ผลของความลาดชันความเร็วต่อการบำบัดน้ำเสียยางข้นโดยใช้ระบบเอเอสบีอาร์

Effects of Velocity Gradient on Treatment of Concentrated Latex Wastewater by ASBR System

ณัฐกานต์ กาญจนวัฒน์[1], ชวลิต รัตนธรรมสกุล[2]

[1] หลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 10330

โทร 0-2218-7666 Email: N.kanjanawat@hotmail.com

[2] ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 10330

โทร 0-2218-6678 Email: dr_chavalit@yahoo.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของความลาดชันความเร็ว (Velocity Gradient) ต่อการบำบัดน้ำเสียยางข้นโดยใช้ระบบเอเอสบีอาร์ (Anaerobic Sequencing Batch Reactor ; ASBR) โดยทดลองที่จำนวนรอบเวลาเดินระบบ (cycle number) เป็นจำนวน 1-4 รอบ โดยมีความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าที่สภาวะคงตัว ระบบสามารถกำจัดซีโอดีได้ 77.91, 80.59, 82.97 และ 85.22 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากนั้นศึกษาการเปลี่ยนความลาดชันความเร็วที่ 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที พบว่าที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที ระบบสามารถกำจัดซีโอดีได้ 77.91, 80.59, 82.97 และ 85.22 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ กำจัดซัลเฟตได้ 42.32, 50.55, 59.08 และ 67.66 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับและกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ 86.21, 93.92, 94.4 และ 96 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยระบบสามารถกำจัดซีโอดี ซัลเฟต และของแข็งแขวนลอยได้มากที่สุด สำหรับปริมาณก๊าซชีวภาพจากระบบมีค่าเฉลี่ย 336 มิลลิลิตรต่อวัน และมีปริมาณสัดส่วนก๊าซมีเทนของระบบ 52.71 เปอร์เซ็นต์

Abstract

The research aims to study effect of velocity gradient on treatment of concentrated latex wastewater by ASBR system. The cycle number of ASBR system was performed at 1-4 cycles at constant velocity gradient 60 sec^{-1} with organic loading rate 3 kg COD/(m^3.d). The obtained results at steady state condition, for COD removal were found to be 77.91, 80.59, 82.97 and 85.22 %, respectively. Then, the velocity gradients of the system were varied to 40, 60, 80 and 100 sec^{-1}.The obtained results at initial velocity gradient 60 sec^{-1} for system performance were found to be 77.91, 80.59, 82.97 and 85.22 %, respectively for COD; 42.32, 50.55, 59.08 and 67.66 %, respectively for sulfate; and also 86.21, 93.92, 94.4 and 96 %, respectively for suspended solid. By ASBR system the best removal performance for COD, sulfate and suspended solid. For biogas volume obtained were 336 mL/d, respectively and the obtained methane percentages in the gas were found to be 52.71% respectively.

คำสำคัญ : เอเอสบีอาร์, ความลาดชันความเร็ว

Keywords : ASBR, Velocity Gradient

1. บทนำ

ยางพารา (*Hevea brasiliensis*) เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญและปลูกกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย ซึ่งมีพื้นที่ปลูกยางพารามากเป็นอันดับสองรองจากประเทศอินโดนีเซีย โดยประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางประมาณ 14 ล้านไร่ [3] ส่วนใหญ่อยู่ในภาคใต้และภาคตะวันออกและมีการใช้ประโยชน์จากยางพาราเป็นอย่างมาก เช่น ถุงมือยาง ยางแผ่นรมควัน เป็นต้น ปัจจุบันความต้องการใช้ยาง

RECEIVED 29 June, 2009

ACCEPTED 17 October, 2009

ธรรมชาติเพิ่มขึ้น ทำให้จำนวนโรงงานยางและกำลังการผลิตของโรงงานเพิ่มขึ้นอย่างมากเพื่อรองรับวัตถุดิบและความต้องการที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกสูง ลักษณะน้ำเสียในโรงงานน้ำยางข้นแสดงดังในตารางที่ 1 ที่ผ่านมาการจัดการน้ำเสียยางข้นใช้ระบบบ่อผึ่ง ซึ่งต้องใช้พื้นที่มากในการบำบัด ส่งกลิ่นเหม็นและไม่มีการเก็บก๊าซมีเทนไปใช้ประโยชน์ในด้านการประหยัดพลังงาน เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องมีการจัดการน้ำเสียที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ เพื่อจะได้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการลงทุนและไม่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้

ตารางที่ 1 ลักษณะน้ำเสียในอุตสาหกรรมน้ำยางข้น [1]

ลักษณะ	น้ำเสีย
พีเอช	5.72
อุณหภูมิ (^{O}C)	30.0
ซีโอดี (มก./ล.)	7,996
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	1,128
ซัลไฟด์ทั้งหมด (มก./ล.)	<1
ซัลไฟด์ที่ละลายน้ำ (มก./ล.)	<1
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (มก./ล.)	<1
ซัลเฟต (มก./ล.)	1,102

ระบบเอเอสบีอาร์ (Anaerobic Sequencing Batch Reactor) เป็นระบบบำบัดแบบไร้อากาศ มีจุลินทรีย์ในระบบอยู่ในลักษณะของตะกอนแขวนลอย มีลักษณะการทำงานเป็นแบบกะ (Batch) กระบวนการต่างๆในระบบจะถูกดำเนินการเป็นลำดับขั้นตอนภายในถังปฏิกิริยาเดียวกัน ใช้สเกลเวลาเป็นตัวกำหนดขั้นตอนการดำเนินงานของระบบคล้ายกับระบบเอสบีอาร์ การบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนมีข้อดีเหนือกว่าการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนหลายประการทั้งในด้านการประหยัดพลังงานที่ใช้ในการเติมอากาศ ความสามารถในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงได้ ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้ศึกษาผลของความลาดชันความเร็วต่อการบำบัดน้ำเสียยางข้นโดยใช้ระบบเอเอสบีอาร์ ระบบนี้อาศัยหลักการทำงานของจุลินทรีย์เป็นตัวย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำได้อย่างทั่วถึง กำลังในการกวนของเหลวด้วยใบพัดในถังปฏิกรณ์แบบไร้อากาศคำนวณได้จากค่าความลาดชันความเร็ว (G : Velocity Gradient) เท่ากับ $(P / \mu V)^{1/2}$ {เมื่อ G คือ ความลาดชันความเร็ว (ต่อวินาที,sec^{-1}), P คือ กำลังในการปั่นกวน (นิวตัน-เมตรต่อวินาที), μ คือ ความหนืดพลวัตต์ของน้ำ (นิวตัน-วินาทีต่อตารางเมตร), V คือ ปริมาตรของน้ำในถังปฏิกรณ์ (ลูกบาศก์เมตร)} และเนื่องจากภายในถังมีการกวนผสมน้ำเสียอย่างทั่วถึง ทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้นสูง ระบบสามารถรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงและนอกจากนี้ยังช่วยลดระยะเวลาในการกักเก็บน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ลงได้ ซึ่งผลจากการทดลองทำให้สามารถบอกถึงความลาดชันความเร็วต่อการบำบัดน้ำเสียยางข้น รวมถึงความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียดังกล่าวได้ ดังนั้นการเลือกใช้ความลาดชันความเร็วก็เป็นเงื่อนไขการทำงานที่มีความสำคัญ และจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาเลือกใช้ให้เหมาะสม เพื่อนำไปสู่การประยุกต์ใช้เป็นทางเลือกในการบำบัดน้ำเสียยางข้นเพื่อรองรับการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นจากการขยายตัวของการผลิตในปัจจุบันได้

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 ถังปฏิกรณ์เอเอสบีอาร์

ถังปฏิกรณ์เอเอสบีอาร์ที่ใช้การทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ติดตั้งมอเตอร์และใบพัดสำหรับกวนขนาด 8×4 เซนติเมตร มีท่อน้ำเข้า-ออก และท่อสำหรับเก็บแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นภายในระบบ

2.2 น้ำเสียและเชื้อจุลินทรีย์

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียยางข้น จังหวัดตรัง โดยเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ใช้ในการทดลองนี้ได้มาจากโรงงานน้ำยางข้น จังหวัดชลบุรี

2.3 พารามิเตอร์ในการวิเคราะห์

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนและหลังการบำบัด ได้แก่ ซีโอดี ซัลเฟต ของแข็งแขวนลอย ปริมาตรก๊าซทั้งหมด และเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน

2.4 การเริ่มต้นระบบ

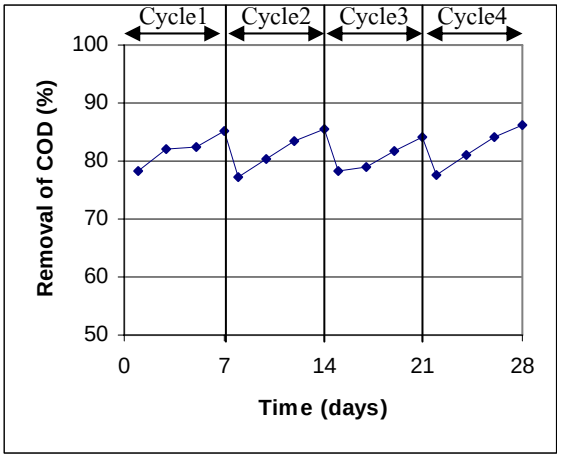
เริ่มต้นระบบโดยเติมเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ปริมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรทั้งหมดของถังปฏิกรณ์ เอเอสบีอาร์ที่ใช้ในการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการทำการทดลองจำนวนรอบเวลาเดินระบบ (cycle number) ที่ 1-4 รอบ ต่อการบำบัดน้ำเสียยางข้นโดยใช้ระบบเอเอสบีอาร์ เริ่มต้นระบบโดยใช้น้ำเสียยางข้นโดยใช้ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน และค่าความลาดชันความเร็วเท่ากับ 60 ต่อวินาที

จากนั้นศึกษาการเปลี่ยนความลาดชันความเร็วต่อการบำบัดน้ำเสียยางข้นโดยใช้ระบบเอเอสบีอาร์ เริ่มต้นระบบโดยใช้น้ำเสียยางข้นโดยใช้ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน โดยทำการทดลองความลาดชันความเร็วที่แตกต่างกันของถังปฏิกรณ์เอเอสบีอาร์เท่ากับ 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที

3. ผลการวิจัยและการอภิปราย

3.1 จำนวนรอบเวลาเดินระบบ (cycle number)

ทำการทดลองจำนวนรอบเวลาเดินระบบของถังปฏิกรณ์เอเอสบีอาร์ที่ 1-4 รอบ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีกับจำนวนรอบเวลาเดินระบบของถังปฏิกรณ์ที่มีความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ดังรูปที่ 1)

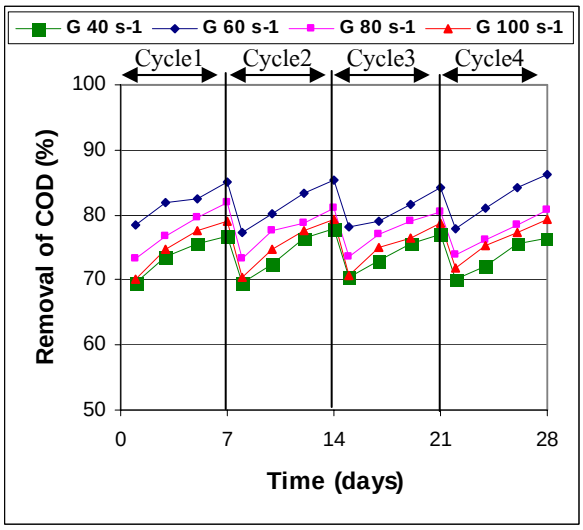


รูปที่ 1 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกับจำนวนรอบเวลาเดินระบบ

จากการพิจารณาประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีกับจำนวนรอบเวลาเดินระบบของถังปฏิกรณ์ พบว่า รอบที่ 1 สามารถกำจัดซีโอดีได้ 78.4, 81.93, 82.56 และ 85.09 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 2 สามารถกำจัดซีโอดีได้ 77.31, 80.21, 83.32 และ 85.48 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 3 สามารถกำจัดซีโอดีได้ 78.2, 79.13, 81.71 และ 84.16 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และรอบที่ 4 สามารถกำจัดซีโอดีได้ 77.74, 81.06, 84.27 และ 86.14 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากการทดลองปริมาณซีโอดีในน้ำเข้าอยู่ในช่วง 4,174 – 3,872 มิลลิกรัมต่อลิตรและปริมาณซีโอดีน้ำออกอยู่ช่วง 947–514 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าทุกๆ จำนวนรอบเวลาเดินระบบ มีทิศทางหรือแนวโน้มไปในแนวทางเดียวกัน โดยพบว่าระบบอยู่ในสภาวะคงที่ (Steady State)

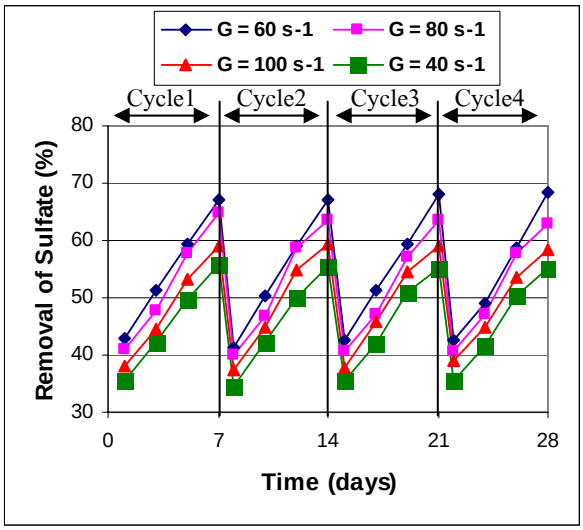
3.2 ผลของความลาดชันความเร็วต่อการบำบัดเมื่อระบบเสถียร

ทำการทดลองความลาดชันความเร็วที่แตกต่างกันของถังปฏิกรณ์เอเอสบีอาร์เท่ากับ 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กก.ซีโอดี/ ลบ.ม.-วัน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ซัลเฟต และของแข็งแขวนลอยกับจำนวนรอบเวลาเดินระบบของถังปฏิกรณ์ (ดังรูปที่ 2, 3, และ 4)



รูปที่ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกับจำนวนรอบเวลาเดินระบบ

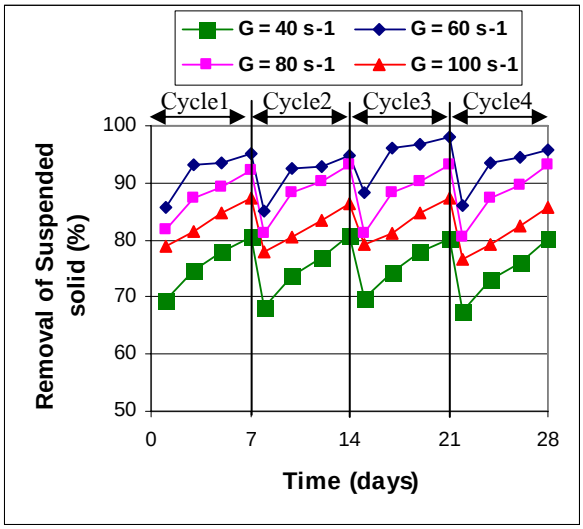
จากการพิจารณาประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีกับจำนวนรอบเวลาเดินระบบของถังปฏิกรณ์ที่มีความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที พบว่าที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที รอบที่ 1 สามารถกำจัดซีโอดีได้ 69.63, 73.43, 75.45 และ 76.72 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 2 สามารถกำจัดซีโอดีได้ 69.52, 72.45, 76.51 และ 78 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 3 สามารถกำจัดซีโอดีได้ 70.3, 72.88, 75.46 และ 77.01 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 4 สามารถกำจัดซีโอดีได้ 70.3, 72.88, 75.66 และ 76.48 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที รอบที่ 1 สามารถกำจัดซีโอดีได้ 78.4, 81.93, 82.56 และ 85.09 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 2 สามารถกำจัดซีโอดีได้ 77.31, 80.21, 83.32 และ 85.48 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 3 สามารถกำจัดซีโอดีได้ 78.2, 79.13, 81.71 และ 84.16 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 4 สามารถกำจัดซีโอดีได้ 77.74, 81.06, 84.27 และ 86.14 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที รอบที่ 1 สามารถกำจัดซีโอดีได้ 73.18, 76.72, 79.5 และ 81.9 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 2 สามารถกำจัดซีโอดีได้ 73.29, 77.47, 78.67 และ 80.95 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 3 สามารถกำจัดซีโอดีได้ 73.66, 77.01, 79.08 และ 80.37 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 4 สามารถกำจัดซีโอดีได้ 73.74, 76.05, 78.36 และ 80.66 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที รอบที่ 1 สามารถกำจัดซีโอดีได้ 70.09, 74.57, 77.48 และ 79.12 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 2 สามารถกำจัดซีโอดีได้ 70.53, 74.84, 77.72 และ 79.39 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 3 สามารถกำจัดซีโอดีได้ 70.68, 74.94, 76.49 และ 78.82 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 4 สามารถกำจัดซีโอดีได้ 71.82, 75.23, 77.2 และ 79.45 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากการทดลองปริมาณซีโอดีในน้ำเข้าอยู่ในช่วง 4,174 – 3,872 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณซีโอดีน้ำออกอยู่ช่วง 947–514 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ทุกๆ จำนวนรอบเวลาเดินระบบ มีทิศทางหรือแนวโน้มไปในแนวทางเดียวกัน โดยพบว่าระบบอยู่ในสภาวะคงที่ (Steady State) โดยระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาทีมากกว่า 40, 80 และ 100 ต่อวินาที ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการเดินระบบที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที เป็นสภาวะที่เอื้ออำนวยให้มวลชีวภาพในถังปฏิกิริยาเกิดการผสมกันระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ และน้ำเสียอย่างทั่วถึง ทำให้แบคทีเรียมีโอกาสได้รับสารอินทรีย์หรือสารต่างๆ ที่แบคทีเรียขับออกจากกระบวนการย่อยสลาย มีการกระจายที่ดีขึ้น อีกทั้งทำให้ตะกอนจุลินทรีย์เกิดการตกตะกอนที่ดี จึงทำให้ความสกปรกในรูปซีโอดีในน้ำเสียถูกย่อยสลายไปได้มากกว่าที่ความลาดชันความเร็ว 40, 80 และ 100 ต่อวินาที ตามลำดับ สำหรับความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที ทำให้ จุลินทรีย์จับใช้สารอินทรีย์ได้น้อย หรือได้ไม่ดี จึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีค่าต่ำ และในขณะเดียวกันความลาดชันความเร็ว 80 และ 100 ต่อวินาที มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีคือ จะเกิดการแย่งกันของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ส่งผลทำให้ระบบปั่นป่วน ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถปรับตัวอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมได้ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบลดลง เมื่อเทียบกับความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที จากงานวิจัยของ [5] ได้กล่าวไว้ว่า ค่าความลาดชันความเร็วที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสีย ควรมีค่าอยู่ในช่วง 50-85 ต่อวินาที



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตกับจำนวนรอบเวลาเดินระบบ

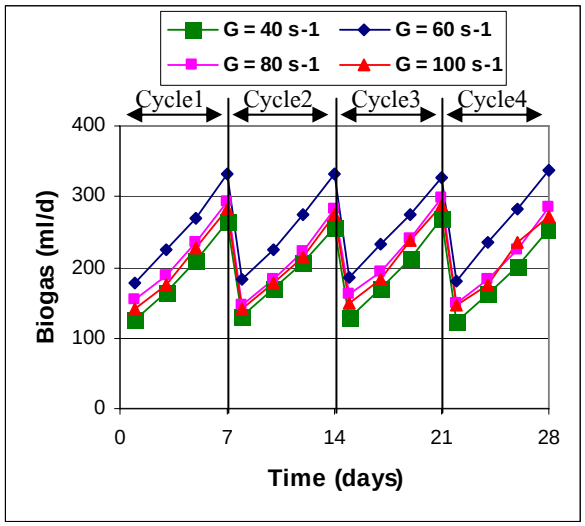
จากการพิจารณาประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตกับจำนวนรอบเวลาเดินระบบของถังปฏิกรณ์ที่มีความลาดชัน

ความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที พบว่าที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที รอบที่ 1 สามารถกำจัดซัลเฟตได้ 35.51, 42.39, 49.64 และ 55.8 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 2 สามารถกำจัดซัลเฟตได้ 34.59, 42.12, 50 และ 55.47 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 3 สามารถกำจัดซัลเฟตได้ 35.51, 42.06, 50.93 และ 55.14 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 4 สามารถกำจัดซัลเฟตได้ 35.34, 41.77, 50.2 และ 55.02 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที รอบที่ 1 สามารถกำจัดซัลเฟตได้ 42.75, 51.45, 59.42 และ 67.03 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 2 สามารถกำจัดซัลเฟตได้ 41.44, 50.34, 58.9 และ 67.12 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 3 สามารถกำจัดซัลเฟตได้ 42.52, 51.4, 59.35 และ 68.22 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 4 สามารถกำจัดซัลเฟตได้ 42.57, 49, 58.63 และ 68.27 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที รอบที่ 1 สามารถกำจัดซัลเฟตได้ 40.94, 47.83, 57.61 และ 64.86 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 2 สามารถกำจัดซัลเฟตได้ 40.07, 46.92, 58.56 และ 63.7 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 3 สามารถกำจัดซัลเฟตได้ 40.65, 47.2, 57.01 และ 63.55 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 4 สามารถกำจัดซัลเฟตได้ 40.56, 46.99, 57.83 และ 63.05 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที รอบที่ 1 สามารถกำจัดซัลเฟตได้ 38.04, 44.57, 53.26 และ 59.06 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับรอบที่ 2 สามารถกำจัดซัลเฟตได้ 37.33, 44.86, 54.79 และ 59.25 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 3 สามารถกำจัดซัลเฟตได้ 37.85, 45.79, 54.67 และ 58.88 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 4 สามารถกำจัดซัลเฟตได้ 38.96, 44.98, 53.41 และ 58.23 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากการทดลองปริมาณซัลเฟตในน้ำเข้าอยู่ในช่วง 292–214 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณซัลเฟตน้ำออกอยู่ช่วง 191–68 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าทุกๆ จำนวนรอบเวลาเดินระบบ มีทิศทางหรือแนวโน้มไปในแนวทางเดียวกัน โดยพบว่าระบบอยู่ในสภาวะคงที่ (Steady State) โดยระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที ระบบสามารถกำจัดซัลเฟตได้มากที่สุด สังเกตได้จากภายในระบบมีการกวนที่ทั่วถึง จึงทำให้จุลินทรีย์มีโอกาสสัมผัสกับสารอินทรีย์มากขึ้น ส่งผลให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้มากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากระบบมีปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชันเข้ามาเกี่ยวข้อง เนื่องจากในน้ำเสียอุตสาหกรรมมีซัลเฟตเป็นองค์ประกอบ โดยมีซัลเฟตเป็นตัวรับอิเลคตรอน โดยรีดิวซ์ซัลเฟตเป็นซัลไฟด์ จึงส่งผลทำให้ซัลเฟตในระบบลดลงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [2] ในน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีซัลเฟตเป็นองค์ประกอบเช่นเดียวกัน แสดงว่าแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (SRB) ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดซัลเฟตนั้น สามารถเจริญเติบโตขึ้นมาในน้ำเสียนี้ได้ และเปลี่ยนรูปซัลเฟตไปอยู่ในรูปอื่นๆได้ ทำให้ความเข้มข้นของซัลเฟตในน้ำออกลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของซัลไฟด์ที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น รองลงมาที่ความลาดชันความเร็ว 80 และ 100 ต่อวินาที ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตใกล้เคียงกัน ส่วนที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตค่อนข้างต่ำ อาจเนื่องมาจากอัตราการกวนที่ค่อนข้างช้า ทำให้การผสมกันระหว่างจุลินทรีย์กับสารอินทรีย์ในน้ำไม่ทั่วถึง จากการสังเกตพบว่าภายในระบบมีการสะสมของพวกเศษยางต่างๆ อยู่บริเวณผิวหน้าของถังปฏิกรณ์ เกิดการสะสมของสารพิษ ซึ่งอาจจะมีผลต่อการทำงานของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ส่งผลให้การเกิดปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชั่นลดน้อยลง



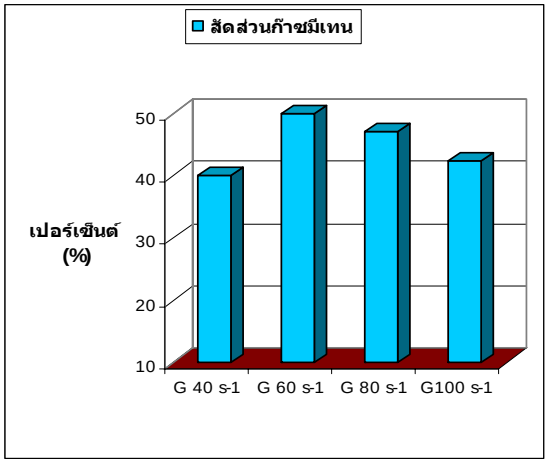
รูปที่ 4 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยกับจำนวนรอบเวลาเดินระบบ

จากการพิจารณาประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยกับจำนวนรอบเวลาเดินระบบของถังปฏิกรณ์ที่มีความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ100 ต่อวินาที พบว่าที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาทีรอบที่ 1 สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ 69.42, 74.8, 77.88 และ 80.38 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 2 สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ 68.32, 73.85, 76.9 และ 80.72 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 3 สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ 69.72, 74.3, 77.88 และ 80.27 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 4 สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ 67.5, 73.11, 76.01 และ 80.07 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที รอบที่ 1 สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ 85.58, 93.27, 93.65 และ 95.19 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 2 สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ 85.11, 92.56, 92.94 และ 94.66 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 3 สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ 88.25, 96.22, 96.61 และ 98.21 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 4 สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ 85.88, 93.62, 94.39 และ 95.94 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที รอบที่ 1 สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ 81.73, 87.5, 89.42 และ 92.3 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 2 สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ 81.29, 88.35, 90.26 และ 93.32 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 3 สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ 81.29, 88.35, 90.26 และ 93.32 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 4 สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ 80.46, 87.42, 89.74 และ 93.03 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที รอบที่ 1 สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ 78.84, 81.53, 84.61 และ 87.3 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 2 สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ 77.86, 80.53, 83.58 และ 86.45 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 3 สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ 79.28, 81.27, 84.66 และ 87.45 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รอบที่ 4 สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ 76.59, 79.3, 82.39 และ 85.68 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากการทดลองปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเข้าอยู่ในช่วง 524-502 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณของแข็งแขวนลอยน้ำออกอยู่ช่วง 168–9 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ทุกๆ จำนวนรอบเวลาเดินระบบ มีทิศทางหรือแนวโน้มไปในแนวทางเดียวกัน โดยพบว่าระบบอยู่ในสภาวะคงที่ (Steady State) โดยระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยได้มากที่สุดที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที เนื่องจากการทำงานของระบบเอเอสบีอาร์ มีขั้นตอนการเดินระบบตั้งแต่การเติมน้ำเสียเข้าสู่ระบบและเกิดการทำปฏิกิริยาย่อยสลายสารมลพิษอินทรีย์ เพื่อให้เกิดการสัมผัสระหว่างสารอินทรีย์และตะกอนจุลินทรีย์ จึงทำให้อัตราการย่อยสลายสารมลพิษเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว จะเห็นได้ว่าที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที พบว่าภายในระบบมีการกวนที่เพียงพอและทั่วถึงทั้งระบบ สังเกตได้จากจุลินทรีย์ที่ตกตะกอนอยู่ด้านล่างถังได้สัมผัสกับน้ำเสียที่เข้ามาในระบบ ส่งผลให้การรวมตัวของตะกอนจุลินทรีย์ได้ดี จึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยสูงขึ้นด้วยในสภาวะนี้ ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของซีโอดีที่สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้มากที่สุดที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที นอกจากนี้ผลการทดลองที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยน้อยที่สุด แสดงว่าระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียยางข้นได้น้อย เนื่องจากลักษณะการกวนที่ค่อนข้างเบาทำให้บางจุดในถังมีการสะสมของสารอินทรีย์มากเกินไป และการกระจายจุลินทรีย์ภายในถังไม่ทั่วถึง ส่งผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ไม่ดี ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยจึงลดลง ในขณะเดียวกันที่ความลาดชันความเร็ว 80 และ 100 ต่อวินาที พบว่ามีลักษณะการกวนที่เร็วและค่อนข้างรุนแรง ส่งผลให้ระบบปั่นป่วน จุลินทรีย์ไม่สามารถปรับตัวอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมได้ ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยจึงลดลง จากงานวิจัยของ [4] ได้กล่าวไว้ว่าน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นเป็นน้ำเสียที่มีสารประกอบที่ซับซ้อนและย่อยสลายได้ยาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ความลาดชันความเร็วให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการย่อยสลายสารอินทรีย์ดังกล่าว



รูปที่ 5 ปริมาณก๊าซชีวภาพกับจำนวนรอบเวลาเดินระบบ

จากการพิจารณาปริมาณก๊าซชีวภาพกับจำนวนรอบเวลาเดินระบบของถังปฏิกรณ์ที่มีความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที พบว่าที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที รอบที่ 1 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 125, 165, 208 และ 263 มิลลิลิตรต่อวัน ตามลำดับ รอบที่ 2 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 132, 169, 207 และ 257 มิลลิลิตรต่อวัน ตามลำดับ รอบที่ 3 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 128, 171, 212 และ 268 มิลลิลิตรต่อวัน ตามลำดับ รอบที่ 4 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 124, 162, 202 และ 254 มิลลิลิตรต่อวัน ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที รอบที่ 1 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 178, 225, 269 และ 331 มิลลิลิตรต่อวัน ตามลำดับ รอบที่ 2 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 183, 225, 275 และ 332 มิลลิลิตรต่อวัน ตามลำดับ รอบที่ 3 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 185, 232, 274 และ 328 มิลลิลิตรต่อวัน ตามลำดับ รอบที่ 4 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 180, 234, 282 และ 336 มิลลิลิตรต่อวัน ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที รอบที่ 1 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 155, 189, 235 และ 294 มิลลิลิตรต่อวัน ตามลำดับ รอบที่ 2 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 147, 183, 221 และ 282 มิลลิลิตรต่อวัน ตามลำดับ รอบที่ 3 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 162, 194, 240 และ 298 มิลลิลิตรต่อวัน ตามลำดับ รอบที่ 4 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 150, 182, 226 และ 286 มิลลิลิตรต่อวัน ตามลำดับและที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที รอบที่ 1 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 142, 176, 228 และ 282 มิลลิลิตรต่อวัน ตามลำดับ รอบที่ 2 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 142, 178, 215 และ 275 มิลลิลิตรต่อวัน ตามลำดับ รอบที่ 3 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 150, 184, 238 และ 288 มิลลิลิตรต่อวัน ตามลำดับ รอบที่ 4 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 146, 176, 235 และ 272 มิลลิลิตรต่อวัน ตามลำดับ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ทุกๆ จำนวนรอบเวลาเดินระบบ มีทิศทางหรือแนวโน้มไปในแนวทางเดียวกัน โดยพบว่าระบบอยู่ในสภาวะคงที่ (Steady State) โดยระบบสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มากที่สุดที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาทีมากกว่า 40, 80 และ 100 ต่อวินาที ตามลำดับ เนื่องจากในระบบมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆในน้ำเสียโดยมีแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจนเจริญเติบโตอยู่ภายในระบบ โดยที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดนั้น แสดงว่าระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้ ซึ่งสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ถูกกำจัดและเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซชีวภาพ โดยแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methane Producing Bacteria) โดยสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี สำหรับความลาดชันความเร็ว 80 และ 100 ต่อวินาที อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพค่อนข้างใกล้เคียงกัน อาจเกิดจากลักษณะการกวนที่เร็วเกินไป ทำให้เกิดการปั่นป่วนภายในระบบ และที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที อัตราการผลิตก๊าซค่อนข้างน้อย อาจเนื่องมาจากลักษณะการกวนที่ช้าเกินไป ส่งผลให้เกิดการสะสมของสารพิษต่างๆในระบบ ซึ่งจะทำให้เกิดการยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทนได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [4] พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีค่อนข้างน้อย เนื่องจากในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น มีปริมาณความเข้มข้นของซัลเฟตสูง และเกิดปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชั่นดังที่กล่าวไปแล้ว

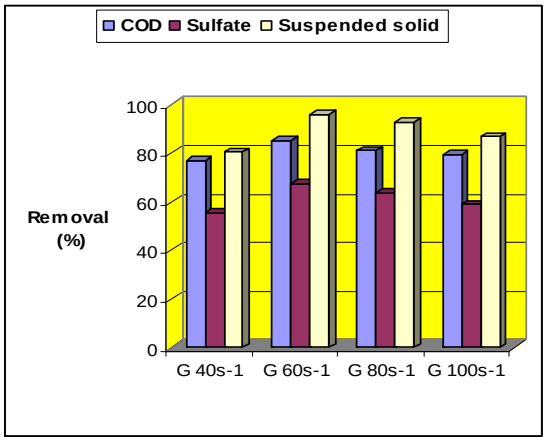


รูปที่ 6 สัดส่วนก๊าซมีเทนของระบบ

จากการพิจารณาสัดส่วนก๊าซมีเทนของระบบของถังปฏิกรณ์ที่มีความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที พบว่ามีปริมาณสัดส่วนก๊าซมีเทนของระบบคิดเป็น 39.93, 52.71, 47.16 และ 42.38 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจะมีน้อยมาก เมื่อพิจารณาจากค่าซีโอดีที่ถูกใช้ไปในการเกิดปฏิกิริยารีดักชันซัลเฟตมีค่าสูง แสดงว่าแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (SRB) นั้นเข้าไปแย่งอาหารกับแบคทีเรียสร้างมีเทน (MPB) จึงมีการผลิตก๊าซมีเทนออกมาน้อย

4. สรุปผลการวิจัย

ระบบเอเอสบีอาร์ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดซีโอดี ซัลเฟต และของแข็งแขวนลอยได้มากที่สุด



รูปที่ 7 สรุปประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีซัลเฟตของแข็งแขวนลอย

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งกรุณาสละเวลาอันมีค่าในการให้ความรู้ คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆในการศึกษา และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณามอบทุนสนับสนุนในการทำงานวิจัย ในครั้งนี้ จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมมลพิษ. 2548. แนวทางปฏิบัติที่ดีด้านการป้องกันและลดมลพิษอุตสาหกรรมยางข้น. นนทบุรี : สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย.

[2] จันทิมา สกุลพานิชัย. 2548. การบำบัดน้ำเสียที่มีซัลเฟตและไนเตรทสูงโดยใช้ระบบยูเอเอสบี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[3] สมาคมยางพาราไทย. 2551. ยางพารา [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.thainr.com/th/index. php?detail =main. [15 กรกฎาคม 2551]

[4] อลิสรา วงศ์กิตติวิมล. 2543. การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นโดยถังปฏิกรณ์ไฮบริดแบบไม่ใช้ออกซิเจน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[5] Arthur, C. 1999. Digester mixing systems Can you properly mix with too little power. Division of McNish Corporation. [Online]. Available from : http://www.walker-process.com/paper DIGMIX.pdf. [2008, June 1