฟอรัสในรูปของสารลดแรงตึงผิวก่อให้เกิดอาการแพ้หรือทำให้ภูมิคุ้มกันต่ำลงหากสัมผัสเข้าไปในปริมาณมาก

### 2.1.1.4 เส้นทางการปนเปื้อนของฟอสเฟต

ฟอสเฟตนั้นเป็นไอออนที่มีอยู่ทั่วไปในธรรมชาติ ทั้งบนบกและในน้ำ โดยทั่วไปฟอสเฟตจะถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำแล้วลงสู่ทะเล และจมตัวลงสู่ก้นทะเล โดยอาจมีการหมุนเวียนกลับขึ้นมาบนบกได้บ้าง เช่น การประมง โดยเส้นทางการปนเปื้อนของฟอสเฟตที่เกิดขึ้นจากมนุษย์เกิดได้จากการปนเปื้อนทางน้ำ โดยมาจากการอุตสาหกรรมที่ใช้วัตถุเป็นสังกะสี เช่น โรงงานแปรรูปอาหาร โรงงานผลิตยาฆ่าแมลง โดรนน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการการผลิตจะมีฟอสเฟตปนเปื้อนออกมา หรืออาจมาจากการถูกชะล้างปุ๋ยในแหล่งเกษตรกรรมลงสู่แหล่งน้ำ โดยฟอสเฟตเป็นธาตุอาหารที่สำคัญต่อสิ่งมีชีวิต แต่เมื่อมีปริมาณฟอสเฟตมากเกินไปในแหล่งน้ำ จะส่งผลให้มีการเจริญเติบโตมากขึ้นอย่างผิดปกติของสาหร่าย ซึ่งใช้ฟอสเฟตในกระบวนการหายใจระดับเซลล์ หรือเรียกปรากฏการณ์นี้ว่ายูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพของแหล่งน้ำเมื่อสาหร่ายตายลง โดยจะเป็นการเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ ทำให้จุลินทรีย์มีการใช้ออกซิเจน



929108982

ในแหล่งน้ำเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น เกิดภาวะออกซิเจนต่ำในแหล่งน้ำซึ่งส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ รวมไปถึงสีและกลิ่นที่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์อีกด้วย

## 2.1.2 โครเมต ( $\text{CrO}_4^{2-}$ )

### 2.1.2.1 สมบัติทั่วไปของโครเมต

โครเมตเป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยอะตอมของโครเมียมและออกซิเจน มีมวลโมเลกุล (molecule mass) เท่ากับ 115.992 กรัม/โมล พบได้ทั่วไปในแหล่งน้ำ ในชั้นดินและชั้นหิน แต่ในปัจจุบันโครเมตส่วนใหญ่มีแหล่งที่มาจากการปนเปื้อนในน้ำเสียจากการอุตสาหกรรม เช่น โรงงานฟอกหนัง โรงงานอิเล็กทรอนิกส์ โรงงานที่มีการย้อมสี โดยน้ำทิ้งจากโรงงานควรมีโครเมตไม่เกิน 0.55 มิลลิกรัม/ลิตร (Thompson, Haws, Harris, Gatto, & Proctor, 2010)

### 2.1.2.2 ประโยชน์ของโครเมต

โครเมตนั้นนำไปใช้ในการอุตสาหกรรมหลายประเภท โดยมีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง นำไปผลิตปูนซีเมนต์ หรือนำไปเป็นสีย้อมผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังมีการนำโครเมตไปใช้เป็นตัวตรวจสอบปริมาณเอทานอลอีกด้วย

### 2.1.2.3 ผลกระทบต่อสุขภาพอันเนื่องมาจากโครเมต

#### 2.1.2.3-1 การดูดซึมของโครเมตเข้าสู่ร่างกาย

โครเมียมนั้นสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 เส้นทางคือ

1. การดูดซึมจากระบบทางเดินอาหาร โดยมาจากการปนเปื้อนในแหล่งน้ำ โดยอาจมาจากน้ำเสียของโรงงานที่มีการฟอกหนังหรือผลิตปูนซีเมนต์
2. การดูดซึมทางผิวหนัง โดยมาจากการทำงานที่ต้องสัมผัสกับสารละลายที่มีโครเมตในปริมาณมาก โดยเฉพาะการผลิตสีย้อมอุตสาหกรรม และอาจมาจากสีย้อมบนบรรจุภัณฑ์หรือผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคใช้งานอยู่

### 2.1.2.3-2 พิษของโครเมตต่อร่างกายมนุษย์

เมื่อได้รับโครเมตในปริมาณมากจะมีผลต่อร่างกายในหลายระบบ ได้แก่

1. อาการทางระบบทางเดินอาหาร โดยจะมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดในช่องท้อง ท้องเสีย มีอาการเลือดออกในกระเพาะ
2. อาการทางผิวหนัง เมื่อได้รับสัมผัสโครเมียมในปริมาณมากจะเกิดการกัดกร่อนบนผิวหนัง ระบบทางเดินหายใจเสียหาย ในระยะยาวจะเกิดแผลเรื้อรัง แผลหายช้า

### 2.1.2.4 เส้นทางการปนเปื้อนของโครเมต

โครเมตนั้นมีการใช้งานในอุตสาหกรรมหลายประเภท ซึ่งการปนเปื้อนนั้นอยู่ในรูปน้ำเสียจากกระบวนการผลิต การปนเปื้อนทางน้ำมีที่มาจากการใช้โครเมตในการฟอกหนัง และการใช้โครเมียมเป็นส่วนประกอบในสีอุตสาหกรรม เมื่อสิ้นสุดกระบวนการผลิต น้ำเสียที่มีโครเมตเหลืออยู่จะถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

## 2.1.3 อาร์เซเนต (Arsenate :AsO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)

### 2.1.3.1 สมบัติทั่วไปของอาร์เซเนต

อาร์เซเนตเป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยอะตอมของอาร์เซนิกและออกซิเจน มีมวลโมเลกุล (molecule mass) เท่ากับ 138.905 กรัม/โมล พบได้ทั่วไปในแหล่งน้ำ ในชั้นดินและชั้นหิน แต่ในปัจจุบันโครเมตส่วนใหญ่มีแหล่งที่มาจากการปนเปื้อนในน้ำเสียจากการอุตสาหกรรม เช่น โรงงานผลิตสารกำจัดศัตรูพืช โรงงานอิเล็กทรอนิกส์ โรงงานที่มีการย้อมสี โดยน้ำทิ้งจากโรงงานควรมีโครเมตไม่เกิน 0.46 มิลลิกรัม/ลิตร (Ng, Wang, & Shraim, 2003)



929108882

### 2.1.3.2 ประโยชน์ของอาร์เซเนต

อาร์เซเนตนั้นนิยมใช้ในสมัยก่อนโดยใช้เป็นสารให้สีแดงและสีเหลือง รวมทั้งใช้ในการกำจัดศัตรูพืช โดยอาร์เซเนตจะเข้าไปขัดขวางกระบวนการการใช้พลังงานในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต

### 2.1.3-3 ผลกระทบต่อสุขภาพอันเนื่องมาจากอาร์เซเนต

#### 2.1.3.3-1 การดูดซึมของอาร์เซเนตเข้าสู่ร่างกาย

สารหนูนั้นสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 2 เส้นทางคือ

1. การดูดซึมจากระบบทางเดินอาหาร ในแหล่งน้ำธรรมชาตินั้นมีอาร์เซเนตปนเปื้อนอยู่ในปริมาณน้อย อาร์เซเนตที่ปนเปื้อนจึงอาจมาจากน้ำเสียของโรงงานที่มีการใช้สีย้อม
2. การดูดซึมจากระบบทางเดินหายใจ โดยมาจากงานผลิตแก้วหรือกระบวนการผลิตสารกำจัดศัตรูพืช

#### 2.1.2.3-2 พิษของอาร์เซเนตต่อร่างกายมนุษย์

เมื่อได้รับสารหนูในปริมาณมากจะมีผลต่อร่างกายในหลายระบบ ได้แก่

1. อาการทางระบบทางเดินอาหาร โดยจะมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน มีอาการอักเสบในช่องท้อง และท้องเสีย
2. อาการอื่นๆ เช่น ปัสสาวะเป็นเลือด กล้ามเนื้อเกร็ง ผม่วง ในระยะยาวก่อให้เกิดมะเร็งและโรคหัวใจ



929108882

CD :Thesis 5870154621 thesis / recv: 01082562 10:45:48 / seq: 15

#### 2.1.3.4 เส้นทาง การปนเปื้อนของอาร์เซเนต

อาร์เซเนตนั้นเริ่มมีการค้นพบและนำมาใช้ตั้งแต่สมัยยุคกรีกและโรมัน โดยทั่วไปจะมีอาร์เซเนตปริมาณน้อยอยู่ในธรรมชาติอยู่แล้ว โดยเส้นทาง การปนเปื้อนของอาร์เซเนตที่เกิดขึ้นจากมนุษย์ ได้แก่

1. การปนเปื้อนทางน้ำ โดยมีที่มาจาก การใช้อาร์เซเนตเป็นสารกำจัดศัตรูพืช หรือจากการประกอบการเหมืองแร่ที่มีสารหนูปนอยู่ในสายแร่
2. การปนเปื้อนทางอากาศ โดยมีที่มาจาก การผลิตงานเซรามิก

### 2.2 การกำจัดไอออนลบในน้ำ

การกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสีย นั้น เราต้องคำนึงถึงสภาวะความเหมาะสมของน้ำกับวิธีที่จะใช้ในการบำบัด โดยพิจารณาได้จาก สภาพน้ำก่อนบำบัด สภาพของน้ำที่ต้องการหลังบำบัด ขนาดของระบบบำบัดที่ต้องการ และค่าก่อสร้างกับค่าดำเนินการในการบำบัด โดยวิธีกำจัดไอออนลบ มีดังต่อไปนี้

#### 2.2.1 การกรองผ่านเมมเบรน (Membrane Process)

เป็นการแยกเอาโลหะหนักออกจากน้ำโดยใช้เมมเบรนในการกรองไอออนไม่ให้ผ่านไปกับน้ำ วิธีนี้เรียกว่า รีเวอร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis) โดยวิธีนี้มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงมากเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ แต่วิธีบำบัดนี้ก็มีความง่ายในการก่อสร้างและดำเนินการที่สูงด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ระบบบำบัดยังมีแรงดันในระบบสูงมาก เนื่องจากต้องใช้แรงดันเพื่อดันให้น้ำสามารถแพร่ผ่านเมมเบรนออกไปได้ และยังต้องมีการบำบัดขั้นต้นโดยการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง รวมทั้งกรองเอาอนุภาคแขวนลอยออกเพื่อไม่ให้เมมเบรนเสียหาย

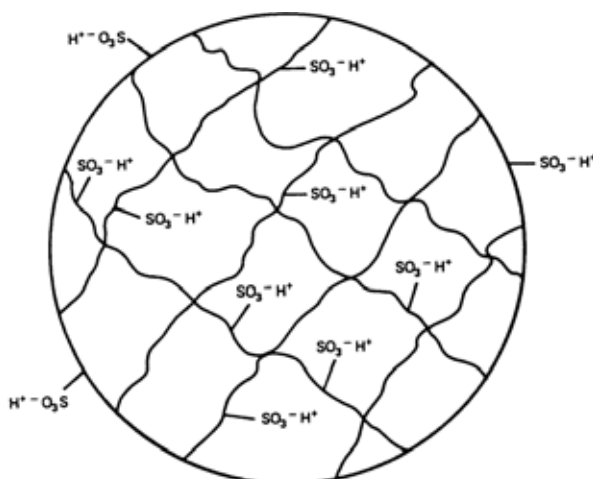


929108882

CD :Thesis 5870154621 thesis / rev: 01082562 10:45:48 / seq: 15

## 2.2.2 การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange)

เป็นกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างของเหลวและของแข็ง เป็นกระบวนการที่ผันกลับได้โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างถาวรเกิดขึ้นบนโครงสร้าง เป็นกระบวนการที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำ นอกจากนี้ยังนิยมใช้เป็นพิเศษในการสังเคราะห์สารเคมี ด้านการแพทย์ กระบวนการทางด้านอาหาร การวิเคราะห์งานด้านอุตสาหกรรม และการเกษตร โดยวัสดุที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนไอออนนั้นจะวัสดุกลุ่มเรซิน (Resin) โดยมีโครงสร้างตัวอย่างดังรูปที่ 1 ซึ่งเป็นลักษณะของเรซินที่ใช้แลกเปลี่ยนไอออนบวก (Wheaton & Lefevre, 2000)



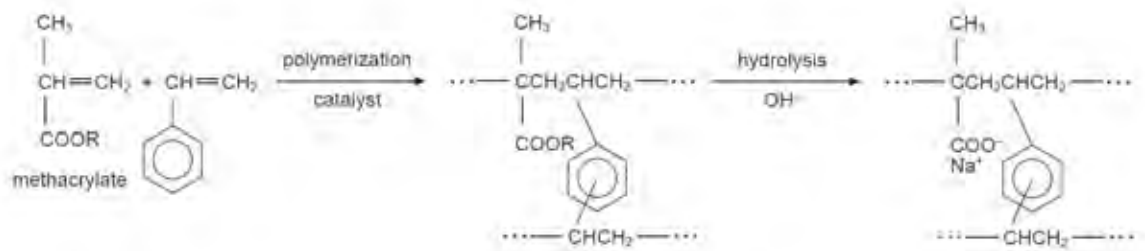
รูปที่ 1 โครงสร้างของเรซินที่มีหมู่ฟังก์ชันและแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวก (Wheaton & Lefevre, 2000)

โดยเรซินจะมีลักษณะโครงสร้างเป็นสายโพลิเมอร์เชื่อมต่อกันเป็นโครงข่าย ทำให้มีความแข็งแรงแต่เปราะ แตกหักง่าย นิยมขึ้นรูปเป็นเม็ดทรงกลม ซึ่งเรซินสำหรับแลกเปลี่ยนประจุบวกนั้นจะสังเคราะห์ขึ้นโดยทำปฏิกิริยากับหมู่ฟังก์ชันของเรซินให้มีขั้วประจุลบเกิดขึ้นในโครงข่าย ซึ่งจะสามารถดึงเอาประจุบวกมาติดอยู่กับโครงข่ายได้ โดยสามารถเห็นตัวอย่างในการสังเคราะห์ในลักษณะนี้ได้ในรูปแบบที่ 2



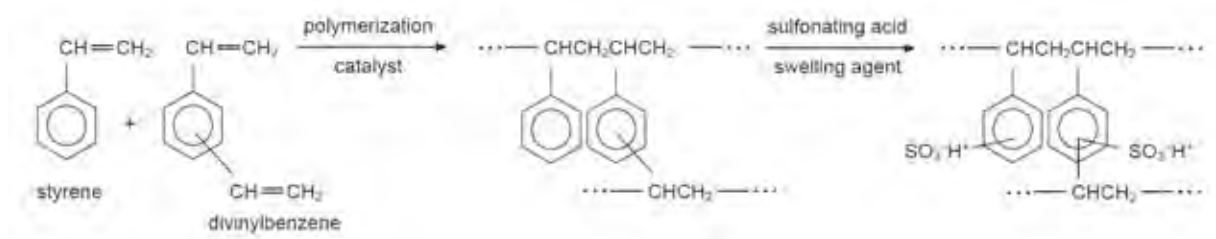
929108882





รูปที่ 2 ปฏิกริยาในการเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันของเรซินให้มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก  
(Wheaton & Lefevre, 2000)

นอกจากนี้เรซินยังสามารถนำไปแลกเปลี่ยนประจุลบได้เช่นกัน โดยทำการเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันบนโครงสร้างของเรซินให้มีประจุบวก เพื่อให้สามารถดึงเอาประจุลบมาติดอยู่กับโครงสร้างได้ โดยสามารถเห็นตัวอย่างในการสเคราะห์ในลักษณะนี้ได้ในรูปแบบที่ 3



รูปที่ 3 ปฏิกริยาในการเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันของเรซินให้มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุลบ  
(Wheaton & Lefevre, 2000)

### 2.3 การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับเป็นปรากฏการณ์ที่โมเลกุลคอลลอยด์ถูกดูดติดและสะสมบนผิวของวัสดุ โดยเกิดได้ในหลายสภาวะ เช่น ของเหลวกับของเหลว ของเหลวกับก๊าซ ของเหลวกับของแข็ง และก๊าซกับของแข็ง ซึ่งโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่ถูกดูดซับเรียกว่า (Adsorbate) และสารที่เป็นตัวดูดซับนั้นเรียกว่า (Adsorbent) โดยความเร็วในการดูดซับจะขึ้นกับพื้นที่ผิวสัมผัส และความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับในอีกตัวกลาง

### 2.3.1 กลไกการดูดซับ

ในกลไกการดูดซับนั้นแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption) และการดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption) โดยการดูดซับนั้นเกิดขึ้นมาจากแรงดึงดูดระหว่างผิวของวัสดุกับสารที่ถูกดูดซับ มีมากกว่าพลังงานจลน์ของสารที่ถูกดูดซับในตัวกลาง

การดูดซับทางกายภาพนั้น จะเกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลหรือแรงแวนเดอร์วาลส์ ซึ่งมีอยู่ 2 ชนิดคือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic force) โดยการดูดซับในลักษณะนี้ สามารถแยกเอาสิ่งดูดซับออกเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้ง่ายเนื่องจากไม่มีการทำปฏิกิริยาทางเคมี การดูดซับในลักษณะนี้นั้น สารจะถูกดูดซับเกาะติดบนผิวของวัสดุได้หลายชั้น (Multilayer) โดยขึ้นกับความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับ เมื่อความเข้มข้นมากขึ้นจะมีจำนวนชั้นของสารถูกดูดซับมากขึ้น

การดูดซับทางเคมีจะเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารที่ถูกดูดซับกับผิวของวัสดุ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกับตัวถูกดูดซับเกิดเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น ซึ่งส่งผลให้กำจัดตัวถูกดูดซับออกจากวัสดุดูดซับได้ยากเพราะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างที่ไม่สามารถผันกลับได้ (Irreversible Reaction) โดยการดูดซับในลักษณะนี้จะเกิดขึ้นได้เพียงชั้นเดียว (Monolayer) เนื่องจากในกระบวนการการดูดซับนั้นมีการทำปฏิกิริยาที่พื้นผิว เมื่อมีการดูดซับครบทั่วพื้นผิวแล้ว จะไม่มีโครงสร้างที่สามารถทำปฏิกิริยาเพื่อดูดซับสารเพิ่มได้อีก

### 2.3.2 อัตราการดูดซับของโมเลกุล (Rate of Molecular Transfer)

ในการดูดซับของวัสดุดูดซับนั้น อัตราเร็วในการดูดซับจะขึ้นกับอัตราการถูกดูดซับของโมเลกุล โดยการเคลื่อนย้ายของโมเลกุลเข้าสู่วัสดุนั้นมีคล้ายขั้นตอน ซึ่งขั้นตอนที่ช้าที่สุดในกระบวนการจะเป็นขั้นที่กำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ สำหรับขั้นตอนการดูดซับของวัสดุที่มีรูพรุนนั้นจะมี 3 ขั้นตอนดังนี้

2.3.2.1 การเคลื่อนย้ายหลัก (Bulk Transport) เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลของตัวถูกละลายเริ่มแพร่จากสารละลายเข้าสู่ชั้นผิวหน้าของของเหลวที่ล้อมรอบตัววัสดุดูดซับ

2.3.2.2 การเคลื่อนย้ายผ่านฟิล์ม (Film Transport) เป็นช่วงที่โมเลกุลของตัวถูกละลายแพร่ผ่านเข้าสู่ชั้นฟิล์มของวัสดุดูดซับ โดยขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ส่งผลจำกัดอัตราการดูดซับขั้นตอนหนึ่ง

2.3.2.3 การเคลื่อนย้ายภายในอนุภาค (Intraparticle Transport) เป็นการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของตัวถูกละลายเข้าสู่รูพรุนของวัสดุดูดซับ และทำให้เกิดการดูดซับขึ้น ซึ่งขั้นนี้เป็นอีกขั้นหนึ่งที่ส่งผลจำกัดอัตราการดูดซับ

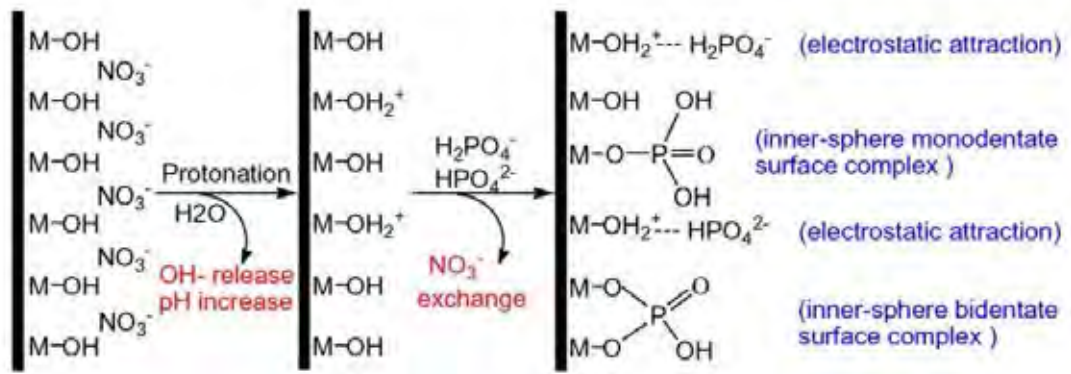
## 2.4 วัสดุดับเบิลเลเยอร์ไฮดรอกไซด์ (Layered Double Hydroxides : LDHs)

วัสดุดับเบิลเลเยอร์ไฮดรอกไซด์หรือ LDHs เป็นวัสดุที่มีไอออนสองและสามบวกในโครงสร้าง โดยอยู่ในรูปแผ่นโครงผลึกออกไซด์ที่ซ้อนกันเป็นชั้น โดยทั่วไปเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์จะมีสูตรโครงสร้าง  $[M_{1-x}^{2+}N_x^{3+}(OH)_2]^{x+}[(X^{n-})_{x/n} \cdot yH_2O]^{x-}$  โดย x แทนไอออนลบ และ M แทนโลหะหนัก สำหรับโครงสร้างเชิงกายภาพนั้น จะมีการเรียงตัวของโลหะออกไซด์ในลักษณะเป็นแผ่นซ้อนกันหลายชั้น ทำให้มีพื้นที่ว่างอยู่ระหว่างชั้นของโครงสร้าง เนื่องจากในโครงสร้างมีหมู่ไฮดรอกไซด์อยู่มากจึงทำให้ช่องว่างระหว่างชั้นมีประจุเป็นบวก ทำให้สามารถดึงดูดเอาไอออนลบในสารละลายให้มาติดติดกับขั้วประจุของหมู่ฟังก์ชันในโครงสร้างได้ (Li et al., 2016)

ภายในโครงสร้างของ LDHs นั้นมีประจุบวกที่ช่วยดึงดูดประจุลบเข้ามาในโครงสร้าง ดังแสดงในรูปที่ 4



929108882

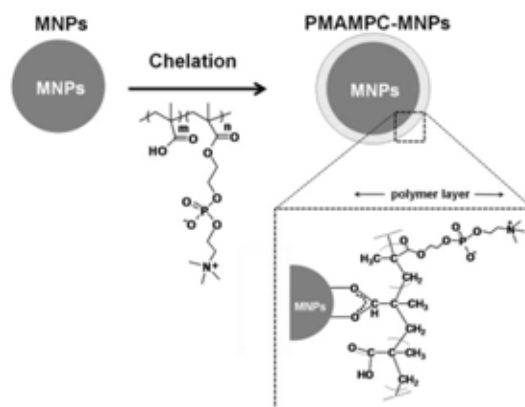


รูปที่ 4 กลไกการแพร่ผ่านของไอออนลบเข้าสู่โครงสร้างของเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอก (Li et al., 2016)

## 2.5 วัสดุเหล็กดับเบิลเลเยอร์ไฮดรอกไซด์ (Layered Double Hydroxides accumulating on Magnetite : LDHs-Fe)

อนุภาคแม่เหล็กเป็นวัสดุในกลุ่มแมกนีไทต์ (Magnetite) โดยเป็นวัสดุที่มีอำนาจแม่เหล็กในตัวเอง ซึ่งโดยปกตินั้นโลหะหนักที่มักจะมาเป็นองค์ประกอบในวัสดุชนิดนี้คือ เหล็ก โคบอลต์ และนิกเกิล เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic) ซึ่งเอื้อให้โครงสร้างสามารถแสดงอำนาจแม่เหล็กออกมาได้ดี เมื่อโลหะข้างต้นอยู่ในรูปโครงสร้างจะแสดงคุณสมบัติเป็น (Super Paramagnetic: SP) แทน เนื่องจากมีการจัดเรียงตัวใหม่ของโมเลกุล จึงไม่ใช่รูปแบบบริสุทธิ์หรืออยู่ในภายในโครงสร้างที่เหมาะสม ซึ่งทำการเสริมประสิทธิภาพโดยนำเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์มาเกาะบริเวณพื้นผิวของอนุภาคแม่เหล็ก

นอกจากนี้ ยังพบว่าวัสดุประเภทนี้นิยมนำไปใช้ในการบำบัดไอออนของประจุลบเช่นกัน โดยมักนิยมบำบัดสารจำพวกสีย้อมที่มีประจุลบ และยังมีการนำไปประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์โดยปรับปรุงหมู่ฟังก์ชันของโครงสร้างให้ดึงเอาตัวสารเคมีที่เราต้องการไปส่งยังเป้าหมาย หรือใช้ในการแยกเอาสารผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกจากสารละลายโดยใช้อำนาจแม่เหล็กในการนำทาง ตัวอย่างเช่นการผลิตยาที่แยกออกจากสารตั้งต้นได้ยาก จะสามารถแยกได้โดยใช้หมู่ฟังก์ชันของอนุภาคแม่เหล็กนาโนจับกับตัวผลิตภัณฑ์ แล้วทำการแยกเอาวัสดุที่ดูดซับตัวยาลงแล้วออกจากสารละลายเพื่อนำไปใช้งานต่อไปได้ โดยการปรับปรุงหมู่ฟังก์ชัน ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การปรับปรุงหมู่ฟังก์ชันของอนุภาคแม่เหล็กนาโนในทางการแพทย์ (บุญยงช บุญไชย, อรรวรรณ สุขสมบัติ, & ปิยะพร ณ หนองคาย, 2557)

## 2.5 สมบัติทางแม่เหล็ก

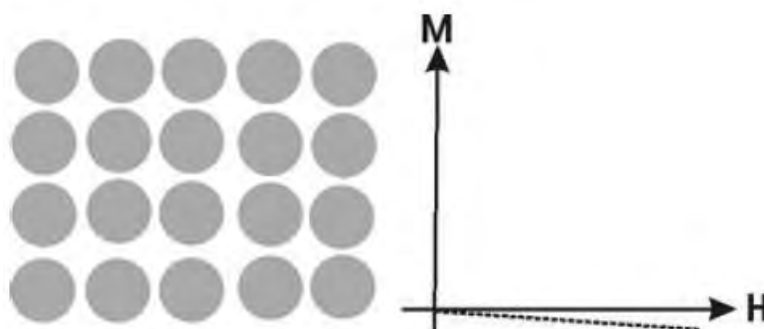
สมบัติทางแม่เหล็ก เป็นสมบัติของสารประกอบที่แผ่นสนามแม่เหล็กออกมา โดยสนามแม่เหล็กเกิดได้จากการโคจรของอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสของอะตอม หรือการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน สำหรับอิเล็กตรอนที่อยู่รอบนิวเคลียสนั้น เมื่ออิเล็กตรอนมีการหมุนรอบตัวเอง จะเกิดแรงทางแม่เหล็กขึ้นในทิศทางตามกฎมือขวา ส่วนอิเล็กตรอนที่มีการเคลื่อนที่นั้นจะโคจรรอบอะตอม ทำให้เกิดแรงทางแม่เหล็กขึ้นในทิศทางตามกฎมือขวาเช่นกัน (นุชรีย์ ชมเชย, 2553) โดยเราสามารถจำแนกวัสดุที่มีสมบัติทางแม่เหล็กได้ 3 กลุ่มดังนี้

### 2.5.1 ไดอะแมกเนติก (Diamagnetic material)

เป็นคุณสมบัติทางแม่เหล็กที่มีอำนาจทางแม่เหล็กน้อยที่สุด เมื่อมีสนามแม่เหล็กภายนอกมากระทำต่อตัววัตถุ จะทำให้อิเล็กตรอนที่หมุนรอบนิวเคลียสของอะตอมเสียสมดุล ส่งผลให้เกิดขั้วแม่เหล็กขึ้นภายในอะตอม ซึ่งมีค่าน้อยมากและมีทิศทางตรงกันข้ามกับสนามแม่เหล็กภายนอก ทำให้มีคุณสมบัติค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของวัตถุเป็นลบดังรูปที่ 6 ตัวอย่างวัสดุในกลุ่มนี้ ได้แก่ คิวตซ์ เกลือหิน แคลไซต์ เป็นต้น (นุชรีย์ ชมเชย, 2553)



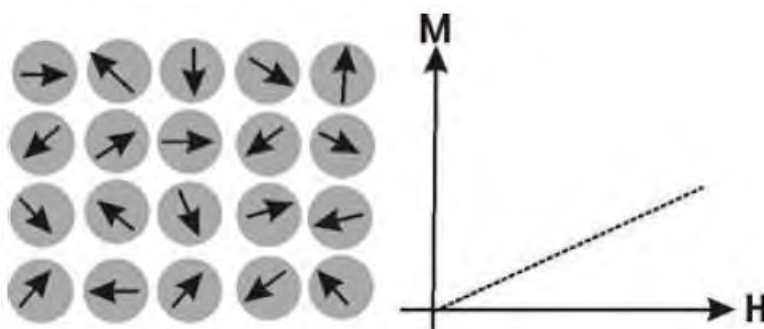
929108982



รูปที่ 6 การจัดเรียงตัวของโมเมนต์แม่เหล็กของวัสดุไดอะแมกเนติก (นุชรีย์ ชมเชย, 2553)

### 2.5.2 พาราแมกเนติก (Paramagnetic material)

เป็นสารประกอบที่มีโมเมนต์แม่เหล็กถาวรประกอบอยู่ แต่การเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ เมื่อมีการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กจากภายนอกจะเกิดการเรียงตัวของโมเมนต์แม่เหล็ก แต่ถ้าหากไม่มีการเหนี่ยวนำจากภายนอก วัสดุจะไม่มีอำนาจแม่เหล็กอีกต่อไป โดยวัสดุจะมีคุณสมบัติค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของวัสดุอยู่ระหว่าง  $10^{-6}$  ถึง  $10^{-2}$  ดังรูปที่ 7 ตัวอย่างวัสดุในกลุ่มนี้ได้แก่ วัสดุโลหะทั่วไป (นุชรีย์ ชมเชย, 2553)

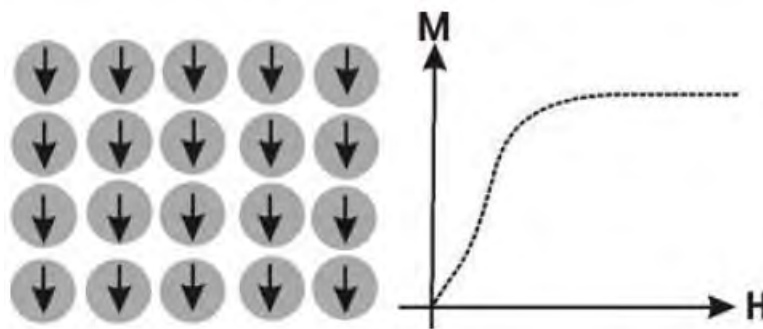


รูปที่ 7 การจัดเรียงตัวของโมเมนต์แม่เหล็กของวัสดุพาราแมกเนติก (นุชรีย์ ชมเชย, 2553)

### 2.5.3 เฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic material)

เป็นสารประกอบที่มีอำนาจแม่เหล็กไม่ว่าจะมีการเหนี่ยวนำจากภายนอกหรือไม่ โดยสารประกอบในกลุ่มนี้จะมีคุณสมบัติค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของวัสดุมากกว่า 100 ขึ้นไป สำหรับวัสดุที่เป็นเฟอร์โรแมกเนติกนั้นจะประกอบด้วยธาตุ เหล็ก (Fe) โคบอลต์ (Co) นิกเกิล (Ni) กาโดลิเนียม (Gd) และไดสพรอเซียม (Dy) โดยวัสดุเฟอร์โรแมกเนติกยังแบ่งย่อยได้อีก 3 ประเภทคือ ประเภทเฟอร์โรแมกเนติกบริสุทธิ์ (Pure ferromagnetism) เป็นวัสดุที่มีการเรียงของโมเมนต์

แม่เหล็กไปในทิศทางเดียวกัน มีค่าสภาพรับได้ทางแม่เหล็กสูงดังรูปที่ 8 วัสดุในกลุ่มนี้จะประกอบด้วย ธาตุ เหล็ก นิกเกิล และโคบอลต์ ต่อมาคือวัสดุแอนติเฟอร์โรแมกเนติก(Antiferromagnetism) เป็น วัสดุที่มีการเรียงตัวของโมเมนต์แม่เหล็กไปในทิศทางตรงกันข้ามกันในปริมาณที่เท่ากันพอดี ทำให้มีค่า สภาพรับได้ทางแม่เหล็กเป็นศูนย์ วัสดุในกลุ่มนี้คือ ฮีมาไทต์ ในลำดับสุดท้ายคือวัสดุเฟอร์ริแมกเนติก (Ferrimagnetism) เป็นวัสดุที่มีการเรียงตัวของโมเมนต์แม่เหล็กไปในทิศทางตรงกันข้ามกัน แต่มี ปริมาณไม่เท่ากัน จึงทำให้วัสดุมีอำนาจแม่เหล็ก วัสดุที่มีคุณสมบัตินี้คือ เฟอร์ไรต์ โดยมีสูตรทางเคมี คือ  $XOFe_2O_3$  เมื่อ X คือ Fe, Mn, Co, Ni, Cu, Mg, Zn เป็นต้น (นุชรีย์ ชมเชย, 2553)



รูปที่ 8 การจัดเรียงตัวของโมเมนต์แม่เหล็กของวัสดุเฟอร์โรแมกเนติก (นุชรีย์ ชมเชย, 2553)

## 2.6 การสังเคราะห์วัสดุขนาดนาโนด้วยกระบวนการทางเคมี

ในการสังเคราะห์วัสดุระดับนาโนนั้นจะมีกระบวนการในการสังเคราะห์อยู่ 2 รูปแบบดังนี้

### 2.6.1 การสังเคราะห์โดยกระบวนการตกตะกอนร่วม

ในกระบวนการนี้จะเป็นการตกตะกอนโดยอาศัยอุณหภูมิหรือความดันของระบบในการควบคุมการตกตะกอน โดยกลไกในการตกตะกอนจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การเกิดนิวเคลียส (Nucleation) และการเพิ่มขนาด (Growth) หากสภาวะที่ทำให้การสังเคราะห์มีอัตราในการเกิดนิวเคลียสสูง แต่มีอัตราการเพิ่มขนาดต่ำ จะทำให้อนุภาคที่ได้จากการสังเคราะห์มีขนาดเล็ก สำหรับตัวแปรที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพ และความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ ความเข้มข้นของสารตั้งต้น ค่าพีเอช และอัตราในการผสมเข้ากันของสารละลาย ในการทำให้สารละลายมีความอิ่มตัวยิ่งยวดนั้น จะช่วยให้มีการเกิดนิวเคลียสและการเติบโตของอนุภาคได้มากขึ้น โดยการทำให้เกิด

สารละลายอิมิตัวยิ่งยวดนั้นจะอาศัยอุณหภูมิจนกว่าจะเกิดการควบแน่น หากสารละลายมีค่าการละลายลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เราสามารถเพิ่มอุณหภูมิเพื่อบังคับให้สารละลายเข้าสู่สภาวะอิมิตัวยิ่งยวดได้ เป็นต้น

นอกจากการใช้อุณหภูมิแล้วเรายังสามารถใช้ความดันที่เหมาะสมเพื่อช่วยให้สารละลายมีความอิมิตัวยิ่งยวดมากขึ้น และมีอีกวิธีหนึ่งในการทำให้สารละลายมีความอิมิตัวยิ่งยวดได้ โดยการเติมสารเคมีที่ลดความสามารถในการละลายของอนุภาคลง เมื่ออนุภาคจับกับสารเคมีที่เติมเข้าไปจะมีสภาพโครงสร้างที่ละลายน้ำได้น้อยลง ทำให้มีความอิมิตัวยิ่งยวดของสารละลายเพิ่มมากขึ้น แต่ถ้าเติมสารเคมีเหล่านี้เร็วเกินไปจะทำให้เกิดการตกตะกอนสูง ซึ่งส่งผลให้มีโอกาสที่จะมีสิ่งเจือปนเข้ามาอยู่ในเนื้อของอนุภาคได้ นอกจากการควบคุมข้างต้นแล้ว เรายังสามารถเครื่องอตราโซนิกในการช่วยลดขนาดของอนุภาคที่ตกตะกอน และยังช่วยให้อนุภาคมีขนาดที่สม่ำเสมอขึ้นได้อีกด้วย

### 2.6.2 การสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโซล-เจล (Sol-Gel)

ในกระบวนการนี้จะเปลี่ยนสถานะของสารละลายจากของเหลว (Sol) ไปอยู่ในรูปสารแขวนลอยขนาดอนุภาคประมาณ 0.1-1 ไมครอน ซึ่งอยู่ในรูปของของแข็ง (Gel) ซึ่งกระบวนการนี้มีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความบริสุทธิ์สูง

ในกระบวนการโซล-เจลจะมีปฏิกิริยาอยู่ 3 ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องคือ ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) การกลั่นด้วยน้ำ (Water Condensation) และ การกลั่นด้วยแอลกอฮอล์ (Alcohol Condensation) โดยมีปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา คือ ค่าพีเอช ตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ และอัตราส่วนของน้ำกับโลหะ ซึ่งการควบคุมปัจจัยเหล่านี้จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติและโครงสร้างที่แตกต่างกัน (Brinker & Scherer, 2013)

### 2.6.3 การสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโซลโวเทอร์มอล (Solvothermal)

ในกระบวนการโซลโวเทอร์มอลจะเป็นการทำความคุมระบบด้วยความร้อนและความดัน โดยมีตัวอย่างในธรรมชาติคือการเกิดแร่ผลิตต่างๆ โดยจะทำการเพิ่มความดันให้กับระบบ ซึ่งทำให้เราสามารถเพิ่มอุณหภูมิให้กับปฏิกิริยาได้สูงกว่าจุดเดือดของตัวทำละลาย ซึ่งช่วยให้สามารถควบคุมปฏิกิริยาได้มากขึ้นกว่าวิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนในสภาวะเปิด (Tang, Qian, Zeng, & Yang, 2003)



929108982



## 2.7 ทบทวนงานวิจัย

Chao และคณะ (2018) ศึกษาการดูดซับ Cr(VI) จากน้ำใต้ดินโดยใช้วัสดุ Mg/Al-LDHs โดยใช้ประสิทธิภาพในการเปรียบเทียบ พบว่าวัสดุดูดซับโครเมตได้มากขึ้นเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมตเพิ่มสูงขึ้นจาก 100 ถึง 900 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยอัตราการดูดซับสอดคล้องกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับ 2 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการดูดซับนั้นได้รับผลกระทบจากค่าพีเอชที่เปลี่ยนไป วัสดุมีกลไกการดูดซับแบบแลงเมียร์

Wang และคณะ (2014) ศึกษาการใช้วัสดุ Fe(II)Fe(III)-LDHs เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการย่อยสลายสารเมทิลีนบลู พบว่าสามารถย่อยสลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรได้ทั้งหมดภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง ที่ค่าพีเอชที่ 3 โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีอันดับปฏิกิริยาคลายกับอันดับปฏิกิริยาอันดับที่สอง และในขั้นการย่อยสลายนั้นพบว่าค่าพีเอชของสารละลายจะลดต่ำลง

Luo และคณะ (2019) ศึกษาการดูดซับอาร์เซนิตและฟลูออไรด์โดยใช้วัสดุ Mg/Al LDHs และ La-Mg/Al LDHs ซึ่งเป็นวัสดุที่นำไปทำการปรับปรุงประสิทธิภาพด้วยการเผาที่ 450 องศาเป็นเวลา 24 ชั่วโมงพร้อมผสมแลนทาไนด์ลงไปด้วย พบว่าแลนทาไนด์มีการเข้าไปเปลี่ยนโครงสร้างและพื้นผิวของ LDHs ซึ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับไอออนลบ โดยพบว่าวัสดุที่ได้สามารถรักษาประสิทธิภาพในการดูดซับในการนำกลับมาใช้ใหม่ได้มากกว่า 5 ครั้ง

Hong และคณะ (2019) ศึกษาการดูดซับฟอสเฟตโดยใช้วัสดุ Mg/Al LDHs-AC เป็นตัวอิเล็กโทรด ซึ่งพบว่าวัสดุมีความจุในการดูดซับที่ 67.92 มิลลิกรัมต่อกรัม ที่ความต่างศักย์ 1.2 โวลต์ ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟอสเฟตที่ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีอัตราการดูดซับสอดคล้องกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับ 2 ส่วนกลไกการดูดซับนั้นเข้ากับโมเดลของฟรอนดลิช

Giovannelli และคณะ (2012) ศึกษาอำนาจแม่เหล็กของวัสดุดูดซับ LDHs โครงสร้าง  $Ni_xMn_x(OH)_2(CO_3)_{x/2} \cdot nH_2O$  พบว่าวัสดุดูดซับมีอำนาจแม่เหล็ก 2 แบบผสมกันคือ Ferromagnetic กับ Antiferromagnetic ในส่วนของ Ferromagnetic นั้นเกิดจากหมุนของ  $Ni^{2+}$  และ  $Mg_2Mn$  เป็นตัวแสดงถึงอำนาจแม่เหล็กแบบ Antiferromagnetic ในโครงสร้างของวัสดุนั้น การเพิ่มขึ้นของ Mn ใน



929108882

CT :Thesis 5870154621 thesis / recv: 01082562 10:45:48 / seq: 15

สูตรเคมีโครงสร้างจะทำให้อำนาจแม่เหล็ก Ferromagnetic ลดลง ในการศึกษาต่อไปในอนาคต คาดว่าการเพิ่มโลหะทรานซิชันในสูตรเคมีโครงสร้างเพื่อให้มีอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างไอออนบวกสองและบวกสาม จะทำให้มีการเสริมแรงทางแม่เหล็กกันมากขึ้นในโครงสร้าง

Chen และคณะ (2012) ศึกษาการสังเคราะห์วัสดุดูดซับ  $Fe_3O_4/ZnCr-LDH$  จากน้ำเสียโรงงานอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้คลื่นไมโครเวฟในการช่วยสังเคราะห์ เพื่อการดูดซับสีย้อม Methyl Orange (MO) พบว่าโลหะหนักในน้ำเสียโรงงานอิเล็กทรอนิกส์นั้นลดลงกว่าร้อยละ 99 หลังจากการสังเคราะห์ เมื่อทำการดูดซับ MO จะได้ประสิทธิภาพในการดูดซับสูงสุดที่ค่าพีเอช 6.4-7.3 ระยะเวลา 35-59 นาที และอุณหภูมิที่ 112-142 องศา จะได้ประสิทธิภาพในการกำจัดที่ร้อยละ 81.23 โดยวัสดุดูดซับเมื่อใช้งานแล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยใช้ Advanced Oxidation Technology

Wan และคณะ (2017) ศึกษาการดูดซับฟอสเฟตจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ Mg/Al LDHs ผสมกับ biochar พบว่าวัสดุผสมที่มี Mg/Al LDHs ผสมอยู่ 40% มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงสุดที่ 95% ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งมีอัตราการดูดซับสอดคล้องกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับ 2 ซึ่งวัสดุชนิดนี้สามารถนำไปรีไซเคิลได้โดยการใช้เป็นปุ๋ยที่จะปลดปล่อยฟอสเฟตออกมา ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในอุตสาหกรรมเพาะปลูก

จากงานวิจัยข้างต้นพบว่าวัสดุ LDHs นั้นสามารถสังเคราะห์ได้จากไอออนสองและสามบวก เริ่มต้นได้หลายแบบ ซึ่งส่งผลให้มีโครงสร้างและประสิทธิภาพในการดูดซับแตกต่างกัน โดยส่วนมากวัสดุ LDHs จะนำมาใช้ในการดูดซับไอออนลบ แต่ก็สามารถนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้เช่นกัน ซึ่งค่าพีเอชมีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ งานวิจัยที่พบในปัจจุบันจะนิยมนำวัสดุ LDHs มาปรับปรุงโครงสร้างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับ ทั้งการผสม LDHs กับวัสดุชนิดอื่น หรือการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของ LDHs โดยตรง นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อใช้ไอออนที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ LDHs จะทำให้วัสดุมีอำนาจแม่เหล็กในตัวเองได้



929108982

CU Thesisis 5870154621 thesisis / revv: 01082562 10:45:48 / seq: 15

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 วัสดุอุปกรณ์ และสารเคมี

##### 3.1.1 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์

1. เครื่อง AAS (Atomic Adsorption Spectrophotometer)
2. เครื่อง XRD (X-ray Diffractometer)
3. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope)
4. เครื่อง FT-IR (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer)
5. เครื่อง ICP (Inductively Coupled Plasma)
6. เครื่องวัดค่าพีเอช (pH meter)
7. เครื่องวัดคุณสมบัติทางแม่เหล็ก (Vibrating-Sample Magnetometer)
8. เครื่องเขย่า (Shaker Machine)
9. เครื่องกวนสาร (Hotplate Stirrer)
10. เครื่องกวนสารแบบใบพาย (Paddle Stirrer)
11. เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)
12. เครื่องล้างอัลตราโซนิค (Ultrasonic Cleaner Sonicator)
13. เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง (4-digit Balance)
14. ตัวกรองเซมิซิดยาขนาด 0.22 ไมครอน
15. กระบอกปฏิบัติการความดันสูง (Hydrothermal Autoclave)
16. เครื่องฉีดจ่ายสาร (Syringe Pump)
17. อุปกรณ์เครื่องแก้วทั่วไป



929108882

CU Thesisis 5870154621 thesisis / recv: 01082562 10:45:48 / seq: 15

### 3.1.2 วัตถุดิบและสารเคมี

1. ไอออน(III)ไนเตรต (Iron(III) Nitrate,  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ )
2. เฟอริกคลอไรด์ (Ferric Chloride,  $\text{FeCl}_3$ )
3. ยูเรีย (Urea,  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ )
4. กลูโคส (Glucose,  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ )
5. เอทิลีนไกลคอล (Ethylene glycol,  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ )
6. อะลูมิเนียมคลอไรด์ (Aluminium Chloride,  $\text{AlCl}_3$ )
7. แมกนีเซียมคลอไรด์ (Magnesium Chloride,  $\text{MgCl}_2$ )
9. โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium Carbonate,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )
10. โพแทสเซียมไดโครเมต (Potassium Dichromate,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ )
11. ไดโซเดียมไฮโดรเจนอาร์เซนิก (Disodium Hydrogen Arsenate,  $\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )
12. โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Sodium Dihydrogen Phosphate,  $\text{H}_2\text{NaPO}_4$ )
13. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide,  $\text{NaOH}$ )
14. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid 37%,  $\text{HCl}$ )

### 3.2 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

#### 3.2.1 น้ำเสียสังเคราะห์

##### 3.2.1-1 น้ำเสียสังเคราะห์ฟอสเฟต

ทำการผสมโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ลงในน้ำกลั่น จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปเก็บในตู้เย็นเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

##### 3.2.1-2 น้ำเสียสังเคราะห์โครเมต

ทำการผสมโพแทสเซียมไดโครเมต ลงในน้ำกลั่น จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปเก็บในตู้เย็นเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป



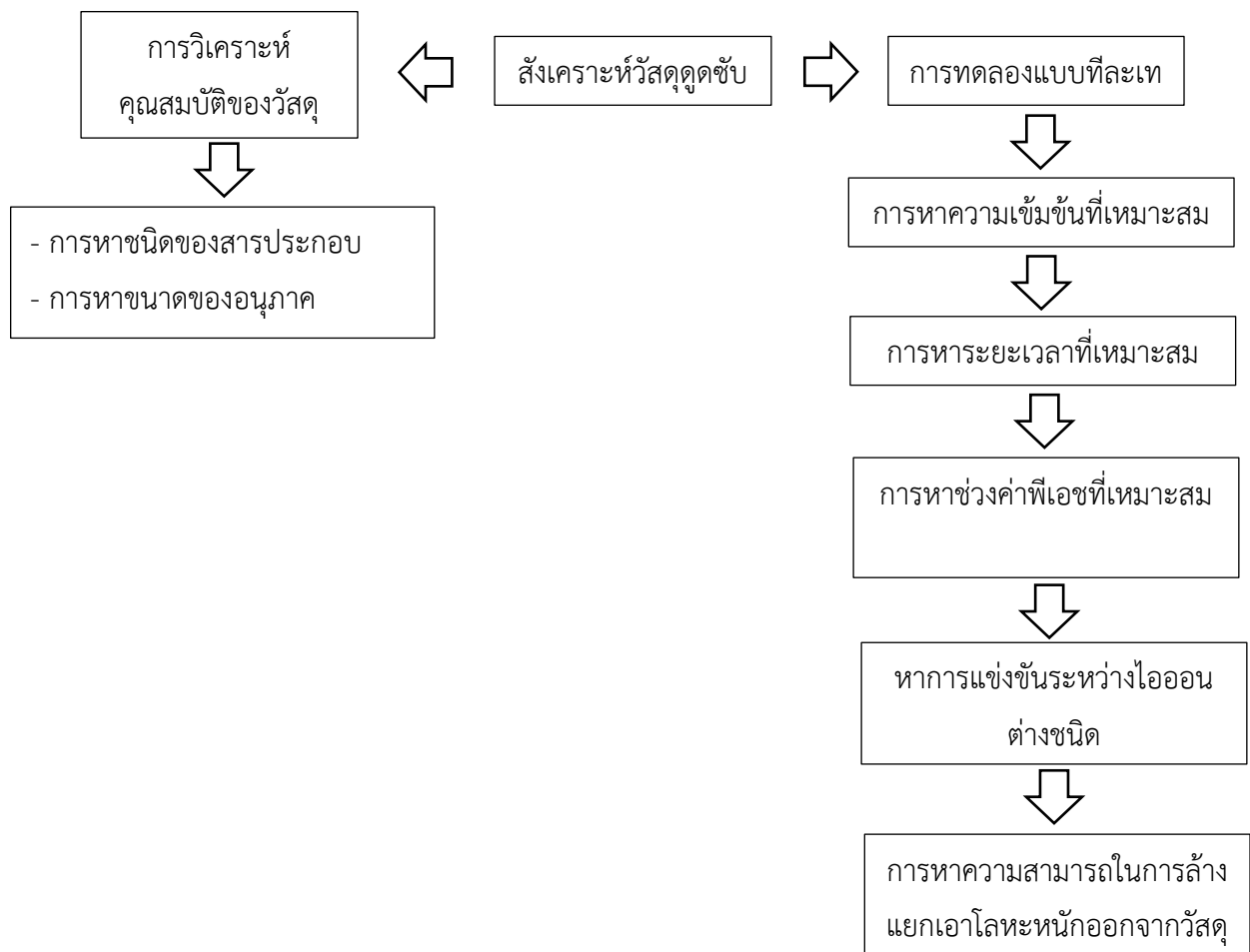
929108882

### 3.2.1-3 น้ำเสียสังเคราะห์อาร์เซนิก

ทำการผสมไดโซเดียมไฮโดรเจนอาร์เซนิก ลงในน้ำกลั่น จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปเก็บในตู้เย็นเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

### 3.3 การดำเนินการทดลอง

สำหรับขั้นตอนการดำเนินการทดลองโดยสรุปนั้นแสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 9 ซึ่งมีรายละเอียดในการทดลองดังนี้



รูปที่ 9 แผนผังการดำเนินการทดลอง

### 3.3.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุ

#### 3.3.1-1 การหาหมู่ฟังก์ชันของวัสดุดูดซับ

เป็นการนำตัววัสดุไปหาหมู่ฟังก์ชันโดยใช้เทคนิคการกระตุ้นสารด้วยพลังงานแสง เมื่อคลื่นแสงอินฟราเรดผ่านเข้าสู่วัสดุ พันธะเคมีภายในวัสดุจะดูดกลืนพลังงานที่ค่าความยาวคลื่นค่าหนึ่ง แล้วแปรผลความยาวคลื่นออกมาเป็นสเปกตรัม โดยสรแต่ละชนิดมีสเปกตรัมที่มีลักษณะเฉพาะตัว จึงสามารถนำมาเปรียบเทียบเพื่อบ่งชี้ชนิดของสารได้ โดยกระบวนการนี้ใช้เครื่อง FT-IR (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer)

#### 3.3.1-2 การหาชนิดของสารประกอบและโครงสร้างผลึกของวัสดุดูดซับ

เป็นการนำวัสดุไปวัดหาชนิดของสารประกอบและโครงสร้างผลึกโดยใช้รังสีเอกซ์ที่ทราบความยาวคลื่นส่งไปตกกระทบบนวัสดุ ซึ่งจะทำให้อิเล็กตรอนเกิดการเลี้ยวเบนและสะท้อนเข้าสู่ตัวรับข้อมูล โดยการสะท้อนและการเลี้ยวเบนของรังสีจะช่วยให้เราทราบถึงขนาด ชนิดของสารประกอบ และลักษณะของโครงสร้างผลึกได้ โดยกระบวนการนี้ใช้เครื่อง XRD (X-ray Diffractometer)

#### 3.3.1-3 การหาขนาดของอนุภาควัสดุดูดซับ

เป็นการหาขนาดของอนุภาคโดยใช้ลำอนุภาคอิเล็กตรอนส่องผ่านตัวอย่าง จากนั้นลำอิเล็กตรอนที่ผ่านวัตถุไปจะถูกเลนส์ขยายภาพแล้วตกทอดไปสู่จอรับ ซึ่งจะเกิดภาพของวัตถุปรากฏขึ้น โดยกระบวนการนี้จะใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Scanning Electron Microscope)

#### 3.3.1-4 การหาอำนาจแม่เหล็กของวัสดุดูดซับ

เป็นการหาอำนาจแม่เหล็กโดยใช้การสั่นของตัวอย่างที่มีอำนาจแม่เหล็กที่อยู่ระหว่างขดลวด เมื่อมีการเคลื่อนที่ของวัสดุจะทำให้สนามแม่เหล็กของวัสดุไปเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในขดลวดต่อเวลาที่เปลี่ยนไป โดยกระบวนการนี้จะใช้เครื่องวัดคุณสมบัติทางแม่เหล็ก (Vibrating-Sample Magnetometer)



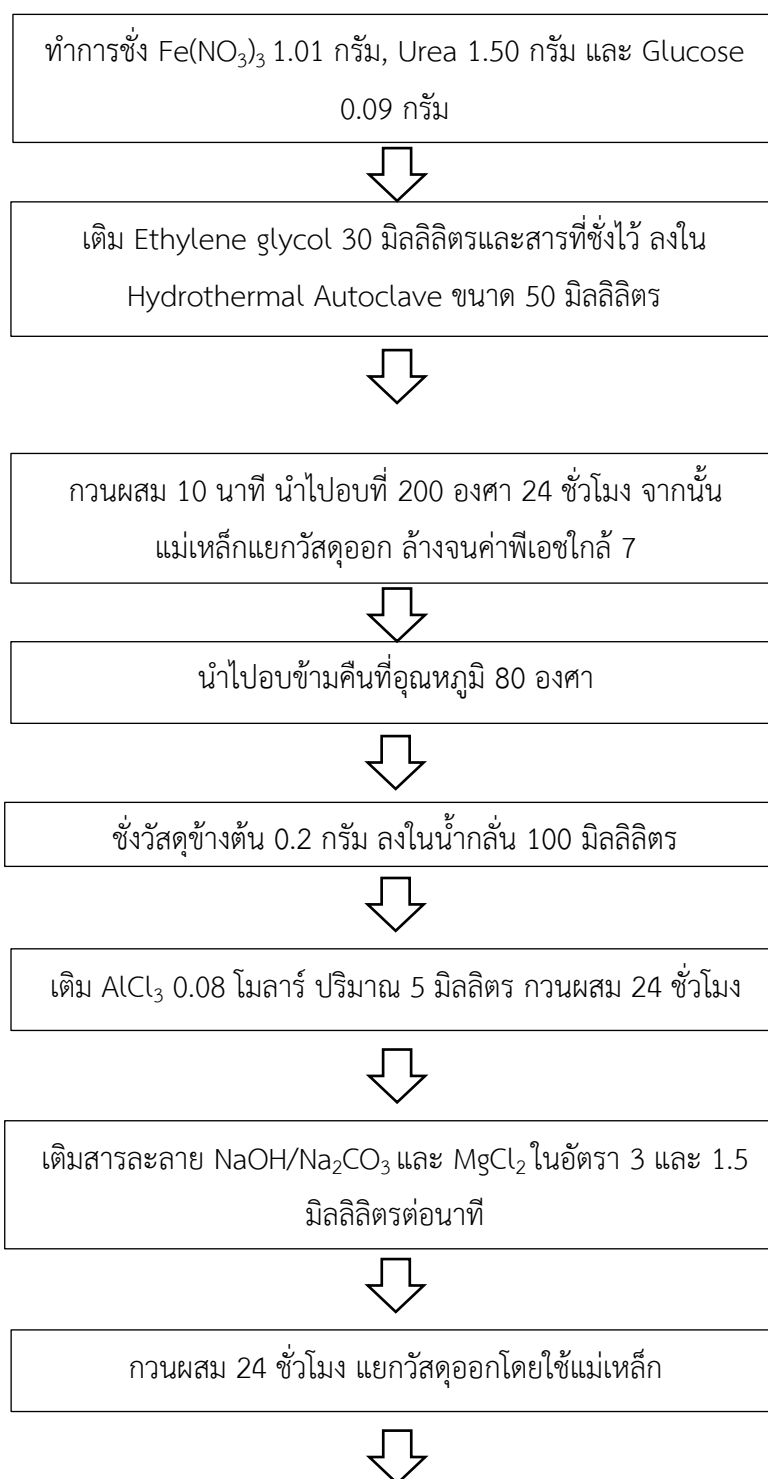
929108882

### 3.3.2 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุคูดซั้บ

การทดลองขั้นนี้เป็นการสังเคราะห์วัสดุคูดซั้บ LDHs-Fe โดยประยุกต์ขั้นตอนในการเตรียมวัสดุของ Zheng (2012) และการแนะนำของ NANOTEC โดยมีขั้นตอนและวิธีการทดลองโดยสรุปดังรูปที่ 10 ซึ่งมีรายละเอียดในการทดลองดังนี้

1. ทำการเตรียมวัสดุคูดซั้บ LDHs-Fe โดยชั่ง  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  1.01 กรัม, Urea 1.50 กรัม และ Glucose 0.09 กรัม
2. นำสารที่ชั่งได้มาเติมด้วย Ethylene glycol 30 มิลลิลิตร ผสมลงใน Hydrothermal Autoclave ขนาด 50 มิลลิลิตร
3. กวนผสมสารละลายที่ได้ 10 นาที จากนั้นนำไปอบในตู้อบที่ 200 องศา เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
4. นำสารละลายออกจากตู้อบ รอให้เย็นลงจนสามารถเปิดภาชนะได้ ใช้แม่เหล็กคูดแยกเอาวัสดุออกจากสารละลาย
5. ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นเพื่อกำจัดไอออนที่เหลือจนค่าพีเอชประมาณ 7 แล้วนำตะกอนที่ได้ไปอบข้ามคืนที่อุณหภูมิ 60 องศา
7. ทำการบันทึกน้ำหนักของตะกอนแล้วนำไปบดให้ละเอียด จากนั้นนำตะกอนไปเก็บในตู้อบความชื้นเพื่อนำไปใช้ในการทดลองต่อไป
8. ชั่งวัสดุข้างต้นปริมาณ 0.2 กรัม ลงในปิเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ตามด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร
9. เติม  $\text{AlCl}_3$  0.08 โมลาร์ ปริมาณ 5 มิลลิลิตร กวนผสมด้วยเครื่องกวนสารแบบใบพายเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
10. เติมสารละลาย  $\text{NaOH}/\text{Na}_2\text{CO}_3$  0.08 โมลาร์ อัตราส่วน 3 ต่อ 1 และ  $\text{MgCl}_2$  ด้วยเครื่องฉีดจ่ายสารในอัตรา 3 และ 1.5 มิลลิลิตรต่อนาที
11. กวนผสมด้วยเครื่องกวนสารแบบใบพายเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นแยกวัสดุโดยใช้แม่เหล็กคูดแยกเอาวัสดุออกจากสารละลาย
12. ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นเพื่อกำจัดไอออนที่เหลือจนค่าพีเอชประมาณ 7 แล้วนำตะกอนที่ได้ไปอบข้ามคืนที่อุณหภูมิ 60 องศา

13. ทำการบันทึกน้ำหนักของตะกอนแล้วนำไปบดให้ละเอียด จากนั้นนำตะกอนไปเก็บในตู้ดูดความชื้นเพื่อนำไปใช้ในการทดลองต่อไป





ล้างจนค่าพีเอชใกล้เคียง 7 แล้วนำไปอบข้ามคืนที่อุณหภูมิ 80 องศา



นำวัสดุที่ได้ไปใช้ในการทดลองลำดับถัดไป

### รูปที่ 10 แผนผังขั้นตอนการสังเคราะห์วัสดุ LDHs-Fe

#### 3.3.4 ขั้นตอนการทดลองแบบทีละเท

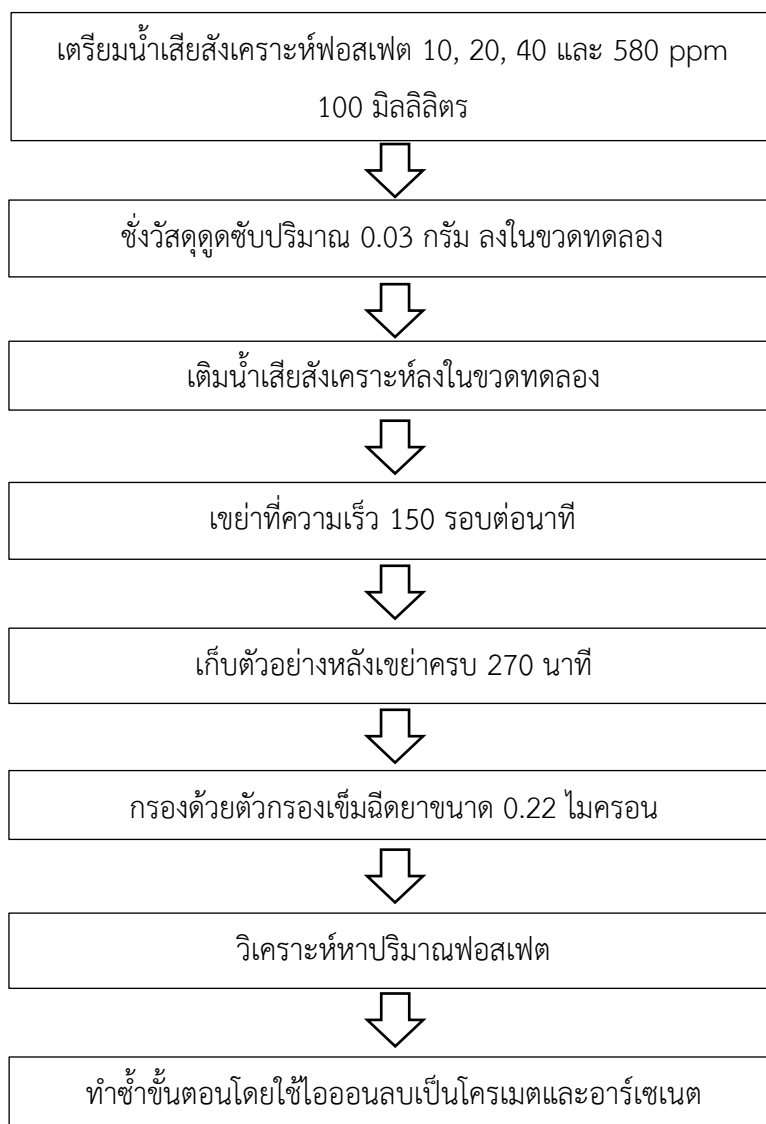
การทดลองในขั้นนี้เป็นการทดสอบวัสดุดูดซับ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไอออนลบ 3 ชนิด ได้แก่  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  และ  $\text{AsO}_4^{3-}$  โดยทำการหาความจุในการดูดซับระยะเวลาที่เหมาะสม ค่าพีเอชที่เหมาะสม การแข่งขันของโลหะหนักต่างชนิดกันในการดูดซับ และความสามารถในการล้างโลหะหนักออกของวัสดุดูดซับ ซึ่งมีรายละเอียดในการทดลองดังนี้

##### 3.3.4-1 การหาความจุในการดูดซับของวัสดุดูดซับ

ในขั้นการทดลองนี้เป็นการทดสอบหาความจุในการดูดซับของวัสดุดูดซับ โดยมีขั้นตอนและวิธีการทดลองโดยสรุปดังรูปที่ 11 ซึ่งมีรายละเอียดในการทดลองดังนี้

1. ทำการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีฟอสเฟตความเข้มข้น 10, 20, 40 และ 580 ppm ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
2. ชั่งวัสดุดูดซับปริมาณ 0.03 กรัม ตามจำนวนของตัวอย่าง แล้วทำการผสมวัสดุดูดซับเข้ากับน้ำเสียสังเคราะห์ในขวดรูปชมพู่
3. นำตัวอย่างที่ได้ไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 270 นาที
4. นำตัวอย่างที่ได้ไปกรองเอาวัสดุดูดซับออกด้วยตัวกรองเข็มฉีดยาขนาด 0.22 ไมครอน จากนั้นเก็บเอาส่วนของสารละลายที่กรองได้ไว้
5. นำสารละลายที่ได้ไปตรวจวัดหาปริมาณฟอสเฟต
6. ทำการทดลองขั้นที่ 1-6 ซ้ำ โดยเปลี่ยนชนิดไอออนลบเป็นโครเมตและอาร์เซนิกโดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 20 ppm และวัสดุดูดซับ 0.015 กรัม





รูปที่ 11 แผนผังการทดลองหาความจุของวัสดุตุ้ดซั้บ



929108882

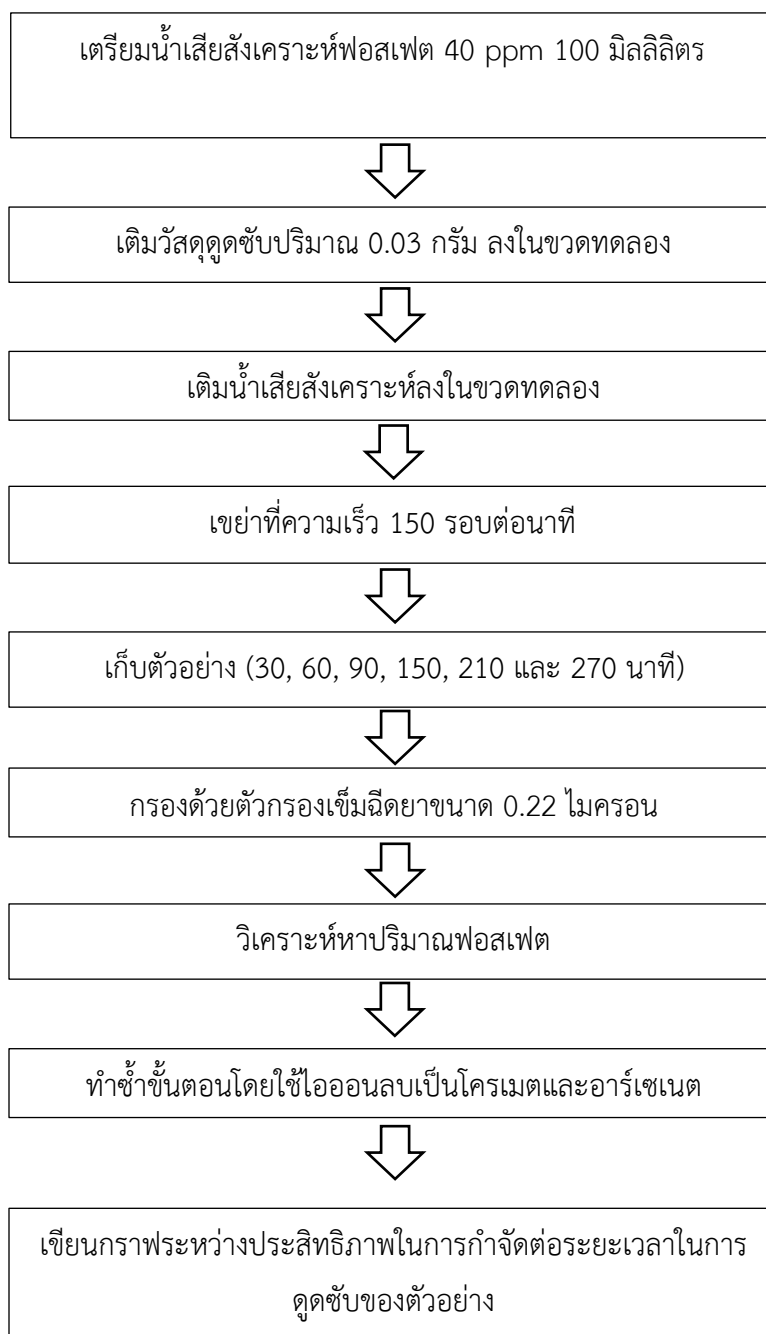
### 3.3.4-2 การหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับของวัสดุดูดซับ

ในขั้นการทดลองนี้เป็นการทดสอบหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับของวัสดุดูดซับ โดยมีขั้นตอนและวิธีการทดลองโดยสรุปดังรูปที่ 12 ซึ่งมีรายละเอียดในการทดลองดังนี้

1. ทำการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีฟอสเฟตความเข้มข้น 40 ppm ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
2. ชั่งวัสดุดูดซับปริมาณ 0.03 กรัม แล้วทำการผสมวัสดุดูดซับเข้ากับน้ำเสียสังเคราะห์
3. นำไปเขย่าด้วยด้วยเครื่องเขย่าสารที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 30, 60, 90, 150, 210 และ 270 นาที
4. นำตัวอย่างที่ได้ไปกรองเอาวัสดุดูดซับออกด้วยตัวกรองเข็มฉีดยาขนาด 0.22 ไมครอน จากนั้นเก็บเอาส่วนของสารละลายที่กรองได้ไว้
5. นำสารละลายที่ได้ไปตรวจวัดหาปริมาณฟอสเฟต
6. เขียนกราฟระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟต ต่อช่วงระยะเวลาในการดูดซับตัวอย่าง
7. ทำการทดลองขั้นที่ 1-6 ซ้ำ โดยเปลี่ยนชนิดไอออนลบเป็นโครเมตและอาร์เซนิกโดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 20 ppm และวัสดุดูดซับ 0.015 กรัม



929108882



รูปที่ 12 แผนผังการทดลองหาระยะเวลาที่เหมาะสมของวัสดุดูดซับ



929108882

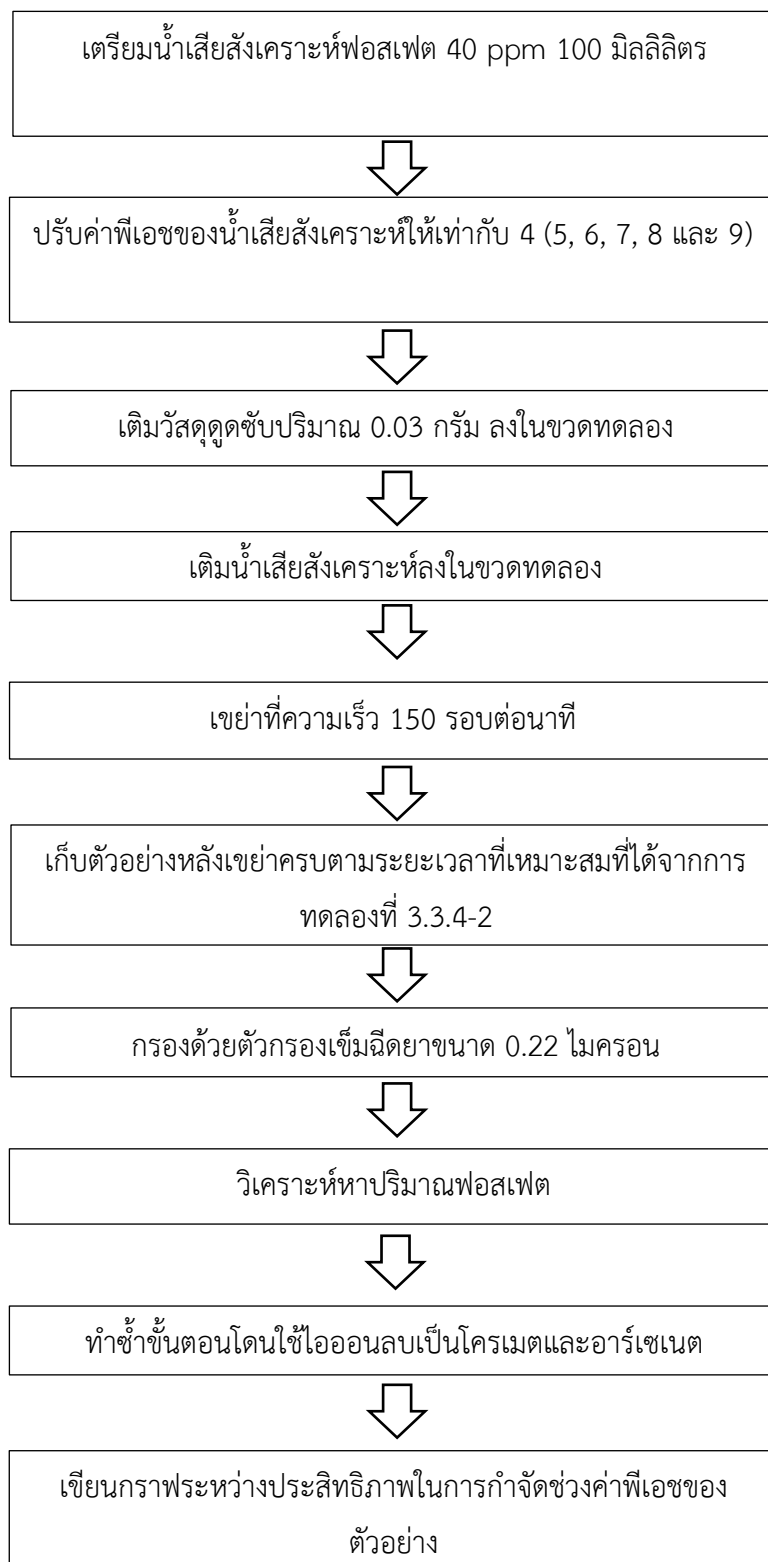
### 3.3.4-3 การหาช่วงค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับของวัสดุดูดซับ

ในขั้นการทดลองนี้เป็นการทดสอบหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับของวัสดุดูดซับ โดยมีขั้นตอนและวิธีการทดลองโดยสรุปดังรูปที่ 13 ซึ่งมีรายละเอียดในการทดลองดังนี้

1. ทำการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีฟอสเฟตความเข้มข้น 40 ppm ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ตามจำนวนของช่วงค่าพีเอชที่เหมาะสมที่ต้องการทดลอง
2. ทำการปรับค่าพีเอชโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ได้ช่วงค่าพีเอชที่ 4, 5, 6, 7, 8 และ 9
3. ชั่งวัสดุดูดซับปริมาณ 0.03 กรัม ตามจำนวนของตัวอย่าง แล้วทำการผสมวัสดุดูดซับเข้ากับน้ำเสียสังเคราะห์
4. นำตัวอย่างที่ได้ไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 3.3.4-2
5. นำตัวอย่างที่ได้ไปกรองเอาวัสดุดูดซับออกด้วยตัวกรองเข็มฉีดยาขนาด 0.22 ไมครอน จากนั้นเก็บเอาส่วนของสารละลายที่กรองได้ไว้
6. นำสารละลายที่ได้ไปตรวจวัดหาปริมาณฟอสเฟต
7. เขียนกราฟระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟต ต่อช่วงค่าพีเอชของตัวอย่าง
8. ทำการทดลองขั้นที่ 1-7 ซ้ำ โดยเปลี่ยนชนิดไอออนลบเป็นโครเมตและอาร์เซนิกโดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 20 ppm และวัสดุดูดซับ 0.015 กรัม



929108982



รูปที่ 13 แผนผังการทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับ

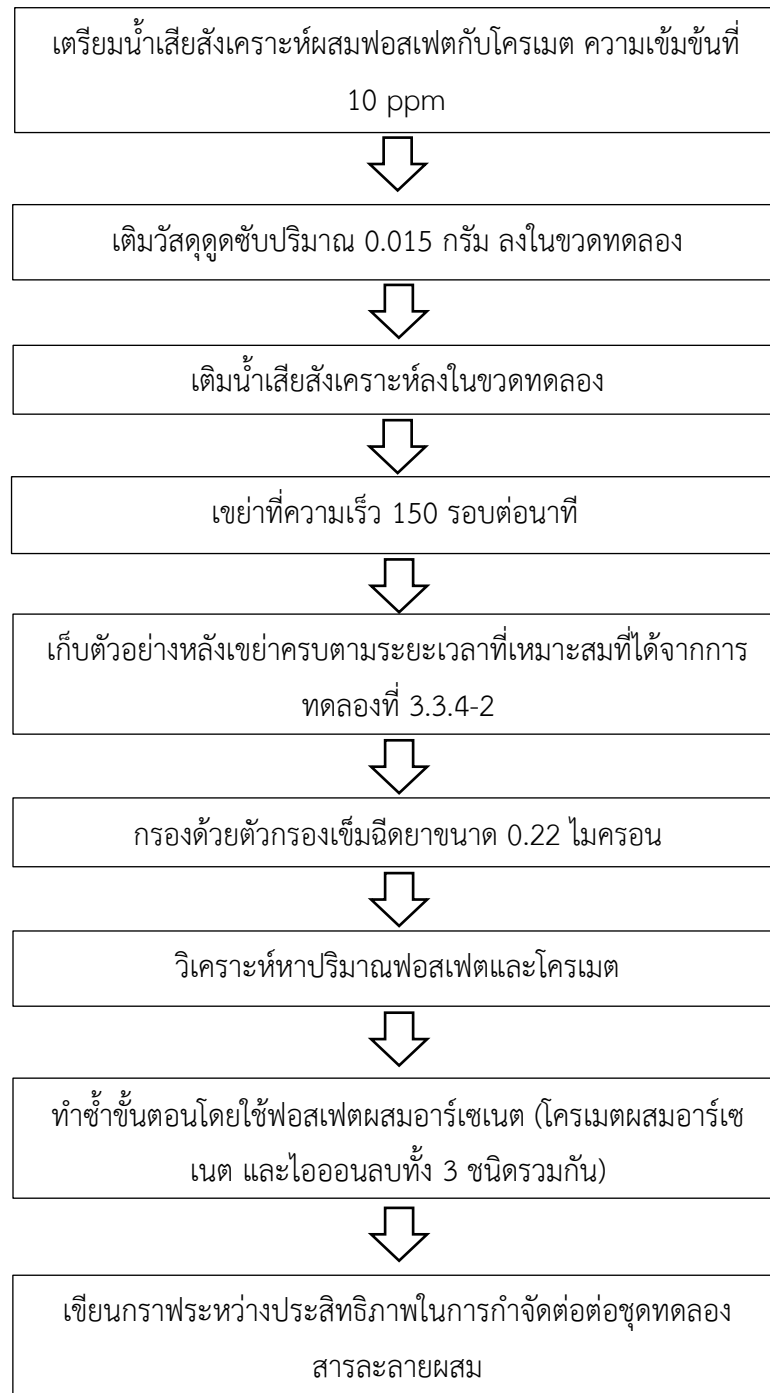
### 3.3.4-4 การหาการแข่งขันของโลหะหนักในการถูกดูดซับโดยวัสดุดูดซับ

ในขั้นการทดลองนี้เป็นการทดสอบหาการแข่งขันของโลหะหนักหลายชนิดในสารละลายเดียวกันในการถูกดูดซับโดยวัสดุดูดซับ โดยมีขั้นตอนและวิธีการทดลองโดยสรุปดังรูปที่ 14 ซึ่งมีรายละเอียดในการทดลองดังนี้

1. ทำการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีฟอสเฟตและโครเมต ในความเข้มข้นที่ 10 ppm ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นจำนวน 3 ซ้ำ
2. ชั่งวัสดุดูดซับปริมาณ 0.015 กรัม ตามจำนวนของตัวอย่าง แล้วทำการผสมวัสดุดูดซับเข้ากับน้ำเสียสังเคราะห์
3. นำตัวอย่างที่ได้ไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 3.3.4-2
4. นำตัวอย่างที่ได้ไปกรองเอาวัสดุดูดซับออกด้วยตัวกรองเข็มฉีดยาขนาด 0.22 ไมครอน จากนั้นเก็บเอาส่วนของสารละลายที่กรองได้ไว้
5. นำสารละลายที่ได้ไปตรวจวัดหาปริมาณฟอสเฟตและโครเมต
6. เขียนกราฟระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนลบแต่ละชนิด ต่อชุดทดลองสารละลายผสม
7. ทำการทดลองขั้นที่ 1-6 ซ้ำ โดยเปลี่ยนชนิดโลหะหนักที่ใช้เป็นฟอสเฟตและอาร์เซนิต โครเมตและอาร์เซนิต และไอออนลบทั้ง 3 ชนิดรวมกัน



929108982



รูปที่ 14 แผนผังการทดลองหาประสิทธิภาพในการดูดซับไอออนผสม



### 3.3.4-5 การทดสอบการล้างแยกเอาไอออนลบออกจากวัสดุดูดซับ

ในขั้นการทดลองนี้เป็นการทดสอบหาความสามารถของวัสดุดูดซับในการแยกเอาโลหะหนักที่ดูดซับไว้ได้ออกมา โดยมีขั้นตอนและวิธีการทดลองโดยสรุปดังรูปที่ 15 ซึ่งมีรายละเอียดในการทดลองดังนี้

1. ทำการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีฟอสเฟตความเข้มข้น 40 ppm ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
2. ชั่งวัสดุดูดซับปริมาณ 0.03 กรัม แล้วทำการผสมวัสดุดูดซับเข้ากับน้ำเสียสังเคราะห์
3. นำตัวอย่างที่ได้ไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง
4. นำตัวอย่างที่ได้ไปกรองเอาวัสดุดูดซับออกด้วยตัวกรองเข็มฉีดยาขนาด 0.22 ไมครอน จากนั้นเก็บเอาส่วนของสารละลายที่กรองได้ไว้
5. นำสารละลายที่ได้ไปตรวจวัดหาปริมาณฟอสเฟต
6. ใส่วัสดุดูดซับที่ได้กับสารละลายไซเตียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
7. นำตัวอย่างที่ได้ไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง
8. ล้างวัสดุด้วยน้ำกลั่นจนค่าพีเอชเข้าใกล้ 7 แล้วนำตะกอนที่ได้ไปอบข้ามคืนที่อุณหภูมิ 60 องศา
9. ทำการบันทึกน้ำหนักของตะกอนแล้วนำไปบดให้ละเอียด จากนั้นนำตะกอนไปเก็บในตู้ดูดความชื้นเพื่อนำไปใช้ในการทดลองต่อไป
10. ทำการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีฟอสเฟตความเข้มข้น 40 ppm ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
11. ชั่งวัสดุดูดซับปริมาณ 0.015 กรัม แล้วทำการผสมวัสดุดูดซับเข้ากับน้ำเสียสังเคราะห์
12. นำตัวอย่างที่ได้ไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง



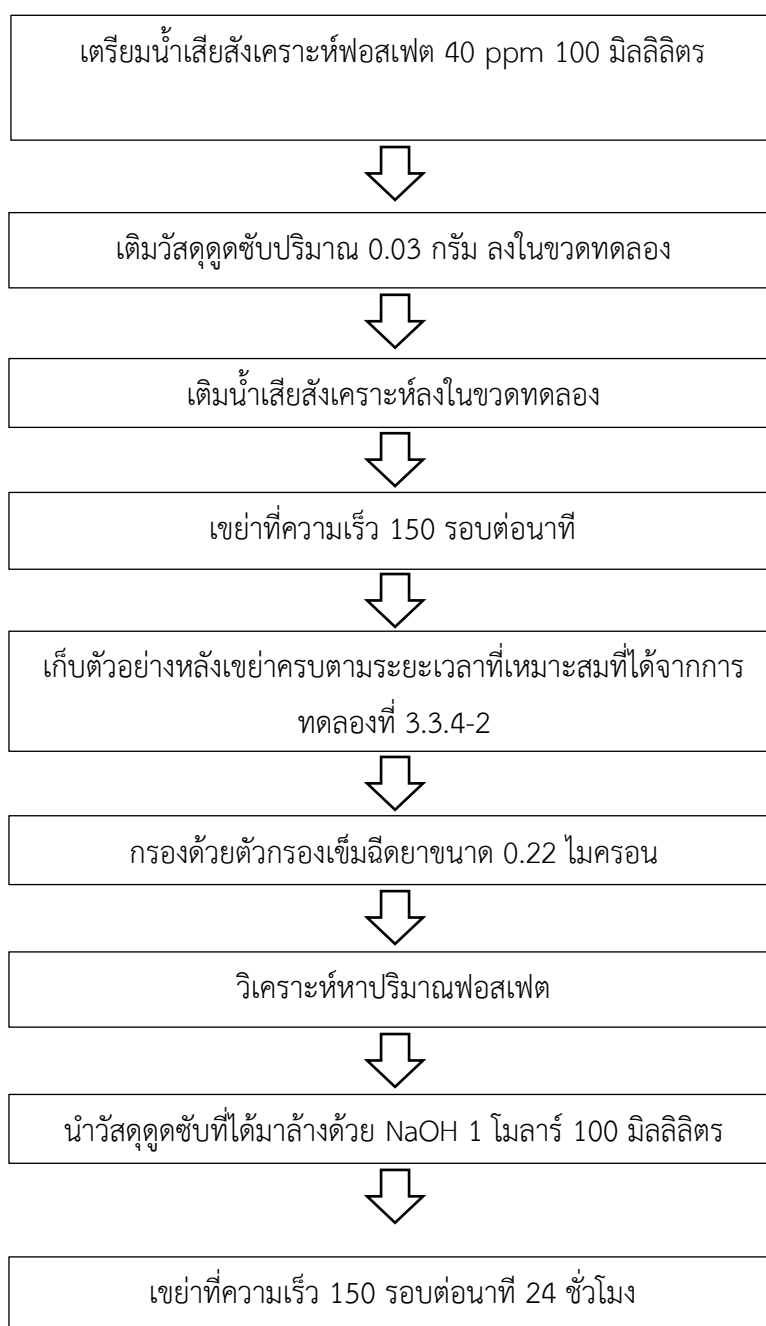
929108882

CD :Thesis 5870154621 thesis / rev: 01082562 10:45:48 / seq: 15

13. นำตัวอย่างที่ได้ไปกรองเอาวัสดุคูดซึบออกด้วยตัวกรองเข็มฉีดยาขนาด 0.22 ไมครอน จากนั้นเก็บเอาส่วนของสารละลายที่กรองได้ไว้

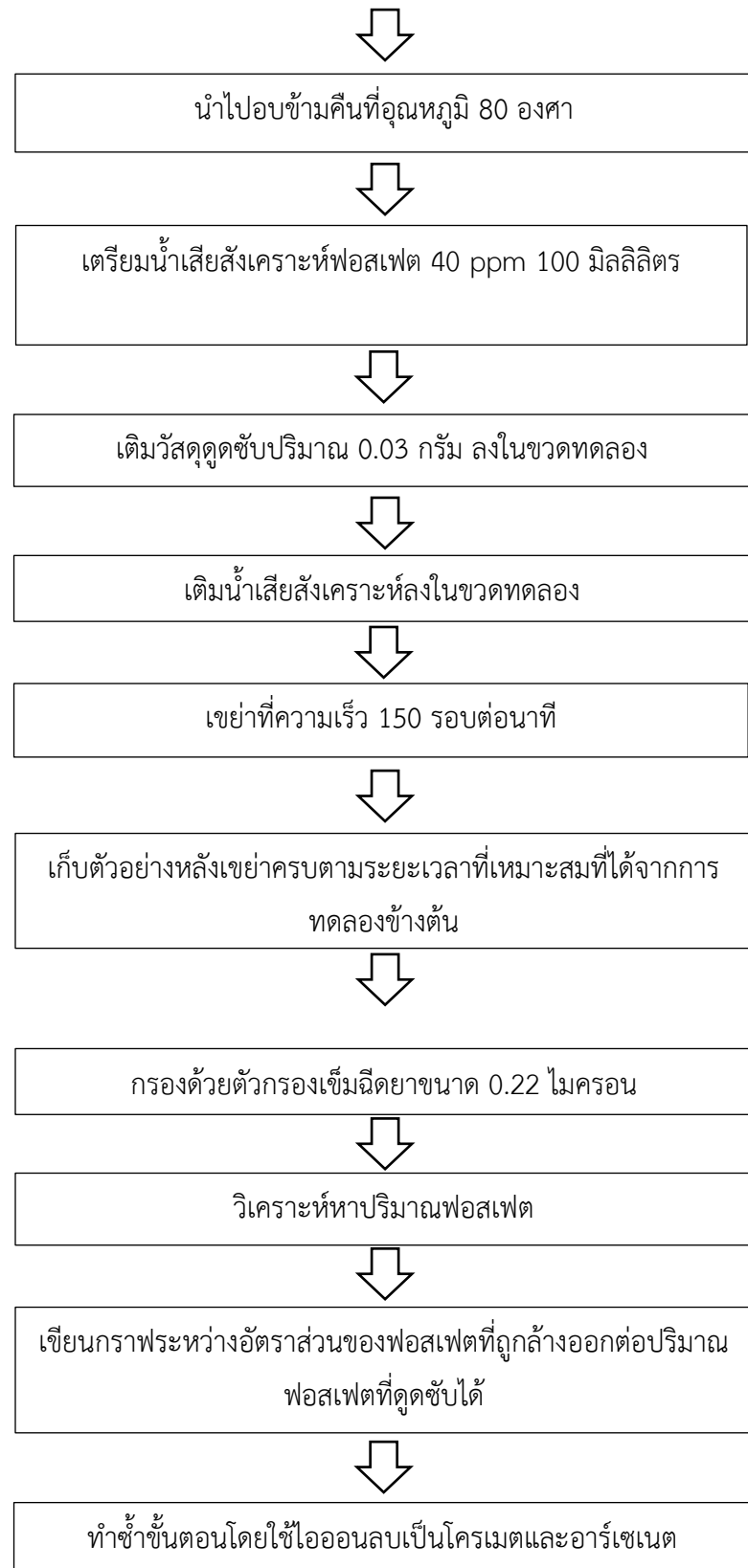
14. นำสารละลายที่ได้ไปตรวจวัดหาปริมาณฟอสเฟต

15. ทำการทดลองขั้นที่ 1-14 ซ้ำ โดยเปลี่ยนชนิดไอออนลบเป็นโครเมต และอาร์เซนิกโดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 20 ppm และวัสดุคูดซึบ 0.03 กรัม



929108982

CU Thesisis 5870154621 thesisis / recv: 01082562 10:45:48 / seq: 15



รูปที่ 15 แผนผังขั้นตอนการทดลองการล้างแยกไอออนลบออกจากวัสดุ

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

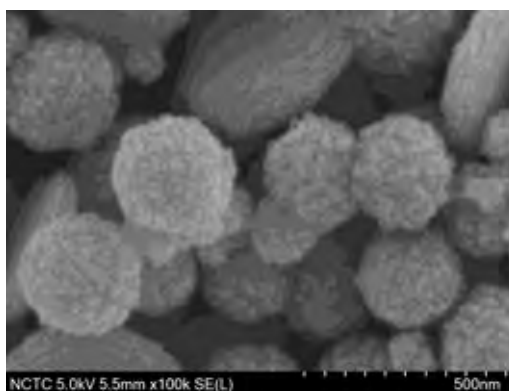
#### 4.1 การเตรียมวัสดุดูดซับ

##### 4.1.1 ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมวัสดุดูดซับ

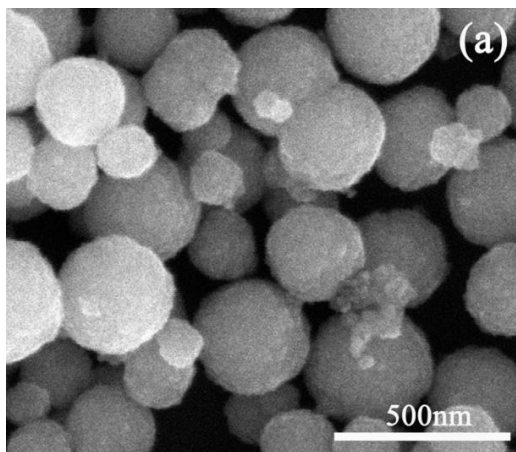
สำหรับการเตรียมวัสดุดูดซับเหล็กเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ มีสภาวะที่ต้องควบคุมให้เหมาะสม เพื่อให้เกิดการเกาะตัวของวัสดุดูดซับบนอนุภาคแม่เหล็ก โดยได้ผลการทดลองหาสภาวะดังนี้

##### 4.1.1.1 ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอนุภาคแม่เหล็ก

ในช่วงแรกของการทดลองนั้น ได้ทดลองโดยนำสารตั้งต้นตามที่งานวิจัยในกลุ่มวัสดุดูดซับชนิดเดียวกันใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคแม่เหล็ก นั่นคือ  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ ,  $\text{CH}_3\text{COONa}$ , Ethylene glycol และ Polyethylene glycol โดยอาศัยความเป็นต่างจาก  $\text{CH}_3\text{COONa}$  ในการทำให้สภาวะในการเกิดปฏิกิริยาอยู่ในช่วงที่เป็นต่าง และอาศัยสารอินทรีย์ในระบบเป็นตัวให้อิเล็กตรอนกับเหล็กไอออนในปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดเป็นอนุภาคแม่เหล็ก ซึ่งใช้วิธี Solvothermal ซึ่งเป็นการควบคุมอุณหภูมิของปฏิกิริยาให้คงที่โดยใช้ตัวทำละลายที่ไม่ใช้น้ำ โดยผลที่ได้นั้นมีปัญหาเกิดขึ้นคืออนุภาคมีขนาดและรูปร่างไม่เป็นไปในลักษณะเดียวกันดังรูปที่ 16 โดยมีลักษณะเป็นทรงกลม และแผ่นทรงรีคล้ายเม็ดเลือดแดง ซึ่งอนุภาคที่ต้องการควรมีลักษณะเป็นทรงกลมเหมือนกันทั้งหมดดังรูปที่ 17 จากงานวิจัยของ Lu (2017)

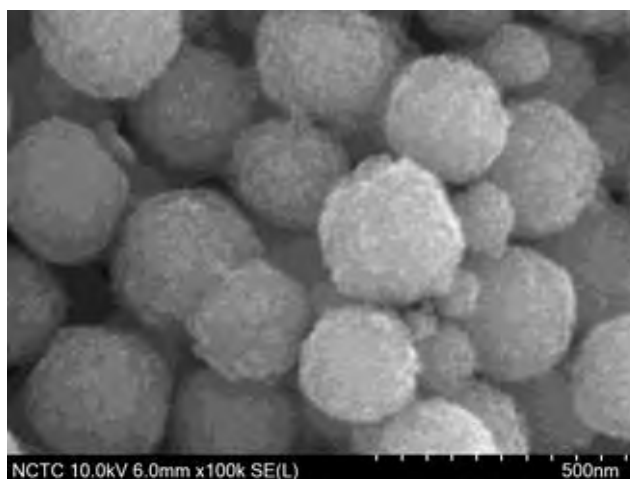


รูปที่ 16 อนุภาคแม่เหล็กที่สังเคราะห์ได้ในช่วงแรกของการทดลอง(x100k)



รูปที่ 17 อนุภาคแม่เหล็กจากงานวิจัยของ Lu (2017)(x100k)

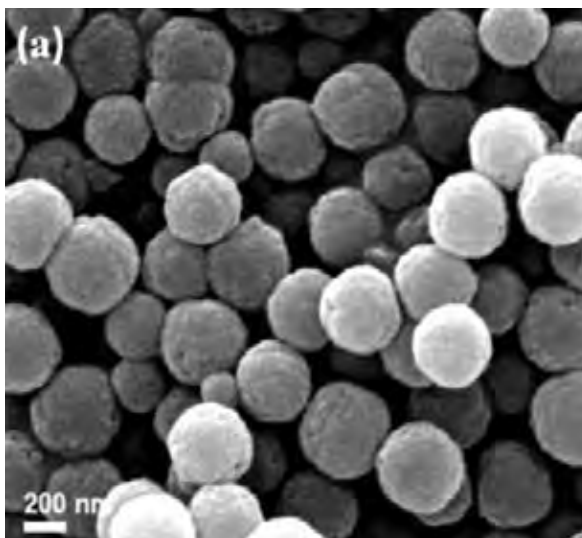
ในช่วงต่อมาของการทดลองนั้น ได้ทดลองโดยนำสารตั้งต้นตามที่งานวิจัยของ Zheng (2012) นั่นคือ  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ , Urea, Ethylene glycol และ Glucose โดยอาศัยความเป็นต่างจาก Urea ในการทำให้สภาวะในการเกิดปฏิกิริยาอยู่ในช่วงที่เป็นต่าง และอาศัย Glucose ในระบบเป็นตัวให้อิเล็กตรอนกับเหล็กไอออนในปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดเป็นอนุภาคแม่เหล็ก โดยผลที่ได้นั้นอนุภาคมีขนาดและรูปร่างเป็นไปในลักษณะเดียวกันดังรูปที่ 18 โดยมีลักษณะเป็นทรงกลม ขนาดใกล้เคียงกัน ซึ่งอนุภาคที่ได้มีลักษณะเป็นทรงกลมเหมือนกับงานวิจัยของ Zheng (2012) ดังรูปที่ 19



รูปที่ 18 อนุภาคแม่เหล็กที่สังเคราะห์โดยใช้วิธีการสังเคราะห์จากงานวิจัยของ Zheng (2012)(x100k)



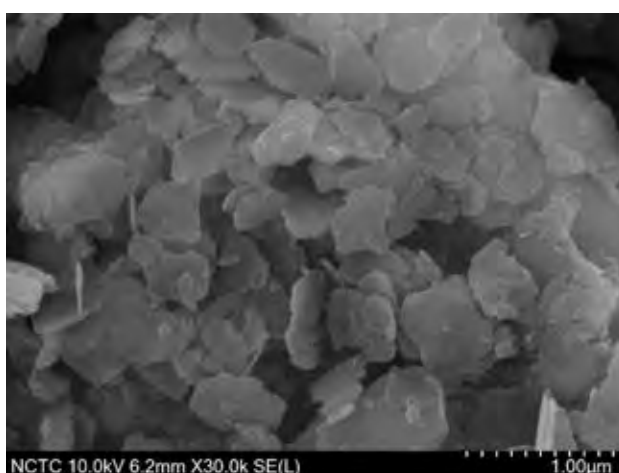
929108882



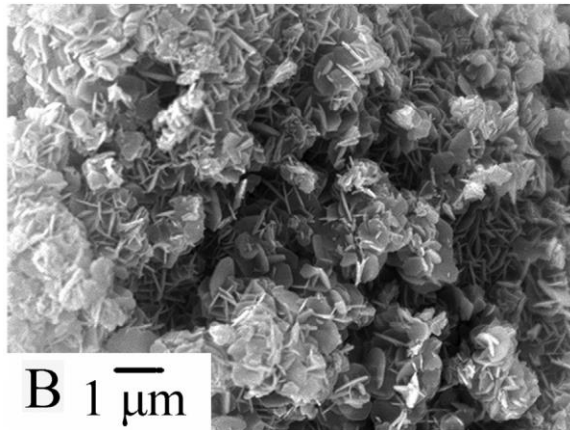
รูปที่ 19 อนุภาคแม่เหล็กจากงานวิจัยของ Zheng (2012)(x50k)

#### 4.1.1.2 ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์

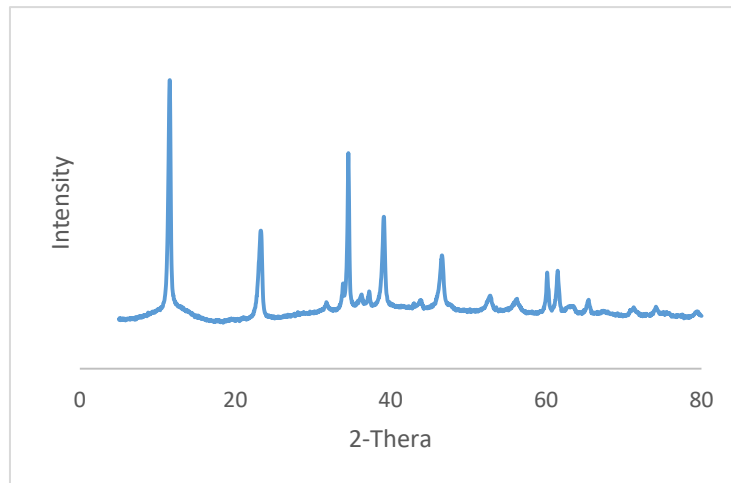
ในช่วงแรกของการทดลองนั้น ได้ทดลองโดยนำสารตั้งต้นตามที่งานวิจัยในกลุ่มวัสดุดูดซับชนิดเดียวกันใช้ในการสังเคราะห์เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ นั่นคือใช้ตัวทำละลายเป็นน้ำกลั่น ใช้ NaOH เป็นตัวปรับค่าพีเอชให้ได้ที่ 10 ควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศา และใส่  $ZnCl_2$  กับ  $AlCl_3$  ในรูปของของแข็ง โดยทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาที่ 24 ชั่วโมงพบว่า ผลึกเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ที่ได้มีลักษณะเป็นผลึกบางดังรูปที่ 20 ซึ่งแตกต่างกับงานวิจัยของ Qu (2017) ที่มีลักษณะผลึกดังรูปที่ 21 นอกจากนี้ เมื่อใช้เครื่อง XRD ในการวิเคราะห์พบว่า มีค่าสัญญาณที่ตรงกันกับงานวิจัยของ Qu (2017) ดังรูปที่ 22 และ 23 ซึ่งยืนยันการเกิดผลึกของ LDHs



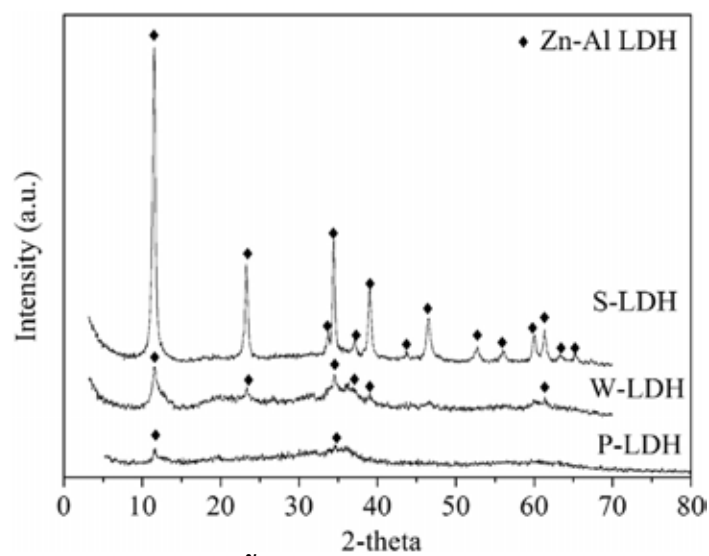
รูปที่ 20 วัสดุเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ที่สังเคราะห์ได้(x30k)



รูปที่ 21 วัสดุเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์จากงานวิจัยของ Qu (2017)(x60k)



รูปที่ 22 ผลการวิเคราะห์เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ Zn/Al ที่สังเคราะห์เองโดยใช้เครื่อง XRD

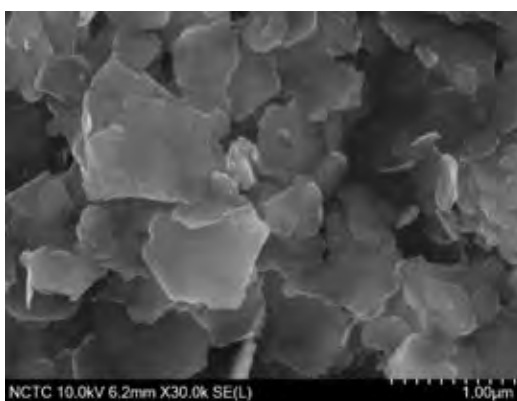


รูปที่ 23 ผลการวิเคราะห์เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ Zn/Al ที่มาจากงานวิจัยของ Qu (2017) โดยใช้เครื่อง XRD

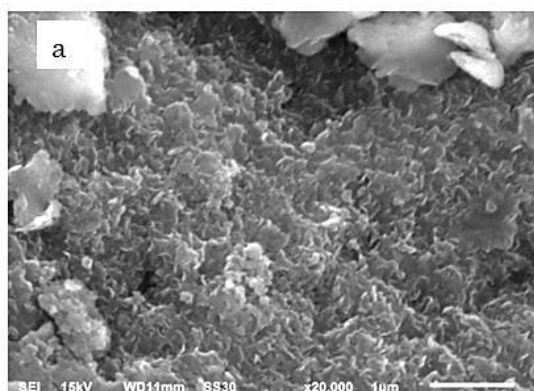


929108982

ในช่วงต่อมาของการทดลองนั้น ได้ทดลองโดยใช้สภาวะในการสังเคราะห์ตามคำแนะนำของ NANOTEC นั่นคือใช้ตัวทำละลายเป็นน้ำกลั่น ใช้ NaOH เป็นตัวปรับค่าพีเอชให้ได้ 10 และใส่  $MgCl_2$  กับ  $AlCl_3$  ในรูปของสารละลาย โดยมีอัตราการหยดสารละลายเข้าสู่ระบบคงที่ และทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาที่ 24 ชั่วโมงพบว่า ผลึกเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ที่ได้มีลักษณะเป็นผลึกบางขนาดใหญ่ดังรูปที่ 24 ซึ่งต่างจากงานวิจัยของ Ardhayanti (2016) ซึ่งมีลักษณะผลึกขนาดเล็กดังรูปที่ 25 อย่างไรก็ตามเมื่อใช้เครื่อง XRD ในการวิเคราะห์พบว่า มีค่าสัญญาณที่ตรงกันกับงานวิจัยของ Ardhayanti (2016) ดังรูปที่ 26 และ 27



รูปที่ 24 อนุภาคแม่เหล็กที่สังเคราะห์ได้ในงานวิจัย(x30k)

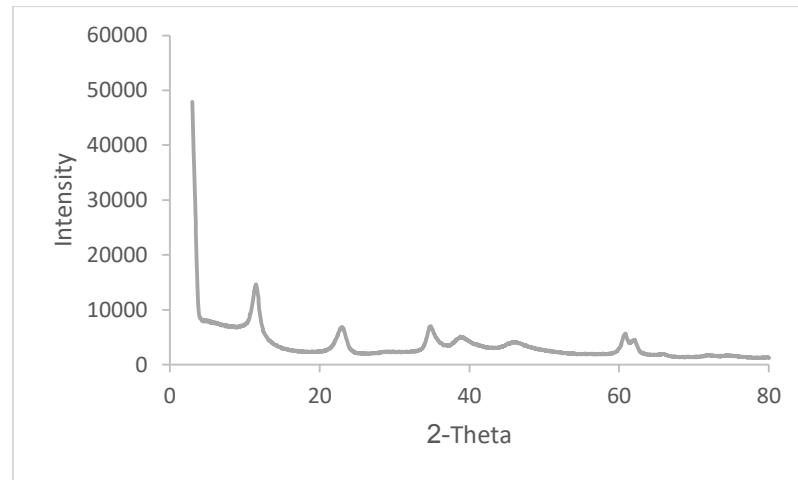


รูปที่ 25 วัสดุเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์จากงานวิจัยของ Ardhayanti (2016)(x20k)

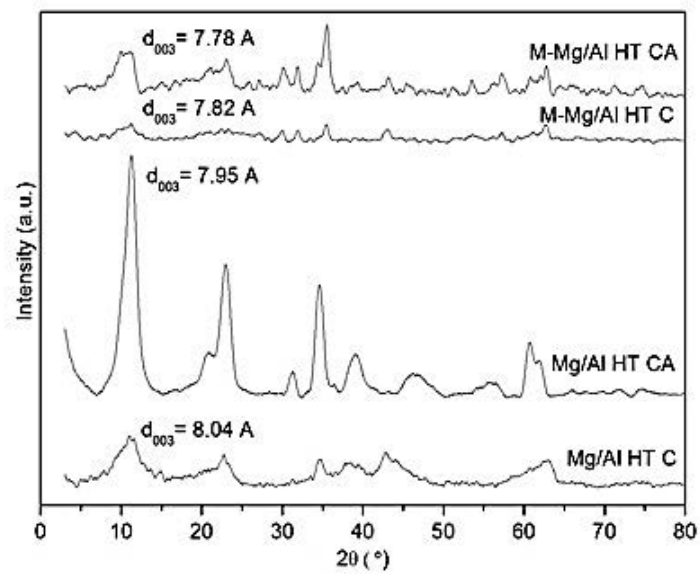


929108882





รูปที่ 26 ผลการวิเคราะห์เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ Mg/Al ที่สังเคราะห์เองโดยใช้เครื่อง XRD



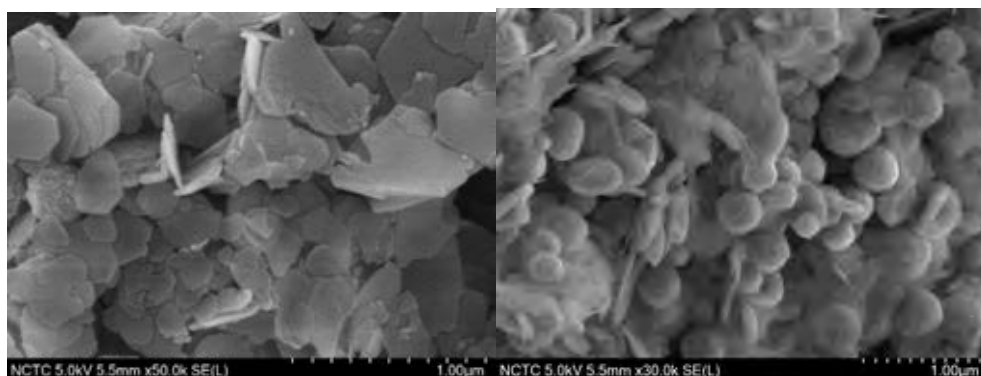
รูปที่ 27 ผลการวิเคราะห์เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ Zn/Al ที่มาจากงานวิจัยของ Ardhayanti (2016) โดยใช้เครื่อง XRD



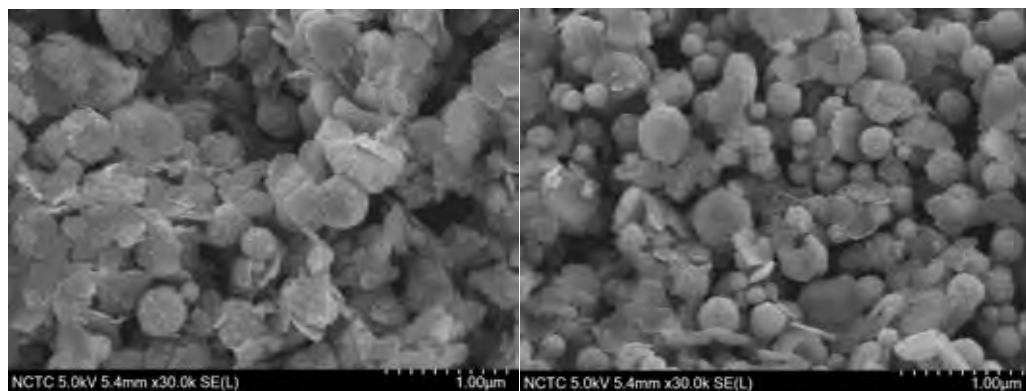
929108982

#### 4.1.1.3 ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมในการเกาะเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์บนอนุภาคแม่เหล็ก

ในช่วงแรกของการทดลองนั้น ได้ทดลองโดยนำสภาวะที่งานวิจัยในกลุ่มวัสดุดูดซับชนิดเดียวกันใช้ในการทำให้เกิดการเกาะของตัวดูดซับบนอนุภาคแม่เหล็ก นั่นคือใช้ตัวทำละลายเป็นน้ำกลั่นต่อเมทานอลในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 ใช้ NaOH เป็นตัวปรับค่าพีเอชให้ได้ที่ 10 ควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศา และใส่  $ZnCl_2$  กับ  $AlCl_3$  ในรูปของของแข็ง โดยทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาที่ 6, 17 และ 24 ชั่วโมงพบว่า วัสดุในช่วง 6 ชั่วโมงนั้นจะมีลักษณะจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ ทำให้ไม่สามารถแยกออกด้วยการใช้แม่เหล็กเหนี่ยวนำได้ จึงต้องใช้วิธีปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกเอาวัสดุออกมา โดยจะสามารถเห็นลักษณะของอนุภาคของวัสดุได้ดังรูปที่ 28 ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่ามีตัวดูดซับมากกว่าอนุภาคแม่เหล็กจนทำให้สังเกตเห็นอนุภาคแม่เหล็กได้ลำบาก ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากตัวดูดซับส่วนเกิดนั้นถูกแยกออกมาด้วยการปั่นเหวี่ยง สำหรับวัสดุที่ใช้เวลาสังเคราะห์ที่ 17 และ 24 ชั่วโมงสามารถแยกด้วยการใช้แม่เหล็กเหนี่ยวนำได้ โดยจะสามารถเห็นลักษณะของอนุภาคของวัสดุได้ดังรูปที่ 29 ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่า สามารถสังเกตเห็นอนุภาคแม่เหล็กได้มากขึ้น เป็นผลมาจากการแยกอนุภาคออกด้วยการใช้แม่เหล็กเหนี่ยวนำ ทำให้ตัวดูดซับส่วนเกินไม่ติดมากับวัสดุที่ได้ แต่จะสังเกตเห็นได้ว่าการแยกกันเกาะของอนุภาคแม่เหล็กกับตัวดูดซับ ไม่มีการเกาะบนพื้นผิวหรือเกาะประสานไปบนอนุภาคแม่เหล็ก

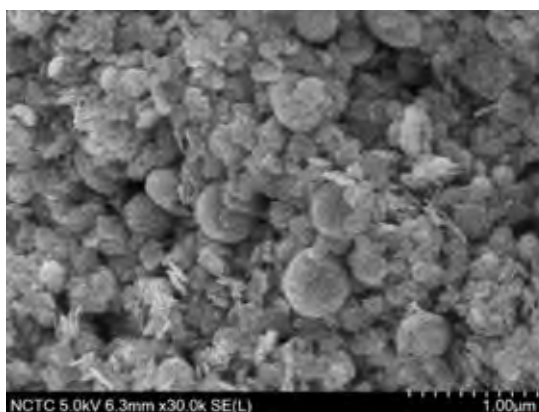


รูปที่ 28 วัสดุดูดซับที่เวลาสังเคราะห์ 6 ชั่วโมง (x50k, x30k)



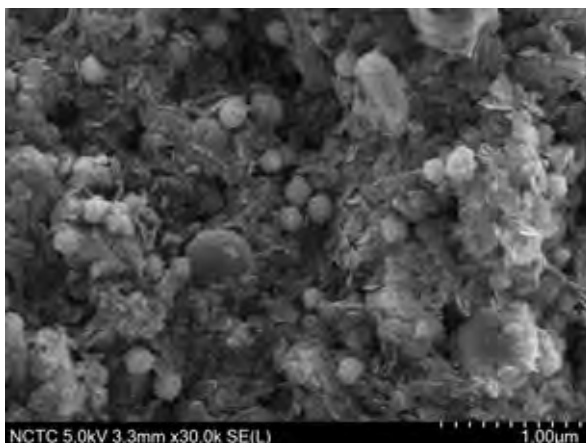
รูปที่ 29 วัสดุชุดซัซที่เวลาสังเคราะห์ 17 และ 24 ชั่วโมง(x30k)

ในช่วงต่อมาของการทดลองนั้น ได้ทดลองโดยปรับใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายเพียงอย่างเดียว เนื่องจากมีงานวิจัยที่ใช้เพียงน้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายก็สามารถสังเคราะห์วัสดุออกมาได้ และทำการใช้ NaOH และ  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  เป็นตัวปรับค่าพีเอชให้ได้ที่ 10 ควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศา และใส่  $\text{ZnCl}_2/\text{AlCl}_3$  ในรูปของสารละลาย และใช้การหยดสารให้คงที่ รวมทั้งรักษาระดับค่าพีเอชให้อยู่ในช่วง 10 ตลอดการหยดสารละลาย โดยจะสามารถเห็นลักษณะของอนุภาคของวัสดุได้ดังรูปที่ 30 ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่า วัสดุมีลักษณะจับตัวติดกันเป็นกลุ่มก้อน โดยตัวชุดซัซนั้นมีขนาดของผลึกที่เล็กลง แต่ยังคงไม่มีการเกาะบนพื้นผิวหรือเกาะประสานไปบนอนุภาคแม่เหล็ก



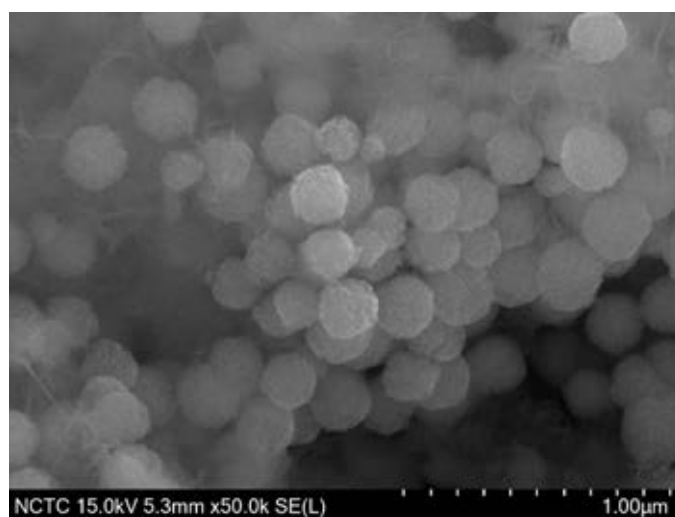
รูปที่ 30 วัสดุชุดซัซที่ใช้เพียงน้ำกลั่นและหยดสารตั้งต้นอย่างคงที่(x30k)

ในช่วงต่อมาของการทดลองนั้น ได้เปลี่ยนการหยดสารผสม  $\text{ZnCl}_2/\text{AlCl}_3$  เป็นการแช่อนุภาคแม่เหล็กในสารละลาย  $\text{AlCl}_3$  ก่อนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเปลี่ยนสารตั้งต้นไอออนประจุสองบวกเป็น  $\text{MgCl}_2$  แทน โดยจะสามารถเห็นลักษณะของอนุภาคของวัสดุได้ดังรูปที่ 31 ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่า ผลึกของตัวชุดซัซมีขนาดเล็กลง และมีการเกาะตัวบนอนุภาคแม่เหล็กมากขึ้น



รูปที่ 31 วัสดุดูดซับที่ใช้การแช่สารตั้งต้นก่อนการทำปฏิกิริยา(x30k)

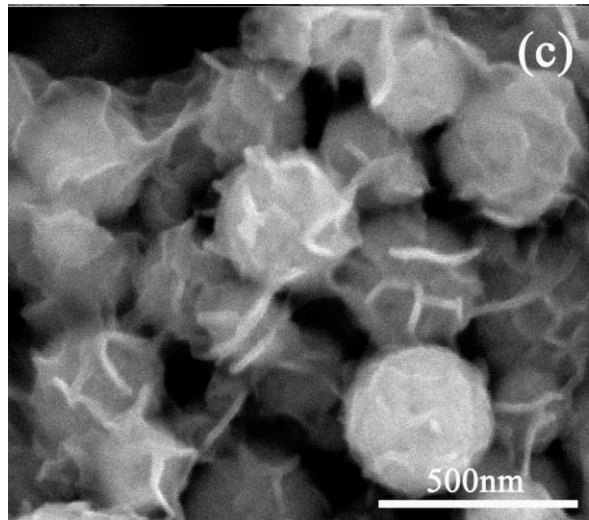
ในช่วงสุดท้ายของการทดลองนั้น ได้เปลี่ยนอนุภาคแม่เหล็กที่ใช้เป็นฐานในการเกาะตัวของตัวดูดซับเป็นตัวปัจจุบันที่ใช้ในการทดสอบขั้นต่อไป โดยจะสามารถเห็นลักษณะของอนุภาคของวัสดุได้ดังรูปที่ 32 ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่า ผลึกของตัวดูดซับมีการเกาะตัวเปลี่ยนแปลงจากการแยกเป็นแผ่นผลึกติดบนพื้นผิวเป็นเกาะเชื่อมประสานไปตามอนุภาคแม่เหล็กเหมือนงานวิจัยของ Lu (2017) ดังรูปที่ 33



รูปที่ 32 วัสดุดูดซับที่สังเคราะห์ได้(x50k)



929108982

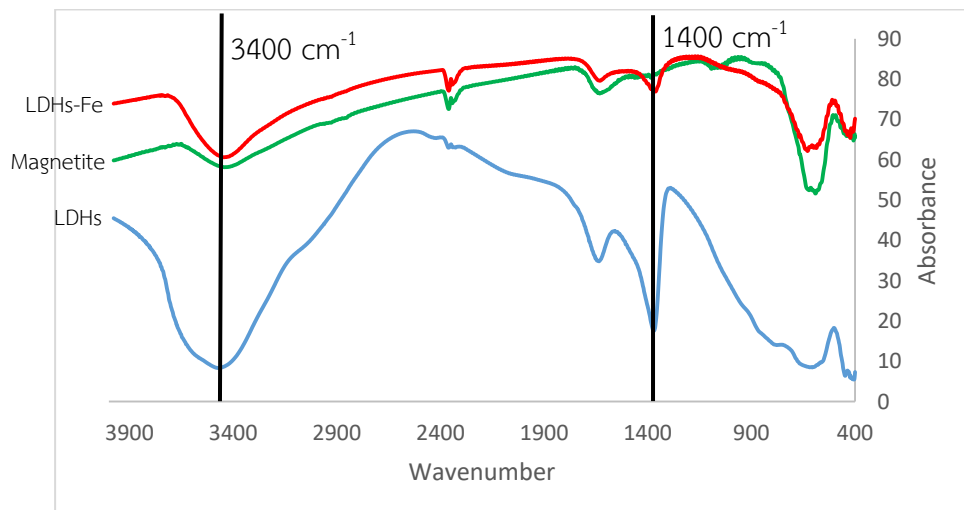


รูปที่ 33 วัสดุดูดซับจากงานวิจัยของ Lu (2017)(x100k)

## 4.2 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุดูดซับ

### 4.2.1 ผลการวิเคราะห์วัสดุทั้งหมดด้วยเครื่อง FT-IR

ทำการวิเคราะห์โดยการนำวัสดุดูดซับไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR โดยเตรียมตัวอย่างในการวิเคราะห์ด้วยการผสมกับ KBr ในอัตราส่วน 1:100 และมีผลการทดลองดังต่อไปนี้



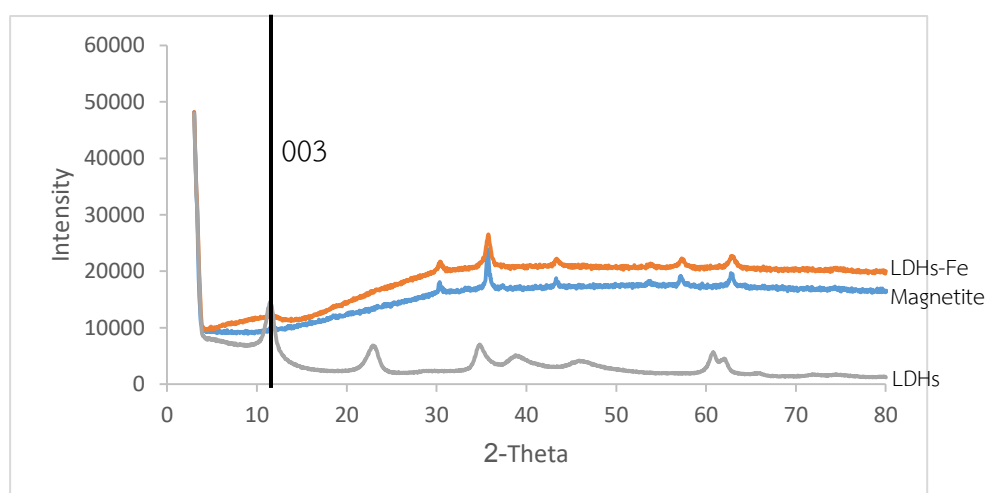
รูปที่ 34 ผลการวิเคราะห์วัสดุด้วยเครื่อง FT-IR



จากการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ เมื่อพิจารณาจุดพีคความยาวคลื่นโดยอ้างอิงจากงานวิจัยของ Zhang (2013) ที่ใช้ค่าการดูดกลืนแสงที่ประมาณ  $3400$  และ  $1400 \text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของ O-H และ H-O-H โดยเห็นการดูดซับคลื่นในช่วงนี้ได้อย่างชัดเจนในวัสดุ LDHs(เส้นกราฟล่างสุด) พบว่ามีการดูดซับคลื่นในช่วงของหมู่ฟังก์ชันของ O-H เพิ่มขึ้นบนอนุภาคแม่เหล็กที่มีการเกาะของตัวดูดซับ(เส้นกราฟบนสุด) เทียบกับอนุภาคแม่เหล็ก(เส้นกราฟตรงกลาง) ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับทฤษฎีที่ว่า หากมีการเกาะตัวของตัวดูดซับบนอนุภาคแม่เหล็ก จะทำให้มีการปรากฏหมู่ฟังก์ชัน O-H ของตัวดูดซับบนอนุภาคแม่เหล็กเพิ่มขึ้น

#### 4.2.2 ผลการวิเคราะห์วัสดุทั้งหมดด้วยเครื่อง XRD

ทำการวิเคราะห์โดยการนำวัสดุดูดซับไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD และมีผลการทดลองดังต่อไปนี้



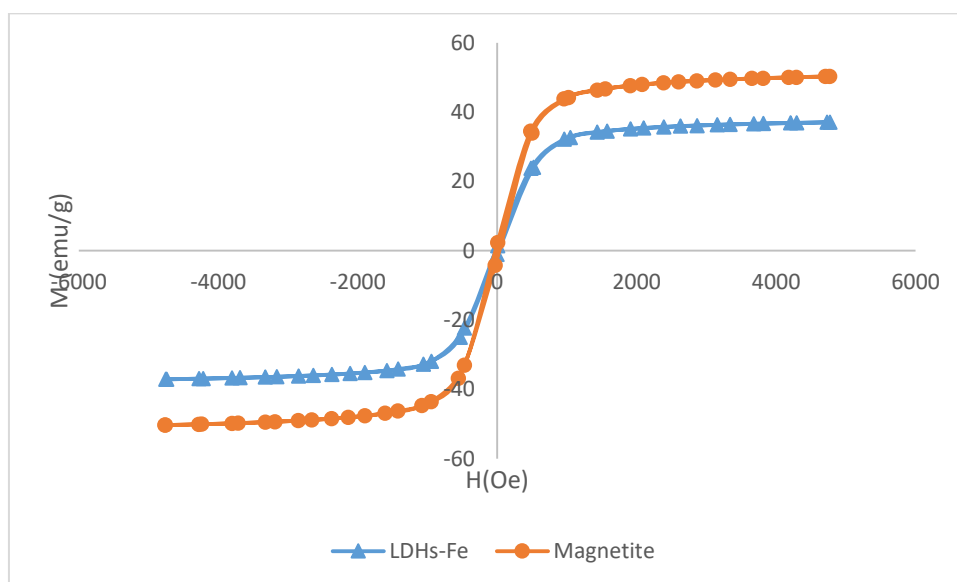
รูปที่ 35 ผลการวิเคราะห์วัสดุด้วยเครื่อง XRD

จากการวิเคราะห์ เมื่อพิจารณาค่าสัญญาณที่ตำแหน่ง 003 ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของ MgAl-LDHs จะเห็นความเข้มของสัญญาณปรากฏขึ้นทั้งในวัสดุ LDHs และวัสดุ LDHs-Fe แต่ไม่ปรากฏในอนุภาคแม่เหล็ก ซึ่งช่วยยืนยันการเกาะตัวของ LDHs บนอนุภาคแม่เหล็กในวัสดุ LDHs-Fe ที่ไม่มี



#### 4.2.4 ผลการวิเคราะห์อำนาจแม่เหล็กของอนุภาคแม่เหล็กและวัสดุดูดซับ

ทำการวิเคราะห์โดยการนำวัสดุดูดซับไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง VSM และมีผลการทดลองดังต่อไปนี้



รูปที่ 36 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง VSM

จากการวิเคราะห์ เมื่อพิจารณาค่าสนามแม่เหล็กของอนุภาคแม่เหล็กพบว่า มีค่าสนามแม่เหล็กที่ 50.2 emu/g ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Zheng (2012) ที่มีค่าสนามแม่เหล็ก 70.1 emu/g ส่วนวัสดุเหล็กดับเบิลไฮดรอกไซด์นั้นมีค่าสนามแม่เหล็กลดลงอยู่ที่ 37.1 emu/g โดยลดลงประมาณ 26.27 % ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Yan (2015) ที่ว่าอนุภาคแม่เหล็กหลังการเกาะตัวด้วยตัวดูดซับนั้นจะมีอำนาจแม่เหล็กลดลงอยู่ที่ 23.7 emu/g โดยจากกราฟพบว่าวัสดุนี้มีสมบัติทางแม่เหล็กแบบซูเปอร์พาราแมกเนติก (Superparamagnetic) โดยเกิดจากการที่วัสดุมีอำนาจแม่เหล็กแบบเฟอร์โรแมกเนติกที่มีขนาดอนุภาคเล็ก ทำให้อนุภาคสามารถพลิกขั้วกลับไปได้ ทำให้วัสดุไม่แสดงอำนาจแม่เหล็กในสภาวะปกติ แต่จะแสดงความเป็นแม่เหล็กเมื่อมีสนามแม่เหล็กภายนอกกระทำเหมือนกันกับวัสดุที่มีสมบัติทางแม่เหล็กแบบพาราแมกเนติก



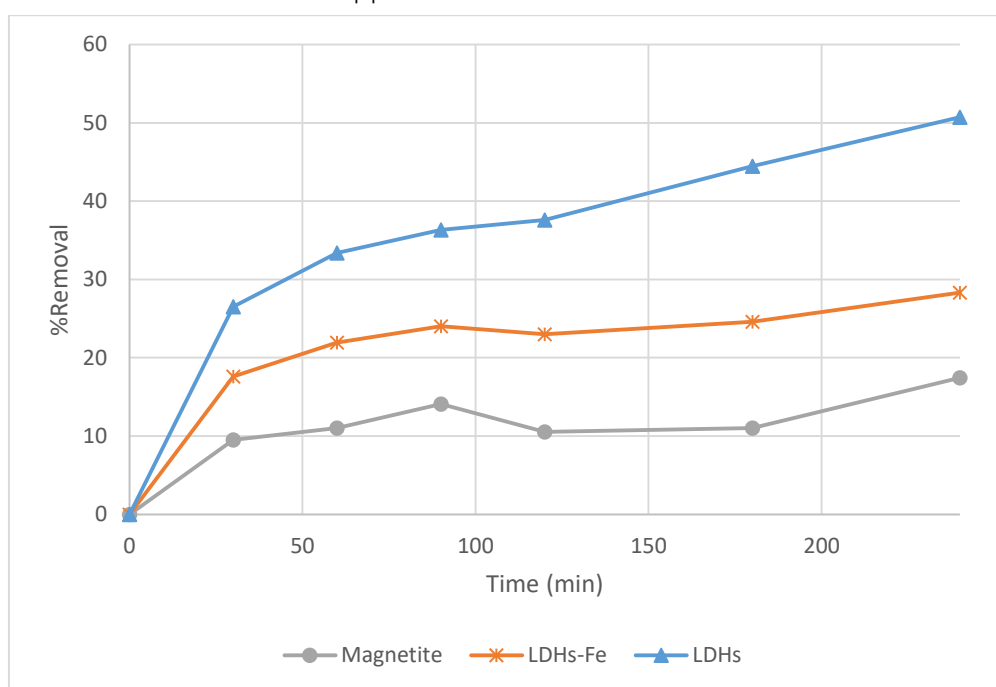
929108982

### 4.3 ผลการทดลองแบบแบตช์ (Batch)

#### 4.3.1 ผลจากการดูดซับของวัสดุดูดซับต่อฟอสเฟต

##### 4.3.1.1 ผลการหาระยะเวลาที่เหมาะสมของวัสดุดูดซับต่อฟอสเฟต

ทำการทดลองกำจัดฟอสเฟตโดยใช้วัสดุดูดซับ 0.03 กรัมต่อน้ำเสียสังเคราะห์ฟอสเฟตความเข้มข้น 40 ppm ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ซึ่งได้ผลดังนี้



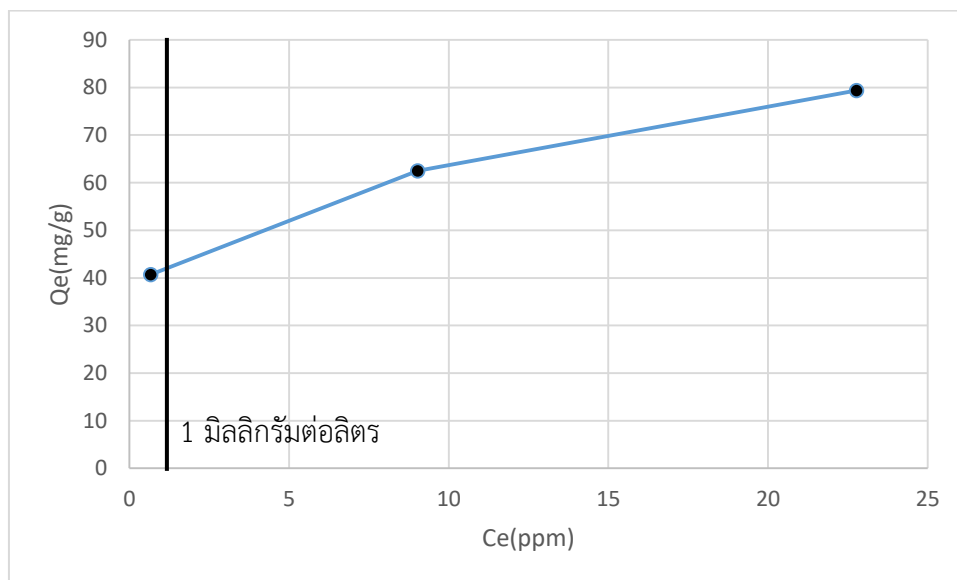
รูปที่ 37 ความสัมพันธ์ระหว่างฟอสเฟตที่กำจัดได้กับเวลาของวัสดุดูดซับทั้งสามชนิด

จากรูปที่ 37 พบว่าอนุภาคแม่เหล็กมีความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตน้อยที่สุดที่ 17.45 % ที่ระยะเวลา 240 นาที เนื่องจากบนพื้นผิวของอนุภาคเหล็กนั้นมีคาร์บอนปกคลุมอยู่บางส่วน และไม่มีหมู่ฟังก์ชันในการจับกับไอออนลบมากเท่าดับเบิลไฮดรอกไซด์ ส่วนวัสดุเหล็กดับเบิลไฮดรอกไซด์มีความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตมากกว่าอนุภาคเหล็ก แต่น้อยกว่าวัสดุเหล็กดับเบิลไฮดรอกไซด์ที่ 28.32 % ซึ่งเป็นผลมาจากพื้นที่ผิวส่วนหนึ่งของเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์นั้นติดกับอนุภาคเหล็ก ทำให้ประสิทธิภาพในการจับกับไอออนลบมีน้อยกว่าดับเบิลไฮดรอกไซด์ที่ไม่ได้เกาะกับอนุภาคเหล็ก ที่มีความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตที่ 50.70 % ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wan (2017), Li (2016) และ Zhang (2019) ที่วัสดุดูดซับกลุ่ม Mg-Al LDHs มีการดูดซับจนเข้าสู่สมดุลในช่วงภายในระยะเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 ppm



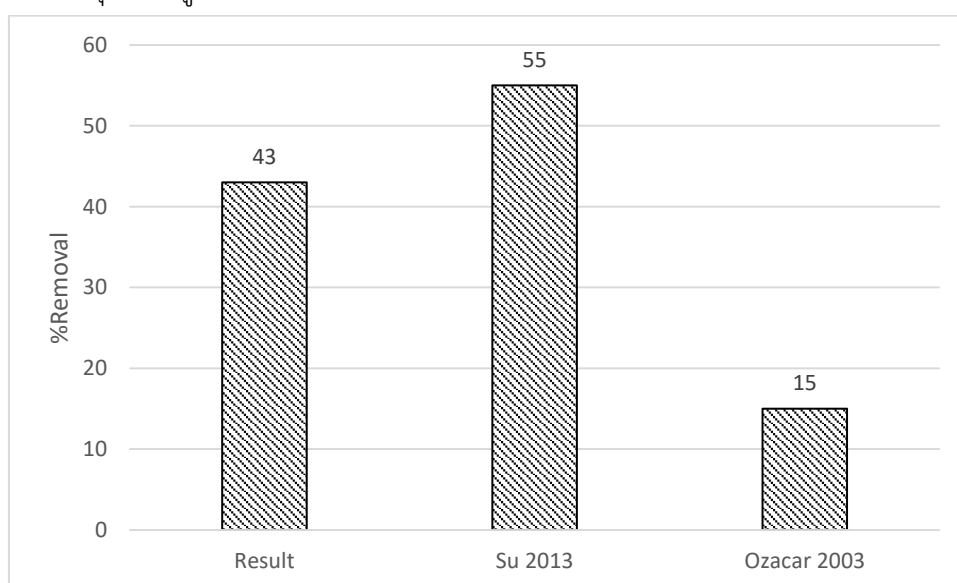
#### 4.3.1.2 ผลการหาความจุของวัสดุดูดซับต่อฟอสเฟต

ทำการทดลองกำจัดฟอสเฟตโดยใช้วัสดุดูดซับ 0.03 กรัมต่อน้ำเสีย  
สังเคราะห์ฟอสเฟต 100 มิลลิลิตร ความเข้มข้น 10, 20, 40 ppm ซึ่งได้ผลดังนี้



รูปที่ 38 ความสัมพันธ์ระหว่างความจุในการดูดซับต่อความเข้มข้นของฟอสเฟตที่สมดุล

จากการทดลองพบว่าวัสดุดูดซับจะสามารถรับเอาไอออนของฟอสเฟตมา  
เกาะบนพื้นผิวได้มากขึ้นเมื่อมีปริมาณฟอสเฟตในน้ำเสียมากขึ้น โดยมีความจุในการดูดซับมากที่สุดที่  
ได้ทำการทดลองซึ่งมีความเข้มข้นที่สมดุล 22.77 ppm โดยมีค่าความจุในการดูดซับที่ 79.35  
มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับฟอสเฟตที่ค่าความเข้มข้นที่สมดุลในช่วงที่กฎหมายกำหนดที่ 1 มิลลิกรัมต่อ  
ลิตรมีค่าความจุในการดูดซับที่ 43 มิลลิกรัมต่อกรัม



รูปที่ 39 ความจุในการดูดซับฟอสเฟตของวัสดุเหล็กเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ต่อวัสดุชนิดอื่น



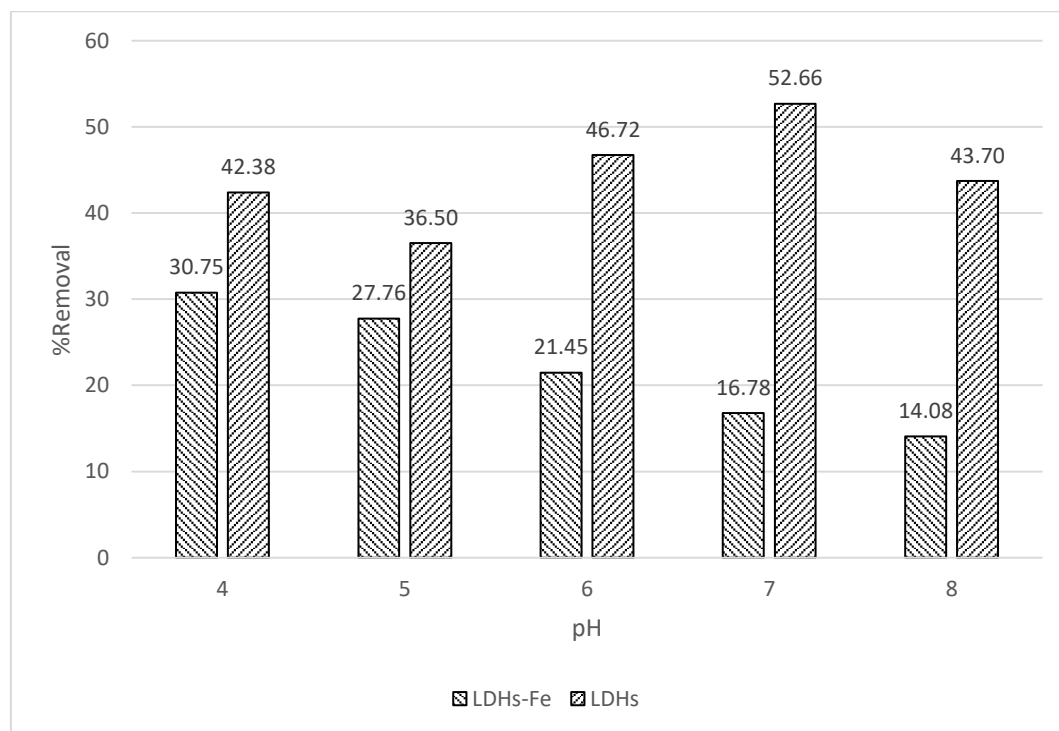
929108982

CD :Thesis 5870154621 thesis / rev: 01082562 10:45:48 / seq: 15

สำหรับข้อมูลที่ได้นั้น หากนำไปเปรียบเทียบกับวัสดุอื่นจะพบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ได้ในงานวิจัยนี้มีค่าความจุในการดูดซับที่ความเข้มข้นที่สมดุลเท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ 43 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยค่า  $pH_{PZC}$  ของ LDHs-Fe จะอยู่ที่ประมาณ 10 ในขณะที่วัสดุชนิดอื่นคือ เซอร์โคเนียมออกไซด์จากงานวิจัยของ Su 2013 และอะลูมิเนียมจากงานวิจัยของ Ozacar 2003 ที่มีค่าความจุในการดูดซับ 55 และ 15 มิลลิกรัมต่อกรัมตามลำดับที่ความเข้มข้นที่สมดุลเท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่า  $pH_{PZC}$  อยู่ที่ประมาณ 8 ซึ่งมีความจุในการดูดซับทั้งมากและน้อยกว่าวัสดุ LDHs-Fe โดยอาจเกิดจากสภาพการผสมของวัสดุสองชนิดของ LDHs-Fe ที่ส่งผลต่อพื้นที่ผิวที่ต้องสัมผัสกันเองระหว่างสองวัสดุ ทำให้พื้นที่ผิวโดยรวมที่สามารถใช้งานในการดูดซับได้ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุดูดซับจากงานวิจัยของ Su 2013 และประจุบนพื้นผิวของวัสดุเป็นบวกน้อยกว่าวัสดุ LDHs-Fe ที่ค่าพีเอชเดียวกัน จึงทำให้การดูดซับในช่วงพีเอชเดียวกันมีแนวโน้มที่ค่าความจุในการดูดซับจะมีต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุดูดซับจากงานวิจัยของ Ozacar 2003

#### 4.2.1.3 ผลการหาช่วงค่าพีเอชที่เหมาะสมของวัสดุดูดซับต่อฟอสเฟต

ทำการทดลองกำจัดฟอสเฟตโดยใช้วัสดุดูดซับ 0.03 กรัมต่อน้ำเสียสังเคราะห์ฟอสเฟต 100 มิลลิลิตร ความเข้มข้น 40 ppm ที่ค่าพีเอช 4, 5, 6, 7 และ 8 ซึ่งได้ผลดังนี้



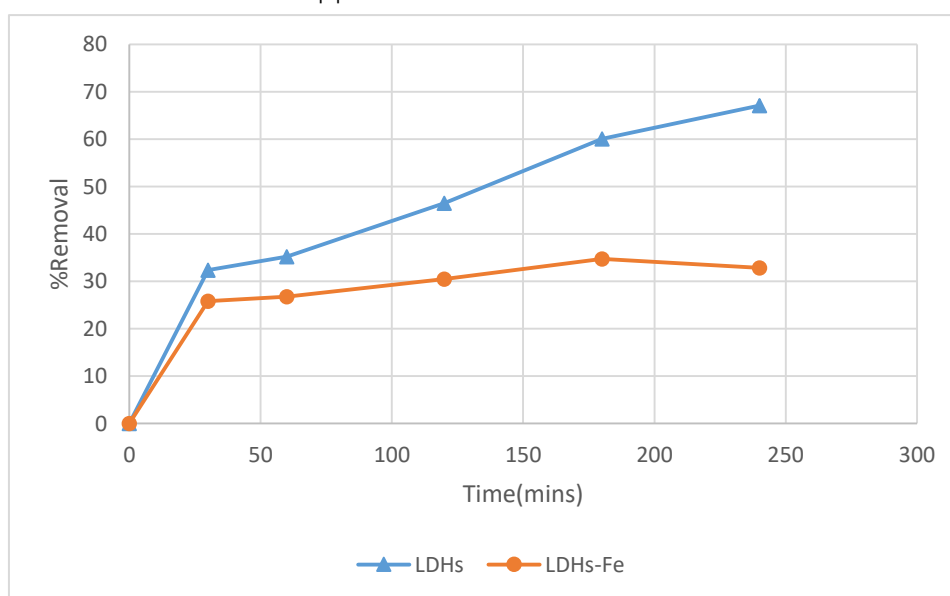
รูปที่ 40 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของฟอสเฟตที่กำจัดได้ต่อค่าพีเอชของวัสดุดูดซับทั้งสองชนิด

จากรูปที่ 40 พบว่าตัววัสดุดับเบิ้ลเลเยอร์ไฮดรอกไซด์นั้นมีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงขึ้นในช่วงพีเอช 6 ถึง 7 เนื่องจากเป็นช่วงที่ฟอสเฟตเปลี่ยนรูปจาก  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  เป็น  $\text{HPO}_4^{2-}$  ทำให้ฟอสเฟตมีประจุลบมากขึ้น จึงเข้าจับกับพื้นผิวของวัสดุที่มีประจุบวกได้ดีขึ้น แต่จะสังเกตเห็นได้ว่าช่วงค่าพีเอช 8 วัสดุมีการดูดซับฟอสเฟตลดลงเนื่องจากฟอสเฟตในรูป  $\text{HPO}_4^{2-}$  นั้นมีโอกาสจับกับหมู่ไฮดรอกไซด์บนพื้นผิวของวัสดุได้ 2 ตำแหน่ง รวมทั้งประจุบนพื้นผิววัสดุที่มีความเป็นลบมากขึ้น จึงทำให้วัสดุจับกับฟอสเฟตได้ในปริมาณที่ลดลง โดนยั้งค่า pH สูงกว่า 7 มากเท่าไร วัสดุดูดซับก็จะสามารถดูดซับฟอสเฟตได้น้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhang (2019) สำหรับวัสดุเหล็กเลเยอร์ดับเบิ้ลไฮดรอกไซด์นั้นมีประสิทธิภาพในการดูดซับลดลงตามค่าพีเอชที่สูงขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลมาจากปริมาณเลเยอร์ดับเบิ้ลไฮดรอกไซด์บนโครงสร้างที่มีปริมาณน้อย จึงทำให้การแย่งจับของฟอสเฟตในรูป  $\text{HPO}_4^{2-}$  ต่อ  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  นั้นแสดงผลมากกว่าการเข้าจับกับพื้นผิวได้มากขึ้นของการเปลี่ยนแปลงของประจุของฟอสเฟต

#### 4.2.4 ผลจากการดูดซับของวัสดุดูดซับต่อโครเมต

##### 4.2.4.1 ผลการหาระยะเวลาที่เหมาะสมของวัสดุดูดซับต่อโครเมต

ทำการทดลองกำจัดโครเมตโดยใช้วัสดุดูดซับ 0.015 กรัมต่อน้ำเสียสังเคราะห์โครเมตความเข้มข้น 20 ppm ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ซึ่งได้ผลดังนี้

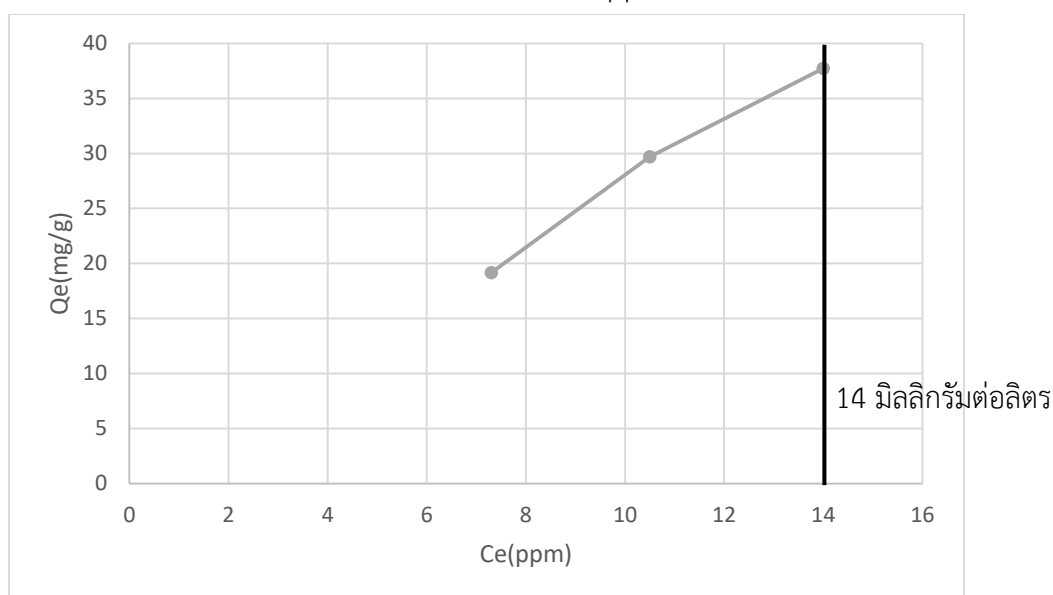


รูปที่ 41 ความสัมพันธ์ระหว่างโครเมตที่กำจัดได้กับเวลาของวัสดุดูดซับทั้งสองชนิด

จากรูปที่ 41 พบว่าวัสดุเหล็กดัดเบิลเลเยอร์ไฮดรอกไซด์มีความสามารถในการกำจัดโครเมตน้อยกว่าวัสดุเหล็กดัดเบิลเลเยอร์ไฮดรอกไซด์ที่ 32.863 % ซึ่งเป็นผลมาจากพื้นที่ผิวส่วนหนึ่งของเลเยอร์ดัดเบิลไฮดรอกไซด์นั้นติดกับอนุภาคเหล็ก ทำให้ประสิทธิภาพในการจับกับไอออนลบมีน้อยกว่าดัดเบิลเลเยอร์ไฮดรอกไซด์ที่ไม่ได้เกาะกับอนุภาคเหล็ก ที่มีความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตที่ 67.136 % ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chao (2018) ที่วัดดูดซับกลุ่ม Mg-Al LDHs มีการดูดซับจนเข้าสู่สมดุลในช่วงภายในระยะเวลาประมาณ 30 นาที ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 ppm

#### 4.2.4.2 ผลการหาความจุของวัสดุดูดซับต่อโครเมต

ทำการทดลองกำจัดโครเมตโดยใช้วัสดุดูดซับ 0.015, 0.03 และ 0.06 กรัม ต่อน้ำเสียสังเคราะห์ฟอสเฟต 100 มิลลิลิตร ความเข้มข้น 20 ppm ซึ่งได้ผลดังนี้

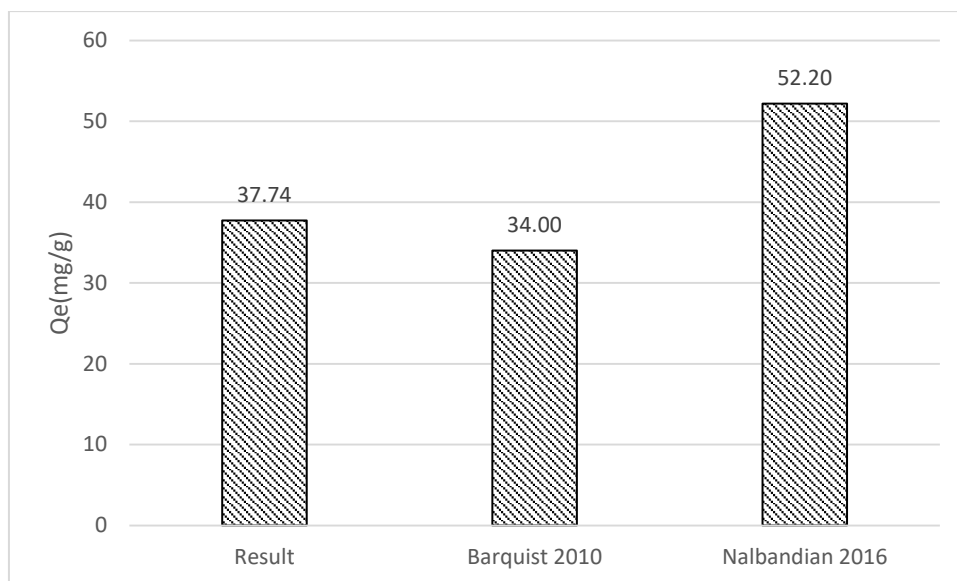


รูปที่ 42 ความสัมพันธ์ระหว่างความจุในการดูดซับต่อความเข้มข้นของโครเมตที่สมดุล

จากการทดลองพบว่าวัสดุดูดซับจะสามารถรับเอาไอออนของโครเมตมาเกาะบนพื้นผิวได้มากขึ้นเมื่อมีปริมาณโครเมตในน้ำเสียมากขึ้น โดยมีความจุในการดูดซับมากที่สุดที่ได้ทำการทดลองซึ่งมีความเข้มข้นที่สมดุล 14 ppm โดยมีค่าความจุในการดูดซับที่ 37.74 มิลลิกรัมต่อกรัมสำหรับโครเมตที่ค่าความเข้มข้นที่สมดุลในช่วงที่กฎหมายกำหนดที่ 0.55 มิลลิกรัมต่อลิตร



929108882



รูปที่ 43 ความจุในการดูดซับโครเมตของวัสดุเหล็กเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ต่อวัสดุชนิดอื่น

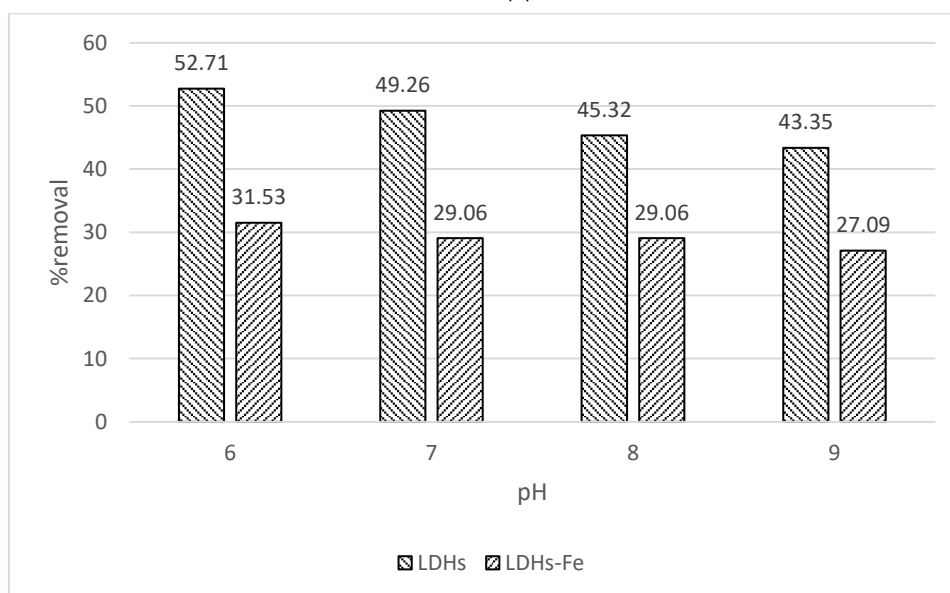
สำหรับข้อมูลที่ได้นั้น หากนำไปเปรียบเทียบกับวัสดุอื่นจะพบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ได้ในงานวิจัยนี้มีค่าความจุในการดูดซับที่ต่ำกว่าวัสดุชนิดอื่นที่ 37.74 มิลลิกรัมต่อกรัม แม้ว่าค่า  $pH_{PZC}$  ของ LDHs-Fe จะสูงกว่าที่ประมาณ 10 ในขณะที่วัสดุชนิดอื่นคือซีโอไรท์จากงานวิจัยของ Barquist 2010 และไอออน(III)ออกไซด์จากงานวิจัยของ Nalbandian 2016 ที่มีค่าความจุในการดูดซับ 34 และ 52.20 มิลลิกรัมต่อกรัมตามลำดับที่ความเข้มข้นที่สมดุลเท่ากับ 14 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่า  $pH_{PZC}$  อยู่ที่ประมาณ 6-8 ซึ่งมีความจุในการดูดซับทั้งมากและน้อยกว่าวัสดุ LDHs-Fe โดยอาจเกิดจากสภาพการผสมของวัสดุสองชนิดของ LDHs-Fe ที่ส่งผลต่อพื้นที่ผิวที่ต้องสัมผัสกันเองระหว่างสองวัสดุ ทำให้พื้นที่ผิวโดยรวมที่สามารถใช้งานในการดูดซับได้ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุดูดซับจากงานวิจัยของ Nalbandian 2016 และประจุบนพื้นผิวของวัสดุเป็นบวกน้อยกว่าวัสดุ LDHs-Fe ที่ค่าพีเอชเดียวกัน จึงทำให้การดูดซับในช่วงพีเอชเดียวกันมีแนวโน้มที่ค่าความจุในการดูดซับจะมีต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุดูดซับจากงานวิจัยของ Barquist 2010



929108982

#### 4.2.4.3 ผลการหาช่วงค่าพีเอชที่เหมาะสมของวัสดุดูดซับโครเมต

ทำการทดลองกำจัดโครเมตโดยใช้วัสดุดูดซับ 0.015 กรัมต่อน้ำเสีย สังกะหรืพีโครเมต 100 มิลลิลิตร ความเข้มข้น 20 ppm ที่ค่าพีเอช 6, 7, 8 และ 9 ซึ่งได้ผลดังนี้



รูปที่ 44 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของโครเมตที่กำจัดได้ต่อค่าพีเอชของวัสดุดูดซับทั้งสองชนิด

จากรูปที่ 44 พบว่าตัววัสดุทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพในการดูดซับต่อค่าพีเอชไม่ต่างกันมากนัก ซึ่งแสดงว่าโครเมตในรูปของ  $\text{HCrO}_4^-$  ในช่วงพีเอช 6 และ  $\text{CrO}_4^{2-}$  ในช่วงพีเอชที่สูงกว่า 6 นั้นแทบไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมต ซึ่งประสิทธิภาพในการดูดซับที่ลดลงเล็กน้อยในช่วงค่าพีเอชที่ลดลงอาจเกิดจากประจุบนพื้นผิวของวัสดุ ที่ช่วงค่าพีเอชสูง ประจุในระบบจะมีความเป็นลบมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ประจุบนพื้นผิวของวัสดุมีความเป็นลบ ทำให้มีประสิทธิภาพในการจับกับไอออนลบในระบบได้ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chao (2018) ในส่วนของการส่งผลของค่าพีเอชต่อการดูดซับ



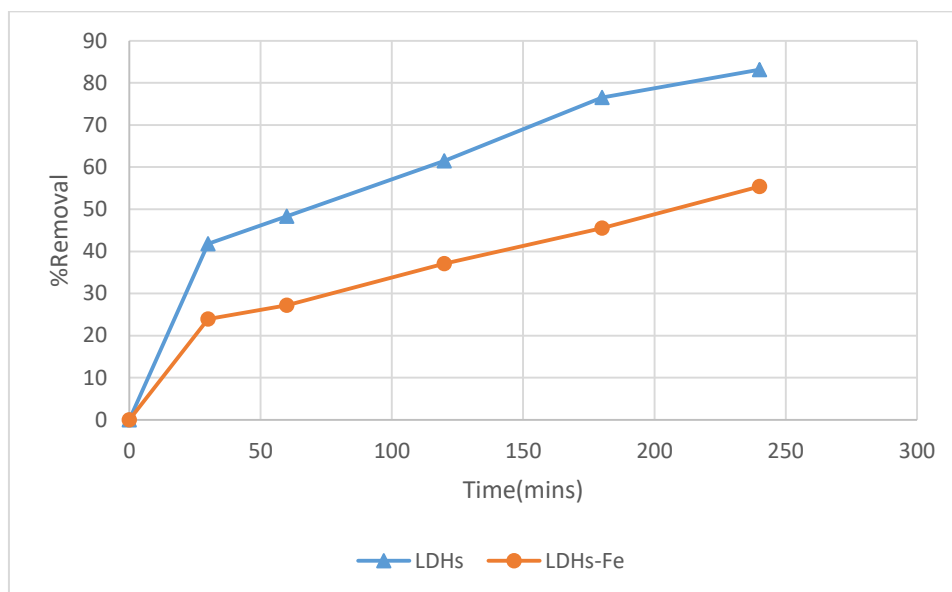
929108982

CU Thesisis 5870154621 thesisis / recv: 01082562 10:45:48 / seq: 15

## 4.2.5 ผลจากการดูดซับของวัสดุดูดซับต่ออาร์เซนเนต

### 4.2.4.1 ผลการหาระยะเวลาที่เหมาะสมของวัสดุดูดซับต่ออาร์เซนเนต

ทำการทดลองกำจัดอาร์เซนเนตโดยใช้วัสดุดูดซับ 0.015 กรัมต่อน้ำเสียสังเคราะห์อาร์เซนเนตความเข้มข้น 20 ppm ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ซึ่งได้ผลดังนี้



รูปที่ 45 ความสัมพันธ์ระหว่างอาร์เซนเนตที่กำจัดได้กับเวลาของวัสดุดูดซับทั้งสองชนิด

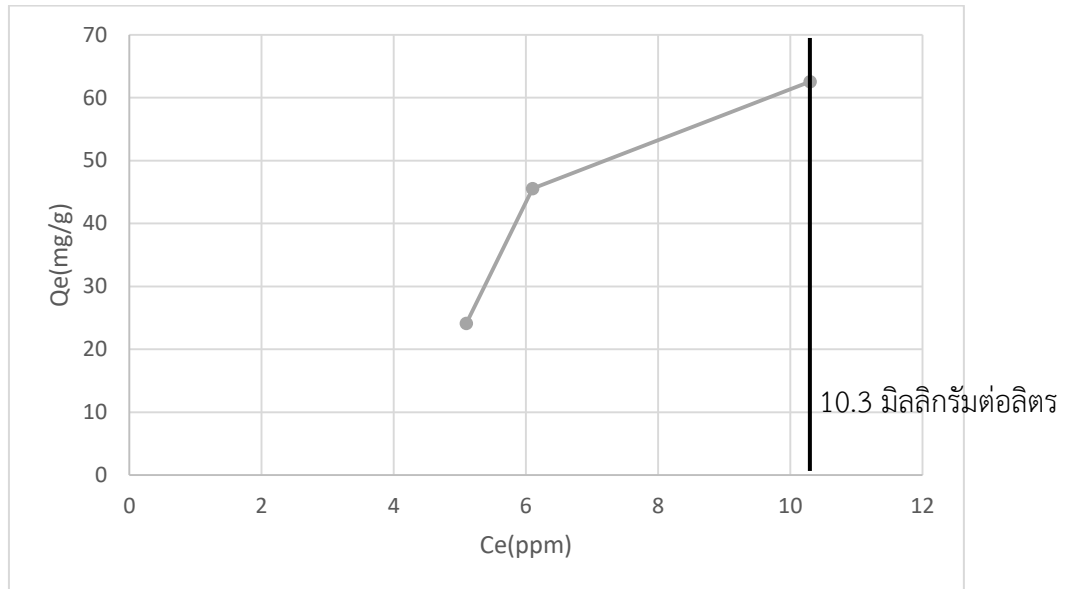
จากรูปที่ 45 พบว่าวัสดุเหล็กดัดเบิลเลเยอร์ไฮดรอกไซด์มีความสามารถในการกำจัดอาร์เซนเนตน้อยกว่าวัสดุเหล็กดัดเบิลเลเยอร์ไฮดรอกไซด์ที่ 55.399 % ซึ่งเป็นผลมาจากพื้นที่ผิวส่วนหนึ่งของเลเยอร์ดัดเบิลไฮดรอกไซด์นั้นติดกับอนุภาคเหล็ก ทำให้ประสิทธิภาพในการจับกับไอออนลบมีน้อยกว่าดัดเบิลเลเยอร์ไฮดรอกไซด์ที่ไม่ได้เกาะกับอนุภาคเหล็ก ที่มีความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตที่ 83.099 % ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Luo (2019) ที่วัสดุดูดซับกลุ่ม Mg-Al LDHs มีการดูดซับจนเข้าสู่สมดุลในช่วงภายในระยะเวลาประมาณ 5 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 2.5 ppm



929108882

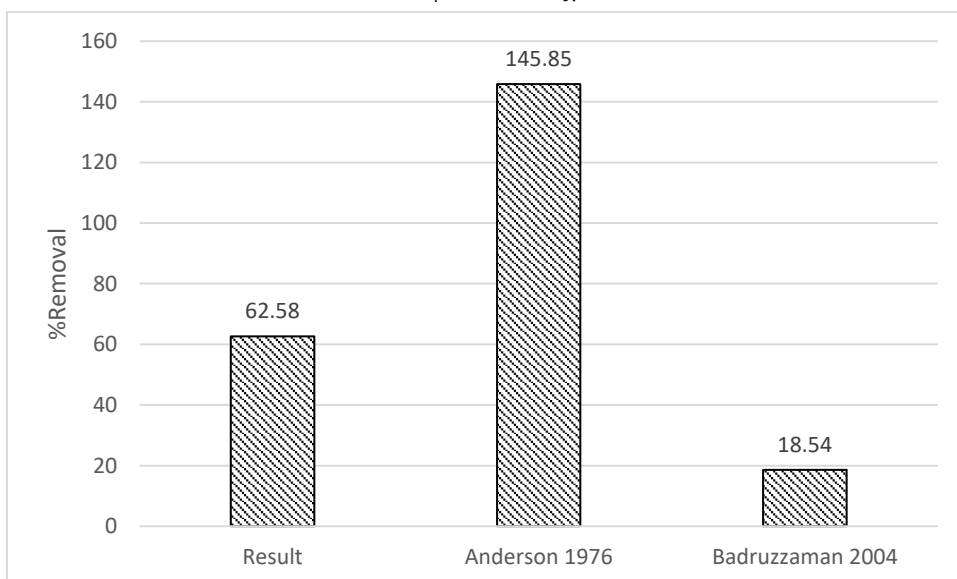
#### 4.2.4.2 ผลการหาความจุของวัสดุดูดซับต่ออาร์เซนิต

ทำการทดลองกำจัดอาร์เซนิตโดยใช้วัสดุดูดซับ 0.015, 0.03 และ 0.06 กรัมต่อน้ำเสียสังเคราะห์อาร์เซนิต 100 มิลลิลิตร ความเข้มข้น 20 ppm ซึ่งได้ผลดังนี้



รูปที่ 46 ความสัมพันธ์ระหว่างความจุในการดูดซับต่อความเข้มข้นของอาร์เซนิตที่สมดุล

จากการทดลองพบว่าวัสดุดูดซับจะสามารถรับเอาไอออนของอาร์เซนิตมาเกาะบนพื้นผิวได้มากขึ้นเมื่อมีปริมาณอาร์เซนิตในน้ำเสียมากขึ้น โดยมีความจุในการดูดซับมากที่สุดที่ได้ทำการทดลองซึ่งมีความเข้มข้นที่สมดุล 10.3 ppm โดยมีค่าความจุในการดูดซับที่ 62.58 มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับโครเมตที่ค่าความเข้มข้นที่สมดุลในช่วงที่กฎหมายกำหนดที่ 0.46 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 47 ความจุในการดูดซับอาร์เซนิตของวัสดุเหล็กเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ต่อวัสดุชนิดอื่น



929108982

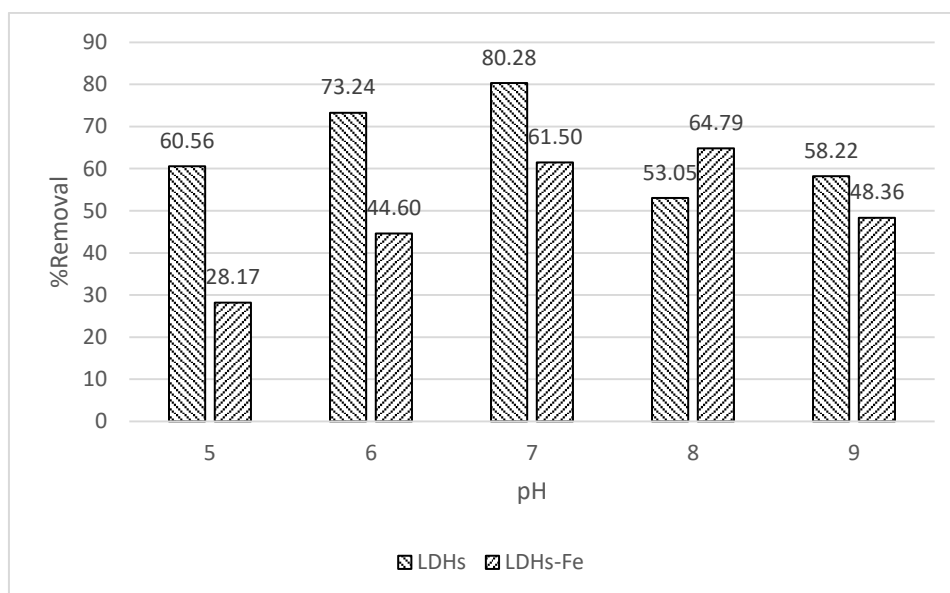
CD :Thesis 5870154621 thesis / rev: 01082562 10:45:48 / seq: 15



สำหรับข้อมูลที่ได้นั้น หากนำไปเปรียบเทียบกับวัสดุอื่นจะพบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ได้ในงานวิจัยนี้มีค่าความจุในการดูดซับที่สูงกว่าวัสดุชนิดอื่นที่ 62.58 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยค่า  $pH_{PZC}$  ของ LDHs-Fe จะสูงกว่าที่ประมาณ 10 ในขณะที่วัสดุชนิดอื่นคืออะลูมิเนียมออกไซด์จากงานวิจัยของ Anderson 1976 และเฟอร์ริกออกไซด์จากงานวิจัยของ Badruzzaman 2004 ที่มีค่าความจุในการดูดซับ 11.79 และ 18.54 มิลลิกรัมต่อกรัมตามลำดับที่ความเข้มข้นที่สมดุลเท่ากับ 14 และ 0.185 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีค่า  $pH_{PZC}$  อยู่ที่ประมาณ 6-8 ซึ่งมีความจุในการดูดซับทั้งมากและน้อยกว่าวัสดุ LDHs-Fe โดยอาจเกิดจากสภาพการผสมของวัสดุสองชนิดของ LDHs-Fe ที่ส่งผลต่อพื้นที่ผิวที่ต้องสัมผัสกันเองระหว่างสองวัสดุ ทำให้พื้นที่ผิวโดยรวมที่สามารถใช้งานในการดูดซับได้ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุดูดซับจากงานวิจัยของ Anderson 1976 และประจุบนพื้นผิวของวัสดุเป็นบวกน้อยกว่าวัสดุ LDHs-Fe ที่ค่าพีเอชเดียวกัน จึงทำให้การดูดซับในช่วงพีเอชเดียวกันมีแนวโน้มที่ค่าความจุในการดูดซับจะมีต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุดูดซับจากงานวิจัยของ Badruzzaman 2004

#### 4.2.4.3 ผลการหาช่วงค่าพีเอชที่เหมาะสมของวัสดุดูดซับต่ออาร์เซนเนต

ทำการทดลองกำจัดอาร์เซนเนตโดยใช้วัสดุดูดซับ 0.015 กรัมต่อน้ำเสียสังเคราะห์อาร์เซนเนต 100 มิลลิลิตร ความเข้มข้น 20 ppm ที่ค่าพีเอช 5, 6, 7, 8 และ 9 ซึ่งได้ผลดังนี้



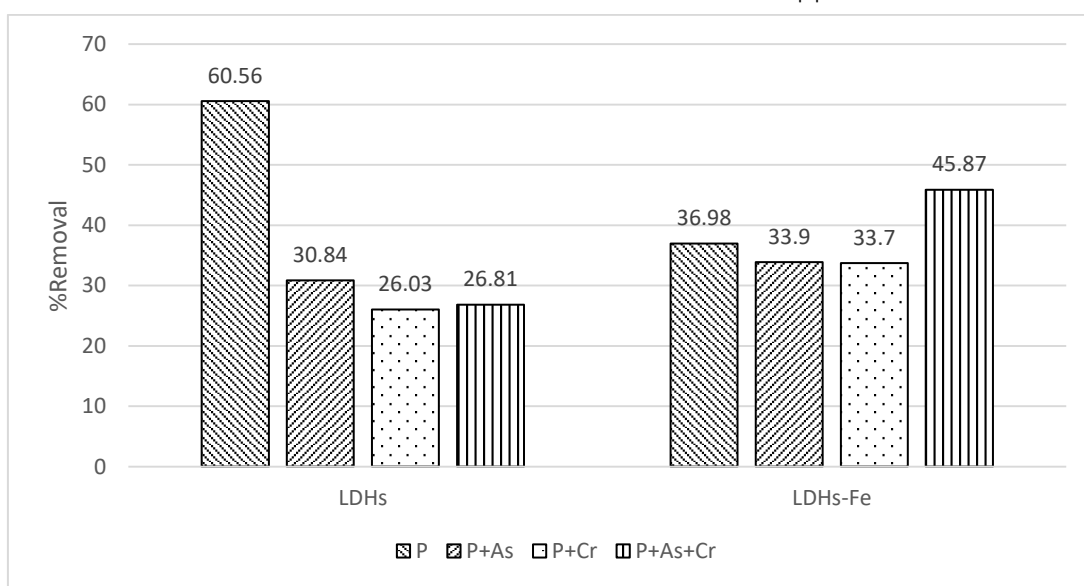
รูปที่ 48 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของอาร์เซนเนตที่กำจัดได้ต่อค่าพีเอชของวัสดุดูดซับทั้งสองชนิด

จากรูปที่ 45 พบว่าตัววัสดุทั้งสองชนิดนั้นมีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงขึ้นในช่วงพีเอช 7 เนื่องจากเป็นช่วงที่อาร์เซนเตเปลี่ยนรูปจาก  $H_2AsO_4^-$  เป็น  $HAsO_4^{2-}$  ทำให้อาร์เซนเตมีประจุลบมากขึ้น จึงเข้าจับกับพื้นผิวของวัสดุที่มีประจุบวกได้ดีขึ้น แต่จะสังเกตเห็นได้ว่าช่วงค่าพีเอช 8 วัสดุมีการดูดซับอาร์เซนเตลดลงเนื่องจากอาร์เซนเตในรูป  $HAsO_4^{2-}$  นั้นมีโอกาสจับกับหมู่ไฮดรอกไซด์บนพื้นผิวของวัสดุได้ 2 ตำแหน่ง รวมทั้งประจุบนพื้นผิววัสดุที่มีความเป็นลบมากขึ้น จึงทำให้วัสดุจับกับอาร์เซนเตได้ในปริมาณที่ลดลง โดนยั้งค่า pH สูงกว่า 8 มากเท่าไร วัสดุดูดซับก็จะสามารถดูดซับอาร์เซนเตได้น้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Luo (2019)

#### 4.1.6 ผลการดูดซับไอออนลบผสม

##### 4.2.6.1 ผลการดูดซับไอออนลบผสมสำหรับฟอสเฟต

การทดลองกำจัดฟอสเฟตไอออนเดี่ยวและฟอสเฟตแบบผสมโดยใช้วัสดุดูดซับ 0.015 กรัม ต่อสารละลาย 100 มิลลิลิตร ความเข้มข้นไอออนละ 10 ppm ซึ่งได้ผลดังนี้

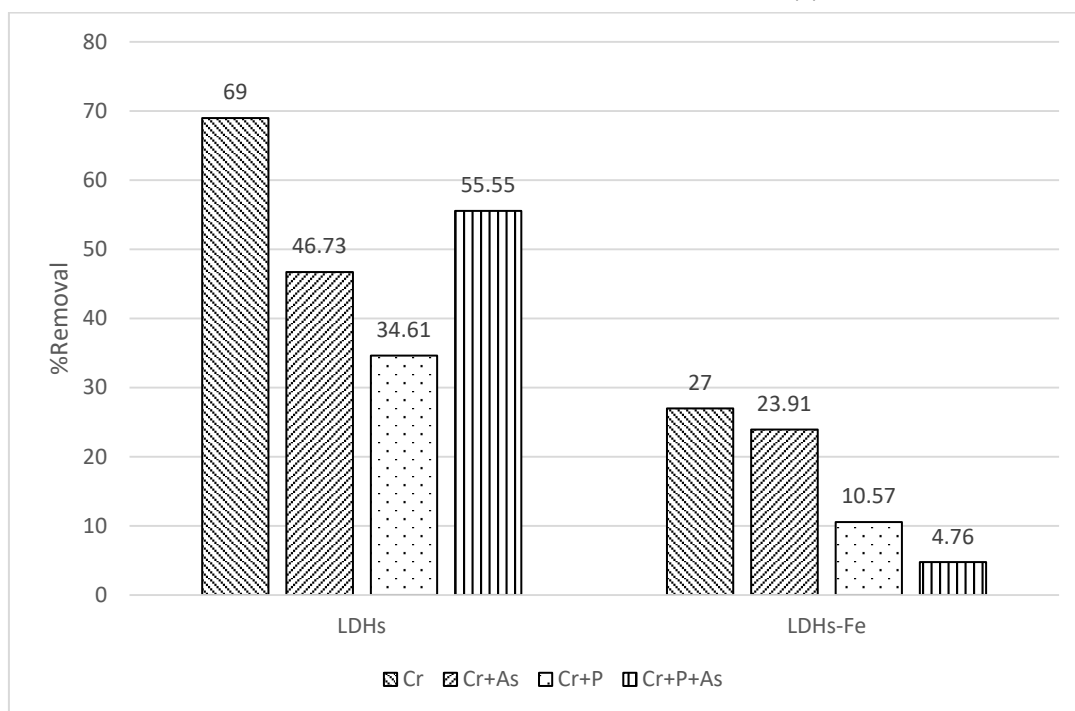


รูปที่ 49 ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตแบบไอออนเดี่ยวและแบบไอออนผสม

จากรูปที่ 49 พบว่า เมื่อมีไอออนของฟอสเฟตเพียงชนิดเดียว วัสดุดูดซับจะสามารถดูดซับฟอสเฟตได้มากถึง 60.56 % โดยวัสดุ LDHs ในขณะที่ฟอสเฟตจะถูกดูดซับได้น้อยลงเมื่อมีการแข่งขันกับไอออนลบชนิดอื่นในการถูกดูดซับ โดยพบว่าฟอสเฟตที่กำจัดได้ในสารละลายไอออนผสมนั้นมีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละชุดผสม เนื่องจากฟอสเฟตมีโครงสร้างที่มีไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ ทำให้เกิดสภาพขั้วขึ้นในโมเลกุล จึงทำให้ง่ายต่อการเข้าจับพื้นผิวของวัสดุที่มีประจุตรงข้าม และยังมีมวลโมเลกุลน้อยที่สุดในไอออนทั้งสามชนิด

#### 4.2.6.2 ผลการดูดซับไอออนลบผสมสำหรับโครเมต

การทดลองกำจัดโครเมตไอออนเดี่ยวและฟอสเฟตแบบผสมโดยใช้วัสดุดูดซับ 0.015 กรัม ต่อสารละลาย 100 มิลลิลิตร ความเข้มข้นไอออนละ 10 ppm ซึ่งได้ผลดังนี้



รูปที่ 50 ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตแบบไอออนเดี่ยวและแบบไอออนผสม

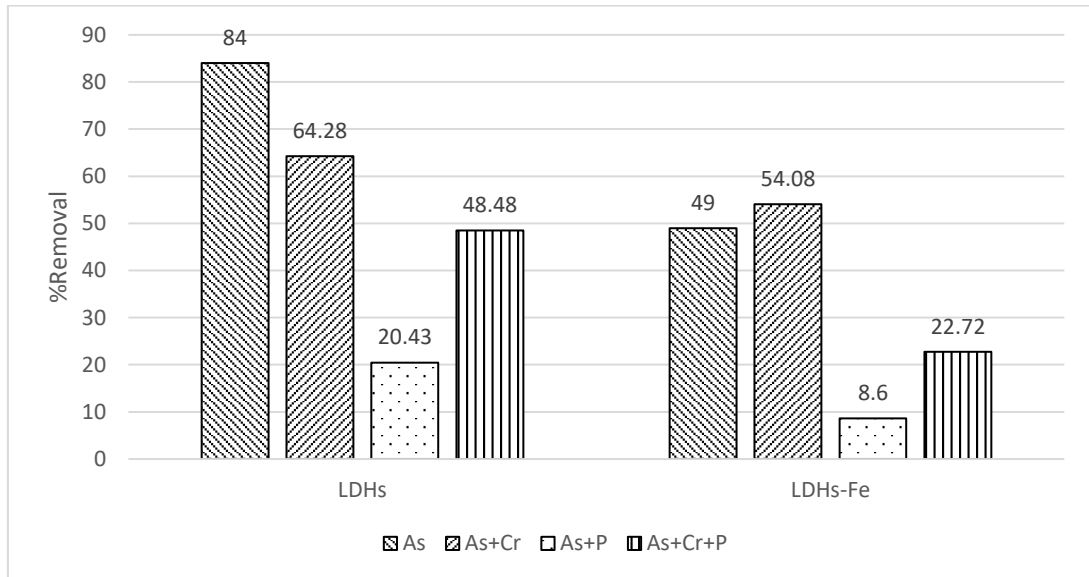
จากรูปที่ 50 พบว่า เมื่อมีไอออนของโครเมตเพียงชนิดเดียว วัสดุดูดซับจะสามารถดูดซับฟอสเฟตได้ถึง 69% โดยวัสดุ LDHs ในขณะที่โครเมตจะถูกดูดซับได้น้อยที่สุดเมื่อมีการแข่งขันกับไอออนอีกสองชนิดพร้อมกันที่ 4.76% ซึ่งเกิดจากการโครงสร้างที่ไม่มีไฮโดรเจน ทำให้โมเลกุลไม่มีความเป็นขั้วที่ด้านใดด้านหนึ่ง จึงเข้าจับแข่งขันกับโมเลกุลที่มีด้านที่เป็นขั้วได้ยากกว่า สำหรับการดูดซับโครเมตกับอาร์เซนะนั้นมีค่าการดูดซับสูงกว่าการดูดซับโครเมตและฟอสเฟต เนื่องจากฟอสเฟตมีลักษณะโมเลกุลคล้ายกับอาร์เซน แต่มีมวลโมเลกุลที่น้อยกว่า จึงเข้าจับกับพื้นผิวของวัสดุได้เร็วกว่า



929108982

#### 4.2.6.3 ผลการดูดซับไอออนลบผสมสำหรับอาร์เซเนต

การทดลองกำจัดอาร์เซเนตไอออนเดี่ยวและฟอสเฟตแบบผสมโดยใช้วัสดุดูดซับ 0.015 กรัม ต่อสารละลาย 100 มิลลิลิตร ความเข้มข้นไอออนละ 10 ppm ซึ่งได้ผลดังนี้



รูปที่ 51 ประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซเนตแบบไอออนเดี่ยวและแบบไอออนผสม

จากรูปที่ 51 พบว่า เมื่อมีไอออนของอาร์เซเนตเพียงชนิดเดียว วัสดุดูดซับจะสามารถดูดซับฟอสเฟตได้ 84% โดยวัสดุ LDHs ในขณะที่อาร์เซเนตจะถูกดูดซับได้น้อยที่สุดเมื่อมีการแข่งขันกับฟอสเฟตที่ 20.43% และ 8.6% ซึ่งเกิดจากมวลโมเลกุลของไอออนของอาร์เซเนตที่หนักกว่าฟอสเฟตจึงเข้าจับได้ช้ากว่า ในส่วนของการแข่งขันทั้งสามไอออนนั้น พบว่าอาร์เซเนตถูกดูดซับได้มากกว่าการแข่งขันกับฟอสเฟตที่ 48.48% และ 22.73% ซึ่งเป็นผลโครงสร้างของอาร์เซเนตที่มีด้านที่เป็นขั้ว จึงเข้าจับกับพื้นผิวของวัสดุได้ดีกว่าโครเมต จึงมีค่าการถูกดูดซับที่มากกว่าการแข่งขันกับฟอสเฟตเพียงไอออนเดี่ยว

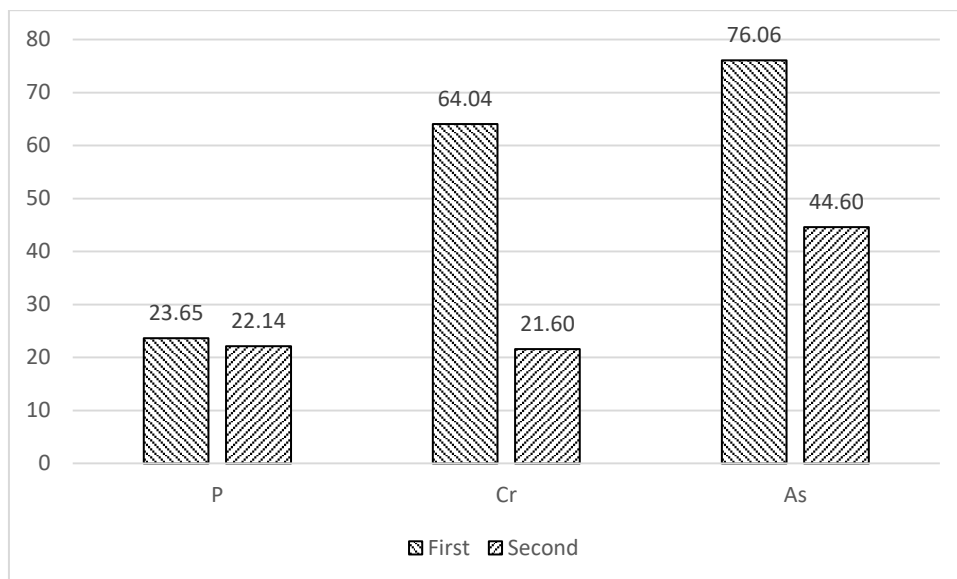


929108982

## 4.2.7 ผลการนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่

### 4.2.7.1 ผลการนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่จากการดูดซับฟอสเฟต

ทำการทดลองกำจัดฟอสเฟตความเข้มข้น 40 ppm โครเมต และอาร์เซเนตความเข้มข้น 20 ppm โดยใช้วัสดุดูดซับ 0.03 กรัมต่อน้ำเสียสังเคราะห์ 100 มิลลิลิตร แล้วทำการดูดซับครั้งที่สอง ซึ่งได้ผลดังนี้



รูปที่ 52 ความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตในการดูดซับครั้งแรกและครั้งที่สอง

จากรูปที่ 52 พบว่าตัววัสดุเหล็กดัดเบิลเลเยอร์ไฮดรอกไซด์มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตลดลงหลังจากการดูดซับครั้งแรกเพียง โดยมีประสิทธิภาพในการดูดซับลดลงจาก 23.64% เหลือ 22.14 % ซึ่งลดลงเพียง 6.37% ต่อมาพบว่าวัสดุเหล็กดัดเบิลเลเยอร์ไฮดรอกไซด์มีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตและอาร์เซเนตลดลงหลังอย่างมาก โดยมีประสิทธิภาพในการดูดซับลดลงจาก 64.04% เหลือ 21.60% และ 76.06% เหลือ 44.60% ตามลำดับ ซึ่งลดลงถึง 66.28% และ 41.36%



929108982

CD :Thesis 5870154621 thesis / rev: 01082562 10:45:48 / seq: 15

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการศึกษากการสังเคราะห์วัสดุเหล็กเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ รวมทั้งศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ เพื่อนำวัสดุไปใช้ในการศึกษากการดูดซับฟอสเฟต โครเมต และอาร์เซเนต โดยใช้ระบบแบบที่ละเทในการทดลอง ซึ่งทำการศึกษากการดูดซับในเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ ความจุในการดูดซับของวัสดุ และผลของค่าพีเอชต่อการดูดซับ รวมทั้งศึกษากการดูดซับไอออนลบมากกว่าหนึ่งชนิดพร้อมกัน และการนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่

##### 5.1.1 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุดูดซับ

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากเครื่อง FT-IR และ XRD พบว่าวัสดุเหล็กเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์มีการเกาะตัวของเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์บนอนุภาคแม่เหล็กจริง โดยบอกได้จากหมู่ฟังก์ชันที่พบบนโครงสร้างของวัสดุ และมีการลดลงของอำนาจแม่เหล็กเมื่อนำเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์มาเกาะตัวบนอนุภาคแม่เหล็ก

##### 5.1.2 การศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับไอออนลบของวัสดุ

###### 5.1.2.1 การศึกษาความจุในการดูดซับ

จากการศึกษาความจุในการดูดซับ พบว่าวัสดุเหล็กเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์มีความจุในการดูดซับฟอสเฟต และโครเมต ได้น้อยกว่าวัสดุชนิดอื่น ยกเว้นอาร์เซเนตที่มีแนวโน้มที่จะถูกดูดซับได้มากกว่าวัสดุชนิดอื่น ซึ่งเป็นผลมาจากพื้นที่ผิวและประจุบนพื้นผิวของวัสดุ

###### 5.1.2.2 การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ

จากการศึกษาพบว่าวัสดุเหล็กเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์มีระยะเวลาในการดูดซับฟอสเฟตเข้าสู่จุดสมดุลที่ระยะเวลาประมาณ 90 นาที ในขณะที่โครเมตมีระยะเวลาในการดูดซับเข้าสู่จุดสมดุลเร็วที่สุดที่ประมาณ 90 นาที ส่วนอาร์เซเนตนั้นมีระยะเวลาในการดูดซับเข้าสู่จุดสมดุลนานที่สุดที่ประมาณ 5 ชั่วโมง



929108882

CU Thesisis 5870154621 thesisis / revv: 01082562 10:45:48 / seq: 15

### 5.1.2.3 การศึกษาช่วงค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับ

จากการศึกษาพบว่าผลของพีเอชต่อวัสดุเหล็กเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ นั้น เมื่อค่าพีเอชสูงขึ้น จะส่งผลให้ประจุบวกในโครงสร้างของวัสดุลดลง ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซับไอออนลบลดลง แต่ไอออนลบที่ทำการทดลองนั้นได้รับผลจากการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชมากกว่า โดยจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างซึ่งส่งผลต่อประจุของไอออนลบ ทำให้ฟอสเฟตและอาร์เซนเดียมมีช่วงค่าพีเอชที่จะถูกดูดซับได้สูงสุดที่ประมาณ 7 ส่วนโครเมตนั้นช่วงค่าพีเอชที่มีการเปลี่ยนโครงสร้างไม่อยู่ในช่วงที่ทำการทดลอง จึงได้รับผลกระทบเพียงการเปลี่ยนแปลงประจุบนพื้นผิวของวัสดุ

### 5.1.3 การศึกษาการดูดซับไอออนลบแบบผสม

จากการศึกษาพบว่า การดูดซับไอออนพร้อมกันมากกว่าหนึ่งชนิด มวลและโครงสร้างของไอออนนั้นมีผลต่อการดูดซับเป็นอย่างมาก โดยไอออนที่มีโครงสร้างที่มีไฮโดรเจนจะสามารถเข้าจับกับพื้นผิวของวัสดุดูดซับได้ดีกว่า เนื่องจากโมเลกุลมีด้านที่เป็นขั้วซึ่งเหนี่ยวนำเข้าหาพื้นผิวของวัสดุที่มีประจุตรงข้ามได้ดีกว่า ส่งผลให้ฟอสเฟตและอาร์เซนเดียมซึ่งมีไฮโดรเจนในโครงสร้างสามารถจับกับพื้นผิวของวัสดุได้ดีกว่าโครเมต ที่ไม่มีไฮโดรเจนในโครงสร้าง ส่วนฟอสเฟตนั้นมีมวลน้อยกว่าอาร์เซนเดียม ทำให้ฟอสเฟตสามารถเข้าจับกับพื้นผิวได้ดีกว่า

### 5.1.4 การศึกษาการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุ LDHs-Fe

จากการศึกษาพบว่าวัสดุที่เหล็กเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ที่นำกลับมาใช้ใหม่นั้นมีประสิทธิภาพลดลงประมาณ 40-60% สำหรับโครเมตและอาร์เซนเดียม ในขณะที่ฟอสเฟตมีประสิทธิภาพในการดูดซับลดลงเพียง 6.38%

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการดูดซับไอออนลบโดยใช้วัสดุเหล็กเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ มีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ศึกษาและปรับปรุงวิธีการสังเคราะห์เพิ่มเติมให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับเพิ่มมากขึ้น
2. ศึกษาประสิทธิภาพในการแยกเอาอนุภาคออกจากระบบหลังทำการบำบัด
3. ศึกษาการดูดซับกับน้ำเสียจริงจากโรงงาน



929108982

CT :Thesis 5870154621 thesis / rev: 01082562 10:45:48 / seq: 15

ภาคผนวก

929108882  
CT ThesIs 5870154621 thesis / recv: 01082562 10:45:48 / seq: 15



ตารางที่ 1 ผลการหาความจุในการดูดซับของฟอสเฟตต่อวัสดุ

LDHs				LDHs-Fe			
C <sub>0</sub> (มก./ล.)	C <sub>e</sub> (มก./ล.)	Q <sub>e</sub> (มก./ก.)	%Removal	C <sub>0</sub> (มก./ล.)	C <sub>e</sub> (มก./ล.)	Q <sub>e</sub> (มก./ก.)	%Removal
9.8272	-2.3845	40.7054	124.264	9.8272	0.6689	30.5274	93.1929
19.6543	0.8988	62.5185	95.4271	19.6543	9.0348	35.3982	54.0312
39.3086	4.0012	79.3591	60.5661	39.3086	24.7727	48.4532	36.9790

ตารางที่ 2 ผลการระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับฟอสเฟตของวัสดุ

Magnetite			LDHs			LDHs-Fe		
T (นาที)	C <sub>t</sub> (มก./ล.)	%R*	T (นาที)	C <sub>t</sub> (มก./ล.)	%R*	T (นาที)	C <sub>t</sub> (มก./ล.)	%R*
30	39.7486	9.5263	30	31.8854	26.5082	30	35.7486	17.6039
60	38.6063	11.0168	60	28.9086	33.3692	60	33.8758	21.9205
90	37.2737	14.0887	90	27.6302	36.3156	90	32.9618	24.0272
120	38.8157	10.5347	120	27.0750	37.5954	120	33.4147	22.9833
180	38.6051	11.0201	180	24.0918	44.4714	180	32.7223	24.5791
240	35.8127	17.4561	240	21.3889	50.7013	240	31.1000	28.3192

%R\*=%Removal

ตารางที่ 3 ผลการหาช่วงค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับฟอสเฟตของวัสดุ

LDHs			LDHs-Fe		
pH	C <sub>e</sub> (มก./ล.)	%Removal	pH	C <sub>e</sub> (มก./ล.)	%Removal
4	22.7139	42.3828	4	27.3010	30.7457
5	25.0328	36.4994	5	28.4778	27.7605
6	21.0020	46.7246	6	30.9666	21.4471
7	18.6612	52.6623	7	32.8055	16.7825
8	22.1940	43.7006	8	33.8692	14.0843
9	22.0420	44.0862	9	21.7077	44.9342

ตารางที่ 4 ผลการหาความจุในการดูดซับของโครเมตต์อวัสดุ

LDHs				LDHs-Fe			
นน. (กรัม)	C <sub>e</sub> (มก./ล.)	Q <sub>e</sub> (มก./ก.)	%Removal	นน. (กรัม)	C <sub>e</sub> (มก./ล.)	Q <sub>e</sub> (มก./ก.)	%Removal
0.0592	3.1000	28.5473	84.7291	0.0663	7.3000	19.1554	64.0394
0.0302	4.1000	52.6490	79.8030	0.0320	10.5000	29.6875	48.2759
0.0174	7.6000	71.2644	62.5616	0.0159	14.0000	37.7358	31.0345



929108882

CU Thesisis 5870154621 thesisis / recv: 01082562 10:45:48 / seq: 15

ตารางที่ 5 ผลการระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมตของวัสดุ

LDHs			LDHs-Fe		
T (นาทื)	C <sub>t</sub> (มก./ล.)	%Removal	T (นาทื)	C <sub>t</sub> (มก./ล.)	%Removal
30	14.4000	32.3944	30	15.8000	25.8216
60	13.8000	35.2113	60	15.6000	26.7606
120	11.4000	46.4789	120	14.8000	30.5164
180	8.5000	60.0939	180	13.9000	34.7418
240	7.0000	67.1362	240	14.3000	32.8638

ตารางที่ 6 ผลการหาช่วงค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมตของวัสดุ

LDHs			LDHs-Fe		
pH	C <sub>e</sub> (มก./ล.)	%Removal	pH	C <sub>e</sub> (มก./ล.)	%Removal
5	19.2000	5.4187	5	21.0000	-3.4483
6	9.6000	52.7094	6	13.9000	31.5271
7	10.3000	49.2611	7	14.4000	29.0640
8	11.1000	45.3202	8	14.4000	29.0640
9	11.5000	43.9498	9	14.8000	27.0936

ตารางที่ 7 ผลการหาความจุในการดูดซับของอาร์เซนิตต่อวัสดุ

LDHs				LDHs-Fe			
นน. (กรัม)	C <sub>e</sub> (มก./ล.)	Q <sub>e</sub> (มก./ก.)	%Removal	นน. (กรัม)	C <sub>e</sub> (มก./ล.)	Q <sub>e</sub> (มก./ก.)	%Removal
0.0593	1.6000	31.0287	92.4883	0.0617	5.1000	24.1491	76.0563
0.0327	4.5000	47.4006	78.8732	0.0305	6.1000	45.5738	71.3615
0.0169	7.7000	72.7811	63.8498	0.0155	10.3000	62.5806	51.6432



929108882

CU Thesisis 5870154621 thesisis / recv: 01082562 10:45:48 / seq: 15

ตารางที่ 8 ผลการระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับอาร์เซนิตของวัสดุ

LDHs			LDHs-Fe		
T (นาทื)	C <sub>t</sub> (มก./ล.)	%Removal	T (นาทื)	C <sub>t</sub> (มก./ล.)	%Removal
30	12.4000	41.7840	30	16.2000	23.9437
60	11.0000	48.3568	60	15.5000	27.2300
120	8.2000	61.5023	120	13.4000	37.0892
180	5.0000	76.5258	180	11.6000	45.5399
240	3.6000	83.0986	240	9.5000	55.3991

ตารางที่ 9 ผลการหาช่วงค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับอาร์เซนิตของวัสดุ

LDHs			LDHs-Fe		
pH	C <sub>e</sub> (มก./ล.)	%Removal	pH	C <sub>e</sub> (มก./ล.)	%Removal
5	8.4000	60.5634	5	15.3000	28.1690
6	5.7000	73.2394	6	11.8000	44.6009
7	4.2000	80.2817	7	8.2000	61.5023
8	10.0000	53.0516	8	7.5000	64.7887
9	8.9000	58.2160	9	11.0000	48.3568



929108982

CU Thesisis 5870154621 thesisis / recv: 01082562 10:45:48 / seq: 15

ตารางที่ 10 ผลการดูดซับฟอสเฟตกับไอออนลบชนิดอื่นพร้อมกันของวัสดุ

	LDHs	LDHs-Fe
	%Removal	
$\text{PO}_4^{2-}$	99.0000	93.1920
$\text{PO}_4^{2-}/\text{AsO}_4^{2-}$	30.8400	33.9000
$\text{PO}_4^{2-}/\text{CrO}_4^{2-}$	26.0300	33.7000
$\text{PO}_4^{2-}/\text{AsO}_4^{2-}/\text{CrO}_4^{2-}$	26.8100	45.8700

ตารางที่ 11 ผลการดูดซับโครเมตกับไอออนลบชนิดอื่นพร้อมกันของวัสดุ

	LDHs	LDHs-Fe
	%Removal	
$\text{CrO}_4^{2-}$	69.0000	27.0000
$\text{CrO}_4^{2-}/\text{AsO}_4^{2-}$	46.7391	23.913.
$\text{CrO}_4^{2-}/\text{PO}_4^{2-}$	34.6154	10.5769
$\text{PO}_4^{2-}/\text{AsO}_4^{2-}/\text{CrO}_4^{2-}$	55.5556	4.7619

ตารางที่ 12 ผลการดูดซับอาร์เซนตกับไอออนลบชนิดอื่นพร้อมกันของวัสดุ

	LDHs	LDHs-Fe
	%Removal	
$\text{AsO}_4^{2-}$	84.0000	49.0000
$\text{AsO}_4^{2-}/\text{CrO}_4^{2-}$	64.2857	54.0816
$\text{AsO}_4^{2-}/\text{PO}_4^{2-}$	20.4301	8.6021
$\text{PO}_4^{2-}/\text{AsO}_4^{2-}/\text{CrO}_4^{2-}$	48.4849	22.7273



929108982

CU Thesisis 5870154621 thesisis / recv: 01082562 10:45:48 / seq: 15

ตารางที่ 13 ผลการนำวัสดุดูดซับกลับมาใช้ใหม่

	1-st	2-nd	1-st	2-nd
	Adsorption	Adsorption	Adsorption	Adsorption
	C <sub>e</sub> (มก./ล.)		%Removal	
PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	30.0994	30.6935	23.6471	28.7717
CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	7.3000	16.7000	64.0394	21.5962
AsO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	5.1000	11.8000	76.0563	44.6009



929108982

CU Thesais 5870154621 thesais / recv: 01082562 10:45:48 / seq: 15

## บรรณานุกรม

- Anderson, M. A., Ferguson, J. F., & Gavis, J. (1976). Arsenate adsorption on amorphous aluminum hydroxide. *Journal of colloid and interface science*, 54(3), 391-399.
- Ardhayanti, L. I., & Santosa, S. J. (2016). Synthesis of Magnetite-Mg/Al hydrotalcite and its application as adsorbent for navy blue and yellow F3G Dyes. *Procedia engineering*, 148, 1380-1387.
- Badruzzaman, M., Westerhoff, P., & Knappe, D. R. (2004). Intraparticle diffusion and adsorption of arsenate onto granular ferric hydroxide (GFH). *Water research*, 38(18), 4002-4012.
- Barquist, K., & Larsen, S. C. (2010). Chromate adsorption on bifunctional, magnetic zeolite composites. *Microporous and Mesoporous Materials*, 130(1-3), 197-202.
- Brinker, C. J., & Scherer, G. W. (2013). *Sol-gel science: the physics and chemistry of sol-gel processing*: Academic press.
- Chao, H.-P., Wang, Y.-C., & Tran, H. N. (2018). Removal of hexavalent chromium from groundwater by Mg/Al-layered double hydroxides using characteristics of in-situ synthesis. *Environmental pollution*, 243, 620-629.
- Chen, D., Li, Y., Zhang, J., Li, W., Zhou, J., Shao, L., & Qian, G. (2012). Efficient removal of dyes by a novel magnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/ZnCr-layered double hydroxide adsorbent from heavy metal wastewater. *J Hazard Mater*, 243, 152-160.  
doi:10.1016/j.jhazmat.2012.10.014
- Chen, D., Li, Y., Zhang, J., Li, W., Zhou, J., Shao, L., & Qian, G. (2012). Efficient removal of dyes by a novel magnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/ZnCr-layered double hydroxide adsorbent from heavy metal wastewater. *Journal of hazardous materials*, 243, 152-160.
- Giovannelli, F., Zaghrioui, M., Autret-Lambert, C., Delorme, F., Seron, A., Chartier, T., & Pignon, B. (2012). Magnetic properties of Ni (II)–Mn (III) LDHs. *Materials Chemistry and Physics*, 137(1), 55-60.
- Giovannelli, F., Zaghrioui, M., Autret-Lambert, C., Delorme, F., Seron, A., Chartier, T., & Pignon, B. (2012). Magnetic properties of Ni(II)–Mn(III) LDHs. *Materials Chemistry and Physics*, 137(1), 55-60. doi:10.1016/j.matchemphys.2012.07.057

- Hong, X., Zhu, E., Ye, Z., Hui, K., & Hui, K. (2019). Enhanced phosphate removal under an electric field via multiple mechanisms on MgAl-LDHs/AC composite electrode. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 836, 16-23.
- Järup, L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. *British medical bulletin*, 68(1), 167-182.
- Li, R., Wang, J. J., Zhou, B., Awasthi, M. K., Ali, A., Zhang, Z., . . . Mahar, A. (2016). Enhancing phosphate adsorption by Mg/Al layered double hydroxide functionalized biochar with different Mg/Al ratios. *Science of the Total Environment*, 559, 121-129.
- Lu, L., Li, J., Ng, D. H., Yang, P., Song, P., & Zuo, M. (2017). Synthesis of novel hierarchically porous Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@ MgAl-LDH magnetic microspheres and its superb adsorption properties of dye from water. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 46, 315-323.
- Luo, S., Guo, Y., Yang, Y., Zhou, X., Peng, L., Wu, X., & Zeng, Q. (2019). Synthesis of calcined La-doped layered double hydroxides and application on simultaneously removal of arsenate and fluoride. *Journal of Solid State Chemistry*, 275, 197-205.
- Nalbandian, M. J., Zhang, M., Sanchez, J., Choa, Y.-H., Nam, J., Cwiertny, D. M., & Myung, N. V. (2016). Synthesis and optimization of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofibers for chromate adsorption from contaminated water sources. *Chemosphere*, 144, 975-981.
- Ng, J. C., Wang, J., & Shraim, A. (2003). A global health problem caused by arsenic from natural sources. *Chemosphere*, 52(9), 1353-1359.
- Özacar, M. (2003). Adsorption of phosphate from aqueous solution onto alunite. *Chemosphere*, 51(4), 321-327.
- Qu, J., He, X., Chen, M., Huang, P., Zhang, Q., & Liu, X. (2017). A facile mechanochemical approach to synthesize Zn-Al layered double hydroxide. *Journal of Solid State Chemistry*, 250, 1-5.
- Su, Y., Cui, H., Li, Q., Gao, S., & Shang, J. K. (2013). Strong adsorption of phosphate by amorphous zirconium oxide nanoparticles. *Water research*, 47(14), 5018-5026.
- Tang, K. B., Qian, Y. T., Zeng, J. H., & Yang, X. G. (2003). Solvothermal route to semiconductor nanowires. *Advanced Materials*, 15(5), 448-450.



929108982

CD IThesis 5870154621 thesis / revv: 01082562 10:45:48 / seq: 15



- Thompson, C. M., Haws, L. C., Harris, M. A., Gatto, N. M., & Proctor, D. M. (2010). Application of the US EPA mode of action Framework for purposes of guiding future research: a case study involving the oral carcinogenicity of hexavalent chromium. *Toxicological Sciences*, *119*(1), 20-40.
- Wan, S., Wang, S., Li, Y., & Gao, B. (2017). Functionalizing biochar with Mg–Al and Mg–Fe layered double hydroxides for removal of phosphate from aqueous solutions. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, *47*, 246-253.
- Wang, Q., Tian, S., Long, J., & Ning, P. (2014). Use of Fe (II) Fe (III)-LDHs prepared by co-precipitation method in a heterogeneous-Fenton process for degradation of Methylene Blue. *Catalysis Today*, *224*, 41-48.
- Wheaton, R., & Lefevre, L. (2000). Dow Liquid Separations: DOWEX Ion Exchange Resins– Fundamentals of Ion Exchange. *The Dow Chemical Company, Form(177-01837)*.
- Yan, L.-g., Yang, K., Shan, R.-r., Yan, T., Wei, J., Yu, S.-j., . . . Du, B. (2015). Kinetic, isotherm and thermodynamic investigations of phosphate adsorption onto core–shell Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@ LDHs composites with easy magnetic separation assistance. *Journal of colloid and interface science*, *448*, 508-516.
- Zhang, Q., Ji, F., Zhao, T., Shen, Q., Fang, D., Kuang, L., . . . Ding, S. (2019). Systematic screening of layered double hydroxides for phosphate removal and mechanism insight. *Applied Clay Science*, *174*, 159-169.
- Zheng, J., Liu, Z., Zhao, X., Liu, M., Liu, X., & Chu, W. (2012). One-step solvothermal synthesis of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@ C core–shell nanoparticles with tunable sizes. *Nanotechnology*, *23*(16), 165601.
- นุชรีย์ ชมเชย. (2553). การพัฒนาและศึกษาลักษณะสมบัติเฉพาะของวัสดุร่วมเคลือบ - อนุภาคแม่เหล็กนาโน. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์,
- บุญยหนู บุญไสย, อรวรรณ สุขสมบัติ, & ปิยะพร ณ หนองคาย. (2557). การสังเคราะห์และวิเคราะห์อนุภาคนาโนแม่เหล็กเคลือบด้วยพีเอ็มเอเอ็มพีซีโคพอลิเมอร์. มหาวิทยาลัยบูรพา,
- พันธ์, พ. ศ. ห., & ชัยชนะ, ร. ช. (2014). ผลกระทบของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่อการเกิดยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำและการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส. *Kasetsart Engineering Journal*, *27*(88), 57-67.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ดิษฐ์ ศรีเมฆ
วัน เดือน ปี เกิด	24 เมษายน 2535
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลศิริราช
วุฒิการศึกษา	สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2557 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรม สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2558
ที่อยู่ปัจจุบัน	199/42 หมู่บ้านมณฑนา ปิ่นเกล้า-พระราม 5 ถนนนครอินทร์ ตำบลบางขุน ทอง อำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี 11130



929108882

CD Thesais 5870154621 thsais / recv: 01082562 10:45:48 / seq: 15