



การบำบัดน้ำทิ้งฟาร์มสุกรด้วยการตกผลึกแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต Treatment of the Swine Farm Effluent by the Magnesium Ammonium Phosphate Crystallization

อดิเทพ จุมจวง¹ ชาญณรงค์ ภูชงควาริน² และ วิภาดา เดชะปัญญา^{2*}
Aditep Jumjuang¹, Channarong Puchongkwarin² and Wipada Dechapanya^{2*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

²ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

¹Environmental Engineering Program, Department of Chemical Engineering,
Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University

²Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University

*E-mail : wipada.d@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

โดยทั่วไปน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรยังคงมีสารอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ซึ่งหากปล่อยน้ำทิ้งนี้ลงแหล่งน้ำสาธารณะ จะส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำและสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในแหล่งน้ำตลอดจนชุมชนใกล้เคียง การบำบัดน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรไม่เพียงแต่ปรับปรุงน้ำให้มีคุณภาพที่ดีขึ้น แต่ยังสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรด้วย กระบวนการตกผลึกแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต โดยโครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรด้วยกระบวนการตกผลึกแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต โดยปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ ค่าความเป็นกรดต่าง (8, 10 และ 12) ปริมาณการเติมแมกนีเซียมคลอไรด์ (2, 4 และ 8 กรัม) และระยะเวลาในการกวนผสม (10, 20 และ 30 นาที) ผลการศึกษาพบว่า น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดมีผลึกแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตเกิดขึ้น โดยความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมต่อการตกผลึกทางทฤษฎีคือ ค่าความเป็นกรดต่างในช่วง 9-12 และที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 12 ปริมาณการเติมแมกนีเซียมคลอไรด์ 8 กรัม และระยะเวลาในการกวนผสม 30 นาที ให้ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสรวมและแอมโมเนียไนโตรเจนมากที่สุด ร้อยละ 59.5 ± 1.1 และ 59.0 ± 0.1 ตามลำดับ

คำสำคัญ : น้ำทิ้งฟาร์มสุกร กระบวนการตกผลึกแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต แอมโมเนียไนโตรเจน ฟอสฟอรัส

Abstract

Typically, effluent from swine farms still contains important nutrients for plant growth such as nitrogen and phosphorus. Discharge of this effluent to public water bodies will affect water resources, aquatic lives, and nearby communities. Treatment of the effluent from swine farms will not only improve water quality but also recover nutrients to use in agricultural applications by means of a magnesium ammonium phosphate (MAP) crystallization process. The objective of this project was to study the optimum condition for the treatment of the effluent from a swine farm using the MAP crystallization process. The factors studied included the pH (8, 10, and 12), the quantity of additional magnesium chloride (2, 4, and 8 g), and the stirring time (10, 20, and



30 min). The results showed that the treated wastewater contained crystalline MAP. Theoretically, the optimum pH for the crystallization is in the range of 9-12. At the pH of 12, the magnesium chloride content of 8 g, and the stirring time of 30 min were the most effective in removing phosphorus and ammonia nitrogen resulting in the total phosphorus and ammonia nitrogen removal efficiencies of 59.5 ± 1.1 and 59.0 ± 0.1 , respectively.

Keywords : Swine Farm Effluent, MAP Crystallization Process, Ammonia Nitrogen, Phosphorus

บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยนิยมเลี้ยงสัตว์และมีการทำฟาร์มปศุสัตว์มากขึ้น อีกทั้งมีการขยายตัวของฟาร์มปศุสัตว์อย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นผลมาจากความต้องการของตลาดที่เพิ่มสูงขึ้นทั้งความต้องการในการบริโภคภายในประเทศและเป็นสินค้าส่งออก สุกรจึงกลายเป็นสัตว์เศรษฐกิจและได้รับความนิยมในการเลี้ยงอย่างแพร่หลาย โดยรูปแบบการเลี้ยงสุกรสามารถแบ่งออกเป็นหลายแบบขึ้นอยู่กับจำนวนของสุกรที่เลี้ยง ได้แก่ ฟาร์มขนาดใหญ่ ประเภท (ก) การเลี้ยงสุกรพ่อพันธุ์ แม่พันธุ์ สุกรขุน หรือลูกสุกรชนิดใดชนิดหนึ่งหรือตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปที่มีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์เกินกว่า 600 หน่วย ฟาร์มขนาดกลาง ประเภท (ข) การเลี้ยงสุกรพ่อพันธุ์ แม่พันธุ์ สุกรขุน หรือลูกสุกรชนิดใดชนิดหนึ่งหรือตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปที่มีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ตั้งแต่ 60 หน่วย แต่ไม่เกิน 600 หน่วย และฟาร์มขนาดเล็กสุด ประเภท (ค) การเลี้ยงสุกรพ่อพันธุ์ แม่พันธุ์ สุกรขุน หรือลูกสุกรชนิดใดชนิดหนึ่งหรือตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปที่มีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ตั้งแต่ 6 หน่วย แต่ไม่ถึง 60 หน่วย โดยน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ 1 หน่วย หมายความว่า น้ำหนักสุทธิของสุกรพ่อพันธุ์ แม่พันธุ์ สุกรขุน หรือลูกสุกรชนิดใดชนิดหนึ่งหรือตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปที่มีน้ำหนักรวมเท่ากับ 500 กิโลกรัม โดยให้คิดคำนวณน้ำหนักเฉลี่ยของสุกรพ่อพันธุ์หรือแม่พันธุ์ตัวละ 170 กิโลกรัม สุกรขุนตัวละ 60 กิโลกรัม และลูกสุกรตัวละ 12 กิโลกรัม (กรมควบคุมมลพิษ, 2563) ฟาร์มเลี้ยงสุกรต้องมีการวางแผนจัดระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมโดยรอบฟาร์ม ตลอดจนระบบสุขภาพสัตว์ไว้เป็นอย่างดี เพื่อการควบคุมคุณภาพของสัตว์เลี้ยงและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้นโดยรอบ แต่ในทางปฏิบัติฟาร์มเลี้ยงสุกรที่มีอยู่ในชุมชนส่วนใหญ่ยังไม่ให้ความสนใจและไม่มีการจัดการผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรอบฟาร์มที่ดีและมีมาตรฐานเท่าที่ควร ซึ่งนอกจากจะทำให้เกิดน้ำเสีย ยังทำให้เกิดปัญหากลิ่นเหม็น และมีปัญหาแมลงวันรบกวน โดยของเสียจากฟาร์มสุกรแบ่งออกเป็น 2 แบบ 1) ส่วนที่เป็นของแข็ง เช่น ส่วนที่เป็นมูลหรือเศษอาหารที่ตกค้างหรือเหลือในคอก 2) ส่วนที่เป็นของเหลว เช่น ปัสสาวะ และของเสียจากการชะล้างคอกด้วยน้ำ ทำให้เกิดการปนเปื้อนมูล สุกรซึ่งมีสารอาหารจำพวกไนโตรเจนและฟอสฟอรัส หากปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจะทำให้เกิดมลพิษทางน้ำ ทำให้พืชน้ำโตเร็ว ส่งผลให้ออกซิเจนในน้ำลดลงและเกิดแก๊สชีวภาพจากการหมักแบบไร้อากาศ เช่น แก๊สมีเทน ซึ่งเป็นแก๊สที่ก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจก อีกทั้งยังมีแก๊สแอมโมเนียซึ่งเป็นแก๊สพิษที่เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ และยังมีแก๊สไซเนนาที่จะถูกปล่อยมาสู่ภายนอกฟาร์มโดยขาดการควบคุม ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมในบริเวณชุมชนใกล้เคียง กรมควบคุมมลพิษได้ออกประกาศค่ามาตรฐานน้ำทิ้งเพื่อควบคุมให้ฟาร์มสุกรต้องมีการบำบัดน้ำเสียให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดก่อนจะระบายทิ้งลงสู่แหล่งน้ำหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม (กรมควบคุมมลพิษ, 2563) โดยส่วนใหญ่ น้ำเสียฟาร์มสุกรจะผ่านการบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอนโดยใช้ถังหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic digester) น้ำที่ผ่านระบบบำบัดดังกล่าว ยังคงมีสารอาหาร (ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) ในปริมาณสูง ดังนั้นจึงต้องมีการกำจัดสารอาหารในน้ำก่อนปล่อยทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม (พงศ์ลัดดาและคณะ, 2555) ทั้งนี้หนึ่งในวิธีการที่ได้รับความนิยมในการบำบัดสารอาหาร ได้แก่ วิธีการตกผลึกแมกนีเซียมแอมโมเนียมเฟสเฟต (Magnesium ammonium phosphate, MAP) ซึ่งเป็นการบำบัดขั้นสูง (Advanced or post treatment) ที่สามารถกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้ในขั้นตอนเดียว และยังเป็นเทคโนโลยีในการบำบัดน้ำเสียที่สามารถนำธาตุอาหารของพืชกลับมาใช้ประโยชน์ (Nutrient recovery) ได้อีก การตกผลึก



MAP เป็นการควบคุมแมกนีเซียม (Magnesium, Mg^{2+}) แอมโมเนียม (Ammonium, NH_4^+) และฟอสเฟต (Phosphate, PO_4^{3-}) ที่ละลายอยู่ในน้ำเสียให้รวมตัวเกิดเป็นผลึกของแข็งและตกตะกอนแยกออกมา โดยใช้แมกนีเซียมเป็นตัวประสานให้เกิดเป็นผลึกของแข็งและตกตะกอนแยกออกจากน้ำ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติหรืออาจพบการสะสมในรูปแบบของตะกอนตามชั้นส่วนต่าง ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสีย โดยส่วนมากแมกนีเซียมที่ละลายอยู่ในน้ำเสียฟาร์มสุกรจะมีปริมาณที่ไม่เพียงพอต่อการจับตัวและเกิดผลึก ดังนั้นจึงต้องทำการเติมแมกนีเซียมในรูปแบบต่าง ๆ เช่น แมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) ลงในน้ำเสียเพื่อให้มีปริมาณเพียงพอในการเกิดผลึก

ซึ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการตกผลึก MAP ได้แก่ ค่าความเป็นกรดต่าง อัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสม และสิ่งเจือปนในน้ำเสีย เป็นต้น ซึ่งผลึก MAP ที่ได้อาจเรียกได้ว่าเป็นผลพลอยได้ที่สร้างมูลค่าจากน้ำเสียเนื่องจากสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยละลายช้า (Slow-release fertilizer) ในทางการเกษตร หรือนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมการผลิตปุ๋ยแทนแร่หินฟอสเฟต (พิชญภัค, 2552) ด้วยเหตุนี้ทางคณะผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งฟาร์มสุกรโดยใช้วิธีการตกผลึก MAP และศึกษาผลกระทบที่มีผลต่อการลดปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสรวมในน้ำทิ้งฟาร์มสุกร เพื่อช่วยบำบัดน้ำทิ้งในส่วนนี้ให้มีคุณภาพดีขึ้นก่อนจะปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมโดยรอบฟาร์ม เพื่อลดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ที่อาจส่งผลให้เกิดความเดือดร้อนแก่ชุมชนใกล้เคียง

วิธีการวิจัย

การเก็บและศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งฟาร์มสุกร

เก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง โดยวิธีการเก็บแบบจ้วง (Grab sampling) ในเดือนธันวาคม 2564 จากฟาร์มสุกรแห่งหนึ่งในอำเภอย้ายทับทัน จังหวัดศรีสะเกษ ซึ่งเป็นฟาร์มขนาดกลางมีสุกรขุนประมาณ 500-2,000 ตัว โดยเก็บจากบ่อพักน้ำทิ้งที่ผ่านระบบการหมักแบบไร้อากาศ ดังแสดงในภาพที่ 1 น้ำทิ้งที่เก็บมาแล้วจะนำไปแช่เย็นไว้ที่อุณหภูมิไม่เกิน 4 องศาเซลเซียส เพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไป



จุดเก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง

ภาพที่ 1 จุดเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากบ่อพักน้ำทิ้งที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบการหมักแบบไร้อากาศ



นำตัวอย่างน้ำทิ้งฟาร์มสุกรมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งก่อนการบำบัด โดยพารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งฟาร์มสุกร ตามวิธีมาตรฐาน (APHA, AWWA and WPCF, 2005)

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
ความเป็นกรดด่าง; pH	พีเอชมิเตอร์ (pH meter)
ซีไอดี; COD (mg/L)	รีฟลักซ์แบบปิด (Closed reflux), วิธีวิเคราะห์ด้วยสารเปรียบเทียบความเข้มของสี (Colorimetric method)
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด; TSS (mg/L)	วิธีวิเคราะห์โดยน้ำหนัก (Gravimetric method)
ทีเคเอ็น; TKN (mg/L)	วิธีเคเจลดาลท์ (Kjeldahl method)
ฟอสฟอรัสรวม; TP (mg/L)	วิธีกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid method)
แอมโมเนียไนโตรเจน; NH ₃ -N (mg/L)	วิธีการไทเทรต (Titration method)

การบำบัดน้ำทิ้งฟาร์มสุกรด้วยการตกผลึก MAP

1. แบ่งชุดการทดลองออกเป็น 3 ชุด แต่ละชุดทำการทดลอง 3 ซ้ำ
2. นำน้ำทิ้งฟาร์มสุกรปริมาตร 1 ลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์แต่ละใบ และปรับค่าความเป็นกรดด่างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อให้ได้ค่าความเป็นกรดด่างที่ 8, 10 และ 12 ตามลำดับ
3. เติมแมกนีเซียมคลอไรด์ปริมาณ 2, 4 และ 8 กรัม ลงในแต่ละชุดการทดลอง
4. ผสมให้เข้ากันโดยการกวนด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10, 20 และ 30 นาที สำหรับแต่ละชุดการทดลอง
5. นำสารละลายหลังจากตกผลึก MAP ไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ ได้แก่ ฟอสฟอรัสรวม และแอมโมเนียไนโตรเจน

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาคูณภาพตัวอย่างน้ำทิ้งฟาร์มสุกรก่อนการบำบัด

คุณภาพน้ำทิ้งฟาร์มสุกร เป็นน้ำที่ผ่านการบำบัดแบบระบบหมักไร้แบบอากาศ จากฟาร์มสุกรแห่งหนึ่ง ในจังหวัดศรีสะเกษ จากการสังเกตลักษณะทางกายภาพน้ำทิ้งดังกล่าว พบว่า มีสีน้ำตาลเหลือง มีกลิ่นเหม็น (ดังภาพที่ 2) มีค่าความเป็นกรดต่าง 7.8 ± 0.1 ค่าซีไอดี เท่ากับ 961.6 ± 27.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด เท่ากับ 538.7 ± 37.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณทีเคเอ็น เท่ากับ 586.5 ± 8.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณฟอสฟอรัสรวมเท่ากับ 24.7 ± 1.6 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน เท่ากับ 787.7 ± 3.2 มิลลิกรัมต่อลิตร (ดังตารางที่ 2) จากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งข้างต้น พบว่า ค่าซีไอดี ทีเคเอ็น ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และฟอสฟอรัสรวม มีค่าเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรขนาดกลางและขนาดเล็ก (กรมควบคุมมลพิษ, 2563) นอกจากนี้ ยังพบว่า น้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรยังมีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนเหลืออยู่ในปริมาณสูงด้วย ซึ่งหากปล่อยสู่แหล่งน้ำสาธารณะในระดับความเข้มข้นที่สูงหรือต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน อาจก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ หรือเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่แพลงก์ตอนพืช (Phytoplankton) เพิ่มจำนวนอย่างมากและรวดเร็ว (Planktonbloom หรือ Algae bloom) ส่งผลให้น้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติเปลี่ยนสีไปตามรงควัตถุของแพลงก์ตอนพืชเหล่านั้น และเมื่อสิ่งมีชีวิตเหล่านั้นตายลง จะเกิดกระบวนการย่อยสลายโดยแบคทีเรีย ทำให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen) ลดลงอย่างรวดเร็วจนถึงระดับที่สิ่งมีชีวิตในน้ำ (Aquatic life) ไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ทำให้น้ำเน่าเสีย มีกลิ่นเหม็น

ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศทางน้ำแผ่ขยายในวงกว้างและยังส่งผลต่ออาชีพประมงและชุมชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่โดยรอบ



ภาพที่ 2 ตัวอย่างน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรก่อนการบำบัดด้วยการตกผลึก MAP

ตารางที่ 2 คุณภาพน้ำทิ้งฟาร์มสุกรก่อนการบำบัดด้วยการตกผลึก MAP

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	คุณภาพน้ำทิ้ง	หน่วย	มาตรฐานน้ำทิ้ง
1. ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างน้ำ	สีน้ำตาลเหลือง	-	ไม่ระบุค่า
2. อุณหภูมิ	27.0±0.5	องศาเซลเซียส	ไม่ระบุค่า
3. ความเป็นกรดด่าง	7.8±0.1	-	5.5-9*
4. ซีโอดี	961.6±27.1	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 350*
5. ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด	538.7±37.8	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 200*
6. ทีเคเอ็น	586.5±8.5	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 200*
7. ฟอสฟอรัสรวม	24.7±1.6	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 5*
8. แอมโมเนียไนโตรเจน	787.7±3.2	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่ระบุค่า

* ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร (กรมควบคุมมลพิษ, 2563)

ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะที่เหมาะสมในการตกผลึก MAP

ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะที่เหมาะสมในการตกผลึก MAP พบว่า ลักษณะทางกายภาพจากการสังเกตด้วยตาเปล่าของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดมีสีใสขึ้นโดยมีสีน้ำตาลขาว มีกลิ่นเหม็นลดลง (ดังภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 ลักษณะทางกายภาพจากการสังเกตด้วยตาเปล่าของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด



ผลการบำบัดฟอสฟอรัสรวมด้วยการตกผลึก MAP

จากการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสรวมในน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรก่อนนำมาบำบัด มีปริมาณฟอสฟอรัสรวมเท่ากับ 24.7 ± 1.6 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากผ่านการบำบัดที่ความเป็นกรดต่าง 8, 10 และ 12 ปริมาณการเติมแมกนีเซียมคลอไรด์ 2, 4 และ 8 กรัม และระยะเวลาในการกวน 10, 20 และ 30 นาที พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสรวมในตัวอย่างน้ำลดลง เมื่อเพิ่มค่าความเป็นกรดต่างของตัวอย่างน้ำ ปริมาณการเติมแมกนีเซียมคลอไรด์ และระยะเวลาในการกวน (ดังแสดงในตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งก่อนและหลังการบำบัดฟอสฟอรัสรวมโดยการตกผลึก MAP

การทดลองที่	ความเป็นกรดต่าง	ปริมาณการเติมแมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl ₂) (กรัม)	ความเข้มข้นฟอสฟอรัสรวมในน้ำทิ้งก่อนบำบัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสรวมหลังการตกผลึก MAP (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
				ระยะเวลาการกวน 10 นาที	ระยะเวลาการกวน 20 นาที	ระยะเวลาการกวน 30 นาที
1	8	2	24.7±1.6	20.2±0.2	20.0±1.4	18.5±0.0
2	8	4	24.7±1.6	20.0±0.7	18.8±0.2	17.1±0.1
3	8	8	24.7±1.6	19.5±0.0	18.5±0.0	17.1±0.1
4	10	2	24.7±1.6	20.2±0.1	17.3±0.01	16.1±0.1
5	10	4	24.7±1.6	18.5±0.2	15.9±0.1	14.4±0.2
6	10	8	24.7±1.6	16.6±0.0	13.4±0.4	12.5±0.0
7	12	2	24.7±1.6	15.1±0.0	14.2±0.1	12.5±0.0
8	12	4	24.7±1.6	13.7±0.0	12.5±0.1	10.7±0.1
9	12	8	24.7±1.6	12.0±0.2	11.7±0.1	10.0±0.2

จากผลการบำบัดในตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าที่ความเป็นกรดต่าง 12 ค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสรวมในตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Hakimi et al. (2020) ที่ศึกษาการตกผลึก MAP เพื่อใช้ในการกำจัดสารอาหารจากน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์ที่ผ่านการบำบัดขั้นต้น พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสและแอมโมเนียไนโตรเจนเพิ่มขึ้นตามค่าความเป็นกรดต่างของน้ำที่มากขึ้นและมีค่าสูงสุดที่ความเป็นกรดต่าง เท่ากับ 11

สำหรับการเติมแมกนีเซียมคลอไรด์ที่ปริมาณแตกต่างกัน ได้แก่ 2, 4 และ 8 กรัม เมื่อนำน้ำทิ้งไปบำบัด พบว่า ที่ปริมาณการเติมแมกนีเซียมคลอไรด์ 8 กรัม ส่งผลให้ค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสรวมในตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าต่ำสุด ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณแมกนีเซียมที่เพียงพอในการจับตัวเกิดเป็นผลึก MAP ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของพงศ์ศักดิ์ดาและคณะ (2555) ที่ได้ทำการศึกษาการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยวิธีการตกผลึกด้วยเกลือแมกนีเซียม โดยปรับระดับค่าความเป็นกรดต่าง เท่ากับ 8, 10 และ 12 ปริมาณเกลือแมกนีเซียมซัลเฟต 2, 4 และ 8 กรัม และระยะเวลาการกวนผสม 5, 10 และ 15 นาที พบว่า ที่ระดับความเป็นกรดต่างเท่ากับ 12 ปริมาณเกลือแมกนีเซียมซัลเฟต 8 กรัม ระยะเวลาการกวน 15 นาที มี



ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสสูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 58.17 โดยประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณการเติมเกลือแมกนีเซียม

สำหรับการกวนด้วยอัตราเร็ว 100 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาในการกวนผสม 10, 20 และ 30 นาที เมื่อนำน้ำทิ้งไปบำบัดพบว่า ที่ระยะเวลาในการกวนผสม 30 นาที ทำให้ได้การบำบัดที่ดีที่สุด เนื่องจากมีระยะเวลาเพียงพอในการเกิดผลึก MAP ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของพงศัลดดาและคณะ (2555) พบว่า ที่ระดับความเป็นกรดต่างเท่ากับ 12 ปริมาณเกลือแมกนีเซียมซัลเฟต 8 กรัม ระยะเวลาการกวน 15 นาที มีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสสูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 58.17 โดยประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการกวน

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสรวมในน้ำทิ้งโดยการตกผลึก MAP

การทดลองที่	ความเป็นกรดต่าง	ปริมาณการเติมแมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl ₂) (กรัม)	ความเข้มข้นฟอสฟอรัสรวมในน้ำทิ้งก่อนบำบัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสรวม (ร้อยละ)		
				ระยะเวลาการกวน 10 นาที	ระยะเวลาการกวน 20 นาที	ระยะเวลาการกวน 30 นาที
1	8	2	24.7±1.6	18.2±1.1	19.0±5.7	25.1±0.0
2	8	4	24.7±1.6	19.0±2.8	23.9±1.1	27.1±0.5
3	8	8	24.7±1.6	21.0±0.0	25.1±0.0	30.8±0.5
4	10	2	24.7±1.6	18.2±0.5	30.0±0.5	34.8±0.5
5	10	4	24.7±1.6	25.1±1.1	35.6±0.5	41.7±1.1
6	10	8	24.7±1.6	32.8±0.5	45.7±1.1	49.4±0.0
7	12	2	24.7±1.6	28.9±1.7	42.5±0.0	49.4±0.5
8	12	4	24.7±1.6	44.5±1.1	49.4±0.0	56.7±0.5
9	12	8	24.7±1.6	51.4±1.1	52.6±0.5	59.5±1.1

ตารางที่ 4 แสดงผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสรวม พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสรวมอยู่ในช่วง ร้อยละ 18.2-59.5 การปรับสภาวะความเป็นกรดต่าง ปริมาณการเติมแมกนีเซียมคลอไรด์ และระยะเวลาในการกวนที่แตกต่างกัน ส่งผลให้มีประสิทธิภาพการกำจัดต่างกัน โดยการปรับสภาวะความเป็นกรดต่างที่ 8 แมกนีเซียมคลอไรด์ที่ 2 กรัม และระยะเวลาในการกวน 10 นาที ส่งผลให้มีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสรวมต่ำที่สุด เท่ากับ ร้อยละ 18.2±0.5 เนื่องจากมีสภาวะความเป็นกรดต่างที่ต่ำ ปริมาณการเติมแมกนีเซียมคลอไรด์ที่น้อย และระยะเวลาการกวนที่สั้น ส่งผลให้อนุภาคคอลลอยด์ในตัวอย่างน้ำรวมตัวกันเกิดเป็นฟล็อก (Floc) ได้น้อยทำให้เกิดปฏิกิริยาซ้ำ (งงชัย, 2556) และที่สภาวะความเป็นกรดต่างที่ 12 ปริมาณการเติมแมกนีเซียมคลอไรด์ที่ 8 กรัม และระยะเวลาการกวน 30 นาที มีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสรวมสูงสุด เท่ากับ ร้อยละ 59.5±1.1 เนื่องจากมีสภาวะความเป็นกรดต่างในช่วงที่เหมาะสมต่อการตกผลึก MAP ซึ่งสอดคล้องกับความสามารถในการละลายของค่าความเป็นกรดต่างต่อการละลายของผลึก MAP ซึ่งช่วงความเป็นกรดต่างที่ตกตะกอนได้ดีคือช่วงความเป็นกรดต่าง มากกว่า 7.5 (Suzuki et al., 2007) นอกจากนี้ยังเป็นปริมาณการเติมแมกนีเซียมคลอไรด์ที่เพียงพอในการทำให้เกิดการตกผลึก MAP ในอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสม และเป็นระยะเวลาการกวนที่เหมาะสมในการตกผลึก MAP ด้วย



ทั้งนี้ปริมาณฟอสฟอรัสรวมในน้ำทิ้งฟาร์มสุกรหลังจากการตกผลึก MAP มีค่าลดลง สามารถอธิบายได้ว่าการตกผลึก MAP เป็นการดึงเอาฟอสฟอรัสที่ละลายอยู่ในน้ำทิ้งฟาร์มสุกรออกมาในรูปแบบผลึก MAP จึงทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสรวมในน้ำทิ้งมีค่าลดลง ดังสมการเคมีของการเกิดผลึก MAP (สมการที่ 1) (Ali et al., 2005)



ผลการวิเคราะห์การบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนด้วยการตกผลึก MAP

จากตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรก่อนนำมาบำบัด พบว่ามีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนเท่ากับ 787.7 ± 3.2 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากผ่านการบำบัดที่สภาวะความเป็นกรดต่าง 8, 10 และ 12 ปริมาณแมกนีเซียมคลอไรด์ 2, 4 และ 8 กรัม และระยะเวลาในการกวน 10, 20 และ 30 นาที พบว่า น้ำที่ผ่านการบำบัดมีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนลดลง เมื่อเพิ่มค่าความเป็นกรดต่างของตัวอย่างน้ำ ปริมาณการเติมแมกนีเซียมคลอไรด์ และระยะเวลาในการกวน

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งก่อนและหลังการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนโดยการตกผลึก MAP

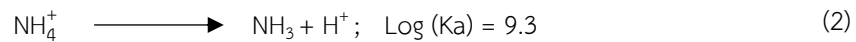
การทดลองที่	ความเป็นกรดต่าง	ปริมาณการเติมแมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl ₂) (กรัม)	ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนก่อนบำบัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนหลังการตกผลึก MAP (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
				ระยะเวลาการกวน 10 นาที	ระยะเวลาการกวน 20 นาที	ระยะเวลาการกวน 30 นาที
1	8	2	787.7 ± 3.2	616.0 ± 0.4	604.8 ± 0.2	593.6 ± 0.2
2	8	4	787.7 ± 3.2	604.8 ± 0.2	593.6 ± 0.0	588.0 ± 0.2
3	8	8	787.7 ± 3.2	588.0 ± 0.0	582.4 ± 0.2	576.8 ± 0.0
4	10	2	787.7 ± 3.2	560.0 ± 0.2	578.8 ± 0.5	532.0 ± 0.0
5	10	4	787.7 ± 3.2	432.2 ± 2.1	537.6 ± 0.7	504.0 ± 0.2
6	10	8	787.7 ± 3.2	532.0 ± 0.1	509.8 ± 0.2	448.0 ± 0.0
7	12	2	787.7 ± 3.2	543.2 ± 0.2	498.4 ± 0.5	396.4 ± 0.2
8	12	4	787.7 ± 3.2	526.4 ± 0.0	464.8 ± 0.9	341.6 ± 0.2
9	12	8	787.7 ± 3.2	515.2 ± 0.2	392.0 ± 0.7	322.6 ± 0.2

ที่ระดับความเป็นกรดต่าง 8, 10 และ 12 เมื่อนำน้ำทิ้งไปบำบัด พบว่ามีแอมโมเนียไนโตรเจนหลงเหลืออยู่ในน้ำเท่ากับ 576.8 ± 0.0 , 448.0 ± 0.0 และ 322.6 ± 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Hakimi et al. (2020) ที่ศึกษาการตกผลึก MAP เพื่อใช้ในการกำจัดสารอาหารจากน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์ที่ผ่านการบำบัดขั้นต้น พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสและแอมโมเนียไนโตรเจนเพิ่มขึ้นตามค่าความเป็นกรดต่างของน้ำที่มากขึ้นและมีค่าสูงสุดที่ความเป็นกรดต่าง เท่ากับ 11

สำหรับการเติมแมกนีเซียมคลอไรด์ที่ 2, 4 และ 8 กรัม เมื่อนำน้ำทิ้งไปบำบัด พบว่า ที่ปริมาณการเติมแมกนีเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนดีขึ้น เนื่องจากมีปริมาณแมกนีเซียมมากพอในการตกผลึก MAP นอกจากนี้หลังผ่านการตกผลึก MAP มีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนลดลง เนื่องจากสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำ



เกิดการตกตะกอน และในช่วงที่ทำการศึกษาคือช่วงความเป็นกรดต่ำสูงแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) จะเกิดเป็นแก๊สแอมโมเนีย (NH_3) ระเหยขึ้นสู่บรรยากาศ (ดังแสดงในสมการที่ 2) (Snoeyink and Jenkina, 1980)



สำหรับการกวนด้วยอัตราเร็ว 100 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาในการกวนผสม 10, 20 และ 30 นาที เมื่อนำน้ำทิ้งไปบำบัด พบว่า ที่ระยะเวลาในการกวนผสม 30 นาที ทำให้ได้การบำบัดที่ดีที่สุด เนื่องจากมีระยะเวลาเพียงพอในการเกิดผลึก MAP ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของพงษ์ลัดดาและคณะ (2555) ได้ทำการศึกษากำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสีย ฟาร์มสุกรโดยวิธีการตกผลึกด้วยเกลือแมกนีเซียม โดยปรับระดับความเป็นกรดต่างเท่ากับ 8, 10 และ 12 ปริมาณเกลือแมกนีเซียม ซัลเฟต 2, 4 และ 8 กรัม และระยะเวลา 5, 10 และ 15 นาที พบว่า ที่ระดับความเป็นกรดต่างเท่ากับ 12 ปริมาณเกลือแมกนีเซียม ซัลเฟต 8 กรัม ระยะเวลา 15 นาที มีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนเท่ากับร้อยละ 78.81

ตารางที่ 6 แสดงผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนที่สภาวะต่าง ๆ จากการเปรียบเทียบ ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนของน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรก่อนและหลังตกผลึก MAP มีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนลดลง มีประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ในช่วง ร้อยละ 21.8±0.1-59.0±0.1 (ดังแสดงในตารางที่ 6) ทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดมีคุณภาพที่ดีขึ้น การปรับสภาวะความเป็นกรดต่าง ปริมาณการเติมแมกนีเซียมคลอไรด์ และระยะเวลาในการกวน จะส่งผลให้มีประสิทธิภาพ การกำจัดต่างกัน โดยการปรับสภาวะความเป็นกรดต่างที่ 8 ปริมาณการเติมแมกนีเซียมคลอไรด์ที่ 2 กรัม และระยะเวลา ในการกวน 10 นาที มีประสิทธิภาพการกำจัดต่ำที่สุด ร้อยละ 21.8±0.1 เนื่องจากมีสภาวะความเป็นกรดต่างที่ต่ำ ปริมาณ แมกนีเซียมคลอไรด์ที่น้อย และระยะเวลาที่สั้น ส่งผลให้อนุภาคคอลลอยด์ในน้ำรวมตัวกันเกิดเป็นฟล็อก (Floc) ได้น้อยและ เกิดปฏิกิริยาซ้ำ (งษ์ชัย, 2556) และที่สภาวะความเป็นกรดต่างที่ 12 ปริมาณการเติมแมกนีเซียมคลอไรด์ที่ 8 กรัม และระยะเวลา กวน 30 นาที มีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนสูงสุด ร้อยละ 59±0.1 เนื่องจากมีสภาวะความเป็นกรดต่าง ในช่วงที่เหมาะสมต่อการตกผลึก MAP สอดคล้องกับความสามารถในการละลายของค่าความเป็นกรดต่างต่อการละลายของผลึก MAP ซึ่งช่วงความเป็นกรดต่างที่ตกผลึกได้ดีคือช่วง ความเป็นกรดต่าง มากกว่า 7.5 (Suzuki et al., 2007) อีกทั้งการเติม แมกนีเซียมคลอไรด์ที่เพียงพอในการทำให้เกิดการตกผลึก MAP ในอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสม และระยะเวลาในการกวน ที่เหมาะสมจะช่วยให้เกิดการตกผลึกดีขึ้น นอกจากนี้ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียยังสามารถถูกดูดซับโดยฟองที่เกิดจากกระบวนการ กวนที่ระยะเวลาต่าง ๆ และระเหยออกจากน้ำในรูปของแก๊สแอมโมเนีย (งษ์ชัย, 2556) จึงทำให้ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน ในน้ำทิ้งมีค่าลดลง

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำทิ้งโดยการตกผลึก MAP

การทดลองที่	ความเป็นกรดต่าง	ปริมาณการเติมแมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl_2) (กรัม)	ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนก่อนบำบัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจน (ร้อยละ)		
				ระยะเวลา 10 นาที	ระยะเวลา 20 นาที	ระยะเวลา 30 นาที
1	8	2	787.7±3.2	21.8±0.1	23.2±0.0	24.6±0.1
2	8	4	787.7±3.2	23.2±0.0	24.6±0.1	25.4±0.0
3	8	8	787.7±3.2	25.4±0.0	26.1±0.0	26.8±0.0



การทดลองที่	ความเป็นกรดต่าง	ปริมาณการเติมแมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl ₂) (กรัม)	ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนก่อนบำบัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจน (ร้อยละ)		
				ระยะเวลาทวน 10 นาที	ระยะเวลาทวน 20 นาที	ระยะเวลาทวน 30 นาที
4	10	2	787.7±3.2	28.9±2.6	30.3±0.0	32.5±0.1
5	10	4	787.7±3.2	31.0±0.1	31.8±0.0	36.0±0.0
6	10	8	787.7±3.2	32.5±0.0	35.3±0.1	43.1±0.1
7	12	2	787.7±3.2	31.0±0.0	36.7±0.1	50.9±0.0
8	12	4	787.7±3.2	33.2±0.1	41.0±0.0	56.6±0.1
9	12	8	787.7±3.2	34.6±0.0	50.2±0.1	59.0±0.1

จากผลการศึกษาที่ระดับความเป็นกรดต่าง 8, 10 และ 12 ปริมาณแมกนีเซียมคลอไรด์ 2, 4 และ 8 กรัม และระยะเวลาทวนผสม 10, 20 และ 30 นาที พบว่าสภาวะความเป็นกรดต่างที่ 12 แมกนีเซียมคลอไรด์ที่ 8 กรัม และระยะเวลาทวน 30 นาที มีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสรวมและแอมโมเนียไนโตรเจนดีที่สุด ร้อยละ 59.5±1.1 และ 59.0±0.1 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ว่า การบำบัดสารอาหารด้วยการตกผลึก MAP สามารถลดปริมาณสารอาหารในน้ำทิ้งได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Shin and Lee (1998) ที่ได้ทำการศึกษาการกำจัดสารอาหารในน้ำเสียโดยใช้เกลือแมกนีเซียมต่าง ๆ เช่น ดีเกลือ น้ำทะเล และแมกนีเซียมคลอไรด์ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดตะกอนสตรูไวท์ เช่น ความเป็นกรดต่าง ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส และปริมาณแมกนีเซียม โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีแอมโมเนียไนโตรเจน 100 มก./ล. และจำนวนโมลของฟอสฟอรัสและแมกนีเซียมเท่ากับจำนวนโมลของแอมโมเนีย โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการปรับความเป็นกรดต่าง พบว่า ที่ความเป็นกรดต่าง 10.5 สามารถกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนได้ ร้อยละ 82.6 และฟอสฟอรัสได้ ร้อยละ 97 เวลาในการทำปฏิกิริยาอย่างน้อย 10 นาที แต่ที่เวลา 30 นาที สามารถกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้ดีที่สุดคือ ร้อยละ 67 และ 98 ตามลำดับ นอกจากนี้ ภาณุพงษ์ (2548) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ผ่านกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศ โดยวิธีการตกผลึกสตรูไวท์ด้วยเกลือแมกนีเซียมในถังปฏิกิริยาฟลูอิดไชด์ พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายแมกนีเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมซัลเฟต และ แมกนีเซียมคลอไรด์ ที่เติมลงไปในระบบบำบัดที่ระยะเวลาพักต่างกัน จะมีผลต่อการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสด้วยเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับ พงศ์ลัดดาและคณะ (2555) ได้ทำการศึกษาการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยวิธีการตกตะกอนด้วยเกลือแมกนีเซียม โดยปรับระดับความเป็นกรดต่างเท่ากับ 8, 10 และ 12 ปริมาณเกลือแมกนีเซียมซัลเฟต 2, 4 และ 8 กรัม และระยะเวลาในการทวน 5, 10 และ 15 นาที พบว่า ที่ระดับความเป็นกรดต่างเท่ากับ 12 ปริมาณเกลือแมกนีเซียมซัลเฟต 8 กรัม ระยะเวลาในการทวน 15 นาที มีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ร้อยละ 78.81 และ 58.17 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่างานวิจัยนี้

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการตกผลึก MAP น้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรโดยวิธีการตกผลึกทางเคมี โดยการปรับสภาวะความเป็นกรดต่าง ปริมาณการเติมแมกนีเซียมคลอไรด์ และระยะเวลาในการทวนผสม สามารถสรุปผลการศึกษาได้ตั้งนี้ การตกผลึก MAP โดยการปรับสภาวะความเป็นกรดต่าง 8-12 พบว่า ความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมในการตกผลึก MAP คือ



ที่ความเป็นกรดต่าง 12 อัตราการเติมแมกนีเซียมคลอไรด์ ที่ 8 กรัม ระยะเวลาในการกวน 30 นาที เมื่อนำน้ำหลังตกผลึก มาวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนและฟอสฟอรัสรวม มีค่าสูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 59.0±0.1 และ 59.5±1.1 ตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า กระบวนการตกผลึก MAP เป็นวิธีที่สามารถบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนและฟอสฟอรัสรวมได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากสามารถกำจัดสารได้ทั้งสองชนิดในขั้นตอนเดียว

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหลักสูตรวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์ สารเคมี เครื่องมือในการทดลอง สถานที่วิจัย ตลอดจนสนับสนุนการนำเสนอผลงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2563). *ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร*. Pcd. <https://www.pcd.go.th/laws/ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม-เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการ>.
- ธงชัย อัมพรพะงา. (2556). *การตกตะกอนผลึกแมกนีเซียม แอมโมเนียม ฟอสเฟตจากน้ำทิ้งฟาร์มสุกรในถังปฏิกริยาแบบไหลต่อเนื่อง* [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]
- พงศัลดดา เผ่าศิริ, วีระศักดิ์ สืบเสาะ และชาญชัยณรงค์ ทรงคาศรี. (2555). *การกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยวิธีการตกตะกอนด้วยเกลือแมกนีเซียม*. *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม*, 6(1), 129-137.
- พิชญ์ภัค เจียรพันธ์. (2552). *ปริมาณธาตุอาหารจากน้ำทิ้งฟาร์มสุกรที่เหมาะสมต่อการตกผลึก แมกนีเซียม แอมโมเนียม ฟอสเฟต*. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].
- ภานุพงษ์ จึงแสงสถิตย์พร. (2548). *การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ผ่านการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนโดยวิธีการตกตะกอนเป็นสตรูไวต์ด้วยเกลือแมกนีเซียมในถังปฏิกริยาฟลูอิดไชเบด*. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่].
- Ali, M.I., Schneiders, P.A., and Hudson, N. (2005). Thermodynamics and solution chemistry of struvite. *Journal of the Indian Institute of Science*. 85, 141–149.
- APHA, AWWA and WPCF. (1980). *Standard method for the examination water and wastewater 15th ed.* American Public Health Publisher Inc., New York.
- Hakimi, M.H., Jegatheesan, V. and Navaratna, D. (2020). The potential of adopting struvite precipitation as a strategy for the removal of nutrients from pre-AnMBR treated abattoir wastewater. *Journal of Environmental Engineering*, 259, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109783>.
- Shin H.S. and Lee S. (1998). Removal of nutrients in wastewater by using magnesium salt. *Environmental Technology*, 19(3), 283-290.
- Snoeyink, V.L. and Jenkins, D. (1980). *Water Chemistry*. New York: John Wiley and Son.



Suzuki, K., Tanaka, Y., Kuroda, K., Hanajima, D., Fukumoto, Y., Yasuda, T. and Waki, M. (2007). Removal and recovery of phosphorous from swine wastewater by demonstration crystallization reactor and struvite accumulation device. *Bioresource Technology*, 98(8), 1573-1578.