doi:10.4186/ejth.2011.3.2.69

ผลของอัตราภาระสารอินทรีย์ต่อสมรรถนะของระบบแอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบดที่ใช้เม็ดยางเป็นวัสดุตัวกลาง

พัชรียา รุ่งกิจวัฒนานุกูล, วิบูลย์ลักษณ์ พึ่งรัศมี และ ชัยพร ภู่ประเสริฐ*

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ ประเทศไทย 10330

E-mail : nongpatcha@hotmail.com, wiboonluk.p@chula.ac.th, fencpp@eng.chula.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้เม็ดยางที่ผลิตจากเศษยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว เพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุตัวกลางในระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบด โดยบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมจากซูโครสให้มีค่าซีโอดีประมาณ 2,500 5,000 7,500 และ 10,000 มก./ล. (เทียบเท่ากับอัตราภาระสารอินทรีย์ 5 10 15 และ 20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน) และควบคุมระยะเวลากักน้ำคงที่ที่ 12 ชม. เพื่อหาประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและการเกิดก๊าซชีวภาพ จากการทดลองพบว่า ระบบมีสมรรถนะที่ดีในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ทั้งในแง่ของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและ มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพสูง โดยที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 5 10 15 และ 20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีประมาณร้อยละ 78 95 98 และ 95 และมีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ 0.60 0.61 0.62 และ 0.60 ล./ก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด ตามลำดับ นั่นคือที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 15 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระบบมีประสิทธิภาพกำจัดซีโอดีและการเกิดก๊าซชีวภาพสูงสุด โดยมีร้อยละของมีเทนในก๊าซชีวภาพเท่ากับ 55.30 สอดคล้องกับผลการศึกษาชนิดของจุลินทรีย์บนเม็ดตัวกลางด้วยเทคนิค Fluorescent In Situ Hybridization (FISH) ที่พบปริมาณอาร์เคียมากกว่าแบคทีเรียอย่างชัดเจน

คำสืบค้น

แอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบด, อัตราภาระสารอินทรีย์, การบำบัดน้ำเสีย, เม็ดยาง

doi:10.4186/ejth.2011.3.2.69

Effect of Organic Loading Rate on Performance of Anaerobic Fluidized Bed using Rubber Granule as a Media

Phatchariya Rungkitwatananukul, Wiboonluk Pungrasmi and Chiyaporn Puprasert*

Department of Environmental Engineering,
Faculty of Engineering, Chulalongkorn University,
Bangkok, Thailand 10330
E-mail: nongpatcha@hotmail.com, wiboonluk.p@chula.ac.th, fencpp@eng.chula.ac.th*

ABSTRACT

This research investigated the use of crumb rubber as a media in the Anaerobic Fluidized Bed (AFB) process for treating synthetic wastewater. The synthetic wastewater was prepared from tap water using sucrose as carbon source with sufficient nutrients. High COD concentration about 2,500, 5,000, 7,500, and 10,000 mg/l, which equal to 5, 10, 15, and 20 kg COD/m3-d organic loading rates (OLRs) respectively, were fed into a 12 hr hydraulic retention time anaerobic fluidized bed reactor. The efficiencies of COD removal and biogas production were investigated. For the OLRs 5, 10, 15 and 20 kg COD/m3-d, the average COD removal were 78, 95, 98, and 95%, respectively ; whereas the biogas production was approximately 0.60, 0.61, 0.62, and 0.60 l/g.COD removed, respectively. For the organic loading rate of 15 kg COD/m3-day, the result indicated the highest COD removal and biogas production, which percentage of methane in the biogas was 55.30%. Moreover, Fluorescent In Situ Hybridization (FISH) results showed that the quantity of archaea adhered throughout the whole support materials was significantly greater than bacteria. These outcomes are consistent with the result of COD removal efficiencies and biogas production.

KEYWORDS

anaerobic fluidized bed, organic loading rate, wastewater treatment, Crumb rubber

doi:10.4186/ejth.2011.3.2.69

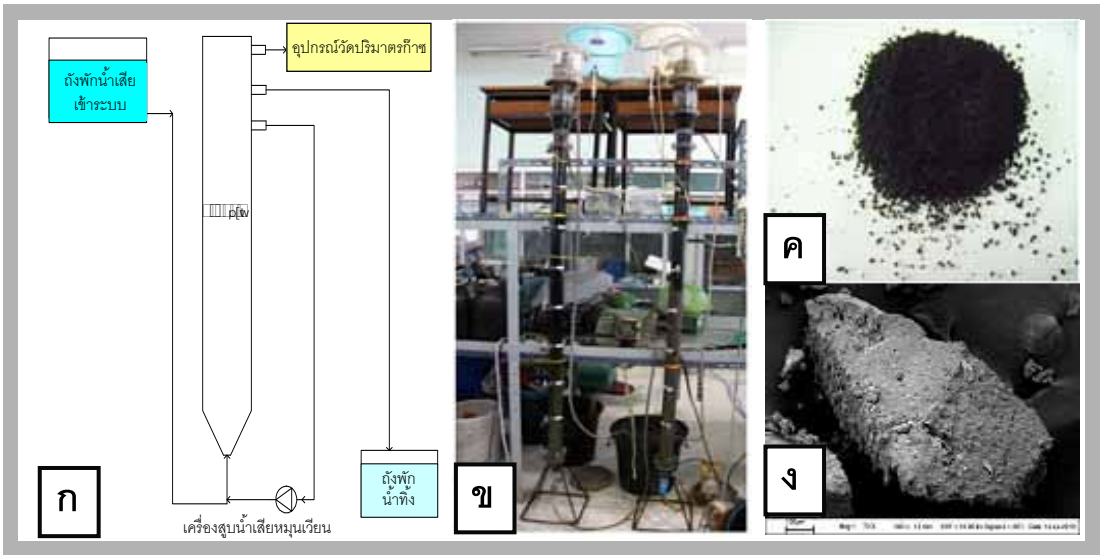
I. บทนำ

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบดได้ถูกนำมาใช้ในกระบวนการบำบัดทางชีวภาพสำหรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง เช่น น้ำเสียอุตสาหกรรม เนื่องจากมีข้อได้เปรียบหลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับระบบบำบัดแบบอื่นๆ เช่น สามารถรับอัตราภาระสารอินทรีย์สูงได้ มีระยะเวลากักน้ำสั้น และสามารถรักษาความเข้มข้นของมวลชีวภาพในระบบได้เป็นอย่างดี ซึ่งปัจจัยหลักที่มีความสำคัญต่อสมรรถนะของระบบบำบัดแบบแอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบด คือวัสดุตัวกลางที่เป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ในระบบ โดยจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีการนำวัสดุหลายชนิดมาใช้เป็นวัสดุตัวกลางในระบบแอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบด [1] ในอดีตนิยมใช้ทราย แต่เนื่องจากทรายเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักมาก จึงสิ้นเปลืองพลังงานสูงในการทำให้เกิดสภาวะฟลูอิดไดซ์ ดังนั้นวัสดุที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าจึงเป็นที่นิยมมากขึ้น เช่น ถ่านกัมมันต์ อะลูมินา และแอนทราไซท์ เป็นต้น โดยวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำจะต้องการอัตราการไหลของน้ำเสียในการทำให้เกิดสภาวะฟลูอิดไดซ์ที่ต่ำด้วยเช่นกัน [2] จึงช่วยให้ประหยัดพลังงานในการเดินระบบมากกว่าการใช้ทรายเป็นวัสดุตัวกลาง

ในงานวิจัยนี้ได้นำเม็ดยางที่ผลิตจากเศษยางรถยนต์ที่ใช้แล้วมาทดลองใช้เป็นวัสดุตัวกลางในระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบด เนื่องจากยางเป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำ และงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีการนำเม็ดยางมาใช้เป็นวัสดุตัวกลางทั้งในระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอโรบิกและแอนแอโรบิก ผลที่ได้คือเม็ดยางสามารถเข้ากันได้กับจุลินทรีย์ในระบบ ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดซีโอดี อีกทั้งยังสามารถเป็นเป้าสัมผัสให้จุลินทรีย์มาเกาะได้เป็นอย่างดีโดยไม่ถูกรบกวนการทำงาน [3] โดยประเด็นที่มุ่งเน้นการศึกษาคือความเป็นไปได้ในการนำเม็ดยางมาใช้เป็นวัสดุตัวกลางในระบบแอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบด และให้ความสำคัญกับประสิทธิภาพในแง่การกำจัดซีโอดีและการเกิดก๊าซชีวภาพ ภายใต้สภาวะที่ควบคุมให้มีระยะเวลากักน้ำในระบบคงที่ แต่ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นสารอินทรีย์เข้าระบบเพื่อให้ได้ค่าอัตราภาระสารอินทรีย์ที่แตกต่างกัน

II. อุปกรณ์และวิธีการ

ถังปฏิกรณ์แอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบด การเชื่อมต่อชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย และเม็ดยางที่ใช้เป็นวัสดุตัวกลางในระบบ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 (ก) การติดตั้งชุดถังปฏิกรณ์ (ข) ภาพถ่ายชุดถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง (ค) เม็ดยางที่ใช้เป็นวัสดุตัวกลาง และ (ง) ภาพถ่ายเม็ดยางที่กำลังขยาย 70 เท่า

doi:10.4186/ejth.2011.3.2.69

วัสดุอุปกรณ์และการเตรียมน้ำเสีย

ถังปฏิกรณ์แอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. สูง 1.6 ม. ตัวถังทำจากพลาสติกใสหนาประมาณ 5 มม. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองเตรียมขึ้นจากน้ำประปาโดยมีน้ำตาลทรายเป็นแหล่งสารอินทรีย์คาร์บอน และเติมธาตุอาหารต่างๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบ ทำการปรับอัตราส่วนซีโอดี : ไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส = 100 : 1.1 : 0.2 [4] ส่วนเม็ดยางที่ใช้เป็นวัสดุตัวกลางที่ผลิตจากเศษยางรถยนต์บดละเอียดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.43 มม. ความหนาแน่น 1.2 ก./ซม. และมีค่าสัมประสิทธิความสม่ำเสมอ (Uniformity coefficient) เท่ากับ 1.53

การเดินระบบการทดลอง

เริ่มต้นเดินระบบบำบัดแอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบดเพื่อให้จุลินทรีย์เติบโตบนเม็ดยางด้วยการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic filter) จากอาคารวิศวกรรมศาสตร์ 4 คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ลงในถังปฏิกรณ์ที่บรรจุเม็ดยางบดละเอียด เริ่มป้อนน้ำเสียเข้าระบบด้วยอัตราภาระสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นจาก 2.68 - 5.65 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน จนกระทั่งเข้าสู่สภาวะคงตัว โดยสังเกตได้จากประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพคงที่ ซึ่งใช้เวลาประมาณ 80 วัน จากนั้นเริ่มทำการทดลองโดยป้อนน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีแตกต่างกัน 4 ระดับ คือ ประมาณ 2,500 5,000 7,500 และ 10,000 มก./ล. เข้าสู่ถังปฏิกรณ์ 4 ถัง เพื่อให้ค่าอัตราภาระสารอินทรีย์เข้าระบบเป็น 5 10 15 และ 20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ภายใต้สภาวะที่ควบคุมให้มีระยะเวลากักน้ำที่เท่ากันที่ 12 ชม. และควบคุมค่าอัตราหมุนเวียนน้ำเสียประมาณ 10.7 ล./ชม. เพื่อให้ระบบอยู่ในสภาวะฟลูอิดไดซ์อย่างสมบูรณ์ตลอดเวลา และมีการขยายตัวของชั้นเบด 1.5 เท่า

การศึกษาชนิดและกลุ่มจุลินทรีย์บนวัสดุตัวกลาง

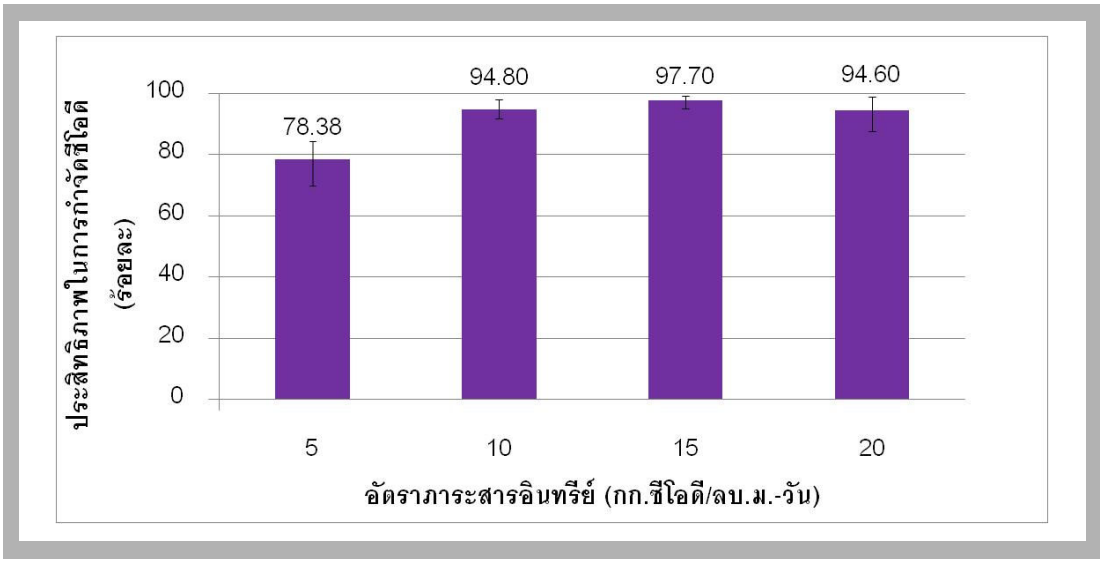
ศึกษาการเปลี่ยนแปลงชนิดและกลุ่มจุลินทรีย์บนเม็ดยางที่ใช้เป็นวัสดุตัวกลางในระบบแอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบดเมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่าอัตราภาระสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบ ด้วยการตรวจสอบโดยตรงภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope) และการใช้เทคนิค Fluorescent In Situ Hybridization โดยใช้โพรบที่จำเพาะต่อจุลินทรีย์ 2 กลุ่มคือ แบคทีเรียทั้งหมด (EUB-338-alaxus 488, GCTGCCTCCCGTAGGAGT) [5] และอาร์เคีย (ARC-915-Cy3, GTGCTCCCCCGCCAATTCCT) [6] ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก [7]

III. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่อัตราภาระสารอินทรีย์ต่างกัน

ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปสามารถประเมินได้จากความสามารถในการกำจัดซีโอดี โดยในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลของอัตราภาระสารอินทรีย์ต่อสมรรถนะของระบบแอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบดที่ใช้เม็ดยางเป็นวัสดุตัวกลางในแง่ของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ จากการทดลองพบว่าเมื่อป้อนน้ำเสียเข้าระบบที่อัตราภาระสารอินทรีย์ต่างกันเท่ากับ 5 10 15 และ 20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระบบแอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบดมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยร้อยละ 78 95 98 และ 95 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2

doi:10.4186/ejth.2011.3.2.69



รูปที่ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 5 10 15 และ 20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

จากการทดลองพบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงใกล้เคียงกันที่ค่าอัตราภาระสารอินทรีย์ต่างๆ โดยที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงสุด คือร้อยละ 98ในขณะที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีต่ำสุด โดยคิดเป็นร้อยละ 78 และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีจากผลการทดลองที่ได้กับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศรูปแบบอื่นๆ และเปรียบเทียบกับระบบแอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบดที่ใช้วัสดุชนิดอื่น เป็นตัวกลาง สามารถสรุปได้ว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบดที่ใช้เม็ดยางเป็นวัสดุตัวกลางในงานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดซีโอดี ซึ่งโดยทั่วไปแล้วระบบแอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบดจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีประมาณร้อยละ 95 ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 10 - 20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำเสีย [8] เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ระหว่างถังปฏิกรณ์แอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบดที่บรรจุเม็ดยางกับวัสดุตัวกลางชนิด Cristobalite จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการเลือกใช้เม็ดยางเป็นวัสดุตัวกลางให้สมรรถนะของระบบที่ดีกว่าโดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีร้อยละ 78 และ 95 ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 5 และ 10 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ โดยที่ Cristobalite จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดทีโอซีร้อยละ 76 ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 8 กก.ทีโอซี/ลบ.ม.-วัน [9] และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่มีการใช้ทรายเป็นวัสดุตัวกลาง [10] พบว่าที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระบบแอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบดที่ใช้ทรายเป็นวัสดุตัวกลางมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีประมาณร้อยละ 80 ในขณะที่การใช้เม็ดยางเป็นวัสดุตัวกลางในงานวิจัยนี้ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่สูงถึงร้อยละ 97 ซึ่งเทียบเคียงได้กับประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบยูเอเอสบีซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 95 [10] โดยตารางที่ 1 แสดงการสรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัด ซีโอดีของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยต่างๆ ที่ผ่านมา ดังชี้ให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่าระบบแอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบดที่ใช้เม็ดยางเป็นวัสดุตัวกลางในงานวิจัยนี้ให้ประสิทธิภาพสูงในการกำจัดซีโอดี โดยมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้ทรายและ Cristobalite นอกจากนี้ระบบยังให้ประสิทธิภาพสูงที่ใกล้เคียงกับระบบยูเอเอสบี แต่ระบบแอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบดมีข้อได้เปรียบกว่า ในแง่เสถียรภาพของระบบและต้องการพื้นที่น้อยกว่าในการติดตั้งถังปฏิกรณ์เมื่อเปรียบเทียบกับระบบยูเอเอสบี [11]

doi:10.4186/ejth.2011.3.2.69

รายละเอียดของระบบบำบัดน้ำเสีย	อัตราภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี (ร้อยละ)
ระบบแอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบดที่ใช้เม็ดยางเป็นวัสดุตัวกลาง (งานวิจัยนี้)	5	78.38
	10	94.80
	15	97.70
	20	94.60
ระบบแอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบดทั่วไป [6]	10 - 20	95
ระบบแอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบดที่ใช้ Cristobalite เป็น วัสดุตัวกลาง [7]	8	76
ระบบแอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบดที่ใช้ทรายเป็นวัสดุ ตัวกลาง [8]	20	80
ระบบยูเอเอสบี [8]	20	มากกว่า 95

ตารางที่ 1 สรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่นๆ ที่ผ่านมา

หมายเหตุ : * อัตราภาระสารอินทรีย์มีหน่วยเป็น กก.ทีโอซี/ลบ.ม.-วัน

3.2 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่อัตราภาระสารอินทรีย์ต่างกัน

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศจะมีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้น ซึ่งกรดไขมันระเหยจะถูกเปลี่ยนเป็นมีเทนโดยจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน ทำให้ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นประกอบไปด้วยคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทนเป็นหลัก ส่วนองค์ประกอบอื่นๆ ของก๊าซจะขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำเสีย ในงานวิจัยนี้ทำการเดินระบบโดยใช้น้ำตาลทรายเป็นแหล่งของคาร์บอนอินทรีย์ และได้คำนวณหาปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นโดยใช้กลูโคสเป็นสารให้อิเล็กตรอน สามารถเขียนสมการการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดังสมการที่ 1 โดยเมื่อคำนวณหาปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบกับก๊าซที่วัดได้จริงจากการทดลอง ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 3 ดังจะสังเกตได้ว่าปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริงมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณในทุกค่าอัตราภาระสารอินทรีย์

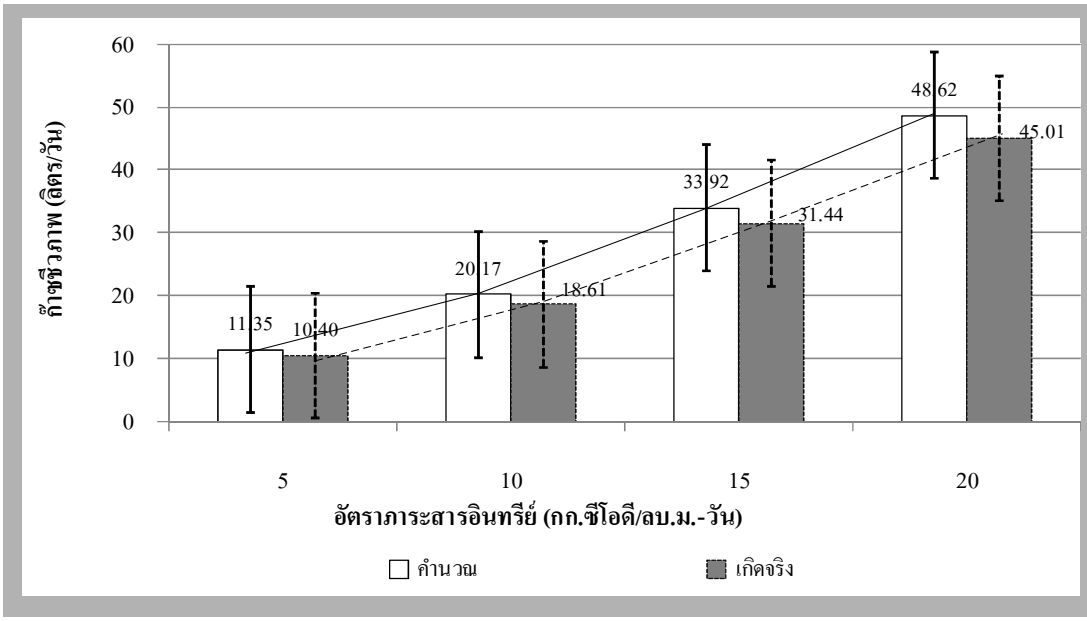
$$C_6H_{12}O_6 + 0.083\,NH_4^+ + 0.083\,HCO_3^- \rightarrow 0.083\,C_5H_7O_2N + 0.115\,H_2O + 2.867\,CO_2 + 2.762\,CH_4 \quad (1)$$

จากผลการทดลองพบว่า การเกิดก๊าซมีเทนในระบบมีค่าสูงสุดที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วันและมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบในก๊าซชีวภาพร้อยละ 55.30 ซึ่งสูงกว่าที่อัตราภาระสารอินทรีย์ค่าอื่นๆ เมื่อคำนวณหาอัตราการเกิดก๊าซมีเทนที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงสุด(ร้อยละ 98) พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.34 ล./ก. ซีโอดีที่ถูกกำจัด ในขณะที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าระบบมีอัตราการเกิดก๊าซมีเทนลดลง โดยมีองค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพเพียงร้อยละ 26.16 สอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดีที่เริ่มลดลง ตารางที่ 2 แสดงอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพและมีเทนที่อัตราภาระสารอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งระบบบำบัดแบบไร้อากาศโดยทั่วไปจะมีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพอยู่ในช่วง 0.46 - 0.62 ล./ก. ซีโอดีที่ถูกกำจัด [12] และมีอัตราการเกิดก๊าซมีเทน 0.4 ล./ก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด [13] ซึ่งผลการคำนวณอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพและมีเทนในงานวิจัยนี้ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันกับค่าดังกล่าว โดยที่อัตราภาระ

doi:10.4186/ejth.2011.3.2.69

สารอินทรีย์ทั้ง 4 ระดับจากการทดลองมีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพอยู่ในช่วง 0.60 - 0.62 ล./ก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด และมีอัตราการเกิดก๊าซมีเทนอยู่ในช่วง 0.26 - 0.34 ล./ก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบมีสมรรถนะที่ดีในแง่ของอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ

รูปที่ 3 การเปรียบเทียบอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพจากการคำนวณกับค่าที่เกิดขึ้นจริงจากการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 5 10 15 และ 20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน



ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพและมีเทนที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 5 10 15 และ 20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน กับงานวิจัยอื่นๆ

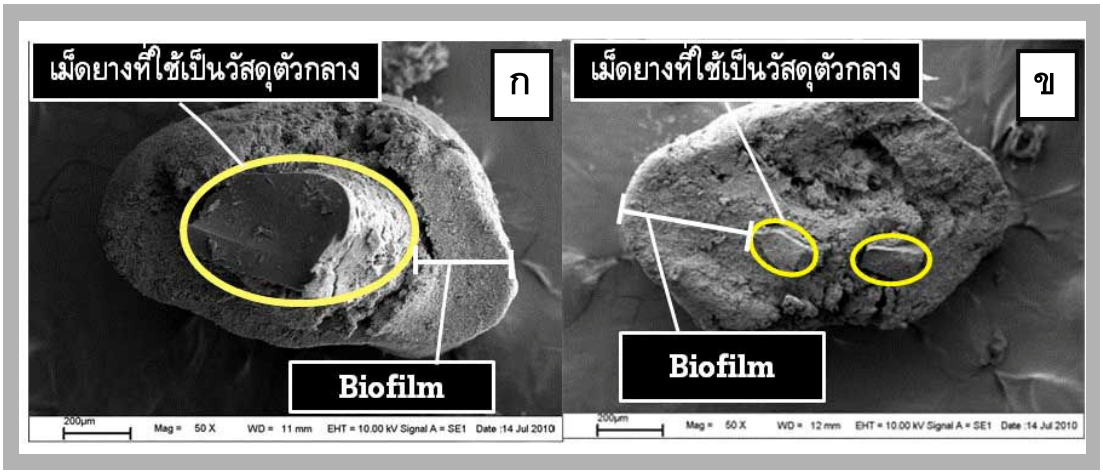
พารามิเตอร์	งานวิจัยอื่นๆ	อัตราภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)			
		5	10	15	20
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (ร้อยละ)	80 – 95 [10]	78.83±3.96	94.80±2.53	97.70±1.13	94.60±4.19
ร้อยละมีเทนในก๊าซชีวภาพ	60 – 70 [10]	47.92	49.13	55.30	26.16
อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (ล./ก.ซีโอดี ที่ถูกกำจัด)	0.46-0.62 [9]	0.60	0.61	0.62	0.60
อัตราการเกิดก๊าซมีเทน (ล./ก.ซีโอดี ที่ถูกกำจัด)	0.40 [10]	0.29	0.30	0.34	0.16

3.3 การเปลี่ยนแปลงชนิดและกลุ่มจุลินทรีย์ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ต่างกัน

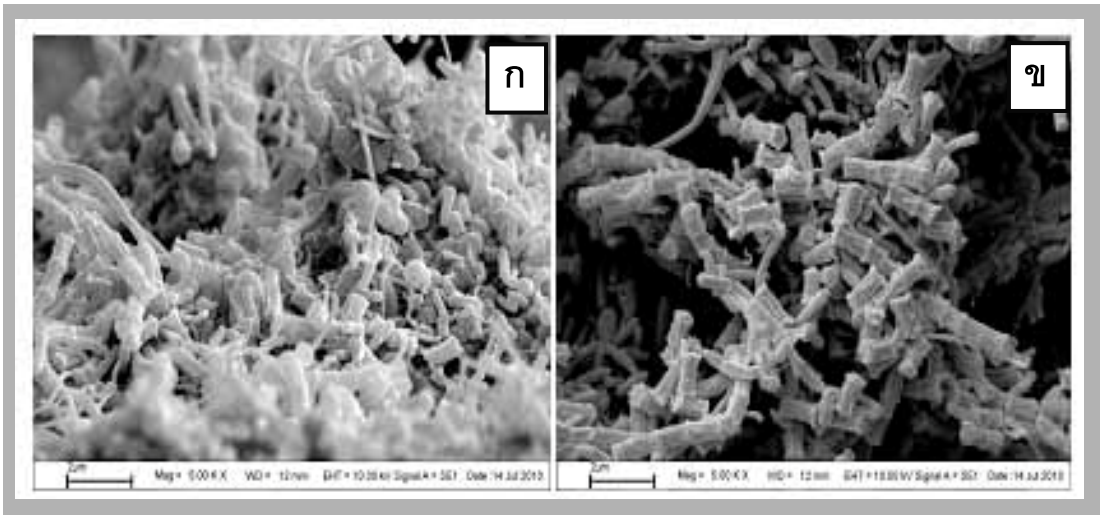
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาลักษณะของจุลินทรีย์ที่เติบโตบนเม็ดยางด้วยการสังเกตโดยตรงภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด และระบุชนิดของจุลินทรีย์ด้วยเทคนิค FISH ผลจากการเก็บตัวอย่างเม็ดยางจากภายในถังปฏิกรณ์ภายหลังสิ้นสุดการเดินระบบที่อัตราภาระสารอินทรีย์ต่างๆ มาตรวจสอบความหนาและการเกาะตัวของจุลินทรีย์บนเม็ดยางภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบว่าที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ชั้นจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่บนเม็ดยางมีความหนาประมาณ 200 ไมโครเมตร ในขณะที่เม็ดตะกอนจากถังปฏิกรณ์ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีความหนามากกว่า ดังแสดงในรูปที่ 4 และเมื่อเพิ่มกำลังขยายของกล้องจุลทรรศน์เพื่อสังเกตลักษณะการอยู่ร่วมกันของจุลินทรีย์ที่บริเวณพื้นผิวเม็ดยางที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 15 และ 20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าได้ผลดังแสดงในรูปที่ 5 โดยจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่บนเม็ดยางมีลักษณะที่คล้ายคลึงกับจุลินทรีย์สร้างมีเทน (อาร์เคีย) ในกลุ่ม Methanothrix sp. และ Methanoseata sp. แต่เมื่อ

doi:10.4186/ejth.2011.3.2.69

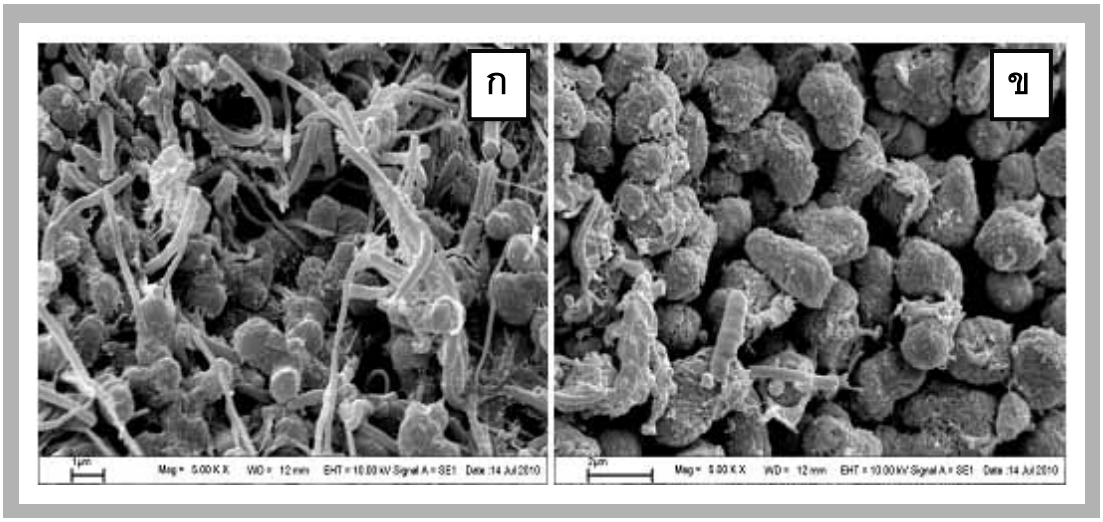
เปรียบเทียบกับกลุ่มจุลินทรีย์ที่เจริญอยู่บริเวณผิวด้านนอกของชั้นไบโอฟิล์มจะพบว่ามีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 6 โดยจุลินทรีย์ที่อยู่ด้านนอกของชั้นไบโอฟิล์มบนเม็ดยางจากถังปฏิกรณ์ที่รับน้ำเสียที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน จะมีลักษณะรูปร่างเป็นทรงกลมที่เติบโตอยู่ร่วมกับจุลินทรีย์เส้นใยเป็นจำนวนมาก แต่เม็ดยางจากถังปฏิกรณ์ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน จะพบจุลินทรีย์ทรงกลมเป็นส่วนใหญ่



รูปที่ 4
ภาพตัดขวางแสดงความหนาของชั้นจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่บนเม็ดยาง (ก) เม็ดยางที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และ (ข) ที่ 20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน



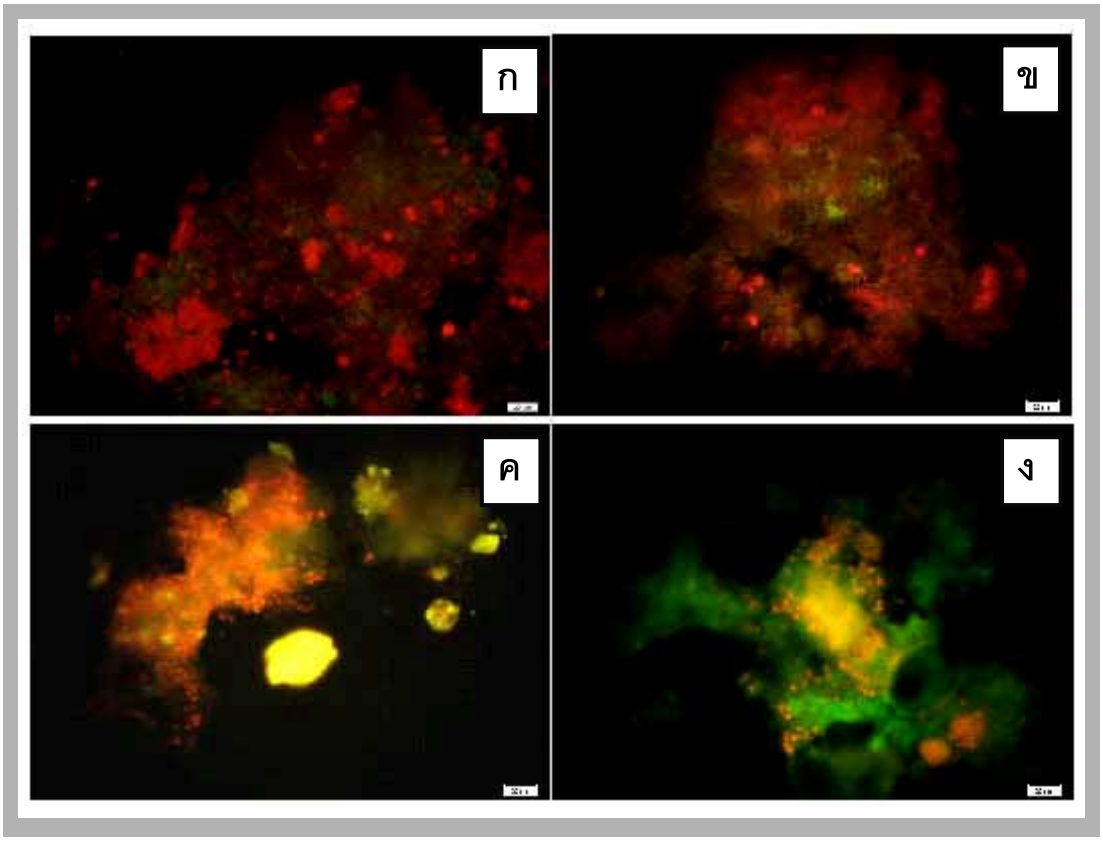
รูปที่ 5
กลุ่มจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่บนพื้นผิวเม็ดยาง เมื่อส่องดูที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (ก) เม็ดยางที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และ (ข) ที่ 20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน



รูปที่ 6
กลุ่มจุลินทรีย์บริเวณผิวด้านนอกของชั้นไบโอฟิล์มที่เกาะอยู่บนเม็ดยางที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (ก) ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และ (ข) ที่ 20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

doi:10.4186/ejth.2011.3.2.69

สำหรับการระบุชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ด้วยเทคนิค FISH เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงกลุ่มประชากรของแบคทีเรียทั้งหมดและแบคทีเรียสร้างมีเทน (อาร์เคีย) เมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่าอัตราภาระสารอินทรีย์ที่เข้าระบบแตกต่างกันเป็น 5 10 15 และ 20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ด้วยโพรบที่ติดฉลากด้วยสารเรืองแสงต่างกัน โดยการเรืองแสงสีเขียวแสดงถึงปริมาณแบคทีเรียทั่วไป ซึ่งในที่นี้เป็นตัวแทนของจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรดและจุลินทรีย์ทั้งหมด (ไม่รวมกลุ่มจุลินทรีย์สร้างมีเทน) และใช้โพรบที่ติดฉลากด้วยสารเรืองแสงสีแดงสำหรับกลุ่มอาร์เคีย ซึ่งเป็นตัวแทนของจุลินทรีย์สร้างมีเทน โดยรูปที่ 7 แสดงภาพถ่ายจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FISH ที่แสดงให้เห็นถึงการอยู่ร่วมกันของแบคทีเรียและอาร์เคีย โดยแบคทีเรีย (สีเขียว) ส่วนใหญ่ที่พบจะเป็นกลุ่มเส้นใย ในขณะที่อาร์เคีย (สีแดง) จะพบลักษณะการรวมกลุ่มของเซลล์รูปกลมที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับ Methanosarcina sp. โดยสังเกตได้ว่าปริมาณอาร์เคียจะมากกว่าแบคทีเรีย (สีแดงมากกว่าสีเขียว) เมื่ออัตราภาระสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบเพิ่มขึ้นจาก 5 - 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และปริมาณอาร์เคียจะน้อยกว่าแบคทีเรีย (สีเขียวมากกว่าสีแดง) เมื่อระบบมีอัตราภาระสารอินทรีย์ 20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ภาพถ่ายจากเทคนิค FISH ดังรูปที่ 7(ค) ยืนยันให้เห็นอย่างชัดเจนว่า จุลินทรีย์ที่เติบโตเป็นชั้นหนาบนเม็ดยางที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีกลุ่มของอาร์เคียมากกว่าแบคทีเรีย ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี และอัตราการเกิดก๊าซมีเทนที่สูงสุดในสภาวะดังกล่าวด้วย ส่วนในรูปที่ 7 (ง) แสดงภาพถ่ายของกลุ่มจุลินทรีย์จากเม็ดยางที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งพบได้ว่าอาร์เคียมีปริมาณลดลง สอดคล้องกับอัตราการเกิดก๊าซมีเทนที่ลดลงด้วย จึงอาจกล่าวได้ว่าที่สภาวะอัตราภาระสารอินทรีย์ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน นอกจากนี้ผลจากการศึกษาจุลินทรีย์ด้วยเทคนิค FISH ยังพบว่าที่อัตราภาระสารอินทรีย์ที่มีค่าต่ำจะพบอาร์เคียที่มีลักษณะเป็นเส้นใยเป็นส่วนใหญ่ โดยเจริญอยู่ร่วมกับอาร์เคียที่มีลักษณะทรงกลมเกาะรวมกันเป็นกลุ่มคล้าย Methanosarcina sp. แต่เมื่อระบบมีอัตราภาระสารอินทรีย์ที่เพิ่มมากขึ้นจะพบการเปลี่ยนกลุ่มของอาร์เคียกลายเป็นพวกที่มีลักษณะคล้าย Methanoseata sp. (Short rod cell)



รูปที่ 7 ภาพถ่ายด้วยกล้องฟลูออเรสเซนต์ที่กำลังขยาย 40 เท่า เมื่อวิเคราะห์กลุ่มจุลินทรีย์ด้วยเทคนิค FISH โดย (ก) จุลินทรีย์ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ข) 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ค) 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และ (ง) 20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

doi:10.4186/ejth.2011.3.2.69

IV. สรุปผล

ผลจากการศึกษาสมรรถนะของระบบแอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบดที่ใช้เม็ดยางเป็นวัสดุตัวกลางในแง่ของประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ เมื่อป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบที่อัตราภาระสารอินทรีย์ที่แตกต่างกัน 4 ค่า ได้แก่ 5 10 15 และ 20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน สามารถสรุปได้ว่า อัตราภาระสารอินทรีย์ที่15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระบบมีสมรรถนะสูงสุดทั้งในแง่ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเม็ดยางที่ใช้เป็นวัสดุตัวกลางในงานวิจัยนี้ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงกว่าการใช้วัสดุชนิดอื่นๆ ทรายเป็นวัสดุตัวกลาง ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ได้ยังมีค่าใกล้เคียงกับการบำบัดด้วยระบบยูเอเอสบี แต่เมื่อพิจารณาในแง่อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพพบว่าก๊าซชีวภาพในงานวิจัยนี้มีค่าที่ใกล้เคียงกับระบบบำบัดแบบไร้อากาศทั่วไป นอกจากนี้ผลจากการศึกษาชนิดของ จุลินทรีย์ด้วยเทคนิค FISH ยังแสดงถึงความสอดคล้องของการเปลี่ยนแปลงปริมาณอาร์เคียกับสมรรถนะของระบบในแง่ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและอัตราการเกิดก๊าซมีเทนที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 5 10 15 และ 20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน โดยที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 5 - 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าปริมาณอาร์เคีย (จุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน) ที่อยู่บนเม็ดยางมีปริมาณมากกว่าแบคทีเรีย และกลับมีปริมาณอาร์เคียลดลงเมื่อระบบมีอัตราภาระสารอินทรีย์สูงขึ้นเป็น 20 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณอาร์เคียดังกล่าวมีความสอดคล้องกับองค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพที่ลดลงด้วย นอกจากนี้ หากต้องการนำข้อมูลจากงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้จริงอาจจำเป็นต้องใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยเพื่อทำนายพารามิเตอร์ต่างๆ ในการออกแบบและควบคุมระบบแอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เช่น การใช้โมเดล ADM1 ในการทำนายค่าพารามิเตอร์ต่างๆในการควบคุมระบบยูเอเอสบีสองขั้นตอน [14] ซึ่งโมเดลดังกล่าวใช้ทำนายการทำงานของระบบไร้อากาศเช่นเดียวกัน

V. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้พื้นที่ทำการทดลองและตลอดจนวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในการทดลอง

doi:10.4186/ejth.2011.3.2.69

บรรณานุกรม

[1] J. Heijnen, A. Mulder, W. Enger and F. Hoeks, "Review on the application of anaerobic fluidized bed reactor in wastewater treatment" *Chemical Engineering Journal*, vol. 41, pp. B37-B50, 1989.

[2] M. Balaguer, M. Vicent and J. Paris, "Anaerobic fluidized bed reactor with sepiolite as support for anaerobic treatment of vinasse" *Biotechnology letter*, vol. 14, pp. 433-438, 1992.

[3] J. Park, T. G. Ellis and M. Lally, "Evaluation of tire derived rubber particles for biofiltration media" *Water Environment Federation Technical Exhibition and Conference*, vol. 06, pp. 3217-3230, 2006.

[4] R. I. Amann, I. Krumholz and D. A. Stahl, "Fluorescent oligonucleotide probing of whole cells for determinative, phylogenetic, and environmental studies in microbiology." *Journal of Bacteriology*, vol. 172, pp. 762–770, 1990.

[5] D. A. Stahl and R. I. Amann, "Development and application of nucleic acid probes" In: *Nucleic acid techniques in bacterial systematic*, Stackebrandt E, Goodfellow M (eds), New York: Wiley Inc, 1991.

[6] J. H. Tay and X. Zhang, "Stability of high-rate anaerobic system. I. Performance under shocks" *Journal of Environmental Engineering*, vol.126 (8), pp. 713-725, 2000.

[7] K. Kida, S. Morimura, Y. Sonoda, M. Obe and T. Kondo, "Support media for microbial adhesion in an anaerobic fluidized-bed reactor" *Journal of Fermentation and Bioengineering*, vol. 69, pp. 354-359, 1990.

[8] H. P. Herbert and H. K. Chui, "Comparison of startup performance of four anaerobic reactors for thetreatment of high-strength wastewater" *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 11, pp. 123-138, 1994.

[9] เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, *วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย. เล่ม 4*, กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรังสิต, 2543.

[10] Metcalf & Eddy, *Wastewater Engineering : Treatment and Reuse*, 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2003.

[11] K. Taruyanon and S. Tejasen, "Model of two-stage anaerobic treating wastewater from a molasses-based ethanol distillery with the IWA anaerobic digestion model No.1," *Engineering Journal*, vol. 14, pp. 25-36, 2010