

ผลของอะซิเตตต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนด้วยกระบวนการอนาม็อกในถังปฏิกรณ์  
แบบซีเควนซึ่งแบคทีเรียที่มีตัวกลางสัมผัส

Effects of Acetate on Nitrogen Removal Efficiency by ANAMMOX Process in Sequencing  
Batch Reactor with Attached Growth

แสงดาว แสงสุวรรณ<sup>1</sup> สัญญา สิริวิทยาปกรณ<sup>1</sup> และ พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์<sup>1</sup>

Saengdao Saengsuwan<sup>1</sup>, Sanya Sirivithayapakorn<sup>1</sup> and Pongsak Noopan<sup>1</sup>

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของอินทรีย์คาร์บอนต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของกระบวนการอนาม็อกเมื่อมีตัวกลางยึดเกาะ ซึ่งอินทรีย์คาร์บอนที่ใช้ในการวิจัยนี้คือ อะซิเตต การทดลองทำในถังปฏิกรณ์แบบแอนแอโรบิกเอสปีอาร์ และใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีอัตราส่วนของแอมโมเนียต่อไนโตรเจน 1:1.3 การทดลองแบ่งออกเป็นการศึกษาผลกระทบระยะสั้น โดยเติมอะซิเตตลงในระบบให้มีความเข้มข้น 0.25 และ 0.5 มิลลิโมล เก็บตัวอย่างทุกชั่วโมงเป็นเวลา 6 ชั่วโมง และการศึกษาผลกระทบระยะยาว โดยเติมอะซิเตตให้มีความเข้มข้นในระบบ 0.25 มิลลิโมล เป็นระยะเวลา 90 วัน จากผลการทดลองผลกระทบระยะสั้นพบว่าที่ความเข้มข้น 0.25 มิลลิโมลมีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียก่อนและหลังเติมอะซิเตตเฉลี่ยร้อยละ 94.14 และ 94.38 ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนก่อนและหลังเติมอะซิเตตเฉลี่ยร้อยละ 95.42 และ 96.09 ตามลำดับและที่ความเข้มข้น 0.5 มิลลิโมลมีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียก่อนและหลังเติมอะซิเตตเฉลี่ยร้อยละ 87.68 และ 93.09 ตามลำดับ และประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนก่อนและหลังเติมอะซิเตตเฉลี่ยร้อยละ 90.37 และ 92.51 ตามลำดับ สำหรับผลการทดลองในระยะยาว พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน (แอมโมเนียไนโตรเจน และ ไนโตรที่ไนโตรเจน) ของจุลินทรีย์อนาม็อกลดลงหลังจากเติมอะซิเตตเป็นเวลา 10 วัน สรุปได้ว่าอะซิเตตไม่มีผลต่อจุลินทรีย์อนาม็อกที่มีตัวกลางยึดเกาะในระยะสั้น แต่เมื่อได้รับเป็นระยะเวลานานทำให้จุลินทรีย์อนาม็อกที่มีตัวกลางยึดเกาะเปลี่ยนแปลงไป ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจน (แอมโมเนียไนโตรเจน และ ไนโตรที่ไนโตรเจน) ลดลง

ABSTRACT

The objective of this research was to study the effect of organic carbon on the efficiency of nitrogen removal of Anaerobic Ammonium Oxidation (ANAMMOX) with attached growth the organic carbon was acetate. The experiment was conducted in sequencing batch reactor (SBR). The synthetic water was the ratio of ammonium:nitrite 1:1.3. This research was divided into two parts : short term effect and long term effect. The effect short term addition of acetate to the system, the concentration of 0.25 and 0.5 mM, and samples were collected every hour for 6 hours and long-term effects

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900 ประเทศไทย

<sup>1</sup> Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900

addition of acetate to a concentration of 0.25 mM in the system for a period of 90 days. The result of short term effects. At the concentration of 0.25 mmol of acetate ammonium removal efficiencies before and after addition of acetate were 94.14% and 94.38% respectively and nitrite removal efficiencies before and after addition of acetate were 95.42% and 96.09% respectively. At the acetate concentration of 0.5 mmol ammonium removal efficiencies before and after addition of acetate were 87.68% and 93.09% respectively and nitrite removal efficiencies before and after addition of acetate were 90.37% and 92.51% respectively. Results of long term effects of concentration of acetate 0.25 mmol showed that nitrogen (ammonium nitrogen and nitrite nitrogen) removal efficiencies were decreased after addition of acetate to 10 days. In conclusion, acetate had no effect on anammox bacteria with attached growth but long term effect anammox bacteria with attached growth changes and resulted in the removal efficiency of nitrogen (ammonium nitrogen and nitrite nitrogen) reduced.

Key Word : ANAMMOX Process, Acetate, Nitrogen removal

e-mail address : s.saengsuwan@gmail.com

## คำนำ

ปัจจุบันกระบวนการบำบัดน้ำเสียในประเทศไทยมุ่งเน้นในการบำบัดเฉพาะสารอินทรีย์ โดยคำนึงถึงการกำจัดไนโตรเจนน้อย ซึ่งยังส่งผลกระทบต่อสภาพแหล่งน้ำและสิ่งมีชีวิตในน้ำ ซึ่งกระบวนการกำจัดไนโตรเจนที่ใช้กันทั่วไป คือ กระบวนการทางชีวภาพ ถ้าน้ำเสียมีแอมโมเนียในปริมาณมาก แต่มีสารอินทรีย์ปริมาณต่ำ จำเป็นต้องเติมสารอินทรีย์คาร์บอนเข้าไปในระบบ ทำให้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง ในช่วงศตวรรษที่ 19 ได้ค้นพบการเปลี่ยนแอมโมเนียไปอยู่ในรูปก๊าซไนโตรเจนภายใต้สภาวะขาดแคลนออกซิเจน โดยไนโตรเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอน เพราะแอมโมเนียถูกออกซิไดซ์ภายใต้สภาวะที่ขาดแคลนออกซิเจนเรียกว่ากระบวนการอนาโมก (Anaerobic Ammonium Oxidation, ANAMMOX) (Mulder *et al.*, 1995) เป็นการลดค่าดำเนินการ และลดความต้องการในการใช้พลังงานได้ด้วย จุลินทรีย์อนาโมกได้แก่ *Nitrosomonas sp.*, *Candidatus Brocadia anammoxidans*, และ *Candidatus Kuenenia stuttgartiensis* ซึ่งจัดเป็นจุลินทรีย์ในกลุ่มออกโตโทรฟิกรักษาหน้าที่ลดไนโตรเจนและแอมโมเนีย แต่ยังมีคีโมลิโธออโตโทรฟ (chemolithoautotrophy) อื่นๆ อีกมากมายที่สามารถเติบโตโดยใช้การผสมผสานกันของแหล่งพลังงานและคาร์บอนที่แตกต่างกันเรียกจุลินทรีย์กลุ่มนี้ว่า มิกโซโทรฟ (mixotrophy) ซึ่งเป็นไปได้ว่าสามารถปรับเปลี่ยนระหว่าง ออกโตโทรฟ และ เฮเทอโรโทรฟ คุณสมบัตินี้ทำให้ มิกโซโทรฟ สามารถใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอนเพื่อเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต ในกรณีของ anammox ถือว่าคุณสมบัตินี้เป็นข้อได้เปรียบเพราะมีอัตราการเจริญเติบโตช้า ในงานวิจัยนี้จึงเพิ่มอินทรีย์คาร์บอนเข้าไปในระบบเพื่อศึกษาถึงอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์อนาโมกที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในกระบวนการอนาโมกเมื่อมีตัวกลางยึดเกาะ

## อุปกรณ์และวิธีการ

### ถังปฏิกรณ์

ถังปฏิกรณ์แบบแอนแอโรบิกเอสปีอาร์ เป็นถังที่ใช้ในการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งมีลักษณะเป็นถังแก้วใสทรงกระบอก มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 15 เซนติเมตร ปริมาตรทั้งหมดเท่ากับ 1.5 ลิตร ปริมาตรใช้

งานจริง 1 ลิตร จำนวน 2 ถัง และถังขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร ปริมาตรทั้งหมดเท่ากับ 3.5 ลิตร ปริมาตรใช้งานจริง 3 ลิตร จำนวน 1 ถัง ซึ่งทั้ง 3 ถังมีระบบใบกวน มีระบบดักก๊าซ และช่องเก็บตัวอย่าง (figure 1)

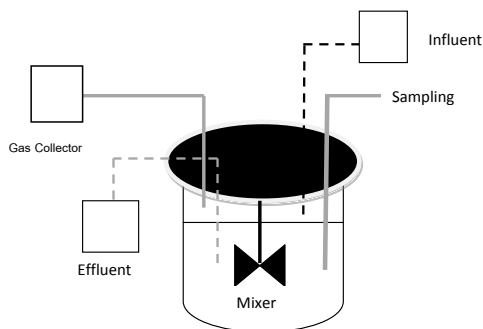


Figure 1: Show reactor for experiment

### น้ำเสียสังเคราะห์

ประกอบด้วยแอมโมเนียมและไนไตรท์เป็นหลัก ควบคุมอัตราส่วนของแอมโมเนียม (แอมโมเนียมซัลเฟต) ต่อไนไตรท์ (โซเดียมไนไตรท์) คงที่เท่ากับ 1:1.3 ตลอดจนการทดลอง ที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียม 210 มก.ไนโตรเจน/ลิตร และไนไตรท์ 273 มก.ไนโตรเจน/ลิตร เพื่อเป็นอาหารของจุลินทรีย์ในกลุ่มอนาโรบิก

### การศึกษาผลกระทบระยะสั้น

นำเชื้อจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตบนตัวกลางจาก Stock culture มาใส่ในถังแอนแอโรบิกซีควอนซิงค์แบบที่ ขนาด 1.5 ลิตร จำนวน 20 ชิ้นตัวกลาง และเติมน้ำเสียสังเคราะห์ 1 ลิตร ทำการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์จนสามารถทำงานได้คงตัว ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) ในถังปฏิกรณ์ที่บดแสง ใส่โซเดียมอะซิเตตพร้อมสารอาหาร โดยให้ความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตตในระบบเท่ากับ 0.25 และ 0.5 มิลลิโมลทำการทดลอง 2 ครั้ง ต่อความเข้มข้น เก็บตัวอย่างทุกชั่วโมงเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ แอมโมเนียม, ไนไตรท์, เอ็มแอลวีเอสเอส และ อะซิเตต เมื่อเสร็จการทดลองจึงทำการเปลี่ยนเชื้อจุลินทรีย์ เพื่อทดลองความเข้มข้นต่อไป

### ผลกระทบระยะยาว

นำเชื้อจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตบนตัวกลางจาก Stock culture มาใส่ในถังแอนแอโรบิกซีควอนซิงค์แบบที่ ขนาด 3.5 ลิตร จำนวน 30 ชิ้นตัวกลาง และเติมน้ำเสียสังเคราะห์ 3 ลิตร ทำการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์จนสามารถทำงานได้คงตัว ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) ในถังปฏิกรณ์ที่บดแสง ใส่โซเดียมอะซิเตตพร้อมสารอาหาร โดยให้ความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตตในระบบเท่ากับ 0.25 มิลลิโมล ทำการทดลอง 90 วันโดยทุกๆ วันที่ 10 ของการทดลอง ทำการเก็บตัวอย่าง โดยเก็บทุกชั่วโมงเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ แอมโมเนียม, ไนไตรท์และเอ็มแอลวีเอสเอส

### ผลการทดลอง

#### การศึกษาผลกระทบระยะสั้นของอะซิเตตที่มีต่อการกำจัดไนโตรเจนของจุลินทรีย์อนาม็อก

ผลกระทบระยะสั้นของอะซิเตตที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน ของกระบวนการอนาม็อกเมื่อมีตัวกลางยัดเกาะ โดยเติมอะซิเตตให้มีความเข้มข้นในระบบ 0.25 มิลลิโมลจะเห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียมและไนไตรท์ ก่อนและหลังเติมอะซิเตต มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมากโดยมีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียมทั้งก่อนและหลังการเติมอะซิเตตโดยเฉลี่ยร้อยละ 94.14 และ 94.38 ตามลำดับ และประสิทธิภาพการกำจัดไนไตรท์ทั้งก่อนและหลังการเติมอะซิเตตโดยเฉลี่ยร้อยละ 95.42 และ 96.09 ตามลำดับ โดยอะซิเตตถูกจุลินทรีย์ใช้หมดในชั่วโมงที่ 3 (Figure 2 และ 3)

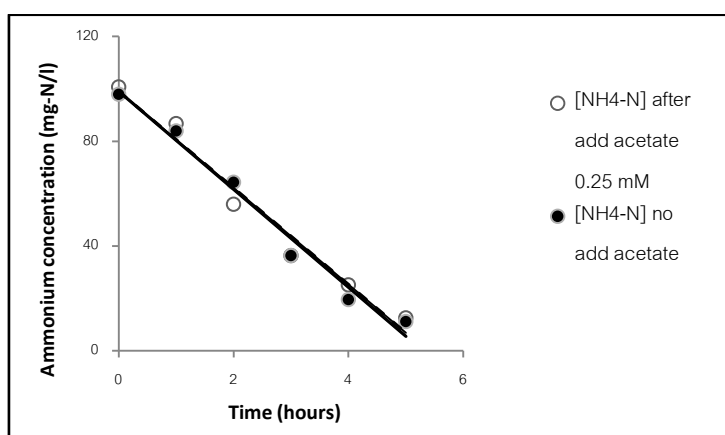


Figure 2: Ammonium concentration before and after addition 0.25 mM of acetate. (short term effects ).

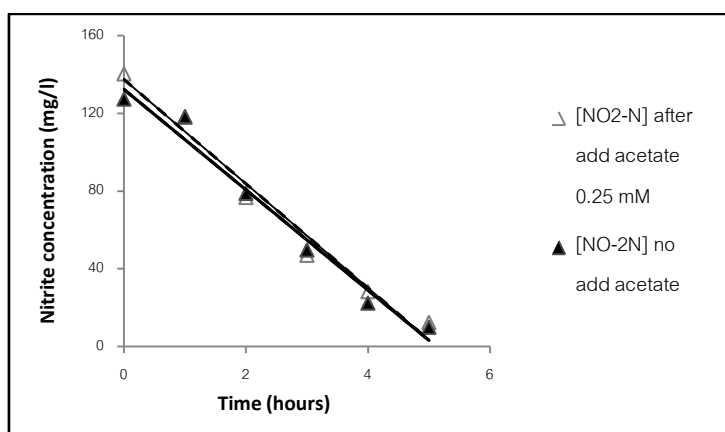


Figure 3: Nitrite concentration before and after addition 0.25 mM of acetate. (short term effects).

ผลกระทบระยะสั้นของอะซิเตตที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน ของกระบวนการอนาม็อกเมื่อมีตัวกลางยัดเกาะ โดยเติมอะซิเตตให้มีความเข้มข้นในระบบ 0.5 มิลลิโมลจะเห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียมและไนไตรท์ ก่อนและหลังเติมอะซิเตต มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันโดยมีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียมทั้งก่อนและหลังการเติมอะซิเตตโดยเฉลี่ยร้อยละ 87.68 และ 93.09 ตามลำดับและประสิทธิภาพ

การกำจัดไนโตรเจนทั้งก่อนและหลังการเติมอะซิเตดโดยเฉลี่ยร้อยละ 90.37 และ 92.51 ตามลำดับ โดยอะซิเตดถูกจุลินทรีย์ใช้หมดในชั่วโมงที่ 5 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Guvenet al (2005) ที่พบว่าอะซิเตดที่ความเข้มข้น 0.5 มิลลิโมลไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของจุลินทรีย์อื่นนอก (Figure 4 และ 5)

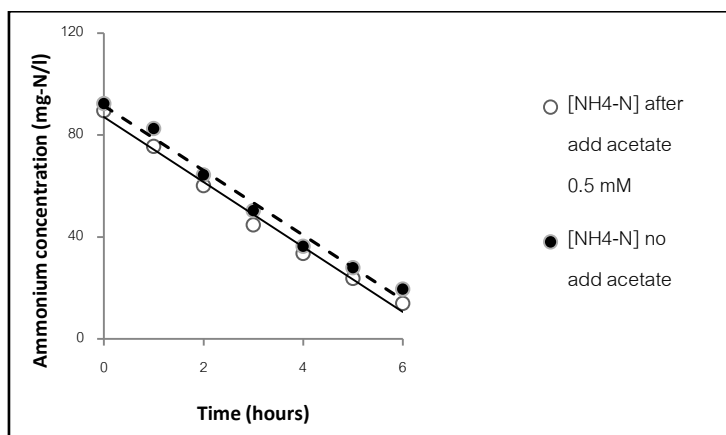


Figure 4: Ammonium concentration before and after addition 0.5 mM of acetate. (short term effects).

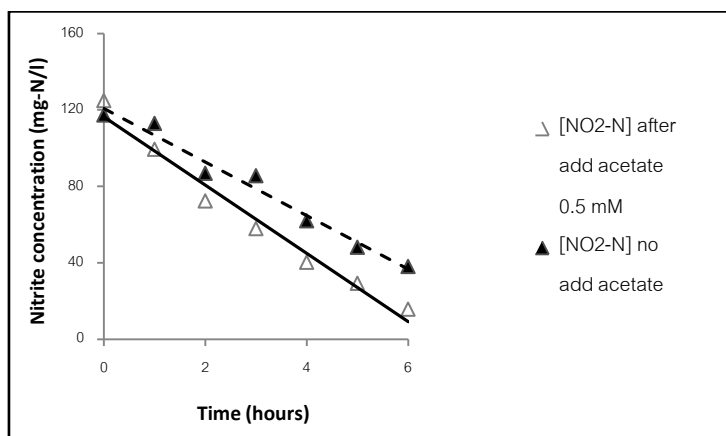


Figure 5: Nitrite concentration before and after addition 0.5 mM of acetate.(short term effects).

### การศึกษาผลกระทบระยะยาวของอะซิเตดที่มีต่อการกำจัดไนโตรเจนของจุลินทรีย์อื่นนอก

ผลกระทบระยะยาวของอะซิเตดที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน ของกระบวนการอนาโมฟิกเมื่อมีตัวกลางยัดเกาะ โดยเติมอะซิเตดให้มีความเข้มข้นในระบบ 0.25 มิลลิโมลเป็นเวลา 90 วัน ซึ่งจากกราฟประสิทธิภาพการกำจัดมีแนวโน้มลดลงหลังจากเติมอะซิเตดลงไปวัน 10 วัน (Figure 6 และ 7)

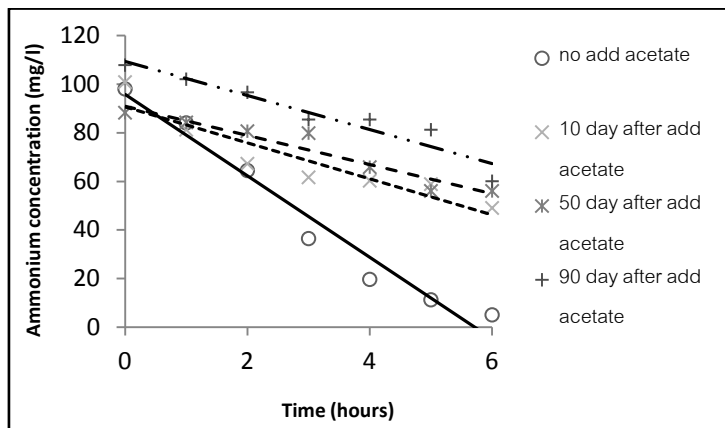


Figure 6: Ammonium concentration changes with time, Addition 0.25 mM of acetate.

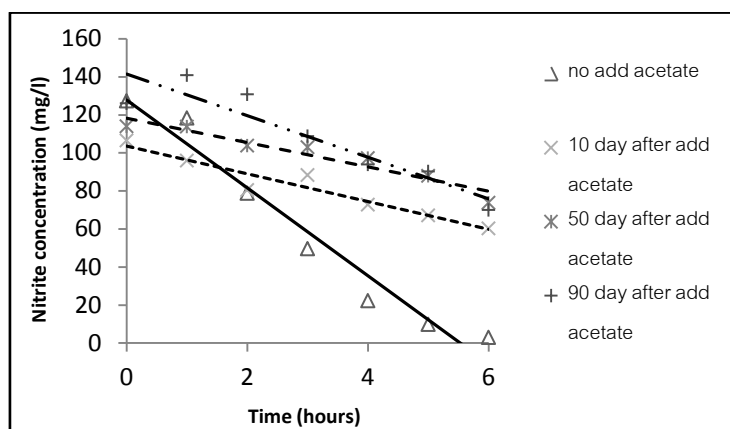


Figure 7: Nitrite concentration changes with time, Addition 0.25 mM of acetate.

### สรุป

จากผลการทดลองในส่วนของผลกระทบบระยะสั้นเมื่อมีการเติมอะซิเตตเข้าไปให้มีความเข้มข้นในระบบ 0.25 และ 0.5 มิลลิโมล จะเห็นว่าหลังจากเติมอะซิเตตลงไปในระบบจุลินทรีย์อนาม็อกที่มีตัวกลางยึดเกาะสามารถกำจัดไนโตรเจนได้ใกล้เคียงกับการไม่เติมอะซิเตต สรุปได้ว่าอินทรีย์คาร์บอนไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของกระบวนการอนาม็อกในระยะสั้น ส่วนผลกระทบบระยะยาวเมื่อมีการเติมอะซิเตตลงไปในระบบให้มีความเข้มข้น 0.25 มิลลิโมล เป็นเวลา 90 วัน พบว่าหลังจากวันที่ 10 มีประสิทธิภาพการกำจัดช้าลง และจากการสังเกตหลังการทดลองพบว่าจุลินทรีย์อนาม็อกที่มีตัวกลางยึดเกาะในถังปฏิกรณ์มีสีซีดลง แสดงว่าการได้รับอินทรีย์คาร์บอนในระยะเวลานานที่ความเข้มข้นต่ำๆ เป็นการไปยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์อนาม็อกที่มีตัวกลางยึดเกาะ ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนลดลงอย่างมาก

### เอกสารอ้างอิง

กุลยา สารชีวิน, สัณญา สิริวิทยาปกรณ, มงคล ดำรงค์ศรี, สมเกียรติ เตชกาญจนรักษ์, เฉลิมราช วันทวิน และ พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์ 2554. การกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียด้วยการบำบัดทางชีวภาพโดยกระบวนการ

**อนามีนอก:** การทบทวนเอกสาร. วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย 25(1): 85-104.

- Guven, D., A. Dapena, B. Kartal, M.C. Schmid, B. Maas, K. van de Pas-Schoonen, S. Sozen, R. Mendez, H.J.M. Op den Camp, M.S.M. Jetten, M. Strous and I. Schmidt. 2005. Propionate Oxidation by and Methanol Inhibition of Anaerobic Ammonium-Oxidizing Bacteria. **Applied and Environmental Microbiology** 71 (2): 1066–1071.
- Mulder A., van de Graaf A.A., Robertson L.A., Kuenen J.G. 1995. Anaerobic ammonium oxidation discovered in a denitrifying fluidized bed reactor. **FEMS Microbiol. Ecol.** 16: 177-184
- Hanel, K. 1988. Biological treatment of sewage by the activated sludge process. Ellis Horwood Limited, Chichester. 718p.
- Isaacs, S.H. and M. Henze. 1994. Controlled carbon source addition to an alternating nitrification-denitrification wastewater treatment process including biological p removal. **Water Research**. 29(1): 77-89.
- 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 Pas-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.
- Kuenen, J. G., and M. S. Jetten. 2001 Extraordinary anaerobic ammonium oxidizing bacteria. **ASM News** 67: 456-463.