สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์ด้วย *Pseudomonas putida*

T107765

กนกวลี คงสง

วน
ก125ก
2548

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 107765
วัน,เดือน,ปี 10 พ.ค. 2553

b.12210201
i.....

โครงงานพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Enhancement of Treatment Efficiency for Formaldehyde- Contaminated Synthetic Wastewater using *Pseudomonas putida*

Miss Kanokwalee Kongsong

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of

Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง การเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์ด้วย *Pseudomonas putida*

นักศึกษา นางสาว กนกวลี คงสง

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. ชลอ จารุสุทธิรักษ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย	.....
กรรมการ	ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์	.....
กรรมการ	ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์	.....

.....

(ผศ. ดร. ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง	การเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์ด้วย *Pseudomonas putida*
นักศึกษา	นางสาว กนกวลี คงสง
ภาควิชา	เคมี
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2548
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. ชลอ จารุสุทธิรักษ์

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์ด้วย *Pseudomonas putida* ในการบำบัดแบบใช้อากาศ โดยแปรค่าฟอร์มัลดีไฮด์เริ่มต้นเป็น 0 , 250 , 500 , 750 และ 1,000 มก./ล. และใช้เชื้อตะกอนจุลินทรีย์ 2 สภาวะได้แก่ การใช้ตะกอนสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียอย่างเดียวและการใช้ตะกอนสลัดจ์ร่วมกับ *Pseudomonas putida* จากการทดลองพบว่าการใช้ตะกอนสลัดจ์เพียงอย่างเดียว ไม่สามารถบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ได้ ในขณะที่ประสิทธิภาพในการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยเชื้อสลัดจ์ร่วมกับ *Pseudomonas putida* ที่ความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์เริ่มต้นเท่ากับ 250 , 500 , 750 และ 1000 มก./ล. เท่ากับร้อยละ 51.47 , 27.42 , 13.17 และ 9.61 การเพิ่มความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลงเนื่องจากผลของฟอร์มัลดีไฮด์ส่งผลในการยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์

คำสำคัญ : น้ำเสียที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์ , *Pseudomonas putida* , ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Enhancement of treatment efficiency for formaldehyde-contaminated synthetic wastewater using *Pseudomonas putida*

Name Miss Kanokwalee Kongsong

Department Chemistry

Program Environmental Resource Chemistry

Academic Year 2005

Special Project Advisor Dr. Chalor Jarusutthirak

Abstract

This special project studied the enhancement of treatment efficiency for formaldehyde-contaminated synthetic wastewater using *Pseudomonas putida* during aerobic process. Initial concentration of formaldehyde was varied at 0 , 250 , 500 , 750 and 1,000 mg/l. Activated sludge used in the study was classified into 2 conditions including that with sludge only and that with sludge and *Pseudomonas putida*. The result exhibited that a with only inoculated sludge, formaldehyde could not be removed, with sludge and *Pseudomonas putida*. Formaldehyde removeal efficiency were 51.47 , 27.42 , 13.17 and 9.61 % at the initial concentration of 250 , 500 , 750 and 1000 mg/l, respectively. An increase of formaldehyde concentration reduced the performance of sludge and *Pseudomonas putida* in formaldehyde removal due to its inhibitory effect.

Keyword : Wastewater contaminated with formaldehyde , *Pseudomonas putida* , Mixed Liquor Suspended Solid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายฝ่าย ผู้ทำโครงงานพิเศษ ขอขอบพระคุณ ดร. ชลอ จารุสุทธิรักษ์ ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ตรวจสอบและติดตามผลงานอย่างสม่ำเสมอ ขอขอบพระคุณผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์สำหรับคำแนะนำและกรุณาตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่อง รวมไปถึงคณาจารย์ในภาควิชาเคมีทุกๆท่านที่ให้คำปรึกษาปัญหาต่างๆ อีกทั้งขอขอบพระคุณความช่วยเหลือในทุกๆด้านจากเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการภาควิชาเคมี และเจ้าหน้าที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย

ขอขอบคุณสำหรับกำลังใจที่มีให้กันตลอดการทำงานในห้องปฏิบัติการสำหรับพี่นัฐพงษ์ แตงงาม พี่ปริญญา โท และเพื่อนๆเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทุกคน

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณกำลังใจที่สำคัญที่สุดของชีวิต คุณพ่อ คุณแม่ ที่ทำให้ลูกมาถึงวันนี้

กนกวลี คงสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
สัญลักษณ์และคำย่อ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 สารละลายฟอร์มัลดีไฮด์	4
2.1.1 คุณสมบัติทางเคมีของฟอร์มัลดีไฮด์	4
2.1.2 การใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ในอุตสาหกรรม	5
2.1.3 ผลของฟอร์มัลดีไฮด์	6
2.2 จุลินทรีย์	8
2.2.1 แบคทีเรีย	8
2.2.2 อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์	10
2.2.3 จุลินทรีย์กับระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจน	11
2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบ	13
2.3 การบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ทางชีวภาพ	15
2.3.1 จุลินทรีย์ที่สามารถบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์	15
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	20
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการศึกษา	20
3.2 วัสดุอุปกรณ์	20
3.3 การดำเนินการทดลอง	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

3.3.1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ 21
3.3.2 การเลี้ยงเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ 22
3.3.3 การศึกษาความสามารถในการเจริญเติบโตและการย่อยสลายฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยเชื้อ *Pseudomonas putida* ในขั้นต้น 23
3.3.4 การติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ 24
3.3.5 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ 24
3.4 การวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง 25
3.5 การทำกราฟมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์ 25
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล 26
4.1 การศึกษาการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์แบบใช้อากาศ 26
4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยสลัดจ์และสลัดจ์ร่วมกับ *Pseudomonas putida* 31
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 34
5.1 สรุปผลการทดลอง 34
5.2 ข้อเสนอแนะ 35
เอกสารอ้างอิง 36
ภาคผนวก 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณสมบัติทางเคมีของฟอร์มัลดีไฮด์	4
2.2	ปริมาณการนำเข้าฟอร์มัลดีไฮด์ของประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2521-2530	5
2.3	องค์ประกอบที่สำคัญของเซลล์แบคทีเรีย	9
ข-1	ปริมาณความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยสลัดจ์	44
ข-2	ปริมาณความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยสลัดจ์ร่วมกับ *Pseudomonas putida*	44
ข-3	ประสิทธิภาพในการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยสลัดจ์	45
ข-4	ประสิทธิภาพในการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยสลัดจ์ร่วมกับ *Pseudomonas putida*	45
ข-5	ค่าออกซิเจนละลายน้ำของระบบบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นต่างๆด้วยสลัดจ์	46
ข-6	ค่าออกซิเจนละลายน้ำของระบบบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นต่างๆด้วยสลัดจ์ร่วมกับ *Pseudomonas putida*	47
ข-7	ค่าพีเอชของระบบบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นต่างๆด้วยสลัดจ์	48
ข-8	ค่าพีเอชของระบบบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นต่างๆด้วยสลัดจ์ร่วมกับ *Pseudomonas putida*	49
ข-9	ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของระบบบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นต่างๆด้วยสลัดจ์และสลัดจ์ร่วมกับ *Pseudomonas putida*	50
ข-10	ค่า %T ที่วัดได้ทั้งหมดของระบบบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นต่างๆด้วยสลัดจ์และสลัดจ์ร่วมกับ *Pseudomonas putida*	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	สัณฐานวิทยาของแบคทีเรียทั่วไป	8
2.2	การแบ่งระยะการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์	10
2.3	ปฏิกิริยาและการเปลี่ยนแปลงต่างๆที่เกิดขึ้นในกระบวนการบำบัดทางชีววิทยาแบบไม่ต่อเนื่อง	12
2.4	ลักษณะเชื้อ *Pseudomonas putida* เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์	17
3.1	เชื้อ *Pseudomonas putida* TISTR 1522 ในรูป Lyophilyze	22
3.2	เชื้อ *Pseudomonas putida* TISTR 1522 หลังจากเพิ่มจำนวน	22
3.3	การทดสอบความสามารถในการเจริญของ *Pseudomonas putida* โดย (ก) ทดสอบบนอาหารแข็งปกติ (ข) ทดสอบบนอาหารแข็งที่มีฟอร์มัลดีไฮด์ 50 มก./ล.	23
3.4	ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ	24
4.1	ปริมาณความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ที่เหลือของน้ำเสียสังเคราะห์หลังผ่านการบำบัด ณ เวลาต่างๆ ด้วยสลัดจ์และสลัดจ์ร่วมกับ *Pseudomonas putida*	26
4.2	ค่าออกซิเจนละลายในน้ำของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์ที่ผ่านการบำบัดด้วยสลัดจ์	29
4.3	ค่าออกซิเจนละลายในน้ำของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์ที่ผ่านการบำบัดด้วยสลัดจ์ร่วมกับ *Pseudomonas putida*	29
4.4	ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มล.SS) ของน้ำเสียสังเคราะห์หลังผ่านการบำบัด ณ เวลาต่างๆ ด้วยสลัดจ์และสลัดจ์ร่วมกับ *Pseudomonas putida*	31
4.5	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยสลัดจ์และสลัดจ์ร่วมกับ *Pseudomonas putida*	32
ก-1	การจัดเตรียมสารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์	40
ข-1	กราฟมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์และคำย่อ

มก./ล.	=	มิลลิกรัมต่อลิตร
D_d	=	ออกซิเจนที่ลดลงจาก Saturated DO (mg/l) ณ เวลา t, mg/l
FDH	=	Formaldehyde dehydrogenase
[FM]	=	ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์
GSH	=	Glutathione
HAIB	=	Horizontal-Flow Anaerobic Immobilized Sludge Reactor
มล.SS	=	Mixed Liquor Suspended Solids
r_R	=	อัตราการเติมอากาศ
TOC	=	Total organic carbon
TKN	=	สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน
UASB	=	Upflow anaerobic sludge blanket
VFA	=	กรดไขมันที่ระเหยง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ

ฟอร์มัลดีไฮด์หรืออีกชื่อหนึ่งว่า "ฟอร์มาลิน" ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมหลายประเภท ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตกระดาษ เครื่องหนัง โลหะ สิ่งทอ ภาพถ่าย กาว เครื่องสำอาง การแพทย์ การเกษตร พลาสติก และ เรซิน เป็นต้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2541) ทำให้น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมเหล่านี้ปนเปื้อนไปด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ เมื่อปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมโดยไม่ได้รับการบำบัดอย่างถูกวิธีอาจก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ โดยจะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช สัตว์จุลินทรีย์ โดยมีผลเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในส่วนของแบคทีเรียเซลล์ เช่น สปอร์ , ผนังเซลล์ , ส่วนที่เป็นกลุ่มอะมิโน รวมทั้งสารพันธุกรรม ได้แก่ DNA กับ RNA (Soljan, 2001 และ Lahl and Zeschmar, 1984 อ้างถึงใน Lu and Hegemann 1997) นอกจากนี้ยังอาจไปสะสมในสัตว์น้ำ เมื่อสัตว์น้ำเหล่านี้เข้าไปในห่วงโซ่อาหารหรือเกิดการสะสมทางชีวภาพ (Bioaccumulation) ในระบบนิเวศ (สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2544) ซึ่งนับว่าเป็นอันตรายต่อระบบนิเวศอย่างมากรวมทั้งยังเป็นการทำลายวิสัยทัศน์อีกทางหนึ่งด้วย เนื่องมาจากการที่น้ำมีการปนเปื้อนสารพิษที่ย่อยสลายได้ยาก รวมไปถึงสารอินทรีย์อื่นๆที่ปะปนมาที่ไม่ได้ถูกย่อยสลายไป สัตว์น้ำอาจเกิดการตายมากขึ้น เมื่อนำน้ำดังกล่าวมาผลิตน้ำประปาทำให้ต้องเพิ่มสารเคมีในการบำบัด เป็นการเพิ่มต้นทุนในการบำบัดน้ำ (ยุพา ตันทวี, 2547)

การบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์มีด้วยกันหลายวิธีทั้งทางเคมีและทางชีวภาพ การบำบัดทางเคมี เช่น การใช้โอโซนในการบำบัดน้ำเสียเป็นผลให้ปริมาณซีโอดีในน้ำเสียลดลง (Garrido, 2000) การเติมโซเดียมซัลไฟต์ลงไปในน้ำเสียที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์ โซเดียมซัลไฟต์จะรวมตัวกับฟอร์มัลดีไฮด์เกิดเป็นโซเดียมฟอร์มัลดีไฮด์ไบซัลไฟต์เป็นผลให้กิจกรรมการย่อยสลายทางชีวภาพสูงขึ้น (Lotfy and Rashed, 2001) วิธีการเหล่านี้ถือเป็นวิธีทางเคมีที่ได้ประสิทธิภาพ แต่การใช้สารเคมีจะเกิดตะกอนเคมี เกิดขึ้นมากซึ่งเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการบำบัดให้สูงขึ้น นอกจากนี้การบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์สามารถใช้วิธีทางชีวภาพ โดยการบำบัดทั้งแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน พบว่าการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศสามารถกำจัดซีโอดีและฟอร์มัลดีไฮด์ได้ถึงร้อยละ 92 และ 99.7 ที่ความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์เริ่มต้น 26.2 ถึง 1,158.6 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ (Oliveira et al., 2004) ถึงแม้ว่าระบบการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศจะใช้พลังงานในการควบคุมระบบน้อยและผลิตสลัดจ์น้อยกว่าแต่พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ของระบบบำบัดแบบใช้อากาศมีประสิทธิภาพดีกว่าและระบบจะไม่เกิดการบวนฉันเนื่องมาจากความเป็นพิษของมีเทน อีกทั้งระบบการบำบัดแบบไม่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศต้องควบคุมอัตราส่วนซีโอดีต่อความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์มากกว่า 1,000 (Vidal, 1999) ดังนั้นระบบการบำบัดแบบใช้อากาศจึงเป็นทางเลือกดีกว่าในกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์

ในการกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยวิธีการทางชีวภาพมีข้อจำกัดเนื่องจากความเป็นพิษของฟอร์มัลดีไฮด์ โดยพบว่าการบำบัดแบบใช้อากาศที่ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์มากกว่า 300 มก./ล. ประสิทธิภาพการย่อยสลายฟอร์มัลดีไฮด์ของระบบลดลง (Lotfy and Rashed, 2001) และพบว่าหากฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำมีค่าความเข้มข้นเกินกว่า 500 มก./ล. กระบวนการใช้ออกซิเจนทางชีวภาพ จะถูกยับยั้งอย่างสมบูรณ์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2541) ส่วนระบบการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศที่ความเข้มข้นมากกว่า 238 มก./ล. (Vidal et al., 1999) ประสิทธิภาพการทำงานของจุลินทรีย์ลดลงถึงร้อยละ 50 และที่ความเข้มข้นประมาณ 5,400 มก./ล. สามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการย่อยสลายภายใน 6-12 ชั่วโมงได้ เป็นผลให้ระบบบำบัดล้มเหลวได้ (Oliveira, 2004)

ดังนั้นการคัดเลือกสายพันธุ์ของจุลินทรีย์ที่สามารถทนทานต่อฟอร์มัลดีไฮด์และย่อยสลายฟอร์มัลดีไฮด์ได้จึงเป็นสิ่งสำคัญต่อการบำบัดทางชีวภาพโดย Soljan et al. (2001) พบว่า *Pseudomonas putida* , *Pseudomonas cepacia* และยีสต์สายพันธุ์ *Hansenula* spp. , *Candida* spp. สามารถบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ได้ โดยใช้เอนไซม์ฟอร์มัลดีไฮโดรจีเนสในการย่อยฟอร์มัลดีไฮด์ จากความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์เริ่มต้น 1,000 มก./ล. ภายในระยะเวลา 18-24 ชั่วโมง ในการวิจัยนี้ได้มีการคัดเลือก *Pseudomonas putida* เติมในระบบการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์เปรียบเทียบกับการใช้สลัดจ์ผสมเชื้อคัดเลือก โดยวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์และผลของปัจจัยความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ที่มีอิทธิพลต่อระบบบำบัดน้ำเสีย

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์ระหว่างสลัดจ์กับสลัดจ์ร่วมกับเชื้อ *Pseudomonas putida*
2. เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์ผสมกับน้ำตาลซูโครส โดยกำหนดปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (Total organic carbon, TOC) มีค่าเท่ากับ 600 มก./ล.
2. การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพดำเนินการในลักษณะของ Jar test โดยใช้ขวดปริมาตร 1 ลิตรแทนถังปฏิกรณ์ชีวภาพ
3. ปัจจัยที่ใช้ควบคุมในการเดินระบบบำบัดน้ำเสีย
   - ปริมาณ TOC : N : P เท่ากับ 1 : 0.2 : 0.01
   - พีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ควบคุมที่ 8.0 ด้วยการเติมฟอสเฟตบัฟเฟอร์
   - ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ไม่ต่ำกว่า 1 มก./ล.
4. ตะกอนจุลินทรีย์ (Biosludge) ที่ใช้ในการทดลองนำมาจากการเลี้ยงในห้องปฏิบัติการด้วยน้ำเสียสังเคราะห์โดยมีน้ำตาลซูโครสเป็นแหล่งคาร์บอน
5. ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของระบบแบบใช้อากาศในการกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์โดยการเติมและไม่เติมเชื้อ *Pseudomonas putida* ร่วมกับสลัดจ์ที่ใช้เลี้ยงจากระบบตะกอนเร่งประเภทเอสบีอาร์โดยใช้น้ำตาลซูโครสเป็นแหล่งอาหารคาร์บอน ในสัดส่วนเท่ากับ 1 : 1 โดยมีปริมาตรเชื้อรวมเท่ากับ 15% ของปริมาตรน้ำเสียสังเคราะห์รวม
6. ศึกษาปัจจัยความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์เริ่มต้นที่มีผลต่อการบำบัดโดยแปรค่าความเข้มข้นเป็น 0 , 250 , 500 , 750 และ 1000 มก./ล. ทั้งนี้ควบคุมปริมาณทีโอซีให้คงที่ที่ 600 มก./ล. โดยปรับค่าด้วยน้ำตาลซูโครส

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงผลของความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์แบบใช้อากาศ
2. เป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์แบบใช้อากาศ
3. สามารถประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์จากโรงงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 สารละลายฟอร์มัลดีไฮด์

2.1.1 คุณสมบัติทางเคมีของฟอร์มัลดีไฮด์

สารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ หรืออีกชื่อหนึ่งว่า ฟอร์มิกแอลดีไฮด์ เมธานาล เมทธิลแอลดีไฮด์ และ เมทธิลีนออกไซด์ แต่ที่ความเข้มข้น 37 % สารละลายฟอร์มัลดีไฮด์จะเรียกว่า ฟอร์มาลิน ฟอร์มอล มอร์บิซิด และ เวราเคอร์ และถ้าอยู่ในรูปโพลีเมอร์จะเรียกว่า พาราฟอร์มัลดีไฮด์ พาราออกวีเมทธีลีน พาราฟอร์ม และฟอร์มาจีน มีเลขทะเบียนของสารเสี่ยงอันตราย (Chemical Abstract Service Registry Numbers , CAS) เท่ากับ 50-00-0 โดยมีคุณสมบัติทางเคมีดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางเคมีของฟอร์มัลดีไฮด์

คุณสมบัติทางเคมี	รายละเอียด
สูตรโมเลกุล	CH_2O
สูตรโครงสร้าง	
น้ำหนักโมเลกุล	30.03
สี	ใส ไม่มีสี
ลักษณะทางกายภาพ	ของเหลว
จุดหลอมเหลว	-92 องศาเซลเซียส
จุดเดือด	-21 องศาเซลเซียส
ความหนาแน่นที่ 20 องศาเซลเซียส	0.815 กรัมต่อมิลลิลิตร
กลิ่น	ฉุน , แสบจมูก , กลิ่นไม่พึงประสงค์
ปริมาณต่ำสุดที่จะรับกลิ่นได้	ในน้ำ : 50 พีพีเอ็ม , ในอากาศ : 0.5-1.0 พีพีเอ็ม
ปริมาณต่ำสุดที่จะรับรสได้	50 พีพีเอ็ม
ความสามารถในการละลาย	ในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส : ละลายได้ดีมากกว่า 55 % ในสารละลายมีขั้ว : อีเทอร์ , แอลกอฮอล์ , อะซีโตน และ เบนซีน
การทำปฏิกิริยา	ทำปฏิกิริยากับกรด ด่างและสารออกซิไดซ์

(ที่มา : Chemical and physical information. www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp111-c3.pdf)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ในอุตสาหกรรม

โดยทั่วไป ฟอร์มัลดีไฮด์ผลิตขึ้นจากการออกซิเดชันของเมทธานอลกับออกซิเจนในบรรยากาศ (เกรียงศักดิ์, 2546) ดังสมการที่ 1

$$CH_3OH + 0.5O_2 \longrightarrow HCHO + H_2O \quad \text{.....(1)}$$

สำหรับประเทศไทยตั้งแต่ปี 2521-2529 นำฟอร์มัลดีไฮด์เข้าประเทศอยู่ระหว่าง 47-10,128 ตัน โดยนำเข้าจากประเทศเยอรมัน สหราชอาณาจักร ญี่ปุ่น ไต้หวัน และสหรัฐอเมริกา (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

ตารางที่ 2.2 ปริมาณการนำเข้าฟอร์มัลดีไฮด์ของประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2521-2530

ปี พ.ศ.	ปริมาณการนำเข้า (กก.)
2521	47,529
2522	170,391
2523	365,300
2524	170,206
2525	10,128,486
2526	368,529
2527	337,218
2528	249,573
2529	850,711
2530 (ม.ค.-มิ.ย.)	330,916

(ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

ฟอร์มัลดีไฮด์มีการนำไปใช้อุตสาหกรรมต่างๆดังนี้

1. อุตสาหกรรมผลิตเรซินและพลาสติก เช่น urea-formaldehyde , melamine-formaldehyde , phenol-formaldehyde โดยอุตสาหกรรมผลิตยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์มีปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำเสียเท่ากับ 200-4,000 มก./ล. , อุตสาหกรรมผลิตเมลามีน-ฟอร์มัลดีไฮด์มีปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำเสียเท่ากับ 70-2,700 มก./ล. (Soljan et al., 2001) และอุตสาหกรรมผลิตฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์มีปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำเสียเท่ากับ 100 มก./ล. (Vidal et al., 1999)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อุตสาหกรรมกระดาษ เพื่อให้กระดาษลื่นและกันน้ำได้ โดยอุตสาหกรรมกระดาษมีปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำเสียเท่ากับ 10,000 มก./ล. (Oliveira, 2004)

3. อุตสาหกรรมสิ่งทอ เพื่อผลิตผงที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงลักษณะน้ำหนักและความแข็งแรงของไหมสังเคราะห์ โดยอุตสาหกรรมสิ่งทอมีปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำเสียเท่ากับ 10,000 มก./ล. (Oliveira, 2004)

4. อุตสาหกรรมสีย้อม เพื่อปรับปรุงสีและทำให้สีย้อมติดแน่นขึ้น (Moteleb et al., 2002)

5. อุตสาหกรรมฟอกสีและการพิมพ์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

6. อุตสาหกรรมสังเคราะห์ยา , วัตถุระเบิดและสีต่างๆ เช่น สีคราม (indigo) , สีแดง (rose mary) , สีอะคริลิก (acrylic dyes) รวมถึงการฟอกหนังและสีตกแต่งอาหาร (dressing) (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

7. อุตสาหกรรมผสมโลหะ เพื่อระงับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

8. อุตสาหกรรมถ่ายภาพ ทำให้เก็บรักษาได้นาน (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

9. อุตสาหกรรมที่ต้องการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (Eiroa et al., 2004)

2.1.3 ผลของฟอร์มัลดีไฮด์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

1.) ผลต่อมนุษย์

ในปี 1987 ได้ประเมินความเสี่ยงของคนที่จะเป็นโรคมะเร็งตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1981 จนถึง ค.ศ. 1987 สรุปว่าหลักฐานส่วนหนึ่งที่จะบอกว่าฟอร์มัลดีไฮด์ทำให้เกิดมะเร็งกับมนุษย์และมีหลักฐานที่เพียงพอบอกว่าฟอร์มัลดีไฮด์ทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์ และได้จัดฟอร์มัลดีไฮด์ให้อยู่ในกลุ่ม 2 A คือเป็นสารที่อาจก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ได้

- **โดยทางผิวหนัง**

ฟอร์มัลดีไฮด์จะทำให้ผู้สัมผัสเกิดอาการต่างๆ กันได้แก่ เกิดอาการผิวหนังอักเสบเป็นผื่นแดง อาจเป็นตุ่มพุพองตกสะเก็ดและแสบทันทีที่สัมผัสหรือเกิดขึ้นหลังที่สัมผัสในระยะเวลานานเป็นปี

- **โดยการรับประทาน**

โดยจากการศึกษาพบว่าผู้ที่ดื่มฟอร์มาลิน 5% จำนวน 100 มล. เข้าไปหลังจากดื่มฟอร์มาลินดังกล่าวจะเกิดการอาเจียน จากนั้นจะเกิดระคายเคืองทางเดินอาหารและกระเพาะอาหารตอนบนและเกิดอาการกลืนเหียน ผู้ป่วยจะเสียชีวิตภายใน 40 วันด้วยอาการเลือดออกในกระเพาะอาหารและลำไส้ ดังนั้นถ้ารับประทานเข้าไปมาก ๆ อาจทำให้ชักและตายได้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) ผลต่อสิ่งแวดล้อม

ความเข้มข้นที่มีผลให้ปลาคาร์พตายหมด (LC_{100}) เท่ากับ 200 มก./ล. และตายร้อยละ 50 (LC_{50}) เท่ากับ 100 มก./ล. โดยความเข้มข้นสูงสุดที่ปลาทนได้ (maximum tolerance concentration) เท่ากับ 60 มก./ล.

การที่ฟอร์มัลดีไฮด์ปนเปื้อนในน้ำเสียจะเกิดขึ้นกับน้ำใต้ดินและแหล่งน้ำเมื่อดินใน hydraulic structure เกิดการเสถียรกับสารที่มีฟีนอลแอลกอฮอล์และฟีนอลเป็นองค์ประกอบ ซึ่งฟอร์มัลดีไฮด์เป็นสารที่ค่อนข้างคงสภาพในสิ่งแวดล้อม ที่ความเข้มข้น 5 มก./ล.ที่ 20 ^{O}C จะคงสภาพเป็นเวลา 5 วัน ฟอร์มัลดีไฮด์อาจเกิดการออกซิเดชันได้เมื่อน้ำมีออกซิเจนละลาย และพบว่าฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำหากมีความเข้มข้นเกินกว่า 500 มก./ล. ขบวนการใช้ออกซิเจนทางชีวภาพจะถูกยับยั้งอย่างสมบูรณ์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

3.) ผลต่อจุลินทรีย์

ฟอร์มัลดีไฮด์มีผลเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในส่วนของแบคทีเรียเซลล์ เช่น สปอร์ , ผนังเซลล์ , ส่วนที่เป็นกลุ่มอะมิโนรวมทั้งสารพันธุกรรม ได้แก่ DNA และ RNA (Soljan, 2001 และ Lahl and Zeschmar, 1984 อ้างถึงใน Lu and Hegemann 1997)

ฟอร์มัลดีไฮด์มีผลต่อแบคทีเรียอย่างรุนแรงพบว่าดินที่บริเวณแหล่งอุตสาหกรรมซึ่งปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์มีปริมาณแบคทีเรียน้อยกว่าบริเวณอื่นกล่าวคือ ดินบริเวณแหล่งอุตสาหกรรมพบแบคทีเรีย 28,000 ถึง 40,000 ตัวต่อกรัม ในขณะที่ดินที่ไม่ได้รับการปนเปื้อนพบแบคทีเรีย 900,000 ตัวต่อกรัม ฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำโสโครกความเข้มข้นเกินกว่า 0.001 มก./ล. จะยับยั้งการเจริญเติบโตและระบบการหายใจของจุลินทรีย์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2539 ที่ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่องกำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน ได้กำหนดค่าความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม มีค่าไม่เกิน 1 มก./ล. (สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2540) และจากพ.ร.บ. วัตถุอันตราย (พ.ศ. 2535) ออกโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรมและกรมประมง หมวด 2 การควบคุมวัตถุอันตราย มาตรา 18 ได้กำหนดวัตถุอันตรายออกเป็น 4 ประเภท และฟอร์มัลดีไฮด์จัดอยู่ในประเภทที่ 2 ได้แก่ วัตถุอันตรายที่การผลิต การนำเข้า การส่งออกหรือการมีไว้ในครอบครองต้องแจ้งให้พนักงานเจ้าหน้าที่ทราบก่อนและต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดด้วย นอกจากนี้ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 93 (พ.ศ. 2538) อาศัยอำนาจตามพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 เรื่อง กำหนดวัตถุที่ห้ามใช้ในอาหาร (ฉบับที่ 2) ได้กำหนดให้

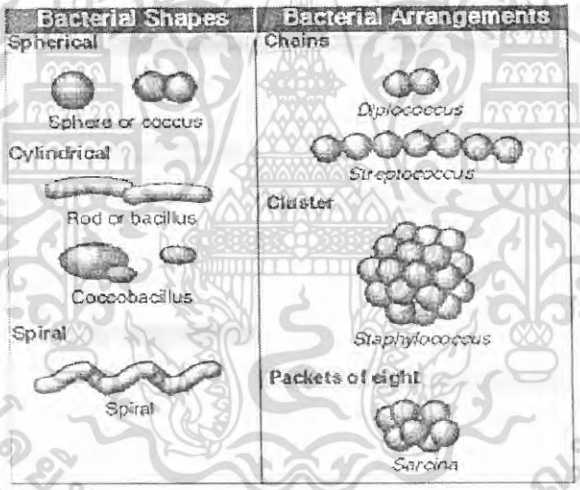
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟอร์มัลดีไฮด์ สารละลายฟอร์มัลดีไฮด์และพาราฟอร์มัลดีไฮด์ เป็นวัตถุที่ห้ามใช้ในอาหารเนื่องจากความเป็นพิษ

2.2 จุลินทรีย์

2.2.1 แบคทีเรีย

แบคทีเรียเป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กมีทั้งกลม (0.5-4 ไมครอน) แท่ง (0.5-4 x 0.5-20 ไมครอน) และเกลียว (0.5 x มากกว่า 10 ไมครอน) มีอยู่เป็นจำนวนมากมายในธรรมชาติ ในสภาพที่มีและไม่มีออกซิเจน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 แบคทีเรียหลายสกุลจะมีแคปซูล หรือ slime layer ที่มีลักษณะเหนียวเป็นเมือกห่อหุ้มผนังเซลล์ ส่วนใหญ่แบคทีเรียไม่สามารถใช้แสงเป็นแหล่งพลังงาน แต่สามารถเคลื่อนไหวและเพิ่มจำนวนโดยการแบ่งเซลล์ (Binary fission) แบคทีเรียที่สำคัญ ได้แก่ *Pseudomonas* , *Bacillus* เป็นต้น องค์ประกอบที่สำคัญของเซลล์แบคทีเรียและรายละเอียดได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.1 สัณฐานวิทยาของแบคทีเรียทั่วไป

(ที่มา : www.umsl.edu/~microbes/pdf/introductiontobacteria.pdf)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

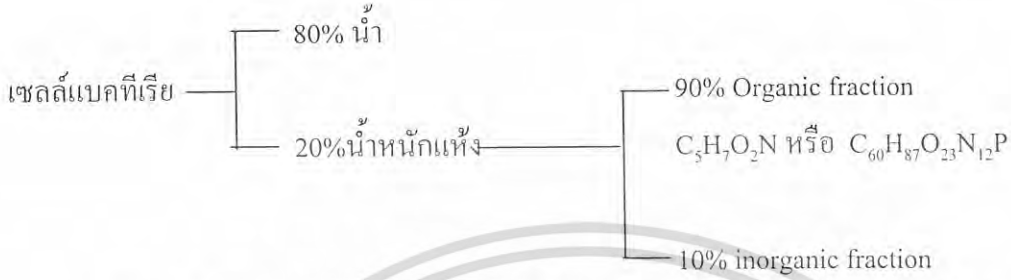
ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบที่สำคัญของเซลล์แบคทีเรีย

องค์ประกอบ	ขนาด	รายละเอียด
Slime layer		
i) Microcapsules	5-10 mμ	เป็นโปรตีน-พอลิแซ็กคาไรด์-ไขมัน คอมเพล็กซ์
ii) Capsules	0.5-2.0 μ	ส่วนใหญ่เป็นพอลิแซ็กคาไรด์-บ้างเป็นพอลิเพปไทด์
iii) Slime	ไม่แน่นอน	ส่วนใหญ่เป็นพอลิแซ็กคาไรด์-บ้างเป็นพอลิเพปไทด์
Cell wall		รักษาความแข็งแกร่งและรูปร่างของเซลล์
i) Gram-positive species	10-20 mμ	20% ของ นน. เซลล์แห้ง ประกอบด้วยโมเลกุลของพอลิเมอร์ N-acetylmuramic-peptide, กรด teichoic และพอลิแซ็กคาไรด์
ii) Gram-negative species	10-20 mμ	ประกอบด้วยโปรตีน-พอลิแซ็กคาไรด์-ไขมัน คอมเพล็กซ์ และพอลิเมอร์ของ muramic อีกเล็กน้อย
Cell membrane	5-10 mμ	เป็นตัวขวางกั้นสารอาหารแบบกึ่งสภาพให้ซึมได้ 5-10% ของ นน. เซลล์แห้ง
Flagellum	10-20 mμ x 4-12 μ	สำหรับการเคลื่อนไหวของเซลล์ เป็นโปรตีนกลุ่ม myosin-keratin-fibrinogen
Pilus (fimbria)	5-10 mμ x 0.5-2.0 μ	โปรตีน, ส่วนแข็งที่ยื่นออกไปในเซลล์
Inclusion		
i) Spore	1.0-1.5 μ x 1.6-2.0 μ	สามารถทนทานต่อความร้อน , ความแห้ง , และสารต่อต้านแบคทีเรีย ผนังสปอร์มีกรด dipicolinic เป็นจำนวนมาก
ii) Storage granules	0.5-2.0 μ	เป็นแกรนูลส์ของไกลคอเจน,ซัลเฟอร์ หรือไขมัน
iii) Chromatotroph	50-100 mμ	เป็นออร์แกแนลส์ในจุลินทรีย์ชนิดที่สังเคราะห์แสงได้
iv) Ribosomes	10-30 mμ	เป็นออร์แกแนลส์สำหรับการสังเคราะห์โปรตีน
v) volutin	0.5-1.0 mμ	เป็น inorganic polymetaphosphates
Nuclear material	ประมาณครึ่งหนึ่งของปริมาตรเซลล์	ประกอบด้วย DNA ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดข้อมูลทางพันธุกรรม

(ที่มา : สาโรจน์และประวิทย์, 2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

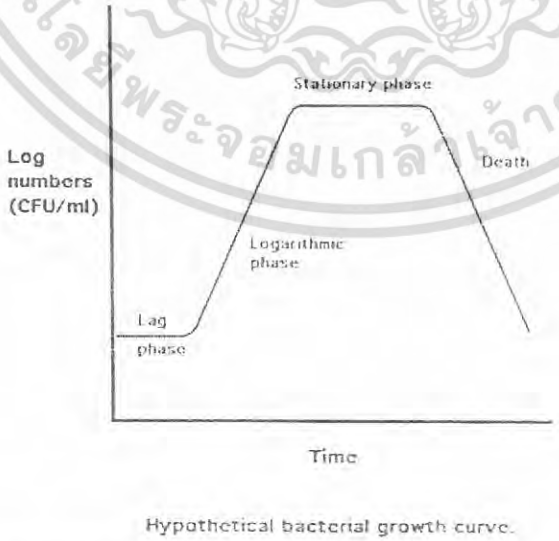
เมื่อนำแบคทีเรียมาวิเคราะห์องค์ประกอบพบว่ามีน้ำเป็นองค์ประกอบถึง 80% ที่เหลือเป็นมวลแห้งซึ่งประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ 90% ส่วนที่เป็นสารอนินทรีย์ 10% ดังแผนภาพ



ส่วนที่เป็นสารอินทรีย์มีธาตุคาร์บอนไฮโดรเจน ออกซิเจน และไนโตรเจน ซึ่งมีอัตราส่วนโดยโมลเขียนเป็นสูตรอย่างง่ายได้ $C_5H_7O_2N$ ถ้าคิดฟอสฟอรัสด้วยจะได้สูตรอย่างง่ายเป็น $C_{60}H_{87}O_{23}N_{12}P$ องค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์มีธาตุคาร์บอนมากที่สุดถึง 53% ส่วนที่เป็นสารอนินทรีย์ประกอบไปด้วย P_2O_5 50% , SO_3 15% , Na_2O 11% , CaO 9% , MgO 8% , K_2O 6% และ Fe_2O_3 1% (ยุพา ตันทวี, 2547)

2.2.2 อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

แบคทีเรียซึ่งส่วนมากมีการสืบพันธุ์โดยวิธีแบ่งตัวออกเป็นสองส่วนจาก 1 เป็น 2 และ 2 เป็น 4 เซลล์ เวลาที่ใช้ในการขยายพันธุ์แต่ละรุ่นเรียกว่า Generation time ซึ่งจะแปรผันไปตามชนิดของแบคทีเรียมีตั้งแต่เป็นวันจนถึงต่ำกว่า 20 นาที การเติบโตของแบคทีเรียในอาหารเลี้ยงเชื้อทั่วไปแบ่งออกเป็น 4 ระยะ (รูปที่ 2.2) คือ



รูปที่ 2.2 การแบ่งระยะการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

(ที่มา : www.foodsci.uoguelph.ca)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Lag phase : เป็นระยะที่แบคทีเรียปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมใหม่ จึงมีการเพิ่มจำนวนไม่มาก ระยะนี้จะสั้นหรือยาวขึ้นกับอาหารเลี้ยงเชื้อ

2. Log phase : เป็นระยะที่แบคทีเรียมีการเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีอาหารอุดมสมบูรณ์

3. Stationary phase : เป็นระยะที่อาหารเริ่มขาดแคลน แบคทีเรียมีอัตราการเจริญเติบโตช้าหรือเท่ากับอัตราการตาย ทำให้ปริมาณเซลล์อยู่ในสภาพคงที่

4. Death phase : เมื่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมในขั้นตอน Stationary phase เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ของเสียสะสมมากขึ้น เป็นผลทำให้จุลินทรีย์สลายเซลล์ตัวเอง ปริมาณเซลล์ลดลงเรื่อยๆ แบคทีเรียนำอาหารที่สะสมไว้ในเซลล์เป็นแหล่งพลังงานในการดำรงชีวิตอยู่ เรียกว่า lysis และเซลล์ที่ตายเป็นอาหารให้กับเซลล์ที่ยังมีชีวิตอยู่ (ยุพา ตันทวี, 2547)

2.2.3 จุลินทรีย์กับระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจน

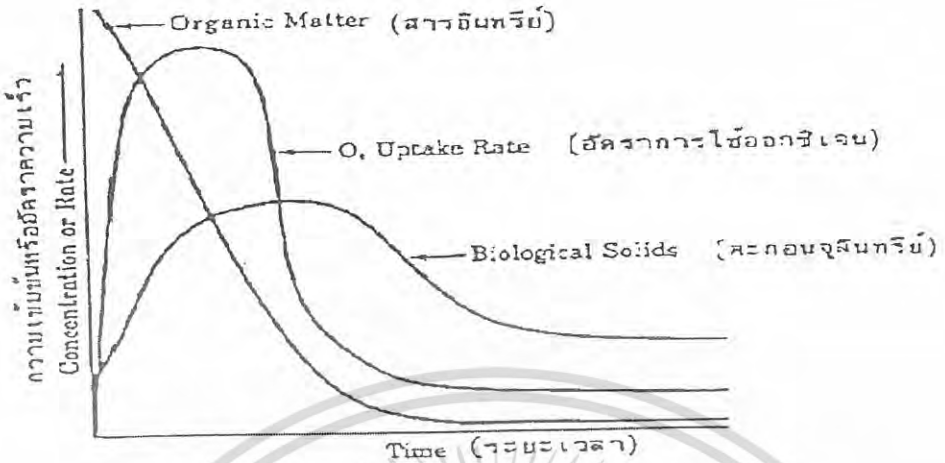
ระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจน ประกอบด้วยสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่ถูกควบคุมให้เจริญเติบโตอยู่ในน้ำ ซึ่งมีออกซิเจนอิสระและสารอินทรีย์ละลายอยู่ เพื่อใช้เป็นอาหารและแหล่งพลังงานในการดำรงชีพ ปฏิกิริยาทางชีวเคมีของกระบวนการสามารถเขียนได้ดังนี้

มลสารอินทรีย์ + จุลินทรีย์ + O_2 ⟶ จุลินทรีย์ตัวใหม่ + CO_2 + H_2O + พลังงาน ..... (2.1)

มลสาร (Pollutant) ที่อยู่ในน้ำเสีย จะถูกจุลินทรีย์ใช้เป็นอาหารและเจริญเติบโตขยายพันธุ์ต่อไป ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะลอยขึ้นไปในอากาศ ส่วนน้ำจะผสมออกไปกับน้ำที่บำบัดแล้ว พลังงานก็จะถูกจุลินทรีย์ใช้ในการดำเนินชีวิต กล่าวคือ สารอินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำเสียจะถูกเปลี่ยนมาเป็นจุลินทรีย์ที่หนักกว่าน้ำ จึงสามารถแยกออกได้ง่ายด้วยการตกตะกอน ส่วนน้ำเสียที่ถูกจุลินทรีย์นำสารอินทรีย์มาใช้ก็จะเป็นน้ำสะอาดพอที่จะปล่อยทิ้งได้โดยไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์อาจมีการทำงานร่วมกันหลายชนิด โดยจุลินทรีย์บางชนิดเริ่มทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ซับซ้อน (Complex Organics) ก่อน จากนั้นก็จะมีชนิดอื่นย่อยสลายส่วนที่เหลือ หรือมิฉะนั้นก็อาจจะเป็นการนำเอาผลหรือของเสียที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ มาทำการย่อยสลายต่อจนเป็นสารที่ไม่สามารถย่อยสลายต่อไปได้อีก (End Product) ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ในการทำงานของกระบวนการแบบทำงานเป็นครั้งคราว (Batch Process) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาและการเปลี่ยนแปลงต่างๆที่เกิดขึ้นในกระบวนการบำบัดทางชีววิทยาแบบไม่ต่อเนื่อง

เมื่อเริ่มการบำบัดน้ำเสีย ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะมีค่าสูง ส่วนจุลินทรีย์จะมีค่าความเข้มข้นต่ำและมีอัตราการใช้ออกซิเจนต่ำ ต่อจากนั้นเมื่อจุลินทรีย์เริ่มทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ก็จะเริ่มใช้ออกซิเจนมากขึ้น และเจริญเติบโต เป็นผลให้มีจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ครั้นเมื่ออาหารเริ่มขาดแคลนจนไม่เพียงพอในการดำรงชีพของจุลินทรีย์ ปริมาณจุลินทรีย์และอัตราความต้องการออกซิเจนก็จะลดลงตามลำดับ

การใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ในขบวนการต่างๆ ดังนี้

1. ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงาน ตามสมการ

$$\text{สารอินทรีย์} + \text{ออกซิเจน} \xrightarrow[\text{เอนไซม์}]{\text{จุลินทรีย์}} \text{คาร์บอนไดออกไซด์} + \text{น้ำ} + \text{พลังงาน} \quad \text{.....(2.2)}$$

2. ใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่ ตามสมการ

$$\text{สารอินทรีย์} + \text{ฟอสฟอรัส} + \text{ไนโตรเจน} + \text{ออกซิเจน} \xrightarrow[\text{เอนไซม์}]{\text{จุลินทรีย์}} \text{เซลล์ใหม่} + \text{น้ำ} + \text{คาร์บอนไดออกไซด์} \quad \text{.....(2.3)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. **ใช้ในการย่อยสลายจุลินทรีย์ตัวอื่นที่ตายแล้ว** โดยจุลินทรีย์ที่ตายแล้ว จะถูกใช้เป็นอาหารของจุลินทรีย์ตัวอื่น ๆ ที่ยังมีชีวิตอยู่ ตามสมการ

$$\text{จุลินทรีย์ที่ตายแล้ว} + \text{ออกซิเจน} \xrightarrow[\text{เอนไซม์}]{\text{จุลินทรีย์}} \text{คาร์บอนไดออกไซด์} + \text{น้ำ} + \text{แอมโมเนีย หรือไนเตรท} + \text{พลังงาน} \quad \text{.....(2.4)}$$

2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบ (คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมคณะวิศวกรรมศาสตร์,2537)

1) ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

เนื่องจากสารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นอาหารของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดทางชีวภาพ ดังนั้นหากความเข้มข้นของสารอินทรีย์เปลี่ยนแปลงมากจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบ โดยอาจจะทำให้มีอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์สูง (มีอาหารมาก) ทำให้จำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนมีลักษณะเติบโตกระจายอยู่ทั่วไป (Dispersed growth) แทนที่จะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนที่ดี (Floc) เป็นผลให้ตกตะกอนได้ไม่ดี น้ำออกขุ่น และมีค่าสารอินทรีย์หรือบีโอดีเหลืออยู่สูงหรืออาจจะเกิดขึ้นในทำนองตรงกันข้าม คือมีอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ต่ำ (มีอาหารน้อย) จนทำให้จำนวนจุลินทรีย์เจริญเติบโตน้อยลง ซึ่งถึงแม้ตะกอนจุลินทรีย์จะตกตะกอนได้เร็วแต่ก็ไม่สามารถจับตัวเล็ก ๆ ตกลงมาหมดได้ ทำให้น้ำที่ออกจากถังตะกอนขุ่น

2) อาหารเสริม

จุลินทรีย์ต้องการอาหารเสริม (Nutrient) ซึ่งได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และเหล็ก นอกเหนือจากสารอินทรีย์ต่าง ๆ ซึ่งนำมาใช้เป็นพลังงาน ปกติแร่ธาตุเหล่านี้มีอยู่ครบในน้ำเสียชุมชน (Domestic Wastewater) แต่อาจจะมีไม่พอในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม การขาดสารอาหารเสริมที่สำคัญเหล่านี้จะทำให้จุลินทรีย์สร้างฟลอกเติบโตได้ไม่ดี จนทำให้จุลินทรีย์ชนิดที่เป็นเส้นใย (Fillamentous) เจริญเติบโตได้มากกว่า ซึ่งจะทำให้ตะกอนเร่งตกตะกอนได้ยากและเกิดเป็นชั้นอืดขึ้นมาสูงในถัง และอาจไหลล้นออกมากับน้ำทิ้ง จนระบบไม่สามารถทำงานต่อไปได้อีก นอกจากนั้นการที่จุลินทรีย์หลายชนิดเจริญเติบโตได้ไม่ดี จะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานต่าง ๆ ของระบบต่ำลงด้วย

3) ออกซิเจนละลายน้ำ

ในถังจะต้องมีค่าออกซิเจนละลายน้ำระหว่าง 1 ถึง 2 มก./ล. ซึ่งปริมาณของอากาศหรือออกซิเจนที่ใช้เพื่อรักษาค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ หากอุณหภูมิสูงจุลินทรีย์สามารถทำงานได้มากก็จะต้องการออกซิเจนมาก นอกจากนั้นที่อุณหภูมิสูง ออกซิเจน จะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าการละลายน้ำอิ่มตัว (Saturation Value) ต่ำ จึงทำให้ต้องใช้ออกซิเจนมากเมื่ออุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น ในทางกลับกันหากอุณหภูมิของน้ำต่ำ ก็จะทำให้มีความต้องการเติมอากาศน้อยกว่าที่อุณหภูมิสูง ในการที่จะรักษาระดับความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำที่ค่าเท่ากัน

4) ระยะเวลาในการบำบัด

ระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจะต้องมีมากพอเพียงที่จุลินทรีย์จะใช้ในการย่อยสลายมลสารต่าง ๆ หากมีระยะเวลาต่ำเกินไป สารที่ย่อยยาก ๆ จะถูกย่อยไม่ถึงขั้นสุดท้าย ทำให้มีค่า บีโอดีเหลืออยู่ในน้ำเสียมาก

5) ค่าพีเอช

พีเอช (pH) เป็นค่าแสดงความเป็นกรด-ด่าง ของสารละลาย โดยที่แบคทีเรียเจริญเติบโตได้ดีที่ค่าพีเอช 6.5-8.5 พีเอชเป็นปัจจัยสำคัญในการดำเนินระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน เนื่องจากพีเอชส่งผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมที่เชื้อจุลินทรีย์ในระบบแอโรบิกสามารถเจริญเติบโตได้ดี คือ ที่ค่าพีเอช ระหว่าง 6.5-8.5 (คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, 2537) ถ้าพีเอชมีค่าต่ำกว่า 6.5 รา (Fungi) จะเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรียทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดต่ำลง แต่ถ้าพีเอชมีค่าต่ำมากหรือสูงเกินไปแบคทีเรียจะตายหมดและไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ส่วนสภาวะที่เหมาะสมที่เชื้อ *Pseudomonas putida* สามารถเจริญเติบโตได้ดี คือ ที่ค่าพีเอช 7.7-8.0 (Soljan et. al., 2001) และเพื่อให้เหมาะสมกับการทำงานของเอนไซม์ฟอร์มัลดีไฮด์ ดีไฮโดรจีเนสที่ทำงานได้ดีที่พีเอช 8.0-9.0 โดยมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายฟอร์มัลดีไฮด์เท่ากับ 70-100%

การเจริญของจุลินทรีย์ หรือการเกิดกิจกรรมต่างๆสามารถทำให้ค่าพีเอชลดลง เช่น สารประกอบอินทรีย์ถูกเปลี่ยนเป็น CO_2 , สารประกอบ NH_4^+ ถูกเปลี่ยนไปเป็น NO_3^- ดังสมการที่ 2.5 , 2.6 เป็นต้น (ยุพา ตันทวี, 2547) จึงอาจจำเป็นต้องใช้สารละลายบัฟเฟอร์ในการควบคุมพีเอช

$$NH_4^+ + 3/2\ O_2 \xrightarrow{\text{nitrosomonas}} NO_3^- + 2H^+ + H_2O + \text{energy} \quad \text{.....(2.5)}$$

$$NO_2^- + 1/2O_2 \xrightarrow{\text{nitrobacter}} NO_3^- \quad \text{.....(2.6)}$$

6) สารเป็นพิษ

สารเป็นพิษ แบ่งออกได้เป็น 2 พวกคือ พิษแบบเฉียบพลัน (Acute Toxicity) ซึ่งจุลินทรีย์จะตายหมดภายในระยะเวลาไม่กี่ชั่วโมงและแบบพิษออกฤทธิ์ช้า (Chronic Toxicity) ซึ่งใช้เวลานานและค่อย ๆ ตาย การเกิดพิษเฉียบพลันสังเกตดูได้ง่ายเนื่องจากมีผลเกิดขึ้นรวดเร็ว สารพิษจำพวกนี้ได้แก่ ไซยาไนด์อาร์เซนิค เป็นต้น สำหรับสารพิษออกฤทธิ์ช้า เช่น ทองแดง และโลหะหนักต่าง ๆ จุลินทรีย์จะสะสมเอาไว้ภายในเซลล์จนเกิดเป็นพิษและตายในที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการทำงาน และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระบวนการตะกอนเร่ง โดยทั่ว ๆ ไปการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นทุก 10 °C จะทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตน้อยลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิของน้ำในระบบทำได้ยาก

8) การกวน

ภายในถัง จะต้องมีการกวนอย่างทั่วถึงในขั้นเติมอากาศ เพื่อป้องกันมิให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกตะกอน และเพื่อให้จุลินทรีย์ได้สัมผัสกับน้ำเสียที่ส่งเข้ามาบำบัดโดยใช้เป็นอาหารและลดมลสารต่าง ๆ รวมทั้งจะได้จับตัวกันเป็นฟลอกที่ดี การกวนที่ถูกต้องจะป้องกันมิให้น้ำเสียไหลลัดวงจรและทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารสูง การกวนที่สมบูรณ์จะต้องมีค่า มล.SS และค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำสม่ำเสมอกันทั่วถึง

2.3 การบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ทางชีวภาพ

2.3.1 จุลินทรีย์ที่สามารถบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์

ในการบำบัดทางชีวภาพแบบใช้อากาศฟอร์มัลดีไฮด์จะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นกรดฟอร์มิคและสุดท้ายจะกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ โดยสามารถย่อยสลายได้ 4 แบบคือ

1. **Glutathione (GSH)-dependent NAD-linked formaldehyde dehydrogenase (GSH-FDH)** : ใช้เอนไซม์ฟอร์มัลดีไฮด์ ดีไฮโดรจีเนส (Formaldehyde dehydrogenase ,FDH) , NAD^+ และ กลูตาไทโอน (Glutathione)

เอนไซม์ฟอร์มัลดีไฮด์ ดีไฮโดรจีเนส สามารถพบได้ในเชื้อจุลินทรีย์หลายสายพันธุ์ทั้งโปรคารีโอตและยูคารีโอต โดยไม่ต้องการ GSH ถ้าเอนไซม์ FDH ได้มาจาก *Pseudomonas putida* (Marx et al., 2003) เป็นเอนไซม์ในกลุ่มแอลกอฮอล์ ดีไฮโดรจีเนส (Alcohol dehydrogenase, ADH) ที่ประกอบด้วยสังกะสี (Zinc) (Tanaka et al., 2000)

- ปฏิกิริยาปกติที่มีการใช้ NAD^+ ทำงานร่วมด้วย

Formaldehyde dehydrogenase

$$HCHO + NAD^+ + H_2O \longrightarrow HCOOH + NADH + H^+$$

- ปฏิกิริยาที่ไม่มีการใช้ NAD^+ ทำงานร่วมด้วยที่พบในเชื้อ *Pseudomonas putida*

Formaldehyde dismutase

$$2HCHO + H_2O \longrightarrow CH_3OH + HCOOH$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. **Formyl-GSH hydrolase (FGH)** : สามารถพบได้ในโปรคารีโอตและยูคารีโอต (Marx et al., 2003)

3. **Ribulose-monophosphate cycle methylotrophs** : hexulose phosphate synthase (HPS) และ hexulose phosphate isomerase

4. **Archaeal enzyme** ถูกนำไปใช้ทำงานร่วมกับ tetrahydromethanopterin(H4MPT) และ methanofuran (MFR) ซึ่งการย่อยสลายฟอร์มัลดีไฮด์โดยใช้วิธีนี้พบได้เพียงในแบคทีเรียจำพวก methylotrophic เช่น *Methylobacterium extorquens AM1* , *Burkholderia fungorum LB400* ขึ้นอยู่กับการกลายพันธุ์ของจุลินทรีย์ (Marx et al., 2003)

จุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายฟอร์มัลดีไฮด์ได้ ได้แก่

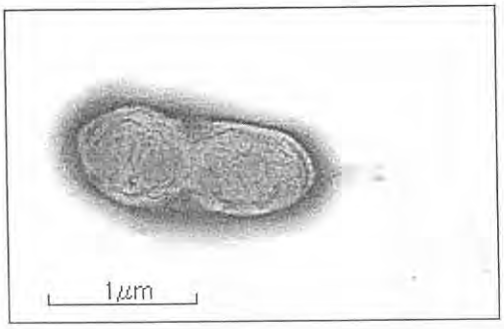
1. *Pseudomonas putida* และ *Pseudomonas cepacia* สามารถย่อยสลายน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. ภายในเวลา 30 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ (Soljan, 2001) ส่วน *Pseudomonas putida* A2 สามารถย่อยสลายน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์ความเข้มข้น 400 มก./ล. (Adroer et al., 1990 อ้างถึงใน Eiroa, 2005)
2. *Trichosporon penicillatum* สามารถย่อยสลายน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. ภายในเวลา 36 ชั่วโมง (Soljan, 2001)
3. *Halomonas* sp. MA-C สามารถย่อยสลายฟอร์มัลดีไฮด์ความเข้มข้น 100 มก./ล. ในน้ำเกลือ (Adroer et al., 1990 อ้างถึงใน Eiroa, 2005)
4. *Hansenula* spp.
5. *Candida* spp.
6. *Burkholderia fungorum* LB400
7. *Rhodococcus erythropolis* UPV-1 เป็นต้น

เอนไซม์ฟอร์มัลดีไฮด์ ดีไฮโดรจีเนสของเชื้อ *Pseudomonas putida* นั้นประกอบด้วยกรดอะมิโน 398 ตัวและกลุ่มของสังกะสี 2 กลุ่มคือ catalytic zinc และ structural zinc และมีน้ำหนักโมเลกุล 42 กิโลดาลตัน สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องมี กลูตาไทโอน (Glutathione)

Pseudomonas putida เป็นแบคทีเรียแกรมลบที่มีลักษณะเป็นท่อน (ความยาวประมาณ 3 ไมครอน,ความกว้าง 1 ไมครอน) , ไม่สร้างสปอร์ , เคลื่อนไหวได้ด้วยแฟลกเจลลา ดำรงชีวิตในสภาวะมีอากาศ (www.umsl.edu/~microbes/pdf/introductiontobacteria.pdf) ดังรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.4 ลักษณะเชื้อ *Pseudomonas putida* เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์
(ที่มา : www.takenaka.co.jp)

ในการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์แบบไม่ใช้อากาศพบว่า ที่ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์เท่ากับ 100 มก./ล. เชื้อจุลินทรีย์ที่มีการผลิตมีเทนจำพวก methanogenic จะมีปริมาณลดลง 50% เมื่อใช้กรดไขมันที่ระเหยได้ (Volatile fatty acid, VFA) เป็น co-substrate และที่ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์มากกว่า 200 มก./ล. ขึ้นไปเชื้อจุลินทรีย์พวกนี้จะถูกยับยั้งจนหมด แต่พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 250 ชั่วโมงแบคทีเรียจะเจริญขึ้นมาใหม่เมื่อกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์ออกจากอาหารเลี้ยงเชื้อ แต่ถ้าใช้ซูโครส เป็น co-substrate ที่ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์เท่ากับ 238 มก./ล. เชื้อจุลินทรีย์ที่มีการผลิตมีเทนจำพวก methanogenic จะมีปริมาณลดลง 50% (Vidal et al., 1999)

แต่การบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์แบบใช้อากาศพบว่า ที่ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์เท่ากับ 300 มก./ล. ความสามารถในการย่อยสลายฟอร์มัลดีไฮด์หรือปริมาณเชื้อจุลินทรีย์จะลดลง (Lotfy and Rashed, 2001) ฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำหากมีความเข้มข้นเกินกว่า 500 มก./ล. ขบวนการใช้ออกซิเจนทางชีวภาพจะถูกยับยั้งอย่างสมบูรณ์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2541) ฟอร์มัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 5,400 มก./ล. จะทำลายสิ่งมีชีวิตจำพวกจุลินทรีย์ทุกชนิดภายในเวลา 6-12 ชั่วโมง (Oliveira, 2004)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
107765

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- Eiroa et al. (2005) พบว่าการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์และแอมโมเนียมด้วยระบบแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ใน Lab scale โดยควบคุมระยะเวลาการกักเก็บน้ำ (HRT) เท่ากับ 2.4 วัน ซึ่งมีความเข้มข้นของแอมโมเนียมเท่ากับ 350 มก.NH_4^+-N/ล. ระหว่างควบคุมระบบจะทำการเพิ่มอัตราการเติมแอมโมเนียมทุกรอบๆละ 0.15 กรัม NH_4^+-N/ล. และความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์จาก 26 เป็น 3168 มก./ล. หรือเท่ากับ 0.01-1.40 กรัม COD/ลิตร-วัน ภายในระยะเวลา 3 เดือนและควบคุมระบบไปจนครบ 6 เดือน โดยทำการควบคุมพีเอชของระบบอยู่ที่ 7.6-8.4 ซึ่งเป็นพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของเชื้อ nitrifying bacteria และควบคุมค่าออกซิเจนละลายในน้ำอยู่ที่ 5.0-7.9 มก./ล. ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์และแอมโมเนียมของระบบนี้เท่ากับร้อยละ 99.5 และ 99.9 ตามลำดับ ในระหว่างที่ทำการทดลองไม่มีการนำเอาสลัดจ์ออกจากระบบ เป็นผลให้สลัดจ์มีการเพิ่มขึ้นจาก 920 มก.VSS ต่อลิตร เป็น 6560 มก. VSS ต่อลิตร
- Garrido et al. (2000) พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ใน Lab scale ปริมาตร 2 ลิตรสามารถกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์ได้ร้อยละ 99 ในขณะเดียวกันสามารถกำจัดซีโอดีและสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน (TKN) ได้เท่ากับร้อยละ 70-85 และร้อยละ 30-50 ตามลำดับ ฟอร์มัลดีไฮด์ถูกใช้โดย จุลินทรีย์ในการเปลี่ยนไนเตรทให้เป็นแก๊สไนโตรเจน โดยระบบถูกควบคุมค่าอัตราการเติมสารอินทรีย์เท่ากับ 0.2-1.2 กก. COD/ลบ.ม. และระยะเวลาการกักเก็บน้ำ (HRT) เท่ากับ 0.5-1.4 วัน
- Lotfy and Rashed (2001) พบว่าในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์แบบใช้อากาศที่ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์เท่ากับ 31.5 ถึง 125 มก./ล. เมื่อเวลาผ่านไป 16 วัน ฟอร์มัลดีไฮด์จะมีความเข้มข้นคงเหลือเท่ากับร้อยละ 40 ถึง 85 และเมื่อความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์เป็น 300 มก./ล. พบว่าความสามารถในการย่อยสลายฟอร์มัลดีไฮด์จะลดลงเหลือประมาณร้อยละ 50-70 ส่วนฟีนอลที่เป็นพิษต่อกระบวนการทางเคมีจะถูกเปลี่ยนรูปให้ไม่มีพิษ โดยใช้โซเดียมซัลไฟต์ โดยโซเดียมซัลไฟต์รวมตัวกับฟอร์มัลดีไฮด์เกิดเป็นโซเดียมฟอร์มัลดีไฮด์ไบซัลไฟต์เป็นผลให้กิจกรรมการย่อยสลายทางชีวภาพสูงขึ้น
- Soljan et al. (2001) ศึกษาเชื้อจุลินทรีย์สายพันธุ์ *Pseudomonas putida* , *Pseudomonas cepacia* , *Trichosporon penicillatum* เพื่อนำมาบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์และกรดฟอร์มิกในอาหารเลี้ยงเชื้อและน้ำเสียสังเคราะห์จากอุตสาหกรรมเมลามีนเรซิน พบว่าการใช้เชื้อผสมสามารถย่อยสลายฟอร์มัลดีไฮด์และกรดฟอร์มิกในอาหารเลี้ยงเชื้อได้ 1000 และ 500 มก./ล. ตามลำดับภายในเวลา 18-24 และ 12-18 ชั่วโมงตามลำดับ แต่การใช้เชื้อผสมย่อยสลายฟอร์มัลดีไฮด์ , เมทานอล และบิวทานอล ในน้ำเสียสังเคราะห์จากอุตสาหกรรมเมลามีนเรซิน พบว่าสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ภายในเวลา 24 ชั่วโมง โดยที่ปริมาณซีโอดีลดลงมากกว่าร้อยละ 90 ส่วนหน้าที่ของยีสต์ *Trichosporon penicillatum* ของเชื้อผสมในระหว่างการย่อยสลายฟอร์มัลดีไฮด์ในสภาวะมีอากาศจะช่วยทำให้เกิดการจับตัวแล้วเกิดการตกตะกอน (Flocculation)

- Marx. et al. (2003) พบว่า *B. fungorum* LB400 ที่ผ่านการกลายพันธุ์สามารถใช้การย่อยสลายฟอร์มัลดีไฮด์ได้ 3 แบบ ได้แก่ NAD-linked Glutathione(GSH)-independent formaldehyde dehydrogenase NAD-linked Glutathione(GSH)-dependent formaldehyde oxidation system และ tetrahydromethanopterin-methanofuran-dependent formaldehyde oxidation system
- Oliveira et al. (2004) พบว่าการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ในถังปฏิกรณ์แบบ Horizontal-Flow Anaerobic Immobilized Sludge Reactor (HAIB) ที่ความเข้มข้น 26.2-1158.6 มก./ล. สามารถลดปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์และซีโอดีลงได้ร้อยละ 99.7 และ 92 ตามลำดับ กรดไขมันที่ระเหยง่าย (Volatile fatty acid, VFA) เกิดขึ้นระหว่างย่อยสลายฟอร์มัลดีไฮด์ได้สารตัวกลางจำพวกเมทธานอลและกรดฟอร์มิค
- Vidal et al. (1999) พบว่าความเป็นพิษของฟอร์มัลดีไฮด์ในการทดลองแบบครั้งคราว (Batch) ที่มีการใช้กรดไขมันระเหยง่ายเป็น co-substrate และภายใต้กระบวนการปรับสภาพน้ำเสียที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์แบบต่อเนื่อง (Continuous) ภายใต้สภาวะไร้อากาศในถังปฏิกรณ์ upflow anaerobic sludge blanket (UASB) มีผลให้จุลินทรีย์ที่ผลิตมีเทน (methanogens) ลดลงร้อยละ 50 ที่ความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์ประมาณ 100% และที่ความเข้มข้นของ ฟอร์มัลดีไฮด์มากกว่า 200 มก./ล. ขึ้นไปเชื้อจุลินทรีย์พวกนี้จะถูกยับยั้งจนหมด แต่พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 250 ชั่วโมง แบคทีเรียจะเจริญขึ้นมาใหม่เมื่อกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์ออกจากอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเท่ากับร้อยละ 90-95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการทดลอง

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการศึกษา

- อะเซททิลอะซีโตน, เกรดวิเคราะห์
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 N, เกรดวิเคราะห์ ของบริษัท LAB-SCAN
- สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ (Sodium Sulfite Solution) , เกรดวิเคราะห์
- กรดซัลฟูริคเข้มข้น, เกรดวิเคราะห์ ของบริษัท Fisher Scientific
- สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริค 1.0 N
- สารละลายไทมอลพทาลีนอินดิเคเตอร์ (Thymolphthalein Indicator Solution)
- น้ำตาลซูโครส ($C_{12}H_{22}O_{11}$)
- ฟอร์มัลดีไฮด์ (CH O), Analytical grade
- แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl), Analytical grade
- โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4), Commercial grade
- ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4), Commercial grade
- โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (NaH_2PO_4), Commercial grade

3.2 วัสดุอุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย

- ถังปฏิกรณ์ขนาด 1.1 ลิตร
- เครื่องเติมอากาศ
- เครื่องอังไอน้ำ (Water bath)
- เครื่องวัดการดูดกลืนแสง 6405 UV/Vis Spectrophotometer, Jenway
- เครื่องวัดพีเอช (pH Meter), Denver Instrument Model 215
- กระดาษกรองเบอร์ 42 ขนาดรูพรุน 0.45 ไมครอน
- ชุดกรองลดความดัน
- กรวยบุคเนอร์ (Buchner funnel)
- เตาอบแห้ง
- โถทำแห้ง (Desiccator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เครื่องชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด, Denver Instrment tc-254
- เครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter), Genway 9002

3.3 การดำเนินการทดลอง

3.3.1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

แหล่งคาร์บอน (Carbon source) ที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ ได้แก่ น้ำตาลซูโครส และ ฟอร์มัลดีไฮด์ โดยในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ทำการควบคุมปริมาณสารอินทรีย์รวม (TOC) ให้มีค่าคงที่เท่ากับ 600 มก./ล.

ในการทดลองทำการแปรค่าฟอร์มัลดีไฮด์แต่ควบคุมให้ปริมาณสารอินทรีย์รวมเท่าเดิม โดยทำการแปรค่าดังนี้

ตัวอย่างน้ำเสียที่	ปริมาณซูโครส (มก./ล.)	สารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำตาลซูโครส* (มก./ล.)	ปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ (มก./ล.)	สารอินทรีย์คาร์บอนจากฟอร์มัลดีไฮด์* (มก./ล.)	สารอินทรีย์คาร์บอนรวม (มก./ล.)
1	1,425	600	0	0	600
2	1,188	500	250	100	600
3	950	400	500	200	600
4	712	300	750	300	600
5	475	200	1000	400	600

หมายเหตุ *ค่าที่ได้มาจากการคำนวณทางทฤษฎี ดังรายละเอียดในภาคผนวก ค

ในน้ำเสียสังเคราะห์ดังกล่าวจะทำการเติม สารอาหารที่จำเป็น (Required nutrients) ที่ประกอบด้วย

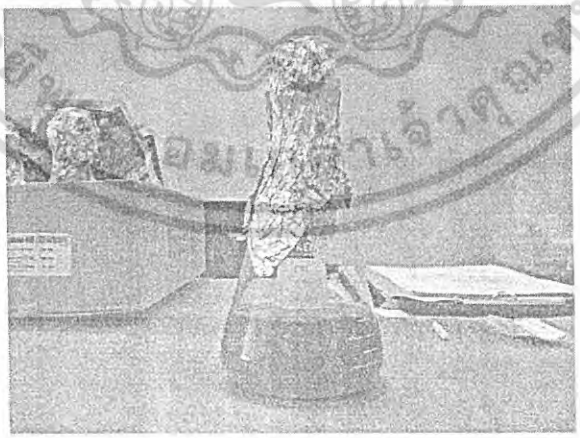
- แหล่งไนโตรเจน ใช้ NH_4Cl เป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับจุลินทรีย์โดย เติมประมาณ 0.2 เท่าของปริมาณทีโอซีรวม โดยคำนวณหาจากปริมาณน้ำหนักของน้ำตาลซูโครสอย่างเดียว (ตัวอย่างน้ำเสียที่ 1) ได้เท่ากับ 285 มก.ต่อน้ำ 1 ลิตร
- แหล่งฟอสฟอรัส ใช้ ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ โดยควบคุมค่าพีเอชที่ 8.0 เตรียมจาก 0.1 N K_2HPO_4 และ 0.1 N NaH_2PO_4 ในอัตราส่วน 0.95 : 0.05 (Colowick, 1995)
- สารอาหารทางชีวภาพ ใช้ น้ำประปา โดยใช้น้ำประปาที่ตั้งทิ้งไว้ 1 วัน เพื่อกำจัดคลอรีนออกเนื่องจากในน้ำประปามีสารอาหารที่จำเป็น (Trace nutrient) สำหรับจุลินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การเลี้ยงเชื้อตะกอนจุลินทรีย์

- ตะกอนจุลินทรีย์ (Sludge) ที่ใช้ในการทดลองนำมาจากการเลี้ยงในห้อง Lab ด้วยน้ำเสียสังเคราะห์โดยมีน้ำตาลซูโครสเป็นแหล่งคาร์บอน โดยดั้งเดิมตะกอนนี้ได้มาจากระบบบำบัดน้ำเสียของบ่อเติมอากาศของโรงบำบัดน้ำเสียส่วนกลางนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง
- เชื้อ *Pseudomonas putida* TISTR 1522 ที่ใช้ได้จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี ดังรูปที่ 3.1 และ 3.2

รูปที่ 3.1 เชื้อ *Pseudomonas putida* TISTR 1522 ในรูป Lyophilyze

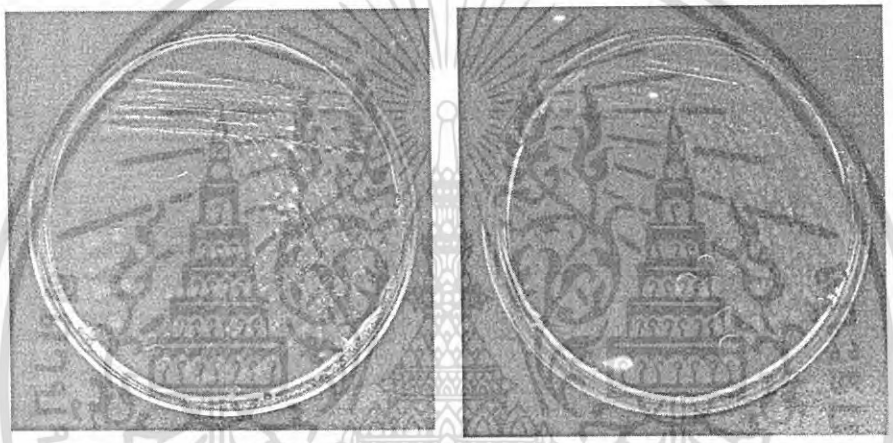


รูปที่ 3.2 เชื้อ *Pseudomonas putida* TISTR 1522 หลังการเพิ่มจำนวนในอาหารเลี้ยงเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การศึกษาความสามารถในการเจริญเติบโตและการย่อยสลายฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยเชื้อ *Pseudomonas putida* ในขั้นต้น

การศึกษาความสามารถในการเจริญเติบโตและการย่อยสลายฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยเชื้อ *Pseudomonas putida* ในขั้นต้นทำการทดสอบด้วยอาหารแข็ง 2 ประเภท ดังรูปที่ 3.3 ได้แก่อาหารแข็งธรรมดา (รูปที่ 3.3 ก) และอาหารแข็งที่มีส่วนผสมของฟอร์มัลดีไฮด์ 50 มก./ล. (รูปที่ 3.3 ข) คิดเป็นร้อยละ 5 ของความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์สูงสุดที่ทำการศึกษา (1000 มก./ล.) พบว่าเชื้อ *Pseudomonas putida*สามารถเจริญได้ปกติ



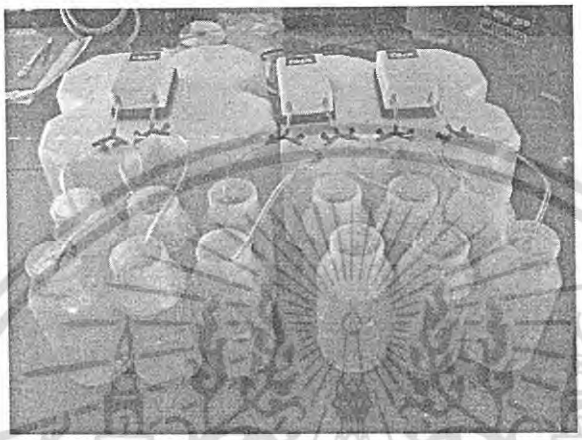
(ก) (ข)

รูปที่ 3.3 การทดสอบความสามารถในการเจริญของ *Pseudomonas putida* โดย (ก) ทดสอบบนอาหารแข็งปกติ (ข) ทดสอบบนอาหารแข็งที่มีฟอร์มัลดีไฮด์ 50 มก./ล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การติดตั้งระบบทดสอบการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ทางชีวภาพ

การทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ใช้ถังปฏิกรณ์ซึ่งจำลองการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ การติดตั้งอุปกรณ์แสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ

ระบบบำบัดประกอบด้วยถังปฏิกรณ์ขนาด 1.1 ลิตรใส่น้ำเสียสังเคราะห์ 850 มิลลิลิตร จากนั้นเติมเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ 150 มิลลิลิตร ทำการเติมอากาศด้วยชุดเติมอากาศแบบ Bubble diffuser ตลอดเวลาเพื่อให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเพียงพอต่อการทำงานของจุลินทรีย์และเพื่อให้เชื้อตะกอนจุลินทรีย์กระจายตัวในน้ำเสียสังเคราะห์อย่างทั่วถึง

3.3.5 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์

นำสลัดจ์จากข้อ 3.3.2 มาเติมลงชุดทดสอบการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์โดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 2 ชุดได้ดังนี้

1. ชุดการทดลอง A : ทำการถ่ายสลัดจ์ลงในถัง 5 ใบๆละ 150 มิลลิลิตร (สัดส่วนตะกอนรวม 15% โดยปริมาตรในน้ำเสียสังเคราะห์) ในน้ำเสียสังเคราะห์จากข้อ 3.3.1 ที่มี ฟอร์มัลดีไฮด์ความเข้มข้นเริ่มต้น 0 , 250 , 500 , 750 และ 1000 มก./ล. เติมอากาศตลอดการทดลองเก็บตัวอย่างน้ำที่เวลา 0 , 6 , 12 ,18 และ 24 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ที่เหลือในน้ำ , พีเอช , ค่าออกซิเจนละลายในน้ำ และ ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ชุดการทดลอง B : ทำการถ่ายสลัดจ์และเชื้อ *Pseudomonas putida* อย่างละ 75 มล. ไปในถัง 5 ใบ (สัดส่วนตะกอนรวม 15% โดยปริมาตรในน้ำเสียสังเคราะห์) ในน้ำเสียสังเคราะห์จากข้อ 3.3.1 ที่มีฟอร์มัลดีไฮด์ความเข้มข้นเริ่มต้น 0 , 250 , 500 , 750 และ 1000 มก./ล. เติมอากาศตลอดการทดลองเก็บน้ำตัวอย่างที่ 0 , 6 , 12 ,18 และ 24 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณ ฟอร์มัลดีไฮด์ที่เหลือ , พีเอช , ค่าออกซิเจนละลายในน้ำ และ ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

3.4 การวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง

ในการวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง ทำการทดสอบพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

พารามิเตอร์	วิธีทดลอง
ปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์	สเปกโตรโฟโตมิเตอร์* (มั่นสิน, 2540)
พีเอช	เครื่องวัดพีเอช
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด	การกรองผ่านชุดกรองลดความดันและชั่งน้ำหนัก*
ออกซิเจนละลายน้ำ	เครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ

หมายเหตุ * รายละเอียดวิธีการทดลองในภาคผนวก ก

3.5 การทำกราฟมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์

การวิเคราะห์หาค่าฟอร์มัลดีไฮด์ใช้หลักการให้ฟอร์มัลดีไฮด์ทำปฏิกิริยากับเอเซทธิลอะซีโตนในสภาวะที่มีเกลือแอมโมเนียมอยู่มากเกินพอจะเกิดสารประกอบสีเหลืองของไดอะเซตติลไดไฮโดรลูทีดีน ซึ่งวิเคราะห์หาปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์โดยวิธีเทียบสี เทียบกับกราฟมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์ (สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2540) ดังกราฟที่ ข-1 (ภาคผนวก ข)

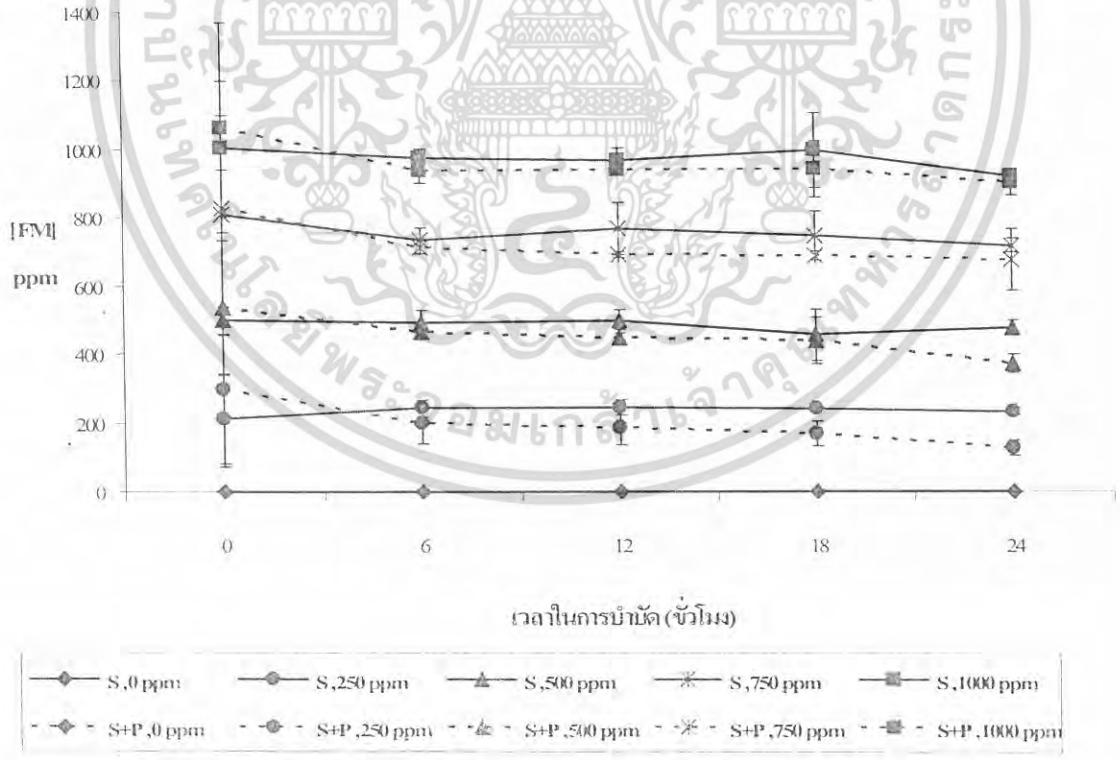
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

การทดลองนี้เป็นการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์ด้วย *Pseudomonas putida* โดยวิธีการบำบัดทางชีวภาพแบบใช้อากาศ เปรียบเทียบการใช้เชื้อตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัด 2 สภาวะคือ การใช้เชื้อสลัดจ์อย่างเดียว และการใช้เชื้อสลัดจ์ร่วมกับ *Pseudomonas putida* ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ รวมทั้งศึกษาผลของความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์ที่มีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์

4.1 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ทางชีวภาพ

ระบบบำบัดทำการเติมเชื้อสลัดจ์ (S) และสลัดจ์ร่วมกับ *Pseudomonas putida* (S+P) ลงไปในระบบจำนวน 15% ต่อปริมาตรน้ำเสียสังเคราะห์รวม เพื่อตรวจสอบการทำงานของเชื้อสลัดจ์และสลัดจ์ร่วมกับ *Pseudomonas putida* ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์ ได้ผลดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ปริมาณความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ที่เหลือของน้ำเสียสังเคราะห์หลังผ่านการบำบัด ณ เวลาต่างๆ ด้วยสลัดจ์และสลัดจ์ร่วมกับ *Pseudomonas putida*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำเสียสังเคราะห์หลังจากผ่านการบำบัด ดังแสดงในรูปที่ 4.1 เมื่อเทียบกับปริมาณความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์เริ่มต้น เห็นได้ว่าเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง ชุดการทดลอง A ที่ทำการเติมเชื้อสลัดจ์อย่างเดียวเพื่อทำการบำบัด มีปริมาณความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์คงเหลือของทุกความเข้มข้นเทียบกับเริ่มต้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก อันเนื่องมาจากเชื้อสลัดจ์ไม่สามารถบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ได้หรือเชื้อสลัดจ์ไม่สามารถทนทานต่อความเป็นพิษของฟอร์มัลดีไฮด์ได้ ดังที่กล่าวในข้อ 2.1.3 แต่การที่ปริมาณความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์มีการลดลงบางส่วน อาจเนื่องมาจากการที่ฟอร์มัลดีไฮด์ระเหยออกจากระบบจากคุณสมบัติความเป็นก๊าซของฟอร์มัลดีไฮด์ ดังแสดงในผลการทดลองชุดควบคุมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟอร์มัลดีไฮด์ 1000 มก./ล. แต่ปราศจากเชื้อตะกอนจุลินทรีย์พบว่าปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์สูญหายจากการเติมอากาศและการระเหยมีค่าประมาณร้อยละ 2 (คำนวณจากความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์สุดท้ายของชุดควบคุมดังแสดงในตารางที่ ข-10 เทียบกับความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์เริ่มต้น)

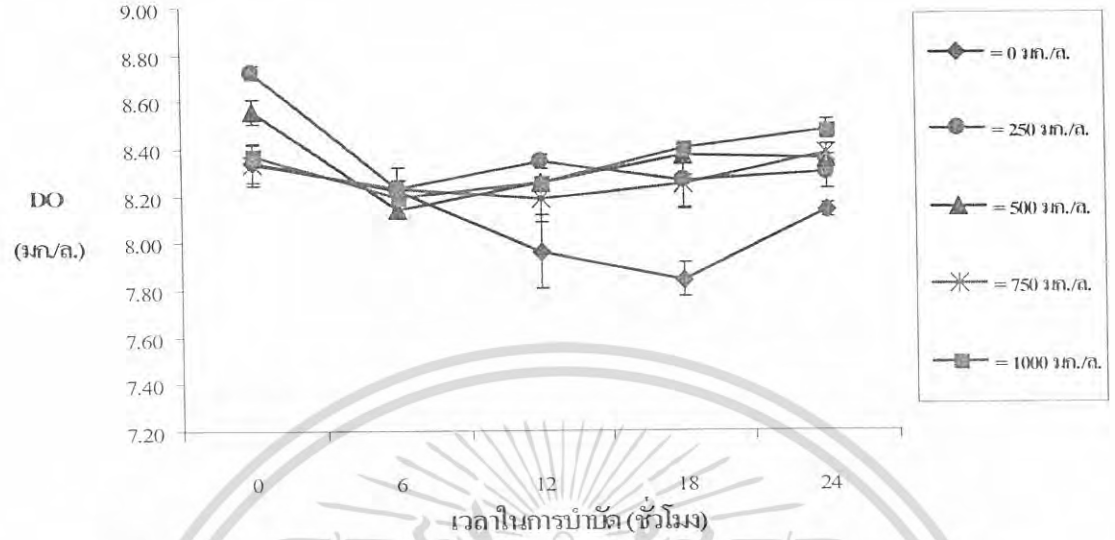
ในขณะเดียวกันชุดการทดลอง B ที่ทำการเติมเชื้อสลัดจ์ร่วมกับ *Pseudomonas putida* เพื่อทำการบำบัด เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมงพบว่า น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์เริ่มต้นที่ความเข้มข้นเท่ากับ 250 , 500 , 750 และ 1,000 มก./ล. หลังผ่านการบำบัดมีค่าความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์คงเหลือเท่ากับ 121 , 363 , 651 และ 904 มก./ล. ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 51.47 , 27.42 , 13.17 และ 9.61 ตามลำดับดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลอง A จะพบว่าการเติม *Pseudomonas putida* สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ โดยการผลิตเอนไซม์ฟอร์มัลดีไฮด์ ดีไฮโดรจีเนสมาย่อยสลายฟอร์มัลดีไฮด์เป็นเมธานอลหรือกรดฟอร์มิก (Soljan et al., 2001) ซึ่งสอดคล้องกับหัวข้อที่ 2.3.1 หรือ *Pseudomonas putida* สามารถนำฟอร์มัลดีไฮด์และน้ำตาลซูโครสใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการดำเนินกิจกรรมทางชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

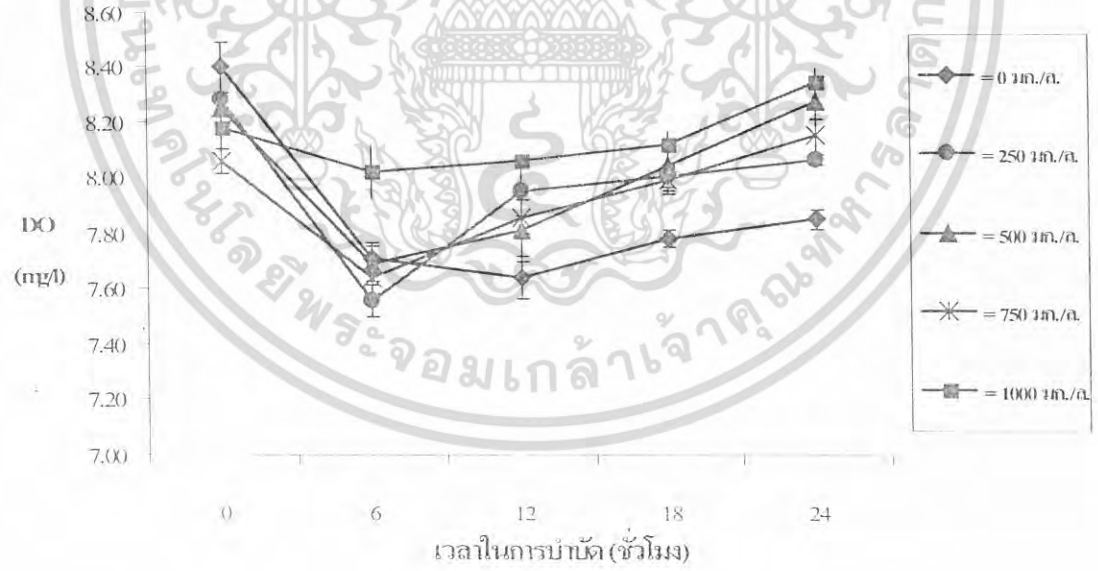
ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำของชุดการทดลอง A บ่งชี้ถึงอัตราการหายใจของจุลินทรีย์ในกระบวนการบำบัดทางชีวภาพได้ ดังรูปที่ 4.2 พบว่าที่ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์เริ่มต้นเท่ากับ 0 มก./ล. ค่าออกซิเจนละลายในน้ำของน้ำในถังปฏิกรณ์ที่ไม่มีฟอร์มัลดีไฮด์มีค่าลดลงต่ำสุด (DO deficit) ที่ 18 ชั่วโมงเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลอง B (รูปที่ 4.3) ที่ความเข้มข้น 0 มก./ล. ที่ออกซิเจนละลายในน้ำลดลงต่ำสุดที่ 12 ชั่วโมง แสดงว่าเชื้อสลัดจ์สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำตาลซูโครสไปใช้ในกระบวนการสร้างเซลล์และกิจกรรมต่างๆของเซลล์ (จินตนาและมณีรัตน์, 2546) ได้ต่ำกว่าการที่สลัดจ์ร่วมกับ *Pseudomonas putida* ย่อยสลายน้ำตาลซูโครสและฟอร์มัลดีไฮด์ไปใช้เป็นแหล่งคาร์บอน และเมื่อมีการย่อยสลายสูงขึ้น การละลายของออกซิเจนจากการให้อากาศแบบ bubble diffuser ก็เพิ่มสูงขึ้น และเมื่อเวลาผ่านไป ค่าออกซิเจนละลายในน้ำมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากอัตราการเปลี่ยนแปลง ค่า D_d จะมีผลต่ออัตราการเติมอากาศ (r_R) เพื่อชดเชยออกซิเจนในน้ำให้เข้าสู่จุดสมดุลมากที่สุด (ยุพา ตันทวี, 2547)

ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำในถังปฏิกรณ์ที่เติมฟอร์มัลดีไฮด์ของชุดการทดลอง A (รูปที่ 4.2) มีค่าค่อนข้างคงที่แสดงถึงอัตราการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ค่อนข้างต่ำ อาจเนื่องมาจากจุลินทรีย์จากสลัดจ์ไม่สามารถบำบัดสารอินทรีย์ได้หรือการทำงานของจุลินทรีย์ถูกยับยั้งโดยฟอร์มัลดีไฮด์ หรือออกซิเจนละลายในน้ำ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลอง B ดังรูปที่ 4.3 พบว่า ค่าออกซิเจนละลายในน้ำลดลงต่ำสุด (DO deficit) ที่ 6 ชั่วโมงเมื่อเทียบกับออกซิเจนละลายน้ำอิ่มตัว (Saturated DO) ที่ 0 ชั่วโมง และการที่ออกซิเจนละลายในน้ำมีการลดลงอาจเนื่องมาจากอุณหภูมิของระบบที่เปลี่ยนไปจากสภาวะแวดล้อมโดยรอบ ซึ่งจากการทดลองไม่ได้ทำการวัดอุณหภูมิไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ค่าออกซิเจนละลายในน้ำของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์ที่ผ่านการบำบัดด้วยสลัดจ์ (ชุดการทดลอง A)



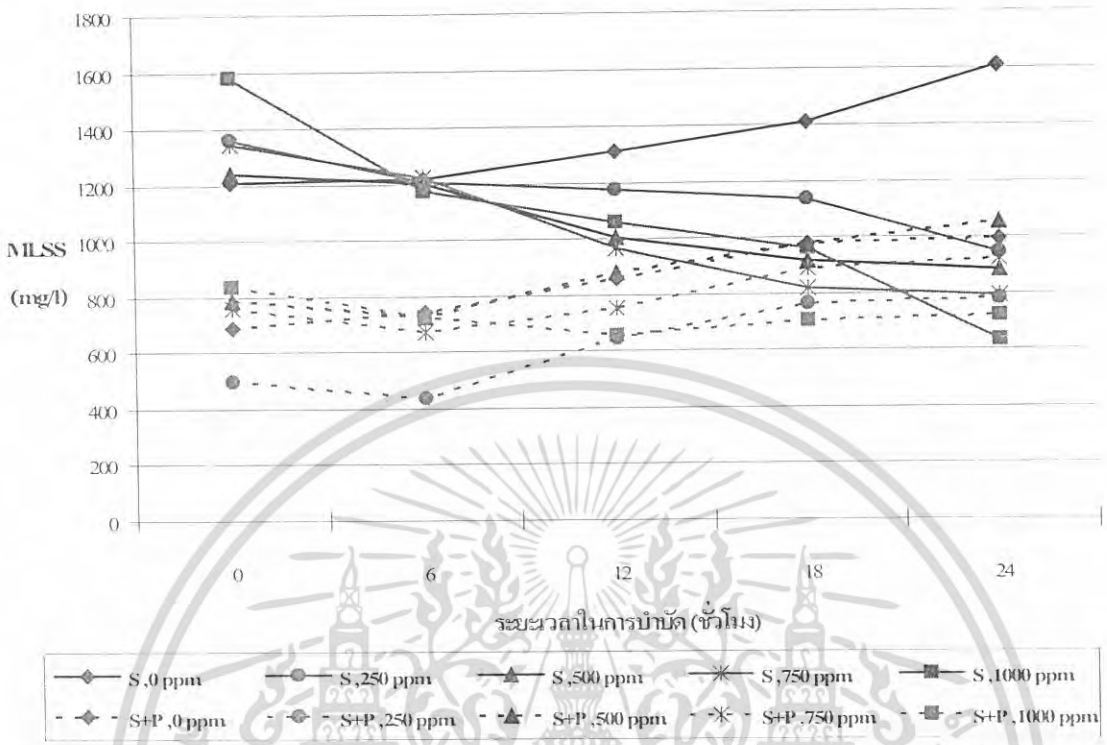
รูปที่ 4.3 ค่าออกซิเจนละลายในน้ำของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์ที่ผ่านการบำบัดด้วยสลัดจ์ร่วมกับ *Pseudomonas putida* (ชุดการทดลอง B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองดังรูปที่ 4.1 สอดคล้องกับปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มล.SS) ของระบบดังแสดงในรูปที่ 4.4 โดยพบว่าชุดการทดลอง A น้ำเสียที่ไม่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในระบบมีค่าเพิ่มสูงขึ้น แสดงถึงการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนเซลล์ของจุลินทรีย์ โดยทำการใช้น้ำตาลซูโครสเป็นแหล่งคาร์บอนในกิจกรรมทางชีวภาพ เป็นผลให้เกิดการเพิ่มจำนวนมวลชีวภาพ ดังที่กล่าวในหัวข้อ 2.2.3 เช่นเดียวกับน้ำเสียที่ไม่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์ของชุดการทดลอง B ในขณะที่น้ำเสียซึ่งมีฟอร์มัลดีไฮด์ปนเปื้อนอยู่ของชุดการทดลอง A มีแนวโน้มการลดลงของปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด แสดงถึงอัตราการตายของจุลินทรีย์มากกว่าอัตราการเจริญเติบโตซึ่งตรงข้ามกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 250-750 มก./ล. ของชุดการทดลอง B ที่ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ยกเว้นที่ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์เริ่มต้น 1000 มก./ล. ที่ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง ดังรูปที่ 4.4 โดยอาจเกิดจากความเป็นพิษของฟอร์มัลดีไฮด์ต่อการเจริญของสลัดจ์และแบคทีเรีย *Pseudomonas putida*

ในขณะที่ชุดการทดลอง B ปริมาณของแข็งแขวนลอยเริ่มต้นน้อยกว่าเมื่อเทียบกับชุดการทดลอง A เนื่องจากชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้และสัดส่วนปริมาณที่ใช้แตกต่างกัน โดยที่ *Pseudomonas putida* ถูกทำให้เพิ่มจำนวนจากในรูป Lyophilyze มาอยู่ในรูปอาหารเหลวภายในระยะเวลา 5 วันจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์แห่งชาติ ซึ่งแตกต่างจากเชื้อสลัดจ์ที่ถูกเลี้ยงด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีน้ำตาลซูโครสเป็นแหล่งคาร์บอนและถูกนำไปใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียมาเป็นเวลานาน ดังนั้นความหนาแน่นของเชื้อ *Pseudomonas putida* ต่ออาหารเหลวจึงน่าจะต่ำกว่า ดังนั้นชุดการทดลอง A ที่มีการใช้เชื้อสลัดจ์เพียงอย่างเดียวในการบำบัดจึงมีปริมาณของแข็งแขวนลอยสูงกว่า และที่เวลา 0 , 6 , 12 , 18 และ 24 ชั่วโมงจะมีการเก็บตัวอย่างน้ำเสียออกมาวิเคราะห์ 50 มล. ซึ่งน่าจะมีผลให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในรูปที่ 4.4 ลดลงจากปกติเมื่อเวลาผ่านไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

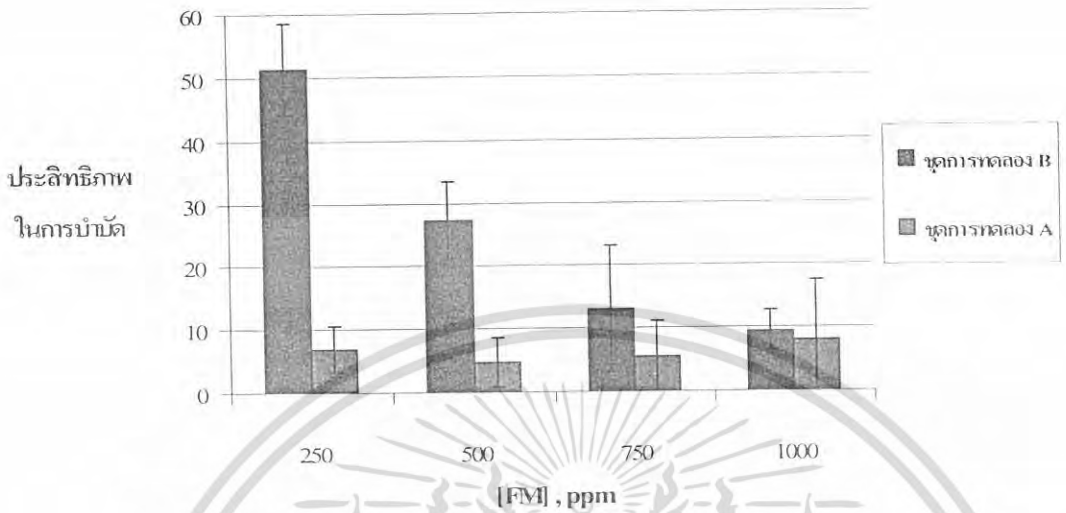


รูปที่ 4.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มล.SS) ของน้ำเสียสังเคราะห์หลังผ่านการบำบัด ณ เวลาต่างๆ ด้วยสลัดจ์และสลัดจ์ร่วมกับ *Pseudomonas putida*

4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยสลัดจ์และสลัดจ์ร่วมกับ *Pseudomonas putida*

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำเสียสังเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 4.5 พบว่าน้ำเสียสังเคราะห์ที่มี *Pseudomonas putida* (ชุดการทดลอง B) มีค่าประสิทธิภาพการกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์สูงเมื่อเทียบกับน้ำเสียที่ไม่มี *Pseudomonas putida* (ชุดการทดลอง A) ดังกล่าวมาแล้ว *Pseudomonas putida* สามารถผลิตเอนไซม์ฟอร์มัลดีไฮด์ ดีไฮโดรจีเนส ที่กระตุ้นการย่อยสลายฟอร์มัลดีไฮด์ได้ (Soljan et al., 2001) ในขณะที่จุลินทรีย์ในสลัดจ์ซึ่งไม่เคยเลี้ยงด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ไม่มีเอนไซม์ชนิดนี้ ดังนั้นการใช้ *Pseudomonas putida* จึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยสลัดจ์และสลัดจ์ร่วมกับ *Pseudomonas putida*

รูปที่ 4.5 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ของชุดการทดลอง A และ B ที่เวลาบำบัด 24 ชั่วโมง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์เริ่มต้นตั้งแต่ 250 – 1000 มก./ล. พบว่าความสามารถในการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ของชุดการทดลอง B มีค่าลดลง โดยที่ความเข้มข้น 250 มก./ล. ประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์มีค่าร้อยละ 51 เมื่อความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์ถึง 500 และ 750 มก./ล. ประสิทธิภาพการบำบัดลดลงเหลือร้อยละ 27 และ 13 ตามลำดับ และที่ความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์ 1000 มก./ล. ประสิทธิภาพของระบบลดลงอย่างมากเหลือเพียงร้อยละ 9

ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Soljan et al. (2001) ที่สามารถบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 500 และ 1,000 มก./ล. แต่จากผลการทดลองมีประสิทธิภาพของระบบบำบัดต่ำกว่าอาจเกิดปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเริ่มต้นต่ำกว่า และไม่ได้ปรับสภาพเชื้อ *Pseudomonas putida* เข้ากับระบบบำบัดน้ำเสียที่มีฟอร์มัลดีไฮด์ปนเปื้อนก่อน โดยที่งานวิจัยของ Soljan et al. (2001) ไม่ได้ระบุปริมาณเชื้อเริ่มต้นหรือปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดทั้งก่อนและหลังการทดลองแต่ในการวิจัยมีการปรับสภาพเชื้อ *Pseudomonas putida* ให้เข้ากับการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยมีการปรับความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์และกรดฟอร์มิก 5 ครั้ง พร้อมกับการเพิ่มจำนวนของ *Pseudomonas putida* และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lotfy และ Rashed (2001) โดยที่ประสิทธิภาพในการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 250 มก./ล. (จากการทดลอง) ใกล้เคียงกับที่ผลที่ได้จากการศึกษาของ Lotfy และ Rashed (2001)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่บำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 300 มก./ล. แต่ไม่เป็นไปตามกับกรมควบคุมมลพิษ (2541) ที่ระบุว่าความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์มากกว่า 500 มก./ล. กระบวนการใช้ออกซิเจนทางชีวภาพจะถูกยับยั้งโดยสมบูรณ์ เนื่องด้วยจากผลการทดลอง สามารถบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์เริ่มต้นเท่ากับ 500-1,000 มก./ล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการดำเนินการทดลอง การเติม *Pseudomonas putida* ร่วมกับสลัดจ์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำเสียสังเคราะห์ เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง โดยที่ความเข้มข้น 250 มก./ล. ประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์มีค่าร้อยละ 51 ในขณะที่เมื่อเทียบกับการบำบัดด้วยสลัดจ์เพียงอย่างเดียวไม่สามารถบำบัดได้ ทั้งนี้เนื่องมาจาก *Pseudomonas putida* สามารถผลิตเอนไซม์ฟอร์มัลดีไฮด์ดีไฮโดรจีเนสที่ใช้ในการย่อยฟอร์มัลดีไฮด์ได้เป็นผลให้ฟอร์มัลดีไฮด์ถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นเมธานอลหรือกรดฟอร์มิก ดังกล่าว

อนึ่งปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำเสียจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของ *Pseudomonas putida* เมื่อเพิ่มปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำเสียทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลง โดยพบว่าที่ความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์เท่ากับ 500 และ 750 มก./ล. ประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ลดลงเหลือร้อยละ 27 และ 13 ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นขึ้นถึง 1000 มก./ล. ส่งผลยับยั้งการทำงานของ *Pseudomonas putida* จนทำให้ประสิทธิภาพลดลงเหลือร้อยละ 9 ดังนั้น *Pseudomonas putida* จึงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดได้ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟอร์มัลดีไฮด์ที่เหมาะสมและไม่ส่งผลยับยั้งต่อการทำงานของ *Pseudomonas putida* นั่นคือประมาณ 250 มก./ล.

ผลของปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดนั้นสอดคล้องกับค่าออกซิเจนละลายในน้ำและปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด โดยหากใช้สลัดจ์ในการบำบัดพบว่าไม่สามารถบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ได้ เห็นได้จากค่าออกซิเจนละลายในน้ำในถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมฟอร์มัลดีไฮด์มีค่าค่อนข้างคงที่แสดงถึงอัตราการใช้ออกซิเจนต่ำ จุลินทรีย์ไม่สามารถนำฟอร์มัลดีไฮด์ซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนไปใช้ในกระบวนการสร้างเซลล์และกิจกรรมของเซลล์ได้ ในทางเดียวกันปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในระบบบำบัดน้ำเสียที่มีฟอร์มัลดีไฮด์มีแนวโน้มลดลง แสดงถึงอัตราการตายของจุลินทรีย์มากกว่าอัตราการเจริญเติบโต ในขณะที่การเติม *Pseudomonas putida* ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์นั้นพบว่า ออกซิเจนละลายในน้ำมีค่าลดลงใน 6 ชั่วโมงแรกเป็นผลจากการใช้สารอินทรีย์ในการสร้างเซลล์ของจุลินทรีย์ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

- ควรทดสอบปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการบำบัด เช่น ปริมาณเชื้อเริ่มต้น,สัดส่วนของเชื้อสลัดจ์กับ *Pseudomonas putida* หรือใช้ร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์อื่นๆที่ย่อยสลายฟอร์มัลดีไฮด์ , ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเริ่มต้น , อุณหภูมิของระบบ , พีเอช และสาร Co-substrate เป็นต้น
- ควรวิเคราะห์ค่าอื่นๆเพิ่มเติม เช่น TOC , BOD เป็นต้น
- ควรขยายผลการทดลองในระบบ pilot-scale ก่อนนำไปใช้จริงในระบบบำบัดน้ำเสียเชิงอุตสาหกรรม
- ควรเปรียบเทียบกับวิธีการบำบัดแบบอื่น เช่น การบำบัดด้วยโอโซน เป็นต้น ทั้งทางด้านประสิทธิภาพในการบำบัด , การลงทุนอื่นๆ เพื่อนำไปขยายผลทดลองจริงกับระบบบำบัดน้ำเสียเชิงอุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2541. **เอกสารชุดสารเคมีเฉพาะเรื่อง (Monograph) Formaldehyde.** พิมพ์ครั้งที่ 2 กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2546.**ของเสียอันตราย (Hazardous waste)** พิมพ์ครั้งที่ 1. ปทุมธานี: กณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต.

คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2537. **การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย.**

จินตนา แจ่มจันทร์ และมณีรัตน์ ปาณะปุณฉัง. 2546.**การบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสีย้อมรีแอ็กทีฟด้วยระบบเอสบีอาร์.** ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

มั่นสิน ตัณฑุลเวสม์. 2540.**คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ.** ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พิมพ์ครั้งที่ 2

มีชัย เรืองชัยนิคม. 2545.**ผลของการกวนในช่วงแอนน็อกซิกของระบบบำบัดเอสบีอาร์ต่อการกำจัดไนโตรเจน (Effect of mixing in anoxic of sequencing batch reactor for nitrogen removal)** ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ยุพา ตันทวี. 2547.**การควบคุมมลพิษทางน้ำ (Water Pollution Control).** โครงการตำราภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2544.**คู่มือการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานทอผ้าและฟอกย้อม.** พิมพ์ครั้งที่ 1

สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2540.**คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย.** พิมพ์ครั้งที่ 3

สาโรจน์ ศิริศันสนียกุลและประวิทย์ วงศ์คงคาเทพ. 2548.**หลักวิศวกรรมเคมีชีวภาพ** ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Adroer, N., Casas, C., de Mas, C., Sola, C., 1990. Mechanism of formaldehyde biodegradation by *Pseudomonas putida*. **Appl. Microbiol. Biotechnol.** 33:217-220. อ้างถึงใน Eiroa M., Kennes C., Veiga M. C. 2005.Simultaneous nitrification and formaldehyde biodegradation in an activated sludge unit. **Bioresource Technology** 96:1914-1918.

Colowick, S.P. and N.O. Kaplan. 1995. **Methods in Enzymology**. Vol.1 Academic Press, New York. 441 p.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Eiroa M., Vilar A., Amor L., Kennes C., Veiga M.C. 2004. Biodegradation and effect of formaldehyde and phenol on the denitrification process. **Water research** 39:449-455

Eiroa M., Kennes C., Veiga M. C. 2005. Simultaneous nitrification and formaldehyde biodegradation in an activated sludge unit. **Bioresource Technology** 96:1914-1918.

Garrido J.M., Mendez R., Lema J.M. 2000. Treatment of wastewater from a formaldehyde-urea adhesives factory. **Water Science and Technology** 42 (5-6): 293-300

Grady, C.P.L., Jr., Daigger, G.T. and Lim, H.C. 1980. Biological waste water treatment second edition,revised and expanded,10th. New York: Marcel Dekker,Inc. อ้างถึงใน จินตนา แจ่มจันทร์ และมณีรัตน์ ปาณะปุณณัง. 2546.**การบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสีย้อมรีแอ็กทีฟด้วยระบบเอสบีอาร์.** ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Lahl U. and Zeschmar B. 1984.Formaldehyde-Portrait of a chemical:pit fall of placing science before industry อ้างถึงใน Lu Z. and Hegemann W. 1997.Anaerobic toxicity and biodegradation of formaldehyde in batch cultures. **Wat. Res.** 32 (1): 209-215.

Lotfy H.R. and Rashed I.G. 2001. A method for treating wastewater containing formaldehyde. **Water research** 36. 633-637

Marx. C.J., Miller J.A., Chistoserdova. L. 2003.Multiple formaldehyde oxidation/detoxification pathways in *Burkholderia fungarum* LB400. **Journal of bacteriology**, 186(7): 2173-2178.

Moteleb M.A., Suidan M.T., Kim J., Maloney S.W. 2002.Pertubated loading of a formaldehyde waste in an anaerobic granular activated carbon fluidized bed reactor. **Water Research** 36 (2002) 3775-3785.

Oliveira S.V.W.B., Moraes E.M., Adorno M.A.T., Varesche M.B.A., Foresti E., Zaiat M. 2004.Formaldehyde degradation in an anaerobic packed-bed bioreactor. **Water Research** 38: 1685-169.

Soljan M.G., Soljan V., Dragicevic T.L., Cacic L. 2001.Aerobic degradation of formaldehyde in wastewater from the production of melamin resins. **Food technol biotechnol.** 39 (3): 197-202.

Tanaka N., Kusakabe Y., Uemura H., Kondo M. 2000.Three-dimension structure of a nicotinoprotein formaldehyde dehydrogenase 6A, 18B/2000G308

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Vidal G., Jiang Z.P., Omil F., Thalasso F., Mendez R., Lema J.M. 1999.Continuous anaerobic treatment of wastewaters containing formaldehyde and urea. **Bioresource Technology** 70: 283-291

www.umsl.edu/~microbes/pdf/introductiontobacteria.pdf Microbiology @ Leicester: Microbilogy Video Library: *Pseudomonas putida* เข้าถึงวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2549

www-micro.msb.le.ac.uk/index.htมล.., 2002 เข้าถึงวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2549

http://textbookofbacteriology.net/Pseudomonas.etc.htมล. เข้าถึงวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2549

www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp111-c3.pdf เข้าถึงวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2549

www.foodsci.uoguelph.ca เข้าถึงวันที่ 16 มีนาคม 2549

www.takenaka.co.jp เข้าถึงวันที่ 16 มีนาคม 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
วิธีการทดลอง

1. การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของฟอร์มัลดีไฮด์

1. ชั่งฟอร์มัลดีไฮด์มา 6 กรัม ใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มล.
2. เติมกรดซัลฟูริก เข้มข้น 1 นอร์มัล จำนวน 10 มล. ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที แล้วเติม 10 มล. ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1 นอร์มัล แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
3. ปิเปตสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ที่เตรียมแล้วมา 25 มล. ใส่ในขวดรูปกรวย
4. เติมไทมอลพทาลีน 2 หยด แล้วปรับให้สารละลายมีค่าพีเอชเป็นกลาง
5. ปิเปตสารละลายโซเดียมซัลไฟต์มา 25 มล. ใส่ในขวดรูปกรวยอีกใบหนึ่ง แล้วทำการปรับค่าพีเอชให้เป็นกลาง
6. จากนั้นทำการเทสารละลายโซเดียมซัลไฟต์ลงในสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ (สีของสารละลายจะเป็นสีฟ้าน้ำเงิน)
7. นำสารละลายที่ได้ไปทำการไทเทรตด้วยกรดซัลฟูริก เข้มข้น 1 นอร์มัลจนถึงจุดยุติโดยสีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นไม่มีสี
8. ทำซ้ำอีก 2 ซ้ำ โดยปริมาตรของกรดซัลฟูริกต้องต่างกันไม่เกิน 0.1 มล. จากนั้นนำผลที่ได้ไปคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของฟอร์มัลดีไฮด์ โดยที่กรดซัลฟูริคเข้มข้น 1 นอร์มัล จำนวน 1 มล.จะทำปฏิกิริยาพอดีกับฟอร์มัลดีไฮด์ 30.03 มก. สามารถคำนวณความเข้มข้นที่แน่นอนของฟอร์มัลดีไฮด์ ได้ดังนี้

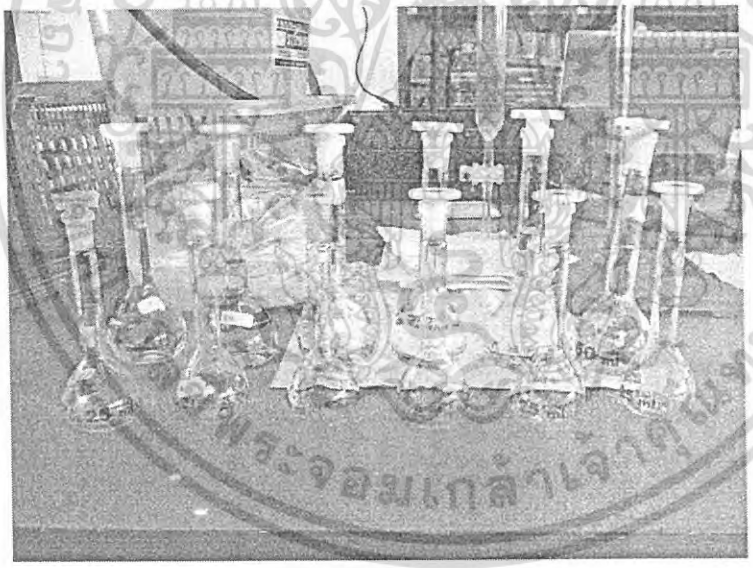
$$\text{ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ (มก./ล.)} = \frac{A \times 30.03 \times 1000}{25}$$

9. เมื่อทราบความเข้มข้นที่แน่นอนของฟอร์มัลดีไฮด์แล้วก็ทำการเจือจางให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การจัดทำกราฟมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์

1. ทำการเตรียมสารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์ให้มีความเข้มข้น 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 ไมโครกรัมต่อลิตร โดยปิเปตสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์จากข้อ 1 ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนมา 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 มล. ตามลำดับ ใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 25 มล. จากนั้นเติมกรดซัลฟูริก เข้มข้น 1 นอร์มัล จำนวน 5 มล. และโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1 นอร์มัล 5 มล. แล้วปรับปริมาตรทุกขวดด้วยน้ำกลั่น
2. เทสารละลายทุกขวดลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 50 มล. โดยล้างขวดเดิมด้วยอะเซททิลอะซีโตน แล้วปรับปริมาตรด้วยอะเซททิลอะซีโตน
3. เทสารละลายที่เตรียมแล้วใส่ในขวดรูปกรวย ต้มที่ 60 ^{0}C นาน 10 นาที แล้วทิ้งไว้ให้เย็น นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 425 นาโนเมตร ทำการเขียนกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นกับค่าเปอร์เซนต์ทรานส์มิตแทรนซ์ (%T) โดยใช้กราฟ SEMILOG



รูปที่ ก-1 การจัดเตรียมสารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การวิเคราะห์ฟอร์มัลดีไฮด์ในสารละลาย

จากวิธีวิเคราะห์หาฟอร์มัลดีไฮด์ในสารละลาย หากสารละลายตัวอย่างมีลักษณะขุ่นและมีสีการทำการกลั่นตัวอย่างก่อนทำการวิเคราะห์เพื่อกำจัดสารรบกวนการวิเคราะห์ตัวอื่นออกไป

แต่เนื่องจากน้ำเสียสังเคราะห์หลังจากกรองเอาสลัดจ์หรือเชื้อจุลินทรีย์ออกไป พบว่าเป็นน้ำใส ไม่มีสี จึงสามารถวิเคราะห์ได้ทันที

ดวงสารละลายตัวอย่างที่ผ่านการเจือจางแล้วจำนวน 15 มล. ใส่ในขวดตวงขนาด 50 มล. ทำการเติมกรดซัลฟูริก เข้มข้น 1 นอร์มัล จำนวน 5 มล. และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1 นอร์มัล 5 มล. และทำการปรับปริมาตรเป็น 50 มล.ด้วยอะเซททิลอะซีโตน เทสารละลายดังกล่าวลงในขวดรูปกรวย นำไปต้มที่อุณหภูมิ 60 ^{o}C เวลา 10 นาที ปล่อยให้เย็นวัดค่า %T ที่ความยาวคลื่น 425 นาโนเมตร อ่านค่าจากกราฟมาตรฐาน โดยกราฟแกน Y เป็น Log %T และแกน X เป็นปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในหน่วยไมโครกรัม

การคำนวณ

$$\text{ฟอร์มัลดีไฮด์ , (มก./ล.)} = \frac{\text{ไมโครกรัมฟอร์มัลดีไฮด์ที่อ่านจากกราฟ}}{\text{มล. น้ำตัวอย่าง}}$$

หมายเหตุ ในการทดลองการเก็บตัวอย่างครั้งละ 50 มิลลิลิตรในแต่ละเวลา ไม่ได้ทำการเติมน้ำเสียสังเคราะห์คืนลงไปในระบบ เป็นผลให้ปริมาณน้ำเสียสังเคราะห์ในระบบลดลง ดังนั้นเมื่อคำนวณหาปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์จากสูตรด้านบนเสร็จจะต้องคำนวณเทียบกับที่ 1 ลิตรด้วย

3. การวิเคราะห์หาของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มล.SS)

เอมแอลเอสเอส (Mixed Liquor Suspended Solids, มล.SS) หมายถึง ปริมาณหรือความเข้มข้นโดยประมาณของจุลินทรีย์ ในถังเติมอากาศในระบบบำบัดแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ คิดเป็นปริมาณสารแขวนลอยของน้ำสลัดจ์หรือมิกซ์ลิเคอร์ (Mixed Liquor) ซึ่งหมายถึงของผสมระหว่างน้ำเสียกับมวลจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศ

การหาค่าเอมแอลเอสเอสมีประโยชน์ คือ สามารถนำไปคำนวณหาอัตราส่วนของอาหารต่อมวลจุลินทรีย์ (Food to Microorganism ratio , F/M) ซึ่งคิดจากอัตราส่วนระหว่างบีโอดีที่เข้าสู่ถังเติมอากาศกับปริมาณเอมแอลเอสเอสที่เหลืออยู่ในถังเติมอากาศนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. อบกระดาษกรองให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 ^{O}C นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถทำแห้ง แล้วชั่งหาน้ำหนักกระดาษกรอง
2. ทำซ้ำในข้อ 1. จนชั่งหาน้ำหนักกระดาษกรองได้ค่าคงที่หรือน้ำหนักเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าร้อยละ 4 สมมุติว่าเป็น A มิลลิกรัม
3. เลือกปริมาตรตัวอย่างน้ำ ซึ่งจะให้ค่าของแข็งชั่งได้โดยประมาณอย่างน้อยที่สุด 2.5 มก. (เพิ่มจากน้ำหนักของกระดาษกรอง)
4. วางกระดาษกรองลงในกรวยบุคเนอร์ ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องดูดอากาศ
5. ใช้น้ำกลั่นฉีดกระดาษกรองให้เปียกและให้ถูกดูดติดแน่นกับกรวยบุคเนอร์
6. กรองตัวอย่างน้ำตามปริมาตรที่ต้องการโดยอาศัยแรงดูดช่วย
7. ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างของแข็งที่ติดอยู่ข้างกรวยจนหมดและรอจนกว่าจะแห้ง
8. ปิดเครื่องดูดอากาศ ใช้ปากคีบคีบกระดาษกรองใส่ภาชนะทนไฟ เช่น จานเพาะเชื้อ (Petri dish) ถ้วยอะลูมิเนียม หรือกระจกนาฬิกา
9. นำไปอบที่ตู้อบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 ^{O}C จนกว่าจะแห้ง ใช้เวลา 1 ชั่วโมง
10. ทิ้งให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้องในโถทำแห้ง แล้วชั่งหาน้ำหนักกระดาษกรองใหม่
11. ทำซ้ำในข้อ 9-10 จนชั่งน้ำหนักกระดาษกรองได้ค่าคงที่ หรือน้ำหนักเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าร้อยละ 4 สมมุติว่าเป็น B มิลลิกรัม

การคำนวณ

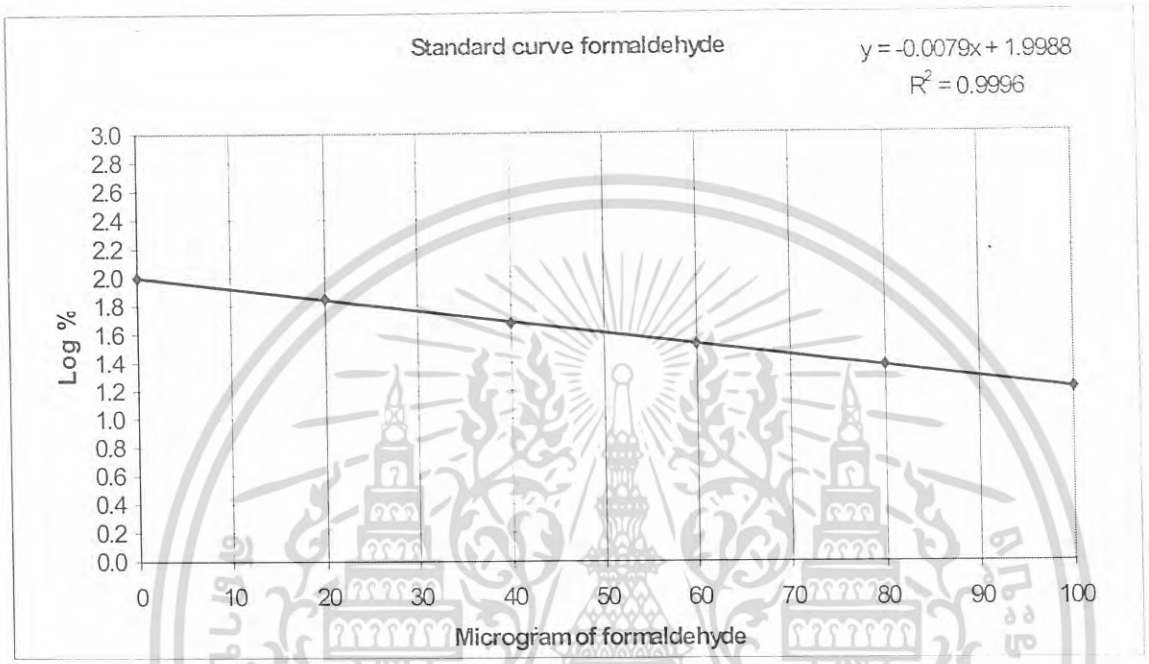
$$\text{ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด , มก./ลบ.ดม.} = \frac{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (B-A) x 1000}}{\text{ลบ.ซม. ตัวอย่างน้ำ}}$$

หมายเหตุ ในการทดลองการเก็บตัวอย่างครั้งละ 50 มิลลิลิตรในแต่ละเวลา ไม่ได้ทำการเติมน้ำเสียสังเคราะห์คืนลงไปในระบบ เป็นผลให้ปริมาณน้ำเสียสังเคราะห์ในระบบลดลง ดังนั้นเมื่อคำนวณหาปริมาณของแข็งแขวนลอยจากสูตรด้านบนเสร็จจะต้องคำนวณเทียบกับที่ 1 ลิตรด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข้อมูลผลการทดลอง



รูปที่ ข-1 กราฟมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยสลัดจ์

[FM] Ppm	Sludge				
	[FM] ที่เหลือ ณ เวลาต่างๆ ,ppm				
	0	6	12	18	24
0	0.25	0.32	0.83	0.42	0.42
250	242.50	248.07	250.20	239.37	232.62
500	490.26	482.82	490.02	469.89	476.39
750	739.54	741.04	748.38	724.33	708.95
1000	989.92	980.71	972.46	964.81	918.42

ตารางที่ ข-2 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยสลัดจ์ร่วมกับ *Pseudomonas putida*

[FM] Ppm	Sludge+P.Putida				
	[FM] ที่เหลือ ณ เวลาต่างๆ ,ppm				
	0	6	12	18	24
0	0.71	0.76	0.36	0.91	0.89
250	242.70	183.75	174.09	158.80	121.33
500	490.13	463.91	450.15	422.37	362.92
750	739.90	708.08	686.77	679.60	651.24
1000	990.47	945.27	931.07	917.27	903.91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3 ประสิทธิภาพในการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยสลัดจ์

[FM] เริ่มต้น (ppm)	Sludge				
	ประสิทธิภาพ			AVE.	STD.
	1	2	3		
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
250	9.95	2.84	8.07	6.95	3.69
500	9.02	1.63	3.51	4.72	3.84
750	3.06	1.42	11.94	5.47	5.66
1000	8.72	-1.54	17.29	8.16	9.43

หมายเหตุ ประสิทธิภาพคำนวณเทียบกับความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์เริ่มต้น

ตารางที่ ข-4 ประสิทธิภาพในการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยสลัดจ์ร่วมกับ *Pseudomonas putida*

[FM] เริ่มต้น (ppm)	Sludge+P.Putida				
	ประสิทธิภาพ			AVE.	STD.
	1	2	3		
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
250	43.60	57.89	52.91	51.47	7.25
500	22.69	34.36	25.20	27.42	6.14
750	1.97	16.15	21.39	13.17	10.04
1000	12.91	9.33	6.59	9.61	3.17

หมายเหตุ ประสิทธิภาพคำนวณเทียบกับความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์เริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5 ค่าออกซิเจนละลายน้ำของระบบบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นต่างๆด้วยสลัดจ์

[FM],ppm		ชั่วโมงในการบำบัด (ชั่วโมงที่)				
		0	6	12	18	24
0	1	8.43	8.32	8.12	7.88	8.11
	2	8.28	8.12	7.81	7.76	8.16
	3	8.30	8.21	7.95	7.89	8.12
	Average	8.34	8.22	7.96	7.84	8.13
	STD.	0.08	0.10	0.16	0.07	0.03
250	1	8.75	8.25	8.37	8.38	8.35
	2	8.71	8.19	8.32	8.15	8.21
	3	8.69	8.24	8.33	8.26	8.30
	Average	8.72	8.23	8.34	8.26	8.29
	STD.	0.03	0.03	0.03	0.12	0.07
500	1	8.62	8.18	8.25	8.40	8.41
	2	8.52	8.15	8.27	8.35	8.35
	3	8.55	8.10	8.24	8.33	8.30
	Average	8.56	8.14	8.25	8.36	8.35
	STD.	0.05	0.04	0.02	0.04	0.06
750	1	8.40	8.27	8.28	8.35	8.40
	2	8.31	8.21	8.17	8.20	8.33
	3	8.23	8.20	8.09	8.16	8.37
	Average	8.31	8.23	8.18	8.24	8.37
	STD.	0.09	0.04	0.10	0.10	0.04
1000	1	8.42	8.22	8.25	8.41	8.52
	2	8.35	8.17	8.28	8.38	8.46
	3	8.33	8.19	8.23	8.37	8.44
	Average	8.37	8.19	8.25	8.39	8.47
	STD.	0.05	0.03	0.03	0.02	0.04
Control	1	8.71	8.87	8.77	8.65	8.56
	2	8.75	8.84	8.75	8.60	8.50
	3	8.65	8.82	8.74	8.61	8.53
	Average	8.70	8.84	8.75	8.62	8.53
	STD.	0.05	0.03	0.02	0.03	0.03

หมายเหตุ ชุด Control คือน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์เริ่มต้นเท่ากับ 1,000 มก./ล. โดยที่มีการให้อากาศตลอดเวลาแต่ไม่ได้เติมเชื้อจุลินทรีย์ในการบำบัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-6 ค่าออกซิเจนละลายน้ำของระบบบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นต่างๆด้วยสกัดจ์ร่วมกับ *Pseudomonas putida*

[FM],ppm		ชั่วโมงในการบำบัด (ชั่วโมงที่)				
		0	6	12	18	24
0	1	8.47	7.76	7.73	7.79	7.89
	2	8.44	7.72	7.60	7.75	7.82
	3	8.30	7.65	7.60	7.81	7.85
	Average	8.40	7.71	7.64	7.78	7.85
	STD.	0.09	0.06	0.08	0.03	0.04
250	1	8.25	7.62	8.05	8.01	8.08
	2	8.31	7.54	7.93	7.96	8.06
	3	8.28	7.51	7.88	8.03	8.04
	Average	8.28	7.56	7.95	8.00	8.06
	STD.	0.03	0.06	0.09	0.04	0.02
500	1	8.23	7.64	7.93	8.07	8.33
	2	8.25	7.76	7.80	8.10	8.29
	3	8.28	7.66	7.71	7.94	8.20
	Average	8.25	7.69	7.81	8.04	8.27
	STD.	0.03	0.06	0.11	0.09	0.07
750	1	8.11	7.58	7.80	8.03	8.27
	2	8.04	7.67	7.92	8.01	8.11
	3	8.02	7.68	7.86	7.93	8.07
	Average	8.06	7.64	7.86	7.99	8.15
	STD.	0.05	0.06	0.06	0.05	0.11
1000	1	8.28	8.00	8.03	8.17	8.39
	2	8.17	7.93	8.08	8.09	8.29
	3	8.09	8.12	8.07	8.11	8.35
	Average	8.18	8.02	8.06	8.12	8.34
	STD.	0.10	0.10	0.03	0.04	0.05
Control	1	8.71	8.87	8.77	8.65	8.56
	2	8.75	8.84	8.75	8.60	8.50
	3	8.65	8.82	8.74	8.61	8.53
	Average	8.70	8.84	8.75	8.62	8.53
	STD.	0.05	0.03	0.02	0.03	0.03

หมายเหตุ ชุด Control คือน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์เริ่มต้นเท่ากับ 1,000 มก./ล. โดยที่มีการให้อากาศตลอดเวลาแต่ไม่ได้เติมเชื้อจุลินทรีย์ในการบำบัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-7 ค่าพีเอชของระบบบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นต่างๆด้วยสลัดจ์

[FM],ppm		ชั่วโมงในการบำบัด (ชั่วโมงที่)				
		0	6	12	18	24
0	1	8.00	7.94	7.95	7.90	7.84
	2	8.00	7.96	7.93	7.93	7.87
	3	8.01	7.97	7.94	7.89	7.83
	Average	8.00	7.96	7.94	7.91	7.85
	STD.	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02
250	1	7.99	8.07	7.90	8.05	8.11
	2	8.00	8.04	7.88	8.08	8.09
	3	8.00	8.05	7.93	8.04	8.11
	Average	8.00	8.05	7.90	8.06	8.10
	STD.	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01
500	1	7.98	8.07	7.95	8.08	8.11
	2	8.01	8.03	7.97	8.05	8.14
	3	8.00	8.02	7.99	8.06	8.11
	Average	8.00	8.04	7.97	8.06	8.12
	STD.	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02
750	1	8.00	8.08	7.99	8.02	8.15
	2	8.00	8.09	8.00	8.01	8.17
	3	8.01	8.05	7.96	8.05	8.11
	Average	8.00	8.07	7.98	8.03	8.14
	STD.	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
1000	1	7.99	8.10	8.02	8.07	8.21
	2	7.99	8.12	7.98	8.05	8.20
	3	8.01	8.08	7.99	8.04	8.21
	Average	8.00	8.10	8.00	8.05	8.21
	STD.	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01
Control	1	8.00	8.00	8.01	7.99	8.00
	2	8.00	7.99	8.00	7.99	8.01
	3	7.99	8.00	8.00	8.02	8.00
	Average	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
	STD.	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01

หมายเหตุ ชุด Control คือน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์เริ่มต้นเท่ากับ 1,000 มก./ล. โดยที่มีการให้อากาศตลอดเวลาแต่ไม่ได้เติมเชื้อจุลินทรีย์ในการบำบัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-8 ค่าพีเอชของระบบบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นต่างๆด้วยสลัดจ์ร่วมกับ *Pseudomonas putida*

[FM],ppm		ชั่วโมงในการบำบัด (ชั่วโมงที่)				
		0	6	12	18	24
0	1	8.00	7.89	7.80	7.66	7.60
	2	8.00	7.88	7.77	7.62	7.60
	3	8.01	7.88	7.80	7.67	7.61
	Average	8.00	7.88	7.79	7.65	7.60
	STD.	0.01	0.01	0.02	0.03	0.01
250	1	7.99	7.90	7.86	7.78	7.71
	2	8.00	7.91	7.83	7.79	7.72
	3	8.00	7.88	7.84	7.80	7.71
	Average	8.00	7.90	7.84	7.79	7.71
	STD.	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01
500	1	7.98	7.92	7.88	7.77	7.70
	2	8.01	7.93	7.86	7.79	7.68
	3	8.00	7.94	7.85	7.75	7.69
	Average	8.00	7.93	7.86	7.77	7.69
	STD.	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01
750	1	8.00	7.94	7.88	7.79	7.75
	2	8.00	7.94	7.85	7.77	7.73
	3	8.01	7.92	7.85	7.77	7.73
	Average	8.00	7.93	7.86	7.78	7.74
	STD.	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
1000	1	7.99	8.00	8.02	8.01	8.10
	2	7.99	7.94	8.00	8.07	8.11
	3	8.01	7.96	8.00	8.03	8.10
	Average	8.00	7.97	8.01	8.04	8.10
	STD.	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01
Control	1	8.00	8.00	8.01	7.99	8.00
	2	8.00	7.99	8.00	7.99	8.01
	3	7.99	8.00	8.00	8.02	8.00
	Average	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
	STD.	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01

หมายเหตุ ชุด Control คือน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์เริ่มต้นเท่ากับ 1,000 มก./ล. โดยที่มีการให้อากาศตลอดเวลาแต่ไม่ได้เติมเชื้อจุลินทรีย์ในการบำบัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-9 ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของระบบบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นต่างๆด้วยสลัดจ์และสลัดจ์ร่วมกับ *Pseudomonas putida*

เชื้อ	ชั่วโมง	[FM] (ppm)	กระจก+แผ่นกรอง (g)	กระจก+แผ่นกรอง+ตะกอน (g)	นน. ตะกอน (g)	มล.SS (ppm)
S	0	0	43.5523	43.6128	0.0605	1210
		250	42.5878	42.6558	0.0680	1360
		500	43.3258	43.3878	0.0620	1240
		750	40.6004	40.6676	0.0672	1344
		1000	47.3120	47.3911	0.0791	1582
S+P		0	46.1295	46.1641	0.0346	692
		250	45.0570	45.0818	0.0248	496
		500	42.4589	42.4984	0.0395	790
		750	43.6625	43.7005	0.0380	760
		1000	44.0053	44.0471	0.0418	836
S	6	0	43.5489	43.6038	0.0549	1220
		250	42.5756	42.6301	0.0545	1211
		500	43.3299	43.3840	0.0541	1202
		750	40.5954	40.6506	0.0552	1227
		1000	47.3081	47.3611	0.0530	1178
S+P		0	46.1115	46.1450	0.0335	744
		250	45.0630	45.0828	0.0198	440
		500	42.4321	42.4649	0.0328	729
		750	43.6725	43.7027	0.0302	671
		1000	44.0153	44.0481	0.0328	729
S	12	0	42.6681	42.7240	0.0559	1315
		250	49.9448	49.9948	0.0500	1176
		500	43.3115	43.3542	0.0427	1005
		750	47.6147	47.6559	0.0412	969
		1000	48.0750	48.1202	0.0452	1064
S+P		0	40.4900	40.5266	0.0366	861
		250	43.5588	43.5862	0.0274	645
		500	47.2658	47.3032	0.0374	880
		750	42.6071	42.6391	0.0320	753
		1000	43.4905	43.5184	0.0279	656
S	18	0	42.6823	42.7387	0.0564	1410
		250	49.9360	49.9816	0.0456	1140
		500	47.9338	47.9705	0.0367	918
		750	46.2906	46.3235	0.0329	823
		1000	31.3356	31.3741	0.0385	962
S+P		0	46.3276	46.3667	0.0391	978
		250	45.6263	45.6570	0.0307	767
		500	42.6057	42.6449	0.0392	980
		750	43.1669	43.2026	0.0357	892
		1000	44.1246	44.1528	0.0282	705

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-9 (ต่อ) ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของระบบบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นต่างๆด้วยสลัดจ์และสลัดจ์ร่วมกับ *Pseudomonas putida*

เชื้อ	ชั่วโมง	[FM] (ppm)	กระจก+แผ่นกรอง (g)	กระจก+แผ่นกรอง+ตะกอน (g)	นน. ตะกอน (g)	มล.SS (ppm)
S	24	0	42.6802	42.7405	0.0603	1608
		250	49.9422	49.9777	0.0355	947
		500	43.3120	43.3453	0.0333	888
		750	47.6153	47.6450	0.0297	792
		1000	48.0842	48.1081	0.0239	637
S+P		0	40.4751	40.5124	0.0373	995
		250	43.5550	43.5844	0.0294	784
		500	47.2652	47.3047	0.0395	1053
		750	42.6225	42.6571	0.0346	923
		1000	43.4773	43.5044	0.0271	723

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-10 ค่า %T ที่วัดได้ทั้งหมดของระบบบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นต่างๆด้วยสลัดจ์และสลัดจ์ร่วมกับ *Pseudomonas putida*

เชื้อ	ชั่วโมง	[FM] ppm	Dilute	%T			Log %T			[FM],mg/l			Average	STD.
				1	2	3	1	2	3	1	2	3		
S+P	0	0	1	82.0	82.4	82.3	1.91	1.92	1.92	0.72	0.70	0.70	0.71	0.01
		250	10000	98.5	99.4	99.3	1.99	2.00	2.00	452.64	119.29	156.18	242.70	182.74
		500	10000	97.9	98.5	98.8	1.99	1.99	1.99	676.57	452.64	341.19	490.13	170.80
		750	10000	96.8	98.0	98.4	1.99	1.99	1.99	1090.69	639.15	489.87	739.90	312.83
		1000	10000	96.3	97.3	97.6	1.98	1.99	1.99	1280.48	901.87	789.04	990.47	257.42
S		0	1	93.2	93.4	93.0	1.97	1.97	1.97	0.25	0.24	0.26	0.25	0.01
		250	10000	99.4	98.9	98.9	2.00	2.00	2.00	119.29	304.11	304.11	242.50	106.70
		500	10000	98.3	97.9	99.0	1.99	1.99	2.00	527.13	676.57	267.07	490.26	207.22
		750	10000	97.0	98.0	98.2	1.99	1.99	1.99	1015.04	639.15	564.43	739.54	241.50
		1000	10000	96.9	97.0	97.3	1.99	1.99	1.99	1052.85	1015.04	901.87	989.92	78.56
Blank		1000	10000	96.6	96.9	97.6	1.98	1.99	1.99	1166.49	1052.85	789.04	1002.79	193.64
S+P	6	0	1	81.0	80.8	81.4	1.91	1.91	1.91	0.76	0.77	0.74	0.76	0.01
		250	500	87.7	90.2	92.8	1.94	1.96	1.97	235.44	183.94	131.87	183.75	51.79
		500	500	77.4	79.2	75.7	1.89	1.90	1.88	464.38	422.26	505.08	463.91	41.41
		750	500	67.0	67.4	68.9	1.83	1.83	1.84	728.80	717.89	677.56	708.08	26.99
		1000	500	60.7	62.3	55.8	1.78	1.79	1.75	909.75	862.08	1063.99	945.27	105.54
S		0	1	91.0	91.3	91.6	1.96	1.96	1.96	0.34	0.32	0.31	0.32	0.01
		250	500	88.3	83.7	89.4	1.95	1.92	1.95	222.95	320.99	200.26	248.07	64.16
		500	500	75.3	76.6	78.0	1.88	1.88	1.89	514.79	483.42	450.23	482.82	32.28
		750	500	67.9	64.8	67.0	1.83	1.81	1.83	704.35	789.98	728.80	741.04	44.11
		1000	500	59.2	57.3	58.7	1.77	1.76	1.77	955.60	1015.38	971.15	980.71	31.01
Blank		1000	10000	96.7	97.5	97.0	1.99	1.99	1.99	1128.57	826.61	1015.04	990.08	152.52

ตารางที่ ข-10 (ต่อ) ค่า %T ที่วัดได้ทั้งหมดของระบบบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นต่างๆด้วยสลัดจ์และสลัดจ์ร่วมกับ *Pseudomonas putida*

เชื้อ	ชั่วโมง	[FM] ppm	Dilute	%T			Log %T			[FM],mg/l			Average	STD.
				1	2	3	1	2	3	1	2	3		
S+P	12	0	1	90.0	91.0	90.3	1.95	1.96	1.96	0.38	0.34	0.36	0.36	0.02
		250	250	78.3	86.3	83.0	1.89	1.94	1.92	221.60	132.47	168.19	174.09	44.86
		500	250	61.7	62.5	58.9	1.79	1.80	1.77	439.90	428.10	482.46	450.15	28.59
		750	250	46.7	46.5	48.2	1.67	1.67	1.68	695.11	699.04	666.15	686.77	17.97
		1000	500	59.4	60.0	60.6	1.77	1.78	1.78	949.42	931.01	912.77	931.07	18.33
S		0	1	79.0	80.0	79.6	1.90	1.90	1.90	0.85	0.81	0.83	0.83	0.02
		250	250	77.7	72.5	77.6	1.89	1.86	1.89	228.65	292.11	229.83	250.20	36.31
		500	250	56.6	58.6	60.1	1.75	1.77	1.78	518.95	487.14	463.98	490.02	27.60
		750	250	40.7	46.4	45.3	1.61	1.67	1.66	821.11	701.02	723.00	748.38	63.94
		1000	500	59.7	59.0	57.3	1.78	1.77	1.76	940.19	961.81	1015.38	972.46	38.71
Blank		1000	10000	96.8	97.3	97.1	1.99	1.99	1.99	1090.69	901.87	977.28	989.95	95.04
S+P	18	0	1	77.6	77.7	77.8	1.89	1.89	1.89	0.92	0.91	0.91	0.91	0.00
		250	250	80.8	87.5	83.4	1.91	1.94	1.92	192.80	119.81	163.78	158.80	36.75
		500	250	58.7	65.4	64.8	1.77	1.82	1.81	485.57	386.54	394.99	422.37	54.90
		750	250	46.8	48.0	47.7	1.67	1.68	1.68	693.15	669.96	675.70	679.60	12.08
		1000	500	58.0	63.8	59.7	1.76	1.80	1.78	993.13	818.48	940.19	917.27	89.55
S		0	1	89.0	89.1	89.0	1.95	1.95	1.95	0.42	0.41	0.42	0.42	0.00
		250	250	76.7	77.8	75.9	1.88	1.89	1.88	240.52	227.47	250.12	239.37	11.37
		500	250	64.4	57.8	57.2	1.81	1.76	1.76	400.66	499.73	509.29	469.89	60.15
		750	250	42.0	47.7	46.2	1.62	1.68	1.66	792.30	675.70	704.97	724.33	60.66
		1000	500	55.7	62.4	58.8	1.75	1.80	1.77	1067.28	859.14	968.03	964.81	104.11
Blank		1000	10000	97.0	97.4	96.9	1.99	1.99	1.99	1015.04	864.22	1052.85	977.37	99.80

ตารางที่ ข-10 (ต่อ) ค่า %T ที่วัดได้ทั้งหมดของระบบบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นต่างๆด้วยสลัดจ์และสลัดจ์ร่วมกับ *Pseudomonas putida*

เชื้อ	ชั่วโมง	[FM] ppm	Dilute	%T			Log %T			[FM],mg/l			Average	STD.
				1	2	3	1	2	3	1	2	3		
S+P	24	0	1	76.3	79.9	78.6	1.88	1.90	1.90	0.98	0.81	0.87	0.89	0.09
		250	250	85.5	88.9	87.7	1.93	1.95	1.94	141.00	105.27	117.72	121.33	18.14
		500	250	65.4	69.7	66.3	1.82	1.84	1.82	386.54	328.20	374.02	362.92	30.71
		750	250	44.7	50.2	52.4	1.65	1.70	1.72	735.22	628.90	589.60	651.24	75.34
		1000	500	62.0	60.8	59.9	1.79	1.78	1.78	870.92	906.74	934.06	903.91	31.67
S		0	1	89.0	88.7	88.8	1.95	1.95	1.95	0.42	0.43	0.43	0.42	0.01
		250	250	78.0	76.5	77.6	1.89	1.88	1.89	225.12	242.91	229.83	232.62	9.22
		500	250	60.7	58.3	58.9	1.78	1.77	1.77	454.88	491.84	482.46	476.39	19.21
		750	250	45.1	44.5	48.5	1.65	1.65	1.69	727.05	739.32	660.46	708.95	42.44
		1000	500	60.6	57.3	63.5	1.78	1.76	1.80	912.77	1015.38	827.12	918.42	94.26
Blank		1000	10000	96.7	97.8	96.8	1.99	1.99	1.99	1128.57	714.02	1090.69	977.76	229.19

หมายเหตุ ชุด Control คือน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอร์มัลดีไฮด์เริ่มต้นเท่ากับ 1,000 มก./ล. โดยที่มีการให้อากาศตลอดเวลาแต่ไม่ได้เติมเชื้อจุลินทรีย์ในการบำบัด

ภาคผนวก ค

การคำนวณ

การคำนวณหาปริมาณทีโอซีที่ใช้ในการทดลอง

จากวิธีการทดลองที่ควบคุมปริมาณสารอินทรีย์รวม (TOC) เท่ากับ 600 มก./ล.เนื่องมาจากการทดลองดังนี้

ประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีของระบบบำบัดแบบเติมอากาศ = 85-95 %

(ที่มา : รวบรวมจากหนังสือ "ค่ากำหนดการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย", สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2540 และ "Wastewater Engineering", Metcalf & Eddy, 1991)

โดยที่มาตรฐานค่าบีโอดีที่กำหนดในน้ำเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมกำหนดไว้ไม่มากกว่า 20 หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ได้แล้วแต่ภูมิประเทศ หรือลักษณะการระบายตามที่พนักงานเจ้าหน้าที่เห็นสมควร แต่ต้องไม่มากกว่า 60 มก./ล. (สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2540)

BOD input = (60 . 100)/5= 1200 มก./ล. → **ประสิทธิภาพในการบำบัด BOD ของระบบบำบัดแบบใช้อากาศ = 95 %** → BOD output = 60 มก./ล.

สรุปว่าบีโอดีของน้ำเสียขาเข้าเท่ากับ 1200 มก./ล.

ดังนั้นจากสูตร BOD = 1.9TOC

TOC = 1200/1.9

= 631 มก./ล.

จึงกำหนดให้ระบบบำบัดแบบใช้อากาศในการทดลองควบคุมค่าทีโอซีเท่ากับ 600 มก./ล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาปริมาณกรัมของน้ำตาลซูโครสและฟอร์มัลดีไฮด์

ตัวอย่างน้ำเสียที่ 2

Formaldehyde (CH_2O, MW = 30 g/mol)

ถ้าปริมาณคาร์บอน(TOC) ในฟอร์มัลดีไฮด์มี 12 มก./ล. โดยมีน้ำหนักรวม 30 มก./ล.

ถ้าปริมาณคาร์บอน(TOC) ในฟอร์มัลดีไฮด์มี 100 มก./ล.

โดย FM มีน้ำหนัก = (30 x 100)/12

= 250 มก./ล.

โดย Stock Formaldehyde มีความเข้มข้น = 40 %w/v

ดังนั้นถ้าเตรียมน้ำเสีย 1 ลิตร จะต้องใส่ Formaldehyde 250 mg

หรือจะต้องใส่ Formaldehyde = ((250/1000) x 100)/40

= 0.63 มล.

Sucrose ($C_{12}H_{22}O_{11}$, MW = 342 g/mol)

ถ้า TOC 144 มก./ล. Sucrose 342 มก./ล.

ถ้า TOC 500 มก./ล. Sucrose (342 x 500) / 144 = 1187.5 มก./ล.

ดังนั้นถ้าเตรียมน้ำเสีย 1 ลิตร จะต้องใส่ Sucrose 1187.5 หรือ 1188 mg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้