การบำบัดสารประกอบไนโตรเจนด้วยถังปฏิกรณ์ผสมผสานไนทริฟิเคชัน-ดีไนทริฟิเคชัน

Nitrogen Compound Removal with Combined Nitrification–Denitrification Reactor

เอกนรินทร์ ธนะกิจไพรินท์[1*] เพ็ญพิชญา พินิจธนภาคย์[2] สรวิศ เผ่าทองศุข[3] และ วิบูลย์ลักษณ์ พึ่งรัศมี[4]

Aeknarin Thanakitpairin[1*] Phenphitchaya Phinitthanaphak[2] Sorawit Powtongsook[3] and Wiboonluk Pungrasmi[4]

[1]ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

[2]สถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

[3]ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

[4]ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[1]Department of Environmental Sciences, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University

[2]The Industrial Environment Institute, The Federation of Thai Industries

[3]National Center for Genetic Engineering and Biotechnology, Pathum Thani

[4]Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

วันที่รับบทความ 14 กรกฎาคม พ.ศ. 2558

วันที่ตอบรับตีพิมพ์ 16 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ของการนำตัวกรองชีวภาพเพื่อใช้ในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจน โดยผ่านปฏิกิริยาร่วมกันระหว่างการเกิดกระบวนการไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันภายในถังปฏิกรณ์ใบเดียวกัน เพื่อการประยุกต์ใช้ในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิด ซึ่งตัวกรองชีวภาพที่ใช้ในการบำบัดผ่านกระบวนการไนทริฟิเคชันได้แก่ วัสดุเส้นใยไบโอคอร์ตและหินพัมมิสบด ส่วนตัวกรองชีวภาพที่ใช้บำบัดผ่านกระบวนการดีไนทริฟิเคชันคือหินพัมมิสบด โดยการทดลองเริ่มจากการตรวจวัดอัตราการบำบัดไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันของตัวกรองชีวภาพแต่ละชนิด หลังจากนั้นนำตัวกรองชีวภาพที่เหมาะสมบรรจุลงในถังปฏิกรณ์ใบเดียวกัน เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดสารประกอบไนโตรเจน ซึ่งถังปฏิกรณ์ชุดควบคุมและชุดทดลองทุกถังจะบรรจุหินพัมมิสบดหนา 5 ซม. แต่ถังปฏิกรณ์ชุดทดลองจะเพิ่มการบรรจุเส้นใยไบโอคอร์ตยาว 1 ม. ร่วมกับหินพัมมิสบด โดยการเปรียบเทียบการบำบัดสารแอมโมเนียและไนเทรต ระหว่างสภาวะที่เติมและไม่เติมเมทานอลลงในชั้นน้ำเสียสังเคราะห์ ที่อัตราส่วนซีโอดีต่อไนเทรตไนโตรเจนเท่ากับ 5:1 ผลการทดลองพบว่าถังปฏิกรณ์ทุกชุดการทดลองสามารถบำบัดแอมโมเนียได้อย่างสมบูรณ์ผ่านกระบวนการไนทริฟิเคชัน โดยไม่พบการสะสมของไนไทรต์รวมทั้งการเติมเมทานอลช่วยเร่งการเกิดกระบวนการดีไนทริฟิเคชันได้อย่างสมบูรณ์ รวมทั้งไม่มีผลยับยั้งการเกิดกระบวนการไนทริฟิเคภายใต้สภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเหมาะสม นั่นคือความเป็นไปได้ที่จะนำถังปฏิกรณ์ผสมผสานไนทริฟิเคชัน–ดีไนทริฟิเคชันสู่การประยุกต์ใช้ในการบำบัดไนโตรเจนภายใต้ระบบเลี้ยงสัตว์น้ำหมุนเวียนแบบปิด

คำสำคัญ : การบำบัดสารประกอบไนโตรเจน ระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหมุนเวียน ไนทริฟิเคชัน ดีไนทริฟิเคชัน

*Corresponding author. E-mail : thanakitpairin_a@hotmail.com

Abstract

This research investigated the feasibility of nitrogen compound removal from the recirculating aquaculture systems with a combination of nitrification-denitrification reaction in a single reactor. The biofilter media used for nitrification treatment were a Biocord™ fibrous material and pumice rock while the media for denitrification treatment was pumice rock. The experiment started with the evaluation of nitrification and denitrification rate of each type of biofilters. Thereafter, both types of biofilter were subsequently placed in the same reactor for an evaluation of the nitrogen treatment efficiency. The reactor was a glass aquarium containing 5 cm bottom layer of pumice rock. Treatments were set up by an addition of 1 m of Biocord™ in the reactor containing pumice rock. Methanol supplement at the COD:Nitrate-N ration of 5:1 was applied as the carbon source for denitrifying bacteria. Ammonia and nitrate removal were regularly monitored in the reactor with methanol (treatment) and without methanol addition (control). The results showed that all reactors could remove ammonia completely through nitrification process without nitrite accumulation. Methanol addition did not inhibit nitrification process and could enhance complete denitrification under appropriate controlled dissolved oxygen condition. Thus the combined nitrification–denitrification reactor had a potential for nitrogen treatment application in aquaculture system.

Keywords : nitrogen compound removal, Recirculating aquaculture system, nitrification, denitrification

บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของประเทศไทยมีการพัฒนารูปแบบในเชิงธุรกิจมากขึ้น เพื่อรองรับการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรและการขยายตัวทางเศรษฐกิจทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งเทคโนโลยีที่มีความคุ้มทุนและได้รับความนิยมด้านการจัดการบ่อเพาะเลี้ยงจึงเป็นการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบบ่อไร้ดินความหนาแน่นสูง (Intensive Aquaculture System; IAS) สำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำรูปแบบนี้ภายใต้เงื่อนไขที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมด้วยการให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปอย่างเพียงพอ โดยการควบคุมลักษณะสมบัติของน้ำและคุณภาพอาหารตลอดระยะเวลาของการเพาะเลี้ยง นอกจากนี้ยังมีการปรับเปลี่ยนรูปแบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยระบบกึ่งปิดหรือระบบปิดที่มีการหมุนเวียนน้ำที่ผ่านการบำบัดให้มีคุณภาพดีแล้วกลับมาใช้ใหม่ (Closed Recirculating Aquaculture System; CRAS) ซึ่งจากรายงานของ Azim *et al.*(2008) กล่าวไว้ว่าเป็นรูปแบบที่ส่งเสริมการประหยัดน้ำ ช่วยป้องกันการเกิดโรคระบาด รวมทั้งลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยน้ำทิ้ง แต่มักประสบปัญหาการสะสมของสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนรูปต่างๆ ภายในระบบซึ่งเกิดขึ้นจากเศษอาหารที่เหลือตกค้าง ของเสียสิ่งปฏิกูลจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำ และการย่อยสลายโปรตีนจากซากสัตว์น้ำที่ตาย โดยเฉพาะแอมโมเนียและไนเทรตซึ่งเมื่อเกิดการสะสมจะก่อให้เกิดความเป็นพิษกับสัตว์น้ำที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน (Crab *et al.*, 2007) สำหรับระบบบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนด้วยกระบวนการทางชีวภาพผ่านตัว

กรองชีวภาพส่วนใหญ่ประกอบด้วย 2 กระบวนการคือ กระบวนการไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชัน (Gutierrez-Wing and Malone, 2006) โดยธงชัย พรรณสวัสดิ์ (2544) ได้อธิบายกระบวนการไนทริฟิเคชัน (Nitrification) เป็นปฏิกิริยาเกิดจากจุลินทรีย์ชนิดไนทริฟายอิง (Nitrifying) โดยประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือขั้นตอนแรกเปลี่ยนแอมโมเนียให้อยู่ในรูปไนไทรต์ด้วยจุลินทรีย์กลุ่มไนโทรโซโมแนส (Nitrosomonas) เป็นหลัก ส่วนขั้นตอนที่สองเปลี่ยนไนไทรต์ให้เป็นไนเทรตโดยอาศัยจุลินทรีย์กลุ่มไนโทรแบคเตอร์ (Nitrobacter) ดังสมการที่ (1) ถึง (3) แต่แอมโมเนียไอออนบางส่วนนำไปสร้างเซลล์จุลินทรีย์ ดังสมการที่ (4) ซึ่งพบว่าปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดซ์แอมโมเนียไปเป็นไนเทรตในสมการที่ (4) เท่ากับ 4.3 มก.ของออกซิเจน/มก.ของแอมโมเนีย

$$2NH_4^+ + 3O_2 \longrightarrow 2NO_2^- + 2H_2O + 4H^+ + \text{พลังงาน} \quad (1)$$

$$2NO_2^- + O_2 \longrightarrow 2NO_3^- \quad (2)$$

$$NH_4^+ + 2O_2 \longrightarrow NO_3^- + 2H^+ + H_2O \quad (3)$$

$$NH_4^+ + 1.83O_2 + 1.98HCO_3^- \longrightarrow 0.021C_5H_7O_2N + 0.98NO_3^- + 1.041H_2O + 1.88H_2CO_3 \quad (4)$$

ส่วนกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน (Denitrification) เป็นขั้นตอนที่ 2 ของกระบวนการกำจัดไนโตรเจนทางชีววิทยา ซึ่งกระบวนการดีไนทริฟิเคชันเป็นการเปลี่ยนไนเทรตให้เป็นก๊าซไนโตรเจน โดยเกิดขึ้นที่สภาวะไม่มีออกซิเจนแต่สามารถนำออกซิเจนจากไนเทรต ไนไทรต์ หรือซัลเฟต โดยทางปฏิบัติไนเทรตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนอิสระจึงต้องมีการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนสู่ระบบ เนื่องจากในแหล่งน้ำเสียไม่เพียงพอต่อการเกิดกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน โดยสารอินทรีย์คาร์บอนอย่างเมธานอลเป็นที่นิยมมากจากมีราคาถูกกว่าสารอินทรีย์คาร์บอนประเภทอื่นและมีกำลังรีดิวซ์สูง (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543) ซึ่งมีขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาดังสมการที่ (5) โดยค่าความเข้มข้นออกซิเจนละลายน้ำที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 0.1 –0.2 มก./ล. และค่าพีเอชควร อยู่ในช่วง 7.0–8.0 (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544)

$$NO_3^- \longrightarrow NO_2^- \longrightarrow NO \longrightarrow N_2O \longrightarrow N_2 \quad (5)$$

โดยทั่วไประบบบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนมักแยกส่วน นั่นคือ การบำบัดแอมโมเนียด้วยกระบวนการไนทริฟิเคชันของถังบำบัดส่วนแรก และบำบัดไนเทรตต่อผ่านกระบวนการดีไนทริฟิเคชันของถังบำบัดที่สอง ซึ่งเป็นรูปแบบที่สามารถควบคุมคุณภาพน้ำภายในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำได้อย่างดี แต่มีข้อเสียที่เกิดขึ้นได้แก่ การสิ้นเปลืองพลังงานต่อการเคลื่อนมวลน้ำด้วยอุปกรณ์สูบน้ำไปยังหน่วยบำบัดต่างๆ นอกจากนี้การใช้พื้นที่ติดตั้งระบบต่างๆ ที่มากด้วย ดังนั้นงานวิจัยมุ่งศึกษาโดยการศึกษาความเป็นไปได้ของการนำถังบำบัดที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาร่วมกันของกระบวนการไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันภายใต้ถังปฏิกรณ์เดียวกัน และเป็นไปตามหลักการทางวิศวกรรม เพื่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ออกจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ และศึกษาอัตราการบำบัดไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันของตัวกรองชีวภาพ 2 ชนิดได้แก่ เส้นใยไบโอคอร์ตและหินพัมมิสบด เพื่อให้ได้ตัวกรองชีวภาพที่เหมาะสมในการบรรจุภายใต้ถังปฏิกรณ์ผสมผสานไนทริฟิเคชัน-ดีไนทริฟิเคชัน สำหรับการพัฒนาประยุกต์ใช้ในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิด

วิธีการวิจัย

- *การเตรียมวัสดุและประเมินประสิทธิภาพของตัวกรองชีวภาพไนทริฟิเคชัน*

บ่มวัสดุตัวกรองชีวภาพ 2 ชนิดได้แก่ เส้นใยไบโอคอร์ต (Biocord™) และหินพัมมิสบด โดยเส้นใยไบโอคอร์ตมีลักษณะเป็นมัดเส้นใยสีขาวผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์ Polypropylene มีพื้นที่ผิวประมาณ 2.8 ตร.ม./ม. จึงมีคุณสมบัติด้านพื้นที่สำหรับแบคทีเรียยึดเกาะมาก ทนทานและง่ายต่อการทำความสะอาด ในส่วนของหินพัมมิสบดที่ใช้ในการทดลองมีขนาด 1-3 มม. มีคุณสมบัติด้านรูพรุนสูงจึงเป็นที่อยู่ของกลุ่มแบคทีเรียที่ช่วยในการย่อยสลายของเสียในน้ำ โดยนำวัสดุตัวกรองชีวภาพวางในถังพลาสติกที่ความจุน้ำจืดปริมาตร 100 ล. เติมแอมโมเนียมคลอไรด์ 15 มก.ไนโตรเจน/ล. และอาหารกุ้งบดละเอียดที่มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 40 ลงไปจนมีความเข้มข้นเท่ากับ 1.5 มก.ไนโตรเจน/ล. สำหรับเป็นแหล่งสารอาหารและวิตามินของแบคทีเรีย (Sesuk*et al*., 2009) ทำการเติมอากาศตลอดเวลาเพื่อควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายน้ำให้มากกว่า 4 มก./ล. และควบคุมค่าสภาพด่างให้อยู่ในช่วง 100 - 150 มก.แคลเซียมคาร์บอเนต/ล. โดยการบ่มเชื้อเป็นเวลา 45 วัน และทุกวันทำการวัดปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์และไนเทรต หลังจากนั้นนำตัวกรองชีวภาพไบโอคอร์ตและหินพัมมิสบดที่ผ่านการเตรียมสภาพแล้วมาประเมินอัตราการบำบัดไนทริฟิเคชันในขวดพลาสติก (ทดลอง 3 ซ้ำ) ซึ่งไบโอคอร์ตตัดให้มีความยาวประมาณ 10 ซม.ต่อขวด ส่วนหินพัมมิสบดบรรจุให้มีความหนาประมาณ 2 ซม. ต่อขวดจากนั้นเติมน้ำปริมาตร 1.5 ล. ที่มีความเข้มข้นของแอมโมเนียมคลอไรด์ 1 มก.ไนโตรเจน/ล. และใช้หัวทรายพ่นอากาศเติมอากาศตลอดเวลาการทดลอง โดยเก็บน้ำตัวอย่างทุกชั่วโมงจนกว่าเกิดการบำบัดแอมโมเนียจนหมด

- *ศึกษาอัตราการบำบัดไนโตรเจนของไบโอคอร์ตและหินพัมมิสบดผ่านกระบวนการไนทริฟิเคชัน*

การทดลองเดินระบบแบบแบทช์ควบคู่กันจำนวน 3 ชุดการทดลอง (การทดลองละ 3 ซ้ำ) ได้แก่ชุดควบคุมที่ไม่บรรจุตัวกรองชีวภาพ ชุดทดลองที่บรรจุตัวกรองชีวภาพไบโอคอร์ต และชุดทดลองที่บรรจุหินพัมมิสบด โดยทำการบรรจุตัวกรองชีวภาพที่ผ่านการปรับสภาพ และตรวจวัดอัตราการบำบัดไนทริฟิเคชันแล้วใส่ลงในถังปฏิกรณ์กระจกใสทรงสี่เหลี่ยมขนาด 20×20×35 ซม. ซึ่งไบโอคอร์ตตัดให้มีความยาวประมาณ 30 ซม. บรรจุและผูกถ่วงกับลวดอะลูมิเนียมให้จมอยู่ใต้ผิวน้ำ ส่วนหินพัมมิสบดบรรจุเป็นชั้นหนา 5 ซม. หลังจากนั้นเติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมจากแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นของแอมโมเนีย 1 มก.ไนโตรเจน/ล. ปริมาตร 5 ล. และทำการเติมอากาศในถังปฏิกรณ์ทุกถังด้วยหัวทรายพ่นอากาศตลอดเวลา โดยเก็บน้ำตัวอย่างจากถังปฏิกรณ์เพื่อตรวจวัดอัตราการบำบัดไนทริฟิเคชัน ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการลดลงของแอมโมเนียด้วยสมการไคเนติกส์ของมิเคลลิส-เมนเทน (Michaelis-Menten) และวิเคราะห์ควบคู่กับการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทางคุณภาพน้ำ ได้แก่ แอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ พีเอช และค่าสภาพด่างของน้ำด้วยวิธีมาตรฐาน (APHA, 2005)

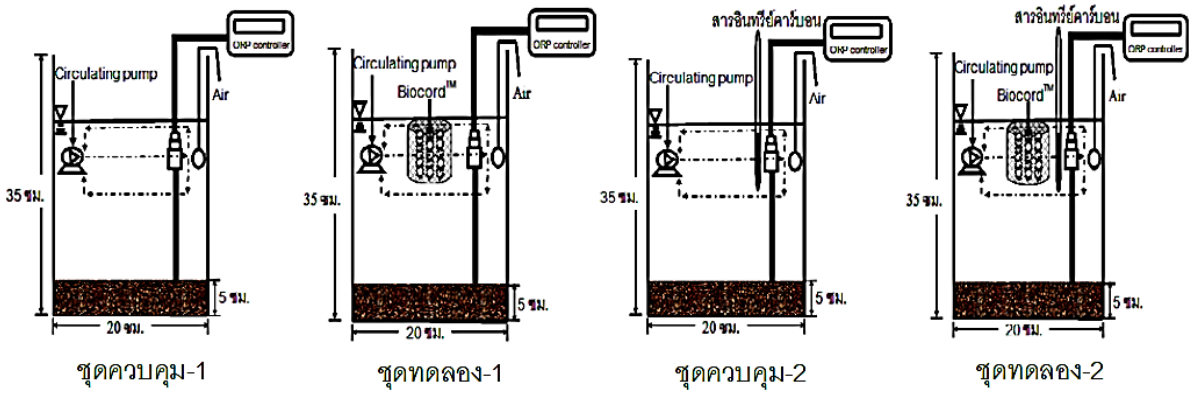
- *ศึกษาอัตราการบำบัดไนโตรเจนของหินพัมมิสบดผ่านกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน*

ทำการเดินระบบการทดลองแบบแบทช์ควบคู่กันระหว่างชุดควบคุมที่ไม่มีวัสดุตัวกรองชีวภาพ และชุดทดลองที่บรรจุหินพัมมิสบด (การทดลองละ 3 ซ้ำ) โดยบรรจุหินพัมมิสบดเป็นชั้นหนา 5 ซม. เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไนเทรตความเข้มข้น 100 มก.ไนโตรเจน/ล. ในรูปของโพแทสเซียมไนเทรตปริมาตร 8 ล. ลงในถังปฏิกรณ์โดยสารอินทรีย์คาร์บอนเป็นเมทานอลลงในชั้นน้ำ สำหรับช่วยเร่งอัตราดีไนทริฟิเคชัน ซึ่งอัตราส่วนซีโอดีต่อไนเทรตไนโตรเจนเท่ากับ 5:1 และ 6:1 ร่วมกับการเติมอากาศในผิวชั้นน้ำด้วยหัวทรายพ่นอากาศ ส่วนที่บริเวณด้านบนของถังปฏิกรณ์มีการติดตั้งปั๊มน้ำขนาดเล็กเพื่อช่วยควบคุม

ให้น้ำในถังเกิดการไหลวนตลอดเวลา นอกจากนี้ทำการติดตั้งชุดอุปกรณ์ในการวัดค่าศักย์ออกซิเดชัน – รีดักชัน (โออาร์พี) ด้วยการจุ่มหัววัดลงในชั้นน้ำและในชั้นหินลึก 2.5 ซม. ทุกวัน (ชลธิชาพลายชุม, 2553) โดยทำการเก็บน้ำตัวอย่างจากถังปฏิกรณ์ทุกวันในการตรวจวัดอัตราการบำบัดดีไนทริฟิเคชันและการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทางคุณภาพน้ำด้วยวิธีมาตรฐาน (APHA, 2005)

- *ศึกษาผลของการบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนด้วยตัวกรองชีวภาพผสมผสานของกระบวนการไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันในถังปฏิกรณ์เดียว*

ทำการบรรจุตัวกรองชีวภาพไบโอคอร์ตและหินพัมมิสบดลงในถังปฏิกรณ์เดียวกัน ในสภาวะและพื้นที่ผิวของตัวกรองชีวภาพที่เหมาะสม ซึ่งสามารถคำนวณได้จากการทดลองข้างต้น โดยถังปฏิกรณ์ทำจากกระจกใสทรงสี่เหลี่ยมขนาด 20×20×35 ซม. มีปริมาตรรวม 14 ล. และพื้นที่ถัง 0.04 ตร.ม. ทำการบรรจุหินพัมมิสบดบริเวณก้นถังความหนาของชั้น 5 ซม. ส่วนไบโอคอร์ตในแต่ละถังตัดให้มีความยาวที่เหมาะสมคือ 1 ม. แล้วบรรจุและผูกกับลวดอะลูมิเนียมเพื่อถ่วงให้จมอยู่ใกล้ผิวน้ำ หลังจากนั้นเติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของแอมโมเนีย 20 มก.ไนโตรเจน/ล. ที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียมคลอไรด์ ปริมาตร 8 ล. แล้วเปรียบเทียบการบำบัดไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันของตัวกรองชีวภาพ ระหว่างสภาวะที่ทำการเติมและไม่เติมเมทานอลลงในชั้นน้ำเสียสังเคราะห์ ตามอัตราส่วนซีโอดีต่อไนเทรตไนโตรเจนเท่ากับ 5:1 โดยการทดลองแบบแบทช์ประกอบ 4 ชุดการทดลอง (การทดลองละ 3 ถัง) ได้แก่ชุดควบคุม-1 (ไม่เติมเมทานอล บรรจุหินพัมมิสบด) ชุดทดลอง-1 (ไม่เติมเมทานอล บรรจุไบโอคอร์ตและหินพัมมิสบด) ชุดควบคุม-2 (เติมเมทานอล บรรจุหินพัมมิสบด) และชุดทดลอง-2 (เติมเมทานอล บรรจุไบโอคอร์ตและหินพัมมิสบด) ดังแสดงรายละเอียดตามรูปที่ 1 โดยการตรวจวัดอัตราการบำบัดแอมโมเนียและไนเทรต (มก.-ไนโตรเจน/ล./วัน) และการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน ตลอดจนพารามิเตอร์ต่างๆ ทางคุณภาพน้ำทุกวัน



ภาพที่ 1 แสดงรายละเอียดชุดการทดลองทั้ง 4 ชุดการทดลองของไนทริฟิเคชัน-ดีไนทริฟิเคชันในถังปฏิกรณ์เดียว

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

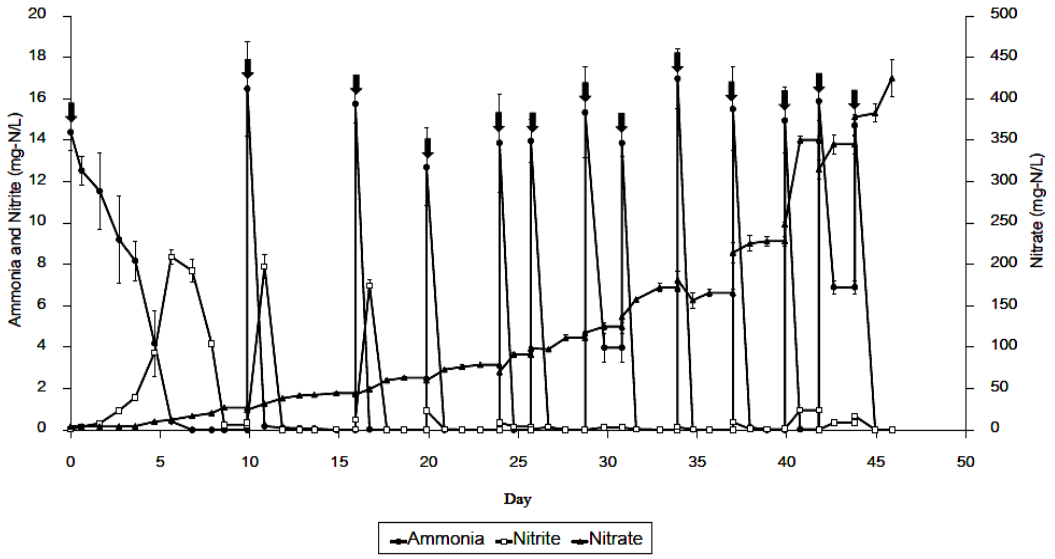
- *ประสิทธิภาพการบำบัดของตัวกรองชีวภาพไนทริฟิเคชัน*

การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนในถังบ่มตัวกรองชีวภาพไบโอคอร์ตและหินพัมมิส ในช่วงระยะเวลา 45 วัน ดังแสดงรายละเอียดภาพที่ 2 ซึ่งพบว่าในช่วงสามสัปดาห์แรกของการทดลองความเข้มข้นของแอมโมเนียมี

ค่าลดลง และมีความเข้มข้นของไนไทรต์เกิดขึ้นทดแทนในปริมาณสูง โดยหลังจากนั้นตัวกรองชีวภาพสามารถบำบัดแอมโมเนียได้จนหมดจนไม่เกิดการสะสมของไนไทรต์ แต่มีปริมาณไนเทรตเพิ่มขึ้น ดังนั้นแสดงว่าตัวกรองชีวภาพสามารถเกิดกระบวนการไนทริฟิเคชันได้อย่างสมบูรณ์ภายในระบบ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sesuk *et al.* (2009); เอกชัย มาลาพล (2551); ทยากร สุวรรณรัตน์ (2552) นอกจากนี้เมื่อประเมินประสิทธิภาพการเกิดกระบวนการไนทริฟิเคชันของตัวกรองชีวภาพไบโอคอร์ตและหินพัมมิสบดที่ผ่านการเตรียมสภาพแล้วเป็นระยะเวลา 45 วัน พบว่าสามารถบำบัดความเข้มข้นของแอมโมเนียเริ่มต้นที่ 1 มก. ไนโตรเจน/ล. ได้เสร็จสิ้นภายในระยะเวลา 7 และ 5 ชม. ตามลำดับ โดยพบว่าตลอดระยะเวลาการทดลองมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียสูงสุดเท่ากับ 53.6 และ 52.1 ก. ไนโตรเจน/ลบ.ม./วัน ตามลำดับ

- *อัตราการบำบัดไนโตรเจนของไบโอคอร์ตและหินพัมมิสบดผ่านกระบวนการไนทริฟิเคชัน*

ในการศึกษาอัตราการบำบัดของวัสดุตัวกรองชีวภาพผ่านกระบวนการไนทริฟิเคชัน พบว่าหินพัมมิสมีอัตราการบำบัดความเข้มข้นสารแอมโมเนียสูงกว่าไบโอคอร์ต ในขณะที่ชุดควบคุมที่ไม่ได้บรรจุวัสดุตัวกรองชีวภาพ พบว่าไม่สามารถเกิดการบำบัดแอมโมเนีย ซึ่งพบว่าหินพัมมิสสามารถบำบัดแอมโมเนียที่ความเข้มข้น 1 มก.ไนโตรเจน/ล. ได้เสร็จสิ้นภายในระยะเวลา 2 - 7 ชม. ส่วนไบโอคอร์ตใช้ระยะเวลาในการบำบัดถึง 10 - 16 ชม. โดยสามารถคิดเป็นอัตราการบำบัดแอมโมเนียสูงสุดเฉลี่ย 640 ± 386 และ 42.4 ± 0.8 ก. ไนโตรเจน/ลบ.ม./วัน หรือคิดเป็น 32.0±19.3 ก. ไนโตรเจน/ตร.ม. (พื้นที่ก้นถัง)/วัน และ 0.024 ก. ไนโตรเจน/ตร.ม./วัน ตามลำดับ ซึ่งอัตราการบำบัดของไบโอคอร์ตมีค่าที่ใกล้เคียงกับการทดลองของ Sesuk *et al.*(2009) คือ 0.024 ก. ไนโตรเจน/ตร.ม./วัน โดยผลการทดลองใช้ตัวกรองชีวภาพทั้ง 2 ชนิด นั้นมีอัตราการบำบัดที่แตกต่างกันจึงขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านพื้นที่ผิวของวัสดุตัวกรองชีวภาพ ชนิดของวัสดุตัวกรองชีวภาพ ปริมาณแบคทีเรียที่ยึดเกาะ และระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มเชื้อ



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแอมโมเนียไนไทรต์ และไนเทรต ในถังบ่มตัวกรองชีวภาพไบโอคอร์ตและหินพัมมิสบดด้วยการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์และอาหารกุ้งบด (↓แสดงวันที่เติมแอมโมเนียมคลอไรด์และอาหารกุ้งบดที่ความเข้มข้น 15 มก. ไนโตรเจน/ล. และ 1.5 มก.ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ)

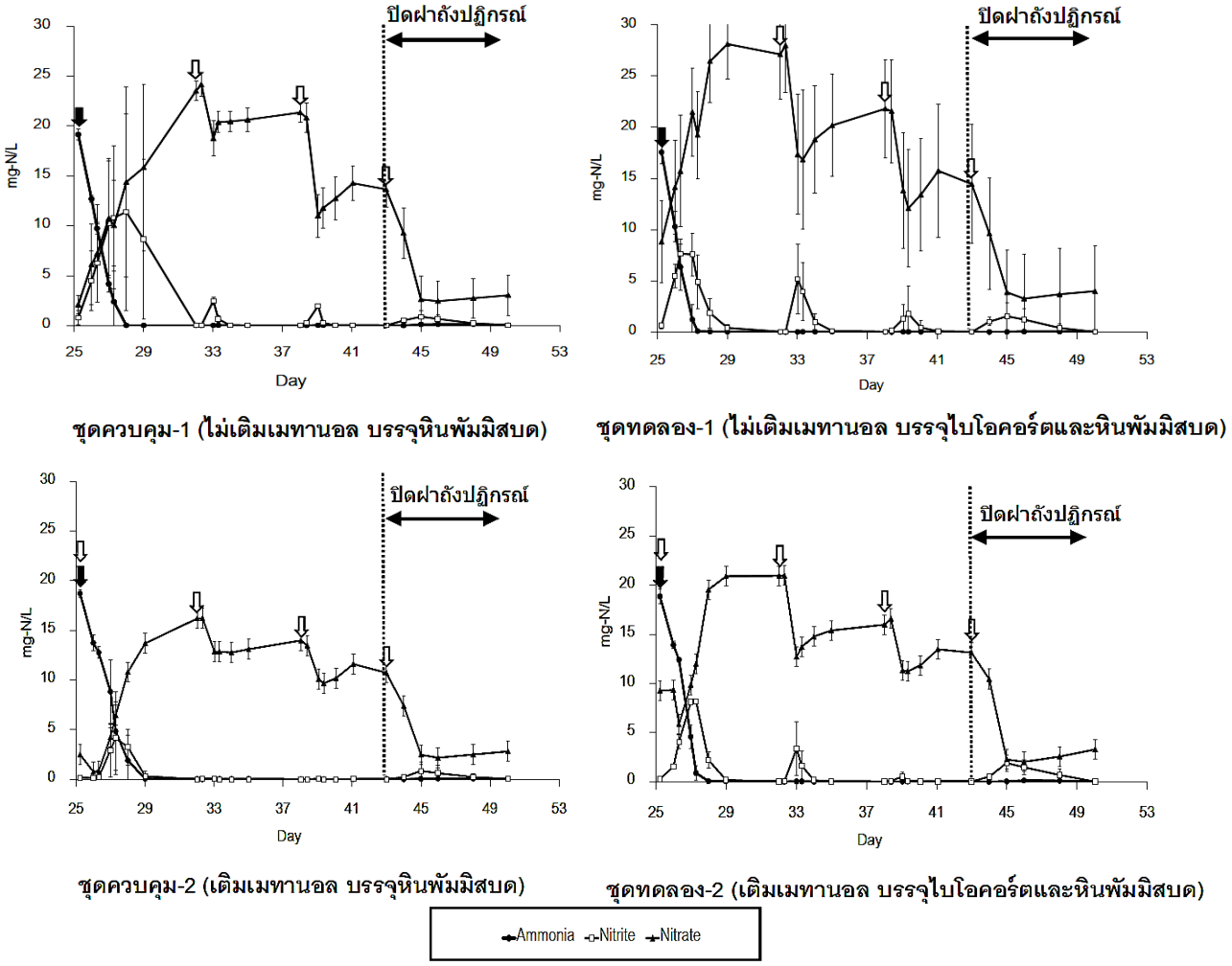
- *อัตราการบำบัดไนโตรเจนของหินพัมมิสบดผ่านกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน*

อัตราการบำบัดของหินพัมมิสบดผ่านกระบวนการไนทริฟิเคชันหลังการบ่มเชื้อเป็นระยะเวลา 27 วัน พบว่าชุดควบคุมที่ไม่มีวัสดุตัวกรองชีวภาพไม่สามารถเกิดการบำบัดไนเทรต ส่วนชุดทดลองที่บรรจุวัสดุตัวกรองชีวภาพสามารถเกิดการบำบัดไนเทรตที่อัตราส่วนซีโอดีต่อไนเทรตไนโตรเจนเท่ากับ 5:1 และ 6:1 พบว่ามีอัตราการบำบัดที่ใกล้เคียงกัน โดยอัตราส่วนทั้งสองนั้นเมื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าซีโอดี พบว่ามีเมทานอลเหลือประมาณ 7 มก.ซีโอดี/ล. ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยมาก จึงสอดคล้องกับการทดลองของชลธิชา พลายชุม (2553) โดยพบว่ามีอัตราการบำบัดสูงสุดเฉลี่ย 159.8±9.0 และ 179.9±12.9 ก.ไนโตรเจน/ลบ.ม./วัน หรือคิดเป็น7.99±0.45 และ 8.99±0.64 ก. ไนโตรเจน/ตร.ม. (พื้นที่ก้นถัง)/วัน ตามลำดับ ซึ่งการทดลองลำดับต่อไปจะใช้อัตราส่วนซีโอดีต่อไนเทรตไนโตรเจนเท่ากับ 5:1 เนื่องจากใช้เมทานอลในปริมาณน้อยกว่าและเมื่อเมทานอลหมดหรือเหลือในปริมาณที่น้อยมากจะตรวจพบไนเทรตประมาณ 27.65 ± 3.26 มก.ไนโตรเจน/ล. ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่ต่ำกว่าค่าที่ก่อให้ความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำคือ 50 มก.ไนโตรเจน/ล. (Nootong *et al*., 2009)

- *ผลของการบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนด้วยตัวกรองชีวภาพผสมผสานของกระบวนการไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันในถังปฏิกรณ์เดียว*

ผลของการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนผ่านกระบวนการไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันของถังปฏิกรณ์ที่บรรจุตัวกรองชีวภาพแบบเส้นใยไบโอคอร์ตและหินพัมมิสในถังปฏิกรณ์เดียว ภายหลังจากการบ่มเชื้อดีไนทริฟิเคชันเป็นระยะเวลา 24 วัน แสดงรายละเอียดตามภาพที่ 3 ซึ่งพบว่ากระบวนการไนทริฟิเคชันเกิดขึ้นในทุกชุดของการทดลอง โดยพบการลดลงของความเข้มข้นแอมโมเนียและการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นไนไทรต์เป็นระยะเวลาสั้นๆ ก่อนที่แอมโมเนียและไนไทรต์จะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนเทรตทั้งหมด ซึ่งผลกระทบจากการเติมเมทานอลนั้นไม่มีผลยับยั้งต่อการเกิดปฏิกิริยาไนทริฟิเคชัน โดยพบว่าอัตราการลดลงของแอมโมเนียในทุกชุดการทดลองเป็นไปในระดับที่ใกล้เคียงกันทั้งหมด ซึ่งการเติมเมทานอลลงในถังทดลองในช่วงแรกไม่เพียงพอที่ช่วยการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาดีไนทริฟิเคชันได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งยังคงพบปริมาณไนเทรตสะสมอยู่ในน้ำจำนวนมากแม้มีการเติมเมทานอลเพิ่มเติมในวันที่ 32 และ 38 ของการทดลอง แต่เมื่อทำการปรับระบบการทดลองโดยปิดฝาถังปฏิกรณ์ด้วยพลาสติกเพื่อควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายน้ำให้มีค่าต่ำกว่า 2.0 มก./ล. และลดการไหลเวียนของน้ำในถังให้น้อยที่สุดเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาดีไนทริฟิเคชันได้ดีขึ้น จึงพบว่าภายหลังการเติมเมทานอลในวันที่ 43 ปริมาณไนเทรตในน้ำลดลงอย่างชัดเจน

ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณซีโอดีในน้ำหลังการบำบัดลดลงร้อยละ 85 นั่นแสดงว่าเมทานอลที่เติมลงไปถูกแบคทีเรียนำไปใช้ประโยชน์จนหมด สำหรับการตรวจวัดพารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำอื่นๆ พบว่าอุณหภูมิมีค่าอยู่ในช่วง 26.7 – 31.9 °ซ พีเอชมีค่าระหว่าง 7.02 – 7.85 ค่าศักย์ออกซิเดชัน – รีดักชันที่บริเวณลึกลงไปในชั้นหินที่ 2.5 ซม.อยู่ระหว่าง -233.2 ถึง 258.2 มิลลิโวลต์ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในช่วง 0.1 – 6.3 มก./ล. โดยค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันและค่าออกซิเจนละลายน้ำจะมีค่าต่ำเมื่อมีเมทานอลคงเหลืออยู่ในระบบจำนวนมากและสูงขึ้นเมื่อเมทานอลหมดลง



ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนของ 4 ชุดการทดลอง (↓แสดงวันที่เติมแอมโมเนียมคลอไรด์ และ ⇓ แสดงวันที่เติมเมทานอลให้มีอัตราส่วนซีโอดี:ไนเทรต-ไนโตรเจน 5:1)

สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาสามารถบ่งชี้ให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ถังปฏิกรณ์ผสมผสานไนทริฟิเคชัน-ดีไนทริฟิเคชันในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด โดยใช้หลักการของถังปฏิกรณ์บรรจุหินพัมมิสที่บริเวณก้นถังและมีการหมุนเวียนน้ำด้วยปั๊มน้ำขนาดเล็ก ซึ่งในช่วงแรกจำเป็นต้องให้ออกซิเจนละลายน้ำมีค่ามากกว่า 2 มก./ล. เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไนทริฟิเคชันได้ดี โดยพบว่าวัสดุตัวกรองชีวภาพใช้ชั้นหินพัมมิสเพียงอย่างเดียวก็สามารถบำบัดแอมโมเนียให้หมดลงได้ ซึ่งความเข้มข้นแอมโมเนียนั้นเปลี่ยนไปเป็นไนเทรต และความเข้มข้นไนเทรต

ถูกบำบัดผ่านกระบวนการดีไนทริฟิเคชันไปเป็นก๊าซไนโตรเจนหลังจากเติมเมทานอลที่อัตราส่วนซีโอดีต่อไนเทรต-ไนโตรเจนเท่ากับ 5:1 นอกจากนี้เมื่อทดสอบอัตราการบำบัดความเข้มข้นแอมโมเนียของหินพัมมิสพบว่ามีค่าสูงกว่าไบโอคอร์ตมาก

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนวิจัยจากโครงการส่งเสริมการทำงานวิจัยเชิงลึก ในสาขาวิชาที่มีศักยภาพสูง ศูนย์นวัตกรรมสหศาสตร์ โครงการในแผนพัฒนาวิชาการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (รหัสโครงการ : CU56-FW14) โครงการทุนวิจัยต่อเนื่อง 7 คลัสเตอร์ กองทุนรัชดาภิเษกสมโภชจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (รหัสโครงการ : RES560530068-FW) นอกจากนี้ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้อนุเคราะห์สถานที่สำหรับการทำวิจัย ตลอดจนเครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี

เอกสารอ้างอิง

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. (2543). *วิศวกรรมบำบัดน้ำเสีย*. เล่ม 4, พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี: มิตรนราการพิมพ์.

ชลธิชาพลายชุม. (2553). *การบำบัดไนเทรตในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยถังดีไนทริฟิเคชัน*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ทยากร สุวรรณรัตน์. (2552). *การพัฒนาระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิดความหนาแน่นสูงโดยผสมผสานตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเคมี, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. (2544). *การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ*. กรุงเทพมหานคร: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

เอกชัย มาลาพล. (2551). *การบำบัดไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งแบบบ่อไร้ดินกลางแจ้งโดยตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชัน*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Pollution Control Federation. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.(21st ed.).Washington DC: American Public Health Asscociation.

Azim, M.E., Little, D.C., & Bron, J.E. (2008). Microbial protein production in activated suspension tanks manipulating C:N ratio in feed and the implications for fish culture. *Bioresource Technology, 99*, 3590–3599.

Crab, R., Avnimelech, Y., Defoirdt, T., Bossier, P., & Verstraete, W. (2007). Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture*, *270*, 1-14.

Gutierrez-Wing, M.T., & Malone, R.F. (2006). Biological filters in aquaculture: Trends and research directions for freshwater and marine applications. *Aquacultural Engineering, 34*, 163-171.

Nootong, K., Pavasant, P., & Powtongsook, S. (2011). Effects of organic carbon addition in controlling inorganic nitrogen concentrations in a biofloc system. *Journal of The World Aquaculture Society* ,*42*(3), 339 - 346.

Sesuk, T., Powtongsook, S., & Nootong, K. (2009). Inorganic nitrogen control in a novel zero - water exchanged aquaculture system integrated with airlift - submerged fibrous nitrifying biofilters. *Bioresource Technoloy*, *100*, 2088 - 2094.