



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง ผลของไคโตซานต่อประสิทธิภาพของระบบถังบำบัดน้ำเสียแบบกระบวนการชั้นตะกอน
จุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น

โดย นายสิทธิพงษ์ เลิศสิทธิชัย

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.มงคล หวังสถิตยวัฒน์)

13 ตุลาคม 2549

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทพร ผลากรกุล)

กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ปราณี เลิศสุทธิวงศ์)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนรรักษ์ ปิตรีกษ์สกุล)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประวิตร จันทรานุกาพ)

ผลของโคโคซานต่อประสิทธิภาพของระบบถังบำบัดน้ำเสียแบบกระบวนการชั้นตะกอนจุลินทรีย์
ไร้อากาศแบบไหลขึ้น

นายสิทธิพงษ์ เลิศสิทธิชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2549
ISBN 974-19-0857-1
ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชื่อ : นายสิทธิพงษ์ เลิศสิทธิชัย
ชื่อวิทยานิพนธ์ : ผลของโคโคซานต่อประสิทธิภาพของระบบถังบำบัดน้ำเสียแบบ
กระบวนการขึ้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น
สาขาวิชา : วิศวกรรมเคมี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทพร ผลากรกุล
ดร.ปราณี เลิศสุทธีวงศ์
ปีการศึกษา : 2549

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของถังบำบัดแบบกระบวนการขึ้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น (UASB) ขนาด 30 ลิตร ที่มีการเติมโคโคซาน ซึ่งมีระดับการกำจัดหมู่อะซิโตร้อยละ 85 และน้ำหนักโมเลกุล 3.48×10^5 ดาลตัน โดยเปรียบเทียบกับถังบำบัดแบบ UASB ที่ไม่มีการเติมโคโคซาน รองรับน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลไม้กระป๋องที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นอยู่ในช่วง 4,840-5,820 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 6.5-7.2 เชื้อตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นสำหรับสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์นำมาจากกระบวนการย่อยแบบไร้อากาศ มีปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย 28.2 กรัมต่อลิตร เริ่มต้นเดินระบบที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 85 ชั่วโมง อัตราการรับภาระสารอินทรีย์เริ่มต้น 1.45 กิโลกรัมซีโอดี/ลบ.เมตร/วันที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นดำเนินการลดระยะเวลาพักเก็บน้ำเสียเป็น 65 45 และ 35 ชั่วโมงตามลำดับ โดยใช้เวลาดำเนินการ 100 วัน ซึ่งการเติมโคโคซานใช้วิธีการฉีดเข้าทางด้านล่างของถังบำบัดในวันที่ 2 (ระยะเวลาการพักเก็บน้ำเสีย 85 ชั่วโมง) และ 37 (ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 65 ชั่วโมง) ของการดำเนินงาน ปริมาณ 2 มิลลิกรัม/กรัมตะกอนสารแขวนลอย จากผลการทดลองพบว่า การเติมโคโคซานสามารถลดการสูญเสียตะกอนจุลินทรีย์ออกนอกระบบได้สูงขึ้นร้อยละ 21-67 และสามารถกำจัดความสกปรก (ซีโอดี) สูงกว่าถัง UASB ที่ไม่เติมโคโคซานร้อยละ 5-10 รวมถึงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่สูงกว่าและขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ใหญ่กว่าร้อยละ 21-53 และร้อยละ 24-37 ตามลำดับ แม้ว่าการเติมโคโคซานเป็นการเพิ่มต้นทุนให้กับระบบบำบัด UASB แต่ทำให้ระบบบำบัดผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น ซึ่งจากการประเมินเบื้องต้นทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้เพิ่มขึ้น สามารถนำไปชดเชยกับต้นทุนในส่วน of โคโคซานอย่างคุ้มค่า

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 117 หน้า)

คำสำคัญ : โคโคซาน, จุลินทรีย์แบบไร้อากาศ, การบำบัดน้ำเสีย, กระบวนการขึ้นตะกอน
จุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น

_____ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

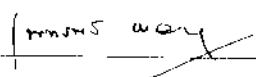
Name : Mr.Sittipong Loersittichai
 Thesis Title : Effect of Chitosan on the Efficiency of Upflow Anaerobic Sludge Blanket System
 Major Field : Chemical Engineering
 King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok
 Thesis Advisors : Assistant Professor Dr.Chantaraporn Phalakornkule
 Dr.Pranee Lertsutthiwong
 Academic Year : 2006

Abstract

In this study, the performance of a 30 liter Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) adding chitosan with degree of deacetylation of 85% and molecular weight of 3.48×10^5 dalton was investigated. A UASB reactor without chitosan addition was operated in parallel for performance comparison. Wastewater, with chemical oxygen demand (COD) between 4,820-5,820 mg l⁻¹ and pH 6.5-7.2, was accommodated from a canned fruit factory. The initial seed for microbial granules with volatile suspending solid around 28.2 g l⁻¹ was from an anaerobic digester system. The UASB operation was started up under the atmospheric temperature with the hydraulic retention time (HRT) at 85 hours, corresponding to an organic loading rate of 1.45 kg COD m⁻³ d⁻¹. The HRT was further reduced in a stepwise fashion, i.e. 65 45 and 35 hours, with an operating time of 100 days. Chitosan was injected into the bottom of UASB reactor on the second operating day (at HRT of 85) and on the thirty-seventy operating day (at HRT of 65). Chitosan was applied at 2 mg chitosan/g suspended solids at each injection. The results showed that the UASB with chitosan addition resulted in 21-67 % lower biomass washout and 5-10 % higher COD removal than the control bed. In addition, the rate of biogas production and the size of granules were 21-53 % and 24-37 % higher, respectively, than those of the control. Although, the addition of chitosan increased the operating cost but it could produce higher amount of biogas. The preliminary economic estimation found that the excess biogas could compensate the cost of chitosan.

(Total 117 pages)

Keywords : chitosan, anaerobic sludge, wastewater treatment, UASB

_____  _____ Advisor

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงตามวัตถุประสงค์ไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทพร ผลากรกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์ ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ของการวิจัย อันเป็นประโยชน์ของการวิจัยครั้งนี้ มาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.ปราณี เลิศสุทธิวงศ์ ที่ให้คำปรึกษา และช่วยวางแผนการทำวิจัย ให้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ และให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล สารโคโดซาน รวมทั้งอำนวยความสะดวกสถานที่ในการทำวิจัย เป็นคณะกรรมการสอบ รวมถึงให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ ของการวิจัย แก้ไข ปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้เสร็จสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุรักษ์ ปีติรักษ์สกุล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประวิตร จันทรานุกาพ ที่ให้ความอนุเคราะห์เป็นคณะกรรมการสอบ รวมถึงให้คำแนะนำ แก้ไข ปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้เสร็จสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ มูลนิธิพระบรมราชานุสรณ์พระบาทสมเด็จพระปกเกล้าเจ้าอยู่หัวและสมเด็จพระนางเจ้ารำไพพรรณี ที่ให้ความอนุเคราะห์ทุนอุดหนุนการวิจัยโครงการวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ให้ความอนุเคราะห์ทุนอุดหนุนการวิจัยโครงการวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ บริษัท ด้าหมิงเอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์สารโคโดซาน เพื่อใช้ในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ โรงบำบัดน้ำเสียชุมชนห้วยขวาง และเจ้าหน้าที่ทุกท่านของโรงบำบัดน้ำเสีย ที่ให้ความอนุเคราะห์กากตะกอน และทำการเก็บกากตะกอนจากถังหมักให้เพื่อใช้ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ธุรการ และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ รวมทั้งนายราชบัณฑิต วงษ์น้อย และนางสาวชุตติภาภัก เกษมโชติช่วง นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่มีส่วนช่วยเหลือให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และพี่น้องที่ให้อภัย และให้ความสนับสนุนในด้านทุนการศึกษามาโดยตลอด หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ก่อให้เกิดประโยชน์แก่ท่านผู้ใด ผู้วิจัยขอมอบความดีทั้งปวงให้แก่บิดา มารดา และคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ช่วยส่งเสริมให้ผู้วิจัยมีความรู้ ความสามารถ จนสำเร็จการศึกษา

สิทธิพงษ์ เลิศสิทธิชัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ปัญหาและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์	3
2.1 ลักษณะสมบัติทางชีวเคมีของกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจน	3
2.2 ไคตินและไคโตซาน	12
2.3 ระบบ UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)	22
2.4 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
บทที่ 3 อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินงานวิจัย	35
3.1 เครื่องมือ	35
3.2 อุปกรณ์	38
3.3 สารเคมี	38
3.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย	39
3.5 วิธีการวิเคราะห์	42
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	49
4.1 ผลการเดินระบบและประสิทธิภาพของระบบ	49
4.2 ตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ด (Granule)	58
4.3 การประเมินทางเศรษฐศาสตร์	62
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	65
5.1 สรุปผลการทดลอง	65
5.2 ข้อเสนอแนะ	65
บรรณานุกรม	67
ภาคผนวก ก	71
รายละเอียดข้อมูลสำคัญโรงงานมาลีสามพราน จำกัด (มหาชน)	72

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ข	75
รายละเอียดการออกแบบถังบำบัด UASB อุปกรณ์ต่างๆ และระบบบำบัด ที่ใช้ในการทดลอง	76
ภาคผนวก ค	81
ข้อมูลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคตะกอนจุลินทรีย์	82
ภาคผนวก ง	91
ตัวอย่างการคำนวณระยะเวลาการกักเก็บเม็ดตะกอนจุลินทรีย์	92
ภาคผนวก จ	93
สมดุลคาร์บอน	94
ภาคผนวก ฉ	97
ข้อมูลการเดินระบบ	98
ภาคผนวก ช	103
บทความรายงานสัมมนาวิชาการการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31 18-20 ตุลาคม 2548 ณ เทคโนธานี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา	104
ภาคผนวก ซ	109
บทความการประชุมวิชาการ CHEMECA' 2006 Conference 17-20 กันยายน 2006 ณ The University of Auckland and the Society of Chemical Engineers New Zealand ประเทศนิวซีแลนด์	110
ประวัติผู้วิจัย	117

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 เปรียบเทียบชนิดของระบบบำบัดแบบ UASB กับชนิดอื่นๆ	23
3-1 คุณสมบัติของน้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัย	39
3-2 การเก็บตัวอย่างน้ำเสียเพื่อนำมาวิเคราะห์	40
4-1 การประเมินทางเศรษฐศาสตร์ในงานวิจัย	63
จ-1 ข้อมูลสมมูลคาร์บอนระบบบำบัด UASB ที่มีการเติมโคโคซาน	94
จ-2 ข้อมูลสมมูลคาร์บอนระบบบำบัด UASB ที่ไม่มีการเติมโคโคซาน	95
ฉ-1 ข้อมูลการเดินระบบของถังบำบัด UASB ที่มีการเติมโคโคซาน	98
ฉ-2 ข้อมูลการเดินระบบของถังบำบัด UASB ที่ไม่มีการเติมโคโคซาน	99
ฉ-3 ข้อมูลการเดินระบบของระบบบำบัด UASB ทั้งสองระบบ	100
ฉ-4 ข้อมูลการเปรียบเทียบค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดกับค่าของแข็งทั้งหมด	102

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 ปฏิบัติการรื้อออกซีในการบำบัดน้ำเสีย	3
2-2 ตัวอย่างถังบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนชนิดต่างๆ	4
2-3 ขั้นตอนการย่อยสลายของปฏิกิริยาไม่ใช้ออกซิเจน	5
2-4 สรุปขั้นตอนการย่อยสลาย LCFA, AA และคาร์โบไฮเดรต แบบไม่ใช้ออกซิเจน	11
2-5 สารต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการย่อยแต่ละขั้นตอน	12
2-6 แสดงโครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส ไคติน และ ไคโตซาน	13
2-7 การผลิตไคตินและไคโตซานจากเปลือกกุ้ง	19
2-8 องค์ประกอบหลักของถังบำบัดแบบ UASB ชนิดทั่วไป	24
2-9 รูปแบบของระบบ UASB ที่ใช้งานจริง	25
3-1 ลักษณะของถังบำบัดน้ำเสียแบบ UASB	35
3-2 ลักษณะอุปกรณ์วัดปริมาตรก๊าซมีความจุประมาณ 1.4 ลิตร	36
3-3 ลักษณะอุปกรณ์วัดปริมาตรก๊าซมีความจุประมาณ 4.85 ลิตร	36
3-4 ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัย	41
3-5 ก. ลักษณะเครื่องให้ความร้อน รุ่น 45600 ของบริษัท HACH ข. ลักษณะเครื่อง Spectrophotometer รุ่น DR/2010 ของบริษัท HACH	45
4-1 อัตราการรับภาระสารอินทรีย์และระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียเทียบกับเวลา	49
4-2 พีเอชเทียบกับเวลา	50
4-3 สภาพความเป็นด่างทั้งหมดเทียบกับเวลา	51
4-4 ค่าซีโอดีเทียบกับเวลา	52
4-5 เปอร์เซนต์การกำจัดค่าซีโอดีเทียบกับเวลา	53
4-6 ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายเทียบกับเวลา	54
4-7 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเทียบกับเวลา	55
4-8 ระยะเวลาที่เก็บตะกอนจุลินทรีย์เทียบกับเวลา	56
4-9 อัตราการชะล้างตะกอนจุลินทรีย์ออกนอกระบบบำบัดเทียบกับเวลา	57
4-10 การกระจายตัวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ 30 วันของการทดลอง	59
4-11 การกระจายตัวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ 60 วันของการทดลอง	60
4-12 การกระจายตัวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ 90 วันของการทดลอง	60
4-13 การกระจายตัวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ 100 วันของการทดลอง	61
4-14 ขนาดเฉลี่ยของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์เทียบกับเวลา	62
ก-1 แผนภูมิการไหลของน้ำเสียในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานมาลีสามพราน จำกัด	73

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ข-1 รายละเอียดถังบำบัดแบบ UASB ที่ใช้ในการทดลอง	76
ข-2 รายละเอียดฝาปิดถังบำบัดแบบ UASB ที่ใช้ในการทดลอง	77
ข-3 รายละเอียดส่วนประกอบส่วนที่หนึ่งของระบบแยกสามวัฏภาคของถังบำบัดแบบ UASB ที่ใช้ในการทดลอง	78
ข-4 รายละเอียดส่วนประกอบส่วนที่สองของระบบแยกสามวัฏภาคของถังบำบัดแบบ UASB ที่ใช้ในการทดลอง	79
ข-5 ชุดทดลองระบบบำบัดแบบ UASB ที่ใช้งานจริง	80
ค-1 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตะกอนจุลินทรีย์ก่อนเริ่มระบบบำบัด	82
ค-2 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตะกอนจุลินทรีย์ภายในถังบำบัด UASB ที่มีการเติมโคโคซานของวันที่ 30	83
ค-3 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตะกอนจุลินทรีย์ภายในถังบำบัด UASB ที่มีการเติมโคโคซานของวันที่ 60	84
ค-4 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตะกอนจุลินทรีย์ภายในถังบำบัด UASB ที่มีการเติมโคโคซานของวันที่ 90	85
ค-5 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตะกอนจุลินทรีย์ภายในถังบำบัด UASB ที่มีการเติมโคโคซานของวันที่ 100	86
ค-6 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตะกอนจุลินทรีย์ภายในถังบำบัด UASB ที่ไม่มีการเติมโคโคซานของวันที่ 30	87
ค-7 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตะกอนจุลินทรีย์ภายในถังบำบัด UASB ที่ไม่มีการเติมโคโคซานของวันที่ 60	88
ค-8 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตะกอนจุลินทรีย์ภายในถังบำบัด UASB ที่ไม่มีการเติมโคโคซานของวันที่ 90	89
ค-9 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตะกอนจุลินทรีย์ภายในถังบำบัด UASB ที่ไม่มีการเติมโคโคซานของวันที่ 100	90

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ปัญหาและที่มา

ในกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยทั่วไปนิยมใช้กระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีชีววิทยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Wastewater Treatment) เนื่องด้วยรูปแบบการทำงานง่ายและมีประสิทธิภาพสูง เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีชีววิทยาแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมแบบหนึ่งคือ ระบบกระบวนการขึ้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB) เนื่องจากระบบ UASB เป็นระบบบำบัดแบบไร้อากาศที่สามารถรับค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่มีค่าสูง มีการใช้พลังงานต่ำ การควบคุมดูแลระบบไม่ยุ่งยากและยังผลิตก๊าซมีเทนได้ในปริมาณมาก การทำงานของถังปฏิกรณ์ประกอบด้วย การป้อนน้ำเสียจากด้านล่างของถังปฏิกรณ์ขึ้นสู่ด้านบนโดยไม่ใช้ตัวกลางหรือวัสดุใดๆ ในการพยุงมวลชีวภาพภายในถังบรรจุตะกอนจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ น้ำเสียที่ถูกพ่นจากด้านล่างถังปฏิกรณ์จะไหลผ่านเม็ดตะกอน จุลินทรีย์อย่างทั่วถึงแล้วไหลผ่านขึ้นสู่ด้านบนของถังปฏิกรณ์ ถัดจากชั้นตะกอนจุลินทรีย์ขึ้นมาด้านบนจะเป็นชั้นตะกอนลอยที่มีความหนาแน่นต่ำเนื่องจากตะกอนมีน้ำหนักเบาจึงทำให้ตะกอนจุลินทรีย์แขวนลอยอยู่ในถัง ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ขึ้นภายในชั้นนี้ได้อีก สำหรับบริเวณด้านบนสุดของถังปฏิกรณ์มีการติดตั้งอุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนจุลินทรีย์ ทำหน้าที่แยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากก๊าซชีวภาพและน้ำทิ้งที่ไหลออกจากถังปฏิกรณ์ จากหลักการทำงานของถังปฏิกรณ์ระบบ UASB ประสิทธิภาพการทำงานของถังปฏิกรณ์จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่มีน้ำหนักเบาและขนาดเล็กจะลอยขึ้นสู่ด้านบนของถังปฏิกรณ์ และถูกชะล้างออกจากถังปฏิกรณ์พร้อมกับน้ำทิ้ง ดังนั้นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ดีควรมีน้ำหนักมากและขนาดใหญ่เพราะทำให้อยู่ในถังปฏิกรณ์ได้นาน ถังปฏิกรณ์แบบ UASB จึงจะมีประสิทธิภาพสูง

ดังนั้นเพื่อช่วยในการพัฒนาเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ให้มีน้ำหนักมากและขนาดใหญ่ จึงต้องมีการเติมพอลิเมอร์ที่เป็นตัวช่วยในการรวมตัวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ พอลิเมอร์ที่นิยมเติมในถังปฏิกรณ์แบบ UASB ส่วนใหญ่เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากการสังเคราะห์ เช่น Percol 763 ซึ่ง El-Mamouni และคณะ (1998) [1] ได้มีการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างพอลิเมอร์สังเคราะห์ (Percol 763) กับพอลิเมอร์จากธรรมชาติ (ไคโตซาน) ต่อการพัฒนาของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ พบว่าไคโตซานทำให้เกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ได้ดีกว่า แต่ในงานวิจัยของ El-Mamouni และคณะไม่ได้ระบุคุณสมบัติของไคโตซานที่นำมาใช้ และยังพบว่าประสิทธิภาพของไคโตซานในการกำจัด

ความขุ่นหรือการเกิด Floc ลดลงอย่างมากเมื่อ pH เพิ่มขึ้นจาก 5 ไป 7 ในโครงการนี้จึงมุ่งศึกษาอิทธิพลของลักษณะ โคโคซานต่อการพัฒนาเม็ดตะกอนจุลินทรีย์โดยจะเปรียบเทียบระหว่างระบบบำบัดน้ำเสีย UASB ที่เติมโคโคซาน และไม่เติมโคโคซาน ประโยชน์ของโครงการนี้จะสามารถลดการใช้พอลิเมอร์สังเคราะห์ในระบบบำบัดน้ำเสีย UASB และพัฒนาข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้โคโคซานในถังบำบัดน้ำเสียแบบ UASB ได้อย่างเหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาประสิทธิภาพการจับตัวของโคโคซาน ต่อการพัฒนาขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB

1.2.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียระหว่างถังบำบัดน้ำเสีย UASB ที่เติมโคโคซานและไม่เติมโคโคซาน

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับถังบำบัดน้ำเสียแบบ UASB และโคโคซานรวมถึงงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

1.3.2 ออกแบบและสร้างถังบำบัดน้ำเสียแบบ UASB ขนาด 30 ลิตร

1.3.3 ทำการทดสอบขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ และกิจกรรมของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในการใช้สารอินทรีย์ อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ และการเจริญเติบโตของเซลล์จุลินทรีย์

1.3.4 วิเคราะห์ผลและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ระหว่างถังบำบัดน้ำเสีย UASB ที่เติมโคโคซาน และไม่เติมโคโคซาน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียแบบ UASB โดยมุ่งลดการสูญเสียตะกอนจุลินทรีย์ไปกับน้ำขาออก

1.4.2 เพิ่มพูนและพัฒนาความรู้ความสามารถของนักวิจัย ด้านกระบวนการหมักแบบไร้อากาศและถังบำบัดน้ำเสียแบบ UASB

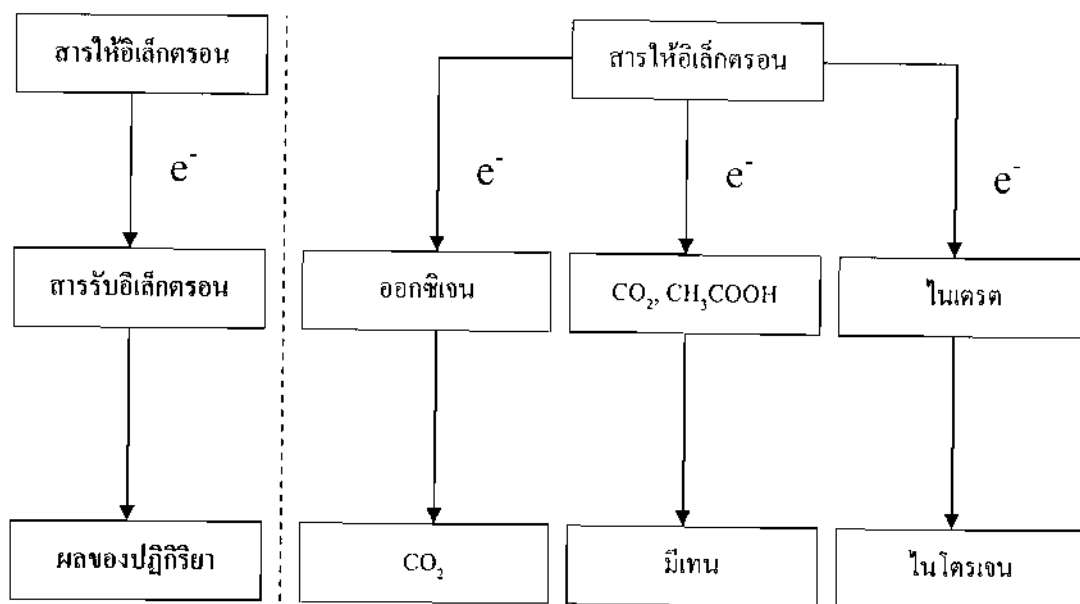
1.4.3 มีความรู้และข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้โคโคซานในถังบำบัดน้ำเสียแบบ UASB ได้อย่างเหมาะสม

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ลักษณะสมบัติทางชีวเคมีของกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจน ([2], [3], [4])

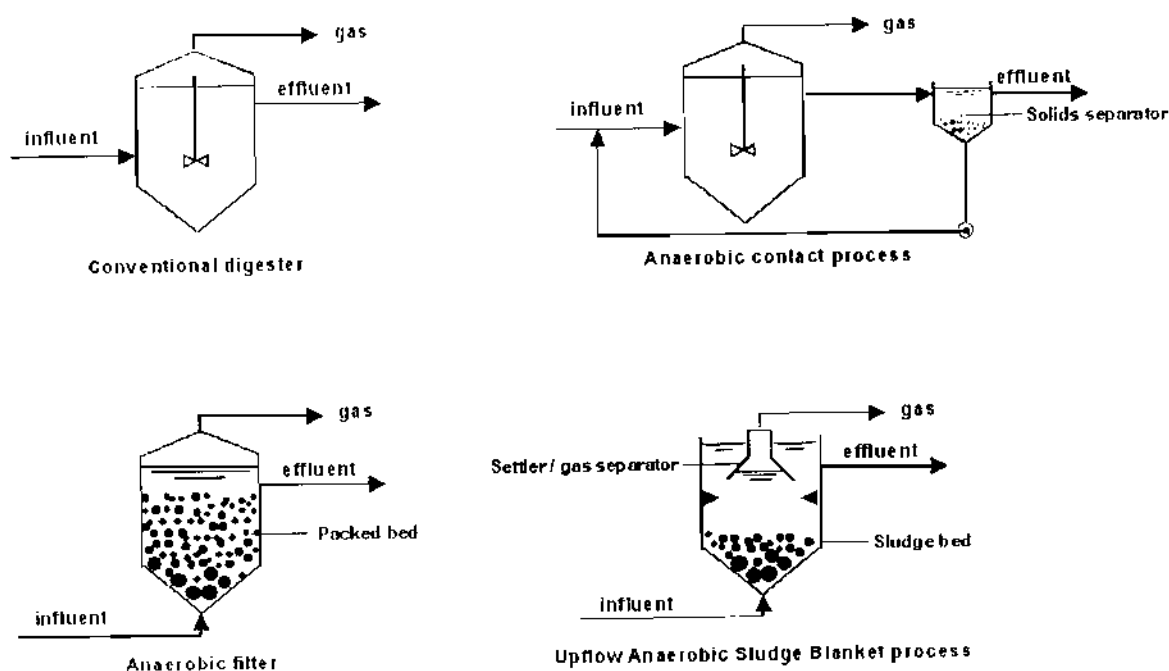
ปฏิกิริยาของการบำบัดน้ำเสียไม่ว่าจะเป็นแบบใช้ออกซิเจนหรือไม่ใช้ออกซิเจน ล้วนแต่มีกลไกพื้นฐานร่วมกัน คือ ทั้งคู่เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่มีการถ่ายเทอิเล็กตรอนเกิดขึ้นระหว่างสารที่ให้และรับอิเล็กตรอน สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะเป็นสารที่ให้อิเล็กตรอนและสารอื่นที่อยู่ในน้ำจะเป็นสารที่รับอิเล็กตรอน ความแตกต่างระหว่างปฏิกิริยาใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนอยู่ที่ประเภทของสารรับอิเล็กตรอน จากภาพที่ 2-1 ถ้าสารรับอิเล็กตรอนเป็นออกซิเจนปฏิกิริยาก็เป็นแบบใช้ออกซิเจน แต่ถ้าสารที่รับอิเล็กตรอนไม่ใช้ออกซิเจนปฏิกิริยาก็เป็นแบบไม่ใช้ออกซิเจน



ภาพที่ 2-1 ปฏิกิริยารีดอกซ์ในการบำบัดน้ำเสีย [2]

กระบวนการไม่ใช้ออกซิเจนมีหน้าที่ 2 อย่าง คือ สร้างเสถียรภาพให้กับตะกอนแบคทีเรียและการบำบัดน้ำเสีย ถ้าพิจารณาในด้านการสร้างเสถียรภาพให้กับตะกอนแบคทีเรียกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจนเป็นกระบวนการที่ใช้ทำลายสารอินทรีย์ในตะกอนสลัดจ์ ซึ่งสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นนั้นเป็นผลมาจากการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แต่เมื่อพิจารณาในด้านการบำบัดน้ำเสียกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจน มักเป็นกระบวนการที่ใช้ลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

ลักษณะของถังบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดมีข้อดีข้อเสียต่างกัน ตัวอย่างของถังบำบัดไร้ออกซิเจน แสดงในภาพที่ 2-2



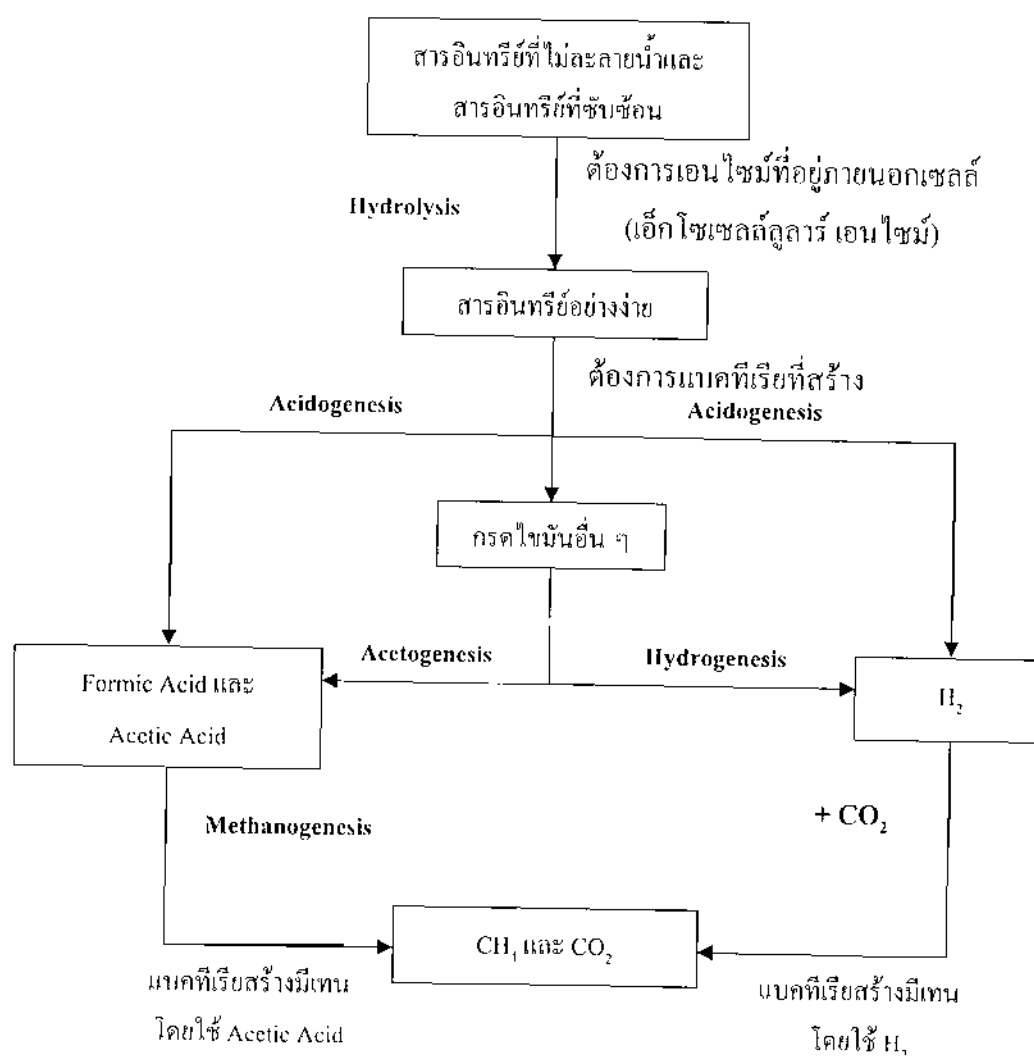
ภาพที่ 2-2 ตัวอย่างถังบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนชนิดต่าง ๆ [3]

2.1.1 ลักษณะทั่วไปของระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ภายในถังปฏิกริยา สารประกอบอินทรีย์ขนาดเล็กจะถูกย่อยส่งผ่านไปยังเซลล์เมมเบรนของแบคทีเรียได้เลย ส่วนสารประกอบอินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่จะต้องถูกย่อยโดยเอนไซม์ให้มีขนาดเล็กก่อนที่จะถูกส่งผ่านเข้าไปในเซลล์ได้ เมื่อสารอินทรีย์เข้าไปในเซลล์แล้วจะถูกออกซิไดส์หลายครั้งจนสุดท้ายจะได้ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทน ดังแสดงในภาพที่ 2-3

ปฏิกริยาที่ใช้ลดขนาดของสารอินทรีย์เพื่อให้สามารถนำไปในเซลล์ได้มักเป็นปฏิกริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ซึ่งใช้เอนไซม์ที่ปล่อยออกมาจากเซลล์เป็นตัวเร่งปฏิกริยา โมเลกุลขนาดเล็กที่สร้างขึ้นโดยปฏิกริยาไฮโดรไลซิส จะถูกใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานของแบคทีเรียโดยผ่านกระบวนการหมัก (Fermentation) ซึ่งผลสุดท้ายจะมีทั้งสารที่อยู่ในรูปกรดไขมันและรูปออกซิไดส์ ผลผลิตที่เป็นรูปออกซิไดส์ส่วนใหญ่ ได้แก่ กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Acid) ที่มีคาร์บอนไม่เกิน 5 อะตอม ปฏิกริยาในการสร้างกรดอินทรีย์เหล่านี้ เรียกว่า

เอซิดโดเจเนซิส (Acidogenesis) และแบคทีเรียที่ทำหน้าที่นี้ เรียกว่าแบคทีเรียสร้างกรด (Acidogenic) ส่วนผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปรีดิวซ์จะเป็นสารอินทรีย์ที่หลากหลายประเภทที่มีปริมาณแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของแบคทีเรียและสภาวะแวดล้อมของถังปฏิกรณ์ เช่น แบคทีเรียที่สร้างกรดบางชนิดสามารถใช้ไฮโดรเจน (หรือไฮโดรเจนไอออน) เป็นสารรับอิเล็กตรอน (แทนสารอินทรีย์) ทำให้เกิดโมเลกุลของไฮโดรเจนเป็นผลสุดท้ายของปฏิกิริยาในกรณีเช่นนี้ จะไม่มีผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาที่อยู่ในรูปรีดิวซ์เกิดขึ้นหรือมีเกิดขึ้นน้อยมาก



ภาพที่ 2-3 ขั้นตอนการย่อยสลายของปฏิกิริยาไม่ใช้ออกซิเจน [1]

นอกจากนี้แบคทีเรียบางตัวสามารถใช้กรดอินทรีย์ขนาดใหญ่ หรือสารอินทรีย์อื่นในการสร้างกรดอะซีติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน (ภาพที่ 2-3) ปฏิกิริยาหลังที่สามารถสร้างไฮโดรเจนได้จากการดอินทรีย์ขนาดใหญ่เรียกว่า ไฮโดรจีโนเจเนซิส (Hydrogenogenesis)

เนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนมักสร้างกรดอินทรีย์ได้ แต่แบคทีเรียที่สร้างกรดได้ อาจไม่สร้างไฮโดรเจนก็ได้ แบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนเป็นชนิดหนึ่งของแบคทีเรียที่สร้างกรด แบคทีเรียทั้งสองชนิดนี้อาจรวมเรียกได้ว่าเป็นแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน (Non-Methanogenic Bacteria) แบคทีเรียอีกประเภทหนึ่งสามารถย่อยสลายไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ กรดฟอร์มิก และกรดอะซิติก เพื่อสร้างก๊าซมีเทน แบคทีเรียประเภทหลังนี้เรียกว่า แบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogenic Bacteria)

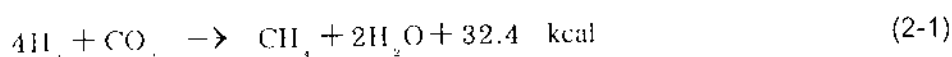
2.1.1.1 แบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน (Non-Methanogenic Bacteria)

แบคทีเรียประเภทไม่สร้างมีเทนที่สามารถสร้างไฮโดรเจน ได้จากกรดอินทรีย์ขนาดใหญ่ มีบทบาทสำคัญในฐานะเป็นตัวเชื่อมระหว่างแบคทีเรีย ที่สร้างกรดแบบธรรมดาและแบคทีเรีย ที่สร้างมีเทน ทั้งนี้เพราะปฏิกิริยาที่สร้างไฮโดรเจน เช่น ปฏิกิริยาฟอสฟอโรคลาสติก (Phosphoroclastic) สามารถสร้างกรดอะซิติกได้จากสารอื่นด้วย ไฮโดรเจนที่สร้างขึ้น หากสะสมตัวอยู่ภายในถึงปฏิกิริยาจะเป็นพิษต่อแบคทีเรียที่มันสร้างขึ้นมา แต่ไฮโดรเจนกับ คาร์บอนไดออกไซด์จะถูกตรึงด้วยแบคทีเรีย ที่ไม่สร้างมีเทนให้กลายเป็นก๊าซมีเทนดังสมการที่ (2-1) ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าการอยู่ร่วมกัน ระหว่างแบคทีเรียที่สร้างและไม่สร้างมีเทนให้ประโยชน์ ซึ่งกันและกัน แบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทนผลิตกรดอะซิติกและสารอินทรีย์อย่างง่ายให้เป็นอาหาร ของแบคทีเรียสร้างมีเทน ส่วนแบคทีเรียที่สร้างมีเทนช่วยทำลายก๊าซไฮโดรเจนให้กับแบคทีเรีย ที่ไม่สร้างมีเทน ลักษณะการดำรงชีวิตร่วมกันของแบคทีเรีย 2 กลุ่มดังกล่าวเรียกว่า มีชีวิตแบบ ซินทรอปิก (Syntropic)

2.1.1.2 แบคทีเรียที่สร้างมีเทน (Methanogenic Bacteria)

แบคทีเรียที่สร้างมีเทนเจริญเติบโตได้ช้ามาก และยังเป็นเซลล์ที่ไม่ทนต่อออกซิเจน แม้มีปริมาณเพียงเล็กน้อย หรือไม่อาจเติบโตได้ดีเมื่ออยู่ภายนอกช่วงพีเอช 6.8-9.2 ส่วนมาก สารตั้งต้นที่แบคทีเรียใช้ได้มีเพียง ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และกรดฟอร์มิก มีส่วนน้อย ที่ใช้กรดอะซิติก และเมทานอล เป็นสารตั้งต้น

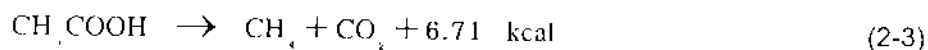
แบคทีเรียที่สร้างมีเทนแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ชนิดที่หนึ่งสร้างมีเทนจากคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน คือ ได้คาร์บอนจากคาร์บอนไดออกไซด์และได้พลังงานจำนวนมากจาก ไฮโดรเจน แบคทีเรียชนิดนี้เรียกว่า Hydrogenotrophic Methanogen หรือ เรียกสั้นๆ ว่า Hydrogen Utilizer หรือ ผู้บริโภคไฮโดรเจน ดังสมการที่ (2-1)



แบคทีเรียชนิดนี้สามารถใช้กรดฟอร์มิกเป็นสารตั้งต้นได้ ทั้งนี้เนื่องมาจากกรดฟอร์มิก สามารถเปลี่ยนไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ง่าย ดังสมการที่ (2-2)



แบคทีเรียชนิดที่สองสร้างมีเทนจากการดอะซีติก ดังสมการที่ (2-3)



แบคทีเรียชนิดนี้เรียกว่า Acetoclastic Methanogen

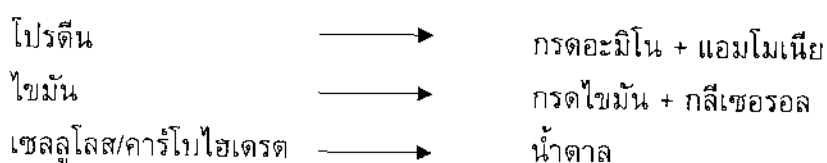
ในสมการที่ (2-3) นี้ ให้พลังงานไม่เพียงในการดำรงชีวิตของเซลล์ แต่มีการสร้าง ATP (ทำให้ได้พลังงานในการดำรงชีวิตของแบคทีเรีย) สามารถเกิดขึ้นได้โดยใช้พลังงานจากการเคลื่อนที่ของ H^+ (Proton Motive Force) ผ่านเซลล์เมมเบรน วิธีสร้างพลังงานแบบนี้เรียกว่า Chemosmosis

2.1.2 ปฏิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน

ปฏิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจนต้องอาศัยแบคทีเรีย 3 ประเภท ได้แก่ แบคทีเรียสร้างอะซีเตท แบคทีเรียสร้างกรด และแบคทีเรียสร้างมีเทน มี 4 ขั้นตอน ดังนี้

2.1.2.1 ขั้นตอนไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

ขั้นตอนนี้อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า กระบวนการแตกสลายโพลีเมอร์ ขั้นตอนนี้เป็นการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน และกรดไขมันชนิดยาว ตามลำดับ ขั้นตอนนี้สามารถเกิดขึ้นได้ภายนอกเซลล์แบคทีเรีย โดยอาศัยเอนไซม์ที่แบคทีเรียปล่อยออกมาใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ยังไม่มีการลดรีดักชันในขั้นตอนนี้ กระบวนการไฮโดรไลซิสแสดงดังสมการที่ (2-4)



สมการ (2-4) กระบวนการย่อยสลายในขั้นตอน ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

2.1.2.2 ขั้นตอนการสร้างกรด (Acidogenesis)

ผลผลิตจากขั้นตอนที่ 1 จะถูกแบคทีเรียสร้างกรดดูดซึมเข้าไปภายในเซลล์ เพื่อไปใช้เป็นอาหารและถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid) ที่มีคาร์บอนไม่เกิน 5 ตัว เช่น อะซีติก บิวไทริก และโพรไพโอนิก เป็นต้น และผลิตไฮโดรเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาด้วยกระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่าง การย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลเล็กและ

ชนิดของผลผลิตที่ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 อย่าง คือ ชนิดของสารตั้งต้นและความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น แบคทีเรียกลุ่มนี้จัดเป็นประเภท Facultative Bacteria คือ กลุ่มแบคทีเรียที่มีความทนทานสูง สามารถอยู่ได้ทั้งในสภาพที่มีและไม่มีออกซิเจน และทนต่อสภาพความเป็นกรดที่ระดับพีเอช 4-5 ปฏิกริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ แสดงดังสมการที่ (2-5)

Amino Acid	—————→	Acids, Alcohol, Phenol, H ₂ , NH ₃ CO ₂
Fatty Acid	—————→	Acids
Glycerol	—————→	Acids, Alcohol, CO ₂ , H ₂
Simple Sugars	—————→	Acids, Alcohol, CO ₂ , H ₂

สมการ (2-5) กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขั้นตอนการสร้างกรด

2.1.2.3 ขั้นตอนการสร้างกรดอะซีติกจากกรดไขมันระเหยอื่นๆ (Acetogenesis)

แบคทีเรียในกระบวนการสร้างกรดสามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

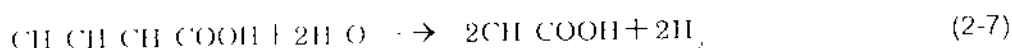
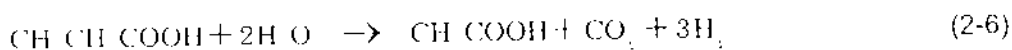
ก) Homoacetogenic Bacteria

จัดเป็นกลุ่มแบคทีเรียที่ย่อยสลายกรดอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ไปเป็นกรดอะซีติก ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มนี้เป็นประเภท facultative bacteria

ข) Hydrogen Producing Acetogenic Bacteria

จัดเป็นกลุ่มแบคทีเรียที่ย่อยสลายกรดอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ เช่น กรดบิวไทริก และกรดโพรไพโอนิก ไปเป็นกรดอะซีติกและก๊าซไฮโดรเจน ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มนี้จะสร้างก๊าซไฮโดรเจนขึ้นมาด้วย แบคทีเรียกลุ่มนี้จำเป็นต้องอาศัยอยู่ร่วมกับกลุ่มแบคทีเรียที่สร้างมีเทนเพื่อให้สามารถนำก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นไปสร้างเป็นก๊าซมีเทนได้

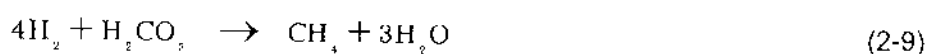
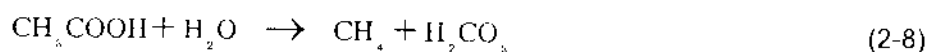
Acetogenic Bacteria (แบคทีเรียที่สร้างอะซีเตท) มีบทบาทสำคัญในการเป็นตัวเชื่อมระหว่างขั้นตอนการสร้างกรดและขั้นตอนการสร้างมีเทน การผลิตมีเทนโดยแบคทีเรียที่สร้างมีเทนนั้นต้องการสารตั้งต้นเฉพาะเจาะจงมาก ได้แก่ กรดอะซีติก กรดฟอร์มิก ไฮโดรเจน เมทานอล และ เมทิลามีน (Methylamine) กรดไขมันระเหยที่คาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม ไม่อาจใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตมีเทนได้โดยตรง แบคทีเรียอะซิโดจีนิค (ที่ผลิตไฮโดรเจนด้วย) มีความสามารถในการย่อยสลายกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมให้กลายเป็นกรดอะซีติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลต่ำกว่า 2×10^{-3} บรรยากาศ และต่ำกว่า 9×10^{-3} บรรยากาศ สมการที่ (2-6) และ (2-7) แสดงการย่อยสลายกรดบิวไทริก และกรดโพรไพโอนิก ตามลำดับ



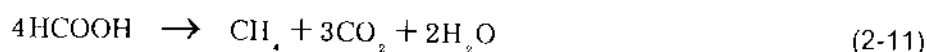
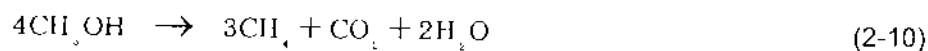
ขั้นตอนที่ 3 นี้จะเกิดขึ้นได้เฉพาะในสภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลต่ำเท่านั้น กรดไขมันระเหยง่ายไม่สามารถย่อยสลายกลายเป็นกรดอะซิติกภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลสูง

2.1.2.4 ขั้นตอนการสร้างมีเทน (Methanogenesis)

กรดอะซิติกและไฮโดรเจนจะถูกแบคทีเรีย ใช้สร้างก๊าซมีเทนภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ดังแสดงในสมการที่ (2-8) และ (2-9) ตามลำดับ



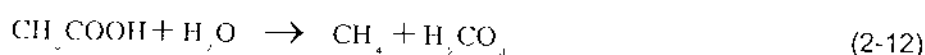
กรดอินทรีย์ระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม ไม่สามารถถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนได้โดยตรง แบคทีเรียจะต้องเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระเหยต่างๆ ให้เป็นกรดอะซิติกหรือไฮโดรเจนเสียก่อนจึงจะผลิตก๊าซมีเทนได้ นอกจากกรดอะซิติกและไฮโดรเจนแล้ว แบคทีเรียอาจใช้สารตั้งต้นอย่างง่ายอีกเพียงไม่กี่ชนิดในการผลิตก๊าซมีเทน เช่น เมทานอล และกรดฟอร์มิก (HCOOH) เป็นต้น



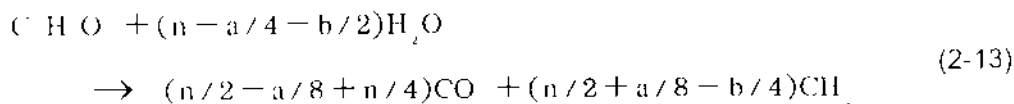
แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจำแนกได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะการเกิดก๊าซมีเทน ดังนี้

ก) Obligate Acetoclastic Methanogen

สามารถบริโภคกรดอะซิติกได้เพียงอย่างเดียว โดยใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงาน แบคทีเรียกลุ่มนี้ไม่สามารถอยู่ได้ในสภาวะที่มีออกซิเจน ระยะเวลาการเจริญเติบโตใช้เวลานาน 3-5 วัน ปฏิกริยาการสร้างก๊าซมีเทนของแบคทีเรียกลุ่มนี้ แสดงในสมการที่ (2-10)



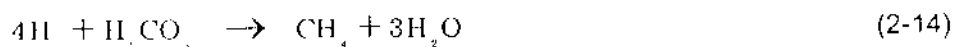
ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นประกอบด้วยก๊าซมีเทนร้อยละ 70 และคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณร้อยละ 30 และมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์น้อยกว่าร้อยละ 1 สามารถคำนวณอย่างคร่าวๆ ได้ตามสมการที่ (2-13)



ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้สามารถแบ่งกลไกในการเกิดเป็น 2 ทางหลัก คือ ร้อยละ 80-90 ของสารอินทรีย์ถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพ และร้อยละ 1-5 ของสารอินทรีย์ถูกใช้ในการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย โดยทั่วไปแล้วก๊าซชีวภาพที่ได้เป็น $0.3-0.44 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ COD}_{\text{removed}}$ ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ เมื่อเทียบกับน้ำมันเตาพบว่าก๊าซชีวภาพที่ได้เป็น 1 m^3 มีพลังงานความร้อนเทียบเท่ากับน้ำมันเตา 0.5 ลิตร

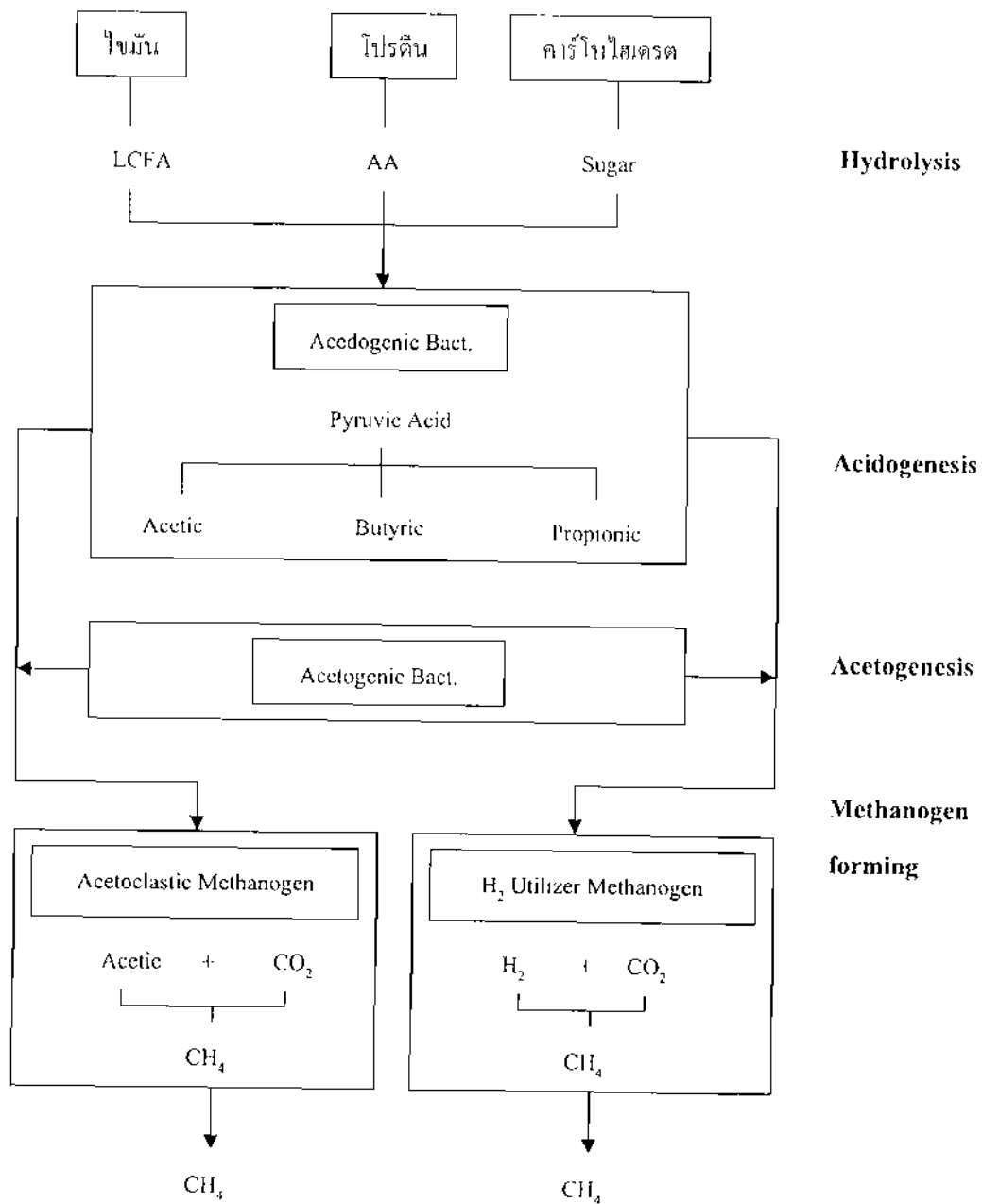
ข) Obligate Hydrogenotrophic Methanogen (H_2 Utilizer)

เป็นแบคทีเรียที่สามารถผลิตมีเทนได้จากไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ดังแสดงในสมการที่ (2-14) ในกรณีนี้ไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงานและมีคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน แบคทีเรียกลุ่มนี้จัดว่าเป็นแบคทีเรียกลุ่มสังเคราะห์อาหาร (Autotroph Bacteria หรือ Synthetic Bacteria) เนื่องจากสามารถดำรงชีวิตได้โดยใช้สารอนินทรีย์ และปลดปล่อยก๊าซมีเทนออกมาในรูปพลังงาน ระยะเวลาการเจริญเติบโตใช้เวลานาน 2-4 ชั่วโมง

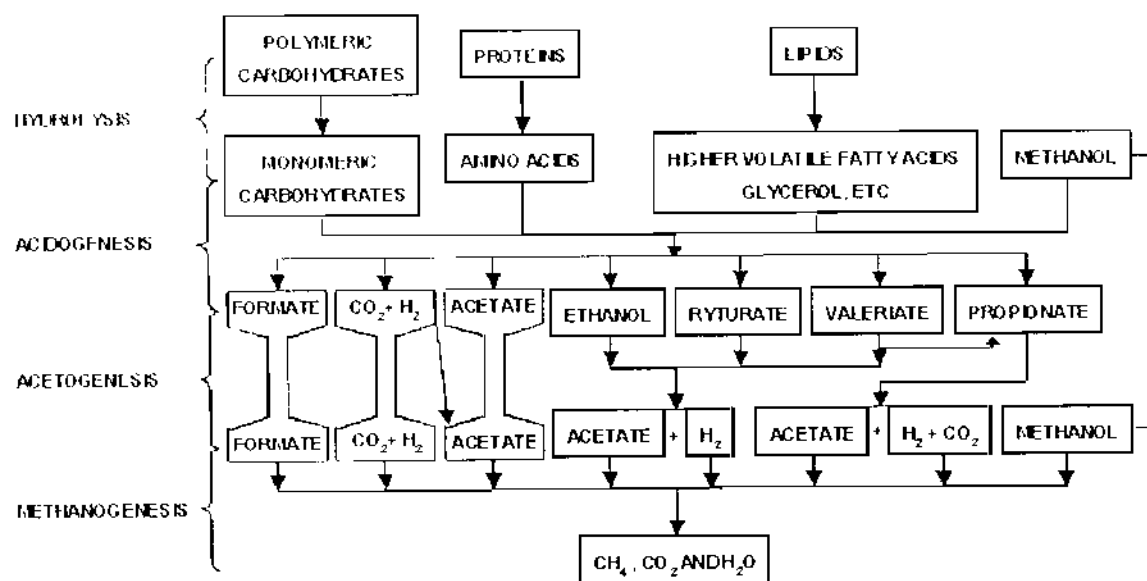


ค) Hydrogenotrophic/Acetoclastic Methanogen

แบคทีเรียเหล่านี้สามารถสร้างก๊าซมีเทนได้ โดยใช้ก๊าซไฮโดรเจนร่วมกับสารอินทรีย์เพื่อให้สารอินทรีย์เป็นตัวรับอิเล็กตรอน หรือตัวให้ไฮโดรเจนในการเกิดก๊าซมีเทน และสามารถให้ไฮโดรเจนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ในการสร้างก๊าซมีเทนได้ด้วย แบคทีเรียกลุ่มนี้จัดว่าเป็น Mixotroph Bacteria คือ ดำรงชีวิตได้โดยสังเคราะห์อาหารเองหรือใช้สารอินทรีย์อย่างใดอย่างหนึ่ง ระยะเวลาการเจริญเติบโตใช้เวลานาน 10-12 ชั่วโมง และอยู่ได้ในสภาวะที่ไร้ออกซิเจนเท่านั้น รูปร่างลักษณะและชนิดของแบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทนและสภาวะในการสร้างก๊าซมีเทน



ภาพที่ 2-4 สรุปขั้นตอนการย่อยสลาย LCFA, AA และคาร์โบไฮเดรต แบบไม่ใช้ออกซิเจน [2]



ภาพที่ 2-5 สารต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการย่อยแต่ละขั้นตอน [4]

2.2 ไคตินและไคโตซาน [5]

ไคติน-ไคโตซาน (Chitin-Chitosan) ได้จากเปลือกแข็งของสัตว์ทะเล เช่น กุ้ง ปู และ แพนปลาหมึกเปลือกแข็งของสัตว์พวกนี้มีย่อยประกอบที่สำคัญคือ ไคติน ซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์ชีวภาพที่อยู่เป็นชั้นปะปนกับชั้นของเกลือแร่ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นหินปูน (CaCO_3) ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างที่แข็งแรงของเปลือกสัตว์ทะเลองค์ประกอบที่สำคัญอีกอันหนึ่งคือ รังควัตถุสีแดงจำพวกแคโรทีน ได้แก่ Astaxanthin และ Zeaxanthin เป็นต้น

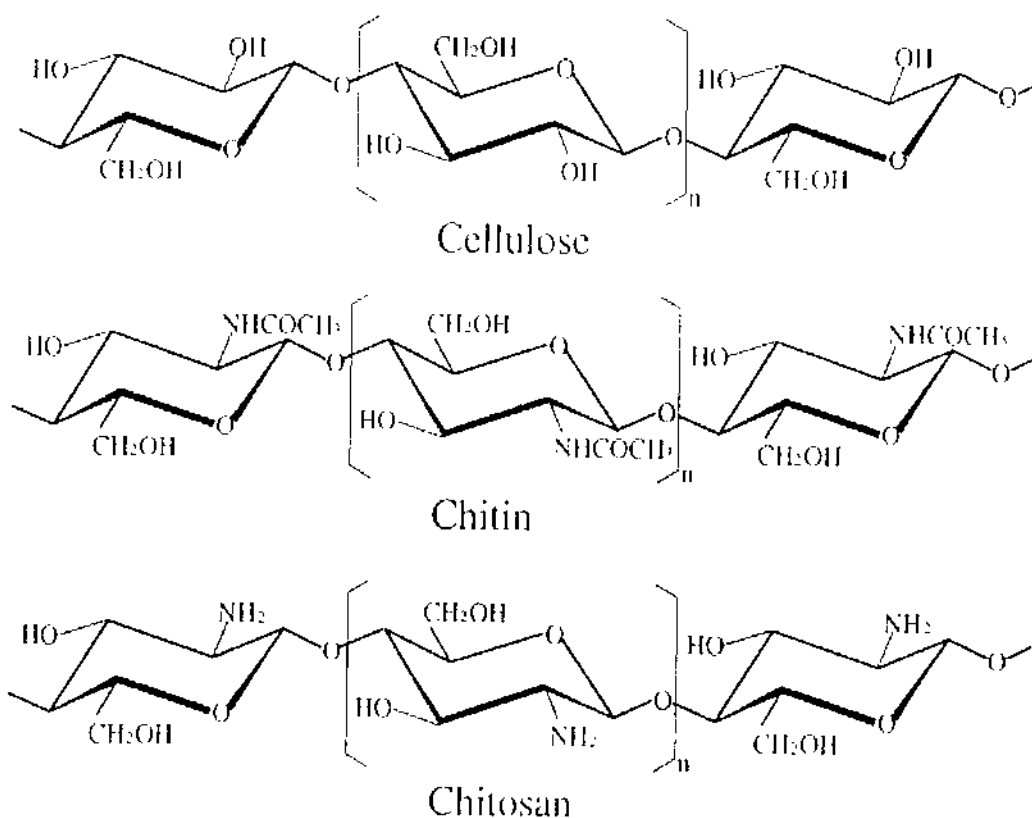
เนื่องจากไคตินและไคโตซาน เป็นสารสกัดที่ได้จากธรรมชาติ คุณภาพของวัตถุดิบจึงไม่คงที่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยทางธรรมชาติที่ยากแก่การควบคุม อย่างไรก็ตามคุณสมบัติหนึ่ง ที่เห็นได้ชัดเจนว่า แหล่งกำเนิดของวัตถุดิบมีผลต่อสมบัติของไคตินและไคโตซานที่ได้คือ ลักษณะโครงสร้างของผลึก (Crystalline Structure) ไคตินที่ได้จากเปลือกกุ้งและกระดองปู จะมีโครงสร้างผลึกในรูปของ อัลฟา (α -form) ในขณะที่โครงสร้างผลึกของไคตินที่ได้จาก แพนปลาหมึกจะอยู่ในรูปของเบต้า (β -form)

2.2.1 โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซาน [6]

ไคตินและไคโตซานเป็นสารโคพอลิเมอร์ (Copolymer) ธรรมชาติที่จัดอยู่ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตผสม (Heteropolysaccharide) ประกอบด้วยอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีธาตุไนโตรเจนเกาะอยู่ภายในโมเลกุล ทำให้มีสมบัติเฉพาะตัวในการเกิดปฏิกิริยากับสารหลายชนิด สารไคตินละลายยากจึงมักจะใช้ในรูปของแข็งโดยตรง ส่วนสารไคโตซานเกิดจากปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซีตัส (Deacetylation) ของสารไคตินด้วยด่าง (Alkali Solution) สารไคโตซานละลาย

ได้ดีในการดอินทรีย์ (Organic Acid) โดยเฉพาะในกระบวนการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม ได้แก่ กระบวนการสร้างตะกอนและตกตะกอน (Coagulation and Flocculation) และการนำสารกลับมาใช้ใหม่ (Waste Recovery)

โครงสร้างทางเคมีของไคตินมีลักษณะคล้ายเซลลูโลส [2] ต่างกันตรงที่หน่วยย่อย (Monomer) ของเซลลูโลสเป็น D-glucose ส่วนหน่วยย่อยของ ไคตินคือ N-acetyl-D-Glucosamine (2-Acetamido-2-Deoxy-D-Glucose) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของกลูโคส ชื่อทางเคมีของ ไคตินคือ Poly β -(1 $\rightarrow$ 4)-2-Acetamido-2-Deoxy-D-Glucose ไคโตซานคือ ไคตินในรูปที่มีปริมาณหมู่อะซีติลต่ำที่เกิดจากปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซีติล (Deacetylation) ของไคตินด้วยด่างเข้มข้นทำให้โครงสร้างทางเคมีของไคตินเปลี่ยนไปโดยหมู่อะซีตามิโด (-NHCOCH₃) เปลี่ยนเป็นหมู่เอมิโน (-NH₂) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ดังนั้น ไคโตซานคือ พอลิเมอร์ของ D-Glucosamine (2-Amino-2-Deoxy-D-Glucose)



ภาพที่ 2-6 แสดงโครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส ไคติน และ ไคโตซาน

<http://www.tuat.ac.jp/~x-ray/chem3.html> [2004]

2.2.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไคตินและไคโตซาน [2]

2.2.2.1 การละลาย (Solubility)

ไคตินไม่ละลายในน้ำ กรดเจือจาง ต่างทั้งเจือจางและเข้มข้น แอลกอฮอล์ และตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ แต่สามารถละลายได้ในกรดไฮโดรคลอริก (กรดเกลือ) เข้มข้น กรดซัลฟิวริก (กรดกำมะถัน) เข้มข้น กรดฟอสฟอริก (78-97 เปอร์เซ็นต์) กรดฟอร์มิก (Anhydrous Formic Acid) และ DMAc-LiCl (*N, N*-Dimethylacetamide-Lithium Chloride) ความยากในการละลายของไคตินในตัวทำละลายต่างๆ เป็นผลมาจากสายโซ่โมเลกุลที่อยู่กันอย่างหนาแน่นมีพันธะเกิดขึ้นทั้งภายในและระหว่างโมเลกุล เนื่องจากหมู่ฟังก์ชันที่ต่างกัน (หมู่ไฮดรอกซิลและหมู่อะซีตามิโด)

ไคโตซานไม่ละลายในน้ำ ต่าง และตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic Solvent) แต่สามารถละลายได้ในสารละลายที่เป็นกรดอินทรีย์เกือบทุกชนิดที่มี pH น้อยกว่า 6 กรดอะซีติกและกรด ฟอร์มิกเป็นกรดที่นิยมใช้ในการละลายไคโตซาน กรดอินทรีย์บางชนิด เช่น กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก กรดเปอร์คลอริก และกรดฟอสฟอริก สามารถละลายไคโตซานได้เช่นกัน ภายใต้การคั่นที่อุณหภูมิสูงปานกลาง อย่างไรก็ตามในบางครั้งอาจมีตะกอนขาวคล้ายเจลเกิดขึ้น

สารละลายไคโตซานมีความเหนียว ใส มีพฤติกรรมแบบนอน-นิวโตเนียน (Non-Newtonian) ในสารละลาย หมู่อะมิโนของไคโตซานจะแตกตัว โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การแตกตัว (pK_a) ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของประจุของพอลิเมอร์โดย pK_a ของไคโตซานมีค่าอยู่ในช่วง 6.2 ถึง 6.8

2.2.2.2 ความร้อนในการกระตุ้นให้เกิดการสลายพันธะแบบไฮโดรไลซิส

(Hydrolytic Heat of Activation)

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เป็นปฏิกิริยาการสลายพันธะที่มีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้องโดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สายโซ่ของพอลิเมอร์ของไคติน มีลักษณะเช่นเดียวกันกับเซลลูโลส คือเป็นพันธะ Glycosidic Linkage แบบ β -(1 $\rightarrow$ 4) ดังนั้นความร้อนในการกระตุ้นให้เกิดการสลายพันธะแบบไฮโดรไลซิสของไคตินประมาณ 29 กิโลแคลอรี (kcal)

2.2.2.3 น้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight)

ไคตินในธรรมชาติจะมีน้ำหนักโมเลกุลสูงมากกว่า 1×10^6 ในขณะที่ไคโตซานจะมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 1×10^5 ถึง 1.2×10^6 ขึ้นอยู่กับขั้นตอนในการผลิต

2.2.2.4 ค่าระดับการกำจัดหมู่อะซีติล (Degree of Deacetylation)

เป็นตัวบอความเป็นไคติน-ไคโตซาน เนื่องจากไคติน-ไคโตซานเป็นโคพอลิเมอร์ระหว่างสองโมโนเมอร์ของ *N*-acetyl-D-Glucosamine และ D-Glucosamine ถ้าสัดส่วนที่อยู่ร่วมกันของ โมโนเมอร์แรกมากกว่าจะมีค่าระดับการกำจัดหมู่อะซีติล (Degree of Deacetylation) ต่ำ จะแสดงสมบัติเด่นของไคติน แต่ถ้าสัดส่วนของโมโนเมอร์ที่สองมากกว่าจะมีค่าระดับการกำจัดหมู่อะซีติลมาก จะแสดงสมบัติเด่นของไคโตซาน

2.2.2.5 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของสารละลายไคโตซานขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น ค่าระดับการกำจัดหมู่อะซีติล น้ำหนักโมเลกุล ความเข้มข้น ความแรงของไอออน ค่า pH และอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้วความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่ชนิดของกรดที่ใช้และการเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายพอลิเมอร์จะให้ผลความหนืดที่แตกต่างกัน เช่นความหนืดของไคโตซานในกรดอะซีติกจะเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมีค่า pH ลดลง ในขณะที่ความหนืดของไคโตซานในกรดไฮโดรคลอริก (กรดเกลือ) จะเพิ่มขึ้นเมื่อ pH ของสารละลายเพิ่มขึ้น

2.2.2.6 คุณสมบัติการเป็นตัวตกตะกอน (Coagulating Ability)

ไคโตซานเป็นตัวสร้างตะกอนและตัวตกตะกอน (Flocculant and Coagulating Agent) ที่ดี เนื่องจากการมีหมู่อะมิโนจำนวนมากที่สามารถแตกตัวเป็นประจุบวก และจับกับสารที่มีประจุลบได้ เช่น โปรตีน สีย้อม และพอลิเมอร์อื่น จากการวิจัยประสิทธิภาพของไคโตซานในการแยกโปรตีนออกจาก Cheese Whey พบว่าความสามารถในการจับโปรตีนเป็นสัดส่วนผกผันกับน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน นอกจากนี้ยังพบว่าหมู่อะมิโนในไคโตซานมีประสิทธิภาพในการจับกับไอออนของโลหะได้ดีกว่าหมู่อะซีติลในไคติน ดังนั้นจะพบว่าไคโตซานที่มีค่าระดับการกำจัดหมู่อะซีติลสูงจะมีอัตราการดูดซับหรือความสามารถในการจับ กับไอออนของโลหะสูง ความสามารถในการดูดซับไอออนของโลหะ ของไคโตซานจะขึ้นอยู่กับอีกหลายปัจจัย เช่น ความเป็นผลึก และความสามารถในการดึงดูดน้ำของไคโตซาน

2.2.2.7 โครงสร้างโมเลกุล (Molecular Conformation)

ไคตินมีโครงสร้างของผลึก (Crystal Structure) ที่แข็งแรงและมีระดับของผลึก (Degree of Crystallinity) สูง Muzzarelli ได้เสนอรูปแบบผลึกของไคตินไว้เป็น 3 ลักษณะคือ α -Chitin β -chitin และ γ -Chitin แต่ละลักษณะแตกต่างกันที่การเกิดระบบของผลึก (Crystal System) และปัจจัยของการเกิดแลตติซผลึก (Crystal Lattice) ของหน่วยเซลล์ (Unit Cell) ภายในโครงสร้างผลึกความแตกต่างนั้น เป็นผลมาจากรูปแบบการเรียงตัวของโมเลกุลในแลตติซผลึก สายโซ่โมเลกุลที่ยาวของไคตินจะมีการเรียงตัวเป็นแผ่นซ้อนทับกัน (Pleated Sheet) ในแลตติซผลึกของหน่วยเซลล์ ซึ่งอาจเรียงตัวกันได้ 2 แบบ คือ แบบขนานที่มุ่งไปในทิศทางเดียวกัน (Parallel Pattern) และแบบที่โครงสร้างเรียงตัวกันแบบสวนทางกัน (Anti-Parallel Pattern) α -Chitin มีโครงสร้างการเรียงตัวแบบสวนทางกัน พบในไคตินที่ได้จากเปลือกกุ้ง และปู ส่วนไคตินที่พบในแกนปลาหมึกจะมีโครงสร้างที่เรียงตัวมุ่งไปในทางเดียวกัน เกิดเป็น β -chitin การจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลแบบ γ -Chitin นั้นเกิดจากโครงสร้างเรียงสลับกันระหว่าง α -Chitin และ β -Chitin

โดยธรรมชาติจะพบไคโตซานที่มีโครงสร้างเป็นแบบ α -form ของไคตินมากกว่า β - และ γ -form ทั้งนี้เพราะมีการเกิดพันธะไฮโดรเจน ทั้งภายในและระหว่างสายโซ่ของโมเลกุล

(Intramolecular and Intermolecular Chain) มากกว่าจึงทำให้มีเสถียรภาพทางเคมี (Chemical Stability) มากกว่าแบบอื่น β -chitin มีเสถียรภาพทางเคมีรองลงมาจาก α -chitin ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณของพันธะไฮโดรเจนน้อยกว่าการมีเสถียรภาพที่น้อย ทำให้มันมีโอกาสเปลี่ยนแปลงรูปแบบของโครงสร้างจาก β -form เป็น α -form ในสารละลายกรดแก่

ไคโตซานเป็นพอลิอิเล็กโตรไลต์ประเภทประจุบวก (Cationic Polyelectrolyte) เนื่องจากในสารละลายกรด หมู่อะมิโนในสายโซ่โมเลกุลจะรับโปรตอน แล้วอยู่ในรูป $-NH_3^+$ Conformation ของไคโตซานโมเลกุลที่แตกต่างกันในสารละลายขึ้นอยู่กับความแรงของอิออน ค่า pH อุณหภูมิ ความเข้มข้นของยูเรีย น้ำหนักโมเลกุล และค่าระดับการกำจัดหมู่อะซีติล (Degree of Deacetylation)

2.2.2.8 การเสื่อมสลาย (Degradation)

ไคติน-ไคโตซานก็เหมือนกับพอลิเมอร์หรือพอลิแซ็กคาไรด์อื่นทั่วไป คือเมื่อเกิดการเสื่อมสลายจะให้สายโซ่โมเลกุลที่สั้นลงเป็นโอลิโกเมอร์ (Oligomer) หรือโอลิโกแซ็กคาไรด์ (Oligosaccharide) และเป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดที่เรียกว่า โมโนเมอร์ (Monomer) โมโนแซ็กคาไรด์ (Monosaccharide) โอลิโกเมอร์หรือโอลิโกแซ็กคาไรด์ของไคตินและไคโตซาน คือ *N*-acetyl-Chitooligosaccharide และ Chitooligosaccharides ตามลำดับ ส่วนโมโนเมอร์หรือโมโนแซ็กคาไรด์ของไคตินและไคโตซาน คือ *N*-acetyl-D-Glucosamine และ D-Glucosamine ตามลำดับ ในการเสื่อมสลายของไคติน-ไคโตซานมีหลายวิธีเช่น

ก) การเสื่อมสลายโดยกรด (Acid Hydrolysis)

การเสื่อมสลายของสายโซ่โมเลกุลของไคโตซานเนื่องจากกรด ผลผลิตที่ได้จะเป็นโอลิโกเมอร์ขนาดต่างๆ และโมโนเมอร์ ขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ เช่น ชนิดของกรด เวลา อุณหภูมิ ชนิดของพันธะของสายโซ่โมเลกุล ชนิดของพอลิเมอร์ โดยไคตินจะสามารถต้านทานต่อการเสื่อมสลายโดยกรดได้ดีกว่าไคโตซาน

ข) การเสื่อมสลายโดยด่าง (Alkaline Degradation)

การเสื่อมสลายของสายโซ่โมเลกุลของพอลิแซ็กคาไรด์ ในด่างจะเริ่มจากปลายสุดของสายโซ่โมเลกุล การเสื่อมสลายแบบนี้เรียกอีกอย่างว่า Peeling Reaction

ค) การเสื่อมสลายโดยการสั่นของคลื่นเสียง (Degradation by Sonication)

การเสื่อมสลายโดยการสั่นของคลื่นเสียงควบคู่กับการใช้กรด มีผลให้ได้โอลิโกเมอร์ที่มีขนาดใกล้เคียงกันมากกว่าการเสื่อมสลายโดยใช้กรดเพียงอย่างเดียว

ง) การเสื่อมสลายโดยเอนไซม์ (Enzymatic Degradation)

การเสื่อมสลายโดยใช้เอนไซม์มีข้อดีกว่าการใช้สารเคมี คือมีความจำเพาะเจาะจงมากกว่าการใช้สารเคมี เอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยสลายไคติน-ไคโตซานได้แก่ Chitinase (EC 3.2.1.14) Chitosanase (EC 3.2.1.132) Lysozyme (EC 3.2.1.17) *N*-Acetylglucosaminidase (EC 3.2.1.30) และ *N*-Acetylhexosaminidase (EC 3.2.1.52)

จ) การเสื่อมสลายโดยความร้อน (Thermal Degradation)

ความร้อนมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของไคโตซาน จากการวิจัยพบว่า ความร้อนจากเตาอบซึ่งเป็นความร้อนแบบแห้ง (Dry Heat) ที่อุณหภูมิน้อยกว่าหรือเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส มีผลทำให้สายโซ่โมเลกุลมีความยืดหยุ่นมากขึ้น Glass Transition Temperature (T_g) ลดลงความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น ส่วนความร้อนแบบแห้งที่อุณหภูมิสูง มีผลทำให้ไคโตซานเกิดสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาล ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลา ที่อุณหภูมิสูงกว่าหรือเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส ความสามารถในการละลายของไคโตซานจะลดลง ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เวลานานกว่าหรือเท่ากับ 2 ชั่วโมง ไคโตซานจะไม่ละลายในกรดอะซิติก (0.2 โมลาร์) / โซเดียมอะซิเตด (0.1 โมลาร์)

สำหรับการอบแห้งแบบใช้ไอร้อน (Saturated Steam) ไคโตซานจะไม่สามารถละลายหลังจากการอบที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และหลังการอบที่อุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ส่วนการอบที่อุณหภูมिन้อยกว่าหรือเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อสมบัติทางกายภาพของไคโตซาน

2.2.3 กระบวนการผลิตไคติน-ไคโตซาน [5]

การผลิตไคติน-ไคโตซานประกอบด้วยหลักการทำงานที่สำคัญ 4 ขั้นตอนคือ

2.2.3.1 การกำจัดโปรตีน (Deproteination)

โดยการทำปฏิกิริยากับด่าง ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้โซดาไฟ (NaOH) ความเข้มข้น 3-5 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิประมาณ 80-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง ในกระบวนการนี้ โปรตีนส่วนใหญ่จะถูกขจัดออกจากวัตถุดิบ พร้อมกันนี้ไขมันและรงควัตถุบางชนิดจะถูกขจัดอีกด้วย

2.2.3.2 การกำจัดเกลือแร่ (Demineralization)

โดยการนำวัตถุดิบซึ่งผ่านกระบวนการกำจัดโปรตีนมาแล้ว มาทำปฏิกิริยากับกรด ซึ่งส่วนมากใช้กรดเกลือ (HCl) ความเข้มข้น 3-5 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 คืน ทำให้เกลือแร่ส่วนใหญ่ เช่น หินปูน (CaCO_3) ถูกกำจัดออกโดยเปลี่ยนเป็นเกลือแคลเซียมที่ละลายน้ำ (CaCl_2) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ขั้นตอนนี้โปรตีนและรงควัตถุที่ละลายในกรดจะถูกกำจัดออกไปด้วย ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากกระบวนการนี้คือ ไคติน (Chitin) นอกจากกรดเกลือแล้วสารเคมีอื่น เช่น EDTA (Ethylene Diamine Tetraacetic Acid) สามารถนำมาใช้เพื่อกำจัดเกลือแร่และบางส่วนของโปรตีน ถึงแม้ว่า EDTA จะมีราคาค่อนข้างแพง แต่สามารถถูกนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ทั้งยังช่วยลดการเสื่อมสลายของสายโซ่พอลิเมอร์

2.2.3.3 การกำจัดหรือลดหมู่อะซีติล (Deacetylation)

เป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ใช้ในการลดหรือกำจัดหมู่อะซีติล ($\text{CH}_3\text{CO}-$) ที่มีอยู่บนสายโซ่โมเลกุลของไคตินเพื่อเกิดเป็นไคโตซาน ซึ่งเป็นการเพิ่มหมู่อะมิโน ($-\text{NH}_2$) บนสายโซ่โมเลกุลของไคติน หมู่อะมิโนนี้มีความสามารถในการรับโปรตรอนจากสารละลาย แล้วมีสมบัติ

เป็นประจวบเหมาะ ซึ่งช่วยให้การละลายดีขึ้น ส่วนใหญ่เมื่อหมู่อะซีติลถูกกำจัดไปมากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป ผลิตภัณฑ์โคโคซานที่ได้สามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์หลายชนิด เช่น กรดอะซีติก (CH_3COOH) และกรดแลคติก ($\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$) เป็นต้น การลดหมู่อะซีติลทำได้โดยใช้ด่างเข้มข้นสูงตั้งแต่ 40 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป ดังนั้นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการพิจารณาสารโคโคซานก็คือ ค่าระดับการกำจัดหมู่อะซีติล (Degree of Deacetylation, %DD)

2.2.3.4 การฟอกสี (Decolouration)

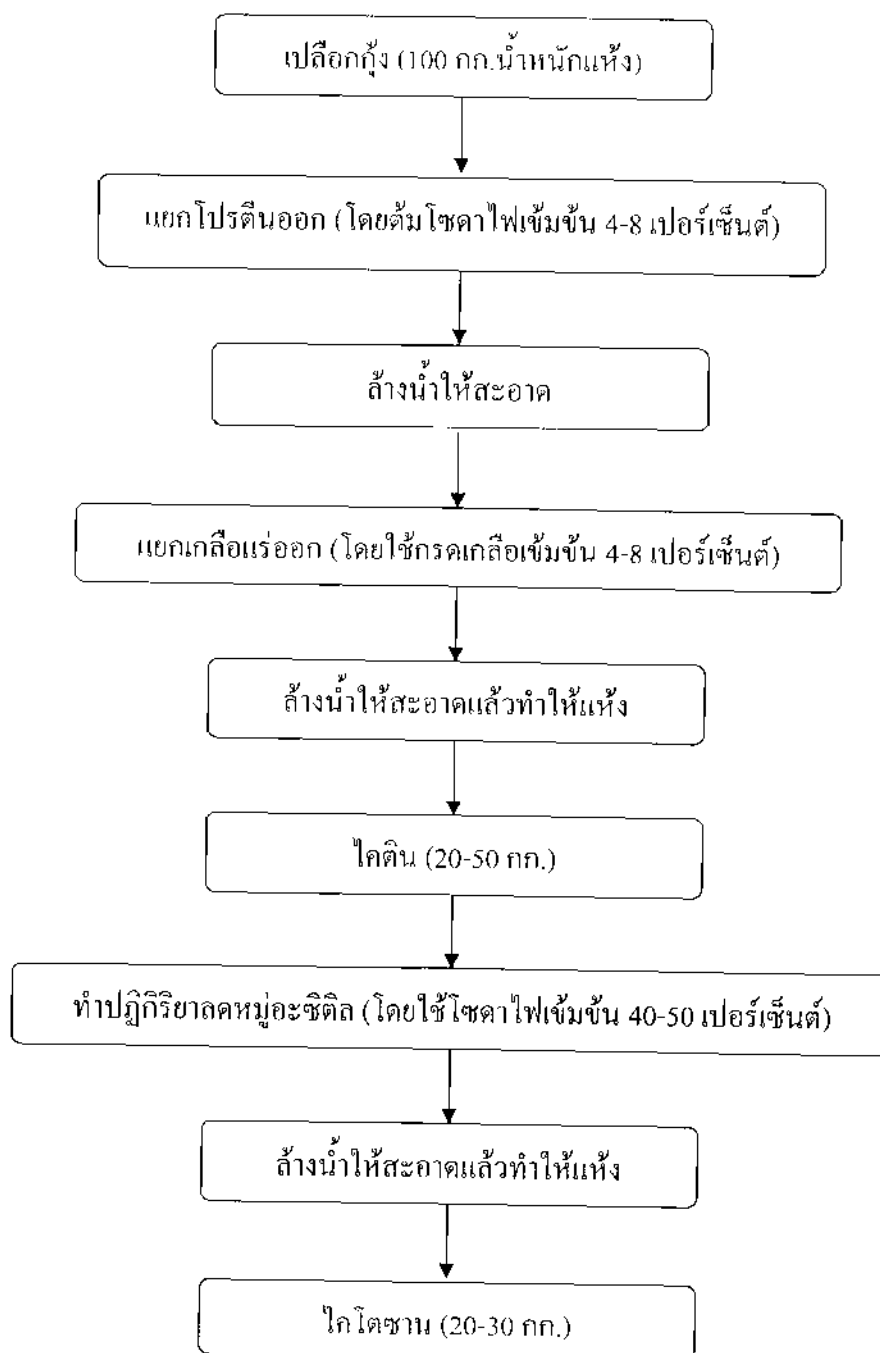
เป็นกระบวนการที่ใช้ในกรณีที่โคโคซานที่ได้ยังคงมีรงควัตถุเหลืออยู่ หลักการของกระบวนการนี้เช่นเดียวกับการฟอกสีในสิ่งทอ โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) หรือ โซเดียมเปอร์คลอเรต (NaOCl_4) ซึ่งสารฟอกสีเหล่านี้ทำให้สายโซ่โมเลกุลสั้นลง (น้ำหนักโมเลกุลต่ำลง) ดังนั้นกระบวนการฟอกสีที่ดีที่สุดควรจะทำในขั้นตอนต้นๆของกระบวนการผลิต

ในอุตสาหกรรมปัจจุบันการผลิตสารโคโคซาน-โคโคซานจากเปลือกกุ้ง ทำได้โดยใช้สารเคมี ได้แก่ ด่าง และกรด ดังแสดงในภาพที่ 2-7

2.2.4 ประโยชน์ของโคโคซานและโคโคซาน

โดยปกติแล้วโคโคซานและโคโคซานมีสมบัติคล้ายคลึงกัน แต่การนำโคโคซานไปใช้ประโยชน์มีน้อยมาก เนื่องจากข้อจำกัดในตัวมันเองกล่าวคือ การที่โคโคซานไม่สามารถละลายในตัวละลายต่างๆ ได้ เนื่องจากการมีโครงสร้างที่เป็นผลึก เมื่อเทียบกับโคโคซานที่สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่เป็นกรดเจือจาง ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ได้จากโคโคซานจึงมีจำนวนมากกว่โคโคซาน

โคโคซาน-โคโคซานเป็นสารที่มีลักษณะเป็นเอกลักษณ์โดดเด่นเฉพาะตัว คือเป็นสารธรรมชาติ เป็นวัสดุทางชีวภาพ (Biomaterials) ที่มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (Biocompatibility) อีกทั้งยังย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ (Biodegradable) ดังนั้นจึงปลอดภัยในการนำมาใช้กับมนุษย์ และไม่เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้โคโคซานยังสามารถขึ้นรูปได้หลายแบบ เช่น เจล เม็ด เส้นใย และคอลลอยด์ โคโคซานมีหมู่อะมิโน ($-\text{NH}_2$) และหมู่ไฮดรอกซิล ($-\text{OH}$) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาทางเคมี เพื่อเปลี่ยนให้เป็นสารอนุพันธ์ (Derivatives) ได้มากมาย ปัจจุบันได้มีการค้นคว้าวิจัยและนำโคโคซาน-โคโคซานไปใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลาย สามารถแยกออกได้ดังนี้ [6]



ภาพที่ 2-7 การผลิตไคตินและไคโดซานจากเปลือกกุ้ง [5]

2.2.4.1 เครื่องสำอาง

ไคโดซานสามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมในแชมพูสระผม ครีมนวดผม และครีมปรับสภาพผมได้ เนื่องจากสารละลายของไคโดซานนั้นมีความหนืด และยังมีคุณสมบัติในการเคลือบ

นอกจากนี้แล้วยังเก็บความชุ่มชื้นไว้ได้อีก จึงทำให้เส้นผมนุ่ม ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางหลายชนิดที่ขายในนามของบริษัท เวลล่า ประเทศเยอรมนี และผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางหลายชนิดของประเทศญี่ปุ่น ก็มีสารโคโคซานประกอบอยู่ นอกจากนี้แล้ว Guerlain Foundation ยังใช้สารโคโคตินเป็นส่วนประกอบในแป้งแต่งหน้า เพื่อเพิ่มความชุ่มชื้น ความเรียบ ให้กับการแต่งหน้าได้นานๆ และได้มีการผลิตและวางตลาดมานานแล้ว ส่วนโลชั่นทาผิว เพื่อความเนียนนุ่มและรักษาความสะอาดบนผิวหนัง

2.2.4.2 ใช้ป้องกันเชื้อจุลินทรีย์

จากการทดลองพบว่า การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ *E.coli* ถูกยับยั้งเมื่ออยู่ในสารอาหารที่ประกอบด้วยโคโคซานเข้มข้นมากกว่า 0.02 เปอร์เซ็นต์ และการเจริญเติบโตของศัตรูพืชหลายชนิดก็ถูกยับยั้งเช่นกัน ดังนั้นจึงมีการนำโคโคซานไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารหลายประเภท ทั้งในเครื่องสำอางบำรุงผิว และในด้านการป้องกันศัตรูพืชทางการเกษตรอีกมากมาย

2.2.4.3 ใช้ในด้านเทคโนโลยีชีวภาพ

สามารถใช้โคโคซานตรึงเอนไซม์และกักเซลล์ โดยไม่จำเป็นต้องใช้สารพวกไคหรือพอลิอัลดีไฮด์เป็นสะพานเชื่อมระหว่างเอนไซม์กับตัวค้ำจุน เนื่องจากโคโคซานมีกลุ่มอะมิโนอิสระเพียงพอในการเก็บกักเอนไซม์ นอกจากนี้มีการใช้โคโคซานในการจับหรือกักเซลล์ เช่น การกักเซลล์สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมโดยใช้ โคโคซาน-คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เพื่อผลิตโมโนโคลนอล-แอนติบอดีสูงกว่าการใช้เซลล์อิสระ 1.5 เท่า

2.2.4.4 ด้านการแยกทางชีวภาพ

เนื่องจากโคโคติน-โคโคซานมีลักษณะเฉพาะตัว ทำให้สามารถขึ้นรูปได้หลากหลายรูปแบบ โคโคติน-โคโคซานที่ถูกขึ้นรูปเป็นเยื่อแผ่นบางๆ เพื่อใช้ในการกรองแยกด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น ไดอะไลซิส อุลตราฟิลเตรชัน นาโนฟิลเตรชัน และ รีเวอร์ออสโมซิส เป็นต้น โคโคติน-โคโคซานที่ขึ้นรูปเป็นเม็ดสามารถนำมาแยกสารชีวภาพ เช่น โปรตีน ซึ่งถูกนำกลับมาใช้เป็นทั้งอาหารของคนและสัตว์ได้ การใช้โคโคติน-โคโคซานย่อยปราศจากสารตกค้าง และสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติเป็นปุ๋ยให้กับสิ่งแวดล้อม และปลอดภัย

2.2.4.5 ใช้เป็นสารสร้างตะกอนและตกตะกอน

โคโคซานสามารถเป็นตัวตกตะกอนและตัวสร้างตะกอนที่ดี (Coagulation and Flocculation) เนื่องจากประกอบด้วยหมู่อะมิโน (ในรูปประจุบวก) จำนวนมากบนสายพอลิเมอร์ที่สามารถจับกับสารที่มีประจุลบ เช่น โปรตีน พอลิเมอร์ที่มีประจุลบ กรดนิวคลีอิก และสีย้อม แล้วเกิดเป็นสารประกอบพอลิอิเล็กโตรไลต์ (Polyelectrolyte) ซึ่งสารประกอบพอลิอิเล็กโตรไลต์เป็นสารประกอบที่เกิดโดยธรรมชาติ เมื่อใช้โคโคซานร่วมกับการใช้ Cationic Polymer หรือพวกเกลือ อนินทรีย์ เช่น อะลูมิเนียมซัลเฟต หรือ เฟอริกซัลเฟต จะทำให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น จุดเด่นของ โคโคซานเมื่อเปรียบเทียบกับสารตกตะกอนชนิดอื่นมีความได้เปรียบที่โคโคซาน

สามารถบริโภคได้ หากได้รับการยอมรับจากกองอาหารและยา ตะกอนของเหลือที่ได้จากอุตสาหกรรมอาหารสามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์

2.2.4.6 ทางกรแพทย์

เนื่องจากไคติน-ไคโตซานเป็นสารที่ได้จากธรรมชาติ ดังนั้นร่างกายมนุษย์ก็จะต้องไม่ต่อต้านจากการศึกษาต่อมาพบว่า ไคติน-ไคโตซานสามารถถูกย่อยสลายได้ภายในร่างกายสัตว์เนื่องจากมีเอนไซม์หลายชนิดที่สามารถย่อยสลายได้ นอกจากนี้ไคติน-ไคโตซานยังสามารถป้องกันการติดเชื้อบางชนิดได้ ซึ่งจากข้อดีต่างๆ มากมายนี้ทำให้มีการนำไคติน-ไคโตซานมาใช้งานในด้านการแพทย์อย่างมากมาย

2.2.4.7 ใช้ในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียว [7]

ในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวนั้นสิ่งที่สำคัญมากคือ อาหารสำหรับการเจริญและการเพิ่มจำนวนของเซลล์จุลินทรีย์ เราสามารถสกัดสารไคตินจากเปลือกกุ้งและในขณะเดียวกันก็เพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ที่สร้างเอนไซม์ไคติเนส (Chitinase) ได้ โดยผสมไคตินกับจุลินทรีย์ที่สร้างเอนไซม์ไคติเนส เอนไซม์ไคติเนสจะย่อยสลายไคตินเป็นโมเลกุลย่อย คือ *N-acetyl Glucosamine* ซึ่งเป็นสารที่มีคุณค่าทางอาหารสูงมาก เมื่อนำไปเป็นส่วนหนึ่งของอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงยีสต์สำหรับทำขนมปัง หรือยีสต์สำหรับผลิตอาหารสัตว์จะได้เซลล์ยีสต์จำนวนมากมาย

2.2.4.8 ใช้ในการเกษตร

ไคโตซานสามารถก่อตัวเป็นฟิล์มบางใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น เคลือบผิวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตรและเมล็ดพันธุ์ และยังมีการนำเอาอนุพันธ์ของไคตินและไคโตซานไปเป็นสารต่อต้านเชื้อรา ไวรัสและแบคทีเรียบางชนิด ซึ่งมันสามารถทำงานได้อย่างกว้างขวางเช่นยับยั้งโรคโคนเน่าจากเชื้อรา โรคแอนแทรกโนส และโรคอื่นๆ ไคติน-ไคโตซานสามารถใช้เป็นสารเสริมผสมลงในอาหารสัตว์บก เช่น สุกร วัว ควาย เป็ด ไก่ ช่วยเพิ่มปริมาณแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ในทางเดินอาหาร ช่วยลดอาการท้องเสียของสัตว์ได้ และลดอัตราการตายของสัตว์วัยอ่อน อันเนื่องมาจากการติดเชื้อแบคทีเรียหลายชนิดในทางเดินอาหาร

2.2.4.9 ใช้ในทางอุตสาหกรรม

ในอุตสาหกรรมอาหารได้มีการใช้ไคโตซาน เป็นตัวเสริมใยอาหารธรรมชาติในผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้ง ใช้เพิ่มความเหนียวแน่นให้กับผลิตภัณฑ์แปรรูปจากเนื้อสัตว์ ใช้เพิ่มรสของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ในอุตสาหกรรมเส้นใย กระดาษ สิ่งทอ ไคโตซานใช้ทำภาชนะบรรจุที่ย่อยสลายได้ในธรรมชาติ ทำฟิล์มถนอมอาหารที่สามารถรับประทานได้ ใช้ในการผลิตผ้าที่ย้อมสีติดทนนาน ใช้ในกระบวนการผลิตกระดาษที่มีคุณสมบัติทางกายภาพสูง ทนทานต่อการฉีกขาด หรือผลิตกระดาษที่ซึบหมึกได้ดีเพื่อการพิมพ์ที่ต้องการคุณภาพสูง

2.3 ระบบ UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

2.3.1 ประวัติความเป็นมาของระบบ UASB ([8], [9], [10], [11], [12], [13])

การบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Wastewater Treatment) มีความเหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูงๆ เป็นระบบที่เหมาะสมกับประเทศเขตร้อน เนื่องจากระบบต้องการอุณหภูมิค่อนข้างสูง และมีการพัฒนารูปแบบการทำงานง่าย มีประสิทธิภาพสูง และยังได้ก๊าซชีวภาพอีกด้วย ระบบกระบวนการชั้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนแบบหนึ่ง ซึ่งมีการพัฒนาขึ้นมาในประเทศเนเธอร์แลนด์ โดยมีพื้นฐานการพัฒนาจากประเทศแอฟริกาใต้ โดยในปี ค.ศ.1910 ได้พัฒนาให้ระบบถังหมักมีการฉีดพ่นน้ำเสียจากด้านล่าง ซึ่งมีตะกอนจุลินทรีย์อยู่กันอย่างหนาแน่นขึ้นไปด้านบนของถังบำบัดเรียกกระบวนนี้ว่า “ BIOLYTIC TANK ” [8] แต่ยังไม่เหมาะสมต่อมาได้มีการพัฒนาใช้ระบบบำบัดแบบ Conventional Activated Sludge Process แต่ให้มีการฉีดน้ำเสียจากด้านล่างผ่านชั้นหินขึ้นสู่ด้านบน [9] ซึ่งได้รายงานสรุปว่าเป็นไปได้ที่ระบบนี้จะบำบัดน้ำเสียในขั้นเริ่มต้นได้ดีเมื่อมีวิธีการแยกตะกอนจุลินทรีย์แล้วนำไปผสมน้ำเสียอีก [10] และต่อมามีรายงานถึงความสำเร็จในการพัฒนารูปแบบการบำบัดน้ำเสีย ที่มีการฉีดพ่นน้ำเสียของกากน้ำตาลน้ำจากการกลั่นไวน์ และยีสต์ ผ่านตะกอนจุลินทรีย์ ใน DORR OLIVER CLARIGESTER [11] จนตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 ได้มีการริเริ่มโครงการพัฒนาถึงปฏิกรณ์ชีวเคมีสำหรับบำบัดน้ำเสียแบบ UASB โดย Dr. Lettinga และคณะ (มหาวิทยาลัย Wageningen) [12] ได้รับความสนับสนุนจากกระทรวงสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อมของรัฐบาลเนเธอร์แลนด์ และดำเนินวิจัยร่วมกับกลุ่มวิจัยของ Centirale Suiker Maats-chappij (CSM) และมหาวิทยาลัย Delft University of Technology รวมถึงมหาวิทยาลัย Amsterdam [13] ซึ่งผลงานวิจัยในช่วงปี ค.ศ. 1974 ถึง ค.ศ. 1977 นำมาซึ่งการก่อสร้างถึงขนาดโรงงานต้นแบบ และต่อมาในปี ค.ศ. 1978 ถึง UASB ได้ถูกเริ่มนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานน้ำตาล ทำให้ในปัจจุบันมีการใช้งานระบบ UASB อย่างกว้างขวาง

ตารางที่ 2-1 เปรียบเทียบชนิดของระบบบำบัดแบบ UASB กับชนิดอื่นๆ [4]

ชนิดของระบบ	วิธีการกักเก็บจุลินทรีย์	อัตราการรักษา สารอินทรีย์ (kg COD m ⁻³ d ⁻¹)
Conventional (Completely Stirred)	None	ประมาณ 1
Anaerobic Contact Process	Separate Settling Tank with Sludge Return	ประมาณ 5
Anaerobic Filter	Bacterial Immobilization on Filter Material Combined with Sludge Particle Retention in Filter Interstices	10-15
UASB	Granulation of Bacterial Mass and an Internal Settling	20-50
Fixed Film Process	Bacterial Immobilization on Static Surface (Upflow or Downflow Mode) or on Particles (Expanded or Fluidized Bed Mode)	20-40 20-50

2.3.2 หลักการทำงานของระบบ UASB [14]

ระบบบำบัดแบบ UASB เป็นระบบบำบัดที่มีการป้อนน้ำเสียจากด้านล่างของถังปฏิกริยาขึ้นสู่ด้านบนโดยไม่ใช้ตัวกลางหรือวัสดุใดๆ ในการพองมวลชีวภาพทั้งสิ้น ซึ่งองค์ประกอบหลักของถังบำบัดประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

2.3.2.1 ส่วนของตะกอนชั้นล่าง (Sludge Bed)

เป็นชั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์สูง และมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของระบบ

2.3.2.2 ส่วนของตะกอนลอย (Sludge Blanket)

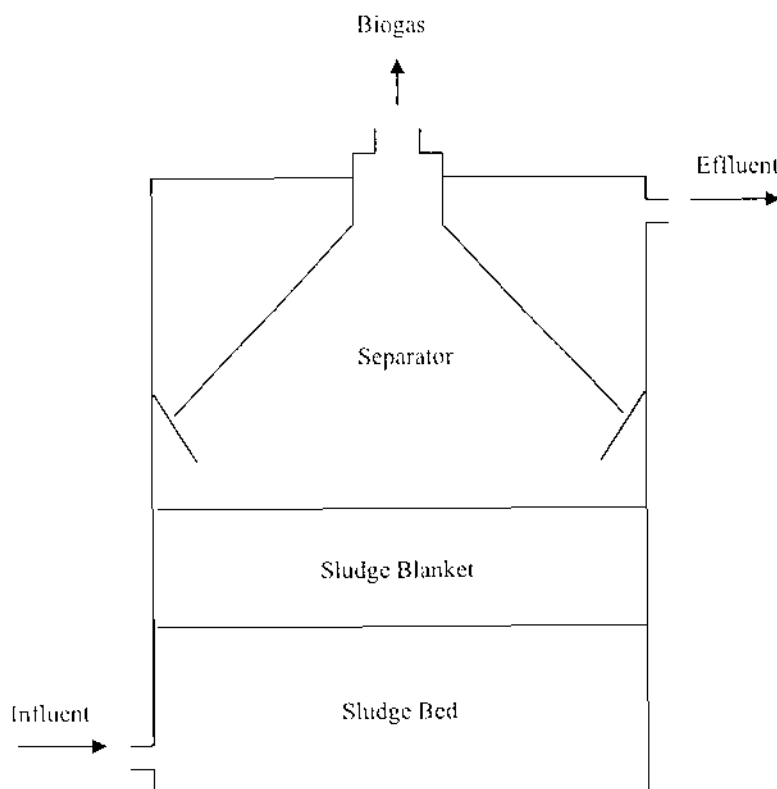
เป็นชั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่ลอยกระจาย เนื่องจากก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

2.3.2.3 ส่วนของอุปกรณ์แยกตะกอนชีวภาพและก๊าซชีวภาพ (Gas-Solid Separator)

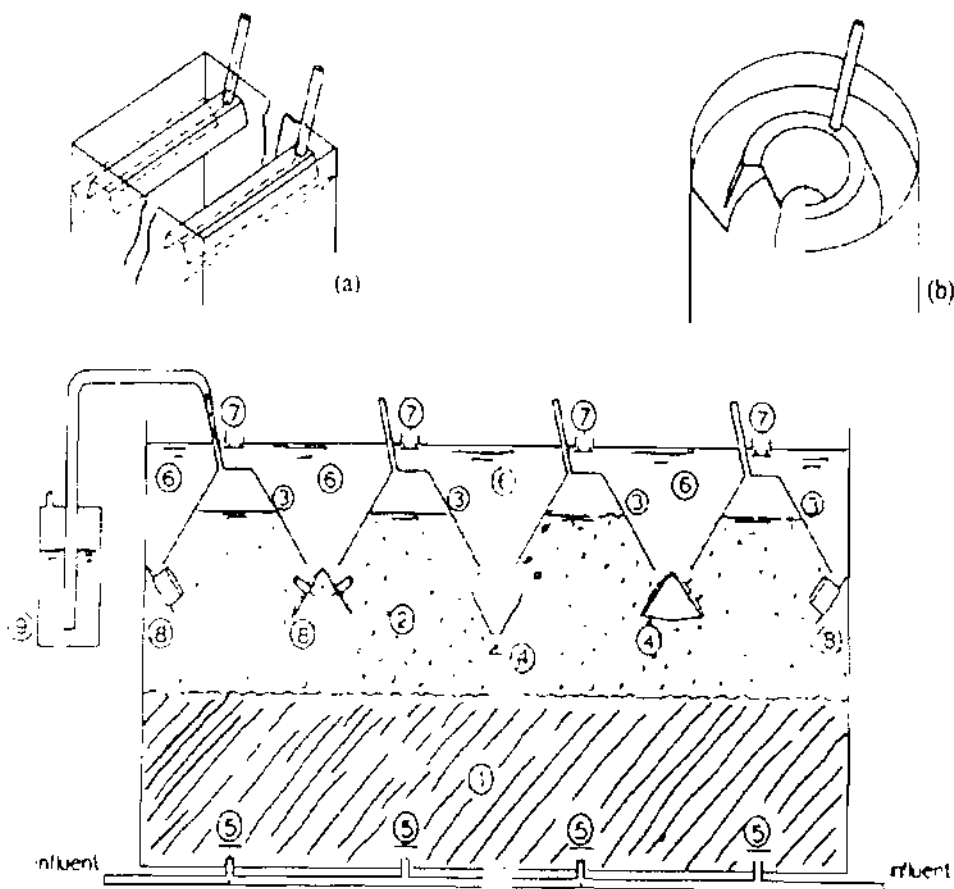
เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แยกก๊าซชีวภาพออกจากของผสมระหว่างก๊าซชีวภาพ น้ำ และตะกอนจุลินทรีย์

2.3.2.4 ส่วนของอุปกรณ์ในการตกตะกอน (Settlement Compartment)

ในส่วนของอุปกรณ์นี้ จะสร้างสภาวะที่เอื้ออำนวยต่อการตกตะกอนของตะกอนจุลินทรีย์ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วและแยกก๊าซชีวภาพออกไป จะเป็นของผสมระหว่างน้ำเสียที่มีสารมลพิษต่ำและตะกอนชีวภาพ ซึ่งเมื่อน้ำเสียส่วนนี้ไหลมาถึงอุปกรณ์นี้ตะกอนจุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะแยกตัวและตกตะกอนลงสู่ส่วนล่างของถัง ส่วนตะกอนที่มีน้ำหนักเบาจะไหลปะปนไปกับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว



ภาพที่ 2-8 องค์ประกอบหลักของถังบำบัดแบบ UASB ชนิดทั่วไป [14]



ภาพที่ 2-9 รูปแบบของระบบ UASB ที่ใช้งานจริง [12]

- | | |
|-----------------------------|--------------------------------|
| 1. Sludge Bed | = ชั้นตะกอนล่าง |
| 2. Sludge Blanket | = ชั้นตะกอนลอย |
| 3. Gas Bowl | = ที่เก็บก๊าซ |
| 4. Gas Seal | = ส่วนที่ป้องกันก๊าซรั่ว |
| 5. Feed Inlet Distribution | = หัวฉีดพ่นน้ำเสีย |
| 6. Settler | = ส่วนที่น้ำไหลนิ่ง |
| 7. Effluent Launder | = ส่วนที่ไหลออก |
| 8. Gas Collector | = ส่วนที่แยกก๊าซหรือที่วัดก๊าซ |
| 9. Water Seal | = ส่วนของน้ำที่ป้องกันก๊าซรั่ว |
| a. ถังบำบัดแบบทรงสี่เหลี่ยม | |
| b. ถังบำบัดแบบทรงกระบอก | |

2.3.3 กระบวนการเกิดตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ด (Granulation of Sludge)

การเกิดตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ดเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญ ที่แสดงว่าระบบบำบัดจะประสบความสำเร็จในการเดินระบบหรือไม่ ขึ้นตอนของกระบวนการดังกล่าวแบ่งได้ ดังนี้

2.3.3.1 ระยะที่ 1 เป็นระยะที่ถังบำบัดรับภาระสารอินทรีย์น้อยกว่า $2 \text{ kg COD m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ ในช่วงนี้ตะกอนจุลินทรีย์ที่อัดแน่นอยู่ที่ชั้นตอนล่างของถังปฏิกรณ์จะมีการยกตัวเนื่องจากก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น

2.3.3.2 ระยะที่ 2 เป็นระยะที่มีอัตราการรับภาระสารอินทรีย์ $2\text{-}5 \text{ kg COD m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ ในระยะนี้จะมีการสูญเสียตะกอนแขวนลอยสูงมาก เนื่องจากการเพิ่มอัตราการรับภาระสารอินทรีย์ ทำให้มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงมากตะกอนจุลินทรีย์ จึงถูกยกตัวและพัดพาออกจากระบบไป แต่ในส่วนของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีน้ำหนักสูง จะไม่ถูกพัดพาออกจากระบบและมีโอกาสเพิ่มปริมาณมากขึ้น ซึ่งผลจากการคัดเลือกนี้จะเริ่มทำให้ส่วนตะกอนชั้นล่างเริ่มมีตะกอนจุลินทรีย์ที่มีน้ำหนักสูงและตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ด

2.3.3.3 ระยะที่ 3 เป็นระยะที่มีอัตราการรับภาระสารอินทรีย์สูงกว่า $3\text{-}5 \text{ kg COD m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ และเป็นช่วงที่ระบบสามารถรับปริมาณสารอินทรีย์ในอัตราที่ออกแบบไว้ ระยะนี้จะพบว่ามี การเพิ่มของปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ดมากกว่าที่เสียออกจากระบบ และสุดท้ายเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะเสถียรภาพแล้วการสูญเสียตะกอนจุลินทรีย์จากระบบจะมีน้อยมาก

2.3.4 ปัจจัยที่ส่งเสริมกระบวนการเกิดตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ด

ปัจจัยที่เอื้อต่อการเกิดตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ดสรุปได้ดังนี้

2.3.4.1 ปัจจัยที่เกี่ยวกับชนิดของตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้น (Seed Sludge)

ตามหลักการแล้วจุลินทรีย์เริ่มต้นสามารถจะนำมาได้จากมูลสัตว์เคี้ยวเอื้อง ตะกอนโคลนน้ำจืด ตะกอนจากบ่อเกรอะ ตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำทิ้งชุมชนที่ผ่านการหมักแล้ว (Digested Sludge) และตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินจากระบบบำบัดชนิดอื่นๆ สำหรับตะกอนที่ทำให้ระบบสามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพในเวลาอันสั้นคือ ตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำทิ้งชุมชนที่ผ่านการหมักแล้วประเภทความหนาแน่นสูง ($>60 \text{ kg TS m}^{-3}$) ซึ่งเป็นตะกอนที่มีค่า Methanogenic Specific Activity ค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับประเภทที่มีความหนาแน่นน้อย ($>40 \text{ kg TS m}^{-3}$) สำหรับในกรณีการใช้ตะกอนจุลินทรีย์ชนิดเม็ดเป็น จุลินทรีย์เริ่มต้นพบว่า จะส่งผลให้การเริ่มต้นเดินระบบใช้เวลาอันสั้นเมื่อเทียบกับตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำทิ้งชุมชนที่ผ่านการหมักแล้ว โดยระยะเวลาจะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของน้ำเสีย และชนิดของตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ด

2.3.4.2 อุณหภูมิ

จุลินทรีย์ที่มีความสำคัญในการควบคุม ให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ จุลินทรีย์พวก Methanogenic Bacteria จุลินทรีย์ชนิดนี้มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิมากโดยช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเติบโต และก่อให้เกิดตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ด

มี 2 ช่วง คือ Mesophilic ($30-35^{\circ}\text{C}$) และ Thermophilic (55°C) แต่อุณหภูมิในช่วง Thermophilic จะช่วยให้กระบวนการเกิดตะกอนจุลินทรีย์ ลักษณะเม็ดสามารถดำเนินการได้เร็วกว่าโดยที่ลักษณะ กลไกของกระบวนการทั้งสองจะมีความแตกต่างกันอย่างมาก

2.3.4.3 ประกอบของน้ำเสีย

องค์ประกอบของน้ำเสียที่จะเข้าระบบบำบัดแบบ UASB มีบทบาทสำคัญในกระบวนการเกิดตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ด จุลินทรีย์ลักษณะเม็ดจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในถังปฏิกรณ์ที่ป้อนน้ำเสียที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่ที่ละลายน้ำ นอกจากนั้นในน้ำเสียที่มีกรดอินทรีย์ระเหยง่าย โรงงานผลิตยีสต์ โรงงานน้ำตาลจาก Sugar Beet และโรงงานแปรงมันฝรั่ง ก็สามารถทำให้เกิดตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ดได้ดี สำหรับน้ำเสียที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นโปรตีนอาจเกิดปัญหา เนื่องจากปัญหาการเกิดฟองและการตกตะกอนของโปรตีนในสภาวะที่ถึงรับภาระเกินอัตราการรับภาระ (Overloading) หรือในสภาวะที่ถึงมีค่าพีเอช < 6.0 แต่ปัญหาที่สำคัญ คือ การปลดปล่อยสารแอมโมเนียออกมา ในขณะที่เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายโปรตีนก็เป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลให้น้ำเสียประเภทนี้ไม่สามารถป้อนเข้าสู่ระบบ ในอัตราการรับภาระสูงๆ ได้ เนื่องจากแอมโมเนียมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มนี้ น้ำเสียกลุ่มที่ก่อปัญหาในส่วนของกระบวนการเกิดจุลินทรีย์ลักษณะเม็ดคือ น้ำเสียที่มีตะกอนแขวนลอยขนาดเล็กปะปนอยู่สูง เนื่องจากตะกอนแขวนลอยเหล่านี้จะเข้าไปขัดขวางกลไกการสร้างจุลินทรีย์ลักษณะเม็ด

2.3.4.4 สารอาหารและธาตุประจุ

สารอาหารที่มีความจำเป็นสำหรับระบบ UASB ประกอบด้วย ไนโตรเจน ฟอสเฟต และซัลเฟอร์ รวมถึงกลุ่ม Trace Element ซึ่งสารเหล่านี้จะต้องมีปริมาณเพียงพอและอยู่ในรูปที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ สำหรับสัดส่วนของสารอินทรีย์ต่อไนโตรเจน (COD : N) และสารอินทรีย์ต่อฟอสเฟต (COD : P) ในน้ำเสียต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 70 และ 350 ตามลำดับ ในกรณีของสารกลุ่ม Trace Element ถ้ามีปริมาณเล็กน้อย นิเกิล และโคบอลต์ ปริมาณเล็กน้อย จะมีส่วนส่งเสริมให้กระบวนการเกิดตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ดเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว

สารกลุ่มธาตุประจุสามารถแยกพิจารณาออกเป็น 2 กลุ่ม คือ Divalent Cations และ Monovalent Cations

ก) Divalent Cations กลุ่ม Divalent Cations มีสารอาหารหลัก คือ Ca^{2+} ในปริมาณ $< 150 \text{ mg l}^{-1}$ จะมีส่วนส่งเสริมให้คุณสมบัติในการตกตะกอนของจุลินทรีย์ดีขึ้น และการสร้างจุลินทรีย์ลักษณะเม็ดแต่ขณะเดียวกันถ้ามีปริมาณ $> 400 \text{ mg l}^{-1}$ Ca^{2+} จะสร้างปัญหาเกิดการสะสมตัวของคราบหินปูนในระบบ และลักษณะเม็ดของจุลินทรีย์รวมถึงขัดขวางกระบวนการเกิดตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ด

ข) Monovalent Cations กลุ่ม Monovalent Cations มีสารอาหารหลัก คือ NH_4^+ และ Na^+ โดยธาตุทั้งสองมีคุณสมบัติที่มีผลต่อลักษณะสมบัติในการตกตะกอนของจุลินทรีย์ โดยที่ Na^+ ที่มีความเข้มข้น 350 mg l^{-1} เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตที่ดีของ

Methanogenic Bacteria ขณะเดียวกันถ้าความเข้มข้นสูงจะมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มดังกล่าว สำหรับกรณีของ NH_4^+ พบว่าที่ความเข้มข้นมากกว่า 100 mg l^{-1} จะมีผลต่อการขัดขวางการสร้างจุลินทรีย์ลักษณะเมต

2.3.4.5 สารที่ก่อความเป็นพิษ

สภาพความเป็นพิษที่เกิดกับจุลินทรีย์ในถัง UASB สาเหตุส่วนใหญ่มาจากสารกลุ่มโลหะหนัก Alkalies, Sulfate, Phenol, Chloride, Nitrate และออกซิเจน ซึ่งสารกลุ่มนี้จะต้องหลีกเลี่ยงไม่ให้ปนเปื้อนในน้ำเสียในปริมาณความเข้มข้นที่สูงจนก่อความเป็นพิษ สำหรับในกรณีที่ไม่สามารถจัดสารเหล่านี้ออกจากน้ำเสียได้ การลดความเป็นพิษได้ คือการเจือจางน้ำเสีย การหมุนเวียนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับเข้าระบบ การนำน้ำเสียที่มีสารพิษปะปนผสมเข้ากับน้ำเสียประเภทอื่น และ Pre-Acidification สำหรับกรณีซัลเฟตจากปฏิกิริยาการย่อยสลายจะเกิดก๊าซ H_2S ซึ่งโดยทั่วไปแล้วมีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์สูงมาก ดังนั้นการควบคุมให้ค่าสัดส่วนของสารอินทรีย์ต่อซัลเฟต ($\text{COD} : \text{SO}_4$) ให้สูงมากกว่า 10 เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ กลิ่นและการกัดกร่อน

2.3.4.6 การกวน

การกวนมีความจำเป็นสำหรับถังแบบ UASB เป็นปัจจัยสำคัญในการก่อให้เกิดการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ นอกจากนั้นการกวนยังเป็นการลดปัญหาการลัดวงจร (Short-Circuit) และการเกิด Channeling ในส่วนของตะกอนชั้นล่าง ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง แต่การกวนอย่างรุนแรงและต่อเนื่องก็จะมีผลทำลายตะกอนลักษณะเมต ดังนั้นควรมีการกวนเฉพาะในช่วงเริ่มต้นเดินระบบ ซึ่งก๊าซที่เกิดจากปฏิกิริยาการย่อยสลายจะมีปริมาณน้อยไม่พอเพียงในการทำหน้าที่กวนส่วนของตะกอนชั้นล่าง การกวนควรอยู่ในช่วงอัตรา 10-30 rpm นาน 1 นาที และหยุด 10 นาที นอกจากการใช้เครื่องจักรกลในการกวนแล้วอาจใช้วิธีการเพิ่มการหมุนเวียนน้ำทิ้งออกกลับเข้าระบบและการหมุนเวียนก๊าซเข้าระบบ

2.3.4.7 พีเอช

ค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียสร้างมีเทนจะมีค่าประมาณ 7.0 และช่วงที่ไม่เป็นอันตราย จะอยู่ในช่วงพีเอช 6.5-7.5

2.3.4.8 อัตราการรับภาระสารอินทรีย์

ตะกอนลักษณะเมตจะเริ่มปรากฏเมื่อถัง UASB รับภาระสารอินทรีย์มากกว่า $0.6 \text{ kg COD kg}^{-1} \text{ VSS d}^{-1}$ ส่วนการเดินระบบที่อัตราการรับภาระต่ำกว่านี้เป็นเวลานานจะมีผลให้ลักษณะสมบัติในการตกตะกอนของจุลินทรีย์เลวลง และก่อให้เกิดปัญหาจุลินทรีย์ลอยตัวสุดท้ายตะกอนจุลินทรีย์จะถูกชะล้างออกจากระบบ

2.3.5 การเริ่มต้นเดินระบบ

การเริ่มต้นเดินระบบของถัง UASB เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ต้องการความพิถีพิถันมาก การเริ่มต้นเดินระบบจะเป็นขั้นตอนที่เริ่มตั้งแต่การเติมตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นเข้าสู่ระบบ จนถึงช่วงตะกอนจุลินทรีย์พัฒนาลักษณะสมบัติให้การตกตะกอนที่ดีขึ้นหรือจนมีการเปลี่ยนแปลงเป็นจุลินทรีย์ลักษณะเม็ด สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อขั้นตอนการเริ่มต้นเดินระบบสามารถจำแนกได้ดังนี้

2.3.5.1 ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้น

ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นที่เติมเข้าระบบ จะต้องมีความไม่มากจนก่อปัญหาการชะล้างของตะกอนจุลินทรีย์ เนื่องจากการยกตัวของตะกอนชั้นล่าง แต่ก็ไม่น้อยจนไม่เพียงพอในการผสมผสานกับน้ำเสีย สำหรับปริมาณตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นควรอยู่ในช่วง 12-15 kg VSS m^{-3} ในกรณีที่ตะกอนผ่านการหมักประเภทความหนาแน่นสูง และ 6 kg VSS m^{-3} ในกรณีที่ตะกอนผ่านการหมักประเภทความหนาแน่นน้อย

2.3.5.2 ตะกอนจุลินทรีย์ที่ถูกชะล้างออกจากกระบวน

ตะกอนจุลินทรีย์ที่ถูกชะล้างออกจากกระบวนต้องไม่นำกลับมาเข้าถังบำบัดอีกอย่างเด็ดขาด การชะล้างตะกอนจุลินทรีย์ออกจากถังเกิดขึ้นได้ 2 กรณี คือ

ก) การยกตัวของตะกอนชั้นล่าง ซึ่งเป็นปัญหากับถังมากและจะต้องพยายามให้เกิดการชะล้างจุลินทรีย์เนื่องจากสาเหตุนี้ให้น้อยที่สุด เนื่องจากในกรณีนี้จะมีผลให้ตะกอนจุลินทรีย์มีเวลากักเก็บในระบบสั้นและในบางกรณีระบบอาจล้มเหลวได้

ข) การกัดเซาะของตะกอนชั้นล่าง (Sludge Bed Erosion) การชะล้างประเภทนี้จะเป็นการคัดเลือกตะกอนจุลินทรีย์ที่มีน้ำหนักมาก และมีศักยภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์สูง ซึ่งในท้ายที่สุดจะนำมาซึ่งกระบวนการการเกิดตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ด

2.3.5.3 อัตราการรับภาระสารอินทรีย์

ในช่วงการเริ่มต้นเดินระบบการเพิ่มอัตราการรับภาระจะต้องกระทำเป็น ขั้นตอนเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาการรบกวนสภาพสมดุลของประชากรจุลินทรีย์ในระบบ สำหรับหลักการในการเพิ่มอัตราการรับภาระจะพิจารณาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ ในเทอมของซีโอดีซึ่งจะต้องย่อยสลายได้ร้อยละ 80 จึงจะสามารถเพิ่มอัตราการรับภาระได้ การเพิ่มอัตราการรับภาระอย่างรวดเร็ว และไม่มีขั้นตอนจะส่งผลให้ความสามารถในการย่อยสลายลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

การเดินระบบในสภาวะที่ระบบรับอัตราการรับภาระสูงเกินไป (Over Loading) และรับอัตราการรับภาระต่ำเกินไป (Under Loading) จะส่งผลเสียต่อกระบวนการเกิดตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ด สำหรับเกณฑ์การเริ่มต้นเดินระบบจะเริ่มที่อัตราการรับภาระในช่วง 0.05-0.10 kg COD kg VSS⁻¹ d⁻¹ เป็นค่าทั่วไป สำหรับกรณีที่น้ำเสียมีส่วนของสารที่ไม่สามารถย่อยทางชีวภาพได้สูง (ซีโอดีสูงแต่บีโอดีต่ำ) อัตราการรับภาระอาจเริ่มต้นที่ 0.7 kg COD kg VSS⁻¹ d⁻¹ [14]

2.3.5.4 อัตราการรับภาระของเหลว

อัตราการไหลเข้าของถังบำบัดน้ำเสียในถัง UASB มีบทบาทสำคัญในการคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีน้ำหนักเบา ซึ่งไม่สามารถพัฒนาไปเป็นตะกอนจุลินทรีย์ชนิดเม็ด อัตราการไหลเข้าของน้ำเสียที่สูงมากเกินไป จะก่อให้เกิดปัญหาการชะล้างตะกอนจุลินทรีย์มากจนเกิดผลเสียต่อระบบ ขณะที่อัตราการไหลเข้าของน้ำเสียที่ต่ำจนเกินไปจะมีผลทำให้กระบวนการคัดเลือกจุลินทรีย์ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ เกณฑ์การออกแบบอัตราการไหลของน้ำเสียในเทอม Surface Load จะประมาณ $1.0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ เป็นค่าที่เสนอในการออกแบบทั่วไป

2.4 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียแบบ UASB

Lettinga และคณะ (1980) [12] ได้สรุปว่าระบบ UASB เหมาะสำหรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของ COD ต่ำๆ จากการทดลองทั้งขนาดจริง (Full Scale) และขนาดสาธิต (Pilot Plant) ซึ่งใช้น้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันที่อุณหภูมิ 30°C พบว่าสามารถรองรับสารอินทรีย์ได้สูงถึง $25 \text{ kg COD m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ และมี Hydraulic Loading Rate ที่ $5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ตะกอนจุลินทรีย์มีการตกตะกอนที่ดีและมีประสิทธิภาพสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพสูง ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ การอัดตัวของตะกอนจุลินทรีย์ ความสูงของตะกอนจุลินทรีย์ ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ และตำแหน่งของตะกอนจุลินทรีย์ในถังบำบัด การพยายามรักษาตะกอนจุลินทรีย์ไม่ให้มีการล้างออก ทำได้โดยให้มีการไหลแบบราบเรียบในส่วนดักตะกอน นอกจากนี้ระบบยังมีความต้องการแยกถังหมักกรดและถังหมักก๊าซออกจากกัน เมื่อส่วนประกอบของน้ำเสียนั้นไม่ได้ประกอบด้วยกรดอินทรีย์ระเหยง่าย และจากการทดลองพบว่าระบบนี้เหมาะสำหรับกระบวนการ Denitrification ในถังหมักที่สร้างกรด

Godwin และ Wase (1982) [15] ทำการทดลองใช้ถังหมักแบบ UASB ขนาดความจุ 0.44 ลิตร ในการบำบัดน้ำเสียซึ่งมีค่าซีโอดีประมาณ $1,000 \text{ mg l}^{-1}$ และปริมาณอะซิเตทสูงกว่า 400 mg l^{-1} ที่อุณหภูมิ 35°C โดยมีการใช้ไฮโดรเจนไอตรอกไซด์ปรับพีเอชของน้ำเสียทำให้พีเอชขาออกจากระบบมีค่าอยู่ระหว่าง 8.0-8.5 และมีการแยกคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นออกจากถังหมักทันที ซึ่งทำให้ก๊าซที่ได้มีสัดส่วนของก๊าซมีเทนสูงถึงร้อยละ 99 ประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารอินทรีย์ที่เหมาะสมกับการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ $1.6 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$

Herbert และคณะ (1996) [16] ศึกษากระบวนการบำบัดน้ำทิ้งที่มีกรดไขมันระเหยง่ายโดยใช้ระบบบำบัดแบบ UASB ซึ่งสามารถบำบัดปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีได้สูงถึงร้อยละ 97 –99 โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 37°C และมีอัตราการป้อนสูงถึง $24 \text{ g VSS l}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ซึ่งค่าอัตราการไหลมีความสัมพันธ์กับค่า F/M ratio (Food to Microorganism) ที่ $0.78 \text{ g COD g}^{-1} \text{ VSS d}^{-1}$ กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบ UASB สามารถใช้บำบัดน้ำทิ้งได้หลายชนิด และพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีจะลดลงที่อัตราการป้อนสูงๆ และจากปริมาณซีโอดี

ทั้งหมดที่ถูกบำบัดพบว่ามีปริมาณร้อยละ 93 จะเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนส่วนที่เหลือจะเปลี่ยนเป็นตะกอนชีวมวล ตะกอนที่เกิดขึ้นมีขนาด 1–2 mm ซึ่งเป็นขนาดที่เอื้อกับการตกตะกอน และแต่ละกรัมของตะกอนในถังปฏิกรณ์ UASB จะมีความสามารถในการเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนในแต่ละวันได้สูงสุดถึง 0.86 g ของซีโอดีและที่ผิวของตะกอนจะมีลักษณะเป็นปุยซึ่งส่วนใหญ่จะประกอบด้วยเส้นใย และมี *Methanothrix*, *Methanospirillum Hungatei* และ *Syntrophobacter Bacteria* กระจายตัวอยู่ทั่วไปภายในตะกอนแบคทีเรีย

Agrawal และคณะ (1997) [17] แสดงให้เห็นว่าระบบ UASB สามารถถูกปรับเปลี่ยนให้บำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของซีโอดีต่ำๆ ได้ โดยทำการทดลองใช้ถังหมักแบบ UASB ขนาดความจุ 110 ลิตร สำหรับบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของซีโอดีต่ำๆ (300 mg l^{-1}) ที่ 25°C มากกว่า 700 วัน ที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสียต่างๆ (28, 19, 14 และ 9 ชั่วโมง) ตามลำดับ ขนาดของจุลินทรีย์จะสังเกตได้หลังจากผ่านไป 9 เดือน และที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 9 ชั่วโมง อัตราของการกำจัดซีโอดีละลายและซีโอดีทั้งหมดมีค่าประมาณร้อยละ 81 และร้อยละ 73 ตามลำดับ และได้ก๊าซมีเทน $212 \text{ N l kg}^{-1} \text{ COD}$

Byung-Uk และ Hang-Sik (1997) [18] ศึกษาผลการดำเนินงานของ Inner Tube (IT)-Type Gas-Solid Separator (GSS) ซึ่งพิจารณาจากค่า Superficial Gas Velocity ($U_g, \text{m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) IT-Type GSS ติดตั้งในถังบำบัดน้ำเสียแบบ UASB ขนาด 0.58 m^3 สำหรับน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ความเข้มข้นของเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้เริ่มต้นเดินระบบ 11.8 g l^{-1} และ อัตราการรับภาระสารอินทรีย์เริ่มต้นที่ $0.6 \text{ kg COD m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ โดยจะแบ่งการศึกษาเป็น 2 ช่วง ช่วงที่ 1 ศึกษาที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 11.7 ชั่วโมง ($4.4 \text{ kg COD m}^{-3} \text{ d}^{-1}$) และช่วงที่ 2 ศึกษาที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 7.4 ชั่วโมง ($11.8 \text{ kg COD m}^{-3} \text{ d}^{-1}$) จากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพของ IT-Type GSS จะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า U_g เพิ่มขึ้น เมื่อค่า U_g เท่ากับ 0.26 m h^{-1} (ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 11.7 ชั่วโมง) จะมีค่า Dead Space สูงถึง 20 % ลักษณะการไหลของน้ำเสียภายในถังบำบัดจะมีลักษณะการไหลคล้ายกับ Non-Ideal Plug Flow อย่างไรก็ตามเมื่อค่า U_g เพิ่มขึ้น 0.67 m h^{-1} (ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 7.4 ชั่วโมง) ลักษณะการไหลของน้ำเสียภายในถังบำบัด จะมีลักษณะการไหลใกล้เคียงกับถังปฏิกรณ์ชนิด CSTR (Completely Stirred Tank Reactor) เนื่องจากไม่มี Dead Space เกิดขึ้น

2.4.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับ และการจับกันของไคโตซานกับสารแขวนลอยจุลินทรีย์

Strand และคณะ (2002) [19] ศึกษาประสิทธิภาพการจับกันของไคโตซานกับแบคทีเรีย 8 สายพันธุ์ จุดมุ่งหมายของการศึกษานี้คือ ศึกษาโครงสร้างของไคโตซานที่เกี่ยวข้อง เช่น ค่าสัดส่วนของหมู่อะซิดิล (F_A) และค่ามวลโมเลกุล (Mn) และลักษณะเฉพาะของการจับกันของไคโตซานกับแบคทีเรีย เช่น ประจุบนพื้นที่ผิวของเซลล์ และค่า Hydrophobicity จากการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพการจับกัน ระหว่างไคโตซานกับสารแขวนลอยแบคทีเรียที่ต่างสายพันธุ์

ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโคโดซาน และค่า F_A แล้วยังพบอีกว่าค่ามวลโมเลกุลมีอิทธิพลอย่างมากต่อแบคทีเรียส่วนใหญ่ แต่มีอิทธิพลน้อยต่อแบคทีเรีย *Escherichia coli* DSM 498 แบคทีเรียที่มีประจุบนพื้นที่ผิวเป็นลบ (Gram-negative bacteria; G-) เช่นแบคทีเรียจำพวก *E. Coli*, *Serratia marcescens*, *Enterobacter Cloacae*, *Pseudomonas Putida* KT 2440 และ *Pseudomonas sp.* DSM 1650 จะมีประสิทธิภาพการจับกันดีเมื่อทำการจับกับโคโดซานที่มีหมู่อะซิติกสูงๆ เช่น โคโดซานที่มีค่า F_A 0.49 ส่วนแบคทีเรียที่มีประจุบนพื้นที่ผิวเป็นบวก (Gram-Positive Bacteria; G+) เช่นแบคทีเรียจำพวก *Micrococcus luteus*, *Bacillus Megaterium* และ *Rhodococcus sp.* 094 จะมีประสิทธิภาพการจับกันดีเมื่อทำการจับกับโคโดซานที่มีประจุสูง เช่นโคโดซานที่มีค่า F_A 0.01 ดังนั้นจะเห็นได้ว่าปฏิกิริยาไฟฟ้าสถิตไม่มีอิทธิพลต่อการจับตัวกันของแบคทีเรีย G- ในการประเมินค่าประจุบนพื้นที่ผิวแบคทีเรียทำได้โดยการวัดค่าศักย์ซีต้า ในการวัดค่าศักย์ซีต้า จะทำการวัดภายใต้สภาวะที่เหมือนกันกล่าวคือทำการปรับค่า pH ให้ได้ 6.5 ด้วยบัฟเฟอร์ Phosphate Buffered Saline Solutions (PBS) และค่าความแรงของไอออนเท่ากับ 0.1M จากการวัดพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ซีต้า และการจับฟลอกก็ยังเป็นความสัมพันธ์ที่ไม่ชัดเจน กล่าวคือ แบคทีเรีย *M. luteus* และ *B. Megaterium* มีค่าศักย์ซีต้าสูงที่สุด แต่การจับฟล็อกมีความแตกต่างกัน และแบคทีเรีย *Pseudomonas* ทั้ง 2 ชนิด มีค่าศักย์ซีต้าที่แตกต่างกัน แต่มีลักษณะการจับฟล็อกที่คล้ายคลึงกัน ในการวัดค่า Hydrophobicity ของแบคทีเรียทำได้โดยการวัดค่า Contact Angle ของหยดน้ำที่อยู่บนพื้นผิวแบคทีเรีย โดยทั่วไปแบคทีเรียที่เป็น Hydrophilic มีค่า Contact Angle ประมาณ 20° และแบคทีเรียที่เป็น Hydrophobic มีค่า Contact Angle ประมาณ 100° อย่างไรก็ตามค่า Contact Angle และการจับกันเป็นฟล็อกก็ยังเป็นความสัมพันธ์ที่ไม่ชัดเจน กล่าวคือแบคทีเรีย *E. Coli* และ *B. Megaterium* มีค่า Hydrophobicity ที่เหมือนกันแต่มีลักษณะการจับฟล็อกที่แตกต่างกัน โดยปกติผนังเซลล์แบคทีเรียส่วนใหญ่มีประจุบนพื้นที่ผิวเป็นลบ ปฏิกิริยาไฟฟ้าสถิตระหว่างแรงผลัก และการเกาะติดของแบคทีเรียจะเกิดขึ้นได้ต้องมีแรงดึงดูดที่เหมาะสม เช่น แรง Van Der Waals, Hydrophobic หรือ Polymer Interaction อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาไฟฟ้าสถิตไม่ได้มีอิทธิพลในการจับกันเป็นฟล็อก ของแบคทีเรียที่มีค่าประจุบนพื้นที่ผิวเป็นลบและการเหลืออยู่ของ (1 $\rightarrow$ 2)Linked 2-Acetamido-2-Deoxy- β -D-Glucopyranose (GlcNAc) มีผลที่เป็นประโยชน์ซึ่งเห็นได้ชัดในการจับฟล็อกในการศึกษานี้

Strand และคณะ (2003) [20] ศึกษาการดูดซับและการจับกันของโคโดซานกับ *E. Coli* และผลของสภาวะแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง เช่น ค่า pH และ ความแรงของไอออน จากการศึกษาพบว่า การดูดซับของโคโดซานที่มีค่าสัดส่วนหมู่อะซิติก (F_A) 0.49 ซึ่งมีค่าความหนาแน่นของประจุต่ำ จะให้ค่าศักย์ซีต้ามากที่สุดเมื่อเทียบกับ F_A 0.01 และ F_A 0.13 การเปลี่ยนประจุให้เป็นกลาง (Charge Neutralization : CNP) ของ F_A 0.49 จะใช้ปริมาณโคโดซานน้อยกว่า F_A 0.01 และ F_A 0.13 ผลการทดลองพบว่าโคโดซานที่มีค่า F_A 0.49 เหมาะสมสำหรับเซลล์

E.Coli และถูกดูดซับที่ปริมาณมากที่สุด ช่วยบ่งบอกว่าปฏิสัมพันธ์ที่ไม่ใช่ประเภไฟฟ้าสถิตมีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการดูดซับและการจับตัวเป็นฟล็อก ในการดูดซับของโคโคซานกับเซลล์ E.Coli จะขึ้นอยู่กับค่า pH เนื่องจากว่าโคโคซานเป็นพอลิอิเล็กโตรไลต์แบบอ่อน ความหนาแน่นของประจุจึงขึ้นอยู่กับค่า pH โดยที่ pH 5 พอลิเมอร์มีประจุสูงมากทำให้มีปริมาณการดูดซับต่ำกว่าที่ pH 6.5 ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการดูดซับของพอลิอิเล็กโตรไลต์ที่มีประจุสูงจะถูกจำกัดด้วยแรงผลักทางไฟฟ้า ทั้งภายในและระหว่างโมเลกุลที่ pH 6.5 ซึ่งมีความหนาแน่นของประจุพอลิเมอร์ต่ำกว่าที่ pH 5 แรงผลักทางไฟฟ้าจะลดลง และที่ pH 7.8 จะพบว่าปริมาณที่ถูกดูดซับของโคโคซานจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามไม่มีความแตกต่างที่สำคัญในปริมาณที่ถูกดูดซับของโคโคซานที่มีค่า F_A แตกต่างกันในสภาวะความเข้มข้นของโคโคซานต่ำ โคโคซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำถูกดูดซับกับเซลล์ E.Coli ในปริมาณที่มากกว่าโคโคซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง น้ำหนักโมเลกุลในการดูดซับกับพอลิอิเล็กโตรไลต์อ่อนจะขึ้นอยู่กับค่าความแรงของไอออน และค่า pH แต่ที่ F_A 0.49 ค่าความแรงของไอออนไม่มีผลต่อการดูดซับ ความเข้มข้นของโคโคซานที่เริ่มจับตัวเป็นฟล็อกจะมีค่าต่ำกว่าค่า CNP เป็นการบ่งบอกว่าการเปลี่ยนประจุให้เป็นกลางไม่ใช่กลไกหลักในการจับตัวกัน พื้นฐานของข้อมูลที่เสนอในงานวิจัยนี้ยังคงไม่สามารถหาข้อสรุปที่แน่นอนได้ว่า การเชื่อมสะพาน หรือแรงดึงดูดประจุเป็นกลไกหลักในการจับกันเป็นฟล็อก นอกจากนี้ที่ค่าความแรงของไอออนต่ำ ความต้องการโคโคซานในการดูดซับของเซลล์จะมีค่ามากขึ้น สามารถอธิบายได้ว่า เมื่ออยู่ในช่วงที่ระยะแรงผลักของชั้น Double Layer เพิ่มขึ้นที่ค่าความแรงของไอออนต่ำ เซลล์ซึ่งมีปริมาณโคโคซานที่ถูกดูดซับน้อย ไม่สามารถเข้าใกล้กันเพียงพอให้เกิดการเชื่อมสะพาน และกลไกการเปลี่ยนประจุเป็นกลางอาจจะปฏิบัติการที่ค่าความแรงของไอออนต่ำ อย่างไรก็ตามแรงดึงดูดระหว่างประจุที่ตรงกันข้ามไม่สามารถตัดออกได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่น้ำหนักโมเลกุลต่ำ และในความเป็นจริงกระบวนการหลายอย่างจะเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน และที่สัดส่วนต่างๆ กันตามสภาวะที่แตกต่างกัน

Kaseamchochoung และคณะ (2006) [21] ศึกษาผลของระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล น้ำหนักโมเลกุลของโคโคซาน ค่า pH และ ความแรงของไอออน ของตัวกลางต่อการจับตัวกับจุลินทรีย์สกุล Methanogenic ซึ่งจะส่งผลช่วยย่นระยะเวลาในการพัฒนาเม็ตตะกอนจุลินทรีย์สำหรับระบบ Upflow Anaerobic Sludge Bed (UASB) พบว่า ความเข้มข้นของโคโคซานที่เหมาะสมที่สุดสำหรับจับกับจุลินทรีย์สกุล Methanogenic และประสิทธิภาพการเกิดฟล็อกจะขึ้นอยู่กับระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล และน้ำหนักโมเลกุลของโคโคซาน โคโคซานที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลเท่ากับ 85% จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์การจับตัวกันของตะกอนได้ดีกว่าโคโคซานที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลเท่ากับ 70% สำหรับทุกๆค่า pH ในการทดลอง (pH 5, 6 และ 7) โคโคซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ($M_w = 3.48 \times 10^5$ ดอลตัน) จะมีค่าประสิทธิภาพการเกิดฟล็อกดีกว่าโคโคซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ($M_w = 1.38 \times 10^6$ ดอลตัน) และเมื่อค่าความแรง

ของอีออนไนสารแขวนลอยจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นจาก 0.01M เป็น 0.1M ระดับการแตกของฟล็อก ในสภาวะที่เติมโคโคซานในปริมาณที่มากเกินไป (>4 มิลลิกรัมต่อกรัม Sludge น้ำหนักแห้ง) จะลดลง การเกิดฟล็อกเริ่มต้นที่ค่าศักย์ซีต้าต่ำกว่าค่าการเปลี่ยนประจุให้เป็นกลาง ซึ่งชี้ให้เห็นว่า การเปลี่ยนประจุให้เป็นกลางไม่ได้เป็นกลไกหลักในการเกิดฟล็อก แต่จากข้อมูลการทดลอง พบว่าความหนาแน่นของประจุมีบทบาทสำคัญต่อกลไกการเกิดฟล็อก ซึ่งสามารถบ่งบอกได้ว่า แรงทางไฟฟ้าสถิตมีบทบาทสำคัญต่อกลไกการเกิดฟล็อกในระบบนี้

2.4.3 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้โคโคซาน เป็นตัวเร่งให้เกิดเม็ดตะกอนในระบบ UASB

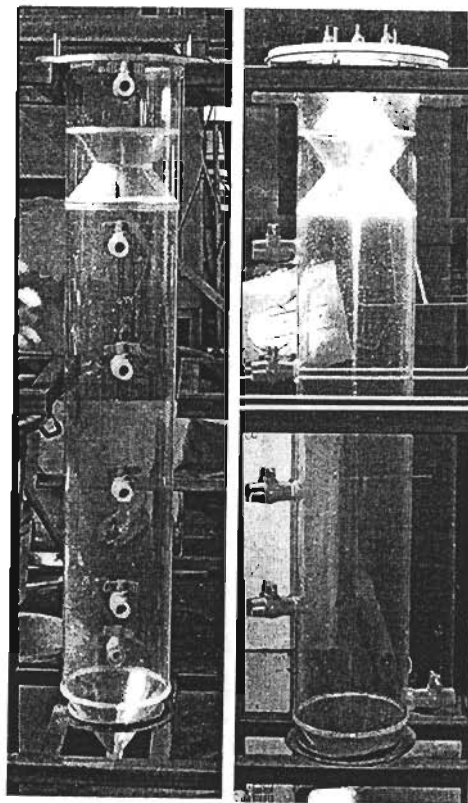
Mamouni และคณะ (1998) [1] ได้ศึกษาประสิทธิภาพของตัวเร่งให้เกิดเม็ดตะกอน ในระบบ UASB โดยเปรียบเทียบระหว่างพอลิเมอร์ธรรมชาติ คือ โคโคซาน กับพอลิเมอร์ สังเคราะห์ คือ Percol 763 ในการทดลองได้ใช้วิธี Jar Tests เพื่อให้เข้าใจถึงอิทธิพลของ pH ของตัวกลาง และยังใช้ในการหาปริมาณที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ที่ใช้เติมแต่ละชนิด จากการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงของค่า pH มีผลต่อโคโคซานอย่างมาก ค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับโคโคซานอยู่ที่ช่วง 4-6 แต่สำหรับ Percol 763 ค่า pH ส่งผลกระทบน้อยมาก ปริมาณที่เหมาะสมของโคโคซานอยู่ที่ 25 mg/g Suspended Sludge (SS) และ ของ Percol 763 อยู่ที่ 2 mg/g SS ผลของการนำพอลิเมอร์มาเติมในเครื่องปฏิกรณ์ UASB พบว่า พอลิเมอร์ ทั้งสองชนิดช่วยให้การก่อเม็ดตะกอนเร็วกว่าที่ไม่มีการเติมพอลิเมอร์ และในสภาวะที่เป็นกรดอ่อน (pH 6.7) โคโคซานมีการพัฒนาเม็ดตะกอนใหญ่กว่า Percol 763 อยู่ที่ 56 $\mu\text{m/d}$ กับ 35 $\mu\text{m/d}$ ตามลำดับ แต่โคโคซานมีการใช้งานได้ยากเพราะประสิทธิภาพจะลดลงเมื่อ ค่า pH เข้าสู่สภาวะ เป็นเบส

บทที่ 3

อุปกรณ์ และ วิธีการดำเนินงานวิจัย

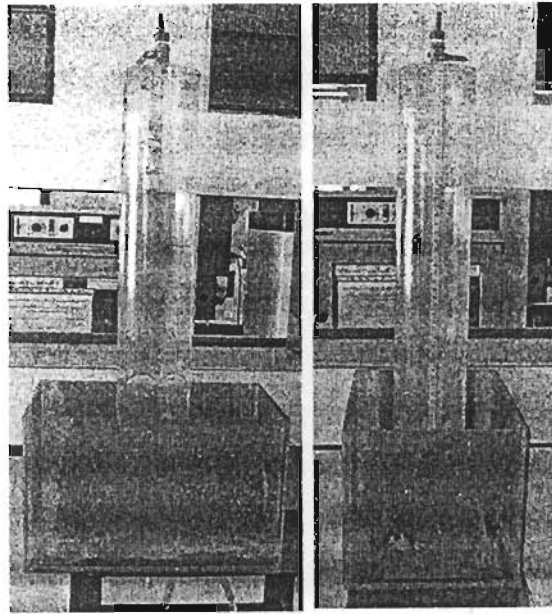
3.1 เครื่องมือ

3.1.1 ถังบำบัดน้ำเสียแบบ UASB วัสดุที่ใช้เป็นท่ออะคลีลิกใสหนา 1 cm ลักษณะของถังบำบัดเป็นถังปัดรูปทรงกระบอกสูง 1.2 m ด้านล่างมีลักษณะเป็นกรวยสูง 0.14 m และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน 0.19 m ระบบแยกสามวัฏภาคเป็นแบบที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ใช้จำนวน 2 ถัง แสดงดังภาพ 3-1

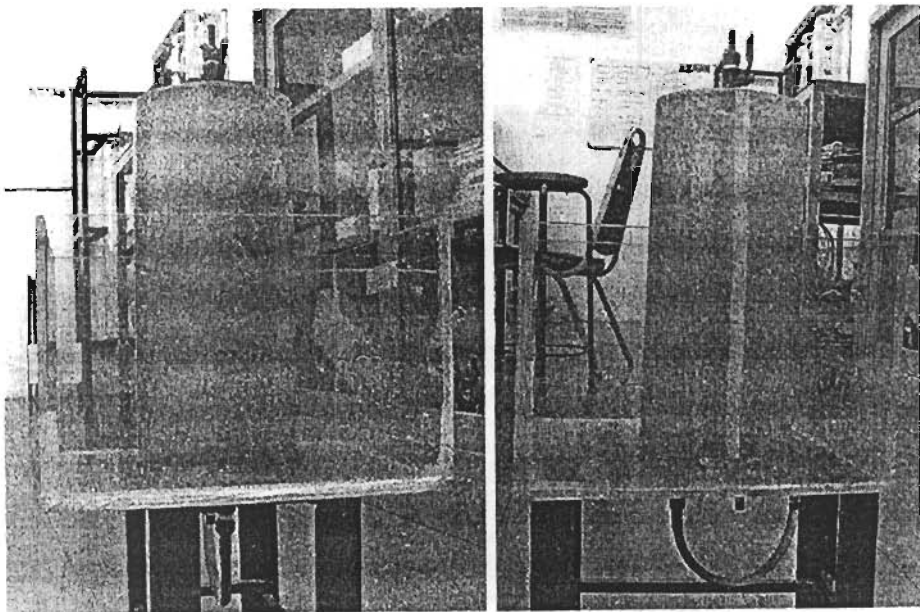


ภาพที่ 3-1 ลักษณะของถังบำบัดน้ำเสียแบบ UASB

3.1.2 อุปกรณ์วัดปริมาตรก๊าซ (Gas Meter) วัสดุที่ใช้เป็นท่อ และแผ่นอะคลีลิกใสหนา 0.5 cm มีลักษณะเป็นทรงกระบอก มีความจุปริมาตร 1.4 และ 4.85 ลิตร วัดปริมาตรก๊าซโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ แสดงดังภาพที่ 3-2 และ 3-3 ตามลำดับ



ภาพที่ 3-2 ลักษณะอุปกรณ์วัดปริมาตรก๊าซมีความจุปริมาณ 1.4 ลิตร



ภาพที่ 3-3 ลักษณะอุปกรณ์วัดปริมาตรก๊าซมีความจุปริมาณ 4.85 ลิตร

3.1.3 ปั๊มสำหรับป้อนน้ำเสีย และไคโดซาน เป็มปั๊มชนิดสายรัด (Peristaltic Pump) รุ่น 85MHP40#7 บริษัท STENNER ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.4 ถังสำหรับน้ำเสียเป็นถังพลาสติก PVC ปริมาตร 150 ลิตร จำนวน 3 ถัง

3.1.5 เครื่องวัดค่าความขุ่น (Turbidimeter) รุ่น 6035 Turbidimeter ของบริษัท Jenway Ltd. ประเทศอังกฤษ

3.1.6 เครื่องวิเคราะห์การดูดกลืนแสงของระบบลำแสงคู่ (UV-Visible Spectrophotometer) รุ่น UV-Vis 500 ของบริษัท Unicam Analtech Co.,Ltd. ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.7 เครื่องวิเคราะห์การดูดกลืนแสง (UV-Spectrophotometer) รุ่น Specord S 100 บริษัท Miltonray ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.8 เครื่องวัดค่าซีไอดีแบบดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) รุ่น DR/2010 ของบริษัท HACH ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.9 เครื่องดูดสูญญากาศ รุ่น LR 940749 ของบริษัท General Electric ประเทศอังกฤษ

3.1.10 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH-Meter) รุ่น 1120 ของบริษัท Mettler Toledo ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

3.1.11 เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) รุ่น InoLab Cond Level 2 ของบริษัท Wissenschaftlich Technische Werkstaten D-82362 Weilheim ประเทศโปรตุเกส

3.1.12 เครื่องให้ความร้อน รุ่น 45600 ของบริษัท HACH ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.13 เครื่องวัดปริมาณความชื้น (Moisture Analyzer) รุ่น LJ16 ของบริษัท Mettler Toledo ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

3.1.14 เครื่องจาร์เทสต์ (Jar Test) ของบจก. พลาสโตรเคมี ประเทศไทย

3.1.15 เครื่องเขย่า (Shaker) รุ่น SK-101 ของบริษัท หริกุล กรุ๊ป จำกัด ประเทศไทย

3.1.16 เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 3 ตำแหน่ง รุ่น PG503-S DeltaRange ของบริษัท Mettler Toledo ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

3.1.17 เครื่องชั่งหยาบทศนิยม 1 ตำแหน่ง รุ่น TR-6101 ของบริษัท Denver Instrument Company ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.18 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath) รุ่น WB22 ของบริษัท Memmert ประเทศเยอรมัน

3.1.19 ตู้อบไฟฟ้า (Hot Air Oven) รุ่น UL40 ของบริษัท Memmert ประเทศเยอรมัน

3.1.20 เครื่องทำความสะอาดอัลตราโซนิก (Ultrasonic Cleaners) รุ่น 2800HT บริษัท Crest ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.21 เตาให้ความร้อนแบบหลุม (Heating Mantle) 250 ml รุ่น TM103CE บริษัท GLAS-COL ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.22 เตาเผา (Muffle) บริษัท NABER ประเทศเยอรมัน

3.1.23 เครื่องวัดขนาดอนุภาค (Particle Size Analysis) รุ่น Master Sizer 2000 บริษัท MALVERN ประเทศอังกฤษ

3.2 อุปกรณ์

3.2.1 โถแห้ง (Desicator)

3.2.2 กระดาษกรองเมมเบรนขนาด 0.2 μm ของบริษัท Whatman ประเทศอังกฤษ

3.2.3 กระดาษกรองเมมเบรนขนาด 0.22 μm GSWP01300 ของบริษัท Millipore

3.2.4 กระดาษกรองเบอร์ 1 และ 42 ของบริษัท Whatman ประเทศอังกฤษ

3.2.5 กระดาษวัดค่า pH ของบริษัท Macherey-Nagel ประเทศเยอรมัน

3.2.6 ถ้วย crucible (Crucible)

3.2.7 คิวเวท (Cuvette) รุ่น UV510 ของบริษัท Unicam Analtech Co.,Ltd. ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2.8 นาฬิกาจับเวลา

3.2.9 ข้อนคนสาร

3.2.10 หลอดฉีดยาขนาด 25 มิลลิลิตร

3.2.11 เครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง

3.2.11.1 บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 1000, 600, 400, 250, 150, 100, 50 มิลลิลิตร

3.2.11.2 ปิเปต (Pipette) ขนาด 50, 25, 10, 5, 1 มิลลิลิตร

3.2.11.3 กระบอกตวง (Cylinder) ขนาด 500, 50 มิลลิลิตร

3.2.11.4 ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer Flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร

3.2.11.5 ขวดวัดปริมาตร (Volumetric Flask) ขนาด 1000, 500, 250, 100

มิลลิลิตร

3.2.11.6 ชุดเครื่องกลั่น (Distillation)

3.2.11.7 หลอดหยด (Dropper)

3.2.11.8 แท่งแก้วคนสาร (Sterring Rod)

3.2.11.9 คีมหนีบ (Forceps)

3.2.11.10 กระจกนาฬิกา

3.3 สารเคมี

3.3.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide) ความเข้มข้น 4% และ 50%

3.3.2 กรดอะซิติก (Acetic Acid) ความเข้มข้น 50%, 1%, 6% และ 0.06%

3.3.3 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid) ความเข้มข้น 4%

3.3.4 โซเดียมอะซิเตต (Sodium Acetate) ความเข้มข้น 1 โมลาร์

3.3.5 โซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride) ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

3.3.6 น้ำ Deionized Water (DI)

3.3.7 สารมาตรฐานที่ใช้กับเครื่องวิเคราะห์ค่าซีไอดี

3.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.4.1 วัสดุ

3.4.1.1 น้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัย

สำหรับน้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยเป็นน้ำเสีย จากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตผลไม้กระป๋อง บริษัท มาลี สามพราน จำกัด น้ำเสียประเภทนี้ประกอบไปด้วยน้ำตาล และเศษผลไม้ต่างๆ เช่น เงาะ ลิ้นจี่ สับปะรด และส้ม เป็นต้น คุณสมบัติของน้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยแสดงดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 คุณสมบัติของน้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัย

พารามิเตอร์	ช่วง
COD (mg / l)	4840 - 5820
VFA (mg / l)	703 - 1834
SS (g / l)	0.52 - 0.85
VSS (g / l)	0.40 - 0.68
Turbidity (NTU)	103 - 450
pH	6.50 - 7.20

3.4.1.2 เชื้อตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้น

ตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นได้มาจากถังบำบัดแบบไร้ออกซิเจน ของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชน ห้วยขวาง มีลักษณะเป็นของเหลว ขุ่น สีดำ และมีกลิ่นเหม็น เชื้อตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้น มีปริมาณของแข็งระเหยง่าย 28.2 g VSS/l สำหรับเชื้อตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นควรมีปริมาณ ตะกอนจุลินทรีย์อยู่ในช่วง 12-15 g VSS/l ของปริมาตรถังบำบัด [14] ดังนั้นจึงใช้ปริมาณ ตะกอนจุลินทรีย์ที่เริ่มต้นระบบปริมาณ 16 ลิตร

3.4.1.3 โคโคซานที่ใช้ในงานวิจัย

ตัวอย่างโคโคซาน ได้รับมาจากบริษัท ต้าหมิงเอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด มีระดับการกำจัด หมู่อะซิทิล (%DD) 84.3 และน้ำหนักโมเลกุล (Mw) 3.48×10^5 dalton

3.4.2 แผนการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

การเก็บตัวอย่างน้ำเสียเพื่อวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 การเก็บตัวอย่างน้ำเสียเพื่อนำมาวิเคราะห์

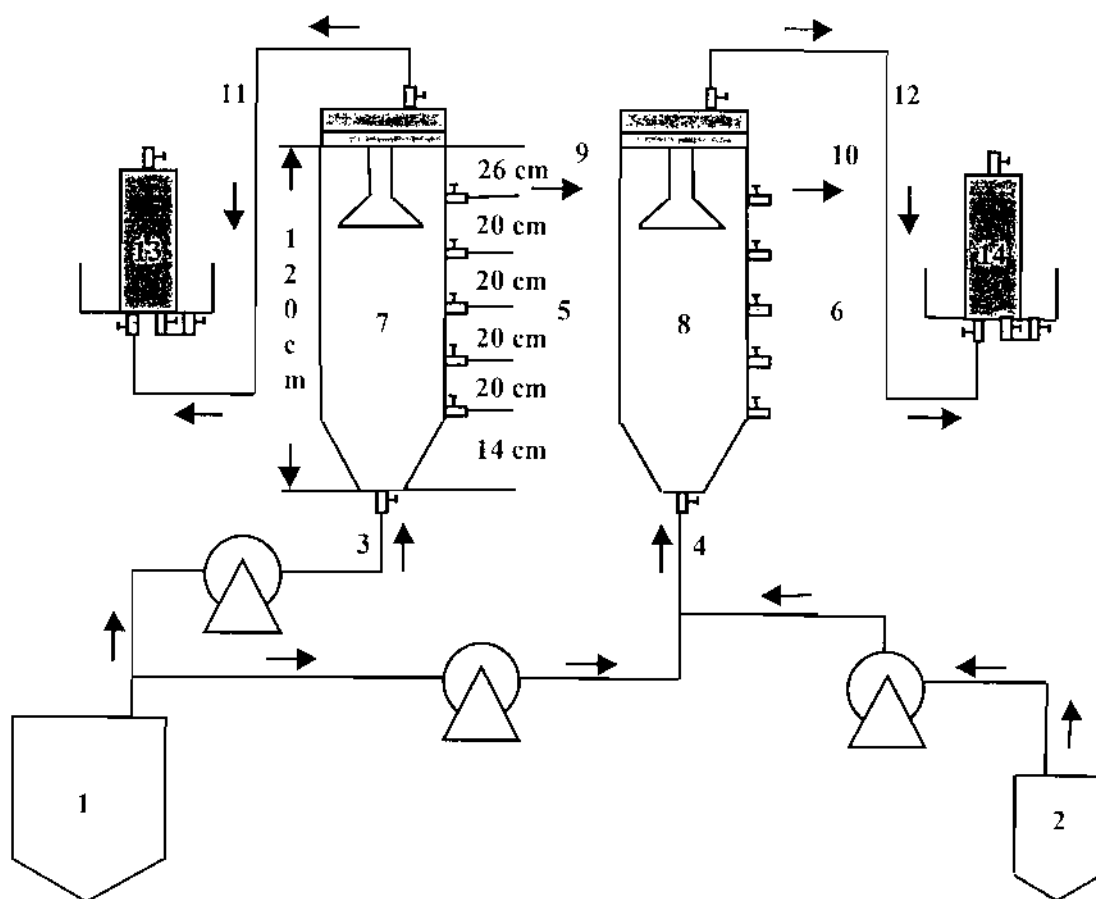
รายการ	น้ำเสียก่อนผ่านถังบำบัด	น้ำเสียหลังผ่านถังบำบัด	น้ำเสียในถังบำบัด
ที่ห้องปฏิบัติการ			
COD	ทุกสัปดาห์	ทุกสัปดาห์	-
VFA	ทุกสัปดาห์	ทุกสัปดาห์	-
Total Alkalinity	ทุกสัปดาห์	ทุกสัปดาห์	-
SS	ทุกสัปดาห์	ทุกสัปดาห์	-
VSS	ทุกสัปดาห์	ทุกสัปดาห์	-
ที่ชุดการทดลอง			
pH	ทุกวัน	ทุกวัน	-
ปริมาณก๊าซชีวภาพ	ทุกวัน	ทุกวัน	-
SRT	-	-	ทุก 30 วัน
ขนาดของเม็ดตะกอน	-	-	ทุก 30 วัน

3.4.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

3.4.3.1 การติดตั้งระบบ

โดยนำอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมาทำการติดตั้งดังภาพที่ 3-4



ภาพที่ 3-4 ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัย

ส่วนประกอบของระบบ

1. ถังเก็บน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการหมักกรด (Feed Tank)
2. ถังเก็บไคโตซาน (Chitosan Tank)
- 3,4. น้ำเสียขาเข้า (Influent)
- 5,6. วาล์วเก็บน้ำตัวอย่าง (Sampling Taps)
7. ถังบำบัดที่ไม่มีการเติมไคโตซาน (UASB without Chitosan Addition)
8. ถังบำบัดที่มีการเติมไคโตซาน (UASB with Chitosan Addition)
- 9,10. น้ำทิ้งขาออก (Effluent)
- 11,12. ก๊าซชีวภาพขาออก (Biogas)
- 13,14. อุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซชีวภาพ (Gas Meter)

3.4.3.2 ก่อนการเริ่มต้นระบบ

โดยนำเชื้อตะกอนจุลินทรีย์มาหมักไว้ในถังบำบัด พร้อมน้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยเพื่อให้จุลินทรีย์ปรับสภาพเข้าสู่สภาวะคงตัว โดยพิจารณาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในทอมซีโอดีเมื่อย่อยสลายได้ร้อยละ 70-80 จากนั้นเปลี่ยนน้ำเสียส่วนใสใหม่วันละครั้งเป็นเวลา 1 สัปดาห์ จึงนำมาใช้เป็นเชื้อตะกอนจุลินทรีย์สำหรับเริ่มต้นระบบบำบัดต่อไป

3.4.3.3 การเริ่มต้นระบบ

เมื่อเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ปรับสภาพเข้ากับน้ำเสียได้แล้ว จึงเริ่มต้นเดินระบบบำบัด โดยการป้อนน้ำเสียเข้าทางด้านล่างของถังบำบัดที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย (HRT) 85 ชั่วโมง จนค่าการกำจัดซีโอดี ($COD_{removal}$) มากกว่า 80 % เป็นเวลา 7 วัน จึงลดระยะเวลาการพักเก็บน้ำเสีย ซึ่งในถังบำบัดที่มีการเติมไคโตซาน (ถังบำบัดหมายเลข 8) มีการป้อนสารละลายไคโตซาน 1% ปริมาณ 2 mg chitosan/g sludge o.d. ในวันที่ 2 หลังจากการเริ่มต้นระบบ

3.4.3.4 การทดลองภายใต้สภาวะคงตัว

เมื่อจุลินทรีย์เริ่มปรับสภาพเข้าสู่สภาวะคงตัว จึงเริ่มป้อนน้ำเสียเข้าทางด้านล่างของถังบำบัดด้วยระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 65 45 และ 35 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 65 ชั่วโมง ซึ่งในถังบำบัดที่มีการเติมไคโตซาน (ถังบำบัดหมายเลข 8) มีการป้อนสารละลายไคโตซาน 1% ปริมาณ 2 mg chitosan/g Sludge o.d. อีกครั้ง ในวันที่ 37 หลังจากการเริ่มต้นระบบ เป็นครั้งสุดท้ายของการเติมไคโตซาน

3.5 วิธีการวิเคราะห์

3.5.1 วิธีการวิเคราะห์น้ำเสีย

การวิเคราะห์น้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัด น้ำเสียที่อยู่ภายในถังบำบัด และน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดใช้วิธีการวิเคราะห์ตาม Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater [22]

3.5.1.1 วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids, TSS)

ก) อบกระดาดกรองที่อุณหภูมิ 103-105 °C นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถทำให้แห้งแล้วชั่งหาน้ำหนัก

ข) ทำซ้ำในข้อแรกจนชั่งหาน้ำหนักกระดาดกรองได้คงที่ หรือน้ำหนักเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าร้อยละ 4 (A)

ค) กรองตัวอย่างน้ำตามปริมาณที่ต้องการ

ง) เลือกปริมาณตัวอย่างน้ำ ซึ่งให้ค่าของแข็งได้โดยปริมาณอย่างน้อยที่สุด 2.5 มิลลิกรัม (เพิ่มจากน้ำหนักกระดาดกรอง)

จ) นำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105°C นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถทำให้แห้งแล้วชั่งหาน้ำหนัก

ณ) ทำซ้ำจนชั่งหาน้ำหนักได้คงที่ หรือน้ำหนักเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าร้อยละ 4 (B)

การคำนวณ

$$\text{ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) mg l}^{-1} = \frac{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (B-A)} \times 1000}{\text{ปริมาณน้ำตัวอย่าง (ml)}} \quad (3-1)$$

3.5.1.2 วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (Volatile Suspended Solids, VSS)

ก) นำกระดาษกรองที่ได้จากการหาของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ไปเผาที่อุณหภูมิ 500±50 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถทำให้แห้งแล้วชั่งหาน้ำหนัก

ข) ทำซ้ำในข้อแรกจนน้ำหนักเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าร้อยละ 4

ค) บันทึกผลค่าของแข็งแขวนลอยคงตัว (FSS)

การคำนวณ

ค่าของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (VSS) mg l⁻¹ =

ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) - ค่าของแข็งแขวนลอยคงตัว (FSS) (3-2)

3.5.1.3 วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solids, TS)

ก) อบจานระเหยที่อุณหภูมิ 103-105 °C นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถทำให้แห้งแล้วชั่งหาน้ำหนัก

ข) ทำซ้ำในข้อแรกจนชั่งหาน้ำหนักจานระเหยได้คงที่ หรือน้ำหนักเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าร้อยละ 4 (A)

ค) เลือกปริมาณตัวอย่างน้ำตัวอย่าง ซึ่งให้ค่าของแข็งทั้งหมดได้โดยปริมาณอย่างน้อยที่สุด 2.5 มิลลิกรัม (เพิ่มจากน้ำหนักจานระเหย)

ง) นำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105°C นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถทำให้แห้งแล้วชั่งหาน้ำหนัก

จ) ทำซ้ำจนชั่งหาน้ำหนักได้คงที่ หรือน้ำหนักเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าร้อยละ 4 (B)

การคำนวณ

$$\text{ค่าของแข็งทั้งหมด (TS) mg l}^{-1} = \frac{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (B-A)} \times 1000}{\text{ปริมาณน้ำตัวอย่าง (ml)}} \quad (3-3)$$

3.5.1.4 วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งระเหยง่ายทั้งหมด (Total Volatile Solids, TVS)

ก) นำจานระเหยที่ได้จากการหา TS ไปเผาที่อุณหภูมิ 500 ± 50 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถทำให้แห้งแล้วชั่งหาน้ำหนัก

ข) ทำซ้ำในข้อแรกจนน้ำหนักเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าร้อยละ 4

ค) บันทึกผลค่าของแข็งคงตัวทั้งหมด (TFS)

การคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{ค่าของแข็งระเหยง่ายทั้งหมด (TVS) mg l}^{-1} &= \\ \text{ค่าของแข็งทั้งหมด (TS) - ค่าของแข็งคงตัวทั้งหมด (TFS)} &\quad (3-4) \end{aligned}$$

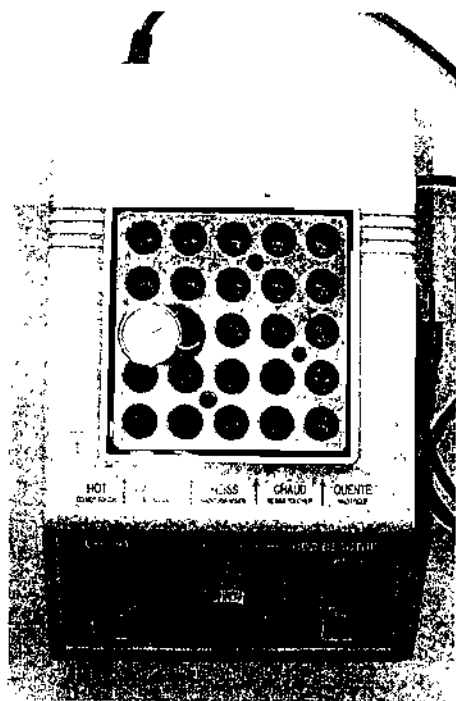
3.5.1.5 วิธีวิเคราะห์หาค่าความต้องการใช้ออกซิเจนทางเคมี (Chemical Oxygen Demand, COD) โดยใช้ COD Reactor ของบริษัท HACH

ก) นำตัวอย่างน้ำ 2 ml ใส่ในหลอดรีเอเจนต์ (ของบริษัท HACH)

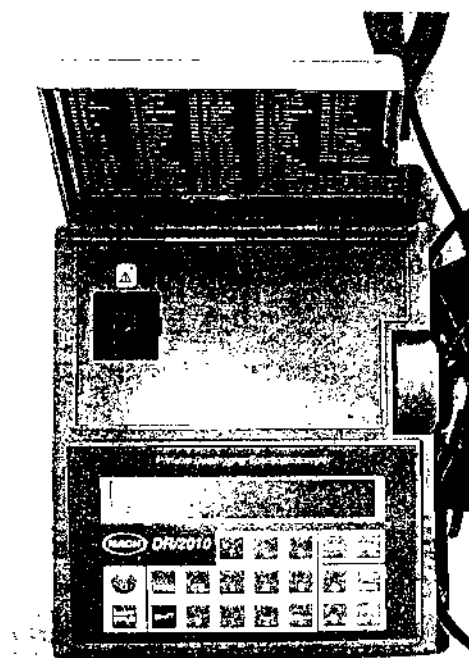
ข) ทำ Blank โดยนำน้ำกลั่น 2 ml ใส่ในหลอดรีเอเจนต์

ค) นำไปอบในเครื่องให้ความร้อนรุ่น 45600 ของบริษัท HACH ที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ง) ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้ววัดโดยใช้เครื่อง Spectrophotometer รุ่น DR/2010 ของบริษัท HACH โดยใช้โปรแกรม 435 ที่ความยาวคลื่น 620 nm



ก.



ข.

ภาพที่ 3-5 ก. ลักษณะเครื่องให้ความร้อน รุ่น 45600 ของบริษัท HACH

ข. ลักษณะเครื่อง Spectrophotometer รุ่น DR/2010 ของบริษัท HACH

3.5.1.6 วิธีการวิเคราะห์หาค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid, VFA)

ก) นำตัวอย่างน้ำ 100 ml ใส่ในขวดน้ำกลั่นขนาด 250 ml

ข) เติมน้ำกลั่น 100 ml และ กรดแอซิดิก (50% V/V) 5 ml

ผสมให้เข้ากัน

ค) นำไปกลั่นที่อัตรา 5 ml ต่อนาที เก็บส่วนที่กลั่น 25 ml มาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M l^{-1} โดยใช้ฟีนอล์ฟธาไลน์เป็นอินดิเคเตอร์ยุติเมื่อมีสีชมพูอ่อน

ง) บันทึกปริมาณของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (A)

การคำนวณ

ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) $\text{mg l}^{-1} =$

$$\frac{A \times 6,000}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำ} \times \text{รีโคเวอร์รีแฟกเตอร์ (r)}} \quad (3-5)$$

3.5.1.7 วิธีการวิเคราะห์หาค่าสภาพความเป็นด่างทั้งหมด (Total Alkalinity, T-ALK)

ก) เตรียมน้ำกลั่น 25 ml เติมโซเดียมไทโอซัลเฟต 1 หยด เพื่อทำเป็นสารมาตรฐานไวท์เบลี

ข) นำตัวอย่างน้ำเสีย 25 ml เติมโซเดียมไทโอซัลเฟต 1 หยด

ค) ใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ ถ้าหยดฟีนอล์ฟทาลีนแล้วตัวอย่างน้ำเสีย และสารมาตรฐานไม่เปลี่ยนเป็นสีชมพู ให้เติมเมทิลออเรนจ์ลงไป 5 หยด

ง) ทำการไทเทรตด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.01 mol l^{-1} ยุติเมื่อเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีส้ม (เทียบกับสารมาตรฐาน)

การคำนวณ

$$\text{ค่าสภาพความเป็นด่างทั้งหมด (T-ALK) mg l}^{-1} = \frac{\text{ปริมาณของกรดซัลฟิวริกที่ใช้ (ml)} \times 1,000}{\text{ปริมาณตัวอย่างน้ำเสีย (ml)}} \quad (3-6)$$

3.5.1.8 วิธีการวิเคราะห์หาขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (Particle Size) โดยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค Mastersizer 2000 V. 5.1

ก) เลือก Cell ที่เหมาะกับปริมาณตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ โดย Hydro 2000S เหมาะกับตัวอย่างที่มีปริมาณน้อย และ Hydro 2000G เหมาะกับตัวอย่างที่มีปริมาณมาก

ข) ต่อ Cell เข้ากับระบบป้อนสารตัวอย่าง

ค) เปิดเครื่องระบบป้อนสารตัวอย่าง

ง) เปิดเครื่อง Optical Unit

จ) เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และเข้าสู่ระบบ Software

ฉ) ตั้งค่า Software โดยเข้าไปที่ File แล้วไปที่ New ทำการตั้งชื่อ เลือก Measure แล้วไปที่ Manual เมื่อเลือกแล้วหน้าจอ Measurement Display จะปรากฏขึ้นมา

ช) กดปุ่ม Option แล้วหน้าจอ Measure Option Dialogue จะปรากฏขึ้นมา เลือก Material Tab เป็นการระบุตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ เลือก Default จาก Sample Material Name และเลือก Dispersant Name โดยระบุสารที่ตัวอย่างกระจายตัวอยู่

๓) เปิดหน้าจอ Result Calculation กดปุ่ม Model เลือก General Purpose เนื่องจากตะกอนจุลินทรีย์มีขนาดของอนุภาคกระจายตัวมากและกดปุ่ม Advance เลือก Result Range $0.02 - 2,000 \mu\text{m}$

ฅ) ไปที่หน้าจอ Measure Option Dialogue กดปุ่ม Measurement Tab เลือก Measurement Time ตั้งค่า Sample Measurement Time 10 วินาที และตั้งค่า Background Measurement Time 10 วินาที

ฉ) กลับไปที่หน้าจอ Measure Option Dialogue กดปุ่ม Measurement Tab เลือก Advance Option กดปุ่ม Measurement ตั้งช่วงของ Obscuration Bar โดยเลือก Default (10-20%)

ค) กลับไปที่หน้าจอ Measurement Display ตั้งชื่อตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ โดยกดปุ่ม Document เลือก Sample Name แล้วตั้งชื่อตัวอย่าง

ฌ) ทำการวัดค่า Background โดยกดปุ่ม Accessory เลือก Fill ใส่ Dispersant ลงในช่องป้อนสารตัวอย่าง จากนั้นตั้งค่าปั๊มที่ 1000 แล้วจึงกดปุ่ม Start

ง) เมื่อระบบวัดค่า Background เสร็จ แล้วจึงเริ่มป้อนตัวอย่าง Obscuration Bar เป็นตัวกำหนดว่าถูกเติมลงไปเท่าไร ถ้า Obscuration Bar อยู่ในช่วงสีเขียว แสดงว่าตัวอย่างอยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ แต่ถ้าอยู่ในช่วงสีแดงแสดงว่าตัวอย่างอยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสมในการวิเคราะห์ เมื่อ Obscuration Bar อยู่ในช่วงสีเขียวแล้วจึงกดปุ่ม Start เพื่อเริ่มการวิเคราะห์ขนาดอนุภาค

จ) เมื่อระบบทำการวิเคราะห์เสร็จ 3 ครั้ง จึงได้ค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาค ตัวอย่าง

ฉ) ทำการล้าง Cell โดยกดปุ่ม Accessory เลือก Empty เพื่อทำการนำสารตัวอย่าง และสาร Dispersant ออกจากระบบ จากนั้นกดปุ่ม Fill แล้วเติมน้ำกลั่นตั้งค่าปั๊ม 1000 เพื่อล้าง Cell เมื่อล้างเสร็จแล้ว กดปุ่ม Empty เพื่อนำน้ำกลั่นออกจากระบบ

ณ) เมื่อต้องการวิเคราะห์ตัวอย่างใหม่ให้เริ่มต้นที่ข้อ 3.6.1.6.11

3.5.2 วิธีการคำนวณเวลาการกักเก็บตะกอนจุลินทรีย์ (Sludge Retention Time, SRT)

$$\text{เวลาการกักเก็บตะกอนจุลินทรีย์ (SRT)} = \frac{VX}{(Q-Q_w)X_e - Q_wX_r} \quad (3-7)$$

V = ปริมาณถังบำบัด (m^3)

X = ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในถังบำบัด ($\text{g VSS}/\text{m}^3$)

Q = อัตราการไหลของน้ำเสียขาเข้า (m^3/d)

Q_w = อัตราการไหลของตะกอนจุลินทรีย์ที่ออกจากระบบบำบัด (m^3/d)

X_e = ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในน้ำเสียขาออก ($\text{g VSS}/\text{m}^3$)

X_r = ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในน้ำเสียที่กลับเข้าสู่ถังบำบัด ($\text{g VSS}/\text{m}^3$)

3.5.3 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

คำนวณค่าเฉลี่ย และค่าความผิดพลาดมาตรฐานวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล โดยใช้ ANOVA โปรแกรม SPSS คำนัยสำคัญทางสถิติอยู่ที่ระดับน้อยกว่า 0.05 กล่าวคือ ถ้าค่า $P > 0.05$ ค่าที่ได้จะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ถ้าค่าที่ได้มีค่า $P < 0.05$ จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

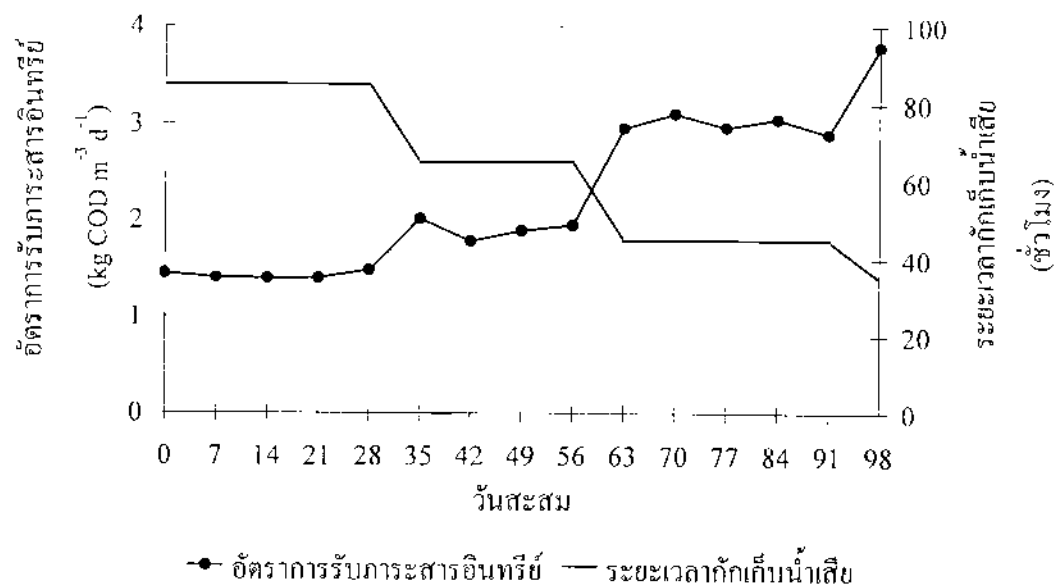
บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ผลการเดินระบบและประสิทธิภาพของระบบ

4.1.1 ระยะการกักเก็บน้ำเสีย (Hydraulic Retention Time, HRT)

ระยะเวลากักเก็บน้ำเสียแปรผกผันกับอัตราการรับภาระสารอินทรีย์ และอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าระบบ จากการทดลองระยะเวลากักเก็บน้ำเสียถูกลดเมื่อน้ำเสียขาออกของถังบำบัด UASB ทั้งสองถังมีเปอร์เซ็นต์ (% COD_{removal}) คงที่ หรือ มากกว่า 80 % เป็นเวลา 7 วัน โดยมีค่าอัตรารับภาระสารอินทรีย์เฉลี่ยที่ 1.43 1.91 2.99 และ 3.79 kg COD m⁻³ d⁻¹ ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 85 65 45 และ 35 ชั่วโมง ตามลำดับ

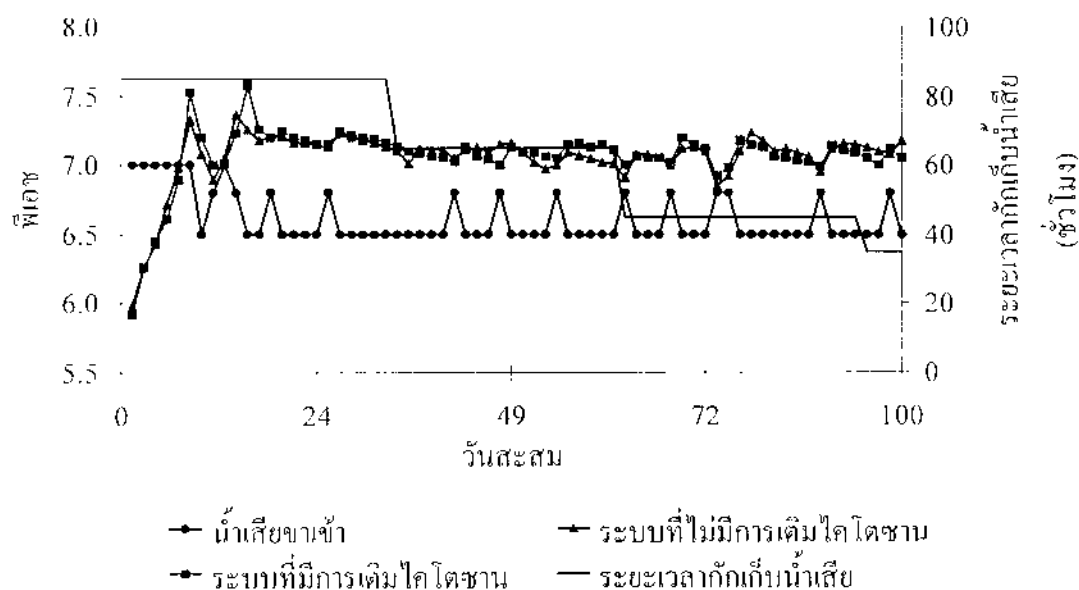


ภาพที่ 4-1 อัตราการรับภาระสารอินทรีย์และระยะเวลากักเก็บน้ำเสียเทียบกับเวลา

ภาพที่ 4-1 แสดงให้เห็นว่าอัตราการรับภาระสารอินทรีย์มีค่าไม่คงที่ แม้ว่าเป็นระยะเวลากักเก็บน้ำเสียเดียวกัน เนื่องจากการทดลองใช้น้ำเสียจากกระบวนการผลิตโดยตรงซึ่งมีค่าซีโอดีที่ไม่คงที่ โดยขึ้นอยู่กับวัตถุดิบในกระบวนการผลิตในแต่ละวัน ในงานวิจัยนี้ไม่มีการปรับค่าซีโอดีเพื่อที่การเดินระบบบำบัด UASB อยู่ในสภาวะใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด แต่มีการปรับเฉพาะค่าพีเอชของน้ำเสียขาเข้าระบบบำบัดเท่านั้น

4.1.2 ความแปรปรวน (พีเอช, pH)

น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการหมักกรดแล้วจะมีค่าพีเอชระหว่าง 3-5 น้ำเสียก่อนเข้าถังบำบัด UASB ทั้งสองถังถูกปรับพีเอชให้สูงขึ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 10 % W/V เพื่อให้ค่าพีเอชของน้ำเสียเข้าเหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน ซึ่งจากทฤษฎี ค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์กลุ่มนี้ต้องอยู่ในช่วง 6.5-7.5



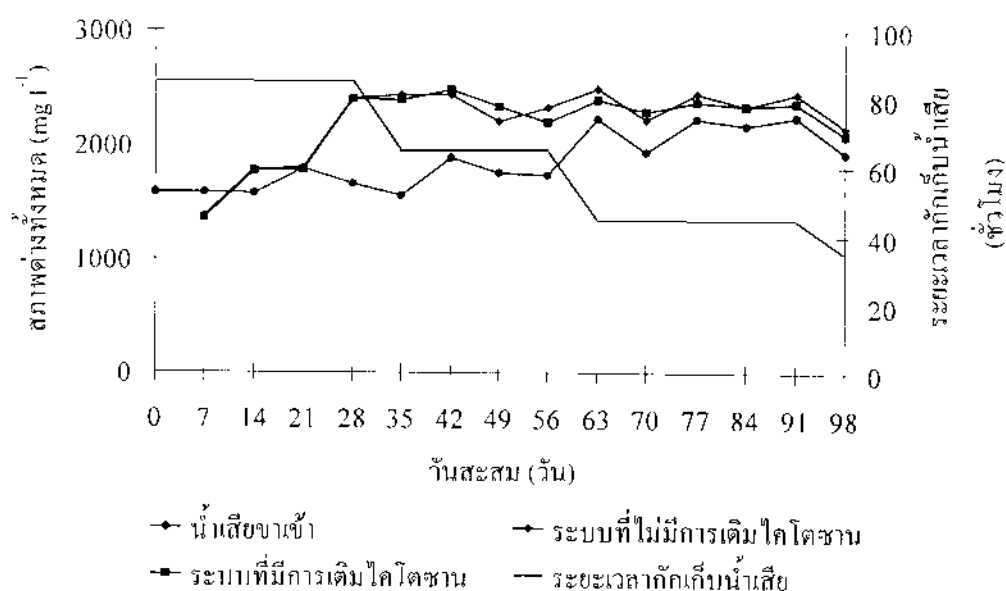
ภาพที่ 4-2 พีเอชเทียบกับเวลา

ภาพที่ 4-2 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช ของน้ำเสียขาเข้าและขาออกจากถังบำบัด UASB ในระยะแรกของการทดลอง (วันที่ 0-20) ประสบปัญหาในการควบคุมค่าพีเอชเนื่องจากมีวันหยุดติดต่อกันหลายวัน จึงไม่สามารถควบคุมค่าพีเอชน้ำเสียขาเข้าได้ ส่งผลให้ค่าพีเอชน้ำเสียออกจากถังบำบัด UASB ที่มีการเติมโคโดซานในวันที่ 8 และ 16 มีค่าเพิ่มขึ้นสูงกว่า 7.5 เล็กน้อย ซึ่งจากการเพิ่มขึ้นของค่าพีเอชนี้พบว่า อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพมีค่าลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อควบคุมค่าพีเอชขาเข้าได้แล้ว ทำให้ระบบบำบัดเริ่มปรับตัวเข้าสู่สภาพปกติได้อย่างรวดเร็ว ด้วยเหตุนี้หลังจากวันที่ 20 เป็นต้นไปจึงควบคุมค่าพีเอชให้อยู่ในช่วง 7.2-7.5 เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการทำงานที่ดีที่สุดตามที่ได้กล่าวมาแล้ว

4.1.3 สภาพความเป็นด่างทั้งหมด (Total Alkalinity, T-ALK)

เมื่อระบบบำบัดมีสภาพความเป็นด่างทั้งหมดสูง แสดงว่าระบบบำบัดสามารถรักษาความเป็นด่างไว้ได้สูง ซึ่งทำให้เกิดสภาพบัฟเฟอร์ขึ้นภายในถังบำบัด ระบบบำบัดจึงสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของกรดได้โดยไม่ส่งผลต่อค่าพีเอชภายในถังบำบัด ค่าสภาพความเป็น

ค่าที่เหมาะสม อยู่ที่ช่วง $1,000-3,000 \text{ mg l}^{-1}$ as CaCO_3 และในระบบที่มีสมดุลสภาพความเป็นด่างต้องเพิ่มตามอัตราการรับภาระสารอินทรีย์

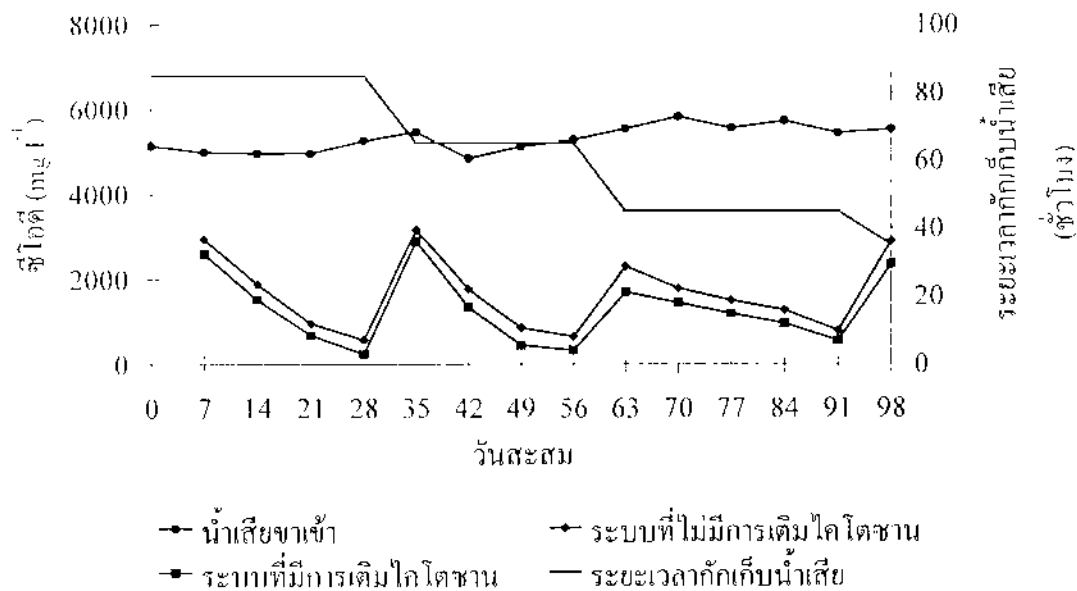


ภาพที่ 4-3 สภาพความเป็นด่างทั้งหมดเทียบกับเวลา

ภาพที่ 4-3 แสดงสภาพความเป็นด่างทั้งหมดของน้ำเสียขาเข้าและขาออกของระบบบำบัด UASB ทั้งสองแบบ น้ำเสียขาเข้ามีค่าสภาพความเป็นด่างทั้งหมดอยู่ในช่วง $1562-2240 \text{ mg l}^{-1}$ ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดสภาพบัฟเฟอร์ ซึ่งพบว่าน้ำเสียขาออกของระบบบำบัดที่ไม่มีการเติมโคโดซานอยู่ในช่วง $1380-2488 \text{ mg l}^{-1}$ และน้ำเสียขาออกของระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการเติมโคโดซานอยู่ในช่วง $1362-2484 \text{ mg l}^{-1}$ ซึ่งสภาพความเป็นด่างของระบบที่ไม่มีการเติมโคโดซานและระบบที่มีการเติมโคโดซานอยู่ในช่วงที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดสภาพบัฟเฟอร์ขึ้นภายในถังบำบัด UASB ทั้งสองถัง

4.1.4 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (% $\text{COD}_{\text{removal}}$)

การลดลงของค่าซีโอดีแสดงถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัด UASB งานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บน้ำเสียตัวอย่าง และวิเคราะห์เฉพาะค่าซีโอดีทั้งหมดของน้ำเสียขาเข้าและขาออกของทั้งสองถังบำบัดเท่านั้น ผลการวิเคราะห์ค่าซีโอดีและเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าซีโอดีตลอดการทดลองแสดงไว้ในภาพที่ 4-3 และ 4-4 ตามลำดับ

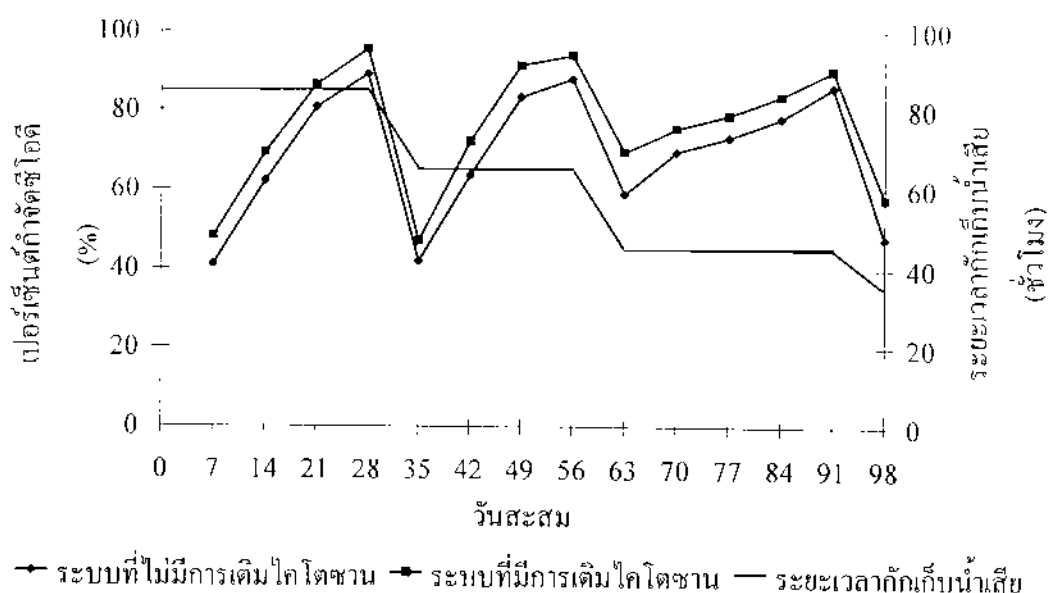


ภาพที่ 4-4 ค่าซีโอดีเทียบกับเวลา

ภาพที่ 4-4 แสดงค่าซีโอดีทั้งหมดตลอดงานวิจัยค่าซีโอดีของน้ำเสียขาเข้ามีค่าไม่คงที่ ค่าซีโอดีเฉลี่ยตลอดการทดลองมีค่าเท่ากับ $5,305 \text{ mg l}^{-1}$ ตลอดการทดลองพบว่าถังบำบัด UASB ทั้งสองถังมีการกำจัดค่าซีโอดีได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในถังบำบัดที่มีการเติมโคโคซานพบว่า ค่าซีโอดีของน้ำเสียขาออกมีค่าน้อยกว่าถังบำบัดที่ไม่มีการเติมโคโคซาน 12-49 %

ภาพที่ 4-5 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดค่าซีโอดีในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ ตลอดการทดลองได้ทำการลดระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย เมื่อเปอร์เซ็นต์การกำจัดค่าซีโอดีคงที่หรือมีค่ามากกว่า 85 % ถังบำบัด UASB ทั้งสองถังมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดค่าซีโอดีเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง แต่เมื่อมีการลดระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียเปอร์เซ็นต์การกำจัดค่าซีโอดีจะลดลง และเพิ่มขึ้นเมื่อระบบบำบัดสามารถปรับตัวให้เข้ากับระยะการกักเก็บน้ำเสียที่ลดลง

ในช่วงที่มีการลดระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียเปอร์เซ็นต์ การกำจัดค่าซีโอดีของถังบำบัด UASB ที่มีการเติมโคโคซานมีค่าลดลงน้อยกว่า แสดงว่าระบบที่มีการเติมโคโคซาน มีการปรับตัวกับสภาวะใหม่ได้ดีกว่าและเร็วกว่าถังบำบัด UASB ที่ไม่มีการเติมโคโคซาน และมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่ดีกว่า 5-10 %

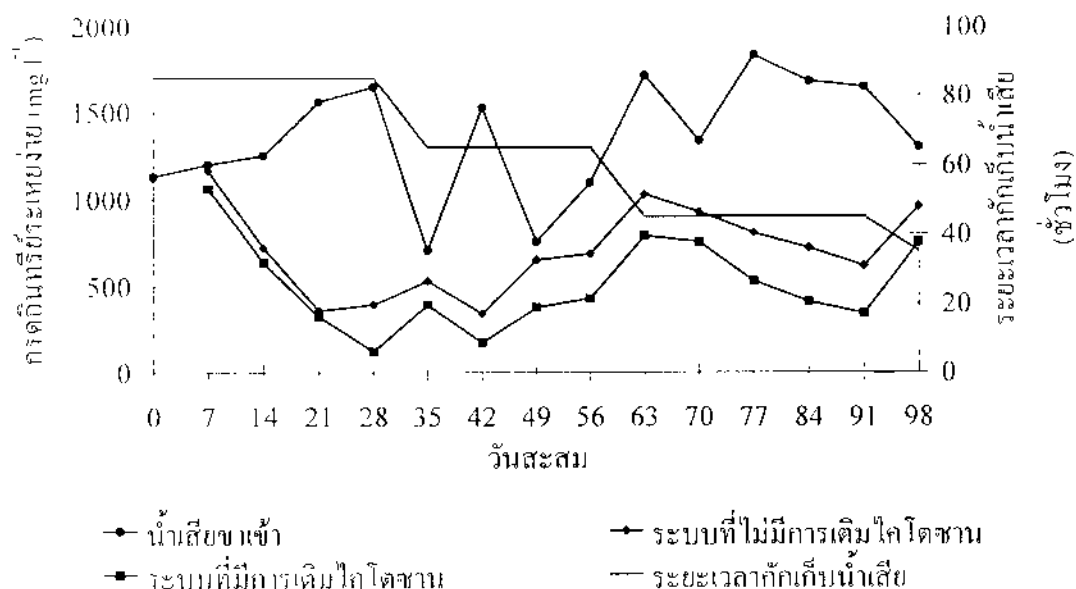


ภาพที่ 4-5 เปรียบเทียบการกำจัดค่าซีโอดีเทียบกับเวลา

4.1.5 กรดอินทรีย์ระเหยง่าย

กรดอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นสารที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ ที่มีขนาดเล็กโดย จุลินทรีย์ชนิดสารกรด (Acid Former) ซึ่งกรดอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นสารอาหารที่จำเป็นสำหรับ จุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน (Methane Former) ถ้าระบบมีปริมาณสารอินทรีย์มากและจุลินทรีย์ กลุ่มสร้างมีเทนมีประสิทธิภาพและความว่องไวพอ ระบบก็สามารถผลิตก๊าซชีวภาพในปริมาณ สูงได้ แต่ขึ้นอยู่กับระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย อัตราการรับภาระสารอินทรีย์และการชะล้าง ตะกอนจุลินทรีย์ออกจากระบบด้วย

ภาพที่ 4-6 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายของน้ำเสียขาเข้าและขาออก ของถังบำบัดทั้งสองถัง ตลอดจนการทดลองน้ำเสียขาเข้าระบบบำบัดที่ผ่านการหมักกรด แล้วมีปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายเฉลี่ย 1359 mg l^{-1} ซึ่งมีปริมาณเพียงพอสำหรับใช้เป็น อาหารสำหรับจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนในถังบำบัด ส่วนค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายเฉลี่ยของน้ำเสีย ขาออกของถังบำบัดที่ไม่มีกรดโคโคซาน และระบบบำบัดที่มีการเติมโคโคซานมีค่า 708 mg l^{-1} และ 507 mg l^{-1} ตามลำดับ จากการทดลองเมื่อระยะเวลาผ่านไปการลดลงที่เพิ่มขึ้นของ กรดอินทรีย์ระเหยง่ายของทั้งสองถังบำบัด สอดคล้องกับอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการดอินทรีย์ระเหยง่าย ถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพโดยจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทน ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว



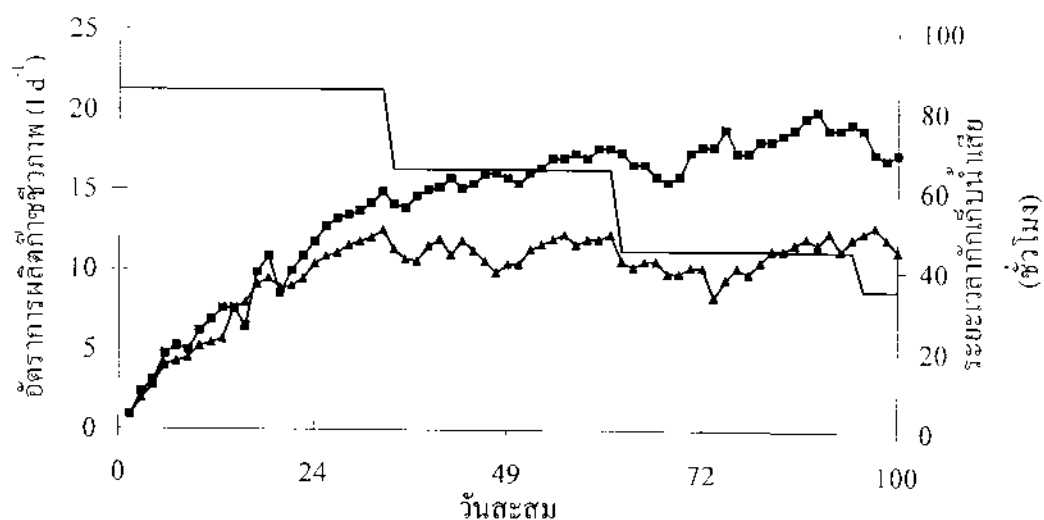
ภาพที่ 4-6 ค่าการดอินทรีย์ระเหยง่ายเทียบกับเวลา

4.1.6 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas Production)

ในระบบบำบัดที่มีจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนที่มีประสิทธิภาพ และมีปริมาณเพียงพอ จึงสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยเฉพาะกรดอินทรีย์ระเหยง่ายให้เป็นก๊าซชีวภาพ อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของถังบำบัดทั้งสองถังมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน

ภาพที่ 4-7 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเทียบกับเวลา พบว่าในช่วงวันที่ 1-20 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของทั้งสองถังมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ในวันที่ 8 และ 16 ระบบบำบัดที่มีการเติมโคโคซานมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพลดลงเนื่องจากพีเอชของน้ำเสียขาออกมีค่ามากกว่า 7.5 ซึ่งเป็นค่าที่ไม่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างมีเทนที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น แต่เมื่อควบคุมพีเอชของน้ำเสียขาออกให้อยู่ในช่วง 7.2-7.5 ได้แล้วอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพก็เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถปรับตัวได้ดีและรวดเร็ว เพราะฉะนั้นเมื่อค่าพีเอชของน้ำเสียขาออกสูงกว่าค่าที่เหมาะสมจึงส่งผลต่อระบบในช่วงสั้นๆ เท่านั้นและเมื่อมีการควบคุมพีเอชของน้ำเสียขาออกให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม แล้วระบบบำบัดก็จะกลับมาทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเช่นเดิม

ตลอดการทดลองพบว่า ระบบบำบัดที่ไม่มีการเติมโคโคซานมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพน้อยกว่าระบบบำบัดที่มีการเติมโคโคซาน 21-53 %



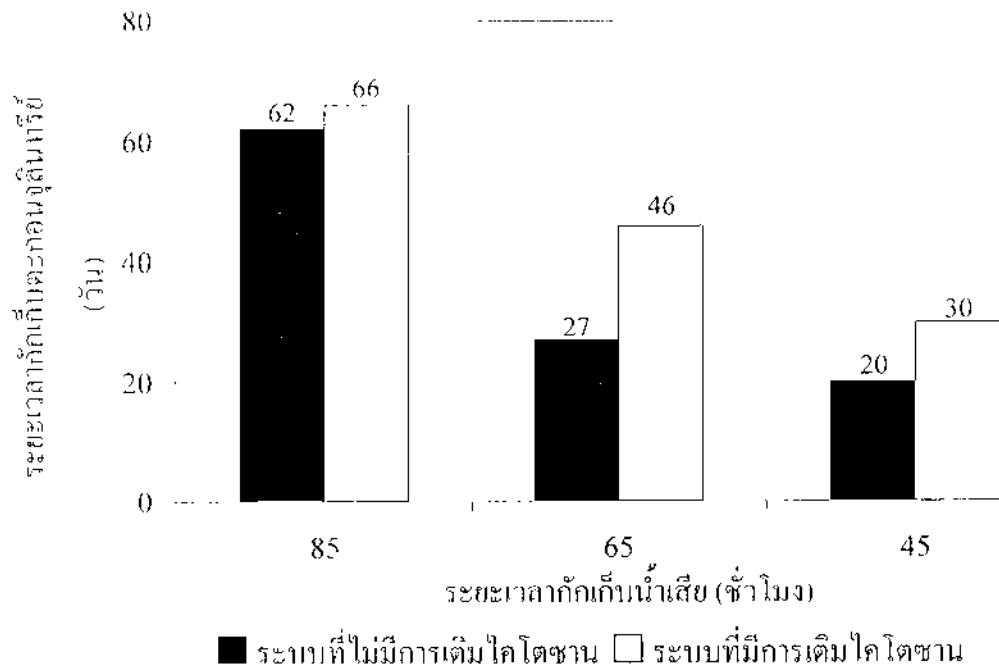
▲ ระบบที่ไม่มีการเติมโคลิโดซาน ■ ระบบที่มีการเติมโคลิโดซาน — ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย

ภาพที่ 4-7 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเทียบกับเวลา

4.1.7 ระยะเวลาการกักเก็บตะกอนจุลินทรีย์ (Sludge Retention Time, SRT)

ระยะเวลาการกักเก็บตะกอนจุลินทรีย์เป็นพารามิเตอร์ตัวหนึ่ง ที่บ่งบอกว่าระบบมีความสามารถรักษาตะกอนจุลินทรีย์ไว้ในระบบได้ดีเพียงใด ระยะเวลาการกักเก็บตะกอนจุลินทรีย์แปรผันตรงกันข้ามกับอัตราการไหลและอัตราการรับภาระสารอินทรีย์ คือ ระบบที่มีอัตราการไหลต่ำทำให้มีระยะเวลาการกักเก็บตะกอนจุลินทรีย์ที่ยาวนาน และเมื่อระบบมีอัตราการไหลสูงขึ้นระยะเวลาการกักเก็บตะกอนจุลินทรีย์ก็ลดลงด้วย แต่ระยะเวลาการกักเก็บตะกอนจุลินทรีย์บ่งบอกถึงปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ภายในระบบ การที่ระบบมีระยะเวลาการกักเก็บตะกอนจุลินทรีย์ที่ยาวนาน แสดงว่ามีปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ภายในระบบสูง หรือมีการสูญเสียตะกอนจุลินทรีย์ออกจากระบบต่ำ ซึ่งเมื่อมีปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในระบบสูง ประสิทธิภาพของระบบบำบัดก็สูงตามไปด้วย เนื่องจากระบบบำบัด UASB อาศัยหลักการบำบัดน้ำเสียโดยให้จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

ภาพที่ 4-8 แสดงระยะเวลาการกักเก็บตะกอนจุลินทรีย์ ของถังบำบัดทั้งสองถึง ตลอดการทดลองระยะเวลาการกักเก็บตะกอนจุลินทรีย์ ของทั้งสองถังมีค่าลดลงเมื่อลดระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย ซึ่งในระบบบำบัดที่มีการเติมโคลิโดซานมีระยะเวลาการกักเก็บตะกอนจุลินทรีย์ยาวนานกว่าระบบบำบัดที่ไม่มีการเติมโคลิโดซาน 6-41 % แสดงว่าการเติมโคลิโดซานสามารถรักษาตะกอนจุลินทรีย์ให้อยู่ในถังบำบัดได้นานกว่าระบบบำบัดที่ไม่มีการเติมโคลิโดซาน

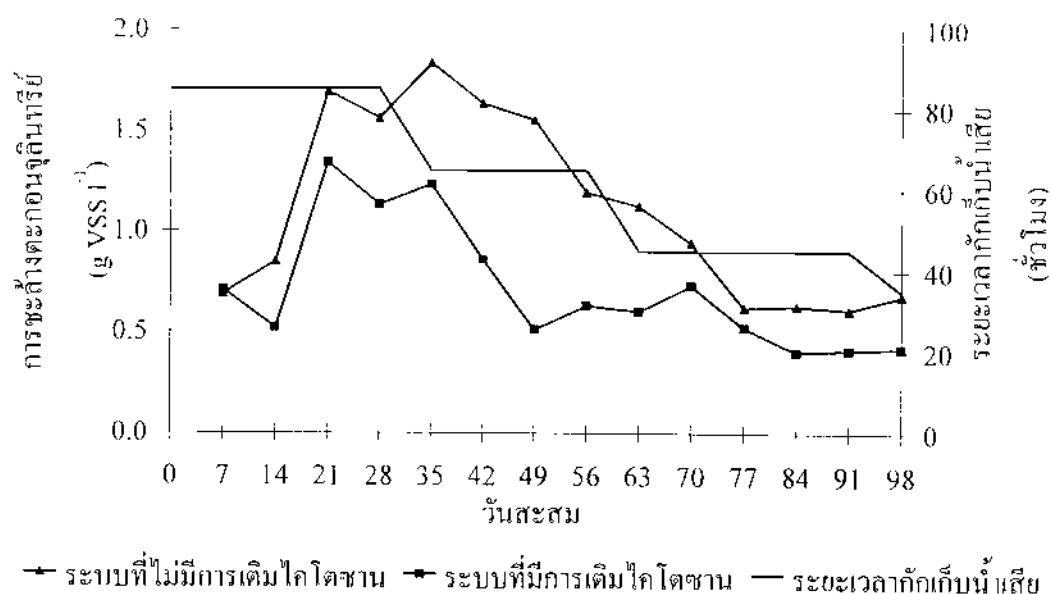


ภาพที่ 4-8 ระยะเวลาที่ระบบน้ำเสียก่อนจูลินทรีย์เทียบกับเวลา

4.1.8 ตะกอนจูลินทรีย์ที่ถูกชะล้างออกนอกระบบ

ปริมาณตะกอนจูลินทรีย์ที่ถูกชะล้างออกนอกระบบบำบัด เป็นพารามิเตอร์ที่บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของระบบที่มีการเติมโคโคซานว่า มีความสามารถในการลดการสูญเสียตะกอนจูลินทรีย์ออกนอกระบบบำบัดได้เป็นอย่างดี

ภาพที่ 4-9 แสดงปริมาณตะกอนจูลินทรีย์ที่ถูกชะล้าง ออกนอกระบบของถังบำบัดทั้งสองถังที่ระยะเวลาที่เก็บน้ำคั่งที่ ปริมาณตะกอนจูลินทรีย์ที่ถูกชะล้างออกนอกระบบมีแนวโน้มลดลงแต่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการลดระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย จากการทดลอง 7 วันแรก ถังบำบัด UASB ที่ไม่มีการเติมโคโคซานมีอัตราการชะล้างตะกอนจูลินทรีย์ ออกนอกระบบใกล้เคียงกับระบบบำบัด UASB ที่มีการเติมโคโคซานทั้งที่มีการเติมโคโคซานตั้งแต่วันที่ 2 ของการทดลอง ทั้งนี้เนื่องจากในขั้นตอนการเลี้ยงเชื้อตะกอนจูลินทรีย์ สำหรับเริ่มต้นเดินระบบมีตะกอนจูลินทรีย์บางส่วนค้างอยู่ที่ส่วนของระบบแยกสามวัฏภาคของถังบำบัดทั้งสองถังทำให้ในช่วง 7 วันแรกนี้ ถังบำบัดทั้งสองถังมีอัตราการชะล้างตะกอนจูลินทรีย์ที่ใกล้เคียงกัน แต่หลังจากวันที่ 7 จนถึงสิ้นสุดการทดลองระบบบำบัดที่ไม่มีการเติมโคโคซาน มีอัตราการชะล้างตะกอนจูลินทรีย์ออกนอกระบบมากกว่าระบบบำบัดที่มีการเติมโคโคซาน



ภาพที่ 4-9 อัตราการชะล้างตะกอนจุลินทรีย์ออกนอกระบบบำบัดเทียบกับเวลา

ช่วงที่มีการลดระยะเวลาเก็บน้ำเสียถึงบำบัด ทั้งสองถังมีตะกอนจุลินทรีย์ที่ถูกชะล้างออกนอกระบบเพิ่มมากขึ้นและลดลงเมื่อระบบเริ่มปรับตัวได้กับสภาวะใหม่ ในช่วงที่มีการลดระยะเวลาการเก็บน้ำเสียนี้ ระบบบำบัดที่มีการเติมไอโดซานมีตะกอนจุลินทรีย์ที่ถูกชะล้างออกนอกระบบบำบัดน้อยกว่าระบบบำบัดที่ไม่มีการเติมไอโดซาน แสดงว่าระบบบำบัดที่มีการเติมไอโดซานมีความสามารถในการปรับตัวกับสภาวะใหม่ได้ดีและเร็วกว่าระบบบำบัดที่ไม่มีการเติมไอโดซาน และแสดงถึงประสิทธิภาพการทำงานที่ดีกว่าด้วยเช่นกัน ในช่วงระยะแรก (ระยะเวลาเก็บน้ำเสีย 85 และ 65 ชั่วโมง) ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่ถูกชะล้างออกนอกระบบบำบัดโดยเฉลี่ยมีปริมาณสูง ในช่วงนี้การชะล้างตะกอนจุลินทรีย์ออกนอกระบบบำบัดเป็นแบบที่เกิดจากการสึกกร่อนของผิวหน้าตะกอนชั้นล่าง (Erosion Washout) จากการกระจายตัวของตะกอนจุลินทรีย์จากผิวหน้าของชั้นตะกอนด้านล่าง ขึ้นสู่ด้านบนของถังบำบัดเนื่องจากความเร็วของกระแส น้ำ ทำให้เกิดการคัดเลือกตัวของตะกอนจุลินทรีย์เหลือเพียงแต่ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการตกตะกอนสูง และเกิดการเจริญเติบโตจนกระทั่งมีลักษณะเป็นเม็ดในที่สุด ในช่วงระยะต่อมา (ระยะเวลาเก็บน้ำเสีย 45 และ 35 ชั่วโมง) ปริมาณตะกอนที่ถูกชะล้างออกจากระบบบำบัดขึ้นอยู่กับอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ดังนั้นเมื่อมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่สูงและติดต่อกัน ส่งผลให้อัตราการชะล้างตะกอนจุลินทรีย์สูงตามด้วย และพบว่าความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในน้ำเสียขาออก ของระบบบำบัดเพิ่มสูงขึ้นสัมพันธ์กับอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่สูงขึ้น โดยการชะล้างตะกอนจุลินทรีย์ในช่วงนี้เกิดจากการขยายตัวของตะกอนชั้นล่าง (Expanded Washout) เนื่องจากก๊าซชีวภาพ

ตลอดการทดลอง ระบบบำบัด UASB ที่ไม่มีการเติมไอโดซานมีอัตราการชะล้างจุลินทรีย์ออกนอกระบบอยู่ในช่วง $0.61-1.83 \text{ g l}^{-1}$ เฉลี่ย 1.22 g l^{-1} และระบบบำบัด UASB ที่มีการเติม

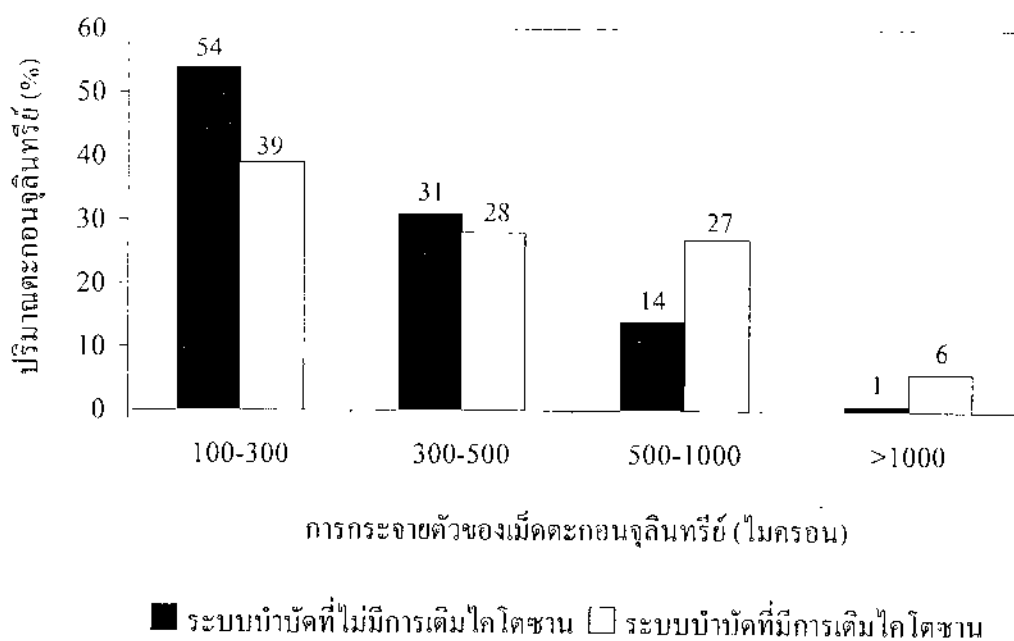
โคโคซานมีอัตราการชะล้างตะกอนจุลินทรีย์ออกนอกระบบอยู่ในช่วง $0.40-1.34 \text{ g l}^{-1}$ เฉลี่ย 0.87 g l^{-1} ระบบบำบัด UASB ที่มีการเติมโคโคซานมีอัตราการชะล้างตะกอนจุลินทรีย์ออกนอกระบบน้อยกว่าระบบบำบัด UASB ที่ไม่มีการเติมโคโคซานถึง 21-67 % แสดงว่าการเติมโคโคซานในระบบบำบัด UASB สามารถป้องกันการชะล้างตะกอนจุลินทรีย์ออกนอกระบบบำบัดได้

4.2 ตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ด (Granule)

แหล่งที่มาของเชื้อตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้น คือ ตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานบำบัดน้ำเสียชุมชนห้วยขวางซึ่งมีลักษณะเป็นของเหลวละเอียดสีดำไม่เป็นเม็ด จึงสรุปได้ว่าตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นไม่มีตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ดอยู่ ดังนั้นหากตรวจพบตะกอนจุลินทรีย์ที่มีลักษณะเป็นเม็ดแสดงว่าเป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นใหม่ในระบบบำบัด UASB การตรวจสอบหาขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ทำโดยใช้เครื่องวัดขนาดอนุภาค (Mastersizer) รุ่น APA 2000 ซึ่งเครื่องมีความสามารถวิเคราะห์ขนาดอนุภาคได้ในช่วง 0-3000 ไมครอน โดยตลอดการทดลองทำการสุ่มเก็บตัวอย่างที่จุดเก็บตัวอย่างระดับล่างสุด ของถังบำบัดทั้งสองถังทุกครั้ง โดยทำการเก็บตัวอย่างทุก 30 วัน เพื่อวิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงของขนาดอนุภาคที่ระดับเดิม

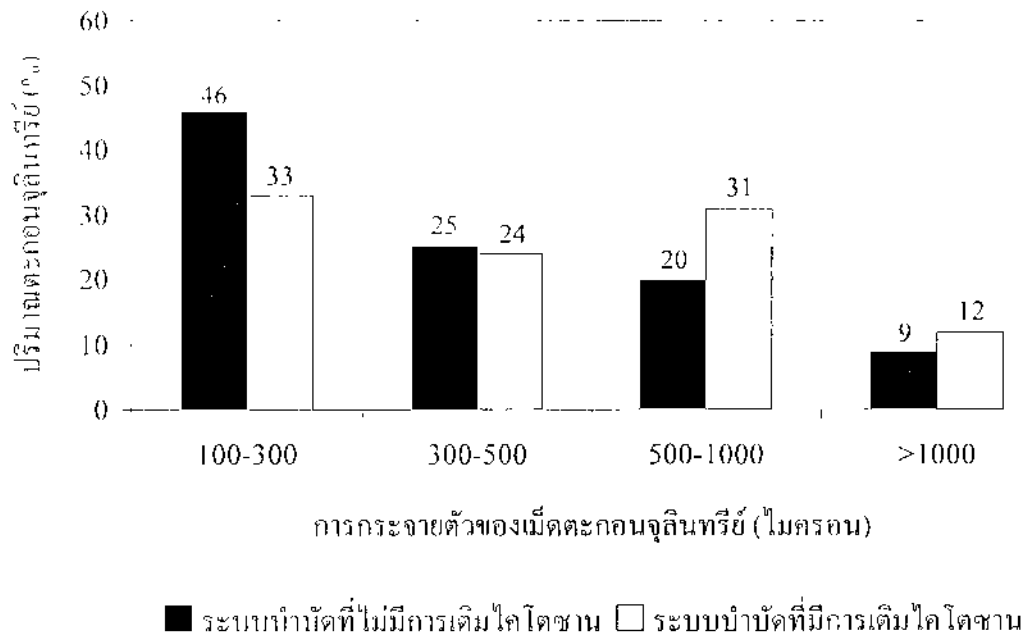
ภาพที่ 4-10 ถึงภาพที่ 4-13 แสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคจุลินทรีย์ที่ 30, 60, 90 และ 100 วันของการทดลอง พบว่าตลอดงานวิจัยขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัด UASB ที่มีการเติมโคโคซานมีขนาดใหญ่กว่าระบบบำบัด UASB ที่ไม่มีการเติมโคโคซาน

ภาพที่ 4-10 แสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ 30 วันแรกของการทดลอง พบว่าการกระจายตัวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ของระบบบำบัดที่ไม่มีการเติม โคโคซานและระบบบำบัดที่มีการเติมโคโคซานอยู่ในช่วง 100-300 ไมครอน มีปริมาณ 54 และ 39 % ตามลำดับ ที่ขนาดอนุภาค 300-500 ไมครอน มี 31 และ 28 % ตามลำดับ ที่ขนาดอนุภาค 500-1000 ไมครอน มี 14 และ 27 % และที่ขนาดอนุภาคมากกว่า 1000 ไมครอน มี 1 และ 6 % ตามลำดับ

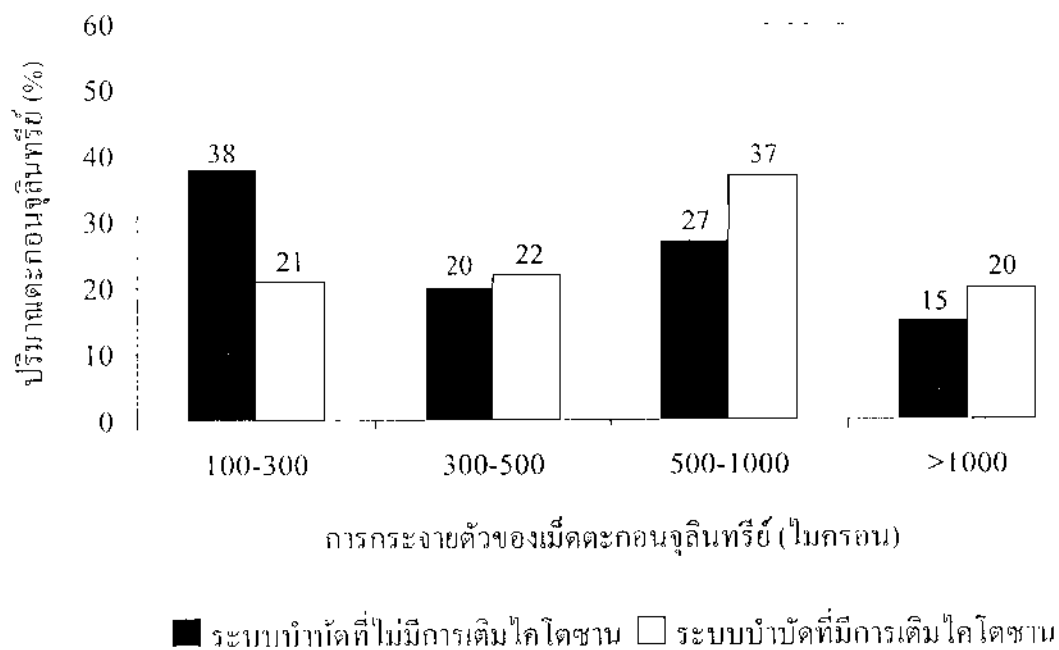


ภาพที่ 4-10 การกระจายตัวของเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ 30 วันของการทดลอง

ภาพที่ 4-11 แสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ 60 วันของการทดลอง พบว่าการกระจายตัวของเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ของระบบบำบัดที่ไม่มีการเติมไคโตซานและระบบบำบัดที่มีการเติมไคโตซานอยู่ในช่วง 100-300 ไมครอน มีปริมาณ 46 และ 33 % ตามลำดับ ที่ขนาดอนุภาค 300-500 ไมครอน มี 25 และ 24 % ตามลำดับ ที่ขนาดอนุภาค 500-1000 ไมครอน มี 20 และ 31 % และที่ขนาดอนุภาคมากกว่า 1000 ไมครอน มี 9 และ 12 % ตามลำดับ

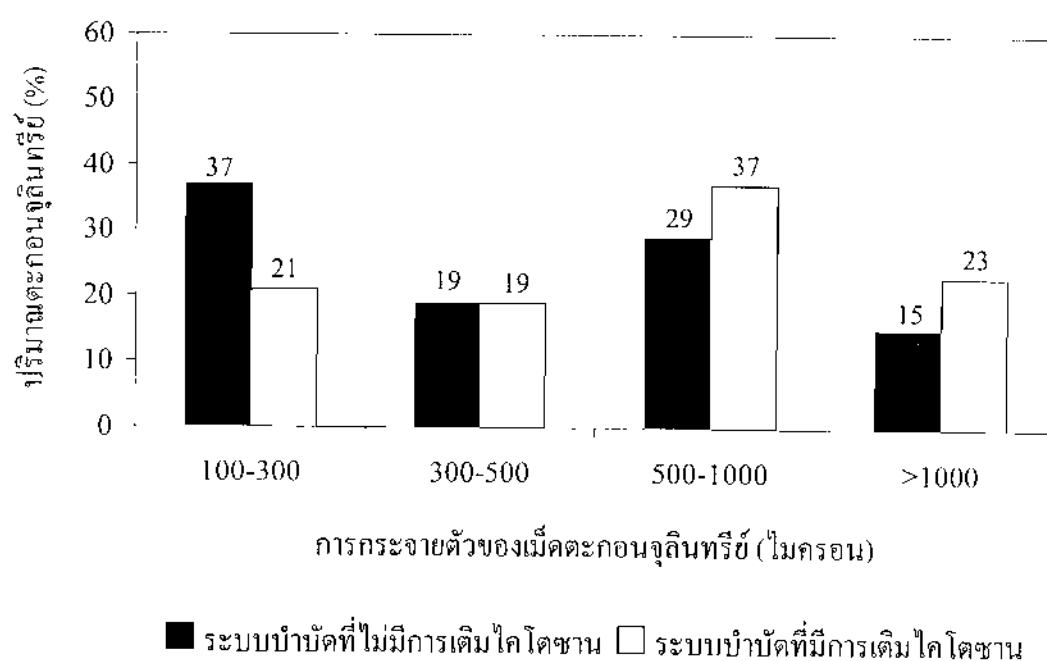


ภาพที่ 4-11 การกระจายตัวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ 60 วันของการทดลอง



ภาพที่ 4-12 การกระจายตัวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ 90 วันของการทดลอง

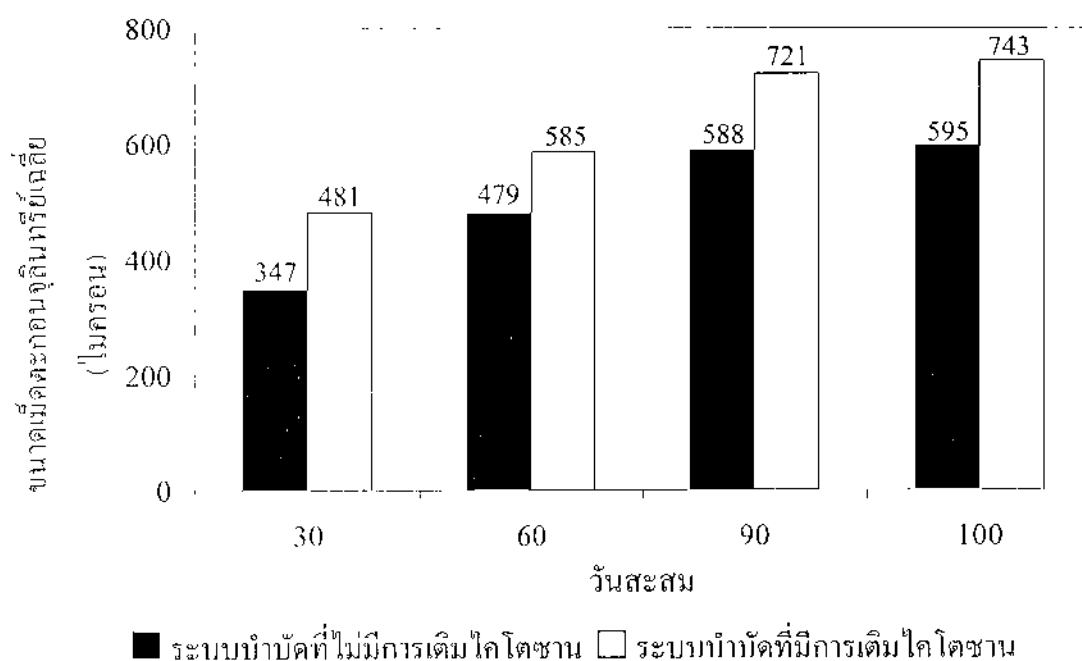
ภาพที่ 4-12 แสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ 90 วันของการทดลอง พบว่าการกระจายตัวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ของระบบบำบัดที่ไม่มีการเติมโคโคซานอยู่ในช่วง 100-300 ไมครอน มีปริมาณ 38 % ที่ขนาดอนุภาค 300-500 ไมครอน มี 20 % ที่ขนาดอนุภาค 500-1000 ไมครอน มี 27 % และที่ขนาดอนุภาคมากกว่า 1000 ไมครอน มี 15 % ซึ่งระบบบำบัดที่มีการเติมโคโคซานมีการกระจายตัวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ส่วนใหญ่เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 500-1000 ไมครอน มีปริมาณ 37 % ส่วนที่ขนาดอนุภาค 100-300 ไมครอน มี 21 % ที่ขนาดอนุภาค 300-500 ไมครอน มี 19 % และที่ขนาดอนุภาคมากกว่า 1000 ไมครอน มี 23 %



ภาพที่ 4-13 การกระจายตัวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ 100 วันของการทดลอง

ภาพที่ 4-13 แสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ 100 วันของการทดลอง พบว่าการกระจายตัวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ของระบบบำบัดที่ไม่มีการเติมโคโคซานอยู่ในช่วง 100-300 ไมครอน มีปริมาณ 37 % ที่ขนาดอนุภาค 300-500 ไมครอน มี 19 % ที่ขนาดอนุภาค 500-1000 ไมครอน มี 29 % และที่ขนาดอนุภาคมากกว่า 1000 ไมครอน มี 15 % ซึ่งระบบบำบัดที่มีการเติมโคโคซานมีการกระจายตัวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ยังคงอยู่ในช่วง 500-1000 ไมครอน มีปริมาณ 37 % ส่วนที่ขนาดอนุภาค 100-300 ไมครอน มี 21 % ที่ขนาดอนุภาค 300-500 ไมครอน มี 19 % และที่ขนาดอนุภาคมากกว่า 1000 ไมครอน มี 23 %

ภาพที่ 4-14 แสดงขนาดเฉลี่ยของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ของถังบำบัด UASB ทั้งสองดัง
ตลอดการทดลอง พบว่าขนาดเฉลี่ยของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ของระบบบำบัดที่มีการเติม
โคโคซานมีขนาดใหญ่กว่าระบบบำบัดที่ไม่มีการเติมโคโคซาน 18-28 % ซึ่งขนาดของ
เม็ดตะกอนจุลินทรีย์สัมพันธ์กับอัตราการชะล้างตะกอนจุลินทรีย์ออกนอกระบบบำบัด ดังนั้น
เมื่อนำขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่ ทำให้น้ำหนักของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มากขึ้น
จึงส่งผลให้อัตราการชะล้างตะกอนจุลินทรีย์ออกนอกระบบบำบัดลดลง



ภาพที่ 4-14 ขนาดเฉลี่ยของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์เทียบกับเวลา

ตลอดการทดลอง พบว่า การเติมโคโคซานมีส่วนป้องกันการชะล้างจุลินทรีย์ออกนอกระบบบำบัด UASB และสร้างสภาวะที่เอื้ออำนวยต่อการเพิ่มขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ได้ดีกว่าระบบที่ไม่มีการเติมโคโคซาน

4.3 การประเมินทางเศรษฐศาสตร์

การเติมโคโคซานในระบบบำบัด UASB เป็นการเพิ่มต้นทุนของระบบแต่ส่งผลให้ระบบบำบัด UASB ที่มีการเติมโคโคซานผลิตก๊าซชีวภาพได้เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับระบบบำบัด UASB ที่ไม่มีการเติมโคโคซาน จากการประเมินทางเศรษฐศาสตร์พบว่าตลอดงานวิจัยนี้ ถังบำบัด UASB ที่มีการเติมโคโคซานใช้โคโคซานทั้งหมด 2.80 กรัม ทำให้การเติมโคโคซานต้องเสียค่าใช้จ่าย 2.24 บาท สำหรับก๊าซชีวภาพที่ถังบำบัด UASB ที่มีการเติมโคโคซานผลิตได้เพิ่มขึ้นมีทั้งหมด 287 ลิตร โดยที่มูลค่าที่ได้ตอบแทนจากก๊าซชีวภาพ

ที่ระบบ UASB ที่มีการเติมโคโคซานผลิตได้เพิ่มขึ้นจากงานวิจัยนี้เมื่อเทียบกับมูลค่าของน้ำมันเตามีค่า 2.76 บาท ดังนั้นถึงแม้การเติมโคโคซานเป็นการเพิ่มต้นทุนให้กับระบบบำบัด UASB แต่สามารถชดเชยด้วยปริมาณก๊าซชีวภาพที่เพิ่มขึ้นได้อย่างคุ้มค่า

ตารางที่ 4-1 การประเมินทางเศรษฐศาสตร์ในงานวิจัย

รายการ	มูลค่า
ปริมาณของโคโคซานที่ใช้ในงานวิจัย	2.80 กรัม
ราคาของโคโคซานที่ใช้ในงานวิจัย	800 บาทต่อกิโลกรัม
ค่าใช้จ่ายของการเติมโคโคซานที่ใช้ในงานวิจัย	2.24 บาท
ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เพิ่มขึ้นจากการเติมโคโคซาน	287 ลิตร
ค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพ	24 MJ/m ³
ค่าความร้อนที่ได้จากก๊าซชีวภาพที่เพิ่มขึ้น	6.888 MJ
ค่าความร้อนของน้ำมันเตา	40 MJ/liter
ปริมาณของน้ำมันเตาเมื่อเทียบกับก๊าซชีวภาพที่เพิ่มขึ้นด้วยค่าความร้อน	0.1722 ลิตร
ราคาของน้ำมันเตา	16 บาทต่อลิตร
มูลค่าที่ได้จากก๊าซชีวภาพที่เพิ่มขึ้นของระบบโดยเทียบกับมูลค่าของน้ำมันเตา	2.76 บาท

หมายเหตุ : ราคาต้นทุนไม่รวมถึง ค่าแรงงาน ค่าไฟฟ้า และค่าอุปกรณ์

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียระหว่างระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB ที่ไม่มีการเติมโคโคซาน กับระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB ที่มีการเติมโคโคซาน ในระดับโรงงานต้นแบบ โดยใช้ น้ำเสียจากโรงงานผลิตผลไม้กระป๋อง มาสีสามพราน จำกัด เป็นตัวอย่าง น้ำเสียนำมาบำบัดเป็นเวลา 100 วัน พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB ที่มีการเติมโคโคซาน มีประสิทธิภาพการบำบัดดีกว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB ที่ไม่มีการเติมโคโคซาน ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 ตลอดการทดลอง ระบบบำบัด UASB ที่มีการเติมโคโคซานมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดค่า ซีโอดีมากกว่าระบบบำบัด UASB ที่ไม่มีการเติมโคโคซาน 5-10 %

5.1.2 ตลอดการทดลอง ระบบบำบัด UASB ที่มีการเติมโคโคซานมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงกว่าระบบบำบัด UASB ที่ไม่มีการเติมโคโคซาน 21-53 %

5.1.3 ตลอดการทดลอง ระบบบำบัด UASB ที่มีการเติมโคโคซานมีตะกอนจุลินทรีย์ถูกชะล้างออกนอกระบบน้อยกว่าระบบบำบัด UASB ที่ไม่มีการเติมโคโคซาน 21-67 %

5.1.4 ตลอดการทดลอง ขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัด UASB ที่มีการเติมโคโคซานมีขนาดใหญ่กว่าเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัด UASB ที่ไม่มีการเติมโคโคซาน 18-28 %

แสดงว่า การเติมโคโคซานสามารถลดการชะล้างตะกอนจุลินทรีย์ออกนอกระบบบำบัดได้ และสร้างสภาวะที่เอื้ออำนวยต่อการเพิ่มขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ได้ดีกว่าระบบที่ไม่มีการเติมโคโคซาน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาการป้อนสารละลายโคโคซานแบบครั้งเดียวกับแบบต่อเนื่อง เพื่อเปรียบเทียบว่าการป้อนสารละลายโคโคซานแบบใดเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้ระบบบำบัดได้ดีกว่า

5.2.2 ควรศึกษาการเติมโคโคซานในรูปแบบอื่นเช่น แบบเม็ดและแบบผง เป็นต้น เพื่อเปรียบเทียบว่าการเติมโคโคซานในรูปแบบใดเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้ระบบบำบัดได้ดีกว่า

เอกสารอ้างอิง

1. El-Mamouni, R., Leduc, R. and Guiot, S.R. "Influence of synthetic and natural polymers on the anaerobic granulation process." Water Science and Technology. 38(8-9), (1998) : 341-347.
2. มั่นสิน ดันทุลเวศม์. วิศวกรรมการประปา เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.
3. Lettinga, G. et al. "Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment especially for anaerobic treatment." Biotechnology and Bioengineering. 22, (1980) : 699-734.
4. De Zeeuw, W.J. Acclimatization of anaerobic sludge for use reactor start up. Ph.D. Thesis, Agricultural University Wageningen, The Netherland, 1984.
5. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไคติน-ไคโตซาน. กรุงเทพฯ : กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2546.
6. สุวลี จันทรกระจ่าง. สารไคตินและไคโตซานผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ และการประยุกต์ใช้ประโยชน์, การสัมมนาทางวิชาการเรื่อง ความร่วมมือของภาครัฐและเอกชนในการพัฒนาการผลิตและการใช้สารไคติน-ไคโตซานแบบครบวงจร วันที่ 2-3 เม.ย. 42.
7. ถนัด มากทองคำ, ยุทธพล เวชพฤษไพบุลย์ และ ศุภวิทย์ มีแรง. ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารโดยใช้ไคโตซาน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2543.
8. Winslow, C.E.A. and Phelps, E.B. "Investigation on the purification of boston sewage." Journal of Infection. 8, (1910) : 1-3.
9. Schroepfer, G.J., Fullen, W.J., Johnson, A.S., Ziemke, N.R. and Anderson, A.S. "The anaerobic contact process as applied to packing house waste." Sewage and Industrial. 27(4), (1955) : 460-486.
10. Coulter, J.B. and Ettinger, M.B. "Discussion of the anaerobic contact process practice." Water Pollution Control Federation. 33(10), (1961) : 1045-1049.
11. Cillie, G.G., Henzen, M.R., Stander, G.J. and Baillie, R.D. "The application of the process in waste purification" Water Research. 3, (1969) : 623-643

12. Lettinga, G., Van Velsen, A.F.M., Hobma, S.W., De Zeeuw, W. and Klapwijk, A.
 "Use of the up-flow sludge blanket (USB) reactor concept for biological waste water treatment especially for anaerobic treatment." Biotechnology and Bioengineering. 22, (1980) : 699-734.
13. Lettinga, G., Hulshoft, L.W.P., Kaster, I.W., Wiegant, W.M., De Zeeuw, W.J., Ringema, A., Grin, P.C., Roeroma, R.E. and Hobma, S.W. "High-rate anaerobic wastewater treatment using the UASB reactor under a wide range of temperature condition." Biotechnology and Bioengineering. 2, (1984) : 353-384.
14. สมชาย ดารารัตน์. "เทคโนโลยีการบำบัดแบบ UASB." วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 8(1), (ม.ค.-เม.ย. 36) : 65-74.
15. Godwin, S.J. and Wase, D.A. "Use of upflow anaerobic sludge blank reactor to treat rich waste" Process Biochemistry. 45, (July/August 1982) : 33-34.
16. Herbert, H.P.F., Asce, Li, Y.Y. and Chui, H.K. "UASB treatment of wastewater with concentrated mixed VFA." Journal of Environmental Engineering. 15, (1996) : 153-159.
17. Agrawal, L.K., Hideki, H. and Hiroyuki, O. "Treatment of dilute wastewater in a UASB reactor at a moderate temperature : Performance Aspects." Journal of Fermentation and Bioengineering. 83(2), (1997) : 179-184.
18. Byung-Uk, B. and Hang-Sik, S. "Performance of an inner tube-type gas-solid separator device in a UASB reactor." Bioresource Technology. 63, (1997) : 23-27.
19. Strand, S. P., Nordengen, T. and Østgaard, K. "Efficiency of chitosans applied for flocculation of different bacteria." Water Research. 36, (2002) : 4745-4752.
20. Strand, S. P., Vårum, K. M. and Østgaard, K. "Interactions between chitosans and bacterial suspensions: adsorption and flocculation." Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 27, (2003) : 71-81.
21. Kaseamchochong, C., Lertsuthiwong, P., and Phalakornkule, C. "Influence of Chitosan Characteristics and Environmental Conditions on Flocculation of Anaerobic Sludge." Water Environment Research. 78, (2006)
22. Greenberg, A.E., Clesceri, L.S. and Eaton, A.D. Standard methods for examination of water and wastewater 18th ed. Washington, D.C.: American Public Health Association, 1992.

23. Tchobanoglous, G., Burton, F.L., and Stensel, H.D. "Anaerobic Suspended and Attached Growth Biological Treatment Processes." Edited by Metcalf and Eddy. Wastewater Engineering Treatment and Reuse. New York. : McGraw Hill, 2003.

ภาคผนวก ก

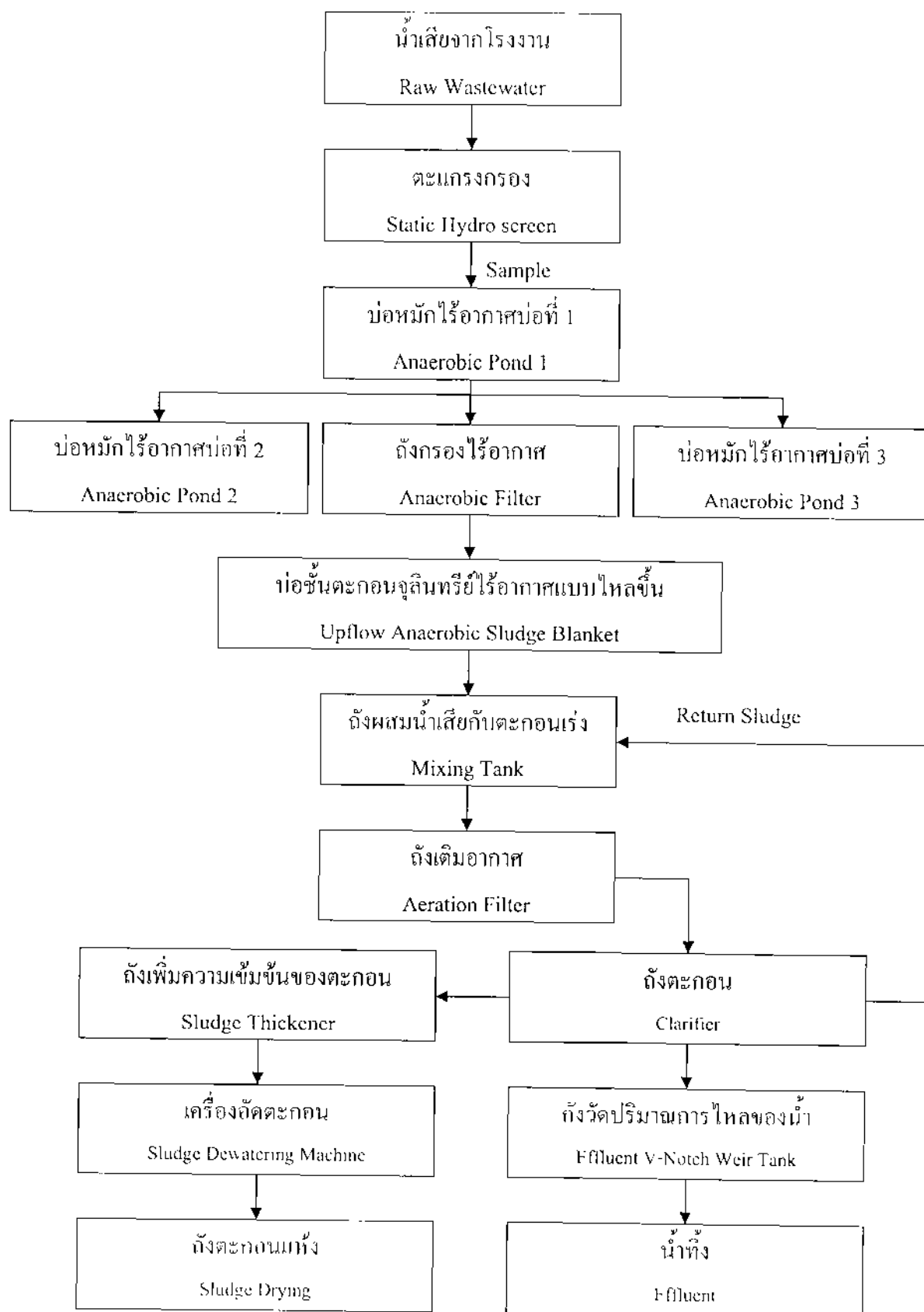
รายละเอียดข้อมูลสำคัญโรงงานมาลีสามพราน จำกัด (มหาชน)

รายละเอียดข้อมูลสำคัญโรงงานมาลีสามพราน จำกัด (มหาชน)

โรงงานมาลีสามพราน ตั้งอยู่เลขที่ 26/1 ถนนทางเข้าอำเภอสามพราน ตำบลยายชา อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม โทรศัพท์ 034-311260 โทรสาร 034-321619 เป็นโรงงานผลิตผลไม้กระป๋อง และผลไม้แปรรูปอื่นๆ ซึ่งมีกำลังผลิตสับปะรดกระป๋องปริมาณ 5,000 ตันสับปะรดต่อเดือน และผลไม้อื่นๆ ตามฤดูกาล เช่น ลิ้นจี่ เงาะ ส้ม ฝรั่ง และแพชชั่นฟรุท เป็นต้น แหล่งน้ำที่ใช้คือ น้ำบาดาล ปริมาณเฉลี่ย $2,000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ ทำงานวันละ 1กะ ตั้งแต่ 8.00-17.00 น. หรือทำงานล่วงเวลาถึง 20.00 น. กระบวนการผลิตใช้เครื่องจักรและคนงานร่วมกัน เช่น กรณีการผลิตสับปะรดกระป๋อง เริ่มต้นด้วยการตัดหัวและท้ายผล แล้วเจาะคว้านเปลือกและแกนกลางออก หั่นแล้วนำบรรจุกระป๋องที่มีน้ำเชื่อม ปิดฝากระป๋อง แล้วฆ่าเชื้อโรค แล้วบรรจุภัณฑ์ น้ำเสียจากการล้างอุปกรณ์เครื่องจักร ล้างพื้น ตลอดจนการล้างผลไม้ น้ำเสียที่ออกจากโรงงานเป็นน้ำเสียรวมมีเฉพาะในช่วงการผลิต แผนผังการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานแสดงดังภาพ ก-1 ส่วนของระบบบำบัดนั้นประกอบด้วย

บ่อ Anaerobic 3 บ่อ ขนาดบ่อละ	$30 \times 40 \times 4 = 4,800 \times 3 = 14,400 \text{ m}^3$
บ่อ Open UASB 1 บ่อ ขนาด	$30 \times 40 \times 4 = 4,800 \text{ m}^3$
Aeration Tank 1 บ่อ ขนาด	943 m^3
Settling Tank 1 บ่อ ขนาด	314 m^3

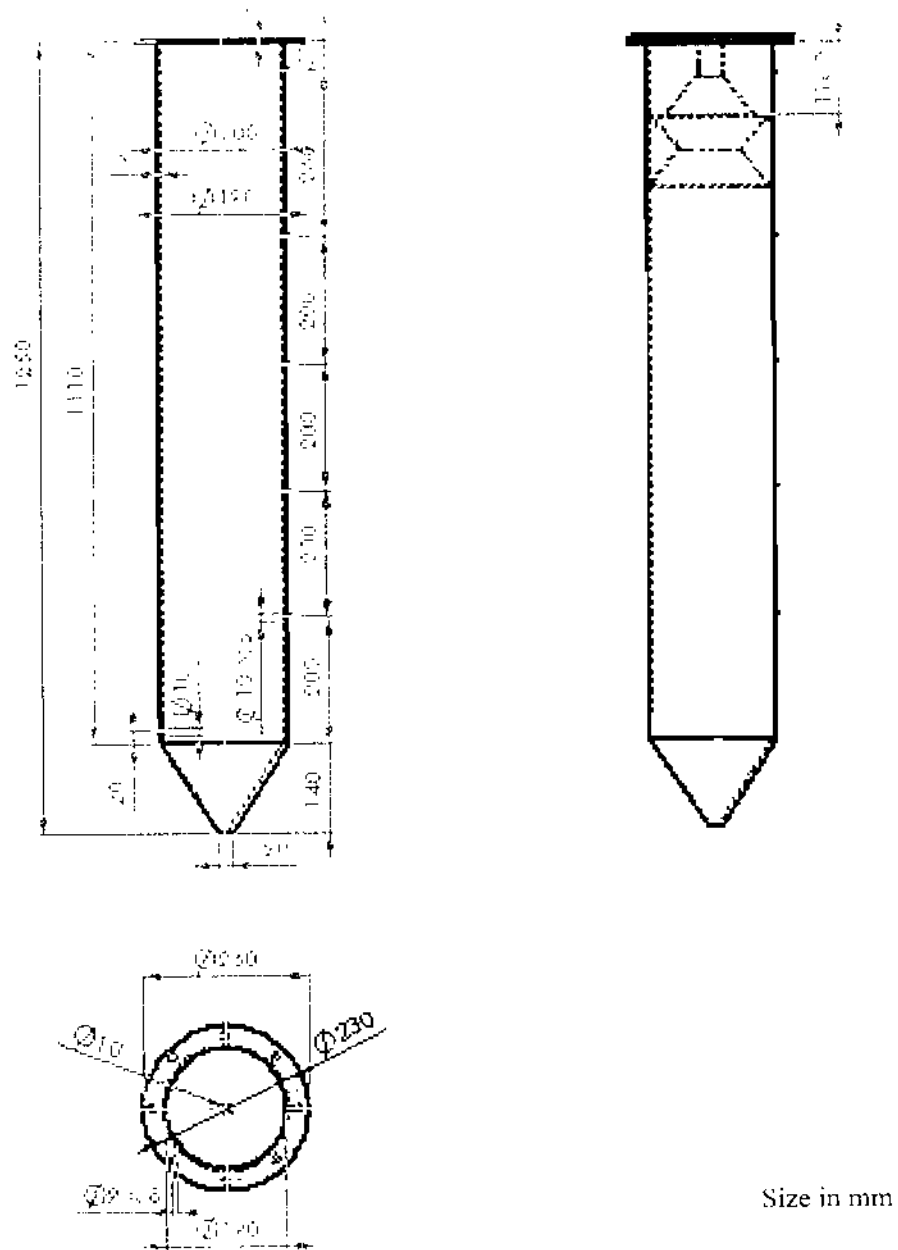
เนื่องจากน้ำเสียประเภทนี้มีน้ำเสียค่อนข้างมาก และมีความสกปรกในรูป BOD เฉลี่ย $5,000 \text{ m}^3 \text{ l}^{-1}$ ส่วนใหญ่อยู่ในรูปน้ำตาล และเศษผลไม้ต่างๆ ซึ่งในการทดลองได้กำหนดระยะเวลา และปริมาณในการเก็บน้ำเสียมาให้เพียงพอสำหรับการใช้ในสัปดาห์ โดยตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อเป็นการหมักกรด จากนั้นจึงป้อนน้ำเสียเข้าสู่ชุดทดลองบำบัดน้ำเสียแบบ UASB ตามที่ออกแบบการทดลองไว้



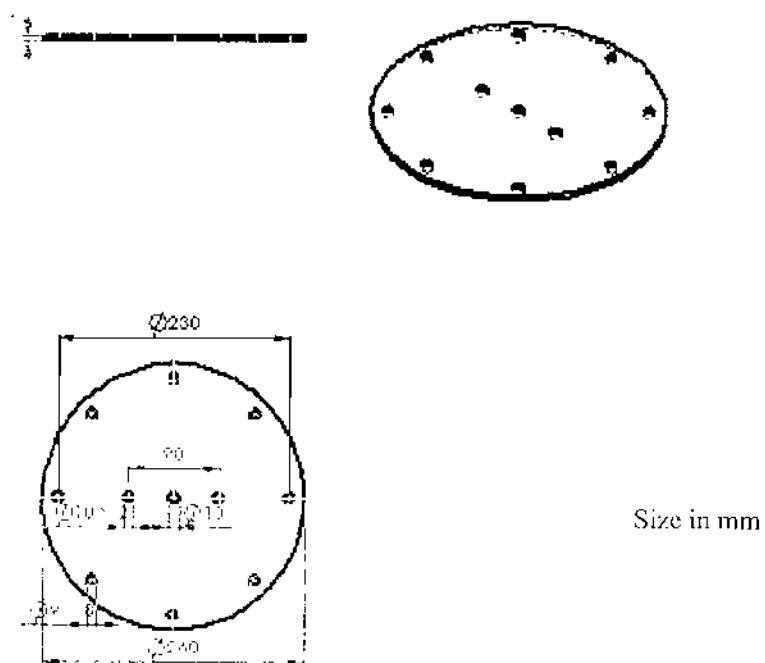
ภาพที่ ก-1 แผนภูมิการไหลของน้ำเสียในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานมาลีสามพราน จำกัด

ภาคผนวก ข

รายละเอียดการออกแบบถังบำบัด UASB
อุปกรณ์ต่างๆ และระบบบำบัดที่ใช้ในการทดลอง



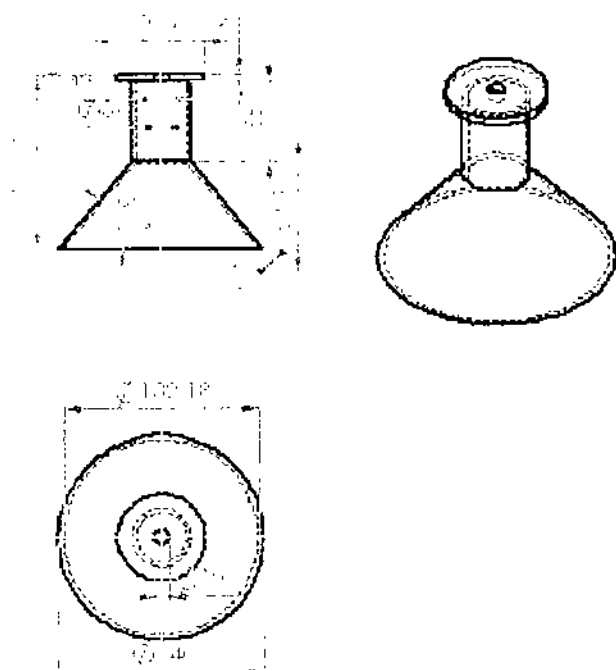
ภาพที่ ข-1 รายละเอียดถังน้ำบำบัดแบบ UASB ที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ ข-2 รายละเอียดฝาปิดถังบำบัดแบบ UASB ที่ใช้ในการทดลอง

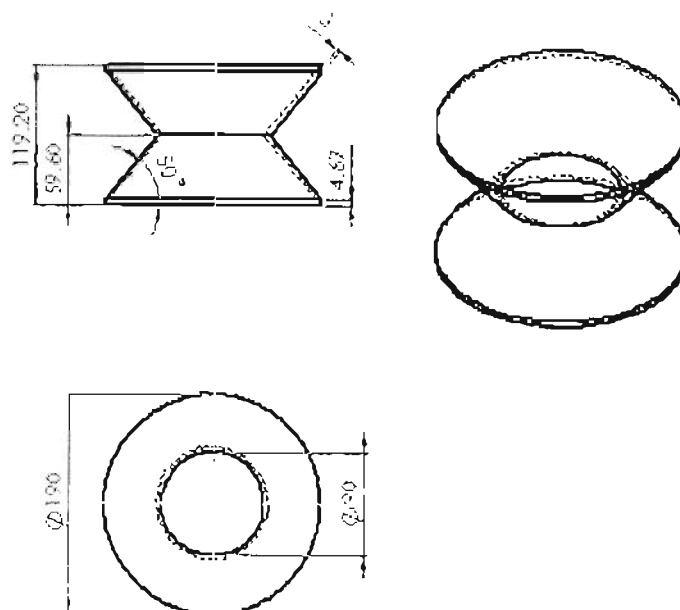
ภาคผนวก ข

รายละเอียดการออกแบบถังบำบัด UASB
อุปกรณ์ต่างๆ และระบบบำบัดที่ใช้ในการทดลอง



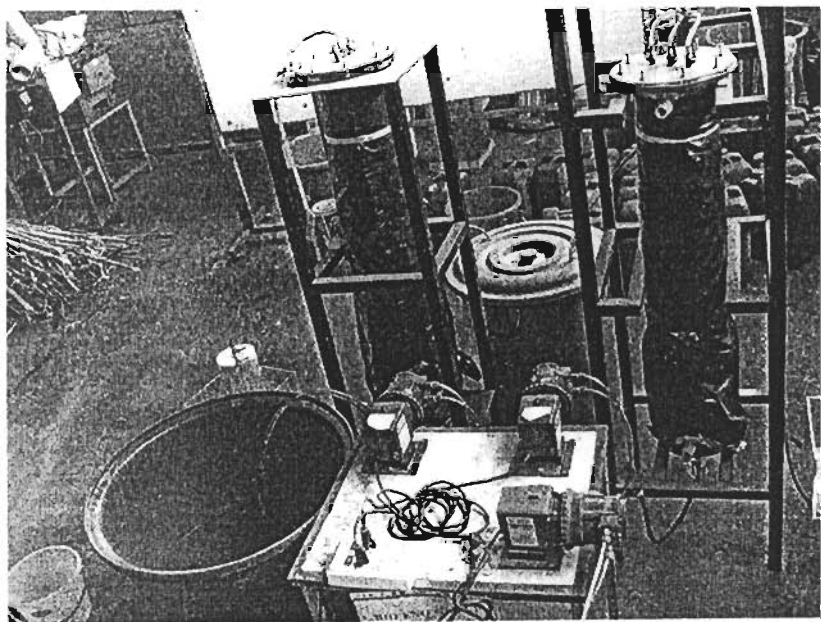
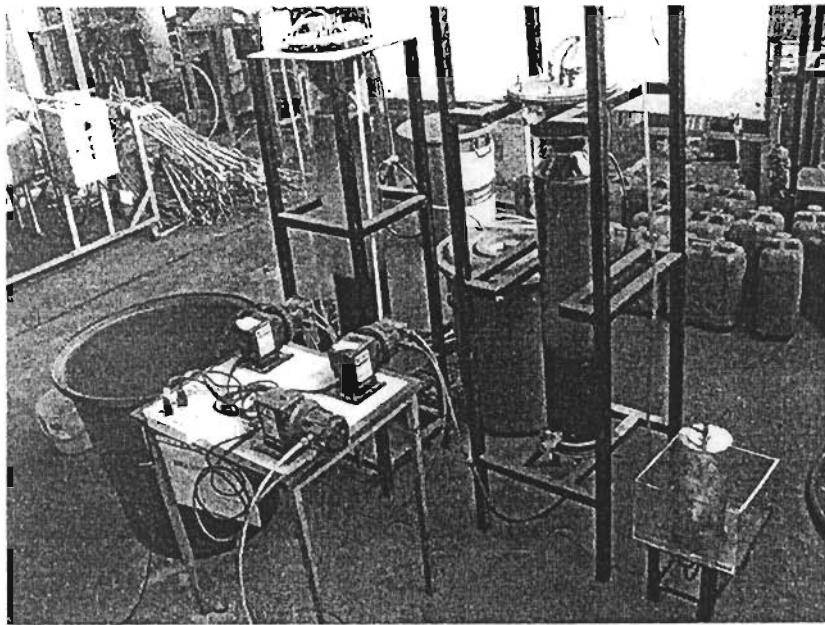
Size in mm

ภาพที่ ข-3 รายละเอียดส่วนประกอบส่วนหนึ่งของระบบแยกสามวัฏภาคของถังบำบัดแบบ UASB ที่ใช้ในการทดลอง



Size in mm

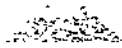
ภาพที่ ข-4 รายละเอียดส่วนประกอบส่วนที่สองของระบบแยกสามวัฏภาคของถังบำบัดแบบ UASB ที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ ข-5 ชุดทดลองระบบบำบัดแบบ UASB ที่ใช้งานจริง

ภาคผนวก ค

ข้อมูลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคตะกอนจุลินทรีย์



MASTERSIZER



Result Analysis Report

Sample Name:
Bom - Average
Sample Source & type:
Sample bulk lot ref:

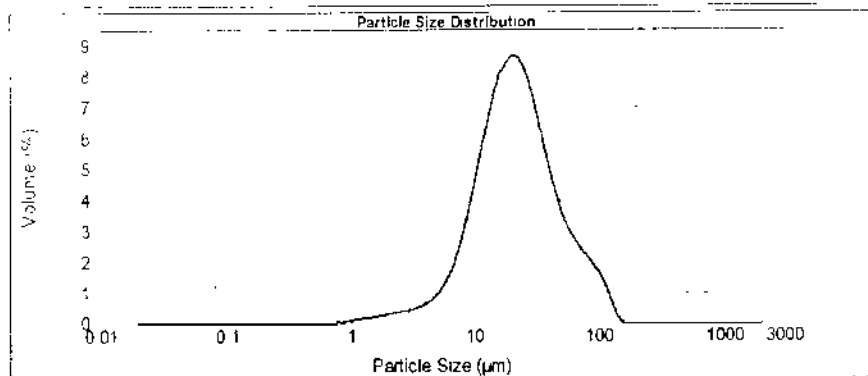
SOP Name:
Measured by:
Administrator
Result Source:
Averaged

Measured:
Tuesday, May 31, 2005 2:58:07 PM
Analysed:
Tuesday, May 31, 2005 2:58:08 PM

Particle Name: Titanium Dioxide	Accessory Name: Hydro 2000G (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Normal
Particle RI: 2.74	Absorption: 0.1	Size range: 0.020 to 2000.000 μm	Obscuration: 15.05 %
Dispersant Name: Water	Dispersant RI: 1.330	Weighted Residual: 10.509 %	Result Emulation: Off

Concentration: 0.0323 %Vol	Span: 2.425	Uniformity: 0.735	Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.402 m^2/g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 14.909 μm	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 28.753 μm	

d(0.1) 8.348 μm d(0.5) 21.483 μm d(0.9) 60.436 μm



Bom - Average, Tuesday, May 31, 2005 2:58:07 PM

Size (μm)	Volume in %	Size (μm)	Volume in %	Size (μm)	Volume in %	Size (μm)	Volume in %	Size (μm)	Volume in %	Size (μm)	Volume in %
0.040	0.00	0.105	0.00	1.005	0.11	11.482	5.51	120.225	0.58	258.925	0.00
0.041	0.00	0.130	0.00	1.250	0.15	13.183	6.47	138.038	0.08	1445.440	0.00
0.043	0.00	0.158	0.00	1.445	0.18	15.135	7.23	156.459	0.05	1656.587	0.00
0.045	0.00	0.188	0.00	1.680	0.19	17.378	7.71	181.970	0.00	1805.461	0.00
0.047	0.00	0.218	0.00	1.920	0.23	19.853	7.71	208.830	0.00	2187.782	0.00
0.050	0.00	0.269	0.00	2.188	0.27	22.469	7.81	238.883	0.00	2511.886	0.00
0.053	0.00	0.340	0.00	2.512	0.31	26.330	7.53	275.423	0.00	2894.032	0.00
0.055	0.00	0.425	0.00	2.894	0.41	30.320	6.82	318.828	0.00	3311.311	0.00
0.058	0.00	0.525	0.00	3.311	0.45	34.674	5.15	363.078	0.00	3601.894	0.00
0.060	0.00	0.633	0.00	3.802	0.58	39.811	4.25	418.899	0.00	4085.158	0.00
0.063	0.00	0.774	0.00	4.385	0.75	45.709	3.48	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.065	0.00	0.947	0.00	5.012	1.00	52.481	2.94	542.541	0.00	5754.368	0.00
0.068	0.00	1.150	0.00	5.754	1.30	60.255	2.20	620.957	0.00	6605.634	0.00
0.070	0.00	1.390	0.00	6.627	1.80	69.183	2.20	724.435	0.00	7585.778	0.00
0.073	0.00	1.682	0.00	7.586	1.92	79.433	1.83	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.075	0.00	2.032	0.04	8.710	2.83	91.201	1.80	954.983	0.00	10000.000	0.00
0.078	0.00	2.455	0.04	10.000	3.50	104.713	1.80	1095.478	0.00		
0.105	0.00	2.958	0.08	11.482	4.48	120.225	1.18	1258.825	0.00		

Operator notes.

Mastersizer 2000 Ver 4.1
Serial Number: 1012224

Mastersizer 2000 Ver 4.1
Serial Number: 1012224

File name: Bom - Average
Date: 31/05/2005
Time: 14:58:07

ภาพที่ ค-1 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตะกอนจุลินทรีย์ก่อนเริ่มระบบบำบัด



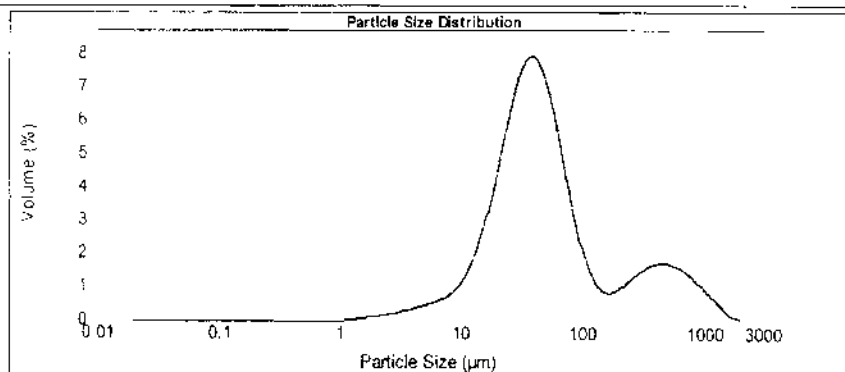
MASTERSIZER 2000

Result Analysis Report

Sample Name: non chitosan 1 - Average
SOP Name:
Measured: Monday, July 18, 2005 5:49:25 PM
Sample Source & type:
Measured by: Administrator
Analysed: Monday, July 18, 2005 5:49:27 PM
Sample bulk lot ref:
Result Source: Averaged

Particle Name: Titanium Dioxide	Accessory Name: Hydro 2000G (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Normal
Particle RI: 2.741	Absorption: 0.1	Size range: 0.020 to 2000.000 μm	Obscuration: 12.27 %
Dispersant Name: Water	Dispersant RI: 1.330	Weighted Residual: 0.734 %	Result Emulation: Off
Concentration: 0.0515 %Vol	Span: 4.261	Uniformity: 2.46	Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.206 m^2/g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 29.132 μm	Vol Weighted Mean D[4,3]: 132.512 μm	

d(0.1) 15.703 μm d(0.5) 43.473 μm d(0.9) 418.310 μm



non chitosan 1 - Average, Monday, July 18, 2005 5:49:25 PM

Size (μm)	Volume %	Size (μm)	Volume %	Size (μm)	Volume %	Size (μm)	Volume %	Size (μm)	Volume %
0.070	0.00	0.105	0.00	1.086	0.00	11.462	1.47	120.226	0.99
0.071	0.00	0.120	0.00	1.250	0.00	13.183	2.01	136.000	0.78
0.073	0.00	0.136	0.00	1.446	0.00	15.136	2.89	156.439	0.74
0.075	0.00	0.158	0.00	1.680	0.00	17.378	3.53	181.970	0.83
0.077	0.00	0.182	0.00	1.925	0.11	19.953	4.44	208.000	0.87
0.080	0.00	0.208	0.00	2.188	0.13	22.908	5.19	236.060	0.97
0.083	0.00	0.240	0.00	2.512	0.13	26.333	5.37	275.423	1.14
0.085	0.00	0.275	0.00	2.884	0.17	30.335	6.19	316.228	1.30
0.090	0.00	0.316	0.00	3.311	0.21	34.874	6.80	363.078	1.43
0.095	0.00	0.363	0.00	3.802	0.26	39.811	7.50	416.889	1.51
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	0.32	45.706	7.04	476.630	1.54
0.040	0.00	0.476	0.00	5.012	0.37	52.481	6.62	542.541	1.44
0.062	0.00	0.550	0.00	5.754	0.43	60.285	5.98	630.983	1.32
0.080	0.00	0.631	0.00	6.607	0.49	69.183	5.91	724.435	1.17
0.098	0.00	0.724	0.00	7.585	0.58	79.433	2.91	831.764	0.99
0.079	0.00	0.832	0.00	8.710	0.64	91.301	2.06	954.993	0.76
0.091	0.00	0.955	0.00	10.000	0.84	104.713	2.06	1095.478	0.76
0.105	0.00	1.098	0.00	11.462	1.10	120.226	1.41	1256.925	0.99

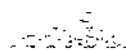
Operator notes

MasterSizer 2000 ver 5.1
 Version 1.16
 File: C:\Program Files\MasterSizer\MSI\MSI2000\MSI2000.exe

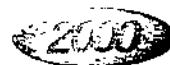
MasterSizer 2000 ver 5.1
 Serial Number: MAP100024

File name: Non-15-05-2005
 Record Number: 14
 Date: 2005-07-18 14:14

ภาพที่ ค-2 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตะกอนจุลินทรีย์ภายในถังบำบัด UASB
 ที่มีการเติมโคโคซานของวันที่ 30



MASTERSIZER



Result Analysis Report

Sample Name
Add chitosan 2 - Average

Sample Source & type:

Sample bulk lot ref.

SOP Name:

Measured by:
Administrator

Result Source:
Averaged

Measured:

Monday, July 18, 2005 6:15:02 PM

Analysed:

Monday, July 18, 2005 6:15:03 PM

Particle Name

Titanium Dioxide

Particle RI

2.741

Dispersant Name

Water

Accessory Name:

Hydro 2000G (A)

Absorption:

0.1

Dispersant RI:

1.330

Analysis model:

General purpose

Size range:

0.020 to 2000.000 μm

Weighted Residual:

0.362 %

Sensitivity:

Normal

Obscuration:

12.54 %

Result Emulation

Off

Concentration

0.0316 %Vol

Span:

21.446

Uniformity:

5.84

Result units:

Volume

Specific Surface Area:

0.311 m^2/g

Surface Weighted Mean D[3,2]:

19.283 μm

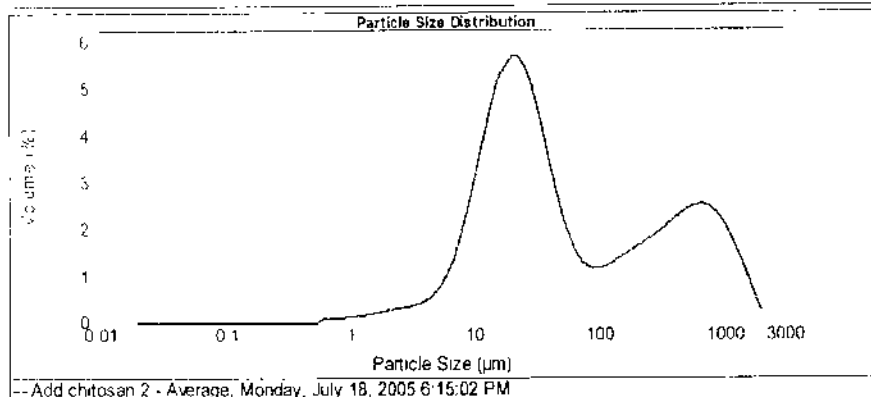
Vol. Weighted Mean D[4,3]:

217.838 μm

d(0.1): 9.660 μm

d(0.5): 34.329 μm

d(0.9): 745.964 μm



Size (μm)	Volume in %	Size (μm)	Volume in %	Size (μm)	Volume in %	Size (μm)	Volume in %	Size (μm)	Volume in %	Size (μm)	Volume in %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.058	0.12	11.482	3.65	120.225	1.17	1258.925	1.24
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.14	13.183	4.25	136.038	1.25	1445.440	0.84
0.013	0.00	0.136	0.00	1.445	0.17	15.136	4.73	156.482	1.36	1659.587	0.48
0.015	0.00	0.156	0.00	1.650	0.20	17.378	5.04	181.970	1.45	1905.461	0.11
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.23	19.953	5.14	208.920	1.54	2187.702	0.00
0.020	0.00	0.206	0.00	2.188	0.26	22.909	5.00	238.883	1.63	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.28	26.300	4.68	273.423	1.73	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	0.31	30.200	4.14	316.222	1.85	3315.511	0.00
0.030	0.00	0.318	0.00	3.311	0.38	34.874	3.53	363.078	1.97	3821.864	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.832	0.42	38.811	2.80	416.959	2.10	4355.156	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	0.54	45.706	2.31	478.630	2.20	5011.672	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	0.71	52.481	1.81	546.541	2.28	5754.369	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.794	0.98	60.255	1.44	630.957	2.29	6608.504	0.00
0.060	0.00	0.631	0.05	6.807	1.06	69.185	1.20	774.435	2.23	7585.775	0.00
0.066	0.00	0.734	0.07	7.985	1.35	79.433	1.05	831.794	2.02	8709.636	0.00
0.075	0.00	0.850	0.07	9.310	1.22	91.201	1.05	954.645	1.87	10000.000	0.00
0.085	0.00	0.985	0.08	10.800	2.38	104.713	1.05	1085.478	1.87		
0.105	0.00	1.065	0.10	11.482	3.01	120.225	1.06	1258.925	1.58		

Operator notes.

MASTERSIZER 2000 V1.1
Version 1.06
Copyright © 1999-2004, Mastersizer Ltd.

Mastersizer 2000 V1.1
Serial Number: MA 100224

File name: B0011016.D
Access Number: 126
18 Jul 2005 06:40:17

ภาพที่ ค-3 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตะกอนจุลินทรีย์ภายในถังบำบัด UASB
ที่มีการเติมไคโดซานของวันที่ 60



MASTERSIZER 2000

Result Analysis Report

Sample Name:
add chitosan 06 Average

Sample Source & type:

Sample bulk lot ref.

SOP Name:

Measured by:
Administrator

Result Source:
Averaged

Measured:

Thursday August 11 2005 4 23:30 PM

Analysed:

Thursday, August 11, 2005 4 23 32 PM

Particle Name:
Titanium Dioxide

Particle RI:
2.741

Dispersant Name:
Water

Accessory Name:
Hydro 2000G (4)

Absorption:
0.1

Dispersant RI:
1.330

Analysis model:
General purpose

Size range:
0.020 to 2000.000 μm

Weighted Residual:
0.375 %

Sensitivity:
Normal

Obscuration:
13.22 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0381 % Vol

Specific Surface Area:
0.29 m^2/g

Span:
24.255

Surface Weighted Mean D[3,2]:
20.702 μm

Uniformity:
6.25

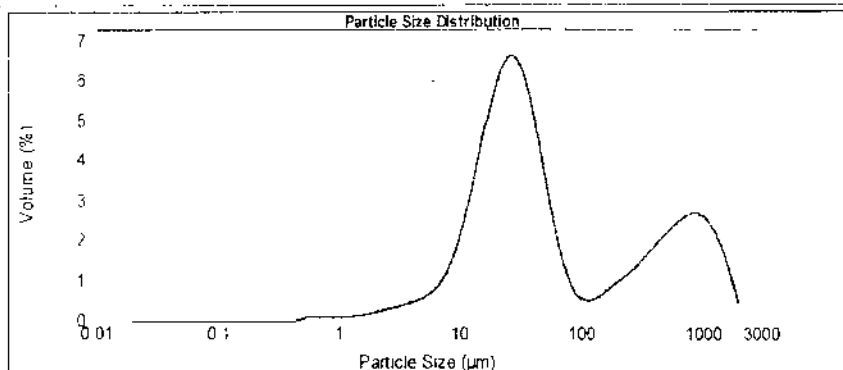
Vol. Weighted Mean D[4,3]:
243.930 μm

Result units:
Volume

d(0.1): 11.460 μm

d(0.5): 35.885 μm

d(0.9): 883.260 μm



add chitosan 06 - Average, Thursday, August 11, 2005 4:23:30 PM

Size (μm)	Volume (%)	Size (μm)	Volume (%)	Size (μm)	Volume (%)	Size (μm)	Volume (%)	Size (μm)	Volume (%)	Size (μm)	Volume (%)
0.010	0.00	0.100	0.00	1.000	0.00	11.462	2.74	100.000	0.40	1250.000	1.81
0.012	0.00	0.120	0.00	1.250	0.10	12.193	3.46	120.000	0.50	1445.440	1.36
0.015	0.00	0.150	0.00	1.445	0.12	15.136	4.36	150.400	0.71	1650.567	0.80
0.017	0.00	0.170	0.00	1.600	0.15	17.378	4.96	161.070	0.84	1905.407	0.19
0.020	0.00	0.200	0.00	1.805	0.16	19.653	5.56	200.630	0.97	2107.752	0.00
0.025	0.00	0.250	0.00	2.188	0.23	22.909	5.91	230.883	1.11	2511.896	0.00
0.030	0.00	0.300	0.00	2.512	0.27	26.303	5.97	275.423	1.26	2894.032	0.00
0.035	0.00	0.350	0.00	2.894	0.30	30.200	5.71	316.226	1.44	3311.311	0.00
0.040	0.00	0.400	0.00	3.311	0.37	34.674	5.17	363.078	1.52	3601.804	0.00
0.045	0.00	0.450	0.00	3.602	0.41	36.811	5.17	416.920	1.81	4085.158	0.00
0.050	0.00	0.500	0.00	4.355	0.47	45.709	3.53	478.630	2.00	5011.672	0.00
0.055	0.00	0.550	0.00	5.012	0.55	52.461	2.94	540.541	2.17	5754.396	0.00
0.060	0.00	0.600	0.00	5.754	0.67	60.265	1.84	630.957	2.31	6606.924	0.00
0.065	0.00	0.650	0.00	6.607	0.87	69.183	1.21	724.436	2.40	7585.770	0.00
0.070	0.00	0.700	0.00	7.586	1.15	79.433	0.77	831.764	2.41	8709.636	0.00
0.075	0.00	0.750	0.00	8.710	1.55	91.491	0.63	954.993	2.33	10000.000	0.00
0.080	0.00	0.800	0.00	10.000	2.00	104.713	0.45	1095.478	2.13		
0.100	0.00	1.000	0.00	11.462		11.462		1250.000			

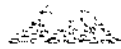
Operator notes.

Mastersizer 2000 Ltd
Mastersizer 2000
Tel: +44(0)151 634 4655 Fax: +44(0)151 634 4656

Mastersizer 2000 v9.5.1
Serial Number: MA 100224

File name: Bom 18 07 2005
Record number: 1
11 Aug 2005 14:21:24 (UTC)

ภาพที่ ค-4 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตะกอนจุลินทรีย์ภายในถังบำบัด UASB
ที่มีการเติมโคโคซานของวันที่ 90



MASTERSIZER



Result Analysis Report

Sample Name:
add chitosan 02 - Average

SOP Name:

Measured:
Thursday, August 18, 2005 12:55:37 PM

Sample Source & type:

Measured by:
Administrator

Analysed:
Thursday August 18 2005 12:55:38 PM

Sample bulk lot ref:

Result Source:
Averaged

Particle Name:
Titanium Dioxide

Accessory Name:
Hydro 2000G (A)

Analysis model:
General purpose

Sensitivity:
Normal

Particle RI:
2.141

Absorption:
0.1

Size range:
0.020 to 2000.000 μm

Obscuration:
14.71 %

Dispersant Name:
Water

Dispersant RI:
1.330

Weighted Residual:
0.258 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0623 % w/v

Span:
21.758

Uniformity:
5.46

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
0.207 m^2/g

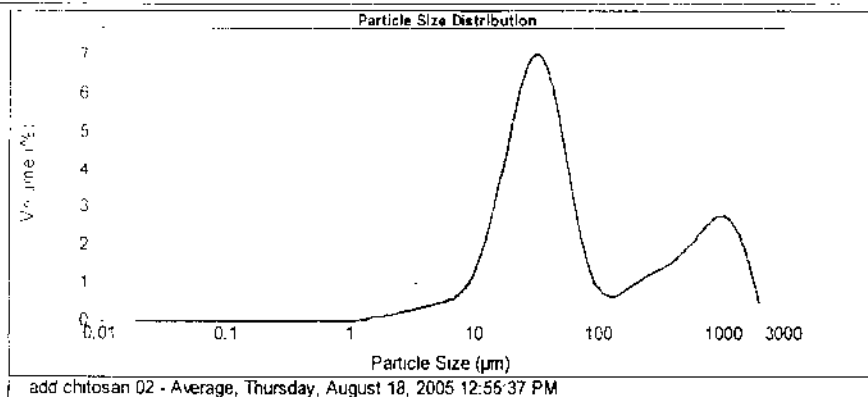
Surface Weighted Mean D[3,2]:
26.935 μm

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
254.515 μm

d[0.1] 14.644 μm

d[0.5] 42.250 μm

d[0.9] 933.936 μm



Size (μm)	Volume %	Size (μm)	Volume %	Size (μm)	Volume %	Size (μm)	Volume %	Size (μm)	Volume %	Size (μm)	Volume %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.050	0.00	11.402	1.82	120.226	0.67	1258.925	2.04
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.00	13.303	1.82	138.058	0.63	1445.440	1.52
0.013	0.00	0.136	0.00	1.445	0.00	15.109	3.28	158.409	0.74	1639.587	0.92
0.015	0.00	0.155	0.00	1.650	0.00	17.378	4.15	181.970	3.87	1905.481	0.32
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.00	19.933	5.00	206.800	1.00	2187.752	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.186	0.16	22.908	5.72	216.880	1.10	2511.586	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.20	26.333	6.19	275.423	1.18	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.894	0.20	30.200	6.19	316.228	1.18	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	0.25	34.674	6.35	363.078	1.29	3801.864	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	0.29	39.811	6.15	415.986	1.40	4385.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.355	0.34	45.708	5.60	478.630	1.54	5011.572	0.00
0.045	0.00	0.479	0.00	5.012	0.38	52.451	4.79	549.541	1.72	5754.386	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	0.42	60.259	3.84	630.957	1.90	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	0.48	69.183	2.85	724.436	2.16	7585.775	0.00
0.069	0.00	0.724	0.00	7.595	0.56	79.433	2.00	831.764	2.35	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.00	8.710	0.71	91.201	1.32	954.960	2.48	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.00	10.000	0.94	104.713	0.87	1095.478	2.49		
0.105	0.00	1.096	0.00	11.402	1.31	120.226	0.64	1258.925	2.35		

Operator notes:

Mastersizer 2000 Ver 5.1
Master 126
File: 4155 - C:\data\02\118\Exp\add chitosan 02\1

Mastersizer 2000 Ver 5.1
Serial Number: MAL100224

Filename: 50m_dust_02.rpt
Result Number: 126
Printed: 2 Aug 17 2005

ภาพที่ ค-5 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตะกอนจุลินทรีย์ภายในถังบำบัด UASB ที่มีการเติมไคโตซานของวันที่ 100



MASTERSIZER



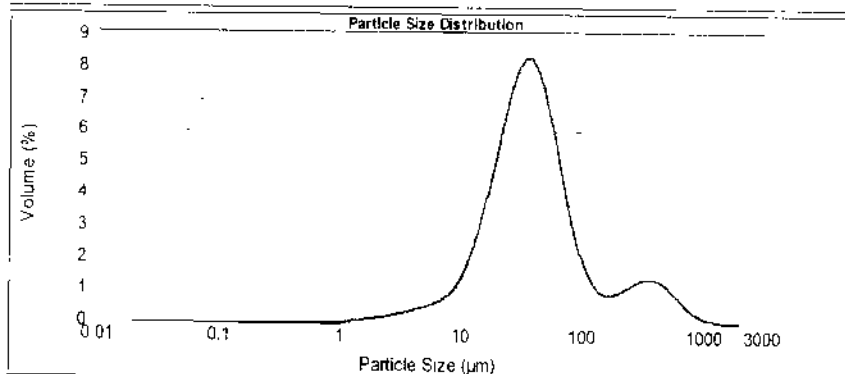
Result Analysis Report

Sample Name: Bom105.2 - Average
Sample Source & type: Administrator
Sample bulk lot ref: Averaged
SOP Name:
Measured by: Administrator
Result Source: Averaged
Measured: Monday July 18, 2005 4:57:14 PM
Analysed: Monday July 18, 2005 4:57:15 PM

Particle Name: Titanium Dioxide
Particle RI: 2.741
Dispersant Name: Water
Accessory Name: Hydro 2000G (A)
Absorption: 0.1
Dispersant RI: 1.330
Analysis model: General purpose
Size range: 0.020 to 2000.000 μm
Weighted Residual: 0.319 %
Sensitivity: Normal
Obscuration: 13.15 %
Result Emulation: Off

Concentration: 0.0484 %Vol
Specific Surface Area: 0.235 m^2/g
Span: 5.264
Surface Weighted Mean D[3,2]: 25.537 μm
Uniformity: 1.61
Vol. Weighted Mean D[4,3]: 63.793 μm
Result units: Volume

d(0.1): 14.078 μm d(0.5): 38.052 μm d(0.9): 214.385 μm



Bom105.2 - Average, Monday, July 18, 2005 4:57:14 PM

Size (μm)	Volume (%)	Size (μm)	Volume (%)	Size (μm)	Volume (%)	Size (μm)	Volume (%)	Size (μm)	Volume (%)	Size (μm)	Volume (%)
0.010	0.00	0.105	0.00	1.000	0.01	11.462	1.90	120.220	1.01	1250.000	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.250	0.01	13.183	2.57	130.036	0.03	1445.440	0.03
0.013	0.00	0.130	0.00	1.445	0.01	15.136	3.30	150.460	0.05	1650.507	0.01
0.015	0.00	0.158	0.00	1.690	0.01	17.378	4.33	181.970	0.09	1805.461	0.01
0.017	0.00	0.182	0.00	1.900	0.01	19.663	5.29	200.800	0.05	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.200	0.00	2.188	0.01	22.000	6.20	220.800	0.06	2511.888	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.01	26.303	6.20	275.420	1.06	2954.030	0.00
0.025	0.00	0.275	0.00	2.804	0.01	30.200	6.93	310.228	1.19	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.341	0.01	34.674	7.38	365.078	1.25	3601.864	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.902	0.01	39.811	7.20	416.900	1.17	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.395	0.01	45.700	6.58	470.630	1.01	5011.872	0.00
0.045	0.00	0.479	0.00	5.012	0.01	52.481	5.71	540.541	0.78	5754.360	0.00
0.050	0.00	0.550	0.00	5.754	0.01	60.258	4.70	630.957	0.54	6676.604	0.00
0.052	0.00	0.631	0.00	6.607	0.01	69.163	3.67	734.426	0.36	7865.776	0.00
0.055	0.00	0.724	0.00	7.596	0.01	79.433	2.72	851.764	0.23	9000.000	0.00
0.070	0.00	0.832	0.00	8.710	0.01	91.374	1.95	984.880	0.14		
0.091	0.00	0.955	0.00	10.000	0.01	104.713	1.36	1095.478	0.09		
0.105	0.00	1.066	0.00	11.462	0.01	120.220		1250.000			

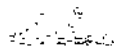
Operator notes:

Mastersizer 2000 Ver 5.1
 Serial Number: MFL100224
 File: C:\MFL100224\Bom105.2 - Average - 04.07.05\Bom105.2 - Average

Mastersizer 2000 Ver 5.1
 Serial Number: MFL100224

File: Bom105.2 - Average - 04.07.05
 File: Bom105.2 - Average - 04.07.05
 File: Bom105.2 - Average - 04.07.05

ภาพที่ ค-6 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตะกอนจุลินทรีย์ภายในถังบำบัด UASB
 ที่ไม่มีการเติมโคโคซานของวันที่ 30



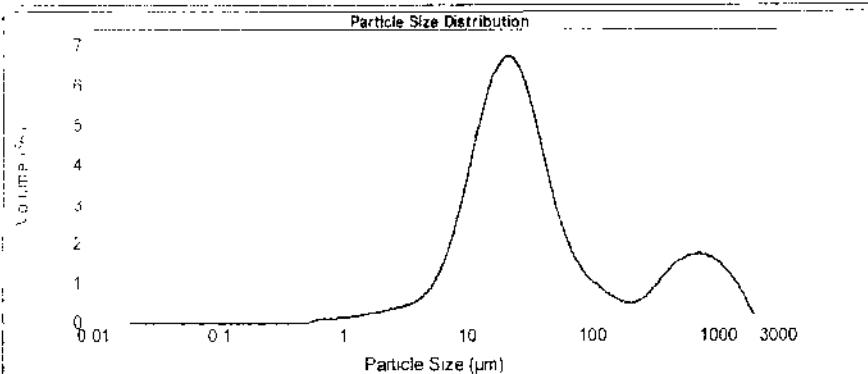
MASTERSIZER 2000

Result Analysis Report

Sample Name: Bom03 - Average
SOP Name:
Measured: Tuesday, May 31, 2005 3:26:45 PM
Sample Source & type:
Measured by: Administrator
Analysed: Tuesday, May 31, 2005 3:26:45 PM
Sample bulk lot ref:
Result Source: Averaged

Particle Name: Titanium Dioxide
Accessory Name: Hydro 2000G (A)
Analysis model: General purpose
Sensitivity: Normal
Particle RI: 2.741
Absorption: 0.1
Size range: 0.020 to 2000.000 μm
Obscuration: 13.05 %
Dispersant Name: Water
Dispersant RI: 1.330
Weighted Residual: 0.236 %
Result Emulation: Off
Concentration: 0.0296 %Vol
Span: 27.327
Uniformity: 5.39
Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.368 m^2/g
Surface Weighted Mean D[3,2]: 16.315 μm
Vol. Weighted Mean D[4,3]: 158.445 μm

d(0.1): 6.686 μm d(0.5): 26.640 μm d(0.9): 603.494 μm



Bom03 - Average, Tuesday, May 31, 2005 3:26:45 PM

Size (μm)	Volume %	Size (μm)	Volume %	Size (μm)	Volume %	Size (μm)	Volume %	Size (μm)	Volume %	Size (μm)	Volume %
0.010	0.00	0.100	0.00	1.000	0.14	11.400	4.34	120.220	0.71	1256.925	1.01
0.011	0.00	0.120	0.00	1.250	0.16	13.160	5.03	130.030	0.59	1445.440	0.74
0.013	0.00	0.130	0.00	1.445	0.10	15.130	5.08	150.480	0.50	1654.587	0.40
0.015	0.00	0.150	0.00	1.660	0.22	17.320	5.90	161.970	0.46	1905.461	0.09
0.017	0.00	0.160	0.00	1.900	0.29	18.950	6.09	200.930	0.47	2187.792	0.00
0.020	0.00	0.200	0.00	2.188	0.29	22.900	5.05	220.880	0.56	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.29	26.300	5.85	275.420	0.71	2864.152	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.804	0.30	30.200	5.85	316.220	0.71	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.161	0.38	34.674	5.08	363.078	0.81	3901.604	0.00
0.036	0.00	0.360	0.00	3.602	0.44	39.811	4.40	410.860	1.12	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.400	0.00	4.000	0.53	45.700	3.66	478.630	1.31	5011.622	0.00
0.046	0.00	0.447	0.00	4.466	0.68	52.481	3.01	540.591	1.45	5754.369	0.00
0.052	0.00	0.479	0.00	5.012	0.80	59.200	2.41	600.957	1.53	6506.904	0.00
0.060	0.00	0.500	0.00	5.794	1.22	68.183	1.91	724.470	1.57	7365.770	0.00
0.068	0.00	0.631	0.00	6.607	1.65	79.433	1.23	811.754	1.51	8709.831	0.00
0.079	0.00	0.704	0.00	7.580	2.22	91.201	1.02	954.993	1.40		
0.090	0.00	0.832	0.10	8.719	2.88	104.713	1.02	1095.478	1.23		
0.100	0.00	1.000	0.12	11.400	3.61	120.220	0.85	1256.925	1.23		

Operator notes

Mastersizer 2000 Ver 5.1
 Serial Number: MAL100224
 10/10/04 10:10:04 10/10/04 10:10:04

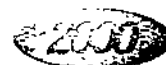
Mastersizer 2000 Ver 5.1
 Serial Number: MAL100224

Freemove Barium Ltd.
 10/10/04 10:10:04 10/10/04 10:10:04

ภาพที่ ค-7 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตะกอนจุลินทรีย์ภายในถังบำบัด UASB
 ที่ไม่มีการเติมโคโคซานของวันที่ 60



MASTERSIZER



Result Analysis Report

Sample Name:
non chitosan 1 - Average

SOP Name:

Measured:

Thursday, August 11, 2005 12:30:18 PM

Sample Source & type:

Measured by:
Administrator

Analysed:

Thursday, August 11, 2005 12:30:19 PM

Sample bulk lot ref:

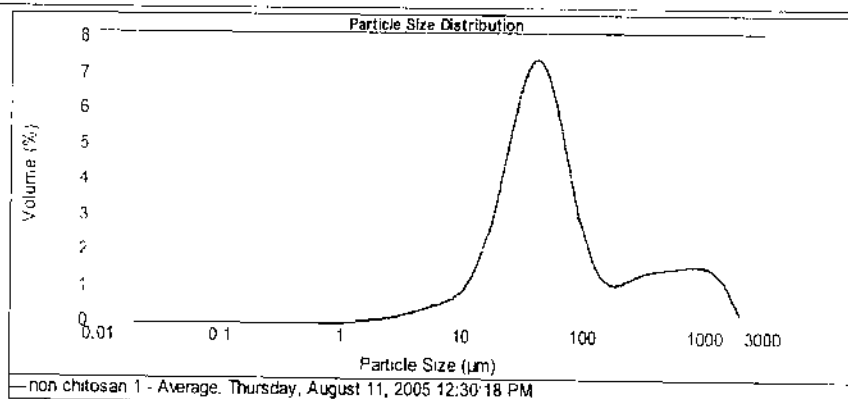
Result Source:
Averaged

Particle Name: Titanium Dioxide	Accessory Name: Hydro 2000G (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Normal
Particle RI: 2.741	Absorption: 0.1	Size range: 0.020 to 2000.000 μm	Obscuration: 14.01 %
Dispersant Name: Water	Dispersant RI: 1.330	Weighted Residual: 0.245 %	Result Emulation: Off
Concentration: 0.0668 %Vol	Span: 12.040	Uniformity: 3.13	Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.183 m^2/g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 32.803 μm	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 185.825 μm	

d(0.1) 17.519 μm

d(0.5) 50.123 μm

d(0.9) 621.022 μm



Size (μm)	Volume (%)	Size (μm)	Volume (%)	Size (μm)	Volume (%)	Size (μm)	Volume (%)	Size (μm)	Volume (%)
0.010	0.00	0.105	0.00	1.008	0.00	11.482	1.14	121.225	1.41
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.00	13.183	1.54	136.038	1.12
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.00	15.138	2.10	158.489	1.00
0.015	0.00	0.159	0.00	1.690	0.00	17.378	2.81	181.970	1.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.00	19.953	3.54	208.930	1.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.11	22.909	4.54	238.883	1.00
0.022	0.00	0.240	0.00	2.512	0.14	26.303	5.39	275.425	1.15
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	0.14	30.200	6.30	318.228	1.23
0.030	0.00	0.318	0.00	3.311	0.18	34.674	6.50	363.075	1.24
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	0.23	39.811	6.57	416.859	1.33
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	0.28	45.709	6.71	478.630	1.35
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	0.34	52.451	6.51	548.541	1.38
0.052	0.00	0.560	0.00	5.754	0.40	60.296	5.98	620.957	1.40
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	0.45	69.193	5.21	724.435	1.43
0.068	0.00	0.724	0.00	7.586	0.51	79.430	3.38	831.754	1.45
0.079	0.00	0.832	0.00	8.710	0.70	91.201	2.55	954.950	1.43
0.091	0.00	0.955	0.00	10.000	0.87	104.713	1.88	1095.478	1.34
0.105	0.00	1.098	0.00	11.482	0.87	120.225	1.58	1258.024	1.34

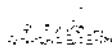
Operator notes:

MasterSizer 2000 Ver 5
Mastersizer 2000
File name: non chitosan 1 - Average, Thursday, August 11, 2005 12:30:18 PM

MasterSizer 2000 Ver 5
Serial Number: MA1100224

File name: non chitosan 1 - Average, Thursday, August 11, 2005 12:30:18 PM
Record Number: 140
11 Aug 2005 12:30:18 PM

ภาพที่ ค-8 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตะกอนจุลินทรีย์ภายในถังบำบัด UASB ที่ไม่มีการเติมโคโคซานของวันที่ 90



MASTERSIZER



Result Analysis Report

Sample Name
Non-chitosan 03 - Average

SOP Name:

Measured:
Thursday, August 18, 2005 1:15:00 PM

Sample Source & type

Measured by:
Administrator

Analysed:
Thursday August 18, 2005 1:15:01 PM

Sample bulk lot ref:

Result Source
Averaged

Particle Name
Titanium Dioxide
Particle RI:
2.741
Dispersant Name:
Water

Accessory Name
Hydro 2000C (A)
Absorption:
0.1
Dispersant RI:
1.330

Analysis model:
General purpose
Size range:
0.020 to 2000.000 μm
Weighted Residual:
0.213 %
Sensitivity:
Normal
Obscuration:
15.54 %
Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0856 %Vol

Span:
12.081

Uniformity:
3.05

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
0.10 m^2/g

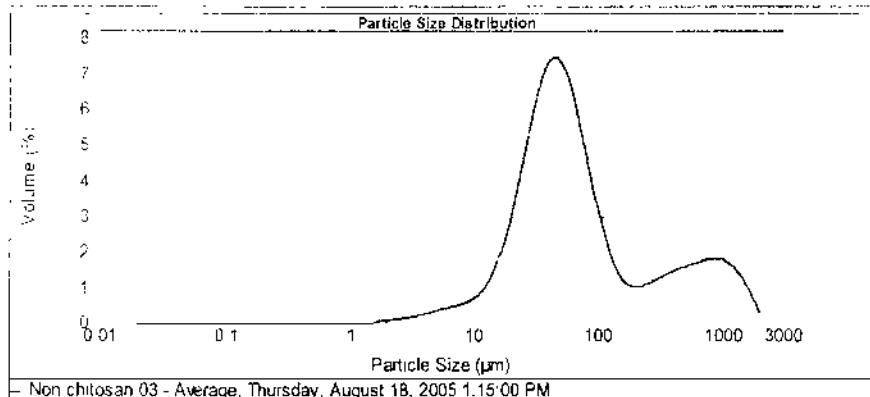
Surface Weighted Mean D[3,2]:
37.281 μm

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
199.590 μm

d(0.1): 19.737 μm

d(0.5): 55.090 μm

d(0.9): 685.269 μm



Size (μm)	Volume in %	Size (μm)	Volume in %	Size (μm)	Volume in %	Size (μm)	Volume in %	Size (μm)	Volume in %	Size (μm)	Volume in %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.008	0.00	11.482	0.86	120.225	1.69	1258.925	1.27
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.00	13.183	1.22	138.038	1.26	1443.440	0.97
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.00	15.196	1.69	155.459	1.03	1609.587	0.58
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.04	17.378	2.33	181.970	0.84	1895.461	0.13
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.07	19.953	3.11	206.930	0.86	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.198	0.09	22.909	4.00	239.883	1.03	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.11	26.303	4.90	275.423	1.13	2884.002	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.864	0.14	30.200	5.73	316.228	1.23	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.318	0.00	3.311	0.19	34.674	6.70	363.076	1.32	3801.804	0.00
0.035	0.00	0.369	0.00	3.802	0.25	39.811	7.70	416.889	1.40	4385.159	0.00
0.040	0.00	0.437	0.00	4.335	0.29	45.709	8.70	478.630	1.47	5011.572	0.00
0.046	0.00	0.478	0.00	5.012	0.34	52.461	9.77	546.541	1.54	5754.369	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	0.39	60.256	10.73	633.857	1.60	6605.954	0.00
0.059	0.00	0.631	0.00	6.667	0.44	69.183	11.60	724.416	1.65	7525.772	0.00
0.066	0.00	0.724	0.00	7.586	0.49	79.433	12.40	831.754	1.66	8719.635	0.00
0.074	0.00	0.832	0.00	8.710	0.57	91.201	13.09	954.563	1.67	10006.000	0.00
0.081	0.00	0.956	0.00	10.000	0.69	104.713	13.65	1099.478	1.68		
0.100	0.00	1.058	0.00	11.482	0.86	120.225	14.00	1258.925	1.69		

Operator notes:

Mastersizer 2000 Ver 5.1
Mastersizer 2000 Ver 5.1
Mastersizer 2000 Ver 5.1

Mastersizer 2000 Ver 5.1
Serial Number: 345100074

File Name: BSA_PDR_004
Master Number: 102
Date: 2005/08/18 15:00

ภาพที่ ค-9 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตะกอนจุลินทรีย์ภายในถังบำบัด UASB ที่ไม่มีการเติมโคโคซานของวันที่ 100

ภาคผนวก ง

ตัวอย่างการคำนวณระยะเวลาการกักเก็บเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์

การคำนวณค่า SRT วันที่ 30 ของระบบบำบัด UASB ที่มีการเติมโคโคซาน

$$\text{เวลาการกักเก็บตะกอนจุลินทรีย์ (SRT)} = \frac{VX}{(Q-Q_w) X_e + Q_w X_r}$$

$$V = \text{ปริมาณถังบำบัด} = 0.03 \text{ m}^3$$

$$X = \text{ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในถังบำบัด} = 13300 \text{ g VSS/m}^3$$

$$Q = \text{อัตราการไหลของน้ำเสียเข้า} = 0.0085 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_w = \text{อัตราการไหลของตะกอนจุลินทรีย์ที่ออกจากระบบบำบัด} = 0 \text{ m}^3/\text{d}$$

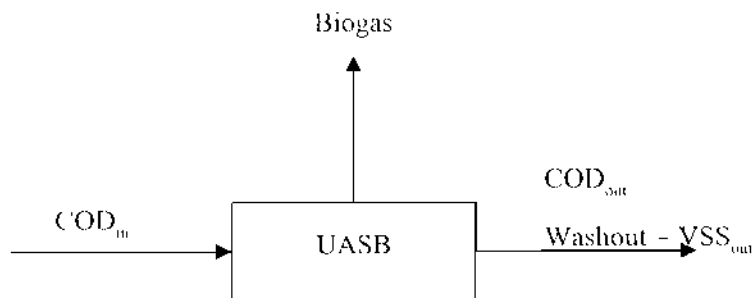
$$X_e = \text{ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในน้ำเสียออก} = 710 \text{ g VSS/m}^3$$

$$X_r = \text{ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในน้ำเสียที่กลับเข้าสู่ถังบำบัด} = 0 \text{ g VSS/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{เวลาการกักเก็บตะกอนจุลินทรีย์ (SRT)} &= \frac{0.03 \text{ m}^3 \times 13300 \text{ g VSS/m}^3}{0.0085 \text{ m}^3/\text{d} \times 710 \text{ g}} \\ &= 66 \text{ day} \end{aligned}$$

ภาคผนวก จ

สมุดคาร์บอน



ตารางที่ จ-1 ข้อมูลสมดุลคาร์บอนระบบบำบัด UASB ที่มีการเติมโคโคซาน

COD _{in}	44.56 กรัมต่อวัน
COD _{out}	2.03 กรัมต่อวัน
COD _{removed}	42.53 กรัมต่อวัน
VSS _{out}	13.40 กรัมชีโอดีต่อวัน
VSS _{in UASB} วันที่ 30	559 กรัมชีโอดี
VSS _{in UASB} วันที่ 60	616 กรัมชีโอดี
New Cell	1.90 กรัมชีโอดีต่อวัน
Biogas	13.67 ลิตรต่อวัน

หมายเหตุ : 1.4 กรัมชีโอดี ต่อ 1 กรัม VSS [23]

สมดุลคาร์บอน

$$\text{Accumulation} = \text{Inflow} - \text{Outflow} + \text{Nutrients}$$

$$\text{NewCell} = \text{COD}_{in} - (\text{COD}_{out} + \text{VSS}_{out} + \text{Biogas}) + 0$$

$$1.90 \text{ กรัมชีโอดีต่อวัน} = 44.56 \text{ กรัมต่อวัน} - (2.03 \text{ กรัมต่อวัน} + 13.40 \text{ กรัมชีโอดีต่อวัน} + \text{Biogas})$$

$$\begin{aligned} \text{Biogas} &= 44.56 \text{ กรัมต่อวัน} - 2.03 \text{ กรัมชีโอดีต่อวัน} - 13.40 \text{ กรัมชีโอดีต่อวัน} - 1.90 \text{ กรัมชีโอดีต่อวัน} \\ &= 27.23 \text{ กรัมชีโอดีต่อวัน} \end{aligned}$$

$$\text{อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ} = \frac{13.67 \text{ ลิตรต่อวัน}}{27.23 \text{ กรัมชีโอดีต่อวัน}} = 0.50 \text{ ลิตรต่อกรัมชีโอดี}$$

ตารางที่ จ-2 ข้อมูลสมดุลคาร์บอนระบบบำบัด UASB ที่ไม่มีการเติมโคโคซาน

COD_{in}	44.56 กรัมต่อวัน
COD_{out}	4.91 กรัมต่อวัน
$COD_{removed}$	39.65 กรัมต่อวัน
VSS_{out}	18.50 กรัมชีโอดีต่อวัน
$VSS_{in \text{ UASB}}$ วันที่ 30	504 กรัมชีโอดี
$VSS_{in \text{ UASB}}$ วันที่ 60	545 กรัมชีโอดี
New Cell	1.35 กรัมชีโอดีต่อวัน
Biogas	11.78 ลิตรต่อวัน

หมายเหตุ : 1.4 กรัมชีโอดี ต่อ 1 กรัม VSS [23]

สมดุลคาร์บอน

Accumulation = Inflow - Outflow + Nutrients

$$NewCell = COD_{in} - (COD_{out} + VSS_{out} + Biogas) + 0$$

$$1.35 \text{ กรัมชีโอดีต่อวัน} = 44.56 \text{ กรัมต่อวัน} - (4.91 \text{ กรัมต่อวัน} + 18.50 \text{ กรัมชีโอดีต่อวัน} + Biogas)$$

$$\begin{aligned} Biogas &= 44.56 \text{ กรัมต่อวัน} - 4.91 \text{ กรัมต่อวัน} - 18.50 \text{ กรัมชีโอดีต่อวัน} - 1.35 \text{ กรัมชีโอดีต่อวัน} \\ &= 19.80 \text{ กรัมชีโอดีต่อวัน} \end{aligned}$$

$$\text{อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ} = \frac{11.78 \text{ ลิตรต่อวัน}}{19.80 \text{ กรัมชีโอดีต่อวัน}} = 0.59 \text{ ลิตรต่อกรัมชีโอดี}$$

ภาคผนวก จ

ข้อมูลการเดินระบบ

ตารางที่ จ-1 ข้อมูลการเดินระบบของถังบำบัด UASB ที่มีการเติมโคเอนไซม์

วันที่ วัน/เดือน/ปี (วันสะสม)	HRT (ชั่วโมง)	OLR (kg COD m ⁻³ d ⁻¹)	COD _{in} (mg l ⁻¹)	COD _{out} (mg l ⁻¹)	COD _{removed} (%)	VFA _{in} (mg l ⁻¹)	VFA _{out} (mg l ⁻¹)	TSS _{in} (g l ⁻¹)	TSS _{out} (g l ⁻¹)	VSS _r (g l ⁻¹)	VSS _t (g l ⁻¹)	T-ALK (mg l ⁻¹)	T-ALK _{out} (mg l ⁻¹)
9/5/1948 (0)	85	1.45	5130	-	-	1131	-	-	-	-	-	1592	-
16/5/2005 (7)	85	1.41	4980	2580	48	1200	1063	0.65	0.86	0.53	0.71	1588	1362
23/5/2005 (14)	85	1.40	4950	1520	69	1251	634	0.73	0.71	0.61	0.52	1576	1772
30/5/2005 (21)	85	1.40	4960	680	86	1560	326	0.86	1.92	0.68	1.34	1796	1782
6/6/2005 (28)	85	1.49	5260	240	95	1646	120	0.78	1.65	0.62	1.13	1664	2394
13/6/2005 (35)	65	2.02	5460	2890	47	703	394	0.85	2.05	0.65	1.23	1562	2388
20/6/2005 (42)	65	1.79	4840	1350	72	1526	171	0.83	1.35	0.63	0.86	1886	2484
27/6/2005 (49)	65	1.89	5120	450	91	754	377	0.62	0.73	0.48	0.51	1760	2328
4/7/2005 (56)	65	1.95	5280	330	94	1097	429	0.81	0.86	0.62	0.63	1736	2190
11/7/2005 (63)	45	2.95	5540	1700	69	1714	789	0.51	0.83	0.40	0.60	2216	2384
18/7/2005 (70)	45	3.10	5820	1440	75	1337	754	0.83	1.02	0.56	0.73	1936	2284
25/7/2005 (77)	45	2.97	5560	1190	79	1834	531	0.61	0.73	0.46	0.52	2220	2368
1/8/2005 (84)	45	3.05	5720	950	83	1680	411	0.68	0.62	0.48	0.40	2168	2332
8/8/2005 (91)	45	2.90	5430	550	90	1646	343	0.60	0.62	0.45	0.41	2240	2360
15/8/2005 (98)	35	3.79	5520	2340	58	1303	754	0.52	0.66	0.40	0.42	1920	2080

ตารางที่ จ-2 ข้อมูลการเดินระบบของถังบำบัด UASB ที่ไม่มีการเติมโคโคโตซาน

วันที่ วันเดือนปี (วันละชม)	HRT (ชั่วโมง)	OLR (kg COD m ⁻³ d ⁻¹)	COD _{in} (mg l ⁻¹)	COD _{out} (mg l ⁻¹)	COD _{removal} (%)	VFA _{in} (mg l ⁻¹)	VFA _{out} (mg l ⁻¹)	SS _{in} (g l ⁻¹)	SS _{out} (g l ⁻¹)	VSS _{in} (g l ⁻¹)	VSS _{out} (g l ⁻¹)	T-ALK _{in} (mg l ⁻¹)	T-ALK _{out} (mg l ⁻¹)
9/5/1948 (0)	85	1.45	5130	-	-	1131	-	-	-	-	-	1592	-
16/5/2005 (7)	85	1.41	4980	2930	41	1200	1166	0.65	0.83	0.53	0.69	1588	1380
23/5/2005(14)	85	1.40	4950	1880	62	1251	720	0.73	0.96	0.61	0.85	1576	1780
30/5/2005 (21)	85	1.40	4960	960	81	1560	360	0.86	2.28	0.68	1.69	1796	1802
6/6/2005 (28)	85	1.49	5260	580	89	1646	394	0.78	2.05	0.62	1.56	1664	2410
13/6/2005 (35)	65	2.02	5460	3170	42	703	531	0.85	2.40	0.65	1.83	1562	2436
20/6/2005 (42)	65	1.79	4840	1770	63	1526	343	0.83	2.15	0.63	1.63	1886	2436
27/6/2005 (49)	65	1.89	5120	860	83	754	651	0.62	1.95	0.48	1.55	1760	2205
4/7/2005 (56)	65	1.95	5280	650	88	1097	686	0.81	1.53	0.62	1.19	1736	2320
11/7/2005 (63)	45	2.95	5540	2290	59	1714	1029	0.51	1.63	0.40	1.12	2216	2488
18/7/2005 (70)	45	3.10	5820	1780	69	1337	926	0.83	1.25	0.56	0.94	1936	2212
25/7/2005 (77)	45	2.97	5560	1500	73	1834	806	0.61	0.84	0.46	0.62	2220	2440
1/8/2005 (84)	45	3.05	5720	1270	78	1680	720	0.68	0.81	0.48	0.63	2168	2328
8/8/2005 (91)	45	2.90	5430	780	86	1646	617	0.60	0.75	0.45	0.61	2240	2440
15/8/2005 (98)	35	3.79	5520	2890	48	1303	960	0.52	0.88	0.40	0.68	1920	2144

ตารางที่ ๓-3 ข้อมูลการเดินระบบของระบบบำบัด UASB ทั้งสองระบบ

วันเวลา	pH _{in}	ถังบำบัด UASB ที่มีการเติมโคโคซาน			ถังบำบัด UASB ที่ไม่มีการเติมโคโคซาน		
		pH _{out}	ความสูงของ ชั้นตะกอน (cm)	ปริมาณ ก๊าซชีวภาพ (l d ⁻¹)	pH _{out}	ความสูงของ ชั้นตะกอน (cm)	ปริมาณ ก๊าซชีวภาพ (l d ⁻¹)
0	7.00	5.91	55	-	5.98	56	-
1	7.00	6.26	55	2.37	6.26	56	1.95
3	7.00	6.45	55	3.08	6.43	56	2.84
4	7.00	6.61	55.5	4.74	6.72	56	4.03
7	7.00	6.89	55.5	5.21	6.98	56	4.27
8	7.00	7.53	56	4.98	7.33	56	4.50
9	6.50	7.20	56	6.16	7.08	56	5.21
10	6.80	7.00	56	6.83	6.89	56	5.42
11	7.00	7.01	56	7.54	7.05	56	5.65
15	6.80	7.23	56	7.54	7.37	56	7.54
16	6.50	7.58	57	6.41	7.26	57	7.92
17	6.50	7.26	57	9.80	7.18	57	9.05
18	6.80	7.20	57	10.84	7.20	57	9.42
21	6.50	7.25	57	8.48	7.21	57	8.84
22	6.50	7.20	58	9.90	7.16	57	8.95
23	6.50	7.18	58	10.84	7.16	57	9.42
24	6.50	7.15	58	11.75	7.15	57	10.37
25	6.80	7.15	58.5	12.72	7.13	57	10.84
28	6.50	7.25	58.5	13.19	7.23	57	11.07
29	6.50	7.22	59	13.43	7.20	57	11.55
30	6.50	7.20	59	13.67	7.18	57.5	11.78
31	6.50	7.19	59	14.14	7.16	57.5	12.02
32	6.50	7.16	59	14.84	7.13	57.5	12.49
35	6.50	7.13	59	14.10	7.10	57.5	11.31
36	6.50	7.10	59	13.86	7.01	57.5	10.68
37	6.50	7.08	59	14.59	7.12	57.5	10.56
38	6.50	7.06	59.5	14.98	7.11	57.5	11.49
39	6.50	7.05	59.5	15.12	7.11	57.5	11.94
42	6.80	7.02	59.5	15.71	7.05	57.5	10.95
43	6.50	7.13	59.5	15.08	7.11	57.5	11.84
44	6.50	7.06	59.5	15.35	7.13	57.5	11.24
45	6.50	7.04	59.5	15.95	7.09	58	10.56
46	6.80	7.00	59.5	16.02	7.15	58	9.85
49	6.50	7.13	59.5	15.71	7.16	58	10.37
50	6.50	7.10	59.5	15.39	7.09	58	10.37
51	6.50	7.09	59.5	16.02	7.02	58	11.31
52	6.50	7.06	59	16.34	6.97	58	11.62
53	6.80	7.05	59	16.96	7.00	58	11.94

ตารางที่ ๓-3 (ต่อ)

วันสะสม	pH _{in}	ถังบำบัด UASB ที่มีการเติมโคโคซาน			ถังบำบัด UASB ที่ไม่มีการเติมโคโคซาน		
		pH _{out}	ความสูงของ ชั้นตะกอน (cm)	ปริมาณ ก๊าซชีวภาพ (l d ⁻¹)	pH _{out}	ความสูงของ ชั้นตะกอน (cm)	ปริมาณ ก๊าซชีวภาพ (l d ⁻¹)
56	6.50	7.15	59	16.96	7.09	58	12.25
57	6.50	7.16	59	17.28	7.07	58	11.62
58	6.50	7.13	59	16.96	7.05	58	11.94
59	6.50	7.15	59	17.59	7.02	58	11.94
60	6.50	7.11	59	17.59	7.01	58	12.25
63	6.80	7.00	59	17.34	6.91	58	10.56
64	6.50	7.06	59	16.59	7.08	58	10.18
65	6.50	7.05	59	16.59	7.08	58	10.56
66	6.50	7.05	59	15.83	7.05	58	10.56
67	6.80	7.02	59	15.46	7.00	57	9.80
70	6.50	7.20	58	15.83	7.12	57	9.80
71	6.50	7.15	58	17.34	7.13	57	10.18
72	6.50	7.12	58	17.72	7.10	58	10.18
77	6.80	6.92	58	17.72	6.85	58	8.29
78	6.80	6.98	58	18.85	6.92	57.5	9.42
79	6.50	7.18	58	17.34	7.10	57.5	10.18
80	6.50	7.15	58	17.34	7.24	57.5	9.80
81	6.50	7.13	58	18.10	7.18	57.5	10.56
84	6.50	7.06	58	18.10	7.10	57.5	11.31
85	6.50	7.05	58	18.47	7.12	57.5	11.31
86	6.50	7.03	58	18.85	7.09	57.5	11.69
87	6.50	7.02	58	19.60	7.06	57.5	12.06
88	6.80	6.99	58	19.98	6.95	57	11.69
91	6.50	7.14	57	18.85	7.12	57	12.44
92	6.50	7.10	57	18.85	7.16	57	11.31
93	6.50	7.09	57	19.23	7.15	57	12.06
94	6.50	7.05	56	18.85	7.13	57	12.44
98	6.50	7.00	56	17.34	7.10	57	12.82
99	6.80	7.12	56	16.96	7.08	57	12.06
100	6.50	7.05	56	17.34	7.18	56	11.31

ตารางที่ จ-4 ข้อมูลการเปรียบเทียบค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดกับค่าของแข็งทั้งหมด

ครั้งที่	ค่า TSS (g l^{-1})	ค่า TS (g l^{-1})
1	35.90	35.90
2	35.95	35.95
3	35.48	35.50

ภาคผนวก ข

บทความรายงานสัมมนาวิชาการการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31
18-20 ตุลาคม 2548
ณ เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

ผลของไคโตซานต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในระบบ Upflow Anaerobic Sludge Bed

EFFECT OF CHITOSAN ON THE EFFICIENCY OF UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BED SYSTEM

สิทธิพงษ์ เลิศสิทธิชัย¹, ปราณี เลิศสุทธีวงศ์² และ จันทพร ผลากรกุล¹

Sittipong Loeisittichai¹, Pranee Lertsutthiwong², Chantaraporn Phalakornkule¹

¹Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand.

²Center for Chitin-Chitosan Biomaterials, Metallurgy and Materials Science Research Institute, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand.

บทคัดย่อ: การก่อตัวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และการลดการสูญเสียตะกอนออกจากระบบ มีความสำคัญต่อการทำงานของระบบ Upflow Anaerobic Sludge Bed (UASB) ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้จึงนำวัสดุชีวภาพไคโตซานที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล เท่ากับ 85% มาใช้ในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตผลไม้กระป๋องด้วยระบบดังกล่าว เพื่อลดการสูญเสียตะกอนออกจากระบบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียกับถัง UASB ที่ไม่เติมไคโตซาน จากผลการทดลอง พบว่า ไคโตซานสามารถลดการสูญเสียตะกอนจุลินทรีย์ออกนอกระบบ ประมาณ 21-67 % และสามารถกำจัดความสกปรก (ซีโอดี) ได้สูงกว่าถัง UASB ที่ไม่เติมไคโตซาน ประมาณ 5-10% รวมถึงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่สูงกว่าและขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ใหญ่กว่า ประมาณ 21-53 % และ 25-50 % ตามลำดับ

Abstract: The formation of microbial granules and the reduction of granule losses at the outflow are important for optimal performance of Upflow Anaerobic Sludge Bed (UASB) system. To study the effect of chitosan on the reduction of granule losses and enhance the efficiency of UASB, chitosan with degree of deacetylation of 85% was added to UASB reactors treating wastewater from a fruit-canning factory. The results showed that the use of chitosan was able to reduce the microbial granule losses about 21-67% and 5-10% higher on the reduction of chemical oxygen demand (COD) comparing with the control (without chitosan). In addition, the rate of biogas production and the size of granules were about 21-53% and 25-50% higher, respectively, comparing with the control.

Introduction: The most favorite anaerobic wastewater treatment in industry is Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) system because it can take high organic concentration of wastewater loading efficiently. The principle of UASB is using microorganism to digest organic in wastewater treatment. The efficiency of UASB depends on the characteristic of granular sludge. The low-density granular sludge will be flow up to top of reactor and be washed out of reactor. So granular sludge should have high-density for remaining in the reactor without washing. Adding synthetic polymer is the interesting method to make granular sludge having higher density and remaining in reactor for longer period.

The synthetic polymer is hazardous to human and can cause environmental problem so natural polymer is better alternative. Chitosan is the natural polymer, which can be found in shell. It has a lot of high cationic amino group, which can cause granular sludge. From the research of R.El – Mamouni (1998) found that in the UASB chitosan could make larger granular sludge. So this research is studied the effect of chitosan to UASB wastewater treatment.

Objective: Comparing the efficiency of UASB wastewater treatment between with and with adding chitosan.

Materials and Methods: Wastewater was obtained from a fruit-canning factory named Malee Sampran Factory. The main components consisted of sugars and various fruit debris such as rambutan, lychee, pineapple, orange and guava, which were removed by a static hydro-screening. The COD was 4,500-6,000 mg l⁻¹ and pH about 5-6. Two reactors with working volume of 30 liter were made of clear acrylic. Each reactor was in a cylindrical shape with 1.1 m in height and a conventional three-phase separator. The reactors were inoculated with anaerobic sludge from Huaw-Kwang Domestic Wastewater Treatment Plant and the initial volatile solid concentration was 15 kg VSS m⁻³. The acclimatization of the sludge was carried out in each reactor until COD removal was more than 80%. Subsequently, the wastewater was recirculated to each reactor everyday for a week, and the start-up period was followed by gradually flowing wastewater at hydraulic retention time (HRT) 85 h corresponding to organic loading rate (OLR) 1.45 kg COD m⁻³ d⁻¹. Chitosan solution 1% (W/V) was added to the first reactor in the dosage of 2 mg chitosan per g dried sludge, while the second reactor was

without chitosan. After COD removal was constant at 85%, the HRT was further reduced in a stepwise fashion, i.e., 65 and 45 h, respectively. Samples from the influent, sampling ports of UASB and effluent were collected periodically for analyses of COD, Volatile Fatty Acid (VFA), pH and washout of biomass by following the Standard Methods (Greenberg et al., 1990). The amount of generated biogas was recorded using liquid displacement gas meters.

Results, Discussion and Conclusion: The acclimatization period, which lasted for 2 months, enabled the system to rapidly adjust itself to the wastewater at HRT 85 h (OLR = $1.45 \text{ kg COD m}^{-3} \text{ d}^{-1}$). Fig. 1 is the plot of OLR and HRT as a function of operation days. Figs. 2 and 3 show the washout of biomass and percent COD removal, respectively. Figs. 4 and 5 show the biogas production and average particle size, respectively.

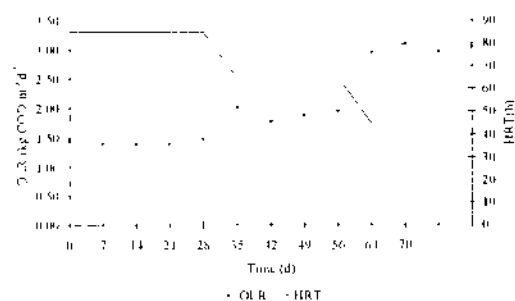


Fig.1. OLR and HRT against time

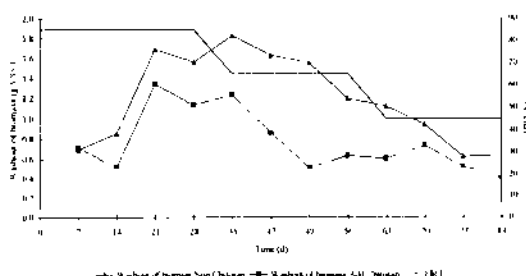


Fig.2. Washout of biomass against time

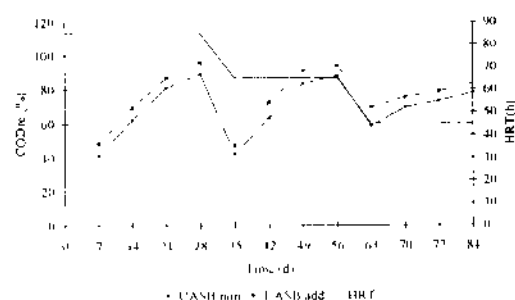


Fig.3. COD removal against time

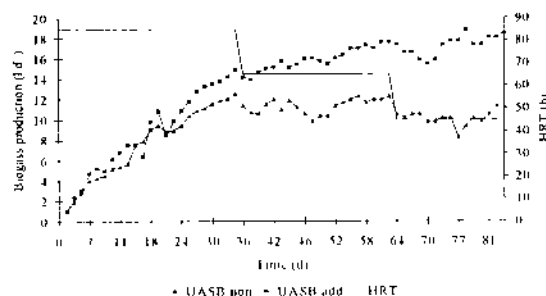


Fig.4. Biogas production against time

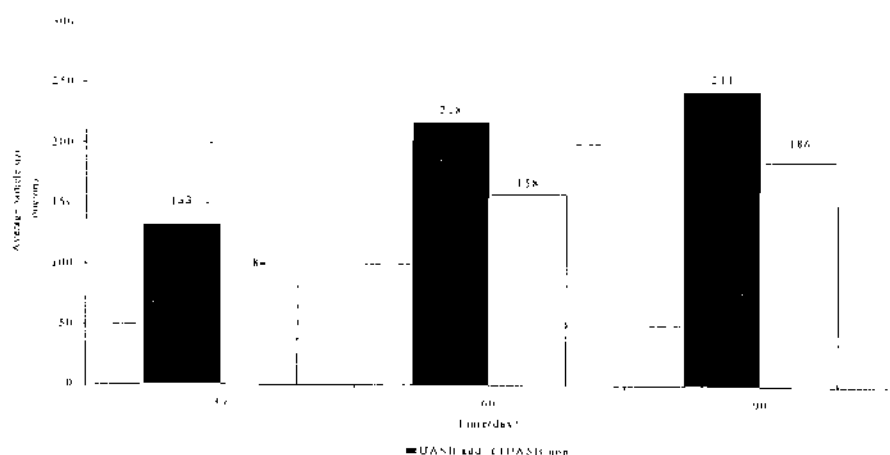


Fig.5. Average particle size against time

Two reactors were successfully started up, and were efficient for treatment of wastewaters from the fruit-canning factory. However, the UASB reactor with added chitosan solution showed better performance than that without added chitosan, i.e. 16-67% lower biomass washout, 5-10% higher COD removal, 8-50% higher biogas production, and 24-37 % larger size of microbial granules.

Reference:

Greenberg, A.E., Connors, J.J., and Jenkins, D. (1990) Standard Methods. American Public Health Association, American Public Association, Washington.

El-Mamouni, R., Leduc, R., and Guiot, S.R. "Influence of synthetic and natural polymers on the anaerobic granulation process". *Wat.Sci.Tech.* 38, (1998) : 341-347.

Keyword: Upflow Anaerobic Sludge Bed System, chitosan, granule, biomass, biogas wastewater treatment, COD

ภาคผนวก ข

บทความการประชุมวิชาการ CHEMECA' 2006 Conference

17-20 กันยายน 2006

ณ The University of Auckland and the Society of Chemical Engineers New Zealand

ประเทศนิวซีแลนด์

EVALUATION OF CHITOSAN CHARACTERISTICS FOR FLOCCULATION OF ANAEROBIC SLUDGE AND ENHANCEMENT OF UASB PERFORMANCE

C. Phalakornkule^a, C. Kaseamchochong^a, S. Lertsittichai^a, P. Lertsuthiwong^b

^aDepartment of Chemical Engineering, King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok, Bangkok 10800 THAILAND

^bCenter for Chitin/Chitosan Biomaterials, Metallurgy and Materials Science Research Institute, Chulalongkorn University, Phyaithai Rd.,

Bangkok, 10330 THAILAND

E-mail: cpk@kmitnb.ac.th

Abstract

The first part of this study investigated chitosan characteristics, i.e. degree of deacetylation (DD) and molecular weight that allowed high sludge flocculation with minimum dosage under the defined environmental conditions. Chitosan with 85%DD was more effective than that with 70%DD as the former required lower dose to obtain 90% flocculation at all studied pH and ionic strength. In addition, low molecular weight chitosan (MW = 2.5×10^5 dalton) enhanced the flocculation better than high molecular weight chitosan (MW = 1.4×10^6 dalton). The chitosan was able to function either in acidic or neutral conditions, and very small amounts of chitosan (< 4 mg/g suspended solids) were required. The second part of this study investigated the effect of adding chitosan with 85%DD and MW of 2.5×10^5 dalton on the performance of a UASB reactor. Only small amounts of chitosan were applied (two injections with 2 mg chitosan/g suspended solids at each injection). The UASB performances were studied through analyses of chemical oxygen demand removal, biogas production rate, washout of biomass and granular size. Throughout the course of experiment and in comparison with the UASB without chitosan addition, the UASB with chitosan addition had 9-59% lower effluent COD, 4-10% higher COD removal, up to 35% higher biogas production rate, 16-68% lower biomass washout and 24-37% larger granule size.

Keywords: chitosan, anaerobic sludge, flocculation, UASB, wastewater

1. INTRODUCTION

The performance of upflow anaerobic sludge bed (UASB) system is highly dependent on granulation process with particular organic wastewater. In general the start-up period of sludge granulation requires 2-8 months (Liu *et al.*, 2003). To reduce the space-time requirements of UASB like reactors, the use of synthetic or natural polymers is desired (El-Mamouni *et al.*, 1998). The typical synthetic polymers used for flocculation are copolymers of acrylamide and some cationic monomer, commonly a quaternary ammonium salt of a vinylpyridine. However, replacement of acrylamide-based polymers by natural ones has a growing potential due to their biodegradability, less adverse effects on human health, and renewable sources (Srinivas *et al.*, 2003). One attractive alternative is chitosan biopolymer

or poly[β -(1 $\rightarrow$ 4)-2-amino-2-deoxy-D-glucopyranose] which is mainly produced by alkaline deacetylation of chitin. Under slightly acidic condition, chitosan, whose pKa of the amino group is about 6.5, contains high positive charges and thereby very attractive for flocculation due to its binding to the negative cell walls of bacteria. In UASB systems, chitosan enhanced sludge granulation and shortened the start-up period (El-Mamouni *et al.*, 1998; Thavcesn *et al.*, 1995). However, only few studies focused on the influence of chitosan characteristics especially degree of deacetylation and molecular weight on granulation process under various pH and ionic strength.

The present work aimed to investigate the effect of chitosan characteristics, i.e. degree of deacetylation and molecular weight, and environmental conditions, i.e. ionic strength and pH, on the flocculation efficiency. The study would help find the appropriate chitosan characteristics that allowed high sludge flocculation with minimum dosage under the defined environmental conditions and investigated the effects of chitosan addition on the performance of a 30-liter UASB for wastewater treatment of a fruit-processing industry.

2. MATERIALS AND METHOD

2.1 Sludge suspension

Anaerobic sludge was obtained from Huaw-Kwang Domestic Wastewater Treatment Plant, Bangkok, Thailand. The zeta potential of the non-settleable fraction of the sludge was measured in triplicate according to Vogelaar *et al.* (2005) using a Malvern Zetasizer 3000 HS₄ (Malvern Instruments Ltd., United Kingdom). Sludge particle size distribution was measured using a Malvern Mastersizer 2000 particle size analyzer with measuring range 0.02-2000 μ m (Malvern Instruments Ltd., United Kingdom). The water contact angles on sludge flocs were measured according to Strand *et al.* (2002) using Contact Angle System OCA (OCA 15plus, DataPhysics Instruments GmbH, Germany). The sludge characteristics, i.e. zeta potential at pH 7 and ionic strength 0.1 M, volume weighted mean of diameter, and water contact angle, were -12.5 ± 1.0 mV, 28.75 μ m, 73.74 $\pm$ 2.54 $^\circ$, respectively. The sludge was diluted until the sludge concentration was 12,000 mg/L, a typical starting concentration in a UASB (Lettinga *et al.*, 1980). It was then adjusted to appropriate ionic strength with NaCl (0.1 M) and used as the initial sludge suspension.

2.2 Chitosan

Chitosan with 70%DD (M70) was prepared by alkaline deacetylation of shrimp chitin (Lertsuthiwong *et al.*, 2002). Chitosan with 85%DD (M85) was provided by Taming Enterprises Co., Ltd., Samutsakorn, Thailand and that with 82% DD (H82) with weight-average molecular weight of 1.38×10^6 dalton was obtained from the Center for Chitin-Chitosan Biomaterials, Chulalongkorn University. The characteristics of chitosan are tabulated in Table 1. The degree of deacetylation was determined by the first derivative ultraviolet spectrophotometry method (Muzzarelli and Rocchetti, 1965) with modification of Tan *et al.* (1998). The weight-average molecular weight (Mw) was analyzed using gel permeation chromatography. Viscosity of 1% chitosan in 1% acetic acid was measured at 25°C using Brookfield viscometer (model LV-DV-II⁺, Brookfield Engineering Laboratories Inc., USA). The solubility was calculated from the amount of insoluble matters after shaking 1% chitosan in 1% acetic acid at 100 rpm, 25°C for 24 h. Chitosan stock solution (1% w/v) was prepared by dissolving 1 g of chitosan in 100 mL of 1% acetic acid and shaking the solution at 200 rpm (Orbital shaker, SK-101, Diligent, Thailand) at room temperature for 24 h.

Table 1. Characteristics of the chitosan used in this study

Chitosan samples	Ash content (%)	DD (%)	Mw (dalton)	Protein content (%)	Viscosity (cps)
M70	0.22	70.9	490296	3.31	72.70
M85	1.16	84.3	347866	2.79	33.20
H82	0.27	82.4	1.38×10^6	2.41	670

2.3 Flocculation

The flocculation assay was performed using the method modified from ASTM D2035-80 (2003). The initial sludge suspension (500 mL) was transferred into a 600 mL-beaker and chitosan stock solution was then added at the concentration of 0-45 mg chitosan/g oven dried (o.d.) sludge (or equivalent to g suspended solids). Stirring of the suspension was continued for 1 min and pH of the suspension was adjusted to 5, 6 or 7 with either 1% acetic acid or 3% sodium carbonate depending on the pH of chitosan added suspension. After continuous mixing at 120 rpm for 1 min, and at 50 rpm for 20 min, respectively, it was allowed to stand at room temperature for 15 min and a supernatant was then pipetted from the middle of the supernatant portion. The turbidity of supernatant was determined

using a Turbidimeter (model 6035, Jenway Ltd., United Kingdom). The flocculation was calculated from the decrease in turbidity of supernatant after 'treatment' with chitosan compared to the reference without chitosan.

2.4 Effect of ionic strength

Two levels of ionic strength were used in this study. The sludge suspension was adjusted with NaCl to get the high ionic strength (0.1 M) and with deionized water to get low ionic strength (0.01 M). These suspensions were then used in the flocculating assay described in 2.3.

2.5 UASB reactor system

Two identical reactors with a working volume of 30 liters were made of clear acrylic. Each reactor was a cylindrical shape, 1.1 m in height and 20 cm in diameter (Figure 1). One reactor (R1) had no chitosan added and served as a control, while chitosan was added to the reactor (R2).

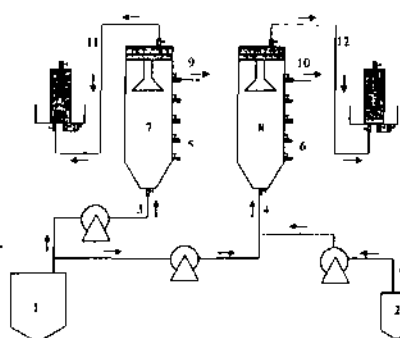


Figure 1. Schematic diagram of the UASB reactor system with two reactors running in parallel.

1, Influent wastewater tank; 2, Chitosan solution tank; 3, 4, Influent; 5, 6, Sampling ports; 7, UASB-R1; 8, UASB-R2; 9, 10, Effluent; 11, 12, Biogas out; 13, 14, Gasometers.

2.5 Wastewater feed for UASB system

The wastewater feed was from the Malee Sampran factory (Nakonpathom, Thailand) a fruit canning factory. The main components consisted of sugars, while various fruit debris such as rambutan, lychee, pineapple, orange and guava were removed by static hydro-screening. The wastewater composition varied with the COD of 5,130-5,520 mg l⁻¹, pH between 5-6 and ionic strength of 0.028-0.036 M. The main characteristics of the wastewater are presented in Table 2. The pH of the wastewater was adjusted to 6.5-7.0 before loading to the reactors.

Eval. of chitosan char. for flocc. of anaerobic sludge and enhance. of UASB perform. Phalakornkule et al.

Table 2. Main characteristics of the wastewater from the canned fruit production factory used in this study

Parameter	Minimum maximum values
Chemical oxygen demand (COD, mg l ⁻¹)	5 130 5 520
Volatile fatty acid (VFA, mg l ⁻¹)	703 1 834
Suspended solid (SS, g l ⁻¹)	0.52-0.85
Volatile suspended solid (VSS, g l ⁻¹)	0.40-0.68
Turbidity (NTU)	100-45
pH (on the first day of collection)	5-6

2.7 Acclimatization, start-up, and operation

A sludge suspension with an initial volatile suspended solid concentration of 12 kg VSS m⁻³ was inoculated into the reactors. The acclimatization of the sludge was carried out in each reactor until COD removal was approximately 80%. The wastewater was then recirculated in the reactor everyday for a week and the start-up period was followed by gradually flowing wastewater at a hydraulic retention time (HRT) of 85 h corresponding to an organic loading rate (OLR) of 1.45 kg COD m⁻³ d⁻¹. Chitosan was added to R2 at 2 mg/g suspended solids (66 mg/liter of reactor) on the second day and at 2 mg/g suspended solids (27 mg/liter of reactor) on the thirty-seventh operating day. After the COD removal of a reactor was greater than 80% for at least 3 times the HRT, the HRT of both reactors were further reduced in a stepwise fashion, i.e., 85, 65, 45 and 35 hours. The reactor performances were investigated for 98 days. The pH values of the wastewater were adjusted to 6.5-7.0 with the addition of sodium carbonate.

2.8 Analytical methods

Samples from the reactor influent, sampling ports and effluent were collected periodically for analyses of COD, volatile fatty acid (VFA), suspended solids (SS), VSS and pH by Standard Methods (Greenberg et al. 1990). The sludge particles were taken from each sampling port to estimate the size distribution by a laser particle size analysis system (Mastersizer 2000, Malvern Instruments Ltd., United Kingdom). The amount of generated biogas was recorded using liquid displacement gasometers.

3. Results

3.1 Effect of degree of deacetylation, pH, ionic strength on flocculation

Both chitosan M85 (DD = 85%) and M70 (DD = 70%) were able to enhance the flocculation of sludge at pH 7. Approximately 90% flocculation was obtained when only small amounts of chitosan M85 were added to the system (2 mg chitosan per g suspended solids) whereas, flocculation efficiency of chitosan M70 was approximately

80% at the same chitosan concentration ($P < 0.05$). The maximum flocculation (up to 95%) of both types of chitosan was achieved after applying a chitosan concentration of 4 mg/g suspended solids to the system. Based on the maximum flocculation, chitosan with DD of either 70 or 85% did not show a significant difference ($P > 0.05$).

High (0.1 M) and low (0.01 M) ionic strength were used to represent the ionic strength of sludge adjusting with sodium chloride and with deionized water respectively. At pH 7, the pattern of flocculation using chitosan M70 in the sludge suspension containing high ionic strength was similar to that containing low ionic strength, as shown in Figure 2. In contrast, at pH 5 and low ionic strength, the flocculation regions where the flocculation value was above 95% became narrower, and restabilization occurred after adding 20 mg chitosan/g suspended solids. Ionic strength had a more or less similar effect on the flocculation of M85, as shown in Figure 3. In an acidic condition with low ionic strength, the flocculation dropped drastically to 45%, as shown in Figures 2 and 3. However, the restabilization was less prominent at high ionic strength at the same pH. For instance, at the highest chitosan concentration applied in this experiment (45 mg/g suspended solids), percent flocculation increased from approximately 45% to approximately 90% for both chitosan M70 and M85, as ionic strength increased to 0.1 M.

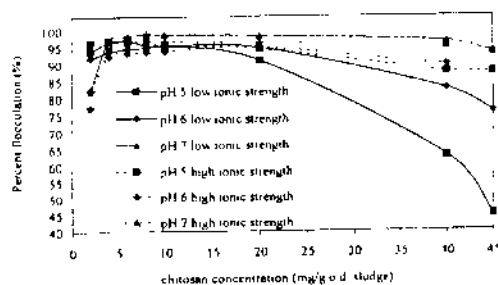


Figure 2 Flocculation as a function of chitosan M70 concentration in sludge suspension at different pH and ionic strength.

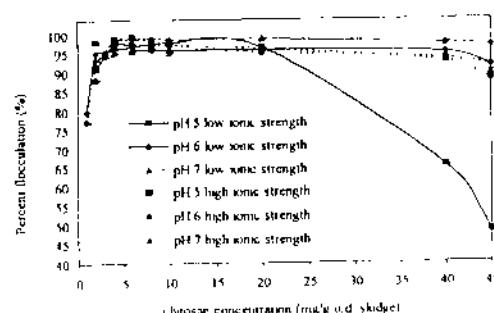


Figure 3 Flocculation as a function of chitosan M85 concentration in sludge suspension at different pH and ionic strength

3.2 Effect of molecular weight of chitosan on flocculation

To study the effect of molecular weight of chitosan on flocculation, the deacetylation of chitosan samples was controlled at $83 \pm 2\%$. Two levels of molecular weight (3.48×10^5 and 1.38×10^6 dalton) were used in this study and named chitosan M85 and H82, respectively. Figure 4 indicates percent flocculation as a function of chitosan M85 and H82 concentration in sludge suspension at various pH values and high ionic strength. Chitosan M85 was the better flocculant for all pH values. Another important note is that 90% flocculation by chitosan H82 occurred over a very narrow range for all pH values.

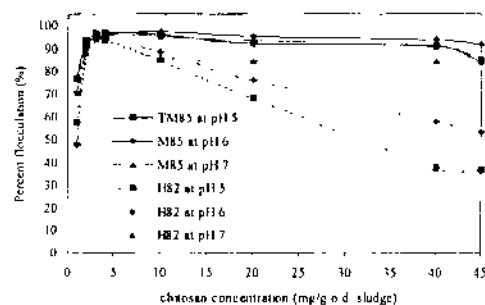


Figure 4 Percent flocculation as a function of chitosan M85 and H82 concentration in sludge suspension at various pH values with ionic strength of 0.1 M.

3.3 Organic loading rate and COD removal efficiency of UASB operation

The reactor was started with an HRT of 85 h (organic loading rate, OLR = $1.45 \text{ kg COD m}^{-3} \text{ d}^{-1}$). After COD removal was constant again at 80%, the HRT was further reduced in a stepwise fashion, i.e., 85, 65, and 45. Throughout the operating process, the COD of the influent varied between 5,130–5,520 mg l^{-1} , while the OLR values ranged between 1.45–3.79 $\text{kg COD m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ during the 98 operating days, as shown in Figure 5. From the first to the last day reported in this study, the COD effluent of R2 was 9–59% lower (Figure 6), while the removal efficiency was 4–10% higher than that of R1 (Figure 7).

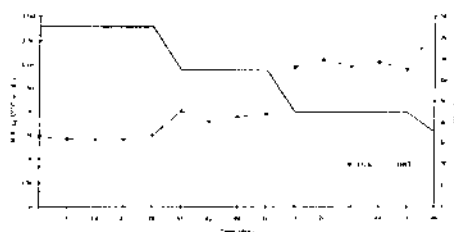


Figure 5 Organic loading rate and hydraulic retention time against time.

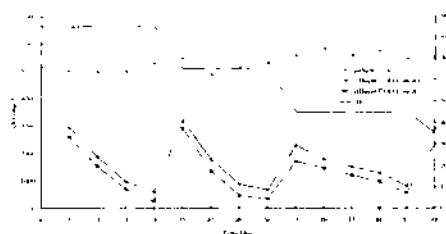


Figure 6 COD influent and effluent against time.

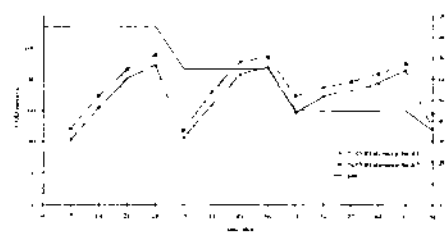


Figure 7 COD removal efficiency against time.

3.4 VFA and biogas production of UASB

VFA and biogas production during the 98 operating days are shown in Figures 8 and 9, respectively. VFA from R2 was continuously lower than that of R1. The lower VFA values corresponded to higher biogas production as it is well known that VFA is an intermediate for methane production during methanogenesis (Daniels, 1984). Figure 9 illustrates that biogas production of R2 continuously increased to 20 liters per day, while that of R1 to 13 liters per day during the period of study. Based on the current prices of chitosan and Bunker C fuel oil (\$20/kg and \$0.25/liter, respectively) and the heating values of biogas and Bunker C fuel oil (24 MJ m^{-3} and 40 MJ/liter , respectively), the more biogas produced could compensate well for the cost of chitosan added to the system.

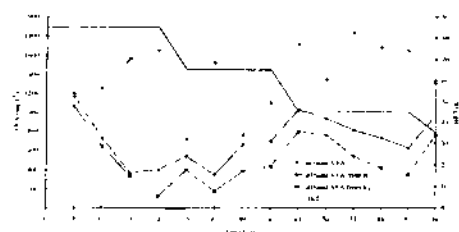


Figure 8 VFA Influent and effluent against time.

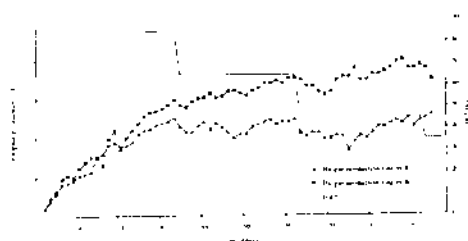


Figure 9 Biogas production against time

3.5 Biomass washout and average particle size

Biomass washout or VSS at the reactor effluent is shown in Figure 10. Biomass washout increased in the early operation days and then started to decrease after 35 days, presumably due to the progress of the granulation process. Biomass washout of R2 was continuously lower than that of R1 (16-68% lower biomass washout). After 30 days of operation, small granules became visible at each reactor bottom. They were taken for analysis of granule size. Figure 11 presents the average particle size on Day 30, 60 and 90. R2 was found to constantly have higher average particle sizes, which was in agreement with its lower biomass washout.

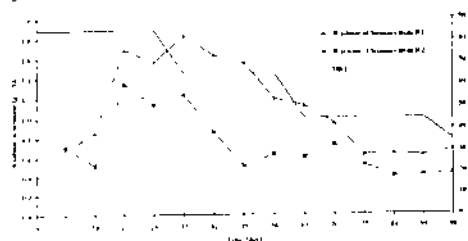


Figure 10 Washout of biomass or VSS at the effluent against time

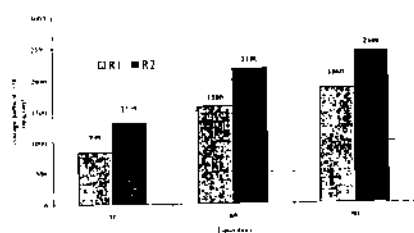


Figure 11 Average particle size at Day 30, 60, and 90

4. CONCLUSION

Flocculation efficiency of chitosan was sensitive to its characteristics and pH and ionic strength of the environment. An increase in deacetylation from 70 to 85% led to a two-fold reduction in chitosan concentration necessary for 90% flocculation at pH 7. At pH 5 and low ionic strength a dramatic decrease in percent flocculation indicating restabilization was observed as the cell surface charges became reversed. The flocculation regime was very narrow at this

condition. However, the increase in ionic strength to 0.1 M helped reduce restabilization and broaden the flocculation ranges. An increase in molecular weight of chitosan was not a favorable factor in this system. The effect of chitosan with a degree of deacetylation of 85% and a molecular weight of 2.5×10^5 dalton on the performance of a UASB reactor was investigated. Compared to other studies, only small amounts of chitosan were applied (two injections with 2 mg chitosan/g suspended solids at each injection). Throughout the course of the experiment and in comparison with the UASB without chitosan addition, the UASB with chitosan addition had a 9-59% lower effluent COD, 4-10% higher COD removal, up to 35% higher biogas production rate, 16-68% lower biomass washout and 24-37% larger granule size. The more biogas could then compensate more for fuel oil, and based on the current prices of chitosan and Bunker C fuel oil, the more biogas produced could compensate well for the cost of chitosan added to the system.

REFERENCES

- ASTM D2035-80. (2003) *Standard practice for coagulation-flocculation jar test of water*, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- Daniels L. (1984) *Biological methanogenesis. Physiological and practical aspects*. Trends in Biotechnol. 2, 4, 98.
- El-Mamouni R, Leduc R, Gurol SR. (1998) *Influence of synthetic and natural polymers on the anaerobic granulation process*. Water Sci Technol., 38(8-9), 341-7.
- Greenberg AE, Connors JJ, Jenkins D. (1990) *Standard Methods*. American Public Health Association, American Public Association Washington.
- Lertsuthiwong P, How NC, Chandkrachang S, Stevens WF. (2002) *Effect of chemical treatment on the characteristics of shrimp chitosan*. J. Met Mater Miner., 12(1), 11-8.
- Lettinga G, van Velsen AFM, Hobma SW, de Zeeuw W, Klapwijk A. (1980) *Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment especially for anaerobic treatment*. Biotechnol Bioeng., 22, 699-734.
- Liu Y, Xu H-L, Yang S-F, Tay J-H. (2003) *Mechanisms and models for anaerobic granulation in upflow anaerobic sludge blanket reactor*. Water Res., 37, 661-73.
- Muzzarelli RAA, Rocchetti R. (1985) *Determination of the degree of acetylation of chitosans by first derivative ultraviolet spectrophotometry*. Carbohydr Polym., 5, 461-72.
- Strand SP, Nordengen T, Østgaard K. (2002) *Efficiency of chitosans applied for flocculation of different bacteria*. Water Res., 36, 4745-52.
- Strand SP, Vårn K, Østgaard K. (2003) *Interactions between chitosans and bacterial suspensions: adsorption and flocculation*. Colloids and Surf B Biointerfaces., 27, 71-81.
- Tan SC, Khor E, Tan TK, Wong SM. (1998) *The degree of deacetylation of chitosan: advocating the first derivative UV-spectrophotometry method of determination*. Talanta, 45, 713-9.
- Thaveesri J, Daffonchio D, Liesens B, Vandermeren P, Verstraete W. (1995) *Granulation and sludge bed stability in upflow anaerobic*

Eval of chitosan char for flocc of anaerobic sludge and enhance of UASB perform. Phalakornkule et al

sludge bed reactors in relation to surface thermodynamics Appl
Environ Microbiol , 61(10) 3681-6

Vogelaar JCT, De Keizer A, Spijker S, Lettinga G (2005)
Bioflocculation of mesophilic and thermophilic activated sludge Water
Res , 39 37-46

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ : นายสิทธิพงษ์ เลิศสิทธิชัย
 ชื่อวิทยานิพนธ์ : ผลของไคโตซานต่อประสิทธิภาพของระบบถังบำบัดน้ำเสีย
 แบบกระบวนการชั้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น
 สาขาวิชา : วิศวกรรมเคมี

ประวัติ

ประวัติส่วนตัว เกิดวันที่ 19 มีนาคม 2523 สถานที่ติดต่อ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 1518 ถนนพิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10800 โทรศัพท์ 0-2913-2500-24 ต่อ 8236, 8230 โทรสาร 0-2587-0024

ประวัติการศึกษา ปี พ.ศ. 2541 - 2544 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

ประวัติการฝึกงาน เมษายน 2543 – พฤษภาคม 2543 บริษัท United Winery And Distillery Co., Ltd.

ผลงานทางวิชาการ

1. Sittipong Loeisittichsi, Pranee Lertsutthiwong and Chantaraporn Phalakornkule. 2005 EFFECTS OF CHITOSAN ON THE EFFICIENCY OF UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BED SYSTEM. In 31th Congress on Science and Technology of Thailand., 18-20 October 2005, Bangkok.

2. Chantaraporn Phalakornkule, Chudapak Kaseamchochoung, Sittipong Loeisittichsi and Pranee Lertsutthiwong. 2006 EVALUATION OF CHITOSAN CHARACTERISTICS FOR FLOCCULATION OF ANAEROBIC SLUDGE AND ENHANCEMENT OF UASB PERFORMANCE. Congress on The University of Auckland and the Society of Chemical Engineer New Zealand., 17-20 September 2006, New Zealand