

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การคัดกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการกำจัดสารโพรพิโนฟอส

- 1) กลุ่มจุลินทรีย์ที่คัดได้เป็นจุลินทรีย์ในกลุ่มเฮเทอโรโทรป ซึ่งใช้สารโพรพิโนฟอสเป็นแหล่งสารคาร์บอนเดี่ยว (sole carbon source) ได้ กลุ่มจุลินทรีย์ดังกล่าวประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่มีรูปร่างทั้งแบบท่อนและวงกลม เซลล์มีทั้งชนิดแกรมบวกและแกรมลบ
- 2) กลุ่มจุลินทรีย์ที่คัดได้มีความสามารถในการย่อยสลายสารโพรพิโนฟอสได้ร้อยละ 97 จลนพลศาสตร์การเจริญเติบโตและการย่อยสลายสารโพรพิโนฟอสเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับหนึ่งค่าคงที่ โดยมีค่าคงที่เท่ากับ 0.40 และ 0.15 hr^{-1} ตามลำดับ และมีอัตราการย่อยสลายสารโพรพิโนฟอส 3.0 mg/L/d
- 3) การวิเคราะห์วิธีการย่อยสลายสารโพรพิโนฟอสพบว่า กลุ่มจุลินทรีย์นี้สามารถย่อยสลายสารโพรพิโนฟอสเป็นสารบีซีพี และตรวจพบสารมัธยันตรอื่น ๆ ซึ่งได้แก่ สาร 2,4-di-tert-butyl phenol และ สาร 3-methoxy phenol

5.1.2 การคัดแยกจุลินทรีย์บริสุทธิ์และการศึกษาลักษณะการย่อยสลายสารโพรพิโนฟอส

- 1) กลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายสารโพรพิโนฟอสที่คัดแยกได้จุลินทรีย์บริสุทธิ์ 3 ชนิด ซึ่งกำหนดชื่อเรียกว่า PF1 PF2 และ PF3 เป็นสายพันธุ์ *Pseudomonas plecoglossicida* *Pseudomonas aeruginosa* และ *Pseudomonas aeruginosa* ตามลำดับ
- 2) จลนพลศาสตร์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บริสุทธิ์เป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง โดยมีค่าคงที่จลนพลศาสตร์การเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง $1.91-2.68 \text{ hr}^{-1}$ และจุลินทรีย์บริสุทธิ์ทั้งสามมีอัตราการย่อยสลายสารโพรพิโนฟอส และร้อยละการกำจัดสารโพรพิโนฟอสถึง $7.6-19.6 \text{ mg/L/d}$ และ 93-95 ตามลำดับ
- 3) PF1 PF2 และ PF3 สามารถย่อยสลายสารกำจัดศัตรูพืชได้ใกล้เคียงกัน จุลินทรีย์กำจัดสารคลอร์ไพริฟอสได้ร้อยละ 57-73 และสารไดโคโตฟอสได้ร้อยละ 33-47 ในขณะที่จุลินทรีย์กำจัดสารโพรพิโนฟอสได้ร้อยละ 75-82

5.1.3 การกระตุ้นการย่อยสลายสารโพรพิโนฟอสโดยใช้กระบวนการเมตาโบลิซึมร่วม

- 1) การทดลองที่เติมสารกลูโคส กรดซัคซินิค และสารโซเดียมอะซิเตรทเป็นแหล่งคาร์บอนร่วมส่งผลต่อการเจริญเติบโตของกลุ่มจุลินทรีย์ไม่มากนัก กลุ่มจุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนเพิ่มขึ้นเป็น $16-18 \text{ logCFU/mL}$ จลนพลศาสตร์การเจริญเติบโตของกลุ่มจุลินทรีย์เป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับหนึ่งซึ่งมีค่าคงที่ $0.49-0.62 \text{ hr}^{-1}$ ชุดทดลองที่เติมกรดซัคซินิคและโซเดียมอะซิเตรทสามารถลดสารโพรพิโนฟอสได้ร้อยละ 30 ส่วนชุดที่มีการเติมกลูโคสสามารถลดสารโพรพิโนฟอสได้ร้อยละ 10

เนื่องจากกรดซัคซินิกและโซเดียมอะซิเตรทซึ่งเป็นสารประกอบของกรดไขมันสายสั้น ซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนที่จุลินทรีย์ทั่วไปนิยมใช้มากกว่ากลูโคสซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตพื้นฐาน

- 2) อิทธิพลความเข้มข้นของกรดซัคซินิกเริ่มต้นที่ใช้เป็นแหล่งคาร์บอนร่วม (4-400 mg/L) ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของกลุ่มจุลินทรีย์ไม่มากนัก กลุ่มจุลินทรีย์จากทุกชุดการทดลองเพิ่มจำนวนจากประมาณ 6 เป็น 16 logCFU/mL โดยมีค่าคงที่จลนพลศาสตร์การเจริญเติบโต เท่ากับ $0.42-0.50 \text{ hr}^{-1}$ ประสิทธิภาพการย่อยสลายสารโพรพีโนฟอสได้กว่าร้อยละ 80 อัตราการกำจัดสารโพรพีโนฟอส เท่ากับ $7.90-31.46 \text{ mg/L/d}$ จลนพลศาสตร์การย่อยสลายสารโพรพีโนฟอสเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับหนึ่งโดยมีค่าคงที่ เท่ากับ $0.01-0.06 \text{ hr}^{-1}$ โดยในชุดทดลองที่ให้ผลดีที่สุด คือ ชุดทดลองที่เติมแหล่งคาร์บอนร่วม 400 mg/L โดยการย่อยสลายนี้อาศัยค่าคงที่เพิ่มขึ้นถึง 6 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับชุดที่ไม่ได้เติมแหล่งคาร์บอนร่วม
- 3) อิทธิพลความเข้มข้นของสารโพรพีโนฟอสเริ่มต้น (40-120 mg/L) ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของกลุ่มจุลินทรีย์ไม่มากนัก กลุ่มจุลินทรีย์จากทุกชุดการทดลองเพิ่มจำนวนจากประมาณ 6 เป็น 16 logCFU/mL ค่าคงที่จลนพลศาสตร์การเจริญเติบโต เท่ากับ $0.30-0.47 \text{ hr}^{-1}$ สำหรับการย่อยสลายสารโพรพีโนฟอสพบว่ากลุ่มจุลินทรีย์จากชุดทดลองต่าง ๆ สามารถย่อยสลายสารได้ร้อยละ 85-91 อัตราการกำจัดสาร เท่ากับ $31-55 \text{ mg/L/d}$ จลนพลศาสตร์การย่อยสลายสารโพรพีโนฟอสเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับหนึ่งโดยมีค่าคงที่ เท่ากับ $0.02-0.06 \text{ hr}^{-1}$ ผลการศึกษาจากชุดการทดลองที่มีความเข้มข้นของสารโพรพีโนฟอส 120 mg/L เกิดปรากฏการณ์การยับยั้งด้วยสารอาหารเอง (substrate inhibition) โดยผลในสถานะที่มีแหล่งคาร์บอนร่วม อิทธิพลของปรากฏการณ์การยับยั้งดังกล่าวลดลง

5.1.4 การสาธิตการฟื้นฟูน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนสารโพรพีโนฟอสตามหลักการเติมเซลล์ที่ถูกกระตุ้น

- 1) ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าอัตราการซึมผ่านและปริมาณจุลินทรีย์เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการย่อยสลายสารโพรพีโนฟอส
- 2) ผลการสาธิตระบบที่สถานะที่อัตราการซึมผ่านของน้ำต่างกัน คือ 25-100 cm/d ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารโพรพีโนฟอส เท่ากับ 20 mg/L และแหล่งคาร์บอนร่วม 400 mg/L พบว่าตรวจติดตามไม่พบสารโพรพีโนฟอสเลย ผลดังกล่าวบ่งชี้ได้ว่าแบบจำลองคอลัมน์ที่มีการเติมเซลล์มีถูกกระตุ้นด้วยการเติมแหล่งคาร์บอนร่วมมีประสิทธิภาพสูงมาก
- 3) ผลการศึกษาชุดทดลองที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นของสารโพรพีโนฟอส เท่ากับ 40 mg/L และแหล่งคาร์บอนร่วม 400 mg/L ในกรณีที่เติมกลุ่มจุลินทรีย์ 10^5 CFU/mL ชุดทดลองที่อัตราการการซึมผ่าน 25 cm/d สามารถย่อยสลายสารโพรพีโนฟอสได้กว่าร้อยละ 90 ความสามารถในการย่อยสลายลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการซึมผ่านของน้ำ โดยความสามารถในการย่อยสลายสารที่อัตราการซึมผ่าน 50 และ 100 cm/d เท่ากับ

ร้อยละ 80 และร้อยละ 30 ตามลำดับ เมื่อเพิ่มกลุ่มจุลินทรีย์เป็น 10^{15} CFU/mL พบว่าตรวจติดตามไม่พบสารโพรพิโนฟอสเลย

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรมีการทดลองอิทธิพลของสิ่งแวดล้อม อาทิเช่น ปริมาณเกลือในน้ำใต้ดิน ปริมาณสารอินทรีย์ธรรมชาติ และ ค่าพีเอชของน้ำ เป็นต้น ต่อความสามารถในการย่อยสลายสารโพรพิโนฟอสโดยกลุ่มจุลินทรีย์และจุลินทรีย์บริสุทธิ์
- 2) ควรมีงานวิจัยต่อเนื่องเพื่อระบุวิธีการย่อยสลายสารโพรพิโนฟอสโดยกลุ่มจุลินทรีย์และจุลินทรีย์บริสุทธิ์อย่างสมบูรณ์
- 3) ควรมีงานวิจัยต่อเนื่องเพื่อระบุกลไกกระบวนการเมตาโบลิซึมร่วมสำหรับการย่อยสลายสารโพรพิโนฟอส
- 4) ก่อนการประยุกต์ใช้จริงควรมีการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยแวดล้อม เช่น อิทธิพลของจุลินทรีย์ในพื้นที่ อิทธิพลของสมบัติดิน อิทธิพลของสมบัติน้ำใต้ดิน เป็นต้น