



## รายงานการวิจัย

การพัฒนาความสามารถของเชื้อจุลินทรีย์ในการกำจัดกลิ่นในรูปของก๊าซ  
ไฮโดรเจนไซยาไนด์โดยใช้ระบบฟิกซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์  
(Microbial capacity development for hydrogen cyanide odor  
removal by fixed-film bioscrubber system)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



## รายงานการวิจัย

**การพัฒนาความสามารถของเชื้อจุลินทรีย์ในการกำจัดกลิ่นในรูปของก๊าซ  
ไฮโดรเจนไซยาไนด์โดยใช้ระบบฟิกซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์  
(Microbial capacity development for hydrogen cyanide odor  
removal by fixed-film bioscrubber system)**

### คณะผู้วิจัย

#### หัวหน้าโครงการ

ดร. สิริภรณ์ โพธิ์วิชานนท์  
สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม  
สำนักวิชาแพทยศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2553

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

## กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประจำปีงบประมาณ 2553 ซึ่งสำเร็จลุล่วงด้วยดี คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้โอกาสและให้การสนับสนุนแก่คณะวิจัยในการศึกษาวิจัย ทำให้งานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ท้ายนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงานการวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์และเป็นแนวทางหนึ่งในการนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์แก่วงการวิจัยและโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องต่อไป

คณะผู้วิจัย



## บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการกำจัดกลิ่นในรูปแบบของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยระบบฟิซซ์-ฟิล์มไบโอสคริบเบอร์ และเพื่อศึกษาตัวแปรในสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยใช้จุลินทรีย์รวมกลุ่ม (Mixed culture) ของ *Agrobacterium tumefaciens* SUTS 1 และ *Pseudomonas monteilii* SUTS 2 ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่มีความสามารถสูงในการย่อยสลายไฮโดรเจนซัลไฟด์ มาศึกษาพัฒนาโดยนำมาตรึงบนผิวของตัวกลางในระบบฟิซซ์-ฟิล์มไบโอสคริบเบอร์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยระบบนี้มีประสิทธิภาพสูงถึง 100% ได้แก่ ที่อัตราการไหลของก๊าซ 104 มิลลิลิตร/นาที่ อัตราการไหลของของเหลว 20 มิลลิลิตร/นาที่ และที่ระยะเวลาพักเก็บ 2.04 นาที่ หลังจากนั้นจึงทำการศึกษากำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ระดับความเข้มข้น 10, 20 และ 30 ppm ในการศึกษาในระยะแรก (Short term period) ทำการเดินระบบต่อเนื่อง 24 ชั่วโมงทำการเก็บตัวอย่างที่เวลา 0, 6, 12 และ 24 ชั่วโมงทำการตรวจวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เหลืออยู่ ปริมาณแอมโมเนียในโตรเจน ปริมาณไนเตรทในโตรเจน พบว่า ระบบฟิซซ์-ฟิล์มไบโอสคริบเบอร์ยังคงมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดก๊าซที่มีความเข้มข้น 10 ppm ได้มากถึง 100% ในชั่วโมงที่ 6 และ 12 ของการเดินระบบ แต่ลดลงเป็น 98% ในชั่วโมงที่ 24 ของการเดินระบบโดยมีความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากระบบ 0.2 ppm ขณะที่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็น 20 ppm พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุดคิดเป็น 97% ในชั่วโมงที่ 24 ของการเดินระบบ โดยมีความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากระบบ 0.6 ppm และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็น 30 ppm พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงขึ้นคิดเป็น 98% ในชั่วโมงที่ 24 ของการเดินระบบ โดยมีความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากระบบ 0.6 ppm จากนั้นทำการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยระบบดังกล่าวในระยะยาว (Long term period) โดยทำการศึกษาที่ระดับความเข้มข้น 10 ppm ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงที่สุดจากการศึกษาในระยะแรก มาทำการศึกษาโดยการเดินระบบต่อเนื่องเป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่าระบบมีประสิทธิภาพสูงถึง 100% ตลอดระยะเวลาการเดินระบบ ดังนั้นจึงเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็น 30 ppm เพื่อทำการหาประสิทธิภาพที่เหมาะสมที่สุดของระบบ (Optimum efficiency) พบว่าระบบสามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้สูงถึง 100% ในชั่วโมงที่ 24 และ 72 ของการเดินระบบ เช่นกัน ขณะที่จำนวนเซลล์ของจุลินทรีย์รวมกลุ่ม (Mixed culture) สามารถเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนเซลล์ได้อย่างต่อเนื่อง

จากการศึกษาน้ำหนักของตัวกลางที่ใช้เป็นตัวยึดเกาะของจุลินทรีย์มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น ทั้งนี้จากการตรวจวิเคราะห์ไม่พบไซยาไนด์ และแอมโมเนียในโตรเจนทั้งการศึกษาระยะแรก และในระยะยาว ขณะที่ปริมาณไนเตรทมีการเปลี่ยนแปลงไปตามประสิทธิภาพการกำจัดไฮโดรเจนไซยาไนด์ เช่นเดียวกันทุกการทดลอง จึงสามารถสรุปได้ว่าเมื่อนำจุลินทรีย์รวมกลุ่มของ *Agrobacterium tumefaciens* SUTS 1 และ *Pseudomonas monteilii* SUTS 2 มาใช้ในการกำจัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์โดยใช้ระบบฟิสิกซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์ซึ่งมีจุลินทรีย์รวมกลุ่มดังกล่าวอาศัยอยู่บนตัวกลางนั้นมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์

คำสำคัญ (keywords): กลิ่น (Odor), ฟิสิกซ์-ฟิล์ม ไบโอสครับเบอร์ (Fixed-film bioscrubber), ไฮโดรเจนไซยาไนด์ (Hydrogen cyanide), ประสิทธิภาพการกำจัด (Removal efficiency)



## Abstract

The research objectives were to develop microbial capacity for hydrogen cyanide odor removal by fixed-film bioscrubber system and to study the appropriate and optimum operating parameters for bioscrubber system. Mixed culture of *Agrobacterium tumefaciens* SUTS 1 and *Pseudomonas monteilii* SUTS 2 showed high removal capacity of potassium cyanide solution was developed by cell immobilization on packing materials in fixed-film bioscrubber. The optimum operating parameters in the system exhibited almost 100% hydrogen cyanide removal were 104 ml/min of HCN gas flow rate, 20 ml/min of liquid media flow rate and 2.04 min of empty bed retention time. Under optimum conditions, the 24 hours continuous short term period experiments were set at 10, 20, and 30 ppm and sampling at 0, 6, 12, and 24 hrs of study. The residual cyanide, ammonia, and nitrate were analyzed. The results showed this fixed-film bioscrubber system obtained almost 100% removal efficiency at 10 ppm within 6 and 12 hrs of study whereas its efficiency dropped to 98% at 24 hrs with 0.2 ppm of residual cyanide. At 20 ppm of hydrogen cyanide, the system revealed the decreasing removal efficiency that was 97% with 0.6 ppm of residual cyanide at 24 hrs. At 30 ppm, the system enhanced the removal efficiency up to 98% with 0.6 ppm of residual cyanide at the end of study. After that, the 72 hours continuous long term period experiment was set at 10 ppm obtained the optimum efficiency in short term period experiment. This fixed-film bioscrubber system showed almost 100% removal efficiency with no residual cyanide at all periods of time; therefore, the hydrogen cyanide gas was increased to 30 ppm for finding the optimum efficiency. The bioscrubber system still revealed the same removal efficiency that was 100% with no residual cyanide. In addition, cell weights of mixed culture immobilized on packing materials were in the trend of increasing. The ammonia did not detect in all experiments whereas the nitrate concentration depended on the hydrogen cyanide removal efficiency. Therefore, it can be concluded that the mixed culture of *Agrobacterium tumefaciens* SUTS 1 and *Pseudomonas monteilii* SUTS 2 in fixed-film bioscrubber system exhibited the optimum removal efficiency for hydrogen cyanide odor.

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย (Conceptual Framework)	2
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	4
2.1 ไฮโดรเจนไซยาไนด์ (Hydrogen Cyanide, HCN)	4
2.1.1 คุณลักษณะทางกายภาพและเคมี	4
2.1.2 ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา	4
2.1.3 แหล่งกำเนิด	4
2.1.4 ความเป็นพิษ	5
2.1.5 ผลกระทบต่อมนุษย์	5
2.1.6 ผลกระทบต่อสัตว์	8
2.2 การบำบัดโดยกระบวนการทางชีวภาพ	8
2.2.1 ระบบกรองทางชีวภาพ (Biofilter)	9
2.2.1.1 พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการออกแบบระบบกรองทางชีวภาพ	9
2.2.1.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบกรองทางชีวภาพ	10

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.2 ระบบโปรยกรองทางชีวภาพ (Biotrickling filter)	11
2.2.2.1 พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการออกแบบระบบโปรยกรองทางชีวภาพ	11
2.2.2.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบโปรยกรองทางชีวภาพ	12
2.2.3 ระบบไบโอสครับเบอร์ (Bioscrubber)	12
2.2.3.1 พารามิเตอร์ที่สำคัญในการออกแบบระบบไบโอสครับเบอร์	13
2.2.3.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบไบโอสครับเบอร์	15
2.3 ระบบตรึงผิวชีวภาพ (Fixed-film system)	16
2.3.1 ลักษณะสมบัติของระบบตรึงผิวชีวภาพ	16
2.3.2 การเกาะหลุด	16
2.3.3 องค์ประกอบทางเคมี	17
2.3.4 ความหนาแน่นของจุลินทรีย์	17
2.3.5 กระบวนการกำจัดสารอินทรีย์	19
2.3.6 ความหนาประสิทธิภาพ	19
2.3.7 สภาพขาดแคลนสารอินทรีย์ และออกซิเจน	20
2.3.8 การใช้ Fixed Film ในระบบบำบัดน้ำเสีย	20
2.4 ค่ามาตรฐานไฮโดรเจนซัลไฟด์ในอากาศ	21
บทที่ 3 ระเบียบวิธีดำเนินงานวิจัย	23
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	23
3.2 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย	23
3.3 วิธีดำเนินงานวิจัย	24
3.3.1 อาหารเลี้ยงเชื้อ	24
3.3.2 จุลินทรีย์ในการทดลอง	25
3.3.3 การตรึงจุลินทรีย์แบบรวมบนผิวของตัวกลาง	25



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.4 การทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมของเชื้อจุลินทรีย์ ด้วยระบบฟิสิกซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์ (Study the optimum capacity of microorganisms in fixed-film bioscrubber system)	26
3.3.5 การวิเคราะห์ผล	30
3.3.6 วิธีการคำนวณ	30
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	32
4.1 จุลินทรีย์ในระบบฟิสิกซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์	32
4.2 ผลการศึกษาอัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ ที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัดด้วยระบบฟิสิกซ์ฟิล์มไบโอสครับเบอร์	33
4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วยระบบ ฟิสิกซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์	36
4.3.1 ประสิทธิภาพการกำจัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วยระบบ ฟิสิกซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์ในการศึกษาระยะแรก (Short term period)	37
4.3.1.1 การกำจัดไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น 10 ppm	37
4.3.1.2 การกำจัดไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น 20 ppm	38
4.3.1.3 การกำจัดไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น 30 ppm	40
4.3.2 ประสิทธิภาพการกำจัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ ด้วยจุลินทรีย์รวมกลุ่มในการศึกษาระยะยาว (Long term period)	42
4.3.2.1 การกำจัดไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น 10 ppm	42
4.3.2.2 ทดสอบการกำจัดไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น 30 ppm ด้วยระบบฟิสิกซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์	45
4.3.2.3 การศึกษาน้ำหนักของไบโอฟิล์ม (Biofilm)	46
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	48
5.1 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบฟิสิกซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์	48

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัดกลิ่น ในรูปของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์	48
5.3 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ ด้วยระบบฟอกซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์	49
5.4 ข้อเสนอแนะจากการศึกษาวิจัย	51
บรรณานุกรม	52
ภาคผนวก	57
ประวัติผู้วิจัย	70



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1 ระดับความเป็นพิษของไฮโดรเจนไซยาไนด์	7
ตารางที่ 2-2 ข้อดีและข้อเสียของระบบกรองทางชีวภาพ	11
ตารางที่ 2-3 ข้อดีและข้อเสียของระบบโปรยกรองทางชีวภาพ	12
ตารางที่ 2-4 ระบบเอนไซม์และการย่อยสลายไซยาไนด์โดยจุลินทรีย์	13
ตารางที่ 2-5 ข้อดีและข้อเสียของระบบไบโอสครับเบอร์	15
ตารางที่ 2-6 ความหนาแน่นของจุลชีพใน Fixed-film ในถังปฏิกิริยาต่างๆ และที่ความหนาแน่นต่างๆ	18
ตารางที่ 2-7 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป	21
ตารางที่ 2-8 มาตรฐานไฮโดรเจนไซยาไนด์ในบรรยากาศ	22
ตารางที่ 3-1 สภาวะและตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยและศึกษาระยะแรก (Short term period)	29
ตารางที่ 4-1 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของตัวกลางในการยึดเกาะของจุลินทรีย์	33
ตารางที่ 4-2 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ ที่อัตราการไหล 104 มิลลิลิตร/นาที	34
ตารางที่ 4-3 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ ที่อัตราการไหล 219 มิลลิลิตร/นาที	35
ตารางที่ 4-4 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น 10 ppm	37
ตารางที่ 4-5 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น 20 ppm	39
ตารางที่ 4-6 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น 30 ppm	41
ตารางที่ 4-7 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น 10 ppm	44
ตารางที่ 4-8 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น 30 ppm	46
ตารางที่ 4-9 น้ำหนักของตัวกลางในการยึดเกาะของจุลินทรีย์ (Biofilm)	47

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1-1 กรอบแนวคิดของระบบฟิซซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์	3
รูปที่ 2-1 ความหนาแน่นของจุลชีพในฟิล์มชีวภาพที่ขึ้นความหนาแน่นต่างๆ	18
รูปที่ 2-2 ลักษณะชั้นฟิล์มชีวภาพในกรณีความเข้มข้นของสารอินทรีย์และออกซิเจน	20
รูปที่ 3-1 ตัวกลางที่ทำจากพลาสติก Polypropylene pall ring	26
รูปที่ 3-2 คอลัมน์ฟิซซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์ (Fixed-film bioscrubber column)	27
รูปที่ 3-3 แผนผังทิศทางการไหลและส่วนประกอบของชุดทดสอบพัฒนาความสามารถของเชื้อจุลินทรีย์ด้วยระบบฟิซซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์	28
รูปที่ 3-4 ระบบฟิซซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์ (Fixed-film bioscrubber system)	29
รูปที่ 4-1 ลักษณะโลโลนีของจุลินทรีย์ SUTS 1 และ SUTS 2 จากผิวของตัวกลาง	33
รูปที่ 4-2 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่อัตราการไหล 104 มิลลิลิตร/นาที	34
รูปที่ 4-3 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่อัตราการไหล 219 มิลลิลิตร/นาที	35
รูปที่ 4-4 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่อัตราการไหลต่างกัน	36
รูปที่ 4-5 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ความเข้มข้น 10 ppm ด้วยระบบฟิซซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์	38
รูปที่ 4-6 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ความเข้มข้น 20 ppm ด้วยระบบฟิซซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์	39
รูปที่ 4-7 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ความเข้มข้น 30 ppm ด้วยระบบฟิซซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์	41
รูปที่ 4-8 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ความเข้มข้น 10, 20 และ 30 ppm ด้วยระบบฟิซซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์ระยะเวลา 24 ชั่วโมง	42
รูปที่ 4-9 ประสิทธิภาพการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยระบบฟิซซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์ในการศึกษาระยะเวลา	44

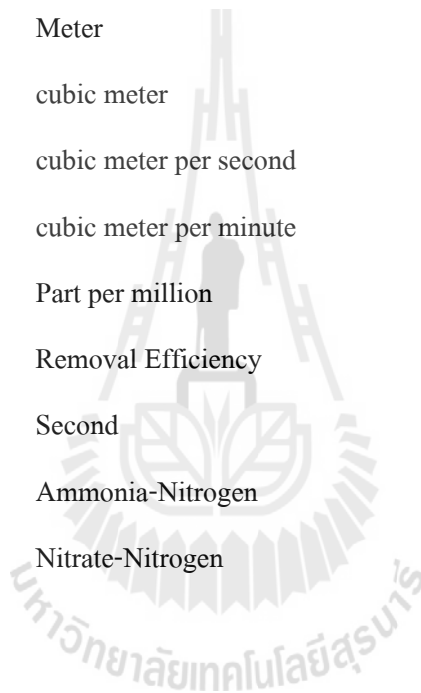
## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ผ-1 ลักษณะโคโลนีของเชื้อ <i>Agrobacterium tumefaciens</i> SUTS 1	64
รูปที่ ผ-2 ลักษณะโคโลนีของเชื้อ <i>Pseudomonas monteilii</i> SUTS 2	67



**คำอธิบายสัญลักษณ์**

CFU/ml	=	Colony Forming Unit per Milliliter
EBRT	=	Empty bed retention time
g/m <sup>3</sup>	=	Gram per cubic meter
HCN	=	Hydrogen cyanide
mg/L	=	Milligram per liter
ml/min	=	Milliliters per minute
m	=	Meter
m <sup>3</sup>	=	cubic meter
m <sup>3</sup> /s	=	cubic meter per second
m <sup>3</sup> /min	=	cubic meter per minute
ppm	=	Part per million
RE	=	Removal Efficiency
s	=	Second
NH <sub>3</sub> -N	=	Ammonia-Nitrogen
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	=	Nitrate-Nitrogen



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศที่มีพื้นที่ปลูกและให้ผลผลิตมากที่สุด ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จึงมีการแปรรูปและการใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลังมากขึ้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2544) องค์ประกอบส่วนใหญ่ในมันสำปะหลัง ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต 29.73% โปรตีน 1.18% ไขมัน 0.08% เยื่อใย 0.99% โพลีแซคคาไรด์ 0.26 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ฟอสฟอรัส 0.04% นอกจากนี้ยังมีสารประกอบไซยาไนด์ในรูปของกรดไฮโดรไซยานิก 173 ppm ซึ่งเป็นสารประกอบตัวสำคัญที่ทำให้เกิดกลิ่นในกระบวนการผลิตและแปรรูปแป้งมันสำปะหลัง แม้แต่ในการกำจัดกากหรือของเสียจากกระบวนการผลิตยังคงมีกลิ่นซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยไฮโดรเจนไซยาไนด์เกิดขึ้น (Aronstein *et al.* 1994) ซึ่งความเป็นพิษของสารประกอบไซยาไนด์ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาทางกายภาพ-เคมีในสิ่งแวดล้อม ไซยาไนด์สามารถทำปฏิกิริยากับโลหะและโลหะหนักได้หลายชนิด เช่น ทองแดง (Copper) สังกะสี (Zinc) ปรอท (Mercury) เหล็ก (Iron) แต่สารประกอบนี้ไม่คงตัวจึงทำให้ไซยาไนด์ถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมตามเดิม ไซยาไนด์ที่มีความเข้มข้นน้อยยังคงมีความเป็นพิษต่อมนุษย์ พืช และสัตว์ ซึ่งการก่อให้เกิดพิษเฉียบพลันต่อมนุษย์นั้นจะอยู่ในรูปของเหลว ก๊าซ หรือสารประกอบของไซยาไนด์ที่สามารถเข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจ การกลืน การดูดซึมผ่านทางตา ผิวหนัง หรือเนื้อเยื่อที่มีน้ำเมือกอยู่ การหายใจเอาไซยาไนด์เข้มข้น 100-300 พีพีเอ็ม (as HCN) จะทำให้เสียชีวิตได้ภายใน 10-60 นาที และความเป็นพิษจะมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์มากขึ้น นอกจากนี้การรับประทานอาหารที่มีไซยาไนด์ปนเปื้อนในรูปของไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่มีความเข้มข้น 50-200 มิลลิกรัม หรือ 1-3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัว จะทำให้เสียชีวิตได้ (LD<sub>50</sub>) ดังนั้นการกำจัดกลิ่นที่เกิดจากก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์จากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังก่อนที่จะปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการกำจัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์โดยใช้ระบบฟอกซ์-ฟิล์ม ไบโอสคริปเบอร์

1.2.2 เพื่อศึกษาตัวแปรในสถานะเหมาะสมที่ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพดีที่สุด

### 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษาในการวิจัยนี้เป็นเชื้อจุลินทรีย์รวมระหว่าง SUTS 1 และ

SUTS 2 (Mixed culture) ที่มีความสามารถในการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์

1.3.2 การพัฒนาความสามารถของเชื้อจุลินทรีย์ในการย่อยสลายไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยการทดสอบประสิทธิภาพของระบบฟิซซ์-ฟิล์มไบโอโอสคริปเบอร์ในการกำจัดกลิ่นโดยใช้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นก๊าซที่ทำให้เกิดกลิ่น

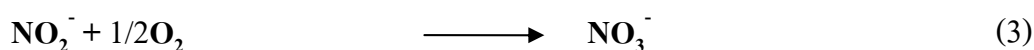
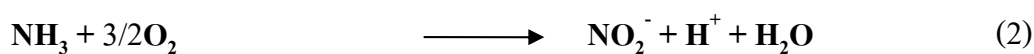
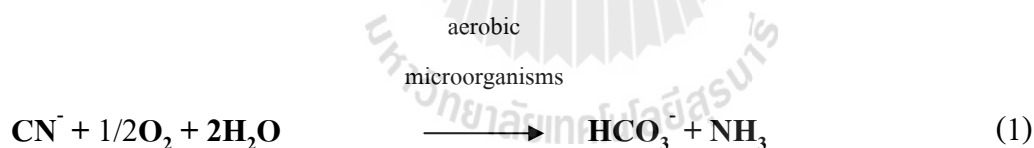
#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถนำจุลินทรีย์และระบบฟิซซ์-ฟิล์มไบโอโอสคริปเบอร์ที่ศึกษาในการวิจัยครั้งนี้ ไปเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ในการบำบัดกลิ่นที่เกิดจากอุตสาหกรรมผลิตมันสำปะหลังได้ต่อไปในระดับ Pilot scale

1.4.2 เขียนบทความเพื่อเผยแพร่ผลการวิจัย หรือตีพิมพ์ผลงานวิจัยในวารสารทางด้านสิ่งแวดล้อม และ/หรือการควบคุมมลพิษ

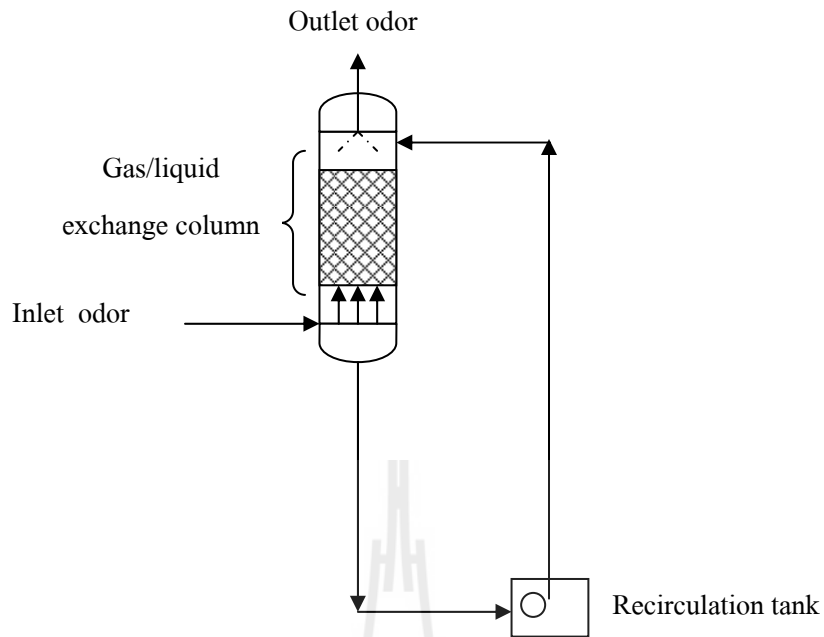
#### 1.5 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย (Conceptual Framework)

จุลินทรีย์ที่แยกได้จากระบบบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังซึ่งมีกลิ่นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ปนเปื้อนอยู่ในระบบบำบัด จะมีความสามารถในการกำจัดกลิ่นไฮโดรเจนซัลไฟด์ในสถานะที่มีออกซิเจนซึ่งจะถูกเปลี่ยนรูปและกลายเป็นสารประกอบที่มีความเป็นพิษน้อยลง ได้แก่ แอมโมเนียและไบคาร์บอเนต และแอมโมเนียจะเปลี่ยนเป็นไนเตรทในที่สุด (Petrozzi and Dunn, 1994) ดังแสดงในปฏิกิริยาต่อไปนี้ (ปฏิกิริยาที่ 1 ถึง 3)



ดังนั้นเพื่อนำจุลินทรีย์มาใช้ประโยชน์ในการกำจัดกลิ่นจึงมีกรอบแนวความคิดของระบบฟิซซ์-ฟิล์มไบโอโอสคริปเบอร์ขึ้นดังรูปที่ 1-1





รูปที่ 1-1 กรอบแนวคิดของระบบฟิสิกซ์-ฟิล์มไบโอสครีบบเบอร์

กลิ่นที่เข้าสู่ระบบจะถูกกำจัดด้วยจุลินทรีย์ที่มีความสามารถและถูกเคลือบอยู่ที่ผิวของตัวกลาง ขณะเดียวกันของเหลวที่ไหลเวียนภายในระบบจะเป็นส่วนที่ทำให้จุลินทรีย์ได้รับความชื้นเพียงพอในการย่อยสลายกลิ่น นอกจากนี้การไหลเวียนของของเหลวทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายกลิ่นของสถานะก๊าซไปสู่สถานะของของเหลวทำให้ช่วยในการบำบัดได้อีกหนึ่งทาง

## บทที่ 2

### ทบทวนวรรณกรรม

#### 2.1 ไฮโดรเจนไซยาไนด์ (Hydrogen Cyanide, HCN)

เป็นก๊าซพิษที่อันตรายร้ายแรง ไม่มีสี แต่มีกลิ่นคล้ายอัลมอนด์ (Almond) สามารถรับรู้ได้ตั้งแต่ 2-10 ppm (OSHA PEL = 10 ppm) ทั้งนี้การรับรู้กลิ่นของไฮโดรเจนไซยาไนด์นั้นขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะทางพันธุกรรมของแต่ละบุคคล (ประมาณร้อยละ 20-40 ของประชากรทั่วไปไม่สามารถรับรู้กลิ่นไฮโดรเจนไซยาไนด์ได้) (ATSDR, 2011) ไฮโดรเจนไซยาไนด์สามารถพบได้ในธรรมชาติ ในผลและเมล็ดของพืชหลายชนิด เช่น ลูกพีช (Peach) อัลมอนด์ (Almond) และหัวมันสำปะหลัง (Cassava) เป็นต้น นอกจากนี้ยังเป็นสารที่สังเคราะห์ได้ที่ใช้ในโรงงานทำสี เหมืองทอง การชุบทอง และการถ่ายภาพ ตลอดจนการใช้ในรูปสารประกอบเกลือไซยาไนด์ (Cyanide salt) ซึ่งละลายน้ำได้ดี ขณะเดียวกันไฮโดรเจนไซยาไนด์ยังถูกนำไปใช้ประโยชน์เพื่อเป็นเชื้อเพลิงเครื่องยนต์อีกด้วย

##### 2.1.1 คุณลักษณะทางกายภาพและเคมี (HSDB, 1999)

ลักษณะ	เป็นก๊าซ ที่ไม่มีสี
สูตรโมเลกุล	HCN
มวลโมเลกุล	27.03
จุดเดือด	25.6 องศาเซลเซียส
จุดหลอมเหลว	-13.4 องศาเซลเซียส
ความดันไอ	630 torr ที่ 20 องศาเซลเซียส
ความสามารถในการละลาย	ผสมกับน้ำและแอลกอฮอล์ได้ และละลายในอีเทอร์ได้ดีเล็กน้อย

##### 2.1.2 ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา

- ความคงตัวทางเคมี : สารนี้จะเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันที่รุนแรง เมื่อสัมผัสกับอุณหภูมิสูงกว่า 50 องศาเซลเซียส (122 องศาฟาเรนไฮต์)
- สภาวะที่ควรหลีกเลี่ยง : กรด เบส สารออกซิไดซ์อย่างแรง อัลคิไฮลด์
- สารเคมีอันตรายที่เกิดจากการสลายตัว : การเผาไหม้สารนี้อาจจะมีก๊าซพิษเกิดขึ้น เช่น ไฮโดรเจนไซยาไนด์

##### 2.1.3 แหล่งกำเนิด

ไฮโดรเจนไซยาไนด์ถูกนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์มากมายในอุตสาหกรรมต่างๆ ประกอบด้วย การผลิตไนลอนจำพวกอะดิพไนไตร (Adiponitrile) การผลิตเมทิลเมทาคริเลท

(Methyl methacrylate) การผลิตโซเดียมไซยาไนด์ (Sodium cyanide) การผลิตไซยานูริกคลอไรด์ (Cyanuric chloride) การใช้เป็นสารที่รวมตัวกับโลหะแล้วเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Chelating agents) การใช้ในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับด้านเกษตรกรรม และการผลิตสารเคมีอื่นๆ ซึ่งอุตสาหกรรม การผลิตที่ทำให้เกิดไฮโดรเจนไซยาไนด์และปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ได้แก่ อุตสาหกรรมเกี่ยวกับการ เคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า การทำเหมืองโลหะ การแยกโลหะออกจากแร่ และกระบวนการทำความสะอาด โลหะ นอกจากนี้ไฮโดรเจนไซยาไนด์ยังพบเป็นสารประกอบในสารฆ่าแมลงและสารฆ่าเชื้อรา (ATSDR, 1993) รวมทั้งอุตสาหกรรมเครื่องหนังสามารถทำให้เกิดไฮโดรเจนไซยาไนด์และปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้เช่นกัน (Tsuchiya and Sumi, 1977) นอกจากนี้แหล่งกำเนิดอีกอย่างหนึ่งของ ไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่พบได้ทั่วไปคือ คันนูหรี ซึ่งจะอยู่ในช่วง 10-400 ไมโครกรัมต่อกันูหรี (U.S. brands)

#### 2.1.4 ความเป็นพิษ

ผลกระทบที่ได้รับจากการสัมผัสไฮโดรเจนไซยาไนด์จะส่งผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง ต่อมไทรอยด์ และมีความผิดปกติทางด้านโลหิตวิทยาของผู้ปฏิบัติงาน โดยอวัยวะเป้าหมายที่เป็น อันตราย คือ ระบบประสาท ระบบต่อมไร้ท่อ และระบบหัวใจและหลอดเลือดหัวใจ ซึ่งสามารถแบ่ง การได้รับเข้าสู่ร่างกายได้ ดังต่อไปนี้

1) ทางการหายใจ ก่อให้เกิดการระคายเคืองทางเดินหายใจ และเป็นโรคปอดบวมน้ำ ทำให้ เกิดอาการเจ็บคอ หายใจติดขัด ปวดศีรษะ คลื่นไส้ และหมดสติได้ การหายใจเอาก๊าซไฮโดรเจน ไซยาไนด์ที่มีความเข้มข้น 30 ppm เข้าไปสามารถทำให้เสียชีวิตได้ และความเข้มข้นที่ 2.5 ppm เป็น ระยะเวลา 10 นาทีอาจทำให้เกิดอาการ ปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียนได้ (National Advisory Committee guidelines report, 2001)

2) ทางผิวหนัง ทำให้เป็นผื่นแดง แผลถลอก และอักเสบ สารนี้สามารถดูดซึมผ่านผิวหนังได้ อาจจะทำให้เสียชีวิตได้อย่างรวดเร็ว

3) กลืนหรือกินเข้าไป ทำให้เกิดอาการเวียนศีรษะ อ่อนเพลีย ปวดศีรษะ ความคิดสับสน ความดันเลือดต่ำ เป็นลม โคม่าและเสียชีวิตได้

4) สัมผัสถูกตา ทำให้เกิดอาการระคายเคือง การมองพร่ามัว ปวดและอาจจะทำลายตา อย่างถาวรได้

5) การก่อมะเร็ง และความผิดปกติอื่นๆ การสัมผัสสารนี้บ่อยครั้ง หรือเป็นเวลานานอาจจะ ทำให้มีเลือดคั่งในปอด เสี่ยงแหบ น้ำหนักลด โดยอาจจะทำลายสมองและต่อมไทรอยด์ได้

#### 2.1.5 ผลกระทบต่อมนุษย์

จากการศึกษาข้อมูลทางระบาดวิทยาเกี่ยวกับอาชีพที่ได้รับสัมผัสไฮโดรเจนไซยาไนด์นั้น ส่วนใหญ่จะเกิดจากการสัมผัสสารเคมีที่มีองค์ประกอบของสารหลายชนิด การสัมผัสในกระบวนการ

สังเคราะห์และกระบวนการแยกโลหะออกจากแร่ และในหลายงานวิจัยยังรายงานว่าการได้รับสัมผัสไฮโดรเจนไซยาไนด์ในปริมาณที่น้อยแต่ระยะเวลานานนั้นสามารถทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบประสาท ระบบทางเดินหายใจ ระบบหัวใจและหลอดเลือดหัวใจ รวมทั้งต่อมไทรอยด์ได้ (Blanc *et al.*, 1985; Chandra *et al.*, 1980; El Ghawabi *et al.*, 1975) แต่ในการศึกษายังมีข้อจำกัดคือข้อมูลการได้รับสัมผัสยังไม่เพียงพอ ไม่สามารถบ่งบอกผลกระทบในระยะยาวได้ว่าการหายใจเอาไซยาไนด์เข้าไปนั้นจะส่งผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลางและต่อมไทรอยด์

ขณะเดียวกันมีนักวิจัย (El Ghawabi *et al.*, 1975) ได้ทำการศึกษาในผู้ปฏิบัติงานชาวอียิปต์ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมการเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าจำนวน 36 คน ในสถานประกอบการ 3 แห่ง ที่สัมผัสกับบ่อเคลือบโลหะที่มีส่วนผสมของ 3% Copper cyanide, 3% Sodium cyanide และ 1% Sodium carbonate ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการหายใจเอาไซยาไนด์เข้าไปได้ในช่วงความเข้มข้น 4.2-12.4 ppm (4.6-13.7 mg/m<sup>3</sup>) จากการศึกษาแบบช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง (Cross-sectional study) พบว่าผู้ปฏิบัติงานที่ทำงานระหว่าง 5-10 ปี มักมีอาการปวดหัว อ่อนเพลีย การรับรสและกลิ่นเปลี่ยนไป ปวดช่องท้อง หลังน้ำลายออกมาผิดปกติ และมีอาการเกี่ยวกับระบบประสาท รวมทั้งมีการเพิ่มขึ้นของเม็ดเลือดแดงและเม็ดเลือดขาว และผู้ปฏิบัติงาน 20 คนมีต่อมไทรอยด์โตหรือมีขนาดใหญ่มากขึ้น แม้ว่าจากการศึกษาพบว่าไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างระยะเวลาของการสัมผัสกับการขยายขนาดของต่อมไทรอยด์ แต่อย่างไรก็ตามการทดสอบการทำงานของต่อมไทรอยด์พบว่าในกลุ่มผู้ปฏิบัติงานนี้มีการทำงานของต่อมไทรอยด์ผิดปกติเมื่อเปรียบเทียบกับผู้ที่ในกลุ่มควบคุม นอกจากนี้มีการตรวจพบไทโอไซยาเนตที่ถูกขับออกทางปัสสาวะซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่หายใจเข้าสู่ร่างกาย สำหรับการศึกษานี้ได้ระบุว่าระดับ LOAEL เท่ากับ 6.4 ppm (7.1 mg/m<sup>3</sup>) ที่สามารถส่งผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลางและต่อมไทรอยด์

สำหรับการศึกษาแบบย้อนหลัง (Retrospective study) (Blanc *et al.*, 1985) ของผู้ปฏิบัติงานที่ทำงานเกี่ยวกับการชุบเงินจำนวน 36 คน ที่ได้รับไฮโดรเจนไซยาไนด์เป็นเวลานาน จะพบอาการปวดหัว หน้ามืด คลื่นไส้ และรับรสขมเหมือนอัลมอลด์ บางอาการจะเป็นอยู่ประมาณ 7 เดือน หรือมากกว่านั้นหลังจากที่ได้รับสัมผัส ขณะเดียวกันไม่พบผู้ปฏิบัติงานที่เกิดความผิดปกติของต่อมไทรอยด์อย่างชัดเจน แต่ผลทางคลินิกพบที่มีการดูดซึมวิตามินบี 12 และโฟเลต (Folate) ลดลง และมีการเพิ่มขึ้นของฮอร์โมนที่ไปกระตุ้นต่อมไทรอยด์ และจากการศึกษาข้อมูลความเป็นพิษของไฮโดรเจนไซยาไนด์ทำให้ทางอเมริกาได้แนะนำระดับความเป็นพิษของไฮโดรเจนไซยาไนด์ หรือเรียกอีกคำหนึ่งว่า AEGL Vales (Acute Exposure Guideline Level) ดังแสดง ตามตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ระดับความเป็นพิษของไฮโดรเจนไซยาไนด์

การเกิดผลกระทบ	ระยะเวลาในการรับสัมผัส				
	10 นาที	30 นาที	1 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง
AEGL-1 <sup>1</sup> (ไม่เกิดผลกระทบ)	2.5 ppm 2.8 mg/m <sup>3</sup>	2.5 ppm 2.8 mg/m <sup>3</sup>	2.0 ppm 2.2 mg/m <sup>3</sup>	1.3 ppm 1.4 mg/m <sup>3</sup>	1.0 ppm 1.1 mg/m <sup>3</sup>
AEGL-2 <sup>2</sup> (เริ่มเกิดผลกระทบ)	17 ppm 19 mg/m <sup>3</sup>	10 ppm 11 mg/m <sup>3</sup>	7.1 ppm 7.8 mg/m <sup>3</sup>	3.5 ppm 3.9 mg/m <sup>3</sup>	2.5 ppm 2.8 mg/m <sup>3</sup>
AEGL-3 <sup>3</sup> (เกิดผลกระทบ)	27 ppm 30 mg/m <sup>3</sup>	21 ppm 23 mg/m <sup>3</sup>	15 ppm 17 mg/m <sup>3</sup>	8.6 ppm 9.7 mg/m <sup>3</sup>	6.6 ppm 7.3 mg/m <sup>3</sup>

ที่มา: National research council of the national academies (2001)

หมายเหตุ :

$$\text{ppm} = 1.10 \text{ mg/m}^3$$

AEGL - 1 คือความเข้มข้นของสารในอากาศ ซึ่งคาดว่าประชาชนทั่วไปรวมทั้งผู้ที่ได้รับผลกระทบจะเกิดความไม่สบาย การระคายเคือง หรือผลกระทบที่ไม่แสดงอาการ อย่างไรก็ตาม ผลกระทบจะไม่ก่อให้เกิดการพิการ และเกิดเพียงชั่วคราว รวมทั้งกลับเป็นปกติได้หากหยุดการรับสัมผัส (ปวดศีรษะ อาเจียน วิงเวียนศีรษะ หายใจติดขัด)

AEGL - 2 คือความเข้มข้นของสารในอากาศ ซึ่งคาดว่าประชาชนทั่วไปรวมทั้งผู้ที่ได้รับผลกระทบจะเกิดผลกระทบต่อสุขภาพที่ไม่สามารถกลับเป็นปกติได้หรือความรุนแรงเกิดเป็นระยะเวลานาน (ผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง ผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ ระบบหลอดเลือดหัวใจ)

AEGL - 3 คือความเข้มข้นของสารในอากาศ ซึ่งคาดว่าประชาชนทั่วไป รวมทั้งผู้ที่ได้รับผลกระทบจะเกิดความไม่สบาย การระคายเคือง หรือผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ หรือเสียชีวิตได้

นอกจากนี้มนุษย์เรายังสามารถรับไซยาไนด์เข้าร่างกายได้โดยการรับประทาน ได้แก่ มันสำปะหลังที่เป็นอาหารหลักของในหลายพื้นที่ ซึ่งมันสำปะหลังจะมี Cyanogenic glycosides พวก Linamarin จะเกิดไซยาไนด์เมื่อเกิดกระบวนการเมตาบอลิซึมภายในเซลล์ (Sharma, 1993; Kamalu, 1995) ถ้าบริโภคในปริมาณที่มากเกินไปจะส่งผลกระทบต่อระบบประสาท คือ เซลล์ประสาทเสื่อม กล้ามเนื้ออ่อนแรง และเกิดการเสื่อมของเยื่อหุ้มสมองและไขสันหลัง (Tylleskar *et al.*, 1992; Tor-Agbidye *et al.*, 1999) การพัฒนาของโรคที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณและระยะเวลาของการได้รับไซยาไนด์ และความสามารถในการกำจัดไซยาไนด์ออกจากร่างกาย สำหรับการเปลี่ยนไซยาไนด์เป็นไซยานอิดภายในเซลล์นั้นจะทำให้เกิดพิษต่อระบบประสาทได้ (Obidoa and Obasi, 1991; Tor-

Agbidye *et al.*, 1999; Kamalu, 1995) Tylleskar และคณะ (1992) ได้ระบุไว้ว่าการบริโภคแป้งมันสำปะหลังเกินกว่า 0.5 กิโลกรัมต่อคนสำหรับผู้ใหญ่ชาวแอฟริกัน เป็นไปได้ว่าจะได้รับไซยาไนด์ประมาณ 0.5-1 mmol (13-26 mg) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของไทโอไซยาเนตที่ถูกขับออกมาทางปัสสาวะ

ผลกระทบทางร่างกายอื่นๆ ที่เกี่ยวกับการบริโภคมันสำปะหลัง คือ โรคเบาหวาน การขาดวิตามินบี 12 และการดูดซึมไอโอดีนได้น้อยลง (Sharma, 1993; Jansz and Uluwaduge, 1997) และในเด็กที่ขาดสารไอโอดีนหากมีการบริโภคมันสำปะหลังจะส่งผลทำให้อาการหรือภาวะขาดสารไอโอดีนมากขึ้น (Miller, 1974) สำหรับการตรวจพบไทโอไซยาเนตในร่างกายนั้นมาจากการย่อยสลายไซยาไนด์เป็นไทโอไซยาเนต ซึ่งไทโอไซยาเนตจะไปยับยั้งการทำงานของต่อมไทรอยด์ ทำให้ร่างกายขาดสารไอโอดีนส่งผลให้เกิดโรคคอพอก ซึ่งจากการศึกษาเปรียบเทียบของ 3 หมู่บ้านในเอธิโอเปีย พบว่าอัตราป่วยของคนที่เป็นโรคคอพอกจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการบริโภคมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้น (Abuye *et al.*, 1998)

### 2.1.6 ผลกระทบต่อสัตว์

จากข้อมูลการศึกษาการได้รับสัมผัสไฮโดรเจนไซยาไนด์โดยการหายใจ มีการศึกษาในสัตว์เพียง 2 ชนิด คือ กระจ่าง และสุนัข สำหรับการได้รับไฮโดรเจนไซยาไนด์เข้มข้น 0.5 ppm (0.55 mg/m<sup>3</sup>) อย่างต่อเนื่องในกระต่ายเป็นเวลา 1 หรือ 4 สัปดาห์ไม่พบการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของปอดและการเปลี่ยนแปลงของเส้นเลือดแดง (Hugod, 1979; Hugod, 1981) สำหรับสุนัขที่ได้รับไฮโดรเจนไซยาไนด์เข้มข้น 45 ppm (50 mg/m<sup>3</sup>) โดยการหายใจเป็นเวลา 30 นาที ภายใน 2 วัน พบว่าเกิดความผิดปกติต่อระบบประสาทส่วนกลาง โดยมีอาการหายใจลำบากและอาเจียน นอกจากนี้ยังพบว่าเกิดแผลที่หลอดเลือดและเซลล์ของระบบประสาทส่วนกลางอีกด้วย

## 2.2 การบำบัดโดยกระบวนการทางชีวภาพ

การบำบัดโดยกระบวนการทางชีวภาพเป็นกระบวนการที่มีค่าใช้จ่ายไม่สูง และที่สำคัญไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งการบำบัดโดยวิธีนี้จะอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ในการบำบัดโดยการเปลี่ยนสารมลพิษให้กลายเป็นน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และมวลชีวภาพ (Biomass) หลักการคือ สารมลพิษที่เข้ามาในระบบจะถูกดักจับโดยจุลินทรีย์ และจุลินทรีย์จะใช้สารเหล่านี้เป็นอาหารเพื่อทำให้เกิดการเจริญเติบโตและเป็นพลังงานให้กับเซลล์

สารมลพิษที่สามารถบำบัดโดยกระบวนการทางชีวภาพได้นั้นจะต้องเป็นสารที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ ซึ่งลักษณะทั่วไปของสารมลพิษที่จุลินทรีย์สามารถบำบัดได้ในระบบนี้ คือ สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและมีโครงสร้างพันธะง่าย ๆ (Simple bond structures) เนื่องจากถ้าสารมลพิษมีโครงสร้างพันธะที่ซับซ้อน (Complex bond structures) จะทำให้ต้องใช้พลังงานเป็นจำนวนมาก

ในการย่อยสลาย ซึ่งพลังงานที่ใช้ย่อยสลายนี้จุลินทรีย์ไม่สามารถหามาได้ จึงทำให้ไม่มีการย่อยสลาย สารมลพิษเกิดขึ้น

การบำบัดโดยกระบวนการทางชีวภาพ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ ระบบกรองทางชีวภาพ (Biofilters) ระบบโปรยกรองทางชีวภาพ (Biotrickling filters) และระบบไบโอสครับเบอร์ (Bioscrubbers)

### 2.2.1 ระบบกรองทางชีวภาพ (Biofilters)

การกรองทางชีวภาพเป็นกระบวนการใช้จุลินทรีย์ยึดเกาะบนตัวกลางที่มีความพรุน เพื่อทำการย่อยสลายมลพิษที่มีอยู่ในอากาศ โดยที่จุลินทรีย์จะเติบโตภายในฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) บนผิวของตัวกลาง หรือแขวนลอยภายในน้ำบริเวณรอบๆ วัสดุตัวกลาง ซึ่งตัวกลางควรจะเป็นวัสดุอินทรีย์หรือเป็นสารที่ค่อนข้างเหนียว เช่น ปุ๋ย ถ่าน เป็นต้น ที่สำคัญต้องเป็นวัสดุที่มีพื้นผิวมากพอสำหรับการยึดเกาะและการเกาะติด เมื่ออากาศผ่านระบบกรองชีวภาพ มลพิษในอากาศจะถูกดูดซับเข้าสู่ภายในฟิล์มชีวภาพและวัสดุตัวกลาง โดยมลพิษจะถูกย่อยสลายทางชีวภาพต่อไป ภายในระบบกรองชีวภาพจะมีกลไกร่วมกันซึ่งประกอบด้วย การดูดซึม (Absorption) การดูดซับ (Adsorption) การย่อยสลายทางชีวภาพ (Degradation) และการคายสารออก (Desorption) ของก๊าซมลพิษ และต้องมีการเติมน้ำเพื่อรักษาปริมาณความชื้น ตลอดจนการเติมธาตุอาหารให้กับจุลินทรีย์ในระบบกรองชีวภาพด้วย (Devinny *et al.*, 1999)

#### 2.2.1.1 พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการออกแบบระบบกรองทางชีวภาพ

##### (1) ปริมาณออกซิเจน

จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ในระบบกรองเป็นจุลินทรีย์ประเภทที่ต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายก๊าซมลพิษ ซึ่งปริมาณออกซิเจนต้องเพียงพอเพื่อให้จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายก๊าซมลพิษที่เข้าสู่ระบบ ทั้งนี้อัตราส่วนของอากาศต่อก๊าซที่เข้าระบบ (Air/gas ratio) ต้องมีค่าประมาณ 100 : 1 โดยปริมาตรต่อปริมาตร (WEF/ASCE, 1995)

##### (2) ปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้นที่เพียงพอในระบบกรองจะช่วยให้จุลินทรีย์สามารถยึดเกาะตัวกลางได้ดี ดังนั้นในระบบกรองจึงต้องควบคุมปริมาณความชื้นให้เหมาะสม การควบคุมปริมาณความชื้นสามารถทำได้โดยการเติมน้ำแบบเป็นละอองบนตัวกลางหรือการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ทางเข้าของระบบ โดยทั่วไปตัวกลางทางชีวภาพที่มีองค์ประกอบจำพวก ดิน ปุ๋ย และถ่าน จะมีปริมาณความชื้นประมาณ 10-25%, 20-50% และ 40% ตามลำดับ (WEF/ASCE, 1995; Wang *et al.*, 1996)

##### (3) อุณหภูมิ

ในระหว่างกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพภายในระบบกรองจะทำให้เกิด

ความร้อนขึ้น ทำให้ระบบมีอุณหภูมิสูงขึ้น จึงต้องมีการปรับอุณหภูมิของก๊าซมลพิษที่เข้าระบบ ให้เหมาะสมด้วย ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบมีค่าประมาณ 37 องศาเซลเซียส (Holubar and Braun, 1995)

#### (4) ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่พีเอชเป็นกลาง แต่ในการบำบัดก๊าซบางชนิดจะส่งผลทำให้เกิดกรดขึ้น ตัวอย่างเช่น ในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะทำให้เกิดกรดซัลฟิวริก ซึ่งทำให้ค่าพีเอชต่ำลง ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมค่าพีเอชโดยการเติมสารบางชนิด เช่น สารที่มีคุณสมบัติเป็นบัฟเฟอร์ หรือมีการเปลี่ยนตัวกรองใหม่ เพื่อควบคุมค่าพีเอชให้เหมาะสม (WEF/ASCE, 1995; Smet *et al.*, 1996; Devigny and Hodge, 1995; Morgenroth *et al.*, 1996; Veir *et al.*, 1996; Ergas *et al.*, 1996; Acuna *et al.*, 1996)

#### (5) ระยะเวลาที่กักเก็บก๊าซในระบบ

ระยะเวลาที่เหมาะสมของก๊าซที่จะกักเก็บอยู่ในระบบจะขึ้นอยู่กับตัวกลางที่ใช้ และก๊าซที่ต้องการบำบัด จึงต้องมีการศึกษาองค์ประกอบและปริมาณของก๊าซมลพิษ ซึ่งระบบกรองทางชีวภาพที่ได้ขนาดจะทำให้ระยะเวลาที่กักเก็บก๊าซที่อยู่ในระบบเหมาะสมกับอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพ โดยระยะเวลาที่กักเก็บก๊าซในระบบนี้จะแตกต่างกันออกไป ซึ่งพบว่าระบบนี้สามารถบำบัดได้ที่ระยะเวลาที่กักเก็บน้อยที่สุดที่ 30 วินาที (WEF/ASCE, 1995; Kennes and Thalasso, 1998)

#### (6) ค่าความดันในระบบ

ค่าความดันในระบบกรองที่เหมาะสมจะทำให้ก๊าซที่เข้าสู่ระบบถูกบำบัดได้ ต่อเนื่องนั่นคือทำให้เกิดการผ่านของก๊าซเข้าสู่ตัวกรองได้ดี ถ้าระบบมีความดันลดลงมากจะทำให้อัตราการไหลของก๊าซที่ผ่านเข้าระบบลดลง ซึ่งค่าความดันจะขึ้นอยู่กับประเภทของตัวกลาง ความพรุน และปริมาณความชื้นภายในระบบกรอง (WEF/ASCE, 1995)

### 2.2.1.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบกรองทางชีวภาพ

ระบบกรองทางชีวภาพมีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบไม่สูงมากนัก สามารถใช้ ในการบำบัดก๊าซมลพิษได้หลากหลาย สะดวกต่อการบำรุงรักษา รวมทั้งการเริ่มเดินระบบ ซึ่งข้อดี และข้อเสียของระบบกรองทางชีวภาพสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2-2



ตารางที่ 2-2 ข้อดีและข้อเสียของระบบกรองทางชีวภาพ

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ค่าใช้จ่ายในการออกแบบระบบต่ำ 2. สามารถบำบัดสารมลพิษที่มีความเข้มข้นต่ำในปริมาณสูงๆ ได้ดี 3. ง่ายต่อการเริ่มเดินระบบและบำรุงรักษาระบบ 4. สามารถบำบัดก๊าซได้หลากหลายชนิด	1. เกณฑ์ในการออกแบบยังคงต้องมีการพัฒนา 2. เป็นระบบที่ใช้พื้นที่มาก 3. ต้องมีการเปลี่ยนตัวกลางเป็นประจำ 4. อัตราการสลายตัวของก๊าซสู่ของเหลวมีข้อจำกัด เพราะฉะนั้นระยะเวลาที่เก็บก๊าซในระบบจะใช้เวลามากกว่าระบบอื่น 5. ต้องใช้ตัวกรองจำนวนมากเพื่อให้ปริมาณชั้นตัวกรองมาก ทำให้เกิดระยะเวลาที่เก็บก๊าซในระบบได้นาน

### 2.2.2 ระบบโปรยกรองทางชีวภาพ (Biotrickling filters)

ระบบโปรยกรองทางชีวภาพจะมีจุลินทรีย์ติดอยู่กับตัวกลางที่มีลักษณะแข็ง เช่น หิน พลาสติก ซีไลต์ หรือวัสดุผสมอื่นๆ (Pedersen and Arvin, 1995; Shinabe *et al.*, 1995; Weber and Hartmans, 1996; Kennes and Thalasso, 1998) พื้นที่ผิวของตัวกลางเป็นสิ่งสำคัญสำหรับให้จุลินทรีย์ยึดเกาะและเพื่อให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างก๊าซและของเหลว ระบบโปรยกรองนี้จะแตกต่างกับระบบกรองทั่วไปคือจะมีส่วนของของเหลวไหลลงบนพื้นผิวของตัวกลางที่อยู่ภายในระบบอย่างต่อเนื่อง ซึ่งของเหลวนี้จะมีสารอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ประกอบด้วย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแตสเซียม และธาตุโลหะ (Deshusses and Cox, 2001) โดยทั่วไปก๊าซมลพิษจะถูกบำบัดในแผ่นฟิล์มชีวภาพ แต่มีบางส่วนที่อาจบำบัดได้โดยจุลินทรีย์ที่แขวนลอยในของเหลวที่ไหลหมุนเวียนต่อเนื่องตลอดเวลา (Deshusses and Cox, 2001; Cox *et al.*, 2000)

#### 2.2.2.1 พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการออกแบบระบบโปรยกรองทางชีวภาพ

##### (1) ปริมาตรของชั้นตัวกลาง

ปริมาตรของชั้นตัวกลางควรมีค่าประมาณ 40-90% ของปริมาตรรวมทั้งหมดของถังปฏิกรณ์ (Deshusses and Cox, 2001) ซึ่งระยะเวลาที่เก็บ (Empty bed retention time, EBRT) โดยทั่วไปของระบบนี้สามารถคำนวณได้จากปริมาตรของชั้นตัวกลางหารด้วยอัตราการไหลของก๊าซมลพิษ

##### (2) ระยะเวลาที่ก๊าซอยู่ในระบบ

ระยะเวลาที่ก๊าซอยู่ในระบบจะน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของระยะเวลาที่เก็บ (EBRT) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความพรุนของตัวกลาง การหมุนเวียนของของเหลวภายในระบบ และปริมาณของ

จุลชีพที่ยึดเกาะกับตัวกลาง ความพรุนของตัวกลางที่เป็นจำพวกหินจะอยู่ในช่วงประมาณ 50% และตัวกลางอื่นๆ ประมาณ 95% โดยปกติของเหลวภายในระบบจะหมุนเวียนอยู่ในปริมาตรน้อยกว่า 5% ของปริมาตรชั้นตัวกลาง และจุลชีพควรอยู่ในช่วง 5-30% ของปริมาตรชั้นตัวกลาง (Deshusses and Cox, 2001)

### (3) ภาวะบรรทุกลดสารมลพิษ

ภาวะบรรทุกลดสารมลพิษน้อยหรือที่ความเข้มข้นต่ำ ระบบไปรยกรองจะมีประสิทธิภาพการบำบัดได้ดี ดังนั้นความสามารถในการบำบัดจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับภาวะบรรทุกลดสารมลพิษ (Deshusses and Cox, 2001) สำหรับระบบที่มีภาวะบรรทุกลดสารมลพิษปานกลางหรือที่ความเข้มข้นปานกลาง จะมีสารมลพิษ ความเข้มข้นของก๊าซ หรืออัตราไหลของก๊าซเพิ่มขึ้น จึงทำให้ระบบมีความสามารถในการบำบัดน้อยลง (Deshusses and Cox, 2001) และหากภาวะบรรทุกลดสารมลพิษสูง มีความเข้มข้นของก๊าซและอัตราการไหลของก๊าซเพิ่มขึ้น เป็นผลทำให้ความสามารถในการบำบัดมลพิษน้อยลง รวมทั้งทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบนี้ลดลงด้วย (Deshusses and Cox, 2001)

#### 2.2.2.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบไปรยกรองทางชีวภาพ

ข้อดีของระบบนี้เช่นเดียวกับระบบกรองชีวภาพคือมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการหรือในกระบวนการบำบัดน้อย ระบบไปรยกรองนี้จะเหมาะกับการบำบัดก๊าซหรือกลิ่นพิษที่มีความเข้มข้นไม่มากได้ดี แต่ปัญหาส่วนใหญ่ของระบบไปรยกรองนี้คือการอุดตันของตัวกลางและระบบยังไวต่อความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของก๊าซมลพิษอีกด้วย ข้อดีและข้อเสียของระบบไปรยกรองทางชีวภาพสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 ข้อดีและข้อเสียของระบบไปรยกรองทางชีวภาพ (Deshusses and Cox, 2001)

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ออกแบบง่าย 2. ค่าใช้จ่ายในการออกแบบต่ำ 3. ระยะเวลาพักเก็บน้อย	1. เกณฑ์ในการออกแบบยังคงต้องมีการพัฒนา 2. อาจเกิดการอุดตันของจุลินทรีย์ที่ยึดติดกับตัวกลาง 3. ต้องมีการเปลี่ยนตัวกรองเป็นประจำ 4. มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซมลพิษ

#### 2.2.3 ระบบไบโอสครับเบอร์ (Bioscrubbers)

ระบบไบโอสครับเบอร์ เป็นระบบที่จุลินทรีย์ยึดเกาะที่ตัวกลางหรือแขวนลอยอยู่ในของเหลว จุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตแบบแขวนลอยจะกระจายตัวและลอยตัวอยู่ทั่วไปในของเหลวซึ่งมีสารอาหารไว้สำหรับจุลินทรีย์ ส่วนระบบไบโอสครับเบอร์ที่เป็นแบบฟิซฟิล์มนั้นจุลินทรีย์จะยึด

เกาะบนตัวกลางจำพวกแก้ว เซรามิก โลหะหรือพลาสติก (Ockeloen *et al.*, 1996; Vincent, 2001; Potivichayanon *et al.*, 2006) จากนั้นจะเกิดกระบวนการดูดซึมและการย่อยสลายทางชีวภาพ การดูดซึมอาจจะเกิดภายในคอลัมน์ที่มีตัวกลางอยู่ อาจเกิดภายในระบบที่มีการกระจายน้ำอยู่ภายใน หรือบริเวณฟองอากาศภายในระบบที่เป็นคอลัมน์ฟองก๊าซ (Bubble column) หลังจากเกิดการดูดซึม เฟสของของเหลวจะไหลต่อเนื่องไปยังถังเติมอากาศซึ่งจะเกิดการบำบัดโดยการย่อยสลายต่อไป ส่วนของเหลวนี้จะสามารถนำกลับมาหมุนเวียนต่อไปในคอลัมน์ ทั้งนี้มีงานวิจัยหลายงานที่กล่าวถึงการนำของเหลวกลับมาหมุนเวียนในระบบต่อเนื่องและยังส่งเสริมให้มีการนำของเหลวกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ในระบบด้วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดกลิ่น ดังนั้นกลิ่นหรือก๊าซที่สามารถละลายในน้ำได้จึงเหมาะสมสำหรับระบบนี้

### 2.2.3.1 พารามิเตอร์ที่สำคัญในการออกแบบระบบไบโอสครับเบอร์

ประสิทธิภาพในการบำบัดจะเพิ่มขึ้นได้หากมีการออกแบบจัดการระบบที่ดี ซึ่งพารามิเตอร์ที่สำคัญคือ ชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ อัตราการหมุนเวียนของอาหาร ชนิดของตัวกลาง และระยะเวลาเก็บ (Koe and Yang, 2000)

#### (1) ชนิดของเชื้อจุลินทรีย์

จุลินทรีย์มีระบบเอนไซม์และกระบวนการสลายไซยาไนด์เฉพาะตัว จุลินทรีย์หลายชนิดสามารถใช้ไซยาไนด์เป็นแหล่งของคาร์บอนหรือไนโตรเจนเพื่อการเจริญเติบโต และเข้าทำปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนไซยาไนด์ให้เป็นแอมโมเนียกับคาร์บอนไดออกไซด์ (Chapatwala *et al.*, 1998) แอมโมเนียกับมีเทน (Gantzer and Maier, 1990) และแอมโมเนียกับไนเตรตและไนไตรท์ (Sirianuntapiboon and Chuamkaew, 2007) ซึ่งจุลินทรีย์ที่สามารถบำบัดไฮโดรเจนไซยาไนด์ได้นั้น จะพบในจุลินทรีย์จำพวก *Pseudomonas* sp., *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus pumillus* และ *B.cereus* โดยปฏิกิริยาจะแสดงในตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 ระบบเอนไซม์และการย่อยสลายไซยาไนด์โดยจุลินทรีย์

- |                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Cyanide monooxygenase (พบในแบคทีเรีย <i>Pseudomonas</i> sp.)                                                        |
| $\text{HCN} + \text{O}_2 + \text{H}^+ + \text{NADPH} \longrightarrow \text{HOCN} + \text{NADP}^+ + \text{H}_2\text{O}$ |
| 2. Cyanide dioxygenase (พบในแบคทีเรีย <i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Bacillus pumillus</i> , <i>B.cereus</i> )    |
| $\text{HCN} + \text{O}_2 + 2\text{H}^+ + \text{NADPH} \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{NH}_3 + \text{NADP}^+$       |
| 3. Cyanide hydratase (พบในราหิมะ (snow moulds) และราที่ก่อให้เกิดโรค)                                                  |
| $\text{HCN} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{HCONH}_2$                                                       |
| 4. Cyanidase (พบในแบคทีเรีย <i>Alcaligenes xylosooxidans denitrificans</i> )                                           |
| $\text{HCN} + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{HCOON} + \text{NH}_3$                                          |

ที่มา : Oliveira *et al.*, 2001

### (2) การหมุนเวียนของของเหลว

การหมุนเวียนของของเหลวที่มีองค์ประกอบของสารอาหารที่เหมาะสมจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการสัมผัสหรือการแลกเปลี่ยนมวลระหว่างก๊าซและของเหลวในระบบ ถ้ามีการหมุนเวียนของของเหลวมากเกินไป จะทำให้จุลชีพได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอทำให้มีการย่อยสลายและบำบัดกลิ่นหรือก๊าซได้ไม่ดีนัก แต่ถ้าอัตราการหมุนเวียนอาหารน้อยเกินไป ตัวกลางจะเริ่มแห้ง เซลล์จุลินทรีย์จะหลุดออกและส่งผลให้การทำงานของระบบไบโอสคริปเบอร์แบบฟิซซ์ฟิล์มหรือฟิซซ์-ฟิล์มไบโอสคริปเบอร์ลดลง

### (3) ชนิดของตัวกลาง

การเลือกตัวกลางก็เป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบระบบ ตัวกลางที่ใช้กันส่วนใหญ่ควรจะมีคุณสมบัติเพียงพอให้จุลินทรีย์ได้ยึดเกาะ ขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวต่อปริมาตร คุณสมบัติการหลุดลอกของตัวกลาง คุณสมบัติการไหลผ่านของของเหลวและอากาศ รวมทั้งคุณสมบัติการดูดซับของตัวกลาง

ตัวกลางที่ดีจะต้องทำให้จุลชีพจับติดหรือยึดเกาะได้ดีและกระจายไปทั่วบริเวณพื้นผิว ซึ่งจะทำให้จุลชีพสามารถเจริญเติบโตได้ดี ในขณะที่เดียวกันตัวกลางจะต้องรองรับน้ำหรือของเหลวที่มีปริมาตรและอัตราการไหลสูงได้ทั่วถึงทั้งหมด (Joyce and Sorensen, 1999)

ตัวกลางที่เป็นพลาสติก เป็นตัวกลางที่มีการพัฒนาให้เหมาะสมในการใช้เป็นตัวกลางและเป็นการแก้ไขปัญหาบางประการที่เกิดขึ้นในตัวกลางแบบในถังกลวงกล่าคือ เป็นวัสดุที่ผลิตขึ้นให้มีความหนาแน่นของเนื้อสาร (Bulk density) ค่อนข้างต่ำ น้ำหนักเบา มีพื้นที่มาก ป้องกันการอุดตันค่อนข้างดี มีความต้านทานต่อสารเคมีและการกัดกร่อนในสภาพถังหรือในระบบบำบัดน้ำเสีย ตัวกลางพลาสติกจึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย

### (4) สารอาหาร

อาหารเลี้ยงเชื้อจะต้องประกอบด้วยสารอาหารและธาตุโลหะที่จำเป็นที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของจุลชีพ โดยทั่วไปจุลชีพจะเจริญเติบโตในช่วงระยะที่เหมาะสมซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของจุลชีพนั้นๆ ขณะเดียวกันจุลชีพจะบำบัดก๊าซหรือกลิ่นในระหว่างการเจริญเติบโต เพื่อนำองค์ประกอบจากก๊าซไปใช้ในการสร้างเซลล์ต่อไปจึงทำให้มีประสิทธิภาพการกำจัดมากที่สุดในช่วงที่จุลชีพมีการเจริญเติบโตสูงสุด ระบบไบโอสคริปเบอร์แบบฟิซซ์ฟิล์มหรือฟิซซ์-ฟิล์มไบโอสคริปเบอร์ที่เป็นระบบเดิมอาจทำให้จุลชีพตายได้เนื่องจากมีการชะล้างด้วยน้ำอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้ต้องมีการเติมสารอาหารที่มากเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของจุลชีพในระบบนี้ (Joyce and Sorensen, 1999) ทั้งนี้การเลือกสารอาหารจะขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์ ในโตรเจน ฟอสฟอรัส และธาตุโลหะบางตัวที่ต้องการ ยกตัวอย่างเช่น การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบตะกอนเร้น้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดแล้วสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งน้ำที่มีสารอาหารเพียงพอต่อระบบไบโอสคริปเบอร์นี้ได้

## (5) ระยะเวลาที่กักเก็บ (EBRT)

ระยะเวลาที่กักเก็บ คือระยะเวลาที่ก๊าซผ่านเข้าไปในคอลัมน์ของระบบไบโอสครับเบอร์ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากปริมาตรของชั้นตัวกลางส่วนด้วยอัตราการไหลของก๊าซ

$$EBRT = \frac{V}{Q}$$

เมื่อ	EBRT (Empty bed retention time) :	s หรือ min
	V (Volume of packed bed) :	m <sup>3</sup>
	Q (Gas flow rate) :	m <sup>3</sup> /s หรือ m <sup>3</sup> /min

ระยะเวลาที่กักเก็บที่เหมาะสมสำหรับระบบไบโอสครับเบอร์ทั่วไปอยู่ระหว่าง 10-15 วินาที แต่ในบางระบบจะมีการออกแบบให้มีก๊าซเข้าระบบโดยมีค่า EBRT นานกว่า 30 วินาที (Joyce and Sorensen, 1999)

## 2.2.3.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบไบโอสครับเบอร์

ระบบไบโอสครับเบอร์มีข้อดีในการออกแบบระบบที่สามารถควบคุมพีเอช สารอาหาร และอัตราการไหลของก๊าซ (มากกว่า  $2 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/h) (Kennes and Thalasso, 1998; Burgess *et al.*, 2001) ระบบนี้สามารถบำบัดก๊าซที่มีความเข้มข้นสูงๆ ได้ ซึ่งอาจมากถึง 300 พีพีเอ็ม (Famsystems, 2002) และสามารถให้มีอัตราการไหลของก๊าซสูงกว่าระบบกรองชีวภาพทั่วไป ซึ่งระบบที่มีอัตราการไหลก๊าซสูงจะช่วยลดพื้นที่ในการก่อสร้างระบบและยังลดค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบได้ (Hansen and Rindel, 2000) ยิ่งไปกว่านั้นคือสามารถกำจัดหรือบำบัดกลิ่นหรือก๊าซที่มีความเข้มข้นสูงและสามารถบำบัดกลิ่นหรือก๊าซที่มีความเข้มข้นเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วได้ ซึ่งระบบไบโอสครับเบอร์มีประสิทธิภาพการบำบัด 90-99% ซึ่งสูงกว่าระบบกรองทางชีวภาพ ดังแสดงในตารางที่ 2-5 ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงใช้ระบบไบโอสครับเบอร์แบบฟิซซ์ฟิล์มหรือระบบฟิซซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์ในการกำจัดไฮโดรเจนไซยาไนด์

ตารางที่ 2-5 ข้อดีและข้อเสียของระบบไบโอสครับเบอร์ (Famsystems, 2002)

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ควบคุมองค์ประกอบของของเหลว ปริมาณ สารอาหารและค่าพีเอชได้ง่าย	1. ควบคุมปริมาณฟอสฟอรัสและ โปแตสเซียม ในของเหลวได้ยาก
2. สามารถบำบัดก๊าซที่มีความเข้มข้นสูงและ ก๊าซที่มีอัตราการไหลเปลี่ยนแปลงรวดเร็วได้	2. ต้องมีการควบคุมจุลชีพที่เจริญเติบโตเพื่อลด กากของเสียที่ออกจากระบบ
3. ควบคุมอัตราการไหลของก๊าซได้ง่าย	

ระบบไบโอสครับเบอร์ที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นแบบฟิกซ์-ฟิล์ม โดยจุลินทรีย์จะยึดเกาะบนตัวกลางที่เป็นพลาสติก มีการสัมผัสกันระหว่างก๊าซและของเหลวภายในคอลัมน์ และมีการหมุนเวียนสารอาหาร ซึ่งก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์จะเข้าสู่ระบบจากด้านล่าง และของเหลวซึ่งมีสารอาหารจะเข้าทางด้านบนของคอลัมน์เพื่อกระจายของเหลวให้ทั่วถึงตัวกลาง ทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างก๊าซและของเหลว เกิดกระบวนการดูดซึมในของเหลว ทำให้เกิดกระบวนการบำบัดทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์

## 2.3 ระบบตรึงผิวชีวภาพ (Fixed-film system)

### 2.3.1 ลักษณะสมบัติของระบบตรึงผิวชีวภาพ

สารอินทรีย์ในน้ำเสียเมื่อระบายทิ้งลงแหล่งน้ำธรรมชาตินั้น สามารถถูกย่อยสลายโดยกระบวนการทำความสะอาดตัวเองในธรรมชาติ (Self purification process) จุลชีพที่สามารถทำลายสารอินทรีย์นี้อาจแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกเป็นจุลชีพประเภทที่แขวนลอยในน้ำ (Suspended microorganisms) และกลุ่มที่สองเป็นจุลชีพประเภทที่ตรึงผิว (Fixed-film) เกาะบนผิวพื้นวัสดุในบริเวณแหล่งน้ำ สารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกย่อยสลายโดยพวกจุลชีพที่เกาะตามธรรมชาตินี้ หลักการนี้จึงได้นำมาประยุกต์ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียอย่างกว้างขวาง เช่น ระบบโปรยกรอง ระบบกรองชีวภาพ และระบบแผ่นจานหมุนชีวภาพ ซึ่งจุลชีพที่ตรึงผิวหรือ Fixed-film ที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียนี้จะทำให้เกิดฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) ลักษณะสมบัติของฟิล์มชีวภาพ ที่เกาะบนผิววัสดุต่าง ๆ นั้น ขึ้นกับองค์ประกอบหลายประการ เช่น ความเร็วของน้ำไหลผ่านผิวของวัสดุ ความเข้มข้นของสารอาหารที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ในน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ อุณหภูมิในขณะนั้น ลักษณะผิววัสดุที่ฟิล์มชีวภาพเกาะ เป็นต้น

### 2.3.2 การเกาะหลุด (Microbial Attachment and Sloughing)

การเกาะหลุดของฟิล์มชีวภาพนั้นจะเกิดขึ้นเป็นวัฏจักร โดยการหลุดของฟิล์มชีวภาพในระบบโปรยกรองเกิดทุกๆ 14 วัน และจะมีฟิล์มชีวภาพใหม่มาเกาะแทนที่แล้วก็หลุดไปอีกเช่นนี้ สลับกันไป จุลชีพโดยเฉพาะอย่างยิ่งแบคทีเรียสามารถเกาะบนผิววัสดุต่างๆ ได้ไม่ว่าผิววัสดุนั้นจะมีลักษณะเช่นไรแต่จะเกาะได้ดีถ้าผิววัสดุมีความหยาบ การเกาะติดบนผิววัสดุของแบคทีเรียเกิดขึ้นโดยแบคทีเรียจะสร้างเส้นใยขนาดเล็กรอบตัวเซลล์ เส้นใยเหล่านี้จะเกาะจับแน่นกับเส้นใยของเซลล์ตัวอื่น ทำให้แบคทีเรียสามารถเกาะกันติดหนาเป็นฟิล์มบนผิววัสดุได้ เส้นใยเหล่านี้เรียกว่า Glycocalyx ซึ่งเป็นสารพวกโพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharides) หรือเป็น โมเลกุลพวกน้ำตาลซึ่งมีกิ่งสาขา (Branching sugar molecules) เส้นใยนี้ประกอบด้วยโพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharides) และไกลโคโปรตีน (Glycoprotein) จะอยู่ในลักษณะที่เกี่ยวพันกันแน่น ทำให้เซลล์แบคทีเรียจับตัวกันแน่นขึ้น

และเซลล์จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ให้เล็กลงและนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของเซลล์ภายในเส้นใยนี้ต่อไป

การหลุดของฟิล์มชีวภาพขึ้นกับองค์ประกอบต่างๆ ได้แก่ ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่าน ปริมาณของออกซิเจนที่ละลายน้ำ โดยพบว่าอัตราการหลุดของมวลจุลชีพแปรเปลี่ยนโดยตรงกับความเร็วรอบของระบบแผ่นจานหมุนชีวภาพ ความหนาของฟิล์มจะแปรผกผันกับอัตราการไหลของของเหลวในระบบโปรยกรอง สาเหตุที่สำคัญของการหลุดของฟิล์มชีวภาพนั้นเนื่องมาจากฟิล์มชีวภาพมีความหนามากจนกระทั่งชั้นในเกิดสภาพขาดแคลนออกซิเจนอิสระ ดังนั้นสารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนแทน ทำให้เกิดก๊าซมีเทน ซึ่งก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจะทำให้ฟิล์มชีวภาพหลุดออก นอกจากนี้ถ้าฟิล์มชีวภาพมีความหนาในที่สุดจะถูกถ่วงดึงให้หลุดโดยน้ำหนักของฟิล์มชีวภาพเอง

### 2.3.3 องค์ประกอบทางเคมี

ฟิล์มชีวภาพประกอบด้วยน้ำสูงถึง 87-96 % โดยน้ำหนักและมีของแข็งระเหย (Volatile solids) ต่ำเพียง 1.9-3.2 % เท่านั้น นอกจากนี้ฟิล์มชีวภาพยังประกอบไปด้วยสารอนินทรีย์ในปริมาณเล็กน้อย ได้แก่ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และเหล็ก (Fe) เป็นต้น ซึ่งปริมาณสารอนินทรีย์เหล่านี้ในฟิล์มชีวภาพขึ้นกับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

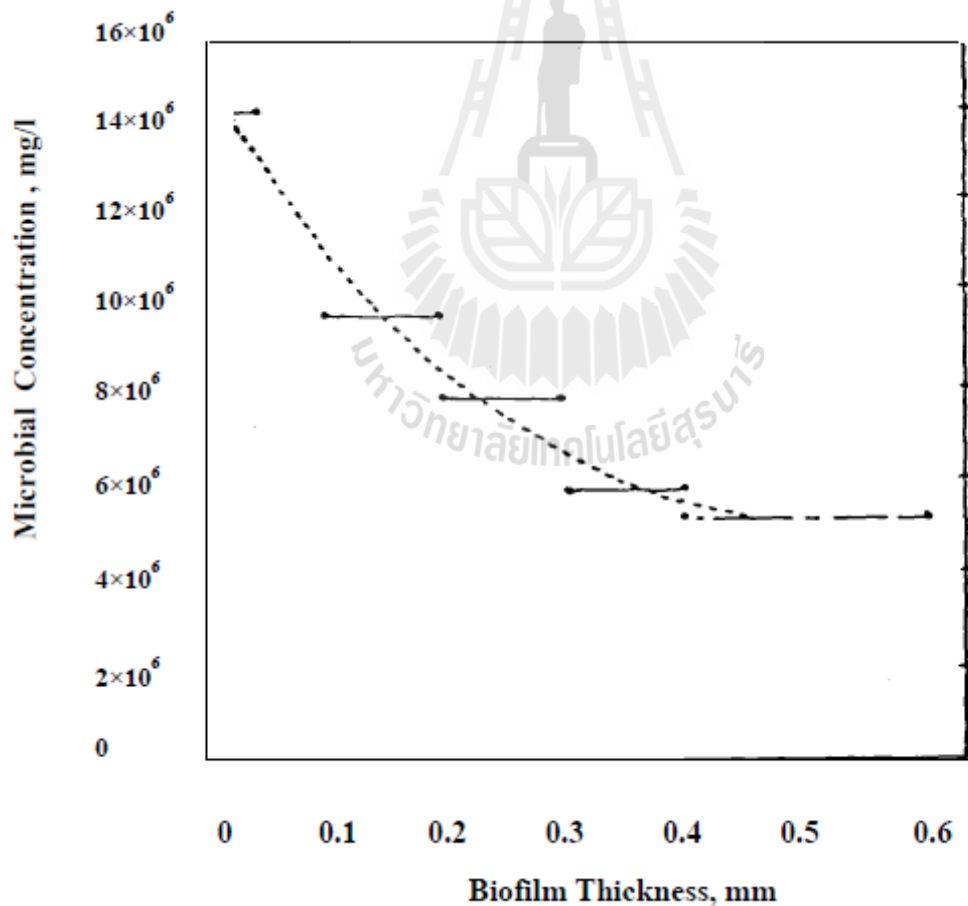
### 2.3.4 ความหนาแน่นของจุลชีพ

เนื่องจากฟิล์มชีวภาพประกอบด้วยน้ำสูงถึง 87-96% และเซลล์จุลชีพในฟิล์มชีวภาพยังประกอบด้วยน้ำสูงถึง 90% ดังนั้นค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ของฟิล์มชีวภาพจึงใกล้เคียงกับค่าของน้ำ ความหนาแน่นของจุลชีพนี้ สามารถวัดเป็นจำนวนหรือน้ำหนักแห้งแต่ในทางวิศวกรรมศาสตร์มักนิยมวัดเป็นน้ำหนักแห้ง ความหนาแน่นของจุลชีพในฟิล์มชีวภาพนี้ขึ้นกับสภาวะแวดล้อมต่างๆ เช่น ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่าน ภาระบรรทุกทุกสารอินทรีย์ อุณหภูมิ และชั้นความหนาของฟิล์มชีวภาพ ความหนาแน่นของจุลชีพในฟิล์มชีวภาพจะสูงขึ้นเมื่อภาระบรรทุกทุกสารอินทรีย์สูงขึ้น ซึ่งความหนาแน่นของจุลชีพในฟิล์มชีวภาพยังขึ้นกับถึงปฏิกิริยาในระบบที่ใช้ ดังแสดงในตารางที่ 2-6 ส่วนในรูปที่ 2-1 แสดงความหนาแน่นของจุลชีพในชั้นที่อยู่ใกล้ผิวตัวกลางที่เกาะจะมีค่ามากกว่าชั้นที่อยู่ถัดไป

ตารางที่ 2-6 ความหนาแน่นของจุลชีพใน Fixed-film ในถังปฏิกิริยาต่างๆ และที่ความหนาต่างๆ

Density (mg TSS/ml)	Fixed Film Thickness ( $\mu\text{m}$ )	Type of Reactor	References
90	< 300	Rotating Annular Submerged Drum	Kornegay and Andrew 1970
37.5	100-3800	Rotating Tube	Tomlinson and Snaddon 1966
111	200	Rotating Cylinder	Horhn and Ray 1973
20	>200	Rotating Cylinder	Horhn and Ray 1973
669	28-183	Submerged-Packed Column	Namkung <i>et al.</i> 1983

ที่มา: สมาคมเทคโนโลยีน้ำและน้ำเสีย (2530)



รูปที่ 2-1 ความหนาแน่นของจุลชีพในฟิล์มชีวภาพที่ชั้นความหนาต่างๆ (สุเมธ ชวเดช, 2530)



### 2.3.5 กระบวนการกำจัดสารอินทรีย์

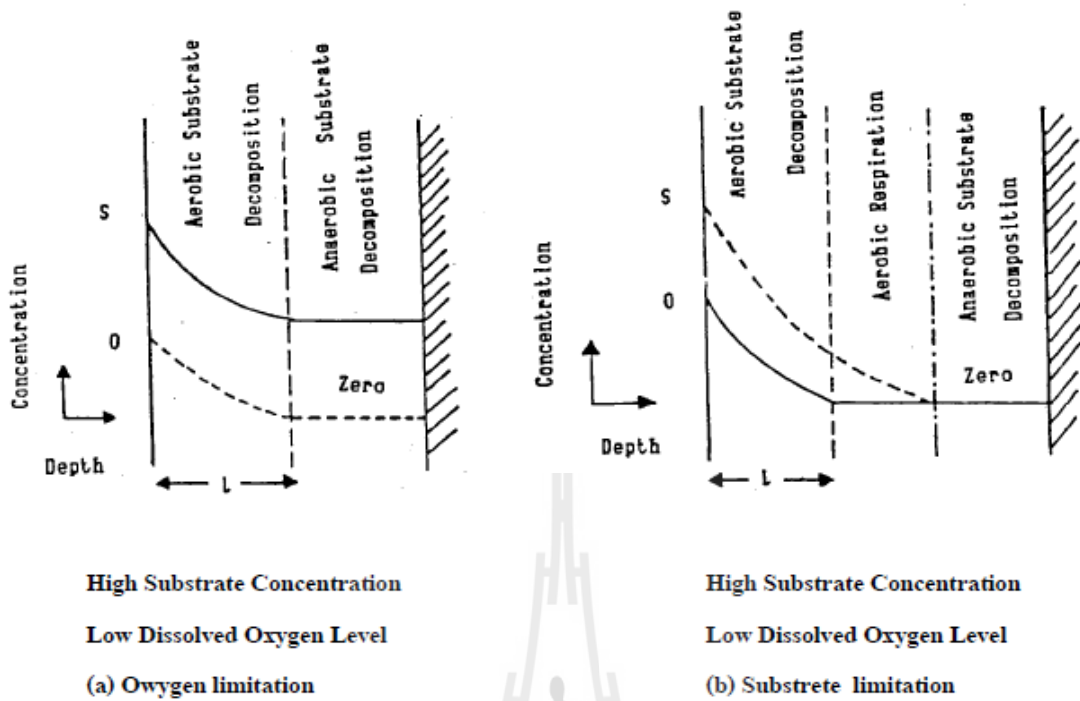
กระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ที่ไหลผ่านระบบกำจัด แบบ Fixed Film นั้น เป็นกระบวนการถ่ายเทมวลและปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นพร้อมกันซึ่งขั้นตอนกระบวนการกำจัดสารอินทรีย์โดยฟิล์มชีวภาพมีดังนี้

- 1) สารอินทรีย์ และออกซิเจนจะถ่ายเทจากชั้นของเหลวไปยังส่วนที่อยู่ร่วมกัน (Interface) ระหว่างชั้นของเหลว และฟิล์มชีวภาพ
- 2) สารอินทรีย์ และออกซิเจนจะถ่ายเทผ่านบริเวณดังกล่าวไปยังชั้นของฟิล์มชีวภาพ
- 3) มีการใช้สารอินทรีย์ และออกซิเจนโดยพวกจุลินทรีย์ในชั้นของฟิล์มชีวภาพ
- 4) มีการถ่ายเทผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำจากชั้นฟิล์มชีวภาพ
- 5) ผลิตภัณฑ์ที่ได้นี้จะถูกถ่ายเทต่อไปยังชั้นของเหลว

อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์อาจขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนหรือสารอินทรีย์ที่กล่าวคือ ชั้นนอกจะเป็นชั้นที่เกิดปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียจำพวกไอซ้ออกซิเจน ส่วนในชั้นในถัดไปจะเป็นชั้นที่ไม่ใช้ออกซิเจน ดังนั้นปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์จึงเป็นแบบไม่ใช้ออกซิเจน ปฏิกิริยาย่อยสลายสาร โดยใช้ออกซิเจนจะเกิดรวดเร็วกว่าแบบไม่ใช้ออกซิเจน ดังนั้นอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์จึงขึ้นกับปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นในชั้นที่มีออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ความหนาของชั้นนี้เรียกว่า ความหนาประสิทธิผล (Effective Depth) ซึ่งขึ้นกับองค์ประกอบต่างๆ ได้แก่ ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ความเข้มข้นออกซิเจนละลายน้ำ ความหนาแน่นจุลชีพ และอัตราการใช้สารอินทรีย์ (Substrate uptake rate)

### 2.3.6 ความหนาประสิทธิผล (Effective Depth)

ลักษณะชั้นของฟิล์มชีวภาพ มีความหนามาก อาจแบ่งเป็น 2 ชั้น คือ Aerobic และ Anaerobic ดังแสดงในรูปที่ 2-2 อัตราการใช้สารอินทรีย์โดยฟิล์มชีวภาพเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของฟิล์มชีวภาพเพิ่มขึ้นและอัตราการใช้สารอินทรีย์จะคงที่ เมื่อความหนาของฟิล์มชีวภาพ หนามากกว่าความหนาของชั้น Aerobic โดยความหนาของชั้น Aerobic ประมาณ 70-100 ไมโครเมตร ความหนาชั้นนี้ขึ้นกับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ซึ่งฟิล์มชีวภาพในระบบบำบัดน้ำเสียต่าง ๆ นั้น จะมีกระบวนการกำจัดสารอินทรีย์เกิดขึ้นเฉพาะชั้นผิวนอกบางๆ เท่านั้น ดังนั้นในการเพิ่มประสิทธิภาพระบบบำบัดดังกล่าว กระทำได้โดยเพิ่มความหนาของชั้น Aerobic เช่น การใช้ออกซิเจนแทนอากาศเป็นต้น



รูปที่ 2-2 ลักษณะชั้นฟิล์มชีวภาพในกรณีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ และออกซิเจน (สุมเมธ ชาวเดช, 2530)

**2.3.7 สภาพขาดแคลนสารอินทรีย์ และออกซิเจน**

ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรีย ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน ปฏิกริยาชีวเคมีนี้ประกอบด้วยสารให้อิเล็กตรอน (Electron donor) ซึ่งได้แก่ สารอินทรีย์ต่างๆ กับสารรับอิเล็กตรอน (Electron acceptor) ซึ่งได้แก่ ออกซิเจนซึ่งอยู่ในรูปละลายน้ำ อัตราการใช้สารอินทรีย์โดยฟิล์มชีวภาพในระบบบำบัดน้ำเสียนั้น อาจถูกควบคุมโดยสารให้อิเล็กตรอนหรือสารรับอิเล็กตรอน (ในที่นี้หมายถึงสารอินทรีย์ และออกซิเจนละลายน้ำ) ซึ่งขึ้นกับความเข้มข้นสารอินทรีย์ ความเข้มข้นออกซิเจนละลายน้ำในน้ำเสีย อัตราการถ่ายเทมวลของสารทั้งสอง และค่าสัมประสิทธิ์ย่อยสลาย (Stoichiometric coefficient) (Metcalf and Eddy, 1991)

**2.3.8 การใช้ Fixed Film ในระบบบำบัดน้ำเสีย**

1) Conventional trickling filter

เป็นระบบที่มีจุลินทรีย์เจริญเติบโตอยู่บนวัสดุตัวกลาง โดยวัสดุตัวกลางจะไม่มี การเคลื่อนที่ และน้ำเสียที่จะกำจัดจะถูกปล่อยให้ไหลลงมาจากตอนบนของระบบ ให้ผ่านวัสดุตัวกลางเพื่อให้สัมผัสกับจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่บนวัสดุตัวกลาง

2) Biological tower

เป็นระบบที่เหมือนกับระบบ ไพรยกรอง (Trickling filter) แต่วัสดุตัวกลางจะใช้

พลาสติกที่มีขนาดเบา บรรจุอยู่ในห่อสูงประมาณ 12 เมตร ซึ่งระบบนี้วัสดุตัวกลางจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์มากกว่าระบบโปรยกรองทำให้สามารถรับน้ำที่มีปริมาณและความสกปรกได้มากกว่า

### 3) Activated biofilter

ใช้ฟิล์มชีวภาพ เพื่อลดความสกปรกของน้ำก่อนเข้าระบบตะกอนเร่ง ทำให้ประสิทธิภาพของระบบตะกอนเร่งดีขึ้น

### 4) Biological aerated filter

คล้าย Conventional trickling filter แต่มีการเป่าอากาศช่วยให้ประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในการลดค่าความสกปรกสูงขึ้น แต่ในระบบนี้จุลินทรีย์จะมีการเจริญเติบโตมาก ซึ่งจะทำให้ระบบเกิดการอุดตันได้ง่าย ดังนั้นจึงต้องมีการดูแลระบบมากขึ้น

## 2.4 ค่ามาตรฐานไฮโดรเจนซัลไฟด์ในอากาศ

### 2.4.1 ค่ามาตรฐานไฮโดรเจนซัลไฟด์ของประเทศไทย

มาตรฐานมลพิษอากาศของประเทศไทยกำหนดค่ามาตรฐานของปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ในบรรยากาศโดยเฉพาะในการทำงาน ตามบัญชีท้ายประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี) ตารางหมายเลข 1 อาศัยอำนาจในความตามข้อ 2 (7) แห่งประกาศคณะปฏิวัติฉบับที่ 103 ประกาศเมื่อ 16 มีนาคม พ.ศ. 2515 กระทรวงมหาดไทย ได้กำหนดสวัสดิการเกี่ยวกับสุขภาพอนามัยและความปลอดภัยของลูกจ้าง ไว้ดังตารางที่ 2-7

#### ตารางที่ 2-7 มาตรฐานมลพิษอากาศในบรรยากาศของการทำงาน

ชื่อสารเคมี	ปริมาณสารเคมี	
	ส่วนในล้านส่วนโดยปริมาตร (ppm)	มิลลิกรัมต่ออากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร (mg/M <sup>3</sup> )
ไฮยาไนด์	-	5
ไฮโดรเจนซัลไฟด์	10	11

ที่มา : ประกาศกระทรวงมหาดไทย (2520)

### 2.4.2 ค่ามาตรฐานไฮโดรเจนซัลไฟด์สากลของต่างประเทศ

ค่ามาตรฐานของสารประกอบไฮยาไนด์ในรูปไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่กำหนดขึ้นของแต่ละสถาบัน จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับเกณฑ์ที่ใช้ในการกำหนดค่ามาตรฐาน ดังตารางที่ 2-8

ตารางที่ 2-8 มาตรฐานไฮโดรเจนไซยาไนด์ในบรรยากาศ

มาตรฐาน	ปริมาณสารเคมี	
	ส่วนในล้านส่วนโดยปริมาตร (ppm)	มิลลิกรัมต่ออากาศ 1 ลูกบาศก์ เมตร (mg/M <sup>3</sup> )
OSHA PEL <sup>1</sup>	10	11
NIOSH REL <sup>2</sup>	4.7	5
ACGIH TLV <sup>3</sup>	4.7	5

หมายเหตุ

<sup>1</sup> = The Occupation Safety and Health Administration Permissible Exposure Limit (1994)

<sup>2</sup> = The National Institute for Occupational Safety and Health Recommended Exposure Limit (1992)

<sup>3</sup> = The American Conference of Governmental Industrial Hygienists Threshold Limit Values (1994)

## บทที่ 3

### ระเบียบวิธีดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย (Instruments)

- 1) เครื่องอังน้ำ (Water bath) ยี่ห้อ Daihan รุ่น WEB-6
- 2) เตาอบแห้ง (Hot air oven) ยี่ห้อ Memmert รุ่น UE 500
- 3) เครื่องกลั่นไนโตรเจน (Distilling unit) ยี่ห้อ VELP รุ่น UDK 140
- 4) เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ยี่ห้อ Thermo Spectronic รุ่น Heaios
- 5) ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Incubator) ยี่ห้อ Memmert รุ่น BE 500
- 6) หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (Autoclave) ยี่ห้อ TKA รุ่น Steroclave 24 และ ยี่ห้อ Hiclave รุ่น HV-50
- 7) เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler toledo รุ่น AG 285
- 8) เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Precisa รุ่น XT 1200 C
- 9) ตู้ดูดความชื้น (Desiccator) ยี่ห้อ Shin-ei รุ่น TYPE OD-10
- 10) เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ยี่ห้อ ยี่ห้อ Jenway รุ่น 3510
- 11) ตู้ปลอดเชื้อ (Laminar flow) ยี่ห้อ HOLTEN รุ่น SAFE 2010
- 12) เครื่องควบคุมอัตราการไหลของของเหลว (Peristaltic pump) ยี่ห้อ Watson Marlow รุ่น SCIQ 323
- 13) เครื่องวัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ (Gas detector) ยี่ห้อ Industrial Scientific รุ่น Gasbadge Pro

#### 3.2 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย (Chemicals)

ชื่อสารเคมี	สูตรโมเลกุล
แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride)	$\text{CaCl}_2$
โคบอลต์ไนเตรท (Cobalt nitrate)	$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Di-potassium hydrogen phosphate)	$\text{K}_2\text{HPO}_4$
เฟอริกคลอไรด์ (Ferric chloride)	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
เฟอรัสซัลเฟต (Ferrous sulfate)	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
กลูโคส (D-glucose)	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$
แมกนีเซียมคลอไรด์ (Magnesium chloride)	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
โมลิบดีนัมไตรออกไซด์ (Molybdenum trioxide)	$\text{MoO}_3$
โพแทสเซียมไซยาไนด์ (Potassium cyanide)	KCN

ชื่อสารเคมี	สูตรโมเลกุล
โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Potassium dihydrogen phosphate)	$\text{KH}_2\text{PO}_4$
โซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Sodium hydrogen phosphate)	$\text{NaHPO}_4$
โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulfate)	$\text{Na}_2\text{SO}_4$
ซิงค์ซัลเฟต (Zinc sulphate)	$\text{ZnSO}_4$
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)	$\text{NaOH}$
โซเดียมเตตราโบเรต (Sodium tetraborate)	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$
กรดบอริก (Boric acid)	$\text{H}_3\text{BO}_3$
เมทิลเรด (Methyl red)	$\text{C}_{15}\text{H}_{15}\text{N}_3\text{O}_2$
เมทิลีนบลู (Methylene blue)	$\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{N}_3\text{SCl}$
เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol)	$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$
กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid)	$\text{H}_2\text{SO}_4$
ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein)	$\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$
โพแทสเซียมไนเตรต (Potassium nitrate)	$\text{KNO}_3$
บรูซีนซัลเฟต (Brucine sulfate)	$\text{C}_{46}\text{H}_{54}\text{N}_4\text{O}_{12}\text{S}$
กรดซัลฟานิลิก (Sulphanilic acid)	$\text{NH}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{H}$
กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid)	$\text{HCl}$
อะซีโตน (Acetone)	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$
ซิลเวอร์ไนเตรต (Silver nitrate)	$\text{AgNO}_3$
ไดเมทิลอะมิโนเบนซอลโรดานีน (Dimethylaminobenzalrhodanine)	$\text{C}_{12}\text{H}_{12}\text{ON}_2\text{S}_2$

### 3.3 วิธีดำเนินงานวิจัย

#### 3.3.1 อาหารเลี้ยงเชื้อ (Media)

1) อาหารเลี้ยงเชื้อที่มีสารอาหารสูง (Enrichment medium) 1 ลิตร ประกอบด้วย

$\text{NaHPO}_4$	4	กรัม
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	2.13	กรัม
$\text{K}_2\text{HPO}_4$	3.10	กรัม
$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	200	มิลลิกรัม
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	2	มิลลิกรัม
$\text{CaCl}_2$	1	มิลลิกรัม

ปรับพีเอช (pH) เท่ากับ 7.2

2) อาหารเลี้ยงเชื้อ (Buffer medium) 1 ลิตร ประกอบด้วย

$\text{KH}_2\text{PO}_4$	2.7	กรัม
$\text{K}_2\text{HPO}_4$	3.5	กรัม
สารละลายเกลือ	10	มิลลิลิตร ซึ่งในน้ำกลั่น 1 ลิตรประกอบด้วย
- $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	300	มิลลิกรัม
- $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	180	มิลลิกรัม
- $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	130	มิลลิกรัม
- $\text{CaCl}_2$	40	มิลลิกรัม
- $\text{ZnSO}_4$	40	มิลลิกรัม
- $\text{MoO}_3$	20	มิลลิกรัม

ปรับพีเอช (pH) เท่ากับ 7.2

### 3.3.2 จุลินทรีย์ในการทดลอง (Microorganisms)

จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองนี้ นำมาจากระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังที่มีไซยาไนด์ปนเปื้อน ซึ่งได้ทำการศึกษาวิจัยแล้วว่าสามารถเจริญเติบโตได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีไซยาไนด์เป็นส่วนประกอบและมีความสามารถสูงในการย่อยสลายไซยาไนด์ ได้แก่ SUTS 1 SUTS 2 และโดยเฉพาะเมื่อนำจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิดมารวมกัน (Mixed culture) พบว่าทำให้มีความสามารถในการย่อยสลายไซยาไนด์เพิ่มขึ้น ที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นในการทดลองนี้จะใช้จุลินทรีย์แบบรวมกลุ่ม (Mixed culture) เป็นจุลินทรีย์ในการพัฒนาต่อไป เชื้อจุลินทรีย์จะถูกเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีสารอาหารสูง (Enrichment medium) เพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตของเชื้อ โดยทำการเพาะเลี้ยงเชื้อในขวดทดลอง (Flask) ขนาด 500 มิลลิลิตร ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ต่ออาหารเลี้ยงเชื้อเท่ากับ 10:100 เลี้ยงที่อุณหภูมิห้อง เขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ 150 รอบต่อนาที

เมื่อจุลินทรีย์ถูกกระตุ้นการเจริญเติบโตแล้วจะนำมาเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ (Buffer medium) ด้วยอัตราส่วนจุลินทรีย์ต่ออาหารเลี้ยงเชื้อเป็น 10:100 ปริมาตรต่อปริมาตร โดยใส่ไซยาไนด์ในรูปของโพแตสเซียมไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อนำไปศึกษาการย่อยสลายก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ของจุลินทรีย์ในระบบสกรับเบอร์ต่อไป

### 3.3.3 การตรึงจุลินทรีย์รวมกลุ่มบนผิวของตัวกลาง (Immobilization of mixed culture on packing materials)

จุลินทรีย์แบบรวมกลุ่มระหว่าง SUTS 1 และ SUTS 2 นี้ มีการเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีไซยาไนด์เป็นองค์ประกอบที่ความเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 2 ของการศึกษา โดยพบจำนวนเซลล์  $5.3 \times 10^8$  เซลล์ หรือ CFU/ml และมีน้ำหนักเซลล์ประมาณ 0.0051

กรัมต่อมิลลิลิตร (สิราภรณ์, 2550) จึงทำการเลี้ยงจุลินทรีย์ให้เจริญเติบโตดีที่สุดในวันดังกล่าวและนำไปตรึงบนผิวของตัวกลางที่ทำด้วยวัสดุโพลีโพรไพลีนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว (รูปที่ 3-1) โดยใช้อัตราส่วนจุลินทรีย์ต่ออาหารเลี้ยงเชื้อเป็น 10:100 ปริมาตรต่อปริมาตร ทำการตรึงเซลล์เป็นเวลา 30 วันแล้วจึงนำไปบรรจุลงในคอลัมน์ไบโอสครับเบอร์ (รูปที่ 3-2) ทั้งนี้ทำการซังน้ำหนักรวมตัวกลางโดยการสุมเพื่อหาน้ำหนักของเซลล์จุลินทรีย์หลังจากการตรึงเซลล์บนตัวกลาง และตรวจสอบเชื้อด้วยวิธีการเขี่ยเชื้อ (Streaking plate technique) ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่เติมวุ้น (Bacto agar) ลงไป 18 กรัมต่อลิตร เพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนและ/หรือการคงอยู่ของจุลินทรีย์ดังกล่าว



รูปที่ 3-1 ตัวกลางที่ทำจากพลาสติก Polypropylene pall ring



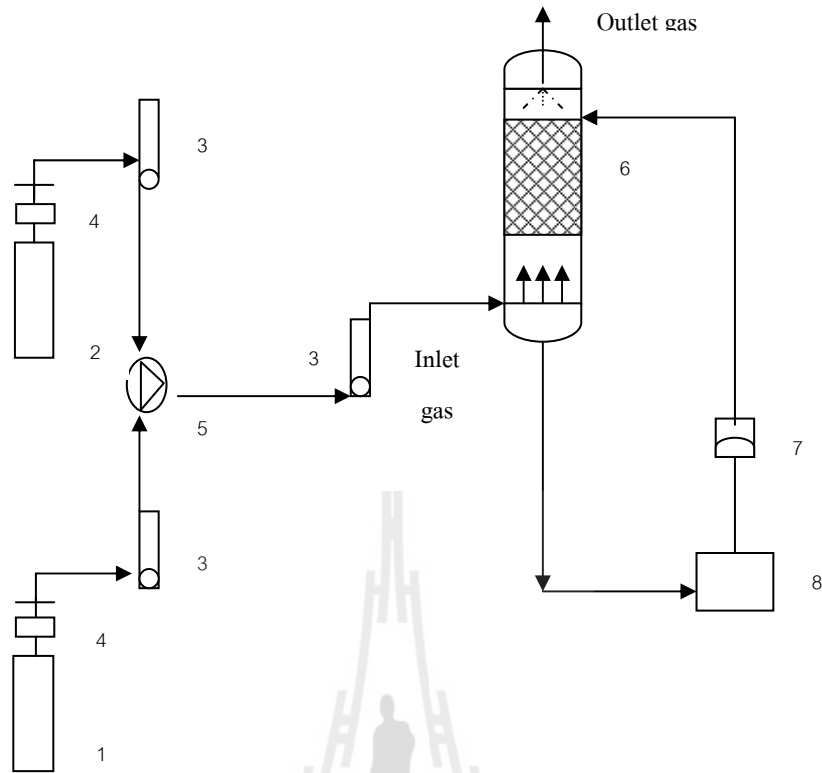


รูปที่ 3-2 คอลัมน์ฟิสิกซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์ (Fixed-film bioscrubber column)

### 3.3.4 การทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมของเชื้อจุลินทรีย์ในระบบฟิสิกซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์ (Study the optimum capacity of microorganisms in fixed-film bioscrubber system)

คอลัมน์ของระบบทำจากแก้วซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 3 เซนติเมตร และความสูงเท่ากับ 50 เซนติเมตร โดยมีตัวกลางที่ให้จุลินทรีย์แบบรวม (Mixed culture) ยึดเกาะอยู่ภายใน มีความสูงของตัวกลางประมาณ 30 เซนติเมตร (ตารางที่ 3-1) คิดเป็นร้อยละ 60 ของความสูงของคอลัมน์ (Potivichayanon, 2005) และมีถังสำหรับใส่ของเหลวให้ไหลเวียน (Recirculation tank) ตลอดเวลาขณะเดินระบบ (รูปที่ 3-3 และ 3-4) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ระยะ ดังนี้

- 1) การศึกษาระยะแรก (Short term period) ซึ่งจะทำการเดินระบบต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง โดยเก็บตัวอย่างที่เวลา 0, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของระบบ ดังตารางที่ 3-1
- 2) การศึกษาระยะยาว (Long term period) โดยนำสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการศึกษา ระยะแรกมาเพื่อศึกษาประสิทธิภาพที่ดีที่สุดของระบบในระยะยาว ซึ่งจะทำการเดินระบบต่อเนื่องเป็นเวลา 72 ชั่วโมง



รูปที่ 3-3 แผนผังทิศทางการไหลและส่วนประกอบของชุดทดสอบพัฒนาความสามารถของเชื้อจุลินทรีย์ด้วยระบบฟิสิกซ์-ฟิล์มไบโอสครັบบเบอร์ (1. HCN gas; 2. Dilution gas; 3. Flow meter; 4. Regulator; 5. 3-way connector tank; 6. Fixed-film bioscrubber column; 7. Peristaltic pump; 8. Recirculation tank.)



รูปที่ 3-4 ระบบฟิซ-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์ (Fixed-film bioscrubber system)

ตารางที่ 3-1 สภาพและตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยในการศึกษาระยะแรก (Short term period)

ตัวแปรที่ใช้ศึกษา	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
เชื้อจุลินทรีย์	เชื้อจุลินทรีย์ SUTS 1+SUTS 2 (Mixed culture)
HCN gas concentration (ppm)	10-30*
Gas flow rate (ml/min)	100-200
Liquid flow rate (ml/min)	10-30
Height of packing materials (m)	0.30
Empty bed retention time (EBRT), (s)	60-120

\* ทั้งนี้ที่ระดับความเข้มข้น 10 ppm เป็นค่ามาตรฐานไฮโดรเจนไซยาไนด์ในบรรยากาศ และเป็นช่วงค่าการรับรู้สัมผัสของมนุษย์ (OSHA PEL, 1994) ส่วนที่ระดับความเข้มข้น 20 และ 30 ppm เป็นระดับความเข้มข้นที่ทำให้เกิดผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพและอาจทำให้เสียชีวิตได้ (National research council of the national academies, 2001)

### 3.3.5 การวิเคราะห์ผล

ดำเนินการทดลองตามระยะการศึกษาทั้ง 2 ระยะดังที่ได้กล่าวมา ได้แก่ การศึกษาระยะแรก (Short term period) ทำการศึกษาตัวแปรดังตารางที่ 3-1 โดยเก็บตัวอย่างที่เวลา 0, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

- 1) วิเคราะห์ไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ออกจากระบบด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (Gas detector)
- 2) วิเคราะห์แอมโมเนีย ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) ด้วยวิธีการกลั่นและการไตเตรท (APHA, AWWA, WPCF, 1995)
- 3) วิเคราะห์ไนเตรท ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) ด้วยวิธีบรูซัน (APHA, AWWA, WPCF, 1995)
- 4) วิเคราะห์ไซยาไนด์ที่เหลืออยู่ (Residual cyanide) ในของเหลวที่ไหลเวียนในระบบ ด้วยวิธีการไตเตรท (APHA, AWWA, WPCF, 1995)

จากนั้นทำการศึกษาระยะยาว (Long term period) ทำการศึกษาตัวแปรต่อเนื่องโดยนำตัวแปรสถานะที่เหมาะสมจากการศึกษาระยะแรกมาทำการศึกษาระยะยาว เพื่อศึกษาประสิทธิภาพที่ดีที่สุดของเชื้อจุลินทรีย์และระบบฟอกซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์ โดยเก็บตัวอย่างที่เวลา 0, 6, 12, 24, 48 และ 72 ชั่วโมง เพื่อทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่อไปนี้

- 1) วิเคราะห์ไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ออกจากระบบด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (Gas detector)
- 2) วิเคราะห์แอมโมเนีย ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) ด้วยวิธีการกลั่นและการไตเตรท (APHA, AWWA, WPCF, 1995)
- 3) วิเคราะห์ไนเตรท ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) ด้วยวิธีบรูซัน (APHA, AWWA, WPCF, 1995)
- 4) วิเคราะห์ไซยาไนด์ที่เหลืออยู่ (Residual cyanide) ในของเหลวที่ไหลเวียนในระบบ ด้วยวิธีการไตเตรท (APHA, AWWA, WPCF, 1995)

5) ศึกษาการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ด้วยวิธีเทคนิคการนับโคโลนี (Colony count technique) ในของเหลวที่ไหลเวียนในระบบ และหาน้ำหนักของจุลินทรีย์ที่เกาะที่ผิวของตัวกลางด้วยการชั่งน้ำหนักของตัวกลาง (Weight of biofilm on packing materials)

### 3.3.6 วิธีการคำนวณ

- 1) ระยะเวลาที่กักเก็บ (Empty bed retention time, EBRT) ดังสมการ

$$\text{EBRT} = \frac{V}{Q}$$

เมื่อ	EBRT (Empty bed retention time) :	s หรือ min
	V (Volume of packed bed) :	$\text{m}^3$
	Q (Gas flow rate) :	$\text{m}^3/\text{s}$ หรือ $\text{m}^3/\text{min}$

2) ประสิทธิภาพการกำจัด (Removal Efficiency, RE) ดังสมการ

$$\text{Removal Efficiency (RE), (\%)} = \frac{C_{\text{in}} - C_{\text{out}}}{C_{\text{in}}} \times 100$$

เมื่อ  $C_{\text{in}}$  : inlet gas concentration ( $\text{g}/\text{m}^3$ )  
 $C_{\text{out}}$  : outlet gas concentration ( $\text{g}/\text{m}^3$ )



## บทที่ 4

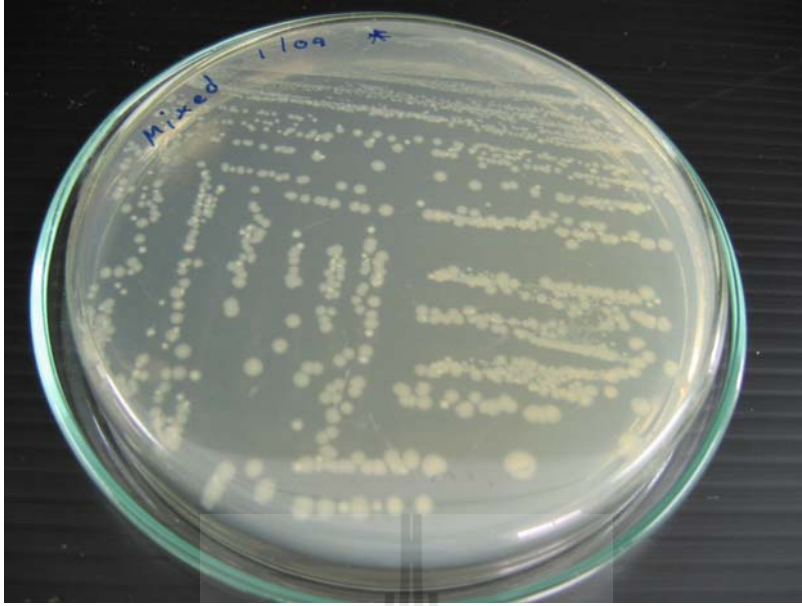
### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

#### 4.1 จุลินทรีย์ในระบบฟิซ-ฟิล์มไบโอสคริปเบอร์

จากการศึกษาการย่อยสลายไชยาไนต์ด้วยจุลินทรีย์ (สิราภรณ์, 2550) พบว่าจุลินทรีย์รวมกลุ่ม (Mixed culture) ของ *Agrobacterium tumefaciens* SUTS 1 และ *Pseudomonas monteilii* SUTS 2 สามารถเจริญเติบโตได้ดีในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีไชยาไนต์เป็นส่วนประกอบและมีความสามารถสูงในการย่อยสลายไชยาไนต์ ในการวิจัยนี้จึงนำจุลินทรีย์รวมกลุ่ม (Mixed culture) มาศึกษาพัฒนาต่อโดยนำมาตรึงบนผิวของตัวกลาง (Packing materials) เป็นเวลา 30 วัน ทำการตรวจสอบด้วยการสุ่มตัวอย่างตัวกลางและชั่งน้ำหนัก พบว่า ตัวกลางมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 0.0018 กรัม (ดังตารางที่ 4-1) คิดเป็นปริมาณจุลินทรีย์  $1.87 \times 10^8$  เซลล์ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นนี้เทียบได้กับปริมาณของจุลินทรีย์ที่ยึดเกาะตัวกลางหรือที่เรียกว่าไบโอฟิล์ม (Biofilm) โดยทั่วไปไบโอฟิล์มจะเกิดขึ้นเมื่อมีจุลินทรีย์ยึดเกาะหรือเกาะติดที่ผิวของตัวกลางและจะผลิตโพลีแซคคาไรด์ชนิดหนึ่งเรียกว่า Exopolysaccharides (EPS) ซึ่ง EPS นี้จะรวมเป็นไกลโคคาแลค (Glycocalyx) มีลักษณะคล้ายแคลซูลของแบคทีเรียหรือมีลักษณะเป็นชั้นเมือกของแบคทีเรีย อีกทั้งจุลินทรีย์ยังสามารถเจริญเติบโตได้ภายในไกลโคคาแลคที่จุลินทรีย์สร้างขึ้น (Arora, 1998; Donlan, 2002) ขณะเดียวกันตัวกลางที่ใช้ทดสอบในระบบนี้อาจเป็นตัวกลางที่ดีทำให้จุลินทรีย์สามารถจับติดหรือยึดเกาะได้ดีและกระจายไปทั่วบริเวณพื้นผิว จุลินทรีย์จึงสามารถเจริญเติบโตได้ (Joyce and Sorensen, 1999) รวมทั้งจากการทดสอบด้วยการเขี่ยจุลินทรีย์ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ (Streaking plate technique) พบว่ามีลักษณะโคโลนีของจุลินทรีย์ SUTS 1 และ SUTS 2 (ดังรูปที่ 4-1) นี้เจริญเติบโตอยู่โดยไม่มีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ชนิดอื่น หลังจากนั้นนำตัวกลางไปบรรจุลงในคอลัมน์ของระบบต่อไป

ตารางที่ 4-1 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของตัวกลางในการยึดเกาะของจุลินทรีย์

ตัวกลางที่	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของตัวกลาง (กรัม)
1	0.0017
2	0.0018
3	0.0020
ค่าเฉลี่ย	$0.0018 \pm 0.00015$



รูปที่ 4-1 ลักษณะโคโลนีของจุลินทรีย์ SUTS 1 และ SUTS 2 จากผิวของตัวกลาง

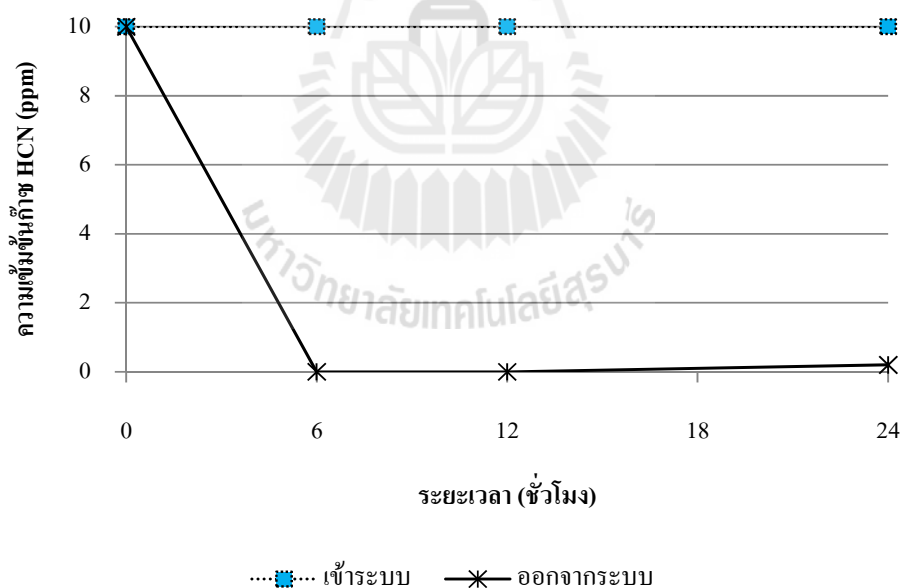
#### 4.2 ผลการศึกษาอัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัดด้วยระบบฟอกซ์ฟิล์มไบโอสครับเบอร์

จากการศึกษาอัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่เหมาะสมในการกำจัดกลิ่นของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วยระบบฟอกซ์ฟิล์มไบโอสครับเบอร์ เพื่อนำไปใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดกลิ่นของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในการศึกษาระยะแรก (Short term period) ด้วยจุลินทรีย์รวมกลุ่ม (Mixed culture) โดยทำการศึกษาที่อัตราการไหล 104 มิลลิลิตรต่อนาที และ 219 มิลลิลิตรต่อนาที ที่ระดับความเข้มข้นของไฮโดรเจนไซยาไนด์ 10 ppm และอัตราการไหลของเหลว 20 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งเป็นอัตราการไหลที่ทำให้ของเหลวที่มีองค์ประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อไหลทั่วถึงตัวกลาง ทำการเดินระบบต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง ทำการเก็บตัวอย่างที่เวลา 0, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง เช่นเดียวกันทั้งสองการทดลอง พบว่าที่อัตราการไหล 104 มิลลิลิตรต่อนาที มีประสิทธิภาพการกำจัดมากถึง 99% ส่วนที่อัตราการไหล 219 มิลลิลิตรต่อนาที มีประสิทธิภาพการกำจัดประมาณ 95% (รูปที่ 4-1 ถึงรูปที่ 4-3) ดังนั้นที่อัตราการไหล 104 มิลลิลิตรต่อนาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงกว่าจึงใช้อัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ดังกล่าวในการศึกษาสำหรับระยะแรก (Short term period) ต่อไป จากผลการศึกษาดังกล่าวอาจเนื่องจากที่อัตราการไหล 104 มิลลิลิตรต่อนาที มีระยะเวลาพักเก็บในระบบนานกว่า ซึ่งเมื่อคิดเป็นระยะเวลาพัก

เก็บ (Empty bed retention time, EBRT) พบว่ามีค่าประมาณ 2.04 นาที ขณะที่อัตราการไหล 219 มิลลิลิตรต่อนาที มีระยะเวลาเก็บประมาณ 0.97 นาที ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 4-2 และ ตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-2 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่อัตราการไหล 104 มิลลิลิตรต่อนาที

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของก๊าซ (ppm)		ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%) โดยเฉลี่ย
	เข้าระบบ	ออกจาก ระบบ		
0	10	10	0	99.33±1.15
6	10	0	100.00	
12	10	0	100.00	
24	10	0.2	98.00	

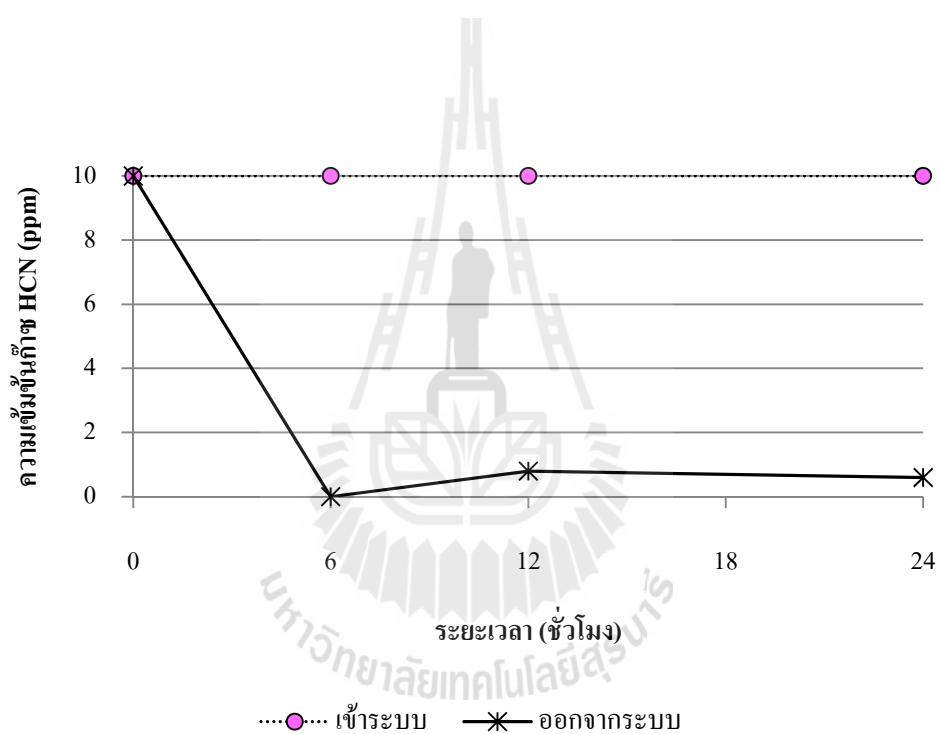


รูปที่ 4-2 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่อัตราการไหล 104 มิลลิลิตรต่อนาที

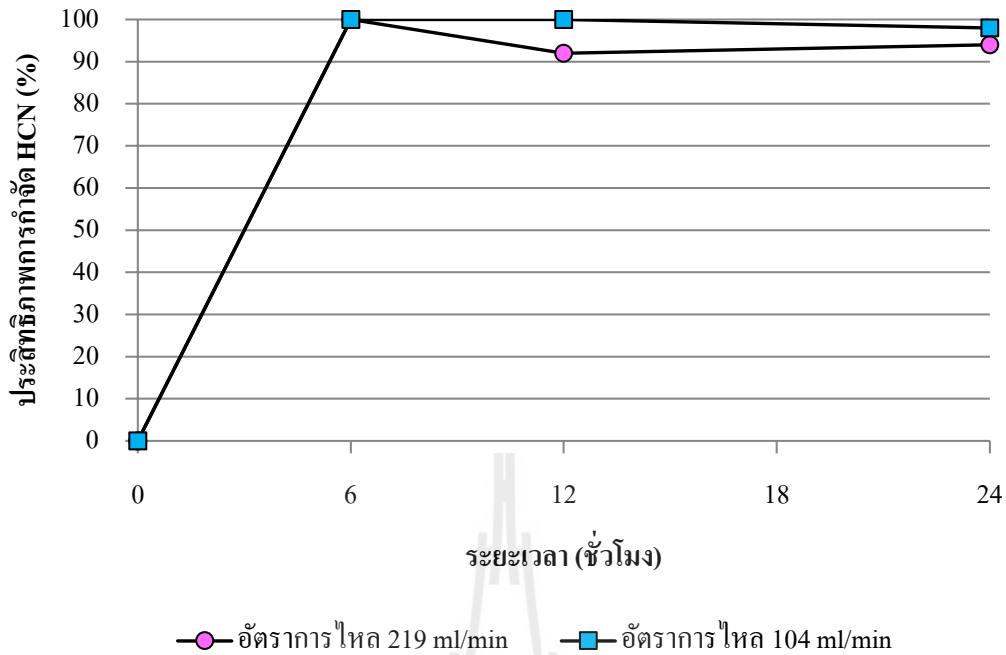


ตารางที่ 4-3 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่อัตราการไหล 219 มิลลิลิตรต่อนาที

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของก๊าซ (ppm)		ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%) โดยเฉลี่ย
	เข้าระบบ	ออกจาก ระบบ		
0	10	10	0	95.33±4.16
6	10	0	100.00	
12	10	0.8	92.00	
24	10	0.6	94.00	



รูปที่ 4-3 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่อัตราการไหล 219 มิลลิลิตรต่อนาที



รูปที่ 4-4 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่อัตราการไหลต่างกัน

#### 4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วยระบบฟลักซ์-ฟิล์มไบโอสครีบบอร์

จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น 10, 20 และ 30 ppm ด้วยระบบฟลักซ์-ฟิล์มไบโอสครีบบอร์ ในการศึกษาระยะแรก (Short term period) ทำการเดินระบบต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง โดยใช้อัตราการไหลของก๊าซเข้าระบบเท่ากับ 104 มิลลิลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของเหลวเท่ากับ 20 มิลลิลิตรต่อนาที ทำการเก็บตัวอย่างที่ เวลา 0, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง และทำการตรวจวิเคราะห์ปริมาณไซยาไนด์ที่เหลืออยู่ (Residual cyanide) ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) ปริมาณไนเตรทไนโตรเจน ( $\text{NO}_3\text{-N}$ )

จากนั้นทำการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดกลิ่นของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วยระบบดังกล่าวในระยะยาว (Long term period) โดยนำสภาวะที่เหมาะสมที่สุดจากการศึกษาในระยะแรก (Short term period) มาทำการศึกษาด้วยการเดินระบบต่อเนื่องเป็นเวลา 72 ชั่วโมง โดยทำการเก็บตัวอย่างที่เวลา 0, 6, 12, 24, 48 และ 72 ชั่วโมงตามลำดับ มีผลการทดสอบดังนี้

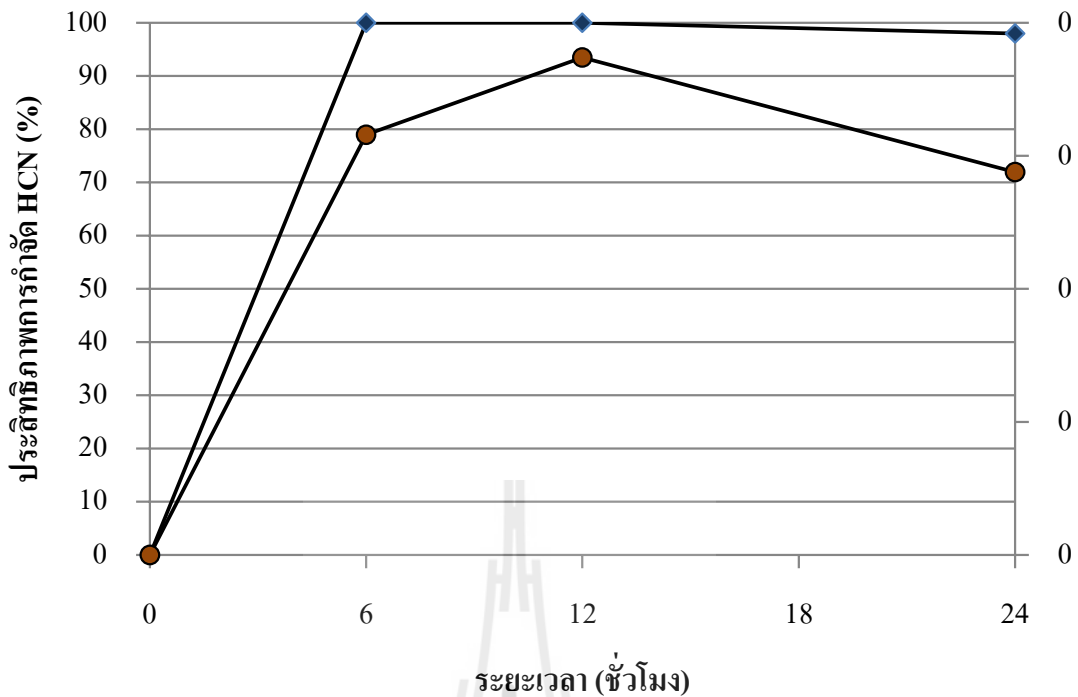
### 4.3.1 ประสิทธิภาพการกำจัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วยระบบฟิซซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์ ในการศึกษาระยะแรก (Short term period)

#### 4.3.1.1 การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น 10 ppm

จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ ที่ความเข้มข้น 10 ppm ในระยะเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าระบบฟิซซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์สามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ได้ โดยมีประสิทธิภาพสูงถึง 100% ในช่วงเวลา 6-12 ชั่วโมงของการเดินระบบ และลดลงเป็น 98% ในชั่วโมงที่ 24 ของการเดินระบบ และจากการตรวจวิเคราะห์ไม่พบไซยาไนด์เหลืออยู่ (Residual cyanide) และไม่พบแอมโมเนียไนโตรเจน ขณะที่ปริมาณไนเตรทไนโตรเจนมีค่าเพิ่มขึ้นตามประสิทธิภาพการกำจัดไฮโดรเจนไซยาไนด์ โดยเพิ่มจาก 0.106 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 0.133 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้เนื่องจากไซยาไนด์ที่ถูกย่อยสลายจะเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนียหลังจากนั้น แอมโมเนียจะถูกย่อยสลายไปเป็นไนเตรท (Dorr and Knowles, 1989; Ingvorsen *et al.*, 1991; Meyers *et al.*, 1991; Petrozzi and Dunn, 1994; Chapatwala *et al.*, 1998; Watanabe *et al.*, 1998; Kao *et al.*, 2003) อย่างไรก็ตามในชั่วโมงที่ 24 ของการเดินระบบปริมาณไนเตรทไนโตรเจนลดลงเหลือ 0.093 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ระบบมีประสิทธิภาพลดลงเหลือ 98% เช่นเดียวกัน ดังตารางที่ 4-4 และรูปที่ 4-5

ตารางที่ 4-4 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น 10 ppm

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของก๊าซ (ppm)		ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	ไซยาไนด์ เหลืออยู่ (mg/l)	NH <sub>3</sub> -N (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg/l)
	เข้าระบบ	ออกจาก ระบบ				
0	10	10	0	0	0	0
6	10	0	100	0	0	0.106
12	10	0	100	0	0	0.133
24	10	0.2	98	0	0	0.093



รูปที่ 4-5 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น 10 ppm ด้วยระบบฟลักซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์

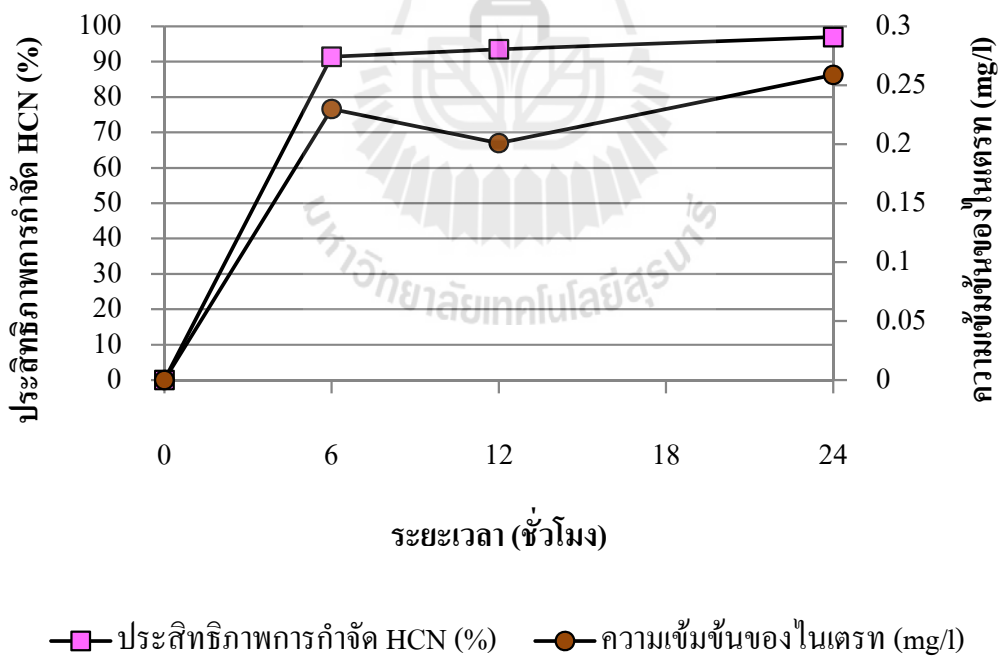
#### 4.3.1.2 การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น 20 ppm

จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ ที่ความเข้มข้น 20 ppm ด้วยระบบฟลักซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์ที่มีจุลินทรีย์รวมกลุ่ม (Mixed culture) ตรึงผิวตัวกลางอยู่ พบว่าในระยะเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าจุลินทรีย์สามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ได้โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 91.5% ในชั่วโมง 6 จากนั้นเพิ่มเป็น 93.5% ในชั่วโมงที่ 12 และเพิ่มขึ้นสูงเป็น 97% ในชั่วโมงที่ 24 ของการเดินระบบโดยมีความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ออกจากระบบ 1.7 ppm 1.3 ppm และ 0.6 ppm ตามลำดับ จากการตรวจวิเคราะห์ไม่พบไซยาไนด์และแอมโมเนียไนโตรเจนในของเหลวภายในระบบ ขณะที่ปริมาณไนเตรทมีค่าเพิ่มขึ้นตามประสิทธิภาพการกำจัดไฮโดรเจนไซยาไนด์เช่นเดียวกันกับการกำจัดไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น 10 ppm โดยเพิ่มขึ้นจาก 0.173 มิลลิกรัมต่อลิตร ในชั่วโมงที่ 6 เป็น 0.199 มิลลิกรัมต่อลิตร ในชั่วโมงที่ 24 ของการเดินระบบซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 97% ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าปริมาณไนเตรทมีค่า

เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่เข้าระบบด้วย ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4-5 และรูปที่ 4-6

ตารางที่ 4-5 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น 20 ppm

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของก๊าซ (ppm)		ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	ไซยาไนด์ เหลืออยู่ (mg/l)	NH <sub>3</sub> -N (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg/l)
	เข้าระบบ	ออกจาก ระบบ				
0	20	20	0	0	0	0
6	20	1.7	91.5	0	0	0.173
12	20	1.3	93.5	0	0	0.146
24	20	0.6	97.0	0	0	0.199



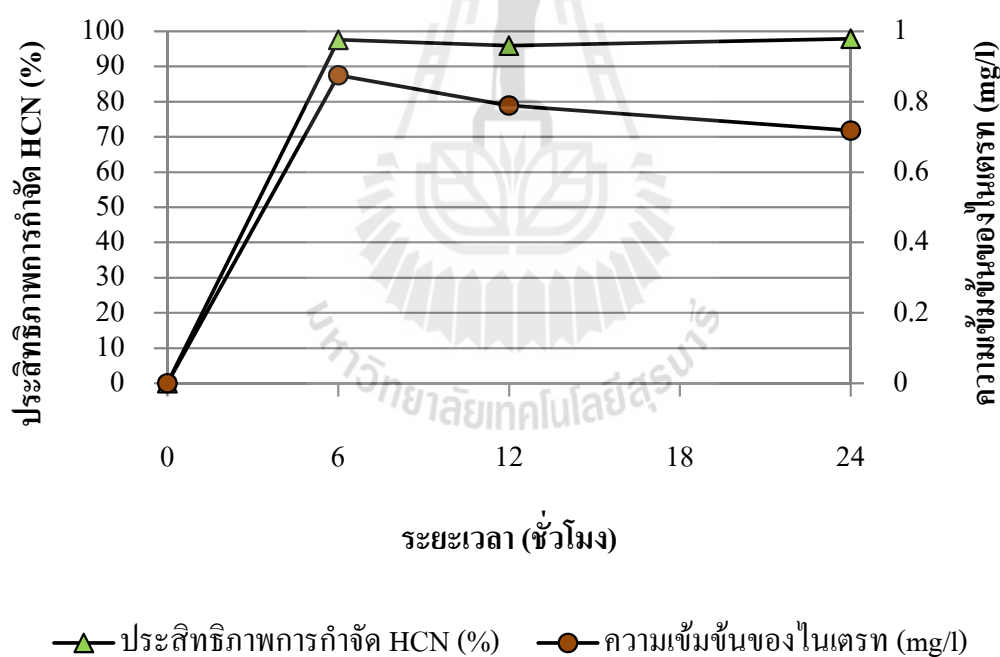
รูปที่ 4-6 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น 20 ppm ด้วยระบบฟอกซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์

#### 4.3.1.3 การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น 30 ppm

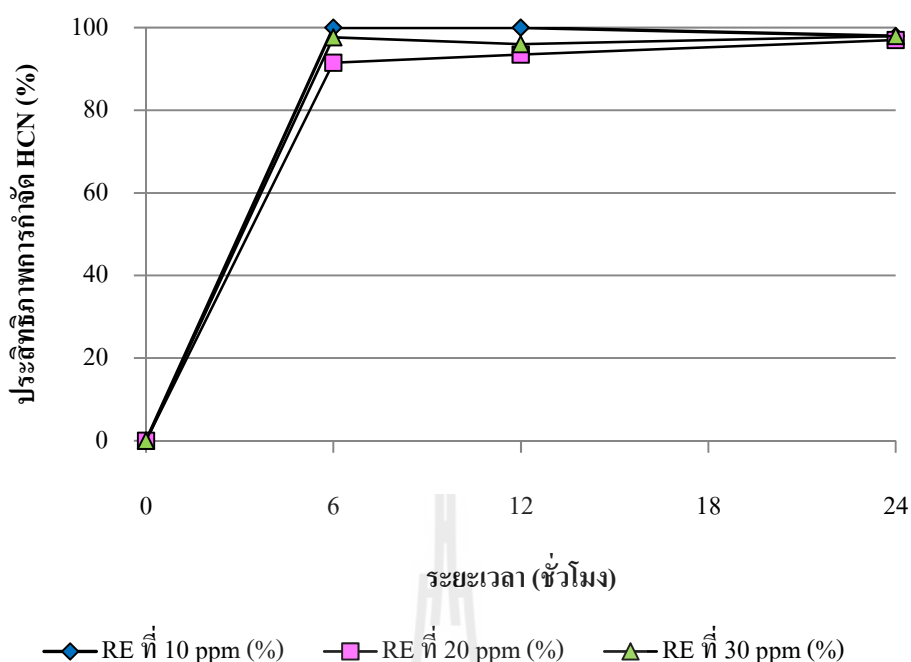
จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ ที่ความเข้มข้น 30 ppm พบว่าระบบฟลักซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์ยังคงสามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ได้แม้ว่าเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซสูงถึง 30 ppm โดยมีประสิทธิภาพการกำจัด ในช่วงเวลา 6 ชั่วโมง เท่ากับ 97.67% ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าการกำจัดที่ความเข้มข้น 20 ppm แต่หลังจากนั้นลดลงเป็น 96% ในชั่วโมงที่ 12 และเพิ่มขึ้นสูงเป็น 98% ในชั่วโมงที่ 24 ของการเดินระบบ โดยมีความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ออกจากระบบ 0.7, 1.2 และ 0.6 ppm ตามลำดับ และจากการตรวจวิเคราะห์ไม่พบไซยาไนด์ (Residual cyanide) และแอมโมเนียไนโตรเจน ขณะที่ปริมาณไนเตรทมีการเปลี่ยนแปลงตามประสิทธิภาพการกำจัดไฮโดรเจนไซยาไนด์ของทั้ง 3 การทดลองทั้งที่ความเข้มข้น 10, 20 และ 30 ppm ทั้งนี้เนื่องจากไซยาไนด์ที่ถูกย่อยสลายจะเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนียหลังจากนั้นแอมโมเนียจะถูกย่อยสลายไปเป็นไนเตรท ตามปฏิกิริยาการย่อยสลายไซยาไนด์ที่มีการศึกษาโดยนักวิจัยหลายคณะ (Dorr and Knowles, 1989; Ingvorsen *et al.*, 1991; Meyers *et al.*, 1991; Petrozzi and Dunn, 1994; Chapatwala *et al.*, 1998; Watanabe *et al.*, 1998; Kao *et al.*, 2003) ซึ่งปฏิกิริยาอาจเกิดอย่างรวดเร็วทำให้ไม่สามารถตรวจพบค่าของแอมโมเนียได้ ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณของออกซิเจนเพียงพอสำหรับการเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วนี้ทำให้แอมโมเนียเปลี่ยนไปเป็นไนเตรท (Metcalf and Eddy, 1991) ขณะเดียวกันปริมาณของไนเตรทยังค่ามีสูงขึ้นตามความเข้มข้นของก๊าซที่ทำการกำจัดอีกด้วย ดังเช่นการกำจัดไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น 10 ppm มีการตรวจพบค่าไนเตรทไนโตรเจนในช่วง 0.093-0.133 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนที่ความเข้มข้นก๊าซ 20 ppm ตรวจพบค่าไนเตรทไนโตรเจน 0.146-0.199 มิลลิกรัมต่อลิตร และเพิ่มขึ้นถึง 0.769 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อความเข้มข้นของก๊าซเป็น 30 ppm ดังแสดงในตารางที่ 4-6 และรูปที่ 4-7

ตารางที่ 4-6 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น 30 ppm

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของก๊าซ (ppm)		ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	ไซยาไนด์ เหลืออยู่ (mg/l)	NH <sub>3</sub> -N (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg/l)
	เข้าระบบ	ออกจาก ระบบ				
0	30	30	0	0	0	0
6	30	0.7	97.67	0	0	0.769
12	30	1.2	96.00	0	0	0.690
24	30	0.6	98.00	0	0	0.623



รูปที่ 4-7 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น 30 ppm ด้วยระบบฟลักซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์



รูปที่ 4-8 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น 10, 20 และ 30 ppm ด้วยระบบฟลักซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์ระยะเวลา 24 ชั่วโมง

ทั้งนี้จากการศึกษาทดสอบการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ทั้ง 3 ความเข้มข้น พบว่าการกำจัดไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น 10 ppm มีประสิทธิภาพสูงที่สุดนั่นคือ 100% รองลงมาคือ การกำจัดที่ 30 ppm ที่มีประสิทธิภาพสูงถึง 98% โดยมีก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ออกจากระบบ ประมาณ 0.6 ppm เทียบเท่ากับการกำจัดที่ 20 ppm ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมงของการเดินระบบ

#### 4.3.2 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วยระบบฟลักซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์ในการศึกษาระยะยาว (Long term period)

##### 4.3.2.1 การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น 10 ppm

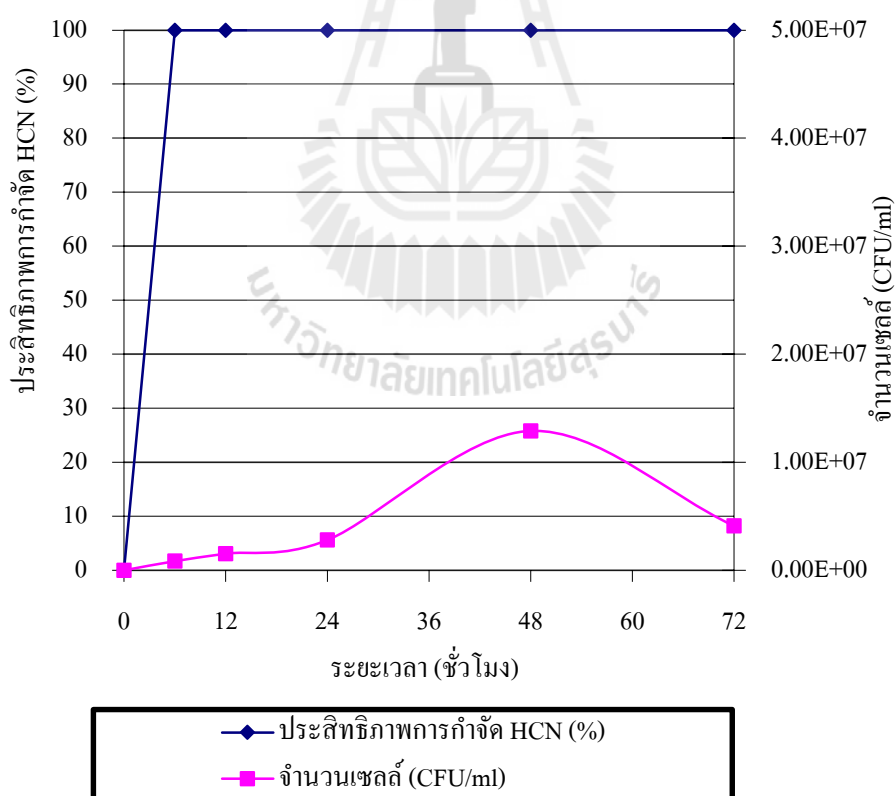
จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น 10 ppm ด้วยระบบฟลักซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์ ในระยะยาว (Long term period) โดยนำสภาวะที่เหมาะสมที่สุดจากการศึกษาในระยะแรก (Short term period) มาทำการศึกษาดูด้วยการเดินระบบต่อเนื่องเป็นเวลา 72 ชั่วโมง นั่นคือทำการกำจัดที่ความเข้มข้น 10 ppm ด้วยอัตราการไหลของก๊าซเข้าระบบ (Gas flow rate) เท่ากับ 104 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลของของเหลว (Liquid flow rate) เท่ากับ 20 มิลลิลิตรต่อนาที ที่ระยะเวลาพักเก็บ (Empty bed retention time, EBRT) 2.04 นาที



โดยทำการเก็บตัวอย่างที่เวลา 0, 6, 12, 24, 48 และ 72 ชั่วโมงตามลำดับทำการวิเคราะห์ไซยาไนด์ที่เหลืออยู่ (Residual cyanide) ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน และไนเตรทไนโตรเจน รวมทั้งศึกษาการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์รวมกลุ่ม (Mixed culture) โดยการชั่งน้ำหนักของตัวกลาง (Weight of biofilm on packing) และการศึกษาจุลินทรีย์รวมกลุ่มในของเหลวที่ไหลเวียนในระบบ พบว่าจุลินทรีย์สามารถกำจัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ได้ด้วยระบบฟลักซ์-ฟิล์มไบโอสคริปเบอร์ โดยมีประสิทธิภาพสูงถึง 100% ตลอดระยะเวลาการเดินระบบ ขณะที่จุลินทรีย์รวมกลุ่มสามารถเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนเซลล์ได้อย่างต่อเนื่องจากการศึกษาน้ำหนักของตัวกลางที่ใช้เป็นตัวชี้วัดของจุลินทรีย์มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4-7 ทั้งนี้ได้มีการศึกษาปริมาณจุลินทรีย์รวมกลุ่มที่ไหลเวียนในระบบด้วยพบว่าเพิ่มขึ้นจาก  $8.40 \times 10^7$  CFU/ml ในชั่วโมงที่ 6 เป็น  $1.29 \times 10^7$  CFU/ml ในชั่วโมงที่ 48 หลังจากนั้นลดลงเป็น  $4.10 \times 10^6$  CFU/ml ในชั่วโมงที่ 72 ของการเดินระบบ ทั้งนี้อาจเนื่องจากสารอาหารที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ลดลง โดยทั่วไปจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตในช่วงระยะเริ่มต้นและเริ่มมีการกำจัดเกิดขึ้น ซึ่งระบบไบโอสคริปเบอร์แบบระบบเดิมอาจทำให้จุลินทรีย์ตายเนื่องจากการชะล้างด้วยน้ำธรรมดา จึงทำให้ต้องมีการเติมสารอาหารที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ด้วย (Joyce and Sorensen, 1999) สำหรับระบบฟลักซ์-ฟิล์มไบโอสคริปเบอร์ที่ทำการวิจัยครั้งนี้มีการเติมในส่วนกลางของสารอาหารลงในระบบด้วย ขณะเดียวกันจากการตรวจวิเคราะห์ไม่พบไซยาไนด์ (Residual cyanide) และไม่พบแอมโมเนียไนโตรเจน ขณะที่ปริมาณไนเตรทไนโตรเจนมีค่าเพิ่มขึ้นตามประสิทธิภาพการกำจัดไฮโดรเจนไซยาไนด์ โดยชั่วโมงที่ 48 ของการเดินระบบพบว่ามีปริมาณไนเตรทสูงถึง 0.133 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ประสิทธิภาพการกำจัดมากถึง 100% ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถใช้ไซยาไนด์เป็นแหล่งของคาร์บอนหรือไนโตรเจนเพื่อการเจริญเติบโต (Chapatwala *et al.*, 1998) ขณะเดียวกันกระบวนการกำจัดหรือย่อยสลายในระบบไบโอสคริปเบอร์นั้นสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในบริเวณที่เป็นฟลักซ์-ฟิล์มที่มีจุลินทรีย์ตั้งผิวอยู่และยังสามารถเกิดขึ้นได้ในบริเวณที่มีจุลินทรีย์อยู่ในของเหลวที่ไหลเวียนภายในระบบ ทำให้เกิดการย่อยสลายหรือเกิดการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ได้อย่างสมบูรณ์ (Ockeloen *et al.*, 1996; Nishimura and Yoda, 1997; Vincent, 2001) ดังตารางที่ 4-7 และรูปที่ 4-9

ตารางที่ 4-7 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น 10 ppm

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของ ก๊าซ (ppm)		ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	ไซยาไนด์ เหลืออยู่ (mg/l)	NH <sub>3</sub> -N (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg/l)	จำนวน เซลล์ (CFU/ml)
	เข้า ระบบ	ออกจาก ระบบ					
0	10	10	0	0	0	0	0
6	10	0	100	0	0	0.096	8.40×10 <sup>5</sup>
12	10	0	100	0	0	0.093	1.54×10 <sup>6</sup>
24	10	0	100	0	0	0.106	2.80×10 <sup>6</sup>
48	10	0	100	0	0	0.133	1.29×10 <sup>7</sup>
72	10	0	100	0	0	0.106	4.10×10 <sup>6</sup>



รูปที่ 4-9 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วยระบบฟิซซ์-ฟิล์ม

ไบโอสครับเบอร์ในการศึกษาระยะยาว

#### 4.3.2.2 ทดสอบการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น 30 ppm ด้วยระบบฟิซซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์

จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น 10 ppm ด้วยระบบฟิซซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์ในระยะยาว (Long term period) พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดมากถึง 100% ตลอดระยะเวลาการศึกษาทั้ง 72 ชั่วโมง จึงได้มาทำการศึกษาต่อด้วยการเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ต่อเนื่องเป็น 30 ppm เพื่อทำการหาประสิทธิภาพที่เหมาะสมที่สุดของระบบ (Optimum efficiency) จึงทำการเดินระบบต่อเนื่องเป็นเวลา 72 ชั่วโมง โดยทำการเก็บตัวอย่างเช่นเดียวกัน พบว่าระบบสามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ได้ โดยมีประสิทธิภาพ 98.66 % ในชั่วโมงที่ 6 และเพิ่มขึ้นเป็น 99.33% ในชั่วโมงที่ 12 และชั่วโมงที่ 24 และชั่วโมงที่ 48 และ 72 พบว่าระบบสามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ได้ถึง 100% ขณะที่จำนวนเซลล์ของจุลินทรีย์รวมกลุ่ม (Mixed culture) สามารถเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนเซลล์ได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งสามารถดูได้จากน้ำหนักของตัวกลางที่ใช้เป็นตัวยัดเกาะของจุลินทรีย์มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4-9 และจากการตรวจวิเคราะห์ที่ไม่พบไซยาไนด์ (Residual cyanide) และแอมโมเนียไนโตรเจน ขณะที่ปริมาณไนเตรทไนโตรเจนมีค่าเพิ่มขึ้นตามประสิทธิภาพการกำจัดไฮโดรเจนไซยาไนด์ โดยชั่วโมงที่ 48 และ 72 ของการเดินระบบซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงถึง 100% พบว่ามีปริมาณไนเตรท 0.239 และ 0.199 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังตารางที่ 4-8 ซึ่งระบบฟิซซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์ (Fixed-film bioscrubber) โดยทั่วไปมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงถึง 90-99% (Potivichayanon *et al.*, 2006)

ตารางที่ 4-8 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น 30 ppm

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของก๊าซ (ppm)		ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	ไซยาไนด์ เหลืออยู่ (mg/l)	NH <sub>3</sub> -N (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg/l)
	เข้าระบบ	ออกจาก ระบบ				
0	30	30	0	0	0	0
6	30	0.4	98.66	0	0	0.265
12	30	0.2	99.33	0	0	0.226
24	30	0.2	99.33	0	0	0.318
48	30	0	100	0	0	0.239
72	30	0	100	0	0	0.199

#### 4.3.2.3 การศึกษาน้ำหนักของไบโอฟิล์ม (Biofilm)

จากการศึกษาระยะยาวทำการเดินระบบต่อเนื่องตลอด 72 ชั่วโมงนั้น ได้ทำการศึกษาน้ำหนักของจุลินทรีย์ที่มีลักษณะเป็นไบโอฟิล์ม (Biofilm) เคลือบอยู่บนผิวของตัวกลาง (Packing materials) ทั้งก่อนและหลังการกำจัดด้วยระบบฟลักซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์ พบว่า โดยเฉลี่ยมีน้ำหนักของตัวกลางเพิ่มขึ้นทั้งระบบประมาณ 0.0011 กรัม (ตารางที่ 4-9) คิดเป็นปริมาณจุลินทรีย์รวมกลุ่ม  $1.14 \times 10^8$  เซลล์ ซึ่งน้ำหนักของตัวกลางที่เพิ่มขึ้นนี้เป็นน้ำหนักของจุลินทรีย์ที่ยึดเกาะหรือเกาะติดของที่ผิวของตัวกลาง อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าปริมาณของจุลินทรีย์มีจำนวนลดลงเล็กน้อยหลังจากทำการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วยระบบฟลักซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์จาก  $1.87 \times 10^8$  เซลล์ เป็น  $1.14 \times 10^8$  เซลล์ โดยปริมาณของจุลินทรีย์ที่หลุดออกจากผิวของตัวกลางยังคงความสามารถในการกำจัดก๊าซในระบต่อไปได้ด้วยการเป็นจุลินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในระบบและหมุนเวียนเข้าสู่ระบบตามการไหลเวียนของของเหลวที่มีองค์ประกอบของสารอาหาร ซึ่งสังเกตได้จากการศึกษาข้างต้นที่ค้นพบว่าระบบมีประสิทธิภาพสูง ดังนั้นในการกำจัดกลิ่นที่อยู่ในรูปของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์โดยระบบฟลักซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์ที่มีจุลินทรีย์รวมกลุ่ม SUTS 1 และ SUTS 2 เป็นจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการกำจัดกลิ่นชนิดดังกล่าวได้โดยมีประสิทธิภาพมากกว่า 99%

ตารางที่ 4-9 น้ำหนักของตัวกลางในการยึดเกาะของจุลินทรีย์ (Biofilm)

ตัวกลางตัวที่	ค่าเฉลี่ยน้ำหนัก ของตัวกลาง ก่อนเดินระบบ (mean±S.D.) (กรัม)	ค่าเฉลี่ยน้ำหนัก ของตัวกลาง หลังเดินระบบ (mean±S.D.) (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ของตัวกลาง (กรัม)
1	2.0523±0.0001	2.0535±0.0001	0.0012
2	2.0547±0.0001	2.0552±0.0002	0.0005
3	2.0630±0.0000	2.0648±0.0002	0.0018
4	2.0431±0.0001	2.0440±0.0002	0.0009
5	2.0632±0.0001	2.0643±0.0002	0.0011
6	2.0625±0.0001	2.0636±0.0002	0.0011
7	2.0529±0.0000	2.0540±0.0001	0.0011
8	2.0530±0.0000	2.0532±0.0001	0.0002
9	2.0540±0.0001	2.0556±0.0002	0.0015
10	2.0597±0.0001	2.0615±0.0002	0.0018
ค่าเฉลี่ย			0.0011±0.0005

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบฟิสิกซ์-ฟิล์มไบโอสคริบเบอร์

การศึกษาวิจัยนี้ได้นำจุลินทรีย์รวมกลุ่ม (Mixed culture) ของ *Agrobacterium tumefaciens* SUTS 1 และ *Pseudomonas monteilii* SUTS 2 ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่คัดแยกจากระบบกำจัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังที่มีไซยาไนด์ปนเปื้อน จากการศึกษาการย่อยสลายไซยาไนด์ที่ผ่านมาพบว่าจุลินทรีย์รวมกลุ่มนี้มีความสามารถสูงในการย่อยสลายไซยาไนด์ (สิราภรณ์, 2550) จึงได้นำจุลินทรีย์กลุ่มดังกล่าวมาศึกษาพัฒนาต่อยอคด้วยระบบฟิสิกซ์-ฟิล์มไบโอสคริบเบอร์ โดยนำมาตรึงบนผิวของตัวกลางและศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ที่ยึดเกาะตัวกลางโดยการชั่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของตัวกลาง ทั้งก่อนและหลังการกำจัดกลิ่นที่อยู่ในรูปของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วยระบบฟิสิกซ์-ฟิล์มไบโอสคริบเบอร์ พบว่า ก่อนเข้าระบบตัวกลางมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น โดยเฉลี่ย 0.0018 กรัม คิดเป็นปริมาณจุลินทรีย์  $1.87 \times 10^8$  เซลล์ รวมทั้งการทดสอบด้วยการเชี่ยจุลินทรีย์ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ (Streaking plate technique) พบว่ามีลักษณะโคโลนิของจุลินทรีย์ SUTS 1 และ SUTS 2 เจริญเติบโตอยู่โดยไม่มีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ชนิดอื่น และหลังจากการเดินระบบต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง พบว่า โดยเฉลี่ยตัวกลางมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นทั้งระบบประมาณ 0.0011 กรัม คิดเป็นปริมาณจุลินทรีย์รวมกลุ่ม  $1.14 \times 10^8$  เซลล์ ซึ่งปริมาณของจุลินทรีย์มีจำนวนลดลงเล็กน้อยหลังจากทำการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วยระบบฟิสิกซ์-ฟิล์มไบโอสคริบเบอร์

#### 5.2 การศึกษาสถานะที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์

การศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการกำจัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วยระบบฟิสิกซ์-ฟิล์มไบโอสคริบเบอร์ด้วยจุลินทรีย์รวมกลุ่ม โดยทำการเดินระบบต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง ทำการเก็บตัวอย่างที่เวลา 0, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง ที่ระดับความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ 10 ppm พบว่า ที่อัตราการไหลของก๊าซ 104 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลของของเหลว 20 มิลลิลิตรต่อนาที ความสูงของตัวกลาง 30 เซนติเมตร และที่ระยะเวลาพักเก็บ (Empty bed retention time, EBRT) 2.04 นาที ทำให้การกำจัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วยระบบฟิสิกซ์-ฟิล์มไบโอสคริบเบอร์มีประสิทธิภาพมากกว่า 99% จึงนำไปใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดกลิ่นของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในการศึกษานี้ต่อไป

### 5.3 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วยระบบฟอกซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์

การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ระดับความเข้มข้น 10, 20 และ 30 ppm ด้วยระบบฟอกซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์โดยเชื้อจุลินทรีย์รวมกลุ่ม (Mixed culture) ในการศึกษาระยะแรก (Short term period) ทำการเดินระบบต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง โดยใช้อัตราการไหลของก๊าซเข้าระบบเท่ากับ 104 มิลลิลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของเหลวเท่ากับ 20 มิลลิลิตรต่อนาที ทำการเก็บตัวอย่างที่เวลา 0, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง และทำการตรวจวิเคราะห์ปริมาณไซยาไนด์ที่เหลืออยู่ (Residual cyanide) ความเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) รวมทั้งปริมาณไนเตรทไนโตรเจน ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) พบว่า การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น 10 ppm ระบบฟอกซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์มีประสิทธิภาพสูงถึง 100% ในช่วงเวลาชั่วโมงที่ 6 และ 12 ของการเดินระบบและลดลงเป็น 98% ในชั่วโมงที่ 24 ของการเดินระบบ โดยมีความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ออกจากระบบ 0.2 ppm แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์เป็น 20 ppm พบว่า การกำจัดด้วยระบบฟอกซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์มีประสิทธิภาพลดลงในช่วงเวลาชั่วโมงที่ 6 และเพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 12 ของการเดินระบบ และเพิ่มสูงขึ้นเป็น 97% ในชั่วโมงที่ 24 ของการเดินระบบ โดยมีความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ออกจากระบบ 1.7, 1.3 และ 0.6 ppm ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์เป็น 30 ppm ประสิทธิภาพของระบบยังคงมากกว่า 97% ในชั่วโมงที่ 6 เพิ่มขึ้นสูงถึง 98% ในชั่วโมงที่ 24 ของการเดินระบบ โดยมีความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ออกจากระบบ 0.7 และ 0.6 ppm ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพโดยรวมในการกำจัดของระบบมีค่าสูงกว่าการกำจัดที่ความเข้มข้น 20 ppm แม้ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์จะเพิ่มขึ้น จากนั้นทำการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วยระบบดังกล่าวในระยะยาว (Long term period) ที่ความเข้มข้น 10 ppm ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงที่สุดจากการศึกษาในระยะแรก (Short term period) มาทำการศึกษาโดยการเดินระบบต่อเนื่องเป็นเวลา 72 ชั่วโมง ด้วยอัตราการไหลของก๊าซเข้าระบบเท่ากับ 104 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลของของเหลวเท่ากับ 20 มิลลิลิตรต่อนาที ทำการเก็บตัวอย่างที่เวลา 0, 6, 12, 24, 48 และ 72 ชั่วโมงตามลำดับ วิเคราะห์ไซยาไนด์ที่เหลืออยู่ (Residual cyanide) ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) และไนเตรทไนโตรเจน ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) รวมทั้งศึกษาการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์รวมกลุ่ม (Mixed culture) โดยการชั่งน้ำหนักของตัวกลาง (Weight of

biofilm on packing) และการศึกษาจุลินทรีย์รวมกลุ่มในของเหลวที่ไหลเวียนในระบบ พบว่า จุลินทรีย์สามารถกำจัดกลิ่นไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ด้วยระบบฟลักซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์ โดยมีประสิทธิภาพสูงถึง 100% ตลอดระยะเวลาการเดินระบบ และจุลินทรีย์รวมกลุ่มสามารถยึดเกาะตัวกลางและเจริญเติบโตได้อย่างต่อเนื่อง ขณะที่ปริมาณจุลินทรีย์รวมกลุ่มที่ไหลเวียนในระบบมีปริมาณเพิ่มขึ้นจาก  $8.40 \times 10^5$  CFU/ml ในชั่วโมงที่ 6 เป็น  $1.29 \times 10^7$  CFU/ml ในชั่วโมงที่ 48 หลังจากนั้นลดลงเป็น  $4.10 \times 10^6$  CFU/ml ในชั่วโมงที่ 72 ของการเดินระบบ ทั้งนี้เนื่องจากสารอาหารที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ลดลง อย่างไรก็ตามการศึกษาดำเนินการตลอดระยะเวลา 72 ชั่วโมง ระบบฟลักซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์ยังคงมีประสิทธิภาพสูงถึง 100% จึงทำการทดสอบประสิทธิภาพของระบบเพิ่มเติมโดยการเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็น 30 ppm เพื่อทำการหาประสิทธิภาพที่เหมาะสมที่สุดของระบบ (Optimum efficiency) พบว่าระบบสามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้สูงถึง 100% ในชั่วโมงที่ 24 และ 72 ของการเดินระบบ ขณะที่จำนวนเซลล์ของจุลินทรีย์รวมกลุ่ม (Mixed culture) สามารถเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนเซลล์ได้อย่างต่อเนื่องจากการศึกษาน้ำหนักของตัวกลางที่ใช้เป็นตัวยึดเกาะของจุลินทรีย์มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น คิดเป็นปริมาณจุลินทรีย์ที่ยึดเกาะประมาณ  $1.14 \times 10^8$  เซลล์ ทั้งนี้จากการตรวจวิเคราะห์ไม่พบไฮยาไลนและแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งการศึกษาระยะแรก (Short term period) และในระยะยาว (Long term period) ขณะที่ปริมาณไนเตรทไนโตรเจนมีการเปลี่ยนแปลงไปตามประสิทธิภาพการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์เช่นเดียวกันทุกการทดลอง โดยการศึกษาในระยะแรกที่มีความเข้มข้นของก๊าซ 10 ppm มีการตรวจพบค่าไนเตรทไนโตรเจนในช่วง 0.093-0.133 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนที่ความเข้มข้น 20 ppm พบค่าไนเตรทไนโตรเจน 0.146-0.199 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่ความเข้มข้น 30 ppm พบค่าไนเตรทไนโตรเจนเพิ่มสูงถึง 0.769 มิลลิกรัมต่อลิตร และในการศึกษาระยะยาวที่ความเข้มข้นของก๊าซเท่ากับ 10 ppm และ 30 ppm พบว่ามีค่าไนเตรทไนโตรเจนในช่วง 0.093-0.133 และ 0.199-0.318 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากไฮยาไลนที่ถูกย่อยสลายจะเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนียหลังจากนั้นแอมโมเนียจะถูกย่อยสลายไปเป็นไนเตรทตามปฏิกิริยาการย่อยสลายไฮยาไลนดังที่ได้กล่าวมา หรืออาจเนื่องจากมีปริมาณของออกซิเจนเพียงพอสำหรับการเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วทำให้แอมโมเนียเปลี่ยนไปเป็นไนเตรท (Metcalf and Eddy, 1991) นอกจากนี้จุลินทรีย์ยังสามารถใช้ไฮยาไลนเป็นแหล่งของคาร์บอนหรือไนโตรเจนเพื่อการเจริญเติบโต (Chapatwala *et al.*, 1998) ขณะเดียวกันกระบวนการกำจัดหรือย่อยสลายในระบบไบโอสครับเบอร์นั้นสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในบริเวณที่เป็น



ฟลักซ์-ฟิล์มที่มีจุลินทรีย์ตรงผิวหรือยึดเกาะอยู่และยังสามารถเกิดขึ้นได้ในบริเวณที่มีจุลินทรีย์อยู่ในของเหลวที่ไหลเวียนภายในระบบ ทำให้เกิดการย่อยสลายหรือเกิดการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์นี้ได้อย่างสมบูรณ์ (Ockeloen *et al.*, 1996; Nishimura and Yoda, 1997; Vincent, 2001)

ทั้งนี้ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ออกจากระบบการกำจัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วยระบบฟลักซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์ มีค่าไม่เกินกว่ามาตรฐานกำหนดเมื่อเทียบกับมาตรฐานมลพิษอากาศของประเทศไทยที่กำหนดค่ามาตรฐานของปริมาณไฮโดรเจนไซยาไนด์ ตามบัญชีท้ายประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อม ซึ่งได้กำหนดให้มีได้ไม่เกิน 10 ppm เช่นเดียวกับมาตรฐาน The Occupation Safety and Health Administration Permissible Exposure Limit (OSHA) นอกจากนี้มาตรฐาน The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) และมาตรฐาน The American Conference of Governmental Industrial Hygienists Threshold Limit Values (ACGIH) กำหนดให้มีได้ไม่เกิน 4.7 ppm

#### 5.4 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการนำจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงนี้ทดสอบใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการปนเปื้อนของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ในสภาพแวดล้อม
2. ควรมีการพัฒนาความสามารถของจุลินทรีย์เพื่อนำไปทดสอบกับการกำจัดไซยาไนด์ที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมรูปแบบอื่น เช่น การกำจัดไซยาไนด์ที่มีการปนเปื้อนในดิน เป็นต้น
3. ควรมีการพัฒนาความสามารถของจุลินทรีย์เพื่อนำไปใช้ในการกำจัดสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์ในรูปแบบอื่น เช่น สารประกอบโลหะไซยาไนด์ ไซยาไนด์ในรูปไทโอไซยานेट เป็นต้น
4. ควรมีการทดสอบในระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้น เพื่อหาความเข้มข้นที่สูงที่สุดที่จุลินทรีย์สามารถบำบัดไฮโดรเจนไซยาไนด์ได้

## บรรณานุกรม

- ประกาศกระทรวงมหาดไทย (2520) เรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี) พ.ศ. 2520 ราชกิจจานุเบกษา. 94 : 64 (12 กรกฎาคม 2520).
- สมาคมเทคโนโลยีน้ำและน้ำเสีย (2530) สมาคมเทคโนโลยีน้ำและน้ำเสีย. โรงพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- สิราภรณ์ โพธิวิชานนท์ (2550) การย่อยสลายไซยาไนด์ด้วยจุลินทรีย์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- สุเมธ ชวเดช (2530) ลักษณะสมบัติของเมือกจุลินทรีย์. การสัมมนาวิชาการระดับชาติ เทคโนโลยีน้ำเสีย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2544) สถิติการเกษตรของประเทศไทยปีการเพาะปลูกปี พ.ศ. 2543-2545: เนื้อที่ ผลิต และผลผลิตต่อไร่ เป็นรายภาค. กรุงเทพฯ.
- สันทัด สิริอนันต์ไพบูลย์ (2552) ระบบบำบัดน้ำเสีย การเลือกใช้ การออกแบบ การควบคุม และการแก้ปัญหา. สำนักพิมพ์ที่อบ, กรุงเทพฯ.
- ACGIH (1994). 1994-1995 Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists.
- Abuye C., Kelbessa U. and Wolde-Gebriel S. (1998) Health effects of cassava consumption in South Ethiopia. East African Med. J. 75(3): 166-170.
- Acuna E., Auria R., Pineds J., Perez F., Morales M. and Revah S. (1996) Studies on the microbiology and kinetic of biofilter used to control toluene emissions. Proc, 98th Annu Meet Exhib-Air Waste Manage Assoc, Nashville, TN, USA.
- Aronstein B.N., Maka A. and Srivastava V.J. (1994) Chemical and biological removal of cyanide from aqueous and soil-containing systems. Appl Microbiol Biotechnol. 41: 700-707.
- Arora M. (1998) Biofilms and biofouling. Biological control of environmental pollution: vol 2. Anmol publication PVT.Ltd. New Delhi, India. Pp. 544-554.
- ATSDR (1993) Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological Profile for Cyanide. U.S.Dept. of Health and Human Services, Public Health Service. TP-92/09.
- Blanc P., Hogan M., Mallin K., Hryhorczuk D., Hessel S., and Bernard B. (1985) Cyanide intoxication among silver-reclaiming workers. JAMA 253: 367-371.

- Burgess J.E., Parsons S.A. and Stuetz R.M. (2001) Development in odour control and waste gas treatment biotechnology: a review. *Biotech Adv.* 19: 35-63.
- Chandra H., Gupta B.N., Bhargave S.H., Clerk S.H. and Mahendra P.N. (1980) Chronic cyanide exposure – a biochemical and industrial hygiene study. *J Anal Toxicol.* 4: 161-165.
- Chapatwala K.D., Rabu G.R.V., Vijaya O.K., Kumar K.P. and Wolfram J.H. (1998) Biodegradation of cyanides, cyanates and thiocyanates to ammonia and carbon dioxide by immobilized cells of *Pseudomonas putida*. *J Ind Microbiol and Biot.* 20: 28-33.
- Cox H.H.J., Nguyen T.T. and Deshusses M.A. (2000) Toluene degradation in the recycle liquid of biotrickling filters for biological waste air treatment. *Appl Microbiol Biotechnol.* 54: 133-137.
- Deshusses M.A. and Cox H.H.J (2001) Biotrickling filters for air pollution control. California, Department of Chemical and Environmental Engineering, University of California. Pp. 1-16.
- Deviny J.S. and Hodge D.S. (1995) Formation of acidic and toxic intermediates in overloaded ethanol biofilters. *J Air Waste Manage Assoc.* 45: 125-31.
- Deviny J.S., Deshusses M.A. and Webster T.S. (1999) Biofiltration for air pollution control. Lewis publishers. California. Pp. 102-110.
- Dorr P.K. and Knowles C.J. (1989) Cyanide oxygenase and cyanase activities of *Pseudomonas fluorescens* NCIMB 11764. *FEMS Microbiol Lett.* 60: 289–294.
- El Ghawabi S.H., Gaafar M.A., El-Saharti A.A., Ahmed S.H., Malash K.K. and Fares R. (1975) Chronic cyanide exposure: a clinical, radioisotope, and laboratory study. *Br J Ind Med.* 32: 215-219.
- Ergas S.J., Schroeder E.D., Chang D.P.Y. and Morton R.L. (1996) Control of volatile organic compound emission using a compost biofilter. *Water Environ Res.* 67: 817-21.
- Famsystems (2002) Odour control [Online]. Available: <http://www.famsystems.com/testleft.html>.
- Gantzer C.J. and Maier W.J. (1990) Biological Degradation of Cyanide by Nitrogen-Fixing Cyanobacteria. Research and Development, Risk Reduction Engineering, United States Environmental Protection Agency.
- Hansen N.G. and Rindel K. (2000) Bioscrubbing an effective and economic solution to odour control at wastewater treatment plants. *Wat Sci Tech.* 41(6): 155-164.

- Holubar P. and Braun R. (1995) Biofiltration-bottlenecks in biological air purification and possible future solutions. *Meded. Fac. Landbouwwet, Univ. Gent.* 60: 2302-2312.
- HSDB (1999) Hazardous Substances Data Bank. National Library of Medicine, Bethesda, Maryland. WWW database (<http://sis.nlm.nih.gov/sis1/>).
- Hugod C. (1979) Effect of exposure to 0.5 ppm hydrogen cyanide singly or combined with 200 ppm carbonmonoxide and/or 5 ppm nitric oxide on coronary arteries, aorta, pulmonary artery, and lungs in the rabbit. *Int Arch Occup Environ Health* 44: 13-23.
- Hugod C. (1981) Myocardial morphology in rabbits exposed to various gas-phase constituents of tobacco smoke. *Artherosclerosis* 40: 181-190.
- Ingvorsen K., Hojer-Pedersen B. and Godtfredsen S.E. (1991) Novel cyanide-hydrolyzing enzyme from *Alcaligenes xylooxidans* subsp. *denitrificans*. *Appl Environ Microbiol.* 57: 1783–1789.
- Jansz E.R. and Uluwaduge D.I. (1997) Biochemical aspects of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) with special emphasis on cyanogenic glucosides – a review. *J Natn Sci Coun Sri Lanka.* 25(1): 1-24.
- Joyce J. and Sorensen H. (1999) Bioscrubber design: How to improve odor-control flexibility and operational effectiveness. *Water Environment & Technology* February: 37-42.
- Kamalu B.P. (1995) The adverse effects of long-term cassava (*Manihot esculenta* Crantz) consumption. *Int J Food Sci Nutr.* 46(1): 65-93.
- Kao C.M., Liu J.K., Lou H.R., Lin C.S. and Chen S.C. (2003) Biotransformation of cyanide to methane and ammonia by *Klebsiella oxytoca*. *Chemosphere.* 50: 1055-1061.
- Kennes C. and Thalasso F. (1998) Waste Gas Biotreatment Technology *J Chem Technol Biotechnol.* 72: 303-319.
- Koe L.C.C. and Yang F. (2000) A bioscrubber for hydrogen sulphide removal. *Wat Sci Tech.* 41(6): 141-145.
- Nishimura S. and Yoda M. (1997) Removal of hydrogen sulfide from an anaerobic biogas using a bio-scrubber. *Wat Sci Tech.* 36 : 349-356.
- NIOSH (1992) Recommendations for occupational safety and health: Compendium of policy documents and statements. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 92-100.

- Metcalf and Eddy (1991) Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse. 3rd ed. McGraw-Hill Book Co., Inc., Singapore.
- Miller R.W. (1974) Susceptibility of the fetus and child to chemical pollutants. *Science* 184: 812-814.
- Morgenroth S., Schroeder E.D., Change D.P.Y. and Scow K.M. (1996) Nutrient limitation in a compost biofilter. *J Air & Waste Manage Assoc.* 46: 300-308.
- Obidoa O. and Obasi S.C. (1991) Coumarin compounds in cassava diets: 2. Health implications of scopoletin in gari. *Plant Foods Hum Nutr.* 41(3): 283-289.
- OSHA (1994) Computerized information system. Washington, DC: U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration.
- Ockeloen H.F., Overcamp T.J. and Grady C.P.L.Jr. (1996) Engineering model for fixed-film bioscrubber. *J enviro Engrg.* 122: 191-197.
- Oliveira M.A., Reis E.M. and Nozaki J. (2001) Biological Treatment of Wastewater from Cassava Meal Industry, *Environ Res, Section A* 85, Pp. 177-183.
- Pedersen A. and Arvin E. (1995) Removal of toluene in waste gases using a biological trickling filter. *Biodegradation.* 6:109-118. DOI: 10.1007/BF00695341.
- Petrozzi S. and Dunn I.J. (1994) Biological cyanide degradation in aerobic fluidized bed reactors: treatment of almond seed wastewater. *Bioprocess Eng.* 11: 29-38.
- Potivichayanon S. (2005) Removal of hydrogen sulfide by fixed-film bioscrubber. Faculty of Graduate Studies, Mahidol University.
- Potivichayanon S, Pokethitiyook P, Kruatrachue M. (2006). Hydrogen sulfide removal by a novel fixed-film bioscrubber system. *Process Biochem.* 41: 708-715.
- Sharma R.P. (1993) Cyanide containing foods and potential for fetal malformations. In: *Dietary Factors and Birth Defects* (RP Sharma, ed.), Pacific Division, AAAS, San Francisco, CA.
- Shinabe K., Oktani S., Ochi T. and Matsumura M. (1995) Characteristics of hydrogen sulfide removal by *Thiobacillus thiooxidans* KS1 isolated from a carrier-packed biological deodorization system. *Journal of Fermentation and Bioengineering.* 80: 592-598.
- Sirianuntapiboon S. and Chuamkaew C. (2007) Packed cage rotating biological contactor system for treatment of cyanide wastewater. *Bioresource Technol.* 98: 266-272.

- Tor-Agbidye J., Palmer V.S., Lasarev M.R., Craig A.M., Blythe L.L., Sabri M.I. and Spencer P.S. (1999) Bioactivation of cyanide to cyanate in sulfur amino acid deficiency: Relevance to neurological disease in humans subsisting on cassava. *Toxicol Sci.* 50(2): 228-235.
- Tsuchiya Y. and Sumi K. (1977) Thermal decomposition products of polyacrylonitrile. *J Appl Polym Sci.* 21: 975-980.
- Tylleskar T., Banea M., Bikangi N., Cooke R.D., Poulter N.H., and Rosling H. (1992) Cassava cyanogens and konzo, an upper motoneuron disease found in Africa. *Lancet (N Am Ed)*. 339 (87): 208-211.
- Veir J.K., Schroeder E.D., Change D.P.Y. and Scow K.M. (1996) Interaction between toluene and dichloromethane degrading populations in a compost biofilter. Proc, 89th Annu Meet Exhib-Air Waste Manage Assoc, Nashville, TN, USA.
- Vincent A.J. (2001) Sources of odours in wastewater treatment. *Odours in wastewater treatment: Measurement, Modelling and Control*. R. Stuetz & Frechen, F-B., IWA. London, UK. Pp. 69-92.
- Watanabe A., Yano K., Ikebukuro K. and Karube I. (1998) Cyanide hydrolysis in a cyanide-degrading bacterium, *Pseudomonas stutzeri* AK61, by cyanidase. *Microbiology*. 144: 1677-1682.
- Wang Z., Govind R. and Bishop D.F. (1996) Review of biofiltration-effect of support media on biofilter performance. Proc, 89<sup>th</sup> Annu Meet Exhib-Air Waste Manage Assoc, Nashville, TN, USA.
- Weber F.J. and Hartmans S. (1996) Prevention of clogging in a biological trickle-bed reactor removing toluene from contaminated air. *Biotechnol Bioeng.* 50: 91-7.
- WEF/ASCE (1995) Odor control in waste water treatment plants. Water Environment Federation (WEF) manual of practice no.22, American Society of Civil Engineers (ASCE) manual and reports on engineering practice no.82, USA. Pp. 203-216.



## ภาคผนวก ก

### วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

1. การวิเคราะห์แอมโมเนีย-ไนโตรเจนด้วยวิธีการกลั่นและการไตเตรท (APHA, AWWA, WPCF, 1995)

#### สารเคมี

1. สารละลายบอเรตบัฟเฟอร์ (Borate buffer solution) : นำโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ จำนวน 88 มิลลิลิตร เติมลงในสารละลายโซเดียมเตตราบอเรต ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) 500 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนียจนได้ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร (สารละลายโซเดียมเตตราบอเรตเตรียมได้โดยนำ  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  5.0 กรัม หรือ  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  9.5 กรัม เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร)

2. สารละลายที่ใช้ปรับพีเอช

2.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมล/ลิตร

2.2 กรดซัลฟิวริก 0.5 โมล/ลิตร

3. สารละลายกรดบอริก (Boric acid solution,  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) : ละลายกรดบอริก 20 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร

4. มิกซ์อินดิเคเตอร์ : ละลายเมทิลเรดอินดิเคเตอร์ (Methyl red indicator) 200 มิลลิกรัม ในเอทิลแอลกอฮอล์ (ร้อยละ 95) 100 มิลลิลิตร ละลายเมทิลีนบลู 100 มิลลิกรัม ในเอทิลแอลกอฮอล์ (ร้อยละ 95) 50 มิลลิลิตร แล้วผสมสารละลายทั้ง 2 ชนิดเข้าด้วยกัน สารละลายนี้ควรเตรียมทุกๆเดือน

ข้อสังเกต : สารละลายอินดิเคติงบอริกแอสซิดจะมีสีม่วงถ้าไม่มีแอมโมเนียละลายอยู่ ถ้ามีแอมโมเนียละลายอยู่จะเปลี่ยนเป็นสีแดง แสดงว่าสารละลายนี้ใช้ไม่ได้ ให้เตรียมใหม่ และควรเตรียมทุกๆเดือน

5. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.01 โมล/ลิตร

6. โซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมล/ลิตร : ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 240 กรัมในน้ำกลั่นเพียงเล็กน้อย แล้วปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร



### วิธีวิเคราะห์

1. สำหรับตัวอย่างน้ำที่เป็นกรดหรือด่าง ต้องปรับพีเอชให้เป็นกลางก่อนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมล/ลิตร หรือกรดซัลฟิวริก 0.5 โมล/ลิตร
2. ตวงตัวอย่างน้ำที่ได้ปรับพีเอชเป็นกลางแล้ว 100 มิลลิลิตร ลงในขวดเจลดาคาล์ และใส่เม็ดแก้วลงไป 3-4 เม็ด
3. เติมสารละลายบอเร็ตบัฟเฟอร์ 25 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ แล้วปรับพีเอชให้ได้ 9.5 โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์
4. นำไปกลั่น โดยต่อกับคอนเนคติงบัลล์ ซึ่งจะต่อกับเครื่องควบแน่นอีกทีหนึ่ง โดยให้ปลายของเซฟตีบัลล์จุ่มอยู่ใต้สารละลายจับแอมโมเนีย
5. เก็บส่วนที่กลั่นออกมาให้ได้ประมาณ 200 มิลลิลิตร ไว้ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีสารละลายกรดบอริกอยู่ 50 มิลลิลิตร นำส่วนที่กลั่นได้นี้ไปหาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนด้วยวิธีการไทเทรต
6. ทำแบลนด์โดยใช้สารเคมีทุกอย่างเหมือนกับตัวอย่างน้ำ แล้วนำไปกลั่น
7. ไทเทรตสารละลายที่กลั่นได้ด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.01 โมล/ลิตร เมื่อถึงจุดยุติจะได้สีม่วงอ่อน

### การคำนวณ

$$\text{มิลลิกรัม/ลิตร แอมโมเนีย-ไนโตรเจน} = \frac{(A-B) \times 1000 \times M \times 28}{\text{ตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการกลั่น (มิลลิลิตร)}}$$

A = มิลลิลิตรของกรดซัลฟิวริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่างน้ำ

B = มิลลิลิตรของกรดซัลฟิวริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับแบลนด์

M = โมล/ลิตร ของกรดซัลฟิวริกมาตรฐานที่ใช้

## 2. การวิเคราะห์ไนเตรท-ไนโตรเจนด้วยวิธีบรูซัน (APHA, AWWA, WPCF, 1995)

### สารเคมี

1. สารละลายสต็อกไนเตรท : ละลายแอนไฮดรัสโพแตสเซียมไนเตรท ( $\text{KNO}_3$ ) 721.8 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร สารละลายนี้ 1 มิลลิลิตร จะมีไนเตรท-ไนโตรเจน 0.1 มิลลิกรัม

2. สารละลายมาตรฐานไนเตรท-ไนโตรเจน : นำสต็อกไนเตรท 10 มิลลิลิตร มาเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร สารละลายนี้ 1 มิลลิลิตร จะมีไนเตรท-ไนโตรเจนอยู่ 1 ไมโครกรัม

3. สารละลายโซเดียมอาร์เซไนต์ : ละลายโซเดียมอาร์เซไนต์ ( $\text{NaAsO}_2$ ) 5 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร

ข้อควรระวัง อย่าสูดกลิ่นสารนี้เข้าปาก เพราะเป็นพิษ

4. สารละลายบรูซิน-กรดซัลฟานิลิก : ละลายบรูซินซัลเฟต 1 กรัม และกรดซัลฟานิลิก 0.1 กรัม ในน้ำร้อนประมาณ 70 มิลลิลิตร แล้วใส่กรดเกลือเข้มข้น 3 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็น เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร สารละลายนี้จะคงตัวอยู่ได้นานหลายเดือน ถ้ามีสีชมพูเกิดขึ้นก็จะไม่กระทบกระเทือนต่อปฏิกิริยา

ข้อควรระวัง อย่าสูดกลิ่นสารนี้เข้าปาก เพราะเป็นพิษ

5. สารละลายกรดซัลฟิวริก : ค่อยๆ เทกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 500 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่น 125 มิลลิลิตร ทีละน้อยแล้วทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ปิดจุกให้แน่นเพื่อกันความชื้นจากอากาศภายนอก

6. สารละลายโซเดียมคลอไรด์ : ละลายโซเดียมคลอไรด์ 300 กรัมในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร

### วิธีวิเคราะห์

1. การเตรียมตัวอย่างก่อนทำการทดลอง

ถ้าตัวอย่างน้ำมีคลอรีนอยู่ให้กำจัดออกก่อน โดยการเติมโซเดียมอาร์เซไนต์ 1 หยด (0.05 มิลลิลิตร) ต่อคลอรีน 0.1 มิลลิกรัม แล้วใส่เพิ่มไปอีก 1 หยด ต่อตัวอย่างน้ำ 50 มิลลิลิตร

2. การทำให้เกิดสี

2.1 ใช้ปิเปตดูดตัวอย่างน้ำ 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดแก้ว และนำสารละลายมาตรฐานไนเตรทที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน ใส่ลงในหลอดหลายๆ หลอด เพื่อนำไปเตรียมกราฟมาตรฐาน แล้วทำให้เย็นโดยแช่ในอ่างน้ำแข็ง

2.2 เติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน (ห้ามใช้เครื่องกวนเพราะจะทำให้ค่าที่ได้ผิดไป)

2.3 เติมสารละลายกรดซัลฟิวริก 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในอ่างน้ำแข็ง ถ้ามีความขุ่นหรือสีเกิดขึ้นในตอนนี้นำไปอ่านค่าที่ทรานสมิตแดนซ์ จะเป็นค่าแบลด์ของ

ตัวอย่าง (Sample blank) และค่าเบี่ยงเบนของสารละลาย (Reagent blank) แล้วนำไปวางในอ่างน้ำแข็งอีกครั้ง

2.4 เติมสารละลายบรูซอิน-กรดซัลฟานิลิก 0.25 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

2.5 นำไปวางในเครื่องอังไอน้ำที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาทีแล้วให้นำมาแช่ในอ่างน้ำแข็งที่เย็นจนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง

2.6 นำมาวัดค่าทรานสมิตแตนซ์ ของสารละลายมาตรฐานในเตรทที่มีความเข้มข้นต่างๆ และตัวอย่างน้ำ โดยนำค่าที่อ่านได้มาหักค่าที่ได้จากเบี่ยงเบนของสารละลายกับเบี่ยงเบนของตัวอย่างเสียก่อน แล้วจึงอ่านความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนจากกราฟมาตรฐานของสารละลายไนเตรท

### 3. การเตรียมกราฟมาตรฐาน

เตรียมสารละลายมาตรฐานไนเตรทในช่วง 0-10.0 มิลลิกรัม/ลิตร แล้วเติมสารเคมีดังข้อ 2 เพื่อให้เกิดสี แล้วนำไปวัดค่าทรานสมิตแตนซ์ของสีจากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

#### การคำนวณ

$$\text{มิลลิกรัม/ลิตร ของไนเตรท-ไนโตรเจน} = \frac{\text{ไมโครกรัม ไนเตรท-ไนโตรเจน}}{\text{ตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)}}$$

$$\text{มิลลิกรัม/ลิตร ไนเตรท} = \text{มิลลิกรัม/ลิตร ไนเตรท-ไนโตรเจน} \times 4.43$$

### 3. การวิเคราะห์ไนโตรเจนด้วยวิธีไตเตรท (APHA, AWWA, WPCF, 1995)

#### สารเคมี

1. สารละลายอินดิเคเตอร์ : ละลาย p-dimethylaminobenzalrhodanine 20 มิลลิกรัม ในอะซีโตน 100 มิลลิลิตร

2. สารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรท : ละลายซิลเวอร์ไนเตรท ( $\text{AgNO}_3$ ) 3.27 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร สารละลายนี้ต้องเทียบมาตรฐานกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์โดยวิธี argentometric โดยใช้โพแตสเซียมโครเมต ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ) เป็นอินดิเคเตอร์ สารละลายนี้ 1.00 มิลลิลิตร = 1.00 มิลลิกรัม  $\text{CN}^-$

3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ : ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.6 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร

### วิธีวิเคราะห์

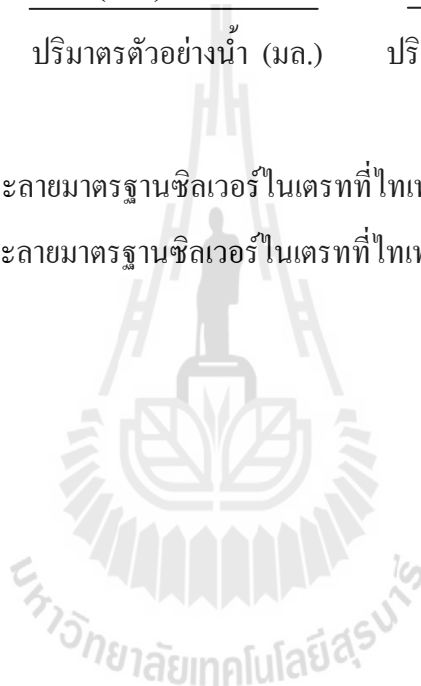
1. เตรียมตัวอย่างน้ำมา 5 มิลลิลิตร เจือจางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้เป็น 50 มิลลิลิตร และเติมสารละลายอินดิเคเตอร์ 0.5 มิลลิลิตร จะได้สีเหลือง เขย่าให้เข้ากัน
2. ไทเทรตตัวอย่างน้ำด้วยสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท เมื่อถึงจุดยุติจะได้สีชมพูอมส้ม
3. ทำแบลลงค์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50 มิลลิลิตร และใส่สารเคมีทุกอย่าง เหมือนกับตัวอย่างน้ำ แล้วนำไปไทเทรต

### การคำนวณ

$$\text{มิลลิกรัม/ลิตร ของไซยาไนด์} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มล.)}} \times \frac{250}{\text{ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ทั้งหมด (มล.)}}$$

A = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรทที่ไทเทรตกับตัวอย่าง

B = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรทที่ไทเทรตกับแบลลงค์



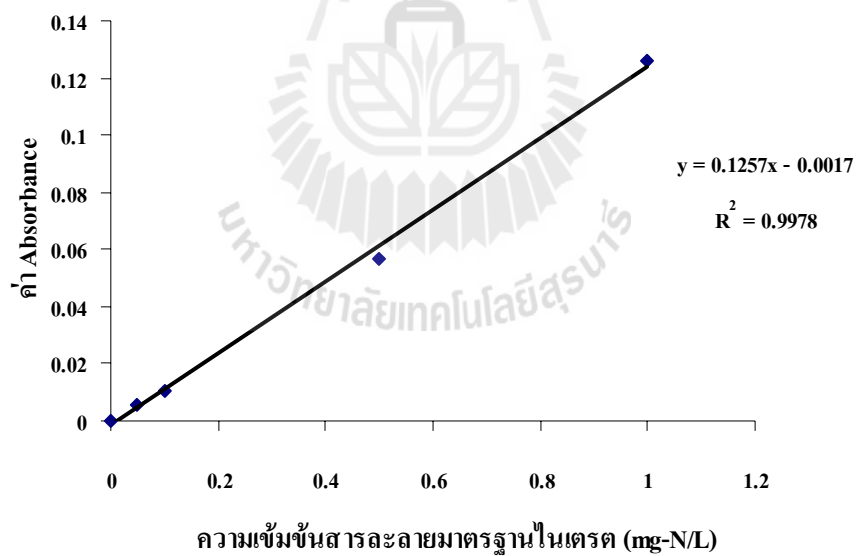
## ภาคผนวก ข

### กราฟสารละลายมาตรฐาน

1. กราฟสารละลายมาตรฐานในเตรทที่ความเข้มข้น 0-1 มิลลิกรัมต่อลิตร

Nitrate (mg-N/l.)	Abs.
0	0
0.05	0.005
0.1	0.010
0.5	0.057
1	0.126

### กราฟสารละลายมาตรฐานในเตรท



## ภาคผนวก ค

รายละเอียดของเชื้อ *Agrobacterium tumefaciens* SUTS 1

Kingdom : Bacteria

Phylum : Proteobacteria

Class : Alpha Proteobacteria

Order : Rhizobiales

Family : Rhizobiaceae

Genus : *Agrobacterium*

Species : *tumefaciens*



รูปที่ ผ-1 ลักษณะ โคลินี้ของเชื้อ *Agrobacterium tumefaciens* SUTS 1

รายละเอียดของเชื้อ *Agrobacterium tumefaciens* SUTS 1 เมื่อทำการบ่งชี้ชนิดของจุลินทรีย์ด้วยการ  
หาลำดับเบสของดีเอ็นเอ (DNA sequencing)



Score = 1181 bits (639), Expect = 0.0  
 Identities = 639/639 (100%), Gaps = 0/639 (0%)  
 Strand=Plus/Plus

```

Query 1  GGCAGACGGGTGAGTAACGCGTGGGAACATAACCTTTCTGCGGAATAGCTCCGGGAAAC 60
          |||
Sbjct 39  GGCAGACGGGTGAGTAACGCGTGGGAACATAACCTTTCTGCGGAATAGCTCCGGGAAAC 98

Query 61  TGGAAATTAATACCGCATAACGCCCTACGGGGAAAGATTTATCGGGGAAGGATTGGCCCCG 120
          |||
Sbjct 99  TGGAAATTAATACCGCATAACGCCCTACGGGGAAAGATTTATCGGGGAAGGATTGGCCCCG 158

Query 121  GTTGGATTAGCTAGTTGGTGGGGTAAAGGCCTACCAAGGCGACGATCCATAGCTGGTCTG 180
          |||
Sbjct 159  GTTGGATTAGCTAGTTGGTGGGGTAAAGGCCTACCAAGGCGACGATCCATAGCTGGTCTG 218

Query 181  AGAGGATGATCAGCCACATTGGGACTGAGACACGGCCCAAACCTCTACGGGAGGCAGCAG 240
          |||
Sbjct 219  AGAGGATGATCAGCCACATTGGGACTGAGACACGGCCCAAACCTCTACGGGAGGCAGCAG 278

Query 241  TGGGGAATATTGGACAATGGGCGCAAGCCTGATCCAGCCATGCCGCGTGAGTGATGAAGG 300
          |||
Sbjct 279  TGGGGAATATTGGACAATGGGCGCAAGCCTGATCCAGCCATGCCGCGTGAGTGATGAAGG 338

Query 301  CCTTAGGGTTGTAAAGCTCTTTCACCGATGAAGATAATGACGGTAGTCGGAGAAGAAGCC 360
          |||
Sbjct 339  CCTTAGGGTTGTAAAGCTCTTTCACCGATGAAGATAATGACGGTAGTCGGAGAAGAAGCC 398

Query 361  CCGGCTAACTTCGTGCCAGCAGCCCGGTAATACGAAGGGGGCTAGCGTTGTTTCGGAATT 420
          |||
Sbjct 399  CCGGCTAACTTCGTGCCAGCAGCCCGGTAATACGAAGGGGGCTAGCGTTGTTTCGGAATT 458

Query 421  ACTGGGCGTAAAGCGCACGTAGGCGGATATTTAAGTCAGGGGTGAAATCCCGCAGCTCAA 480
          |||
Sbjct 459  ACTGGGCGTAAAGCGCACGTAGGCGGATATTTAAGTCAGGGGTGAAATCCCGCAGCTCAA 518

Query 481  CTGCGGAACTGCCTTTGATACTGGGTATCTTGAGTATGGAAGAGGTAAGTGAATTCCGA 540
          |||
Sbjct 519  CTGCGGAACTGCCTTTGATACTGGGTATCTTGAGTATGGAAGAGGTAAGTGAATTCCGA 578

Query 541  GTGTAGAGGTGAAATTCGTAGATATTCGGAGGAACACCAGTGGCGAAGGCGGCTTACTGG 600
          |||
Sbjct 579  GTGTAGAGGTGAAATTCGTAGATATTCGGAGGAACACCAGTGGCGAAGGCGGCTTACTGG 638

Query 601  TCCATTACTGACGCTGAGGTGCGAAAGCGTGGGGAGCAA 639
          |||
Sbjct 639  TCCATTACTGACGCTGAGGTGCGAAAGCGTGGGGAGCAA 677

```



รายละเอียดของเชื้อ *Pseudomonas monteilii* SUTS 2

Kingdom : Bacteria

Phylum : Proteobacteria

Class : Gamma Proteobacteria

Order : Pseudomonadales

Family : Pseudomonadaceae

Genus : *Pseudomonas*

Species : *monteilii*



รูปที่ ๗-2 ลักษณะโคโลนีของเชื้อ *Pseudomonas monteilii* SUTS 2

รายละเอียดของ เชื้อ *Pseudomonas monteilii* SUTS 2 เมื่อทำการบ่งชี้ชนิดของจุลินทรีย์ด้วยการหาลำดับเบสของดีเอ็นเอ (DNA sequencing)



Score = 1168 bits (632), Expect = 0.0  
 Identities = 632/632 (100%), Gaps = 0/632 (0%)  
 Strand=Plus/Plus

```

Query  1    CTTGCTCCTTGATTCAGCGGCGGACGGGTGAGTAATGCCTAGGAATCTGCCTGGTAGTGG  60
      |||
Sbjct  40    CTTGCTCCTTGATTCAGCGGCGGACGGGTGAGTAATGCCTAGGAATCTGCCTGGTAGTGG  99

Query  61    GGGACAACGTTTCGAAAGGAACGCTAATACCGCATACTCTACGGGAGAAAGCAGGGGA  120
      |||
Sbjct 100    GGGACAACGTTTCGAAAGGAACGCTAATACCGCATACTCTACGGGAGAAAGCAGGGGA  159

Query 121    CCTTCGGGCCTTGCGCTATCAGATGAGCCTAGGTCGGATTAGCTAGTTGGTGAGGTAATG  180
      |||
Sbjct 160    CCTTCGGGCCTTGCGCTATCAGATGAGCCTAGGTCGGATTAGCTAGTTGGTGAGGTAATG  219

Query 181    GCTCACCAAGGCGACGATCCGTAACCTGGTCTGAGAGGATGATCAGTCACACTGGAACTGA  240
      |||
Sbjct 220    GCTCACCAAGGCGACGATCCGTAACCTGGTCTGAGAGGATGATCAGTCACACTGGAACTGA  279

Query 241    GACACGGTCCAGACTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGGGAATATTGGACAATGGGCGAAAGC  300
      |||
Sbjct 280    GACACGGTCCAGACTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGGGAATATTGGACAATGGGCGAAAGC  339

Query 301    CTGATCCAGCCATGCCCGTGTGTGAAGAAGGTCTTCGGATTGTAAAGCACTTTAAGTTG  360
      |||
Sbjct 340    CTGATCCAGCCATGCCCGTGTGTGAAGAAGGTCTTCGGATTGTAAAGCACTTTAAGTTG  399

Query 361    GGAGGAAGGGCAGTAAGTTAATACTTGTCTGTTTTGACGTTACCGACAGAATAAGCACCG  420
      |||
Sbjct 400    GGAGGAAGGGCAGTAAGTTAATACTTGTCTGTTTTGACGTTACCGACAGAATAAGCACCG  459

Query 421    GCTAACTCTGTGCCAGCAGCCGCGGTAATACAGAGGGTGCAAGCGTTAATCGGAATTACT  480
      |||
Sbjct 460    GCTAACTCTGTGCCAGCAGCCGCGGTAATACAGAGGGTGCAAGCGTTAATCGGAATTACT  519

Query 481    GGGCGTAAAGCGCGGTAGGTGGTTTCGTTAAGTTGGATGTGAAAGCCCCGGGCTCAACCT  540
      |||
Sbjct 520    GGGCGTAAAGCGCGGTAGGTGGTTTCGTTAAGTTGGATGTGAAAGCCCCGGGCTCAACCT  579

Query 541    GGGAACTGCATCCAAAAGCTGGCGAGCTAGAGTACGGTAGAGGGTGGTGAATTTCTGTG  600
      |||
Sbjct 580    GGGAACTGCATCCAAAAGCTGGCGAGCTAGAGTACGGTAGAGGGTGGTGAATTTCTGTG  639

Query 601    TAGCGGTGAAATGCGTAGATATAGGAAGGAAC  632
      |||
Sbjct 640    TAGCGGTGAAATGCGTAGATATAGGAAGGAAC  671

```

## ประวัติคณะผู้วิจัย

### ประวัติหัวหน้าโครงการวิจัย

#### หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ (ภาษาไทย) นางสาว สิริภรณ์ โพธิวิชยานนท์

(ภาษาอังกฤษ) Miss Siraporn Potivichayanon

2. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

3. ที่อยู่หน่วยงาน

สาขาวิชานาอมัยสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

โทรศัพท์ 0-4422-3936 โทรสาร 0-4422-3920 E-mail: [siraporn@sut.ac.th](mailto:siraporn@sut.ac.th)

4. ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2551 Certificate of International Training Program in Ecological Alternatives in

Sanitation, Stockholm Environment Institute, Sweden

พ.ศ. 2548 Ph.D. (Biology) International Program, Faculty of Science, Mahidol University

พ.ศ. 2541 วท.บ. (สาธารณสุขศาสตร์) สาขาวิชาวิทยาศาสตร์อนามัยสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยมหิดล

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

Odor treatment, Biodegradation and Bioremediation, Ecological sanitation

6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ :

6.1 หัวหน้าโครงการวิจัย:

เรื่องที่ 1 Removal of hydrogen sulfide by fixed-film bioscrubber

เรื่องที่ 2 การย่อยสลายไฮยาไนด์ด้วยจุลินทรีย์

เรื่องที่ 3 Water management and sanitation in a community

เรื่องที่ 4 การประเมินความเสี่ยงของการนำน้ำเสียจากชุมชนขนาดเล็กที่ผ่านบำบัดแล้ว

มาใช้ในการเพาะปลูก ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัย

แห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2551 (งบเร่งด่วน)

- เรื่องที่ 5 การพัฒนาความสามารถของเชื้อจุลินทรีย์ในการกำจัดกลิ่นโดยใช้ระบบฟิสิกซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์
- เรื่องที่ 6 การผลิตเอทานอลจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์โดยเชื้อจุลินทรีย์
- เรื่องที่ 7 การพัฒนาความสามารถของระบบฟิสิกซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์

## 6.2 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว :

- เรื่องที่ 1 Removal of hydrogen sulfide by fixed-film bioscrubber. (ผู้วิจัยหลัก)  
แหล่งทุน Asian Development Bank (ADB)
- เรื่องที่ 2 Optimization of bioscrubber system for hydrogen sulfide removal. (ผู้ช่วยวิจัย)  
แหล่งทุน Asian Development Bank (ADB)
- เรื่องที่ 3 การประเมินห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทดสอบตามแนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุดของห้องปฏิบัติการ: กรณีการชะแคะเมี่ยมและตะกั่วจากภาชนะเซรามิค  
ห้องปฏิบัติการศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี: ภายใต้โครงการการพัฒนารอบนโยบายการเพิ่มศักยภาพห้องปฏิบัติการวิเคราะห์เพื่อการเสริมสร้างความเข้มแข็งของอุตสาหกรรมของประเทศไทยในการรับรองผลกระทบจากการประกาศใช้ระเบียบว่าด้วยสารเคมี (REACH) ของสหภาพยุโรป (ผู้ร่วมวิจัย)  
แหล่งทุน สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
- เรื่องที่ 4 Water management and sanitation in a community (ผู้วิจัยหลัก)  
แหล่งทุน ภายใต้ความร่วมมือ การแนะนำและปรึกษาของ Swedish International Development Cooperation Agency (Sida) ในโปรแกรม International Training Programme (ITP) in Ecological Alternatives in Sanitation โดย Stockholm Environment Institute (SEI)
- เรื่องที่ 5 การประเมินความเสี่ยงของการนำน้ำเสียจากชุมชนขนาดเล็กที่ผ่านบำบัดแล้วมาใช้ในการเพาะปลูก  
แหล่งทุน สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2551 (งบเร่งด่วน)
- เรื่องที่ 6 การย่อยสลายไซยาไนด์ด้วยจุลินทรีย์

แหล่งทุน เงินอุดหนุนการวิจัยเพื่อสนับสนุนการสร้างและพัฒนา นักวิจัยรุ่นใหม่  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

### 6.3 งานวิจัยที่กำลังทำ :

**เรื่องที่ 1** การพัฒนาความสามารถของเชื้อจุลินทรีย์ในการกำจัดกลิ่นโดยใช้ระบบ  
ฟิกซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์

แหล่งทุน สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2553

สถานภาพ เสร็จสิ้นร้อยละ 90

**เรื่องที่ 2** การผลิตเอทานอลจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์โดย  
เชื้อจุลินทรีย์

แหล่งทุน สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2553

สถานภาพ เสร็จสิ้นร้อยละ 90

**เรื่องที่ 3** การพัฒนาความสามารถของระบบฟิกซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์

แหล่งทุน สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2554

สถานภาพ เสร็จสิ้นร้อยละ 40

**เรื่องที่ 4** การพัฒนาความสามารถของจุลินทรีย์รวมกลุ่มในการย่อยสลายไฮโดรไฮยานเนต  
และโลหะโซเดียม

แหล่งทุน สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2555

สถานภาพ เสร็จสิ้นร้อยละ 20

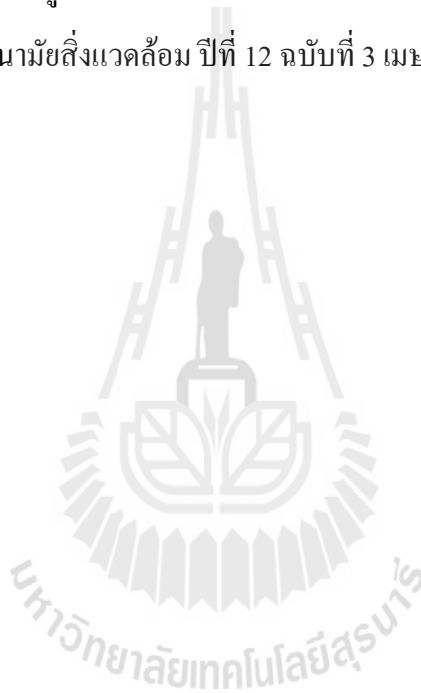
### งานตีพิมพ์เผยแพร่

- Potivichayanon S, Pokethitiyook P, Kruatrachue M. 2006. Hydrogen sulfide removal by a novel fixed-film bioscrubber system. Process Biochem 41: 708-715.
- Potivichayanon S and Chuersuwan N. 2009. Greywater management and reuse for plant irrigation: A case study of Ban Laloommoa Village in Thailand. Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Conference on Environmental Science and Technology. Chania, Crete, Greece. P.745-752.

- Potivichayanon S and Kitleartpornparoat R. 2010. Biodegradation of cyanide by a novel cyanide-degrading bacterium. World Academy of Science, Engineering and Technology 66: 1376-1379.
- Potivichayanon S, Sungmon T, Chaikongmao W, Kamvanin S. 2011. Enhancement of biogas production from bakery waste by *Pseudomonas aeruginosa*. World Academy of Science, Engineering and Technology 80: 529-532.

#### บทความวิชาการ

- สิริภรณ์ โพธิ์วิชยานนท์ 2553. รู้หรือไม่ว่า น้ำเสียจากครัวเรือนที่ผ่านการบำบัดแล้วนำมาใช้ในการเพาะปลูกพืชได้ดี วารสารอนามัยสิ่งแวดล้อม ปีที่ 12 ฉบับที่ 3 เมษายน-มิถุนายน 2553 หน้า 67-71.



## ประวัติผู้ร่วมโครงการวิจัย

1. ชื่อ (ภาษาไทย) นายนเรศ เชื้อสุวรรณ

(ภาษาอังกฤษ) Mr.Nares Chuersuwan

2. ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์

3. ที่อยู่หน่วยงาน

สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

โทรศัพท์ 044-223-927 โทรสาร 044-223-920 อีเมล nares@sut.ac.th

## 4. ประวัติการศึกษา

2544 Ph.D. (Environmental Sciences), Rutgers University, New Jersey, USA.

2539 M.S. (Environmental Sciences), Rutgers University, New Jersey, USA.

2532 B.Sc. (Sanitary Science), Mahidol University

## 5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

มลพิษของบรรยากาศและสิ่งแวดล้อม

## 6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

### 6.1 หัวหน้าโครงการวิจัย:

เรื่องที่ 1 การศึกษาหาสัดส่วนของแหล่งกำเนิดฝุ่นขนาด 10 และ 2.5 ไมครอนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร

เรื่องที่ 2 พัฒนารูปร่างความรู้ทางวิชาการด้านคุณภาพอากาศระยะที่ 1

เรื่องที่ 3 การประเมินห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทดสอบตามแนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุดของห้องปฏิบัติการ: กรณีการชะเคดเมียมและตะกั่วจากภาชนะเซรามิคห้องปฏิบัติการศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เรื่องที่ 4 Risk assessment of using treated excreta for a small household cultivation: a case from Thailand.

### 6.2 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว:



- เรื่องที่ 1 Chuersuwan, N., Nimrat, S., Lekphet, S. Kerdkumrai, T. (2008). Levels and major sources of PM-2.5 and PM-10 in Bangkok Metropolitan Region. *Environmental International* (In press).
- เรื่องที่ 2 Chuersuwan, N., Nimrat, S., Lekphet, S. Kerdkumrai, T. (2005). Levels and major sources of PM-2.5 and PM-10 in Bangkok Metropolitan Region. Proceeding from the Third International Symposium on Air Quality Management in Urban, Regional, and Global Scales, Turkey, 26-30 September, 2005. (สำเร็จ)
- เรื่องที่ 3 Lekphet, S., Panichayapichet, P., Suwanchoojit, A, Simachaya, W., and Chuersuwan, N. (2004). "Decision support model for integrated water resource management: A case study from the Ta-Chin River, Thailand". Proceedings from the 2<sup>nd</sup> Asia Pacific Association of Hydrology and Water Conference, Singapore, July 5-8, 2004. (สำเร็จ)
- เรื่องที่ 4 Chuersuwan, N. (2003). Spatial distributions of ambient PM-10 and PM-2.5 in Bangkok. 2<sup>nd</sup> National Environmental Conference, Environmental Engineering Association of Thailand, Khon Khen, January 22-24, 2003. (สำเร็จ)
- เรื่องที่ 5 Nimrat, S., Thongnoppakun, S., Chuersuwan, N., and Vuthiphandchai, V. (2003). Toxicity and biodegradation of amido black and malachite green by acclimated activated sludge under aerobic and aerobic denitrifying conditions Proceedings Asian Waterqual 2003, IWA-Asia Pacific Regional Conference, Bangkok, October 19-23, 2003. (สำเร็จ)
- เรื่องที่ 6 Chuersuwan, N., Turpin, B. J., and Pietarinen, C. (2000). Evaluation of time-resolved PM<sub>2.5</sub> data in urban/suburban areas of New Jersey. *J. Air and Waste Management Association* 50: 1780-1789. (สำเร็จ)

เรื่องที่ 7 Chuersuwan, N., and Makekhaiyai, S. (1999). Evaluation of mercury concentrations from an incinerator, *Burapha University J.* 30: 121-131.  
(สำเร็จ)

### 6.3 งานวิจัยที่กำลังทำ:

- เรื่องที่ 1 พัฒนาฐานความรู้ทางวิชาการด้านคุณภาพอากาศระยะที่ 1 (อยู่ระหว่างดำเนินการ – หัวหน้าโครงการ)
- เรื่องที่ 2 การเสริมสร้างและพัฒนากระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชนท้องถิ่นในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำและป่าต้นน้ำ : กรณีศึกษาพื้นที่ลุ่มน้ำมูล (อยู่ระหว่างดำเนินการ – หัวหน้าโครงการ)
- เรื่องที่ 3 ผลกระทบสุขภาพจากอุตสาหกรรม (อยู่ระหว่างดำเนินการ- ผู้ร่วมวิจัย)

