

การบำบัดน้ำเสียที่มีซัลเฟตและไนเตรตสูงโดยใช้ระบบยูเอสบี

TREATMENT OF HIGH SULFATE AND NITRATE CONTAINING WASTEWATER USING UASB REACTOR

ชวลิต รัตนธรรมสกุล* และ จันทิมา สกฤพานิชย์

*ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Email: fencrt@kankrow.eng.chula.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่มีซัลเฟตและไนเตรตสูงโดยใช้ถังปฏิกรณ์ยูเอสบีจำนวน 3 ถัง แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ช่วงการทดลอง การทดลองช่วงที่ 1 ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ และการทดลองช่วงที่ 2 ใช้น้ำเสียจากโรงงานแอสแตนเลส แต่ละช่วงเติมแคลเซียมในปริมาณที่แตกต่างกันคิดเป็นอัตราส่วนซีโอดีต่อแคลเซียมเท่ากับ 10:0.85, 10:1.70 และ 10:3.40 โดยใช้ความเข้มข้นซีโอดีซัลเฟต และไนเตรต เท่ากับ 600, 90 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ผลการทดลองทั้ง 2 ช่วง แสดงให้เห็นว่าที่อัตราส่วนซีโอดีต่อแคลเซียมเท่ากับ 10:1.70 ระบบยูเอสบีมีประสิทธิภาพดีที่สุด ทั้งในด้านการบำบัดน้ำเสียและขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ โดยที่อัตราส่วนนี้สามารถพบเม็ดตะกอนที่มีขนาดใหญ่มากกว่า 1,200 ไมครอน สูงถึง 60.38 % ซึ่งไม่พบในตอนเริ่มต้นระบบ และเมื่อพิจารณาผลการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนร่วมกับเปอร์เซ็นต์ การไหลของอิเล็กตรอนของแบคทีเรียสร้างมีเทน แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต และแบคทีเรียดีไนตริฟายอิงที่มีค่าเท่ากับ 63.81, 22.41 และ 13.78 % ดังนั้นสามารถระบุได้ว่าแบคทีเรียสร้างมีเทนเป็นแบคทีเรียสายพันธุ์หลักที่พบภายในเม็ดตะกอน

Abstract

This research aims to study treatment of high sulfate and nitrate containing wastewater using 3 identical UASB reactors. The research was divided into 2 experiments, the first experiment used synthetic wastewater and the second experiment used stainless industrial wastewater. For both experiments, calcium concentrations were varied to obtain COD:calcium ratios of 10:0.85, 10:1.70 and 10:3.40. The COD, sulfate and nitrate concentrations were kept constant at 600, 90 and 60 mg/l, respectively. In both experiments, it was found that the COD:calcium ratio of 10:1.70 had the best performance in terms of both treatment efficiency and size of granule. The sludge granule having size larger than 1,200 μm , not

found at the start-up period, was found to be 60.38 % after system operation. Consideration of electron flow percentage using scanning electron microscope, methanogenic bacteria, sulfate reducing bacteria and denitrifying bacteria were found to be 63.81, 22.41 and 13.78 %. From this result, the predominant microorganisms inside the granule were methanogens.

บทนำ

น้ำเสียจากโรงงานแอสแตนเลส หลังจากที่ได้ผ่านระบบบำบัดทางเคมี เพื่อบำบัดโลหะหนักออกจากน้ำเสียแล้ว พบว่ายังไม่สามารถปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้ เนื่องจากมีปริมาณของซัลเฟตและไนเตรตจำนวนมากละลายอยู่ในน้ำ แต่เดิมใช้วิธีการทางเคมี คือ การแลกเปลี่ยนประจุ (Ion exchange) และการกรองแบบ Reverse osmosis ในการกำจัดซึ่งเป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดที่จะนำเอาระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพมาทดลองใช้บำบัดน้ำเสียดังกล่าวเนื่องจากจากการกำจัดซัลเฟตและไนเตรตด้วยกระบวนการทางชีวภาพนั้นจะต้องใช้ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน เพื่อให้จุลินทรีย์เปลี่ยนซัลเฟตเป็นซัลไฟด์และไนเตรตเป็นก๊าซไนโตรเจน โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้ระบบยูเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket; UASB) เนื่องจากเป็นระบบที่สามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูง และเพื่อให้ระบบยูเอสบีมีประสิทธิภาพในการทำงาน จำเป็นที่จะต้องมีย่อยจุลินทรีย์ให้รวมกันเป็นเม็ดตะกอน (granule)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการใช้ระบบยูเอสบีในการบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณของซัลเฟตและไนเตรตค่อนข้างสูง รวมทั้งศึกษาผลของการเติมออกซิเจนที่มีประจุบวก ซึ่งเลือกใช้แคลเซียม เนื่องจากแคลเซียมเป็นตัวที่ช่วยในการเชื่อมต่อ (Linkage) แต่ละเซลล์ของจุลินทรีย์เข้าด้วยกัน เติมลงในน้ำเสียในปริมาณที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการรวมตัวของจุลินทรีย์ในการสร้างเม็ดตะกอน (granular sludge) ซึ่งจะส่งผลให้ระบบยูเอสบีทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเนื่องจากซัลเฟตและไนเตรตมีหน้าที่เป็นตัวรับ

RECEIVED 28 December, 2005

ACCEPTED 28 July, 2006

อิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นจึงต้องเติมสารอินทรีย์ (ซีโอดี) เพื่อเป็นตัวให้อิเล็กตรอนแก่ซัลเฟตและไนเตรทให้กับระบบอย่างเพียงพอ

วิธีการศึกษา

แผนการทดลอง

งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ช่วง ช่วงที่ 1 ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ เพื่อให้จุลินทรีย์ปรับตัวกับสภาพน้ำเสียที่มีซัลเฟตและไนเตรทสูงก่อนที่จะใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานแอสแตคส์มาทำการเดินระบบต่อเนื่องในช่วงการทดลองที่ 2 ทำการศึกษาเช่นเดียวกันทั้ง 2 ช่วง แผนการทดลองแสดงดังตารางที่ 1 โดยถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 แทน $\text{COD}:\text{Ca}^{2+} = 10:0.85, 10:1.70$ และ $10:3.40$ ตามลำดับ

การเตรียมน้ำเสีย

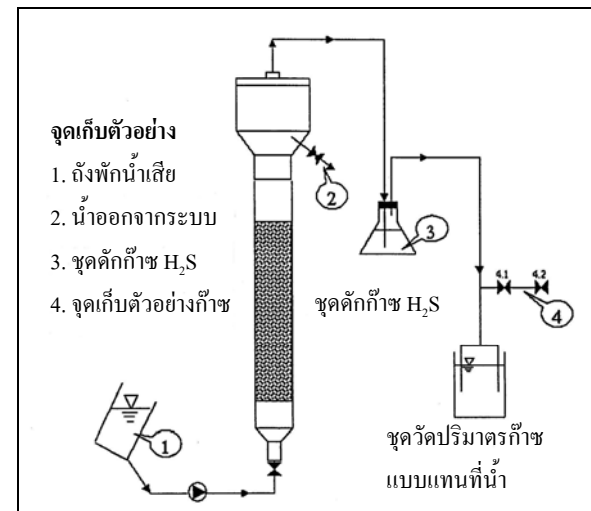
การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์จะทำการเติมธาตุอาหารอื่นลงไปให้น้ำเสียด้วย ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์แสดงดังตารางที่ 2 และเนื่องจากน้ำเสียจากโรงงานแอสแตคส์ได้ผ่านการกำจัดโลหะหนักต่างๆ ออกจากน้ำเสียแล้ว ดังนั้นการเตรียมน้ำเสีย จะทำการวิเคราะห์เฉพาะค่าซีโอดี ซัลเฟต และไนเตรทก่อน เพื่อเจือจางน้ำเสียให้ได้ความเข้มข้นของซัลเฟตประมาณ 90 มิลลิกรัมต่อลิตร เติมสารอินทรีย์และธาตุอาหารอื่นๆ เช่นเดียวกันกับน้ำเสียสังเคราะห์ดังตารางที่ 2

การติดตั้งและการเดินระบบ

ติดตั้งถังปฏิกรณ์ยูเอสบีดังรูปที่ 1 จำนวน 3 ชุดการเริ่ม

เดินเดินระบบจะเติม sludge จากระบบยูเอสบีซึ่งมีลักษณะเป็นฟล็อกและเม็ดเล็กๆ ปะปนกัน ลงไปในถังปฏิกรณ์ประมาณ 20 กรัม

เอสเอสต่อลิตร ทำการปรับสภาพ sludge ให้คุ้นเคยกับน้ำเสียที่มีซัลเฟตและไนเตรท โดยค่อยๆ เพิ่มความเข้มข้นของซัลเฟตและไนเตรทในน้ำเสียเข้าเพื่อให้จุลินทรีย์คุ้นเคยกับน้ำเสีย ในการทดลองช่วงที่ 1 หลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้วจึงเปลี่ยนมาใช้น้ำเสียจากโรงงานแอสแตคส์แทนในการทดลองช่วงที่ 2 ระบบยูเอสบีแต่ละชุดประกอบด้วย ถังพักน้ำเสียเข้าระบบ ปั๊มน้ำเข้าระบบ ถังปฏิกรณ์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5 เซนติเมตร สูง 2 เมตร อุปกรณ์แยกสามสถานะ (Gas-Solid Separator; GSS) ทำจากกรวยพลาสติกเส้นผ่านศูนย์กลางปากกรวยเท่ากับ 8 เซนติเมตร ชุดดักก๊าซ H_2S ที่บรรจุสารละลายซิงค์อะซิเตดที่มีพีเอชต่ำกว่า 3 เพื่อดัก H_2S ออกจาก CO_2 , CH_4 และ N_2 และชุดวัดปริมาตรก๊าซแบบแทนที่น้ำเพื่อวัดปริมาตรรวมของ CO_2 , CH_4 และ N_2 ที่เกิดขึ้น



รูปที่ 1 ลักษณะการติดตั้งระบบยูเอสบี

ตารางที่ 1 แผนการทดลอง

การทดลองช่วงที่	ถังปฏิกรณ์ที่	อัตราภาระบรรทุกทาง ขลสาตร์ (ลบ.ม/ ตร.ม./วัน)	ความเข้มข้นของน้ำเสีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)				หมายเหตุ
			COD	SO_4^{2-}	NO_3^-	Ca^{2+}	
1. น้ำเสีย สังเคราะห์	1	12.2	600	90	60	51	ควบคุมความเข้มข้น ของ ซีโอดีซัลเฟต และไนเตรท ลงที่ 600, 90 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ
	2	12.2	600	90	60	102	
	3	12.2	600	90	60	204	
2. น้ำเสียโรงงานแอส แตคส์	1	12.2	600	90	60	51	600, 90 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ
	2	12.2	600	90	60	102	
	3	12.2	600	90	60	204	

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์ [1], [2]

ส่วนประกอบ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)			หมายเหตุ
	ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 3	
COD	600	600	600	- สารที่ให้คาร์บอน คือ น้ำตาลทราย (COD:N:P: =100:2:0.5) - (NH ₂) ₂ CO 51 mg/l คิดเป็น N 12 mg/l - KH ₂ PO ₄ 13 mg/l คิดเป็น P 3 mg/l - Na ₂ SO ₄ 109 mg/l คิดเป็น SO ₄ ²⁻ 74 mg/l - MgSO ₄ ·7H ₂ O 40 mg/l คิดเป็น SO ₄ ²⁻ 16 mg/l (ดังนั้น SO ₄ ²⁻ = 74+16 = 90 mg/l) - KNO ₃ 98 mg/l คิดเป็น NO ₃ ⁻ 60 mg/l - CaCl ₂ ·2H ₂ O 187, 375 และ 750 mg/l คิดเป็น Ca ²⁺ 51, 102 และ 204 mg/l ตามลำดับ
(NH ₂) ₂ CO	51	51	51	
KH ₂ PO ₄	13	13	13	
Na ₂ SO ₄	109	109	109	
KNO ₃	98	98	98	
NaHCO ₃	300	300	300	
CaCl ₂ ·2H ₂ O	187	375	750	
MgSO ₄ ·7H ₂ O	40	40	40	
FeCl ₂ ·7H ₂ O	40	40	40	
<u>Trace components</u>				
H ₃ BO ₃	0.5	0.5	0.5	
ZnCl ₂	0.5	0.5	0.5	
CuCl ₂ ·4H ₂ O	0.5	0.5	0.5	
MnCl ₂ ·4H ₂ O	0.5	0.5	0.5	
NH ₄ VO ₃	0.5	0.5	0.5	
NaMoO ₄ ·2H ₂ O	0.5	0.5	0.5	
AlCl ₃ ·6H ₂ O	0.5	0.5	0.5	
NiCl ₂ ·6H ₂ O	0.5	0.5	0.5	
CoCl ₂ ·6H ₂ O	10	10	10	
KI	10	10	10	

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

พารามิเตอร์ที่ควบคุมการทำงานของระบบ

พารามิเตอร์ที่ใช้ติดตามการทำงานของแบคทีเรียในระบบของการทดลองทั้ง 2 ช่วง พบว่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน ได้แก่ pH อยู่ในช่วง 6.5-7.8 อุณหภูมิอยู่ในช่วง 20-45 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิแบบ mesophilic) โออาร์พีมีค่าใกล้เคียงช่วง -500 ถึง -300 มิลลิโวลต์ และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพ่างทั้งหมดมีค่าน้อยกว่า 0.4 แสดงว่าระบบมีกำลังบำบัดที่เพียงพอ

ค่าไฟฟ้ของน้ำออกทั้ง 2 ช่วงการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำเข้า เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชันเพื่อเปลี่ยนซัลเฟตไปเป็นซัลไฟด์ แต่ทั้งนี้ปริมาณซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นยังคงมีค่าต่ำกว่าความเข้มข้นที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย คือ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร [3]

พารามิเตอร์ที่แสดงประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบี

ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย ซีโอดี ไนเตรท และซัลเฟต ของการทดลองทั้ง 2 ช่วง แสดงดังรูปที่ 2-5 ตามลำดับ โดยถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีค่า COD:Ca²⁺ = 10:0.85, 10:1.70 และ 10:3.40 ตามลำดับ

ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยของถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 60.19, 61.12 และ 59.44 % ตามลำดับ ซึ่งถึงปฏิกรณ์ที่ 2 จะมีประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงสุด เนื่องจากการเติมแคลเซียมในปริมาณที่เหมาะสมต่อการเกิดเม็ดตะกอน โดยแคลเซียมจะเป็นตัวเชื่อมเซลล์แต่ละเซลล์ของจุลินทรีย์เข้าด้วยกัน ทำให้จุลินทรีย์รวมตัวกันเป็นเม็ดที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก จึงหลุดออกกับน้ำออกได้น้อยกว่าถึงปฏิกรณ์อื่น ขณะที่ถึงปฏิกรณ์ที่ 1

มีการเติมแคลเซียมในปริมาณที่น้อยทำให้เกิดเม็ดตะกอนที่มีขนาดเล็ก และบางส่วนเป็นฟล็อก น้ำหนักเบา จึงหลุดออกมากับน้ำออกได้มากกว่า ส่วนถึงปฏิกรณ์ที่ 3 มีการเติมแคลเซียมในปริมาณที่มากที่สุด แต่เม็ดตะกอนที่ได้มีขนาดเล็ก บางส่วนเป็นฟล็อก เนื่องจากเกิดการผลึกกันของประจุบวกของแคลเซียมจากการที่เติมมากเกินไป เซลล์จุลินทรีย์จึงรวมตัวกันไม่ได้ จึงหลุดออกมากับน้ำออกได้มากกว่า ประสิทธิภาพการสร้างเม็ดตะกอนจึงต่ำกว่า

ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 69.36, 77.06 และ 68.09% ตามลำดับ ซึ่งถังปฏิกรณ์ที่ 2 จะมีประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงสุด เนื่องจากถังปฏิกรณ์นี้ไม่มีปัจจัยจำกัดในเรื่องความเข้มข้นของแคลเซียม ทำให้จุลินทรีย์ได้รับสารอาหารเสริมอย่างเพียงพอนอกเหนือจากสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ส่งผลให้จุลินทรีย์มี Activity ที่ดี จึงสามารถใช้สารอินทรีย์ในน้ำเสียได้อย่างเต็มที่ ขณะที่ถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีปัจจัยจำกัดเรื่องความเข้มข้นของแคลเซียมในน้ำเข้า ทำให้จุลินทรีย์ขาดสารอาหารเสริม Activity ของจุลินทรีย์จึงลดลง ส่งผลให้ใช้สารอินทรีย์ในระบบได้น้อยกว่า ส่วนถึงปฏิกรณ์ที่ 3 มีการเติมแคลเซียมในปริมาณที่มากที่สุด ทำให้เกิดผลเสียต่อจุลินทรีย์ในระบบ เนื่องจากเกิดการตกตะกอนของแคลเซียมคาร์บอเนตเข้าไปแทรกระหว่างช่องว่างภายในเม็ดตะกอน ทำให้ขัดขวางการถ่ายเทสารอินทรีย์เข้าสู่เซลล์ชั้นในของเม็ดตะกอน ส่งผลให้จุลินทรีย์ใช้สารอินทรีย์ในระบบได้น้อยลง ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจึงต่ำกว่า

ประสิทธิภาพในการกำจัดไนเตรตของถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 68.31, 68.13 และ 69.85% ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 65.61, 76.14 และ 63.16% ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี โดยถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากสารอินทรีย์จะเป็นตัวให้อิเล็กตรอนแก่ไนเตรตและซัลเฟต ดังนั้นการที่จุลินทรีย์มี Activity ที่ดีในการใช้สารอินทรีย์ จึงสามารถนำสารอินทรีย์ไปใช้ในการเปลี่ยนรูปไนเตรตและซัลเฟตได้มากที่สุด ขณะที่ถังปฏิกรณ์ที่ 1 และ 3 จุลินทรีย์ในระบบสามารถใช้สารอินทรีย์ได้น้อยกว่า ทำให้ขาดตัวให้อิเล็กตรอนแก่ไนเตรตและซัลเฟต ดังนั้นไนเตรตและซัลเฟตจึงถูกกำจัดได้น้อยกว่า

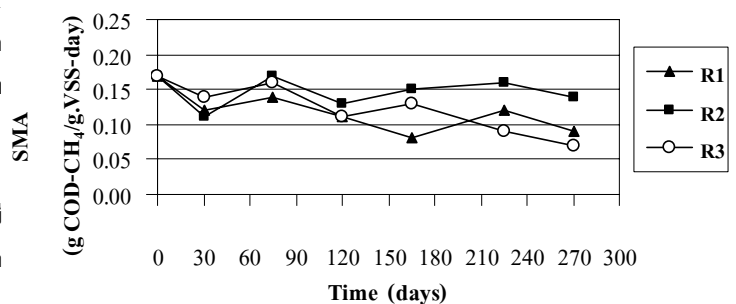
จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีประสิทธิภาพในการกำจัดพารามิเตอร์ต่างๆ ดีที่สุด ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกันทั้งน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจากโรงงานแอสแตนเลส เนื่องจากในช่วงแรกที่ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ในการเดินระบบเป็นการทำให้จุลินทรีย์ปรับตัวให้เข้ากับน้ำเสียที่ไม่คุ้นเคยได้ และเมื่อระบบเริ่ม

เข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว เมื่อเปลี่ยนมาใช้น้ำเสียจากโรงงานแอสแตนเลส จึงไม่ส่งผลต่อ Activity ของจุลินทรีย์ในระบบมากนัก ซึ่งดูได้จากประสิทธิภาพในการกำจัดยังคงมีค่าใกล้เคียงกับการทดลองในช่วงที่ 1 และระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวได้เร็ว

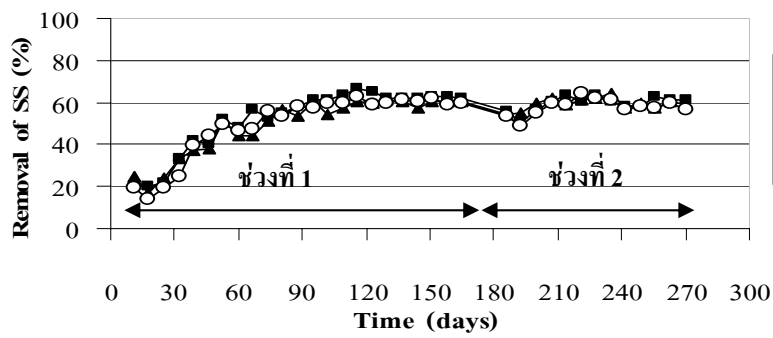
การศึกษาความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทน (Specific Methanogenic Activity; SMA)

การศึกษา SMA เป็นการศึกษาความสามารถของแบคทีเรียสร้างมีเทนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็น CH_4 ผลการวิเคราะห์ SMA ตลอดจนการทดลองแสดงดังรูปที่ 6 ซึ่งการเปลี่ยนมาใช้น้ำเสียจากโรงงานแอสแตนเลสแทนน้ำเสียสังเคราะห์ไม่มีผลกระทบต่อค่า SMA ของระบบ โดยถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 แทน $COD:Ca^{2+} = 10:0.85, 10:1.70$ และ $10:3.40$ ตามลำดับ

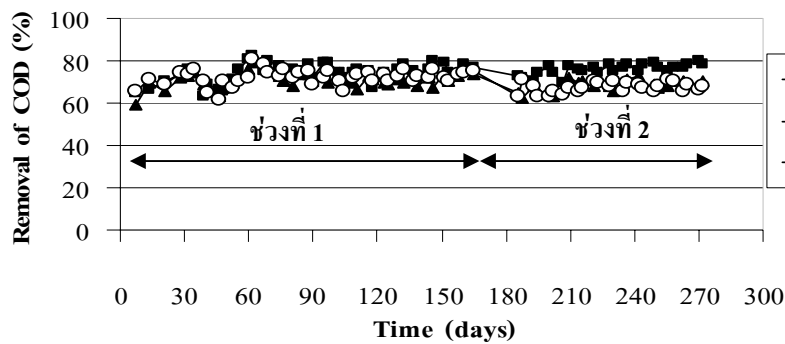
จากรูปที่ 6 พบว่าค่า SMA ของถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 หลังสิ้นสุดการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.09, 0.14 และ 0.07 กรัมซีโอดีต่อกรัมวีเอสเอสต่อวัน โดยในช่วงแรกจะมีการปรับตัวของจุลินทรีย์ในระบบ ทำให้อัตราการใช้สารอินทรีย์ในช่วงแรกมีค่าน้อย ค่า SMA จึงมีแนวโน้มลดลง แต่เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว จุลินทรีย์จะมี Activity ที่ดีขึ้น ทำให้ค่า SMA มีค่าเพิ่มขึ้น โดยถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่า SMA สูงสุด เนื่องจากการเติมแคลเซียมในปริมาณที่เหมาะสม โดย Yu และคณะ [2] พบว่า ที่ความเข้มข้นซีโอดี 4,000 มิลลิกรัมต่อลิตร การเติมแคลเซียมในปริมาณที่มากกว่า 150-300 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเกิดพิษต่อจุลินทรีย์ภายในเม็ดตะกอน ส่งผลให้ค่า SMA ลดลง นอกจากนี้ได้เก็บตัวอย่างตะกอนที่ระดับความสูงต่างๆ มาหาค่าความเข้มข้นของจุลินทรีย์ (Volatile Suspended Solid; VSS) เพื่อศึกษาการกระจายตัวของจุลินทรีย์ตามระดับความสูงของถังปฏิกรณ์ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 7 โดยพบว่าความเข้มข้นของจุลินทรีย์จะมีค่ามากที่สุดอยู่ที่ความสูงประมาณ 40-50 % ของความสูงของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่ขยายตัว ซึ่งบริเวณที่มีความเข้มข้นของจุลินทรีย์มากที่สุดจะเป็นบริเวณที่มีการย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้นมากที่สุดนั่นเอง



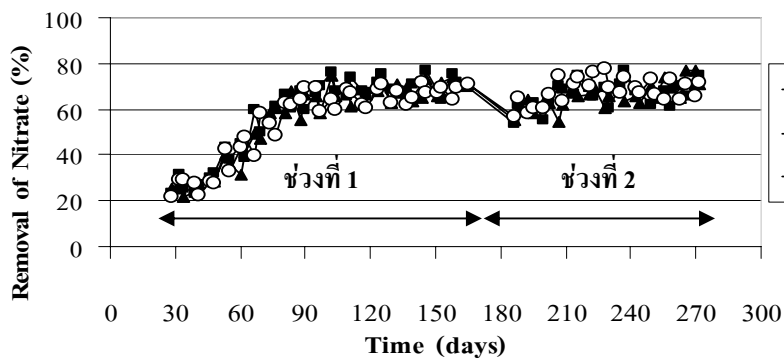
รูปที่ 6 ค่าความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทน



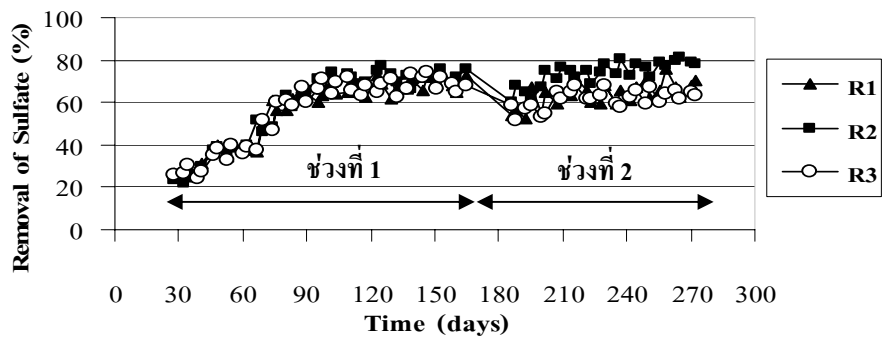
รูปที่ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี



รูปที่ 4 ประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรท

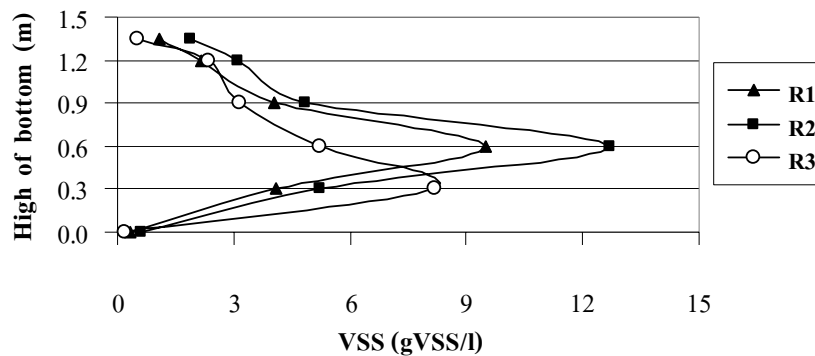


รูปที่ 5 ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟต

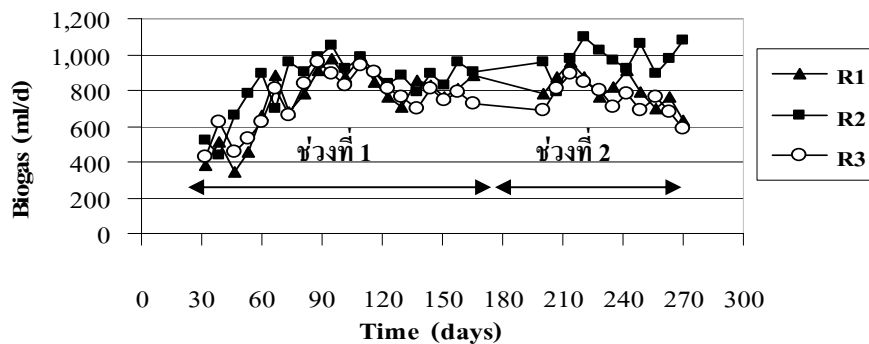
ปริมาณและสัดส่วนของก๊าซชีวภาพและเปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอน

เนื่องจากได้มีการติดตั้งชุดดักก๊าซ H_2S ดังนั้นก๊าซชีวภาพประกอบด้วย CO_2 , CH_4 และ N_2 เท่านั้น โดยถึงปฏิกรณ์ที่มี $COD:Ca^{2+} = 10:1.70$ จะมีปริมาณก๊าซชีวภาพ สัดส่วนของ CH_4 และเปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอนของแบคทีเรียสร้างมีเทนสูงสุด

ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ SMA กล่าวคือ แบคทีเรียสร้างมีเทนในถึงปฏิกรณ์นี้มีความสามารถในการใช้สารอินทรีย์ในระบบเพื่อเปลี่ยนไปเป็น CH_4 ได้มากที่สุด ซึ่งแสดงดังรูปที่ 8 และตารางที่ 3 โดยถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 แทน $COD:Ca^{2+} = 10:0.85$, $10:1.70$ และ $10:3.40$ ตามลำดับ



รูปที่ 7 ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ตามระดับความสูงของถังปฏิกรณ์



รูปที่ 8 ปริมาณก๊าซชีวภาพตลอดการทดลอง

ตารางที่ 3 สัดส่วนของก๊าซชีวภาพ (วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography) และเปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอน

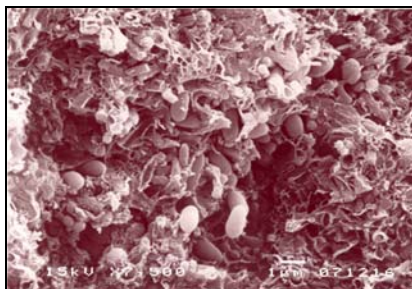
ถังปฏิกรณ์	เปอร์เซ็นต์ก๊าซชีวภาพ			เปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอน		
	CH_4	CO_2	N_2	MPB	SRB	DNB
1. $COD:Ca^{2+} = 10:0.85$	75.32	12.67	12.04	62.64	21.78	15.58
2. $COD:Ca^{2+} = 10:1.70$	76.52	12.50	10.98	63.81	22.41	13.78
3. $COD:Ca^{2+} = 10:3.40$	72.95	11.05	16.00	61.42	21.93	16.65

หมายเหตุ: MPB คือ แบคทีเรียสร้างมีเทน, SRB คือ แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต และ DNB คือ แบคทีเรียดีไนตริฟายอิง

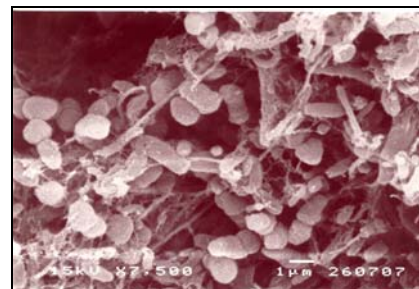
โครงสร้างและขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

จากการศึกษาภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope; SEM) ของตะกอนก่อนเริ่มต้นระบบ และหลังสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งแสดงดังรูปที่ 9 จากรูปจะเห็นได้ว่า ไม่พบความแตกต่างของโครงสร้างภายในของเม็ดตะกอนในถึงปฏิกรณ์ ของช่วงก่อนเริ่มต้นระบบกับหลังสิ้นสุดการทดลอง โดยแบคทีเรียที่พบส่วนใหญ่มีรูปร่างแบบแท่งและแบบกลม และเมื่อพิจารณาภาพถ่าย SEM ร่วมกับเปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอน สามารถพิจารณาได้ว่า แบคทีเรียสายพันธุ์หลักที่พบภายในเม็ดตะกอนคือ แบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogens)

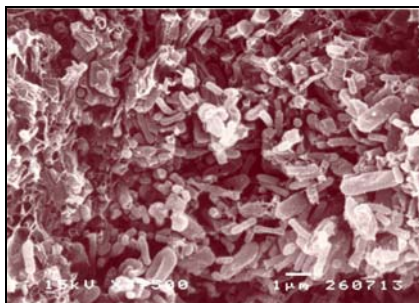
จากการศึกษาขนาดของเม็ดตะกอน ด้วยเครื่อง Particle Size Analyzer ของตะกอนก่อนเริ่มต้นระบบและหลังสิ้นสุดการทดลอง แสดงดังรูปที่ 10 จากรูปจะเห็นได้ว่า เม็ดตะกอนของทุกถึงปฏิกรณ์มีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนเริ่มต้นระบบ โดยที่ $\text{COD:Ca}^{2+} = 10:1.70$ พบเปอร์เซ็นต์สะสมของขนาดเม็ดตะกอนที่มีขนาดใหญ่กว่า 1,200 ไมครอน อยู่สูงที่สุด คือ 60.38%



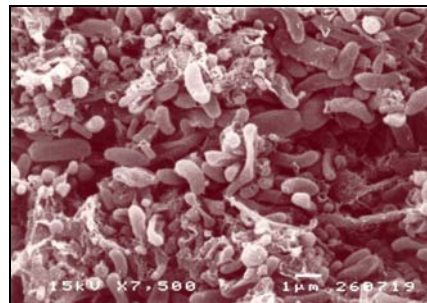
รูปที่ 9ก ก่อนเริ่มต้นระบบ



รูปที่ 9ข ถึงปฏิกรณ์ที่มี $\text{COD:Ca}^{2+} = 10:0.85$



รูปที่ 9ค ถึงปฏิกรณ์ที่มี $\text{COD:Ca}^{2+} = 10:1.70$

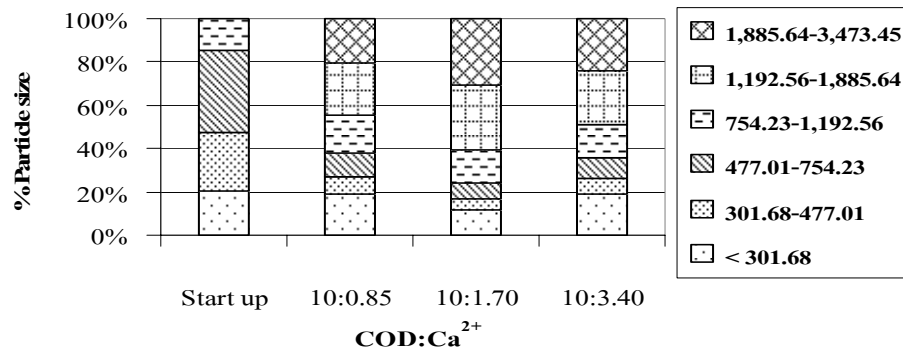


รูปที่ 9ง ถึงปฏิกรณ์ที่มี $\text{COD:Ca}^{2+} = 10:3.40$

รูปที่ 9 ก-ง ภาพถ่าย SEM บริเวณภายในเม็ดตะกอน ที่กำลังขยาย 7,500 เท่า

สรุปผลการศึกษา

1. การทดลองทั้ง 2 ช่วง ที่ใช้น้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจากโรงงานแอสแตนเลส ให้ผลการทดลองเช่นเดียวกัน คือ ที่ $\text{COD:Ca}^{2+} = 10:1.70$ เป็นอัตราส่วนที่ทำให้ระบบยูเอเอสบีมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย ซีโอดี ชัลเฟต และไนเตรท ดีที่สุด
2. ถึงปฏิกรณ์ที่มีการเติมแคลเซียมในปริมาณที่มาก ซึ่งในการทดลองนี้คือ ที่ $\text{COD:Ca}^{2+} = 10:3.40$ จะพบว่า Activity ของแบคทีเรียสร้างมีเทนจะลดลง เนื่องจากแคลเซียมทำให้เกิดพิษต่อแบคทีเรียในระบบ ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณก๊าซชีวภาพ และเปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอนทำให้มีค่าน้อยกว่าที่อัตราส่วนอื่น ส่วนที่ $\text{COD:Ca}^{2+} = 10:1.70$ มีการเติมแคลเซียมในปริมาณที่เหมาะสม ระบบจึงมี SMA สูงที่สุด ซึ่งส่งผลให้มีปริมาณก๊าซชีวภาพ และเปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอนของแบคทีเรียสร้างมีเทนสูงสุดเช่นเดียวกัน



รูปที่ 10 เปอร์เซนต์สะสมของช่วงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (ไมครอน)

3. จากการวิเคราะห์ Particle Size Analyzer พบว่าที่ $\text{COD:Ca}^{2+} = 10:1.70$ เม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีขนาดใหญ่กว่าที่อัตราส่วนอื่น โดยพบเม็ดตะกอนที่มีขนาดใหญ่มากกว่า 1,200 ไมครอน อยู่ถึง 60.38 % ซึ่งเป็นขนาดเม็ดตะกอนที่ไม่พบในตะกอนเริ่มต้น แต่จากภาพถ่าย SEM ไม่พบความแตกต่างของโครงสร้างจุลินทรีย์ภายในเม็ดตะกอนระหว่างถังปฏิกรณ์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้ให้การสนับสนุนทุนในการทำงานวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณ คุณสมชัย เจริญสวรรค์ ที่ให้ความอนุเคราะห์น้ำเสียเพื่อใช้ในการงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Speece, R.E. 1996. Anaerobic biotechnology for industrial wastewater. Tennessee: Archae press.
- [2] Yu, H.Q., Tay, J.H., and Fang, H.P. 2001. The roles of calcium in sludge granulation during UASB reactor start-up. Water Research 35: 1052-1060.
- [3] Koster, I.W., Rinzema, A., De Vegt, A.L., et al. 1986. Sulfide inhibition of the methanogenic activity of granular sludge at various pH levels. Water Research 20(12): 1561-1567.