

การเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี
เพื่อกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียฟาร์มสุกร

นางสาววิไลวรรณ เทียนกระจ่าง



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

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 University Graduate School.

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Preparation of Sodium Aluminate from Alumina Waste from Petroleum Industry for
Phosphorus Removal from Domestic Wastewater and Swine Wastewater

Miss Vilaiwan Teankrajang



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินาจาก
อุตสาหกรรมปิโตรเคมีเพื่อกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชน
และน้ำเสียฟาร์มสุกร

โดย

นางสาววิไลวรรณ เทียนกระจ่าง

สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.อรรถัย ขวาลภาฤทธิ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ดร.เรวดี อนุวัฒนา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณย์ เตชะเสน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.อรรถัย ขวาลภาฤทธิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร.เรวดี อนุวัฒนา)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปฎิภาณ ปัญญาพลกุล)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พีเชรพร เขาวกิจเจริญ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ประภา โช๊ะสลาม)

วิไลวรรณ เทียนกระจ่าง : การเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีเพื่อกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียฟาร์มสุกร (Preparation of Sodium Aluminate from Alumina Waste from Petroleum Industry for Phosphorus Removal from Domestic Wastewater and Swine Wastewater) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.อรทัย ชวลาภาฤทธิ์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ดร.เรวดี อนุวัฒนา, 128 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาแนวทางการจัดการของเสียอะลูมินาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่ใช้ดูดซับความชื้นจากอากาศในห้องปฏิบัติการ โดยนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนต ซึ่งจุดมุ่งหมายของการวิจัยครั้งนี้ คือ ศึกษาสถานะที่เหมาะสมต่อการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและศึกษาการนำโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้มาทดลองกำจัดฟอสฟอรัสจากน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียฟาร์มสุกร ซึ่งจะทำการทดลองเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตโดยการละลายของเสียอะลูมินาในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์และอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินา ($\text{Na}_2\text{O}:\text{Al}_2\text{O}_3$) จากผลการศึกษาพบว่าโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้จากการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์ และอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินาที่ 2:0.75 มีผลการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction : XRD) ได้กราฟการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์คล้ายกับโซเดียมอะลูมิเนตมาตรฐาน (บริสุทธิ์) และไม่มีตำแหน่งกราฟของของเสียอะลูมินาที่ใช้เป็นวัตถุดิบเหลืออยู่ และมีค่าร้อยละการเกิดผลึกสูงที่สุด (93.62%) โครงสร้างผลึกส่วนใหญ่คล้ายกับโซเดียมอะลูมิเนตมาตรฐานซึ่งมีรูปร่างเป็นออร์ทอโรห์มบิกและมีรูปร่างทรงสี่หน้า รวมทั้งมีองค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่คล้ายกับโซเดียมอะลูมิเนตมาตรฐาน เมื่อนำโซเดียมอะลูมิเนตมากำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียสังเคราะห์พบว่าอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสที่อัตราส่วน 3:1 และค่าพีเอชที่ 6.5 เป็นสถานะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดฟอสฟอรัส และเมื่อศึกษากำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนพบว่าอัตราส่วนโดยมวลอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสที่เหมาะสมของการกำจัดอโรฟอสฟอรัสและฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้และโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายทางการค้ามีอัตราส่วนใกล้เคียง คือ 6:1 และ 7.3:1 ตามลำดับ เมื่อศึกษาการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียฟาร์มสุกรพบว่าอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสที่เหมาะสมของการกำจัดอโรฟอสฟอรัสและฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้และโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายทางการค้าใกล้เคียง คือ 7.5:1 ถึง 9:1

ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	ลายมือชื่อนิสิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก
ปีการศึกษา	2557	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

5570379221 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS: ALUMINA WASTE / SODIUM ALUMINATE / SODIUM HYDROXIDE / WASTE RECYCLING

VILAIWAN TEANKRAJANG: Preparation of Sodium Aluminate from Alumina Waste from Petroleum Industry for Phosphorus Removal from Domestic Wastewater and Swine Wastewater. ADVISOR: ASST. PROF. ORATHAI CHAVALPARIT, Ph.D., CO-ADVISOR: REWADEE ANUWATTANA, Ph.D., 128 pp.

In this research, alumina waste from absorb moisture from the air in laboratories in the petrochemical industry was used to recycle as raw material for preparation of sodium aluminate. The aim of this research is to determine the optimum conditions for preparation sodium aluminate from such alumina waste from petrochemical industry. Then, sodium aluminate prepared from alumina waste was used for precipitate phosphorus from domestic wastewater and swine wastewater. Sodium aluminate was prepared by the dissolution of alumina waste in a sodium hydroxide. The amount of alumina waste and the concentration of sodium hydroxide were adjusted to the mole ratio of sodium oxide and alumina ($\text{Na}_2\text{O}:\text{Al}_2\text{O}_3$). The results showed that the optimum concentration of sodium hydroxide was 6M and the ratio of $\text{Na}_2\text{O}:\text{Al}_2\text{O}_3$ was 2:0.75. The results from prepared sodium aluminate analysis showed that it had the XRD spectra similar to sodium aluminate standard graph. The highest percentage of sodium aluminate crystal (93.62%). The structures are approximately similar to the sodium aluminate standard. It mostly consisted of orthorhombic and tetrahedral crystals. It was observed that the optimum ratio of aluminium (Al content in sodium aluminate) and phosphorus for phosphorus removal from synthesis wastewater was the ratio 3:1 at pH 6.5. However, the optimum ratio of aluminium and phosphorus for ortho phosphorus and total phosphorus removal from domestic wastewater and swine wastewater was about 2 time higher than from synthesis wastewater. The optimum ratio of aluminium and phosphorus for ortho phosphorus and total phosphorus removal from domestic wastewater and swine wastewater were 6:1 and 7.5:1, respectively and 7.5:1 and 9:1, respectively.

Department: Environmental Engineering Student's Signature

Field of Study: Environmental Engineering Advisor's Signature

Academic Year: 2014 Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีได้รับความช่วยเหลือและอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มาโดยตลอดผู้ทำวิจัยจึงขอกราบขอพระคุณผู้ที่ให้ความช่วยเหลือและอนุเคราะห์ดังต่อไปนี้

รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร. เรวดี อนุวัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้ความรู้ ความเข้าใจ ช่วยเหลือและสนับสนุนในด้านต่างๆ จนวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์

ท่านประธาน และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาเสียสละเวลา ความรู้ คำชี้แนะ ทำให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์และสำเร็จไปได้ด้วยดี

คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ได้ให้ความรู้ ความช่วยเหลือและอบรมสั่งสอน

กลุ่มบริษัท พีทีที โกลบอลเคมิคอล จำกัด ที่อนุเคราะห์ตัวอย่างในงานวิจัย

โรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร และคุณชัยวัฒน์ จีรนุวัฒน์ เจ้าของฟาร์มสุกรประชาฟาร์ม ที่ช่วยอนุเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย จากโครงการการสร้างภาคีในการผลิตบัณฑิตระดับปริญญาโท-เอก ระหว่างสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยและสถาบันการศึกษา ที่สนับสนุนเงินทุนและอุปกรณ์ในการทำวิจัย

ทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์จากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก "ทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย" กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

ครอบครัว พี่ๆ เพื่อนๆ ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ ทั้งให้คำปรึกษา เป็นกำลังใจในการทำงาน และดูแลกันระหว่างการทำวิจัยมาตลอด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ	ฏ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 อะลูมินา.....	4
2.1.1 กระบวนการผลิตอะลูมินา.....	4
2.1.2 การนำไปใช้ประโยชน์.....	7
2.1.3 อะลูมินาคูดความชื้น.....	8
2.1.4 ปริมาณของเสียอะลูมินา.....	11
2.1.5 แนวทางการจัดการของเสียอะลูมินา.....	11
2.1.6 การชะละลาย	12
2.2 โซเดียมอะลูมิเนต.....	13
2.2.1 กระบวนการผลิตโซเดียมอะลูมิเนต.....	15
2.2.2 ลักษณะสมบัติโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายเป็นการค้า.....	15

2.2.3 การนำโซเดียมอะลูมิเนตมาใช้ประโยชน์.....	16
2.3 กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางเคมี	17
2.4 กระบวนการตกตะกอนทางเคมี.....	18
2.4.1 กระบวนการโคแอกกูเลชันและฟล็อกคูเลชัน	18
2.4.1.1 พฤติกรรมของคอลลอยด์.....	19
2.4.1.2 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการตกตะกอน.....	22
2.4.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการตกตะกอน	24
2.4.2 การตกตะกอนผลึก (Precipitation).....	25
2.4.3 การควบคุมการตกตะกอนด้วยวิธีจาร์เทสต์ (Jar test).....	25
2.4.4 การใช้โซเดียมอะลูมิเนตเป็นสารตกตะกอน	26
2.5 ฟอสฟอรัส (Phosphorus).....	26
2.5.1 สารประกอบฟอสฟอรัส.....	26
2.5.2 แหล่งที่มาของฟอสฟอรัส.....	26
2.5.3 ผลกระทบของฟอสฟอรัส	27
2.5.4 เทคโนโลยีในการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสีย.....	27
2.5.5 วิธีการวิเคราะห์ฟอสฟอรัส.....	29
2.6 น้ำเสียที่ใช้ในการศึกษา	30
2.6.1 น้ำเสียชุมชน.....	30
2.6.1.1 ลักษณะน้ำเสียชุมชน.....	30
2.6.2 น้ำเสียฟาร์มสุกร	33
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	35
2.7.1 การนำของเสียอะลูมินามาใช้ประโยชน์.....	35
2.7.2 การผลิตโซเดียมอะลูมิเนต	37

2.7.3 การใช้โซเดียมอะลูมิเนตเป็นสารตกตะกอน	38
2.7.4 การใช้งานโซเดียมอะลูมิเนตด้านอื่นๆ.....	39
2.8 สรุปการทบทวนเอกสารงานวิจัยและนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้.....	41
บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย.....	49
3.1 แผนการทดลอง	49
3.2 วัสดุ สารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	51
3.2.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย	51
3.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	51
3.2.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	51
3.3 วิธีการทดลอง.....	52
3.3.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และทดสอบการชะละลายของ ของเสียอะลูมินา	52
3.3.1.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของของเสียอะลูมินา	52
3.3.1.2 ศึกษาสมบัติทางเคมีของของเสียอะลูมินา.....	53
3.3.1.3 ศึกษาการชะละลายของของเสียอะลูมินา	53
3.3.2 ศึกษาการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินา	53
3.3.2.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมิ นา.....	53
3.3.2.2 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของโซเดียมอะลูมิเนต.....	54
3.3.2.3 ศึกษาปริมาณอะลูมิเนียมในโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้จากของเสียอะลูมิ นา.....	54
3.3.3 ศึกษาต้นทุนการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินาเปรียบเทียบกับ โซเดียมอะลูมิเนตที่ขายทางการค้าและประเมินค่าใช้จ่ายเปรียบเทียบกับการ จัดการของเสียอะลูมินา.....	55

3.3.4	ศึกษาการนำโซเดียมอะลูมิเนตมากำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียฟาร์มสุกร.....	56
3.3.4.1	ศึกษาอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัส (Al : P) ที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส.....	56
3.3.4.2	ศึกษาผลของค่าพีเอชเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส	56
3.3.4.3	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมจากของเสียอะลูมินาเปรียบเทียบกับโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายทางการค้า	57
3.4	วิธีการวิเคราะห์.....	58
บทที่ 4	ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....	59
4.1	ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของของเสียอะลูมินา.....	59
4.1.1	ลักษณะสมบัติทางกายภาพของของเสียอะลูมินา	59
4.1.2	ลักษณะสมบัติทางเคมีของอะลูมินาที่ใช้งานแล้ว.....	60
4.1.3	การชะละลายของของเสียอะลูมินา	62
4.2	การเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินา.....	63
4.2.1	สภาวะที่เหมาะสมของการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินา	63
4.2.1.1	ผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์	63
4.2.1.2	ผลของอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินา.....	66
4.2.1.3	ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในการที่เหมาะสมในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนต	70
4.2.2	ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของโซเดียมอะลูมิเนต.....	72
4.2.2.1	ลักษณะสมบัติทางกายภาพของโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้	73
4.2.2.2	ลักษณะสมบัติทางเคมีของโซเดียมอะลูมิเนต.....	75

4.2.3 ศึกษาปริมาณอะลูมิเนียมในโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้จากอะลูมินาที่ใช้งาน แล้ว.....	77
4.3 ศึกษาต้นทุนการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินา.....	78
4.4 การนำโซเดียมอะลูมิเนตมากำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียฟาร์มสุกร.....	79
4.4.1 ศึกษาอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัส (Al : P) ที่เหมาะสมต่อ ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส.....	79
4.4.2 ผลของค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส.....	81
4.4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียฟาร์มสุกร.....	82
4.3.3.1 น้ำเสียชุมชน.....	82
4.3.3.2 น้ำเสียฟาร์มสุกร.....	86
4.5 การเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ.....	94
4.5.1 การเตรียมโซเดียมอะลูมิเนต.....	94
4.5.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสกับสารตกตะกอนชนิดต่างๆ.....	94
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	96
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	96
5.1.1 สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินา.....	96
5.1.2 ค่าใช้จ่ายในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินา.....	97
5.1.3 การนำโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมจากของเสียอะลูมินามาใช้กำจัดฟอสฟอรัสจากน้ำ เสียชุมชนและน้ำเสียฟาร์มสุกร.....	97
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	98
รายการอ้างอิง.....	99
ภาคผนวก.....	105
ภาคผนวก ก วิธีการทดลอง.....	106
ภาคผนวก ข ผลการทดลอง.....	111

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 128



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สมบัติทั่วไปของอะลูมินา.....	6
ตารางที่ 2. 2 สมบัติและสภาวะการสังเคราะห์แอคติเวทเต็ดอะลูมินาแต่ละชนิด.....	9
ตารางที่ 2. 3 ลักษณะสมบัติของอะลูมินาคูดความชื้น.....	10
ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบของโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายเป็นการค้าในรูปของแข็งแห้ง.....	16
ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดของสารตกตะกอนแต่ละชนิด.....	24
ตารางที่ 2. 6 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียชุมชน.....	32
ตารางที่ 2.7 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน.....	33
ตารางที่ 2. 8 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียฟาร์มสุกรที่จำแนกตามขนาดของฟาร์ม.....	33
ตารางที่ 2. 9 มาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร.....	34
ตารางที่ 2. 10 สรุปรงานวิจัยเกี่ยวกับการนำอะลูมินาที่ใช้แล้วมาใช้ประโยชน์.....	41
ตารางที่ 2. 11 สรุปรงานวิจัยเกี่ยวกับการนำอะลูมินาที่ใช้แล้วมาใช้ประโยชน์.....	42
ตารางที่ 2.12 สรุปรงานวิจัยเกี่ยวกับการผลิตโซเดียมอะลูมิเนต.....	43
ตารางที่ 2. 13 สรุปรงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้โซเดียมอะลูมิเนตเป็นสารตกตะกอน.....	44
ตารางที่ 2.14 สรุปรงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้งานโซเดียมอะลูมิเนตด้านอื่น.....	46
ตารางที่ 3. 1 ตัวแปรที่ทำการศึกษาคาร์ตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินา.....	54
ตารางที่ 3. 2 ตัวแปรที่ทำการศึกษาคาร์ตรียมโซเดียมอะลูมิเนตมากำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชน และน้ำเสียฟาร์มสุกร.....	57
ตารางที่ 3. 3 วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	58
ตารางที่ 4. 1 องค์ประกอบทางเคมีของของเสียอะลูมินา.....	61
ตารางที่ 4. 2 ปริมาณของโลหะหนักในของเสียอะลูมินา.....	63
ตารางที่ 4. 3 ข้อมูลการวิเคราะห์ด้วยเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ของอัตราส่วน 2:0.75 และโซเดียม อะลูมิเนตมาตรฐาน.....	76

ตารางที่ 4. 4 ราคาวัตถุดิบที่ใช้เตรียมโซเดียมอะลูมิเนต 1 กิโลกรัม	78
ตารางที่ 4. 5 ค่าใช้จ่ายในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินามาเปรียบเทียบกับ ราคาของโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายเป็นการค้าและประเมินค่าใช้จ่ายเปรียบเทียบกับจัดการของ เสียอะลูมินา.....	79
ตารางที่ 4. 6 คุณภาพน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดแล้ว	82
ตารางที่ 4. 7 น้ำหนักตะกอนจากน้ำเสียชุมชนที่อัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัส ต่างๆ.....	86
ตารางที่ 4. 8 ลักษณะน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดแบบไร้อากาศ	87
ตารางที่ 4. 9 น้ำหนักตะกอนจากน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดแบบไร้อากาศที่อัตราส่วน โดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสต่างๆ.....	89
ตารางที่ 4. 10 ลักษณะน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดขั้นสุดท้ายพร้อมปล่อยออกสู่แหล่งน้ำ ธรรมชาติ.....	90
ตารางที่ 4. 11 น้ำหนักตะกอนจากน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดขั้นสุดท้ายพร้อมปล่อย ออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติที่อัตราส่วนโดยมวลอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสต่างๆ	93
ตารางที่ 4. 12 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดของสารตกตะกอนแต่ละชนิด	94

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2. 1 โครงสร้างของอะลูมินา.....	6
ภาพที่ 2. 2 ลักษณะของอะลูมินาจุดความชื้น	10
ภาพที่ 2. 3 การตรวจสอบของเสียอันตราย.....	13
ภาพที่ 2. 4 ความสมดุลของเฟสโซเดียมออกไซด์ อะลูมินาและน้ำในการเกิดโซเดียมอะลูมิเนตที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	14
ภาพที่ 2. 5 กระบวนการผลิตโซเดียมอะลูมิเนต	15
ภาพที่ 2. 6 โมเดลที่ใช้อธิบาย Electric Double Layer Theory	21
ภาพที่ 2. 7 สมการการรวมตัวกับคอลลอยด์ของ Al^{3+}	23
ภาพที่ 2. 8 อุปกรณ์ในการทำอาร์เทสต์.....	25
ภาพที่ 3. 1 ขั้นตอนของการดำเนินงานวิจัย	50
ภาพที่ 3. 2 ศึกษาการประเมินค่าใช้จ่าย.....	55
ภาพที่ 4. 1 ของเสียอะลูมินาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี.....	59
ภาพที่ 4. 2 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของของเสียอะลูมินา	60
ภาพที่ 4. 3 การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของของเสียอะลูมินา	62
ภาพที่ 4. 4 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมจากอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินาที่ 2:1 โดยปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์	65
ภาพที่ 4. 5 ร้อยละการเกิดผลึกโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมจากอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินาที่ 2:1 โดยปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์	66
ภาพที่ 4. 6 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 6 โมลาร์ โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินา.....	68
ภาพที่ 4. 7 ร้อยละการเกิดผลึกโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมจากความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 6 โมลาร์ โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินา.....	69

ภาพที่ 4. 8 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมจากอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียม-ออกไซด์ต่ออะลูมินาที่ 2:0.75 โดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์..71	71
ภาพที่ 4. 9 ร้อยละการเกิดผลึกโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมจากอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินาที่ 2:0.75 โดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์72	72
ภาพที่ 4. 10 โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้จากอะลูมินาที่ใช้งานแล้ว.....73	73
ภาพที่ 4. 11 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมจากอัตราส่วนโดยโมลของ ..74	74
ภาพที่ 4. 12 ลักษณะสัญญาณของโซเดียมอะลูมิเนตที่อัตราส่วน 2:0.75 และโซเดียมอะลูมิเนตมาตรฐาน75	75
ภาพที่ 4. 13 การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของของเสียอะลูมินา..... 77	77
ภาพที่ 4. 14 ปริมาณอโรฟอสฟอรัสที่อัตราส่วนโดยโมลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสต่างๆ ...80	80
ภาพที่ 4. 15 ปริมาณอโรฟอสฟอรัสที่ค่าพีเอชต่างๆ81	81
ภาพที่ 4. 16 ประสิทธิภาพการกำจัดอโรฟอสฟอรัสของน้ำเสียชุมชนโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้.....83	83
ภาพที่ 4. 17 ประสิทธิภาพการกำจัดอโรฟอสฟอรัสของน้ำเสียชุมชนโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตทางการค้า83	83
ภาพที่ 4. 18 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียชุมชนโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้.....85	85
ภาพที่ 4. 19 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียชุมชนโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตทางการค้า85	85
ภาพที่ 4. 20 ประสิทธิภาพการกำจัดอโรฟอสฟอรัสของน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดแบบไร้อากาศโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้87	87
ภาพที่ 4. 21 ประสิทธิภาพการกำจัดอโรฟอสฟอรัสของน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดแบบไร้อากาศโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตทางการค้า88	88
ภาพที่ 4. 22 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดแบบไร้อากาศโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้.....88	88

ภาพที่ 4. 23 ประสิทธิภาพการกำจัดอโรสปอร์สทั้งหมดของน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดแบบไร้อากาศโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตทางการค้า	89
ภาพที่ 4. 24 ประสิทธิภาพการกำจัดอโรสปอร์สของน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดขั้นสุดท้ายพร้อมปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้	91
ภาพที่ 4. 25 ประสิทธิภาพการกำจัดอโรสปอร์สของน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดขั้นสุดท้ายพร้อมปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตทางการค้า	91
ภาพที่ 4. 26 ประสิทธิภาพการกำจัดอโรสปอร์สทั้งหมดของน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดขั้นสุดท้ายพร้อมปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้.....	92
ภาพที่ 4. 27 ประสิทธิภาพการกำจัดอโรสปอร์สทั้งหมดของน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดขั้นสุดท้ายพร้อมปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตทางการค้า.....	92



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ของเสียอะลูมินาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีเป็นของเสียที่เกิดจากอะลูมินาในกระบวนการดูดความชื้นในอากาศ ซึ่งเป็นสารที่ใช้ดูดความชื้นจากอากาศเพื่อปรับความชื้นสัมพัทธ์ให้พอเหมาะต่อการทำงานในห้วงปฏิบัติการต่างๆ และดูดความชื้นจากอากาศก่อนเข้าสู่ระบบปรับอากาศภายในอาคาร ซึ่งระบบปรับอากาศนับเป็นส่วนประกอบสำคัญของอาคารมีหน้าที่หลักในการควบคุมความชื้นและอุณหภูมิของอากาศในอาคาร เพื่อช่วยลดปัญหาคุณภาพของอากาศภายในอาคารเนื่องจากความชื้นที่เกิดขึ้นภายในอาคารเป็นแหล่งกำเนิดของแบคทีเรียหรือเชื้อราต่างๆ (ทะนงเกียรติเกียรติศิริโรจน์ และคณะ, 2545) จึงทำให้เกิดของเสียอะลูมินาเพิ่มจำนวนมากขึ้น ซึ่งมีปริมาณของเสียอะลูมินาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีเกิดขึ้นประมาณ 37.5 ตันต่อปี เนื่องจากมูลค่าของอะลูมินาที่ใช้ดูดความชื้นมีราคาต่ำส่งผลให้ผู้ประกอบการธุรกิจไม่ได้ให้ความสำคัญในการจัดการของเสียอะลูมินา จึงทำให้ปริมาณของเสียอะลูมินาถูกส่งไปกำจัดด้วยการเผากับปูนซีเมนต์และการฝังกลบมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้เสียค่าใช้จ่ายสูงต่อการนำของเสียอะลูมินาไปกำจัดเพิ่มขึ้น โดยค่าใช้จ่ายในการส่งกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบต้องเสียค่าใช้จ่าย 3,200 บาทต่อตัน และเสียค่าขนส่ง 2,200 บาทต่อครั้ง ส่วนค่าใช้จ่ายในการเผากับปูนซีเมนต์เท่ากับ 3,000 – 4,000 บาทต่อตัน แนวคิดการจัดการของเสียอะลูมินาเพื่อลดปริมาณการส่งไปกำจัด โดยการนำของเสียอะลูมินามาสังเคราะห์เป็นโซเดียมอะลูมิเนตเพื่อมุ่งเน้นการใช้โซเดียมอะลูมิเนตเป็นสารเร่งตกตะกอนและสามารถปรับค่าความเป็นกรดต่าง เมื่อลดต้นทุนการบำบัดน้ำเสียได้นั้นสามารถเพิ่มมูลค่าของเสียเหลือทิ้งเหล่านี้ได้อีกทางเลือกหนึ่ง

โซเดียมอะลูมิเนตเป็นสารอนินทรีย์ที่มีขายทางการค้าโดยใช้เป็นสารตั้งต้นที่มีประสิทธิภาพในการผลิตอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์สำหรับวงการอุตสาหกรรมและการประยุกต์ใช้งานในทางเทคนิค สารโซเดียมอะลูมิเนตบริสุทธิ์ (ที่ไม่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ) เป็นผลึกสีขาว ประโยชน์ของโซเดียมอะลูมิเนตมีหลายด้านขึ้นกับวัตถุประสงค์ในการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป เช่น ทางด้านเทคโนโลยีการก่อสร้างโซเดียมอะลูมิเนตใช้เป็นตัวเร่งให้คอนกรีตเกิดการแข็งตัวใช้กันอย่างแพร่หลายในการทำงานสภาวะที่มีอากาศเย็นมากๆ นอกจากนั้นยังมีการใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ การผลิตอิฐทนไฟ และการผลิตอะลูมินาเป็นต้น ทางด้านสิ่งแวดล้อมโซเดียมอะลูมิเนตถูกนำมาใช้เป็นสารช่วยตกตะกอนทางเคมี (Coagulant) และใช้เป็นสารช่วยทำให้เกิดการรวมตัวของตะกอนสามารถนำมาบำบัดฟอสเฟตและฟลูออไรด์ในน้ำเสียได้ รวมทั้งสามารถใช้ปรับสภาพน้ำให้เป็นน้ำอ่อน ในปัจจุบันนิยมใช้ร่วมกับสารส้มในการกำจัดฟอสฟอรัสจากน้ำเสียชุมชน (Keller และ Len, 2003) ข้อดีของ

การนำโซเดียมอะลูมิเนตเป็นสารตกตะกอน คือสามารถใช้ได้ดีกับน้ำหรือน้ำเสียที่มีค่าพีเอชต่ำ เนื่องจากเป็นสารที่มีค่าต่างสูง และการทำปฏิกิริยาของโซเดียมอะลูมิเนตในการตกตะกอนเหมือนกับ การทำปฏิกิริยาของสารส้มจึงสามารถใช้แทนสารส้มได้ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้โซเดียมอะลูมิเนต กับการใช้สารส้มแล้ว พบว่าการใช้โซเดียมอะลูมิเนตไม่ต้องปรับค่าพีเอชของน้ำทำให้สามารถลด ค่าใช้จ่ายในการใช้สารต่างลง (Ripley, 1974)

ฟอสฟอรัสในน้ำธรรมชาติหรือน้ำเสียจะอยู่ในรูปของฟอสเฟตถือเป็นสารประกอบที่มีการ นำมาใช้ประโยชน์กันอย่างกว้างขวาง เช่น นำมาใช้ผลิตปุ๋ยเนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่ช่วยใน การเจริญเติบโตของพืช นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสารชะล้าง และนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เป็น ต้น แต่ในปัจจุบันปริมาณฟอสฟอรัสส่วนใหญ่ในน้ำเสียชุมชนเกิดจากการใช้สารซักล้างตามบ้านเรือน ทำ ให้ปริมาณความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนอยู่ระหว่าง 3-15 มิลลิกรัมต่อลิตร (Metcalf และ คณะ, 1991) ที่มีค่าเกินกว่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนซึ่งกำหนด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดไม่เกิน 2 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร และน้ำเสียจากฟาร์มสุกรมีปริมาณ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูง เมื่อระบายน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำทำให้ปริมาณของฟอสฟอรัสในน้ำเพิ่มสูงขึ้น เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน คือ น้ำมีปริมาณธาตุอาหารมากเกินไปจนส่งผลให้การเจริญเติบโต ของพืชน้ำ สาหร่าย และแพลงก์ตอนพืชเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงอย่างรวดเร็วทำให้ สิ่งมีชีวิตในน้ำตายและเกิดการทับถมทำให้น้ำเน่าเสีย (กรรณิการ์ สิริสิงห, 2544)

การศึกษาการใช้ประโยชน์ของโซเดียมอะลูมิเนตในการกำจัดฟอสฟอรัสด้วยกระบวนการ ตกตะกอนทางเคมี โดยศึกษาการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียโดยอ้างอิงอัตราส่วนที่เหมาะสมของ อะลูมิเนียมที่ใช้ต่อฟอสฟอรัสที่กำจัดได้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 2:1 ถึง 3:1 (De Haas และคณะ, 2000) และค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดฟอสฟอรัสด้วยอะลูมิเนียมอยู่ที่ 5.5-8.0 (Hsu, 1976) งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาการสังเคราะห์โซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินาเพื่อนำของเสียดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ ต่อการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียฟาร์มสุกร โดยศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของ โซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินาและความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ รวมทั้งศึกษาสภาวะที่เหมาะสมใน การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียฟาร์มสุกร

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

1.2.2 ศึกษาประสิทธิภาพของโซเดียมอะลูมิเนตในการกำจัดฟอสฟอรัสจากน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียฟาร์มสุกร

1.2.3 ศึกษาต้นทุนการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมจากของเสียอะลูมินาเปรียบเทียบกับโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายทางการค้า และประเมินค่าใช้จ่ายเปรียบเทียบกับการจัดการของเสียอะลูมินา

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2-10 โมลต่อลิตร และอัตราส่วนโดยมวลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินา

1.3.2 ศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานโซเดียมอะลูมิเนตที่ผลิตได้ต่อการกำจัดฟอสฟอรัสเทียบกับโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายทางการค้า

1.3.3 ศึกษาการประเมินค่าใช้จ่ายในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมจากของเสียอะลูมินาเปรียบเทียบกับโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายทางการค้าและการจัดการของเสียอะลูมินา

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เป็นแนวทางการจัดการและเพิ่มมูลค่าของของเสียอะลูมินา

1.4.2 เป็นแนวทางในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินา

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อะลูมินา

2.1.1 กระบวนการผลิตอะลูมินา

อะลูมินา (Alumina) มีชื่อทางเคมีคืออะลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminium oxide) เป็นสารประกอบทางเคมีของอะลูมิเนียมและออกซิเจน มีสูตรทางเคมี คือ Al_2O_3 มีรูปร่างโมเลกุลเป็นแบบทรงเหลี่ยมแปดหน้า (Octahedral) อะลูมินาในธรรมชาติจัดเป็นแร่ธาตุที่พบในรูปของคอร์ันดัม (Corundum: Al_2O_3) ไดแอสปอร์ (Diaspore: $Al_2O_3 \cdot H_2O$) บ็อกไซต์ (Bauxite: $Al_2O_3 \cdot 2H_2O$) และกิบbsite (Gibbsite: $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$) โดยแร่ Corundum ที่พบจะเป็นรัตนชาติ เช่น ทับทิม (Ruby) ไพลิน (Sapphire) และบุษราคัม (Yellow Sapphire) อะลูมินาสามารถสกัดได้จากแร่บ็อกไซต์ (Bauxite) (ไพรัช ทองละเอียด, 2553) ซึ่งการสกัดอะลูมินามีหลายวิธีขึ้นอยู่กับปริมาณของอะลูมินาในแร่โดยวิธีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมผลิตมี 2 วิธี ได้แก่ กระบวนการเบเยอร์ (Bayer Process) และกระบวนการฟิวชั่น (Fusion process) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

กระบวนการเบเยอร์

เป็นกรรมวิธีที่คิดค้นโดยวิศวกรชาวออสเตรเลียและเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในปัจจุบันโดยมีกระบวนการต่างๆ ดังนี้ (กิตติพันธุ์ บางยี่ขัน, 2551)

1. นำแร่บ็อกไซต์ที่ผ่านการบดละเอียดและอบแห้งไปละลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่อุณหภูมิประมาณ 150 องศาเซลเซียส อะลูมินาในแร่จะทำปฏิกิริยากับสารละลายได้โซเดียมอะลูมิเนต ($NaAlO_2$) ดังแสดงในปฏิกิริยาที่ (1) สำหรับสารเจือปนอื่นๆ ที่ติดมากับแร่ เช่น เหล็ก และไทเทเนียมออกไซด์จะไม่ละลาย และตกตะกอนอยู่ที่ก้นถัง



2. นำสารละลายโซเดียมอะลูมิเนตที่ได้จากการกรองไปทำให้เจือจางโดยเติมน้ำภายในถังแล้วเติมตัวเร่งการตกผลึก (Seeding agent) เพื่อให้เกิดการตกผลึกของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($Al(OH)_3$) ดังแสดงในปฏิกิริยาที่ (2)



3. กรองเอาอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ออกมาแล้วนำไปล้างน้ำให้สะอาดจากนั้นจึงนำไปอบที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส จะได้ผงอะลูมินา (Al_2O_3) ซึ่งมีสีขาวดังแสดงในปฏิกิริยาที่ (3)



ในกระบวนการสกัดอะลูมินาจากแร่บ็อกไซต์ด้วยวิธีของเบเยอร์จะมีอะลูมิเนียมส่วนหนึ่งสูญเสียไปกับตะกอนแร่บ็อกไซต์และถ้าในแร่บ็อกไซต์มีซิลิกาสูงปริมาณการสูญเสียก็จะมากตามไปด้วย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับแร่บ็อกไซต์ที่มีปริมาณซิลิกาต่ำ หรือแร่บ็อกไซต์ที่ผ่านการแต่งโดยเติมปูนขาวลงไปผสมในขั้นตอนการบดแร่

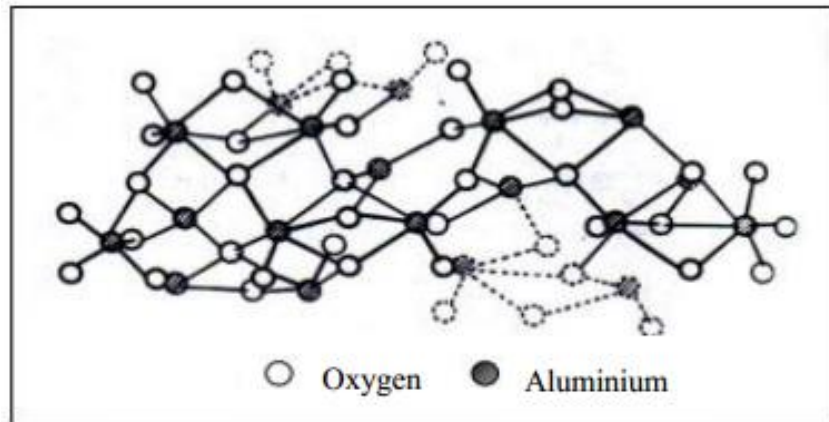
กระบวนการฟิวชั่น (กิตติพันธ์ บายี่ชัน, 2551)

กระบวนการนี้จะไม่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) แต่จะใช้โซดาแอช (Na_2CO_3) เปรวมกับแร่บ็อกไซต์ที่อุณหภูมิประมาณ 800 ถึง 1,200 องศาเซลเซียส โดยอะลูมินาจะทำปฏิกิริยากับโซดาแอชได้โซเดียมอะลูมิเนต (NaAlO_2) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังแสดงในปฏิกิริยาที่ (4)



โซเดียมอะลูมิเนตที่ได้จะนำไปละลายน้ำและทำให้ตกตะกอนเป็นอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Al(OH)_3) จากนั้นจึงกรองแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้ผงอะลูมินา (Al_2O_3) ดังแสดงในปฏิกิริยาที่ (3)

โครงสร้างผลึกของอะลูมินามี 2 แบบ คือ อะลูมินาที่อยู่ในรูปของผลึกเดี่ยว (Single crystal) เป็นอะลูมินาที่มีราคาสูงนิยมนำไปใช้เป็นเครื่องประดับ และอะลูมินาที่อยู่ในโครงสร้างผลึกซับซ้อน (Polycrystalline) จะมีราคาถูกกว่าแบบผลึกเดี่ยวแต่เป็นวัสดุที่มีความทนทานมากในอุตสาหกรรมโดยเฉพาะอุตสาหกรรมที่ต้องการใช้งานที่อุณหภูมิสูงโดยโครงสร้างของอะลูมินาแสดงในภาพที่ 2.1 และสมบัติทั่วไปของอะลูมินาที่ใช้ในอุตสาหกรรมแสดงในตารางที่ 2.1 จากสมบัติของอะลูมินาที่มีค่าความแข็งสูง มีความหนาแน่นสูง มีความต้านทานต่อการขีดสี ทนต่อการกัดกร่อนของกรดและด่าง รวมทั้งสามารถทนต่อสารเคมีได้ดี เป็นฉนวนไฟฟ้าที่อุณหภูมิสูงได้ดีและมีความทนไฟสูงจึงสามารถนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวดูดซับของสารจำพวกก๊าซและของเหลว และนำมาใช้เป็นวัสดุในการผลิตของอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมเครื่องขัดถู อุตสาหกรรมวัสดุทนไฟ อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมเซรามิก อุตสาหกรรมโลหะ และอื่นๆ (วรชยา ไชโยโคตร, 2553)



ภาพที่ 2. 1 โครงสร้างของอะลูมินา (Worrall, 1986)

ตารางที่ 2.1 สมบัติทั่วไปของอะลูมินา (Worrall, 1986)

คุณสมบัติ	อัลฟาอะลูมินา
ความหนาแน่น (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)	3.98
อุณหภูมิจุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	2054
ค่าความแข็ง (กิโกลาสคาล)	20
ค่าความยืดหยุ่น (กิโกลาสคาล)	300-400
ความต้านทานการแตกหัก (เมกะปาสคาส/เมตร)	2.5-3.5
สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (10^{-6} /องศาเคลวิน)	8.5

จากอุตสาหกรรมการผลิตอะลูมิเนียม เมื่อนำแร่บ็อกไซต์ (Bauxite) มาผ่านกระบวนการแยกอะลูมิเนียมออกแล้วก่อให้เกิดอุตสาหกรรมการผลิตอะลูมินา ดังนี้ (นงลักษณ์ และวิชาญ, 2545)

1. โลหะเกรดอะลูมินา ซึ่งพบว่าสามารถแยกโลหะอะลูมิเนียมโดยใช้ความรู้ทางโลหะวิทยา

2. อุตสาหกรรมอะลูมินาเคมี (Industrial alumina chemical) สามารถแยกออกเป็น

2.1 อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Aluminium hydroxide) เป็นสารประกอบที่สำคัญในการพัฒนาอุตสาหกรรมอะลูมิเนียมเคมีอย่างกว้างขวาง ในทุกวันนี้อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์สามารถจำแนกออกได้หลายรูปแบบทั้งแบบรูปผลึก (Crystalline) และรูปเจล (Gelatinous)

2.2 แอคติเวทเต็ดอะลูมินา (Activated alumina) คืออะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่ถูกกระตุ้นด้วยความร้อนเพื่อกำจัดโมเลกุลของน้ำ ทำให้เกิดรูพรุนและพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้น โดยอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) หรือแอคติเวทเต็ดอะลูมินามีพื้นที่ผิวประมาณ 200-300 ตารางเมตรต่อกรัม จึงเป็นสมบัติที่นำมาใช้เป็นตัวดูดซับและนิยมใช้มากในการดูดความชื้นจากอากาศ

2.3 อะลูมินาที่ผ่านการเผา (Calcined alumina) เป็นการนำอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์มาเผาที่อุณหภูมิสูงซึ่งจะใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ วัสดุขัด วัสดุทนไฟที่มีอะลูมินาสูง (refractory) ผลิตภัณฑ์แก้ว และเซรามิก เป็นต้น

2.1.2 การนำไปใช้ประโยชน์

เนื่องด้วยคุณสมบัติของอะลูมินาที่มีค่าความแข็งและความหนาแน่นสูง นอกจากนี้ยังสามารถทนต่อการกัดกร่อนของกรดและด่าง ทนต่อสารเคมีได้ดี เป็นฉนวนไฟฟ้าที่มีอุณหภูมิสูงได้จึงนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมได้หลายด้าน (Vane, 2002) อาทิเช่น

1. นำมาใช้เป็นตัวดูดซับและตัวเร่งปฏิกิริยา

อะลูมินานำมาใช้เป็นตัวดูดซับและประยุกต์ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยากันอย่างกว้างขวางสามารถนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตพลาสติกและการผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้เป็นตัวดูดซับสารเคมีทั้งในรูปของก๊าซและของเหลวหลายชนิด เช่น สารหนูไนโตรเจน สารประกอบไฮโดรคาร์บอนและคาร์บอนไฮดรอกไซด์ เป็นต้น

2. นำมาใช้เป็นสารดูดความชื้น

อะลูมินานำมาใช้เป็นสารดูดความชื้นซึ่งทำงานโดยกระบวนการดูดซับของน้ำในอากาศ เมื่อเดินทางอากาศผ่านอะลูมินา อะลูมินาจะทำหน้าที่ดูดซับโมเลกุลของน้ำที่อยู่ในอากาศติดไปกับพื้นผิวของอะลูมินาทำให้ได้อากาศที่แห้งออกไปใช้ประโยชน์ และอะลูมินาที่ดูดซับโมเลกุลของน้ำในกระบวนการดังกล่าวสามารถนำไปฟื้นฟูสภาพแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยการใช้ความร้อนไล่โมเลกุลของน้ำที่ติดอยู่ในรูพรุนออกจากรูพรุนของอะลูมินา

3. นำมาใช้เป็นตัวดูดซับฟลูออไรด์

อะลูมินาสามารถนำมาใช้กำจัดฟลูออไรด์ในน้ำดื่มได้ โดยอะลูมินาสามารถลดปริมาณฟลูออไรด์จาก 0.5 ส่วนในล้านส่วน (parts per million : ppm) จนเหลือปริมาณฟลูออไรด์น้อยกว่า 0.1 ส่วนในล้านส่วน (parts per million : ppm) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ใช้ในการกรองฟลูออไรด์ด้วย ซึ่งน้ำที่อุณหภูมิต่ำและน้ำที่มีค่าพีเอช ต่ำจะถูกกรองได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยค่าพีเอชเท่ากับ 5.5 เป็นภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดฟลูออไรด์สามารถกำจัดฟลูออไรด์ได้สูงถึงร้อยละ 95

4. นำมาใช้เป็นวัสดุเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิต

คุณสมบัติทางกลของอะลูมินาและไม่เกิดปฏิกิริยาทางชีวภาพในสภาพแวดล้อมธรรมชาติจึงเป็นวัสดุที่เหมาะสมในการนำมาใช้ทำขาเทียม

2.1.3 อะลูมินาดูดความชื้น

อะลูมินาดูดความชื้นเป็นแอคติเวทเต็ดอะลูมินา (Activated alumina) ที่นำไปใช้ดูดความชื้นในอากาศ ซึ่งสังเคราะห์จากสารประกอบอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นสารประกอบสำคัญของแร่บ็อกไซต์ที่เป็นของผสมของโลหะชนิดต่างๆ และสารประกอบออกไซด์ของสารกึ่งโลหะ สารประกอบอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่พบในธรรมชาติจำแนกตามจำนวนหมู่ไฮดรอกไซด์ออกเป็น 2 ชนิด คือ สารประกอบอะลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์ ($\text{Al}(\text{OH})_3$) ที่มีหมู่ไฮดรอกไซด์จำนวน 3 หมู่ และสารประกอบอะลูมิเนียมออกไซด์มอนอไฮดรอกไซด์ (AlOOH) ที่มีหมู่ไฮดรอกไซด์เพียงหมู่เดียว ดังนั้นการผลิตแอคติเวทเต็ดอะลูมินาจากแร่บ็อกไซต์ (Bauxite) จึงประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญ 3 ขั้นตอน ดังนี้ (Hudson และคณะ, 2012)

1. ขั้นตอนการสกัดแยกสารประกอบอะลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์ ($\text{Al}(\text{OH})_3$) หรือสารประกอบอะลูมิเนียมออกไซด์มอนอไฮดรอกไซด์ (AlOOH) ในแร่บ็อกไซต์ (Bauxite) ด้วยสารละลายโซดาไฟ (NaOH) ที่อุณหภูมิ 410-440 องศาเซลเซียส หรืออุณหภูมิ 470-510 องศาเซลเซียส ตามชนิดของสารประกอบอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่ต้องการสกัด ตามลำดับ

2. ขั้นตอนการแยกตะกอนของสารประกอบอะลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์ ($\text{Al}(\text{OH})_3$) หรือตะกอนของสารประกอบอะลูมิเนียมออกไซด์มอนอไฮดรอกไซด์ (AlOOH) ที่สกัดได้จากสารละลายโซดาไฟ

3. ขั้นตอนการอบตะกอนของสารประกอบอะลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์ ($\text{Al}(\text{OH})_3$) หรือตะกอนของสารประกอบอะลูมิเนียมออกไซด์มอนอไฮดรอกไซด์ (AlOOH) ที่แยกแล้วให้แปรสภาพเป็นแอคติเวทเต็ดอะลูมินาด้วยลมร้อนเพื่อระเหยน้ำที่ปนในตะกอนสารประกอบอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ดังกล่าวที่อุณหภูมิ 400-500 องศาเซลเซียส และเปลี่ยนสารประกอบอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ให้เป็นแอคติเวทเต็ดอะลูมินาที่อุณหภูมิสูงกว่า 550 องศาเซลเซียส โดยการสลายหมู่ไฮดรอกไซด์ของสารประกอบอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์เหล่านั้นให้เป็นไอน้ำและเชื่อมอะตอมอะลูมิเนียมของสารประกอบอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์แต่ละโมเลกุลเข้าด้วยกันกับอะตอมของออกซิเจนที่หลุดจากการสลายหมู่ไฮดรอกไซด์ทำให้เกิดเป็นผลึกแอคติเวทเต็ดอะลูมินาโดยการจัดเรียงอะตอมของอะลูมิเนียมกับอะตอมออกซิเจนอย่างไร้แบบแผนซึ่งอะตอมอะลูมิเนียมแต่ละอะตอมสามารถสร้าง

พันธะกับอะตอมออกซิเจนได้ 3 อะตอม ส่วนอะตอมออกซิเจนจะสร้างพันธะกับอะตอมอะลูมิเนียมเพียง 1 หรือ 2 อะตอมเท่านั้น

ซึ่งชนิดของสารประกอบอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ในตะกอนที่แยกได้ขนาดเม็ดตะกอน อุณหภูมิ อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ ความดัน และความชื้นของลมร้อนที่ใช้ในการอบตะกอน ทำให้สามารถสังเคราะห์แอกติเวทเต็ดอะลูมินาได้หลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดมีขนาดโพรง พื้นผิวจำเพาะ และสมบัติทางกายภาพอื่นๆ แตกต่างกันไป จึงสามารถจำแนกออกได้ตามลักษณะรูปร่างผลึก ความหนาแน่น และปริมาณหมู่ไฮดรอกไซด์ เป็นต้น ดังนั้นสามารถจำแนกแอกติเวทเต็ดอะลูมินาออกเป็น 3 กลุ่มตามชนิดของสารประกอบอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ในตะกอนแสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2. 2 สมบัติและสภาวะการสังเคราะห์แอกติเวทเต็ดอะลูมินาแต่ละชนิด (เดชา ฉัตรศิริเวช, 2552)

กลุ่ม	ชนิด	รูปร่างผลึก	อุณหภูมิการเกิด องศาเซลวิน	ความหนาแน่น (ρ_s) กก. ต่อ ลบ.ม.	ปริมาณหมู่ ไฮดรอกไซด์ ร้อยละโดย มวล
1	α -Al(OH) ₃		< 420	2,420	34.65
	χ	cubic	570-770	3,000	2.00
	κ	hexagonal	1,070-1,420	3,100-3,300	1.20
2	β -Al(OH) ₃		< 420	2,530	34.65
	η	cubic	550-770	2,500-3,600	2.00
	θ	monoclinic	1,120-1,420	3,560	1.20
3	α -Al(OH) ₃		< 570	3,010	15.00
	γ	tetragonal	770-1,120	3,200	2.00
	δ θ	orthorhombic monoclinic	1,120-1,330 1,330-1,420	3,200 3,560	1.20 0.35

การอบสารประกอบอะลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์ หรือสารประกอบอะลูมิเนียมออกไซด์-มอนอไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิสูงกว่า 500 องศาเซลวิน โมเลกุลสารประกอบอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์จะรวมตัวเป็นผลึกแอกติเวทเต็ดอะลูมินาแต่ละชนิดแตกต่างกัน ถ้าเพิ่มอุณหภูมิในการอบสารประกอบอะลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์ (Al(OH)₃) จาก 550 เป็น 1,100-1,400 องศาเซลวิน

สารประกอบอะลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์ชนิดเบา ($\alpha\text{-Al(OH)}_3$) จะเปลี่ยนเป็นผลึกชนิดไค (γ) และชนิดแคปปา (κ) ตามลำดับ ส่วนสารประกอบอะลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์ชนิดหนัก ($\beta\text{-Al(OH)}_3$) จะเปลี่ยนเป็นผลึกชนิดอีตา (η) และชนิดทีตา (θ) ถ้าอบสารประกอบอะลูมิเนียมออกไซด์มอนอไฮดรอกไซด์ (AlOOH) ที่อุณหภูมิสูงกว่า 800 องศาเซลวิน 1,150 องศาเซลวิน และ 1,350 องศาเซลวิน จะเปลี่ยนเป็นผลึกชนิดแกมมา (γ) ชนิดเดลตา (δ) และชนิดทีตา (θ) ตามลำดับ ถ้าอุณหภูมิการอบตะกอนสูงกว่า 1,420 องศาเซลวิน แอคติเวทเต็ดอะลูมินาจะแปรสภาพเป็นผลึกชนิดแอลฟา ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) มีความหนาแน่น 3.98 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และไม่มีหมู่ไฮดรอกไซด์เหลือบนผิวของผลึกอะลูมินา (เดชา ฉัตรศิริเวช, 2552) ซึ่งลักษณะของอะลูมินาที่นำมาดูความชื้นแสดงตามภาพที่ 2.2 และคุณสมบัติของอะลูมินาที่นำมาใช้ดูความชื้นแสดงในตารางที่ 2.3



ภาพที่ 2. 2 ลักษณะของอะลูมินาดูความชื้น (จิราภรณ์ วงศ์สุวรรณ, 2556)

ตารางที่ 2. 3 ลักษณะสมบัติของอะลูมินาดูความชื้น (จิราภรณ์ วงศ์สุวรรณ, 2556)

ลักษณะสมบัติ	อะลูมินาดูความชื้น
พื้นที่ผิว (ตร.ม./กรัม)	200-300
ความพรุนภายใน (ร้อยละ)	30-40
ปริมาตรรูพรุน (ลบ.ซม./กรัม)	0.29-0.37
เส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเฉลี่ย (นาโนเมตร)	180-200

แหล่งที่มาของของเสียอะลูมินามาจากอะลูมินาที่ใช้ดูความชื้นในอากาศเพื่อปรับความชื้นสัมพัทธ์ให้พอเหมาะต่อการทำงานในห้องปฏิบัติการต่างๆ และดูความชื้นจากอากาศก่อน

เข้าสู่ระบบปรับอากาศภายในอาคาร ซึ่งระบบปรับอากาศนับเป็นส่วนประกอบสำคัญของอาคารมีหน้าที่หลักในการควบคุมความชื้นและอุณหภูมิของอากาศภายในอาคาร ซึ่งความชื้นที่เกิดขึ้นถือเป็นภาระหลักของระบบทำความเย็นที่เกิดขึ้นที่คอยล์เย็นของระบบปรับอากาศทำให้ต้องมีการลดปริมาณความชื้นในอากาศที่ไหลผ่าน ดังนั้นการลดความชื้นในอากาศก่อนเข้าสู่คอยล์เย็นสามารถช่วยลดภาระในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศทำให้เครื่องปรับอากาศทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นถือเป็นการช่วยลดพลังงานไฟฟ้า นอกจากนี้ยังเป็นการช่วยลดปัญหาคุณภาพของอากาศภายในอาคารเนื่องจากความชื้นที่เกิดขึ้นภายในอาคารเป็นแหล่งกำเนิดของแบคทีเรียหรือเชื้อราต่างๆ เมื่อลดความชื้นในอากาศสามารถลดอัตราการเกิดแบคทีเรียหรือเชื้อราได้ร้อยละ 20-70 (ทะนงเกียรติเกียรติศิริโรจน์ และคณะ, 2545) ซึ่งการลดความชื้นจากอากาศของอะลูมินานั้นอาศัยกระบวนการดูดซับ

2.1.4 ปริมาณของเสียอะลูมินา

ปริมาณของเสียอะลูมินาในกระบวนการดูดความชื้นจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี โดยแต่ละโรงงานมีระยะเวลาในการกำจัด 4 ปีต่อครั้ง ซึ่งปริมาณของเสียอะลูมินามีประมาณ 30 ตันต่อครั้ง เมื่อคิดเป็นปริมาณของเสียอะลูมินาแล้วเฉลี่ยเท่ากับ 7.5 ตันต่อปี ดังนั้นปริมาณของเสียอะลูมินาแล้วทั้งหมดในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีประมาณ 37.5 ตันต่อปี ส่วนแนวทางในการกำจัดของเสียอะลูมินานั้นจะถูกส่งไปเผาที่โรงปูนซีเมนต์ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายประมาณ 3,000-4,000 บาทต่อตัน และถูกส่งไปกำจัดในหลุมฝังกลบซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่าย 3,200 บาทต่อตัน ค่าขนส่งครั้งละ 2,200 บาท หนึ่งครั้งบรรทุกได้ 8 ตัน ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดค่อนข้างสูง เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดจึงหาแนวทางในการจัดการอะลูมินาที่ใช้แล้วให้เหมาะสมและลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดลง

2.1.5 แนวทางการจัดการของเสียอะลูมินา

แนวทางในการจัดการของเสียอะลูมินาแล้วเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการนำของเสียไปใช้ประโยชน์เป็นการเพิ่มมูลค่าและลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสีย ซึ่งแนวทางการจัดการของเสียยึดตามหลักการของ 3Rs ในการพิจารณา คือ ลดการใช้ให้น้อยลงหรือใช้เท่าที่จำเป็น (Reduce) การใช้ซ้ำ (Reuse) และแปรรูปนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) เพื่อให้มีการหมุนเวียนและใช้ทรัพยากรร่วมกันอย่างเกิดประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งกระบวนการบำบัดของเสียทำได้หลากหลายแนวทาง เช่น กระบวนการบำบัดทางกายภาพและทางเคมี (Physico chemical treatment) กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ (Biological treatment) กระบวนการปรับเสถียรและการทำให้แข็งตัว (Stabilization and solidification) กระบวนการบำบัดโดยความร้อน (Thermal treatment) การ

เผา และการกำจัดของเสียโดยการฝังกลบ (Landfill) (Michael และคณะ, 2001) การจัดการของเสียอะลูมินาโดยการนำกลับมาใช้ใหม่นั้นต้องนำของเสียอะลูมินามาผ่านกระบวนการฟื้นฟูสภาพ (Regeneration processing) เป็นการบำบัดของเสียโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิระหว่าง 350-600 องศาฟาเรนไฮต์ (177-316 องศาเซลเซียส) จากนั้นสามารถนำอะลูมินาที่ผ่านกระบวนการฟื้นฟูสภาพแล้วกลับมาใช้ดูความชื้นใหม่ตามลักษณะการใช้งานเดิมหรือนำกลับมาใช้ประโยชน์ด้วยวิธีอื่น จากการศึกษาพบแนวทางในการนำของเสียอะลูมินากลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้หลายวิธีเช่น

1. นำมาผลิตเป็นวัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตโดยใช้ของเสียอะลูมินากับซิลิกาที่ใช้แล้ว และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอย่างขานอ้อยที่ใช้แล้วมาผลิตคอนกรีตบล็อกปูผนัง (มุสดี แพทย์นุเคราะห์, 2546) หรือนำของเสียอะลูมินาจากอุตสาหกรรมหลอมอะลูมิเนียมและเหล็กมาปรับเสถียร โดยทำเป็นก้อนแข็งขนาด 5x5x5 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยก้อนที่ใส่ของเสียอะลูมินามากสุด 60 กรัม ให้กำลังแรงอัดอยู่ที่ 36.69 กิโลกรัม./ตารางเซนติเมตร ซึ่งมากกว่าค่ามาตรฐานกำหนดสำหรับการนำไปฝังกลบในหลุมฝังกลบแบบปลอดภัย คือ 3.5 กิโลกรัม./ตารางเซนติเมตร ดังนั้นการจัดการของเสียอะลูมินาสามารถใช้อัตราส่วนระหว่างอะลูมินาต่อปูนซีเมนต์ได้ถึง 60:40 (เพลงประพันธ์ กิ่งทอง และ เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ, 2555)

2. นำมาใช้เป็นตัวรองรับบนโลหะชนิดต่างๆ เพื่อนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกันไป อย่างเช่นมาประยุกต์ใช้ในงานด้านพลังงานโดยสามารถใช้แพลทินัมมารองรับด้วยอะลูมินาเพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการดีออกซิเจนขึ้นเป็นการปรับปรุงคุณภาพของไบโอดีเซลที่ได้จากการไพโรไลซิสของกระถินยักษ์ (จิราพร พะยอมหอม, 2554) หรือประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ปฏิกิริยาโฟโตเฟนตันที่ใช้เหล็กรองรับบนอะลูมินาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อนำมาใช้บำบัดซีโอดี สี ย้อม และกลุ่มสารประกอบฟีนอล เป็นต้น (Muthukumari และคณะ, 2009) และสามารถนำมาใช้กำจัดสีย้อมรีแอคทีฟในสารละลายสีย้อมโดยการดูดซับด้วยอะลูมินา โดยนำมาดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟ 3 ชนิด คือ สีย้อม Reactive Red 2 (RR2) Reactive Red 120 (RR120) และ Reactive Red 141 (RR141) (เทพฤทธิ์ ปิติฤทธิ์, 2544)

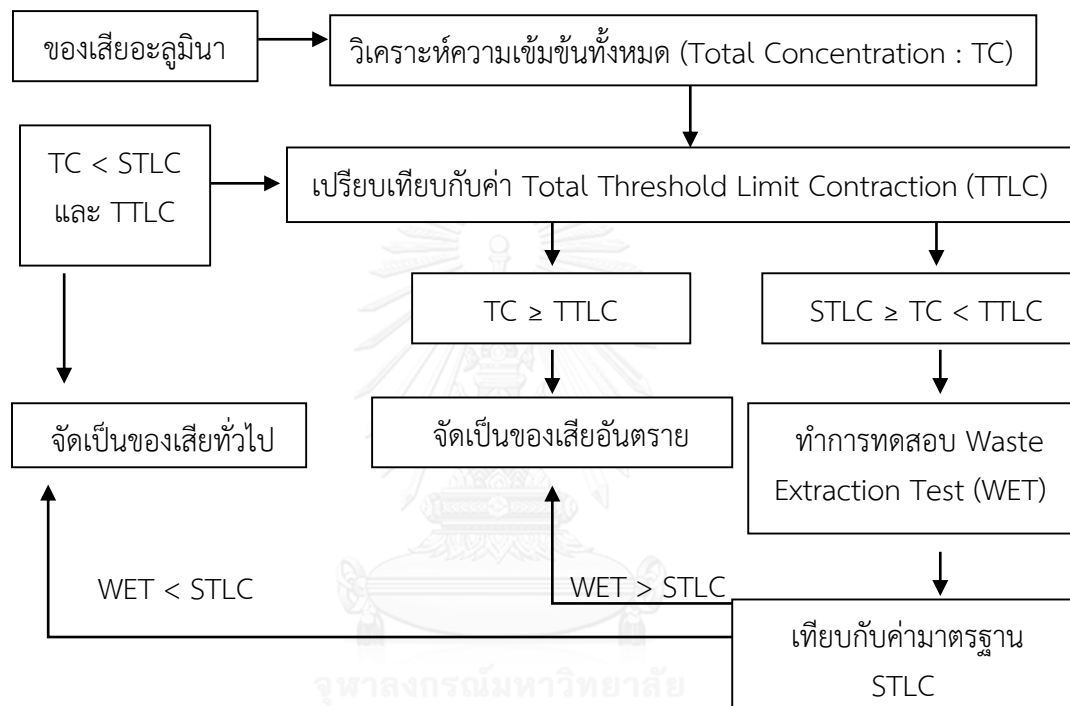
3. นำของเสียอะลูมินามาเพิ่มมูลค่าโดยนำมาผลิตเป็นสารตัวอื่น เช่น โซเดียมอะลูมิเนต ซึ่งโซเดียมอะลูมิเนตบริสุทธิ์มีราคาสูงถึง 1,500 บาทต่อกิโลกรัม จากราคาทางการค้าที่สูงจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่น่าสนใจในการนำของเสียอะลูมินามาแปรรูปเป็นโซเดียมอะลูมิเนตเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ ถือเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียได้อีกวิธีหนึ่ง

2.1.6 การชะละลาย (ณัฐธารา ตั้งกิตติธารา, 2552)

การชะละลายเกิดจากการรั่วไหลของสารปนเปื้อน หรืออะตอมที่ปล่อยรังสีได้ เปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวโดยขึ้นกับอิทธิพลของแร่ธาตุ การละลาย การดูดซับ ปฏิกิริยารีดอกซ์

การละลายของสารอินทรีย์และการทำงานของแบคทีเรีย ซึ่งการชะละลายนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวอย่างสัมผัสกับน้ำอาจเกิดการละลายที่บริเวณผิวภายนอกหรือเกิดการชะละลายจากภายใน

การทดสอบการชะละลายของตัวอย่างเป็นไปตามมาตรฐานการชะละลายของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 เพื่อหาปริมาณสารอันตรายที่ถูกชะละลายออกมาจากตัวอย่าง โดยมีหลักการการตรวจสอบดังภาพที่ 2.3



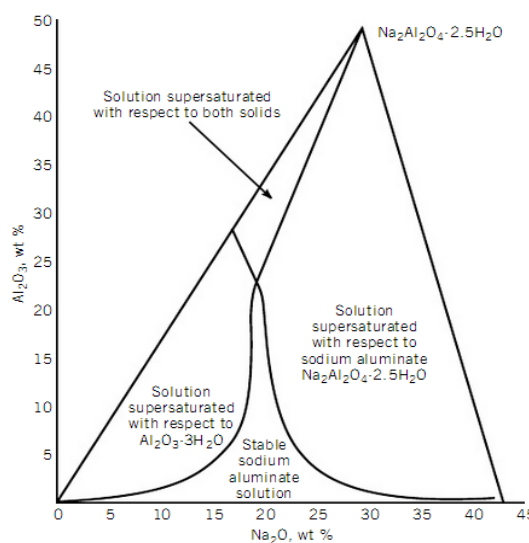
ภาพที่ 2.3 การตรวจสอบของเสียอันตราย (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2548)

2.2 โซเดียมอะลูมิเนต

โซเดียมอะลูมิเนตเป็นสารเคมีอินทรีย์ที่สำคัญทางการค้าโดยใช้เป็นสารตั้งต้นที่มีประสิทธิภาพในการผลิตอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์สำหรับอุตสาหกรรมและการประยุกต์ใช้งานในทางเทคนิค โซเดียมอะลูมิเนตบริสุทธิ์ที่ไม่มีน้ำเป็นองค์ประกอบจะเกิดผลึกสีขาว สูตรโมเลกุลของโซเดียมอะลูมิเนตเกิดขึ้นได้หลายรูปแบบ เช่น NaAlO_2 , NaAl(OH)_4 (มีน้ำเป็นองค์ประกอบ), $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ หรือ $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$ ในทางการค้าไม่สามารถแสดงสูตรโซเดียมอะลูมิเนตเหล่านี้ได้แน่นอนเนื่องจากปริมาณสารสัมพันธ์ (Stoichiometry) ของโซเดียมออกไซด์ (Na_2O) เกิดขึ้นได้มากกว่าหนึ่ง แต่สูตรโมเลกุลที่ใช้ทั่วไป คือ NaAlO_2 มีความหนาแน่นเท่ากับ 1.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จุดหลอมเหลวอยู่ที่อุณหภูมิ 1,650 องศาเซลเซียส สามารถละลายได้ในน้ำและแอลกอฮอล์ โครงสร้างของโซเดียม

อะลูมิเนตที่ไม่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ (NaAlO_2) มีรูปร่างเป็นออร์ทอโรรมบิก (Orthorhombic) และมีรูปร่างทรงสี่หน้า (Tetrahedral) ของอะลูมิเนียมเตตระออกไซด์ (AlO_4^-) ประกอบอยู่ด้วย ส่วนโซเดียมอะลูมิเนตที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ ($\text{NaAlO}_2 \cdot 5/4\text{H}_2\text{O}$) ประกอบด้วยชั้นของอะลูมิเนียมเตตระออกไซด์ (AlO_4^-) ต่อกันเป็นวงเกิดขึ้นร่วมกับชั้นของโซเดียมไอออนและโมเลกุลของน้ำด้วยพันธะไฮโดรเจนที่โมเลกุลของออกซิเจนในอะลูมิเนียมเตตระออกไซด์ (AlO_4^-)

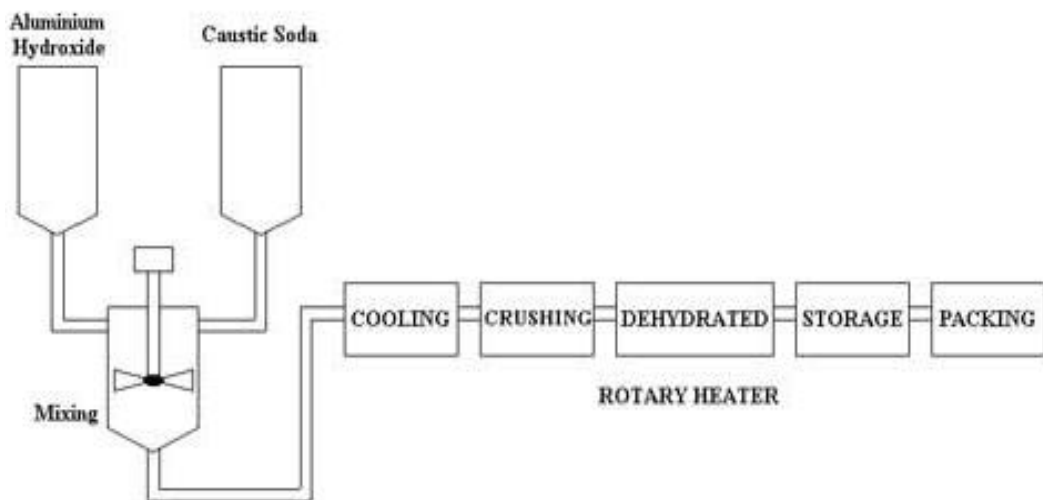
ในสารละลายที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงการผันกลับของโซเดียมอะลูมิเนตเกิดขึ้นได้ซ้ำจึงไม่สามารถละลายเป็นอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ได้ โดยสารละลายโซเดียมอะลูมิเนตเกิดขึ้นหลายชนิดในแต่ละชนิดประกอบด้วยไอออนเป็นส่วนใหญ่มักอยู่ในรูปของไอออนอะลูมิเนตที่เป็นไอออนประจุเดียวและความเข้มข้นของโซเดียมออกไซด์เป็นตัวสำคัญในการกำหนดชนิดของสารละลายโซเดียมอะลูมิเนต จากภาพที่ 2.4 กราฟแสดงความสมดุลของเฟสโซเดียมออกไซด์ อะลูมินาและน้ำ ในการเกิดโซเดียมอะลูมิเนตที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าที่ปริมาณความเข้มข้นของอะลูมินาร้อยละ 23 และความเข้มข้นของโซเดียมออกไซด์ร้อยละ 20 เกิดสารโซเดียมอะลูมิเนตที่เสถียรได้สูงสุด ถ้าความเข้มข้นของโซเดียมออกไซด์สูงเกินไปจะเกิดสารละลายที่อึดตัวไปด้วยโซเดียมอะลูมิเนต แต่เมื่อความเข้มข้นของโซเดียมออกไซด์ต่ำลงจะเกิดสารละลายที่อึดตัวไปด้วยอะลูมินาไตรไฮเดรต ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) และถ้าเพิ่มความเข้มข้นของอะลูมินามากกว่าร้อยละ 23 และความเข้มข้นของโซเดียมออกไซด์มากกว่าร้อยละ 20 สารละลายจะอึดตัวไปด้วยสารทั้งสองชนิด โซเดียมอะลูมิเนตทางการค้ามีได้ทั้งที่อยู่ในรูปของของแข็งและของเหลว ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ในโซเดียมอะลูมิเนตทางการค้าจะถูกระบุด้วยอัตราส่วนของ $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งจะอยู่ระหว่าง 1.05 และ 1.15 สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวจะอยู่ระหว่าง 1.26 และ 1.5 (Keller และ Len, 2003)



ภาพที่ 2.4 ความสมดุลของเฟสโซเดียมออกไซด์ อะลูมินาและน้ำในการเกิดโซเดียมอะลูมิเนตที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (Keller และ Len, 2003)

2.2.1 กระบวนการผลิตโซเดียมอะลูมิเนต

โซเดียมอะลูมิเนตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยการสลายตัวของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โดยอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์สามารถละลายได้ในสารละลายโซดาไฟร้อยละ 20 ถึง 25 ที่อุณหภูมิใกล้เคียงกับจุดเดือดของสารละลาย ถ้าใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นมากขึ้นจะทำให้ได้โซเดียมอะลูมิเนตที่มีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลวซึ่งกระบวนการนี้ต้องใช้ความร้อนจากไอน้ำภายในภาชนะที่ทำจากเหล็กหรือนิกเกิล โดยต้มอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นประมาณร้อยละ 50 จนกระทั่งเกิดเยื่อบางๆ ขึ้นและทำให้เย็นตัวลงในภาชนะทำให้เกิดเป็นของแข็งโซเดียมอะลูมิเนตประมาณร้อยละ 70 ภายหลังจากนำผลิตภัณฑ์ไปปัด และอบแห้งด้วยเครื่องอบหมุนแบบให้ความร้อนทางตรงหรือทางอ้อมโดยการเผาไฮโดรเจน ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้นี้ประกอบไปด้วยโซเดียมอะลูมิเนตร้อยละ 90 น้ำร้อยละ 1 และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 สามารถแสดงกระบวนการผลิตโซเดียมอะลูมิเนตได้ดังภาพที่ 2.5 (ประพจน์ จูเซ่งเจริญ, 2554)



ภาพที่ 2. 5 กระบวนการผลิตโซเดียมอะลูมิเนต (ประพจน์ จูเซ่งเจริญ, 2554)

2.2.2 ลักษณะสมบัติโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายเป็นการค้า

โซเดียมอะลูมิเนตที่ขายเป็นการค้าในรูปของผงแห้งจะมีองค์ประกอบของ Al_2O_3 ร้อยละ 45-47 และมีองค์ประกอบอื่นๆ ดังตัวอย่างแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบของโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายเป็นการค้าในรูปของแข็งแห้ง

	องค์ประกอบ (สินค้า 1)	องค์ประกอบ(สินค้า 2)
อะลูมินา	อย่างน้อยร้อยละ 45-47	≥ 50
โซเดียมออกไซด์	อย่างน้อยร้อยละ 28-32	≥ 38
เหล็กออกไซด์	ไม่เกิน 50 พีพีเอ็ม	≤ 150
ส่วนที่ไม่ละลาย	ไม่เกินร้อยละ 0.5	≤ 0.5
ซิลิกอนไดออกไซด์	ไม่เกิน 100 พีพีเอ็ม	
ซัลเฟต	ไม่เกิน 500 พีพีเอ็ม	
คลอไรด์	ไม่เกินร้อยละ 0.1	
คาร์บอเนต	ไม่เกินร้อยละ 1	
ตะกั่ว	ไม่เกิน 20 พีพีเอ็ม	
สารหนู	ไม่เกิน 2 พีพีเอ็ม	

ที่มา: สินค้า 1 Marathwada Chemical Industries Pvt. Ltd. (2011)

สินค้า 2 ChemFine International Co., Ltd. (2014)

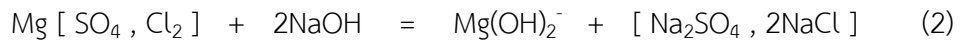
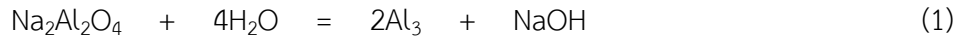
สำหรับโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายเป็นการค้าในรูปของของเหลวจะมีองค์ประกอบของอะลูมิเนียมประมาณร้อยละ 11-12 และมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 13.5

การนำเข้าของโซเดียมอะลูมิเนตทางการค้ามีการใช้งานทั้งสองรูปแบบทั้งแบบของแข็งและแบบสารละลายโดยราคาของโซเดียมอะลูมิเนตนั้นขึ้นกับความบริสุทธิ์และปริมาณของอะลูมินาและโซเดียมออกไซด์ เช่น โซเดียมอะลูมิเนตแบบของแข็งที่มีปริมาณอะลูมินาร้อยละ 50-56 และมีปริมาณโซเดียมออกไซด์อยู่ร้อยละ 40-45 เป็นโซเดียมอะลูมิเนตที่มีความบริสุทธิ์ค่อนข้างสูงทำให้มีราคาสูงถึง 1,500 บาทต่อกิโลกรัม ส่วนราคาของโซเดียมอะลูมิเนตแบบสารละลายขึ้นอยู่กับปริมาณของอะลูมินาและโซเดียมออกไซด์เช่นกัน ยังมีปริมาณของอะลูมินาและโซเดียมออกไซด์มากทำให้ราคาสูงขึ้นตามไปด้วย (ประพจน์ จูเซ่งเจริญ, 2554)

2.2.3 การนำโซเดียมอะลูมิเนตมาใช้ประโยชน์

1. การบำบัดน้ำเสีย ส่วนใหญ่นิยมนำโซเดียมอะลูมิเนตมาใช้กำจัดฟอสเฟต คลอไรด์และฟลูออไรด์ในน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังสามารถช่วยปรับสภาพน้ำให้เป็นน้ำอ่อนลดความกระด้างของน้ำ เนื่องจากโซเดียมอะลูมิเนตเมื่ออยู่ในน้ำจะแตกตัวให้อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์เกิดขึ้นดังสมการ (1) ซึ่งหมู่ไฮดรอกไซด์สามารถจับ

กับแมกนีเซียมเกิดเป็นแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์เกิดขึ้นดังสมการ (2) และอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ยังเป็นตัวช่วยในการรวมตัวของตะกอนได้อีกด้วย



ช่วยให้เกิดการรวมตัวของตะกอนทำให้ตกตะกอนได้ดีเป็นตัวเร่งในการตกตะกอน เพราะอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์มีส่วนช่วยในการรวมตัวของตะกอน และมักใช้ร่วมกับสารส้ม เพอร์สซัลเฟต และปูนขาวเป็นต้น

2. เทคโนโลยีในการก่อสร้างโดยนำโซเดียมอะลูมิเนตเป็นตัวช่วยเร่งให้คอนกรีตแข็งตัวเร็วยิ่งขึ้น นิยมใช้มากเมื่ออากาศเย็น

3. อุตสาหกรรมกระดาษ โซเดียมอะลูมิเนตช่วยเพิ่มการกักเก็บความทึบแสงของเส้นใย และเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุหรือกระดาษ รวมทั้งยังช่วยรักษาค่าพีเอชของการหมუნเวียนน้ำ

4. อุตสาหกรรมเกี่ยวกับมนุษย์ โดยใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิต สบู ยาสีฟัน และผงซักฟอก เป็นต้น

5. อุตสาหกรรมสี มักใช้โซเดียมอะลูมิเนตใช้ร่วมกับไททาเนียมไดออกไซด์เพื่อปกคลุมพื้นผิวช่วยป้องกันการขูดขีด

6. อุตสาหกรรมกลั่นน้ำมันนิยมใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวนำตัวเร่งปฏิกิริยา

7. ด้านอื่นๆ โซเดียมอะลูมิเนตสามารถนำมาสังเคราะห์ซีโอไลต์ ผลิตอิฐทนไฟ และผลิตอะลูมินากลับมาใช้ใหม่ เป็นต้น

ทางด้านการค้ามีความต้องการนำโซเดียมอะลูมิเนตมาใช้สำหรับการบำบัดน้ำจากโรงงานอุตสาหกรรมมีอัตราการใช้เพิ่มขึ้นร้อยละ 9 ต่อปี ในปัจจุบันราคาของโซเดียมอะลูมิเนตบริสุทธิ์ประมาณ 1,500 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง

2.3 กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางเคมี

เป็นการใช้สารเคมีหรือการทำปฏิกิริยาเคมีในการบำบัดน้ำเสีย โดยทั่วไปแล้วการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมีมักจะทำร่วมกับการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางกายภาพ ตัวอย่างเช่น กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางเคมีโดยการใช้สารเคมีเพื่อทำให้ตกตะกอน เป็นต้น (มันสิน ตันจุลเวศม์, 2542)

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี ได้แก่

1. การตกตะกอนโดยใช้สารเคมี (Chemical coagulation หรือ precipitation) เป็นการใช้น้ำสารเคมีช่วยตกตะกอน โดยให้เติมสารเคมีช่วยตกตะกอน (Coagulant) ลงไป เพื่อเปลี่ยนสถานะทางกายภาพของของแข็งแขวนลอยที่มีขนาดเล็กให้รวมกันมีขนาดใหญ่ขึ้นเรียกกระบวนการดังกล่าวว่าฟล็อกคูเลชัน (Flocculation)

2. การทำให้เป็นกลาง (Neutralization) เป็นการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง หรือพีเอชให้อยู่ในสภาพที่เป็นกลาง เพื่อให้เกิดความเหมาะสมที่จะนำไปบำบัดน้ำเสียในขั้นอื่นต่อไป โดยเฉพาะกระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพซึ่งต้องการน้ำเสียที่มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.5-8.5 แต่ก่อนที่จะปล่อยน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดดีแล้วลงสู่ธรรมชาติ ต้องปรับสภาพพีเอชอยู่ในช่วง 5-9 ถ้าพีเอชต่ำจะต้องปรับสภาพด้วยด่าง ต่างที่นิยมนำมาใช้คือ โซดาไฟ (NaOH) ปูนขาว (CaO) หรือ แอมโมเนีย (NH₃) เป็นต้น และถ้าน้ำเสียมีค่าพีเอชสูงต้องทำการปรับสภาพพีเอชให้เป็นกลางโดยใช้กรด ซึ่งกรดที่นิยมนำมาใช้ ได้แก่ กรดกำมะถัน (H₂SO₄) กรดเกลือ (HCl) หรือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)

3. การทำลายเชื้อโรค (Disinfection) เป็นการทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคโดยใช้เคมีหรือสารอื่นๆ โดยมีวัตถุประสงค์คือ เพื่อป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อโรคมาสู่คนและเพื่อทำลายห่วงโซ่ของเชื้อโรคและการติดเชื้อมาก่อนที่จะถูกปล่อยลงแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดเชื้อโรค ได้แก่ คลอรีน และสารประกอบคลอรีน โบรมีน ไอโอดีน โอโซน ฟีนอล และสารประกอบของฟีนอล แอลกอฮอล์ เป็นต้น ซึ่งสารเคมีที่นิยมใช้มากในการทำลายเชื้อโรค คือคลอรีน

กระบวนการบำบัดทางเคมีมีหลักการทำงานที่แน่นอนไม่ขึ้นอยู่กับสภาพสิ่งแวดล้อมมากเหมือนกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ เมื่อทราบหลักการทำงานตามทฤษฎีเป็นอย่างดีแล้วว่าการใส่สารเคมีลงไปเกิดผลตามที่ต้องการได้อย่างไร ทำให้ทราบถึงสาเหตุและวิธีการแก้ปัญหาจึงง่ายต่อการดูแล

2.4 กระบวนการตกตะกอนทางเคมี

2.4.1 กระบวนการโคแอกกูเลชันและฟล็อกคูเลชัน

กระบวนการโคแอกกูเลชันและฟล็อกคูเลชันเป็นกระบวนการที่ทำให้อนุภาคคอลลอยด์ซึ่งเป็นตะกอนแขวนลอยขนาดเล็กที่ตกตะกอนได้ช้ามาก มารวมกันเป็นกลุ่มก้อนฟล็อกที่ตกตะกอนได้เร็วจากนั้นเกิดการตกตะกอนซึ่งอาศัยกลไก 2 ขั้นตอน ดังนี้ (มันสิน ตันจุลเวศม์, 2542)

1. การทำลายเสถียรภาพ (Destabilization) ของคอลลอยด์ เช่น ลดแรงผลักระหว่างอนุภาค เป็นต้น

2. การทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ เคลื่อนที่มากกระทบสัมผัสกันให้มากที่สุด เมื่ออนุภาคคอลลอยด์ถูกทำลายเสถียรภาพแล้ว การสร้างโอกาสสัมผัสระหว่างอนุภาคย่อมเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าเดิมทำให้อนุภาคต่างๆ สัมผัสกันแล้วควรเกาะติดกันแน่นและหลุดน้อยที่สุด

ความสำคัญของทั้ง 2 ขั้นตอนมีความเท่าเทียมกันและต้องมีทั้ง 2 ขั้นตอน จึงจะเกิดกระบวนการโคแอกกูเลชันที่สมบูรณ์ ปฏิกริยาโคแอกกูเลชันจะเกิดเกือบสมบูรณ์เมื่อสารเคมีละลายน้ำได้หมดโดยในขั้นแรกจะเกิดตะกอนขนาดเล็กและรวมตัวกันใหญ่ขึ้น เนื่องจากเกิดการลดประจุไฟฟ้าของอนุภาคและเกิดการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian movement) จากนั้นจะต่อด้วยกระบวนการรวมตะกอน (Flocculation) เพื่อกว่นซำๆ ให้อนุภาคมาชนกันและมีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้สามารถแยกออกได้ง่าย ซึ่งการแยกอนุภาคออกจากของเหลวนั้นทำได้หลายวิธี เช่น การแยกโดยถังตกตะกอนแต่ถ้าแยกอนุภาคโดยการตกตะกอนที่อาศัยแรงดึงดูดของโลก ขนาดของอนุภาคต้องมีขนาดใหญ่พอและตกตะกอนได้ง่าย จึงต้องอาศัยกระบวนการตกตะกอน (Coagulation) และการรวมตะกอน (Flocculation) ร่วมกัน

แรงที่กระทำต่ออนุภาคนอกเหนือจากแรงดึงดูดของโลกยังมีแรง Electrostatic และ Interionic ซึ่งสัมพันธ์กับพื้นที่ผิวของอนุภาค ในกรณีที่อนุภาคมีขนาดเล็กมากแรงทั้งสองจะมีค่ามากจนแรงดึงดูดของโลกจึงไม่สามารถตกตะกอนได้ ดังนั้นจำเป็นต้องเติมสารเคมี (Coagulant) เพื่อไปลดแรงกระทำที่ผิวโดยประจุไฟฟ้าทำให้อนุภาคสามารถสัมผัสและรวมตัวกันให้ใหญ่ขึ้น

2.4.1.1 พฤติกรรมของคอลลอยด์

อนุภาคของคอลลอยด์ที่สามารถลอยอยู่ในน้ำได้โดยไม่ตกตะกอนเป็นระบบคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพสูงจึงมีการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์เพื่อให้อนุภาครวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนที่มีขนาดและน้ำหนักมากขึ้น ซึ่งการที่อนุภาคคอลลอยด์สามารถแขวนลอยได้ในน้ำเนื่องมาจากอนุภาคคอลลอยด์มีประจุไฟฟ้าทั้งประจุบวกหรือลบทำให้มีแรงผลักระหว่างอนุภาค ดังนั้นประจุไฟฟ้าจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้คอลลอยด์มีเสถียรภาพ โดยแรงที่อนุภาคคอลลอยด์กระทำซึ่งกันและกันมีอยู่ 2 ชนิด คือ แรงดึงดูดระหว่างอนุภาคและแรงผลัทางไฟฟ้า ถ้าแรงดึงดูดมากกว่าแรงผลัอนุภาคคอลลอยด์จึงสามารถจับและรวมตัวกันเป็นก้อนได้ทำให้คอลลอยด์ไม่มีเสถียรภาพ ผลของแรงทั้ง 2 ชนิดนี้ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างอนุภาคถ้าอนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันมากๆ ทำให้แรงดึงดูดมีอำนาจเหนือแรงผลั แต่ถ้าอนุภาคคอลลอยด์มีประจุไฟฟ้าสูงหรือมีชั้นกระจาย (Diffuse layer)

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์

อนุภาคคอลลอยด์อาจมีทั้งประจุบวกหรือลบก็ได้แต่ที่พบในงานด้านสิ่งแวดล้อมมักเป็นประจุลบและเป็นอนุภาคที่ไม่ชอบน้ำ ตัวอย่างของอนุภาคประจุลบในน้ำ คือ ความขุ่นในน้ำผิวดิน ส่วนอนุภาคประจุบวกมักเป็นอินทรีย์สารอนุภาคแบบชอบน้ำ อนุภาคคอลลอยด์มีประจุไฟฟ้าทำให้มีแรงดันระหว่างอนุภาคเป็นสาเหตุให้อนุภาคคอลลอยด์กระจายอยู่ในน้ำโดยไม่รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน จึงกล่าวได้ว่าประจุไฟฟ้าของคอลลอยด์เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้คอลลอยด์มีเสถียรภาพ

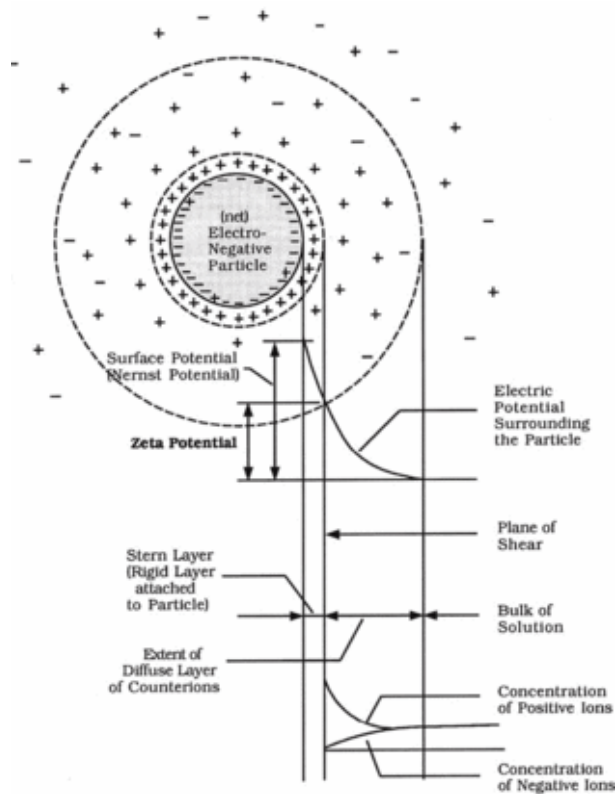
2. Electric Double Layer Theory

ความแตกต่างระหว่างคอลลอยด์แบบไฮโดรโฟบิก (แบบไม่ชอบน้ำ) และแบบไฮโดรฟิลิก (แบบชอบน้ำ) คือ เสถียรภาพของคอลลอยด์แบบไฮโดรโฟบิกเป็นผลมาจากแรงผลักระหว่างไอออนชนิดเดียวกันส่วนเสถียรภาพของคอลลอยด์แบบไฮโดรฟิลิกเป็นผลมาจากโมเลกุลของน้ำที่ห่อหุ้มอนุภาค ความแตกต่างดังกล่าวมีความสำคัญต่อกลไกในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์

ทฤษฎีที่ใช้อธิบายคุณสมบัติทางไฟฟ้าของคอลลอยด์ คือ Electric Double Layer Theory โดยพิจารณาคอลลอยด์ที่มีประจุลบ เนื่องจากประจุลบดึงดูดประจุบวกที่อยู่ในน้ำมาแออัดใกล้อนุภาคคอลลอยด์และลดน้อยลงตามระยะห่างจากอนุภาคทั้งนี้เป็นไปตามศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์ซึ่งมีค่าสูงสุดที่ผิว (Nernst potential) และน้อยลงเมื่อห่างออกไปตามทฤษฎีของ Double Layer เชื่อว่าไอออนบวกชั้นในสุดไม่สามารถเข้าถึงผิวอนุภาคคอลลอยด์เพราะไอออนบวกมักมีโมเลกุลของน้ำห่อหุ้มอยู่ ระยะห่างระหว่างผิวอนุภาคคอลลอยด์กับจุดศูนย์กลางของไอออนที่อยู่ใกล้ที่สุดคล้ายมีชั้นบางๆ กันอยู่ ชั้นบางนี้เรียกว่า Stern layer และถือว่าเป็นชั้นในสุด ศักย์ไฟฟ้าที่เปลือกในมีค่าเท่ากับ Stern potential ส่วนเปลือกชั้นนอกเรียกว่า ชั้นกระจาย (Diffuse layer) ครอบคลุมจากเปลือกชั้นในไปถึงตำแหน่งที่อนุภาคคอลลอยด์หมดอำนาจไฟฟ้าพอดี เป็นบริเวณที่ศักย์ไฟฟ้าเท่ากับศูนย์ทำให้การกระจายตัวของไอออนบวกและลบเป็นไปตามปกติ

ขนาดของประจุไฟฟ้าบนผิวของอนุภาคคอลลอยด์ไม่สามารถวัดได้โดยตรงแต่อาศัยการวัดอัตราการเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามไฟฟ้าและคำนวณศักย์ไฟฟ้าจากค่าที่วัดได้ ศักย์ไฟฟ้าที่คำนวณได้ เรียกว่า ซีตาโพเทนเชียล (Zeta potential; Z_p) ซึ่งหมายถึงศักย์ไฟฟ้าที่ผิวนอกสุดของน้ำที่เคลื่อนที่ไปพร้อมกับอนุภาคคอลลอยด์ ผิวนอกสุดเรียกว่า Plane of Shear ดังแสดงในภาพที่ 2.6 ตำแหน่งของ Plane of Shear ยังไม่ทราบแน่นอนแต่น่าจะอยู่นอก Stern layer แต่อยู่ในชั้นกระจายซีตาโพเทนเชียลมีบทบาทมากกว่าศักย์ไฟฟ้าตัวอื่นๆ เนื่องจากซีตาโพเทนเชียลสามารถบอกถึงระดับของเสถียรภาพของคอลลอยด์ได้ ระบบคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพสูงหรือมีแรง

ผลึกระหว่างอนุภาคสูงจะมีค่าซีตาโพเทนเชียลสูงด้วย ส่วนระบบคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพต่ำจะมีค่าซีตาโพเทนเชียลต่ำและทำให้จับตัวเป็นกลุ่มก้อนได้ง่าย



ภาพที่ 2. 6 โมเดลที่ใช้อธิบาย Electric Double Layer Theory
(Amirtharajah และ O'melia, 1990)

3. การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์

การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์อาศัยกลไก 4 แบบ คือ

3.1 กลไกลดความหนาแน่นของชั้นกระจาย (Diffuse layer) โดยการเพิ่มประจุตรงกันข้ามกับคอลลอยด์ในชั้นกระจายให้มากขึ้น ซึ่งทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าหรือซีตาโพเทนเชียลที่ผิวนอกสุดของน้ำลดลง การทำลายเสถียรภาพโดยการลดความหนาแน่นของชั้นกระจายด้วยการเติมสารละลายของเกลือ โดยปริมาณตัวนำไฟฟ้า (ไอออนบวก) ที่เติมเพื่อทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ด้วยวิธีลดความหนาแน่นของชั้นกระจายไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของคอลลอยด์ และไม่ว่าจะเติมไอออนบวกมากเท่าไรจะไม่สามารถเปลี่ยนประจุไฟฟ้าจากลบเป็นบวก

3.2 การทำลายประจุของคอลลอยด์ (กลไกการดูดติดผิว) โดยอนุภาคคอลลอยด์สามารถดูดติดสารเคมีบางชนิดไว้ที่ผิวได้ ถ้าสารเคมีนั้นมีประจุไฟฟ้าตรงกันข้ามกับคอลลอยด์ การดูดติดจะมีผลในการลดศักย์ไฟฟ้าและทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์

3.3 กลไกการสร้างผลึกเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์มาเกาะแล้วรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน กลไกการใช้ผลึกสารอินทรีย์ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์มีลักษณะที่แตกต่างจากกลไกแบบแรกคือ ปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมแปรผกผันกับความเข้มข้นของคอลลอยด์ กล่าวคือ น้ำที่มีความขุ่นน้อยต้องใช้โคแอกกูแลนต์จำนวนมากจึงจะเกิดโคแอกกูแลชันได้ดี ในทางตรงกันข้ามน้ำที่มีความขุ่นสูงใช้โคแอกกูแลนต์น้อยกว่าเพราะน้ำที่มีความขุ่นต่ำจะมีโอกาสสัมผัสระหว่างอนุภาคน้อย การใช้โคแอกกูแลนต์ปริมาณสูงเพื่อสร้างผลึกจำนวนมากสำหรับเป็นเป้าสัมผัสให้กับอนุภาคคอลลอยด์ แต่ในกรณีที่น้ำมีความขุ่นสูงโอกาสย่อยมีมากจึงไม่จำเป็นต้องอาศัยเป้าสัมผัสจากภายนอกมากนัก

3.4 การใช้สารอินทรีย์โพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์ การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ด้วยสารอินทรีย์ ทั้งที่เป็นสารประกอบตามธรรมชาติหลายชนิด เช่น แป้ง เซลลูโลส น้ำตาลบางชนิด และโปรตีนบางชนิด รวมทั้งสารอินทรีย์โพลีเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นสามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลอง Polymer bridging

2.4.1.2 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการตกตะกอน

ในปัจจุบันสารเคมีที่ใช้สร้างตะกอนมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด เช่น

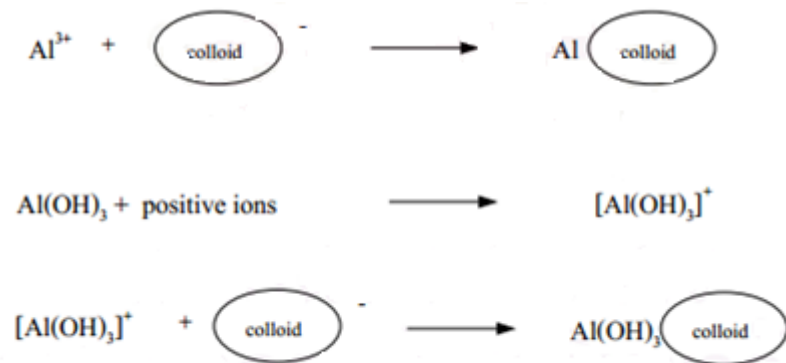
1. สารส้ม ($Al_2(SO_4)_3$)

เป็นสารเคมีที่นิยมใช้ สารส้มให้ผลดีในการกำจัดความขุ่นเมื่อน้ำมีพีเอชอยู่ในช่วง 4.5 ถึง 8 เหมาะกับน้ำดิบที่มีความขุ่นและความเป็นด่างในระดับสูง ซึ่งเป็นน้ำที่สร้างโคแอกกูแลชันได้ง่าย

2. โซเดียมอะลูมิเนต ($NaAlO_2$)

โซเดียมอะลูมิเนตเมื่ออยู่ในน้ำสามารถแตกตัวได้ $Al(OH)_3$ ตามสมการที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับคอลลอยด์ในน้ำเหมือนกันปฏิกิริยาของสารส้ม คือ แตกตัวให้อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Al^{3+}) ซึ่งจะรวมกับอนุภาคคอลลอยด์หรือไอออนลบที่ต้องการกำจัดในน้ำเสีย และทำลายประจุลบของอนุภาคทำให้สามารถจับกับอนุภาคคอลลอยด์กลายเป็นอนุภาคใหญ่ได้ นอกจากนี้อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($Al(OH)_3$) สามารถรวมตัวกับอนุภาคอื่นที่มีประจุบวกเกิดเป็นตะกอนที่มีประจุบวกไปจับกับอนุภาคคอลลอยด์กลายเป็นตะกอนใหญ่ได้เช่นกัน ดังแสดงในภาพที่

2.7



ภาพที่ 2. 7 สมการการรวมตัวกับคอลลอยด์ของ Al^{3+} (มันสิน ตันกุลเวศม์, 2542)

3. เฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_3)

สามารถใช้เป็นสารเคมีที่ช่วยในการตกตะกอนแทนสารส้มได้ เหมาะกับน้ำที่มีพีเอชในช่วง 5 -7 เหมาะกับน้ำดิบที่มีความขุ่นและความเป็นด่างในระดับสูง ปฏิกริยาระหว่างเฟอร์ริกคลอไรด์กับน้ำจะได้ผลึกเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ (Fe(OH)_3) (ตรงข้ามกับสารส้มจะให้ผลึกอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์) นอกจากนี้เฟอร์ริกคลอไรด์ยังเหมาะที่จะใช้กับน้ำอ่อนที่มีสีเข้มซึ่งการใช้สารส้มจะไม่ได้ผลดี

4. เฟอร์รัสซัลเฟต (FeSO_4)

ละลายได้ดีในน้ำอุ่นและทำปฏิกิริยากับความเป็นด่างในน้ำหรือกับปูนขาวที่เติมลงไปเกิดเป็นผลึกเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ (Fe(OH)_3)

5. ปูนขาว (Ca(OH)_2)

ปูนขาวเป็นสารเคมีที่ใช้กันมากในการตกตะกอน เมื่อเติมลงไปลงในน้ำจะทำปฏิกิริยากับด่างและฟอสฟอรัสที่มีอยู่กลายเป็นสารตัวใหม่ตกตะกอนชะพาเอาสารแขวนลอยลงมาด้วย

6. สารส้ม ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) ร่วมกับปูนขาว (Ca(OH)_2)

สำหรับกรณีที่น้ำดิบมีความเป็นด่างต่ำเกินไป จึงจำเป็นต้องเติมปูนขาวเพื่อเพิ่มความเป็นด่างให้กับน้ำ เพื่อสะเทินความเป็นกรดที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อใส่สารส้มลงไป หากไม่ใช้ปูนขาวจะใช้โซดาแอช (Na_2CO_3) แทนก็ได้

7. เฟอร์รัสซัลเฟต (FeSO_4) ร่วมกับปูนขาว (Ca(OH)_2)

เฟอร์รัสซัลเฟตสามารถใช้แทนสารส้มได้ ปฏิกริยาระหว่างเฟอร์รัสซัลเฟตและปูนขาวจะได้ผลึกเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ (Fe(OH)_3) มีเนื้อแน่น และตกตะกอนดี โดยทั่วไปแล้วสารที่ช่วย

ในการตกตะกอนที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบจะมีฟล็อกที่หนักกว่าสารเคมีที่ช่วยตกตะกอนที่มีอะลูมินาเป็นองค์ประกอบ ทำให้ตกตะกอนได้เร็วกว่าและจะไม่กลับมาละลายที่ค่าความเป็นด่างสูงๆ

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดของสารตกตะกอนแต่ละชนิด

สารตกตะกอน	ค่าพีเอชที่เหมาะสม	ปริมาณที่ใช้	ประสิทธิภาพการกำจัด	อ้างอิง
สารส้ม ($Al_2(SO_4)_3$)	4.5-8.0	188.43 มก./ล.	กำจัดฟอสฟอรัส ร้อยละ 94.36	นภา วัฒนยง (2544)
โซเดียม อะลูมิเนต ($Na_2Al_2O_4$)	7.5-8.8	25 มก./ล.	กำจัดฟอสเฟตได้มากกว่า หรือเท่ากับร้อยละ 99	Grutzeck และ Siemer (2008)
เฟอร์ริกคลอไรด์ ($FeCl_3$)	4-12	0.1 มก./ล.	กำจัดฟอสเฟต ร้อยละ 37	Zhou และ คณะ (2008)
เฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4$)	7-11	350 มก./ล.	กำจัดฟอสเฟต ร้อยละ 96.9	จารุวรรณ เกษมทรัพย์ (2538)

2.4.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการตกตะกอน

1. ชนิดของคอลลอยด์ในน้ำ ถ้าทราบชนิดของคอลลอยด์จะสามารถเลือกสารเคมีที่ช่วยตกตะกอนได้อย่างเหมาะสม

2. ชนิดของสารเคมีที่ใช้ตกตะกอน สารเคมีแต่ละชนิดจะมีความเหมาะสมกับคอลลอยด์ต่างกัน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมี การตกตะกอน ลักษณะการเกิดฟล็อก ความเร็วในการตกตะกอน ราคา ความยากง่ายในการใช้งาน จึงต้องเลือกให้เหมาะสม

3. ความเป็นกรดต่าง (pH) สารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนแต่ละชนิดให้ประสิทธิภาพดีที่สุดที่ความเป็นกรดต่างต่างกัน ถ้าปฏิกิริยาที่เกิดไม่อยู่ในช่วงความเป็นกรดต่างในการตกตะกอนผลการตกตะกอนจะเกิดขึ้นได้ไม่ดี

4. เวลาและความแรงในการกวนผสม การทำให้สารเคมีละลายน้ำอย่างทั่วถึงและเกิดการสร้างตะกอนจำเป็นต้องกวนอย่างรวดเร็วด้วยเวลาอันสั้นเพื่อให้สารเคมีกระจายตัวออกไปทำปฏิกิริยากับสารแขวนลอย แต่เมื่อต้องการให้เกิดการรวมตะกอนจะเป็นต้องกวนช้าๆ เพื่อไม่ให้ตะกอนแตกแต่จะใช้เวลาในการกวนนานขึ้นเพื่อให้ตะกอนที่เกิดขึ้นมีโอกาสมารวมตัวกันได้มากที่สุด

2.4.2 การตกตะกอนผลึก (Precipitation)

การตกตะกอนผลึกของแข็งเป็นกระบวนการทางฟิสิกส์-เคมีที่เปลี่ยนสารที่อยู่ในรูปของสารละลายให้มาอยู่ในรูปของตะกอน เป็นปฏิกิริยาที่ทำให้ไอออนประจุบวกและประจุลบรวมกันเป็นตะกอนของแข็งไม่ละลายน้ำเสียก่อน จากนั้นจึงทำให้ผลึกของแข็งรวมกันเป็นกลุ่มก้อนหรือฟล็อก เพื่อให้สามารถแยกออกจากน้ำได้โดยวิธีการตกตะกอนและวิธีการกรอง ซึ่งไอออนที่สนใจต้องการกำจัดอยู่ในเฟสของเหลวจะถูกทำให้กระจายมาอยู่ในเฟสของแข็งหรือตะกอน โดยการตกตะกอนขึ้นอยู่กับสภาวะสมดุลทางเคมีที่มีผลต่อการละลายน้ำของสารนั้นๆ

2.4.3 การควบคุมการตกตะกอนด้วยวิธีจาร์เทสต์ (Jar test)

การสร้างตะกอนเป็นกระบวนการทำให้อนุภาคแขวนลอยขาดเสถียรภาพและทำให้ตะกอนยึดกันได้ดีขึ้น ดังนั้นการเลือกชนิดและความเข้มข้นของสารเคมีที่ช่วยในการตกตะกอนถือเป็นสิ่งสำคัญมากในกระบวนการตกตะกอน จึงต้องมีการทดสอบด้วยวิธีจาร์เทสต์ (Jar test) เพื่อหาปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอน เครื่องมือในการทำจาร์เทสต์ประกอบด้วยใบพัดสำหรับการกวนน้ำจำนวน 6 ใบที่หมุนรอบในแนวนอนดังแสดงในภาพที่ 2.8 จำนวนรอบที่ใช้ในการกวนเร็วจะมีความเร็วสูงและใช้เวลาสั้นเป็นช่วงในการเติมสารเคมีช่วยตกตะกอนลงไปเพื่อให้สารเคมีเกิดการกระจายตัวออกและผสมกับน้ำได้อย่างรวดเร็วแล้วไปทำปฏิกิริยากับอนุภาคในน้ำ หลังจากนั้นจะเป็นการกวนช้าโดยในใช้จำนวนรอบในการกวนต่ำแต่ใช้เวลานานเพื่อให้ตะกอนเกิดการสัมผัสกันได้ดีและรวมตัวเป็นตะกอนขนาดใหญ่ขึ้น แล้วจึงปล่อยให้ตกตะกอนแยกชั้นออกจากน้ำและนำส่วนน้ำในมาวิเคราะห์หาค่าตามที่ต้องการทดสอบ นอกจากนี้จาร์เทสต์ยังสามารถใช้ทดสอบหาค่าพีเอชของน้ำที่เหมาะสมในการทำโคแอกกูเลชันได้เช่นกัน (เพิ่มพูน ทองไพบุลย์, 2554)



ภาพที่ 2. 8 อุปกรณ์ในการทำจาร์เทสต์ (เพิ่มพูน ทองไพบุลย์, 2554)

2.4.4 การใช้โซเดียมอะลูมิเนตเป็นสารตกตะกอน

โซเดียมอะลูมิเนตถูกนำมาใช้เป็นสารตกตะกอนในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งนิยมกำจัด ฟอสเฟต คลอไรด์ และฟลูออไรด์ ในน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมและช่วยปรับสภาพน้ำให้เป็นน้ำอ่อนลดความกระด้างของน้ำ เนื่องจากโซเดียมอะลูมิเนตเมื่ออยู่ในน้ำจะแตกตัวให้อะลูมิเนียม ไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ยังเป็นตัวช่วยในการรวมตัวของตะกอนได้ ซึ่งประสิทธิภาพในการใช้งานสูงเมื่อเทียบกับสารตกตะกอนชนิดอื่น และเมื่อทำร่วมกับสารตกตะกอนชนิดอื่นก็จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการตกตะกอนสูงขึ้นไปอีก

2.5 ฟอสฟอรัส (Phosphorus)

ฟอสฟอรัสในน้ำธรรมชาติและน้ำเสียส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของฟอสเฟตที่แตกต่างกัน คือ ออโรฟอสเฟต โพลีฟอสเฟต และอินทรีย์ฟอสเฟต ฟอสเฟตเหล่านี้อาจอยู่ในรูปที่ละลายน้ำ สารแขวนลอยในน้ำ ตะกอนดินก้นบ่อ รวมทั้งในสิ่งมีชีวิต มักพบออโรฟอสเฟตและโพลีฟอสเฟตในรูปที่ละลายน้ำ รวมเรียกว่า ฟอสฟอรัสละลายน้ำ (Soluble reactive phosphorus) ซึ่งสารประกอบฟอสฟอรัสในน้ำอาจแบ่งได้ดังนี้ (กรรณิการ์ สิริสิงห, 2544)

2.5.1 สารประกอบฟอสฟอรัส

1. ออโรฟอสเฟต (Orthophosphate) เป็นฟอสเฟตที่ละลายน้ำแล้วให้ ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) โมโนไฮโดรเจนฟอสเฟต (HPO_4^{2-}) และไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (H_2PO_4^-)
2. โพลีฟอสเฟต (Polyphosphate) เป็นสารประกอบที่มีฟอสเฟตอยู่ในโมเลกุลหลายหมู่ เช่น $\text{Na}_3(\text{PO}_4)_6$, $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ และ $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ เป็นต้น สารเหล่านี้เป็น Dehydrated phosphate ทำให้สามารถถูกไฮโดรไลต์กลับไปเป็นออโรฟอสเฟตตามเดิม อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับอุณหภูมิและความเป็นกรดต่าง
3. อินทรีย์ฟอสเฟต (Organic phosphate) เป็นสารอินทรีย์ที่มีฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบ เช่น กรดนิวคลีอิก ฟอสโฟลิปิด และน้ำตาลฟอสเฟต เป็นต้น

2.5.2 แหล่งที่มาของฟอสฟอรัส

1. ฟอสฟอรัสที่มาจากธรรมชาติ ได้แก่ การละลายของหินฟอสเฟต ผงฝุ่นฟอสฟอรัสในอากาศถูกพัดให้ตกลงสู่แม่น้ำ รวมทั้งน้ำฝนที่พัดพาซากพืช ซากสัตว์ ดิน และหินที่มีฟอสเฟตลงสู่

แหล่งน้ำ นอกจากนี้ยังมาจากซากพืชซากสัตว์ที่ตายทับถมในแหล่งน้ำการสะสมดังกล่าวอาจก่อให้เกิดปัญหาโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำได้

2. ฟอสฟอรัสที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่ น้ำทิ้งจากแหล่งชุมชนที่มาจากการชะล้าง การใช้ผงซักฟอก โรงงานอุตสาหกรรม และเกษตรกรรมทั้งอยู่ในองค์ประกอบของปุ๋ยรวมทั้งน้ำเสียจากปศุสัตว์ แม้ว่าจะมีการบำบัดน้ำทิ้งเหล่านั้นแล้วแต่ยังคงมีฟอสเฟตเหลืออยู่ในปริมาณสูงประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมที่น้ำทิ้งมีปริมาณฟอสเฟตสูง เช่น โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง โรงงานปุ๋ย เป็นต้น อย่างไรก็ตามสามารถควบคุมปริมาณฟอสเฟตที่ลงสู่แหล่งน้ำได้จากการลดกิจกรรมของมนุษย์

2.5.3 ผลกระทบของฟอสฟอรัส

เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นหนึ่งในปัจจัยในการเจริญเติบโตของพืชจึงมีการเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสลงในปุ๋ยลงในดิน แต่ถ้าเกิดมีการเพิ่มปริมาณของฟอสฟอรัสในดินมากเกินไปจะถูกชะลงสู่แหล่งน้ำ นอกจากนี้ยังมีฟอสเฟตที่มาจากการชะล้างและน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำด้วยเช่นกัน ทำให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันมีปริมาณสารอาหารในน้ำมากเกินไปจนทำให้ไปกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชน้ำ สาหร่ายและแพลงก์ตอนพืชต้องใช้ปริมาณออกซิเจนในการเจริญเติบโตสูง ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงอย่างรวดเร็วส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำและแสงแดดส่องไม่ถึงทำให้พืชน้ำด้านล่างมีผลให้สิ่งมีชีวิตในน้ำตายและทำให้น้ำเน่าเสีย

2.5.4 เทคโนโลยีในการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสีย

1. การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียโดยวิธีทางชีวภาพ

ในการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพนั้นจุลินทรีย์จำเป็นต้องมีอาหารเพียงพอในการสร้างเซลล์ซึ่งสามารถแบ่งอาหารของจุลินทรีย์ได้เป็น 4 จำพวก จำพวกแรก ได้แก่ สารประกอบซึ่งให้คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส จำพวกสอง คือ สารประกอบซึ่งให้พลังงานในการดำรงชีวิต จำพวกสาม คือสารอนินทรีย์และจำพวกสี่ คือสารที่ต้องการเพียงเล็กน้อย โดยทั่วไปจุลินทรีย์ต้องการแร่ธาตุหลัก ได้แก่ โปแทสเซียมแคลเซียม สังกะสี แมงกานีส เหล็ก โคบอลท์ แมกนีเซียม และทองแดง ซึ่งในน้ำเสียชุมชนจะมีสารอาหารเหล่านี้เพียงพอในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ แต่ถ้าเป็นน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาจขาดแร่ธาตุบางอย่างไปจึงจำเป็นต้องเติมลงไปเพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพจุลินทรีย์ในระบบที่ใช้ ออกซิเจนมีสูตรโมเลกุล $C_3H_7O_2NP_{0.2}$ ประกอบด้วยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสโดยน้ำหนักในสัดส่วนร้อยละ 11.2 และ 5.2 ตามลำดับ ซึ่งแบคทีเรียสามารถนำเอาไนโตรเจนมาใช้ได้จากแอมโมเนีย ไนเตรท และไนไตรท์ ส่วนฟอสฟอรัสนั้น

แบบที่เรียกว่าใช้ในรูปของออร์โธฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ (PO_4^{3-}) โดยอัตราส่วนระหว่าง บีโอดีต่อความต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเท่ากับ 100 : 5 : 1 (Metcalf และคณะ, 1991)

ฟอสฟอรัสจะถูกกำจัดทางชีวภาพโดยการดูดซับออร์โธฟอสเฟต โพลีฟอสเฟตและอินทรีย์ฟอสเฟตให้อยู่ในรูปของเนื้อเยื่อเซลล์ของจุลินทรีย์ ซึ่งปริมาณของฟอสฟอรัสที่ถูกกำจัดในระหว่างการบำบัดขั้นสองอยู่ในรูปตะกอนมีตั้งแต่ร้อยละ 10-30 ของปริมาณของฟอสฟอรัสในน้ำเสียไหลเข้าสู่ระบบบำบัด โดยจุลินทรีย์ไม่เพียงแต่ใช้ฟอสฟอรัสในการซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของเซลล์สังเคราะห์สาร และถ่ายทอดพลังงานในเซลล์เท่านั้นแต่ยังสามารถเก็บฟอสฟอรัสไว้ในเซลล์เป็นพลังงานสะสมที่ใช้ในอากาศและสภาวะไร้อากาศสามารถทำได้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาเรียกว่า Mainstream ในปัจจุบันเทคโนโลยีการกำจัดฟอสเฟตทางชีวภาพที่นิยมใช้กันมากมีหลักการว่าในสภาวะไร้อากาศซึ่งมีค่ากรดสูงจุลินทรีย์จะใช้พลังงานที่สะสมในรูปสารประกอบโพลีฟอสเฟตและจะปลดปล่อยฟอสเฟตออกมาจากเซลล์เพื่อที่จะใช้สารอินทรีย์ที่ใช้ได้ง่ายคือกรดไขมันแต่เมื่อจุลินทรีย์ถูกป้อนเข้าสู่บริเวณที่มีออกซิเจน (Aerobic reactor) จุลินทรีย์พยายามสะสมฟอสฟอรัสในรูปของโพลีฟอสเฟตไว้ในเซลล์ในปริมาณมากกว่าปกติ (Luxury uptake) คือ ฟอสเฟตจะถูกกำจัดออกจากน้ำในรูปตะกอนจุลินทรีย์โดยใช้หลักการสร้างสภาวะที่เปลี่ยนแปลงระหว่างไร้อากาศและใช้อากาศ

แม้ว่าการกำจัดด้วยวิธีนี้มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดฟอสเฟตแต่เป็นวิธีการที่ยุ่งยากและซับซ้อน ดังนั้นการใช้วิธีการดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจริงนั้นต้องใช้ผู้ที่มีความรู้และความชำนาญสูงในการควบคุมระบบ อีกทั้งเทคโนโลยีที่ใช้ในการกำจัดทางชีวภาพเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ต้นทุนสูง ดังนั้นในการเลือกใช้วิธีการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงหลายปัจจัย

2. การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียโดยวิธีทางเคมี

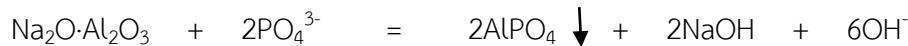
การตกตะกอนทางเคมีเป็นกระบวนการเปลี่ยนสารที่อยู่ในรูปของสารละลายให้มาอยู่ในรูปของตะกอนซึ่งจะแยกออกจากสารละลายนั้นได้ การตกตะกอนทางเคมีขึ้นอยู่กับสภาวะสมดุลทางเคมีที่มีผลต่อการละลายในน้ำของสารนั้นๆ ซึ่งการตกตะกอนทางเคมีเกิดขึ้นได้หลายวิธีโดยมีกระบวนการเป็นไปตามขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งหรือหลายขั้นตอนรวมกันดังต่อไปนี้

2.1 ใส่สารเคมีสามารถทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารที่ละลายในน้ำเพื่อเปลี่ยนเป็นสารประกอบใหม่ซึ่งมีคุณสมบัติที่ละลายน้ำได้น้อย

2.2 ใส่สารซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาวะสมดุลของการละลายน้ำ (Solubility equilibrium) ให้เลื่อนมาถึงจุดที่สารละลายในน้ำไม่สามารถละลายได้อีกต่อไปจึงเกิดการรวมตัวและตกตะกอน

2.3 เปลี่ยนอุณหภูมิของสารละลายอิมัลชันหรือเก็บบิมัลชันไปในทิศทางที่ทำให้

ให้ค่าการละลายลดลงจนเปลี่ยนไปอยู่ในสภาวะของแข็งเนื่องจากค่าการละลายน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ การกำจัดฟอสเฟตโดยการตกตะกอนด้วยสารตกตะกอนหลายชนิดทั้งสารส้ม ปูนขาว โซเดียมอะลูมิเนต เพอริคซิลเฟตและเพอริคคลอไรด์ เป็นต้น เมื่อกำจัดฟอสเฟตโดยการ ตกตะกอนด้วยสารส้มจะมีค่าความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนด้วยสารส้มคือ 5.5- 6.5 ซึ่งค่าความเป็นกรดต่างเป็นผลมาจากการเติมสารส้มและความเป็นต่างของน้ำเสีย ในบางครั้งมี การใช้โซเดียมอะลูมิเนตในการกำจัดฟอสเฟตออกมาในรูปของอะลูมิเนียมฟอสเฟตสามารถเขียนเป็น ปฏิกิริยาได้ดังนี้



อัตราส่วนโดยโมลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสคือ 1:1 และอัตราส่วนโดยมวลของ อะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสคือ 0.9:1 ขณะที่อัตราส่วนโดยมวลของโซเดียมอะลูมิเนตต่อฟอสฟอรัส เท่ากับ 3.6:1 จะเห็นว่าเกิดโซเดียมไฮดรอกไซด์ขึ้นในปฏิกิริยาถือเป็นการเพิ่มความเป็นกรดต่าง ทำให้ โซเดียมอะลูมิเนตใช้กับน้ำเสียที่มีความเป็นด่างต่ำเหมือนกับการใช้สารส้ม จึงสามารถนำโซเดียม อะลูมิเนตมาใช้แทนสารส้ม (Ripley, 1974)

การกำจัดฟอสเฟตด้วยโซเดียมอะลูมิเนตนั้นสามารถกำจัดออกมาได้ในรูปของ อะลูมิเนียมฟอสเฟต (AlPO_4) ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบถือเป็นธาตุอาหาร หลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ทำให้พืชสามารถสังเคราะห์ได้ดียิ่งขึ้น ช่วยในกระบวนการ ตรึงไนโตรเจน การออกดอก ออกผล และการสุกของผล จึงสามารถนำตะกอนอะลูมิเนียมฟอสเฟตไป ใช้เป็นปุ๋ยฟอสฟอรัสให้กับพืชได้ แม้ว่าตะกอนอะลูมิเนียมฟอสเฟตจะละลายน้ำได้เล็กน้อยแต่ก็อาศัย การทำงานของแบคทีเรียในดินที่ช่วยสลายให้กลายเป็นปุ๋ยฟอสฟอรัสในรูปที่ละลายน้ำได้ (สุภาพร จันรุ่งเรือง และคณะ, 2553)

3. การกำจัดฟอสฟอรัสทางกายภาพ

อาศัยกระบวนการดูดซับ (Adsorption process) โดยใช้สารดูดซับ (Adsorbent) เป็นดูดซับฟอสเฟต Adsorbent ที่ใช้ เช่น Activated alumina นอกจากนี้ยังมีการใช้ Adsorbent อื่นๆ มากำจัดฟอสฟอรัสซึ่งมีประสิทธิภาพสูงถึงร้อยละ 99 ในการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำ

2.5.5 วิธีการวิเคราะห์ฟอสฟอรัส (มันสิน ตันกุลเวศม์, 2540)

การวิเคราะห์ออร์โธฟอสเฟตด้วยวิธีการเทียบสีมี 3 วิธี ดังนี้

1. วิธีการแวนนาโตโมลิบโดฟอสฟอริก(Vanadomolybdophosphoric acid method)

ในสภาวะที่เป็นกรดแอมโมเนียมโมลิบเดตจะทำปฏิกิริยากับออร์โธฟอสเฟต ได้เป็นกรด โมลิบโดฟอสฟอริก เมื่อเจอกับแวนนาเดียมไอออนทำให้เกิดกรดแวนนาโตโมลิบโดฟอสฟอริกได้เป็น

สารละลายสีเหลือง ซึ่งความเข้มข้นของสีเหลืองที่เกิดขึ้นจะแปรผันกับปริมาณฟอสเฟตที่มีอยู่ในน้ำ วิธีนี้เหมาะสำหรับตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 1-20 มก./ล.

2. วิธีสแตนนัสคลอไรด์ (Stannous chloride method)

แอมโมเนียมโมลิบเดตจะทำปฏิกิริยากับออร์โธฟอสเฟต ได้เป็นกรดโมลิบโดฟอสฟอริก ซึ่งจะถูกรีดิวซ์ด้วยสแตนนัสคลอไรด์ ได้เป็นสารประกอบโมลิบดินัมบูล วิธีนี้เหมาะสำหรับตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 0.01-6.0 มก./ล.

3. วิธีกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid method)

ในสภาวะที่เป็นกรดแอมโมเนียมโมลิบเดตและโปตัสเซียมแอนติโมนิตาร์เตรตทำปฏิกิริยากับออร์โธฟอสเฟตเกิดเป็นกรดฟอสฟอโมลิบดิก ซึ่งถูกรีดิวซ์ด้วยกรดแอสคอร์บิกได้สีโมลิบดินัมบูล วิธีนี้เหมาะสำหรับตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 0.01-6.0 มก./ล. และสามารถใช้อัตราฟอสเฟตได้ต่ำถึง 10 ไมโครกรัม/ลิตร

2.6 น้ำเสียที่ใช้ในการศึกษา

2.6.1 น้ำเสียชุมชน

น้ำเสียชุมชน (Domestic Wastewater) หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมประจำวันของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชน และกิจกรรมที่เป็นอาชีพ ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบอาหาร การชำระล้างสิ่งสกปรกทั้งหลายภายในครัวเรือน และอาคารประเภทต่างๆ เป็นต้น

2.6.1.1 ลักษณะน้ำเสียชุมชน

เกิดจากบ้านพักอาศัยประกอบไปด้วยน้ำเสียจากกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวัน ซึ่งมีองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้ (กองจัดการคุณภาพน้ำ, 2545)

1. สารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เช่น เศษข้าว ก๋วยเตี๋ยว น้ำแกง เศษใบตอง พืชผัก ซึ้นเนื้อ เป็นต้น ซึ่งสามารถถูกย่อยสลายได้ โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน ทำให้ระดับออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) ลดลงเกิดสภาพเน่าเหม็นได้ ปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำนิยามวัดด้วยค่าบีโอดี (BOD) เมื่อค่าบีโอดีในน้ำสูง แสดงว่ามีสารอินทรีย์ปะปนอยู่มาก และสภาพเน่าเหม็นจะเกิดขึ้นได้ง่าย

2. สารอนินทรีย์ ได้แก่ แร่ธาตุต่างๆ ที่อาจไม่ทำให้เกิดน้ำเน่าเหม็น แต่อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ได้แก่ คลอไรด์ ซัลเฟต เป็นต้น

3. โลหะหนักและสารพิษ อาจอยู่ในรูปของสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์และสามารถสะสมอยู่ในวงจรอาหาร เกิดเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น พรอท โครเมียม ทองแดง ปกติจะอยู่ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดศัตรูพืชที่ปนมากับน้ำทิ้งจากการเกษตร สำหรับ

ในเขตชุมชนอาจมีสารมลพิษนี้มาจากอุตสาหกรรมในครัวเรือนบางประเภท เช่น ร้านชุบโลหะ ่อซ่อมรถ และน้ำเสียจากโรงพยาบาล เป็นต้น

4. น้ำมันและสารลอยน้ำต่างๆ เป็นอุปสรรคต่อการสังเคราะห์แสง และกีดขวางการกระจายของออกซิเจนจากอากาศลงสู่น้ำ นอกจากนั้นยังทำให้เกิดสภาพไม่นำดู

5. ของแข็ง เมื่อจมตัวสู่ก้นลำน้ำ ทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจนที่ท้องน้ำ ทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน มีความขุ่นสูง มีผลกระทบต่อ การดำรงชีพของสัตว์น้ำ

6. สารก่อให้เกิดฟอง/สารซักฟอก ได้แก่ ผงซักฟอก สบู่ ฟองจะกีดกันการกระจายของออกซิเจนในอากาศสู่น้ำ และอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

7. จุลินทรีย์ น้ำเสียจากโรงฟอกหนัง โรงฆ่าสัตว์ หรือโรงงานอาหารกระป๋อง จะมีจุลินทรีย์เป็นจำนวนมาก จุลินทรีย์เหล่านี้ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิตสามารถลดระดับของออกซิเจนละลายน้ำ ทำให้เกิดสภาพเน่าเหม็น นอกจากนี้จุลินทรีย์บางชนิดอาจเป็นเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อประชาชน เช่น จุลินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงพยาบาล

8. ธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เมื่อมีปริมาณสูงจะทำให้เกิดการเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณอย่างรวดเร็วของสาหร่าย (Algae Bloom) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญทำให้ระดับออกซิเจนในน้ำลดลงต่ำมากในช่วงกลางคืน อีกทั้งยังทำให้เกิดวัชพืชน้ำ ซึ่งเป็นปัญหาแก่การสัญจรทางน้ำ

9. กลิ่น เกิดจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน หรือกลิ่นอื่นๆ จากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น โรงงานทำปลาป่น โรงฆ่าสัตว์ เป็นต้น

สามารถสรุปลักษณะน้ำเสียชุมชนได้ดังตารางที่ 2.6 ทำให้กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมมีการกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ดังแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2. 6 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียชุมชน (Metcalf และคณะ, 1991)

พารามิเตอร์	หน่วย	ความเข้มข้น		
		น้อย	ปานกลาง	มาก
1. ของแข็งทั้งหมด (Total Solids)	มก./ล.	350	720	1,200
ของแข็งละลายน้ำ (Dissolved Solids)	มก./ล.	250	500	850
ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids)	มก./ล.	100	220	350
2. ปริมาณตะกอนหนัก (Settleable Solids)	มก./ล.	5	10	20
3. ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD)	มก./ล.	110	220	400
4. ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD)	มก./ล.	250	500	1,000
5. ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen)	มก./ล.	20	40	85
อินทรีย์ไนโตรเจน (Organic)	มก./ล.	8	15	35
แอมโมเนีย (Ammonia)	มก./ล.	12	25	50
ไนไตรท์ (Nitrites)	มก./ล.	0	0	0
ไนเตรท (Nitrate)	มก./ล.	0	0	0
6. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus)	มก./ล.	3	8	15
7. คลอไรด์ (Chloride)*	มก./ล.	30	50	5
8. ซัลเฟต (Sulfate)*	มก./ล.	20	30	10
9. สภาพด่าง (Alkalinity as CaCO ₃)	มก./ล.	50	100	100
10. ไขมัน (Grease)	มก./ล.	50	100	50
11. Total Coliform	MPN/100 มล.	106-107	107-108	107-109

หมายเหตุ : * เป็นค่าที่เพิ่มจากค่าที่ตรวจพบในน้ำใช้ปกติ

ตารางที่ 2.7 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน
(กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2553)

พารามิเตอร์	หน่วย	มาตรฐาน
1. ความเป็นกรดต่าง (pH)	-	5.5-9.0
2. ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD)	มก./ล.	ไม่เกิน 20
3. ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids)	มก./ล.	ไม่เกิน 30
4. น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease)	มก./ล.	ไม่เกิน 5
5. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus)	มก. ฟอสฟอรัส/ล.	ไม่เกิน 2
6. ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen)	มก. ไนโตรเจน/ล.	ไม่เกิน 20

2.6.2 น้ำเสียฟาร์มสุกร

ปัญหามลพิษทางน้ำของประเทศ นอกจากจะเกิดจากการระบายน้ำเสียจากกิจกรรมต่างๆ ลงสู่แม่น้ำลำคลอง อาทิเช่น ชุมชนและกิจการอุตสาหกรรมแล้ว น้ำเสียจากกิจกรรมการเกษตรไม่ว่าจะเป็นการเพาะปลูกการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำหรือการปศุสัตว์ก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้คุณภาพน้ำของแหล่งน้ำเสื่อมโทรมได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเลี้ยงสุกร ซึ่งปัจจุบันมีอยู่เป็นจำนวนมากและกระจายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศ ประกอบด้วยฟาร์มสุกรทั้งขนาดเล็ก ขนาดกลาง ขนาดใหญ่ รวมทั้งการเลี้ยงตามบ้านแบบดั้งเดิม ของเสียจากฟาร์มสุกร มี 2 ประเภทหลัก คือ ส่วนที่เป็นมูลสุกรและเศษอาหารที่ตกค้างในคอก อีกส่วนหนึ่งเกิดจากการล้างคอกด้วยน้ำและปัสสาวะสุกรซึ่งจะกลายเป็นน้ำเสีย โดยน้ำเสียจากฟาร์มสุกรส่วนใหญ่เกิดจากการล้างทำความสะอาดคอกและโรงเรือน ซึ่งในการทำความสะอาดคอกควรเก็บกวาดมูลสุกรออกจากพื้นคอกก่อนเพื่อลดปริมาณความสกปรกของน้ำเสีย เมื่อพิจารณาลักษณะของน้ำเสียฟาร์มสุกรพบว่ามียอดประกอบต่างๆ ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียฟาร์มสุกรที่จำแนกตามขนาดของฟาร์ม (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2552)

ขนาดฟาร์ม	อัตราการเกิดน้ำเสีย (ลิตร/ตัว/วัน)	ลักษณะสมบัติน้ำเสีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)				
		ซีโอดี	บีโอดี	สารแขวนลอย	ฟอสฟอรัสทั้งหมด	ไนโตรเจนทั้งหมด
ขนาดเล็ก	20	4,000	1,500	2,000	17.0	400
ขนาดกลาง	15	6,800	2,500	3,000	9.5	540
ขนาดใหญ่	10	7,000	3,000	2,000	8.0	540

เห็นได้ว่าการเลี้ยงสุกรนอกจากจะทำให้เกิดน้ำเสียที่มีความสกปรกสูงทำให้เกิดความเดือดร้อนแก่ชุมชนใกล้เคียงได้ ดังนั้น ฟาร์มสุกรเหล่านี้จำเป็นต้องมีการจัดการของเสียและน้ำเสียจากฟาร์มสุกรอย่างเหมาะสม ทำให้กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมมีการกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกรดังตารางที่ 2.9 เพื่อควบคุมให้ฟาร์มสุกรต้องมีการบำบัดน้ำเสียให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดก่อนจะระบายทิ้งลงสู่แหล่งน้ำหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 2.9 มาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2552)

พารามิเตอร์	หน่วย	เกณฑ์มาตรฐานสูงสุด		
		มาตรฐาน ก	มาตรฐาน ข	วิธีการตรวจสอบ
1. ค่าพีเอช (pH)	-	5.5-9	5.5-9	เครื่องวัดพีเอชแบบอิเล็กทรอนิกส์เมตริกไทเทรตชันที่มีความละเอียดไม่ต่ำกว่า 0.1 หน่วย
2. บีโอดี (BOD)	มก./ล.	60	100	วิธีเอไซด์โมดิฟิเคชัน (Azide Modification) หรือ เมมเบรนอิเล็กโทรด (Membrane Electrode)
3. ซีโอดี (COD)	มก./ล.	300	400	วิธีการย่อยโพเทสเซียมไดโครเมต แบบเปิดหรือแบบปิด
4. สารแขวนลอย (SS)	มก./ล.	150	200	กระดาษกรองและอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 - 105 ° ซ
5. ไนโตรเจนในรูป ที เค เอ็น (TKN)	มก./ล.	120	200	ตรวจวัดไนโตรเจนด้วยวิธีเคตาลและตรวจวัดแอมโมเนียด้วยวิธีการวัดความเข้มข้น

หมายเหตุ: 1. มาตรฐาน ก ใช้ควบคุมการระบายน้ำทิ้งสำหรับฟาร์มประเภท ก และมาตรฐาน ข ใช้ควบคุมการระบายน้ำทิ้งสำหรับฟาร์ม ประเภท ข และ ค

2. การแบ่งประเภทของฟาร์มสุกรจะใช้น้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ (นปส.) หรือ หน่วยปศุสัตว์เป็นเกณฑ์ เนื่องจากฟาร์มแต่ละแห่งจะประกอบด้วยสุกรที่มีความแตกต่างกันทั้งประเภท ขนาด และช่วงอายุ ซึ่งจะทำให้เกิดของเสียและน้ำเสียในปริมาณที่แตกต่าง โดยมีข้อกำหนดดังนี้

2.1 ประเภทของฟาร์มสุกร แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

- ประเภท ก มีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ มากกว่า 600 นปส. (เทียบเท่าจำนวนสุกรมากกว่า 5,000 ตัว)
- ประเภท ข มีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ ตั้งแต่ 60-600 นปส.(เทียบเท่าจำนวนสุกรตั้งแต่ 500-5,000 ตัว)
- ประเภท ค มีน้ำหนักปศุสัตว์ ตั้งแต่ 6-น้อยกว่า 60 นปส. (เทียบเท่าจำนวนสุกรตั้งแต่ 50-น้อยกว่า 500 ตัว)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 การนำของเสียอะลูมินามาใช้ประโยชน์

เทพฤทธิ์ ปิติฤทธิ์ (2544) ศึกษาการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟในสารละลายสีย้อมโดยการดูดซับด้วยซิลิกาและอะลูมินาที่ใช้แล้ว ซึ่งซิลิกาและอะลูมินาเป็นของเสียจากอุตสาหกรรมผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นำมาดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟ 3 ชนิด คือ สีย้อม Reactive Red 2 (RR2) Reactive Red 120 (RR120) และ Reactive Red 141 (RR141) ซึ่งมีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้นตามลำดับ ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของพีเอช (pH) ของระบบการดูดซับ ขนาดตัวดูดซับ การเติมสารอิเล็กโทรไลต์ เวลาเข้าสมดุล และอุณหภูมิต่อการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟ พบว่า การลดลงของพีเอชของระบบการดูดซับ การเพิ่มอุณหภูมิ และการเพิ่มขนาดโมเลกุลของสีย้อมรีแอคทีฟมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อม รีแอคทีฟ ในขณะที่การเพิ่มของขนาดของซิลิกาและอะลูมินาที่ใช้แล้ว และการเพิ่มความเข้มข้นของสารอิเล็กโทรไลต์ในสารละลายสีย้อมรีแอคทีฟมีผลต่อการลดประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟด้วย ซิลิกาและอะลูมินาที่ใช้แล้ว การศึกษาการคายการดูดซับ (Desorption) พบว่าสีย้อมรีแอคทีฟจะถูกคายการดูดซับออกจากซิลิกาและอะลูมินาที่ใช้แล้วได้สูงขึ้นเมื่อพีเอชของระบบเพิ่มขึ้น ข้อมูลการศึกษา ไอโซเทอมของการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟ RR2 RR120 และ RR141 ด้วยซิลิกาและอะลูมินาที่ใช้แล้วให้ผลเข้ากับสมการแลงเมียร์ไอโซเทอม (Langmuir isotherm) ได้ดีกว่าสมการฟรุนดลิคไอโซเทอม (Freundlich isotherm) ส่วนประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟ RR2 RR120 และ RR141 ด้วยซิลิกาและอะลูมินาที่ใช้แล้วพีเอชของระบบการดูดซับเป็น 4.40 และอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เท่ากับ 58.8, 65.4 และ 105.3 มิลลิกรัม ต่อกรัมซิลิกาและอะลูมินาที่ใช้แล้วตามลำดับ และเมื่อศึกษาเทอร์โมไดนามิกของการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟทั้ง 3 ตัวอย่างสีนี้ด้วยซิลิกาและอะลูมินาที่ใช้แล้ว แสดงให้เห็นว่ากระบวนการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟนี้ด้วยซิลิกาและอะลูมินาที่ใช้แล้วเป็นกระบวนการดูดซับแบบดูดความร้อน (Endothermic adsorption process)

ผุสดี แพทย์นุเคราะห์ (2546) ศึกษาการนำซิลิกาและอะลูมินาที่ใช้แล้วและควอร์ตเทอร์ในซ์โครอสส์ลิ่งค์ชานอ้อยที่ผ่านการดูดซับสีริมาโซล แบล็ค บี มาใช้ประโยชน์เพื่อการผลิตคอนกรีตบล็อกปูผนัง เช่น ค่ากำลังแรงอัด ความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำ ทดลองโดยใช้อัตราส่วนของซิลิกา และอะลูมินาต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.25 และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.5 อัตราส่วนของซีเมนต์ต่อทรายต่อหินกรวดเท่ากับ 1 : 2 : 3 โดยแปรค่าอัตราส่วนของชานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสานที่ 0.5, 0.1, 0.15 และ 0.2 ที่ระยะเวลาบ่มเป็น 7, 14, 21 และ 28 วัน และประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้น พบว่าอัตราส่วนของชานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสานมีค่าเท่ากับ 1.5 และระยะเวลาในการบ่ม 21 วัน เมื่อนำไปทำคอนกรีตบล็อกปูผนังมีสมบัติทางกายภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่กำหนด ประมาณค่าใช้จ่ายของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 2.82 บาทต่อน้ำหนักคอนกรีตบล็อกปูผนัง 6.7 กิโลกรัม

จิราพร พะยอมหอม (2554) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของไบโอออยล์ที่ได้จากการไพโรไลซิสของต้นกระถินยักษ์ผ่านกระบวนการดื่อกซิเจนชั้นเร่งปฏิกิริยาด้วยแพลทินัมรองรับบนอะลูมินา โดยศึกษาภาวะในการดื่อกซิเจนชั้นพบว่าการดื่อกซิเจนชั้นที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และใช้แพลทินัมรองรับบนอะลูมินาร้อยละ 10 โดยน้ำหนักเป็นภาวะที่สามารถกำจัดสารประกอบออกซิเจนในไบโอออยล์ได้สูงประมาณร้อยละ 94 เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของไบโอออยล์ที่ได้จากการไพโรไลซิสกระถินยักษ์ ฟางข้าว สหรัย และ ชีลื้อย พบว่าไบโอออยล์ที่ได้จากการไพโรไลซิสของสหรัยให้ผลการกำจัดออกซิเจนได้สูงสุด

เพลงประพันธ์ กิ่งทอง และ เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ (2555) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการจัดการของเสียอะลูมินาจากอุตสาหกรรมหลอมอะลูมิเนียมและเหล็กโดยวิธีการปรับเสถียรโดยทำเป็นก้อนแข็งขนาด 5x5x5 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยศึกษาจากลักษณะทางกายภาพและเคมีของของเสีย พบว่าของเสียอะลูมินาเป็นผงละเอียดสีเทาเข้มและมีกลิ่นฉุน มีขนาดอนุภาคเท่ากับ 171.49 ไมโครเมตร มีองค์ประกอบทางเคมีประกอบไปด้วย Al_2O_3 ร้อยละ 48, SiO_2 ร้อยละ 4.18, Cl ร้อยละ 20, Na_2O ร้อยละ 14.43 และ H_3BO_3 ร้อยละ 13.74 จากนั้นออกแบบส่วนผสมเพื่อปรับเสถียรและขึ้นรูป กำหนดให้มีปริมาณน้ำ 60 มิลลิลิตร ต่อทราย 275 กรัม และปรับสัดส่วนของกากของเสียอะลูมินาต่อปูนซีเมนต์ดังนี้ 0:100, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50 และ 60:40 ขึ้นรูปแล้วนำไปบ่มในน้ำเป็นเวลา 7, 14 และ 28 วัน และนำไปทดสอบหาค่ากำลังแรงอัด พบว่าก้อนที่ไม่เติมของเสียอะลูมินาให้ค่ากำลังแรงอัดสูงสุดและคงที่ในระยะเวลาการบ่ม 14 วัน ส่วนก้อนที่มีการเติมของเสียอะลูมินาค่ากำลังแรงอัดจะลดลงตามปริมาณที่ใส่ โดยก้อนที่ใส่ของเสียอะลูมินามากสุด 60 กรัม ให้กำลังแรงอัดอยู่ที่ 36.69 กก./ตร.ซม. ซึ่งมากกว่าค่ามาตรฐานกำหนดสำหรับการนำไปฝังกลับในหลุม

ฝั่งกลบแบบปลอดภัย คือ 3.5 กก./ตร.ชม. ดังนั้นการจัดการของเสียอะลูมินาสามารถใช้อัตราส่วนระหว่างอะลูมินาต่อปูนซีเมนต์ได้ถึง 60:40

2.7.2 การผลิตโซเดียมอะลูมิเนต

Russell และคณะ (1935) ศึกษากระบวนการผลิตโซเดียมอะลูมิเนตจากผงแร่บ็อกไซต์จากอเมริกาใต้ ซึ่งแร่บ็อกไซต์ 85 ปอนด์ ประกอบไปด้วยอะลูมินาร้อยละ 60 ซิลิกาไททาเนียม และออกไซด์ของเหล็กร้อยละ 6-8 และเป็นน้ำอีกร้อยละ 30 แล้วนำแร่บ็อกไซต์ไปผสมในน้ำ 5 ปอนด์ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส หรือมากกว่า จากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไป 50 ปอนด์แล้วกวนผสมให้เข้ากันในช่วงเวลาอันสั้นประมาณ 3 นาทีจะได้สารผสมคล้ายพลาสติกหรือแป้งเปียก หลังจากกวนผสมต่ออีก 30 นาที จะเกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์และนำมาให้ความร้อนในตู้ดูดควันที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดโมเลกุลของน้ำออก

Grutzeck และ Siemer (1997) ศึกษาการสังเคราะห์ซีโอไลต์จากเถ้าลอยชนิดเอฟและโซเดียมอะลูมิเนต จากการศึกษาการผลิตโซเดียมอะลูมิเนต โดยเตรียมจากอะลูมินา 0.5 โมลและโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3 โมล แล้วปรับอัตราส่วนด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเท่ากับ 1 ลิตร ซึ่งการผลิตโซเดียมอะลูมิเนตนี้จะใช้อัตราส่วนของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินา เท่ากับ 3:1

Contreras และคณะ (2006) ศึกษาการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากอะลูมิเนียมซัลเฟต โดยกระบวนการผลิตประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ในขั้นตอนแรกเปลี่ยนรูปอะลูมิเนียมซัลเฟตให้เกิดเป็นโซเดียมเดควาโซไนท์โดยการบำบัดอะลูมิเนียมซัลเฟตด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ ในขั้นตอนที่สองเป็นการผลิตโซเดียมอะลูมิเนตด้วยการให้ความร้อนกับโซเดียมเดควาโซไนท์ที่อุณหภูมิแตกต่างกันในช่วง 600-1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พบว่าเกิดผลึกของโซเดียมอะลูมิเนตจากการให้ความร้อนกับโซเดียมเดควาโซไนท์ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ในขณะที่การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส จะเกิดผลิตภัณฑ์ที่มีการผสมกันระหว่างโซเดียมอะลูมิเนตและอัลฟาอะลูมินา

Cao และคณะ (2009) ศึกษาการผลิตโมโนโซเดียมอะลูมิเนตโดยการตกตะกอนอย่างรวดเร็วจากน้ำชะละลายของแร่บ็อกไซต์ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น ซึ่งพบว่าพลังงานจลศาสตร์ของการตกผลึกโซเดียมอะลูมิเนตนี้เป็นไปตามปฏิกิริยาลำดับที่สอง และพลังงานที่ใช้กระตุ้นในการตกผลึกเท่ากับ 38.0 กิโลจูลต่อโมล เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์และลักษณะสัญญาณจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าโมโนโซเดียมอะลูมิเนตมีโครงสร้างเป็น $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ และอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินามีค่าเท่ากับ 2.5

2.7.3 การใช้โซเดียมอะลูมิเนตเป็นสารตกตะกอน

Hsu (1976) ศึกษาการกำจัดฟอสเฟตจากสารละลายด้วย Fe^{3+} และ Al^{3+} ด้วยการตกตะกอนโดยวิธีจาร์เทสต์ พบว่าอัตราส่วนในกำจัดฟอสเฟตได้ดีที่สุดอยู่ที่อัตราส่วนโดยโมลของโลหะอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัส คือ 2:5 และค่าความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมในการกำจัดฟอสฟอรัสโดยอะลูมิเนียมอยู่ที่ 5.5-8.0 ขณะที่ค่าความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนฟอสฟอรัสด้วยเหล็กอยู่ที่ 4.7-7.1

Moore และ Miler (1994) ศึกษาการกำจัดฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำจากของเสียฟาร์มสัตว์ปีก ของเสียจากฟาร์มสัตว์ปีกมีปริมาณฟอสฟอรัส 20 กรัมฟอสฟอรัสต่อกิโลกรัมของของเสียซึ่งมีฟอสฟอรัสที่สามารถละลายน้ำได้ประมาณ 2 กรัมฟอสฟอรัสต่อกิโลกรัมของของเสียและในดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้อยู่ 10 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อกิโลกรัมของดิน เมื่อศึกษาการกำจัดฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำด้วยสารที่มีอะลูมิเนียม แคลเซียม และเหล็กเป็นองค์ประกอบโดยใช้สารส้ม โซเดียมอะลูมิเนต ปูนขาว (Quicklime และ Slaked lime) หินปูน (Calcitic limestone และ Dolomitic limestone) ยิปซัมเพอร์คลอไรด์ เพอร์คลอไรด์ เพอร์สซัลเฟต และเพอร์ซัลเฟตเป็นสารกำจัดฟอสฟอรัส พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำในของเสียจากฟาร์มสัตว์ปีกลดลงจากมากกว่า 2,000 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อกิโลกรัมของของเสียเหลือน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อกิโลกรัมของของเสีย เมื่อเติมสารส้ม ปูนขาวทั้งสองชนิด เพอร์คลอไรด์ เพอร์คลอไรด์ เพอร์ซัลเฟตและเพอร์ซัลเฟตภายใต้ความเป็นกรดต่างที่เหมาะสม ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำในดินลดลงจาก 5 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อกิโลกรัมของดินเหลือน้อยกว่า 0.05 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อกิโลกรัมของดินด้วยการเติมสารส้มและเพอร์ซัลเฟตภายใต้ความเป็นกรดต่างที่เหมาะสม ยิปซัม และโซเดียมอะลูมิเนตสามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำในของเสียจากฟาร์มสัตว์ปีกได้ร้อยละ 50 ถึง 60 ขณะที่หินปูนทั้งสองชนิดมีผลน้อยมาก

De Haas และคณะ (2000) การกำจัดฟอสเฟตโดยการตกตะกอนทางเคมีเป็นที่นิยมใช้ในกระบวนการ biological excess P removal (BEPR) ของระบบตะกอนเร่ง (activated sludge) โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงการใช้ metal salts (เหล็กหรืออะลูมิเนียม) เป็นสารเคมีสำหรับตกตะกอนโดยสารเคมีที่ใช้ตกตะกอนในส่วนของอะลูมิเนียมใช้สารส้มเป็นสารตกตะกอน อัตราส่วนของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสถือเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการตกตะกอนซึ่งบ่งชี้ถึงการสร้างตะกอนอะลูมิเนียมไฮดรอกซีฟอสเฟต (aluminium-hydroxy-phosphate precipitates) จากอัตราส่วนตามสมการเคมีของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสที่เป็น 1:1 ในอะลูมิเนียมฟอสเฟต ($AlPO_4$) พบว่าอัตราส่วนระหว่างอะลูมิเนียมที่ใช้และฟอสฟอรัสที่กำจัดได้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 2:1 ถึง 3:1

Katz และ Dosoretz (2008) ศึกษาการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียด้วยโซเดียมอะลูมิเนตที่ความเข้มข้น 5-50 มิลลิกรัมต่อลิตร และเพอริคลอไรด์เข้มข้น 40-100 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าโซเดียมอะลูมิเนตเข้มข้น 20-30 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณฟอสเฟตได้มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 99 ส่วนเพอริคลอไรด์เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตรสามารถลดปริมาณฟอสเฟตได้ร้อยละ 80

2.7.4 การใช้งานโซเดียมอะลูมิเนตด้านอื่นๆ

Dash และคณะ (2007) ศึกษาผลของอุณหภูมิและอัตราส่วนระหว่างอะลูมินา/โซดาไฟ ในการตกตะกอนโบไมต์ในโซเดียมอะลูมิเนตสังเคราะห์ที่เป็นของเหลว ในกระบวนการเบเยอร์ กิบป์ไซด์จะตกตะกอนจากโซเดียมอะลูมิเนตที่เป็นของเหลวสำหรับผลิตอะลูมินาโดยการเผา ส่วนการตกตะกอนของโบไมต์หรืออะลูมินาโมโนไฮดรตเป็นวิธีสำหรับการผลิตอะลูมินาซึ่งโบไมต์เป็นวัสดุตั้งต้นที่ดีในการผลิตอะลูมินา โดยการตกตะกอนโบไมต์จากโซเดียมอะลูมิเนตเป็นการลดพลังงานในการผลิตแอกไซด์อะลูมินา พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการตกตะกอนโบไมต์ ได้แก่ อัตราส่วนของอะลูมินา/โซดาไฟ และอุณหภูมิในการตกตะกอนโบไมต์ออกจากโซเดียมอะลูมิเนต พบว่าโบไมต์สามารถตกตะกอนได้ที่มีความดันปกติโดยใช้อัตราส่วนของอะลูมินา/โซดาไฟ เท่ากับ 1.1 หรือ 1.0 ที่อุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ 85 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นภาวะที่โซเดียมอะลูมิเนตอิ่มตัว แต่เมื่อลดอัตราส่วนของอะลูมินา/โซดาไฟ เท่ากับ 0.95 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โบไมต์ก็สามารถตกตะกอนได้เช่นกัน

Wan และคณะ (2009) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันถั่วเหลืองกับเมทานอลโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันคือ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอล/น้ำมันถั่วเหลือง เท่ากับ 12:1 ใช้ปริมาณโซเดียมอะลูมิเนตที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 1.5 ของร้อยละ โดยมวล และเวลาในการทำปฏิกิริยา 50 นาที ซึ่งให้ผลิตภัณฑ์สูงถึงร้อยละ 93.9

ทิฆัมพร นารี (2554) ศึกษาการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบสจากโดโลไมต์ธรรมชาติสำหรับทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มกับเมทานอล ด้วยวิธีการละลายและการตกตะกอน ขั้นตอนทั่วไปประกอบด้วยนำโดโลไมต์ที่ผ่านการเผามาผสมกับอะลูมินาที่ใช้เป็นตัวประสาน ใช้โซเดียมอะลูมิเนตเป็นสารเพิ่มความแข็งของตัวเร่งปฏิกิริยาและไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลสเป็นสารเสริมสภาพพลาสติก ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการศึกษาในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ ค่าพีเอชของสารละลายกรดไนตริก ปริมาณน้ำ ปริมาณไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลส อุณหภูมิ ผลของการเติมโซเดียมอะลูมิเนตต่อลักษณะสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา คือ อัตราส่วนน้ำหนักของโดโลไมต์/อะลูมินา/โซเดียมอะลูมิเนต เท่ากับ 70:20:10 ปริมาณ

ไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลส ร้อยละ 3 เทียบกับน้ำหนักของของแข็งที่ใช้ ค่าพีเอชของสารละลายกรดไนตริกเท่ากับ 1 ปริมาณของน้ำ 1.5 เท่าของน้ำหนักของของแข็งที่ใช้และอุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยา 800 องศาเซลเซียส สามารถเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มกับเมทานอลในระบบเบตนิ่ง ซึ่งให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่สูงถึงร้อยละ 54.3 โดยที่ตัวเร่งปฏิกิริยาไม่มีการเปลี่ยนรูป

Han และคณะ (2014) ศึกษาอิทธิพลของโซเดียมอะลูมิเนตต่อการแห้งตัวของซีเมนต์ โดยจะศึกษาจากปริมาณความร้อนของซีเมนต์ที่มีโซเดียมอะลูมิเนตเปรียบเทียบกับซีเมนต์ที่ไม่มีโซเดียมอะลูมิเนตจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ การวิเคราะห์ความร้อนและสเปกตรัมมวล ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเติมโซเดียมอะลูมิเนตลงไปในการคอนกรีตส่งผลให้โครงสร้างของแคลเซียมซัลโฟอะลูมิเนตเปลี่ยนแปลงจากรูปร่างคล้ายเข็มเป็นแผ่นแบนเรียบ นอกจากนี้ยังทำให้ปริมาณรูพรุนขนาดเล็ก (5-30 นาโนเมตร) เพิ่มขึ้นแต่จะไปลดปริมาตรของรูพรุนขนาดใหญ่ (มากกว่า 30 นาโนเมตร) และช่วยลดระยะเวลาในการแข็งตัวของคอนกรีตได้ถึงร้อยละ 4 ถ้าเติมโซเดียมอะลูมิเนตร้อยละ 1.5 สามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับคอนกรีตและยังช่วยต้านการกัดกร่อนของคลอไรด์ได้อีกด้วย

Sahu และคณะ (2014) ศึกษาการสังเคราะห์อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่สังเคราะห์จากโซเดียมอะลูมิเนตชนิดเหลวโดยใช้วิธีการสลายตัวของยูเรียที่อุณหภูมิสูง พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาคือ อัตราส่วนของอะลูมินาต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิ ระยะเวลาในการตกตะกอน และความเข้มข้นของยูเรีย พบว่าที่อุณหภูมิสูงเกิดอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ได้ดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำ โดยสามารถตกตะกอนอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ได้เมื่อทำปฏิกิริยาผ่านไป 30 ชั่วโมงและเติมยูเรียไป 460 มิลลิโมล/ลิตร

2.8 สรุปการทบทวนเอกสารงานวิจัยและนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 2. 10 สรุปงานวิจัยเกี่ยวกับการนำอะลูมินาที่ใช้แล้วมาใช้ประโยชน์

วิจัยการนำไปใช้ประโยชน์	สรุปผลการทดลอง	ผู้วิจัย
กำจัดสีย้อมรีแอคทีฟในสารละลายสีย้อมโดยการดูดซับด้วยซิลิกาและอะลูมินาที่ใช้แล้วนำมาดูดซับสีย้อม รีแอคทีฟ 3 ชนิด คือ สีย้อม Reactive Red 2 (RR2) Reactive Red 120 (RR120) และ Reactive Red 141 (RR141)	ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟ RR2 RR120 และ RR141 ด้วยซิลิกาและอะลูมินาที่ใช้แล้วพีเอชของระบบการดูดซับเป็น 4.40 และอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เท่ากับ 58.8, 65.4 และ 105.3 มิลลิกรัมต่อกรัมซิลิกาและอะลูมินาที่ใช้แล้วตามลำดับ และเป็นกระบวนการดูดซับแบบดูดความร้อน (Endothermic adsorption process)	เทพฤทธิ์ ปิติฤทธิ์ (2544)
ผลิตคอนกรีตบล็อกปูผนังโดยใช้ซิลิกาและอะลูมินาที่ใช้แล้วชานอ้อยที่ใช้แล้ว	อัตราส่วนของซิลิกาและอะลูมินาต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.25 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.5 อัตราส่วนของซีเมนต์ต่อทรายต่อหินกรีดเท่ากับ 1:2:3 อัตราส่วนของชานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสานมีค่าเท่ากับ 1.5 และระยะเวลาในการบ่ม 21 วัน สามารถผลิตคอนกรีตบล็อกปูผนังมีสมบัติทางกายภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่กำหนด	ผุสดี แพทย์นุเคราะห์ (2546)

ตารางที่ 2. 10 สรุปงานวิจัยเกี่ยวกับการนำอะลูมินาที่ใช้แล้วมาใช้ประโยชน์ (ต่อ)

วิจัยการนำไปใช้ประโยชน์	สรุปผลการทดลอง	ผู้วิจัย
<p>ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของไบโอออยล์ที่ได้จากการไพโรไลซิสของต้นกระถินยักษ์ผ่านกระบวนการตีออกซิเจนชั้นเร่งปฏิกิริยาด้วยแพลทินัมรองรับบนอะลูมินาโดยศึกษาภาวะในการตีออกซิเจนชั้น</p>	<p>การตีออกซิเจนชั้นที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และใช้แพลทินัมรองรับบนอะลูมินาร้อยละ 10 โดยน้ำหนักเป็นภาวะที่สามารถกำจัดสารประกอบออกซิเจนในไบโอออยล์ได้สูงประมาณร้อยละ 94 เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของไบโอออยล์ที่ได้จากการไพโรไลซิสกระถินยักษ์ ฟางข้าว สาหร่าย และซีลีออปพบว่าไบโอออยล์ที่ได้จากการไพโรไลซิสของสาหร่ายให้ผลการกำจัดออกซิเจนได้สูงสุด</p>	<p>จิราพร พะยอมหอม (2554)</p>
<p>ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการจัดการของเสียอะลูมินาจากอุตสาหกรรมหลอมอะลูมิเนียมและเหล็กโดยวิธีการปรับเสถียร กำหนดให้มีปริมาณน้ำ 60 มิลลิลิตร ต่อทราย 275 กรัม และปรับสัดส่วนของกากของเสียอะลูมินาต่อปูนซีเมนต์ดังนี้ 0:100, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50 และ 60:40 ขึ้นรูปแล้วนำไปบ่มในน้ำเป็นเวลา 7, 14 และ 28 วัน</p>	<p>พบว่าก้อนที่ไม่เต็มของเสียอะลูมินาให้ค่ากำลังแรงอัดสูงสุดและคงที่ในระยะเวลาการบ่ม 14 วัน ส่วนก้อนที่มีการเติมของเสียอะลูมินาค่ากำลังแรงอัดจะลดลงตามปริมาณที่ใส่ โดยก้อนที่ใส่ของเสียอะลูมินามากสุด 60 กรัม ให้กำลังแรงอัดอยู่ที่ 36.69 กก./ตร.ซม. ซึ่งมากกว่าค่ามาตรฐานกำหนดสำหรับการนำไปฝังกลบในหลุมฝังกลบแบบปลอดภัย คือ 3.5 กก./ตร.ซม. ดังนั้นการจัดการของเสียอะลูมินาสามารถใช้อัตราส่วนระหว่างอะลูมินาต่อปูนซีเมนต์ได้ถึง 60:40</p>	<p>เพลงประพันธ์ กิ่งทอง และ เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ (2555)</p>

ตารางที่ 2.11 สรุปงานวิจัยเกี่ยวกับการผลิตโซเดียมอะลูมิเนต

วัสดุที่ใช้ในการผลิต	วิธีการผลิต	ผลการผลิต	ผู้วิจัย
ศึกษากระบวนการผลิตโซเดียมอะลูมิเนตจากผงแร่บ็อกไซต์	นำแร่บ็อกไซต์ไปผสมในน้ำ 5 ปอนด์ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไป 50 ปอนด์แล้วกวนผสมให้เข้ากัน 15 นาทีและนำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดโมเลกุลของน้ำออก	ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสสามารถเกิดผลึกโซเดียมอะลูมิเนตได้	Russell และคณะ (1935)
ศึกษาการสังเคราะห์ซีโอไลท์จากแก้วลอยชนิดเอฟและโซเดียมอะลูมิเนต	การศึกษาการผลิตโซเดียมอะลูมิเนต โดยเตรียมจากอะลูมินา 0.5 โมลและโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3 โมล แล้วปรับอัตราส่วนด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเท่ากับ 1 ลิตร	อัตราส่วนของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาที่ใช้ในการผลิตโซเดียมอะลูมิเนตเท่ากับ 3:1	Grutzeck และ Siemer (1997)
ศึกษาการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากอะลูมิเนียมซัลเฟต	กระบวนการผลิตประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือเปลี่ยนรูปอะลูมิเนียมซัลเฟตให้เกิดเป็นโซเดียมเดาวัโซไนท์โดยการเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตและผลิตโซเดียมอะลูมิเนตด้วยการให้ความร้อนกับโซเดียมเดาวัโซไนท์ที่อุณหภูมิแตกต่างกันในช่วง 600-1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที	ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เกิดผลึกของโซเดียมอะลูมิเนตเกิดผลิตภัณฑ์ที่มีการผสมกันระหว่างโซเดียมอะลูมิเนต และอัลฟา-อะลูมินา	Contreras และคณะ (2006)

ตารางที่ 2.11 สรุปงานวิจัยเกี่ยวกับการผลิตโซเดียมอะลูมิเนต (ต่อ)

วัสดุที่ใช้ในการผลิต	วิธีการผลิต	ผลการผลิต	ผู้วิจัย
ศึกษาการผลิตโมโนโซเดียมอะลูมิเนต	การตกตะกอนอย่างรวดเร็วจากน้ำชะละลายของแร่บ็อกไซต์ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	โมโนโซเดียมอะลูมิเนตมีโครงสร้างเป็น $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ และอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินามีค่าเท่ากับ 2.5	Cao และคณะ (2009)

ตารางที่ 2. 12 สรุปงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้โซเดียมอะลูมิเนตเป็นสารตกตะกอน

วิจัยการนำไปใช้เป็นสารตกตะกอน	สรุปผลการทดลอง	ผู้วิจัย
ค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดฟอสเฟตจากสารละลายด้วย Fe^{3+} และ Al^{3+} ด้วยการตกตะกอนโดยวิธีจาร์เทสต์	มีค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดฟอสฟอรัสด้วยโลหะ Fe^{3+} อยู่ที่ 4.7-7.1 ส่วนมีค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดฟอสฟอรัสด้วย Al^{3+} อยู่ที่ 5.5-8.0	Hsu (1976)
กำจัดฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำจากของเสียฟาร์มสัตว์ปีกและดินบริเวณฟาร์มด้วยสารที่มีอะลูมิเนียม แคลเซียมและเหล็กเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ สารส้ม โซเดียมอะลูมิเนต ปูนขาว (Quicklime และ Slakedlime) หินปูน (Calcitic limestone และ Dolomitic limestone) ยิปซัม เพอร์สคลอไรด์ เพอริคคลอไรด์ เพอร์สซัลเฟตและเพอริคซัลเฟต	<ul style="list-style-type: none"> - สารส้มและปูนขาวลดปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำเริ่มต้นมากกว่า 2,000 มิลลิกรัมเหลือน้อยกว่า 1 มิลลิกรัม - เพอร์สคลอไรด์ เพอริคคลอไรด์ เพอร์สซัลเฟตและเพอริคซัลเฟตลดปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำจากดินเริ่มต้นจาก 5 มิลลิกรัม เหลือน้อยกว่า 0.05 มิลลิกรัม - ยิปซัมและโซเดียมอะลูมิเนตสามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำในของเสียจากฟาร์มสัตว์ปีกได้ร้อยละ 50 ถึง 60 ขณะที่หินปูนทั้งสองชนิดมีผลน้อยมาก 	Moore และ Miler (1994)

ตารางที่ 2. 12 สรุปงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้โซเดียมอะลูมิเนตเป็นสารตกตะกอน (ต่อ)

วิจัยการนำไปใช้เป็นสารตกตะกอน	สรุปผลการทดลอง	ผู้วิจัย
<p>การกำจัดฟอสเฟตโดยการตกตะกอนทางเคมีเป็นที่นิยมใช้ในกระบวนการ biological excess phosphorus removal (BEPR) ของระบบตะกอนเร่ง (activated sludge)</p>	<p>งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงการใช้โลหะเกลือ (metal salts) จำพวกเหล็กหรืออะลูมิเนียมเป็นสารเคมีสำหรับตกตะกอน โดยสารเคมีที่ใช้ตกตะกอนในส่วนของอะลูมิเนียมใช้สารส้มเป็นสารตกตะกอน อัตราส่วนของอะลูมิเนียมต่อฟอสเฟตถือเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการตกตะกอนซึ่งบ่งชี้ถึงการสร้างตะกอนอะลูมิเนียมไฮดรอกซีฟอสเฟต (aluminium-hydroxy-phosphate precipitates) จากอัตราส่วนตามสมการเคมีของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสที่เป็น 1:1 ในอะลูมิเนียมฟอสเฟต ($AlPO_4$) พบว่าอัตราส่วนระหว่างอะลูมิเนียมที่ใช้และฟอสฟอรัสที่กำจัดได้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 2:1 ถึง 3:1</p>	<p>De Haas และคณะ (2000)</p>
<p>การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียด้วยโซเดียมอะลูมิเนตและเพอริคคโลไรด์</p>	<p>โซเดียมอะลูมิเนตเข้มข้น 20-30 มิลลิกรัมต่อลิตรสามารถลดปริมาณฟอสเฟตได้มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 99 ส่วนเพอริคคโลไรด์เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตรสามารถลดปริมาณฟอสเฟตได้ร้อยละ 80</p>	<p>Katz และ Dosoretz (2008)</p>

ตารางที่ 2.13 สรุปงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้งานโซเดียมอะลูมิเนตด้านอื่น

วิจัยเกี่ยวกับการใช้โซเดียมอะลูมิเนต	สรุปผลการทดลอง	ผู้วิจัย
<p>ตกตะกอนโบไมต์จากโซเดียมอะลูมิเนตสังเคราะห์ที่เป็นของเหลวโดยศึกษาผลของอุณหภูมิและอัตราส่วนระหว่างอะลูมินา/โซดาไฟ ในการตกตะกอน</p>	<p>โบไมต์สามารถตกตะกอนได้ที่ความดันปกติ โดยใช้อัตราส่วนของอะลูมินา/โซดาไฟ เท่ากับ 1.1 หรือ 1.0 ที่อุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ 85 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นภาวะที่โซเดียมอะลูมิเนตอิมตัว แต่เมื่อลดอัตราส่วนของอะลูมินา/โซดาไฟ เท่ากับ 0.95 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โบไมต์ก็สามารถตกตะกอนได้เช่นกัน</p>	<p>Dash และคณะ (2007)</p>
<p>การผลิตไบโอดีเซลในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันถั่วเหลืองกับเมทานอลโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาวิธีพินธุ์</p>	<p>สภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันคือ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันถั่วเหลือง เท่ากับ 12:1 ใช้ปริมาณโซเดียมอะลูมิเนตที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 1.5 ของร้อยละโดยมวล และเวลาในการทำปฏิกิริยา 50 นาที ซึ่งให้ผลิตภัณฑ์สูงถึงร้อยละ 93.9</p>	<p>Wan และคณะ (2009)</p>
<p>การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาวิธีพินธุ์ชนิดเบสจากโดโลไมต์ธรรมชาติสำหรับทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มกับเมทานอล ด้วยวิธีการละลายและการตกตะกอนขั้นตอนทั่วไปประกอบด้วยโดโลไมต์ที่ผ่านการเผาโซเดียมอะลูมิเนตผสมกับอะลูมินาที่ใช้เป็นตัวประสาน</p>	<p>สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา คือ อัตราส่วนน้ำหนักของโดโลไมต์/อะลูมินา/โซเดียมอะลูมิเนต เท่ากับ 70:20:10 ปริมาณไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลสร้อยละ 3 เทียบกับน้ำหนักของของแข็งที่ใช้ ค่าพีเอชของสารละลายกรดไนตริกเท่ากับ 1 ปริมาณของน้ำ 1.5 เท่าของน้ำหนักของของแข็งที่ใช้และอุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยา 800 องศาเซลเซียส ซึ่งให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่สูงถึงร้อยละ 54.3 โดยที่ตัวเร่งปฏิกิริยาไม่เปลี่ยนรูป</p>	<p>ทิฆัมพรนารี (2554)</p>

ตารางที่ 2.13 สรุปงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้งานโซเดียมอะลูมิเนตด้านอื่น (ต่อ)

วิจัยเกี่ยวกับการ ใช้โซเดียมอะลูมิเนต	สรุปผลการทดลอง	ผู้วิจัย
ศึกษาอิทธิพลของโซเดียม-อะลูมิเนตต่อการแห้งตัวของซีเมนต์ โดยจะศึกษาจากปริมาณความร้อนของซีเมนต์ที่มีโซเดียมอะลูมิเนตเปรียบเทียบกับซีเมนต์ที่ไม่มีโซเดียมอะลูมิเนตจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ การวิเคราะห์ความร้อนและสเปกตรัมมวล	ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเติมโซเดียมอะลูมิเนตลงไปคอนกรีตส่งผลให้โครงสร้างของแคลเซียมซิลิโอะอะลูมิเนตเปลี่ยนแปลงจากรูปร่างคล้ายเข็มเป็นแผ่นแบนเรียบ นอกจากนี้ยังทำให้ปริมาณรูพรุนขนาดเล็ก (5-30 นาโนเมตร) เพิ่มมากขึ้นแต่จะไปลดปริมาตรของรูพรุนขนาดใหญ่ (มากกว่า 30 นาโนเมตร) และช่วยลดระยะเวลาในการแข็งตัวของคอนกรีตได้ถึงร้อยละ 4 ถ้าเติมโซเดียมอะลูมิเนตร้อยละ 1.5 สามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับคอนกรีตและยังช่วยต้านการกัดกร่อนของคลอไรด์ได้อีกด้วย	Han และคณะ (2014)
ศึกษาการสังเคราะห์อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่สังเคราะห์จากโซเดียมอะลูมิเนตชนิดเหลวโดยใช้วิธีการสลายตัวของยูเรียที่อุณหภูมิสูง	พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาคือ อัตราส่วนของอะลูมินาต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิ ระยะเวลาในการตกตะกอน และความเข้มข้นของยูเรีย พบว่าที่อุณหภูมิสูงเกิดอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ได้ดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำ โดยสามารถตกตะกอนอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ได้เมื่อทำปฏิกิริยาผ่านไป 30 ชั่วโมงและเติมยูเรียไป 460 มิลลิโมล/ลิตร	Sahu และคณะ (2014)

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าอะลูมินาที่ใช้งานแล้วจากกระบวนการดูดความชื้น โดยทั่วไปจะต้องนำไปกำจัดโดยการเผากับปูนซีเมนต์ซึ่งทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการกำจัด แต่อะลูมินาที่ใช้งานแล้วมีศักยภาพที่จะนำไปเพิ่มมูลค่าโดยผลิตเป็นโซเดียมอะลูมิเนต ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้านโดยเฉพาะนำมาใช้ประโยชน์ทางการบำบัดน้ำเสีย จะเห็นได้ว่าการนำอะลูมินาที่ใช้งานแล้วมาผลิตโซเดียมอะลูมิเนตเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ งานวิจัยนี้จึงผลิตโซเดียมอะลูมิเนตตามวิธีของ Russell และคณะ (1935) กับ Grutzeck และ Siemer (1997) และวิธีการตกตะกอนฟอสฟอรัส อ้างอิงตามวิธีของ Hsu (1976) กับ De Haas และคณะ (2000) จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้โซเดียมอะลูมิเนตเป็นสารตกตะกอน พบว่าสามารถนำโซเดียมอะลูมิเนตที่ใช้ทางการค้าเป็นสารตกตะกอนเพื่อกำจัดฟอสฟอรัสได้อย่างมีประสิทธิภาพ Katz และ Dosoretz (2008)



บทที่ 3

แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย

3.1 แผนการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 4 การทดลองย่อย ดังนี้

การทดลองที่ 1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และทดสอบการชะละลายของของเสียอะลูมินา

1. ศึกษาสมบัติทางกายภาพของของเสียอะลูมินาด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer : XRD)

2. ศึกษาสมบัติทางเคมีของของเสียอะลูมินาด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence : XRF) และเครื่องวิเคราะห์การดูดกลืนรังสีอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectrometer : FT-IR spectrometer)

3. ศึกษาการชะละลายของของเสียอะลูมินาด้วยเครื่องอินดักทีฟลีคอปเปิลพลาสมาออปติคอลลิมิตชันสเปกโตรเมเตอร์ (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer : ICP-OES)

การทดลองที่ 2 ศึกษาการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินา

1. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมต่อการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินา

2. ศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้

การทดลองที่ 3 ศึกษาต้นทุนการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินาเปรียบเทียบกับโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายทางการค้าและประเมินค่าใช้จ่ายเปรียบเทียบกับการจัดการของเสียอะลูมินา

คำนวณค่าใช้จ่ายในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนต เช่น ไฟฟ้า ค่าขนส่ง และสารเคมี เป็นต้น

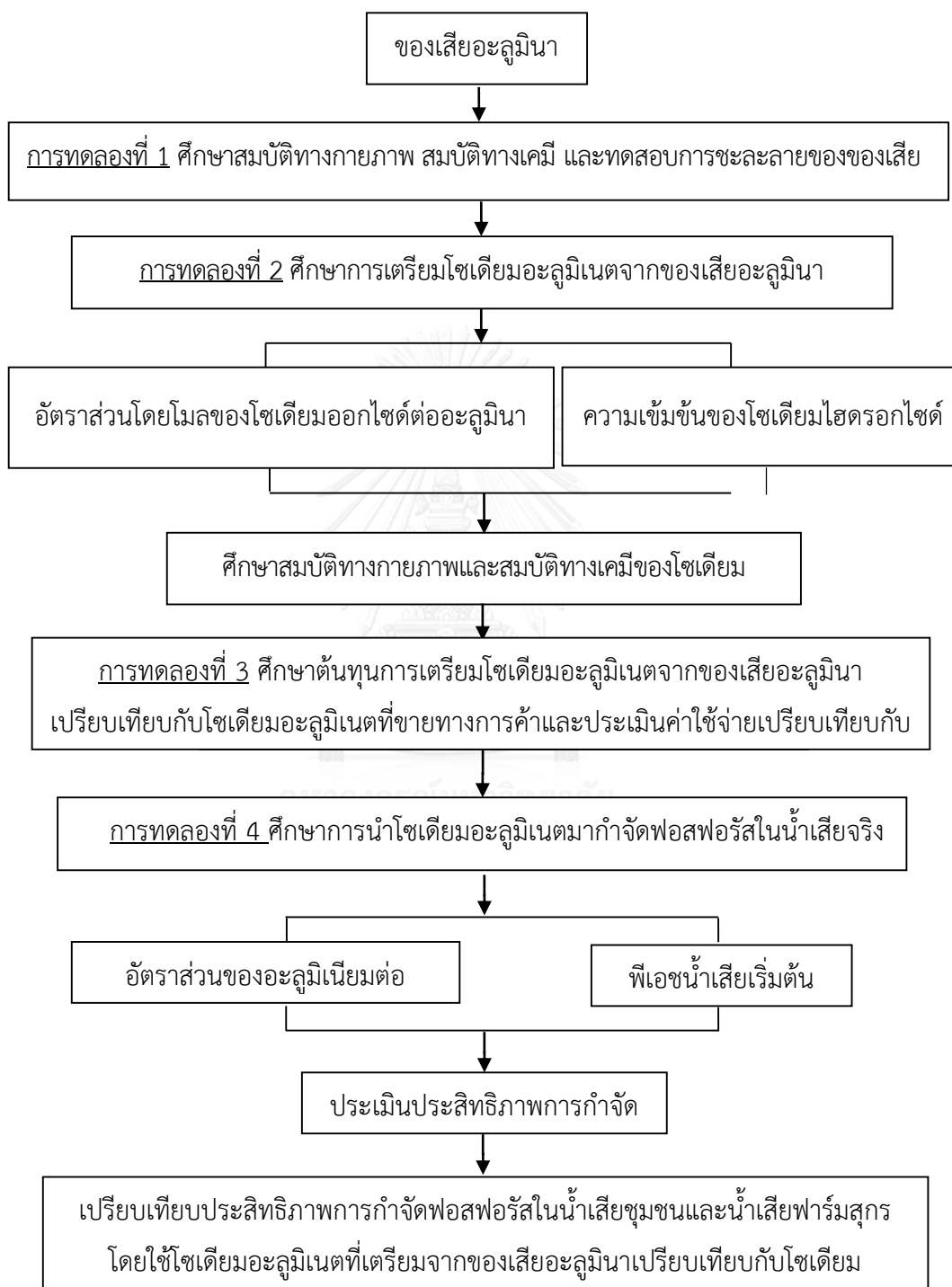
การทดลองที่ 4 ศึกษาการนำโซเดียมอะลูมิเนตมากำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียฟาร์มสุกร

1. ศึกษาอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัส (Al : P) ที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส

2. ศึกษาผลของค่าพีเอชเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส

3. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมจากของเสียอะลูมินาเปรียบเทียบกับโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายทางการค้า

แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัยสรุปโดยรวมแสดงในแผนผัง ภาพที่ 3.1 ได้ดังนี้



ภาพที่ 3. 1 ขั้นตอนของการดำเนินงานวิจัย

3.2 วัสดุ สารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

1. อะลูมินา
 - ของเสี่ยอะลูมินา

3.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

1. Sodium hydroxide
2. Sulfuric acid (H_2SO_4)
3. Hydrochloric acid (HCl)
4. Nitric acid (HNO_3)
5. Ammonium molybdate
6. Ammonium metavanadate
7. Potassium dihydrogen phosphate (KH_2PO_4)
8. ฟีนอล์ฟธาไลน์อินดิเคเตอร์
9. De-ionized water

3.2.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. ศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และทดสอบการชะละลายของของเสี่ยอะลูมินา
 - ศึกษาสมบัติทางกายภาพของของเสี่ยอะลูมินาด้วยเครื่องวิเคราะห์การดูดกลืนรังสีอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectrometer : FT-IR spectrometer) และเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer : XRD)
 - ศึกษาสมบัติทางเคมีของของเสี่ยอะลูมินาด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence : XRF)
 - ศึกษาการชะละลายของของเสี่ยอะลูมินาด้วยเครื่องอินดักทีฟลีคอปเปิลพลาสมา ออปติคอลลิมิสชันสเปกโตรเมเตอร์ (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer : ICP-OES)
2. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมต่อการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสี่ยอะลูมินา
 - ตู้อบ (Oven)
 - โถดูดความชื้น

- เครื่องบดตัวอย่าง
 - ตะแกรงร่อนตัวอย่าง (Sieve)
 - เครื่องชั่งละเอียด (Analytical balance)
 - เครื่องกวนสารละลายพร้อมเตาให้ความร้อน (Hot Plate and Magnetic Stirrer)
 - เครื่องแก้วต่างๆ
 - ศึกษาสมบัติทางกายภาพของโซเดียมอะลูมิเนตแล้วด้วยเครื่องวิเคราะห์การดูดกลืนรังสีอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectrometer : FT-IR spectrometer) และเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer : XRD)
 - ศึกษาสมบัติทางเคมีของโซเดียมอะลูมิเนตแล้วด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence : XRF)
 - ศึกษาปริมาณอะลูมิเนียมด้วยเครื่องอินดักทีฟคัปเปิลพลาสมาแมสสเปกโตรเมเตอร์ (Inductive Coupled Plasma Spectrometer Mass Spectrometer : ICP-MS)
3. ศึกษาการนำโซเดียมอะลูมิเนตมากำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียฟาร์มสุกร
- เครื่องชั่งละเอียด (Analytical balance)
 - เครื่องวัดพีเอช (pH meter)
 - เครื่องจาร์เทสต์ (JAR Test)
 - เครื่องแก้วต่างๆ

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และทดสอบการชะละลายของของเสียอะลูมินา

3.3.1.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของของเสียอะลูมินา

นำของเสียอะลูมินามาศึกษาสมบัติทางกายภาพด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer : XRD) เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างของของเสียอะลูมินา โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

3.3.1.2 ศึกษาสมบัติทางเคมีของของเสียอะลูมินา

นำของเสียอะลูมินามาศึกษาสมบัติทางเคมีด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence : XRF) เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของธาตุต่างๆ ในตัวอย่างอะลูมินาที่ใช้ และวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การดูดกลืนรังสีอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectrometer : FT-IR spectrometer) เพื่อตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันในตัวอย่างของเสียอะลูมินาโดยการวัดการดูดกลืนรังสีที่อยู่ในช่วงอินฟราเรด

3.3.1.3 ศึกษาการชะละลายของของเสียอะลูมินา

นำของเสียอะลูมินามาศึกษาการชะละลายซึ่งอ้างอิงจากประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 ด้วยวิธีการสกัดของเสีย (Waste Extraction Test : WET) แล้วนำน้ำชะละลายของของเสียอะลูมินา มาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องอินดักทีฟพลาสมาออปติคอลลิมิซชันสเปกโตรเมเตอร์ (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer : ICP-OES)

3.3.2 ศึกษาการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินา

การนำของเสียอะลูมินามาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตโซเดียมอะลูมิเนตอ้างอิงจาก Russell และคณะ (1935) และ Grutzeck และ Siemer (1997) ซึ่งทำการทดลองทั้งหมด 2 การทดลอง ดังนี้

3.3.2.1 ศึกษาสถานะที่เหมาะสมต่อการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินา

- ศึกษาผลของโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยนำของเสียอะลูมินามาบดและร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาด 2 มิลลิเมตร ใส่ลงในปิกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 2-20 โมลาร์ โดยปริมาณอะลูมินาและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ใช้อัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินา ($\text{Na}_2\text{O} : \text{Al}_2\text{O}_3$) เท่ากับ 2:1 ซึ่งเป็นอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินาของโซเดียมอะลูมิเนตมาตรฐาน จากนั้นให้ความร้อนด้วยเตาแผ่นความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และกวนด้วยเครื่องกวนที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที นำสารละลายโซเดียมอะลูมิเนตส่วนหนึ่งไประเหยแห้งเพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมี

- ศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินา โดยใช้ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมจากการทดลองก่อนหน้า และทดลองปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินาที่อัตราส่วนเท่ากับ 2:0.1, 2:0.25, 2:0.5, 2:0.75, 2:1, 2:1.5, 2:2, 2:2.5 และ 2:3 ตามลำดับ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และกวนที่ความเร็ว 200

รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที นำสารละลายโซเดียมอะลูมิเนตส่วนหนึ่งไประเหยแห้งเพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมี

3.3.2.2 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของโซเดียมอะลูมิเนต

นำส่วนที่ระเหยแห้งของโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมจากของเสียอะลูมินามาศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี ได้แก่ เครื่องวิเคราะห์การดูดกลืนรังสีอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectrometer : FT-IR spectrometer) เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffract meter : XRD) เครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence : XRF) และพิจารณาการเกิดโซเดียมอะลูมิเนตสามารถพิจารณาได้จากร้อยละการเกิดผลึก จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffract meter : XRD) สามารถคำนวณร้อยละการเกิดผลึกได้ดังนี้

$$\text{ร้อยละการเกิดผลึกโซเดียมอะลูมิเนต} = \frac{\text{ค่าความเข้มแสงของกราฟโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้}}{\text{ค่าความเข้มแสงของกราฟโซเดียมอะลูมิเนตบริสุทธิ์}} \times 100$$

3.3.2.3 ศึกษาปริมาณอะลูมิเนียมในโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้จากของเสียอะลูมินา

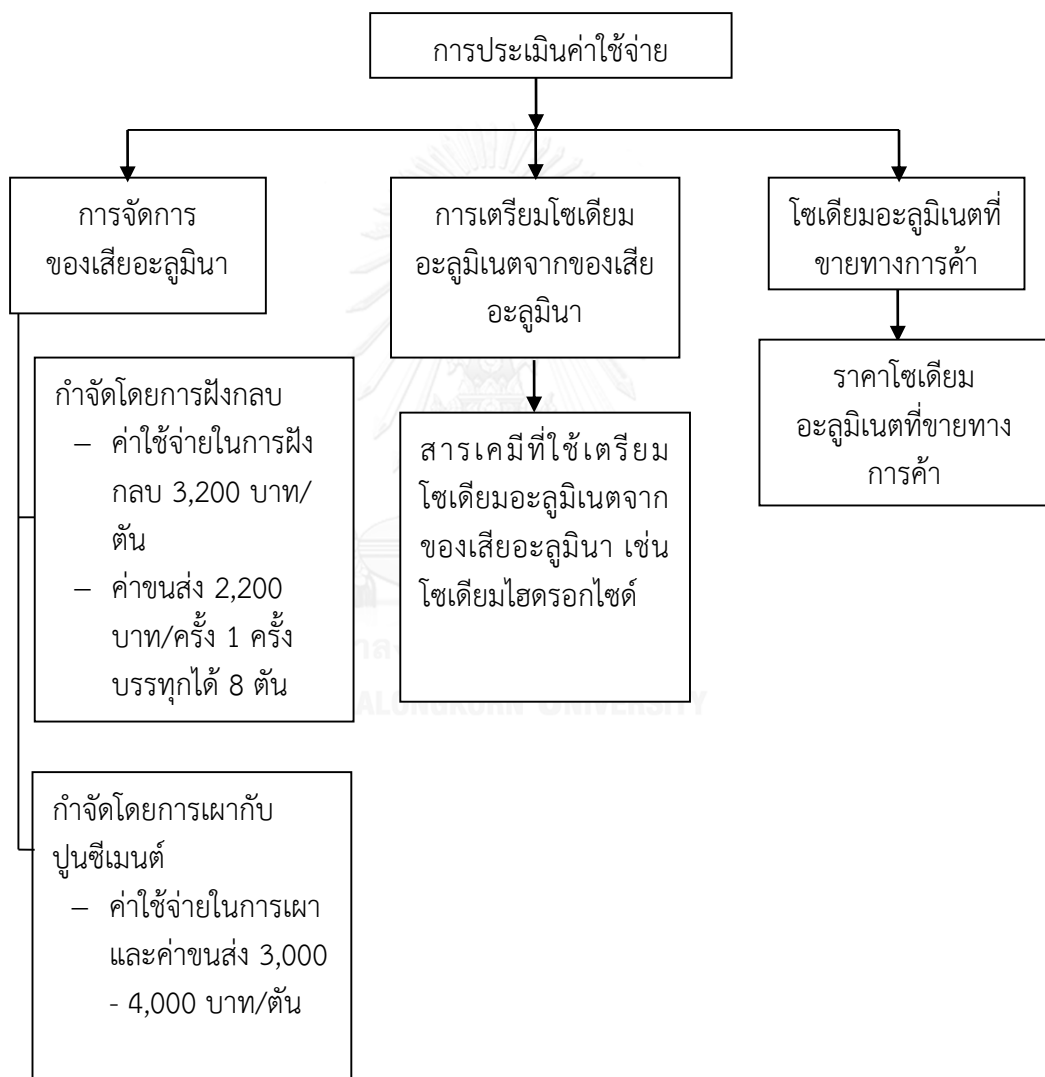
นำโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้จากของเสียอะลูมินามาศึกษาปริมาณอะลูมิเนียมด้วยเครื่องอินดักทีฟพลาสมาออปติคอลลิมิซชันสเปกโตรเมเตอร์ (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer : ICP-OES)

ตารางที่ 3. 1 ตัวแปรที่ทำการศึกษาการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินา

การทดลอง	ตัวแปรอิสระ	ตัวแปรตาม	ตัวแปรคงที่
1. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมต่อการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินา	สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 2-20 โมลาร์และอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินา	สมบัติทางกายภาพและทางเคมี	1. ระยะเวลา 30 นาที 2. อุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส 3. อัตราการกวนผสม

3.3.3 ศึกษาต้นทุนการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินาเปรียบเทียบกับโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายทางการค้าและประเมินค่าใช้จ่ายเปรียบเทียบกับการจัดการของเสียอะลูมินา

ศึกษาต้นทุนการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินาเปรียบเทียบกับการใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่ขายเป็นการค้าและประเมินค่าใช้จ่ายเปรียบเทียบกับการจัดการของเสียอะลูมินา โดยมีรายละเอียดดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3. 2 ศึกษาการประเมินค่าใช้จ่าย

3.3.4 ศึกษาการนำโซเดียมอะลูมิเนตมากำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียฟาร์มสุกร

การทดลองการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยวิธีการจาร์เทสต์ อ้างอิงจาก Hsu (1976) กับ De Haas และคณะ (2000) ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส คือ อัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัส และค่าพีเอชเริ่มต้นซึ่งทำการทดลองทั้งหมด 4 การทดลอง ดังนี้

3.3.4.1 ศึกษาอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัส (Al : P) ที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส

เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของฟอสเฟต 8 มิลลิกรัมต่อลิตร (ฟอสฟอรัสเท่ากับ 2.61 มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่ค่าพีเอชเริ่มต้น 6.5 ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ใส่ลงบีกเกอร์ 6 ใบ แล้วปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัส (Al : P) เป็น 11 ค่า คือ 0.9:1, 1.7:1, 2.1:1, 2.6:1, 2.8:1, 3:1, 3.2:1, 3.4:1, 3.5:1, 3.9:1 และ 4:1 ตามลำดับ โดยคำนวณปริมาณอะลูมิเนียมในสารละลายโซเดียมอะลูมิเนตที่ได้จากการทดลองที่ 3.3.2.3 ซึ่งปริมาณของสารละลายโซเดียมอะลูมิเนตที่เติมจะปรับเปลี่ยนตามอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัส (Al : P) ทั้ง 11 ค่า กวนเร็วที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที และกวนช้าที่ความเร็วรอบ 30 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที เก็บตัวอย่างน้ำส่วนใสไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสที่เหลือด้วยวิธีการดิวานนาโดโมลิบโดฟอสฟอริก (Vanadomolybdophosphoric acid method) แล้ววัดค่าพีเอช

3.3.4.2 ศึกษาผลของค่าพีเอชเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส

เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์จากโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตให้มีความเข้มข้นของฟอสเฟต 8 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ใส่ลงบีกเกอร์ 6 ใบ แล้วปรับเปลี่ยนค่าพีเอชเริ่มต้นให้อยู่ในช่วง 5.0-9.0 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และกรดไฮโดรคลอริก โดยใช้อัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัส (Al : P) ที่เหมาะสมจากการทดลอง 3.3.4.1 กวนเร็วที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที และกวนช้าที่ความเร็วรอบ 30 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที เก็บตัวอย่างน้ำส่วนใสไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณฟอสเฟตด้วยวิธีการดิวานนาโดโมลิบโดฟอสฟอริก (Vanadomolybdophosphoric acid method) แล้ววัดค่าพีเอชสุดท้าย

3.3.4.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมจากของเสียอะลูมินาเปรียบเทียบกับโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายทางการค้า

ทำการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียฟาร์มสุกรเหมือนข้างต้นโดยเพิ่มปริมาณอะลูมิเนียมในอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 3.3.4.1 และใช้ค่าพีเอชที่เหมาะสมจากการทดลอง 3.3.4.2 รวมทั้งทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมจากของเสียอะลูมินาเปรียบเทียบกับโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายทางการค้า

ตารางที่ 3. 2 ตัวแปรที่ทำการศึกษากำหนดค่าโซเดียมอะลูมิเนตมากำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียฟาร์มสุกร

การทดลอง	ตัวแปรอิสระ	ตัวแปรตาม	ตัวแปรคงที่
1.ศึกษาอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัส (Al:P) ที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส	อัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสเฟส (Al : P) เป็น 11 ค่า คือ 0.9:1,1.7:1,2.1:1, 2.6:1,2.8:1,3:1, 3.2:1,3.4:1,3.5:1, 3..9:1 และ 4:1	1.ปริมาณฟอสฟอรัสที่เหลือในน้ำเสียสังเคราะห์	1.ระยะเวลาและความเร็วในการกวน 2. ค่าพีเอช 6.5 3.ปริมาณฟอสเฟตเริ่มต้น 8 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. ศึกษาผลของค่าพีเอชเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส	ค่าพีเอชให้อยู่ในช่วง 5.0-9.0	1.ปริมาณฟอสเฟตที่เหลือในน้ำเสียสังเคราะห์ 2. ค่าพีเอชสุดท้าย	1.ระยะเวลาและความเร็วในการกวน 2.อัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัส (Al : P) 3.ปริมาณฟอสเฟตเริ่มต้น 8 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 3. 3 ตัวแปรที่ทำการศึกษากำหนดค่าจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชน และน้ำเสียฟาร์มสุกร (ต่อ)

การทดลอง	ตัวแปรอิสระ	ตัวแปรตาม	ตัวแปรคงที่
3.เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้เปรียบเทียบกับโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายทางการค้า	น้ำเสียชุมชน น้ำเสียฟาร์ม สุกร	1.ปริมาณฟอสเฟต เหลือในน้ำเสียชุมชน 2. ปริมาณตะกอน 3.อัตราเร็วการ ตกตะกอน 4. ค่าพีเอชสุดท้าย	1.ระยะเวลาและ ความเร็วในการกวน 2.ค่าพีเอช 3.อัตราส่วนปริมาณ ของอะลูมิเนียมต่อ ฟอสฟอรัส (Al : P) ที่ เหมาะสม

3.4 วิธีการวิเคราะห์

ตารางที่ 3. 4 วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปร	วิธีการวิเคราะห์
สมบัติทางกายภาพของของเสียอะลูมินาและโซเดียมอะลูมิเนต	เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer : XRD) ยี่ห้อ Bruker รุ่น X8 APEX
สมบัติทางเคมีของของเสียอะลูมินาและโซเดียมอะลูมิเนต	เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence : XRF) ยี่ห้อ Philips รุ่น PW2400 และเครื่องวิเคราะห์การดูดกลืนรังสีอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectrometer : FT-IR spectrometer) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Spectrum One
การชะละลาย	เครื่องอินดักทีฟลีคอปเปิลพลาสมาออปติคอลลิมิสชันสเปกโตรเมเตอร์ (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer : ICP-OES) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น ICP-Plasma-1000
พีเอช	เครื่องพีเอชมิเตอร์
ปริมาณฟอสฟอรัส	วิธีการดววนนาโดมอลิบโดฟอสฟอริก (Vanadomolybdophosphoric acid method)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี และนำโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้มาใช้ประโยชน์ในการกำจัดฟอสเฟตจากน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียฟาร์มสุกร โดยทำการศึกษาความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์และอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินา เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนต ศึกษาค่าพีเอชในการตกตะกอน อัตราส่วนของอะลูมิเนียมต่อฟอสเฟต และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียฟาร์มสุกรเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียฟาร์มสุกร รวมทั้งศึกษาการประเมินค่าใช้จ่ายในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมจากของเสียอะลูมินาเปรียบเทียบกับโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายทางการค้า

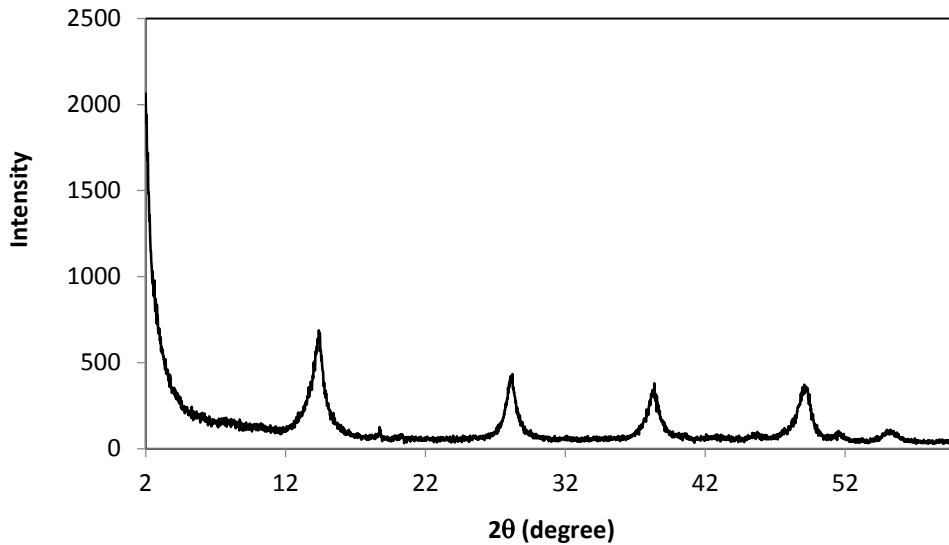
4.1 ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของของเสียอะลูมินา

4.1.1 ลักษณะสมบัติทางกายภาพของของเสียอะลูมินา

ของเสียอะลูมินามีลักษณะเป็นเม็ดกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร เมื่อนำมาบดจะมีลักษณะเป็นผงสีขาวและแข็งเปราะ ภาพที่ 4.1 เมื่อนำมาศึกษาสมบัติทางกายภาพด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer : XRD) โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างของของเสียอะลูมินา ดังภาพที่ 4.2 พบว่ามีความเข้มสูงสุดที่มุม 2θ เท่ากับ 14.38 องศา ส่วนพีกที่มีความเข้มรองลงมาที่มุม 2θ เท่ากับ 28.08, 38.22 และ 48.82 องศาตามลำดับ



ภาพที่ 4. 1 ของเสียอะลูมินาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี



ภาพที่ 4. 2 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของของเสี่ยอะลูมินา

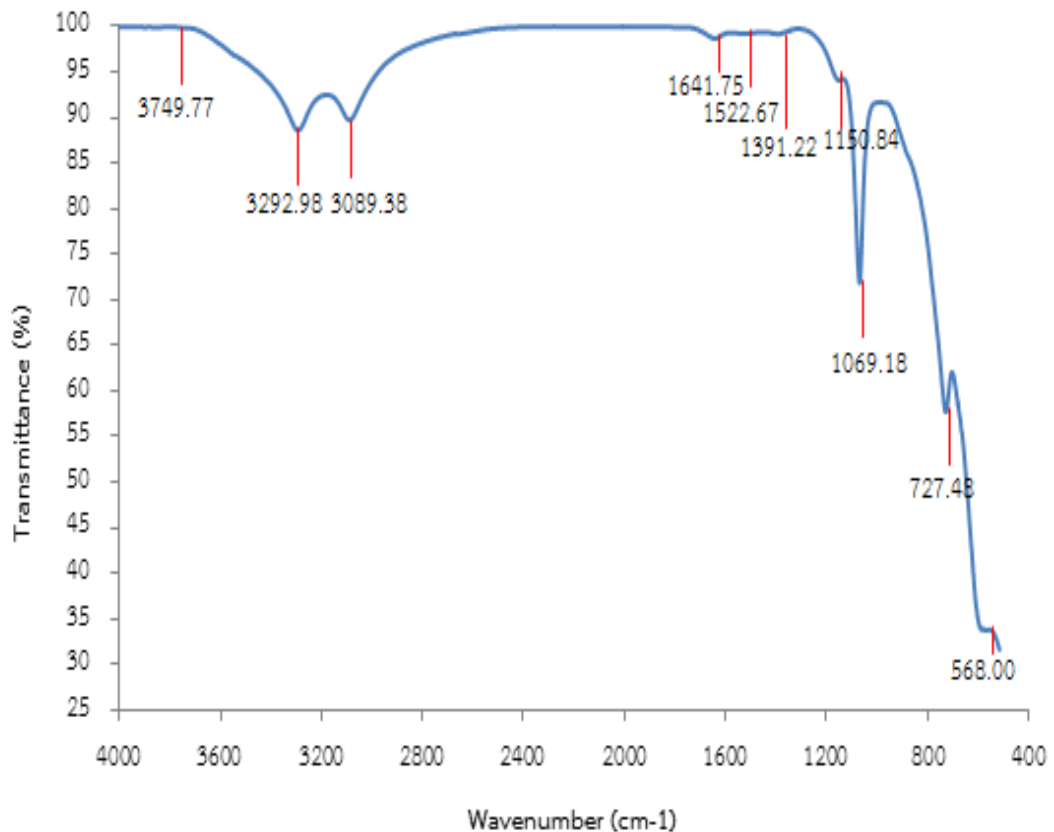
4.1.2 ลักษณะสมบัติทางเคมีของอะลูมินาที่ใช้งานแล้ว

ของเสี่ยอะลูมินาเมื่อนำมาศึกษาสมบัติทางเคมีด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence : XRF) เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของธาตุต่างๆ ดังตารางที่ 4.1 พบว่ามีองค์ประกอบหลัก คือ อะลูมินา (Al_2O_3) มีค่าร้อยละ 76.5 และองค์ประกอบอื่นรองลงมา ได้แก่ ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) มีค่าร้อยละ 0.239 โซเดียมออกไซด์ (Na_2O) มีค่าเท่ากับ 742 ส่วนในล้านส่วน แคลเซียมออกไซด์ มีค่าเท่ากับ 374 ส่วนในล้านส่วน ซัลเฟอร์ไตร-ออกไซด์ (SO_3) มีค่าเท่ากับ 344 ส่วนในล้านส่วน เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) มีค่าเท่ากับ 211 ส่วนในล้านส่วน คลอไรด์ มีค่าเท่ากับ 211 ส่วนในล้านส่วน 138 แกลเลียมออกไซด์ (Ga_2O_3) มีค่าเท่ากับ 98.4 ส่วนในล้านส่วน คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) มีค่าเท่ากับ 68.6 ส่วนในล้านส่วน โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) มีค่าเท่ากับ 27.0 ส่วนในล้านส่วน และซิงค์ออกไซด์ (ZnO) มีค่าเท่ากับ 16.8 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ

ตารางที่ 4. 1 องค์ประกอบทางเคมีของของเสียอะลูมินา

องค์ประกอบทางเคมี	หน่วย	ของเสียอะลูมินา
Al_2O_3	ร้อยละ	76.5
SiO_2	ร้อยละ	0.239
Na_2O	พีพีเอ็ม	742
CaO	พีพีเอ็ม	374
SO_3	พีพีเอ็ม	344
Fe_2O_3	พีพีเอ็ม	211
Cl	พีพีเอ็ม	138
Ga_2O_3	พีพีเอ็ม	98.4
CuO	พีพีเอ็ม	68.6
K_2O	พีพีเอ็ม	27.0
ZnO	พีพีเอ็ม	16.8

วิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การดูดกลืนรังสีอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectrometer : FT-IR spectrometer) เพื่อตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันในตัวอย่างของเสียอะลูมินาโดยการวัดการดูดกลืนรังสีที่อยู่ในช่วงอินฟราเรด ภาพที่ 4.3 พบว่าในช่วงการดูดกลืนรังสี 3749-1522 ต่อเซนติเมตร เป็นพีคของสารประกอบในกลุ่มของไฮดรอกซิล (OH, HOH) ส่วนช่วงการดูดกลืนรังสีที่ 1391-1069 ต่อเซนติเมตร เป็นพีคของสารประกอบในกลุ่มซิลิกอนออกไซด์ (Si-O) หรือสารประกอบในกลุ่มอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al-O) เมื่อพิจารณาการดูดกลืนรังสีที่ 727 และ 568 ต่อเซนติเมตร เป็นพีคของสารประกอบในกลุ่มซิลิกอนออกไซด์ (Si-O) และสารประกอบในกลุ่มอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al-O) ตามลำดับ



ภาพที่ 4. 3 การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของของเสียอะลูมินา

4.1.3 การชะละลายของของเสียอะลูมินา

นำของเสียอะลูมินามาศึกษาการชะละลายซึ่งอ้างอิงจากประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 ด้วยวิธีการสกัดของเสีย (Waste Extraction Test : WET) แล้วนำน้ำชะละลายของของเสียอะลูมินามาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องอินดักทีฟลีคอปเปิลพลาสมาออปติคอลอิมิสชันสเปกโตรเมเตอร์ (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer : ICP-OES)

การทดสอบการชะละลายของตัวอย่างเป็นไปตามมาตรฐานการชะละลายของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 เพื่อหาปริมาณสารอันตรายที่ถูกชะละลายออกมาจากตัวอย่างของเสียอะลูมินา โดยมีหลักการการตรวจสอบดังนี้ วิเคราะห์ค่าความเข้มข้นทั้งหมดของโลหะหนักในน้ำสกัดที่ถูกชะละลายออกมา (Total Concentration : TC) ด้วยเครื่องอินดักทีฟลีคอปเปิลพลาสมาออปติคอลอิมิสชันสเปกโตรเมเตอร์ (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer : ICP-OES) แล้วเปรียบเทียบกับปริมาณโลหะหนักที่วัดได้กับค่ามาตรฐาน Total Threshold Limit Contraction (TTL) และค่า

มาตรฐาน Soluble Threshold Limit Contraction (STLC) ถ้าค่าความเข้มข้นทั้งหมดของโลหะหนักมากกว่าค่า TTLC จัดเป็นของเสียอันตราย ถ้าค่าความเข้มข้นทั้งหมดของโลหะหนักน้อยกว่าค่า TTLC ต้องนำของเสียอะลูมินามาสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) และนำค่าความเข้มข้นจากการสกัดด้วยวิธี WET มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน STLC ถ้าค่าความเข้มข้นของน้ำชะละลายจากการสกัดมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่ามาตรฐาน STLC ถือว่าของเสียอะลูมินาเป็นของเสียอันตราย แต่ถ้าค่าความเข้มข้นของน้ำชะละลายจากการสกัดมีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐาน STLC ถือว่าของเสียอะลูมินาจัดเป็นของเสียอุตสาหกรรมที่ไม่เข้าข่ายของเสียอันตราย

จากตารางที่ 4.2 แสดงค่าปริมาณของโลหะหนักในของเสียอะลูมินา พบว่าค่าความเข้มข้นของโลหะหนักทั้งหมดมีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐาน TTLC จึงนำของเสียอะลูมินามาสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) พบว่าค่าความเข้มข้นของน้ำชะละลายโลหะหนักทุกชนิดมีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐาน STLC ดังนั้นของเสียอะลูมินาจึงไม่จัดเป็นของเสียอันตรายแต่เป็นของเสียอุตสาหกรรมที่ไม่เข้าข่ายของเสียอันตราย

ตารางที่ 4. 2 ปริมาณของโลหะหนักในของเสียอะลูมินา

ชนิดโลหะหนัก	ปริมาณในของเสีย (มก./กก.)	ค่ามาตรฐาน TTLC (มก./กก.)	ปริมาณในน้ำชะละลาย (มก./ล.)	ค่ามาตรฐาน STLC (มก./ล.)
สังกะสี	0.12	5000	0.422	250
ตะกั่ว	0.427	1000	0.069	5
นิกเกิล	0.0259	2000	0.00687	20
แคดเมียม	0.00947	100	0.00581	1
โครเมียม	0.007	2500	0.00422	5

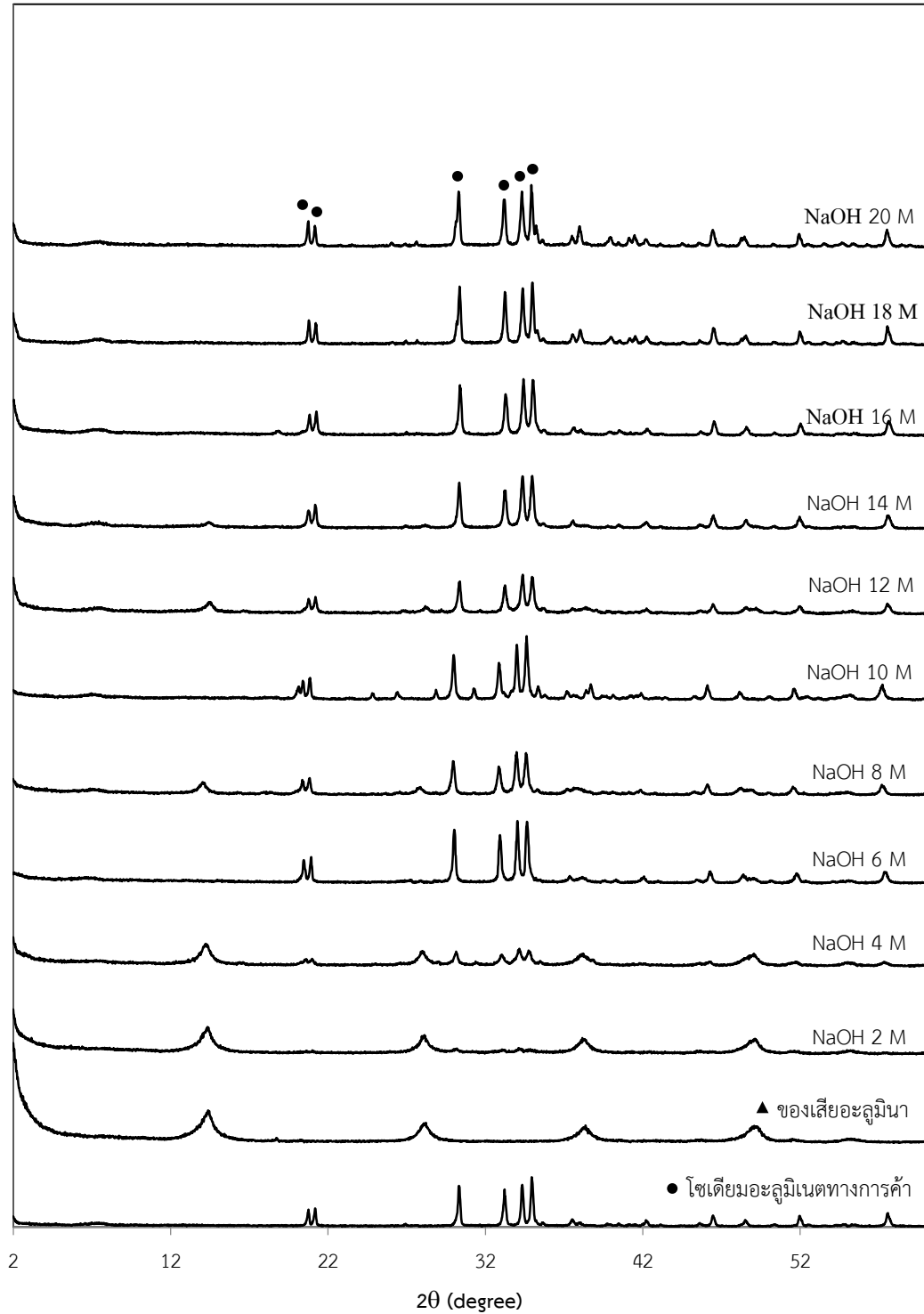
4.2 การเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินา

4.2.1 สภาวะที่เหมาะสมของการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินา

4.2.1.1 ผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์

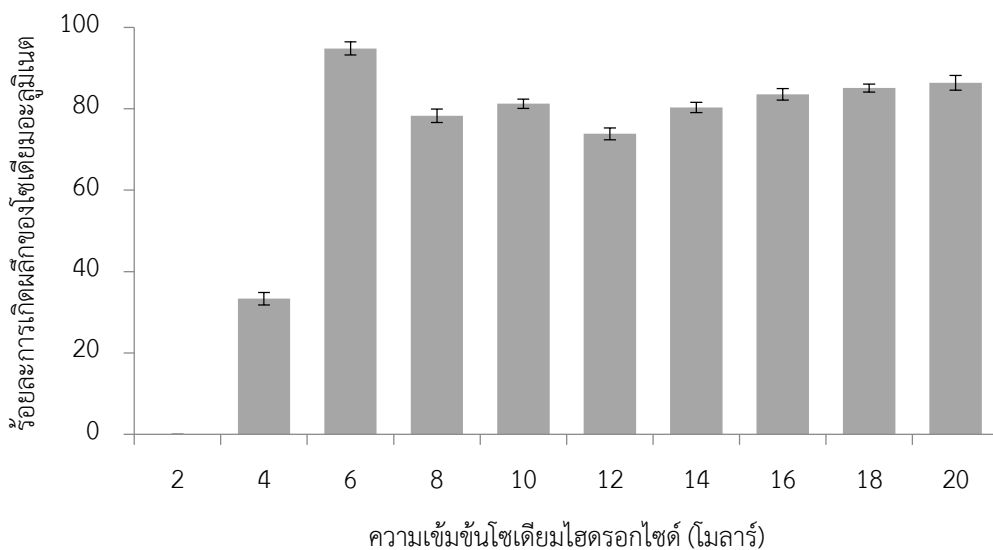
การเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตที่อัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินาที่ 2:1 ซึ่งเป็นอัตราส่วนมาตรฐาน โดยจะทดลองปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อหาความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และกวนที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที พบว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์ เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่อ

อะลูมินาที่ 2:1 ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมบัติทางกายภาพด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer : XRD) โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างของโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้เปรียบเทียบกับโครงสร้างของโซเดียมอะลูมิเนตมาตรฐาน และโครงสร้างของของเสี่ยอะลูมินา ดังภาพที่ 4.4 พบว่ากราฟของโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมจากความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 2 โมลาร์ ไม่เกิดพีคที่มีความสอดคล้องกับกราฟของโซเดียมอะลูมิเนตมาตรฐานและยังอยู่ในรูปของของเสี่ยอะลูมินาเนื่องจากความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์มีไม่มากพอต่อการเกิดโซเดียมอะลูมิเนต ทำให้องค์ประกอบที่เกิดขึ้นยังอยู่ในรูปของของเสี่ยอะลูมินาส่วนความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 4 โมลาร์ เริ่มเกิดพีคที่มีความสอดคล้องกับกราฟของโซเดียมอะลูมิเนตมาตรฐานขึ้นเล็กน้อยแต่พีคส่วนใหญ่ยังอยู่ในรูปของของเสี่ยอะลูมินา แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์มากขึ้นตั้งแต่ 6 ถึง 20 โมลาร์ เกิดพีคที่มีความสอดคล้องกับพีคของโซเดียมอะลูมิเนตมาตรฐานและมีพีคของของเสี่ยอะลูมินาเกิดขึ้นเล็กน้อยในบางความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้จากความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์ เกิดพีคที่มีความสอดคล้องกับพีคของโซเดียมอะลูมิเนตมาตรฐานสูงที่สุดและไม่มีพีคของของเสี่ยอะลูมินาเกิดขึ้น ซึ่งความเข้มที่สูงสุดอยู่ที่มุม 2θ เท่ากับ 34.98 องศา ส่วนพีคที่มีความเข้มรองลงมาที่มุม 2θ เท่ากับ 34.16, 30.14, 33.00, 20.68 และ 20.72 องศา ตามลำดับ



ภาพที่ 4. 4 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของโซเดียมอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมจากอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินาที่ 2:1 โดยปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งสัญลักษณ์ ● แสดงตำแหน่งกราฟของโซเดียมอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์และการค้าและ▲แสดงตำแหน่งกราฟของของเสียอะลูมินา

เมื่อพิจารณาจากผลของร้อยละการเกิดผลึกโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้ แสดงได้ดังภาพที่ 4.5 พบว่าร้อยละการเกิดผลึกโซเดียมอะลูมิเนตที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์ มีค่าร้อยละการเกิดผลึกสูงที่สุดเท่ากับ 94.84 อย่างไรก็ตามร้อยละการเกิดผลึกของโซเดียม-อะลูมิเนตไม่แปรผันตามความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เพิ่ม ถึงแม้ว่าร้อยละการเกิดผลึกของโซเดียมอะลูมิเนตที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18 และ 20 โมลาร์ จะมีค่าสูงใกล้เคียงกับค่าร้อยละการเกิดผลึกของโซเดียมอะลูมิเนตที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์ ก็ตามแต่เมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นสูงยิ่งส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตสูงตามไปด้วย จากผลการศึกษาสัมบัติทางกายภาพด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer : XRD) และร้อยละการเกิดผลึกโซเดียมอะลูมิเนตสามารถสรุปได้ว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์เหมาะสมในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาที่ 2:1

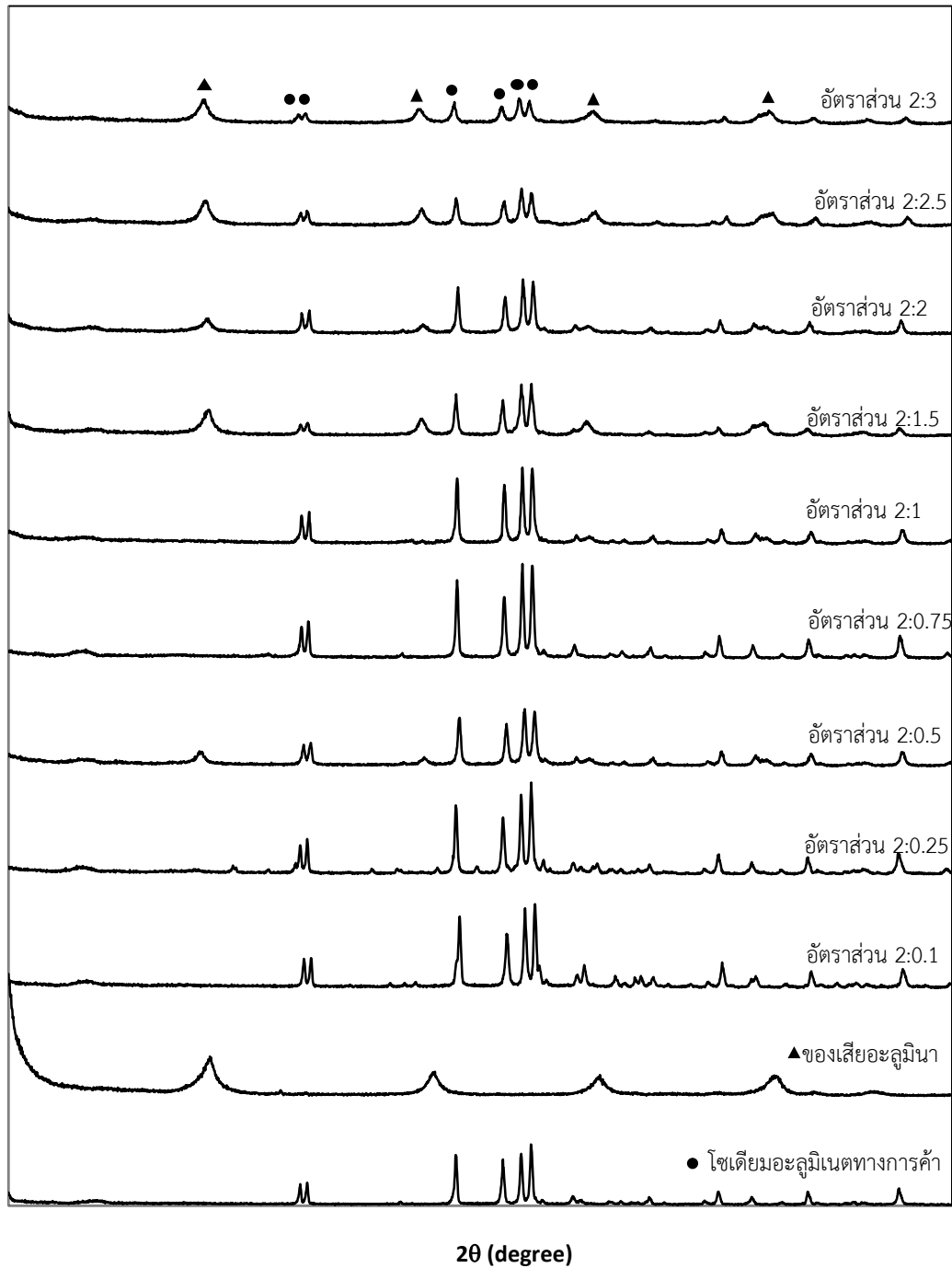


ภาพที่ 4.5 ร้อยละการเกิดผลึกโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมจากอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาที่ 2:1 โดยปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์

4.2.1.2 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินา

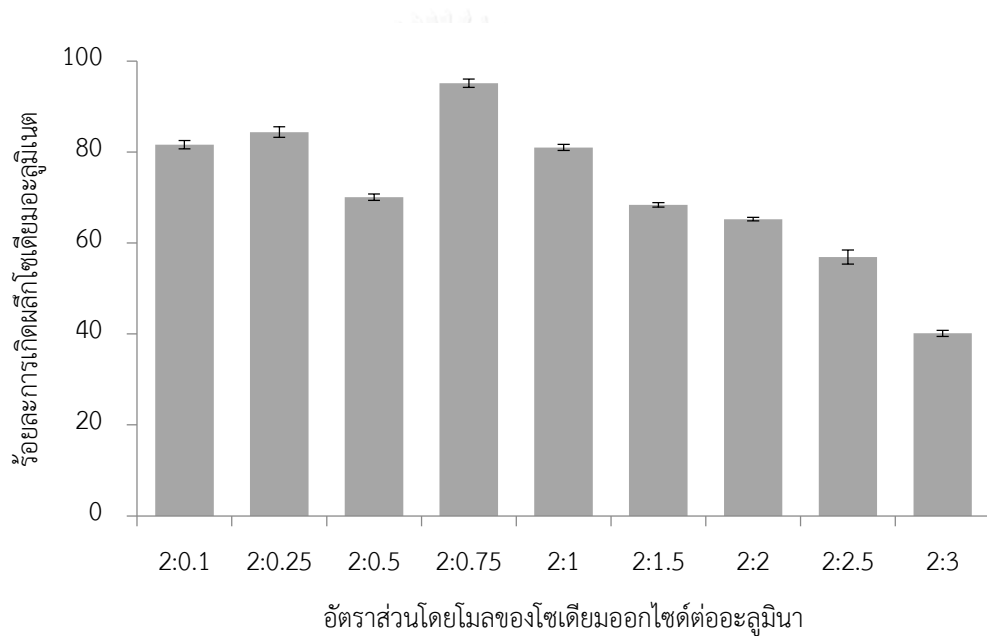
การทดลองหาอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาที่เหมาะสมในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์ โดยทดลองปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออะลูมินาที่อัตราส่วนเท่ากับ 2:0.1, 2:0.25, 2:0.5, 2:0.75, 2:1, 2:1.5, 2:2, 2:2.5 และ 2:3 ตามลำดับ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และกวนที่ความเร็ว 200

รอบก่อนาที เป็นเวลา 30 นาที พบว่าอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินาที่เหมาะสมในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์ คือ อัตราส่วน 2:0.75 ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมบัติทางกายภาพด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer : XRD) โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างของโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้เปรียบเทียบกับโครงสร้างของโซเดียมอะลูมิเนตมาตรฐานและโครงสร้างของของเสียอะลูมินา ดังภาพที่ 4.6 พบว่ากราฟของโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้จากการแปรผันอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินาเกิดพีคที่มีความสอดคล้องกับกราฟของโซเดียมอะลูมิเนตมาตรฐานทุกอัตราส่วน ซึ่งอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินาตั้งแต่อัตราส่วน 2:0.1 ถึง 2:1 กราฟของโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้เกิดพีคที่มีความสอดคล้องกับกราฟของโซเดียมอะลูมิเนตมาตรฐานซึ่งในแต่ละอัตราส่วนจะแตกต่างกันที่ความสูงของพีคโดยความสูงของพีคที่เกิดขึ้นแตกต่างกันนี้จะแปรผันตามปริมาณของโซเดียมอะลูมิเนตที่เกิดขึ้นและเกิดพีคของของเสียอะลูมินาเกิดขึ้นเล็กน้อยในบางอัตราส่วน แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินามากขึ้นตั้งแต่อัตราส่วน 2:1.5 ถึง 2:3 มีความสูงของพีคที่ความสอดคล้องกับพีคของโซเดียมอะลูมิเนตมาตรฐานลดลงเรื่อยๆ เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินามากขึ้นและเริ่มมีพีคของของเสียอะลูมินาเกิดขึ้น โดยเฉพาะที่อัตราส่วน 2:3 กราฟของโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้มีความสูงของพีคที่ความสอดคล้องกับพีคของโซเดียมอะลูมิเนตมาตรฐานเกิดขึ้นน้อยมากและเกิดพีคที่ความสอดคล้องกับพีคของโซเดียมอะลูมิเนตมาตรฐานค่อนข้างชัดเจน เนื่องจากมีปริมาณโซเดียมออกไซด์ไม่มากพอแต่มีปริมาณอะลูมินามากเกินพอต่อการเกิดโซเดียมอะลูมิเนตทำให้องค์ประกอบที่เกิดขึ้นอยู่ในรูปของโซเดียมอะลูมิเนตเพียงเล็กน้อย แต่โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้จากอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินาที่อัตราส่วน 2:0.75 เกิดพีคที่มีความสอดคล้องกับพีคของโซเดียมอะลูมิเนตมาตรฐานสูงที่สุดและไม่มีพีคของของเสียอะลูมินาเกิดขึ้น ซึ่งความเข้มที่สูงสุดอยู่ที่มุม 2 θ เท่ากับ 34.18 องศา ส่วนพีคที่มีความเข้มรองลงมาที่มุม 2 θ เท่ากับ 33.58, 29.58, 32.46, 19.98 และ 20.00 องศา ตามลำดับ



ภาพที่ 4. 6 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของโซเดียมอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 6 โมลาร์ โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินาซึ่งสัญลักษณ์ ● แสดงตำแหน่งกราฟของโซเดียมอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์และการค้า ▲ แสดงตำแหน่งกราฟของของเสียอะลูมินา

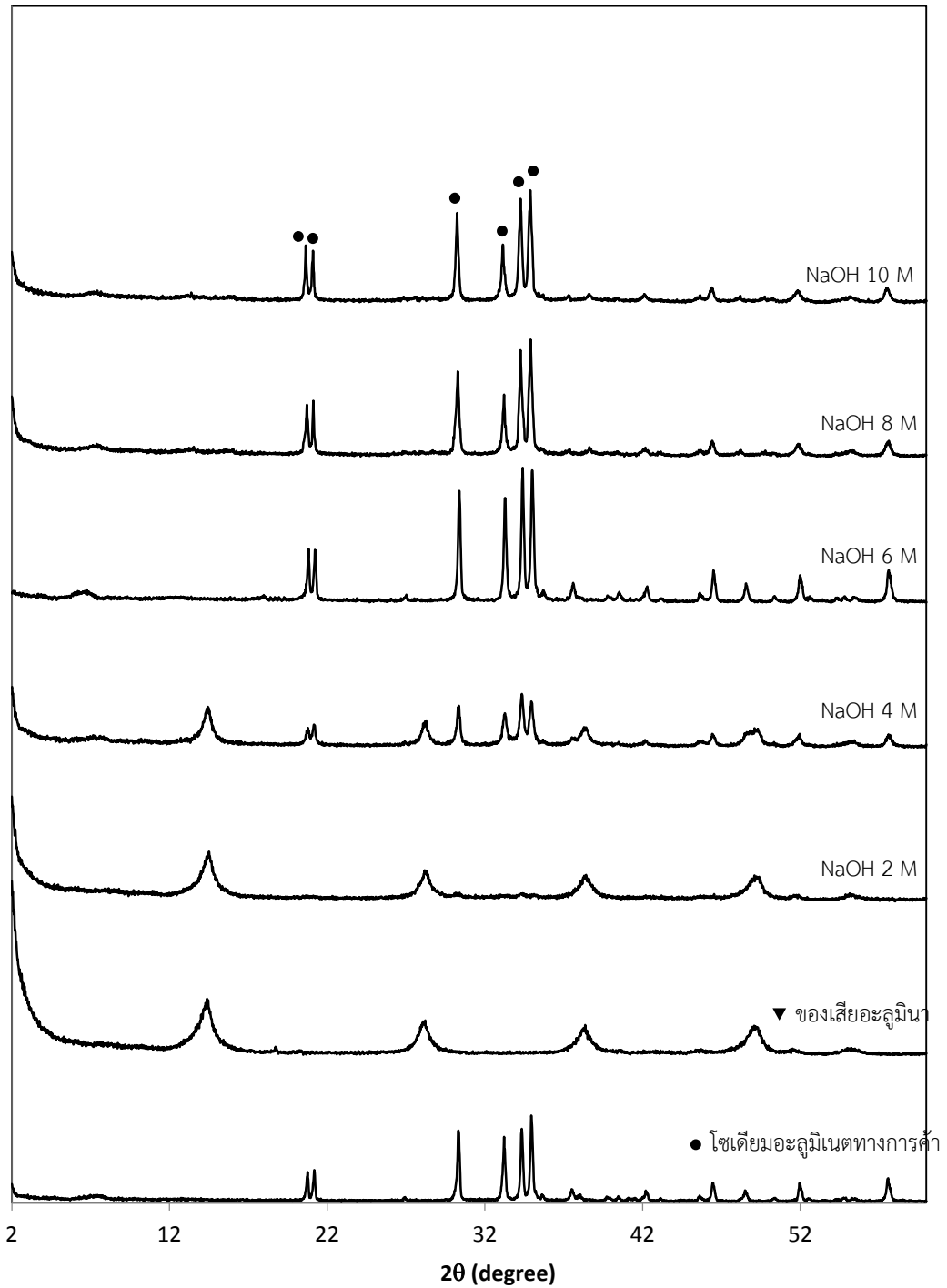
เมื่อพิจารณาจากผลของร้อยละการเกิดผลึกโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้ ดังภาพที่ 4.7 พบว่าร้อยละการเกิดผลึกโซเดียมอะลูมิเนตที่อัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินา เท่ากับ 2:0.75 โดยใช้ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์ มีค่าร้อยละการเกิดผลึกสูงที่สุด เท่ากับ 95.11 ซึ่งร้อยละการเกิดผลึกของโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตั้งแต่ อัตราส่วน 2:0.1 ถึง 2:0.75 และตั้งแต่อัตราส่วน 2:1 ถึง 2:3 มีแนวโน้มของร้อยละการเกิดผลึกลดลงเรื่อยๆ ดังนั้นจากผลการศึกษาศักยภาพทางกายภาพด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer : XRD) และร้อยละการเกิดผลึกโซเดียมอะลูมิเนตสามารถสรุปได้ว่าอัตราส่วนโดย โมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินาที่เหมาะสมในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตที่ความเข้มข้นของ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์ คือ อัตราส่วน 2:0.75



ภาพที่ 4.7 ร้อยละการเกิดผลึกโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมจากความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 6 โมลาร์ โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินา

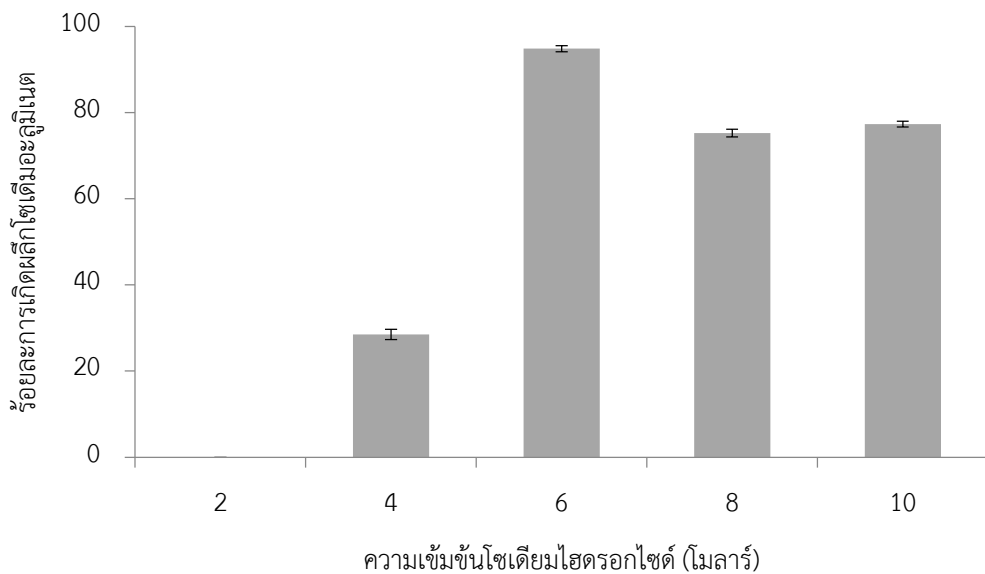
4.2.1.3 ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในการที่เหมาะสมในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนต

การทดลองหาความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินาที่เหมาะสมจากการทดลอง 4.2.1.2 เท่ากับ 2:0.75 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และกวนที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที พบว่าความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินาที่ 2:0.75 คือ 6 โมลาร์ ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมบัติทางกายภาพด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer : XRD) โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างของโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้เปรียบเทียบกับโครงสร้างของโซเดียมอะลูมิเนตมาตรฐานและโครงสร้างของของเสียอะลูมินา ดังภาพที่ 4.8 พบว่ากราฟของโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมจากความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 2 โมลาร์ ไม่เกิดพีคที่มีความสอดคล้องกับกราฟของโซเดียมอะลูมิเนตมาตรฐานและยังอยู่ในรูปของของเสียอะลูมินา เนื่องจากความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์มีไม่มากพอต่อการเกิดโซเดียมอะลูมิเนตทำให้องค์ประกอบที่เกิดขึ้นยังอยู่ในรูปของของเสียอะลูมินา ส่วนความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 4 โมลาร์ เริ่มเกิดพีคที่มีความสอดคล้องกับกราฟของโซเดียมอะลูมิเนตมาตรฐานขึ้นเล็กน้อยแต่พีคส่วนใหญ่ยังอยู่ในรูปของของเสียอะลูมินา แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์มากขึ้นตั้งแต่ 6 ถึง 10 โมลาร์ เกิดพีคที่มีความสอดคล้องกับพีคของโซเดียมอะลูมิเนตมาตรฐานและไม่มีพีคของของเสียอะลูมินาเกิดขึ้น แต่โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้จากความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์ เกิดพีคที่มีความสอดคล้องกับพีคของโซเดียมอะลูมิเนตมาตรฐานสูงที่สุดและไม่มีพีคของของเสียอะลูมินาเกิดขึ้น ซึ่งความเข้มข้นที่สูงสุดอยู่ที่มุม 2θ เท่ากับ 33.6 องศา ส่วนพีคที่มีความเข้มข้นลงมาที่มุม 2θ เท่ากับ 33.58, 29.56, 32.46, 20.00 และ 20.02 องศา ตามลำดับ



ภาพที่ 4. 8 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมจากอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียม-ออกไซด์ต่ออะลูมินาที่ 2:0.75 โดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งสัญลักษณ์ ● แสดงตำแหน่งกราฟของโซเดียมอะลูมิเนตทางการค้าและ ▼ แสดงตำแหน่งกราฟของของเสียอะลูมินา

เมื่อพิจารณาจากผลของร้อยละการเกิดผลึกโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้ ดังภาพที่ 4.9 พบว่าร้อยละการเกิดผลึกโซเดียมอะลูมิเนตที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์ มีค่าร้อยละการเกิดผลึกสูงที่สุดเท่ากับ 94.84 อย่างไรก็ตามร้อยละการเกิดผลึกของโซเดียมอะลูมิเนตไม่แปรผันตามความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เพิ่ม ถึงแม้ว่าร้อยละการเกิดผลึกของโซเดียมอะลูมิเนตที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 8 และ 10 โมลาร์ จะมีค่าสูงใกล้เคียงกับค่าร้อยละการเกิดผลึกของโซเดียมอะลูมิเนตที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์ก็ตาม แต่เมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นสูงยิ่งส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตสูงตามไปด้วย



ภาพที่ 4. 9 ร้อยละการเกิดผลึกโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมจากอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินาที่ 2:0.75 โดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์

จากผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer : XRD) และร้อยละการเกิดผลึกโซเดียมอะลูมิเนตสามารถสรุปได้ว่าที่อัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 2:0.75 โดยใช้ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์ เป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

4.2.2 ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของโซเดียมอะลูมิเนต

นำโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้มาศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี ได้แก่ เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffract meter : XRD) เครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence : XRF) เครื่องวิเคราะห์การดูดกลืนรังสีอินฟราเรด (Fourier Transform

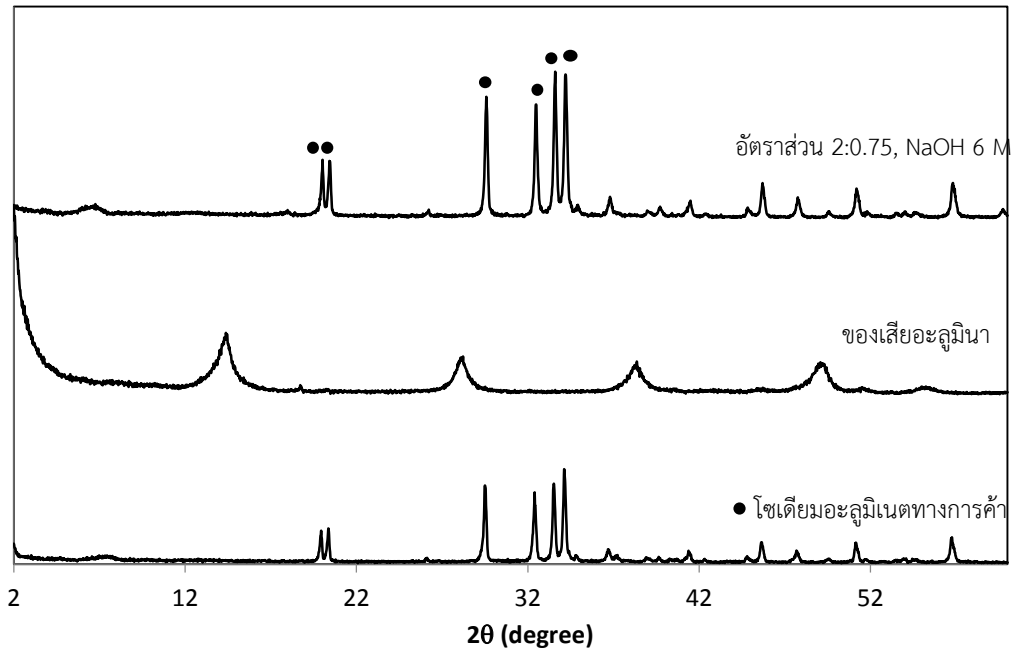
Infrared Spectrometer : FT-IR spectrometer) และพิจารณาร้อยละการเกิดผลึกของโซเดียมอะลูมิเนตจากสภาวะที่เหมาะสมจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffract meter : XRD) รวมทั้งพิจารณาลักษณะสัณฐานจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)

4.2.2.1 ลักษณะสมบัติทางกายภาพของโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้

โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้จากอะลูมินาที่ใช้งานแล้วในสภาวะเหมาะสมที่อัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินาที่ 2:0.75 และความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 6 โมลาร์ มีลักษณะเป็นผงสีขาว ดังภาพที่ 4.10 เมื่อนำมาศึกษาสมบัติทางกายภาพด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer : XRD) โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างของโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้ ดังภาพที่ 4.11 พบว่ากราฟของโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้เกิดพีคที่มีความสอดคล้องกับพีคของโซเดียมอะลูมิเนตมาตรฐานและไม่มีพีคของเสียอะลูมินาเกิดขึ้น ซึ่งมีความเข้มสูงสุดที่มุม 2θ เท่ากับ 33.6 องศา ส่วนพีคที่มีความเข้มรองลงมาที่มุม 2θ เท่ากับ 33.58, 29.58, 32.46, 20.00 และ 20.02 องศา ตามลำดับ และมีค่าร้อยละการเกิดผลึกโซเดียมอะลูมิเนตเท่ากับ 94.84

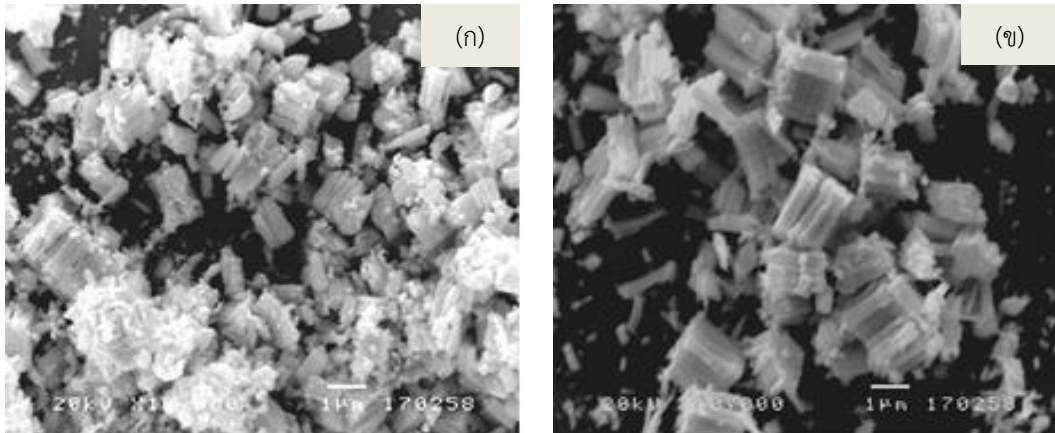


ภาพที่ 4. 10 โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้จากอะลูมินาที่ใช้งานแล้ว



ภาพที่ 4. 11 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมจากอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินาที่ 2:0.75 และโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 6 โมลาร์

เมื่อนำโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้มาศึกษาลักษณะพื้นฐานจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) เพื่อศึกษาลักษณะของโครงสร้างผลึกที่เกิดขึ้น ดังภาพที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างผลึกส่วนใหญ่ของโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้มีลักษณะโครงสร้างเหมือนกับโครงสร้างผลึกของโซเดียมอะลูมิเนตมาตรฐานแต่โครงสร้างผลึกของโซเดียมอะลูมิเนตนี้ยังมีผลึกของของเสียอะลูมินาปนอยู่ ซึ่ง Keller และ Len (2003) ได้กล่าวว่าโครงสร้างของโซเดียมอะลูมิเนตมาตรฐานที่ไม่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ (NaAlO_2) มีรูปร่างเป็นออร์ทอโรรมบิก (Orthorhombic) และมีรูปร่างทรงสี่หน้า (Tetrahedral) ของอะลูมิเนต (AlO_4) ประกอบอยู่ด้วย ส่วนโซเดียมอะลูมิเนตที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ ($\text{NaAlO}_2 \cdot 5/4\text{H}_2\text{O}$) ประกอบด้วยชั้นของอะลูมิเนต (AlO_4) ต่อรวมกันเป็นวงเกิดขึ้นร่วมกับชั้นของโซเดียมไอออนและโมเลกุลของน้ำด้วยพันธะไฮโดรเจนที่โมเลกุลของออกซิเจนในอะลูมิเนต (AlO_4)



ภาพที่ 4. 12 ลักษณะสัณฐานของ (ก)โซเดียมอะลูมินेटที่อัตราส่วน 2:0.75 และ (ข) โซเดียมอะลูมินेटมาตรฐาน

4.2.2.2 ลักษณะสมบัติทางเคมีของโซเดียมอะลูมินेट

โซเดียมอะลูมินेटที่เตรียมได้จากของเสียอะลูมินาในสภาวะเหมาะสมที่อัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินาที่ 2:0.75 และความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 6 โมลาร์ เมื่อนำมาศึกษาสมบัติทางเคมีด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence : XRF) เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของธาตุต่างๆ ดังตารางที่ 4.3 พบว่ามีองค์ประกอบหลัก คือ อะลูมินา (Al_2O_3) มีค่าร้อยละ 50.5 และองค์ประกอบอื่นรองลงมาได้แก่ โซเดียมออกไซด์ (Na_2O) มีค่าร้อยละ 34.6 ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) มีค่าเท่ากับ 5,040 ส่วนในล้านส่วน (ร้อยละ 0.504) แคลเซียมออกไซด์ มีค่าเท่ากับ 333 ส่วนในล้านส่วน เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) มีค่าเท่ากับ 280 ส่วนในล้านส่วน โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) มีค่าเท่ากับ 191 ส่วนในล้านส่วน คลอไรด์ มีค่าเท่ากับ 95.8 ส่วนในล้านส่วน ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) มีค่าเท่ากับ 80.7 ส่วนในล้านส่วน ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) มีค่าเท่ากับ 69.0 ส่วนในล้านส่วน แกลเลียมออกไซด์ (Ga_2O_3) มีค่าเท่ากับ 52.2 ส่วนในล้านส่วน คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) มีค่าเท่ากับ 49.5 ส่วนในล้านส่วน และ นิกเกิลออกไซด์ (NiO) มีค่าเท่ากับ 19.5 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ ซึ่ง Hajimohammadi และคณะ (2008) ได้นำโซเดียมอะลูมินेटมาใช้เป็นส่วนประกอบของจีโอโพลิเมอร์ โดยโซเดียมอะลูมินेटที่นำมาใช้มีองค์ประกอบของอะลูมินา (Al_2O_3) อยู่ร้อยละ 55.2 และมีโซเดียม-ออกไซด์ (Na_2O) อยู่ร้อยละ 42.7 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับองค์ประกอบทางเคมีของโซเดียมอะลูมินेटที่เตรียมได้พบว่าองค์ประกอบของอะลูมินามีค่าใกล้เคียงกันแต่มีปริมาณของ โซเดียมออกไซด์ต่ำกว่าเล็กน้อย

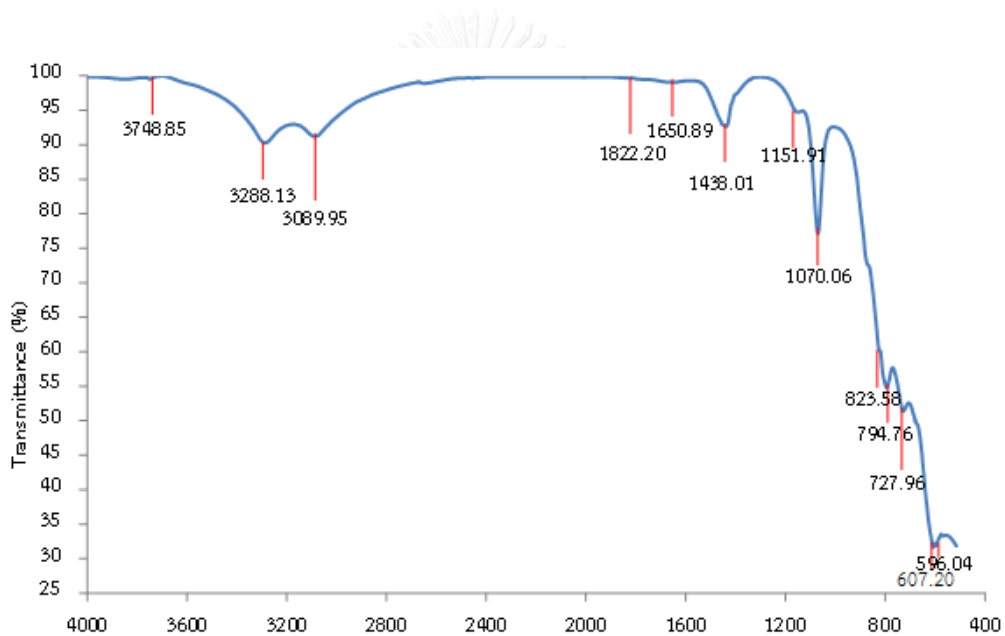
เมื่อนำผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของธาตุต่างๆ ในโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้มาเปรียบเทียบกับโซเดียมอะลูมิเนตมาตรฐาน (บริสุทธิ์) ที่ขายทางการค้าพบว่าโซเดียมอะลูมิเนตที่สังเคราะห์เตรียมได้มีปริมาณอะลูมินาสูงกว่าและมีปริมาณโซเดียมออกไซด์ต่ำกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์มีค่าสูงกว่า เนื่องจากปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ของเสียอะลูมินามีค่าสูงถึงที่ร้อยละ 0.239 แต่ปริมาณของแคลเซียมออกไซด์ เหล็กออกไซด์ และโพแทสเซียมออกไซด์สูงกว่าเล็กน้อย หากเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้กับโซเดียมอะลูมิเนตทางการค้าของบริษัท Marathwada Chemical Industries Pvt. Ltd. พบว่ามีองค์ประกอบของปริมาณอะลูมินาอย่างน้อยร้อยละ 45 ถึง 47 และมีปริมาณของโซเดียมออกไซด์อย่างน้อยร้อยละ 28 ถึง 32 และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับโซเดียมอะลูมิเนตทางการค้าของบริษัท ChemFine International Co., Ltd. พบว่ามีองค์ประกอบของปริมาณอะลูมินามากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 50 และมีปริมาณของโซเดียมออกไซด์มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 38 จะเห็นได้ว่าปริมาณของอะลูมินาและโซเดียมออกไซด์ของโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้สอดคล้องกับโซเดียมอะลูมิเนตมาตรฐาน

ตารางที่ 4. 3 ข้อมูลการวิเคราะห์ด้วยเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ของอัตราส่วน 2:0.75 และโซเดียมอะลูมิเนตมาตรฐาน

องค์ประกอบ	หน่วย	โซเดียมอะลูมิเนตที่อัตราส่วน 2:0.75	โซเดียมอะลูมิเนตมาตรฐาน*
Al ₂ O ₃	ร้อยละ	50.5	44.5
Na ₂ O	ร้อยละ	34.6	49.6
SiO ₂	พีพีเอ็ม	5,040	215
CaO	พีพีเอ็ม	333	67.8
Fe ₂ O ₃	พีพีเอ็ม	280	139
K ₂ O	พีพีเอ็ม	191	88.3
Cl	พีพีเอ็ม	95.8	247
SO ₃	พีพีเอ็ม	80.7	89.5
ZnO	พีพีเอ็ม	69.0	11.4
Ga ₂ O ₃	พีพีเอ็ม	52.2	48.0
CuO	พีพีเอ็ม	49.5	18.5
NiO	พีพีเอ็ม	19.5	18.7

หมายเหตุ: * โซเดียมอะลูมิเนตจากบริษัท Riedel-de Haen จำกัด

วิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การดูดกลืนรังสีอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectrometer : FT-IR spectrometer) เพื่อตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันในตัวอย่างอะลูมินาที่ใช้แล้วโดยการวัดการดูดกลืนรังสีในช่วงอินฟราเรด ดังภาพที่ 4.13 พบว่าในช่วงการดูดกลืนรังสี 3749-1438 ต่อเซนติเมตร เป็นพีคของสารประกอบในกลุ่มของไฮดรอกซิล (OH, HOH) ส่วนช่วงการดูดกลืนรังสีที่ 1438-1070 ต่อเซนติเมตร เป็นพีคของสารประกอบในกลุ่มซิลิกอนออกไซด์ (Si-O) หรือสารประกอบในกลุ่มอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al-O) และการดูดกลืนรังสีที่ 823 ต่อเซนติเมตร เกิดพันธะระหว่าง Si-OH เมื่อพิจารณาการดูดกลืนรังสีตั้งแต่ 794-727 ต่อเซนติเมตร เป็นพีคของสารประกอบในกลุ่มซิลิกอนออกไซด์ (Si-O) ส่วนการดูดกลืนรังสีตั้งแต่ 607-596 ต่อเซนติเมตร เป็นพีคของสารประกอบในกลุ่มอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al-O)



ภาพที่ 4. 13 การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของของเสียอะลูมินา

4.2.3 ศึกษาปริมาณอะลูมิเนียมในโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้จากอะลูมินาที่ใช้งานแล้ว

นำโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้จากของเสียอะลูมินามาศึกษาปริมาณอะลูมิเนียม ด้วยเครื่องอินดักทีฟลีคอปเปิลพลาสมาออปติคอลอิมิสชันสเปกโตรเมเตอร์ (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer : ICP-OES) พบว่าในสารละลายโซเดียมอะลูมิเนต 1 มิลลิลิตร มีปริมาณอะลูมิเนียมเท่ากับ 44.4 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.3 ศึกษาต้นทุนการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินา

การศึกษาต้นทุนการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินาเปรียบเทียบกับราคาของโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายเป็นการค้าและประเมินค่าใช้จ่ายเปรียบเทียบกับการจัดการของเสียอะลูมินา โดยจะคำนวณต้นทุนในการผลิตจากราคาวัตถุดิบในกระบวนการผลิต

การเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีในสถานะที่เหมาะสมจากอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 2:0.75 และความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์ สามารถแสดงต้นทุนในการผลิตจากราคาวัตถุดิบในกระบวนการผลิต ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4. 4 ราคาวัตถุดิบที่ใช้เตรียมโซเดียมอะลูมิเนต 1 กิโลกรัม

วัตถุดิบ	ที่มา	ราคาต่อหน่วย กิโลกรัม (บาท)	ปริมาณที่ใช้ (กิโลกรัม)	ราคาต่อ กิโลกรัม (บาท)
1. ของเสีย อะลูมินา	จากโรงงานกรณีศึกษา ในอุตสาหกรรม ปิโตรเลียม	-	0.7832	-
2. โซเดียม ไฮดรอกไซด์	บริษัท water specialist supply จำกัด	24	1.6429	39.43
รวม				39.43

หมายเหตุ: (-) หมายถึง ไม่มีค่าใช้จ่ายในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนต

: ค่าใช้จ่ายในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินาพิจารณาเฉพาะค่าสารเคมีเท่านั้น

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ค่าใช้จ่ายในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินาในสถานะที่เหมาะสมจากอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 2:0.75 และความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์ มีค่าใช้จ่ายวัตถุดิบเท่ากับ 39.43 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่มาจากค่าวัตถุดิบเนื่องจากในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตใช้อัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 2:0.75 จึงใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ค่อนข้างสูง

เมื่อนำค่าใช้จ่ายในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินามาเปรียบเทียบกับราคาของโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายเป็นการค้าและประเมินค่าใช้จ่ายเปรียบเทียบกับการจัดการของเสีย

อะลูมินา สามารถแสดงดังตารางที่ 4.5 พบว่าราคาของโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้เท่ากับ 39.43 บาทต่อกิโลกรัม ส่วนราคาของโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายเป็นการค้าจากบริษัท Riedel-de Haen จำกัด เท่ากับ 1,488 บาทต่อกิโลกรัม และค่าใช้จ่ายในการจัดการของเสียอะลูมินาถ้านำมากำจัดโดยการฝังกลบจากบริษัท Genco จำกัด มีค่าใช้จ่ายในการฝังกลบ 3,200 บาทต่อตัน ค่าขนส่ง 2,200 บาทต่อครั้ง 1 ครั้งบรรทุกันได้ 8 ตัน แต่ถ้านำมากำจัดโดยการเผากับปูนซีเมนต์มีค่าใช้จ่ายในการเผาและค่าขนส่ง 3,000 - 4,000 บาทต่อตัน เมื่อพิจารณาจากค่าใช้จ่ายที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้มีราคาต่ำมากเมื่อเทียบกับราคาของโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายเป็นการค้า จึงถือเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียอะลูมินา และยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในการจัดการของเสียอะลูมินา เป็นแนวทางหนึ่งในการลดปริมาณของเสียเพื่อไปกำจัดยังหลุมฝังกลบโดยนำมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตและถือว่าเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า

ตารางที่ 4. 5 ค่าใช้จ่ายในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินามาเปรียบเทียบกับราคาของโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายเป็นการค้าและประเมินค่าใช้จ่ายเปรียบเทียบกับการจัดการของเสียอะลูมินา

	โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้ (บาท/กก.)	โซเดียมอะลูมิเนตทางการค้า (บาท/กก.)	การจัดการของเสียอะลูมินา	
			การฝังกลบ (บาท/ตัน)	การส่งกำจัดโดยปูนซีเมนต์ (บาท/ตัน)
ค่าใช้จ่าย	39.43	1,488	3,475	3,000-4,000

4.4 การนำโซเดียมอะลูมิเนตมากำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียฟาร์มสุกร

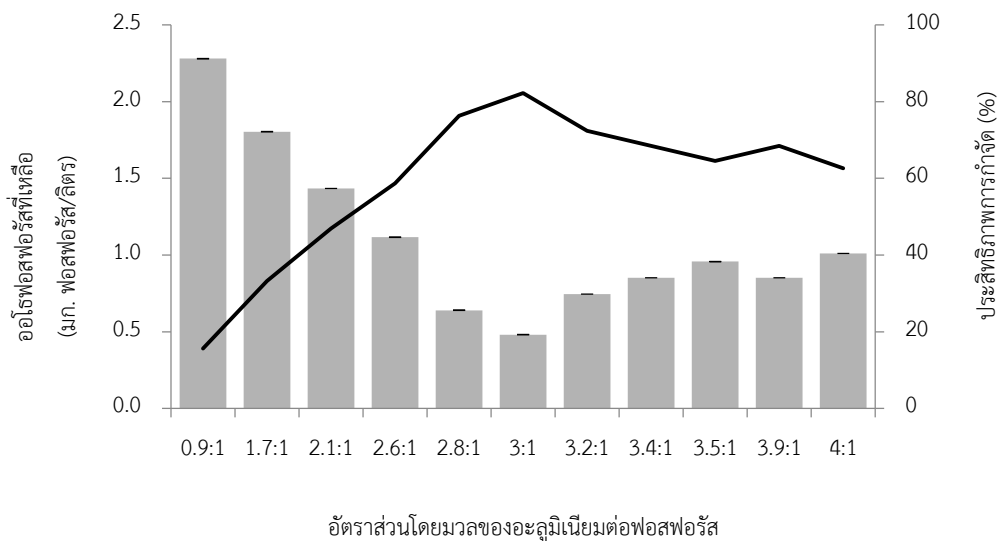
4.4.1 ศึกษาอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัส (Al : P) ที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส

การทดลองหาอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัส (Al : P) ที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส โดยเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของฟอสเฟต 8 มิลลิกรัมต่อลิตร (ฟอสฟอรัสเท่ากับ 2.61 มิลลิกรัมต่อลิตร) และค่าพีเอชเท่ากับ 6.5 แล้วปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโดยมวลอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัส (Al : P) เป็น 11 ค่า คือ 0.9:1, 1.7:1, 2.1:1, 2.6:1, 2.8:1, 3:1, 3.2:1, 3.4:1, 3.5:1, 3.9:1 และ 4:1 ตามลำดับ พบว่าอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัส (Al : P) ที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัดออร์โธฟอสฟอรัส คือ อัตราส่วน 3:1 ซึ่ง

สามารถแสดงปริมาณอโรฟอสฟอรัสที่เหลือหลังจากการกำจัดได้ดังภาพที่ 4.14 จากกราฟความเข้มข้นของอโรฟอสฟอรัสมีแนวโน้มลดลงตั้งแต่อัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสที่อัตราส่วน 0.9:1 ถึง 3:1 และตั้งแต่อัตราส่วน 3.2:1 ถึง 4:1 ความเข้มข้นของอโรฟอสฟอรัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดอโรฟอสฟอรัสที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตั้งแต่อัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสที่อัตราส่วน 0.9:1 ถึง 3:1 และลดลงเล็กน้อยตั้งแต่อัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสที่อัตราส่วน 3.2:1 ถึง 4:1 ถึงแม้ว่าร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดอโรฟอสฟอรัสมีแนวโน้มลดลงแต่ก็ยังสามารถกำจัดอโรฟอสฟอรัสได้ถึงร้อยละ 60 ถึง 70 จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นว่าอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสที่ 3:1 เป็นอัตราส่วนที่สามารถกำจัดอโรฟอสฟอรัสได้สูงที่สุด ซึ่งความเข้มข้นของอโรฟอสฟอรัสที่เหลือจากการกำจัดเท่ากับ 0.4815 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร เมื่อเทียบเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดอโรฟอสฟอรัสคิดเป็นร้อยละ 82.19



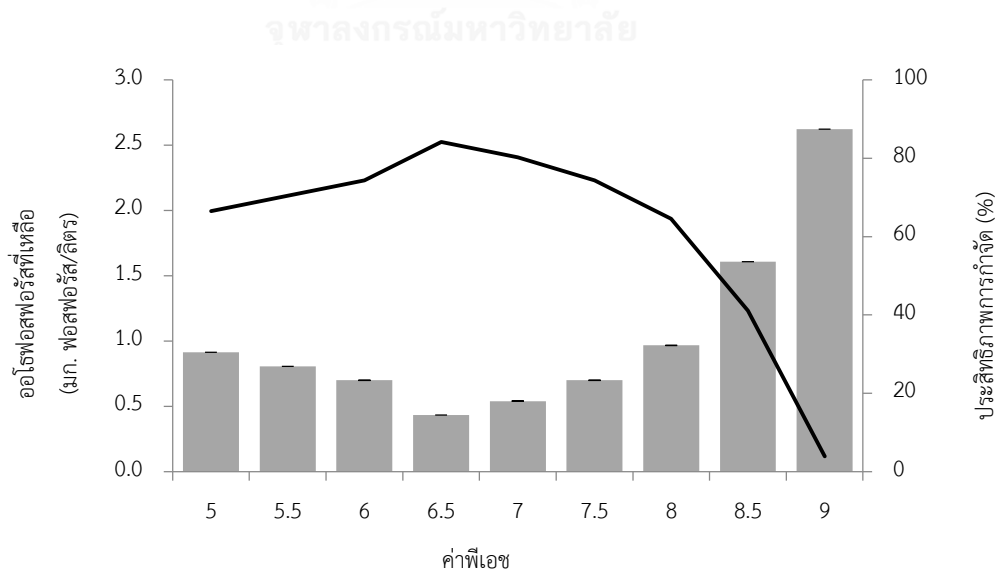
โดยทั่วไปแล้วโซเดียมอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์โครงสร้างได้หลายรูปแบบ เช่น $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$ NaAlO_2 $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ถ้าโซเดียมอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์โครงสร้างเป็น $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ จะเกิดปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์และฟอสเฟตดังสมการ (1) พบว่าอัตราส่วนโดยโมลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัส คือ 1:1 และอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัส คือ 0.9:1 เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสที่ใช้โซเดียมอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์เตรียมจากของเสียอะลูมินา พบว่าต้องใช้ปริมาณของอะลูมิเนียมมากกว่าทางทฤษฎีประมาณ 3 เท่า



ภาพที่ 4. 14 ปริมาณอโรฟอสฟอรัสที่อัตราส่วนโดยโมลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสต่างๆ

4.4.2 ผลของค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส

การทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส โดยเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของฟอสเฟต 8 มิลลิกรัม (ฟอสฟอรัสเท่ากับ 2.61 มิลลิกรัมต่อลิตร) และอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัส (Al : P) เท่ากับ 3:1 แล้วปรับเปลี่ยนค่าพีเอชเริ่มต้นเป็น 9 ค่า คือ 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 7.5, 8.0, 8.5 และ 9.0 ตามลำดับ และควบคุมค่าพีเอชให้คงที่ตลอดการทดลองด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และกรดไฮโดรคลอริก พบว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส คือ พีเอช 6.5 ซึ่งสามารถแสดงปริมาณอโรฟอสฟอรัสที่เหลือหลังจากการกำจัดได้ดังภาพที่ 4.15 จากกราฟความเข้มข้นของอโรฟอสฟอรัสมีแนวโน้มลดลงตั้งแต่ค่าพีเอชที่ 5.0 แล้วลดต่ำสุดที่ค่าพีเอช 6.5 และตั้งแต่ค่าพีเอชที่ 7.0 ถึง 9.0 ความเข้มข้นของอโรฟอสฟอรัสมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นโดยที่ค่า พีเอช 9.0 มีความเข้มข้นของอโรฟอสฟอรัสเหลืออยู่มากที่สุดซึ่งสอดคล้องกับร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดอโรฟอสฟอรัส จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นว่าค่าพีเอช 6.5 เป็นค่าพีเอชที่สามารถกำจัดอโรฟอสฟอรัสได้สูงที่สุด ซึ่งความเข้มข้นของอโรฟอสฟอรัสที่เหลือจากการกำจัดเท่ากับ 0.4327 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร เมื่อเทียบเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดอโรฟอสฟอรัสคิดเป็นร้อยละ 84.15 จากงานวิจัยของ Hsu (1976) ได้ศึกษาการกำจัดฟอสเฟตจากสารละลาย Al^{3+} ด้วยการตกตะกอนโดยวิธีจาร์เทสต์ พบว่าค่าความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมในการกำจัดฟอสฟอรัสโดยอะลูมิเนียมอยู่ที่ 5.5-8.0 ซึ่งปฏิกิริยาตกตะกอนของอะลูมิเนียมและฟอสฟอรัสจะขึ้นกับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสและค่าพีเอช ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 5.5 ถึง 6.5 แล้วแต่องค์ประกอบในน้ำเสีย (Wiechers และคณะ, 1988)



ภาพที่ 4.15 ปริมาณอโรฟอสฟอรัสที่ค่าพีเอชต่างๆ

4.4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียฟาร์มสุกร

การทดลองประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมจากของเสียอะลูมินาเปรียบเทียบกับโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายทางการค้า ซึ่งอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัส (Al : P) ที่ใช้ศึกษา คือ 3:1 และค่าพีเอชที่ 6.5 แล้วปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัส (Al : P) ตั้งแต่ 3:1, 4.5:1, 6:1, 7.5:1, 9:1 และ 10.5:1 ตามลำดับ

4.3.3.1 น้ำเสียชุมชน

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดแล้วจากสำนักการระบายน้ำ โรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4. 6 คุณภาพน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดแล้ว

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	หน่วย	คุณภาพน้ำทิ้ง	มาตรฐานน้ำทิ้ง
1. ลักษณะที่เห็นด้วยตา	-	น้ำใสไม่มีสี	-
2. ค่าพีเอช	-	7.67±0.05	5.5-9.0
3. ค่าซีโอดี	มก./ล.	50.18±0.94	-
4. ฟอสฟอรัสทั้งหมด	มก. ฟอสฟอรัส/ล.	1.647±0.09	ไม่เกิน 2
5. ออโรฟอสฟอรัส	มก. ฟอสฟอรัส/ล.	1.298±0.04	-

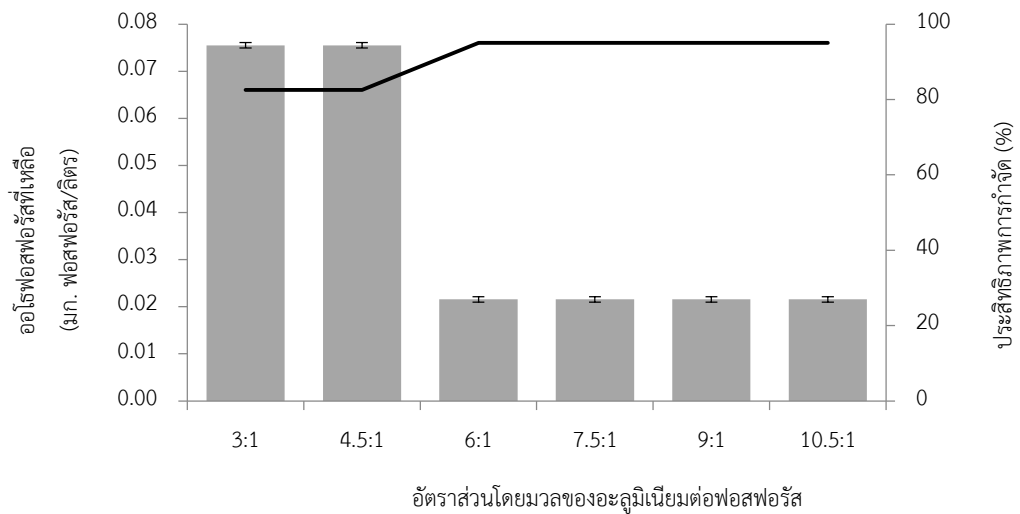
หมายเหตุ: (-) หมายถึง ไม่มีหน่วยและไม่มีกำหนดไว้ในมาตรฐานน้ำทิ้ง

: เก็บน้ำตัวอย่างครั้งเดียว ณ วันที่ 6 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 และวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง

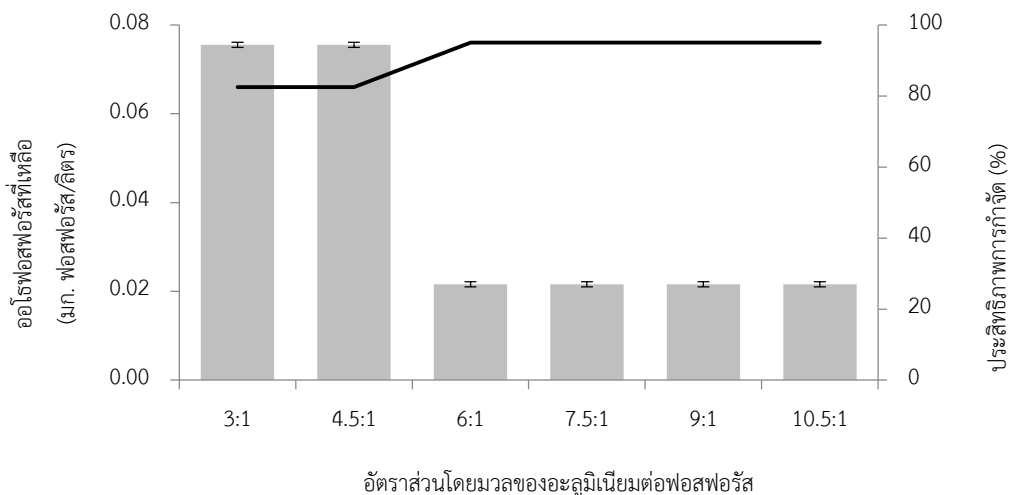
: มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2553)

ประสิทธิภาพการกำจัดออโรฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมจากของเสียอะลูมินาและโซเดียมอะลูมิเนตทางการค้า พบว่าอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสที่เหมาะสม คือ 6:1 เท่ากัน ดังภาพที่ 4.16 และ 4.17 จากกราฟจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมจากของเสียอะลูมินาส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดออโรฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น โดยอัตราส่วนอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสที่กำจัดออโรฟอสฟอรัสได้สูงสุดคือ 6:1 สามารถกำจัดออโรฟอสฟอรัสได้ถึงร้อยละ 95.01 กิโลกรัมกันทั้งโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้และโซเดียมอะลูมิเนตทางการค้า แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสเป็น 7.5:1 ถึง 10.5:1 ร้อยละในการกำจัดออโรฟอสฟอรัสคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากปริมาณอะลูมิเนียมที่เติมลงไปมีมากเกินไปที่จะไปจับกับฟอสฟอรัสทำให้อัตราการกำจัดคงที่

ดังนั้นอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสที่เหมาะสมของการกำจัด ออโรฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้และโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายทางการค้ามีอัตราส่วนเหมือนกัน คือ 6:1 เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อ ฟอสฟอรัสทางทฤษฎีเท่ากับ 0.9:1 พบว่าต้องใช้ปริมาณของอะลูมิเนียมมากกว่าทางทฤษฎีประมาณ 6 เท่า



ภาพที่ 4. 16 ประสิทธิภาพการกำจัดออโรฟอสฟอรัสของน้ำเสียชุมชน โดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้



ภาพที่ 4. 17 ประสิทธิภาพการกำจัดออโรฟอสฟอรัสของน้ำเสียชุมชน โดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตทางการค้า

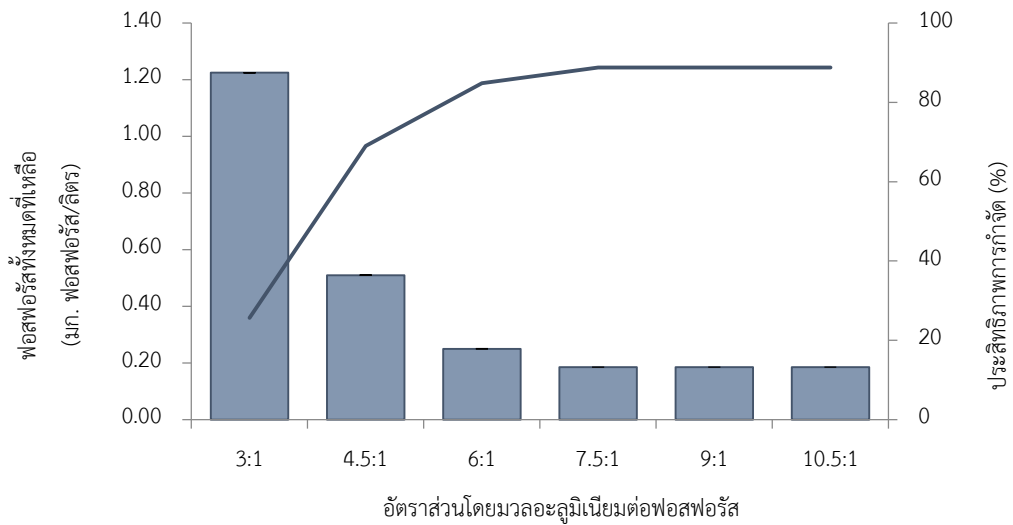
ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียชุมชนโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมจากของเสียอะลูมินา พบว่าอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสที่เหมาะสม คือ 7.5:1 ซึ่งสามารถแสดงความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่เหลือหลังจากการกำจัดได้ดังภาพที่ 4.18 จากกราฟความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องตั้งแต่อัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสที่ 3:1 ถึง 6:1 และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสทำให้กำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดได้เพิ่มขึ้นโดยอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสที่กำจัดฟอสฟอรัสได้สูงสุดคือ 7.5:1 สามารถกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ถึงร้อยละ 88.76 แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสเป็น 9:1 และ 10.5:1 ร้อยละในการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง ถึงแม้ว่าอัตราส่วนอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสที่ 6:1 เท่า ไม่ใช่จำนวนเท่าอัตราส่วนที่กำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดได้สูงสุดแต่สามารถกำจัดได้ถึงร้อยละ 84.81 มีค่าร้อยละการกำจัดใกล้เคียงกับอัตราส่วน 7.5:1 เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายจากโซเดียมอะลูมิเนตที่ใช้เป็นสารตกตะกอนอัตราส่วนอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสที่ 6:1 จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียชุมชน

ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียชุมชนโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตทางการค้า พบว่าอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสที่เหมาะสม คือ 7.5:1 สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ถึงร้อยละ 92.70 ดังภาพที่ 4.19 จากกราฟจะเห็นว่าอัตราส่วนในการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดเหมือนกับการกำจัดด้วยโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมจากของเสียอะลูมินา

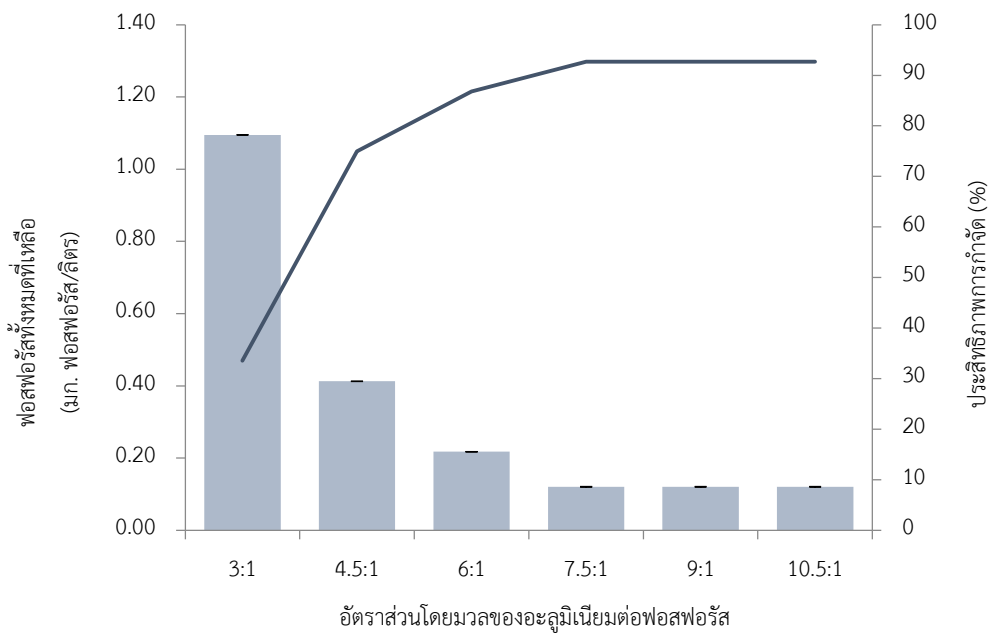
ดังนั้นอัตราส่วนโดยมวลอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสที่เหมาะสมของการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียชุมชนโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้และโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายทางการค้ามีอัตราส่วนเหมือนกัน คือ 7.5:1 เนื่องจากน้ำเสียชุมชนมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดน้อยมากจึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดไม่แตกต่างกัน ถึงแม้ว่าการกำจัดด้วยโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้และโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายทางการค้าจะมีอัตราส่วนเท่ากันแต่ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของโซเดียมอะลูมิเนตทางการค้ามีค่าสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสทางทฤษฎีเท่ากับ 0.9:1 พบว่าต้องใช้ปริมาณของอะลูมิเนียมมากกว่าทางทฤษฎีประมาณ 8 เท่า



จากสมการข้างต้นจะเห็นว่าโซเดียมอะลูมิเนตจับกับออร์โธฟอสฟอรัสไม่ได้จับกับอินทรีย์ฟอสฟอรัสโดยตรง แต่ที่ปริมาณของฟอสฟอรัสทั้งหมดลดลงเนื่องจากโซเดียมอะลูมิเนตมีสมบัติเป็นสารตกตะกอนช่วยให้แบคทีเรียและอินทรีย์ฟอสฟอรัสตกตะกอนลงมาด้วยและช่วยให้มีการตกตะกอนมากขึ้นส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดลดลง



ภาพที่ 4. 18 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียชุมชน โดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้



ภาพที่ 4. 19 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียชุมชน โดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตทางการค้า

เปรียบเทียบน้ำหนักระกอนจากน้ำเสียชุมชนโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้และโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายทางการค้าที่อัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสต่างๆ ดังตารางที่ 4.17 พบว่าการเพิ่มปริมาณโซเดียมอะลูมิเนตส่งผลให้ปริมาณตะกอนเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากโซเดียมอะลูมิเนตเป็นสารตกตะกอนชนิดหนึ่งจึงทำให้เกิดการตกตะกอนมากยิ่งขึ้น มีส่วนช่วยให้แบคทีเรียที่ตกตะกอนฟอสฟอรัสตกลงมามากขึ้นและอัตราส่วนโดยมวลอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสที่ 7.5:1 ถึง 10.5:1 มีปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกันเนื่องจากอัตราส่วนทั้งสามนี้มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสที่เท่ากัน แต่ปริมาณตะกอนที่กำจัดด้วยโซเดียมอะลูมิเนตทางการค้ามีค่าสูงกว่าเพราะมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสดีกว่าการกำจัดด้วยโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้เล็กน้อย

ตารางที่ 4. 7 น้ำหนักระกอนจากน้ำเสียชุมชนที่อัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสต่างๆ

น้ำหนักระกอน (กรัมต่อลิตร)	อัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัส					
	3:1	4.5:1	6:1	7.5:1	9:1	10.5:1
โซเดียมอะลูมิเนต ที่เตรียมได้	0.01	0.03	0.04	0.06	0.06	0.06
โซเดียมอะลูมิเนต ทางการค้า	0.02	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07

4.3.3.2 น้ำเสียฟาร์มสุกร

น้ำเสียจากฟาร์มสุกรเป็นน้ำเสียที่มีธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเจือปนอยู่สูง ซึ่งเราสามารถกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำให้อยู่ในรูปของตะกอนฟอสฟอรัสได้โดยการตกตะกอนด้วยโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้ เพื่อนำตะกอนที่เกิดขึ้นไปใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงสภาพดิน

1) น้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดแบบไร้อากาศ

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดแบบไร้อากาศแบบหมักช้าและหมักเร็ว (Channel Digester and Up flow Anaerobic Sludge Blanket : CD and UASB) จากประชาฟาร์ม จังหวัดนครปฐม แสดงได้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4. 8 ลักษณะน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดแบบไร้อากาศ

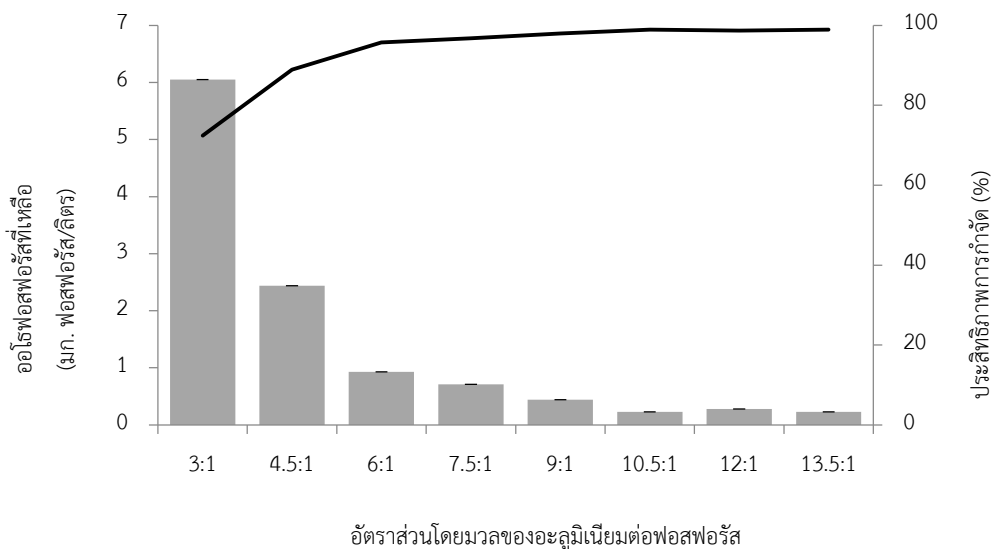
พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	คุณภาพน้ำทิ้ง	หน่วย	มาตรฐานน้ำทิ้ง
1. ลักษณะที่เห็นด้วยตา	น้ำสีน้ำตาลเหลือง	-	-
2. พีเอช	8.65±0.23	-	5.5-9.0
3. ซีโอดี	136.19±0.26	มก./ล.	ไม่เกิน 400
4. ฟอสฟอรัสทั้งหมด	131.48±0.28	มก. ฟอสฟอรัส/ล.	-
5. ออโรฟอสฟอรัส	65.87±0.42	มก. ฟอสฟอรัส/ล.	-

หมายเหตุ: (-) หมายถึง ไม่มีหน่วยและไม่มีกำหนดไว้ในมาตรฐานน้ำทิ้ง

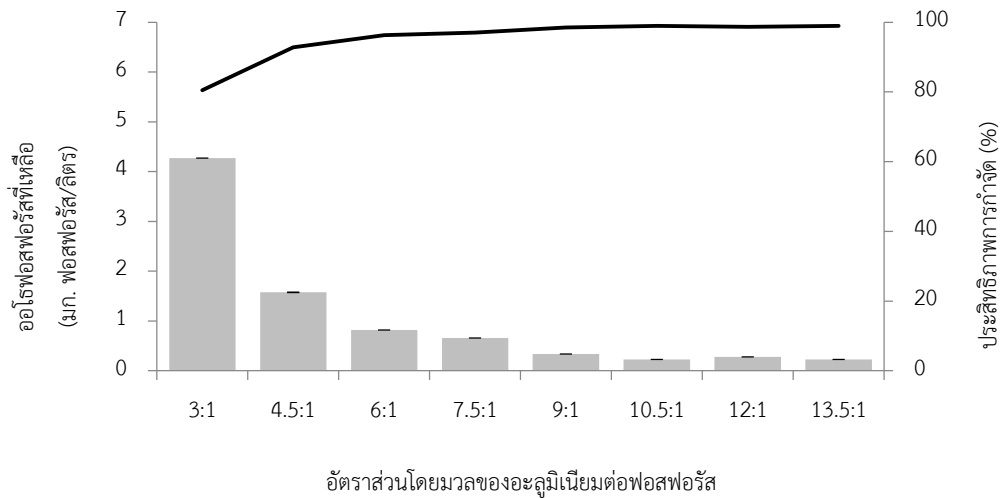
: เก็บน้ำตัวอย่างครั้งเดียว ณ วันที่ 3 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 และวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง

: มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรขนาดกลางและขนาดเล็ก (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2552)

อัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสที่เหมาะสมต่อกำจัดอโรฟอสฟอรัสในน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดแบบไร้อากาศโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมจากของเสียอะลูมินาและโซเดียมอะลูมิเนตทางการค้ามีอัตราส่วนเหมือนกัน คือ 9:1 เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสทางทฤษฎีเท่ากับ 0.9:1 พบว่าต้องใช้ปริมาณของอะลูมิเนียมมากกว่าทางทฤษฎีประมาณ 10 เท่า โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดอโรฟอสฟอรัสได้ถึงร้อยละ 97.98 และ 98.48 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.20 และ 4.21

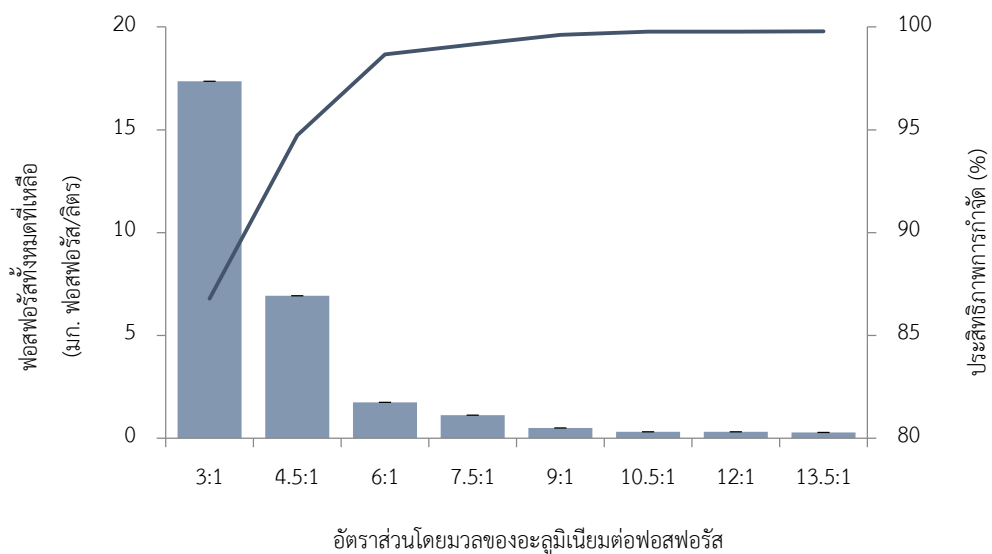


ภาพที่ 4. 20 ประสิทธิภาพการกำจัดอโรฟอสฟอรัสของน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดแบบไร้อากาศโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้

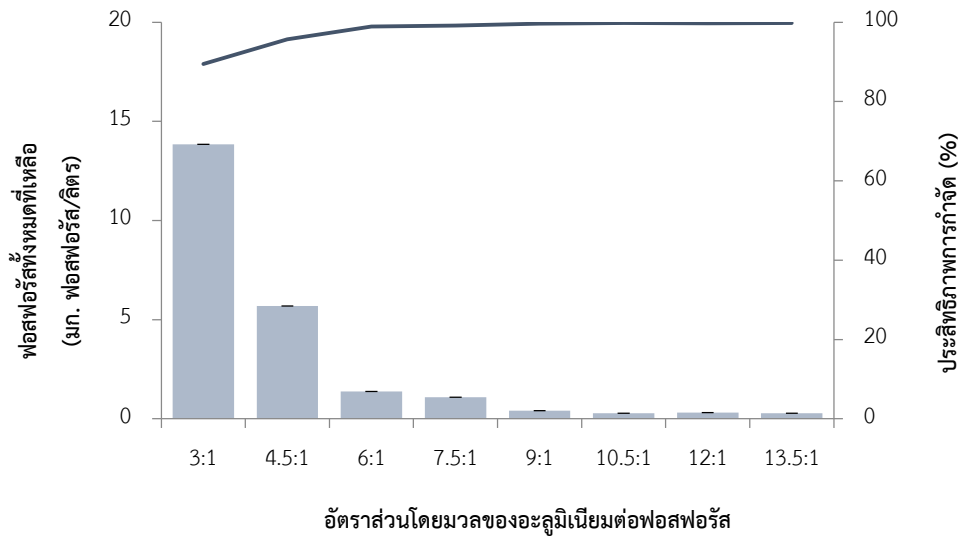


ภาพที่ 4. 21 ประสิทธิภาพการกำจัดออโรฟอสฟอรัสของน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดแบบไร้อากาศโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตทางการค้า

จากผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสที่เหมาะสมของการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดแบบไร้อากาศโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้และโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายทางการค้ามีอัตราส่วนเหมือนกัน คือ 9:1 เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสทางทฤษฎีเท่ากับ 0.9:1 พบว่าต้องใช้ปริมาณของอะลูมิเนียมมากกว่าทางทฤษฎีประมาณ 10 เท่า โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ถึงร้อยละ 99.62 และ 99.69 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.22 และ 4.23



ภาพที่ 4. 22 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดแบบไร้อากาศโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้



ภาพที่ 4. 23 ประสิทธิภาพการกำจัดอโรฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดแบบไร้อากาศโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตทางการค้า

เปรียบเทียบน้ำหนักตะกอนจากน้ำเสียขุมน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดแบบไร้อากาศโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้และโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายทางการค้าที่จำนวนเท่าของอัตราส่วนอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสต่างๆ ดังตารางที่ 4.9 พบว่าการเพิ่มปริมาณโซเดียมอะลูมิเนตส่งผลให้ปริมาณตะกอนเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากโซเดียมอะลูมิเนตเป็นสารตกตะกอนชนิดหนึ่งจึงทำให้เกิดการตกตะกอนมากยิ่งขึ้น มีส่วนช่วยให้แบคทีเรียและสารอินทรีย์ฟอสฟอรัสตกตะกอนตกลงมามากขึ้น และปริมาณตะกอนที่กำจัดด้วยโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้กับโซเดียมอะลูมิเนตทางการค้ามีค่าใกล้เคียงกันเพราะมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสดีกว่าการกำจัดด้วยโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้เล็กน้อย

ตารางที่ 4. 9 น้ำหนักตะกอนจากน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดแบบไร้อากาศที่อัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสต่างๆ

น้ำหนักตะกอน (กรัมต่อลิตร)	อัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัส						
	3:1	4.5:1	6:1	7.5:1	9:1	10.5:1	12:1
โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้	44.522	50.866	75.11	79.39	80.53	81.75	79.70
โซเดียมอะลูมิเนตทางการค้า	48.78	74.39	79.31	81.34	81.47	81.76	80.94

2) น้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านการบำบัดขั้นสุดท้ายแล้วพร้อมปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดขั้นสุดท้ายเป็นบ่อคอนกรีตพักน้ำทิ้งก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ จากประชาฟาร์ม จังหวัดนครปฐม แสดงได้ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4. 10 ลักษณะน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดขั้นสุดท้ายพร้อมปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

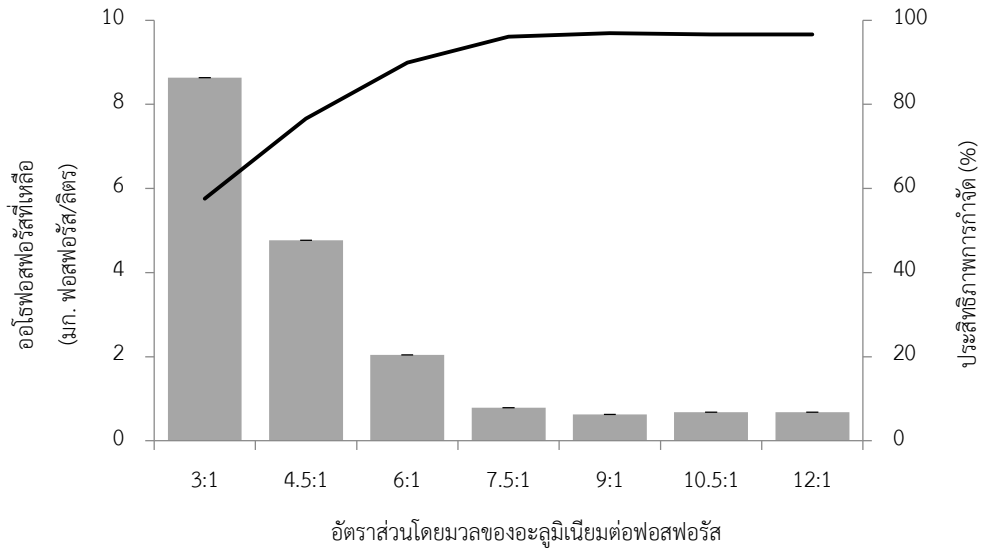
พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	คุณภาพน้ำทิ้ง	หน่วย	มาตรฐานน้ำทิ้ง
1. ลักษณะที่เห็นด้วยตา	น้ำสีน้ำตาลเหลือง	-	-
2. พีเอช	7.77±0.19	-	5.5-9.0
3. ซีไอดี	100.35±0.54	มก./ล.	ไม่เกิน 400
4. ฟอสฟอรัสทั้งหมด	92.82±0.30	มก. ฟอสฟอรัส/ล.	-
5. ออโรฟอสฟอรัส	61.06±0.07	มก. ฟอสฟอรัส/ล.	-

หมายเหตุ: (-) หมายถึง ไม่มีหน่วยและไม่มีกำหนดไว้ในมาตรฐานน้ำทิ้ง

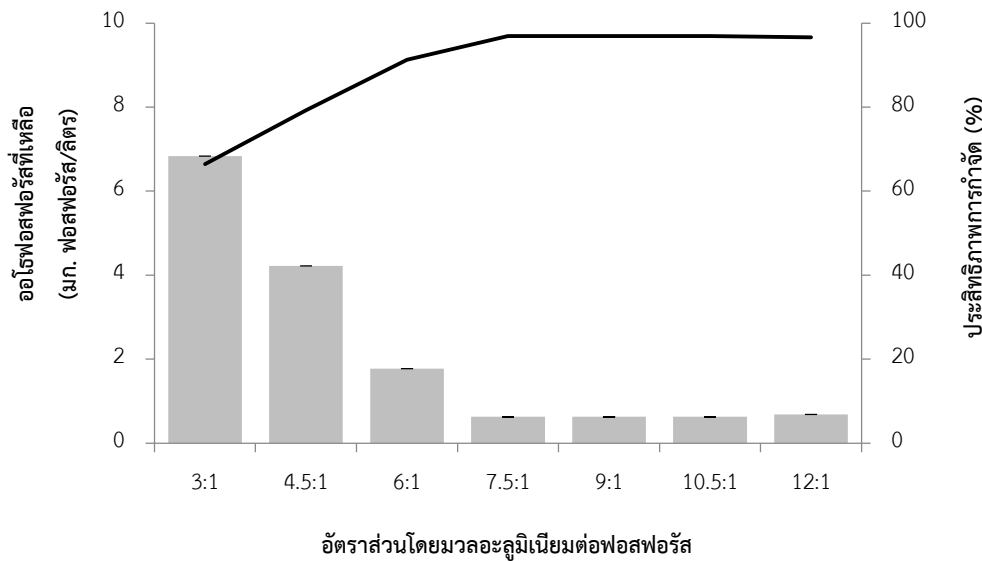
: เก็บน้ำตัวอย่างครั้งเดียว ณ วันที่ 3 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 และวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง

: มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรขนาดกลางและขนาดเล็ก (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548)

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสที่เหมาะสมในการกำจัดออโรฟอสฟอรัสในน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดขั้นสุดท้ายพร้อมปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้และโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายทางการค้ามีอัตราส่วนเหมือนกัน คือ 7.5:1 เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสทางทฤษฎีเท่ากับ 0.9:1 พบว่าต้องใช้ปริมาณของอะลูมิเนียมมากกว่าทางทฤษฎีประมาณ 8 เท่า โดยสามารถกำจัดออโรฟอสฟอรัสได้ถึงร้อยละ 96.12 และ 96.92 เมื่อตกตะกอนด้วยโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้และโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายทางการค้า ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.24 และ 4.25



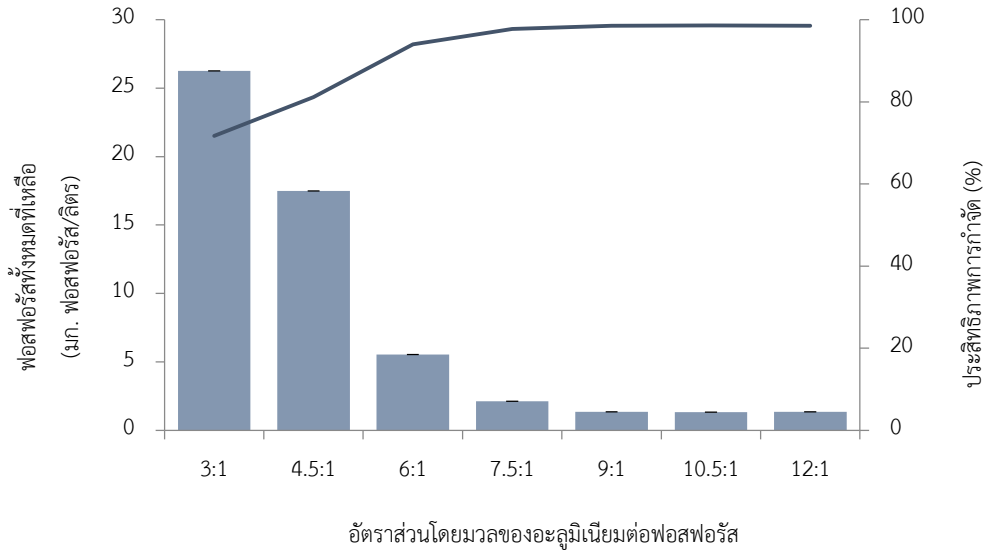
ภาพที่ 4. 24 ประสิทธิภาพการกำจัดออโรฟอสฟอรัสของน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดขั้นสุดท้ายพร้อมปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้



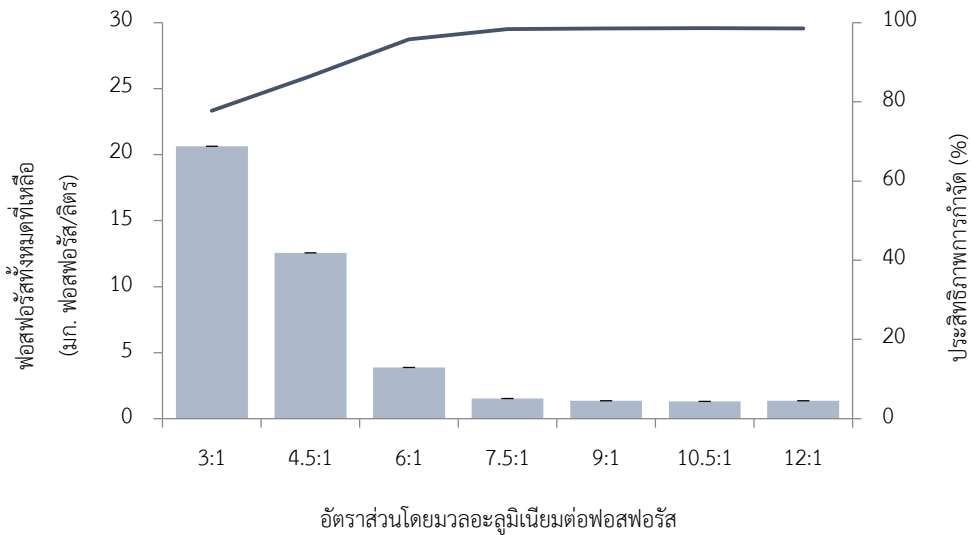
ภาพที่ 4. 25 ประสิทธิภาพการกำจัดออโรฟอสฟอรัสของน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดขั้นสุดท้ายพร้อมปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตทางการค้า

อัตราส่วนโดยมวลอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสที่เหมาะสมของการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดขั้นสุดท้ายพร้อมปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้และโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายทางการค้ามีอัตราส่วนเหมือนกัน คือ 7.5:1 เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสทางทฤษฎี

เท่ากับ 0.9:1 พบว่าต้องใช้ปริมาณของอะลูมิเนียมมากกว่าทางทฤษฎีประมาณ 8 เท่า โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ถึงร้อยละ 97.72 และ 98.36 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.26 และ 4.27



ภาพที่ 4. 26 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดขั้นสุดท้ายพร้อมปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้



ภาพที่ 4. 27 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดขั้นสุดท้ายพร้อมปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตทางการค้า

เปรียบเทียบน้ำหนักตะกอนจากน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดขั้นสุดท้ายพร้อมปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้และโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายทางการค้าที่จำนวนเท่าของอัตราส่วนอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสต่างๆ ดังตารางที่ 4.11 พบว่าเพิ่มปริมาณโซเดียมอะลูมิเนตส่งผลให้ปริมาณตะกอนเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากโซเดียมอะลูมิเนตเป็นสารตกตะกอนชนิดหนึ่ง จึงทำให้เกิดการตกตะกอนมากยิ่งขึ้น มีส่วนช่วยให้แบคทีเรียและสารอินทรีย์ฟอสฟอรัสตกตะกอนลงมามากขึ้น แต่ปริมาณตะกอนที่กำจัดด้วยโซเดียมอะลูมิเนตทางการค้ามีค่าสูงกว่าเล็กน้อยเพราะมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4. 11 น้ำหนักตะกอนจากน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดขั้นสุดท้ายพร้อมปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติที่อัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสต่างๆ

น้ำหนัก ตะกอน (กรัมต่อลิตร)	อัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัส							
	3:1	4.5:1	6:1	7.5:1	9:1	10.5:1	12:1	13.5:1
โซเดียม อะลูมิเนตที่ เตรียมได้	31.08	43.87	51.19	51.65	59.02	58.98	59.2	59.0
โซเดียม อะลูมิเนต ทางการค้า	41.08	51.82	53.39	53.63	59.93	59.96	60.0	60.0

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสพบว่าโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมจากของเสียอะลูมินา สามารถนำมาใช้ประโยชน์โดยนำมาตกตะกอนฟอสฟอรัสทั้งรูปของออร์โธฟอสฟอรัสและฟอสฟอรัสทั้งหมดจากน้ำเสียที่มีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำอย่างเช่นน้ำเสียชุมชนที่ผ่านระบบบำบัดทางชีวภาพแล้ว นอกจากนี้ยังสามารถกำจัดออร์โธฟอสฟอรัสและฟอสฟอรัสทั้งหมดจากน้ำเสียที่มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงมากอย่างน้ำเสียฟาร์มสุกร นอกจากนี้จากผลการทดลองยังพบว่าโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมจากของเสียอะลูมินาสามารถใช้งานได้ดีเทียบเท่ากับโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายทางการค้า โดยมีสัดส่วนการใช้ตกตะกอนออร์โธฟอสฟอรัสและฟอสฟอรัสทั้งหมดใกล้เคียงกัน

ดังนั้นจากผลการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดออร์โธฟอสฟอรัสและฟอสฟอรัสทั้งหมดจากน้ำเสียสังเคราะห์ น้ำเสียจริงทั้ง 3 ชนิดจึงยืนยันได้ว่าโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้จากของเสียอะลูมินามีโครงสร้างทางกายภาพและเคมีเหมือนอะลูมิเนตที่ขายทางการค้าทุกประการ

4.5 การเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ

4.5.1 การเตรียมโซเดียมอะลูมิเนต

ผลความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์และอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินาที่เหมาะสมในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนต พบว่าความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์และอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินาที่เหมาะสมในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตคือ 6 โมลาร์และอัตราส่วน 2:0.75 หรือคิดเป็น 2.67 ซึ่งใกล้เคียงกับการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตเพื่อผลิต ซีโอไลต์ของ Grutzeck และ Siemer (1997) พบว่าอัตราส่วนของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินาในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตเท่ากับ 3:1 หรือคิดเป็น 3

4.5.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสกับสารตกตะกอนชนิดต่างๆ

ตารางที่ 4. 12 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดของสารตกตะกอนแต่ละชนิด

สารตกตะกอน	ค่าพีเอชที่เหมาะสม	ปริมาณที่ใช้	ประสิทธิภาพการกำจัด	อ้างอิง
สารส้ม ($Al_2(SO_4)_3$)	7.00	376.85 มก./ล.	กำจัดออร์โธฟอสเฟต ร้อยละ 91.94 และฟอสฟอรัส ทั้งหมดร้อยละ 89.96	นภา วัฒนยง (2544)
	6.5-8.0	60 มก./ล.	กำจัดออร์โธฟอสเฟต ร้อยละ 90	Ebeling และ คณะ (2004)
เฟอร์ริคคลอไรด์ ($FeCl_3$)	5-10	60 มก./ล.	กำจัดออร์โธฟอสเฟต ร้อยละ 90	Ebeling และ คณะ (2004)
	4-12	0.1 มก./ล.	กำจัดฟอสเฟต ร้อยละ 37	Zhou และ คณะ (2008)
เฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4$)	4.5	280 มก./ล.	กำจัดฟอสเฟต ร้อยละ 63	Fytianos และคณะ (1998)
	7-11	350 มก./ล.	กำจัดฟอสเฟต ร้อยละ 96.9	จารุวรรณ เกษมทรัพย์ (2538)

ตารางที่ 4. 12 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดของสารตกตะกอนแต่ละชนิด (ต่อ)

สารตกตะกอน	ค่าพีเอชที่เหมาะสม	ปริมาณที่ใช้	ประสิทธิภาพการกำจัด	อ้างอิง
สารส้มร่วมกับไคโตแซน	7.10	188.43 มก./ล.	กำจัดอโรพอสเฟต ร้อยละ 94.36 และฟอสฟอรัส ทั้งหมดร้อยละ 92.29	นภา วัฒน ยง (2544)
โซเดียมอะลูมิเนต	6-8	20-30 มก./ล.	กำจัดฟอสเฟตได้มากกว่าหรือเท่ากับ ร้อยละ 99	Katz และ Dosoretz (2008)
โซเดียมอะลูมิเนต	6.5	10-15 มก./ล.	กำจัดอโรพอสฟอรัสในน้ำเสีย สังกะราหะที่ร้อยละ 84.15	งานวิจัยนี้
โซเดียมอะลูมิเนต	6.5	20-30 มก./ล.	กำจัดอโรพอสฟอรัสและฟอสฟอรัส ทั้งหมดในน้ำเสียชุมชนได้ร้อยละ 95.01 และ 88.76 ตามลำดับ	งานวิจัยนี้
โซเดียมอะลูมิเนต	6.5	55-70 มก./ล.	กำจัดอโรพอสฟอรัส และฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสีย ฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดแบบไร้อากาศได้ร้อยละ 99.46 และ 97.83 ตามลำดับ	งานวิจัยนี้
โซเดียมอะลูมิเนต	6.5	40-46 มก./ล.	กำจัดอโรพอสฟอรัส และฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสีย ฟาร์มสุกรที่บำบัดขั้นสุดท้ายได้ร้อยละ 96.40 และ 98.39 ตามลำดับ	งานวิจัยนี้

จากตารางที่ 4.12 เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดของสารตกตะกอนแต่ละชนิด พบว่าโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้จากของเสียอะลูมินามีประสิทธิภาพในการกำจัดอโรพอสฟอรัส และฟอสฟอรัสทั้งหมดดีเทียบเท่ากับการใช้สารเคมีชนิดอื่น และค่าพีเอชของการตกตะกอน ฟอสฟอรัสเท่ากับ 6.5 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Katz และ Dosoretz (2008) ที่มีค่าพีเอชของการตกตะกอนฟอสเฟตอยู่ในช่วง 6-8

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี และนำโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้มาใช้ประโยชน์ต่อในการกำจัดฟอสฟอรัสจากน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียฟาร์มสุกร โดยทำการศึกษาความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์และอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนต ศึกษาค่าพีเอชในการตกตะกอน อัตราส่วนของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัส และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียฟาร์มสุกรเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียฟาร์มสุกร รวมทั้งศึกษาการประเมินค่าใช้จ่ายในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมจากของเสียอะลูมินาเปรียบเทียบกับโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายทางการค้า ซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัยรวมทั้งข้อเสนอแนะต่างๆ ได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการศึกษา

5.1.1 สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินา

การทดลองหาความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์และอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินาที่เหมาะสมในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนต พบว่าความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์และอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินาที่เหมาะสมในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตคือ 6 โมลาร์และอัตราส่วน 2:0.75 จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer : XRD) เกิดพีคที่มีความสอดคล้องกับพีคของโซเดียมอะลูมิเนตมาตรฐานสูงสุดและไม่มีพีคของของเสียอะลูมินาเกิดขึ้น และมีร้อยละการเกิดผลึกเท่ากับ 100 เมื่อศึกษาลักษณะของโครงสร้างผลึกที่เกิดขึ้นจะเห็นว่าโครงสร้างผลึกส่วนใหญ่ของโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้มีลักษณะโครงสร้างเหมือนกับโครงสร้างผลึกของโซเดียมอะลูมิเนตมาตรฐานแต่โครงสร้างผลึกของโซเดียมอะลูมิเนตนี้ยังมีผลึกของของเสียอะลูมินาปนอยู่ ส่วนองค์ประกอบทางเคมีของธาตุต่างๆ ส่วนมากประกอบไปด้วยอะลูมินา (Al_2O_3) มีค่าร้อยละ 50.5 และโซเดียมออกไซด์ (Na_2O) มีค่าร้อยละ 34.6 ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณของอะลูมินาและโซเดียมออกไซด์ของโซเดียมอะลูมิเนตมาตรฐาน

5.1.2 ค่าใช้จ่ายในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินา

การศึกษาต้นทุนการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินาเปรียบเทียบกับโซเดียมอะลูมิเนตทางการค้าและประเมินค่าใช้จ่ายเปรียบเทียบกับการจัดการของเสียอะลูมินา พบว่าค่าใช้จ่ายในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตรวมทั้งสิ้น 39.43 บาทต่อกิโลกรัม เมื่อนำค่าใช้จ่ายในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินามาเปรียบเทียบกับราคาของโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายเป็นการค้ามีราคาเท่ากับ 1488 บาทต่อกิโลกรัม และค่าใช้จ่ายในการจัดการของเสียอะลูมินาถ้านำมากำจัดโดยการฝังกลบมีค่าใช้จ่ายในการฝังกลบ 3,200 บาทต่อตัน ค่าขนส่ง 2,200 บาทต่อครั้ง 1 ครั้งบรรทุกได้ 8 ตัน แต่ถ้านำมากำจัดโดยการเผากับปูนซีเมนต์มีค่าใช้จ่ายในการเผาและค่าขนส่ง 3,000 ถึง 4,000 บาทต่อตัน สามารถสรุปได้ว่าโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้มีราคาต่ำมากเมื่อเทียบกับราคาของโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายเป็นการค้า จึงถือเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียอะลูมินาและยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในการจัดการของเสียอะลูมินา เป็นแนวทางหนึ่งในการลดปริมาณของเสียเพื่อไปกำจัดยังหลุมฝังกลบโดยนำมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตและถือว่าการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า

5.1.3 การนำโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมจากของเสียอะลูมินามาใช้กำจัดฟอสฟอรัสจากน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียฟาร์มสุกร

1) การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการกำจัดฟอสฟอรัส คือ อัตราส่วนของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัส (Al : P) 3:1 ที่พีเอช 6.5 ซึ่งมากกว่าอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสทางทฤษฎีประมาณ 3 เท่า

2) อัตราส่วนโดยมวลอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสที่เหมาะสมของการกำจัดออร์โธฟอสฟอรัสและฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียชุมชนโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้และโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายทางการค้ามีอัตราส่วนใกล้เคียงกันเท่ากับ 6:1 และ 7.5:1 คิดเป็น 6 และ 8 เท่าของอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสทางทฤษฎี

3) อัตราส่วนโดยมวลอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสที่เหมาะสมของการกำจัดออร์โธฟอสฟอรัสและฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดแบบไร้อากาศ โดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้และโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายทางการค้ามีอัตราส่วนเหมือนกัน คือ 9:1 คิดเป็น 10 เท่าสำหรับน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดขั้นสุดท้ายพร้อมปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ พบว่าการใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้และโซเดียมอะลูมิเนตที่ขายทางการค้ามีอัตราส่วนเหมือนกัน คือ 7.5:1 คิดเป็น 8 เท่า ของอัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสทางทฤษฎี

4) การตกตะกอนฟอสฟอรัสจากน้ำเสียฟาร์มสุกรอาจนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร โดยนำไปปรับสภาพดิน ซึ่งปริมาณตะกอนฟอสฟอรัสที่เกิดขึ้นจากสภาวะที่เหมาะสมต่อการกำจัด ฟอสฟอรัสในน้ำเสียฟาร์มสุกรมีปริมาณค่อนข้างสูง 60 ถึง 80 กรัมต่อลิตร และตะกอนอะลูมิเนียม ฟอสเฟตที่เกิดขึ้นจัดเป็นของเสียไม่อันตราย เนื่องจากของเสียอะลูมิเนียมที่นำมาใช้เตรียมโซเดียม อะลูมิเนตไม่จัดเป็นของเสียอันตรายจึงสรุปได้ว่าตะกอนอะลูมิเนียมฟอสเฟตที่เกิดขึ้นไม่เป็นของเสีย อันตรายด้วย ดังนั้นจึงสามารถนำตะกอนที่เกิดขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้อย่างคุ้มค่า ลดต้นทุนในการใช้ปุ๋ย และนอกจากนี้ยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกอนจากการกำจัดฟอสฟอรัส

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ศึกษาการนำของเสียอะลูมินาที่ใช้กำจัดความชื้นเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ในด้านอื่น เช่น นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตคอนกรีต นำมาใช้เป็นตัวรองรับบนโลหะชนิดต่างๆ เพื่อไปเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และนำมาใช้เป็นวัตถุดิบผลิตซีโอไลต์ เป็นต้น
- 2) ศึกษาการนำโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้จากของเสียอะลูมินาไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นต่อไป

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กรณีการ สิริสิงห (2544). เคมีของน้ำ น้ำโสโครกและการวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2552). เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำ
ทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร. ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและ
- สิ่งแวดล้อม.
- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2553). เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำ
ทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน. ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและ
- สิ่งแวดล้อม.
- กระทรวงอุตสาหกรรม (2548). เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว. ประกาศกระทรวง
- อุตสาหกรรม.
- กองจัดการคุณภาพน้ำ (2545). น้ำเสียชุมชนและระบบบำบัดน้ำเสีย. กรมควบคุมมลพิษ
- กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- กิตติพันธ์ บางยี่ขัน (2551). โลหะกับการพัฒนาประเทศ. สำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรม
- อุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่.
- จรรุวรรณ เกษมทรัพย์, 2538. การกำจัดฟอสเฟตจากน้ำเสียชุมชนโดยกระบวนการตกตะกอนทาง
เคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- จิราพร พะยอมหอม, 2554. ดื้อออกซิเจนชั้นของไบโอบีโอสเฟสที่ได้จากไฟโรไลซิสของกระถินยักษ์
Leucaena leucocephala โดยใช้แพลทินัมรองรับบนอะลูมินา. วิทยานิพนธ์ปริญญา
- โท สาขาเทคโนโลยีเชื้อเพลิง ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
- มหาวิทยาลัย.
- จิราภรณ์ วงศ์สุวรรณ. การดูดซับและการแลกเปลี่ยนไอออน. [ออนไลน์]. 2556, แหล่งที่มา:
<http://www.kasetpibul.net>. [28 มกราคม 2557]
- ณัฐธรา ตั้งกิตติธรา, 2552. โครงสร้างและคุณภาพของปูนซีเมนต์ที่ใช้ของเสียอันตรายผสมรวมใน
กระบวนการผลิตโดยใช้เตาเผาปูนซีเมนต์ขยายต่อส่วน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขา
- ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เดชา ฉัตรศิริเวช (2552). กระบวนการดูดซับ. กรุงเทพมหานคร, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์
- มหาวิทยาลัย.

- ทะนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, อติพงศ์ นันทพันธ์, พิสุทธิ กลิ่นขจร และวันรบ กิตินาน (2545). รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์การประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศและปั๊มความร้อนโดยการใช้สารดูดความชื้นแบบของแข็ง, สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- ทิฆัมพร นารี, 2554. ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบสจากโดโลไมต์ธรรมชาติสำหรับทรานส์เอสเทอร์ิเฟชันของน้ำมันพืช. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เทพฤทธิ์ ปิติฤทธิ์, 2544. การกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟในสารละลายสีย้อมโดยการดูดซับซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- นงลักษณ์ บรรยงวิจัย และวิชาญ วันโพนทอง (2545). ประโยชน์ของแร่บอกไซต์. บทความวิทยุกระจายเสียงครั้งที่ 24 กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ.
- นภา วัฒนยง, 2544. การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งชุมชนที่ผ่านการบำบัดขั้นที่ 2 โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารร่วมกับโคโคแชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ประพจน์ จูแข่งเจริญ. โซเดียมอะลูมิเนต. [ออนไลน์]. 2554, แหล่งที่มา: <http://www.familyegg08.blogspot.com>. [9 กุมภาพันธ์ 2557]
- ผุสดี แพทย์นุเคราะห์, 2546. การนำซิลิกา-อะลูมินาและขานอ้อยที่ใช้แล้วมาใช้ประโยชน์ในการทำคอนกรีตบล็อก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เพลงประพันธ์ กิ่งทอง และเพชรพร เขาวกิจเจริญ. (2555). "การจัดการของเสียอะลูมินาโดยวิธีการปรับเสถียรโดยการทำเป็นก้อนแข็ง." เอกสารประกอบการประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9 วันที่ 6-7 ธันวาคม 2555: 490-496.
- เพิ่มพูล ทองไพบูลย์ (2554). คู่มือการปฏิบัติงาน เรื่อง การทำจาร์เทศต์. การประชาสัมพันธ์ภูมิภาค.
- ไพรัช ทองละเอียด, 2553. การปรับปรุงสมบัติเชิงกลของวัสดุชีวภาพเชิงประกอบไฮดรอกซีแอปาทาइट-อะลูมินาด้วยอนุภาคเซอร์โคเนีย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเซรามิก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- มันสิน ตันจุลเวศม์ (2540). คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตันจุลเวศม์ (2542). วิศวกรรมประปา. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- วรชยา ไชยโคตร, 2553. สมบัติเชิงกลและโครงสร้างจุลภาคของวัสดุเชิงประกอบอะลูมินา/ถังสแตนคาร์ไบด์-โคบอลต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุภาพร จันรุ่งเรือง, เบญจมาศ รสโสภา และกรรณิการ์ สัจจาพันธ์ (2553). "ผลของแบคทีเรียละลายฟอสเฟต *Burkholderia* sp. สายพันธุ์ Rs01 ต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2." วิทยาสารกำแพงแสน 8: 1-14.



ภาษาอังกฤษ

- Amirtharajah, A. and O'melia, C. R. (1990). "Coagulation processes: destabilization, mixing, and flocculation." MCGRAW-HILL, INC.,(USA). 1194: 1990.
- Cao, S., Zhang, Y. and Zhang, Y. (2009). "Preparation of sodium aluminate from the leach liquor of diasporic bauxite in concentrated NaOH solution." Hydrometallurgy 98(3): 298-303.
- Contreras, C., Sugita, S. and Ramos, E. (2006). "Preparation of sodium aluminate from basic aluminum sulfate." Advances in Technology of Materials and Materials Processing Journal 8(2): 122.
- Dash, B., Tripathy, B., Bhattacharya, I., Das, S., Mishra, C. and Pani, B. (2007). "Effect of temperature and alumina/caustic ratio on precipitation of boehmite in synthetic sodium aluminate liquor." Hydrometallurgy 88(1): 121-126.
- De Haas, D., Wentzel, M. and Ekama, G. (2000). "The use of simultaneous chemical precipitation in modified activated sludge systems exhibiting biological excess phosphate removal Part 1: Literature review." WATER SA-PRETORIA- 26(4): 439-452.
- Ebeling, J. M., Ogden, S. R., Sibrell, P. L. and Rishel, K. L. (2004). "Application of chemical coagulation aids for the removal of suspended solids (TSS) and phosphorus from the microscreen effluent discharge of an intensive recirculating aquaculture system." North American Journal of Aquaculture 66(3): 198-207.
- Edgell, K. (1989). USEPA Method Study 37 SW-846 Method 3050 Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils, US Environmental Protection Agency, Environmental Monitoring Systems Laboratory.
- Fytianos, K., Voudrias, E. and Raikos, N. (1998). "Modelling of phosphorus removal from aqueous and wastewater samples using ferric iron." Environmental Pollution 101(1): 123-130.
- Grutzeck, M. W. and Siemer, D. D. (1997). "Zeolites synthesized from class F fly ash and sodium aluminate slurry." Journal of the American Ceramic Society 80(9): 2449-2453.

- Hajimohammadi, A., Provis, J. L. and Van Deventer, J. S. (2008). "One-part geopolymers from geothermal silica and sodium aluminate." Industrial & Engineering Chemistry Research 47(23): 9396-9405.
- Han, J., Wang, K., Shi, J. and Wang, Y. (2014). "Influence of sodium aluminate on cement hydration and concrete properties." Construction and Building Materials 64: 342-349.
- Hsu, P. H. (1976). "Comparison of iron (III) and aluminum in precipitation of phosphate from solution." Water Research 10(10): 903-907.
- Hudson, L., Misra, C., Perrotta, A., Wefers, K. and Williams, F. (2012). Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Vol. 2, Wiley-VCH, Weinheim, Germany.
- Katz, I. and Dosoretz, C. G. (2008). "Desalination of domestic wastewater effluents: phosphate removal as pretreatment." Desalination 222(1): 230-242.
- Keller, R. J. and Len, J. J. (2003). "Aluminates." Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology.
- Metcalf, E., Eddy, H. and Tchobanoglous, G. (1991). "Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse." Water Resources and Environmental Engineering.
- Michael, D., Phillip, L. and Jeffrey, C. E. (2001). "Hazardous waste management." Environmental Resources Management.
- Moore, P. and Miller, D. (1994). "Decreasing phosphorus solubility in poultry litter with aluminum, calcium, and iron amendments." Journal of Environmental Quality 23(2): 325-330.
- Muthukumari, B., Selvam, K., Muthuvel, I. and Swaminathan, M. (2009). "Photoassisted hetero-Fenton mineralisation of azo dyes by Fe (II)-Al₂O₃ catalyst." Chemical Engineering Journal 153(1): 9-15.
- Rand, M., Greenberg, A. E. and Taras, M. J. (1976). Standard methods for the examination of water and wastewater, Prepared and published jointly by American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Pollution Control Federation.
- Ripley, P. (1974). "Nutrient removal--an American experience." Water pollution control.
- Russell, E., C., Haddonfield, N., J. and Charence, W., B. (1935). Process of making sodium aluminate. United States Patent.

- Sahu, N., Sarangi, C., Tripathy, B., Bhattacharya, I. and Satpathy, B. (2014). "Effect of urea on decomposition of sodium aluminate solution." Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers 45(3): 815-822.
- Vane, R. Activated alumina. [online] . 2002 , Available from: http://en.wikipedia.org/wiki/Activated_alumina. [3 February 2014]
- Wan, T., Yu, P., Wang, S. and Luo, Y. (2009). "Application of sodium aluminate as a heterogeneous base catalyst for biodiesel production from soybean oil." Energy & Fuels 23(2): 1089-1092.
- Wiechers, J., Twomey, T., Kolb, D. and Behm, R. (1988). "An in-situ scanning tunneling microscopy study of Au (1 1 1) with atomic scale resolution." Journal of electroanalytical chemistry and interfacial electrochemistry 248(2): 451-460.
- Worrall, W. E. (1986). Clays and ceramic raw materials, Springer Science & Business Media.
- Zhou, Y., Pijuan, M. and Yuan, Z. (2008). "Development of a 2-sludge, 3-stage system for nitrogen and phosphorous removal from nutrient-rich wastewater using granular sludge and biofilms." Water Research 42(12): 3207-3217.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



**ภาคผนวก ก.1 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในกากของเสียด้วยวิธีการย่อยด้วยกรด ตาม
มาตรฐาน U.S.EPA.3050 (Edgell, 1989)**

1. นำตัวอย่างของเสียปริมาณ 1 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 125 มิลลิลิตร
2. เตรียมกรดไนตริกผสมน้ำกลั่นที่อัตราส่วน 1 ต่อ 1 ใส่ลงไปบีกเกอร์ที่มีตัวอย่างของเสียปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วนำบีกเกอร์ไปตั้งบนเตาเป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส
3. ครบ 10 นาที ยกบีกเกอร์ลงทิ้งให้เย็นแล้วเติมกรดไนตริกเข้มข้นปริมาตร 5 มิลลิลิตร
4. นำไปตั้งบนเตาอีกครั้งเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นยกบีกเกอร์ลงทิ้งให้เย็นเติมน้ำกลั่น 2 มิลลิเมตร
5. เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 30 ปริมาตร 3 มิลลิลิตร จนกระทั่งฟองอากาศหายไป แล้วจึงค่อยๆเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 30 จนกระทั่งไม่มีฟองอากาศ แล้วนำไปตั้งบนเตาอีกครั้ง ต้มไปเรื่อยๆจนกระทั่งมีปริมาตรกรดเหลือ 2 มิลลิลิตร
6. ยกบีกเกอร์ลงและเติมน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร เขย่าแล้วรอจนเย็น
7. นำไปกรองด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 42 แล้วเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร เก็บใส่ขวดพลาสติก
8. นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องอินดักทีฟพลาสมาออปติคอลลิมิซชันสเปกโตรเมทรี (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer (ICP-OES))

ภาคผนวก ก.2 การทดสอบสิ่งปนเปื้อนหรือวัสดุไม่ใช้แล้ว โดยการทดสอบการชะละลาย

ด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2548)

1. นำตัวอย่างมาบดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร แล้วชั่งมา 50 กรัม
2. เตรียมน้ำสกัดใช้สารละลาย 0.2 โมลาร์ โซเดียมซิติเรท ที่พีเอช 5.0 ± 0.1 โดยเตรียมได้จากสารละลายซิติริก นำมาปรับพีเอชให้เป็น 5.0 ด้วยสารละลาย 4.0 นอร์มัล โซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยเติมในปริมาณที่เหมาะสม (สำหรับการทดสอบการชะละลายของเฮกซะวาเลนท์โครเมียม (Cr(VI)) ให้ใช้เป็นที่ปราศจากไอออนเป็นสารสกัด)
3. นำน้ำสกัดเทใส่ตัวอย่างในอัตราส่วนของสารสกัด 10 มิลลิลิตรต่อ 1 กรัมของของแข็ง
4. นำตัวอย่างที่ได้ไปเขย่าโดยใช้โต๊ะเขย่า (table shaker) ให้ของผสมอยู่ในสภาพถูกกวนผสมเป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง
5. จากนั้นนำไปกรองหรืออาจปั่นด้วยแรงเหวี่ยง (centrifuged) แล้วมากรองผ่านแผ่นกรองเมมเบรนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูกรอง 0.45 ไมครอน โดยใช้ขวดดูดผนังหนา (thick-walled suction flask) ที่สะอาด สำหรับของแข็งขนาดหยาบสามารถใช้การกรองด้วยความดัน (Pressure filtration) แทนการกรองด้วยสุญญากาศ (vacuum filtration) ได้
6. ควรปรับอุณหภูมิในระหว่างสกัดอยู่ระหว่าง 20-40 องศาเซลเซียส
7. ในกรณีที่ต้องการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะเท่านั้น ให้ถ่ายสารละลายที่กรองได้ ลงในขวดโพลีเอทิลีนและปรับสภาพให้เป็นกรดด้วยกรดไนตริก เป็นร้อยละ 5 โดยปริมาตร (ให้ปรับสภาพให้เป็นกรดทันทีหลังจากผ่านการกรอง)
8. นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องอินดักทีฟลีคอปเปิลพลาสมาออปติคอลลิมิสชันสเปกโตรเมทรี (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer (ICP-OES))

ภาคผนวก ก.3 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยการย่อยสลายโดยใช้กรดซัลฟูริก-กรดไนตริก
(Rand และคณะ, 1976)

1. นำตัวอย่างมา 20 มิลลิลิตร ใส่ในขวดไมโครเจลดาห์ล เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 มิลลิลิตร และกรดไนตริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร
2. นำตัวอย่างไปต้มในเตาที่เคเอ็นหรือในตู้ดูดควันจนได้ปริมาตรเหลือ 1 มิลลิลิตร และย่อยสลายตัวอย่างต่อจนกระทั่งได้สารละลายที่ใสไม่มีสีเพื่อไล่ HNO_3
3. ทิ้งให้เย็น เติมน้ำกลั่นประมาณ 20 มิลลิลิตรและฟีนอลฟธาไลน์ 1 หยด เขย่าให้เข้ากัน ค่อยๆ เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 นอร์มอล จนได้สีชมพู เทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร
4. นำไปหาค่าฟอสฟอรัสโดยใช้วิธีแวนนาโดโมลิบโดฟอสฟอริกแอซิก โดยเติมน้ำยวานาโดโมลิบเดท 10 มิลลิลิตร จะได้สารละลายสีเหลืองแล้วเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรครบ 50 มิลลิลิตรและวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ 420 นาโนเมตร
5. เปรียบกราฟมาตรฐาน โดยทำอนุกรมของสารละลายมาตรฐานออร์โธฟอสเฟตที่ผ่านการย่อยสลายแล้ว ห้ามใช้สารละลายมาตรฐานออร์โธฟอสเฟตที่ไม่ได้ผ่านการย่อยสลายเพราะเกลือที่เติมลงไปในขณะที่ย่อยสลายทำให้สีที่เข้มขึ้น

การคำนวณ

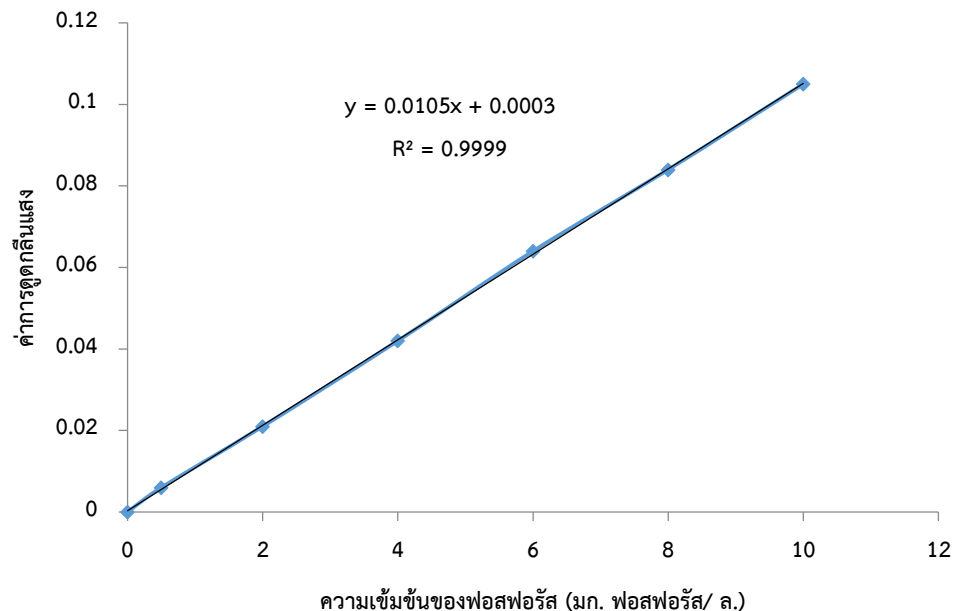
$$\text{ฟอสฟอรัส, มิลลิกรัมต่อลิตร} = \frac{\text{ไมโครกรัมฟอสฟอรัส (ปริมาตรสุดท้าย 50 มิลลิลิตร)}}{(\text{ปริมาณตัวอย่าง, มิลลิลิตร})}$$

หมายเหตุ ปริมาตรสุดท้ายของตัวอย่างนำก่อนนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงอาจใช้เป็น 100 มิลลิลิตร ได้แต่จะต้องทำกราฟมาตรฐานให้มีปริมาตรของสารละลายมาตรฐานเท่ากับ 100 มิลลิลิตรเช่นกันทุกความเข้มข้น

ภาคผนวก ก.4 การหาปริมาณออร์โธฟอสเฟตโดยวิธีแวนาโดมolibโดฟอสฟอริกแอซิด (Rand และคณะ, 1976)

1. ปรับพีเอชของน้ำตัวอย่างให้เป็นกลาง พีเอชไม่เกิน 8
2. ปิเปตตัวอย่างน้ำ 35 มิลลิลิตรหรือน้อยกว่า (มี P 0.05-1 มิลลิกรัม) ใส่ลงในหลอดเนสเลอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร (หรือวัดปริมาตร)
3. เติม 10 มิลลิลิตร สารละลายแวนนาเดียมเพนทาไฮดรอกไซด์ แล้วเจือจางเป็น 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ 10 นาที แล้วจึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร
4. การเตรียมกราฟมาตรฐาน : เตรียมกราฟมาตรฐานฟอสเฟต โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตมาตรฐานต่างๆ (0, 2, 4, 6, 8 และ 10) โดยทำวิธีเดียวกับตัวอย่างข้างต้นนำค่าความเข้มข้นของสารละลาย ฟอสเฟตมาตรฐานต่างๆ พล็อตกราฟกับค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้บนกระดาษ

จะได้กราฟเส้นตรง คำนวณหาค่าความเข้มข้นของฟอสเฟตในตัวอย่าง โดยอ่านจากกราฟมาตรฐานที่เตรียมได้



ภาพที่ ก. 4. 1 กราฟมาตรฐานฟอสฟอรัส



ภาคผนวก ข.1 ร้อยละการเกิดผลึกโซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมจากของเสียอะลูมินา

ตารางที่ ข.1. 1 ร้อยละการเกิดผลึกโซเดียมอะลูมิเนตของความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์

ความเข้มข้น โซเดียม ไฮดรอกไซด์ (โมลาร์)	ความเข้มข้นตำแหน่งพีคของโซเดียมอะลูมิเนต						ผลรวม ความ เข้มข้น	ร้อยละ การเกิด ผลึก
	19.9	19.94	29.48	32.4	33.48	34.12		
2	0	0	0	0	0	0	0	0
4	88	142	142	116	230	218	936	33.35
6	434	504	998	886	1282	1190	5294	94.85
8	226	272	641	494	955	894	3482	78.28
10	298	420	900	648	1092	1332	4690	81.25
12	296	404	598	480	870	794	3442	73.87
14	286	400	864	768	1008	1012	4338	80.32
16	366	444	964	748	1074	1166	4762	83.56
18	388	476	1010	922	1088	1246	5130	85.13
20	438	310	990	972	1094	1304	5108	86.40

ตารางที่ ข.1. 2 ร้อยละการเกิดผลึกโซเดียมอะลูมิเนตของอัตราส่วนโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินา

อัตราส่วน โซเดียม ออกไซด์ต่อ อะลูมินา	ความเข้มข้นตำแหน่งพีคของโซเดียมอะลูมิเนต						ผลรวม ความ เข้ม	ร้อยละ การเกิด ผลึก
	19.9	19.94	29.48	32.4	33.48	34.12		
2:0.1	394	394	1192	932	1262	1426	5600	81.60
2:0.25	434	500	1078	942	1346	1430	5730	84.39
2:0.5	240	352	704	608	932	824	3660	70.05
2:0.75	650	542	1328	1234	1598	1546	6898	95.11
2:1	434	492	1064	924	1282	1190	5386	81.01
2:1.5	90	194	728	490	820	811	3133	68.40
2:2	250	380	728	546	832	822	3558	65.24
2:2.5	136	186	356	370	574	522	2144	56.93
2:3	120	190	276	210	414	302	1512	40.15

ตารางที่ ข.1. 3 ร้อยละการเกิดผลึกโซเดียมอะลูมิเนตของอัตราส่วนโซเดียมออกไซด์ต่ออะลูมินาที่ 2:0.75

ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ (โมลาร์)	ความเข้มข้นในตำแหน่งพีคของโซเดียมอะลูมิเนต						ผลรวมความเข้มข้น	ร้อยละการเกิดผลึก
2	0	0	0	0	0	0	0	0
4	92	230	358	322	538	428	1968	28.53
6	650	542	1328	1234	1598	1546	6898	94.84
8	598	598	900	704	1156	1234	5190	75.24
10	698	564	978	684	1066	1344	5334	77.33

ภาคผนวก ข.2 การคำนวณต้นทุนในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินา

ตารางที่ ข.2. 1 ราคาวัตถุดิบที่ใช้เตรียมโซเดียมอะลูมิเนต 1 กิโลกรัม

วัตถุดิบ	ปริมาณที่ใช้ (กิโลกรัม)	ราคาต่อหน่วย กิโลกรัม (บาท)	ราคาต่อกิโลกรัม (บาท)
ของเสียอะลูมินา	0.7832	-	-
โซเดียมไฮดรอกไซด์	1.6429	24	39.43
รวม			39.43

หมายเหตุ: (-) หมายถึง ไม่มีค่าใช้จ่ายในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนต

: ค่าใช้จ่ายในการเตรียมโซเดียมอะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินาพิจารณาเฉพาะค่าสารเคมีเท่านั้น

ภาคผนวก ข.3 การกำจัดอโรฟอสฟอรัสจากน้ำเสียสังเคราะห์

ตารางที่ ข.3. 1 การกำจัดอโรฟอสฟอรัสที่อัตราส่วนโดยมวลของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสต่างๆ

อัตราส่วน Al:P	การดูดกลืนแสง				ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน	อโร ฟอสฟอรัสที่ เหลือ (มก. ฟอสฟอรัส/ล.)	ร้อยละ การ กำจัด
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย			
0.9:1	0.015	0.015	0.014	0.015	0.001	2.280	15.66
1.7:1	0.012	0.012	0.011	0.012	0.001	1.804	33.27
2.1:1	0.010	0.009	0.007	0.009	0.001	1.434	46.97
2.6:1	0.007	0.008	0.007	0.007	0.001	1.116	58.71
2.8:1	0.004	0.004	0.005	0.004	0.001	0.640	76.32
3:1	0.003	0.003	0.004	0.003	0.001	0.481	82.19
3.2:1	0.005	0.005	0.005	0.005	0.000	0.746	72.41
3.4:1	0.006	0.005	0.006	0.006	0.001	0.851	68.49
3.5:1	0.007	0.006	0.006	0.006	0.001	0.958	64.58
3.9:1	0.006	0.005	0.006	0.006	0.001	0.851	68.49
4:1	0.006	0.007	0.007	0.006	0.001	1.011	62.62

หมายเหตุ: วิเคราะห์โดยวิธีแวนาโดมอลิบดีออสฟอริกแอซิด

: ขีดต่ำสุดในการวัดได้ของเครื่อง (Detection limit) เท่ากับ 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ ข.3. 2 การกำจัดอโรโพสฟอรัสที่ค่าพีเอชต่างๆ

ค่าพีเอช	การดูดกลืนแสง				ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	อโรโพสฟอรัสที่เหลือ (มก. โพสฟอรัส/ล.)	ร้อยละการกำจัด
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย			
5	0.007	0.007	0.007	0.007	0.000	0.913	66.54
5.5	0.007	0.006	0.006	0.006	0.001	0.807	70.45
6	0.006	0.006	0.005	0.006	0.001	0.700	74.36
6.5	0.004	0.004	0.004	0.004	0.000	0.433	84.15
7	0.005	0.005	0.004	0.005	0.001	0.540	80.23
7.5	0.006	0.006	0.005	0.006	0.001	0.700	74.36
8	0.011	0.011	0.012	0.011	0.001	0.967	64.58
8.5	0.018	0.017	0.018	0.018	0.001	1.608	41.10
9	0.018	0.018	0.018	0.018	0.000	2.623	3.91

หมายเหตุ: วิเคราะห์โดยวิธีแวนาโดโมลิบโดฟอสฟอริกแอซิด

: ขีดต่ำสุดในการวัดได้ของเครื่อง (Detection limit) เท่ากับ 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร

ภาคผนวก ข.4 การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชน

ตารางที่ ข.4. 1 ลักษณะน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดแล้ว

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	หน่วย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ค่าพีเอช	-	7.71	7.69	7.61	7.67	0.05
ค่าซีโอดี	มก./ล.	51.23	49.88	49.43	50.18	0.94
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	มก. ฟอสฟอรัส/ล.	1.702	1.694	1.545	1.647	0.09
ออร์โธฟอสฟอรัส	มก. ฟอสฟอรัส/ล.	1.273	1.343	1.278	1.298	0.04

ตารางที่ ข.4. 2 การกำจัดออร์โธฟอสฟอรัสโดยใช้โซเดียมอะลูมินेटที่เตรียมได้

อัตราส่วนอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัส	การดูดกลืนแสง				ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ออร์โธฟอสฟอรัสที่เหลือ (มก.ฟอสฟอรัส/ล.)	ร้อยละการกำจัด
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย			
3:1	0.001	0.002	0.002	0.002	0.001	0.076	82.54
4.5:1	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001	0.076	82.54
6:1	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.022	95.01
7.5:1	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.022	95.01
9:1	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.022	95.01
10.5:1	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.022	95.01

หมายเหตุ: วิเคราะห์โดยวิธีแวนาโดมอลิบโดฟอสฟอริกแอซิด

: ขีดต่ำสุดในการวัดได้ของเครื่อง (Detection limit) เท่ากับ 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ ข.4. 3 การกำจัดอโรโพสฟอรัสโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตทางการค้า

อัตราส่วน อะลูมิเนียม ต่อ ฟอสฟอรัส	การดูดกลืนแสง				ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน	อโร โพสฟอรัสที่ เหลือ (มก. ฟอสฟอรัส/ล.)	ร้อยละ การ กำจัด
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย			
3:1	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.076	82.54
4.5:1	0.002	0.002	0.001	0.002	0.001	0.076	82.54
6:1	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.022	95.01
7.5:1	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.022	95.01
9:1	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.022	95.01
10.5:1	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.022	95.01

หมายเหตุ: วิเคราะห์โดยวิธีแวนาโดมolibโดฟอสฟอริกแอซิค

: ขีดต่ำสุดในการวัดได้ของเครื่อง (Detection limit) เท่ากับ 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ ข.4. 4 การกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้

อัตราส่วน อะลูมิเนียม ต่อ ฟอสฟอรัส	การดูดกลืนแสง				ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ฟอสฟอรัส ทั้งหมดที่เหลือ (มก. ฟอสฟอรัส/ล.)	ร้อยละ การ กำจัด
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย			
3:1	0.014	0.014	0.013	0.014	0.001	1.225	25.63
4.5:1	0.006	0.007	0.006	0.006	0.001	0.510	69.03
6:1	0.003	0.004	0.004	0.004	0.001	0.250	84.81
7.5:1	0.003	0.003	0.003	0.003	0.000	1.852	88.76
9:1	0.003	0.003	0.003	0.003	0.000	1.852	88.76
10.5:1	0.003	0.003	0.003	0.003	0.000	1.852	88.76

หมายเหตุ: วิเคราะห์โดยวิธีแวนาโดมolibโดฟอสฟอริกแอซิค

: ขีดต่ำสุดในการวัดได้ของเครื่อง (Detection limit) เท่ากับ 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ ข.4. 5 การกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตทางการค้า

อัตราส่วน อะลูมิเนียม ต่อ ฟอสฟอรัส	การดูดกลืนแสง				ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ฟอสฟอรัส ทั้งหมดที่เหลือ (มก. ฟอสฟอรัส/ล.)	ร้อยละ การ กำจัด
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย			
3:1	0.012	0.012	0.013	0.012	0.001	1.095	33.52
4.5:1	0.005	0.005	0.006	0.005	0.001	0.412	74.94
6:1	0.003	0.003	0.004	0.003	0.001	0.218	86.78
7.5:1	0.002	0.002	0.003	0.002	0.001	0.120	92.70
9:1	0.002	0.003	0.002	0.002	0.001	0.120	92.70
10.5:1	0.002	0.002	0.003	0.002	0.001	0.120	92.70

หมายเหตุ: วิเคราะห์โดยวิธีแวนาโดมolibโดฟอสฟอริกแอซิค

: ขีดต่ำสุดในการวัดได้ของเครื่อง (Detection limit) เท่ากับ 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร

ภาคผนวก ข.5 การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดแบบไร้อากาศ

ตารางที่ ข.5. 1 ลักษณะน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดแบบไร้อากาศ

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	หน่วย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ค่าพีเอช	-	8.54	8.91	8.50	8.65	0.23
ค่าซีโอดี	มก./ล.	135.91	136.23	136.43	136.19	0.26
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	มก. ฟอสฟอรัส/ล.	131.45	131.77	131.22	131.48	0.28
ออร์โธฟอสฟอรัส	มก. ฟอสฟอรัส/ล.	65.39	66.08	66.14	65.87	0.42

ตารางที่ ข.5. 2 การกำจัดออร์โธฟอสฟอรัสโดยใช้โซเดียมอะลูมินेटที่เตรียมได้

อัตราส่วนอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัส	การดูดกลืนแสง				ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ออร์โธฟอสฟอรัสที่เหลือ (มก. ฟอสฟอรัส/ล.)	ร้อยละการกำจัด
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย			
3:1	0.039	0.039	0.039	0.039	0.000	6.052	72.44
4.5:1	0.017	0.017	0.016	0.017	0.001	2.438	88.90
6:1	0.008	0.007	0.007	0.007	0.001	0.928	95.78
7.5:1	0.006	0.006	0.006	0.006	0.000	0.712	96.76
9:1	0.005	0.004	0.004	0.004	0.001	0.442	97.99
10.5:1	0.003	0.003	0.003	0.003	0.000	0.227	98.97
12:1	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.280	98.72
13.5:1	0.003	0.003	0.003	0.003	0.000	0.227	98.97

หมายเหตุ: วิเคราะห์โดยวิธีแวนาโดมolibโดฟอสฟอริกแอซิด

- : ขีดต่ำสุดในการวัดได้ของเครื่อง (Detection limit) เท่ากับ 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร
- : ตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์มีการเจือจาง 10 เท่า

ตารางที่ ข.5. 3 การกำจัดออร์โทฟอสฟอรัสโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตทางการค้า

อัตราส่วน อะลูมิเนียม ต่อ ฟอสฟอรัส	การดูดกลืนแสง				ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ออร์โธ ฟอสฟอรัสที่ เหลือ (มก. ฟอสฟอรัส/ล.)	ร้อยละ การ กำจัด
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย			
3:1	0.027	0.028	0.029	0.028	0.001	4.271	80.55
4.5:1	0.011	0.012	0.011	0.011	0.001	1.575	92.83
6:1	0.007	0.006	0.007	0.007	0.001	0.820	96.27
7.5:1	0.006	0.005	0.006	0.006	0.001	0.658	97.00
9:1	0.003	0.004	0.004	0.004	0.001	0.334	98.48
10.5:1	0.003	0.003	0.003	0.003	0.000	0.226	98.97
12:1	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.280	98.72
13.5:1	0.003	0.003	0.003	0.003	0.000	0.227	98.97

หมายเหตุ: วิเคราะห์โดยวิธีแวนาโดมolibโดฟอสฟอริกแอซิค

: ขีดต่ำสุดในการวัดได้ของเครื่อง (Detection limit) เท่ากับ 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร

: ตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์มีการเจือจาง 10 เท่า

ตารางที่ ข.5. 4 การกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้

อัตราส่วน อะลูมิเนียม ต่อ ฟอสฟอรัส	การดูดกลืนแสง				ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ฟอสฟอรัส ทั้งหมดที่เหลือ (มก. ฟอสฟอรัส/ล.)	ร้อยละ การ กำจัด
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย			
3:1	0.179	0.179	0.179	0.179	0.001	17.365	86.79
4.5:1	0.073	0.072	0.071	0.072	0.001	6.928	94.73
6:1	0.019	0.019	0.019	0.019	0.000	1.742	98.68
7.5:1	0.013	0.012	0.013	0.013	0.001	1.122	99.15
9:1	0.006	0.006	0.007	0.006	0.001	0.502	99.62
10.5:1	0.004	0.005	0.004	0.004	0.001	0.307	99.77
12:1	0.004	0.004	0.005	0.004	0.001	0.307	99.77
13.5:1	0.004	0.004	0.004	0.004	0.000	0.274	99.79

หมายเหตุ: วิเคราะห์โดยวิธีแวนาโดมอลิบดีนอซฟอสฟอริกแอซิด

: ขีดต่ำสุดในการวัดได้ของเครื่อง (Detection limit) เท่ากับ 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร

: ตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์มีการเจือจาง 10 เท่า

ตารางที่ ข.5. 5 การกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตทางการค้า

อัตราส่วน อะลูมิเนียม ต่อ ฟอสฟอรัส	การดูดกลืนแสง				ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ฟอสฟอรัส ทั้งหมดที่เหลือ (มก. ฟอสฟอรัส/ล.)	ร้อยละ การ กำจัด
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย			
3:1	0.143	0.142	0.143	0.143	0.001	13.842	89.47
4.5:1	0.059	0.060	0.059	0.059	0.001	5.688	95.67
6:1	0.015	0.015	0.016	0.019	0.001	1.383	98.95
7.5:1	0.012	0.012	0.013	0.012	0.001	1.089	99.17
9:1	0.006	0.005	0.005	0.005	0.001	0.404	99.69
10.5:1	0.004	0.004	0.004	0.004	0.000	0.274	99.79
12:1	0.004	0.004	0.005	0.004	0.001	0.307	99.77
13.5:1	0.004	0.004	0.004	0.004	0.000	0.274	99.79

หมายเหตุ: วิเคราะห์โดยวิธีแวนาโดมอลิบดีนอเฟสฟอริกแอซิด

: ขีดต่ำสุดในการวัดได้ของเครื่อง (Detection limit) เท่ากับ 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร

: ตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์มีการเจือจาง 10 เท่า

ภาคผนวก ข.6 การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดขั้นสุดท้ายพร้อมปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

ตารางที่ ข.6. 1 ลักษณะน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดขั้นสุดท้ายพร้อมปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	หน่วย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ค่าพีเอช	-	7.98	7.63	7.70	7.77	0.19
ค่าซีโอดี	มก./ล.	100.94	100.23	99.88	100.35	0.54
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	มก. ฟอสฟอรัส/ล.	92.78	92.54	93.14	92.82	0.30
ออโรฟอสฟอรัส	มก. ฟอสฟอรัส/ล.	60.98	61.12	61.08	61.06	0.07

ตารางที่ ข.6. 2 การกำจัดออโรฟอสฟอรัสโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตที่เตรียมได้

อัตราส่วนอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัส	การดูดกลืนแสง				ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ออโรฟอสฟอรัสที่เหลือ (มก.ฟอสฟอรัส/ล.)	ร้อยละการกำจัด
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย			
3:1	0.054	0.055	0.054	0.054	0.001	8.633	57.58
4.5:1	0.032	0.030	0.030	0.031	0.001	4.766	76.58
6:1	0.014	0.014	0.014	0.014	0.000	2.042	89.96
7.5:1	0.007	0.006	0.006	0.006	0.001	0.790	96.12
9:1	0.006	0.005	0.005	0.005	0.001	0.626	96.92
10.5:1	0.005	0.006	0.006	0.006	0.001	0.681	96.65
12:1	0.006	0.005	0.006	0.006	0.001	0.681	96.65

หมายเหตุ: วิเคราะห์โดยวิธีแวนาโดโมลิบโดฟอสฟอริกแอซิด

: ขีดต่ำสุดในการวัดได้ของเครื่อง (Detection limit) เท่ากับ 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร

: ตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์มีการเจือจาง 10 เท่า

ตารางที่ ข.6. 3 การกำจัดออร์โธฟอสฟอรัสโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตทางการค้า

อัตราส่วน อะลูมิเนียม ต่อ ฟอสฟอรัส	การดูดกลืนแสง				ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ออร์โธ ฟอสฟอรัสที่ เหลือ (มก. ฟอสฟอรัส/ล.)	ร้อยละ การ กำจัด
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย			
3:1	0.044	0.043	0.043	0.043	0.001	6.836	66.41
4.5:1	0.028	0.027	0.027	0.027	0.001	4.221	79.26
6:1	0.012	0.012	0.013	0.012	0.001	1.770	91.30
7.5:1	0.005	0.005	0.006	0.005	0.001	0.626	96.92
9:1	0.006	0.005	0.005	0.005	0.001	0.626	96.92
10.5:1	0.005	0.006	0.005	0.005	0.001	0.626	96.92
12:1	0.006	0.005	0.006	0.006	0.001	0.681	96.65

หมายเหตุ: วิเคราะห์โดยวิธีแวนาโดมอลิบโดฟอสฟอริกแอซิด

: ขีดต่ำสุดในการวัดได้ของเครื่อง (Detection limit) เท่ากับ 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร

: ตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์มีการเจือจาง 10 เท่า

ตารางที่ ข.6. 4 การกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตทางการค้า

อัตราส่วน อะลูมิเนียม ต่อ ฟอสฟอรัส	การดูดกลืนแสง				ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ฟอสฟอรัส ทั้งหมดที่เหลือ (มก. ฟอสฟอรัส/ล.)	ร้อยละ การ กำจัด
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย			
3:1	0.266	0.265	0.266	0.266	0.001	26.264	71.70
4.5:1	0.177	0.178	0.178	0.178	0.001	17.482	81.70
6:1	0.058	0.059	0.057	0.058	0.001	5.539	94.03
7.5:1	0.023	0.024	0.024	0.024	0.001	2.112	97.72
9:1	0.017	0.016	0.015	0.016	0.001	1.347	98.55
10.5:1	0.016	0.016	0.015	0.016	0.001	1.314	98.58
12:1	0.016	0.016	0.016	0.016	0.000	1.347	98.55

หมายเหตุ: วิเคราะห์โดยวิธีแวนาโดมอลิบโดฟอสฟอริกแอซิด

: ขีดต่ำสุดในการวัดได้ของเครื่อง (Detection limit) เท่ากับ 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร

: ตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์มีการเจือจาง 10 เท่า

ตารางที่ ข.6. 5 การกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยใช้โซเดียมอะลูมิเนตทางการค้า

อัตราส่วน อะลูมิเนียม ต่อ ฟอสฟอรัส	การดูดกลืนแสง				ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ฟอสฟอรัส ทั้งหมดที่เหลือ (มก. ฟอสฟอรัส/ล.)	ร้อยละ การ กำจัด
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย			
3:1	0.210	0.209	0.209	0.209	0.001	20.642	77.76
4.5:1	0.128	0.129	0.128	0.128	0.001	12.558	86.47
6:1	0.042	0.041	0.041	0.041	0.001	3.876	95.82
7.5:1	0.017	0.018	0.018	0.018	0.001	1.514	98.37
9:1	0.017	0.016	0.015	0.016	0.001	1.347	98.55
10.5:1	0.016	0.016	0.015	0.016	0.001	1.314	98.58
12:1	0.016	0.016	0.016	0.016	0.000	1.347	98.55

หมายเหตุ: วิเคราะห์โดยวิธีแวนาโดมอลิบโดฟอสฟอริกแอซิด

: ขีดต่ำสุดในการวัดได้ของเครื่อง (Detection limit) เท่ากับ 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร

: ตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์มีการเจือจาง 10 เท่า

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววิไลวรรณ เทียนกระจ่าง เกิดเมื่อวันที่ 10 เดือน กันยายน พ.ศ. 2532 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร ปัจจุบันอายุ 25 ปี จบการศึกษามัธยมศึกษาปลายจากโรงเรียนสุคนธ์วิทย์ จังหวัด นครปฐม และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2555 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตร ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2557

การเผยแพร่วิทยานิพนธ์แบบบรรยายในที่ประชุมระดับนานาชาติ

Vilaiwan Teankrajang, Orathai Chavalparit and Rewadee Anuwattana. "Preparation of Sodium Aluminate from Alumina Waste from Petrochemical Industry". The proceeding of the Seoul International Conference on Applied Science and Engineering, Courtyard Seoul Time, Seoul, South Korea. 27-29 June 2015

การเผยแพร่วิทยานิพนธ์แบบบรรยายไทยในที่ประชุมระดับชาติ

วิไลวรรณ เทียนกระจ่าง, อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ และ เรวดี อนุวัฒนา. "การเตรียมโซเดียม อะลูมิเนตจากของเสียอะลูมินาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี". เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ สิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 14, โรงแรมโลตัส ปางสวนแก้ว จังหวัดเชียงใหม่. วันที่ 27-29 พฤษภาคม 2558.