การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรในขั้นต้นด้วยวิธีทางเคมีกายภาพ

บุญชัย วิจิตรเสถียร[1*] และ นเรศ เชื้อสุวรรณ[2]

Boonchai Wichitsathain[1] and Nares Chuersuwan[2]. (2006).* **Piggery Wastewater Pretreatment by Physico-chemical Techniques.** *Suranaree J. Sci. Technol. 13(1):29-37.*

Received: Jul 29, 2005; Revised: Nov 23, 2005; Accepted: Dec 27, 2005

Abstract

This study was conducted to investigate the applicability of physico-chemical processes, namely acid coagulation and ammonia stripping for a pretreatment of wastewater from pig farming under laboratory conditions. The processes were found to achieve high removal efficiencies of organic compounds and nitrogen compounds in piggery wastewater. The results showed that at velocity gradient (G) 560 s^{-1} and contact time of 10 min, the COD removal efficiency was achieved at 60% - 75% with pH ranged from 3.5 to 4.5. The application of acid coagulation process increased biodegradable ratio (BOD/COD) to 20% - 28% from the initial BOD/COD ratio. Followed by stripping process, ammonia in the wastewater was removed at the efficiency of 90% at G 2,850 s^{-1} with pH between 11 and 12 for contact time of 6 h. Such high efficiencies of acid coagulation and ammonia stripping processes showed high the potential application for the pretreatment of piggery wastewater. However, the application of these processes would require further treatment in a biological treatment system in order to reduce organic and remaining nitrogen compounds to meet the Thai effluent standards allowed for pig farming.

Keywords: Piggery wastewater, acid coagulation, ammonia stripping, pretreatment

บทคัดย่อ

การทดลองนี้ได้ดำเนินการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยวิธีทางเคมีกายภาพ ประกอบด้วยสองขั้นตอนหลักคือ การก่อตะกอนในสภาวะกรด และการไล่ก๊าซแอมโมเนีย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดี (COD) อยู่ในช่วง 60 ถึง 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ค่า velocity gradient (G) เท่ากับ 560 s^{-1} ค่าพีเอช (pH) ในช่วง 3.5 - 4.5 และใช้ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 10 นาที นอกจากนี้พบว่าน้ำที่ผ่าน

[1] *สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000 E-mail: boonchai@sut.ac.th*

[2] *สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาแพทย์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000*

[*] *ผู้เขียนที่ให้การติดต่อ*

การบำบัดแล้วจะมีค่าอัตราส่วนของ BOD/COD เพิ่มขึ้นระหว่าง 20 - 28 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับค่าอัตราส่วนของ BOD/COD ของน้ำเสียเริ่มต้น สำหรับการกำจัดแอมโมเนียด้วยกระบวนการไล่ก๊าซแอมโมเนีย พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ที่ค่าพีเอชในช่วงระหว่าง 11-12 และค่า G = 2,850 s^{-1} ใช้ระยะเวลาทำปฏิกิริยาประมาณ 6 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วยังคงมีค่าความสกปรกสูงอยู่ จึงควรที่จะผ่านเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียในขั้นต่อไปเพื่อกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนที่ยังคงเหลืออยู่ก่อนที่จะปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมต่อไป

บทนำ

ปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาที่ทวีความรุนแรงมากขึ้นในโลกปัจจุบัน เนื่องจากมีการเจริญเติบโต และการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมอย่างมาก ในประเทศไทยฟาร์มเลี้ยงสุกรเป็นธุรกิจทางการเกษตรที่สำคัญ ขนาดของฟาร์มและจำนวนสัตว์เลี้ยงมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ คือ น้ำเสียและกลิ่นจากฟาร์มสุกร น้ำเสียจากฟาร์มสุกรส่วนใหญ่มีสารประกอบอินทรีย์ และไนโตรเจนเข้มข้นสูงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียชุมชน (Chin and Ong, 1993; EPA, 2001) ลักษณะน้ำเสียจากฟาร์มสุกรประกอบด้วยสารอินทรีย์โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต มีสัดส่วนของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ (Andreadakis, 1992) ซึ่งอาจจะปนเปื้อนต่อสิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อป้องกันมิให้เกิดปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

กระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปแบ่งเป็นสองกระบวนการหลักคือ กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ และกระบวนการบำบัดทางเคมีกายภาพ (Metcalf and Eddy, 1991) ส่วนใหญ่กระบวนการบำบัดทางชีวภาพจะใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีส่วนประกอบสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายและกระบวนการบำบัดทางเคมีกายภาพจะใช้สำหรับน้ำเสียที่มีส่วนประกอบของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก และสารที่เป็นพิษต่อจุลชีพ เนื่องจากมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลชีพในระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ (Marco *et al*., 1997)

ลักษณะของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรมีค่าความสกปรกในรูปของซีโอดีและไนโตรเจนสูงมาก และสารทำให้เกิดโรคซึ่งประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่าย และสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก จึงมีประสิทธิภาพต่ำหากใช้วิธีทางชีวภาพในการบำบัดน้ำเสียเพียงวิธีเดียว มีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยระบบบำบัดทางชีวภาพแบบไร้อากาศ (Anaerobic Process) พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดในระดับดี (Kongsricharoern, 1991; Jayamanne, 2002) อย่างไรก็ตามน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดยังไม่ได้มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรของกรมควบคุมมลพิษ ดังนั้นกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรจำเป็นต้องบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพตามด้วยวิธีทางเคมีกายภาพ หรือวิธีทางเคมีกายภาพตามด้วยวิธีทางชีวภาพ นอกจากนี้น้ำเสียจากฟาร์มสุกรยังมีความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงซึ่งสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตในน้ำได้ (Reeves, 1972; Poggi-Varaldo *et al*., 1997) ดังนั้นการกำจัดแอมโมเนียให้มีความเข้มข้นที่ต่ำลง จึงมีความจำเป็นต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพในขั้นตอนต่อไป ซึ่งการใช้วิธีบำบัดทางเคมีกายภาพกับน้ำเสียจากฟาร์มสุกรในขั้นต้นจะช่วยกำจัดสารอินทรีย์จำพวกสารแขวนลอยที่เป็นส่วนประกอบหลักของน้ำเสีย ทั้งยังสามารถช่วยกำจัดกลิ่นและสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก และช่วยลดปริมาณอินทรีย์และลดความเป็นพิษอีกด้วย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็น

ไปได้ในการใช้วิธีการบำบัดน้ำเสียทางเคมีกายภาพเป็นระบบบำบัดขั้นต้นสำหรับบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร และเพื่อศึกษาค่าของปัจจัยที่จำเป็น และเกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรในระดับห้องปฏิบัติการ

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

ลักษณะน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ใช้เป็นน้ำเสียที่เกิดจากการล้างคอกสุกรหลังจากการโกยมูลสุกรแล้วของฟาร์มสุกรประเภท ข (จำนวนสุกรตั้งแต่ 500 - 5,000 ตัว) แห่งหนึ่งในจังหวัดสระบุรี น้ำเสียที่เกิดจากการล้างคอกจะถูกรวบรวมที่บ่อพักน้ำเสียของฟาร์ม ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียแบบจ้วงที่บ่อพักน้ำเสียหลังจากทิ้งให้ตกตะกอน แล้วนำมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในรูปบีโอดี (BOD) และซีโอดี (COD) และความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH_3-N) และทีเคเอ็น (TKN) โดยน้ำเสียตัวอย่างที่เก็บระหว่างเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤศจิกายน 2546 มีลักษณะดังแสดงในตารางที่ 1

กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางเคมีกายภาพที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยสองขั้นตอนหลักคือ การก่อตะกอนในสภาวะกรด และการไล่ก๊าซแอมโมเนีย (Ammonia Stripping) ดังแสดงในรูปที่ 1 ถังปฏิกิริยาที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.20 เมตร สูง 0.35 เมตร ในแต่ละการทดลองใช้ปริมาตรน้ำเสียจากฟาร์มสุกร 2 ลิตร สารเคมีที่ใช้ในการปรับพีเอช ในขั้นตอนการก่อตะกอนในสภาวะกรดเตรียมจากกรดซัลฟุริคเข้มข้น 100 มิลลิลิตร และสารส้ม ($Al_2(SO_4)_3$) ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร เพื่อปรับพีเอชให้อยู่ในช่วงระหว่าง 2.5 ถึง 5.0 และประเมิน สภาวะที่เหมาะสมในการก่อตะกอนในรูปของค่า velocity gradient (G) และระยะเวลาทำปฏิกิริยา หลังจากนั้นปล่อยให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที นำน้ำส่วนใสส่วนบนมาวิเคราะห์ค่าซีโอดี แล้วนำไปกำจัดแอมโมเนียโดยการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อปรับพีเอชให้อยู่ในช่วงระหว่าง 9.0 ถึง 12.0 เพื่อประเมินสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียโดยพิจารณาในรูปของค่า G และระยะเวลาทำปฏิกิริยา หลังจากนั้นปล่อยให้ตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที นำน้ำส่วนใสมาวิเคราะห์ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และทีเคเอ็น โดยวิธีการวิเคราะห์อ้างอิงตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA *et al*., 1998)

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

การก่อตะกอนในสภาวะกรด

น้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่นำมาศึกษาในครั้งนี้มีความสกปรกในรูปของซีโอดีในช่วง 3,000 - 3,600 มิลลิกรัมต่อลิตร การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดความสกปรกด้วยวิธีการก่อและตกตะกอนในสภาวะกรด พบว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 3.5 ถึง 4.5 ให้ประสิทธิภาพในการ

Table 1. Characteristics of piggery wastewater

Parameter	Unit	Value
pH	-	7.3 - 7.8
COD	mg/L	3,000 - 3,600
BOD	mg/L	1,900 - 2,100
NH_3-N	mg/L	100 - 110
Organic-N	mg/L	20 - 40
TKN	mg/L	120 - 150
SS	mg/L	280 - 410

กำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งเกิดจากการก่อตะกอนของโปรตีนอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย โดยที่ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนอยู่ในช่วง 20 ถึง 26 เปอร์เซ็นต์ เมื่อค่าพีเอชสูงขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ลดลง เนื่องจากโปรตีนในสารละลายมีประจุลบ ทำให้เกิดแรงผลักกันระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ที่เกิดในน้ำเสีย (Meyer, 1986; Chen *et al*., 2000) นอกจากนี้อาจมีสาเหตุมาจากความมีเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเกิดปฏิกิริยา เช่น $Al(OH)_4^-$ ทำให้เกิดแรงผลักกันระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ที่เกิดขึ้นกับอนุภาคคอลลอยด์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย (Sincero and Sincero, 2003)

จากรูปที่ 3 พบว่าเมื่อค่า G เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์มีแนวโน้มลดลง อาจเป็นผลมาจากอนุภาคที่เกาะตัวใหญ่ขึ้นถูกแรงกระทำมากขึ้นทำให้แตกเป็นอนุภาคขนาดเล็ก มีอนุภาคบางส่วนแขวนลอยอยู่ในน้ำและบางส่วนลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ ซึ่งสังเกตจากลักษณะและการรวมตัวของตะกอน ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีอยู่ในช่วง 60 ถึง 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ค่า G เท่ากับ 560 s^{-1} และใช้ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 10 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4 นอกจากนี้พบว่าสารอินทรีย์ส่วนที่ย่อยสลายได้ง่าย ซึ่งวิเคราะห์ในรูปของบีโอดีมีแนวโน้มจะถูกกำจัดได้ยากขึ้นเมื่อค่า G สูงขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 2 และน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะมีค่าอัตราส่วนของ BOD/COD เพิ่มขึ้นระหว่าง 20 ถึง 28 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับค่าอัตราส่วนของ BOD/COD ของน้ำเสียเริ่มต้น แสดงให้เห็นว่าสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากจะถูกกำจัดออกมากกว่าสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่าย ซึ่งจะเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพในขั้นตอนต่อไป

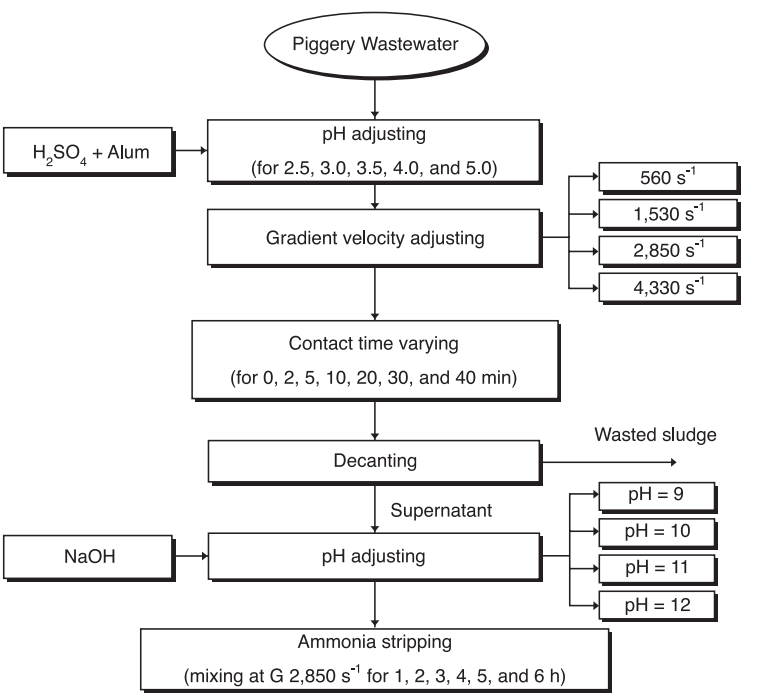


Figure 1. Experimental flowchart

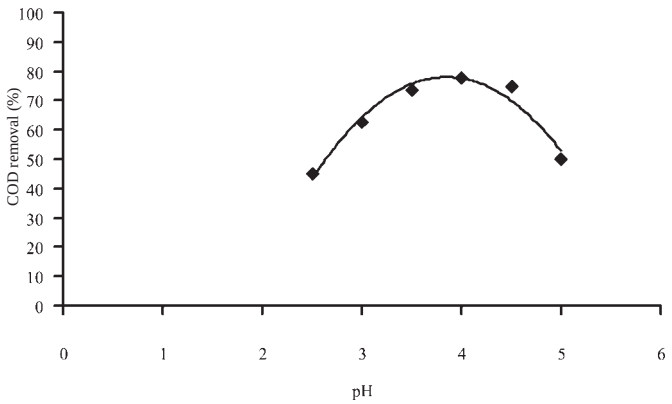


Figure 2. COD removal efficiency of piggery wastewater versus pH with a velocity gradient of 200 s-1 and a contact time of five minutes

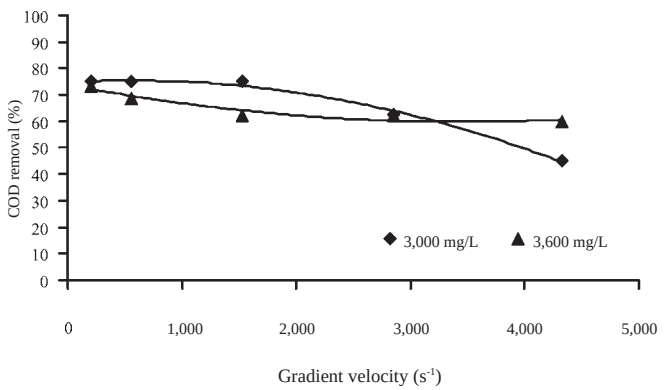


Figure 3. COD removal efficiency of piggery wastewater adjusted to a pH of 4.0 versus velocity gradient with a contact time of five minutes

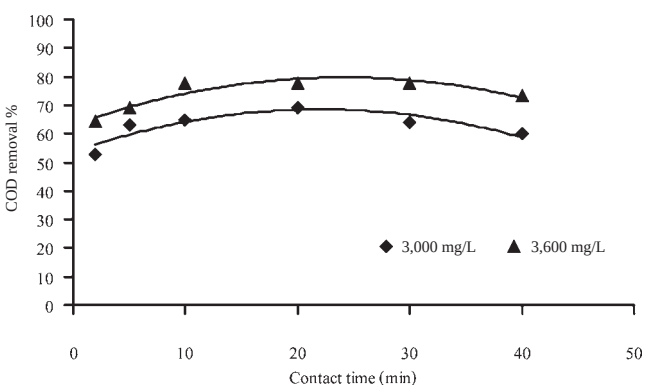


Figure 4. COD removal efficiency of piggery wastewater at a pH of 4.0 and a velocity gradient 560 s-1 versus contact time

การกำจัดแอมโมเนีย

การกำจัดแอมโมเนียในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรก่อนที่จะผ่านเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพนั้น เพื่อลดความเป็นพิษของแอมโมเนียอิสระต่อแบคทีเรีย นักวิจัยพบว่าแอมโมเนียอิสระเข้มข้นเพียง 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่ม Nitrifying bacteria (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และ มั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์, 2545; Abeling and Seyfried, 1992) อันเนื่องมาจากแอมโมเนียอิสระในระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ

จากการทดลองพบว่าค่าพีเอช ค่า G และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยามีผลต่อการกำจัดแอมโมเนียด้วยกระบวนการไล่ก๊าซแอมโมเนีย ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ประมาณ 6 ชั่วโมง พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ที่ค่าพีเอชในช่วงระหว่าง 11 - 12 และค่า G เท่ากับ 2,850 s-1 ซึ่งเป็นช่วงที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดเป็นที่น่าพอใจ เนื่องจากทำให้เกิดความเชื่อมั่นว่าไนโตรเจนที่เหลืออยู่ในน้ำเสียหลังการไล่ก๊าซแอมโมเนียนั้น จะไม่เกิดก๊าซแอมโมเนียซึ่งเป็นสารยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย หรือเกิดก๊าซแอมโมเนียน้อยมากในระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ ดังแสดงในรูปที่ 5 ทั้งนี้เกิดการถ่ายเทมวลแอมโมเนียจากของเหลวสู่บรรยากาศ (Srinath and Loehr, 1974) และการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียจะแปรผันตามการเพิ่มค่า G และค่าพีเอช ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายของอากาศดี และสมดุลเคมีของแอมโมเนียเกิดขึ้นสมบูรณ์ดังสมการที่ 1 และผลการทดลองก็สอดคล้องกับ Cheung *et al.* (1997) และ Kabdasli *et al.* (2000) นอกจากนี้ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียยังขึ้นอยู่กับรูปร่างของถังปฏิกิริยาด้วย คือสัดส่วนของพื้นที่หน้าตัดต่อปริมาตรน้ำเสีย (A:V ratio) ซึ่งการทดลองนี้ใช้ A:V ratio เท่ากับ 17 เป็นการเพิ่มโอกาสในการแพร่กระจายของก๊าซแอมโมเนียสู่บรรยากาศมากขึ้น (Smith and Arab, 1988)

$$NH_4^+ + OH^- \underset{pH \le 7}{\overset{pH \ge 7}{\rightleftharpoons}} NH_3 + H_2O \qquad (1)$$

บทสรุป

ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และแอมโมเนียเป็นปัจจัยหนึ่งที่ควรจะนำมาพิจารณาในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ซึ่งการออกแบบระบบบำบัดควรมีการลดปริมาณอินทรีย์ และลดความเป็นพิษของแอมโมเนียก่อนผ่านเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพในขั้นต่อไป ทั้งนี้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ และแอมโมเนียขึ้นอยู่กับค่าพีเอช ค่า G และระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา

จากผลการทดลองพบว่ากระบวนการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรขั้นต้น ด้วยกระบวนการก่อตะกอนภายใต้สภาวะกรด มีประสิทธิภาพการกำจัด

Table 2. Effects of velocity gradient on BOD and COD concentration of piggery wastewater (pH 4.0, contact time 10 min)

Conditions	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	BOD/COD ratio
Raw piggery wastewater	2,100	3,600	0.58
Wastewater after settling:			
G 560 s^{-1}	1,040	1,280	0.81
G 1,530 s^{-1}	1,120	1,440	0.78
G 2,850 s^{-1}	1,120	1,360	0.82
G 4,330 s^{-1}	1,240	1,440	0.86

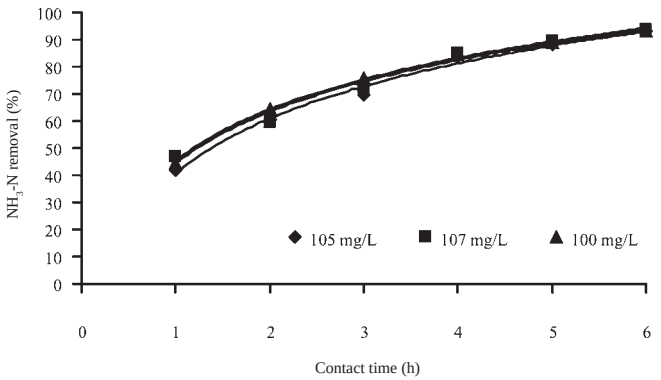
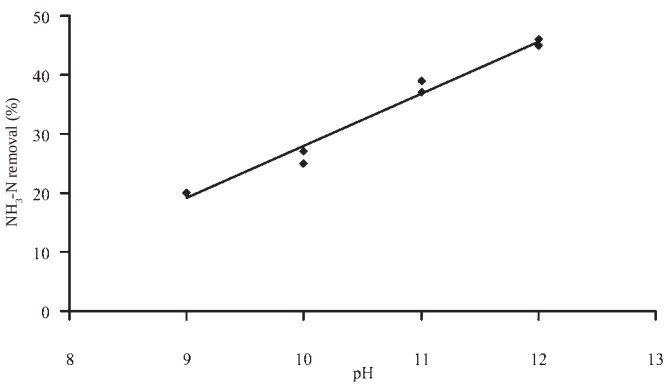
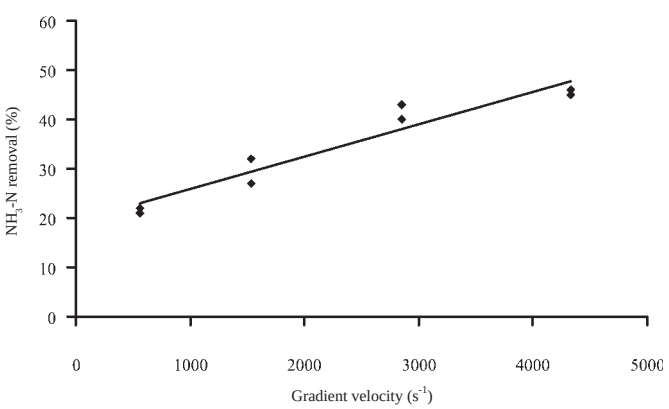


Figure 5. Effect of ammonia stripping on content of ammonia-nitrogen of piggery wastewater



(a)



(b)

Figure 6. Ammonia removal efficiency versus (a) pH and (b) velocity gradient with a contact time of two hours

สารอินทรีย์ในรูปซีโอดีในช่วง 60 - 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ค่าพีเอช 3.5 - 4.5 ค่า G เท่ากับ 560 s^{-1} และระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาประมาณ 10 นาที และเมื่อค่า G เพิ่มขึ้นพบว่าน้ำเสียมีส่วนประกอบของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นนี้มีอัตราส่วนของ BOD/COD เพิ่มขึ้นเช่นกัน ในขณะที่กระบวนการไล่ก๊าซแอมโมเนียมีประสิทธิภาพการกำจัดประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ที่ค่าพีเอช 11.0 - 12.0 ค่า G เท่ากับ 2,850 s^{-1} และระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาประมาณ 6 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วยังคงมีค่าความสกปรกสูงอยู่คือ ความเข้มข้นของ ซีโอดีเฉลี่ย 1,360 มิลลิกรัมต่อลิตร บีโอดี เฉลี่ย 1,120 มิลลิกรัมต่อลิตร ทีเคเอ็น เฉลี่ย 28 มิลลิกรัมต่อลิตร และแอมโมเนีย-ไนโตรเจน เฉลี่ย 11 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงควรที่จะผ่านเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียในขั้นต่อไป เพื่อกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนที่ยังคงเหลืออยู่ก่อนที่จะปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมต่อไป

เอกสารอ้างอิง

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และ มั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์. (2545). เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 19/1-19/36.

Abeling, U., and Seyfried, C.F. (1992). Anaerobic-aerobic treatment of high-strength ammonium wastewater-nitrogen removal via nitrite. Wat. Sci. Tech., 26(5-6): 1,007-1,015.

Andreadakis, A.D. (1992). Anaerobic digestion of piggery wastes. Wat. Sci. Tech., 25(1): 9-16.

APHA, AWWA, and WEF. (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. Washington D.C., USA.

Chen, L.A., Carbonell, R.G., and Serad, G.A. (2000). Recovery of proteins and other biological compounds from food processing wastewaters using fibrous materials and polyelectrolytes. Wat. Res., 34(2):510-518.

Cheung, K.C., Chu, L.M., and Wong, M.H. (1997). Ammonia stripping as a pretreatment for landfill leachate. Water, Air, and Soil Pollution, 94:209-221.

Chin, K.K., and Ong, S.L. (1993). A wastewater treatment system for an industrialized pig farm. Wat. Sci. Tech., 28(7):217-222.

EPA. (2001). Development Document for the Proposed Revisions to the National Pollutant Discharge Elimination System Regulation and the Effluent Guidelines for Concentrated Animal Feeding Operations. U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C., January.

Jayamanne, A. (2002). Application of Upflow Anaerobic Floating Filter (UAFF) System in Series for High Strength and Low Degradable Wastewater Treatment. AIT Thesis, Bangkok, Thailand, p. 101.

Kabdasli, I., Tunay, O., Ozturk, I., Yilmaz, S., and Arikan, O. (2000). Ammonia removal from young landfill leachate by magnesium ammonium phosphate precipitation and air stripping. Wat. Sci. Tech., 41(10): 237-240.

Kongsricharoern, N. (1991). Two-stage Anaerobic Treatment of Pig Manure with Total Effluent Recycle. AIT Thesis, Bangkok, Thailand, p. 67.

Marco, A., Esplugas, S., and Saum, G. (1997). How and why combine chemical and biological processes for wastewater treatment. Wat. Sci. Tech., 35:321-327.

Metcalf and Eddy. (1991). Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse. 3rd ed. McGraw-Hill Inc., USA, p. 1,334.

Meyer, J. (1986). Protein recovery from poultry slaughterhouse effluents. SEPA Wastewater Treatment Ltd.

Poggi-Varaldo, H.M., Rodriguez-Vazquez, R., Fernandez-Villagomez, G., and Esparza-Garcia, F. (1997). Inhibition of mesophilic solid-substrate anaerobic digestion by ammonia nitrogen. Appl. Microb. Biotech., 47:284-291.

Reeves, T.G. (1972). Nitrogen removal: A Literature Review. J. Wat. Poll. Cont. Fed., 44(10):1,895-1,908.

Sincero, A.P., and Sincero, G.A. (2003). Physical-Chemical Treatment of Water and Wastewater. IWA Publishing, p. 832.

Smith, P.G., and Arab, F.K. (1988). The role of air bubbles in the desorption of ammonia from landfill leachates in high pH aerated lagoon. Water, Air and Soil Pollution, 38:333-343.

Srinath, E.G., and Loehr, R.C. (1974). Ammonia desorption by diffused aeration. J. Wat. Poll. Cont. Fed., 46(8):1,939-1,957.