การตกตะกอนผลึกแมกนีเซียม แอมโมเนียม ฟอสเฟตจากน้ำทิ้งฟาร์มสุกร
ในถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่อง

นายธงชัย อัมพรพะงา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2556
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
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.

PRECIPITATION OF MAGNESIUM AMMONIUM PHOSPHATE FROM SWINE EFFLUENT BY CONTINUOUS FLOW REACTOR

Mr. Thongchai Umpornpanga

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การตกตะกอนผลึกแมกนีเซียม แอมโมเนียม ฟอสเฟตจากน้ำทิ้งฟาร์มสุกรในถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่อง
โดย	นายธงชัย อัมพรพะงา
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเธียร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเธียร)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยพร ภู่ประเสริฐ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. ดนยภรณ์ พรรณสวัสดิ์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ธงชัย อัมพรพะงา : การตกตะกอนผลึกแมกนีเซียม แอมโมเนียม ฟอสเฟตจากน้ำทิ้งฟาร์มสุกรในถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่อง. (PRECIPITATION OF MAGNESIUM AMMONIUM PHOSPHATE FROM SWINE EFFLUENT BY CONTINUOUS FLOW REACTOR) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. สุธา ขาวเธียร, 107 หน้า.

น้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรยังคงมีธาตุอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส จากการศึกษาที่ผ่านมา มีการบำบัดน้ำทิ้งฟาร์มสุกรให้มีคุณภาพน้ำทิ้งที่ดีขึ้น อีกทั้งยังได้ธาตุอาหารกลับมาใช้ประโยชน์ในการเกษตร โดยใช้กระบวนการตกตะกอนผลึกแมกนีเซียม แอมโมเนียม ฟอสเฟต ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนผลึกขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น พีเอชของน้ำ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลระหว่างไอออนของแมกนีเซียม แอมโมเนียม และฟอสเฟต งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลกระทบของอัตราการเติมอากาศและระยะเวลากักเก็บน้ำโดยใช้ถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องในการทำลองบำบัดน้ำทิ้งฟาร์มสุกร ซึ่งอัตราการเติมอากาศมีผลต่อการกวนผสม ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดีขึ้น และยังช่วยเพิ่มพีเอชน้ำด้วยกระบวนการเปลื้องอากาศได้อีกด้วย ผลการศึกษาพบว่าอัตราการเติมอากาศที่ 7.98 ลิตรต่อนาที เพียงพอต่อการเพิ่มพีเอชน้ำให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการตกตะกอนผลึกแมกนีเซียม แอมโมเนียม ฟอสเฟตโดยสามารถเพิ่มค่าพีเอชน้ำทิ้งก่อนเข้าถังปฏิกิริยาซึ่งมีค่าพีเอชอยู่ที่ 7.23 ให้มีค่า 8.43 – 8.71 และการเพิ่มระยะเวลากักเก็บน้ำให้นานขึ้นจะช่วยในการเพิ่มขนาดผลึกแมกนีเซียม แอมโมเนียม ฟอสเฟต และทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดมีคุณภาพน้ำที่ดีขึ้นอีกด้วย โดยประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสของชุดการทดลองที่อัตราการเติมอากาศ 7.98 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสอยู่ที่ 24 และ 68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2556

5370248521 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING
KEYWORDS: CHEMICAL PRECIPITATION / STRUVITE / PHOSPHORUS REMOVAL

THONGCHAI UMPORNPANGA: PRECIPITATION OF MAGNESIUM AMMONIUM PHOSPHATE FROM SWINE EFFLUENT BY CONTINUOUS FLOW REACTOR. ADVISOR: ASSOC. PROF. SUTHA KHAODHIAR, Ph.D., 107 pp.

The swine wastewater mostly contains nutrients which are necessary for plant growth. Previous research showed that magnesium ammonium phosphate (MAP) precipitation is one of the methods for recovering these nutrients. The important parameters for the precipitation include solution pH, hydraulic retention time and molar ratio of magnesium ammonium phosphate ions. This research used continuous flow reactor to treats the swine farm effluent for study the effects of aeration rate and hydraulic retention time for MAP precipitation , as aeration rate was added for solution mixing and raise solution pH by CO2 stripping processes. The results shown that 7.98 aeration rate was enough to raise solution pH to the optimum pH for MAP precipitation, as it can raised the solution pH from the effluent before through the reactor from 7.23 to 8.43 – 8.71 after the treatment process. As increasing hydraulic retention time can increased size of MAP crystal and it can treats the effluent to meet the swine effluent standard also, as aeration rate 7.98 litres per hour, hydraulic retention time 23 hours, the nitrogen and phosphorus removal was 24 and 68 percent, respectively.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Department: Environmental Engineering
Field of Study: Environmental Engineering
Academic Year: 2013

Student's Signature .....
Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณต่อผู้ที่ให้ความอนุเคราะห์ดังต่อไปนี้

รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเธียร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คุณรามนรี เนตรวิเชียร ผู้ให้คำปรึกษา แนะแนวทาง หลักการในการดำเนินงานวิจัย และแก้ไขข้อบกพร่องมาตลอดระยะเวลาในการทำงานวิจัยซึ่งมีส่วนสำคัญมากในการทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล ที่กรุณาเป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจนผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยพร ภู่ประเสริฐ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์ ที่ได้ให้ คำชี้แนะและแก้ไขจนวิทยานิพนธ์สำเร็จได้ด้วยดี

คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนด้านการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ และงบประมาณจากภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต จากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ขอขอบคุณ คุณชัยวัฒน์ จีรนุวัฒน์ เจ้าของฟาร์มสุกรประชาฟาร์ม ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่าง และคุณรามนรี เนตรวิเชียร เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของเสียอันตราย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอบคุณพี่ๆ และเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา และดูแลกันและกันในระหว่างการทำวิจัยมาโดยตลอด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 1

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 ระบบการเลี้ยงสุกรในประเทศไทย 3

2.1.1 ระบบการเลี้ยงสุกรแบบรายย่อย 3

2.1.2 ระบบการเลี้ยงสุกรแบบการค้า 3

2.2 ขนาดและจำนวนสุกร 3

2.2.1 ฟาร์มขนาดเล็ก 3

2.2.2 ฟาร์มขนาดกลาง 3

2.2.3 ฟาร์มขนาดใหญ่ 3

2.3 ของเสียที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยงสุกร 5

2.3.1 มูลสุกรและเศษอาหารต่างๆ 5

2.3.2 น้ำเสีย 5

2.4 การจัดการมูลสุกรและน้ำเสียจากฟาร์มสุกร 5

2.4.1 การจัดการมูลสุกร 5

2.4.2 การจัดการน้ำเสีย 6

2.5 ปริมาณและลักษณะของน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากฟาร์มสุกร 11

2.6 มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร 14

2.7 ผลึก MAP 16

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

2.7.1 การเกิดผลึก MAP 17
2.7.2 กระบวนการตกตะกอนผลึก MAP 18
2.7.3 ปัจจัยของการเกิดผลึก MAP 19
2.8 การเติมอากาศ 21
2.8.1 การกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 21
2.8.2 การกำจัดโลหะ 21
2.9 การตกตะกอนทางเคมี 22
2.9.1 โดยการลดความหนาของชั้นกระจาย (Diffuse layer) 23
2.9.2 โดยการดูดติดและทำลายประจุไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์ 24
2.9.3 โดยใช้ผลึกสารอินทรีย์เพิ่มน้ำหนักและขนาดของอนุภาคคอลลอยด์ 27
2.9.4 โดยใช้สารโพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อม 27
2.10 ข้อดีของการตกตะกอนผลึก MAP ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร 28
2.11 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 29
2.11.1 ถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องที่ใช้ตกตะกอนผลึก MAP 29
2.11.2 อัตราการเติมอากาศ ระยะเวลาการกักเก็บน้ำ ค่าพีเอชและอัตราส่วนโดยโมล แมกนีเซียม แอมโมเนียม ฟอสเฟต 33
บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย 37
3.1 ลำดับขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 37
3.2 อุปกรณ์ เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 38
3.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ 38
3.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 38
3.3 ถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องที่ใช้ในการทดลอง 39
3.4 น้ำทิ้งฟาร์มสุกรที่ใช้ในการทดลอง 42
3.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย 44
3.6 การเลือกค่าต่างๆที่ใช้ในการทดลอง 49
3.6.1 การเลือกอัตราการเติมอากาศ 49
3.6.2 การเลือกระยะเวลากักเก็บน้ำ 49
3.7 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ วัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์และวิธีตรวจวัด 49

CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

3.7.1ค่าพีเอช 49
3.7.2ค่าซีโอดี 49
3.7.3ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอย 50
3.7.4ปริมาณทีเคเอ็นไนโตรเจน 50
3.7.5ปริมาณฟอสฟอรัส 50
3.7.6ปริมาณโลหะ 50
3.7.7ปริมาณผลึก MAP 50
3.7.8 ลักษณะโครงสร้าง ขนาด องค์ประกอบและเฟสของผลึก 50
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 52
4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ 52
4.2 การศึกษาผลของอัตราการเติมอากาศและระยะเวลากักเก็บน้ำที่มีต่อคุณภาพน้ำทิ้งหลังการบำบัดในถังปฏิกิริยา 54
4.2.1 ค่าพีเอช 56
4.2.2 ปริมาณซีโอดี 58
4.2.3 ปริมาณทีเคเอ็นไนโตรเจน 60
4.2.4 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด 62
4.2.5 ปริมาณของแข็งแขวนลอย 64
4.2.6 ปริมาณโลหะ 66
4.2.6.1 ปริมาณแมกนีเซียม 66
4.2.6.2 ปริมาณแคลเซียม 68
4.2.6.3 ปริมาณโพแทสเซียม 70
4.3 ผลการศึกษาอัตราการเติมอากาศและระยะเวลากักเก็บน้ำที่เหมาะสมที่เหมาะสมต่อการตกผลึก MAP จากตะกอนผลึกที่ผลิตได้ 72
4.4 ผลการศึกษาลักษณะโครงสร้าง องค์ประกอบ และความเป็นผลึก MAP จากตะกอนผลึกที่ผลิตได้ในน้ำทิ้งฟาร์มสุกร 75
4.4.1 ผลการศึกษาลักษณะโครงสร้าง องค์ประกอบ และความเป็นผลึก MAP จากตะกอนผลึกที่เกิดขึ้นในถังปฏิกิริยา 75
4.4.2 ผลการศึกษาองค์ประกอบของผลึก MAP ที่เกิดขึ้นในน้ำทิ้งฟาร์มสุกร 79

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.4.3 ผลการศึกษาเฟสและความเป็นผลึก MAP ที่เกิดขึ้นในน้ำทิ้งหลังการบำบัด 80
4.5 ผลของการเติมวัสดุเป้าสัมผัส MAP9 83
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 85
รายการอ้างอิง 87
ภาคผนวก 90
ภาคผนวก ก 91
ภาคผนวก ข 97
ภาคผนวก ค 100
ภาคผนวก ง 102
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 107

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2 - 1 จำนวนสุกรในประเทศไทย แสดงรายภาค ปี 2553 4
ตารางที่ 2 - 2 จังหวัดที่มีการเลี้ยงสุกรมากที่สุด 10 อันดับ ปี 2553 4
ตารางที่ 2 - 3 แสดงอัตราการเกิดน้ำเสียและลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร จำแนกตามขนาดฟาร์ม 12
ตารางที่ 2 - 4 แสดงลักษณะน้ำทิ้งฟาร์มสุกรจากประชาฟาร์ม อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม .. 12
ตารางที่ 2 - 5 แสดงลักษณะน้ำทิ้งฟาร์มสุกร 13
ตารางที่ 2 - 6 แสดงลักษณะน้ำเสียฟาร์มสุกร 14
ตารางที่ 2 - 7 แสดงลักษณะน้ำเสียฟาร์มสุกร 14
ตารางที่ 2 - 8 มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร 15
ตารางที่ 2 - 9 ลักษณะสมบัติของผลึก MAP 16
ตารางที่ 2 - 10 เปรียบเทียบลักษณะ ขนาดและอัตราส่วนพื้นที่ของถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่อง ... 33
ตารางที่ 2 - 11 ผลการทดลองหาค่า Aeration Index ที่เหมาะสม 34
ตารางที่ 2 - 12 ค่า Aeration Index ค่าพีเอช และประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสของถังปฏิกิริยาในงานวิจัยต่างๆ 34
ตารางที่ 2 - 13 แสดงอัตราการเติมอากาศในหน่วยลิตรอากาศต่อลิตรน้ำต่อนาที ระยะเวลาการกักเก็บน้ำ และค่าพีเอชของน้ำหลังผ่านการบำบัดในงานวิจัยต่างๆที่มีการเติมอากาศอย่างต่อเนื่อง 36
ตารางที่ 3 - 1 เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนต่างๆของถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องที่ใช้ในการทดลอง (Suzuki และคณะ 2002) และ (Suzuki และคณะ, 2007) 42
ตารางที่ 3 - 2 คุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านระบบบำบัดแบบไร้อากาศจากประชาฟาร์ม อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐมและค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง 43
ตารางที่ 3 - 3 แสดงสภาวะต่างๆในแต่ละชุดการทดลอง 47
ตารางที่ 3 - 4 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการวิจัย 48
ตารางที่ 3 - 5 พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดในน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรหลังผ่านการบำบัดในถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องและเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด 51
ตารางที่ 4 - 1 แสดงคุณภาพน้ำทิ้งฟาร์มสุกรหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ 53
ตารางที่ 4 - 2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งฟาร์มสุกรหลังผ่านการบำบัดในถังปฏิกิริยาที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง อัตราการเติมอากาศ 1.32, 278, 7.98, 16.02 และ 32.04 ลิตรอากาศต่อนาที 55
ตารางที่ 4 - 3 ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นที่อัตราการเติมอากาศ 1.32, 2.78, 7.98, 16.02 และ 32.04 ลิตรอากาศต่อนาที และระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง 73

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4 - 4 ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นที่อัตราการเติมอากาศ 1.32 ลิตรต่อนาที และระยะเวลากักเก็บน้ำ 23, 15.33 และ 7.7 ชั่วโมง 73
ตารางที่ 4 - 5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลึก MAP ที่เกิดขึ้นในน้ำที่ผ่านการบำบัดที่อัตราการเติมอากาศ 1.32, 7.98 และ 32.04 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง 79
ตารางที่ 4 - 6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลึก MAP ที่เกิดขึ้นในน้ำที่ผ่านการบำบัดที่อัตราการเติมอากาศ 7.98 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23, 15.33 และ 7.7 ชั่วโมง 79
ตารางที่ 4 - 7 คุณภาพน้ำหลังผ่านการบำบัดเปรียบเทียบระหว่างน้ำที่ทำการเติมและไม่เติมวัสดุ... 83

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2 - 1 ขั้นตอนการทำงานของระบบบำบัดมูลสุกรแบบบ่อโดมคงที่ (Fixed dome)..... 6
ภาพที่ 2 - 2 แผนผังขั้นตอนการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเกรอะ – ถังกรองไร้อากาศ ... 7
ภาพที่ 2 - 3 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร 8
ภาพที่ 2 - 4 แผนผังขั้นตอนการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization).. 9
ภาพที่ 2 - 5 ระบบบ่อไร้อากาศแบบคลุมบ่อ (Cover lagoon)..... 10
ภาพที่ 2 - 6 แผนผังขั้นตอนการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อไร้อากาศแบบคลุมบ่อ 11
ภาพที่ 2 - 7 ผลึก MAP..... 16
ภาพที่ 2 - 8 โครงสร้างของผลึก MAP..... 17
ภาพที่ 2 - 9 ลำดับขั้นการเกิดของผลึก 18
ภาพที่ 2 - 10 a) การเกิดเกล็ดผลึก b) การโตของผลึก c) การรวมตัวกันของผลึก d) รอยต่อของผลึก 19
ภาพที่ 2 - 11 น้ำก่อนทำการเติมอากาศ b) น้ำในขณะที่ทำการเติมอากาศ c) น้ำหลังจากการเติมอากาศ..... 22
ภาพที่ 2 - 12 ผลของการเติมไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามให้กับคอลลอยด์ (ก) ก่อนเติมไอออน (ข) หลังจากการเติมไอออน 25
ภาพที่ 2 - 13 การเปรียบเทียบปริมาณโคแอกกูแลนท์ที่ใช้ในการทำลายเสถียรภาพ ของคอลลอยด์ด้วยกลไกแบบต่างๆ..... 26
ภาพที่ 2 - 14 กลไกของการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์แบบต่อเชื่อด้วยโพลีเมอร์ 28
ภาพที่ 2 - 15 แสดงโซนการเติมอากาศและการตกตะกอน (a) โซนการเติมอากาศ (b) โซนตกตะกอน 29
ภาพที่ 2 - 16 การทำงานของถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่อง 30
ภาพที่ 2 - 17 แสดงลักษณะและขนาดของถังปฏิกิริยา (Suzuki และคณะ, 2002)..... 31
ภาพที่ 2 - 18 แสดงลักษณะและขนาดของถังปฏิกิริยา (Suzuki และคณะ, 2007)..... 32
ภาพที่ 3 - 1 ลักษณะและขนาดของถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลอง.....40
ภาพที่ 3 - 2 ทิศทางการไหลของน้ำ ผลึกและตะกอนของแข็ง..... 41
ภาพที่ 3 - 3 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ บ่อยูเอเอสบีสำหรับฟาร์มขนาดกลาง (MC-UASB) . 45
ภาพที่ 3 - 4 ถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลอง 45
ภาพที่ 3 - 5 แผนผังขั้นตอนวิธีการทดลอง..... 46
ภาพที่ 4 - 1 ค่าพีเอชน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเท่ากับ 23 ชั่วโมง..... ...56
ภาพที่ 4 - 2 ค่าพีเอชน้ำทิ้งหลังผ่านการเติมอากาศที่ 1.32 ลิตรต่อนาที 57
ภาพที่ 4 - 3 ปริมาณซีโอดีในน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเท่ากับ 23 ชั่วโมง 58

ภาพที่ 4 - 4 ปริมาณซีโอดีในน้ำทิ้งหลังผ่านการเติมอากาศที่ 1.32 ลิตรต่อนาที..... 59
ภาพที่ 4 - 5 ปริมาณทีเคเอ็นไนโตรเจนในน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัด ที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเท่ากับ 23 ชั่วโมง..... 60
ภาพที่ 4 - 6 ปริมาณทีเคเอ็นไนโตรเจนในน้ำทิ้งหลังผ่านการเติมอากาศที่ 1.32 ลิตรต่อนาที..... 61
ภาพที่ 4 - 7 ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัด ที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเท่ากับ 23 ชั่วโมง..... 62
ภาพที่ 4 - 8 ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งหลังผ่านการเติมอากาศที่ 1.32 ลิตรต่อนาที 63
ภาพที่ 4 - 9 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัด ที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเท่ากับ 23 ชั่วโมง..... 64
ภาพที่ 4 - 10 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งหลังผ่านการเติมอากาศที่ 1.32 ลิตรต่อนาที..... 65
ภาพที่ 4 - 11 ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัด ที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเท่ากับ23 ชั่วโมง..... 66
ภาพที่ 4 - 12 ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำทิ้งหลังผ่านการเติมอากาศที่ 1.32 ลิตรต่อนาที..... 67
ภาพที่ 4 - 13 ปริมาณแคลเซียมในน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัด ที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเท่ากับ 23 ชั่วโมง..... 68
ภาพที่ 4 - 14 ปริมาณแคลซียมในน้ำทิ้งหลังผ่านการเติมอากาศที่ 1.32 ลิตรต่อนาที..... 69
ภาพที่ 4 - 15 ปริมาณโพแทสเซียมในน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัด ที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเท่ากับ23 ชั่วโมง..... 70
ภาพที่ 4 - 16 ปริมาณโพแทสเซียมในน้ำทิ้งหลังผ่านการเติมอากาศที่ 1.32 ลิตรต่อนาที 71
ภาพที่ 4 - 17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชและการละลายน้ำ (Solubility) ของผลึก MAP..... 72
ภาพที่ 4 - 18 ผลึก MAP ที่อัตราการเติมอากาศ 1.32 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 1000 เท่า 76
ภาพที่ 4 - 19 ผลึก MAP ที่อัตราการเติมอากาศ 7.98 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 1000 เท่า 76
ภาพที่ 4 - 20 ผลึก MAP ที่อัตราการเติมอากาศ 32.04 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า..... 77
ภาพที่ 4 - 21 ผลึก MAP ที่อัตราการเติมอากาศ 7.98 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 1,700 เท่า 77
ภาพที่ 4 - 22 ผลึก MAP ที่อัตราการเติมอากาศ 7.98 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ 15.33 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 1000 เท่า 78

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 4 - 23 ผลึก MAP ที่อัตราการเติมอากาศ 7.98 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ 7.7 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า 78
ภาพที่ 4 - 24 แสดงเฟสและความเป็นผลึก MAP ของน้ำที่อัตราการเติมอากาศ 1.32 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง 80
ภาพที่ 4 - 25 แสดงเฟสและความเป็นผลึก MAP ของน้ำที่อัตราการเติมอากาศ 2.78 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง 81
ภาพที่ 4 - 26 แสดงเฟสและความเป็นผลึก MAP ของน้ำที่อัตราการเติมอากาศ 7.98 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง 81
ภาพที่ 4 - 27 แสดงเฟสและความเป็นผลึก MAP ของน้ำที่อัตราการเติมอากาศ 16.02 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง 82
ภาพที่ 4 – 28 แสดงเฟสและความเป็นผลึก MAP ของน้ำที่อัตราการเติมอากาศ 32.04 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง 82

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเลี้ยงสุกรในประเทศไทยมีการเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายและมีจำนวนสุกรภายในประเทศเพิ่มขึ้นทุกปีอย่างต่อเนื่อง (ปวีณา ศรีลาศักดิ์, 2553) จำนวนการเลี้ยงสุกรที่เพิ่มขึ้นนั้นได้ส่งผลให้เกิดน้ำเสียมากขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งน้ำเสียจากกิจกรรมการเลี้ยงสุกรมีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูง ถ้าปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติอาจทำให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันได้ (Song และคณะ, 2011) จึงต้องมีกระบวนการลดปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ นอกจากนี้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสยังมีคุณสมบัติเป็นธาตุอาหารที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นปุ๋ยเพื่อใช้ในการเกษตรกรรมต่อไปได้อีกด้วย

ฟาร์มสุกรส่วนใหญ่นิยมนำน้ำเสียมาเข้ากระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศ (Anaerobic process) ซึ่งสามารถลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ซึ่งมีสูงมากในน้ำเสียฟาร์มสุกรอีกทั้งยังได้ก๊าซชีวภาพเป็นผลพลอยได้อีกด้วย แต่กระบวนการดังกล่าวสามารถลดปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียฟาร์มสุกรได้เพียงเล็กน้อย น้ำทิ้งที่ออกมาจึงยังมีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูง จึงต้องมีการบำบัดอีกขั้นตอนหนึ่ง คือ การบำบัดน้ำขั้นหลัง (Post treatment) เพื่อให้น้ำทิ้งมีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม (พิชญ์ภัค เจียรพันธ์, 2552)

กระบวนการที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งฟาร์มสุกรเพื่อลดปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี แต่กระบวนการหนึ่งที่ได้รับความสนใจในปัจจุบัน คือ การใช้กระบวนการทางเคมีเพื่อตกตะกอนผลึกแมกนีเซียม แอมโมเนียม ฟอสเฟต เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวสามารถกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้ในขั้นตอนเดียว (Liu และคณะ, 2011) วิธีการดังกล่าวจึงเป็นอีกวิธีการหนึ่งซึ่งสามารถลดปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งฟาร์มสุกรก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1เพื่อศึกษาอัตราการเติมอากาศและระยะเวลาการกักเก็บน้ำที่เหมาะสมในการตกตะกอนผลึกแมกนีเซียม แอมโมเนียม ฟอสเฟตด้วยถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องในการบำบัดน้ำทิ้งฟาร์มสุกร

1.2.2เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการตกตะกอนผลึกแมกนีเซียม แอมโมเนียม ฟอสเฟตของถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องในการบำบัดน้ำทิ้งฟาร์มสุกร

1.2.3เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย ซีโอดี และโลหะของถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องในการบำบัดน้ำทิ้งฟาร์มสุกร

1.2.4เพื่อประเมินประสิทธิภาพและการประยุกต์ใช้ถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องในการบำบัดน้ำทิ้งฟาร์มสุกรให้น้ำทิ้งมีคุณภาพน้ำทิ้งที่ดีขึ้นก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาที่อุณหภูมิห้อง ณ ห้องปฏิบัติการของเสียอันตราย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ตึกวิศวกรรมศาสตร์ 26 ชั้น 4 คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้น้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรประชาฟาร์ม อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐมในการทดลองตกตะกอนผลึกแมกนีเซียม แอมโมเนียม ฟอสเฟตด้วยถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่อง

1.3.1ฟาร์มสุกรประชาฟาร์มเป็นฟาร์มสุกรขนาดกลาง โดยน้ำทิ้งจะผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ระบบบ่อหมักช้าแบบรางและบ่อยูเอเอสบี โดยน้ำทิ้งที่ใช้ในการทดลองจะใช้น้ำทิ้งหลังออกจากบ่อยูเอเอสบีก่อนที่จะไหลลงสู่บ่อพักน้ำทิ้งของฟาร์มสุกร

1.3.2ถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลองมีขนาด 23 ลิตร มีความสูง 1.2 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางถังปฏิกิริยา 0.2 เมตร

1.3.3ตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ อัตราการเติมอากาศและระยะเวลาการกักเก็บน้ำในถังปฏิกิริยา

1.3.4ผลึกแมกนีเซียม แอมโมเนียม ฟอสเฟต และตะกอนของแข็งที่ตกตะกอนได้จะทำการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้าง ขนาด องค์ประกอบและเฟสของผลึก และทำการหาปริมาณโดยการชั่งน้ำหนัก

1.3.5น้ำที่ผ่านการบำบัดจะทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆได้แก่ ค่าพีเอช ปริมาณซีโอดี ปริมาณทีเคเอ็นไนโตรเจน ปริมาณฟอสฟอรัส ปริมาณของแข็งแขวนลอย ปริมาณโลหะ ได้แก่ แมกนีเซียม แคลเซียม และโพแทสเซียม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1ได้แนวทางในการออกแบบถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องที่สามารถบำบัดน้ำทิ้งฟาร์มสุกรให้มีคุณภาพน้ำทิ้งที่ดีขึ้นก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม

1.4.2ทราบอัตราการเติมอากาศและระยะเวลากักเก็บน้ำที่เหมาะสมในการตกตะกอนผลึกแมกนีเซียม แอมโมเนียม ฟอสเฟตด้วยถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบการเลี้ยงสุกรในประเทศไทย

แต่เดิมการเลี้ยงสุกรในประเทศไทยนิยมเลี้ยงกันแบบรายย่อยเป็นส่วนใหญ่และมีวิธีการเลี้ยงที่ค่อนข้างล้าสมัยมาก ซึ่งจะเห็นได้จากการที่การเลี้ยงสุกรจะปล่อยให้สุกรหาอาหารกินอยู่ตามลานบ้าน ใต้ถุนเรือนหรือตามทุ่ง ยุคต่อมามีการพัฒนา คือ มีการสร้างคอกไว้สำหรับเลี้ยงสุกรโดยเฉพาะ แต่พื้นคอกก็ยังเป็นพื้นดินอยู่ มีส่วนน้อยมากที่พื้นคอกทำมาจากไม้หรือคอนกรีต ปัจจุบันการเลี้ยงสุกรในประเทศไทยนับว่าพัฒนาจากแต่ก่อนมาก วิธีการเลี้ยงดู การให้อาหาร การปรับปรุงพันธ์ได้ถูกปรับปรุงพัฒนาจนทัดเทียมกับมาตรฐานการเลี้ยงสุกรในต่างประเทศ

การเลี้ยงสุกรในประเทศไทยแบ่งได้ออกเป็น 2 ประเภท ตามจำนวนสุกรที่ทำการเลี้ยง คือ การเลี้ยงสุกรแบบรายย่อยและการเลี้ยงสุกรแบบการค้า ซึ่งจะมีลักษณะดังนี้

2.1.1 ระบบการเลี้ยงสุกรแบบรายย่อย คือ ผู้ที่ทำการเลี้ยงสุกรน้อยกว่า 50 ตัว ผู้เลี้ยงสุกรแบบรายย่อยมักจะทำเป็นอาชีพเสริมจากงานหลัก ในปัจจุบันผู้เลี้ยงสุกรรายย่อยส่วนใหญ่ ไม่ได้คำนึงถึงการพัฒนาการเลี้ยงสุกรให้ได้มาตรฐานเท่าที่ควร ทั้งทางด้านความสะอาดของคอก การให้อาหารสุกร การจัดการของเสียที่เกิดขึ้น

2.1.2 ระบบการเลี้ยงสุกรแบบการค้า คือ ผู้ที่ทำการเลี้ยงสุกรตั้งแต่ 50 ตัวขึ้นไป การเลี้ยงสุกรเพื่อการค้าส่วนใหญ่จะมีระบบการจัดการที่มีความพร้อม ถูกสุขลักษณะ ได้มาตรฐาน และมีการพัฒนาระบบการเลี้ยงให้ดีขึ้นอยู่เสมอ

การเลี้ยงสุกรในประเทศไทยเป็นระบบการเลี้ยงแบบเสรี ผู้เลี้ยงสุกรมีอิสระสามารถเข้ามาทำการเลี้ยงหรือเลิกการเลี้ยงได้ง่าย จึงมีการเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายทั่วทุกภาคของประเทศไทย ดังแสดงในตารางที่ 2-1 และ 2-2 โดยเฉพาะผู้เลี้ยงสุกรรายย่อย จำนวนผู้เลี้ยงสุกรและจำนวนสุกรจึงมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามภาวการณ์เปลี่ยนแปลงของตลาดและราคาสุกร

2.2 ขนาดและจำนวนสุกร (กรมควบคุมมลพิษ, 2554)

ฟาร์มสุกรมี 3 ขนาด ได้แก่

2.2.1 ฟาร์มขนาดเล็ก น้ำหนักหน่วยปศุสัตว์รวมตั้งแต่ 6 ถึงน้อยกว่า 60 หน่วยปศุสัตว์ (เทียบเท่าสุกรขุนตั้งแต่ 50 – 500 ตัว)

2.2.2 ฟาร์มขนาดกลาง น้ำหนักหน่วยปศุสัตว์รวมตั้งแต่ 60 – 600 หน่วยปศุสัตว์ (เทียบเท่าสุกรขุนตั้งแต่ 500 – 5,000 ตัว)

2.2.3 ฟาร์มขนาดใหญ่ น้ำหนักหน่วยปศุสัตว์รวมมากกว่า 600 หน่วยปศุสัตว์ (เทียบเท่าสุกรขุนตั้งแต่ 5,000 ตัวขึ้นไป)

ตารางที่ 2 - 1 จำนวนสุกรในประเทศไทย แสดงรายภาค ปี 2553
(ปวีณา ศรีลาศักดิ์, 2553)

ภาค	สุกร							
	พื้นเมือง		สุกรพันธุ์		สุกรขุน		รวม	
	จำนวน (ตัว)	เกษตรกร (ครัวเรือน)	จำนวน (ตัว)	เกษตรกร (ครัวเรือน)	จำนวน (ตัว)	เกษตรกร (ครัวเรือน)	จำนวน (ตัว)	เกษตรกร (ครัวเรือน)
รวม	681,467	95,210	2,517,898	83,315	5,147,652	56,735	8,347,017	199,460
ภาคเหนือ	272,964	50,285	457,816	26,722	760,815	16,248	1,491,595	81,769
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	247,269	32,224	518,072	33,609	755,250	21,905	1,520,591	73,564
ภาคกลาง	99,630	5,089	1,320,817	10,067	3,097,114	8,334	4,517,561	20,008
ภาคใต้	61,604	7,612	221,193	12,917	534,473	10,248	817,270	24,119

ตารางที่ 2 - 2 จังหวัดที่มีการเลี้ยงสุกรมากที่สุด 10 อันดับ ปี 2553
(ปวีณา ศรีลาศักดิ์, 2553)

อันดับ	จังหวัด	จำนวน (ตัว)	ร้อยละ	จำนวนผู้เลี้ยงสุกร (ครัวเรือน)
1	ราชบุรี	1,572,524	34.5	1,591
2	นครปฐม	576,912	12.6	1,845
3	ลพบุรี	468,823	10.2	2,240
4	ชลบุรี	391,149	8.6	636
5	นครราชสีมา	389,385	8.5	7,940
6	ฉะเชิงเทรา	307,013	6.7	441
7	ลำพูน	228,020	5	2,120
8	เชียงใหม่	225,596	5	15,756
9	สระบุรี	205,157	4.5	375
10	พัทลุง	200,076	4.4	4,431
	รวม	4,564,655		37,375

2.3 ของเสียที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยงสุกร (กรมควบคุมมลพิษ, 2554)

แบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ดังนี้

2.3.1 มูลสุกรและเศษอาหารต่างๆ ที่ตกค้างอยู่ในคอก โดยส่วนที่เป็นมูลสุกรนั้น หากฟาร์มสุกรไม่มีระบบจัดการที่ดีพอจะทำให้เกิดการหมักหมมของมูลสุกรและปัสสาวะบนพื้นคอก ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นได้ จึงควรมีการทำความสะอาดเก็บกวาดมูลสุกรออกอยู่เสมอ เพื่อลดปัญหากลิ่นเหม็นดังกล่าว

2.3.2 น้ำเสีย ที่เกิดจากการล้างทำความสะอาดคอกและโรงเรือนและจากการระบายความร้อนให้กับสุกรโดยใช้ระบบหยดน้ำหรือส้วมน้ำ ซึ่งก่อนที่จะทำความสะอาดคอกและโรงเรือนควรเก็บกวาดมูลสุกรออกจากพื้นคอกก่อน เพื่อลดปริมาณความสกปรกของน้ำเสีย

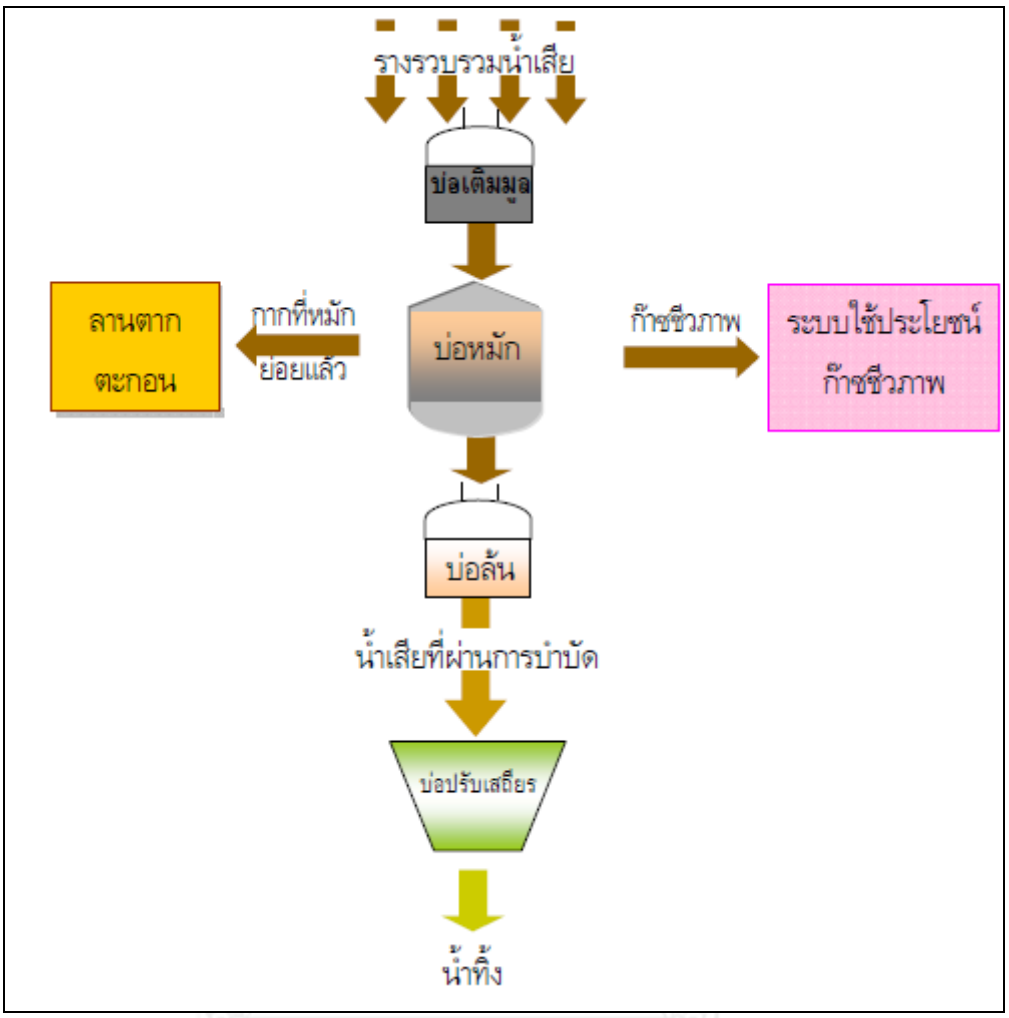
นอกจากของเสีย 2 ประเภทหลักที่กล่าวไปข้างต้นแล้ว ของเสียอื่นๆก็ควรมีระบบการจัดการอย่างถูกต้อง เช่น เข็มฉีดยา ถุงใส่อาหาร ขวดยา ขวดน้ำเชื้อ รก และซากสุกรที่ตายแล้ว เป็นต้น

2.4 การจัดการมูลสุกรและน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

2.4.1 การจัดการมูลสุกร มูลสุกรที่เก็บกวาดก่อนที่จะทำการฉีดน้ำล้างคอกสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายทาง เช่น การนำไปทำปุ๋ย นำไปเป็นอาหารปลา หรือนำไปทำการหมักแบบไร้อากาศเพื่อสร้างก๊าซชีวภาพ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นพลังงานทดแทนได้ (ตวงกมล พฤทธิ์ธโนปจัย, 2552) วิธีที่นิยมใช้ในการจัดการมูลสุกร คือ ระบบบำบัดแบบบ่อโดมคงที่

ระบบบำบัดแบบบ่อโดมคงที่ (Fixed Dome) ลักษณะเป็นทรงกลมฝังอยู่ใต้ดิน ใช้สำหรับการเก็บกักก๊าซชีวภาพจากกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ ซึ่งวิธีการนี้เหมาะกับฟาร์มสุกรขนาดเล็ก เพราะประหยัดพื้นที่ง่ายต่อการต่อระบบลำเลียงมูลสุกรเข้าไปในถังหมัก แผนผังขั้นตอนการทำงานของระบบบำบัดมูลสุกรแบบบ่อโดมคงที่ ดังแสดงในภาพที่ 2-1 (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

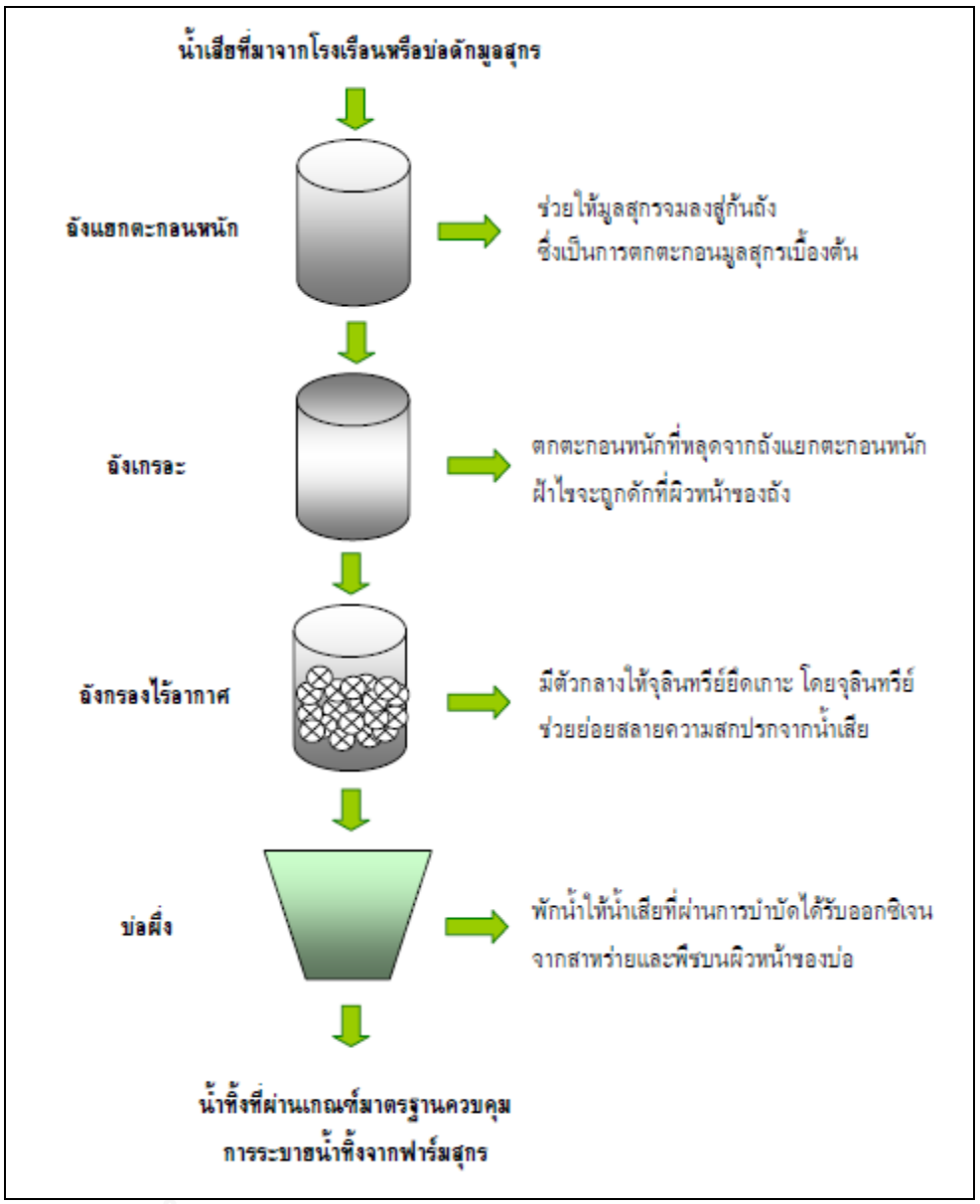
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 2 - 1 ขั้นตอนการทำงานของระบบบำบัดมูลสุกรแบบบ่อโดมคงที่ (Fixed dome)
(ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

2.4.2 การจัดการน้ำเสีย ในปัจจุบันระบบบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรมีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับขนาดของฟาร์ม ขนาดพื้นที่ที่จะใช้บำบัด ซึ่งรูปแบบต่างๆก็จะมีวิธีในการดูแลรักษาระบบแตกต่างกันด้วย

2.4.2.1 บ่อเกรอะ – ถังกรองไร้อากาศ (Septic Tank - Anaerobic Filter) เป็นระบบบำบัดประเภทหนึ่งซึ่งเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรนิยมใช้บำบัดน้ำเสีย โดยเฉพาะฟาร์มสุกรที่มีขนาดเล็ก ประกอบด้วย ถังแยกตะกอนหนัก บ่อเกรอะ ถังกรองไร้อากาศ และบ่อผึ่ง อาศัยกระบวนการกายภาพและชีวภาพร่วมกันโดยอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic bacteria) ในการเปลี่ยนความสกปรกในน้ำเสียให้กลายเป็นตะกอนและก๊าซชีวภาพ ซึ่งจะทำให้น้ำที่ผ่านระบบมีคุณภาพดีขึ้น แผนผังขั้นตอนการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเกรอะ – ถังกรองไร้อากาศ ดังแสดงในภาพที่ 2-2 (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)



ภาพที่ 2 - 2 แผนผังขั้นตอนการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเกรอะ – ถังกรองไร้อากาศ
(ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

2.4.2.2 บ่อปรับเสถียร (Stabilization pond) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยธรรมชาติในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ซึ่งโดยปกติระบบบำบัดบ่อปรับเสถียรจะมีการต่อกันแบบอนุกรมอย่างน้อย 3 บ่อ หน่วยบำบัดของระบบบำบัดประเภทนี้ ประกอบด้วย บ่อหมัก 1 บ่อหมัก 2 บ่อกึ่งหมัก 1 บ่อกึ่งหมัก 2 และบ่อบ่ม ระบบบำบัดแบบบ่อปรับเสถียรและแผนผังขั้นตอนการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรดังแสดงในภาพที่ 2-3 และ 2-4 ตามลำดับ

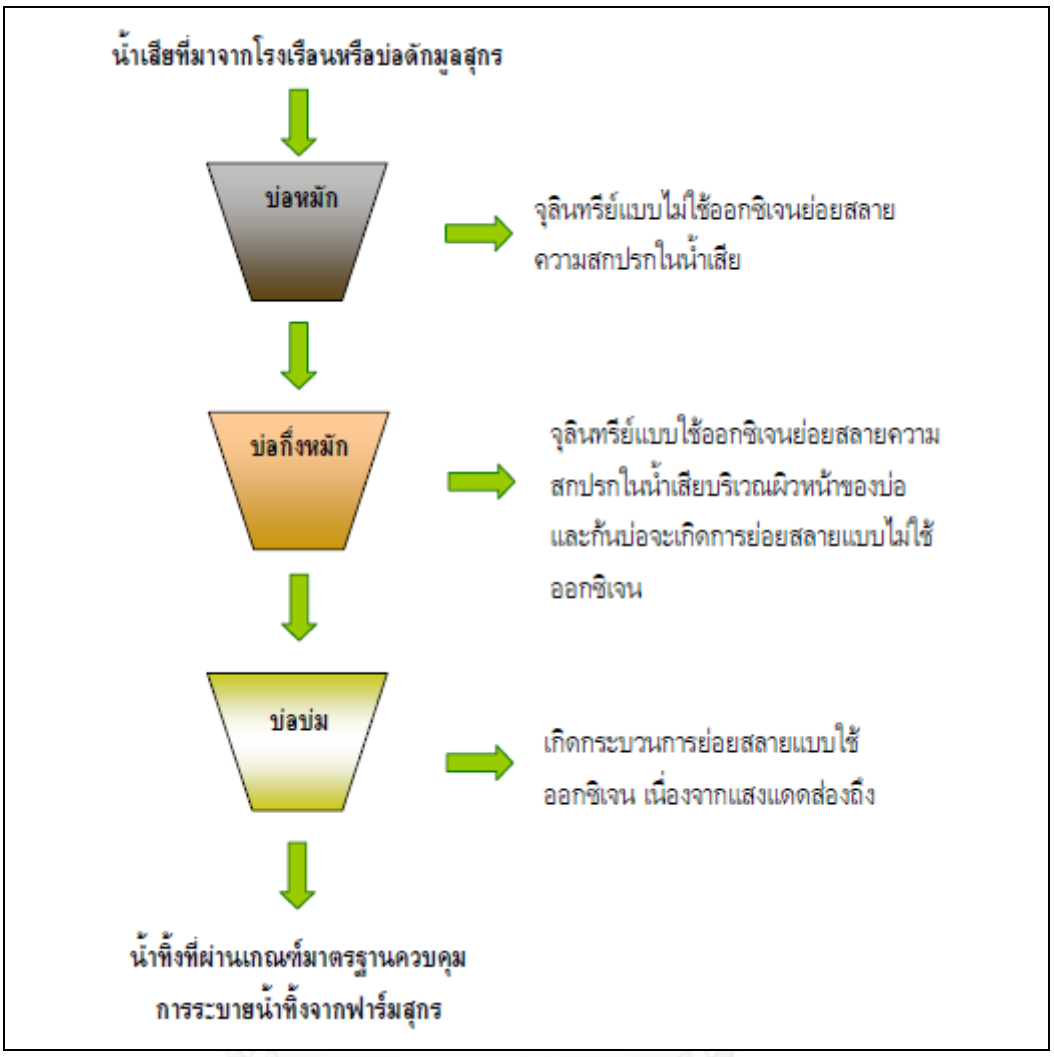
บ่อหมัก (Anaerobic pond) ซึ่งลึกมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับบ่ออื่นๆเป็นบ่อแรกที่รับน้ำเสียจากโรงเรือน ค่าความสกปรกของน้ำที่เข้าบ่อจะยังคงอยู่ในระดับสูงและมีภาวะไร้ออกซิเจนเกือบตลอดเวลา จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายความสกปรกในน้ำเสียในบ่อนี้จึงเป็นจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งทำให้เกิดก๊าซและมีกลิ่นที่รุนแรง ตะกอนที่อยู่ในบ่อจะมีสีดำเข้ม

บ่อกึ่งหมัก (Facultative pond) มีความลึกประมาณ 2 เมตร ทำให้แสงแดดส่องลงไปไม่ถึงตลอดความลึกของบ่อ ดังนั้นบริเวณผิวหน้าของบ่อ จึงมีสาหร่ายและวัชพืชขึ้นปกคลุม ซึ่งเมื่อสาหร่ายสังเคราะห์แสงจะปล่อยก๊าซออกซิเจนออกมา จึงมีจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายความสกปรกอยู่บริเวณผิวหน้าของบ่อที่แสงแดดส่องถึง ส่วนบริเวณที่แสงแดดส่องไม่ถึงนั้น จะมีจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนเช่นเดียวกันกับบ่อหมัก

บ่อบ่ม (Maturation pond) เป็นบ่อค่อนข้างตื้นมีความลึกประมาณ 1-1.5 เมตร เพื่อให้แสงแดดสามารถส่องทะลุถึงก้นบ่อ จึงมีสาหร่ายและวัชพืชขึ้นปกคลุม และเกิดการเติมอากาศตามธรรมชาติ กระบวนการบำบัดความสกปรกในน้ำเสียจึงเป็นกระบวนการแบบใช้ออกซิเจน น้ำเสียที่อยู่ในบ่อจึงมักมีสีเขียว เนื่องจากมีสาหร่ายปะปนอยู่ในน้ำ ดังนั้น จึงควรมีการกำจัดสาหร่ายออกก่อนที่จะทิ้งน้ำลงแหล่งน้ำสาธารณะ (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

ภาพที่ 2 - 3 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร

(ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2553)



ภาพที่ 2 - 4 แผนผังขั้นตอนการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization)
(ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

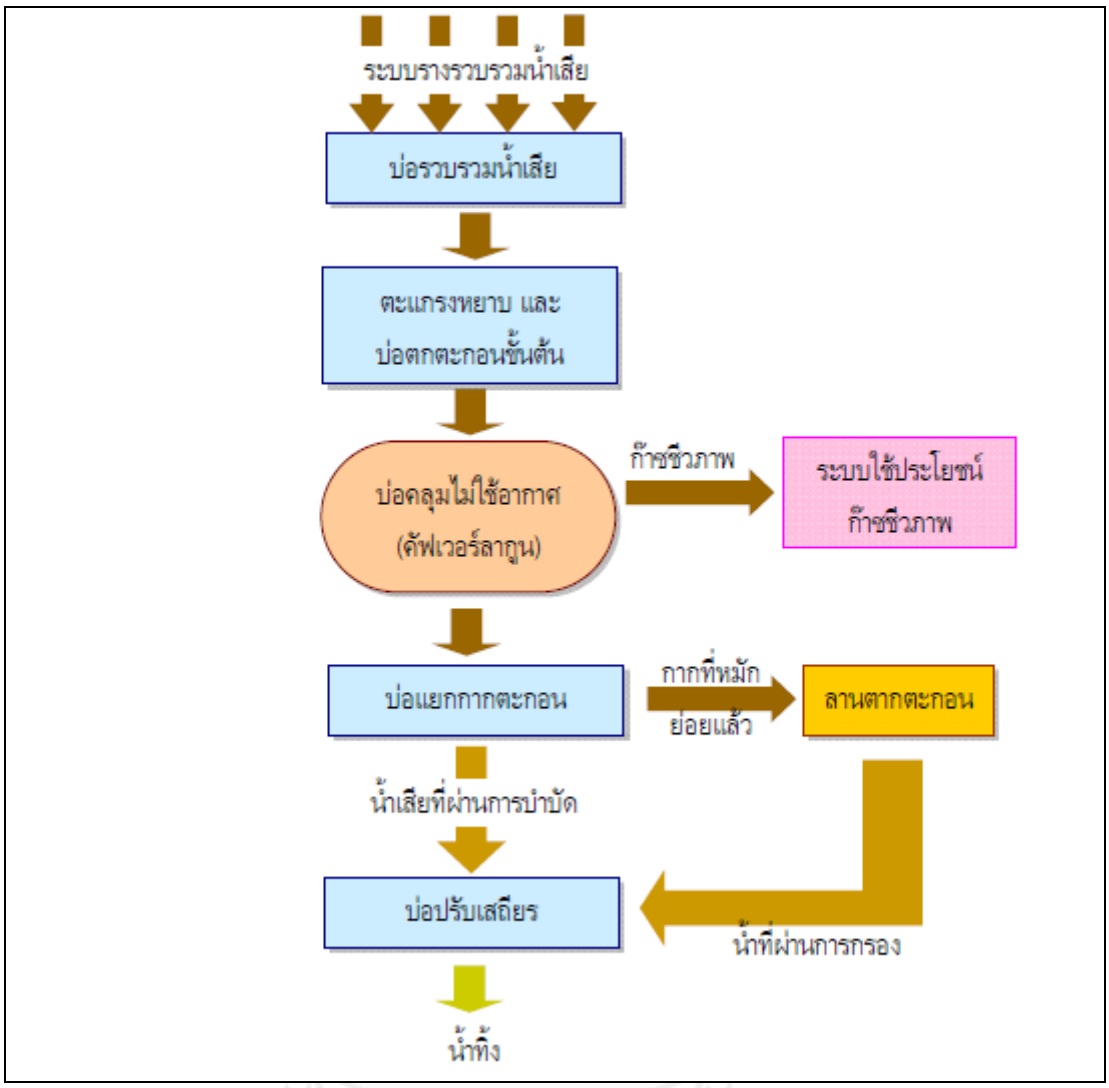
2.4.2.3 ระบบบ่อไร้อากาศแบบคลุมบ่อ (Covered Lagoon) เป็นระบบที่สามารถใช้ได้ทั้งน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ และโรงงานอุตสาหกรรม โดยสามารถใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียได้ เป็นระบบที่พัฒนามาจากระบบบ่อหมักแบบไร้อากาศ ระบบบำบัดแบบไร้อากาศแบบคลุมบ่อนี้สามารถแบ่งตามลักษณะการคลุมบ่อได้เป็น 2 แบบ ได้แก่ แบบคลุมเฉพาะส่วน (Partial cover) และแบบคลุมทั้งบ่อ (Bank to bank) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อไร้อากาศแบบคลุมบ่อและแผนผังขั้นตอนการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อไร้อากาศแบบคลุมบ่อ ดังแสดงในภาพที่ 2-5 และ 2-6 ตามลำดับ

ภาพที่ 2 - 5 ระบบบ่อไร้อากาศแบบคลุมบ่อ (Cover lagoon)

(ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

การทำงานของระบบเริ่มจากส่วนการบำบัดขั้นต้น ซึ่งเริ่มจากรางรวบรวมน้ำเสียและผ่านเข้าสู่บ่อรวบรวมน้ำเสีย และตะแกรงหยาบซึ่งจะดักวัสดุอื่นที่ปะปนมากับน้ำเสีย เช่น เศษเชือก เป็นต้น จากนั้นน้ำเสียจะไหลเข้าสู่บ่อตกตะกอนขั้นต้นซึ่งจะดักตะกอนหนักที่ปนมากับน้ำเสีย เช่น หิน หรือทราย เพื่อป้องกันการอุดตันของระบบและจะไหลต่อไปยังบ่อไร้อากาศแบบคลุมบ่อ (Covered lagoon) ซึ่งเป็นกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ ซึ่งทำให้เกิดก๊าซชีวภาพและตะกอนส่วนเกินจะถูกแยกออกจากบ่อไร้อากาศแบบคลุมบ่อและจะเข้าสู่ท่อแยกตะกอน จากนั้น กากตะกอนที่หมักย่อยแล้วจะถูกนำไปตากยังลานตากตะกอน ซึ่งกากตะกอนสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ยได้ สำหรับน้ำที่ผ่านจากบ่อไร้อากาศแบบคลุมบ่อจะมีความสกปรกน้อย และไหลไปสู่บ่อปรับเสถียรซึ่งเป็นการทำงานของจุลินทรีย์แบบกึ่งใช้ออกซิเจน (Facultative bacteria) น้ำเสียจะได้รับแสงแดดจึงมีสาหร่ายเกิดขึ้นซึ่งเป็นการช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ ทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 2 - 6 แผนผังขั้นตอนการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อไร้อากาศแบบคลุมบ่อ (Cover lagoon)
(ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

2.5 ปริมาณและลักษณะของน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากฟาร์มสุกร

ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากฟาร์มสุกรจะแตกต่างกันไปในแต่ละฟาร์ม ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร ระบบการทำความสะอาดคอก การให้ยา รวมไปถึงลักษณะสุกรที่ทำการเลี้ยง เราจึงต้องทราบถึงลักษณะต่างๆของน้ำเสียที่ออกมาจากฟาร์มสุกรทั้งทางด้านชีวภาพ ด้านเคมี และด้านกายภาพ เช่น ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น สี ความขุ่น ค่าพีเอช ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี ปริมาณของแข็งแขวนลอย ปริมาณโลหะ เป็นต้น จากการศึกษาข้อมูลจากฟาร์มสุกรและงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าน้ำเสียจากฟาร์มสุกรมีลักษณะสมบัติที่แตกต่างกันออกไป ดังแสดงในตารางที่ 2-3, 2-4, 2-5, 2-6 และ 2-7

ตารางที่ 2 - 3 แสดงอัตราการเกิดน้ำเสียและลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร จำแนกตามขนาดฟาร์ม

(กรมควบคุมมลพิษ, 2554)

ขนาดฟาร์มสุกร	อัตราการเกิดน้ำเสีย (ลิตร/ตัว/วัน)	ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย (มิลลิกรัม/ลิตร)				
		ค่าบีโอดี	ค่าซีโอดี	ของแข็งแขวนลอย	ทีเคเอ็น	ฟอสฟอรัสทั้งหมด
ขนาดใหญ่	10	3,000	7,000	4,800	540	8
ขนาดกลาง	15	2,500	6,800	3,000	540	9.5
ขนาดเล็ก	20	1,500	4,000	2,000	400	17

ตารางที่ 2 - 4 แสดงลักษณะน้ำทิ้งฟาร์มสุกรจากประชาฟาร์ม อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม

(พิชญ์ภัค เจียรพันธ์, 2552)

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	คุณภาพน้ำทิ้ง	หน่วย
1. ลักษณะของตัวอย่างน้ำ	สีน้ำตาลเหลือง	-
2. ค่าพีเอช	8.35	-
3. ซีโอดี	776	มิลลิกรัมต่อลิตร
4. ของแข็งแขวนลอย	424	มิลลิกรัมต่อลิตร
5. ปริมาณไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น	289	มิลลิกรัมต่อลิตร
6. ปริมาณฟอสฟอรัส	75	มิลลิกรัมต่อลิตร
7. ปริมาณโลหะ		
1) แมกนีเซียม	68.73	มิลลิกรัมต่อลิตร
2) แคลเซียม	39.39	มิลลิกรัมต่อลิตร
3) โพแทสเซียม	38.48	มิลลิกรัมต่อลิตร
4) เหล็ก	3.12	มิลลิกรัมต่อลิตร
5) ทองแดง	0.74	มิลลิกรัมต่อลิตร
6) สังกะสี	2.69	มิลลิกรัมต่อลิตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 2 - 5 แสดงลักษณะน้ำทิ้งฟาร์มสุกร

(Suzuki และคณะ, 2007)

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ค่าพีเอช		7.4	0.2
บีโอดี 5 วัน (BOD_5)	(mg/L)	4050	1517
ของแข็งแขวนลอย	(mg/L)	4113	1866
ฟอสฟอรัส (P)	(mg/L)	145	36
แอมโมเนียม (NH_4)	(mg/L)	532	250
แมกนีเซียม (Mg)	(mg/L)	102	25
แมกนีเซียม (Soluble)	(mg/L)	46	15
แคลเซียม (Ca)	(mg/L)	255	70
แคลเซียม (Soluble)	(mg/L)	80	13
คอปเปอร์ (Cu)	(mg/L)	2.47	1.05
คอปเปอร์ (Soluble)	(mg/L)	0.4	0.24
สังกะสี (Zn)	(mg/L)	5.88	2.41
สังกะสี (Soluble)	(mg/L)	0.32	0.18

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2 - 6 แสดงลักษณะน้ำเสียฟาร์มสุกร
(Huang และคณะ, 2011)

ค่าพารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย	หน่วย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ค่าพีเอช	7.8		0.2
ซีโอดี (COD)	2388	(mg/L)	238
บีโอดี 5 วัน (BOD_5)	1035	(mg/L)	164
ไนโตรเจนทั้งหมด (TN)	1212	(mg/L)	55
ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย (NH_3-N)	985	(mg/L)	31
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)	182	(mg/L)	19
ฟอสเฟต (PO_4^{3-}-P)	161	(mg/L)	11
โพแทสเซียม (K)	797	(mg/L)	27
แคลเซียม (Ca)	135	(mg/L)	23
แมกนีเซียม (Mg)	6.7	(mg/L)	3.6
อะลูมิเนียม (Al)	5.8	(mg/L)	2.5
เหล็ก (Fe)	2.1	(mg/L)	0.8

ตารางที่ 2 - 7 แสดงลักษณะน้ำเสียฟาร์มสุกร
(Liu และคณะ, 2011)

ค่าพารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย	หน่วย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ค่าพีเอช	8.35		0.23
ออร์โธฟอสเฟต (OP)	189.9	(mg/L)	159.84
ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม (NH_4-N)	3033.7	(mg/L)	1123.52
ของแข็งทั้งหมด (TS)	14.87	(g/L)	9.56
ของแข็งระเหยได้ (TVS)	8.43	(g/L)	6.54
ของแข็งแขวนลอย (SS)	8.66	(g/L)	9.29
ของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (VSS)	7.07	(g/L)	7.37

2.6 มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร

น้ำเสียจากฟาร์มสุกรต้องได้รับการบำบัดก่อนที่จะระบายออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วต้องมีการตรวจสอบคุณภาพน้ำทิ้ง โดยมีการตรวจสอบวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี และค่าพีเอช เป็นต้น ให้ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2554) ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกรดังแสดงในตารางที่ 2-8

ตารางที่ 2 - 8 มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร
(กรมควบคุมมลพิษ, 2554)

มาตรฐานเพื่อควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร				
ดัชนีคุณภาพน้ำ	**หน่วย**	**เกณฑ์มาตรฐานสูงสุด**		
		ฟาร์มขนาดใหญ่	**ฟาร์มขนาดกลางและเล็ก**	**วิธีการตรวจสอบ**
1.ค่าพีเอช		5.5 – 9	5.5 – 9	เครื่องวัดพีเอชที่มีความละเอียดไม่ต่ำกว่า 0.1 หน่วย
2.บีโอดี	มก./ล.	60	100	เอไซด์โมดิฟิเคชันหรือขั้วอิเล็กโทรด
3.ซีโอดี	มก./ล.	300	400	ย่อยสลายโดยใช้โพแทสเซียมไดโครเมตด้วยวิธีรีฟลักซ์แบบเปิดหรือรีฟลักซ์แบบปิด
4.ของแข็งแขวนลอย	มก./ล.	150	200	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้วและอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 °- 105 °ซ
5.ทีเคเอ็น	มก./ล.	120	200	แมคโครเจลดาห์ลและตรวจวัดแอมโมเนียด้วยวิธีการวัดสี (Colorimetric)หรือขั้ววัดแอมโมเนีย (Ammonia Selective Electrode)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

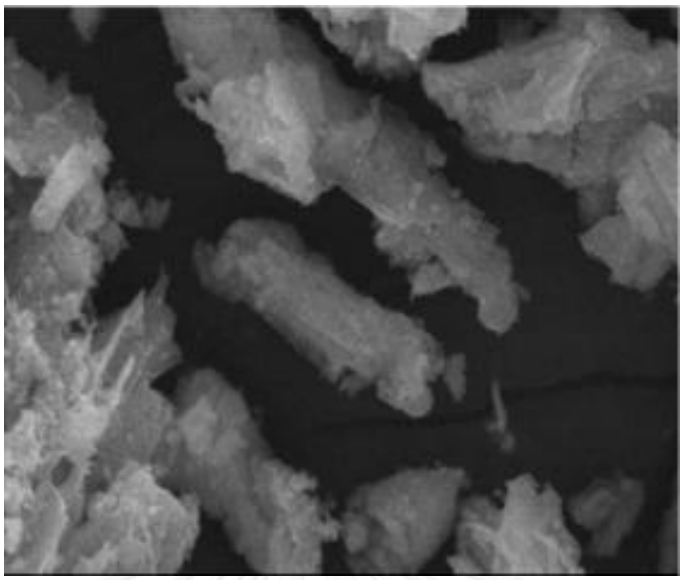
2.7 ผลึก MAP

ผลึก MAP (Magnesium ammonium phosphate) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า สตรูไวท์ (Struvite) มีสูตรทางเคมี คือ $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ (แมกนีเซียม แอมโมเนียม ฟอสเฟต เฮกซะไฮเดรต) ผลึกมีรูปทรงหกเหลี่ยมรูปยาว สีขาว สีขาวเหลืองหรือขาวน้ำตาล (Bishop, 2006) ผลึก MAP มีลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีตามแสดงในตารางที่ 2-9

ตารางที่ 2 - 9 ลักษณะสมบัติของผลึก MAP
(Weinrich, 2011)

คุณสมบัติ	**ลักษณะ**
สูตรทางเคมี	$MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$
Molecular weight	245.41 กรัม
รูปทรงผลึก	หกเหลี่ยมรูปยาว
สี	ขาว ขาวอมเหลือง ขาวอมน้ำตาล
ความหนาแน่น	1.7
ความเงา	คล้ายแก้วเนื้อด้าน

ภาพที่ 2 - 7 ผลึก MAP
(ที่มา: Dockhorn, 2009)



ภาพที่ 2 - 8 โครงสร้างของผลึก MAP
(ที่มา: Liu และคณะ, 2011)

2.7.1 การเกิดผลึก MAP

เกิดจากการรวมตัวของแมกนีเซียม แอมโมเนียม ฟอสเฟตในอัตรา 1 : 1 : 1 ตกตะกอนเป็นของแข็งออกแยกออกมาจากน้ำ ซึ่งสามารถเกิดได้ตามธรรมชาติหรืออาจพบการสะสมผลึกในรูปของตะกรันตามชิ้นส่วนต่างๆ ของระบบบำบัดน้ำเสีย (ตวงกมล พฤทธิ์ธโนปจัย, 2552) การเกิดผลึก MAP เป็นตามสมการที่ (2-1) และมีค่าคงที่การละลาย (K_{sp}) เท่ากับ 7.08×10^{-14} ดังนี้

$$Mg^{2+} + NH_4^{+} + PO_4^{3-} + 6H_2O \longrightarrow MgNH_4PO_4 . 6H_2O_{(s)} \qquad (2\text{-}1)$$

$$K_{sp} = [Mg^{2+}][NH_4^{+}][PO_4^{3-}] = 7.08 \times 10^{-14}$$

ค่าคงที่การละลาย (K_{sp}) เป็นค่าที่บ่งบอกความสามารถในการละลายได้ของสารใดๆ ในตัวทำละลาย ถ้าความเข้มข้นของสารที่เติมลงไปน้อยกว่าค่า K_{sp} สารละลายจะอยู่ในภาวะไม่อิ่มตัว (Unsaturated) สารสามารถละลายลงไปในตัวทำละลายได้อีก ถ้าความเข้มข้นของสารที่เติมลงไปเท่ากับค่า K_{sp} สารละลายจะอิ่มตัวพอดี (Saturated) สารจะไม่สามารถละลายลงไปในตัวทำละลายได้อีก และถ้าความเข้มข้นของสารที่เติมลงไปมากกว่าค่า K_{sp} สารละลายจะอยู่ในภาวะอิ่มตัวยิ่งยวด (Supersaturated) ปริมาณสารที่เติมเกินค่า K_{sp} จะสามารถจับตัวกันตกตะกอนแยกตัวออกจากน้ำได้

2.7.2 กระบวนการตกตะกอนผลึก MAP (Le Corre, 2009)

การตกตะกอนผลึก MAP ในสารละลายของเหลวหรือของแข็งสามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติหรือเกิดขึ้นจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเกิดจาก 2 ขั้นตอนคือ

2.7.2.1 การเกิดเกล็ดผลึก (Nucleation)

การเกิดขึ้นของอนุภาคอิสระในสารละลายของเหลวหรือไอ อนุภาคอิสระจะเคลื่อนที่แบบสุ่มในสารละลาย แล้วเกิดการรวมตัวกันของอนุภาคอิสระ เมื่ออนุภาคอิสระรวมตัวกันมากพอก็จะกลายเป็นเอ็มบริโอ (Embryo) ซึ่งจะเกิดการเริ่มต้นเรียงตัวกันของอนุภาคและเกิดขึ้นมาใหม่ สุดท้ายจะตกผลึกแยกออกมา ซึ่งเอ็มบริโอจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้นๆ เท่านั้นและกลับไปเป็นอนุภาคอิสระ แต่ถ้าสารละลายอิ่มตัวยิ่งยวดมากพอ เอ็มบริโออาจเจริญเติบโตจนมีขนาดที่สามารถอยู่ในสมดุลทางอุณหพลศาสตร์กับสารละลายได้ เรียกเอ็มบริโอนี้ว่า นิวเคลียส (Nucleus) ภาพที่ 2-9 แสดงลำดับขั้นการเกิดของผลึก

อนุภาคอิสระ ⟶ เอ็มบริโอ ⟶ นิวเคลียส ⟶ ผลึก

ภาพที่ 2 - 9 ลำดับขั้นการเกิดของผลึก

การเกิดขึ้นของอนุภาคนี้เกิดขึ้นได้ทั้งแบบการเกิดเกล็ดผลึกปฐมภูมิ (Primary nucleation) และการเกิดเกล็ดผลึกทุติยภูมิ (Secondary nucleation)

การเกิดเกล็ดผลึกปฐมภูมิ (Primary nucleation) เกิดในสารละลายที่ไม่มีผลึกอยู่ในรูปของสารแขวนลอย ต้องการสภาพอิ่มตัวยิ่งยวดสูง แบ่งการเกิดเกล็ดผลึกได้ 2 ชนิด

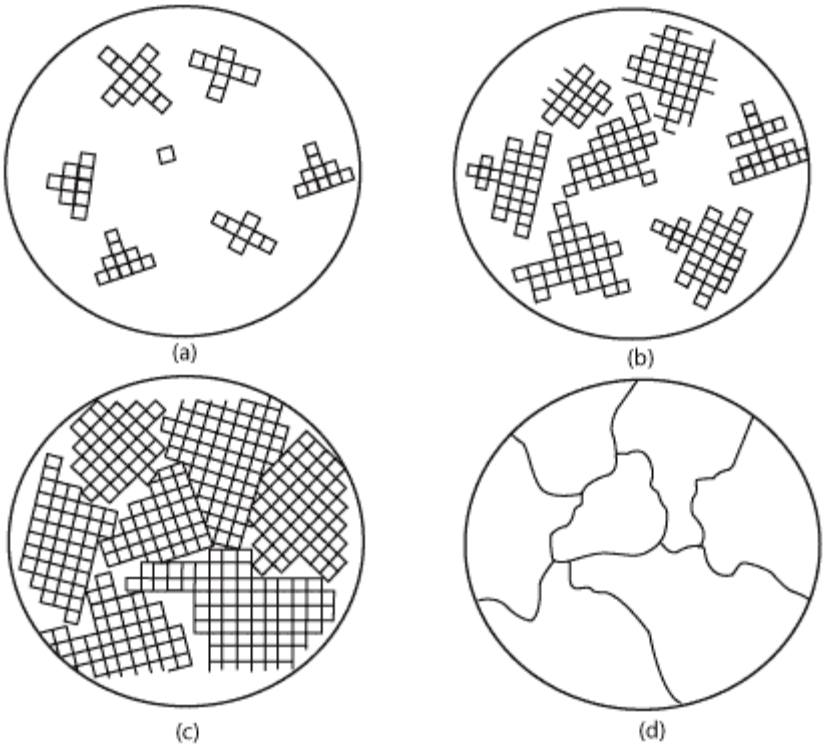
- Homogeneous nucleation คือ เกิดนิวเคลียสผลึกขึ้นเองในสารละลายและที่ความบริสุทธิ์ของตัวกลางสูง โดยเกิดขึ้นจากอนุภาคหลายอย่าง เช่น โมเลกุล อะตอม หรือไอออน เป็นต้น (ไม่ได้มีผลมาจากของแข็งจากแหล่งใดๆ หรืออนุภาคของสารแปลกปลอมขนาดเล็กจากที่อื่นในสภาพอิ่มตัวยิ่งยวด)

- Heterogeneous nucleation คือ เกิดผลึกได้โดยมีอนุภาคของแข็งจาก แหล่งอื่นเข้ามาในกระบวนการ โดยอาจเป็นสารเร่งปฏิกิริยาในการเพิ่มอัตราการเกิดนิวเคลียสผลึกที่ทำให้เกิดสภาพอิ่มตัวยิ่งยวด

การเกิดเกล็ดผลึกทุติยภูมิ (Secondary nucleation) เกิดจากอิทธิพลของผลึกในระดับที่เห็นได้ด้วยตาเปล่าในสารละลายที่มีเกล็ดผลึกอยู่ในสารละลายแล้ว4

2.7.2.2 การโตของผลึก (Crystal growth)

เป็นกระบวนการเติบโตของผลึกที่เกิดขึ้นต่อจากการเกิดนิวเคลียส โดยสามารถเกิดได้อย่างต่อเนื่องถ้าสิ่งแวดล้อมอยู่ในสภาวะที่เหมาะสม กระบวนการโดยรวมแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนต่อเนื่องกัน คือขั้นตอนการแพร่และขั้นตอนการเกาะติดที่ผิวระหว่างหน้า ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดในสารละลายอิ่มตัวยิ่งยวด (Le Corre, 2009) ดังแสดงในภาพที่ 2-10



ภาพที่ 2 - 10 a) การเกิดเกล็ดผลึก b) การโตของผลึก
c) การรวมตัวกันของผลึก d) รอยต่อของผลึก
(ที่มา: Larson, 2011)

2.7.3 ปัจจัยของการเกิดผลึก MAP

การตกตะกอนผลึก MAP เป็นกระบวนการทางเคมีที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่อยู่ในน้ำเสีย โดยใช้แมกนีเซียม เป็นตัวประสานให้เกิดเป็นผลึกของแข็งและตกตะกอนแยกออกจากน้ำ โดยปัจจัยในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาที่สำคัญ ได้แก่ ค่าพีเอชของน้ำ อัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสม สิ่งเจือปน และอื่นๆ (บริษัท ทีม เอ็นเนอร์ยี่ แมแนจเมนท์ จำกัด, 2552) มีรายละเอียดดังนี้

2.7.3.1 ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชของน้ำมีผลต่อการตกตะกอนผลึกของ MAP ดังนั้นในน้ำเสียที่มีแมกนีเซียม ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบอยู่ การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชอาจทำให้เกิดสารประกอบได้ในหลายรูปแบบ นอกจากผลึก MAP เช่น Mg^{2+}, $MgOH^{+}$, $MgH_2PO_4^{+}$, $MgHPO_4$, H_3PO_4, $H_2PO_4^{-}$, HPO_4^{2-}, PO_4^{3-}, $MgPO_4^{-}$, NH_3 (aqueous) เป็นต้น โดยเมื่อค่าพีเอชของน้ำมีค่าน้อยกว่า 7 (pH < 7) แมกนีเซียม แอมโมเนียมและฟอสเฟต จะสามารถละลายน้ำได้ดีจึงไม่จับตัวกันเป็นผลึก MAP เมื่อค่าพีเอชมากกว่า 10 (pH>10) ขึ้นไป จะเกิดสารประกอบในรูป $Mg_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ หรือ $Mg(OH)_2$ และเมื่อน้ำมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7–9 จะเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการเกิดตะกอนผลึก MAP นอกจากนี้ที่สภาวะดังกล่าวอาจเกิดการตกตะกอนผลึกของแคลเซียมไฮดรอกซี-อะพาไทต์

(Calcium hydroxyapatite, HAP) ดังนั้นในการสร้างตะกอนผลึก MAP จึงต้องการการควบคุมค่าพีเอชให้เหมาะสมเพื่อที่จะทำให้เกิดตะกอนผลึกอย่างสมบูรณ์

แนวทางในการเพิ่มสภาพความเป็นด่างให้กับน้ำเสียเพื่อเร่งการตกตะกอนสามารถทำได้หลายแนวทาง (De-Bashan และ Bashan, 2004) เช่น

- การเติมแมกนีเซียม เช่น แมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium oxide, MgO) และแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ (Magnesium Hydroxide, $Mg(OH)_2$)
- การเติมสารเคมีที่มีสภาพเป็นด่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์
- กระบวนการไล่อากาศ (Air striping)

2.7.3.2 อัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสม (Molar ratio)

กลไกการเกิดผลึก MAP ตามทฤษฎีนั้นต้องการอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมระหว่างแมกนีเซียมต่อแอมโมเนียมต่อฟอสเฟต (Mg^{2+}: NH_4^+: PO_4^{3-}) เท่ากับ 1 : 1 : 1 (Saidou และคณะ, 2008) จากการศึกษาในต่างประเทศพบว่า น้ำเสียจากฟาร์มสุกรโดยทั่วไปนั้นมีปริมาณของแมกนีเซียมน้อยหรือไม่เพียงพอ เมื่อเทียบกับไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในการตกตะกอนผลึก MAP จึงต้องเติมสารเคมีเพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณของแมกนีเซียมให้มีค่าเหมาะสมต่อการเกิดผลึก นอกจากนี้ ปริมาณแมกนีเซียมต่อฟอสเฟต (Mg^{2+}: PO_4^{3-}) ที่เหมาะสมต่อการเกิดผลึกจะมากหรือน้อยนั้นก็ขึ้นอยู่กับสารประกอบอื่นๆ ที่เจือปนอยู่ในน้ำเสีย เช่น สารอินทรีย์ (Organic matter) และไอออนต่างๆ ที่อยู่ในน้ำเสียซึ่งทำปฏิกิริยากับแมกนีเซียมที่เติมลงไป จึงทำให้ต้องการปริมาณแมกนีเซียมเพิ่มมากขึ้นเพื่อการเกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ จากการศึกษาของ (Celen และคณะ, 2007) พบว่าอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมเพื่อการเกิดผลึก MAP ของแมกนีเซียมต่อฟอสเฟต (Mg^{2+}: PO_4^{3-}) ที่มากเกินพอต่อการทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ในน้ำเสีย คือ 1.6 : 1 ดังนั้นในการแยกฟอสฟอรัสออกจากน้ำเสียด้วยวิธีการนี้จึงต้องทำการเติมแมกนีเซียมให้เพียงพอต่อความต้องการในการเกิดปฏิกิริยา

ปริมาณการเติมแมกนีเซียมเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมการเกิดผลึก MAP หลายงานวิจัยได้ให้ความสำคัญกับชนิดของสารประกอบแมกนีเซียมและปริมาณที่เหมาะสมต่อการเกิดผลึก MAP สารประกอบแมกนีเซียมที่ได้มีการศึกษาในงานวิจัยและนำมาใช้กับโรงงานต้นแบบได้แก่ แมกนีเซียมออกไซด์ และแมกนีเซียมคลอไรด์ โดยสารประกอบแมกนีเซียมแต่ละชนิดมีข้อดีและข้อจำกัดดังนี้

- แมกนีเซียมออกไซด์ มีข้อดีในการเพิ่มค่าพีเอชของน้ำ ซึ่งช่วยเร่งการตกตะกอนผลึก MAP ได้ดีโดยไม่ต้องเติมสารเคมีเพื่อเพิ่มค่าพีเอชของน้ำให้สูงขึ้นอีก แต่ข้อเสียของแมกนีเซียมออกไซด์ คือ ละลายน้ำได้ยาก ใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาช้า และเหลือแมกนีเซียมออกไซด์หลังจากการทำปฏิกิริยา
- แมกนีเซียมคลอไรด์ พบว่า เป็นสารประกอบแมกนีเซียมที่เหมาะสมต่อการเติมเพื่อตกตะกอนผลึก MAP เนื่องจากมีข้อดี คือ ละลายน้ำได้ง่าย ทำให้ใช้ระยะเวลาในการเกิด ปฏิกิริยาสั้นกว่าแต่ข้อจำกัดของการใช้แมกนีเซียมคลอไรด์ ก็คือ เมื่อละลายน้ำจะเป็นการเพิ่มปริมาณกรดอ่อนลงในน้ำ ซึ่งเป็นช่วงพีเอชที่ไม่เหมาะสมต่อเกิดผลึก MAP ดังนั้นจึงต้องการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อปรับค่าพีเอชให้อยู่ในช่วงที่ทำการศึกษา

2.7.2.3 สิ่งเจือปนในน้ำเสีย

ปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกับการตกตะกอนผลึก MAP ได้แก่ ปริมาณสารแขวนลอย ปริมาณไอออนในน้ำ ซึ่งมีผลต่อการตกตะกอนของผลึกต่างๆในน้ำ และปริมาณสารเคมีที่ต้องเติมลงไป เช่น แคลเซียมสามารถรวมตัวกับฟอสเฟตตกผลึกเป็นผลึกแคลเซียมฟอสเฟตได้

2.7.2.4 การกวนผสม

ความเร็วที่ใช้ในการกวนผสมมีผลต่อการเกิดผลึก MAP เนื่องจากถ้ามีการกวนผสมมาก ผลึกไม่เกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน จากการศึกษาของ (Ohlinger, 1999) ศึกษาขนาดและรูปทรงของผลึก MAP เมื่อกวนผสมด้วยความเร็วต่างๆ กัน พบว่า การกวนผสมที่ความเร็วแตกต่างกันจะส่งผลต่อขนาดและรูปทรงของผลึก MAP

2.8 การเติมอากาศ

การเติมอากาศมีประโยชน์หลายด้านในการบำบัดน้ำเสีย เช่น สามารถกำจัดสีกลิ่นและรสของน้ำได้ สามารถกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสีย เช่น เหล็กหรือแมงกานีสได้ อีกทั้งยังสามารถกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นการเพิ่มพีเอชของน้ำได้อีกด้วย

2.8.1 การกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารที่สามารถละลายน้ำได้ โดยในอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.04 จะมีความสามารถในการละลายน้ำเท่ากับ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2538) เมื่อละลายอยู่ในน้ำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนหนึ่งจะอยู่ในรูปของก๊าซอิสระและส่วนหนึ่งจะทำปฏิกิริยากับน้ำทำให้เกิดกรดคาร์บอนิกตามสมการที่ (2-2) ซึ่งมีสมบัติเป็นกรดอ่อน ส่งผลให้พีเอชในน้ำลดต่ำลง

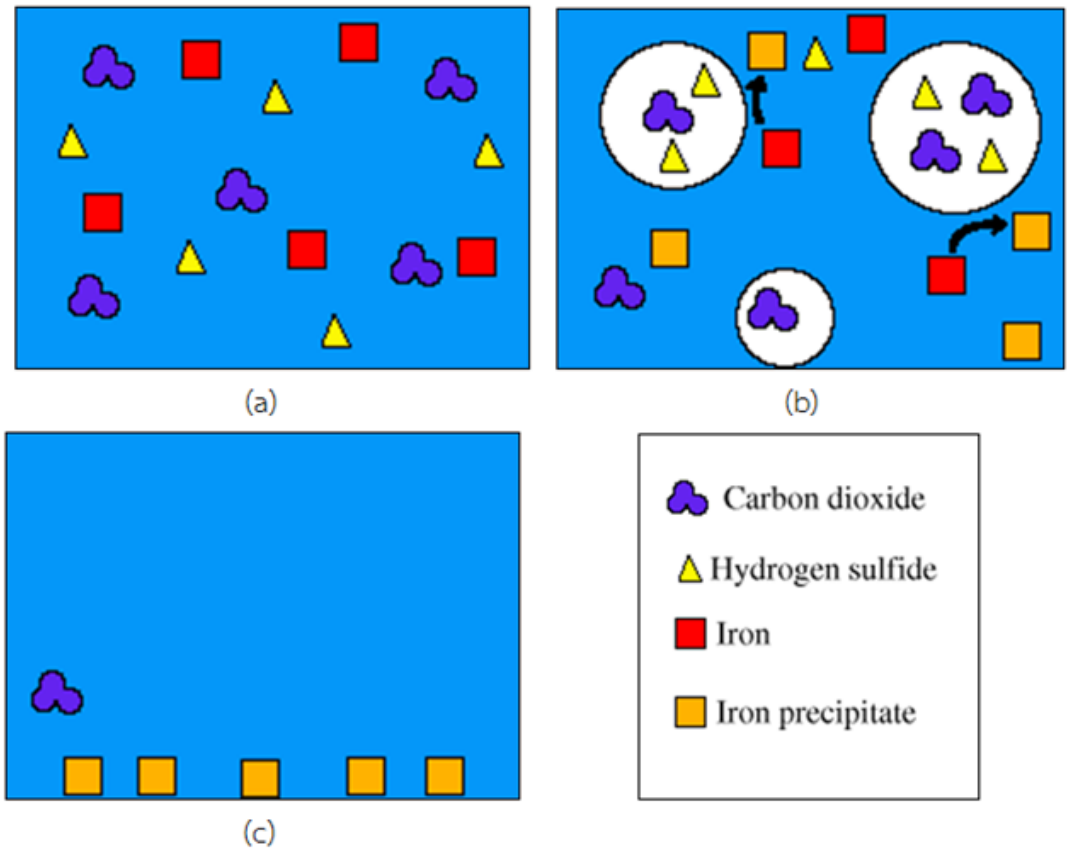
$$H_2O + CO_2 \longrightarrow H_2CO_3 \qquad (2\text{-}2)$$

การเติมอากาศเข้าไปในบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาสามารถเพิ่มพีเอชของน้ำ โดยกระบวนการดูดซึม (Scrubbing) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเกิดจากความปั่นป่วนเมื่อน้ำและฟองอากาศเกิดการผสมกัน ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการทางกายภาพ โดยฟองอากาศจะเป็นตัวกลางพาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้สามารถหลุดออกจากน้ำได้ ทำให้กรดคาร์บอนิกแตกตัว ดังสมการที่ (2-3) และกระบวนการดังกล่าวยังสามารถกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งเป็นการกำจัดกลิ่นและสีของน้ำได้อีกด้วย

$$H_2CO_3 \longrightarrow CO_2 + H_2O \qquad (2.3)$$

2.8.2 การกำจัดโลหะ

การกำจัดโลหะในน้ำเสีย เกิดจากกระบวนการเติมอากาศ ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโลหะในน้ำได้ โลหะที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำและตกตะกอนแยกตัวออกจากน้ำได้ เช่น เหล็กในรูปของเฟอร์รัสออกไซด์จะสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยออกซิเจนกลายเป็นเฟอร์ริกออกไซด์ได้ ซึ่งเฟอร์ริกออกไซด์เป็นเหล็กในรูปที่ไม่ละลายน้ำ การกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และโลหะด้วยกระบวนการเติมอากาศดังแสดงในภาพที่ 2-11



ภาพที่ 2 - 11 น้ำก่อนทำการเติมอากาศ b) น้ำในขณะที่ทำการเติมอากาศ
c) น้ำหลังจากการเติมอากาศ
(ที่มา : Cooke, 2012)

2.9 การตกตะกอนทางเคมี (Chemical coagulation) (มั่นสิน, 2538)

การตกตะกอนทางเคมีหรือโคแอกกูเลชั่น หมายถึง กระบวนการทั้งหมดในการทำให้อนุภาคคอลลอยด์มารวมกันเป็นฟล้อค (Floc) มี 2 ขั้นตอน ดังนี้

1) ทำลายเสถียรภาพ (Destabilization) ของอนุภาคคอลลอยด์ เช่น ลดแรงผลักระหว่างอนุภาคโดยทางใดทางหนึ่ง เป็นต้น โดยวิธีการเติมสารโคแอกกูแลนท์ (Coagulant) ทำให้อนุภาคดึงดูดเข้าหากัน

2) ทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ เคลื่อนที่มากระทบหรือสัมผัสกันให้มากที่สุด (Transport of colloidal particles) เมื่ออนุภาคถูกทำลายเสถียรภาพแล้ว การสร้างโอกาสสัมผัสระหว่างอนุภาคย่อมเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าเดิม เมื่ออนุภาคต่างๆ สัมผัสกันแล้วจะเกิดการเกาะรวมกันเป็นตะกอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

คอลลอยด์ เป็นสารเนื้อเดียวที่เกิดจากการรวมตัวกันสารตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป มีขนาดเล็กมาก จนไม่สามารถตกตะกอนได้ด้วยน้ำหนักตัวเองภายในเวลาจำกัด ดังนั้นจึงต้องทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์เพื่อทำให้อนุภาคสามารถรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนที่มีขนาดและน้ำหนักมากขึ้น จนสามารถตกตะกอนได้ ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ ขึ้นอยู่กับแรงผลักและแรงดูดระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ แรงผลักเกิดขึ้นจากศักย์ไฟฟ้าซึ่งชักนำโดยประจุไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์ ส่วนแรงดูดเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der waals forces) ซึ่งเป็นแรงที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติของอนุภาคขนาดเล็กและของโมเลกุล ถ้าแรงผลักมากกว่าแรงดูด ทำให้อนุภาคคอลลอยด์มีเสถียรภาพและแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ แต่ถ้าแรงดูดมากกว่าแรงผลัก อนุภาคคอลลอยด์จะไม่มีเสถียรภาพและไม่สามารถแขวนลอยอยู่น้ำได้

การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์สามารถกระทำได้โดยกลไก 4 แบบ คือ

1. โดยการลดความหนาของชั้นกระจาย (Diffuse layer)
2. โดยการดูดติดและทำลายประจุไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์ (Adsorption/Charge neutralization)
3. โดยใช้ผลึกสารอินทรีย์เพิ่มน้ำหนักและขนาดของอนุภาคคอลลอยด์ (ห่อหุ้มอนุภาค)
4. โดยใช้สารโพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อม (Polymer bridging)

2.9.1 โดยการลดความหนาของชั้นกระจาย (Diffuse layer)

การเพิ่มจำนวนของไอออนที่มีประจุตรงข้ามกับประจุของอนุภาคเป็นการเพิ่มจำนวนประจุตรงกันข้าม (Counter ion) ในชั้นกระจาย ผลที่เกิดขึ้นคือ ชั้นกระจายมีความหนาลดลง และทำให้ซีตาโพเทนเชียลดลงตามไปด้วย ดังแสดงในภาพที่ 2-12 เนื่องจากมีประจุบวกเข้าไปออกันอยู่ใกล้ผิวของอนุภาคคอลลอยด์เพิ่มขึ้น ทำให้อนุภาคของประจุลบของอนุภาคไม่สามารถส่งออกไปได้ไกลเท่าเดิม ไอออนต่างๆ มีอำนาจในการลดความหนาของชั้นกระจาย (ซึ่งเท่ากับลดซีตาโพเทนเชียล) ไม่เท่ากัน ปรากฏว่าไอออนที่มีวาเลนซ์ 1 2 และ 3 มีอำนาจดังกล่าวเป็น 1:10:1000 ตามลำดับ ยกตัวอย่างเช่น ไอออนของอลูมิเนียม (Al^{3+}) จะได้ผลดีกว่าไอออนของแคลเซียม (Ca^{2+}) ถึง 1000 เท่า ดังแสดงภาพที่ 2-13 ข้อสังเกตที่ควรตระหนักคือ ไอออนบวกต่างๆ ดังกล่าวไม่ได้อยู่ในน้ำอย่างอิสระ เนื่องจากไอออนเหล่านี้มักมีโมเลกุลของน้ำห่อหุ้มอยู่ เช่น ไอออนของอลูมิเนียมมีน้ำ 6 โมเลกุลจับกันอยู่ ($Al(H_2O)_6^{3+}$) (เรียกว่า Aqua complex) ซึ่งมีข้อเสียเพราะว่าทำให้ไอออนบวก (ของโลหะ) ไม่สามารถดูดติดผิวของอนุภาคคอลลอยด์ได้ โมเลกุลของน้ำเป็นเสมือนเกราะป้องกันการสัมผัสโดยตรง ระหว่างอนุภาคคอลลอยด์กับไอออนบวก ไอออนบวกต่างๆ ที่ออกันอยู่ในชั้นกระจายและไม่สามารถทำลายประจุของคอลลอยด์ได้ดีเท่าที่ควร การลดโมเลกุลของน้ำในสารประกอบคอมเพล็กซ์ (Aqua complex) ช่วยทำให้ไอออนบวกและอนุภาคคอลลอยด์เข้าใกล้กันมากขึ้น เช่น $Al(OH)(H_2O)_5^{2+}$ หรือ $Al(OH)_2(H_2O)_4^{+}$ สามารถเกาะติดบนผิวของอนุภาคคอลลอยด์ได้ แต่ $Al(H_2O)_6^{3+}$ ไม่สามารถกระทำได้ ดังแสดงในภาพที่ 2-13 (ค) จึงแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า $Al(OH)(H_2O)_5^{2+}$ หรือ $Al(OH)_2(H_2O)_4^{+}$ หรือสารประกอบคอมเพล็กซ์อื่นๆ สิ้นเปลืองน้อยกว่า $Al(H_2O)_6^{3+}$ ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ กลไกนี้ไม่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนประจุเป็นตรงข้าม เพราะจำนวนไอออนต่างชนิดในชั้นกระจายถูกกำจัดด้วยศักย์ไฟฟ้าของคอลลอยด์เสมอ

ไอออนต่างประจุ (โคแอกกูแลนท์) ส่วนที่เติมมากเกินไปจะอยู่นอกชั้นกระจาย ดังนั้นไม่ว่าจะใช้โคแอกกูแลนท์มากเท่าใดการเปลี่ยนประจุของคอลลอยด์ให้เป็นตรงข้ามจะไม่สามารถเกิดขึ้น ถ้าโคแอกกูแลนท์ไม่สามารถดูดติดผิวของอนุภาคคอลลอยด์

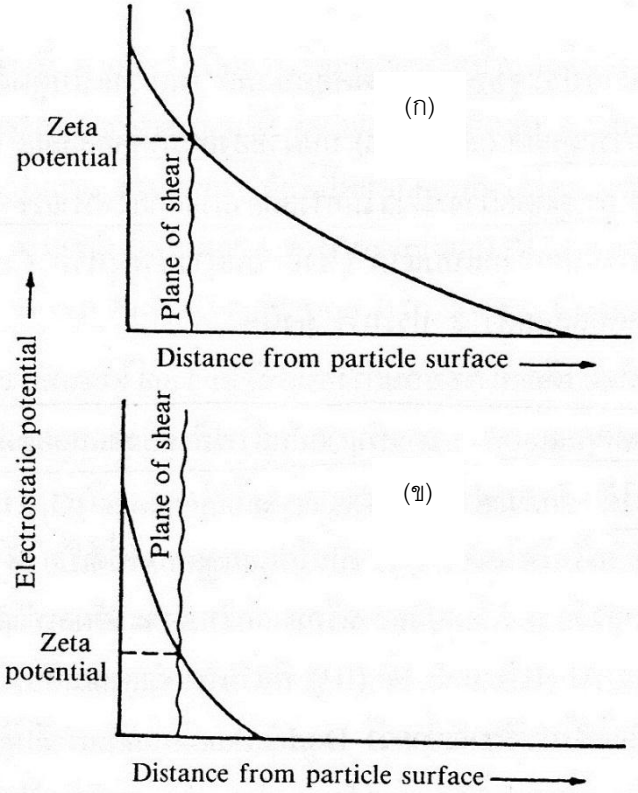
2.9.2 โดยการดูดติดและทำลายประจุไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์(Adsorption/ Charge neutralization)

สารเคมีบางหมู่สามารถดูดติด (Adsorbed) บนผิวของอนุภาคคอลลอยด์ได้ ถ้าสารเหล่านั้นมีประจุไฟฟ้าตรงกันข้ามกับคอลลอยด์ การดูดติดผิวจะมีผลในทางลดอำนาจศักย์ไฟฟ้าและทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ กลไกแบบดูดติดผิวนี้แตกต่างจากแบบแรก (ซึ่งไอออนต่างประจุอยู่ในชั้นกระจาย โดยไม่ดูดติดผิวของอนุภาคคอลลอยด์) 3 ประการ ดังนี้

1) กลไกแบบดูดติดผิวต้องการไอออนต่างชนิดน้อยกว่ากลไกแบบแรก เนื่องจากไอออนต่างประจุที่ไม่สามารถเข้าถึงผิวอนุภาคได้ การทำลายศักย์ไฟฟ้าของคอลลอยด์จึงได้ผลดีกว่าไอออนต่างประจุที่ไม่สามารถเข้าถึงผิวอนุภาคได้ เช่น Dodecylammomium ($C_{12}H_{25}NH_3^+$) สามารถดูดติดผิวของคอลลอยด์ประจุลบของเงินไอโอไดด์ (AgI) เป็นโคแอกกูเลชั่นที่ดีเมื่อใช้ในประมาณ $6x10^{-5}$ โมลต่อลิตร แต่ต้องใช้ไอออนโซเดียม (Na^+) สูงถึง 0.1 โมลต่อลิตร หรือมากกว่า จึงจะได้ผลเท่ากัน ดังแสดงในภาพที่ 2-13 (ก) และ (ข) สารประกอบคอมเพล็กซ์ของไอออนอลูมิเนียม (Al^{3+}) และไอออนเหล็ก (Fe^{3+}) ก็สามารถทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ด้วยกลไกแบบดูดติดผิวเช่นกัน และยังใช้ในประมาณต่ำกว่า Dodecylammomium อีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2-11 (ค)

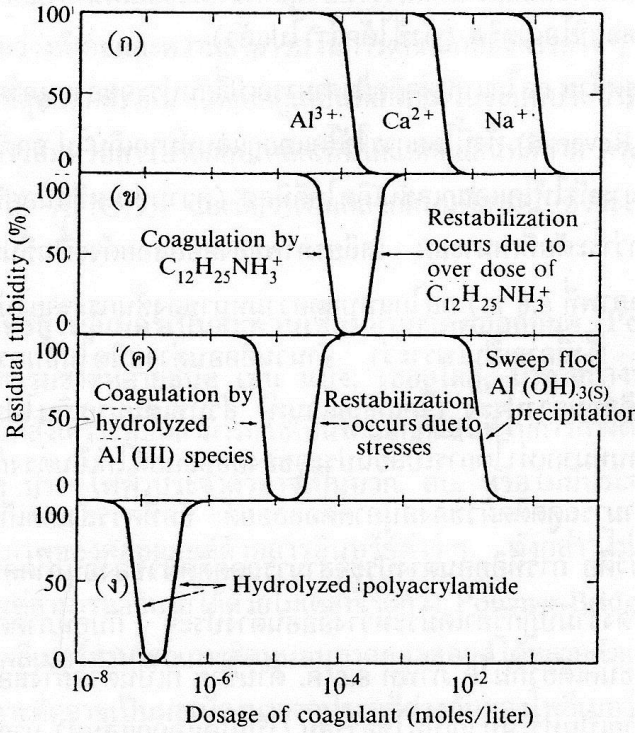
2) กลไกแบบดูดติดผิวแบบสตอยชิโอเมตริค (Stoichiometric) คือ ปริมาณของโคแอก-กูแลนท์ที่ใช้เพิ่มหรือลดตามการเพิ่มหรือลดของปริมาณอนุภาคคอลลอยด์ (ที่ถูกควรเป็นพื้นที่ผิวของอนุภาคคอลลอยด์) แต่การทำลายเสถียรภาพแบบลดความหนาของชั้นกระจายไม่เป็นสตอย-ชิโอเมตริค

3) กลไกแบบดูดติดผิวสามารถเปลี่ยนประจุของอนุภาคคอลลอยด์ให้เป็นตรงกันข้ามกับของเดิม (Charge reversal) เกิดจากการใช้โคแอกกูแลนท์มากเกินไป เช่น ใช้ Dodecyl- ammomium พอเหมาะทำให้โคแอกกูเลชั่นเกิดได้ดีที่สุด (ความขุ่นเหลือน้อยที่สุด) แต่เมื่อเติม Dodecylammomium มากกว่าระดับที่เหมาะสม เสถียรภาพของคอลลอยด์จะฟื้นขึ้นมาใหม่ เนื่องจากมีเปลี่ยนประจุไฟฟ้าเกิดขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2-13 (ข) ข้อควรสังเกตของกลไกนี้ คือ การที่ไอออนต่างประจุสามารถดูดติดผิวของอนุภาคคอลลอยด์จนประจุเปลี่ยนไปเป็นตรงกันข้าม แสดงว่าปฏิกิริยาเคมีระหว่างไอออนต่างประจุกับคอลลอยด์จนสามารถเอาชนะแรงผลักระหว่างประจุชนิดเดียวกันได้ ดังแสดงในภาพที่ 2-13 (ค) เป็นกลไกแบบดูดติดผิวที่ทำให้คอลลอยด์ประจุลบกลายเป็นประจุบวกเมื่อใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนท์มากเกินไป



ภาพที่ 2 - 12 ผลของการเติมไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามให้กับคอลลอยด์
(ก) ก่อนเติมไอออน (ข) หลังจากการเติมไอออน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 2 - 13 การเปรียบเทียบปริมาณโคแอกกูแลนท์ที่ใช้ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ด้วยกลไกแบบต่างๆ

(ก) เป็นการลดความหนาของชั้นกระจายด้วย Al^{3+} Ca^{2+} และ Na^{+} ต้องการโคแอกกูแลนท์มากที่สุด

(ง) เป็นการใช้โพลีเมอร์เป็นตัวเชื่อโยง (สะพาน) ให้อนุภาคคอลลอยด์มารวมตัวกัน ต้องการสารโคแอกกูแลนท์น้อยที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.9.3 โดยใช้ผลึกสารอินทรีย์เพิ่มน้ำหนักและขนาดของอนุภาคคอลลอยด์ (ห่อหุ้มอนุภาค)

ถ้าเติมสารประกอบเกลือของโลหะบางชนิดลงไปในน้ำในปริมาณเพียงพอจะมีการตกผลึกเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว อนุภาคคอลลอยด์อาจเป็นแกนในของผลึกเพื่อทำให้ผลึกมีขนาดใหญ่หรืออาจจับรวมตัวรวมกับผลึก ลักษณะที่เกิดขึ้นดังกล่าวนี้อาจถือเป็นการเพิ่มขนาดหรือน้ำหนักให้กับอนุภาคคอลลอยด์เป็นผลให้คอลลอยด์สูญเสียเสถียรภาพและสามารถตกตะกอนได้ กลไกแบบนี้เรียกว่า สารห่อหุ้มคอลลอยด์ (Sweep floc coagulation หรือ Sweep coagulation)

กลไกที่ใช้ผลึกสารอนินทรีย์ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์มีลักษณะแตกต่างจากกลไก 2 แบบแรก คือ ปริมาณโคแอกกูแลนท์ที่เหมาะสม (Optimum dosage) แปรผกผันกับความเข้มข้นของคอลลอยด์ คือ น้ำที่มีความขุ่นน้อยต้องใช้โคแอกกูแลนท์จำนวนมากจึงจะเกิดโคแอกกูเลชั่นได้ดี ในทางตรงกันข้ามน้ำที่มีความขุ่นสูงอาจใช้โคแอกกูเลชั่นน้อยกว่า เนื่องจากน้ำที่มีความขุ่นต่ำจะมีโอกาสสัมผัสระหว่างอนุภาคน้อย ดังนั้นแม้ว่าการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์จะเกิดขึ้นแล้วโคแอกกูเลชั่นอาจไม่เกิดได้ดีเท่าที่ควร การใช้โคแอกกูแลนท์ปริมาณสูงก็เพื่อสร้างผลึกจำนวนมากๆ สำหรับเป็นวัสดุเป้าสัมผัสให้กับอนุภาคคอลลอยด์ แต่ในกรณ์ที่น้ำมีความขุ่นสูง โอกาสสัมผัสย่อมมีมากจึงไม่จำเป็นต้องอาศัยเป้าสัมผัสจากภายนอกมาก

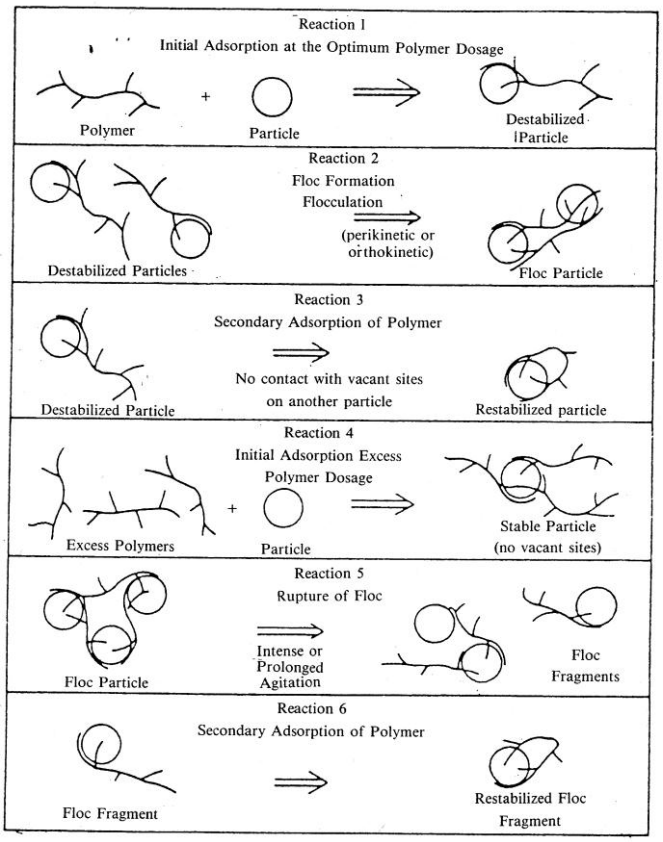
กลไกแบบนี้ไม่ต้องทำลายประจุที่ผิวของอนุภาคคอลลอยด์ โคแอกกูเลชั่นจึงไม่จำเป็นต้องเกิดขึ้นในขณะที่ซีตาโพเทนเชียลมีค่าต่ำที่สุด ซึ่งกลไกนี้พีเอชมีความสำคัญมาก เนื่องจากมีความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและความสามารถในการตกผลึกของสารต่างๆ โคแอกกูแลนท์แต่ละตัวจะมีระดับพีเอชที่เหมาะสมที่สุดแตกต่างกัน

2.9.4 โดยใช้สารโพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อม (Polymer bridging)

สารประกอบตามธรรมชาติ เช่น แป้ง เซลลูโลส น้ำตาลบางชนิด และโปรตีนบางชนิดรวมทั้งสารอินทรีย์โพลีเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นสามารถใช้เป็นโคแอกกูแลนท์ ในการกำจัดคอลลอยด์ได้ สารเหล่านี้มีขนาดโมเลกุลใหญ่ ประจุไฟฟ้าประจำตัวอาจเป็นบวก ลบ หรือไม่มีประจุเลยก็ได้

การทำลายเสถียรภาพคอลลอยด์ด้วยสารอินทรีย์ต่างๆ ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยกลไกที่กล่าวไปทั้งสามแบบ แต่สามารถอธิบายได้ด้วยโมเดลที่เรียกว่า Polymer bridging ดังแสดงในภาพที่ 2-14 ตามทฤษฎีนี้ โมเลกุลของสารโพลีเมอร์สามารถเกาะติดบนอนุภาคคอลลอยด์ได้หลายตำแหน่ง ดังแสดงสมการที่ 2-14 ปฏิกิริยาที่ 1 การเกาะติดอาจเป็นผลเนื่องมาจากประจุที่ต่างกันของโพลีเมอร์และคอลลอยด์ อนุภาคที่มีโพลีเมอร์เกาะติดอยู่โดยมีปลายอิสระสำหรับเกาะบนอนุภาคอื่นถือได้ว่าเป็นอนุภาคที่สูญเสียเสถียรภาพแล้ว อนุภาคดังกล่าวสามารถจับตัวกับอนุภาคอื่นๆ โดยมีโพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อม ดังแสดงในปฏิกิริยาที่ 2 การเชื่อมต่อด้วยโพลีเมอร์จะเกิดขึ้นได้ตราบเท่าที่มีโพลีเมอร์และตำแหน่งว่างบนผิวอนุภาค ถ้าปลายอิสระของโพลีเมอร์ไม่มีที่จะเกาะจับบนอนุภาคอื่นปลายอิสระก็จะเกาะจับบนอนุภาคเดิม ดังแสดงในปฏิกิริยาที่ 3 ทำให้เสียประโยชน์ 2 ประการ คือ ทำให้ไม่มีปลายอิสระไว้จับอนุภาคอื่นและทำให้มีตำแหน่งว่างบนอนุภาค สามารถยึดเกาะน้อยลง อนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกสารโพลีเมอร์ยึดเกาะหลายตำแหน่งจะไม่มีปลายอิสระและที่ว่าง เรียกว่า อนุภาคที่มีเสถียรภาพกลับคืนมาใหม่ (Destabilized particle) การใช้โพลีเมอร์มากเกินไปอาจก่อให้เกิดผลเสียได้ เพราะโพลีเมอร์หลายโมเลกุลจะไปเกาะอยู่บนอนุภาคคอลลอยด์ จนกระทั่งไม่มี

ที่ว่างบนอนุภาคสำหรับเป็นที่จับของปลายอิสระของโพลีเมอร์ที่อยู่บนอนุภาคอื่นๆ ดังแสดงในปฏิกิริยาที่ 4 อนุภาคคอลลอยด์ที่เกิดขึ้นจึงเป็นแบบที่มีเสถียรภาพ การกวนน้ำแรงเกินไปหรือนานเกินไปก็ก่อผลเสียได้ เนื่องจากฟล้อคที่เกิดขึ้นแล้วแตกออกเป็นส่วนๆ ดังแสดงในปฏิกิริยาที่ 5 และอาจทำให้ปลายอิสระของโพลีเมอร์เกาะจับบนอนุภาคอันเดิม ดังแสดงในปฏิกิริยาที่ 6 เสถียรภาพของคอลลอยด์จึงกลับคืนมาใหม่อีก



ภาพที่ 2 - 14 กลไกของการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์แบบต่อเชื่อด้วยโพลีเมอร์

หลังจากทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์และเกิดการจับตัวกันเป็นตะกอนแล้ว ตะกอนเหล่านั้นจะเคลื่อนที่มาสัมผัสกัน เกิดการเกาะรวมกัน เป็นตะกอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

2.10 ข้อดีของการตกตะกอนผลึก MAP ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

1. ช่วยลดปัญหายูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำธรรมชาติ เนื่องจากน้ำที่ผ่านการตกตะกอนผลึก MAP จะมีปริมาณธาตุอาหารอยู่น้อย

2. เป็นกระบวนการที่สะดวกเนื่องจากสามารถลดปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในขั้นตอนเดียว

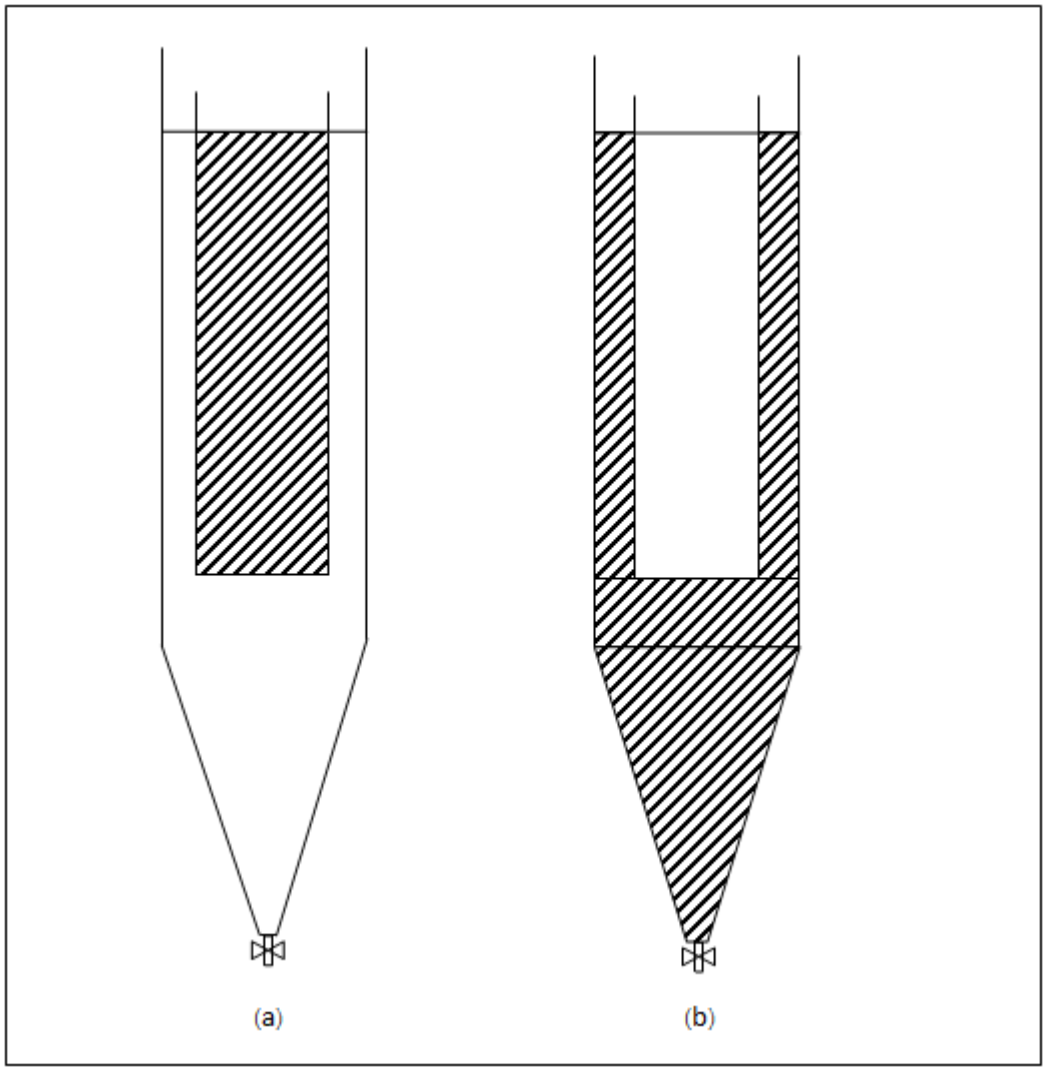
3. คุณภาพน้ำทิ้งใกล้เคียงกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง เนื่องจากมีการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

4. ผลึก MAP เมื่อนำไปอบให้แห้ง สามารถนำไปใช้ทำเป็นปุ๋ยทางการเกษตรได้

2.11 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.11.1 ถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องที่ใช้ตกตะกอนผลึก MAP

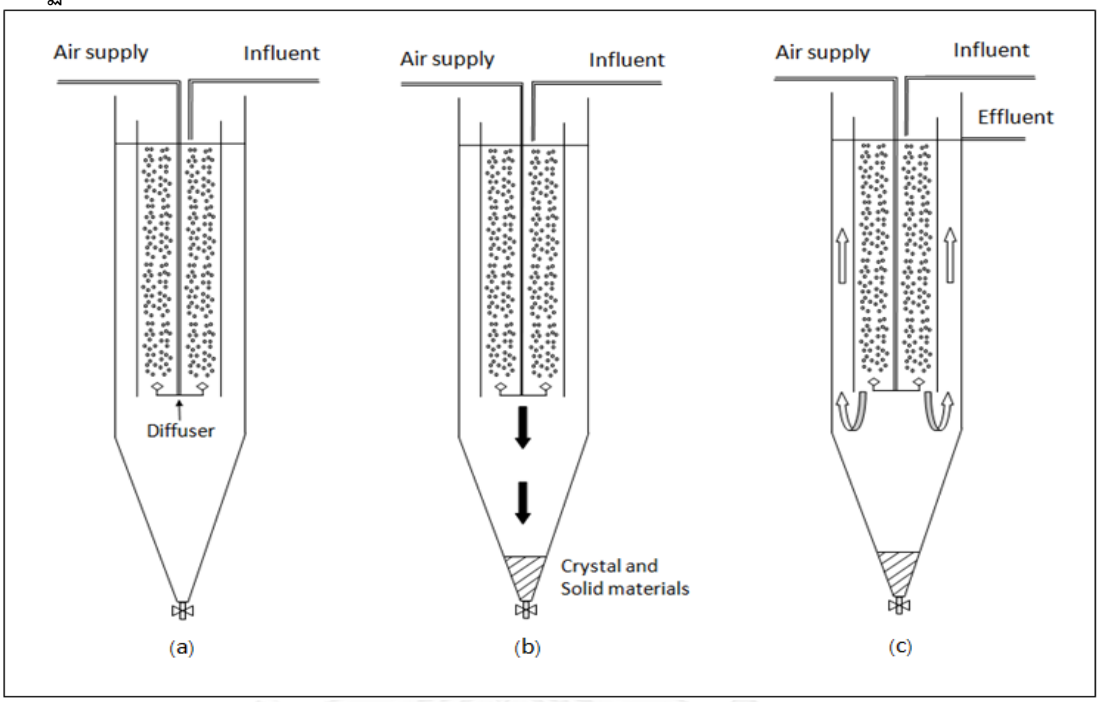
Suzuki และคณะ (2002) ออกแบบถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องที่ใช้ในการทดลองตกตะกอนผลึก MAP เพื่อลดปริมาณฟอสฟอรัสและนำฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งฟาร์มสุกรกลับมาใช้ใหม่ โดยถังปฏิกิริยาจะมีรูปทรงกระบอกทางด้านบนและทรงกรวยทางด้านล่าง ภายในจะเป็นคอลัมน์ทรงกระบอกสองชั้น ถังปฏิกิริยาจะมีกระบวนการเติมอากาศและตกตะกอนในเวลาเดียวกันภายในถังปฏิกิริยาจะมีสองโซนแยกออกจากกัน คือโซนการเติมอากาศและโซนการตกตะกอนดังแสดงในภาพที่ 2-15



ภาพที่ 2 - 15 แสดงโซนการเติมอากาศและการตกตะกอน (a) โซนการเติมอากาศ (b) โซนตกตะกอน

การทำงานของถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องจะเริ่มจากน้ำที่จะทำการบำบัดจะถูกสูบเข้าถังปฏิกิริยาทางด้านบนภายในโซนการเติมอากาศ อากาศจะถูกเติมภายในคอลัมน์ด้านในเพื่อสร้างความปั่นป่วน เพิ่มค่าพีเอชของน้ำด้วยกระบวนการไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนที่เติมเข้า

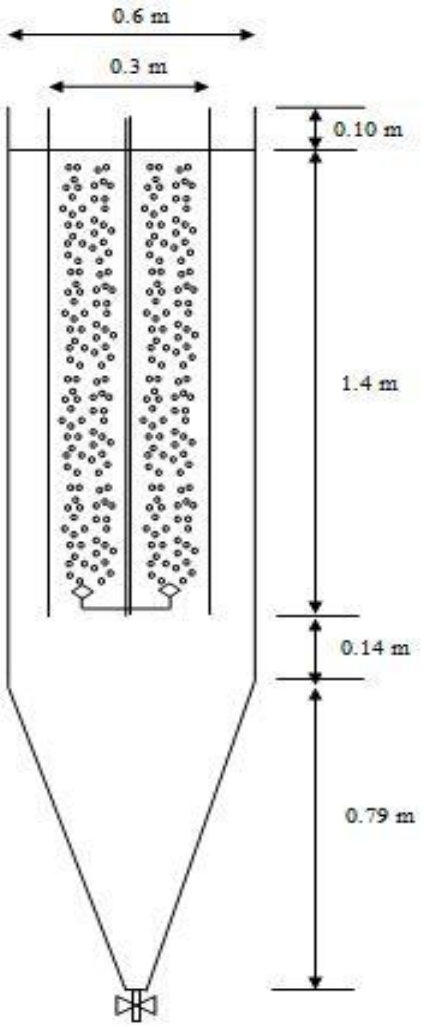
ไปยังสามารถออกซิไดส์โลหะให้อยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ จึงสามารถกำจัดด้วยกระบวนการตกตะกอนภายในถังปฏิกิริยาได้ ตะกอนผลึก MAP ที่เกิดขึ้น เมื่อมีน้ำหนักมากพอจะตกตะกอนลงสู่ด้านล่างของถังปฏิกิริยา รวมทั้งค่าซีโอดีและปริมาณของแข็งแขวนลอย ซึ่งสามารถกำจัดด้วยกระบวนการตกตะกอนภายในถังปฏิกิริยานี้ด้วยเช่นกัน น้ำที่ผ่านการเติมอากาศและตกตะกอนจะไหลขึ้นสู่ด้านบนของถังและทำการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำหลังผ่านการบำบัด การทำงานของถังปฏิกิริยาแสดงในภาพที่ 2-16



ภาพที่ 2 - 16 การทำงานของถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่อง
(a) อากาศและน้ำจะถูกสูบเข้าทางด้านบนของถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่อง
(b) เมื่อผลึก MAP และตะกอนของแข็งมีน้ำหนักมากพอ จะตกตะกอนลงมาด้านล่างของถัง
(c) น้ำที่ผ่านการโซนเติมอากาศและตกตะกอนจะไหลขึ้นสู่ด้านบน

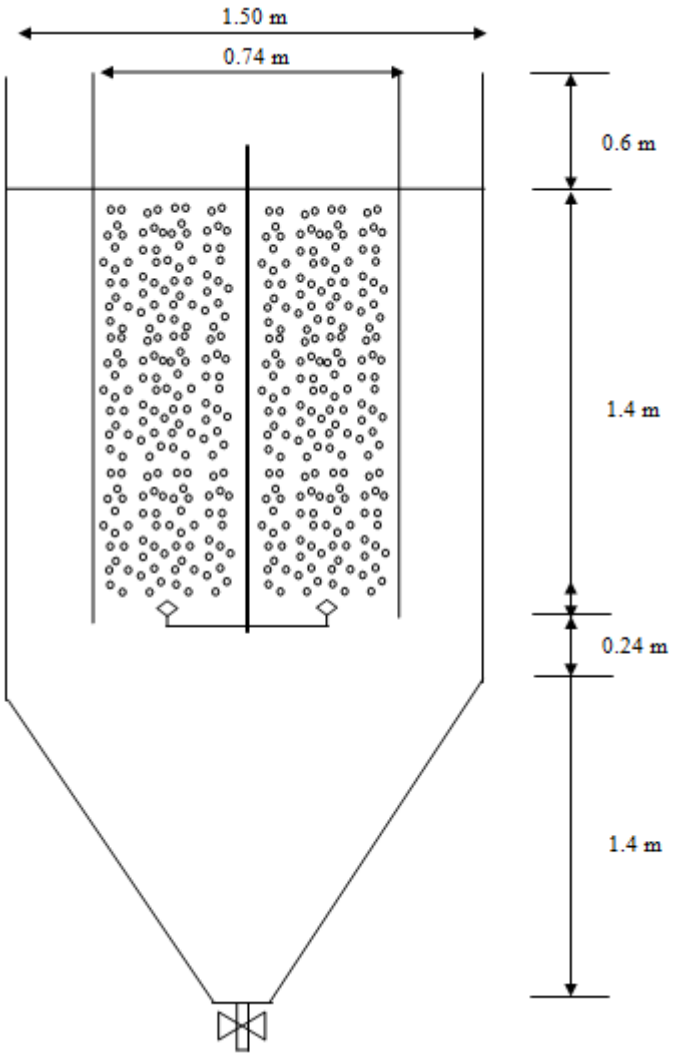
Suzuki และคณะ (2002) และ Suzuki และคณะ (2007) ได้ทำการสร้างถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องเพื่อใช้ในการทดลองตกตะกอนผลึก MAP จากน้ำทิ้งฟาร์มสุกร โดยสร้างในขนาดที่แตกต่างกัน เช่นความสูง ปริมาตร พื้นที่ผิวน้ำโซนเติมอากาศ จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งฟาร์มสุกรของถังปฏิกิริยาในปี 2007 มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าถังปฏิกิริยาในปี 2002 โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสอยู่ที่ร้อยละ 79 และ 65 ตามลำดับ

Suzuki และคณะ (2002) ออกแบบถังปฏิกิริยามีปริมาตรถังทั้งหมด 0.51 ลูกบาศก์เมตร ปริมาตรน้ำโซนตกตะกอนเท่ากับ 0.41 ลูกบาศก์เมตร ปริมาตรน้ำโซนเติมอากาศเท่ากับ 0.1 ลูกบาศก์เมตร มีระยะเวลากักเก็บน้ำในโซนเติมอากาศและภายในถังปฏิกิริยาเท่ากับ 4.1 และ 21 ชั่วโมงตามลำดับ มีลักษณะและขนาดดังแสดงในภาพที่ 2-17



ภาพที่ 2 - 17 แสดงลักษณะและขนาดของถังปฏิกิริยา (Suzuki และคณะ, 2002)

Suzuki และคณะ (2007) ออกแบบถังปฏิกิริยามีปริมาตรถังทั้งหมด 3.72 ลูกบาศก์เมตร ปริมาตรน้ำโซนตกตะกอนเท่ากับ 3.12 ลูกบาศก์เมตร ปริมาตรน้ำโซนเติมอากาศเท่ากับ 0.6 ลูกบาศก์เมตร ทดลองโดยใช้อัตราการไหลของน้ำที่ 4.0 และ 5.3 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งจะมีระยะเวลากักเก็บน้ำในโซนเติมอากาศเท่ากับ 3.6 และ 2.7 ชั่วโมง และมีระยะเวลากักเก็บน้ำภายในถังปฏิกิริยาเท่ากับ 22.3 และ 16.8 ชั่วโมง ตามลำดับ มีลักษณะและขนาดดังแสดงในภาพที่ 2-18



ภาพที่ 2 - 18 แสดงลักษณะและขนาดของถังปฏิกิริยา (Suzuki และคณะ, 2007)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2 - 10 เปรียบเทียบลักษณะ ขนาดและอัตราส่วนพื้นที่ของถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่อง (Suzuki และคณะ, 2002) และ (Suzuki และคณะ, 2007)

ถังปฏิกิริยา	Suzuki และคณะ (2002)	Suzuki และคณะ (2007)
ปริมาตรรวมของถังปฏิกิริยา (m^3)	0.51	3.72
(A) ปริมาตรน้ำโซนตกตะกอน (m^3)	0.41	3.12
(B) ปริมาตรน้ำโซนเติมอากาศ (m^3)	0.1	0.6
อัตราส่วนปริมาตร A : B	4.1 : 1	5.2 : 1
(C) ความยาวโซนเติมอากาศ (m)	1.4	1.4
(D) ความยาวโซนตกตะกอน (m)	2.33	3.04
อัตราส่วนความยาว C : D	01:01.7	01:02.2
เส้นผ่านศูนย์กลางคอลัมน์เติมอากาศ	0.3	0.74
พื้นที่ผิวหน้าน้ำโซนเติมอากาศ	0.07	0.43

2.11.2 อัตราการเติมอากาศ ระยะเวลาการกักเก็บน้ำ ค่าพีเอชและอัตราส่วนโดยโมล แมกนีเซียม แอมโมเนียม ฟอสเฟต

Suzuki และคณะ (2002) ศึกษาค่า Aeration Index และระยะเวลาการกักเก็บน้ำที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการสร้างถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องที่ใช้ในการทดลอง โดยค่า Aeration Index 1 หาค่าจากการนำอัตราการเติมอากาศ (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง) หารด้วยพื้นที่ผิวน้ำโซนเติมอากาศ (ตารางเมตร) ตามสมการที่ (2-4) และ และค่า Aeration Index 2 หาค่าจากการนำอัตราการเติมอากาศ หารด้วยปริมาตรน้ำภายในโซนการเติมอากาศ (ลูกบาศก์เมตร) ตามสมการที่ (2-5)

$$\text{Aeration Index 1 } (m^3\ h^{-1}\ m^{-2}) = \frac{\text{Amount of air supply per hour } (m^3\ h^{-1})}{\text{Cross section of cylinder } (m^{-2})} \quad (2\text{-}4)$$

$$\text{Aeration Index 2 } (m^3\ h^{-1}\ m^{-3}) = \frac{\text{Amount of air supply per hour } (m^3\ h^{-1})}{\text{Volume of cylinder } (m^{-3})} \quad (2\text{-}5)$$

Chulalongkorn University

จากการทดลองแบบทีละเทโดยใช้คอลัมน์ทรงกระบอกที่มีการเป่าอากาศที่ด้านล่างของคอลัมน์ตลอดเวลาที่ดำเนินการทดลอง โดยคอลัมน์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.21 เมตร สูง 1.05 เมตร บรรจุน้ำสูง 0.82 เมตร โดยมีพื้นที่ผิวน้ำและปริมาตรน้ำ 0.035 ตารางเมตร และ 0.028 ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ทำการทดลองโดยแปรค่าอัตราการเติมอากาศที่อัตราต่างเพื่อหาค่า Aeration Index ที่เหมาะสม ทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่ 0 , 15, 30, 60, 120 และ 180 นาที ผลการศึกษาพบว่าค่า Aeration Index 1 และ Aeration Index 2 ที่เหมาะสมเท่ากับ 13 และ 16 ตามลำดับ และระยะเวลาการกักเก็บน้ำที่เหมาะสมเท่ากับ 120 นาที ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 2-11

ตารางที่ **2 - 11** ผลการทดลองหาค่า Aeration Index ที่เหมาะสม
(Suzuki และคณะ, 2002)

ชุดการทดลอง	**อัตราการเติมอากาศ (m^3 h^{-1})**	**Aeration Index 1**	**Aeration Index 2**	**น้ำที่ผ่านการเติมอากาศ 120 นาที**	
				ค่าพีเอช	**ฟอสเฟต (mmol l^{-1})**
1	1.1	31	38	8.7	1.11
2	0.45	13	16	8.4	1.17
3	0.23	6.5	7.9	8.1	1.79

ค่า Aeration Index ของถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องที่ใช้ในการทดลองที่มีการเติมอากาศอย่างต่อเนื่อง ผลของค่าพีเอชของน้ำโซนเติมอากาศและประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในงานวิจัยต่างๆดังแสดงในตารางที่ 2-12

ตารางที่ 2 - 12 ค่า Aeration Index ค่าพีเอช และประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสของถังปฏิกิริยาในงานวิจัยต่างๆ
(Suzuki และคณะ 2002) และ (Suzuki และคณะ,2007)

ถังปฏิกิริยา	**อัตราการเติมอากาศ (m^3 h^{-1})**	**พื้นที่ผิวน้ำโซนเติมอากาศ (m^2)**	**ปริมาตรน้ำโซนเติมอากาศ (m^3)**	**Aeration Index 1**	**Aeration Index 2**	**ค่าพีเอช**	**การกำจัดฟอสฟอรัส (ร้อยละ)**
Suzuki และคณะ (2002)	1.8	0.07	0.1	26	18	8.0	65
Suzuki และคณะ (2007)	12	0.43	0.6	27	20	7.5 - 8.0	-
	16	0.43	0.6	37	27	8.0 – 8.5	79

หมายเหตุ : ค่า Aeration Index ที่ใช้สูงกว่าค่าที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองแบบทีละเทเนื่องจากการขยายการดำเนินระบบที่ทำการปรับให้มีขนาดใหญ่ขึ้น

พิชญ์ภัค เจียรพันธ์ (2552) ศึกษาประสิทธิภาพการตกตะกอนผลึก MAP ในน้ำทิ้งฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดแบบไร้อากาศที่ค่าพีเอชและอัตราส่วนโดยโมลที่แตกต่างกันไป โดยจากการศึกษาพบว่าที่ค่าพีเอชในช่วง 8 - 9 และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างแมกนีเซียมต่อฟอสเฟตเท่ากับ 1.2 : 1 เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนผลึก MAP มากที่สุด และที่พีเอชมากกว่า 8.5 ขึ้นไปจะเกิดผลึกแคลเซียมฟอสเฟตร่วมด้วย ทำให้ประสิทธิภาพในการตกตะกอนผลึก MAP ลดลง

ตวงกมล พฤทธิ์ธโนปจัย (2552) ศึกษาหาพีเอชและวัสดุเป้าสัมผัสที่เหมาะสมในการตกตะกอนผลึก MAP ในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจากฟาร์มสุกร จากการศึกษาพบว่าที่พีเอช 8.5 เป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุดในการตกตะกอนผลึก MAP และวัสดุเป้าสัมผัสที่เหมาะสม คือ MAP9 ซึ่งเป็นผลึก MAP ที่ตกตะกอนในน้ำที่มีค่าพีเอช 9 โดยพบว่าการเติมผลึก MAP9 1 กรัมต่อปริมาตรน้ำ 1 ลิตร สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนผลึก MAP ได้ดีที่สุด

Startful และคณะ (2001) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนผลึก MAP โดยทำการทดลองแบบทีละเท ผลการศึกษาพบว่าระยะเวลาการทำปฏิกิริยาที่มากขึ้น จะทำให้ผลึก MAP มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยที่ 1, 60 และ 180 นาที ผลึกจะมีขนาด 0.1, 0.8 และ 3.0 mm ตามลำดับ

Saidou และคณะ (2009) ศึกษาผลของการเติมอากาศที่อัตราต่างๆในถังปฏิกิริยาขนาด 1 ลิตรโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ในการทดลอง โดยติดตามผลการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชและความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในน้ำที่ผ่านการบำบัดที่ช่วงเวลาต่างๆตั้งแต่ 0 – 90 นาที โดยทำการแปรค่าอัตราการเติมอากาศที่ 10 – 40 ลิตรต่อนาทีและปรับค่าพีเอชในน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นก่อนการทดลองเท่ากับ 6.5 ผลการศึกษาพบว่าการเติมอากาศที่อัตราต่างๆ สามารถเพิ่มค่าพีเอชได้ โดยค่าพีเอชจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดภายใน 15 - 20 นาที การเติมอากาศส่งผลต่อค่าพีเอชเนื่องจากการเกิดกระบวนการไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากน้ำและจะค่อยๆลดลงเมื่อถึงค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนผลึก MAP โดยเมื่อเกิดกระบวนการเกิดเกล็ดผลึก ผลึก MAP จะมีการปล่อยอนุภาคโปรตอนออกมา ตามสมการที่ (2-6) เป็นผลทำให้ค่าพีเอชค่อยๆลดลงจนถึงจุดที่การไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และการเกิดอนุภาคโปรตอนสมดุลกัน ค่าพีเอชจึงค่อยๆเข้าสู่สภาวะคงที่ โดยทุกๆอัตราการเติมอากาศจะมีค่าพีเอชคงที่หลังเกิดกระบวนการเกิดเกล็ดผลึกอยู่ที่ประมาณ 8 – 9 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมในการตะกอนผลึก MAP และจากการศึกษายังพบอีกว่าที่อัตราการเติมอากาศที่ 40 ลิตรต่อนาที ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสมีประสิทธิภาพต่ำที่สุด ซึ่งเป็นผลมาจากการเติมอากาศที่มากเกินไปส่งผลให้เกิดความปั่นป่วน โดยความปั่นป่วนที่มากเกินไปจะสามารถยับยั้งกระบวนการโตของผลึกได้

$$Mg^{2+} + NH_4^{+} + HPO_4^{2-} + 6H_2O \longrightarrow MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O_{(S)} + H^{+} \qquad (2\text{-}6)$$

Liu และคณะ (2011) ศึกษาอัตราการเติมอากาศที่เหมาะสมในการตกตะกอนผลึก MAP โดยใช้ค่าระยะเวลากักเก็บน้ำในโซนเติมอากาศเท่ากับ 4 ชั่วโมง จากผลการศึกษาพบว่าที่อัตราการเติมอากาศที่ 0, 0.18, 0.55, 0.92 และ 2.76 ลิตรอากาศต่อลิตรน้ำต่อนาที น้ำที่ผ่านการบำบัดจะมีค่าพีเอชอยู่ที่ 8.35, 8.43, 8.50, 8.55 และ 8.65 ซึ่งเป็นค่าพีเอชที่วัดจากน้ำที่ผ่านโซนการตกตะกอนแล้ว ซึ่งในโซนการเติมอากาศจะมีค่าพีเอชที่สูงกว่าเนื่องจากระหว่างที่น้ำผ่านโซนการ

ตกตะกอนจะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายลงไปในน้ำทำให้ค่าพีเอชลดลงซึ่งน้ำทิ้งฟาร์มสุกรที่ใช้ในการทดลองในงานวิจัยนี้จะมีค่าพีเอชเริ่มต้นอยู่ที่ 8.35

อัตราการเติมอากาศในหน่วยลิตรอากาศต่อลิตรน้ำต่อนาที ระยะเวลาการกักเก็บน้ำและค่าพีเอชในการทดลองบำบัดในงานวิจัยต่างๆที่มีการเติมอากาศอย่างต่อเนื่อง ซึ่งใช้ในการเลือกค่าอัตราการเติมอากาศและระยะเวลาการกักเก็บน้ำในถังปฏิกิริยาที่ใช้ในงานวิจัย ดังแสดงในตารางที่ 2-13

ตารางที่ 2 - 13 แสดงอัตราการเติมอากาศในหน่วยลิตรอากาศต่อลิตรน้ำต่อนาที ระยะเวลาการกักเก็บน้ำ และค่าพีเอชของน้ำหลังผ่านการบำบัดในงานวิจัยต่างๆที่มีการเติมอากาศอย่างต่อเนื่อง (Suzuki และคณะ, 2002), (Suzuki และคณะ, 2007) และ (Liu และคณะ 2011)

พารามิเตอร์	**Suzuki และคณะ (2002) แบบทีละเท**	**Liu และคณะ (2011) แบบไหลต่อเนื่อง**					**Suzuki และคณะ (2002) แบบไหลต่อเนื่อง**	**Suzuki และคณะ (2007) แบบไหลต่อเนื่อง**	
อัตราการเติมอากาศ (ลิตรอากาศต่อลิตรน้ำต่อนาที)	0.27	0	0.18	0.55	0.92	2.76	0.3	0.33	0.45
ปริมาณน้ำโซนเติมอากาศ (ลิตร)	28	2.72	2.72	2.72	2.72	2.72	100	600	600
ปริมาตรถังปฏิกิริยา (ลิตร)	-	-	-	-	-	-	510	3720	3720
อัตราการไหลของน้ำเสีย (ลิตรต่อชั่วโมง)	-	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	24.39	166.67	220.83
ระยะเวลากักเก็บน้ำในโซนเติมอากาศ (ชั่วโมง)	2	4	4	4	4	4	4.1	3.6	2.7
ระยะเวลากักเก็บน้ำในถังปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	-	-	-	-	-	-	21	22.3	16.8
ค่าพีเอชน้ำก่อนการบำบัด	6.7	8.35	8.35	8.35	8.35	8.35	6.7	7.4	7.4
ค่าพีเอชน้ำหลังการบำบัด	8.35	8.35	8.43	8.5	8.6	8.7	8	7.5 - 8.0	8.0 - 8.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ (Laboratory scale) ตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆภายใต้อุณหภูมิห้องที่ห้องปฏิบัติการของเสียอันตราย (Hazardous waste laboratory) อาคารสี่ภาควิชา (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิศวกรรมเหมืองแร่ วิศวกรรมเคมี และวิศวกรรมโลหะการ) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และทำการตั้งถังปฏิกิริยาทดลองบำบัดน้ำทิ้งฟาร์มสุกรที่ฟาร์มสุกรประชาฟาร์ม อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม โดยมีแผนการดำเนินงานวิจัยดังนี้

3.1 ลำดับขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1.ค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยและวางแผนการวิจัย

2.เตรียมอุปกรณ์ เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

3.เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งฟาร์มสุกรจาก ประชาฟาร์ม อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม

4.วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำทิ้งฟาร์มสุกรก่อนทำการบำบัด โดยพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ได้แก่ ค่าพีเอช ค่าซีโอดี ปริมาณทีเคเอ็นไนโตรเจน ปริมาณฟอสฟอรัส ปริมาณของแข็งแขวนลอย ปริมาณโลหะ ได้แก่ แมกนีเซียม แคลเซียม โพแทสเซียม เหล็ก สังกะสี และทองแดง

5.สูบน้ำเสียเข้าถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องที่ใช้ในการทดลองตามอัตราการไหลและทำการเติมอากาศโดยแปรค่าตามอัตราที่ได้กำหนดไว้

6.วิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดเพื่อเปรียบเทียบกับคุณภาพน้ำก่อนทำการบำบัดเพื่อหาประสิทธิภาพของถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องและผลของอัตราการเติมอากาศและระยะเวลากักเก็บน้ำตามค่าที่ได้ทำการกำหนดไว้

7.นำผลึก MAP และตะกอนของแข็งที่ตกตะกอนได้ออกทางก้นถัง เพื่อนำมาวิเคราะห์หาน้ำหนัก ลักษณะโครงสร้าง ขนาด องค์ประกอบและเฟสของผลึก

8.วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2 อุปกรณ์ เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- เครื่องแก้วสำหรับทำการทดลอง
- เครื่องเติมอากาศ
- หัวเติมอากาศ Air Stone รูปทรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร 15 ชิ้น จ่ายฟองอากาศแบบ Coarse bubble
- เครื่องสูบน้ำแบบไดอะแฟรม
- พีเอช มิเตอร์ รุ่น UB-10 บริษัท Denver Instrument
- เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) รุ่น DRAGON 204 บริษัท METTLER TOLEDO
- เครื่องชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 2 ตำแหน่ง) รุ่น Adventurer บริษัท OHAUS
- เดซิเคเตอร์
- ตู้อบ ควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 103-105 องศาเซลเซียส
- ชุดเครื่องกรองสุญญากาศ รุ่น D-7912F บริษัท KF NEUBERGER
- กรวยบุชเนอร์ เส้นผ่านศูนย์กลาง 110 มิลลิเมตร
- กรวยบุชเนอร์ เส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร
- กระดาษกรอง No.4 เส้นผ่านศูนย์กลาง 110 มิลลิเมตร ยี่ห้อ Whatman
- กระดาษกรอง GF/C เส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร ยี่ห้อ Whatman
- เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ (Atomic Absorbtion Spectrophotometer)
- ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี (UV-Visible Spectrophotometer)
- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนเทคนิคจุลวิเคราะห์ (Scanning Electron Microscope with EDS Attachment, SEM-EDS)
- เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD)
- ถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องที่ใช้ในการทดลอง ขนาด 23 ลิตร

3.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

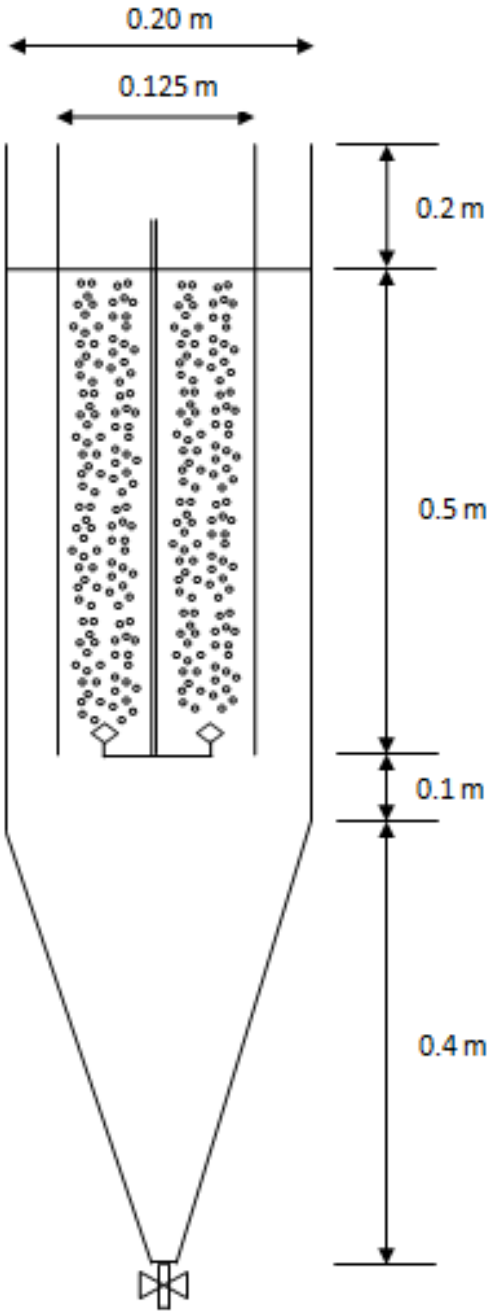
- แมกนีเซียมคลอไรด์ 90-102% W/W ($MgCl_2.6H_2O$) Ajax Finechem Pty Ltd (B/NO.1103053) AR grade
- แอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 98% W/W ($NH_4H_2PO_4$) Carlo Erba (Code NO.419787) AR grade
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ 97% W/W (NaOH) A.R.Grade (ยี่ห้อ Carlo Erba, USA)
- น้ำกลั่น

3.3 ถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องที่ใช้ในการทดลอง

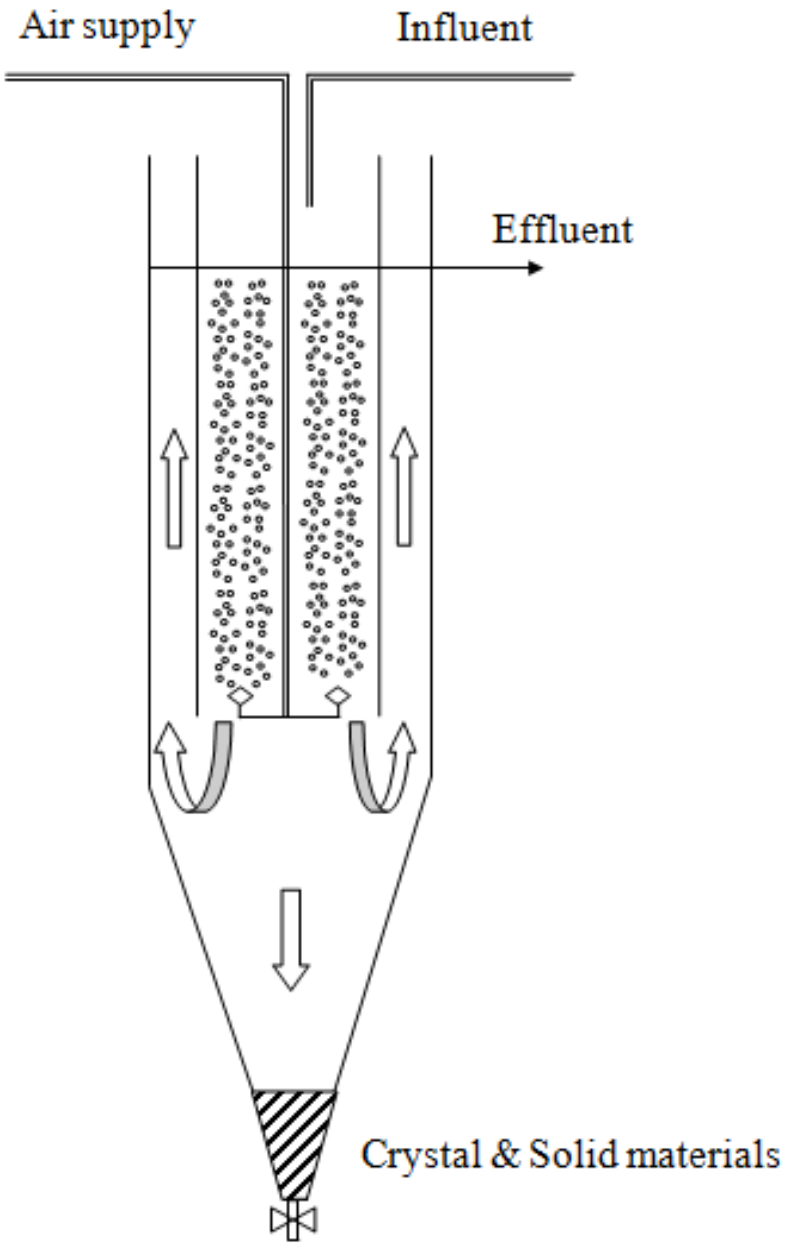
ถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องที่ใช้ในการทดลองจะทำการปรับลดขนาดจากถังปฏิกิริยาในงานวิจัยของ (Suzuki และคณะ, 2002) และ (Suzuki และคณะ, 2007) โดยถังที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีขนาด 23 ลิตร มีปริมาตรน้ำโซนตกตะกอนเท่ากับ 17 ลิตร และมีปริมาตรน้ำโซนเติมอากาศเท่ากับ 6 ลิตร โดยมีขนาด ความยาว ดังแสดงในภาพที่ 3-1 และทิศทางการไหลของน้ำ ผลึก และตะกอนของแข็งดังแสดงในภาพที่ 3-2

การปรับลดขนาดจะทำการปรับโดยดูจากอัตราส่วนต่างๆของถังปฏิกิริยา ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างปริมาตรน้ำโซนตกตะกอนต่อปริมาตรน้ำโซนเติมอากาศ ความยาวของโซนเติมอากาศต่อความสูงของถังปฏิกิริยา และพื้นที่ผิวหน้าน้ำโซนเติมอากาศ โดยจะทำการปรับให้เหมาะสมกับขนาดของงานวิจัยและพยายามปรับให้มีอัตราส่วนต่างๆใกล้เคียงกับอัตราส่วนของถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลองในงานวิจัยของ (Suzuki และคณะ, 2007) ซึ่งเป็นถังปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับถังปฏิกิริยาที่ใช้ในงานวิจัยของ (Suzuki และคณะ, 2002) อัตราส่วนของถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลองเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ (Suzuki และคณะ, 2002) และ (Suzuki และคณะ, 2007) ดังแสดงในตารางที่ 3-1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 3 - 1 ลักษณะและขนาดของถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลอง



CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 3 - 2 ทิศทางการไหลของน้ำ ผลึกและตะกอนของแข็ง

น้ำทิ้งจะถูกสูบเข้าถังด้านบนของถังปฏิกิริยาภายในคอลัมน์โซนเติมอากาศและทำการเติมอากาศอย่างต่อเนื่อง ปฏิกิริยาการเกิดผลึก MAP จะเกิดภายในโซนเติมอากาศ เมื่อผลึกมีขนาดใหญ่จะสามารถตกตะกอนลงสู่ด้านล่างของถังปฏิกิริยา ของแข็งแขวนลอย ซีโอดีและโลหะก็สามารถถูกกำจัดด้วยกระบวนการตกตะกอนนี้ด้วยเช่นกัน น้ำที่ผ่านกระบวนการเติมอากาศและตกตะกอนจะไหลขึ้นสู่ด้านบนของถังปฏิกิริยาเพื่อนำไปวิเคราะห์หาคุณภาพน้ำหลังผ่านการบำบัดต่อไป

ตารางที่ 3 - 1 เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนต่างๆของถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องที่ใช้ในการทดลอง (Suzuki และคณะ 2002) และ (Suzuki และคณะ, 2007)

ถังปฏิกิริยา	Suzuki และคณะ (2002)	Suzuki และคณะ (2007)	ถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลอง
ปริมาตรรวมของถังปฏิกิริยา (m^3)	0.51	3.72	0.023
(A) ปริมาตรน้ำโซนตกตะกอน (m^3)	0.41	3.12	0.017
(B) ปริมาตรน้ำโซนเติมอากาศ (m^3)	0.1	0.6	0.006
อัตราส่วนปริมาตร A : B	4.1 : 1	5.2 : 1	2.8 : 1
(C) ความยาวโซนเติมอากาศ (m)	1.4	1.4	0.5
(D) ความยาวโซนตกตะกอน (m)	2.33	3.04	1
อัตราส่วนความยาว C : D	01:01.7	01:02.2	1:02
เส้นผ่านศูนย์กลางภายในคอลัมน์เติมอากาศ (m)	0.3	0.74	0.125
พื้นที่ผิวหน้าน้ำโซนเติมอากาศ(m^2)	0.07	0.43	0.0123

3.4 น้ำทิ้งฟาร์มสุกรที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองจะใช้น้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศจากฟาร์มสุกรประชาฟาร์ม อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม (ฟาร์มสุกรขนาดกลาง) เนื่องจากเป็นฟาร์มที่ใกล้และเดินทางสะดวก โดยน้ำทิ้งจะไหลออกจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศบ่อยูเอเอสบีสำหรับฟาร์มขนาดกลางผ่านวาล์วลงสู่ถังเก็บน้ำเพื่อรอสูบด้วยปั๊มเข้าถังปฏิกิริยาต่อไป จากการศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งพบว่ามีค่าพารามิเตอร์เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกรและมาตรฐานการระบายน้ำลงทางชลประทานหลายพารามิเตอร์ด้วยกัน ดังแสดงในตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3 - 2 คุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านระบบบำบัดแบบไร้อากาศจากประชาฟาร์ม อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐมและค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	คุณภาพน้ำทิ้ง	หน่วย	มาตรฐานน้ำทิ้ง	S.D.
1. ลักษณะของตัวอย่างน้ำ	สีน้ำตาลเหลือง	-	ไม่ระบุค่า	-
2. ค่าพีเอช	7.23	-	5.5-9*	0.15
3. ซีโอดี	476	มิลลิกรัมต่อลิตร	400*	25.85
4. ของแข็งแขวนลอย	125.53	มิลลิกรัมต่อลิตร	200*	14.7
5. ปริมาณทีเคเอ็นไนโตรเจน	254.5	มิลลิกรัมต่อลิตร	200*	8.64
6. ปริมาณฟอสฟอรัส	37.73	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่ระบุค่า	6.35
7. ปริมาณโลหะ				
1) แมกนีเซียม	55.47	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่ระบุค่า	3.13
2) แคลเซียม	68.76	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่ระบุค่า	1.64
3) โพแทสเซียม	225.32	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่ระบุค่า	19.26
4) เหล็ก	ไม่พบ	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่ระบุค่า	-
5) ทองแดง	ไม่พบ	มิลลิกรัมต่อลิตร	1.0**	-
6) สังกะสี	ไม่พบ	มิลลิกรัมต่อลิตร	5.0**	-

หมายเหตุ : * มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรขนาดกลางและขนาดเล็ก (กรมควบคุมมลพิษ, 2554)
** มาตรฐานการระบายน้ำลงทางชลประทาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย

การทดลองจะแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 16 ชุดการทดลอง โดยทำการแปรค่าอัตราการเติมอากาศและอัตราการกักเก็บน้ำเสียในถังปฏิกิริยา ดังแสดงในตารางที่ 3-3 น้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศจะไหลเข้าสู่ถังเก็บน้ำทิ้งก่อนบำบัด เพื่อรอสูบเข้าถังปฏิกิริยา ดังแสดงในภาพที่ 3-3 และ 3-4 แต่ละชุดการทดลองจะทำการทดลองบำบัดน้ำนาน 5 วัน เก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดทุก 24 ชั่วโมง เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แต่ละชุดการทดลองจะมีตัวอย่างน้ำ 4 ตัวอย่าง ทำการตรวจวัด 3 ซ้ำ ผลึก MAP และตะกอนของแข็งที่ตกตะกอนลงสู่ก้นถังจะทำการระบายออกทุก 24 ชั่วโมง โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำตะกอนที่ก้นถัง 300 มิลลิลิตร เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณผลึก MAP และตะกอนของแข็งที่ตกตะกอนได้ ลักษณะโครงสร้าง ขนาด องค์ประกอบและเฟสของผลึกโดยจะมีวิธีการทำการทดลองอย่างละเอียด ดังนี้

1.ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศเพื่อนำมาวิเคราะห์หาคุณภาพน้ำ ทำการเก็บตัวอย่างน้ำโดยการเปิดวาล์วท่อที่ไหลออกมาจากระบบบำบัดบ่อยูเอเอสบีลงขวดเก็บตัวอย่าง เวลา 12.00 น. โดยเก็บต่อเนื่องเป็นเวลา 10 วัน ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

2.นำน้ำตัวอย่างมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำทั้งหมด 2800 มิลลิลิตร แบ่งเป็นการวิเคราะห์ค่าพีเอช 100 มิลลิลิตร ปริมาณซีโอดี 100 มิลลิลิตร ปริมาณทีเคเอ็นไนโตรเจน 500 มิลลิลิตร ปริมาณฟอสฟอรัส 100 มิลลิลิตร ปริมาณของแข็งแขวนลอย 1000 มิลลิลิตร และปริมาณโลหะ ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม เหล็ก ทองแดง และสังกะสี 1000 มิลลิลิตร

3.ทำการปล่อยน้ำที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศเข้าถังเก็บน้ำทิ้งก่อนบำบัดเพื่อรอสูบเข้าถังปฏิกิริยา

4.ทำการสูบน้ำเข้าถังปฏิกิริยาและทำการเติมอากาศตามค่าที่ได้ทำการกำหนดไว้

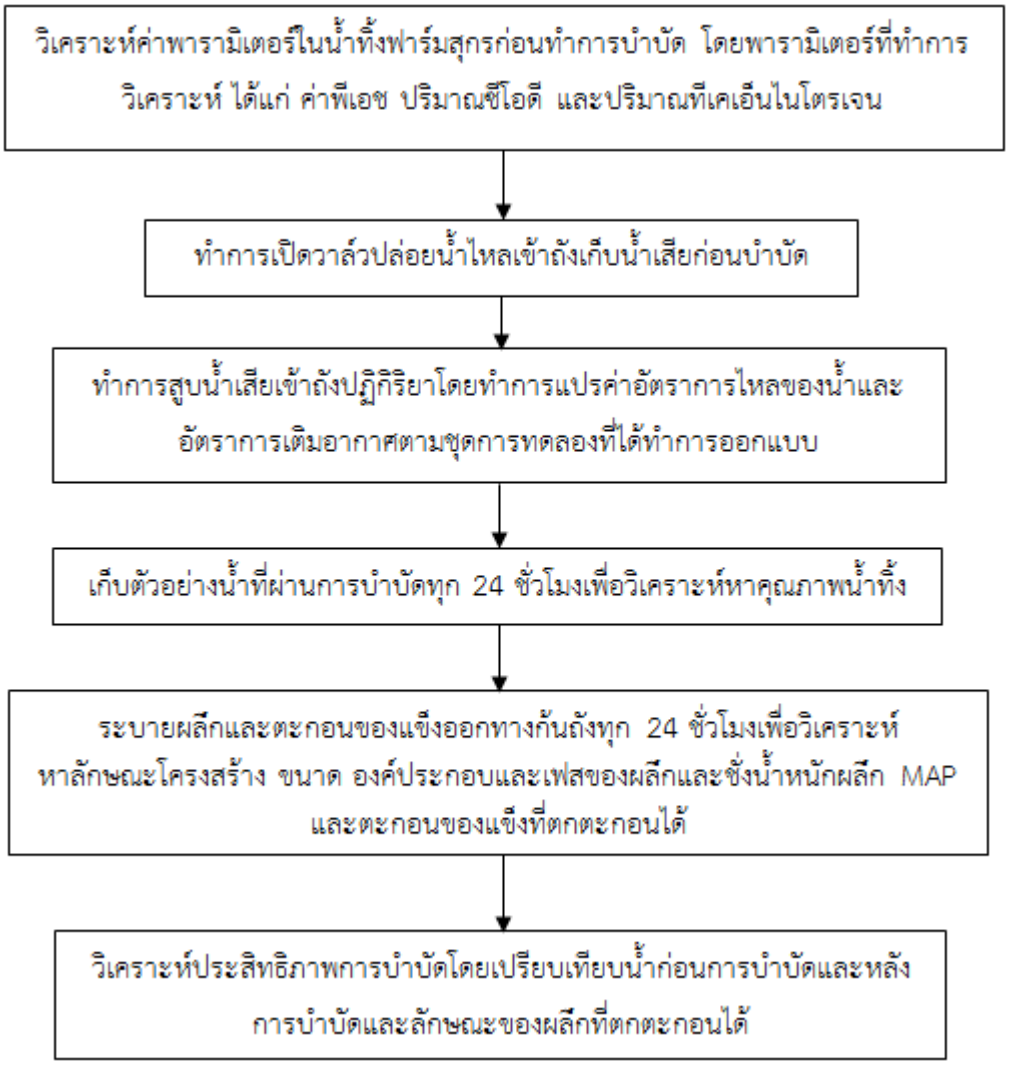
5.เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดทุก 24 ชั่วโมงเพื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำหลังผ่านการบำบัด โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำทั้งหมด 1950 มิลลิลิตร แบ่งเป็นการวิเคราะห์ค่าพีเอช 50 มิลลิลิตร ปริมาณซีโอดี 100 มิลลิลิตร ปริมาณทีเคเอ็นไนโตรเจน 500 มิลลิลิตร ปริมาณฟอสฟอรัส 100 มิลลิลิตร ปริมาณของแข็งแขวนลอย 200 มิลลิลิตร และปริมาณโลหะ ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม เหล็ก ทองแดง และสังกะสี 1000 มิลลิลิตร

6.ผลึก MAP และตะกอนของแข็งที่ตกตะกอนลงก้นถังจะทำการระบายออกทุก 24 ชั่วโมง โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำตะกอนที่ก้นถัง 300 มิลลิลิตร นำไปกรองผ่านกระดาษกรองให้เหลือแต่ตะกอนและจึงนำไปอบให้แห้ง เพื่อนำตะกอนมาวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้าง ขนาด องค์ประกอบและเฟสของผลึก และทำการชั่งน้ำหนักผลึก MAP และตะกอนของแข็งที่ตกตะกอนได้

7.วิเคราะห์หาประสิทธิภาพของถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องในการทดลองบำบัดน้ำทิ้งฟาร์มสุกรโดยทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณภาพน้ำทิ้งก่อนและหลังการบำบัด ปริมาณผลึก MAP และตะกอนของแข็งที่ตกตะกอนลงสู่ก้นถัง และลักษณะของผลึก MAP ที่ตกตะกอนได้ เพื่อหาอัตราการเติมอากาศและระยะเวลากักเก็บน้ำที่เหมาะสมในการตกตะกอนผลึก MAP

ภาพที่ 3 - 3 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ บ่อยูเอเอสบีสำหรับฟาร์มขนาดกลาง (MC-UASB)

ภาพที่ 3 - 4 ถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 3 - 5 แผนผังขั้นตอนวิธีการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3 - 3 แสดงสภาวะต่างๆในแต่ละชุดการทดลอง

พารามิเตอร์	ชุดการทดลอง															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
อัตราการไหลของน้ำ (ลิตรต่อชั่วโมง)	1	1	1	1	1	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	3	3	3	3	3	1
อัตราการเติมอากาศ (ลิตรอากาศต่อลิตรน้ำต่อนาที)	0.22	0.45	1.33	2.67	5.34	0.22	0.45	1.33	2.67	5.34	0.22	0.45	1.33	2.67	5.34	0.45
Aeration Index 1	7	13	39	78	156	7	13	39	78	156	7	13	39	78	156	13
Aeration Index 2	13	27	80	160	320	13	27	80	160	320	13	27	80	160	320	27
ระยะเวลากักเก็บน้ำโซนเติมอากาศ (ชั่วโมง)	6	6	6	6	6	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2	6
ระยะเวลากักเก็บน้ำในถังปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	23	23	23	23	23	15.33	15.33	15.33	15.33	15.33	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	23
ปริมาตรน้ำทิ้งฟาร์มสุกรที่ใช้ (ลิตร)	120	120	120	120	120	180	180	180	180	180	360	360	360	360	360	120

หมายเหตุ : ชุดการทดลองที่ 16 จะทำการเติมวัสดุเป้าสัมผัสผลึก MAP9 เพื่อทดสอบความสามารถในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนผลึก MAP โดยจะทำการเติมทุก 24 ชั่วโมง และเติมครั้งละ 6 กรัม ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมจากงานวิจัยของ (ตวงกมล พฤทธิ์ธโนปจัย, 2552)

: หัวเติมอากาศใช้แบบ Air stone รูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ขนาด 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร 15 หัว จ่ายฟองอากาศแบบ Coarse bubble

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3 - 4 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการวิจัย

ตัวแปรอิสระ	**ค่าที่ใช้ในการทดลอง**
1. ระยะเวลาการกักเก็บน้ำในถังปฏิกิริยา	- 7.7, 15.33 และ 23 ชั่วโมง
2.ระยะเวลาการกักเก็บน้ำในโซนเติมอากาศ	- 2, 4 และ 6 ชั่วโมง
3.อัตราการเติมอากาศ	- 0.22, 0.45, 1.33, 2.67 และ 5.34 ลิตรอากาศต่อลิตรน้ำต่อนาที
4. อัตราการไหลของน้ำ	- 1, 1.5 และ 3 ลิตรต่อชั่วโมง
5.การเติมวัสดุเป้าสัมผัส MAP9	- เติม 6 กรัม ทุกๆ 24 ชั่วโมง
ตัวแปรควบคุม	**ค่าที่ใช้ในการทดลอง**
1. ชนิดของน้ำเสีย	- น้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ
ตัวแปรตาม	**พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์/เครื่องมือที่ใช้วัด**
1. ลักษณะโครงสร้าง องค์ประกอบ และเฟสของผลึก MAP	
- ลักษณะโครงสร้าง ขนาดของผลึก	- กล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบสแกน (SEM)
- องค์ประกอบของผลึก	- กล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบสแกนเทคนิคจุลวิเคราะห์ (SEM-EDS)
- เฟสของผลึก	- เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (XRD)
2. ปริมาณของผลึก MAP และตะกอนของแข็ง	- เครื่องชั่งน้ำหนัก
3. ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งหลังตกตะกอนผลึก MAP	- ปริมาณทีเคเอ็นไนโตรเจนและปริมาณฟอสฟอรัส - ปริมาณซีโอดี - ปริมาณของแข็งแขวนลอย - ปริมาณโลหะ ได้แก่ แมกนีเซียม แคลเซียม โพแทสเซียม เหล็ก ทองแดงและสังกะสี
4. ค่าพีเอช	- พีเอชมิเตอร์ (pH meter)

3.6 การเลือกค่าต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

3.6.1 การเลือกอัตราการเติมอากาศ

อัตราการเติมอากาศที่ใช้ในการทดลอง คือ 0.22, 0.45, 1.33, 2.67 และ 5.34 ลิตรอากาศต่อลิตรน้ำต่อนาทีตามลำดับ โดยเกณฑ์ในการเลือกค่าที่ใช้ในการทดลอง คือ ค่าอัตราการเติมอากาศที่ใช้ในการทดลองอื่นๆ โดยใช้ค่า Aeration index 1 และ 2 ในการพิจารณา ซึ่งจากการศึกษาพบว่าค่า Aeration index 1 ที่ใช้ในการทดลองอื่น มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 37 และค่า Aeration index 2 ที่ใช้อยู่ในช่วง 16 – 27 การทดลองนี้จึงทำการเลือกอัตราการเติมอากาศโดยทำการแปรค่า Aeration index ให้มีความแตกต่างจากงานวิจัยอื่นๆ เพื่อศึกษาผลกระทบของอัตราการเติมอากาศที่มากเกินไปหรือน้อยเกินไปซึ่งมีผลต่อค่าพีเอชและความปั่นป่วนในน้ำโซนเติมอากาศ

3.6.2 การเลือกระยะเวลากักเก็บน้ำ

อัตราการกักเก็บน้ำที่เหมาะสม จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

3.6.2.1ระยะเวลากักเก็บน้ำในโซนเติมอากาศ จากการศึกษาพบว่าระยะเวลากักเก็บน้ำโซนเติมอากาศที่มากขึ้นจะส่งผลให้ผลึก MAP มีขนาดที่ใหญ่ขึ้นจากกระบวนการโตของผลึก อีกทั้งยังมีผลต่อค่าพีเอชน้ำในโซนเติมอากาศ ซึ่งทั้งสองปัจจัยมีผลต่อประสิทธิภาพการตกตะกอนผลึก MAP จึงได้ทำการแปรค่าระยะเวลากักเก็บน้ำโซนเติมอากาศที่ 2, 4 และ 6 ชั่วโมง ซึ่งส่งผลให้ระยะเวลากักเก็บน้ำในถังปฏิกิริยาเท่ากับ 7.7, 15.33 และ 23 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยค่าระยะเวลากักเก็บน้ำโซนเติมอากาศที่ใช้ในการทดลอง พิจารณาจากการวิจัย (Stratful และคณะ, 2001) พบว่าระยะเวลา 0 - 3 ชั่วโมง ผลึก MAP จะมีขนาดใหญ่ขึ้นได้เรื่อยๆ การวิจัยนี้จึงทำการแปรค่าระยะเวลากักเก็บน้ำโซนเติมอากาศที่ 2, 4 และ 6 ชั่วโมง

3.6.2.2ระยะเวลากักเก็บน้ำในถังปฏิกิริยา ทำการแปรค่าเพื่อศึกษาระยะเวลากักเก็บน้ำภายในถังปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการลดปริมาณซีโอดี ปริมาณของแข็งแขวนลอยและปริมาณโลหะ ซึ่งระยะเวลากักเก็บน้ำในถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 7.7, 15.33 และ 23 ชั่วโมง

3.7 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ วัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์และวิธีตรวจวัด

พารามิเตอร์ในงานวิจัยที่ทำการตรวจวัด และวัตถุประสงค์ในการตรวจวัด 9 พารามิเตอร์ดังนี้

3.7.1ค่าพีเอช ทำการตรวจวัดเพื่อศึกษาผลกระทบของอัตราการเติมอากาศและระยะเวลากักเก็บน้ำที่มีผลต่อค่าพีเอชและตรวจสอบว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าพีเอชผ่านค่ามาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกรหรือไม่ โดยค่ามาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกร ค่าพีเอชจะต้องอยู่ในช่วง 5.5 – 9

3.7.2ค่าซีโอดี ทำการตรวจวัดเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องและระยะเวลากักเก็บน้ำที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำทิ้งฟาร์มสุกร ให้มีปริมาณซีโอดีต่ำกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกร โดยทำการเปรียบเทียบปริมาณซีโอดีระหว่างน้ำก่อนการบำบัดและน้ำหลังผ่านการบำบัด โดยจากการศึกษาพบว่าน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศยังมีค่าซีโอดีที่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกร (พิชญ์ภัค เจียรพันธ์, 2552) โดยถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องที่ใช้ในการทดลองสามารถลดปริมาณซีโอดีได้ด้วยกระบวนการตกตะกอนภายในถัง

3.7.3ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอย ทำการตรวจวัดเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องและระยะเวลากักเก็บน้ำที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำทิ้งฟาร์มสุกร ให้มีปริมาณของแข็งแขวนลอยต่ำกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกรโดยทำการเปรียบเทียบปริมาณของแข็งแขวนลอยระหว่างน้ำก่อนการบำบัดและน้ำหลังผ่านการบำบัด โดยจากการศึกษาพบว่าน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศยังมีค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยที่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกร (พิชญ์ภัค เจียรพันธ์, 2552) โดยถังปฏิกิริยา แบบไหลต่อเนื่องที่ใช้ในการทดลองสามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยได้ด้วยกระบวนการตกตะกอนภายในถัง

3.7.4ปริมาณทีเคเอ็นไนโตรเจน ตรวจวัดเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของถัง ปฏิริยาแบบไหลต่อเนื่องที่ระยะเวลากักเก็บน้ำและอัตราการเติมอากาศที่ได้ทำการกำหนดไว้ โดยเปรียบเทียบปริมาณทีเคเอ็นไนโตรเจนระหว่างน้ำก่อนผ่านกระบวนการบำบัดและน้ำหลังผ่านกระบวนการบำบัด

3.7.5ปริมาณฟอสฟอรัส ตรวจวัดเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของถังปฏิริยาแบบไหลต่อเนื่องที่ระยะเวลากักเก็บน้ำและอัตราการเติมอากาศที่ได้ทำการกำหนดไว้ โดยเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสระหว่างน้ำก่อนผ่านกระบวนการบำบัดและน้ำหลังผ่านกระบวนการบำบัด

3.7.6ปริมาณโลหะ ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม เหล็ก ทองแดง และสังกะสี ทำการตรวจวัดเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะด้วยกระบวนการเติมอากาศและตกตะกอนภายในถังปฏิกิริยา โดยเปรียบเทียบปริมาณโลหะระหว่างน้ำก่อนผ่านกระบวนการบำบัดและน้ำหลังผ่านกระบวนการบำบัด

3.7.7ปริมาณผลึก MAP และตะกอนของแข็ง ตรวจวัดเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการตกตะกอนของถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่อง เพื่อให้ทราบถึงระยะเวลากักเก็บน้ำในถังปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการตกตะกอนผลึก MAP และตะกอนของแข็งต่างๆ

3.7.8 ลักษณะโครงสร้าง ขนาด องค์ประกอบและเฟสของผลึก

- ลักษณะโครงสร้างของผลึก เพื่อศึกษาผลกระทบของอัตราการเติมอากาศและระยะเวลากักเก็บน้ำที่มีผลต่อรูปทรงและความสมบูรณ์ของผลึก
- ขนาดของผลึก เพื่อศึกษาผลกระทบของอัตราการเติมอากาศและระยะเวลากักเก็บน้ำที่มีผลต่อขนาดของผลึก
- องค์ประกอบของผลึก ตรวจวัดเพื่อให้ทราบถึงปริมาณองค์ประกอบของธาตุต่างๆ ในผลึกที่ตกตะกอนได้
- เฟสของผลึก ตรวจวัดเพื่อให้ทราบถึงชนิดของผลึกที่ตกตะกอน โดยเปรียบเทียบผลที่ได้กับฐานข้อมูล โดยผลึกแต่ละชนิดจะมีรูปแบบโครงสร้างผลึกที่แตกต่างกัน

ค่าพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ และเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดดังแสดงในตารางที่ 3-5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 3 - 5 พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดในน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรหลังผ่านการบำบัดในถังปฏิกิรยาแบบไหลต่อเนื่องและเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด
(APHA, AWWA and WEF, 2005)

พารามิเตอร์	**วิธีวิเคราะห์/เครื่องมือ**
1. พีเอช	เครื่องพีเอชมิเตอร์
2. ซีโอดี (COD)	วิธีรีฟลัคแบบปิด แบบไตเตรชัน
3. ของแข็งแขวนลอย (SS)	วิธีกราวิเมตริค
4. ปริมาณทีเคเอ็นไนโตรเจน	วิธีแมคโครเจลดาห์ล
5. ปริมาณฟอสฟอรัส	วิธีกรดแวนาโดโมลิบโดฟอสฟอริก แอซิด
6. ปริมาณโลหะ	เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์
7. ปริมาณผลึก MAP และตะกอนของแข็ง	เครื่องชั่งน้ำหนัก
8. ผลึก MAP	
- ลักษณะโครงสร้างและขนาดของผลึก	- กล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบสแกน
- องค์ประกอบของผลึก	- กล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบสแกน เทคนิคจุลวิเคราะห์
- เฟสของผลึก	- เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนผลึก MAP ในถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องโดยใช้น้ำทิ้งฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดน้ำทิ้งแบบไร้อากาศในการทดลองบำบัด โดยทำการแปรค่าอัตราการเติมอากาศและระยะเวลาการกักเก็บน้ำในถังปฏิกิริยาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนผลึก MAP และบำบัดน้ำทิ้งฟาร์มสุกรให้มีคุณภาพผ่านค่ามาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกรก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม สำหรับการศึกษานี้จะแบ่ง 3 ขั้นตอน คือ

1.การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

2.การศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งหลังการบำบัดในถังปฏิกิริยาโดยทำการแปรค่าอัตราการเติมอากาศและระยะเวลาการกักเก็บน้ำในถังปฏิกิริยา (Hydraulic Retention Time, HRT) เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนผลึก MAP โดยทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

2.1 ค่าพีเอช (pH)

2.2 ปริมาณซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD)

2.3 ปริมาณทีเคเอ็นไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN)

2.4 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus, TP)

2.5 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Total Suspended Solid, TSS)

2.6 ปริมาณโลหะ ได้แก่ แมกนีเซียม แคลเซียม โพแทสเซียม เหล็ก สังกะสี และทองแดง

3.การศึกษาลักษณะโครงสร้าง องค์ประกอบ และความเป็นผลึก MAP

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

การเก็บน้ำทิ้งจะเก็บหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศโดยทำการเก็บตัวอย่างเวลา 12.00 น. ต่อเนื่องเป็นเวลา 10 วัน (วันที่ 28 ตุลาคม – 6 พฤศจิกายน 2556) คุณภาพน้ำทิ้งดังแสดงในตารางที่ 4-1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4 - 1 แสดงคุณภาพน้ำทิ้งฟาร์มสุกรหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	คุณภาพน้ำทิ้ง	หน่วย	S.D.	มาตรฐานน้ำทิ้ง
1. ลักษณะของตัวอย่างน้ำ	สีน้ำตาลเหลือง	-	-	ไม่ระบุค่า
2. อุณหภูมิ	31	องศาเซลเซียส	0	ไม่ระบุค่า
3. ค่าพีเอช	7.23	-	0.15	5.5-9*
4. ซีโอดี	476	มิลลิกรัมต่อลิตร	25.85	400*
5. ของแข็งแขวนลอย	125.53	มิลลิกรัมต่อลิตร	14.7	200*
6. ปริมาณทีเคเอ็น ไนโตรเจน	254.5	มิลลิกรัมต่อลิตร	8.64	200*
7. ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด	37.73	มิลลิกรัมต่อลิตร	6.35	ไม่ระบุค่า
8. ปริมาณโลหะ				
1) แมกนีเซียม	55.47	มิลลิกรัมต่อลิตร	3.13	ไม่ระบุค่า
2) แคลเซียม	68.76	มิลลิกรัมต่อลิตร	1.64	ไม่ระบุค่า
3) โพแทสเซียม	225.32	มิลลิกรัมต่อลิตร	19.26	ไม่ระบุค่า
4) เหล็ก	ตรวจไม่พบ	มิลลิกรัมต่อลิตร	-	ไม่ระบุค่า
5) ทองแดง	ตรวจไม่พบ	มิลลิกรัมต่อลิตร	-	1.0**
6) สังกะสี	ตรวจไม่พบ	มิลลิกรัมต่อลิตร	-	5.0**

หมายเหตุ : เก็บตัวอย่างน้ำต่อเนื่องเป็นเวลา 10 วัน เวลา 12.00 น. ตั้งแต่วันที่ 28 ตุลาคม ถึง 6 พฤศจิกายน พ.ศ. 2556 ทุกพารามิเตอร์ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

* มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรขนาดกลางและขนาดเล็ก

** มาตรฐานการระบายน้ำลงทางชลประทาน

จากผลการวิเคราะห์น้ำทิ้งฟาร์มสุกร จะเห็นได้ว่าน้ำทิ้งฟาร์มสุกรหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศยังมีซีโอดีและไนโตรเจนอยู่ในปริมาณที่สูง ซึ่งเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกร จึงต้องทำการบำบัดก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยปกติแล้วน้ำทิ้งหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศจะถูกบำบัดต่อ เรียกว่าการบำบัดน้ำขั้นหลัง (Post Treatment) ฟาร์มสุกรที่ผู้วิจัยได้ใช้ในการทดลองนั้นมีการสร้างบ่อพักน้ำเพื่อบำบัดขั้นสุดท้าย ซึ่งมีลักษณะเป็นบ่อคอนกรีตขนาดใหญ่โดยมีการสร้างผนังกั้น (Baffle) จำนวนหลายผนัง เพื่อบังคับทิศทางการไหลของน้ำทำให้โอกาสในการสัมผัสกันระหว่างน้ำทิ้งกับเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำทิ้งเพิ่มขึ้น จึงสามารถบำบัดสารอินทรีย์ให้ลดลงได้ ปริมาณซีโอดีในน้ำทิ้งก็มีค่าลดลงตามไปด้วย นอกจากนี้การมีบ่อพักน้ำทำให้มีระยะเวลาในการเก็บกักน้ำนานจึงทำให้น้ำในบ่อเกิดการตกตะกอนลงเรื่อยๆปริมาณสารแขวนลอยในน้ำจึงลดลง แต่น้ำทิ้ง

ที่เก็บไว้ในบ่อพักน้ำยังคงมีปริมาณธาตุอาหาร คือ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเหลืออยู่ในน้ำปริมาณสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางในการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสออกจากน้ำทิ้งฟาร์มสุกร (พิชญ์ภัค เจียรพันธ์, 2552) ผู้วิจัยจึงได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการทดลองหลังจากออกจากระบบบำบัดน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำขั้นหลัง จึงทำให้น้ำที่นำมาทดลองมีค่าซีโอดีและปริมาณไนโตรเจนปริมาณสูง การตกผลึก MAP เป็นแนวทางที่จะบำบัดน้ำทิ้งให้มีค่าผ่านมาตรฐานและเป็นการนำธาตุอาหารของพืชที่เหลืออยู่ในน้ำทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งพบว่าน้ำทิ้งมีโลหะแมกนีเซียม แคลเซียม โพแทสเซียม อยู่ในปริมาณเท่ากับ 55.47 68.76 และ 225.32 ตามลำดับ ซึ่งมาจากยาปฏิชีวนะที่ให้แก่สุกร และตรวจไม่พบโลหะ เหล็ก สังกะสี และทองแดง

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้ง พบว่า อัตราส่วนโดยโมลของแมกนีเซียมต่อแอมโมเนียมต่อฟอสเฟตเท่ากับ 1.9 : 15.1 : 1.0 ซึ่งมีแมกนีเซียมมากเกินพอในการเกิดตะกอนผลึก MAP

4.2 การศึกษาผลของอัตราการเติมอากาศและระยะเวลากักเก็บน้ำที่มีต่อคุณภาพน้ำทิ้งหลังการบำบัดในถังปฏิกิริยา

โดยทำการศึกษาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

4.2.1 ค่าพีเอช (pH)

4.2.2 ปริมาณซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD)

4.2.3 ปริมาณทีเคเอ็นไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN)

4.2.4 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus, TP)

4.2.5 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Total Suspended Solid, TSS)

4.2.6 ปริมาณโลหะ ได้แก่ แมกนีเซียม แคลเซียม และโพแทสเซียม

โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4-2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4 - 2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งฟาร์มสุกรหลังผ่านการบำบัดในถังปฏิกิริยาที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง อัตราการเติมอากาศ 1.32, 278, 7.98, 16.02 และ 32.04 ลิตรอากาศต่อนาที

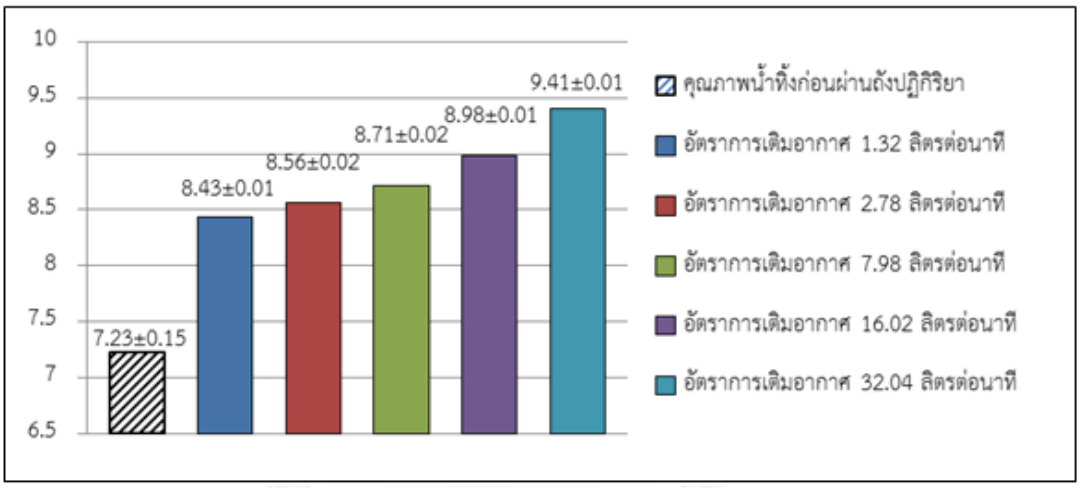
พารามิเตอร์	ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ	ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดในถังปฏิกิริยาที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเท่ากับ 23 ชั่วโมง					มาตรฐานน้ำทิ้ง	หน่วย	หมายเหตุ
		Air Flow 1.32 L/Min	Air Flow 2.78 L/Min	Air Flow 7.98 L/Min	Air Flow 16.02 L/Min	Air Flow 32.04 L/Min			
ค่าพีเอช	7.23	8.43	8.56	8.71	8.98	9.41	5.5 – 9.0		ไม่เกินมาตรฐาน
ปริมาณซีโอดี	476	222	253	240	274	281	400*	มก./ล	ไม่เกินมาตรฐาน
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด	254.4	190.38	191	192.25	199.38	203.13	200*	มก./ล	ลดลง
ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด	37.73	11.74	12.17	12.17	13.53	12.44	ไม่ระบุค่า	มก./ล	ลดลง
ปริมาณของแข็งแขวนลอย	125.53	55.5	41.5	49	52.5	68	200*	มก./ล	ไม่เกินมาตรฐาน
ปริมาณโลหะ									
1).แมกนีเซียม	55.47	9.86	11.22	12.32	10.8	10.9	ไม่ระบุค่า	มก./ล	ลดลง
2).แคลเซียม	68.76	13.34	19.62	17.32	18.41	17.56	ไม่ระบุค่า	มก./ล	ลดลง
3).โพแทสเซียม	225.32	154.21	137.42	141.06	150.05	140.47	ไม่ระบุค่า	มก./ล	ลดลง
4).เหล็ก	ไม่พบ	-	-	-	-	-	ไม่ระบุค่า	มก./ล	-
5).ทองแดง	ไม่พบ	-	-	-	-	-	1.0*	มก./ล	-
6).สังกะสี	ไม่พบ	-	-	-	-	-	5.0*	มก./ล	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งฟาร์มสุกรหลังจากตกผลึก MAP มีรายละเอียดในแต่ละพารามิเตอร์ต่างๆดังนี้

4.2.1 ค่าพีเอช (pH)

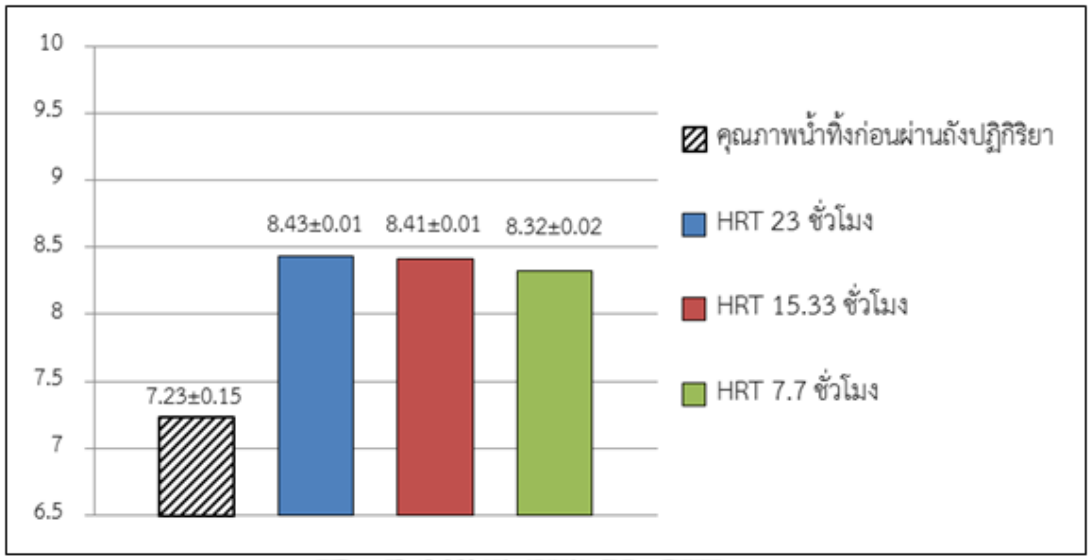
น้ำทิ้งฟาร์มสุกรก่อนผ่านถังปฏิกิริยามีค่าพีเอชเท่ากับ 7.23 โดยค่าพีเอชในน้ำทิ้งสามารถเพิ่มขึ้นด้วยกระบวนการเปลื้องอากาศ (CO_2 Stripping) โดยการเติมอากาศในถังปฏิกิริยา จากการศึกษาพบว่าค่าพีเอชจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการเติมอากาศที่มากขึ้น เนื่องจากการลดลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ โดยระยะเวลากักเก็บน้ำในถังปฏิกิริยาที่มากขึ้นก็สามารถเพิ่มค่าพีเอชได้ด้วยเช่นกัน ที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเท่ากับ 23 ชั่วโมง อัตราการเติมอากาศเท่ากับ 1.32, 2.78, 7.98, 16.02 และ 32.04 ลิตรอากาศต่อนาที น้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าพีเอชเท่ากับ 8.43, 8.56, 8.71, 8.98 และ 9.41 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4-1 และที่อัตราการเติมอากาศ 1.32 ลิตรอากาศต่อชั่วโมง ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเท่ากับ 23, 15.33 และ 7.7 ชั่วโมง น้ำที่ผ่านการบำบัดจะมีค่าพีเอชเท่ากับ 8.43, 8.41 และ 8.32 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4-2



ภาพที่ 4 - 1 ค่าพีเอชน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเท่ากับ 23 ชั่วโมง อัตราการเติมอากาศเท่ากับ 1.32, 2.7, 7.98, 16.02 และ 32.04 ลิตรอากาศต่อนาที

* ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกรค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5.5 – 9.0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 4 - 2 ค่าพีเอชน้ำทิ้งหลังผ่านการเติมอากาศที่ 1.32 ลิตรต่อนาที
ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23, 15.33 และ 7.7 ชั่วโมง
* ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกรค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5.5 – 9.0

จากผลการศึกษาพบว่าน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นตามอัตราการเติมอากาศที่มากขึ้นและระยะเวลาการกักเก็บน้ำที่นานขึ้น อธิบายได้ว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายอยู่ในน้ำทั้งในรูปของก๊าซอิสระและกรดคาร์บอนิกเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดสภาวะกรดในน้ำทิ้งฟาร์มสุกร ฟองอากาศที่เกิดจากการเติมอากาศสามารถเพิ่มพีเอชของน้ำโดยกระบวนการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยเกิดจากความปั่นป่วนเมื่อน้ำและฟองอากาศเกิดการผสมกัน ทำให้กรดคาร์บอนิกซึ่งมีคุณสมบัติเป็นกรดอ่อนและละลายอยู่ในน้ำแตกตัว ดังสมการที่ (4-1) เมื่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำลดลง น้ำจึงมีค่าพีเอชสูงขึ้น

$$H_2CO_3 \longrightarrow CO_2 + H_2O \qquad (4\text{-}1)$$

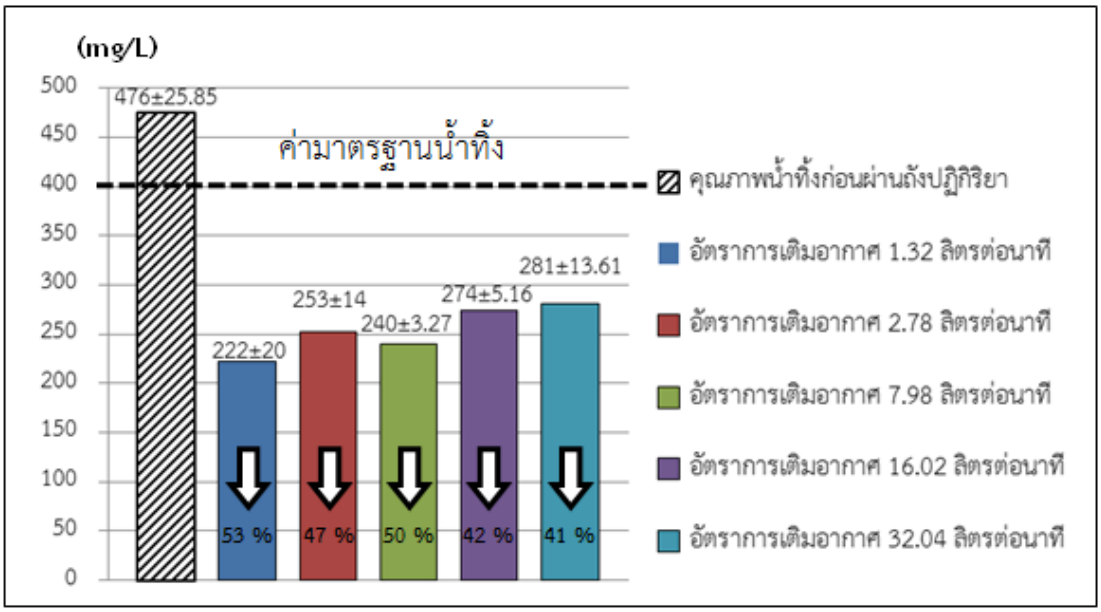
เมื่ออัตราการเติมอากาศและระยะเวลาการกักเก็บน้ำมากขึ้น จะส่งผลต่อปริมาณของฟองอากาศและระยะเวลาที่เข้าทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ น้ำจึงมีค่าพีเอชสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการเติมอากาศและระยะเวลาการกักเก็บน้ำ

อัตราการเติมอากาศ 7.98 ลิตรต่อนาที สามารถเพิ่มค่าพีเอชให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการตกตะกอนผลึก MAP (8.5 – 9.0) อัตราการเติมอากาศ ที่ 16.02 และ 32.04 ลิตรต่อนาที เป็นอัตราที่มากเกินไป เนื่องจากทำให้ค่าพีเอชในน้ำเกินช่วงที่เหมาะสมในการตกตะกอนผลึก MAP

เมื่อนำค่าพีเอชมาพิจารณาในเกณฑ์ของมาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรขนาดกลางและขนาดเล็ก (จากตารางที่ 4-1) ซึ่งกำหนดให้น้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5.5 – 9 จากผลการศึกษาพบว่า น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดในถังปฏิกิริยามีค่าพีเอชอยู่ในช่วงค่ามาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกร ยกเว้นน้ำทิ้งที่อัตราการเติมอากาศ 32.04 ลิตรต่อนาที จะมีค่าพีเอชเกินช่วง 5.5 – 9 อัตราการเติมอากาศดังกล่าวจึงไม่เหมาะสมในการบำบัดน้ำทิ้งฟาร์มสุกร

4.2.2 ปริมาณซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD)

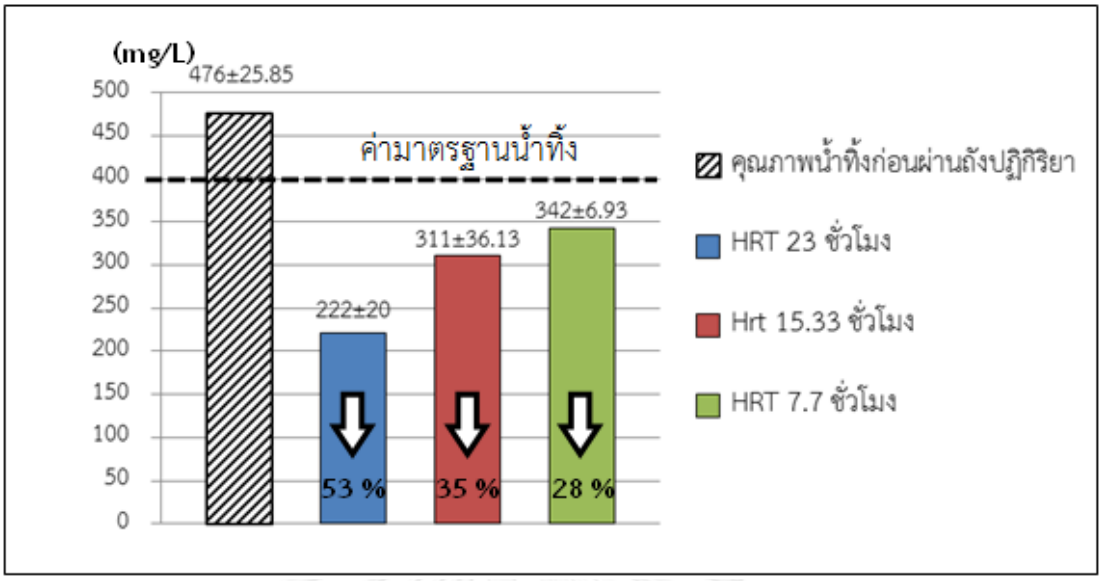
น้ำทิ้งฟาร์มสุกรก่อนผ่านถังปฏิกิริยามีปริมาณซีโอดีเท่ากับ 476 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าเกินมาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกรซึ่งอยู่ที่ไม่เกิน 400 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากผ่านการบำบัดที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเท่ากับ 23 ชั่วโมง และอัตราการเติมอากาศเท่ากับ 1.32, 2.78, 7.98, 16.02 และ 32.04 ลิตรอากาศต่อนาที น้ำที่ผ่านการบำบัดมีปริมาณและประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีเท่ากับ 222, 253, 240,274 และ 281 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 53, 47, 50, 42 และ 41 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4-3 และที่อัตราการเติมอากาศ 1.32 ลิตรต่อชั่วโมง ระยะเวลากักเก็บน้ำเท่ากับ 23, 15.33 และ 7.7 ชั่วโมง น้ำที่ผ่านการบำบัดมีปริมาณและประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีเท่ากับ 222, 311 และ 342 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 53, 35 และ 28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4-4



ภาพที่ 4 - 3 ปริมาณซีโอดีในน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเท่ากับ 23 ชั่วโมง อัตราการเติมอากาศเท่ากับ 1.32, 2.7, 7.98, 16.02 และ 32.04 ลิตรอากาศต่อนาที

หมายเหตุ : ------ แสดงค่ามาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกร

CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 4 - 4 ปริมาณซีโอดีในน้ำทิ้งหลังผ่านการเติมอากาศที่ 1.32 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23, 15.33 และ 7.7 ชั่วโมง

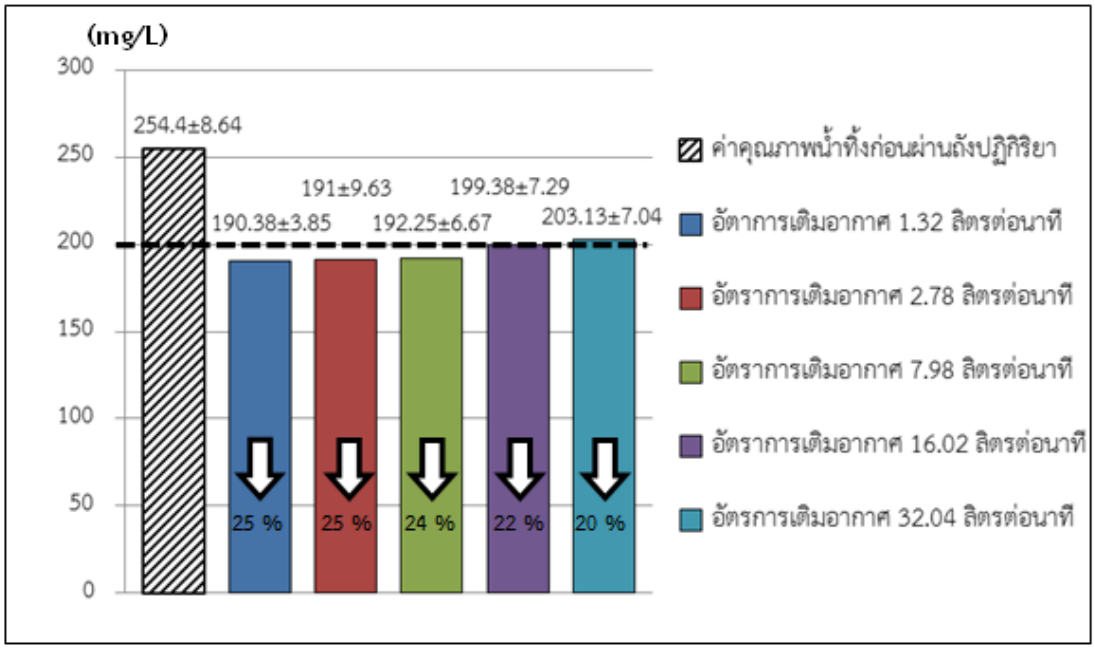
จากการศึกษาพบว่าน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดมีปริมาณซีโอดีลดลง สามารถอธิบายได้ว่าการเติมอากาศในถังปฏิกิริยาช่วยเพิ่มพีเอช ทำให้การตกตะกอนผลึก MAP เกิดได้ดีขึ้น มีผลทำให้สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำเกิดการตกตะกอนร่วมกับผลึก MAP โดยอาศัยกลไกการตกตะกอนผลึกทางเคมี (Chemical precipitation) ซึ่งความปั่นป่วนจากการเติมอากาศจะเป็นตัวช่วยในการทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆในน้ำเคลื่อนที่มากระทบกันเพื่อช่วยเพิ่มโอกาสในการจับตัวกันเกิดเป็นฟล๊อคและตกตะกอนลงสู่ก้นถังได้มากขึ้น อีกทั้งการเติมอากาศยังสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ในน้ำทิ้งได้อีกด้วย แต่อัตราการเติมอากาศที่มากเกินไปก็อาจส่งผลให้เกิดความปั่นป่วนในน้ำที่มากเกินไป ซึ่งสามารถทำลายเสถียรภาพของฟล๊อคที่เกิดขึ้นแตกตัวเป็นอนุภาคคอลลอยด์ดังเดิม และถังปฏิกิริยายังมีกลไกที่สามารถแยกตะกอนออกจากน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดโดยตกตะกอนผลึกออกทางก้นถังได้อีกด้วย จึงทำให้ปริมาณซีโอดีในน้ำทิ้งมีปริมาณลดลง และระยะเวลากักเก็บน้ำที่มากขึ้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีได้มากขึ้นด้วย เนื่องจากน้ำทิ้งมีเวลาในการทำปฏิกิริยาและตกตะกอนสารต่างๆมากขึ้น

อัตราการเติมอากาศ 1.32, 2.78 และ 7.98 ลิตรต่อนาที ให้ผลประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีที่ไม่แตกต่างกัน และมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าอัตราการเติมอากาศ 16.02 และ 32.04 ลิตรต่อนาที เนื่องจากอัตราการเติมอากาศดังกล่าวส่งผลให้เกิดความปั่นป่วนในน้ำที่มากเกินไป ทำให้อนุภาคต่างๆในน้ำไม่สามารถจับตัวกันเกิดเป็นฟล๊อคได้ และระยะเวลากักเก็บน้ำที่ 23 ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีที่สุด เนื่องจากมีระยะเวลาการทำปฏิกิริยามากที่สุด

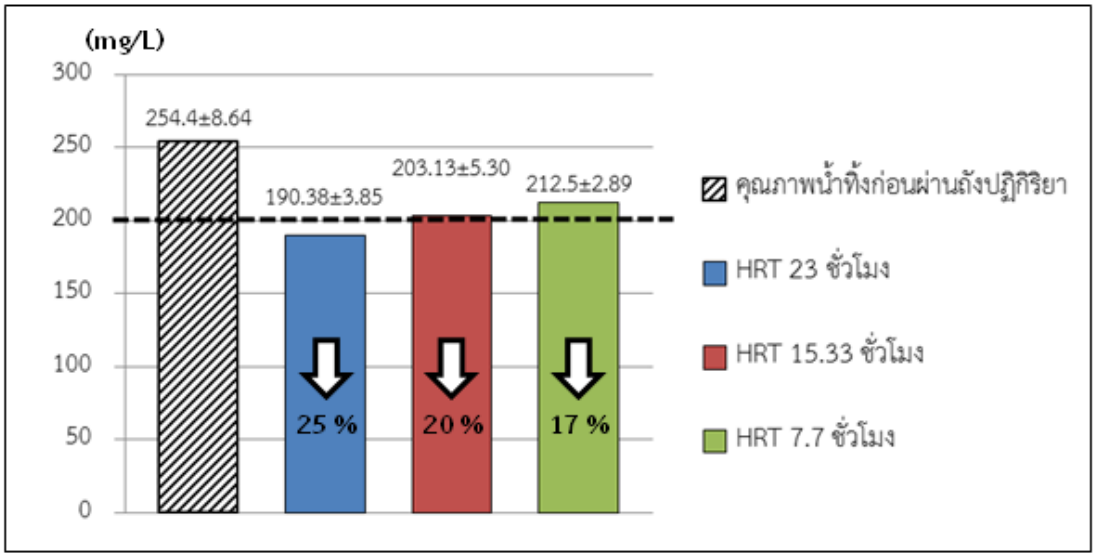
เมื่อนำค่าซีโอดีมาพิจารณาในเกณฑ์ของมาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรขนาดกลางและขนาดเล็ก (จากตารางที่ 4-1) ซึ่งกำหนดให้น้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรมีค่าซีโอดีไม่เกิน 400 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลการศึกษาพบว่า น้ำทิ้งฟาร์มสุกรหลังจากตกตะกอนผลึก MAP มีค่าซีโอดีไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนด จึงสามารถปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้

4.2.3 ปริมาณทีเคเอ็นไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN)

น้ำทิ้งฟาร์มสุกรก่อนผ่านถังปฏิกิริยามีปริมาณทีเคเอ็นไนโตรเจนเท่ากับ 254.4 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าเกินมาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกรซึ่งอยู่ที่ไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากผ่านการบำบัดที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเท่ากับ 23 ชั่วโมง และอัตราการเติมอากาศเท่ากับ 1.32, 2.78, 7.98, 16.02 และ 32.04 ลิตรอากาศต่อนาที น้ำที่ผ่านการบำบัดมีปริมาณและประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นไนโตรเจนเท่ากับ 190.38, 191, 192,25, 199.38 และ 203.13 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 25, 25, 24, 22 และ 20 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4-5 และที่อัตราการเติมอากาศ 1.32 ลิตรต่อชั่วโมง ระยะเวลากักเก็บน้ำเท่ากับ 23, 15.33 และ 7.7 ชั่วโมง น้ำที่ผ่านการบำบัดมีปริมาณและประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นไนโตรเจนเท่ากับ 190.38, 203.13 และ 212.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 25, 20 และ 17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4-6



ภาพที่ 4 - 5 ปริมาณทีเคเอ็นไนโตรเจนในน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัด
ที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเท่ากับ23 ชั่วโมง
อัตราการเติมอากาศเท่ากับ 1.32, 2.7, 7.98, 16.02 และ 32.04 ลิตรอากาศต่อนาที



ภาพที่ 4 - 6 ปริมาณทีเคเอ็นไนโตรเจนในน้ำทิ้งหลังผ่านการเติมอากาศที่ 1.32 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23, 15.33 และ 7.7 ชั่วโมง

จากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณที่เคเอ็นไนโตรเจนในน้ำทิ้งฟาร์มสุกรหลังจากตกผลึก MAP มีค่าลดลง สามารถอธิบายได้ว่าการตกผลึก MAP เป็นการดึงเอาไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม (NH_4) ที่ละลายอยู่ในน้ำทิ้งฟาร์มสุกรออกมาให้ตกตะกอนในรูปของผลึก MAP ดังสมการเคมีของการเกิดผลึก MAP (Choi, 2007)

$$Mg^{2+} + NH_4^{+} + PO_4^{3-} + 6H_2O \longrightarrow MgNH_4PO_4 \bullet 6H_2O \downarrow \text{(ตกผลึก)}$$

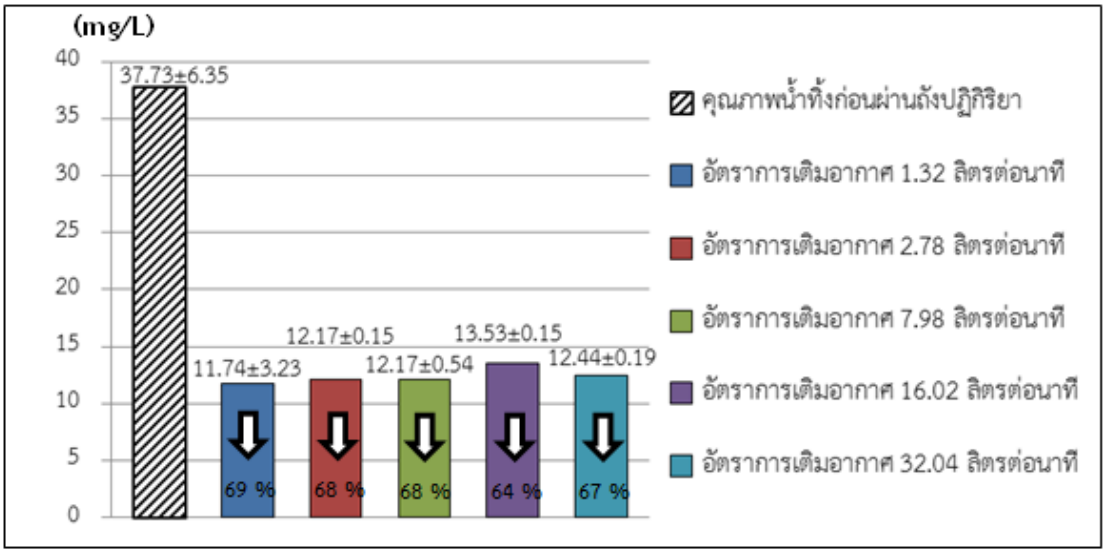
อีกทั้งไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียยังสามารถถูกดูดซึมโดยฟองที่เกิดจากกระบวนการเติมอากาศและระเหยออกจากน้ำในรูปของก๊าซแอมโมเนีย จึงทำให้ปริมาณทีเคเอ็นไนโตรเจนในน้ำทิ้งมีค่าลดลง

อัตราการเติมอากาศทุกค่า มีประสิทธิภาพการบำบัดแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย อัตราการเติมอากาศที่ 32.04 ลิตรต่อนาที มีประสิทธิภาพการบำบัดที่ต่ำที่สุด เนื่องจากผลของความปั่นป่วนที่มากเกินไป ส่งผลทำให้อนุภาคคอลลอยด์ในน้ำไม่สามารถรวมตัวกันเป็นฟล๊อคได้ และระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีที่สุด เนื่องจากมีระยะเวลาการทำปฏิกิริยามากที่สุด

เมื่อนำค่าปริมาณทีเคเอ็นไนโตรเจนมาพิจารณาในเกณฑ์ของมาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรขนาดกลางและขนาดเล็ก (จากตารางที่ 4-1) ซึ่งกำหนดให้น้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรมีค่าทีเคเอ็นไนโตรเจนไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลการศึกษาพบว่า น้ำทิ้งฟาร์มสุกรหลังจากตกผลึก MAP มีค่าทีเคเอ็นไนโตรเจนลดลง มีบางชุดการทดลองที่มีคุณภาพน้ำทิ้งผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกร

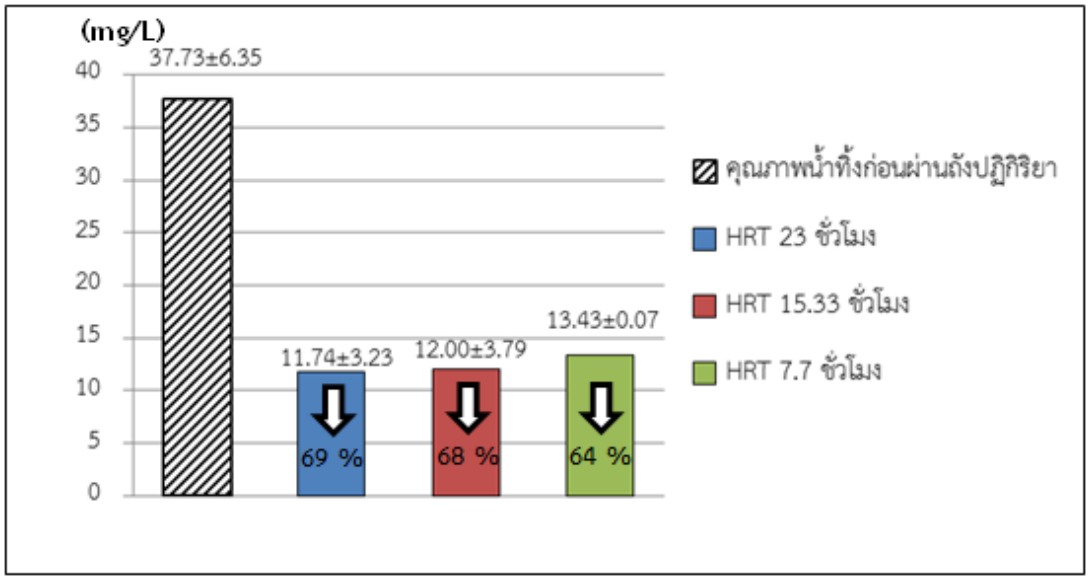
4.2.4 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus, TP)

น้ำทิ้งฟาร์มสุกรก่อนผ่านถังปฏิกิริยามีปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 37.73 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากผ่านการบำบัดที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเท่ากับ 23 ชั่วโมง และอัตราการเติมอากาศเท่ากับ 1.32, 2.78, 7.98, 16.02 และ 32.04 ลิตรอากาศต่อนาที น้ำที่ผ่านการบำบัดมีปริมาณและประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสเท่ากับ 11.74, 12.17, 12.17, 13.53 และ 12.44 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 69, 68, 68, 64 และ 67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4-7 และที่อัตราการเติมอากาศ 1.32 ลิตรต่อชั่วโมง ระยะเวลากักเก็บน้ำเท่ากับ 23, 15.33 และ 7.7 ชั่วโมง น้ำที่ผ่านการบำบัดมีปริมาณและประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสเท่ากับ 11.74, 12.00 และ 13.43 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 69, 68 และ 64 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4-8



ภาพที่ 4 - 7 ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัด
ที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเท่ากับ 23 ชั่วโมง
อัตราการเติมอากาศเท่ากับ 1.32, 2.7, 7.98, 16.02 และ 32.04 ลิตรอากาศต่อนาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 4 - 8 ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งหลังผ่านการเติมอากาศที่ 1.32 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ23, 15.33 และ 7.7 ชั่วโมง

จากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งฟาร์มสุกรหลังจากตกผลึก MAP มีค่าลดลง สามารถอธิบายได้ว่าการตกผลึก MAP เป็นการดึงเอาฟอสฟอรัสที่ละลายอยู่ในน้ำทิ้งฟาร์มสุกรออกมาให้อยู่ในรูปของผลึก MAP จึงทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งมีค่าลดลง ดังสมการเคมีของการเกิดผลึก MAP (Choi, 2007)

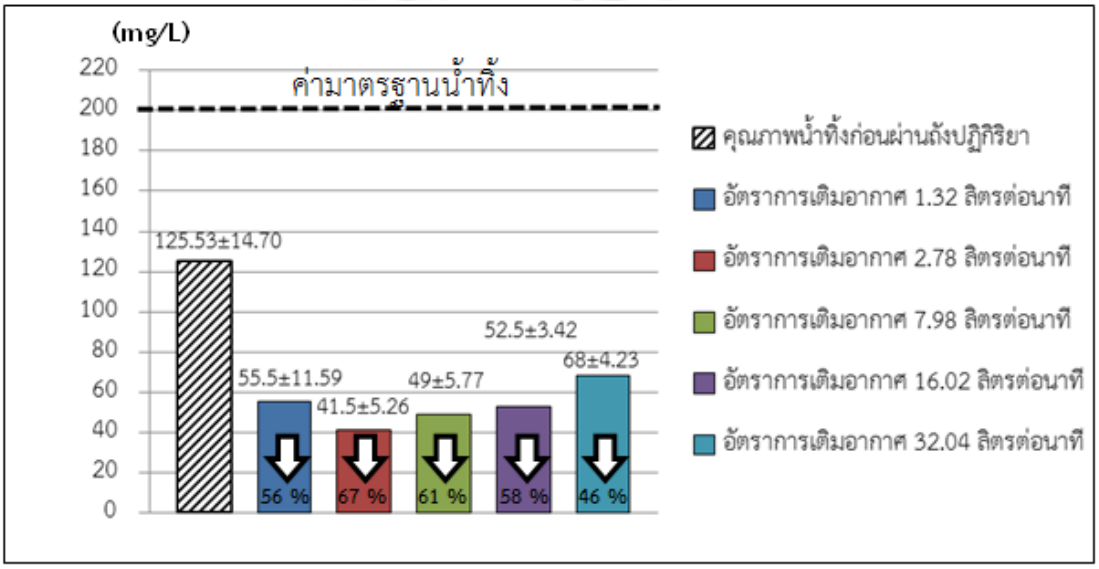
$$Mg^{2+} + NH_4^{+} + PO_4^{3-} + 6H_2O \longrightarrow MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O\downarrow \text{(ตกผลึก)}$$

อัตราการเติมอากาศทุกค่า มีประสิทธิภาพการบำบัดแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เนื่องจากน้ำทิ้งฟาร์มสุกรก่อนการบำบัดมีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำ (37.73 mg/L) คุณภาพน้ำทิ้งหลังการบำบัดจึงมีประสิทธิภาพต่างกันเพียงเล็กน้อย และที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีที่สุด เนื่องจากมีระยะเวลาการทำปฏิกิริยามากที่สุด

ส่วนในเกณฑ์ของมาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรขนาดกลางและขนาดเล็ก (จากตารางที่ 4-1) ไม่ได้มีการกำหนดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำ (TP)

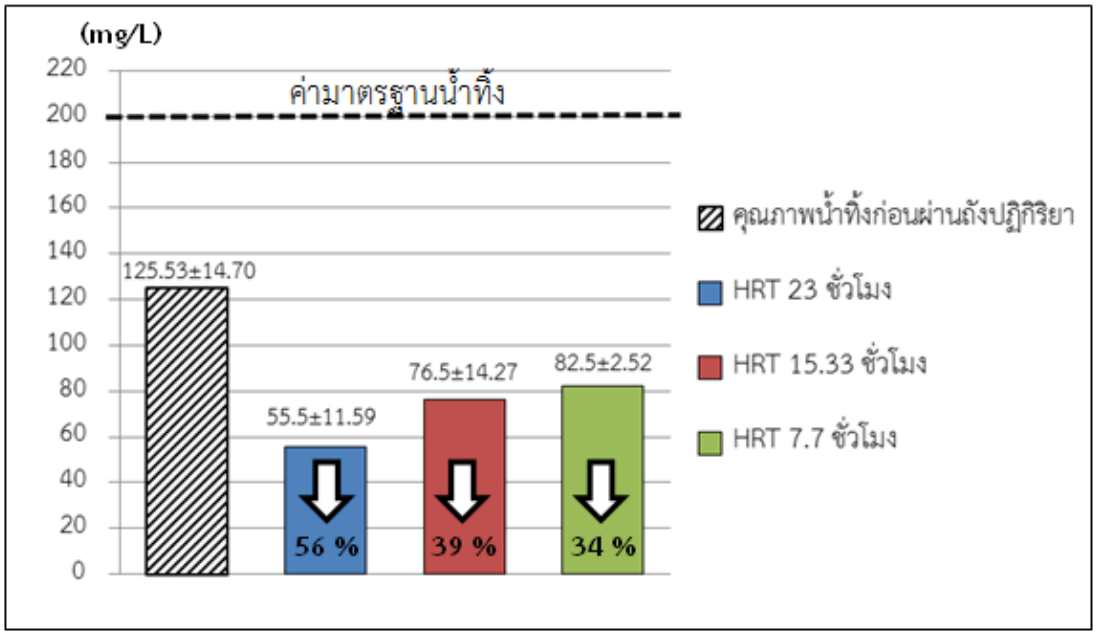
4.2.5 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Total Suspended Solid, TSS)

น้ำทิ้งฟาร์มสุกรก่อนผ่านถังปฏิกิริยามีปริมาณของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 125.53 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากผ่านการบำบัดที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเท่ากับ 23 ชั่วโมง และอัตราการเติมอากาศเท่ากับ 1.32, 2.78, 7.98, 16.02 และ 32.04 ลิตรอากาศต่อนาที น้ำที่ผ่านการบำบัดมีปริมาณและประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 55.5, 41.5, 49, 52.5 และ 68 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 56, 67, 61, 58 และ 46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4-9 และที่อัตราการเติมอากาศ 1.32 ลิตรต่อชั่วโมง ระยะเวลากักเก็บน้ำเท่ากับ 23, 15. 33 และ 7.7 ชั่วโมง น้ำที่ผ่านการบำบัดมีปริมาณและประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 55.5, 76.5 และ 82.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 56, 39 และ 34 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4-10



ภาพที่ 4 - 9 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัด
ที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเท่ากับ 23 ชั่วโมง
อัตราการเติมอากาศเท่ากับ 1.32, 2.7, 7.98, 16.02 และ 32.04 ลิตรอากาศต่อนาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 4 - 10 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งหลังผ่านการเติมอากาศที่ 1.32 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23, 15.33 และ 7.7 ชั่วโมง

จากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งฟาร์มสุกรหลังจากตกผลึก MAP มีค่าลดลง สามารถอธิบายได้ว่า ในการตกผลึก MAP มีการเติมอากาศซึ่งทำให้น้ำทิ้งมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้น นอกจากจะทำให้มีความเหมาะสมต่อการตกตะกอนผลึก MAP แล้วนั้นยังมีผลทำให้ของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งเกิดการตกตะกอนร่วมกับผลึก MAP ด้วย โดยอาศัยกลไกการตกตะกอนผลึกทางเคมี (Chemical precipitation) และในขั้นตอนการเติมอากาศจะเกิดการกวนผสมเป็นการรวมตะกอนหรือของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งให้เกิดการจับตัวกันจนมีขนาดใหญ่ที่จะตกตะกอนลงสู่ก้นถัง ซึ่งเรียกว่ากระบวนการสร้างตะกอน (Coagulation) และรวมตะกอน (Flocculation) จึงทำให้ของแข็งแขวนลอยในน้ำหลังผ่านการบำบัดมีค่าลดลง

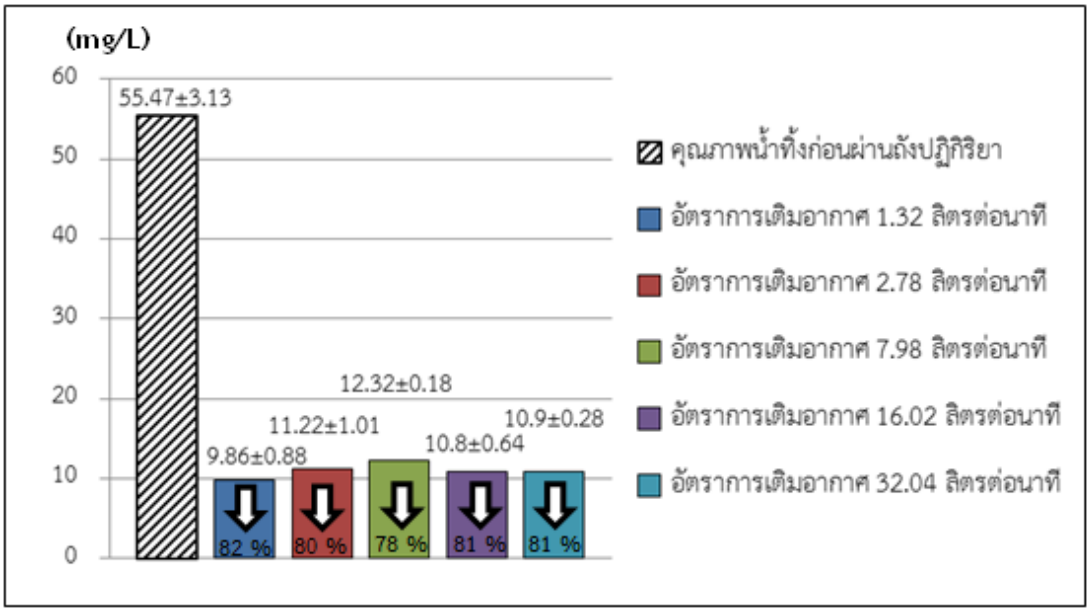
อัตราการเติมอากาศ 1.32, 2.78, 7.98 และ 16.02 ลิตรต่อนาที ให้ประสิทธิภาพการบำบัดไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ที่อัตราการเติมอากาศ 32.04 ลิตรต่อนาที มีประสิทธิภาพการบำบัดที่ต่ำที่สุด เนื่องจากความปั่นป่วนที่มากเกินไปจากการเติมอากาศ ทำให้อนุภาคคอลลอยด์ในน้ำไม่สามารถรวมตัวกันเกิดเป็นฟล๊อคได้ และที่อัตราการเติมอากาศ 23 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยได้ดีที่สุด

เมื่อนำค่าของแข็งแขวนลอยมาพิจารณาในเกณฑ์ของมาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรขนาดกลางและขนาดเล็ก (จากตารางที่ 4-1) ซึ่งกำหนดให้น้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรมีค่าของแข็งแขวนลอยไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลการศึกษาพบว่า น้ำทิ้งที่ออกมาจากระบบบำบัดน้ำเสียมีค่าไม่เกินมาตรฐานอยู่ก่อนแล้ว และการตกตะกอนผลึก MAP สามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งได้

4.2.6 ปริมาณโลหะ ได้แก่ แมกนีเซียม แคลเซียม โพแทสเซียม

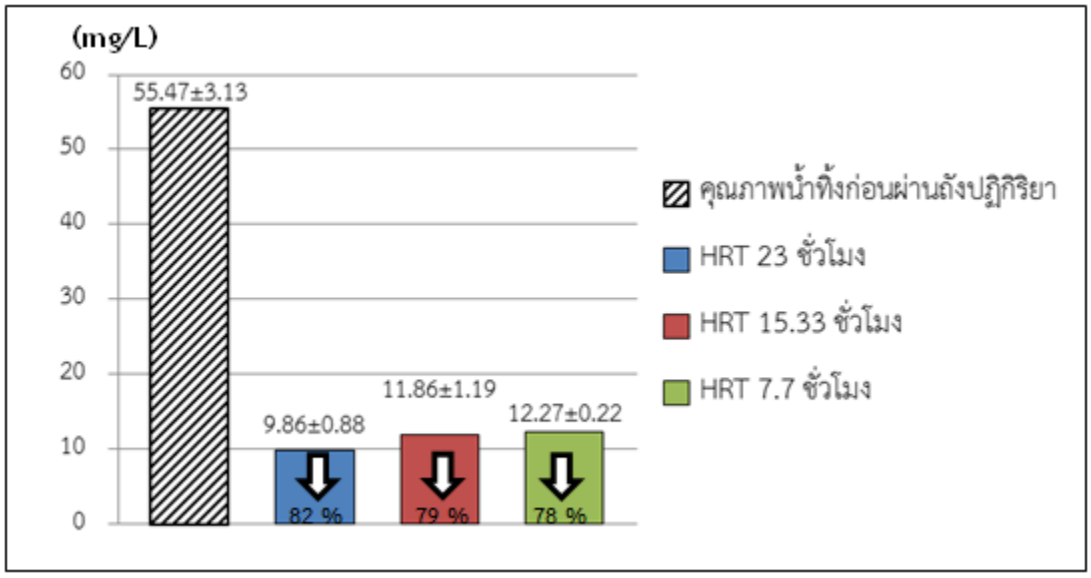
4.2.6.1 ปริมาณแมกนีเซียม

น้ำทิ้งฟาร์มสุกรก่อนผ่านถังปฏิกิริยามีปริมาณแมกนีเซียมเท่ากับ 55.47 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากผ่านการบำบัดที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเท่ากับ 23 ชั่วโมง และอัตราการเติมอากาศเท่ากับ 1.32, 2.78, 7.98, 16.02 และ 32.04 ลิตรอากาศต่อนาที น้ำที่ผ่านการบำบัดมีปริมาณและประสิทธิภาพการบำบัดแมกนีเซียมเท่ากับ 9.86, 11.22, 12.32, 10.80 และ 10.90 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 82, 80, 78, 81 และ 81 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4-11 และที่อัตราการเติมอากาศ 1.32 ลิตรต่อชั่วโมง ระยะเวลากักเก็บน้ำเท่ากับ 23, 15.33 และ 7.7 ชั่วโมง น้ำที่ผ่านการบำบัดมีปริมาณและประสิทธิภาพการบำบัดแมกนีเซียมเท่ากับ 9.86, 11.86 และ 12.27 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 82, 79 และ 78 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4-12



ภาพที่ 4 - 11 ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัด
ที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเท่ากับ23 ชั่วโมง
อัตราการเติมอากาศเท่ากับ 1.32, 2.7, 7.98, 16.02 และ 32.04 ลิตรอากาศต่อนาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 4 - 12 ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำทิ้งหลังผ่านการเติมอากาศที่ 1.32 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23, 15.33 และ 7.7 ชั่วโมง

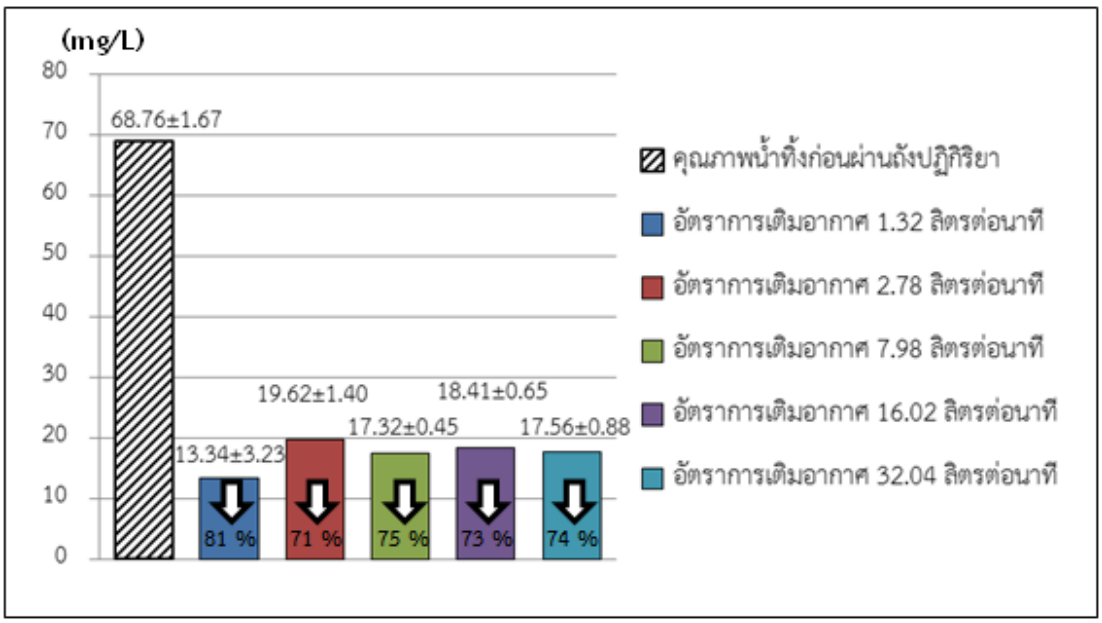
จากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำทิ้งฟาร์มสุกรหลังจากตกผลึก MAP มีค่าลดลง สามารถอธิบายได้ว่าในการตกผลึก MAP ไอออนของแมกนีเซียม แอมโมเนียม ฟอสเฟตที่ละลายอยู่ในน้ำทิ้งฟาร์มสุกรจะเกิดการรวมตัวกันและตกตะกอนแยกออกมาจากน้ำให้อยู่ในรูปของผลึก MAP ที่ค่าพีเอชที่เหมาะสม จึงทำให้ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำทิ้งมีค่าลดลงเพราะถูกดึงไปใช้ในการรวมตัวเป็นผลึก MAP และเมื่อน้ำมีค่าพีเอชสูง ส่งผลให้ในน้ำมีความเข้มข้นของไอออนไฮดรอกไซด์สูง ทำให้แมกนีเซียมสามารถตกตะกอนร่วมกับไอออนไฮดรอกไซด์ในรูปแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ได้อีกด้วย

อัตราการเติมอากาศทุกค่า มีประสิทธิภาพการบำบัดแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เนื่องจากน้ำทิ้งฟาร์มสุกรก่อนการบำบัดมีปริมาณแมกนีเซียมอยู่ในปริมาณต่ำ (55.47 mg/L) และสามารถตกตะกอนได้หลายรูปแบบ จึงมีประสิทธิภาพการบำบัดสูง คุณภาพน้ำทิ้งหลังการบำบัดจึงมีประสิทธิภาพต่างกันเพียงเล็กน้อย และที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีที่สุด เนื่องจากมีระยะเวลาการทำปฏิกิริยามากที่สุด

ส่วนในเกณฑ์ของมาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรขนาดกลางและขนาดเล็ก (จากตารางที่ 4-1) ไม่ได้มีการกำหนดปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดในน้ำ

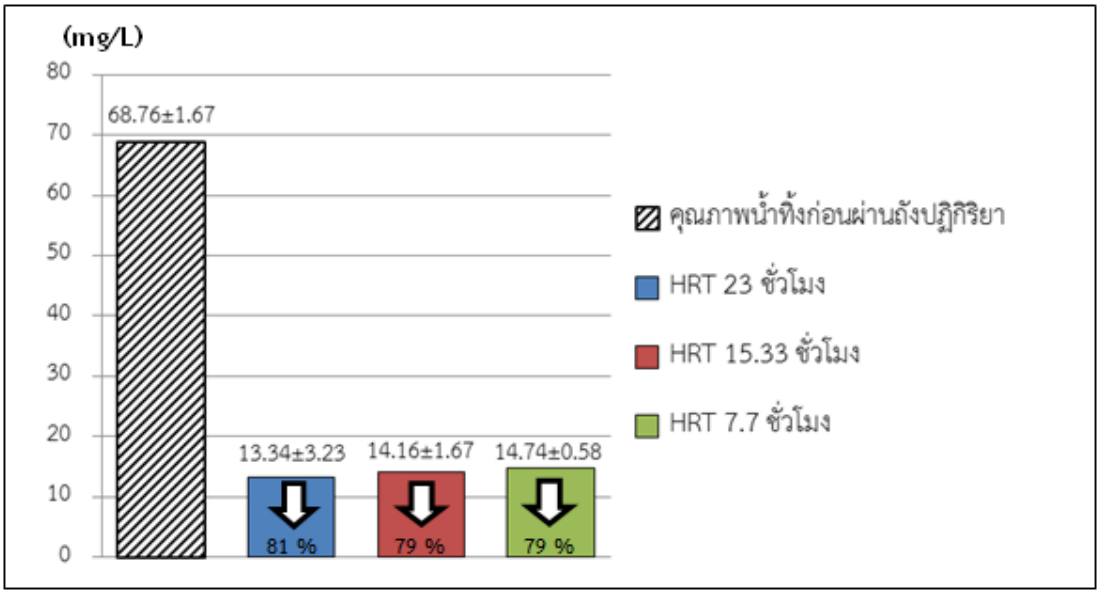
4.2.6.2 ปริมาณแคลเซียม

น้ำทิ้งฟาร์มสุกรก่อนผ่านถังปฏิกิริยามีปริมาณแคลเซียมเท่ากับ 68.76 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากผ่านการบำบัดที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเท่ากับ 23 ชั่วโมง และอัตราการเติมอากาศเท่ากับ 1.32, 2.78, 7.98, 16.02 และ 32.04 ลิตรอากาศต่อนาที น้ำที่ผ่านการบำบัดมีปริมาณและประสิทธิภาพการบำบัดแคลเซียมเท่ากับ 13.34, 19.62, 17.32, 18.41 และ 17.56 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 81, 71, 75, 73 และ 74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4-13 และที่อัตราการเติมอากาศ 1.32 ลิตรต่อชั่วโมง ระยะเวลากักเก็บน้ำเท่ากับ 23, 15.33 และ 7.7 ชั่วโมง น้ำที่ผ่านการบำบัดมีปริมาณและประสิทธิภาพการบำบัดแคลเซียมเท่ากับ 13.34, 14.16 และ 14.74 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 81, 79 และ 79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4-14



ภาพที่ 4 - 13 ปริมาณแคลเซียมในน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัด
ที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเท่ากับ 23 ชั่วโมง
อัตราการเติมอากาศเท่ากับ 1.32, 2.7, 7.98, 16.02 และ 32.04 ลิตรอากาศต่อนาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 4 - 14 ปริมาณแคลซียมในน้ำทิ้งหลังผ่านการเติมอากาศที่ 1.32 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23, 15.33 และ 7.7 ชั่วโมง

จากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณแคลเซียมในน้ำทิ้งฟาร์มสุกรหลังจากตกผลึก MAP มีค่าลดลง สามารถอธิบายได้ว่าการตกตะกอนผลึก MAP มีการเติมอากาศเพื่อช่วยเพิ่มค่าพีเอช เพื่อให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา แคลเซียมในน้ำที่สภาวะเป็นเบสจะอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ ทำให้สามารถตกตะกอนร่วมกับสารอื่นๆในน้ำได้ เช่น ตกตะกอนร่วมกับฟอสเฟตและไอออนไฮดรอกดรอกไซด์เกิดเป็นแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทท์ หรือตกตะกอนร่วมกับไอออนไฮดรอกไซด์เกิดเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้แคลเซียมในน้ำที่ผ่านการบำบัดมีปริมาณลดลง

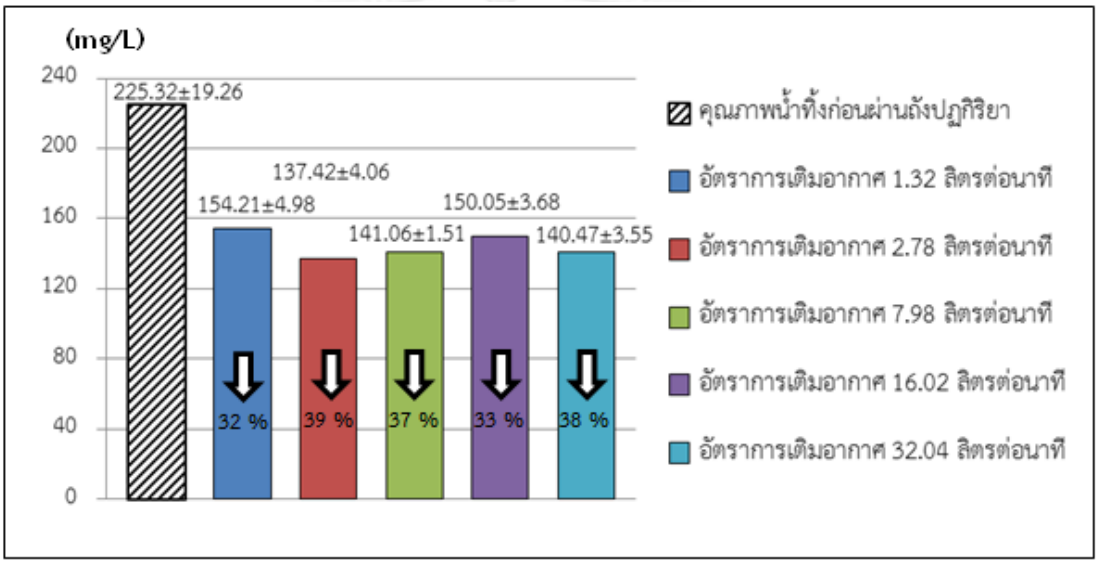
อัตราการเติม 1.32 ลิตรต่อนาทีมีประสิทธิภาพดีที่สุดในการบำบัดแคลเซียม และระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีกว่าระยะเวลากักเก็บน้ำ 15.33 และ 7.7 ชั่วโมงเพียงเล็กน้อย

ส่วนในเกณฑ์ของมาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรขนาดกลางและขนาดเล็ก (จากตารางที่ 4-1) ไม่ได้มีการกำหนดปริมาณแคลเซียมทั้งหมดในน้ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

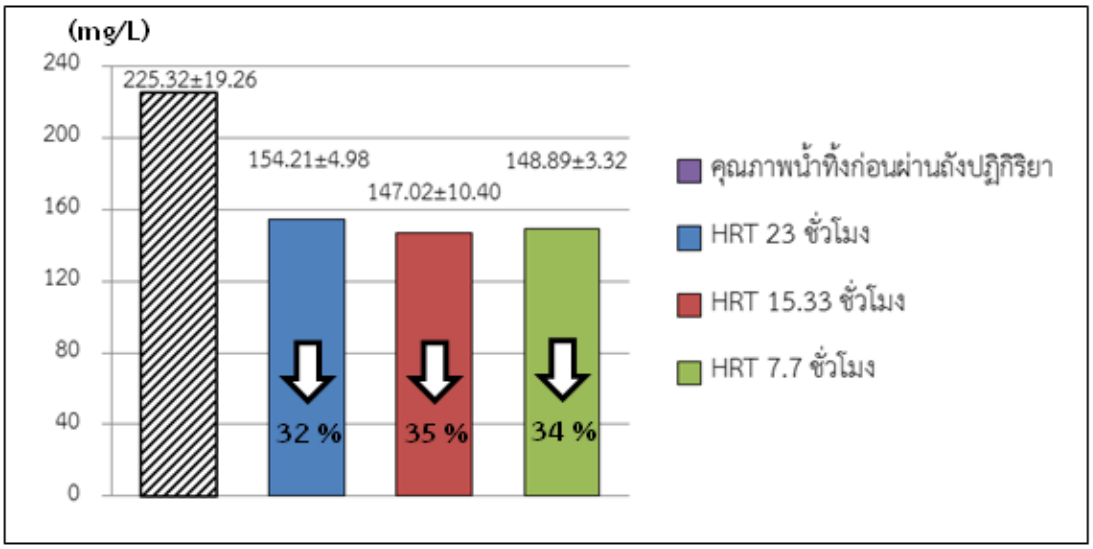
4.2.6.3 ปริมาณโพแทสเซียม

น้ำทิ้งฟาร์มสุกรก่อนผ่านถังปฏิกิริยามีปริมาณโพแทสเซียมเท่ากับ 225.32 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากผ่านการบำบัดที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเท่ากับ 23 ชั่วโมง และอัตราการเติมอากาศเท่ากับ 1.32, 2.78, 7.98, 16.02 และ 32.04 ลิตรอากาศต่อนาที น้ำที่ผ่านการบำบัดมีปริมาณและประสิทธิภาพการบำบัดโพแทสเซียมเท่ากับ 154.21,137.42, 141.06, 150.05 และ 140.47 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 32, 39, 37, 33 และ 38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4-15 และที่อัตราการเติมอากาศ 1.32 ลิตรต่อชั่วโมง ระยะเวลากักเก็บน้ำเท่ากับ 23, 15.33 และ 7.7 ชั่วโมง น้ำที่ผ่านการบำบัดมีปริมาณและประสิทธิภาพการบำบัดโพแทสเซียมเท่ากับ 154.21, 147.02 และ 148.89 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 32, 35 และ 34 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4-16



ภาพที่ 4 - 15 ปริมาณโพแทสเซียมในน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัด
ที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเท่ากับ23 ชั่วโมง
อัตราการเติมอากาศเท่ากับ 1.32, 2.7, 7.98, 16.02
และ 32.04 ลิตรอากาศต่อนาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 4 - 16 ปริมาณโพแทสเซียมในน้ำทิ้งหลังผ่านการเติมอากาศที่ 1.32 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23, 15.33 และ 7.7 ชั่วโมง

จากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณโพแทสเซียมในน้ำทิ้งฟาร์มสุกรหลังจากตกผลึก MAP มีค่าลดลง สามารถอธิบายได้ว่าการตกตะกอนผลึก MAP มีการเติมอากาศเพื่อช่วยเพิ่มค่าพีเอช เพื่อให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา โพแทสเซียมเซียมสามารถตกตะกอนร่วมกับสารอื่นๆในน้ำ เช่น ตกตะกอนร่วมกับแมกนีเซียมและฟอสเฟตเกิดเป็นผลึก $KMgPO_4 \bullet 6H_2O$ หรือที่เรียกว่า Struvite-K ทำให้โพแทสเซียมในน้ำที่ผ่านการบำบัดมีปริมาณลดลง

การแปรผันอัตราการเติมอากาศและระยะเวลากักเก็บน้ำไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดโพแทสเซียม

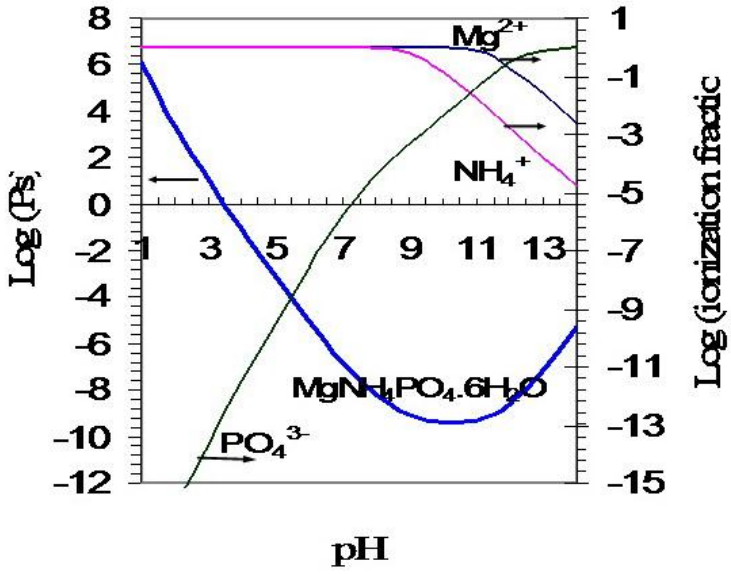
ส่วนในเกณฑ์ของมาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรขนาดกลางและขนาดเล็ก (จากตารางที่ 4-1) ไม่ได้มีการกำหนดปริมาณโพแทสเซียมเซียมทั้งหมดในน้ำ

จากผลการศึกษา พบว่าอัตราการลดลงของ Mg^{2+} NH_4^+ และ PO_4^{3-} ในชุดการทดลองที่ทำการเติมอากาศ 1.32 ลิตรต่อนาที และระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง ปริมาณสารที่หายไปคิดจากผลต่างของปริมาณสารในน้ำก่อนการบำบัดและปริมาณสารในน้ำหลังผ่านการบำบัด พบว่าปริมาณสารที่หายไปเท่ากับ นำปริมาณสารต่างๆที่หายไปมาคิดเป็นหน่วยโมลเพื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนโดยโมล พบว่า อัตราการหายไปของสารทั้งสามตัว เท่ากับ 0.0019, 0.0046 และ 0.0008 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ คิดเป็นอัตราส่วนโดยโมลระหว่าง Mg^{2+} : NH_4^+ : PO_4^{3-} เท่ากับ 2.4 : 5.8 : 1 เนื่องจากในน้ำทิ้งก่อนเข้าถังปฏิกิริยามีไนโตรเจนและแมกนีเซียมในปริมาณที่สูงกว่าฟอสฟอรัส ไนโตรเจนและแมกนีเซียมจึงสามารถทำปฏิกิริยากับสารตัวอื่น ตกผลึกลงสู่ก้นถังปฏิกิริยาได้มากกว่าฟอสฟอรัส เช่น ตกตะกอนในรูปของแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ อีกทั้งน้ำในสภาวะที่เป็นเบส ไนโตรเจนยังสามารถระเหยออกมากในรูปของก๊าซแอมโมเนียได้อีกด้วย

4.3 ผลการศึกษาอัตราการเติมอากาศและระยะเวลากักเก็บน้ำที่เหมาะสมที่เหมาะสมต่อการตกผลึก MAP จากตะกอนผลึกที่ผลิตได้

ในการเกิดผลึก MAP นั้น ในน้ำต้องมีสารต่างๆที่เป็นส่วนประกอบของผลึก MAP คือ แมกนีเซียม แอมโมเนียม ฟอสเฟตอยู่ในปริมาณที่เหมาะสม อีกทั้งน้ำยังต้องมีค่าพีเอชอยู่ในช่วงที่เหมาะสมอีกด้วย ดังนั้นจึงต้องมีกระบวนการปรับค่าพีเอช ในการทดลองนี้ใช้การเติมอากาศในการปรับค่าพีเอช โดยกระบวนการเปลี้องอากาศ (CO_2 stripping)

จากผลการศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งฟาร์มสุกรจากตารางที่ 4-1 พบว่าน้ำทิ้งฟาร์มสุกรมีสารประกอบต่างๆ คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม แคลเซียม และ โพแทสเซียม ซึ่งในการตกผลึก MAP นั้นเมื่อค่าพีเอชของน้ำมีค่ามากกว่า 7.5 (pH > 7.5) แมกนีเซียม แอมโมเนียม และฟอสเฟตในน้ำจะทำปฏิกิริยาเกิดการรวมตัวกันและตกตะกอนผลึก MAP ลงมา แต่เมื่อค่าพีเอชของน้ำอยู่ในสภาวะที่เป็นกรด (pH < 7.5) สารประกอบต่างๆในน้ำจะละลายน้ำได้ดีเกิดการแตกตัวเป็นไอออนอิสระทำให้ไม่จับตัวกันเป็นตะกอนผลึก MAP (Suzuki และคณะ, 2006) ดังแสดงในภาพที่ 4-17



ภาพที่ 4 - 17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชและการละลายน้ำ (Solubility) ของผลึก MAP (Suzuki และคณะ, 2006)

การทดลองได้ทำการแปรผันอัตราการเติมอากาศเท่ากับ 1.32, 2.78, 7.98, 16.02 และ 32.04 ลิตรต่อนาที และทำการแปรผันระยะเวลากักเก็บน้ำในถังปฏิกิริยาเท่ากับ 23, 15.33 และ 7.7 ชั่วโมง โดยแต่ละชุดการทดลองและทำการเก็บตะกอนที่ตกลงสู่ก้นถังทุกวัน และทำการกรองตะกอนออกจากน้ำ อบให้แห้ง และทำการชั่งน้ำหนัก เพื่อเปรียบเทียบผลของการเติมอากาศและระยะเวลากักเก็บน้ำ ดังแสดงในตาราง 4-3 และ 4-4

ตารางที่ 4 - 3 ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นที่อัตราการเติมอากาศ 1.32, 2.78, 7.98, 16.02 และ 32.04 ลิตรอากาศต่อนาที และระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง

วัน	**อัตราการเติมอากาศ**				
	1.32 L/Min	2.78 L/Min	7.98 L/Min	16.02 L/Min	32.04 L/Min
	น้ำหนักตะกอน (กรัม)				
วันที่ 1	1.0344	1.1492	1.1992	1.2402	1.2811
วันที่ 2	1.0532	1.1292	1.2192	1.2012	1.2914
วันที่ 3	1.0002	1.1723	1.1944	1.1982	1.3012
วันที่ 4	1.0991	1.1982	1.2821	1.2837	1.3521
ค่าเฉลี่ย	**1.0467**	**1.1622**	**1.2237**	**1.2308**	**1.3065**

ตารางที่ 4 - 4 ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นที่อัตราการเติมอากาศ 1.32 ลิตรต่อนาที และระยะเวลากักเก็บน้ำ 23, 15.33 และ 7.7 ชั่วโมง

วัน	**ระยะเวลากักเก็บน้ำ**		
	23 ชั่วโมง	15.33 ชั่วโมง	7.7 ชั่วโมง
	น้ำหนักตะกอน (กรัม)		
วันที่ 1	1.0344	1.3711	1.4563
วันที่ 2	1.0532	1.3112	1.4632
วันที่ 3	1.0002	1.3012	1.4273
วันที่ 4	1.0991	1.3321	1.4843
ค่าเฉลี่ย	**1.0467**	**1.3289**	**1.4578**

จากผลการศึกษาพบว่าอัตราการเติมอากาศมีผลต่อปริมาณผลึกที่เกิดขึ้น กล่าวคือ เมื่อทำการเติมอากาศมากขึ้น ค่าพีเอชของน้ำในถังปฏิกิริยาก็จะเพิ่มขึ้นโดยกระบวนการเปลี้องอากาศ เมื่อน้ำมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ความสามารถในการละลายของสารต่างๆในน้ำลดลง จึงสามารถรวมตัวกันเป็นสารในรูปต่างๆตกตะกอนลงสู่ก้นถังปฏิกิริยาได้มากขึ้น เมื่อทำการเติมอากาศมากขึ้นและระยะเวลาการกักเก็บน้ำที่น้อยลงก็จะเพิ่มปริมาณตะกอนด้วยเช่นกัน กล่าวคือ เมื่อระยะเวลาการกักเก็บน้ำน้อยลงก็จะต้องทำการสูบน้ำเข้าถังปฏิกิริยามากขึ้น (น้ำที่สูบเข้าต้องไม่สร้างความปั่นป่วนในถังปฏิกิริยามากเกินไป) ทำให้มีน้ำไหลผ่านถังปฏิกิริยามากขึ้น ตะกอนและสารต่างๆที่อยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำและมีน้ำหนักมากพอก็สามารถตกตะกอนลงสู่ก้นถังได้มากขึ้น จึงทำให้มีปริมาณตะกอนที่ก้นถังมากขึ้น

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งฟาร์มสุกรจากตารางที่ 4.1 พบว่า มีแคลเซียมปริมาณสูงพอที่จะทำปฏิกิริยากับฟอสเฟตที่มีในน้ำกลายเป็นสารประกอบของแคลเซียมและฟอสเฟต ซึ่งเมื่อค่าพีเอชของน้ำเป็นด่างทำให้ไอออนของแคลเซียมและฟอสเฟตที่ละลายอยู่ในน้ำเกิดการรวมตัวกันตกตะกอนลงมาโดยสามารถเกิดการตกตะกอนได้หลายรูปแบบ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับค่าพีเอชของน้ำให้อยู่ในช่วง 8-10 ซึ่งเป็นค่าที่มีความเหมาะสมในการตกตะกอนผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Hydroxyapatite, $Ca_5(PO_4)_3 \bullet (OH)$) ด้วยเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงมีผลต่อน้ำหนักตะกอนที่เพิ่มขึ้นดังสมการเคมีของการตกตะกอนผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ (บริษัท ทีม เอ็นเนอร์ยี่ แมแนจเมนท์ จำกัด, 2552)

$$5Ca^{2+} + 4OH^{-} + 3HPO_4 \rightarrow \mathbf{Ca_5(PO_4)_3OH} + 3H_2O$$

นอกจากนี้จากผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งฟาร์มสุกรจากตารางที่ 4.1 พบว่า มีปริมาณโลหะในน้ำทิ้งฟาร์มสุกร ซึ่งความสามารถในการละลายน้ำของโลหะขึ้นอยู่กับค่าพีเอช ปริมาณสารตกตะกอน และการกวน เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้มีการปรับค่าพีเอชของน้ำให้อยู่ในสภาพด่างด้วยการเติมอากาศมีผลทำให้โลหะที่ละลายอยู่ในน้ำทำปฏิกิริยาเกิดเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำแล้วตกตะกอนแยกออกมา ซึ่งความสามารถในการละลายของโลหะบางชนิดจะลดลงเมื่อปรับค่าพีเอชเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่ง (Isoelectric point) หลังจากนั้นจะกลับมาละลายได้อีก ดังนั้นน้ำหนักตะกอนที่เกิดขึ้นจึงมีผลมาจากน้ำหนักของโลหะชนิดอื่นที่เกิดจากการตกตะกอนเมื่อค่าพีเอชสูงขึ้น

จึงสรุปได้ว่าน้ำหนักตะกอนที่เกิดขึ้นจากผลการศึกษาไม่สามารถบอกปริมาณผลึก MAP ที่เกิดขึ้นได้เนื่องจากน้ำหนักตะกอนที่เกิดขึ้นนั้นอาจจะเป็นน้ำหนักตะกอนผลึกอื่นๆที่ไม่ใช่ผลึก MAP จึงต้องมีการวิเคราะห์โครงสร้าง องค์ประกอบ และความเป็นผลึก MAP เพื่อหาอัตราส่วนโดยโมลระหว่างแมกนีเซียมต่อฟอสเฟตและค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการเกิดผลึก MAP ต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.4 ผลการศึกษาลักษณะโครงสร้าง องค์ประกอบ และความเป็นผลึก MAP จากตะกอนผลึกที่ผลิตได้ในน้ำทิ้งฟาร์มสุกร

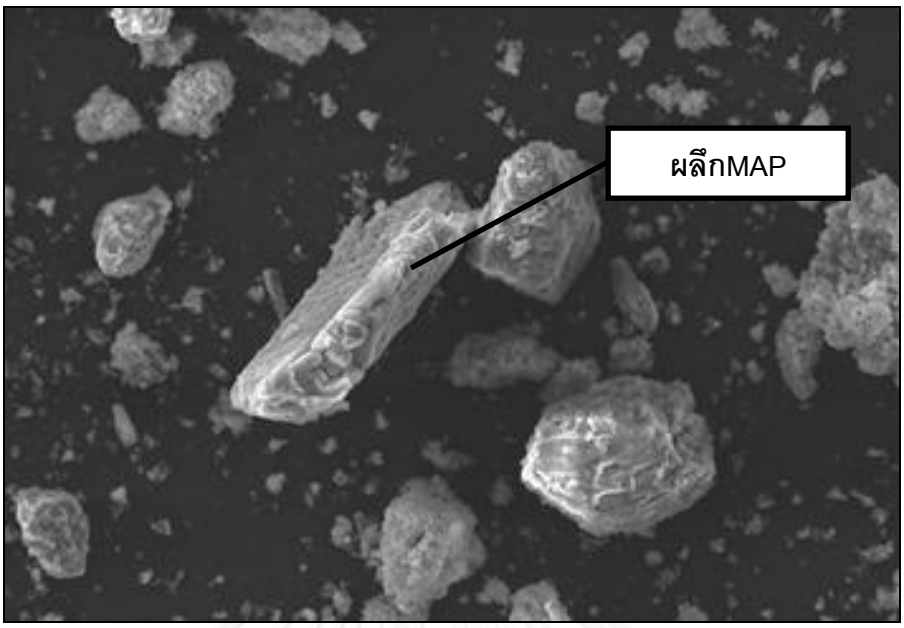
4.4.1 ผลการศึกษาลักษณะโครงสร้าง องค์ประกอบ และความเป็นผลึก MAP จากตะกอนผลึกที่เกิดขึ้นในถังปฏิกิริยา

ผลึก MAP นั้นมีลักษณะโครงสร้างได้หลายรูปแบบดังนี้ “Coffin lid” และ “Hip-roof” มีขนาดตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ โครงสร้างผลึก MAP โดยมากจะมีลักษณะรูปทรงของผลึกเป็นปริซึม 3 เหลี่ยมและ 6

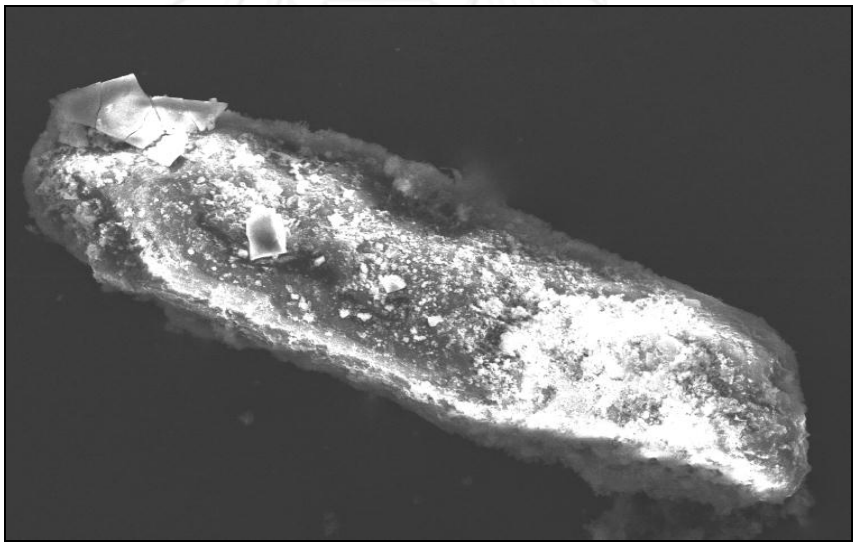
จากผลการวิเคราะห์ตะกอนที่เกิดขึ้นในถังปฏิกิรยาที่อัตราการเติมอากาศ 1.32, 2.78, 7.98 .16;02 และ 32.04 ลิตรต่อนาที และระยะเวลากักเก็บน้ำ 23, 15.33 และ 7.7 ชั่วโมง ด้วยเครื่อง SEM สามารถตรวจพบผลึก MAP ได้หลายรูปแบบ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

จากการศึกษาลักษณะตะกอนที่ผลิตได้จากน้ำทิ้งฟาร์มสุกรที่ผ่านการบำบัดด้วยถังปฏิกิริยาที่อัตราการเติมอากาศ 1.32, 7.98 และ 32.04 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง พบว่าที่อัตราการเติมอากาศ 1.32 และ 7.98 สามารถตรวจพบผลึก MAP ได้ เนื่องจากอัตราการเติมอากาศดังกล่าวสามารถเพิ่มค่าพีเอชของน้ำให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการตกตะกอนผลึก MAP ซึ่งที่อัตราการเติมอากาศ 7.98 ลิตรต่อนาที จะตรวจพบผลึก MAP ที่มีรูปร่างสมบูรณ์กว่า 1.32 ลิตรต่อนาที โดยผลึกที่ตรวจพบส่วนใหญ่มีขนาดประมาณ 10 – 100 ไมโครเมตร ในขณะที่อัตราการเติมอากาศ 32.04 ลิตรต่อนาที ตรวจไม่พบผลึก MAP ซึ่งอาจเกิดจากอัตราการเติมอากาศที่มากเกินไปส่งผลให้น้ำมีค่าพีเอชมากเกินไปและยังส่งผลให้เกิดความปั่นป่วน ไอออนต่างๆไม่สามารถเกิดปฏิกิริยารวมตัวกันเป็นผลึกได้ หรืออาจเกิดการรวมตัวแล้วแตกออกเนื่องจากความปั่นป่วนที่มากเกินไป ดังแสดงในภาพที่ 4-18, 4-19 และ 4-20

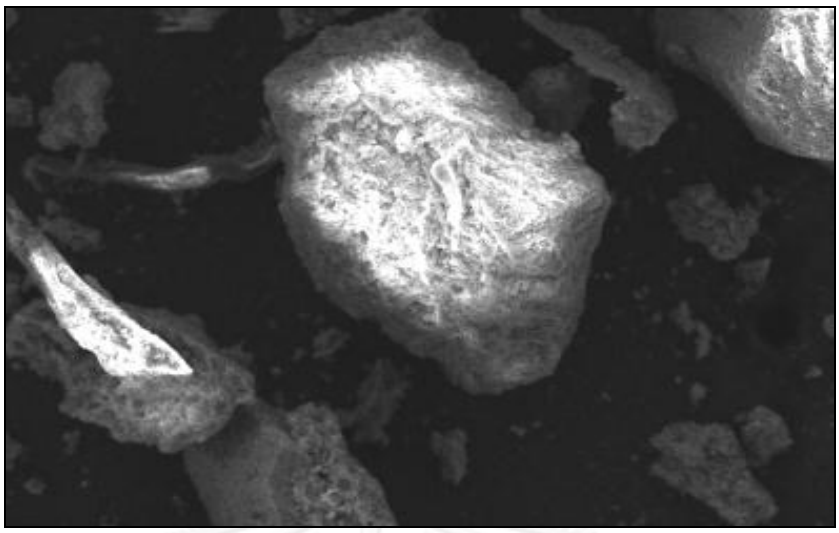
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 4 - 18 ผลึก MAP ที่อัตราการเติมอากาศ 1.32 ลิตรต่อนาที
ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

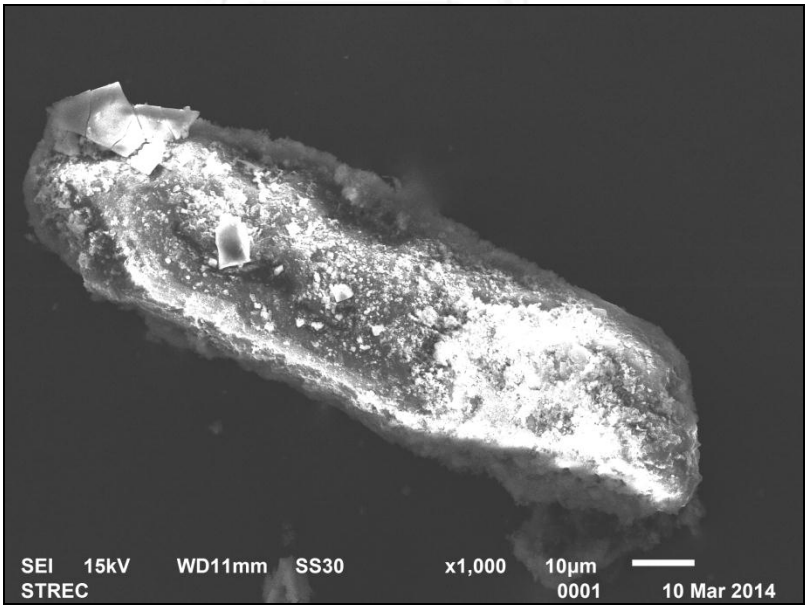


ภาพที่ 4 - 19 ผลึก MAP ที่อัตราการเติมอากาศ 7.98 ลิตรต่อนาที
ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

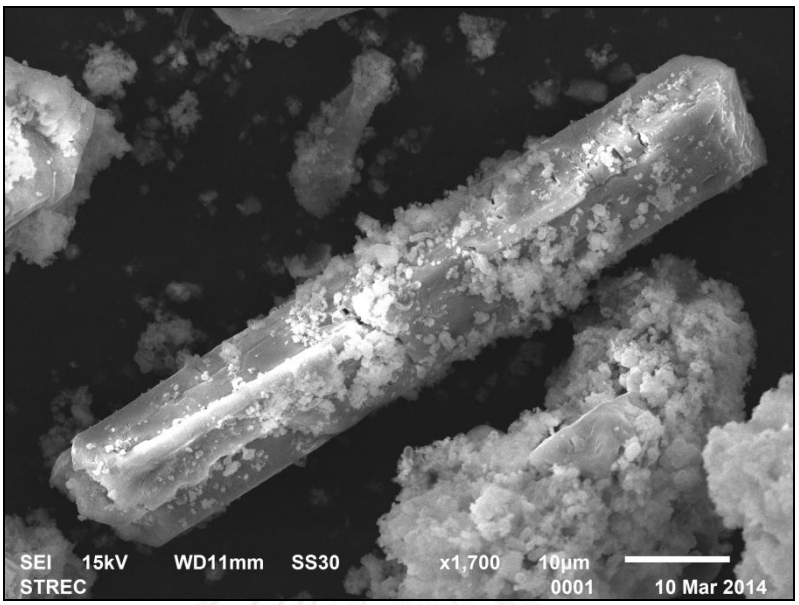


ภาพที่ 4 - 20 ผลึก MAP ที่อัตราการเติมอากาศ 32.04 ลิตรต่อนาที
ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

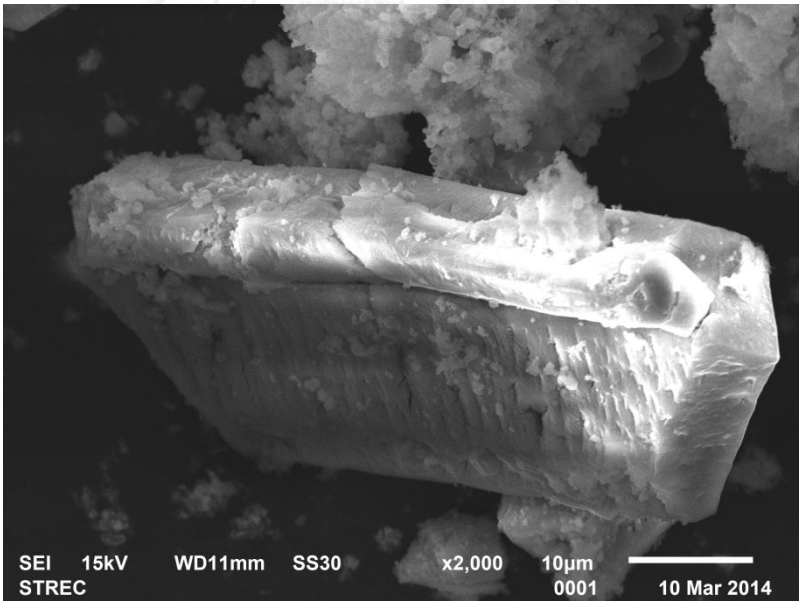
จากการศึกษาลักษณะตะกอนที่ผลิตได้จากน้ำทิ้งฟาร์มสุกรที่ผ่านการบำบัดด้วยถังปฏิกิริยาที่อัตราการเติมอากาศ 7.98 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23, 15.33 และ 7.7 ชั่วโมง พบว่าระยะเวลากักเก็บน้ำที่มากขึ้น ผลึกจะมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากไอออนต่างๆมีระยะเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4-21, 4-22 และ 4-23



ภาพที่ 4 - 21 ผลึก MAP ที่อัตราการเติมอากาศ 7.98 ลิตรต่อนาที
ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 1,700 เท่า



ภาพที่ 4 - 22 ผลึก MAP ที่อัตราการเติมอากาศ 7.98 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ 15.33 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 1000 เท่า



ภาพที่ 4 - 23 ผลึก MAP ที่อัตราการเติมอากาศ 7.98 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ 7.7 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า

4.4.2 ผลการศึกษาองค์ประกอบของผลึก MAP ที่เกิดขึ้นในน้ำทิ้งฟาร์มสุกร

การวิเคราะห์องค์ประกอบของผลึก MAP ด้วยเทคนิคจุลวิเคราะห์ (EDS) พบว่าที่อัตราการเติมอากาศ 1.32, 7.98 และ 32.04 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง มีองค์ประกอบของธาตุต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4-5 และ อัตราการเติมอากาศ 7.98 ลิตรต่อนาที ระยะเวลาการกักเก็บน้ำ 23, 15.33 และ 7.7 ชั่วโมง มีองค์ประกอบของธาตุต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4 - 5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลึก MAP ที่เกิดขึ้นในน้ำที่ผ่านการบำบัดที่อัตราการเติมอากาศ 1.32, 7.98 และ 32.04 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง

องค์ประกอบของผลึก MAP	**ปริมาณธาตุ (เปอร์เซ็นต์)**			
	O	Mg	P	Ca
อัตราการเติมอากาศ 1.32 ลิตรต่อนาที	61.52	16.51	21.24	0.72
อัตราการเติมอากาศ 7.98 ลิตรต่อนาที	63.38	16.22	20.08	0.31
อัตราการเติมอากาศ 32.04 ลิตรต่อนาที	38.54	4.8	25.11	31.55

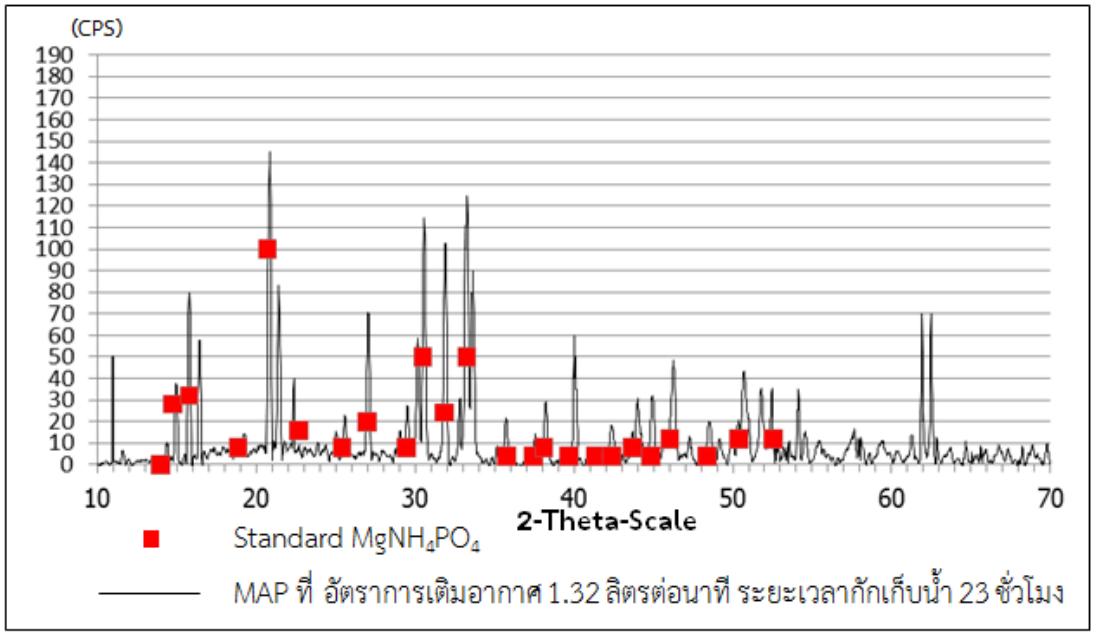
ตารางที่ 4 - 6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลึก MAP ที่เกิดขึ้นในน้ำที่ผ่านการบำบัดที่อัตราการเติมอากาศ 7.98 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23, 15.33 และ 7.7 ชั่วโมง

องค์ประกอบของผลึก MAP	**ปริมาณธาตุ (เปอร์เซ็นต์)**			
	O	Mg	P	Ca
ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง	60.10	17.35	22.81	0.49
ระยะเวลากักเก็บน้ำ 15.33 ชั่วโมง	64.42	15.82	19.28	1.18
ระยะเวลากักเก็บน้ำ 7.7 ชั่วโมง	62.12	17.33	20.41	2.61

จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่า ผลึก MAP ที่เกิดขึ้นในน้ำทิ้งฟาร์มสุกรที่อัตราการเติมอากาศ 1.32 และ 7.98 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง พบว่ามีสัดส่วนของปริมาณระหว่างธาตุแมกนีเซียมต่อธาตุฟอสฟอรัส คิดเป็นอัตราส่วนโดยโมลประมาณ 1: 1 ซึ่งสอดคล้องกับสมการเคมีของการเกิดผลึก MAP ตามทฤษฎีที่ต้องการอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมระหว่างแมกนีเซียมต่อแอมโมเนียมต่อฟอสเฟต (Mg^{2+}: NH_4^+: PO_4^{3-}) เท่ากับ 1: 1: 1 (Saidou และคณะ, 2008) แต่ในชุดการทดลองการเติมอากาศ 32.04 ลิตรต่อนาที พบว่าสัดส่วนของปริมาณระหว่างธาตุแมกนีเซียมต่อธาตุฟอสฟอรัสไม่สอดคล้องกับสมการเคมีของการเกิดผลึก MAP ที่ต้องการอัตราส่วนโดยโมลเท่ากับ 1 : 1 เนื่องจากค่าพีเอชน้ำในถังปฏิกิริยาไม่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการเกิดผลึก MAP (8.5 – 9.0) และในชุดการทดลองที่อัตราการเติมอากาศ 7.98 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23, 15.33 และ 7.7 ชั่วโมง พบว่ามีสัดส่วนของปริมาณระหว่างธาตุแมกนีเซียมต่อธาตุฟอสฟอรัส คิดเป็นอัตราส่วนโดยโมลประมาณ 1: 1 ซึ่งสอดคล้องกับสมการเคมีของการเกิดผลึก MAP ทั้งสามชุดการทดลอง

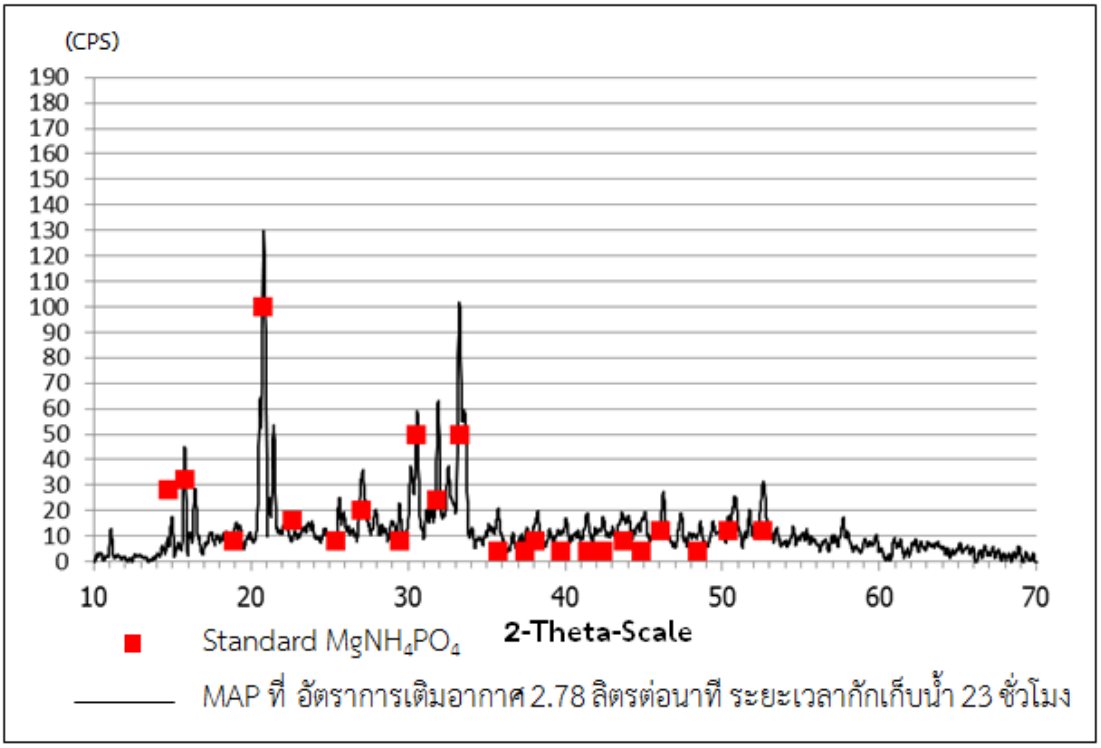
4.4.3 ผลการศึกษาเฟสและความเป็นผลึก MAP ที่เกิดขึ้นในน้ำทิ้งหลังการบำบัด

ผลการศึกษาเฟสและความเป็นผลึกของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยถังปฏิกิริยาด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (XRD) พบว่า น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดที่อัตราการเติมอากาศ 1.32, 2.78, 7.98, 16.02 และ 32.04 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง มีเฟสและความเป็นผลึกดังแสดงในรูปที่ 4-24, 4-25, 4-26, 4-27 และ 4-28 ตามลำดับ

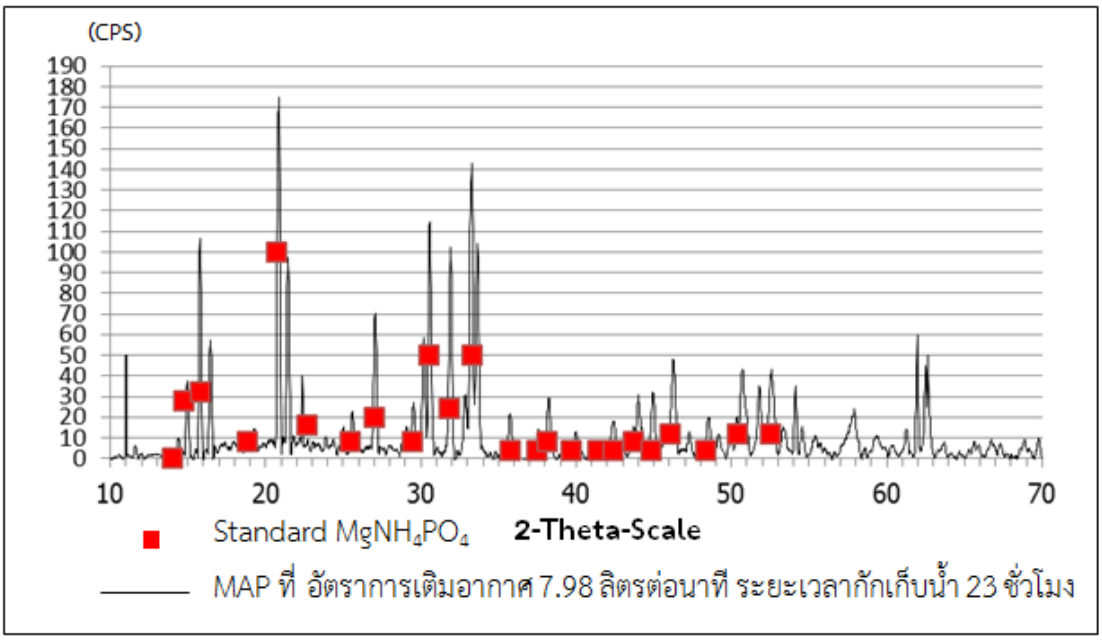


ภาพที่ 4 - 24 แสดงเฟสและความเป็นผลึก MAP ของน้ำที่อัตราการเติมอากาศ 1.32 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง

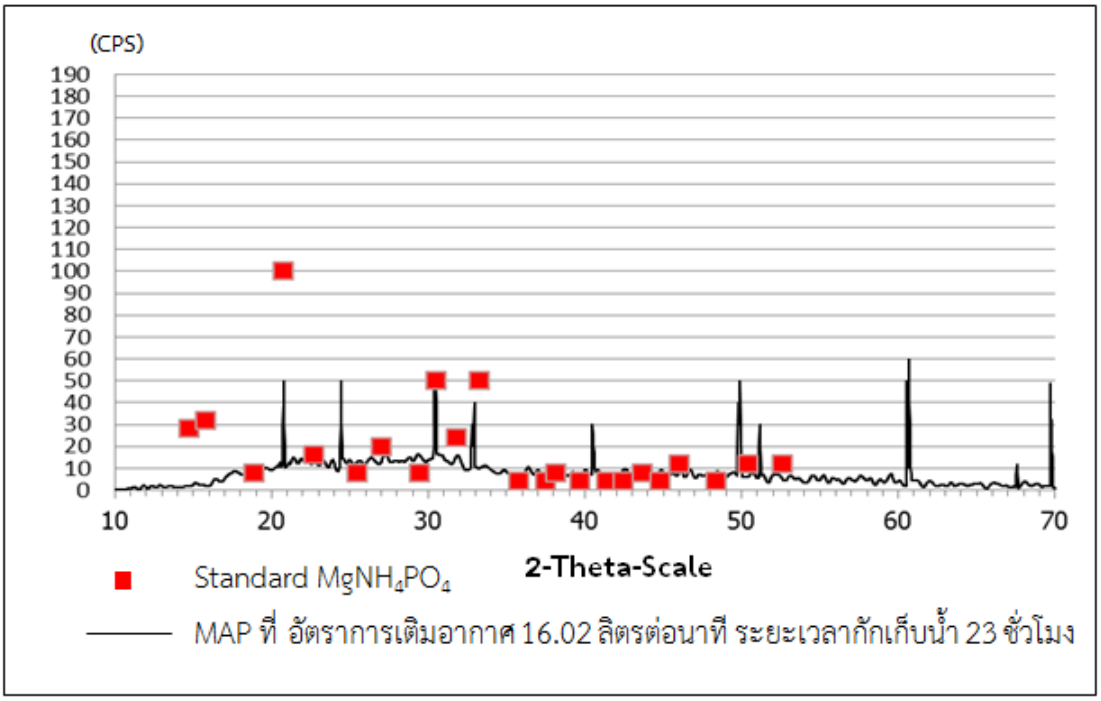
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



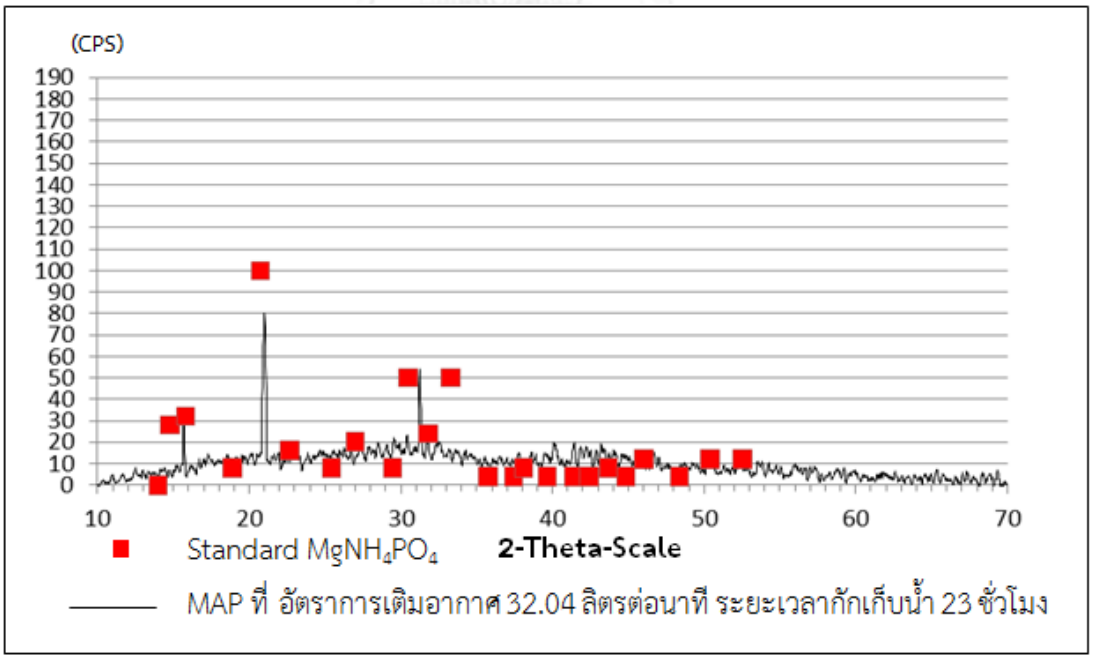
ภาพที่ 4 - 25 แสดงเฟสและความเป็นผลึก MAP ของน้ำที่อัตราการเติมอากาศ 2.78 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง



ภาพที่ 4 - 26 แสดงเฟสและความเป็นผลึก MAP ของน้ำที่อัตราการเติมอากาศ 7.98 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง



ภาพที่ 4 - 27 แสดงเฟสและความเป็นผลึก MAP ของน้ำที่อัตราการเติมอากาศ 16.02 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง



ภาพที่ 4 - 28 แสดงเฟสและความเป็นผลึก MAP ของน้ำที่อัตราการเติมอากาศ 32.04 ลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง

จากผลการศึกษาพบว่า ที่อัตราการเติมอากาศ 1.32, 2.78 และ 7.98 ลิตรต่อนาที มีความเป็นผลึกของสารประกอบระหว่างแมกนีเซียม แอมโมเนีย และฟอสเฟต เนื่องจากผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD มีความสอดคล้องกับฐานข้อมูลของผลึก MAP จากเครื่อง XRD แต่ในชุดการทดลองการเติมอากาศ 16.02 และ 32.04 ลิตรต่อนาที ผลึกที่เกิดขึ้นไม่ใช่ผลึก MAP เนื่องจากผลการวิเคราะห์ที่ได้ไม่มีความสอดคล้องกับฐานข้อมูลของผลึก MAP เนื่องจากอัตราการเติมอากาศที่มากเกินไปส่งผลให้น้ำมีค่าพีเอชไม่เหมาะสมต่อการเกิดผลึก MAP และยังส่งผลให้เกิดความปั่นป่วนที่มากเกินไปอีกด้วย

4.5 ผลของการเติมวัสดุเป้าสัมผัส MAP9

ในการทดลองนี้ได้ทำการเติมวัสดุเป้าสัมผัส MAP9 ซึ่งเตรียมโดยการเติมสารเคมีเพื่อให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนผลึก MAP โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ปรับพีเอชของน้ำให้มีค่าเท่ากับ 9 และทำการกวนให้เกิดปฏิกิริยาการตกผลึก MAP จากนั้นจึงกรองตะกอนผลึก MAP ออกจากน้ำ เพื่อใช้ทดสอบความสามารถในการเสริมประสิทธิภาพการบำบัดของถังปฏิกิริยา โดยทำการเปรียบเทียบที่อัตราการเติมอากาศ 2.78 ลิตรต่อนาทีและระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง ทำการเติมวัสดุเป้าสัมผัส MAP9 ทุกวัน วันละ 6 กรัม ผลการศึกษาดังแสดงในตาราง 4-7

ตารางที่ 4 - 7 คุณภาพน้ำหลังผ่านการบำบัดเปรียบเทียบระหว่างน้ำที่ทำการเติมและไม่เติมวัสดุเป้าสัมผัส MAP9

		Air rate 2.78 L/Min HRT 23 Hours		
พารามิเตอร์	**คุณภาพน้ำทิ้งก่อนเข้าถังปฏิกิริยา**	**ไม่เติม MAP 9**	**เติม MAP 9**	**หน่วย**
ค่าพีเอช	7.23±0.15	8.56±0.02	8.57±0.15	
ซีโอดี	476±25.85	253±14	242±9	mg/L
ของแข็งแขวนลอย	125.53±14.70	41.5±5.26	43±4.25	mg/L
ทีเคเอ็นไนโตรเจน	254.5±8.64	191±9.53	183±6.49	mg/L
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	37.73±6.35	12.17±0.15	9.29±0.35	mg/L
ปริมาณโลหะ				
- แมกนีเซียม	55.47±3.13	11.22±1.01	10.09±0.98	mg/L
- แคลเซียม	68.76±1.64	19.62±1.40	20.72±3.27	mg/L
- โพแทสเซียม	225.32±19.26	137.42±4.06	135.29±5.39	mg/L

จากผลการศึกษาพบว่าน้ำที่ทำการเติมวัสดุเป้าสัมผัส MAP9 ช่วยในการเสริมประสิทธิภาพการบำบัดมีคุณภาพน้ำที่ดีกว่าน้ำที่ไม่ทำการเติมวัสดุเป้าสัมผัสเพียงเล็กน้อย โดยมีค่า ซีโอดี ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียมลดลงเล็กน้อย เนื่องจากการเติมวัสดุเป้าสัมผัส MAP9 จะช่วยในการเพิ่มพื้นที่ผิว ทำให้การเกาะและการการโตของผลึกมีมากขึ้น ทำให้สารต่างๆเกิดเป็นผลึกตกลงสู่ก้นถังปฏิกิริยามากขึ้น น้ำที่ผ่านการบำบัดจึงมีคุณภาพน้ำที่ดีขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตกผลึก MAP ในน้ำทิ้งฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศโดยใช้ถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องในการทดลองบำบัดที่อัตราการเติมอากาศและระยะเวลากักเก็บน้ำค่าต่างๆ สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1) อัตราการเติมอากาศและระยะเวลากักเก็บน้ำมีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำและการเกิดผลึก MAP โดยที่อัตราการเติมอากาศ 7.98 เพียงพอต่อการปรับพีเอชของน้ำในถังปฏิกิริยาให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการตกตะกอนผลึก MAP (8.5 – 9.0) และระยะเวลากักเก็บน้ำที่มากขึ้นช่วยทำให้น้ำหลังการบำบัดมีคุณภาพน้ำที่ดีขึ้น เนื่องจากสามารถเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาและการตกตะกอนสารต่างๆมากขึ้น
2) อัตราการเติมอากาศ 7.98 ลิตรต่อนาที และระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง เป็นค่าที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรด้วยถังปฏิกิริยาในงานวิจัยนี้ เนื่องจากน้ำทิ้งที่ออกมามีค่าพารามิเตอร์ทุกค่าผ่านค่ามาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกร และผลึกที่ได้ยังมีขนาดและรูปร่างสมบูรณ์กว่าชุดการทดลองอื่น
3) อัตราการเติมอากาศ 16.02 และ 32.04 ลิตรต่อนาที นอกจากจะทำให้ค่าพีเอชเกินช่วงที่เหมาะสมในการตกตะกอนผลึก MAP แล้ว ยังทำให้เกิดความปั่นป่วนที่มากเกินไป ทำให้การรวมตัวของไอออนต่างๆในน้ำเกิดได้ยากขึ้นอีกด้วย
4) กระบวนการตกตะกอนผลึก MAP เป็นวิธีการที่สามารถบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากสามารถกำจัดสารทั้งสองชนิดได้ในขั้นตอนเดียว โดยเฉลี่ยสามารถกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้ 20 – 25 และ 65 – 70 เปอร์เซ็นต์ ผตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนน้อยกว่าฟอสฟอรัสเนื่องจากในน้ำทิ้งก่อนบำบัดมีไนโตรเจนอยู่ในปริมาณที่สูง
5) ในชุดการทดลองที่มีค่าพีเอชน้ำในถังปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 8.5 – 9.0 โครงสร้างของผลึก MAP ที่ตกตะกอนได้มีลักษณะรูปทรงของผลึกเป็นปริซึม 3 เหลี่ยม และ 6 เหลี่ยม องค์ประกอบของผลึก MAP ที่ได้มีสัดส่วนของปริมาณระหว่างธาตุแมกนีเซียมต่อธาตุฟอสฟอรัส คิดเป็นอัตราส่วนโดยโมลประมาณ 1: 1 ซึ่งสอดคล้องกับสมการเคมีของการเกิดผลึก MAP ตามทฤษฎี

6) การปรับพีเอชน้ำให้มีสภาพเป็นด่างด้วยการเติมอากาศในการทดลองนี้ นอกจากจะทำให้มีความเหมาะสมต่อการตกตะกอนผลึก MAP ยังมีผลทำให้สารอินทรีย์และของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งเกิดการตกตะกอนร่วมกับผลึก MAP ด้วยโดยอาศัยกลไกการตกตะกอนผลึกทางเคมี (Chemical precipitation) และในขั้นตอนการกวนผสมเป็นการรวมตะกอน หรือสารอินทรีย์และของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้ง ให้เกิดการจับตัวกันจนมีขนาดใหญ่ที่จะตกตะกอนลงมา ซึ่งเรียกว่ากระบวนการสร้างตะกอน (Coagulation) และรวมตะกอน (Flocculation) หลังจากนั้นกรองตะกอนผลึกที่ได้แยกออกมาจากน้ำ จึงทำให้ค่าซีโอดีและของแข็งแขวนลอยในน้ำมีค่าลดลง
7) น้ำทิ้งที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีค่าไอออนแมกนีเซียมและฟอสฟอรัสน้อยเกินไป ทำให้ผลึก MAP ที่ได้หลังจากการบำบัดมีน้อยเกินไปและไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ เนื่องจากอยู่รวมกับเศษดินโคลนจำนวนมาก

ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยต่อไป

1) น้ำทิ้งที่จะนำมาเข้ากระบวนการตกตะกอนผลึก MAP ควรจะมีความเข้มข้นของแมกนีเซียม ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสอยู่ในปริมาณที่สูง เช่น น้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรขนาดเล็กที่ไม่มีระบบบำบัดน้ำทิ้งก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม เป็นต้น
8) แนวทางในการนำตะกอนผลึกไปใช้ควรมีการศึกษาถึงศักยภาพและรูปแบบในการใช้งานก่อนนำไปใช้จริง เนื่องจากตะกอนที่ได้อยู่รวมกับเศษดินโคลนจำนวนมาก จึงต้องมีกระบวนการแยกผลึก MAP ออกจากตะกอนดินเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ เช่น นำไปใช้เป็นปุ๋ยในการเกษตรกรรม เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

ภาษาอังกฤษ

APHA, AWWA and WEF. 2005. Standard methods for the examination of water & wastewater. 21st Ed. American Public Health Association. American Public Health Association. Washington D.C.

Bishop, P.L. 2006. Control of struvite deposition in wastewater treatment plants [Online].Availablefrom:http://www.cswea.org/include/force_download .php?file=6 . [2011, October 16]

Celen, I., Buchanan, J.R., Burns, R.T., Robinson, R.B. and Raman D.R. 2007. Using a chemical equilibrium model to predict amendments required to precipitate phosphorous as struvite in liquid swine manure. Water Research. 41: 1689-1696.

Cooke, R.L. 2012. Mountain Empire Community College [Online], Available from: http://water.me. vccs.edu/courses/ENV115/Lesson5_print.htm [2012, March 4]

De-Bashan, L.E. and Bashan, Y. 2004. Recent advances in removing phosphorus from wastewater and its future use as a fertilizer (1997-2003). Water Research 38: 4222-4246.

Dockhorn, T. 2009. Fraunhofer Institute for Interfacial Engineering and Biotechnology [Online]. Available from : http://www.igb.fraunhofer.de/en/competences /physical -process-technology /nutrients-management.html [2011, October16]

Huang, H., Xu, C. and Zhang, W. 2011. Removal of nutrients from piggery wastewater using struvite precipitation and pyrognation technology 102: 2523-2528.

Larson, F.B. 2011. Solidification. NDT Education Resource Center [Online]. Available from: http://www.ndted.org/EducationResources/CommunityCollege /Materials/Structure/solidification.htm. [2011, October 16]

Le Corre, K.S., Valsami-Jones, E., Hobbs, P. and Parsons, S.A. 2009. Phosphorus recovery from wastewater by struvite crystallization: A Review. Environmental Science and Technology 39: 433–477.

Le Corre, K.S., Valsami-Jones, E., Hobbs, P., Jefferson, B. and Parsons, S.A. 2007. Struvite crystallization and recovery using a stainless steel structure as a seed material. Water Research 41: 2449-2456.

Liu, Y-H., Kwag, J-H., Kim, J-H. and Ra, C-S. 2011. Recovery of nitrogen and phosphorus by struvite crystallization from swine wastewater. Desalination. 277: 364-369.

Ohlinger, K.N., Young, T.M. and Schroeder, E.D. 1999. Kinetics effects on preferential struvite accumulation in wastewater. Journal of Environmental Engineering 125: 730-737.

Saidou, H., Korchef, A., Moussa, S.B. and Amor, M.B. 2009. Struvite precipitation by the dissolved CO2 degasificition technique : Impact of the airflow rate and pH. Chemosphere 74: 338-343.

Song, Y-H., Qiu, G-L., Yuan, P.,Ciu, X-Y., Peng, J-F., Zeng ,P., Duan, L., Xiang, L-C. and Qian, F. 2011. Nutrients removal and recovery from anaerobically digested swine wastewater by struvite crystallization without chemical additions. Journal of Hazardous Materials 190: 140-149

Stratful, I., Scrimshaw, M.D. and Lester, J.N. 2001. Conditions influencing the precipitation of magnesium ammonium phosphate. Water Reseach 35: 4191-4199

Suzuki, K., Tanaka, Y., Takashi, O. and Waki, M. 2002. Removal of phosphate, magnesium and calcium from swine wastewater through crystallization enhanced by aeration. Water Research 36: 2991- 2998.

Suzuki, K., Tanaka, Y., Kuroda, K., Hanajima, D., Fukumoto, Y., Yasuda, T. and Waki, M. 2007. Removal and recovery of phosphorous from swine wasterwater by demonstration crystallization reactor and struvite accumulation device. Bioresource Technology 98: 1573-1578.

Weinrich, D. 2011. Excalibur Mineral Company [Online], Available from: http://webmineral.com/data /Struvite.shtml [2011, December 28]

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาษาไทย

กรมควบคุมมลพิษ. 2553. คู่มือระบบบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกร [Online]. Available from: http://wqm.pcd.go.th/water/index.php/2010-04-12-07-30-00/2010-04-12-04-07-03/62-2010-06-11-09-56-16 [2011, October 18]

กรมควบคุมมลพิษ. 2554. การจัดการมูลสุกรและน้ำเสียจากฟาร์มสุกร [Online]. Available from: http://www.pcd.go.th/info_serv/water_swine.html [2011, October 18]

กรมควบคุมมลพิษ. 2554. มาตรฐานคุณภาพน้ำ [Online]. Available from: http://www.pcd.go.th /info_serv/reg_std_water04.html [2011, October 18]

ตวงกมล พฤทธิ์ธโนปจัย. 2552. การนำธาตุอาหารในน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรกลับมาใช้ประโยชน์โดยการตกผลึกแมกนีเซียม แอมโมเนียม ฟอสเฟต. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บริษัท ทีม เอ็นเนอร์ยี่ แมแนจเมนท์ จำกัด. 2552. โครงการศึกษาการเพิ่มมูลค่าน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบก๊าซชีวภาพฟาร์มสุกรตามแนวทางเศรษฐกิจพอเพียง.

ปวีณา ศรีลาศักดิ์. 2553. ข้อมูลจำนวนปศุสัตว์ [Online]. Available from: http://www.dld.go.th/ict/th/index.php?option=com_content&view=article&id=368:-2553&catid=74:2009-11-01-07-43-07 [2554, ตุลาคม 18]

พิชญ์ภัค เจียรพันธ์. 2552. ปริมาณธาตุอาหารจากน้ำทิ้งฟาร์มสุกรที่เหมาะสมต่อการตกผลึกแมกนีเซียม แอมโมเนียม ฟอสเฟต. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2538. วิศวกรรมการประปา เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

บันทึกข้อมูลผลการศึกษาทั้งหมด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก-1 คุณภาพน้ำทิ้งฟาร์มสุกรหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	คุณภาพน้ำทิ้ง	หน่วย	S.D.	มาตรฐานน้ำทิ้ง
1. ลักษณะของตัวอย่างน้ำ	สีน้ำตาลเหลือง	-	-	ไม่ระบุค่า
2. อุณหภูมิ	31	องศาเซลเซียส	0	ไม่ระบุค่า
3. ค่าพีเอช	7.23	-	0.15	5.5-9*
4. ซีโอดี	476	มิลลิกรัมต่อลิตร	25.85	400*
5. ของแข็งแขวนลอย	125.53	มิลลิกรัมต่อลิตร	14.7	200*
6. ปริมาณทีเคเอ็นไนโตรเจน	254.5	มิลลิกรัมต่อลิตร	8.64	200*
7. ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด	37.73	มิลลิกรัมต่อลิตร	6.35	ไม่ระบุค่า
8. ปริมาณโลหะ				
1) แมกนีเซียม	55.47	มิลลิกรัมต่อลิตร	3.13	ไม่ระบุค่า
2) แคลเซียม	68.76	มิลลิกรัมต่อลิตร	1.64	ไม่ระบุค่า
3) โพแทสเซียม	225.32	มิลลิกรัมต่อลิตร	19.26	ไม่ระบุค่า
4) เหล็ก	ตรวจไม่พบ	มิลลิกรัมต่อลิตร	-	ไม่ระบุค่า
5) ทองแดง	ตรวจไม่พบ	มิลลิกรัมต่อลิตร	-	1.0**
6) สังกะสี	ตรวจไม่พบ	มิลลิกรัมต่อลิตร	-	5.0**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก-2 ค่าพีเอชหลังผ่านการบำบัดในแต่ละชุดการทดลอง

อัตราการเติมอากาศ	**ระยะเวลากักเก็บน้ำ**		
	23 ชั่วโมง	15.33 ชั่วโมง	7.7 ชั่วโมง
	ค่าพีเอช		
1.32 ลิตรต่อนาที	8.43±0.01	8.41±0.01	8.32±0.02
2.78 ลิตรต่อนาที	8.56±0.02	8.52±0.01	8.37±0.02
7.98 ลิตรต่อนาที	8.71±0.02	8.59±0.02	8.43±0.01
16.02 ลิตรต่อนาที	8.98±0.01	8.74±0.02	8.52±0.01
32.04 ลิตรต่อนาที	9.41±0.01	8.91±0.03	8.82±0.01

ตารางที่ ก-3 ค่าซีโอดีหลังผ่านการบำบัดในแต่ละชุดการทดลอง

อัตราการเติมอากาศ	**ระยะเวลากักเก็บน้ำ**		
	23 ชั่วโมง	15.33 ชั่วโมง	7.7 ชั่วโมง
	ค่าซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
1.32 ลิตรต่อนาที	220±20	311±36.13	342±6.93
2.78 ลิตรต่อนาที	253±14	315±12.54	337±25.14
7.98 ลิตรต่อนาที	240±3.27	302±26.23	339±14.17
16.02 ลิตรต่อนาที	274±5.16	322±13.72	346±24.02
32.04 ลิตรต่อนาที	281±13.61	313±9.38	331±17.35

ตารางที่ ก-4 ค่าทีเคเอ็นไนโตรเจนหลังผ่านการบำบัดในแต่ละชุดการทดลอง

อัตราการเติมอากาศ	**ระยะเวลากักเก็บน้ำ**		
	23 ชั่วโมง	15.33 ชั่วโมง	7.7 ชั่วโมง
	ค่าทีเคเอ็นไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
1.32 ลิตรต่อนาที	190.38±3.85	203.13±5.30	212.5±2.89
2.78 ลิตรต่อนาที	191±9.53	202.53±3.19	220.12±5.32
7.98 ลิตรต่อนาที	192.25±6.67	210.72±7.59	221.34±7.88
16.02 ลิตรต่อนาที	199.38±7.29	212.91±3.48	226.29±6.21
32.04 ลิตรต่อนาที	203.13±7.04	211.62±8.19	225.39±9.02

ตารางที่ ก-5 ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดหลังผ่านการบำบัดในแต่ละชุดการทดลอง

อัตราการเติมอากาศ	**ระยะเวลากักเก็บน้ำ**		
	23 ชั่วโมง	15.33 ชั่วโมง	7.7 ชั่วโมง
	ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
1.32 ลิตรต่อนาที	11.74±3.23	12.00±3.79	13.43±0.07
2.78 ลิตรต่อนาที	12.17±0.15	12.82±3.29	13.91±1.26
7.98 ลิตรต่อนาที	12.17±0.54	12.77±2.71	14.22±2.73
16.02 ลิตรต่อนาที	13.53±0.15	13.18±2.92	13.91±1.05
32.04 ลิตรต่อนาที	12.44±0.19	13.01±1.94	14.04±1.82

ตารางที่ ก-6 ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดหลังผ่านการบำบัดในแต่ละชุดการทดลอง

อัตราการเติมอากาศ	**ระยะเวลากักเก็บน้ำ**		
	23 ชั่วโมง	15.33 ชั่วโมง	7.7 ชั่วโมง
	ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
1.32 ลิตรต่อนาที	55.5±11.59	76.5±14.27	82.5±2.52
2.78 ลิตรต่อนาที	51.5±5.26	75.3±9.29	86±5.05
7.98 ลิตรต่อนาที	49±5.77	73.5±2.83	83.3±7.05
16.02 ลิตรต่อนาที	52.5±3.42	76.2±5.39	82.7±9.51
32.04 ลิตรต่อนาที	68±4.32	77.5±4.25	85.5±4.05

ตารางที่ ก-7 ค่าแมกนีเซียมทั้งหมดหลังผ่านการบำบัดในแต่ละชุดการทดลอง

อัตราการเติมอากาศ	**ระยะเวลากักเก็บน้ำ**		
	23 ชั่วโมง	15.33 ชั่วโมง	7.7 ชั่วโมง
	ค่าแมกนีเซียมทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
1.32 ลิตรต่อนาที	9.86±0.88	11.86±1.19	12.27±0.22
2.78 ลิตรต่อนาที	11.22±1.01	12.92±1.82	12.91±0.26
7.98 ลิตรต่อนาที	12.32±0.18	12.27±1.71	13.22±1.73
16.02 ลิตรต่อนาที	10.8±0.64	12.18±2.02	13.51±2.05
32.04 ลิตรต่อนาที	10.9±0.28	12.01±0.94	14.24±1.92

ตารางที่ ก-8 ค่าแคลเซียมทั้งหมดหลังผ่านการบำบัดในแต่ละชุดการทดลอง

อัตราการเติมอากาศ	**ระยะเวลากักเก็บน้ำ**		
	23 ชั่วโมง	15.33 ชั่วโมง	7.7 ชั่วโมง
	ค่าแคลเซียมทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
1.32 ลิตรต่อนาที	13.34±3.23	14.15±1.67	14.74±0.58
2.78 ลิตรต่อนาที	19.62±1.40	17.33±2.61	19.75±1.26
7.98 ลิตรต่อนาที	17.32±0.45	18.02±1.82	18.91±2.82
16.02 ลิตรต่อนาที	18.41±0.65	18.46±1.91	18.62±1.93
32.04 ลิตรต่อนาที	17.56±0.88	17.92±2.04	19.47±2.72

ตารางที่ ก-9 ค่าโพแทสเซียมเซียมทั้งหมดหลังผ่านการบำบัดในแต่ละชุดการทดลอง

อัตราการเติมอากาศ	**ระยะเวลากักเก็บน้ำ**		
	23 ชั่วโมง	15.33 ชั่วโมง	7.7 ชั่วโมง
	ค่าโพแทสเซียมทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
1.32 ลิตรต่อนาที	154.21±4.98	147.02±10.40	148.89±3.32
2.78 ลิตรต่อนาที	137.42±4.06	152.28±9.45	154.82±1.02
7.98 ลิตรต่อนาที	141.06±1.51	148.92±7.43	157.18±4.29
16.02 ลิตรต่อนาที	150.05±3.68	150.42±8.48	153.51±2.92
32.04 ลิตรต่อนาที	140.47±3.55	153.03±6.93	154.24±6.92

ตารางที่ ก-10 ค่าน้ำหนักตะกอนของแข็งที่ออกจากก้นถังปฏิกิริยาในแต่ละชุดการทดลอง

อัตราการเติมอากาศ	**ระยะเวลากักเก็บน้ำ**		
	23 ชั่วโมง	15.33 ชั่วโมง	7.7 ชั่วโมง
	น้ำหนักตะกอน (กรัม)		
1.32 ลิตรต่อนาที	1.0467	1.3289	1.4578
2.78 ลิตรต่อนาที	1.1622	1.3101	1.5681
7.98 ลิตรต่อนาที	1.2237	1.3394	1.5921
16.02 ลิตรต่อนาที	1.2308	1.3592	1.6032
32.04 ลิตรต่อนาที	1.3065	1.4912	1.7928

ตารางที่ ก-11 ค่าคุณภาพน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดเปรียบเทียบผลของการเติมวัสดุเป้าสัมผัส MAP 9 ที่อัตราการเติมอากาศ 2.78 ลิตรต่อนาที และระยะเวลากักเก็บน้ำ 23 ชั่วโมง

		Air rate 2.78 L/Min HRT 23 Hours		
พารามิเตอร์	**คุณภาพน้ำทิ้งก่อนเข้าถังปฏิกิริยา**	**ไม่เติม MAP 9**	**เติม MAP 9**	**หน่วย**
ค่าพีเอช	7.23±0.15	8.56±0.02	8.57±0.15	
ซีโอดี	476±25.85	253±14	242±9	mg/L
ของแข็งแขวนลอย	125.53±14.70	41.5±5.26	43±4.25	mg/L
ทีเคเอ็นไนโตรเจน	254.5±8.64	191±9.53	183±6.49	mg/L
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	37.73±6.35	12.17±0.15	9.29±0.35	mg/L
ปริมาณโลหะ				
- แมกนีเซียม	55.47±3.13	11.22±1.01	10.09±0.98	mg/L
- แคลเซียม	68.76±1.64	19.62±1.40	20.72±3.27	mg/L
- โพแทสเซียม	225.32±19.26	137.42±4.06	135.29±5.39	mg/L

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข

ภาพถ่ายอุปกรณ์บางชนิดที่ใช้ในงานวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ ข-1 ถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องที่ใช้ในการทดลอง

ภาพที่ ข-2 เครื่องอะตอมมิค แอบซอร์ปชั่น สเปกโตรโฟโตมิเตอร์
(Atomic absorbtion spectrophotomer)

ภาพที่ ข-3 เครื่องเอ็กซเรย์ ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-ray diffractometer)

ภาคผนวก ค

วิธีการคำนวณ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ค

ค.1 วิธีการคำนวณความเข้มข้นของแมกนีเซียม ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ จะเห็นได้ว่า มีปริมาณแมกนีเซียม ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสเท่ากับ 55.47 254.5 และ 37.73 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สามารถคำนวณเพื่อหาความเข้มข้นในหน่วยโมลต่อลิตร ได้ดังนี้

ค.1.1 ความเข้มข้นของแมกนีเซียม

น้ำหนักโมเลกุลของแมกนีเซียม เท่ากับ 24.305 กรัมต่อโมล

$$\frac{55.47 \text{ มิลลิกรัม}}{\text{ลิตร}} \times \frac{1 \text{ กรัม}}{1{,}000 \text{ มิลลิกรัม}} \times \frac{1 \text{ โมล}}{24.305 \text{ กรัม}} = 0.0023 \text{ โมลต่อลิตร}$$

ค.1.2 ความเข้มข้นของไนโตรเจน

น้ำหนักโมเลกุลของไนโตรเจน เท่ากับ 14.0067 กรัมต่อโมล

$$\frac{254.5 \text{ มิลลิกรัม}}{\text{ลิตร}} \times \frac{1\text{กรัม}}{1{,}000 \text{ มิลลิกรัม}} \times \frac{1 \text{ โมล}}{14.0067 \text{ กรัม}} = 0.0182 \text{ โมลต่อลิตร}$$

ค.1.3 ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส

น้ำหนักโมเลกุลของฟอสฟอรัส เท่ากับ 30.9738 กรัมต่อโมล

$$\frac{37.73 \text{ มิลลิกรัม}}{\text{ลิตร}} \times \frac{1\text{กรัม}}{1{,}000 \text{ มิลลิกรัม}} \times \frac{1 \text{ โมล}}{30.9738 \text{ กรัม}} = 0.0012 \text{ โมลต่อลิตร}$$

น้ำทิ้งฟาร์มสุกรมีความเข้มข้นแมกนีเซียมต่อแอมโมเนียมต่อฟอสเฟตเท่ากับ 0.0023, 0.0182 และ 0.0012 โมลต่อลิตร ดังนั้นน้ำทิ้งจะมีอัตราส่วนโดยโมลระหว่างแมกนีเซียมต่อแอมโมเนียมต่อฟอสเฟตเท่ากับ 1.9 : 15.1 : 1.0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ง

มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรและการระบายน้ำลงทางชลประทาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม
เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษ ประเภทการเลี้ยงสุกร

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๕๕ แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๓๕ อันเป็นพระราชบัญญัติที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา ๒๘ ประกอบกับมาตรา ๓๕ มาตรา ๔๘ มาตรา ๕๐ และมาตรา ๕๑ ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย บัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม โดยคำแนะนำของคณะกรรมการควบคุมมลพิษ และโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร ไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ในประกาศนี้

"การเลี้ยงสุกร" หมายความว่า การเลี้ยงสุกรพ่อพันธุ์แม่พันธุ์ สุกรขุนหรือลูกสุกร ชนิดใดชนิดหนึ่งหรือตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปตามน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์

"น้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ ๑ หน่วย" หมายความว่า น้ำหนักสุทธิของสุกรพ่อพันธุ์แม่พันธุ์ สุกรขุน หรือลูกสุกร ชนิดใดชนิดหนึ่งหรือตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปที่มีน้ำหนักรวมกันเท่ากับ ๕๐๐ กิโลกรัม โดยให้คิดคำนวณน้ำหนักเฉลี่ยของสุกรพ่อพันธุ์หรือแม่พันธุ์ตัวละ ๑๗๐ กิโลกรัม สุกรขุนตัวละ ๖๐ กิโลกรัม และลูกสุกรตัวละ ๑๒ กิโลกรัม

"การเลี้ยงสุกรประเภท ก" หมายความว่า การเลี้ยงสุกรพ่อพันธุ์แม่พันธุ์ สุกรขุน หรือลูกสุกร ชนิดใดชนิดหนึ่งหรือตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป ที่มีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์เกินกว่า ๖๐๐ หน่วย

"การเลี้ยงสุกรประเภท ข" หมายความว่า การเลี้ยงสุกรพ่อพันธุ์แม่พันธุ์ สุกรขุน หรือลูกสุกร ชนิดใดชนิดหนึ่งหรือตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป ที่มีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ ตั้งแต่ ๖๐ หน่วย แต่ไม่เกิน ๖๐๐ หน่วย

"การเลี้ยงสุกรประเภท ค" หมายความว่า การเลี้ยงสุกรพ่อพันธุ์แม่พันธุ์ สุกรขุน หรือลูกสุกร ชนิดใดชนิดหนึ่งหรือตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป ที่มีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ ตั้งแต่ ๖ หน่วย แต่ไม่ถึง ๖๐ หน่วย

"น้ำทิ้ง" หมายความว่า น้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแล้วจนเป็นไปตาม มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งตามที่กำหนดไว้ในประกาศนี้

ข้อ ๒ ให้แบ่งประเภทการเลี้ยงสุกรตามข้อ ๑ ออกเป็น ๓ ประเภท คือ

(๑) การเลี้ยงสุกรประเภท ก

(๒) การเลี้ยงสุกรประเภท ข

(๓) การเลี้ยงสุกรประเภท ค

ข้อ ๓ มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากการเลี้ยงสุกรประเภท ก ต้องมีค่า ดังต่อไปนี้

(๑) ความเป็นกรดและด่าง (pH Value) ระหว่าง ๕.๕ ถึง ๙

(๒) บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) ไม่เกิน ๖๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๓) สารแขวนลอย (Suspended Solids) ไม่เกิน ๑๕๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๔) ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) ไม่เกิน ๓๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๕) ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen) ไม่เกิน ๑๒๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

ข้อ ๔ มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากการเลี้ยงสุกรประเภท ข และประเภท ค ต้องมีค่าดังต่อไปนี้

(๑) ความเป็นกรดและด่าง ระหว่าง ๕.๕ ถึง ๙

(๒) บีโอดี ไม่เกิน ๑๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๓) สารแขวนลอย ไม่เกิน ๒๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๔) ซีโอดี ไม่เกิน ๔๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๕) ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น ไม่เกิน ๒๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

ข้อ ๕ การเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งให้เก็บแบบจ้วง (Grab Sampling) จากจุดที่สถาน ที่เลี้ยงสุกรระบายน้ำทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อม ในกรณีสถานที่เลี้ยงสุกรมีการระบายน้ำทิ้งหลายจุด ให้เก็บทุกจุดที่มีการระบายน้ำทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อม

ข้อ ๖ การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากการเลี้ยงสุกรให้ใช้วิธีการดังต่อไปนี้

(๑) การตรวจสอบค่าความเป็นกรดและด่างให้ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH Meter) แบบ Electrometric Titrator ที่มีความละเอียดไม่ต่ำกว่า ๐.๑ หน่วย

(๒) การตรวจสอบค่าบีโอดีให้ใช้วิธีการอะไซด์ โมดิฟิเคชั่น (Azide Modification) ที่อุณหภูมิ ๒๐ องศาเซลเซียส เป็นเวลา ๕ วัน ติดต่อกันหรือวิธีการ Membrane Electrode

(๓) การตรวจสอบค่าสารแขวนลอยให้ใช้วิธีการกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disc) และอบให้แห้งที่อุณหภูมิ ๑๐๓ - ๑๐๕ องศาเซลเซียส

(๔) การตรวจสอบค่าซีโอดีให้ใช้วิธีการย่อยสลายโดยโปตัสเซียมไดโครเมต (Potassium Dichromate Digestion) แบบ Open Reflux หรือ Closed Reflux

(๕) การตรวจสอบค่าไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็นให้ใช้วิธีการเจลดาห์ล (Kjeldahl) และให้ตรวจวัดแอมโมเนียที่เกิดขึ้นด้วยวิธีการ Colorimetric หรือ Ammonia Selective Electrode

ข้อ ๗ การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากการเลี้ยงสุกรตามข้อ ๖ ต้องเป็นไปตามคู่มือวิเคราะห์น้ำเสียที่สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทยกำหนดไว้ หรือตามวิธีการมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater) ที่ American Public Health Association, American Water Work Association และ Water Environment Federation ของสหรัฐอเมริการ่วมกันกำหนดไว้ หรือตามวิธีการอื่นที่กรมควบคุมมลพิษประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ประกาศ ณ วันที่ ๖ กุมภาพันธ์ พ.ศ. ๒๕๔๔
อาทิตย์ อุไรรัตน์
รัฐมนตรีว่าการกระทรวงวิทยาศาสตร์
เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

(ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม ๑๑๘ ตอนพิเศษ ๑๘ง วันที่ ๒๓ กุมภาพันธ์ ๒๕๔๔)

มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทานและทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับทางน้ำชลประทานในเขตพื้นที่โครงการชลประทาน		
ดัชนีคุณภาพน้ำ	**หน่วย**	**ค่ามาตรฐาน(เกณฑ์กำหนดสูงสุด)**
1. ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	6.5-8.5
2. ความนำไฟฟ้า	ไมโครโมล์/ซม.	2,000
3. ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TDS)	มิลลิกรัม/ลิตร	1,300
4. บีโอดี (BOD_5)	มิลลิกรัม/ลิตร	20
5. สารแขวนลอย (SS)	"	30
6. เปอร์มังกาเนต (PV)	"	6.0
7. ซัลไฟด์คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Sulfide as H_2S)	"	1.0
8. ไซยาไนด์คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนไซยาไนด์ (cyanide as HCN)	"	0.2
9. น้ำมันและไขมัน (Fat ,Oil and Grease)	"	5.0
10. ฟอร์มัลดีไฮด์ (formaldehyde)	"	1.0
11. ฟีนอลและ/หรือครีโซลส (Phenol& Cresols)	"	1.0
12. คลอรีนอิสระ (Free chlorine)	"	1.0
13. ยาฆ่าแมลง	"	ไม่มีเลย
14. สารกัมมันตรังสี	"	ไม่มีเลย
15. สี และกลิ่น (Colour and Odour)	-	ไม่เป็นที่น่ารังเกียจ
16. น้ำมันทาร์ (Tar)	-	ไม่มีเลย
17. โลหะหนัก -สังกะสี(Zn) -โครเมียม(Cr) -อาร์เซนิค(As) -ทองแดง(Cu) -ปรอท(Hg) -แคดเมียม(Cd) -แบเรียม(Ba) -ซิลิเนียม(Se) -ตะกั่ว(Pb) -นิคเกิล(Ni) -แมงกานีส(Mn)	มิลลิกรัม/ลิตร " " " " " " " " " "	5.0 0.3 0.25 1.0 0.005 0.03 1.0 0.02 0.1 0.2 0.5

แหล่งที่มา : ค่าสั่งกรมชลประทานที่ 883/2532 เรื่อง การป้องกันและการแก้ไขการระบายน้ำทิ้งที่มีคุณภาพต่ำลง
ทางน้ำชลประทาน และทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับทางน้ำชลประทานในเขตพื้นที่โครงการชลประทานลงวันที่ 19 ธันวาคม 2532

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธงชัย อัมพรพะงา เกิดเมื่อวันที่ 3 เดือนพฤศจิกายนพ.ศ.2529 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตจากภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นพิภพ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2551 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ.2553

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University