การลดการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียก่อโรคและโลหะหนักในหอยนางรมปากจีบ (*Saccostrea cucullata*) ด้วยระบบ Depuration แบบน้ำวน

อุมาพร แก้วมณี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
พฤศจิกายน 2555
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ อุมาพร แก้วมณี ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา ภาณุตระกูล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริโฉม ทุ่งเก้า)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์เทพ วิไลพันธ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา ภาณุตระกูล)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริโฉม ทุ่งเก้า)

.....กรรมการ
(ดร.อุมาพร ทาไธสง)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพา

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์)
วันที่ 14 เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2555

ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความกรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้องและช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยดีเสมอจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุวรรณา ภาณุตระกูล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริโฉม ทุ่งเก้า เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมในการจัดทำวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้แนวทางในการค้นคว้าหาความรู้ และประสบการณ์ในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ บิดา มารดา และครอบครัว รวมถึงสามีและลูกสาวซึ่งคอยเป็นกำลังใจ ให้การสนับสนุนและให้คำปรึกษาในทุกด้าน เจ้าหน้าที่สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมและภาควิชาวาริชศาสตร์ทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์ เครื่องมือ ตลอดจนสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ พี่และเพื่อน ๆ นิสิตสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกคน และน้อง ๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บและเตรียมตัวอย่าง ซึ่งมีส่วนช่วยให้การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

อุมาพร แก้วมณี

51911947: สาขาวิชา: วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม; วท.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)
คำสำคัญ: ประสิทธิภาพการลดการปนเปื้อน/ แบคทีเรียก่อโรค/ โลหะหนัก/ หอยนางรมปากจีบ/ ระบบ Depuration แบบน้ำวน

อุมาพร แก้วมณี: การลดการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียก่อโรคและโลหะหนักในหอยนางรมปากจีบ (*Saccostrea cucullata*) ด้วยระบบ Depuration แบบน้ำวน (REDUCTION OF PATHOGENIC BACTERIA AND HEAVY METAL IN OYSTERS (*Saccostrea cucullata*) BY RE-CIRCULATING DEPURATION SYSTEM) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: สุวรรณา ภาณุตระกูล, D.Sc., ศิริโฉม ทุ่งเก้า, Ph.D. 96 หน้า.ปี พ.ศ. 2555.

หอยนางรมปากจีบ (*Saccostrea cucullata*) ที่มีการเพาะเลี้ยงในบริเวณชายฝั่ง มีโอกาสที่จะสะสมเชื้อแบคทีเรียก่อโรคและโลหะหนักจากมวลน้ำ จนทำให้ระดับเชื้อแบคทีเรียก่อโรคและโลหะหนักสูงเกินกว่าระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภค ดังนั้นก่อนที่จะนำหอยนางรมมาบริโภคควรมีการทำความสะอาดโดยผ่านกระบวนการ Depuration ซึ่งข้อดีของการทำ Depuration แบบปิด คือ ใช้ปริมาณน้ำน้อยกว่าระบบ Depuration แบบเปิด แต่อาจจะเกิดการปนเปื้อนกลับ (Recontamination) จากตะกอนที่หอยคายออกมาได้ การวิจัยนี้จึงพยายามที่จะพัฒนาประสิทธิภาพของระบบ Depuration แบบน้ำวนในการลดการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียก่อโรคและโลหะหนักในหอยนางรมปากจีบ โดยมีการจัดการกับตะกอนที่หอยคายออกมา ใช้ความหนาแน่นของหอยนางรมปากจีบ 350 ตัวต่อน้ำ 700 ลิตร ความเค็มของน้ำทะเล 25 ส่วนในพันส่วน พบว่าการจัดการกับตะกอนมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการลด *Vibrio cholerae* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สำหรับ *Vibrio parahaemolyticus* มีแนวโน้มของการลดลงเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่อยู่ในระบบ Depuration แสดงว่าระบบที่มีการจัดการกับตะกอนมีประสิทธิภาพในการลดการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในหอยนางรมปากจีบได้ดีกว่าระบบที่ไม่มีการจัดการกับตะกอน แต่ระบบ Depuration ที่ออกแบบในครั้งนี้ไม่สามารถลดการปนเปื้อนของโลหะหนักในหอยนางรมปากจีบได้ ซึ่งถ้ามีการลดอุณหภูมิของน้ำและลดความหนาแน่นของหอยนางรมปากจีบที่ใช้อาจจะทำให้ประสิทธิภาพในการลดการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียและโลหะหนักดีขึ้นได้

51911947: MAJOR: ENVIRONMEMTAL SCIENCE; M.Sc. (ENVIRONMEMTAL SCIENCE)
KEYWORDS: EDUCTING EFFICIENCY/ PATHOGENIC BACTERIA/ HEAVY METALS/ OYSTERS/ RE-CIRCURATING DEPURATION SYSTEM

UMAPORN KAEWMANEE: REDUCTION OF PATHOGENIC BACTERIA AND HEAVY METAL IN OYSTERS (*Saccostrea cucullata*) BY RE-CIRCULATING DEPURATION SYSTEM. ADVISORY COMMITEE: SUWANNA PANUTRAKUL, D.Sc., SIRICHOM THUNGKAO, Ph.D. 96 P. 2012.

Rock oyster (*Saccostrea cucullata*) culture in coastal area which possibly accumulates of pathogenic bacteria and heavy metal where contaminated in coastal water and accumulated until unsafely level. For safety consumption, oyster has to purify with depuration system to acceptable levels. The advantage of re-circulating depuration system uses less seawater compared to open depuration system, but it probably recontamination caused of particulate material released by oysters. This experiment was attempted to develop an efficiency of small re-circulating depuration system for pathogenic bacteria and heavy metal reduction in rock oyster; which, clean process for particulate material released by rock oyster. The numbers of 350 rock oysters were contained in depuration tank with 700 liters, 25 ppt. seawater. These studies showed the process which cleans for released the particulate material was effective to significantly increase ($p<.05$) of *Vibrio cholerae* reduction efficiency. *Vibrio parahaemolyticus* are negative correlated with increasing time when it was in depuration system. From the result, showed the efficiency of pathogenic bacteria reduction cleaning process in re-circulating depuration system was higher than without cleaning process. However, the depuration system in this study is not able to reduce heavy metals from oysters' tissue. For further study suggestion, to reduce the pathogenic bacteria and heavy metal accumulated in rock oyster can improve by decreasing of water temperature and oyster density.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

สารบัญ..... ฉ

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ญ

บทที่

1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย..... 3

1.3 สมมุติฐานของการวิจัย..... 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4

1.5 ขอบเขตของการวิจัย..... 4

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5

2.1 ชีววิทยาของหอยนางรม..... 5

2.2 โลหะหนัก..... 6

2.3 แบคทีเรีย *V. cholerae* และ *V. parahaemolyticus* 9

2.4 การปนเปื้อนโลหะหนักและเชื้อแบคทีเรียในแหล่งน้ำ..... 12

2.5 การสะสมแบคทีเรียและโลหะหนักในหอยนางรม..... 13

2.6 ปัญหาจากการบริโภคหอยนางรมสด..... 17

2.7 Depuration..... 18

2.8 คลื่นรังสีอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet Radiation : UV)..... 21

2.9 การดูดซับโลหะหนักจากมวลน้ำ (Adsorption) ของตัวดูดซับ..... 23

2.10 วัสดุที่ใช้ในการดูดซับโลหะหนัก..... 24

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	28
	3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี.....	28
	3.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหลอดอัลตราไวโอเลตในการลดเชื้อแบคทีเรียที่เติมลงในมวลน้ำที่อัตราการไหลของน้ำ 3 และ 6 ลิตรต่อนาที.....	30
	3.3 การทดสอบผลของระบบกรองต่อประสิทธิภาพของหลอดอัลตราไวโอเลตในการลดเชื้อแบคทีเรียที่เติมลงในมวลน้ำ.....	33
	3.4 การทดสอบระบบ Depuration ในการลดการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียก่อโรคและโลหะหนักในหอยนางรมปากจีบ.....	34
	3.5 การปรับปรุงระบบ โดยทำการจัดการกับตะกอนที่เกิดขึ้นจากการที่หอยคายออกมา.....	36
	3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	37
	3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	38
	3.7 การตรวจสอบความถูกต้องของเทคนิคการวิเคราะห์โลหะหนัก.....	39
4	ผลการทดลอง.....	40
	4.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหลอดอัลตราไวโอเลตในการลดเชื้อแบคทีเรียที่เติมลงในมวลน้ำที่อัตราการไหลของน้ำ 3 และ 6 ลิตรต่อนาที.....	41
	4.2 การทดสอบผลของระบบกรองต่อประสิทธิภาพของหลอดอัลตราไวโอเลตในการลดเชื้อแบคทีเรียที่เติมลงในมวลน้ำ.....	48
	4.3 การทดสอบระบบ Depuration ในการลดการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียก่อโรคและโลหะหนักในหอยนางรมปากจีบ.....	54
	4.4 การปรับปรุงระบบ โดยทำการจัดการกับตะกอนที่เกิดขึ้นจากการที่หอยคายออกมา.....	61

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
5	อภิปรายและสรุปผล.....	77
	5.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหลอดอัลตราไวโอเลตในการลดเชื้อแบคทีเรียที่เติมลงในมวลน้ำที่อัตราการไหลของน้ำ 3 และ 6 ลิตรต่อนาที.....	77
	5.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหลอดอัลตราไวโอเลตในการลดเชื้อแบคทีเรียที่เติมลงในมวลน้ำในระบบที่ไม่มีระบบกรองโลหะหนักกับระบบที่มีระบบกรองโลหะหนัก.....	78
	5.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียและโลหะหนักในหอยนางรมปากจีบของระบบ Depuration ที่ไม่มีการจัดการกับตะกอนกับระบบ Depuration ที่มีการจัดการกับตะกอนที่หอยคายออกมา	79
	5.4 สรุปผลการทดลอง.....	82
	5.5 ข้อเสนอแนะ.....	83
รายการอ้างอิง.....		84
ภาคผนวก.....		91
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....		96

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	คุณสมบัติทางชีวเคมีที่ในการจำแนกเชื้อแบคทีเรียกลุ่มวิบริโอก่อโรคในคนที่พบในอาหารทะเล.....	11
2-2	การสะสมเชื้อแบคทีเรียในหอยทะเลจากแหล่งต่าง ๆ (โคโลนีต่อกรัม).....	15
2-3	การสะสมโลหะหนักในหอยทะเลจากแหล่งต่าง ๆ (ไมโครกรัมต่อกรัม).....	16
2-4	ประเทศที่มีการทำระบบ Depuration.....	20
3-1	% Recovery ของสารมาตรฐาน DORM-3.....	39
4-1	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ปริมาณแบคทีเรียในมวลน้ำที่อัตราการไหลของน้ำ 3 และ 6 ลิตรต่อนาที และระบบที่มีระบบกรองโลหะหนัก.....	47
4-2	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงแบคทีเรียในมวลน้ำ (ส่วนที่ 1) ประกอบไปด้วย 2 ปัจจัย คือ อัตราการไหลของน้ำ (2) และเวลาที่ทำการศึกษา (10).....	48
4-3	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงแบคทีเรียในมวลน้ำ (ส่วนที่ 2) ประกอบไปด้วย 2 ปัจจัย คือ ระบบ (2) และเวลาที่ทำการศึกษา (10).....	53
4-4	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ปริมาณแบคทีเรียในหอยนางรมปากจีบของระบบที่ไม่มีการจัดการกับตะกอนกับระบบที่มีการจัดการกับตะกอน.....	65
4-5	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของร้อยละการเปลี่ยนแปลงเชื้อแบคทีเรียในหอยนางรมปากจีบ ประกอบไปด้วย 2 ปัจจัย คือ ระบบ (2) และเวลาที่ทำการศึกษา (8).....	65
4-6	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของปริมาณโลหะหนักในหอยนางรมปากจีบในระบบที่ไม่มีการจัดการกับตะกอนกับระบบที่มีการจัดการกับตะกอน.....	76
4-7	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของร้อยละการเปลี่ยนแปลงโลหะหนักในหอยนางรมปากจีบ (ขั้นตอนที่ 3 และ 4) ประกอบไปด้วย 2 ปัจจัย คือ ระบบ (2) และเวลาที่ทำการศึกษา (8).....	76

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	หอยนางรมปากจีบ (*Saccostrea cucullata*).....	5
2-2	โครงสร้างภายในของหอยนางรม.....	6
2-3	Electromagnetic Spectrum.....	21
2-4	การดูดซับ (ใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับ).....	24
2-5	รูปและลักษณะพื้นผิวของ Activated Carbon.....	25
2-6	รูปและลักษณะพื้นผิวของ Zeolite.....	26
3-1	ระบบการทดสอบประสิทธิภาพของหลอดอัลตราไวโอเลตในการลดการปนเปื้อนแบคทีเรียที่เติมลงในมวลน้ำ (ขั้นตอนที่ 1).....	30
3-2	ลักษณะโคโลนี *V. cholerae* (โคโลนีสีเหลือง) และ *V. parahaemolyticus* (โคโลนีสีเขียว)ที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ TCBS (ก) และโคโลนี *E. coli* ที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Coli ID (ข).....	32
3-3	ระบบ Depuration ที่ใช้ในขั้นตอนที่ 2, 3 และ 4.....	33
4-1	ปริมาณ *E. coli* ในมวลน้ำในรูปของ log ที่อัตราการไหลของน้ำ 3 และ 6 ลิตรต่อนาที.....	42
4-2	ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงปริมาณ *E. coli* ในมวลน้ำเทียบกับปริมาณเริ่มต้นที่อัตราการไหลของน้ำ 3 และ6 ลิตรต่อนาที.....	43
4-3	ปริมาณ *V. cholerae* ในรูปของ log ในมวลน้ำที่อัตราการไหลของน้ำ3 และ 6 ลิตรต่อนาที.....	44
4-4	ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงปริมาณ *V. cholerae* ในมวลน้ำเทียบกับปริมาณเริ่มต้นที่อัตราการไหลของน้ำ 3 และ6 ลิตรต่อนาที.....	45
4-5	ปริมาณ *V. parahaemolyticus* ในรูปของ log ในมวลน้ำที่อัตราการไหลของน้ำ 3 และ 6 ลิตรต่อนาที.....	46
4-6	ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงปริมาณ *V. parahaemolyticus* ในมวลน้ำเทียบกับปริมาณเริ่มต้นที่อัตราการไหลของน้ำ 3 และ6 ลิตรต่อนาที.....	47
4-7	ปริมาณ *E. coli* ในรูปของ log ในมวลน้ำของระบบที่ไม่มีระบบกรองโลหะหนักและระบบที่มีระบบกรองโลหะหนัก.....	49
4-8	ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงปริมาณ *E. coli* ในมวลน้ำของระบบที่ไม่มีระบบกรองโลหะหนักและระบบที่มีระบบกรองโลหะหนัก.....	50

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-9 ปริมาณ *V. cholerae* ในรูปของ log ในมวลน้ำของระบบที่ไม่มีระบบกรองโลหะหนักและระบบที่มีระบบกรองโลหะหนัก..... 50

4-10 ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงปริมาณ *V. cholerae* ในมวลน้ำของระบบที่ไม่มีระบบกรองโลหะหนักและระบบที่มีระบบกรองโลหะหนัก..... 51

4-11 ปริมาณ *V. parahaemolyticus* ในรูปของ log ในมวลน้ำของระบบที่ไม่มีระบบกรองโลหะหนักและระบบที่มีระบบกรองโลหะหนัก..... 52

4-12 ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงปริมาณเชื้อ *V. parahaemolyticus* ในมวลน้ำของระบบที่ไม่มีระบบกรองโลหะหนักและระบบที่มีระบบกรองโลหะหนัก..... 53

4-13 ปริมาณ *V. cholerae* ในรูปของ log ในหอยนางรมปากจีบของระบบที่ไม่มีการจัดการกับตะกอน..... 55

4-14 ปริมาณ *V. parahaemolyticus* ในรูปของ log ในหอยนางรมปากจีบของระบบที่ไม่มีการจัดการกับตะกอน..... 56

4-15 ปริมาณปรอทในหอยนางรมปากจีบของระบบที่ไม่มีการจัดการกับตะกอน..... 57

4-16 ปริมาณแคดเมียมในหอยนางรมปากจีบของระบบที่ไม่มีการจัดการกับตะกอน..... 57

4-17 ปริมาณตะกั่วในหอยนางรมปากจีบของระบบที่ไม่มีการจัดการกับตะกอน..... 58

4-18 ปริมาณทองแดงในหอยนางรมปากจีบของระบบที่ไม่มีการจัดการกับตะกอน..... 59

4-19 ปริมาณเหล็กในหอยนางรมปากจีบของระบบที่ไม่มีการจัดการกับตะกอน..... 60

4-20 ปริมาณสังกะสีในหอยนางรมปากจีบของระบบที่ไม่มีการจัดการกับตะกอน..... 60

4-21 ปริมาณ *V. cholerae* ในรูปของ log ในหอยนางรมปากจีบของระบบที่ไม่มีการจัดการกับตะกอนและระบบที่มีการจัดการกับตะกอน..... 62

4-22 ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงปริมาณ *V. cholerae* ในหอยนางรมปากจีบของระบบที่ไม่มีการจัดการกับตะกอนและระบบที่มีการจัดการกับตะกอน..... 63

4-23 ปริมาณเชื้อ *V. parahaemolyticus* ในรูปของ log ในหอยนางรมปากจีบของระบบที่ไม่มีการจัดการกับตะกอนและระบบที่มีการจัดการกับตะกอน..... 64

4-24 ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงปริมาณ *V. parahaemolyticus* ในหอยนางรมปากจีบของระบบที่ไม่มีการจัดการกับตะกอนและระบบที่มีการจัดการกับตะกอน..... 65

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-25 ปริมาณปรอทในหอยนางรมปากจีบของระบบที่ไม่มีการจัดการกับตะกอนและระบบที่มีการจัดการกับตะกอน..... 66

4-26 ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงปริมาณปรอทในหอยนางรมปากจีบของระบบที่ไม่มีการจัดการกับตะกอนและระบบที่มีการจัดการกับตะกอน..... 67

4-27 ปริมาณแคดเมียมในหอยนางรมปากจีบของระบบที่ไม่มีการจัดการกับตะกอนและระบบที่มีการจัดการกับตะกอน..... 68

4-28 ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงปริมาณแคดเมียมในหอยนางรมปากจีบของระบบที่ไม่มีการจัดการกับตะกอนและระบบที่มีการจัดการกับตะกอน..... 69

4-29 ปริมาณตะกั่วในหอยนางรมปากจีบของระบบที่ไม่มีการจัดการกับตะกอนและระบบที่มีการจัดการกับตะกอน..... 70

4-30 ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงปริมาณตะกั่วในหอยนางรมปากจีบของระบบที่ไม่มีการจัดการกับตะกอนและระบบที่มีการจัดการกับตะกอน..... 71

4-31 ปริมาณทองแดงในหอยนางรมปากจีบของระบบที่ไม่มีการจัดการกับตะกอนและระบบที่มีการจัดการกับตะกอน..... 72

4-32 ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงปริมาณทองแดงในหอยนางรมปากจีบของระบบที่ไม่มีการจัดการกับตะกอนและระบบที่มีการจัดการกับตะกอน..... 73

4-33 ปริมาณเหล็กในหอยนางรมปากจีบของระบบที่ไม่มีการจัดการกับตะกอนและระบบที่มีการจัดการกับตะกอน..... 73

4-34 ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงปริมาณเหล็กในหอยนางรมปากจีบของระบบที่ไม่มีการจัดการกับตะกอนและระบบที่มีการจัดการกับตะกอน..... 74

4-35 ปริมาณสังกะสีในหอยนางรมปากจีบของระบบที่ไม่มีการจัดการกับตะกอนและระบบที่มีการจัดการกับตะกอน..... 75

4-36 ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงปริมาณสังกะสีในหอยนางรมปากจีบของระบบที่ไม่มีการจัดการกับตะกอนและระบบที่มีการจัดการกับตะกอน..... 76