ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของเชื้ออนามม็อกบนตัวกลางชนิดต่าง ๆในถังปฏิกรณ์ซีเควนซิ่งแบตซ์

Nitrogen Efficiencies on Different Media of ANAMMOX Culture in Sequencing Batch Reactor (SBR)

ทิพวรรณ บุญวัฒน์[1] สัญญา สิริวิทยาปกรณ์[1] และ พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์ [1]

Tippawan Boonwat[1], Sanya Sirivithayapakorn[1] and Pongsak Noopan[1]

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้แบ่งการทดลองเป็น 3 ระยะ ได้แก่ ระยะที่ 1 ศึกษาการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มอนามม็อกแบบเติบโตแขวนลอยและแบบมีตัวกลางยึดเกาะซึ่งหยุดการป้อนน้ำเสียสังเคราะห์เป็นเวลา 34 วัน ระยะที่ 2 ศึกษาหาตัวกลางที่เหมาะสมในการยึดเกาะของเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มอนามม็อก และระยะที่ 3 ศึกษาความเร็วรอบในการกวนผสมต่อการยึดเกาะของเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มอนามม็อกในถังปฏิกรณ์ซีเควนซิ่งแบตซ์ จากการศึกษาระยะที่ 1 เมื่อหยุดการเติมน้ำเสียสังเคราะห์เป็นเวลา 34 วัน ลักษณะทางกายภาพของเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มอนามม็อกแบบเติมโตแขวนลอยมีลักษณะเป็นตะกอนแขวนลอยสีดำ ส่วนแบบมีตัวกลางยึดเกาะเชื้อมีลักษณะสีส้มแดงซีด และผลจากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน หลังจากป้อนน้ำเสียสังเคราะห์เข้าสู่ระบบที่ 1, 2 และ 4 เดือน มีค่าเท่ากับ 75.76%, 84.39% และ 94.29 % ตามลำดับ ระยะที่ 2 ตัวกลางที่ใช้ในการศึกษาหาความเหมาะสมในการยึดเกาะได้แก่ รองเท้าฟองน้ำ สก๊อตซ์ไบรต์ และฟองน้ำสังเคราะห์ พบว่าประสิทธิภาพกำจัดแอมโมเนียมเท่ากับ 99.44±6.16, 99.27 ±2.13 และ 99.44 ±4.65 % ตามลำดับ และประสิทธิภาพกำจัดไนไตรท์เท่ากับ 99.89 ±.0.54, 98.81± 0.78 และ99.92 ±0.72 % ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ทางกายภาพโดยใช้ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มอนามม็อกสามารถยึดเกาะกับพื้นผิวตัวกลางได้ทุกชนิด ส่วนระยะที่ 3 ศึกษาหาความเร็วรอบที่เหมาะสมในการยึดเกาะของเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มอนามม็อกจากตัวกลางที่เหมาะสม ได้แก่ 60, 90 และ 120 รอบต่อนาที พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียมมีค่าเท่ากับ 99.15±3.78, 98.81±7.63 และ 98.69 ±6.25% ตามลำดับ และประสิทธิภาพการกำจัดไนไตรท์ มีค่าเท่ากับ 99.48 ±4.39, 99.31± 5.72 และ 99.82± 1.18% ตามลำดับ

ABSTRACT

This study was divided experiment into 3 phases. The first phase was study the cultivation anammox of culture of suspended growth and attached growth which did not fed synthetic wastewater for 34 days. The second phase was to study on the attached growth of anammox culture onto the surfaces of different media. And the last phase was study on the attached growth of anammox culture onto media in a sequencing batch reactor on different mixing rates. The cultivation

[1] ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพ 10900 ประเทศไทย

[1] Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok 1090

anammox culture of suspended growth and attached growth were not fed for 34 days that it found anammox culture suspended growth were black but light orange-red on attached growth. When synthetic wastewater fed into attached growth reactor for 1, 2 and 4 months were nitrogen removal efficiencies were 75.76%, 84.39% and 94.29 % respectively. The second phase was study suitable on the attachment of an anammox culture to the 3 types of media: rubber slippers, scotch brite, and polystyrene sponge, The results were found that the ammonia removal efficiencies were 99.44±6.16, 99.27 ±2.13 and 99.44 ±4.65 % respectively. Nitrate removal efficiencies were 99.89 ±.0.54, 98.81± 0.78 and 99.92 ±0.72 %respectively. Scanning electron microscopes of anammox culture in sequencing batch reactor that anammox culture could attached with all media. The three phase was study suitable on mixing rates in attached growth of anammox culture at 60, 90 and 120 rpm. The ammonium removal efficiencies were 99.15±3.78, 98.81±7.63 and 98.69 ±6.25% respectively. The nitrite removal efficiencies were 99.48 ±4.39, 99.31± 5.72 and 99.82± 1.18% respectively.

Key Word : anammox culture, nitrogen removal, sequencing batch reactor (SBR)

E-mail address : bacchic_me_zeus@hotmail.com

คำนำ

กระบวนการกำจัดไนโตรเจนที่ใช้กันทั่วไป คือ กระบวนการทางชีววิทยาไนตริฟิเคชัน/ดีไนตริฟิเคชัน อย่างไรก็ตามในการบำบัดน้ำเสียขั้นที่สองมีแอมโมเนียมในปริมาณสูงแต่มีปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนต่ำ เมื่อนำมากำจัดด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน/ดีไนตริฟิเคชัน ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนไม่เพียงพอจึงต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นในการเติมอากาศและสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอกเข้าไปในระบบ แต่ในปัจจุบันได้มีการใช้กระบวนการกำจัดไนโตรเจนแบบไม่ใช้ออกซิเจนโดยกลุ่มจุลินทรีย์แบบออโตโทรปแทน ซึ่งกระบวนการนี้สามารถเปลี่ยนแอมโมเนียมเป็นไนโตรเจนก๊าซได้โดยใช้ไนไตรท์เป็นสารรับอิเล็กตรอนและใช้แอมโมเนียมเป็นสารให้อิเล็กตรอนซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า กระบวนการอนาม็อก Anaerobic Ammonium Oxidation (ANAMMOX) (Mulder *et al.,* 1995) โดยที่กระบวนการนี้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการเติมสารอินทรีย์และลดค่าใช้จ่ายในการเติมอากาศเพื่อเปลี่ยนไนไตรต์เป็นไนเตรทได้ด้วย แต่ข้อเสียของกระบวนการอนาม็อก คือ จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้มีอัตราการเติบโตช้ามาก จึงต้องใช้ระยะเวลานานในการเริ่มเดินระบบ (พงศ์ศักดิ์, 2554; Jetten *et al.*, 1997) ดังนั้นการเก็บตะกอนในระบบจึงมีความสำคัญควรมีการผสมตะกอนทั้งใหม่และเก่าให้เข้ากัน ระบบที่นิยมมาใช้ในการศึกษากระบวนการอนาม็อกค่อนข้างมาก คือระบบเอสบีอาร์ (Sequening Batch Reactor, SBR) (Strous *et al.*, 1998; Fux, 2003) และ ไบโอฟิลม์ (Biofilm Reactor) Depena-Mora *et al.* (2004)

อุปกรณ์ และวิธีการ

การศึกษาการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มอนาม็อกแบบเติบโตแขวนลอยและแบบมีตัวกลางยึดเกาะ เมื่อหยุดการป้อนน้ำเสียสังเคราะห์เข้าสู่ระบบเป็นเวลา 34 วัน

นำเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มอนาม็อกที่เพาะเลี้ยงไว้แล้วทั้งแบบเติบโตแขวนลอยและแบบมีตัวกลางยึดเกาะมาป้อนด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีแอมโมเนียมซัลเฟต ($(NH_4)_2SO_4$) และโซเดียมไนไตรท์($NaNO_2$) เป็นสารอาหารหลัก ในถังปฏิกรณ์ซีเควนซิ่งแบตซ์ที่มีปริมาตรความจุการทำงาน 4 ลิตร โดยกำหนดให้ 1 วัฏจักร เท่ากับ 48 ชั่วโมง ซึ่งประกอบด้วยช่วงเติมน้ำเสียเข้า ปริมาตร 2 ลิตร นาน 20 นาที ปล่อยให้ระบบทำปฏิกิริยา 47 ชั่วโมง ปล่อยให้ตกตะกอน 30 นาที และระบายน้ำออกปริมาตร 2 ลิตร ใช้เวลา 10 นาที โดยในช่วงเติมน้ำเข้า และช่วงก่อนระบายน้ำออก จะทำการเป่าก๊าซอาร์กอนผสม (อาร์กอน 95% และ คาร์บอนไดออกไซด์ 5%) โดยตลอดเพื่อกำจัดและป้องกันออกซิเจนไม่ให้เข้ามาภายในถังปฏิกรณ์ และหยุดการป้อนน้ำเสียสังเคราะห์เข้าสู่ระบบเป็นเวลา 34 วัน วิเคราะห์หาค่าแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรตใช้วิธีวิเคราะห์ตามมาตรฐานอเมริกา (APHA/AWWA/WEF, 2005) ของตัวอย่างน้ำเข้าและออกจากถังปฏิกรณ์ หลังจากป้อนน้ำเสียสังเคราะห์เข้าสู่ระบบที่ 1, 2 และ 4 เดือน

การศึกษาหาตัวกลางที่เหมาะสมในการยึดเกาะของเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มอนาม็อก

นำเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มอนาม็อกแบบเติบโตแขวนลอยมาทำการเพาะเลี้ยงในถังปฏิกรณ์ซีเควนซิ่งแบตซ์ ที่มีปริมาตรความจุการทำงาน 1 ลิตร สภาวะการทดลองเช่นเดียวกับระยะที่ 1และเติมตัวกลางซึ่งได้แก่ รองเท้าฟองน้ำ สก๊อตช์ไบรต์ และฟองน้ำสังเคราะห์ ปริมาณ 200 ชิ้น (ทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแต่ละชิ้นมี ขนาด 0.5 ลบ.ซม.) ลงไปในถังปฏิกรณ์แบบซีเควนซิงแบตซ์แต่ละถังปฏิกรณ์ซีเควนซิ่งแบตซ์ เพื่อใช้เป็นแกนกลางให้เชื้อจุลินทรีย์กลุ่มอนาม็อกยึดเกาะ วิเคราะห์หาค่าแอมโมเนีย ไนไตรท์ และ ไนเตรต ใช้วิธีวิเคราะห์ตามมาตรฐานอเมริกา (APHA/AWWA/WEF, 2005) ของตัวอย่างน้ำเข้าและออกจากถังปฏิกรณ์ และศึกษารูปแบบการเกาะตัวของเชื้ออนาม็อกบนตัวกลางชนิดต่าง ๆ โดยใช้ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

การศึกษาความเร็วรอบในการกวนผสมต่อการยึดเกาะของเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มอนาม็อกในถังปฏิกรณ์ซีเควนซิ่งแบตซ์

นำเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มอนาม็อกแบบเติบโตแขวนลอยมาทำการเพาะเลี้ยงในแต่ละถังปฏิกรณ์ซีเควนซิ่งแบตซ์ที่มีความเร็วรอบในการกวนผสมที่ 60, 90 และ 120 รอบต่อนาที และเติมตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ (ผลจากการทดลองระยะที่ 2) เติมลงไปเพื่อใช้เป็นแกนกลางให้จุลินทรีย์มีที่ยึดเกาะ วิเคราะห์หาค่าแอมโมเนียไนไตรท์ และ ไนเตรตใช้วิธีวิเคราะห์ตามมาตรฐานอเมริกา (APHA/AWWA/WEF, 2005) ของตัวอย่างน้ำเข้าและออกจากถังปฏิกรณ์

ผลการทดลองและวิจารณ์

การศึกษาการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มอนาม็อกแบบเติบโตแขวนลอยและแบบมีตัวกลางยึดเกาะ เมื่อหยุดการป้อนน้ำเสียสังเคราะห์เข้าสู่ระบบเป็นเวลา 34 วัน

จากการศึกษาการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มอนาม็อกแบบเติบโตแขวนลอยและแบบมีตัวกลางยึดเกาะ เมื่อหยุดการป้อนน้ำเสียสังเคราะห์เข้าสู่ระบบเป็นเวลา 34 วัน ผลจากการศึกษาทางกายภาพ พบว่าถังปฏิกรณ์ที่เลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มอนาม็อกแบบเติบโตแขวนลอย เชื้อมีลักษณะเป็นตะกอนสีดำสันนิษฐานว่าเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มอนาม็อกตายทั้งหมด เนื่องจากหลังการป้อนน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีแอมโมเนียมซัลเฟต ($(NH_4)_2SO_4$) และโซเดียมไนไตรท์($NaNO_2$) เป็นสารอาหารหลักเข้าสู่ระบบ ค่าแอมโมเนียมและไนไตรท์ของตัวอย่างน้ำเข้าและตัวอย่างน้ำออกจากถังปฏิกรณ์มีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนปฏิกรณ์ที่เลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มอนาม็อกแบบมีตัวกลางยึดเกาะเชื้อมีลักษณะสีส้มแดงซีด และจากการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของระบบหลังจากป้อนน้ำเสียสังเคราะห์เข้าสู่ระบบที่ 1, 2 และ 4 เดือน มีค่าเท่ากับ 75.76%, 84.39% และ 94.29 % ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าในช่วง1 และ2 เดือน เป็นช่วงปรับตัวของระบบ ระบบจึงมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนต่ำ แต่เมื่อเวลาผ่านไประบบเข้าสู่ตามสภาวะระบบจึงมีประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนสูงสุด

การศึกษาการเกาะตัวของจุลินทรีย์กลุ่มอนาม็อกบนตัวกลางชนิดต่าง ๆ

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนของถังปฏิกรณ์ที่เติมตัวกลางรองเท้าฟองน้ำ สก๊อตช์ไบรต์ และฟองน้ำสังเคราะห์ พบว่าในทุกถังปฏิกรณ์ที่เติมตัวกลางมีประสิทธิภาพกำจัดแอมโมเนียมเท่ากับ 99.44$\pm$6.16, 99.27 $\pm$2.13 และ 99.44 $\pm$4.65 % ตามลำดับ (Figure 1) และประสิทธิภาพกำจัดไนไตรท์เท่ากับ 99.89 $\pm$.0.54, 98.81$\pm$ 0.78 และ99.92 $\pm$0.72 % ตามลำดับ (Figure 2) จากผลการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียมและไนไตรท์สูงถึง 98% ซึ่งมากกว่าประสิทธิภาพของปฏิกิริยาการกำจัดไนโตรเจนสูงสุดของอนาม็อกตามทฤษฎี 89% (Strous *et al.*, 1999) เนื่องจากเชื้ออนาม็อกเกาะรวมเป็นเม็ดตะกอนทำให้ลดการชะออกจากถังปฏิกรณ์ ส่งผลให้อายุตะกอนมากขึ้น และประสิทธิภาพของระบบก็สูงขึ้น (Tsushima *et al.*, 2007)

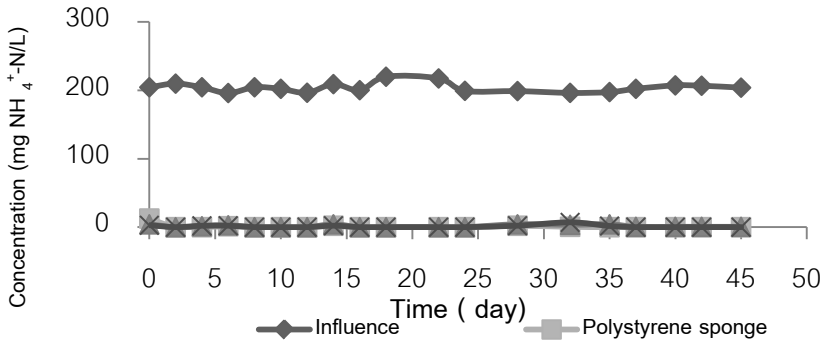

Figure 1 The influent and effluent ammonia (NH_4^+-N) concentration

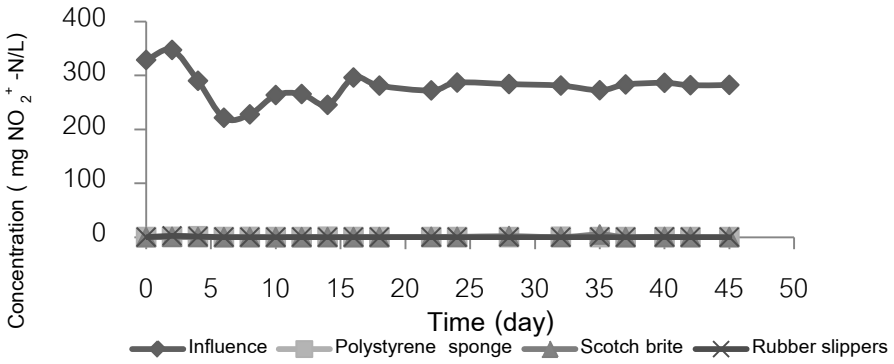

Figure 2 The influent and effluent nitrate (NO_2^--N) concentration

นอกจากนี้ผลจากการใช้ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อดูรูปแบบการเกาะตัวบนพื้นผิวตัวกลางทั้ง 3 ชนิดได้แก่ รองเท้าฟองน้ำ สก๊อตช์ไบรต์ และฟองน้ำ ดังแสดงในภาพ (Figure 3) จะเห็นได้ว่าพื้นผิวของรองเท้าฟองน้ำมีลักษณะเป็นรูพรุนขนาดเล็กๆ จำนวนมาก แต่พื้นผิวของสก๊อตช์ไบรต์มีลักษณะเป็นเส้นใยขรุขระไม่เรียบเสมอกัน ส่วนฟองน้ำจะมีลักษณะเป็นรูพรุนขนาดใหญ่คล้ายโพรงผึ้ง และเมื่อวิเคราะห์ภาพถ่ายหลังจากที่มีเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มอนาม็อกเกาะติดบนตัวกลางแล้วพบว่าเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มอนาม็อกสามารถเกาะติดอยู่บนพื้นผิวของตัวกลางได้ทุกชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวกลางฟองน้ำ โดยเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มอนาม็อกจะเข้าไปเกาะติดอยู่ภายในรูพรุนขนาดใหญ่ของฟองน้ำทั่วทั้งพื้นที่

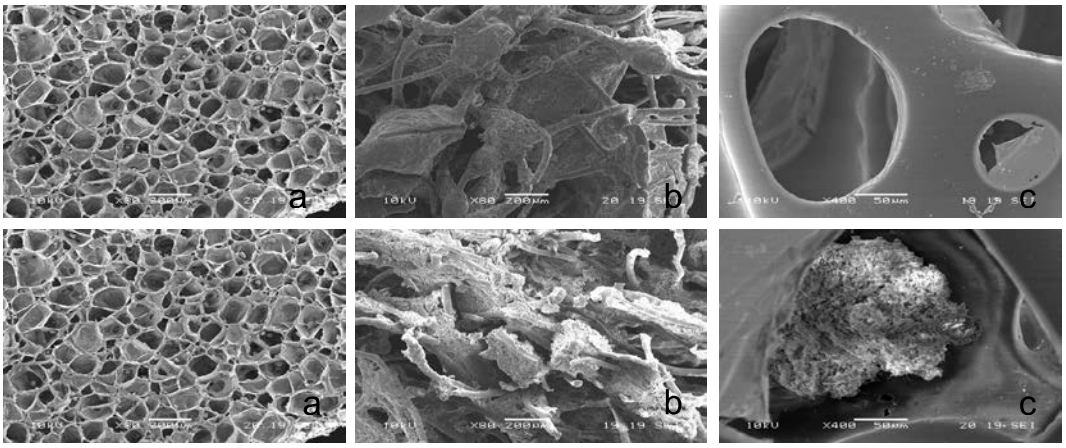

Figure 3 Scanning electron microscopes of ANAMMOX granule in reactor SBR 1 (Rubber slippers) (a), R2 (Scotch brite) (b) and R 3 (Polystyrene sponge) (c) before and after experiment.

การศึกษาความเร็วรอบในการกวนผสมต่อการยึดเกาะของเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มอนาม็อกในถังปฏิกรณ์ซีเควนซิ่งแบตซ์

จากการศึกษาความเร็วรอบในการกวนผสมต่อการยึดเกาะตัวของเชื้ออนาม็อกบนตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ที่มีความเร็วรอบในการกวนผสมที่ 60, 90 และ 120 รอบต่อนาที พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียมมีค่าเท่ากับ 99.15±3.78, 98.81±7.63 และ 98.69 ±6.25% ตามลำดับ และประสิทธิภาพการกำจัดไนไตรท์ มีค่าเท่ากับ 99.48 ±4.39, 99.31± 5.72 และ 99.82± 1.18% ตามลำดับ จากการทดลองแสดงให้เห็น

ว่าเมื่อค่าความเร็วรอบในการกวนผสมในช่วง 60-120 รอบต่อนาทีไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Arrojo *et al.* (2006) ที่กล่าวว่ากระบวนการอนาม็อกจะเกิดได้ดีที่สุด ถ้ามีค่า specific input power อยู่ระหว่าง 0.003 – 0.09kW/m3 (หรือที่อัตราการกวนผสมเท่ากับ 60 -180 รอบต่อนาที)

สรุป

การศึกษาการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มอนาม็อกแบบเติบโตแขวนลอยและแบบมีตัวกลางยึดเกาะ เมื่อหยุดการป้อนน้ำเสียสังเคราะห์เข้าสู่ระบบเป็นเวลา 34 วัน พบว่าเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มอนาม็อกแบบเติบโตแขวนลอยเชื้อตายทั้งหมด ส่วนเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มอนาม็อกแบบมีตัวกลางยึดเกาะเชื้อยังมีชีวิตรอด และประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนของระบบหลังจากป้อนน้ำเสียสังเคราะห์เข้าสู่ระบบที่ 1, 2 และ 4 เดือน มีค่าเท่ากับ 75.76%, 84.39% และ 94.29 % ตามลำดับ

การศึกษาการเกาะตัวของจุลินทรีย์กลุ่มอนาม็อกบนตัวกลางชนิดต่างๆ พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในของตัวกลางรองเท้าฟองน้ำ สก๊อตซ์ไบรต์ และฟองน้ำมีค่ามากกว่า 98% แต่จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าเชื้ออนาม็อกสามารถเกาะติดกับพื้นผิวตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ได้ดีที่สุด

การศึกษาความเร็วรอบในการกวนผสมต่อการยึดเกาะของเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มอนาม็อกในถังปฏิกรณ์ซีเควนซิ่งแบตซ์ พบว่า ความเร็วรอบในการกวนผสมที่ 60, 90 และ 120 รอบต่อนาที ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียมและไนไตรท์ มีค่ามากกว่า 98% และเชื้ออนาม๊อกซ์สามารถเกาะติดกับตัวกลางได้ทุกความเร็วรอบ

เอกสารอ้างอิง

พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์. 2554. ระบบบำบัดน้ำเสียขนาดเล็กและบำบัดแบบติดกับที่. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

APHA, AWWA and WEF. 2005. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 21 ed. American Public Health Association, Washington, DC., USA.

Arrojo, B., A. Mosquera-Corral, J.L. Campos and R. Mendez. 2006. Effects of mechanical stresson anammox granules in a sequencing batch reactor (SBR). **J. Biotechnol.** (123): 453-463.

Depenna-Mora, A. B. Arrojo, J.L. Campos, A. Mosquera-Corral and R. Mendez. 2004. Improvement of the settling properties of Anammox sludge in an SBR. **J. Chem. Technol. Biotechnol.** 79: 1417 – 1420.

Fernandez, I., J.R. Padin, A.M. Corral, J.L. Campos and R. Mendez. 2008. Biofilm and granular systems to improve Anammox biomass retention. **Biochem. Eng. J.** 42: 308-313.

Jetten, M.S.M., S. Hom and M.C.M. van Loosdrecht. 1997. Towards a more sustainable municipal wastewater treatment system. **Water Sci. Technol.** 35 (9): 171-180.

Jetten, M. S. M., M. Strous, K.T. van de Ps-Schoonen, J. Schalk, U.G.J.M. van Dongen, A.A. van de Graaf, S. Logemann, G. Muyzer, M.C.M. van Loosdrecht and J.G. Kuenen. 1999. The anaerobic oxidation of ammonium. **FEMS Microbiol. Rev.** 22 (5): 421-437.

Jetten, M.S.M., M. Wagner, J. Fuerst, M.C.M. van Loosdrecht, G.J. Kuenen and M.Strous. 2001. Microbiology and application of the anaerobic ammonium oxidation (anammox) process. **Curr Opin Biotech.** 12: 283-288.

Mulder A., A.A. van de Graaf, L.A. Robertson and J.G. Kuenen. 1995. Anaerobic ammonium oxidation discovered in a denitrifying fluidized bed reactor. **FEMS Microbiol. Ecol.** 16: 177-184

Strous, M., E. van Gerven, P. Zheng, J.G. Kuenen and M.S.M. Jetten. 1997b. Ammonium removal from concentrated waste streams with the anaerobic ammonium oxidation (Anammox) process in different reactor configurations. **Water Res.** 31 (8): 1955 - 1962.

Strous, M., J.J. Heijnen, J.G. Kuenen and M.S.M. Jetten. 1998. The sequenceing batch reactor as a powerful tool for the study of slowly growing anaerobic ammonium- oxidizing microorganisms. **Appl Microbiol. Biotechnol.** 50: 589-596.

Strous, M., J. G. Kuenen and M.S.M. Jetten. 1999. Key physiology of anaerobic ammomium oxidation. **Appl. Environ. Microbiol.** 65: 3248-3250.

Tsushima, I., Y. Ogasawara, T. Kindaichi, H. Satoh and S. Okabe. 2007. Development of high-rate anaerobic ammonium-oxidizing (anammox) biofilm reactors. **Water Res.** 41 (8): 1623-1634.