สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ	1
	ความเป็นมาของปัญหา	1
	จุดมุ่งหมายของการศึกษา	3
	ขอบเขตของงานวิจัย	4
	นิยามศัพท์เฉพาะ	4
	สมมติฐานของการวิจัย	4
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
	ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde)	5
	ความเข้มข้นและปริมาตรน้ำเสียที่มีฟอร์มาลดีไฮด์ที่เกิดจาก กระบวนการดองร่างอาจารย์ใหญ่	6
	การบำบัดน้ำเสียที่มีฟอร์มาลดีไฮด์เป็นส่วนประกอบ	9
	การบำบัดน้ำเสียที่มีฟอร์มาลดีไฮด์เป็นส่วนประกอบโดยใช้จุลินทรีย์	9
	จุลินทรีย์ที่สามารถใช้ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นแหล่งคาร์บอนได้	14
	กระบวนการย่อยสลายฟอร์มาลดีไฮด์ในเชื้อจุลินทรีย์	16
	สภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญและการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์	26
	ระบบบำบัดแบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor; SBR)	28
3	วิธีดำเนินการวิจัย	31
	อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	31
	สารเคมีและอาหารเลี้ยงเชื้อ	32
	ขั้นตอนและวิธีการวิจัย	33
4	**ผลการวิจัย**	42
	การคัดแยกสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการใช้ฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นแหล่งคาร์บอนจากธรรมชาติ	42

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	การคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการทนต่อความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่สูงที่สุด	49
	การคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียที่ดีที่สุด	50
	การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการดองร่างอาจารย์ใหญ่	54
	การศึกษาปริมาณสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญและการย่อยสลายฟอร์มาลดีไฮด์ของจุลินทรีย์สายพันธุ์ที่คัดเลือก	57
	การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการดองร่างอาจารย์ใหญ่ในระบบบำบัดแบบเอสบีอาร์	63
	การประยุกต์ใช้จุลินทรีย์สายพันธุ์ที่คัดเลือกในการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการดองร่างอาจารย์ใหญ่ในระบบบำบัดแบบเอสบีอาร์ร่วมกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลพุทธชินราช	70
5	บทสรุป	75
	สรุปผลการวิจัย	75
	อภิปรายผล	77
	บรรณานุกรม	90
	ภาคผนวก	98
	อภิธานศัพท์	112
	ประวัติผู้วิจัย	114

สารบัญตาราง

ตาราง **หน้า**

1 ปริมาตรของน้ำยาดองร่างอาจารย์ใหญ่ในแต่ละถังดอง..... 8

2 แสดงส่วนประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อ Formaldehyde enrichment medium I และ YM medium ที่เติมฟอร์มาลดีไฮด์เป็นแหล่งคาร์บอน..... 27

3 จำนวนไอโซเลทที่แยกได้จากแหล่งธรรมชาติที่มีการปนเปื้อนด้วยฟอร์มาลดีไฮด์ จำแนกตามแหล่งอาหารและแหล่งตัวอย่าง..... 42

4 เชื้อจุลินทรีย์ที่แยกได้จากแหล่งธรรมชาติที่มีการปนเปื้อนด้วยฟอร์มาลดีไฮด์.... 43

5 ลักษณะการเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อและรูปร่างของเซลล์ของจุลินทรีย์ที่แยกได้จากธรรมชาติ..... 48

6 ผลการคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการทนต่อความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่สูงที่สุด..... 50

7 ประสิทธิภาพการย่อยสลายฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียจากกระบวนการดองร่างอาจารย์ใหญ่ของจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟอร์มาลดีไฮด์ 1,500 มิลลิกรัม/ลิตร ในสภาวะความเป็นกรดที่พีเอชต่างๆ..... 53

8 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาและคุณสมบัติทางชีวเคมีของจุลินทรีย์ YMw6..... 53

9 ผลการส่งตรวจวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูทั้งหมดที่ปนเปื้อนในตัวอย่างน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัด..... 66

10 ค่า SVI และประสิทธิภาพการตกตะกอน..... 111

สารบัญภาพ

ภาพ หน้า

1 แผนผังถังดองร่างอาจารย์ใหญ่ในอาคารดองร่างอาจารย์ใหญ่ คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร 7

2 ลักษณะน้ำยาดองร่างอาจารย์ใหญ่ในถังเก็บก่อนนำเข้าสู่การบำบัด 8

3 การบำบัดแบบ Anaerobic fluidized bed reactor 11

4 ภาพรวมของวิธีเมทาบอลิซึมสาร C1 compounds ใน methylotrophic bacteria 17

5 วิถีเมตาบอลิซึมแบบ Glutathione (GSH)-dependent NAD-linked formaldehyde dehydrogenase (GSH-FDH) 18

6 วิถีเมตาบอลิซึมแบบ Mycothiol (MSH)-dependent NAD-linked formaldehyde dehydrogenase (GSH-FDH) 18

7 วิถีเมตาบอลิซึมแบบ Glutathione (GSH)-independent NAD-linked formaldehyde dehydrogenase (PFDH) 19

8 วิถีเมตาบอลิซึมแบบ Tetrahydromethanopterin (H4MPT)-dependent pathway และ Methanofuran (MFR)-dependent pathway ในเชื้อMethylobacterium extorquens AM1 ที่เจริญบนเมทานอล 20

9 Methylotrophic metabolism ที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา oxidation และ assimilation ของเชื้อ M. extorquens AM1 21

10 กระบวนการ oxidation ของฟอร์มาลดีไฮด์ ผ่านวิถีเมตาบอลิซึมแบบ Ribulose-monophosphate cycle ในเชื้อ Methylophilus methylotrophus 22

11 กระบวนการ assimilation ของฟอร์มาลดีไฮด์ ผ่านวิถีเมตาบอลิซึม serine pathway 23

12 กระบวนการ assimilation ของฟอร์มาลดีไฮด์ ผ่านวิถีเมตาบอลิซึม ribulose monophosphate (RuMP) pathway 24

13 กระบวนการ assimilation ของฟอร์มาลดีไฮด์ ผ่านวิถีเมตาบอลิซึม xylulose monophosphate (XuMP) pathway 25

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ **หน้า**

14 วิถีเมตาบอลิซึมใน Aerobic methanotrophic bacterium สายพันธุ์ *Methylococcus capsulatus* บนอาหารที่มี C1 เป็นแหล่งคาร์บอน 26

15 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของระบบบำบัดแบบเอสบีอาร์..... 30

16 ลักษณะโคโลนีที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ ลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์ และการติดสีแกรมของจุลินทรีย์ที่คัดแยกได้ 44

17 ลักษณะการเจริญและไม่เจริญของจุลินทรีย์บนอาหารทดสอบในการคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการทนต่อความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่สูงที่สุด 49

18 ประสิทธิภาพการย่อยสลายฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียจากกระบวนการดองร่างอาจารย์ใหญ่ที่ความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัม/ลิตร 51

19 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในระบบทดสอบในการทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียจากกระบวนการดองร่างอาจารย์ใหญ่ที่ความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัม/ลิตร..... 52

20 ผลการทดสอบค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายฟอร์มาลดีไฮด์ของจุลินทรีย์สายพันธุ์ YMw6 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟอร์มาลดีไฮด์ 1,500 มิลลิกรัม/ลิตร 54

21 ผลการศึกษาอัตราเร็วในการเขย่าที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายฟอร์มาลดีไฮด์ของจุลินทรีย์สายพันธุ์ YMw6 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟอร์มาลดีไฮด์ 1,500 มิลลิกรัม/ลิตร 55

22 ผลการศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายฟอร์มาลดีไฮด์ของจุลินทรีย์สายพันธุ์ YMw6 57

23 การย่อยสลายฟอร์มาลดีไฮด์ของจุลินทรีย์สายพันธุ์ YMw6 ในการศึกษาแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการเจริญและย่อยสลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์เริ่มต้น 2,500 มิลลิกรัม/ลิตร 58

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ **หน้า**

24 การเจริญของจุลินทรีย์ YMw6 ในการศึกษาปริมาณแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการเจริญและย่อยสลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์เริ่มต้น 2,500 มิลลิกรัม/ลิตร 58

25 การย่อยสลายฟอร์มาลดีไฮด์ของจุลินทรีย์สายพันธุ์ YMw6 ในการศึกษาแหล่งเกลือ MgSO4 ที่เหมาะสมต่อการเจริญและย่อยสลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์เริ่มต้น 2,500 มิลลิกรัม/ลิตร 59

26 การเจริญของจุลินทรีย์ YMw6 ในการศึกษาปริมาณแหล่งเกลือ MgSO4 ที่เหมาะสมต่อการเจริญและย่อยสลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์เริ่มต้น 2,500 มิลลิกรัม/ลิตร 60

27 การย่อยสลายฟอร์มาลดีไฮด์ของจุลินทรีย์สายพันธุ์ YMw6 ในการศึกษาปริมาณฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมต่อการเจริญและย่อยสลายฟอร์มาลดีไฮด์ ที่ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์เริ่มต้น 2,500 มิลลิกรัม/ลิตร 61

28 การเจริญของจุลินทรีย์ YMw6 ในการศึกษาปริมาณฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมต่อการเจริญและย่อยสลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์เริ่มต้น 2,500 มิลลิกรัม/ลิตร 62

29 การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชในระบบในการศึกษาปริมาณฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมต่อการเจริญและย่อยสลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์เริ่มต้น 2,500 มิลลิกรัม/ลิตร 62

30 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการดองร่างอาจารย์ใหญ่ความเข้มข้นเริ่มต้น 2,500 มิลลิกรัม/ลิตร ในระบบบำบัดเอสบีอาร์แบบครั้งคราว 64

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ **หน้า**

31 ปริมาณความความเข้มข้นซีโอดีที่เปลี่ยนแปลงไปในการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการดองร่างอาจารย์ใหญ่ความเข้มข้นเริ่มต้น 2,500 มิลลิกรัม/ลิตร ในระบบบำบัดเอสบีอาร์แบบครั้งคราว 65

32 การเจริญของจุลินทรีย์ในระบบที่เปลี่ยนแปลงไปในการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการดองร่างอาจารย์ใหญ่ความเข้มข้นเริ่มต้น 2,500 มิลลิกรัม/ลิตร ในระบบบำบัดเอสบีอาร์แบบครั้งคราว 65

33 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการดองร่างอาจารย์ใหญ่ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 2,500 มิลลิกรัม/ลิตร ในระบบบำบัดเอสบีอาร์แบบต่อเนื่อง 68

34 ความเข้มข้นซีโอดีที่เปลี่ยนแปลงไปในการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการดองร่างอาจารย์ใหญ่ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 2,500 มิลลิกรัม/ลิตร ในระบบบำบัดเอสบีอาร์แบบต่อเนื่อง 68

35 การเจริญของจุลินทรีย์ในระบบที่เปลี่ยนแปลงในการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการดองร่างอาจารย์ใหญ่ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 2,500 มิลลิกรัม/ลิตร ในระบบบำบัดเอสบีอาร์แบบต่อเนื่อง 69

36 ลักษณะน้ำเสียก่อนและหลังเสร็จสิ้นกระบวนการบำบัดโดยจุลินทรีย์ YMw6 ในระบบบำบัดแบบเอสบีอาร์และประสิทธิภาพการตกตะกอนของจุลินทรีย์ 69

37 ลักษณะการเลี้ยงเพื่อปรับสภาพตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลพุทธชินราช 71

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ **หน้า**

38 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการดองร่างอาจารย์ใหญ่ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 2,500 มิลลิกรัม/ลิตร ของจุลินทรีย์ YMw6 ในระบบบำบัดเอสแบบบีอาร์ร่วมกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลพุทธชินราช 71

39 ความเข้มข้นซีโอดีที่เปลี่ยนแปลงไปในการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการดองร่างอาจารย์ใหญ่ ความเข้มข้นเริ่มต้น 2,500 มิลลิกรัม/ลิตร ของจุลินทรีย์ YMw6 ในระบบบำบัดแบบเอสบีอาร์ร่วมกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลพุทธชินราช 72

40 ประสิทธิภาพการตกตะกอนของตะกอนจุลินทรีย์ก่อนและหลังเสร็จสิ้นกระบวนการบำบัด; a1 control sludge ก่อนบำบัด, a2 control sludge หลังบำบัด, b1 sludge+YMw6 ก่อนบำบัด, b2 sludge+YMw6 หลังบำบัด 73

41 ลักษณะทางกายภาพของน้ำเสียก่อนและหลังเสร็จสิ้นกระบวนการบำบัดโดยจุลินทรีย์ YMw6 ในระบบบำบัดแบบเอสบีอาร์ร่วมกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลพุทธชินราช; a1 control sludge ก่อนบำบัด, a2 control sludge หลังบำบัด, b1 sludge+YMw6 ก่อนบำบัด, b2 sludge+YMw6 หลังบำบัด..... 74

42 ชุดอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ซีโอดี 110