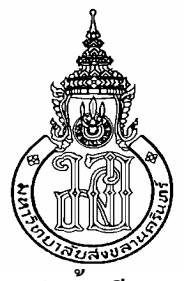


การประเมินประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่โดยใช้ปริมาณจุลินทรีย์บ่งชี้

Assessment of Treatment Efficiency in Wastewater Treatment Plant of Hat-Yai Municipality by Quantitative Removal of Microbial Indicators

กรรฐศรน์ แดงตะโก

Kanthasorn Dangtago

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Environmental Management
Prince of Songkla University
2551

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การประเมินประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่โดยใช้ปริมาณจุลินทรีย์บ่งชี้

ผู้เขียน นางกรรฐศรน์ แดงตะโก

สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	**คณะกรรมการสอบ**
……..……..	… ..…….……..……ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงพร คันธโชติ)	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุกูล อินทระสังขา)
	……..……..กรรมการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนาลี ชีวกิดาการ)
……..……	..……..กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เจิดจรรย์ ศิริวงศ์)	(รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงพร คันธโชติ)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

……

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การประเมินประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่โดยใช้ปริมาณจุลินทรีย์บ่งชี้

ผู้เขียน นางกรรฐศรน์ แดงตะโก

สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

การประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่ซึ่งใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) และบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland) ร่วมกันมีพื้นที่ประมาณ 2,040 ไร่ มีความสามารถในการรองรับน้ำเสีย ประมาณ 40,000 m^3/d โดยพิจารณาจากการลดปริมาณแบคทีเรียบ่งชี้ได้แก่ โคลิฟอร์มทั้งหมด (Total coliforms) ฟีคัลโคลิฟอร์ม (Fecal coliforms) อีโคไล (*Escherichia coli)* และฟีคัลสเตรปโตคอคไค (Fecal Streptococci) และศึกษาชนิดของสาหร่าย ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียตั้งแต่เดือนกรกฎาคม – ตุลาคม 2549 จำนวน 10 ครั้งทุกๆ 10 วันโดยน้ำเสียที่มีการเดินในระบบ 7 บ่อ ได้แก่ บ่อไร้อากาศ หรือ บ่อบำบัดเบื้องต้น (Primary Pond: P) บ่อหมัก (Facultative Pond: F) บ่อบ่ม (Maturation Pond: M) บึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland) จำนวน 3 บ่อ (W1,W2,W3) และบ่อเก็บน้ำผ่านการบำบัดก่อนปล่อยสู่คลองขุด (Effluent Storage Pond : S)

พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียของบ่อต่างๆทั้งระบบก่อนปล่อยน้ำออกมีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อโคลิฟอร์มทั้งหมด ฟีคัลโคลิฟอร์ม อีโคไล และฟีคัลสเตรปโตคอคไค ได้สูงถึง 99.8% 99.8% 75.8% และ 98.8% ตามลำดับ สำหรับค่าโคลิฟอร์มทั้งหมดมีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับปานกลางกับค่าฟีคัลโคลิฟอร์มและฟีคัลสเตรปโตคอคไค ($r = 0.614$, $p < 0.01$; $r = 0.642$, $p < 0.01$) ค่าโคลิฟอร์มทั้งหมดมีความสัมพันธ์เชิงผกผันในระดับต่ำกับค่าความเข้มแสงและค่าออกซิเจนละลายน้ำ ($r = - 0.23$, $p < 0.05$; $r = - 0.247$, $p < 0.05$) ขณะที่ฟีคัลโคลิฟอร์มมีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับปานกลางกับค่าอีโคไลและฟีคัลสเตรปโตคอคไค ($r = 0.582$, $p < 0.05$, $r = 0.571$, $p < 0.01$) แต่ค่าฟีคัลโคลิฟอร์มมีความสัมพันธ์เชิงผกผันกับค่าออกซิเจนละลายน้ำ ($r = - 0.344$, $p < 0.01$) และสำหรับค่าฟีคัลสเตรปโตคอคไค มีความสัมพันธ์เชิงผกผันกับค่าความเข้มแสงและกับค่าออกซิเจนละลายน้ำ ($r = - 0.246$, $p < 0.05$); $r = - 0.283$ $p < 0.05$) และพบว่าในบ่อพักน้ำ (S) มีปริมาณเชื้อก่อนปล่อยดังนี้ เชื้อโคลิฟอร์มทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 240-1,600 MPN/100 ml ค่าเฉลี่ย 704 ± 509 MPN/100 ml เชื้อฟีโคลิฟอร์มมีค่าอยู่ในช่วง

8-350 MPN/100 ml ค่าเฉลี่ย 116 ± 117 MPN/100 ml เชื้ออีโคไลอยู่ในช่วง 2-350 MPN/100 ml ค่าเฉลี่ย 74 ± 110 MPN/100 ml และเชื้อฟีคัลสเตรปโตคอคไคอยู่ในช่วง 79-540 MPN/100 ml ค่าเฉลี่ย 232 ± 142 MPN/100 ml

จากการวิเคราะห์ทางสถิติแบบ Two-Factorial Design พบว่าประเภทของบ่อบำบัดน้ำเสียมีผลต่ออุณหภูมิ ออกซิเจนละลายน้ำและ ค่าความเป็นกรด-ด่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ขณะที่ช่วงเวลามีผลต่ออุณหภูมิ และความเข้มแสง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) นอกจากนี้ประเภทของบ่อบำบัดน้ำเสียและประเภทของเชื้อแบคทีเรียบ่งชี้มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อแบคทีเรียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) สำหรับความสัมพันธ์ของปัจจัยทางเคมี-กายภาพพบว่าอุณหภูมิมีความสัมพันธ์กับค่าออกซิเจนละลายน้ำและมีความสัมพันธ์ระดับต่ำกับค่าความเป็นกรด-ด่าง ($r = 0.465$, $p < 0.01$, $r = 0.362$, $p < 0.01$) คลอโรฟิลล์ เอ มีความสัมพันธ์ระดับปานกลางกับค่าความเป็นกรด-ด่าง ($r = 0.525$, $p < 0.01$) และค่าออกซิเจนละลายน้ำมีความสัมพันธ์ระดับปานกลางกับค่าความเป็นกรด-ด่าง ($r = 0.493$, $p < 0.01$)

การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ พบว่าบ่อหมัก (F) มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เฉลี่ยสูงสุดคือ 321 µg/l และสำหรับชนิดของสาหร่ายพบว่าทั้งระบบพบ 5 ดิวิชั่นได้แก่ Cyanophyta Chlorophyta Bacilariophyta Euglenophyta และ Pyrrhophyta สาหร่ายที่พบในบ่อไร้อากาศ (P) เท่านั้นได้แก่ *Euglena* ซึ่งเป็นดัชนีบ่งชี้น้ำสกปรกและบ่อนี้พบชนิดของสาหร่ายน้อยที่สุดเพียง 15 ชนิด ส่วนสาหร่ายที่พบได้ในบ่อพักน้ำ (S) เท่านั้น ซึ่งเป็นบ่อสุดท้ายรอปล่อยน้ำออก ได้แก่ *Perediopsis* และยังพบ *Pediastrum* ซึ่งเป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำดี และบ่อนี้มีชนิดของสาหร่ายมากที่สุดรวม 24 ชนิด

Thesis Title	Assessment of Treatment Efficiency in Wastewater Treatment Plant of Hat –Yai Municipality by Quantitative Removal of Microbial Indicators
Author	Mrs. Kanthasorn Dangtago
Major Program	Environmental Management
Academic Year	2007

Abstract

Treatment efficiency in a wastewater treatment plant of Hat-Yai municipality through stabilization ponds and constructed wetlands, was assessed by using bacterial indicators (total coliforms:TC, fecal coliforms: FC, *Escherichia coli* and fecal streptcocci: FS) and algal indicators. The wastewater treatment plant has an approximate area of 2,040 rai and its loading capacity is about 40,000 m^3/ day. During July-October, 2006, the wastewater samples were collected every 10 days for 10 times from 7 ponds. The ponds in a sequence of the wastewater treatment plant are as follows: primary or anaerobic pond (P), facultative pond (F), maturation pond (M), constructed wetlands (W1, W2 and W3) and treated wastewater pond or effluent storage pond (S).

It was found that the wastewater treatment plant had efficiency to remove TC, FC,*E. coli* and FS as follows: 99.8%, 99.8%, 75.8% and 98.8%, respectively. TC had a positive middle level correlation with FC and FS ($r = 0.614$, $p < 0.01$; $r = 0.642$, $p < 0.01$). In contrast, TC had a negative low level correlation with light intensity and dissolved oxygen (DO) ($r = - 0.23$, $p < 0.05$; $r = - 0.247$, $p < 0.05$). FC were closely correlated with *E. coli* and FS ($r = 0.582$ $p < 0.05$; $r = 0.571$, $p < 0.01$), but the FC were inversely low correlated with DO ($r = - 0.344$, $p < 0.01$). Whilst FS had a negative correlation with light intensity and also DO ($r = - 0.246$, $p < 0.05$; $r = - 0.283$, $p < 0.05$). Levels of bacterial indicator (range, mean and standard deviation) in the effluent storage pond before discharge were as following; TC: 240-1,600 MPN/100ml (704 ± 509 MPN/100ml), FC: 8-350 MPN/100ml (116 ± 117 MPN/100ml), *E. coli* : 2-350 MPN/100ml (74 ± 110 MPN/100ml) and FS: 79-540 MPN/100ml (232 ± 142 MPN/100 ml).

Statistical analysis using Two-Factorial Design indicates that pond types significantly affected temperature, DO and pH ($p < 0.05$), whereas time period affected

temperature and light intensity significantly ($p < 0.05$). Not only types of pond but types of bacterial indicator also had significant effect on removal percentages of bacteria ($p < 0.05$). The correlations amongst the physico-chemical properties of water column in the wastewater treatment plant, temperature had positive correlations in a middle level with DO and a low level with pH ($r = 0.465$, $p < 0.01$; $r = 0.362$, $p < 0.01$). Whilst chlorophyll *a* had a positive middle level correlation with pH ($r = 0.525$, $p < 0.01$) and the pH also had a positive correlation with DO ($r = 0.493$, $p < 0.01$).

The highest percentage of chlorophyll *a* as 321 µg/l was found in facultative pond. There were 5 divisions of algal and cyanobacteria detections in the wastewater system plant as follows: Cyanophyta, Chlorophyta, Bacilariophyta, Euglenophyta, and Pyrrhophyta. The least diversity of algae was found in anaerobic pond as there were only 15 genera. Besides *Euglena* as an indicator of dirty water was only detected in this pond. The highest diversity was found in the effluent storage pond (S) with 24 genera and *Perediopsis* was only detected in this pond. In addition, *Pediastrum*- an indicator of clean water- was also detected in this pond.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลงได้ด้วยดีด้วยความเมตตากรุณาอย่างสูงที่ให้คำปรึกษาพร้อมทั้งแนะแนวทางและตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องตลอดจนติดตามความก้าวหน้าอยู่เสมอ จากอาจารย์ที่ปรึกษาคือ รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงพร คันธโชติ และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมคือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์เจิดจรรย์ ศิริวงศ์ ณ โอกาสนี้ ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุกูล อินทระสังขา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนาลี ชีวกิดาการ ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆในวิทยานิพนธ์ทำให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณคณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์และนักวิทยาศาสตร์ คุณวราศรี พรหมหอม คุณพัณณ์ชิตา ทัพพ์วรางค์กูร และ คุณปิยะนุช ฝ้ายทองที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณภาควิชาจุลชีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ที่ให้ความสะดวกในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวิทยาศาสตร์ และน้องๆภาควิชาจุลชีวิทยาทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือด้วยดี

ขอขอบคุณเทศบาลนครหาดใหญ่ที่อำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่าง ขอขอบคุณ คุณสมพร เหมืองทอง เจ้าหน้าที่ที่ให้ข้อมูล และแนะนำสถานที่เก็บน้ำเสีย ณ จุดต่างๆ

ขอขอบคุณ คุณจันทร์ทรงกลด ข่ายม่าน คุณยศวริศ เขตอนันต์ คุณจรรภพ กาลพันธุ์ คุณกฤษณะ สังฆโต ในการช่วยเหลือเก็บตัวอย่างน้ำเสีย คุณธนวรรณ บุญมณี ที่ช่วยเหลือแนะนำในเรื่องการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ คุณพรจรัส สุทธินันท์ คุณจันทิมา วิริยะนันทวงศ์ คุณอโนทัย ชูสุวรรณ และน้องๆ อีกหลายคนในคณะการจัดการสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่คอยช่วยเหลือในการเขียนวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คุณรังสรรค์ เมตตามตะกุล (สามี) ที่ส่งเสริมการเรียนคอยให้กำลังใจพร้อมสนับสนุนอุปกรณ์ทางเทคโนโลยีในการทำวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งลูก ๆ เด็กชาย อชิระ เมตตามตะกุล ที่คอยพิมพ์ข้อมูลต่างๆ เด็กชาย พนธกร เมตตามตะกุล ที่ช่วยในการล้างเครื่องแก้วอุปกรณ์การทดลอง เด็กชาย ณพรรษชน เมตตามตะกุล คุณพ่อ และพี่ที่คอยช่วยเหลือให้กำลังใจทำให้มีพลังต่อสู้ปัญหาอุปสรรคต่างๆ ในระหว่างการทำงานวิจัย

กรรฐศรน์ แดงตะโก

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(10)
รายการภาพประกอบ	(11)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 การตรวจเอกสาร	3
1.3 วัตถุประสงค์	23
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	23
2. วิธีการวิจัย	
2.1 วัสดุและอุปกรณ์	24
2.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย	26
2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล	30
3. ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย	
3.1.ข้อมูลลักษณะทั่วไปของระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่	31
3.2. ผลการศึกษาคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่	32
3.3 ผลการศึกษาข้อมูลสาหร่ายของระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนคหาดใหญ่	52
3.4.ผลการศึกษาปริมาณแบคทีเรียบ่งชี้ของระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่	65
3.5. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดแบคทีเรียบ่งชี้ของระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่	74
3.6. ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	79
4. บทสรุป และข้อเสนอแนะ	
4.1 บทสรุป	82
4.2 ข้อเสนอแนะ	83

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม	84
ภาคผนวก	88
ภาคผนวก ก การตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางจุลชีวิทยา	89
ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์ปริมาณ Chlorophyll *a*	98
ภาคผนวก ค ตารางบันทึกผลการทดลอง	101
ภาคผนวก ง การคำนวณค่า Hydraulic Retention Time (HRT)	130
ภาคผนวก จ การวิเคราะห์ผลทางสถิติ	131
ประวัติผู้เขียน	140

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
1	เปรียบทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของพืชต่างๆในระบบบึงประดิษฐ์	14
2	ตัวอย่างของสาหร่ายสกุลต่างๆที่พบในบ่อปรับเสถียรบำบัดน้ำเสียประเภทน้ำเสียชุมชน	22
3	ค่า Hydrolic Retention Time (HRT) ของแต่ละบ่อบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่	31
4	สาหร่ายที่พบในแต่ละบ่อของบ่อบำบัดน้ำเสีย จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้ง	63
5	ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนฟีคัลโคลิฟอร์มต่อฟีคัลสเตรปโตคอคไคในระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่	73
6	ความสัมพันธ์ของทุกบ่อกับพารามิเตอร์ต่างๆที่ช่วงเวลา 9.30-11.30 น.	81

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
1	แสดงพื้นที่ก่อสร้างระบบรวบรวมและบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่	9
2	ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ เทศบาลนครหาดใหญ่	12
3	กลไกในการกำจัดฟีคัลแบคทีเรีย	19
4	แผนผังระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่ซึ่งใช้ระบบบ่อปรับเสถียรร่วมกับบึงประดิษฐ์	28
5	แผนผังการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางจุลชีววิทยา และทางเคมี –กายภาพ ใช้ตามวิธีของ APHA AWWA&WEF (1998)ศึกษาชนิดของสาหร่ายตาม Bold and Wynne (1985)	29
6	อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำแต่ละบ่อช่วงเวลา 9.30-11.30 น.จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้งของระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่	32
7	อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำแต่ละบ่อช่วงเวลา 12.00-13.55 น.จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้งของระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่	33
8	อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำแต่ละบ่อช่วงเวลา 14.00-15.55 น.จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้งของระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่	34
9	อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำแต่ละบ่อช่วงเวลา 16.00-17.55 น.จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้งของระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่	35
10	ปริมาณความเข้มแสงเฉลี่ยของแต่ละบ่อช่วงเวลา 9.30-11.30 น. จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้งของระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่	37
11	ปริมาณความเข้มแสงเฉลี่ยของแต่ละบ่อช่วงเวลา 12.00-13.55 น. จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้งของระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่	38
12	ปริมาณความเข้มแสงเฉลี่ยของแต่ละบ่อในช่วงเวลา 14.00-15.55 น.จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้งของระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่	39

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
13	ปริมาณความเข้มแสงเฉลี่ยของแต่ละบ่อในช่วงเวลา 16.00-17.55 น.จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้งของระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่	40
14	ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยของแต่ละบ่อช่วงเวลา 9.30-11.30 น. จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้งของระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่	42
15	ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยของแต่ละบ่อช่วงเวลา 12.00-13.55 น. ต่างๆกันจากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้งของระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่	43
16	ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยของแต่ละบ่อช่วงเวลา 14.00-15.55 น. ต่างๆกันจากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้ง ของระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่	44
17	ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยของแต่ละบ่อบำบัดน้ำเสียในช่วงเวลา 16.00-17.55 น.จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้งของระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่	45
18	ความเป็นกรด-ด่าง เฉลี่ยของแต่ละบ่อช่วงเวลา 9.30 -11.30 น.จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้งของระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่	47
19	ความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ย ของแต่ละบ่อช่วงเวลา 12.00-13.55 น.จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้ง ของระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่	48
20	ความเป็นกรด-ด่าง เฉลี่ยของแต่ละบ่อช่วงเวลา 14.00-15.55 น.จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้งของระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่	49
21	ความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ย ของแต่ละบ่อช่วงเวลา 16.00-17.55 น.จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้งของระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่	50
22	ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เฉลี่ยของแต่ละบ่อจากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้ง	53
23	สาหร่ายที่พบได้ในทุกบ่อบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้ง (กำลังขยาย 40X)	56
24	สาหร่ายที่พบในบ่อไร้อากาศ (P) เท่านั้น	57

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
25	สาหร่ายที่พบในบ่อหมัก (F) เท่านั้น	57
26	สาหร่ายที่พบในบ่อบ่ม (M) เท่านั้น	57
27	สาหร่ายที่พบในบึงประดิษฐ์ (W1) เท่านั้น	58
28	สาหร่ายที่พบในบึงประดิษฐ์ (W2) เท่านั้น	58
29	สาหร่ายที่พบในบ่อ (S) เท่านั้น	58
30	สาหร่ายที่พบได้ปะปนกันไปในบ่อต่างๆจากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้ง	59
31	ค่าเฉลี่ยปริมาณเชื้อโคลิฟอร์มทั้งหมดของน้ำเข้า-น้ำออก ของแต่ละบ่อ ในระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่ ก บ่อไร้อากาศ (P) และบ่อหมัก (F) ข บ่อบ่ม (M)บึงประดิษฐ์ และบ่อพักน้ำ	66
32	ค่าเฉลี่ยปริมาณเชื้อฟีคัลโคลิฟอร์ม ของน้ำเข้า-น้ำออก ของแต่ละบ่อ ในระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่ ก บ่อไร้อากาศ (P) และบ่อหมัก (F) ข บ่อบ่ม (M)บึงประดิษฐ์ และบ่อพักน้ำ	68
33	ค่าเฉลี่ยปริมาณเชื้ออีโคไล ของน้ำเข้า-น้ำออก ของแต่ละบ่อ ในระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่ ก บ่อไร้อากาศ (P) และบ่อหมัก (F) ข บ่อบ่ม (M)บึงประดิษฐ์ และบ่อพักน้ำ	70
34	ค่าเฉลี่ยปริมาณเชื้อฟีคัลสเตรปโตคอคไค ของน้ำเข้า-น้ำออก ของแต่ละบ่อ ในระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่ ก บ่อไร้อากาศ (P) และบ่อหมัก (F) ข บ่อบ่ม (M)บึงประดิษฐ์ และบ่อพักน้ำ	72
35	ประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อแบคทีเรียบ่งชี้ต่างๆในแต่ละบ่อของระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้ง	77

บทที่ 1
บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

มนุษย์จำเป็นต้องใช้น้ำปริมาณมากเพื่อการอุปโภค และบริโภครวมถึงการใช้ในอุตสาหกรรมจึงก่อให้เกิดน้ำเสียขึ้น หากปล่อยน้ำเสียสู่ธรรมชาติไม่ว่าจะเป็นแหล่งน้ำหรือพื้นดินโดยไม่ผ่านการบำบัดย่อมก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในทางลบได้ การบำบัดน้ำเสียมีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดสารอาหารในน้ำเสียให้อยู่ในระดับที่ธรรมชาติฟอกตัวได้ หากในน้ำเสียมีธาตุอาหารมากสิ่งที่สังเกตได้คือ การเกิดการเบ่งบานของสาหร่าย (Algal bloom) และการบำบัดน้ำเสียยังมีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดเชื้อโรค ซึ่งโดยปกติสามารถตรวจสอบได้โดยทางอ้อม คือการใช้แบคทีเรียบ่งชี้ (Indicator Bacteria) เช่นโคลิฟอร์มทั้งหมด ฟีคัลโคลิฟอร์ม อีโคไล และฟีคัลสเตรปโตคอคไค เพื่อตรวจวิเคราะห์ถึงการปนเปื้อนของอุจจาระซึ่งอาจเป็นแหล่งของจุลินทรีย์ก่อโรคที่ปนมากับน้ำได้ ถ้าตรวจพบก็แสดงว่าแหล่งน้ำนั้นอาจจะไม่ปลอดภัย ส่งผลต่อปัญหาโรคระบบทางเดินอาหารของมนุษย์และสัตว์เลี้ยง โคลิฟอร์มหมายถึงแบคทีเรียกลุ่มหนึ่งที่ประกอบด้วย 4 จีนัสในแฟมิลี Enterobacteriaceae ได้แก่ *Citrobacter Enterobacter Escherichia* และ *Klebsiella* โดย อีโคไล ถูกใช้เป็นดัชนีบ่งชี้การปนเปื้อนของอุจจาระเนื่องจากมีโอกาสพบได้สูงและพบเสมอในอุจจาระ ฟีคัลโคลิฟอร์มคือโคลิฟอร์มที่มีแหล่งที่มาจากอุจจาระ การทดสอบฟีคัลโคลิฟอร์มมุ่งที่จะทดสอบอีโคไลเป็นสำคัญด้วยเหตุผลที่กล่าวมาแล้ว (APHA,AWWA and WEF 1998) จากการติดตามการระบาดของโรคพบว่าโรคอุจจาระร่วงจัดอยู่ในอันดับแรก และมีรายงานของกองระบาดวิทยาและควบคุมโรค สำนักงานสาธารณะสุขจังหวัดสงขลาในช่วงปี พ.ศ. 2549 พบว่าโรคอุจจาระร่วงยังคงเป็นอันดับ 1 โดยพบจำนวนผู้ป่วย 26,462 คน ซึ่งก่อให้เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจทั้งต่อตัวบุคคลและภาครัฐด้วย ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง จึงเป็นสิ่งจำเป็นก่อนระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม

เทศบาลนครหาดใหญ่เป็นศูนย์กลางความเจริญทางด้านสังคม เศรษฐกิจของภาคใต้ มีประชากรสูงถึง 355,633 คน ความหนาแน่นของประชากร 465 คน/ตร.กม.(ศูนย์สารสนเทศเพื่อการบริหารและพัฒนางานปกครอง, 2549) จึงมีระบบบำบัดน้ำเสียรวม แบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) ร่วมกับการใช้บึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland) ระบบนี้เป็นที่นิยมใช้กันมากเพราะไม่ต้องพึ่งพาเทคโนโลยีขั้นสูง ไม่สิ้นเปลืองพลังงาน และเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียต่ำโดยอาศัยหลักการทำงานของธรรมชาติช่วยในการบำบัดสภาพน้ำเสียให้มีคุณภาพดีขึ้น น้ำเสียจากเทศบาลนครหาดใหญ่เมื่อบำบัดแล้วจะปล่อยลงสู่ทะเลสาบสงขลาซึ่งเป็นแหล่ง

ทรัพยากรน้ำที่สำคัญ ดังนั้นการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำทางจุลชีววิทยาโดยติดตามแบคทีเรียบ่งชี้ ในระบบบำบัดน้ำเสียจนถึงจุดที่ปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจึงเป็นเรื่องที่จำเป็น ซึ่งข้อมูลจากการศึกษาจะทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อโรคของระบบบำบัดน้ำเสีย และการติดตามปัจจัยที่มีผลในการกำจัดเชื้อโรคได้แก่ ความเข้มแสง อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในแต่ละบ่อของระบบบำบัดซึ่งต่างก็เป็นปัจจัยร่วมที่มีผลต่อกลไกการฆ่าเชื้อโรคในระบบบำบัด ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ช่วยในการอธิบายปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และค่าความเป็นกรด-ด่าง (Mara *et al.,* 1992) นอกจากนี้การศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายและจุลสาหร่ายที่พบในแต่ละบ่อบำบัดอาจใช้ร่วมเป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำได้ (Curtis, *et al.,* 1992) ผลที่ได้จากการศึกษาสามารถนำไปสู่การจัดการที่เหมาะสม และเป็นการสร้างความมั่นใจให้กับชุมชน ดังนั้นวัตถุประสงค์การศึกษานี้เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่ทางด้านจุลชีววิทยา โดยใช้ปริมาณแบคทีเรียบ่งชี้ในกลุ่มโคลิฟอร์ม ฟีคัลโคลิฟอร์ม อีโคไล และฟีคัลสเตรปโตคอคไค ร่วมด้วยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณของแบคทีเรียบ่งชี้เหล่านี้ตลอดจนความหลากหลายของสาหร่ายและจุลสาหร่าย

1.2 การตรวจเอกสาร

ข้อมูลทางทรัพยากรน้ำทะเลสาบสงขลา (สำนักงานนโยบาย และแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และคณะ, 2548)

1) สภาพภูมิประเทศ

ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ได้รับน้ำฝน น้ำจืดจากแม่น้ำ และน้ำหลากจากแผ่นดินไหลจากพื้นที่ลุ่มน้ำลงสู่ทะเลสาบสงขลา และมีน้ำเค็มจากทะเลเข้ามาผสมกัน ทำให้มีลักษณะเป็นระบบทะเลสาบแบบลากูน (Lagoon) ขนาดใหญ่คลุมพื้นที่บางส่วนในจังหวัดนครศรีธรรมราช พัทลุง และสงขลา ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีพื้นที่รวมประมาณ 8,500 km^2

2) สภาพภูมิอากาศ มี 2 ฤดูคือ

2.1 ฤดูฝนแบ่งเป็น 2 ระยะ ระยะแรก ตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงกันยายนได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดผ่านมหาสมุทรอินเดีย ช่วงนี้ฝนตกน้อย ระยะที่ 2 ตั้งแต่เดือนตุลาคมถึงมกราคมได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ พัดผ่านอ่าวไทยช่วงนี้ฝนตกชุก และเดือนพฤศจิกายนจะเป็นเดือนที่ฝนตกมากที่สุด

2.2 ฤดูร้อนเริ่มตั้งแต่เดือน กุมภาพันธ์ถึงเมษายน เดือนเมษายนจะมีอากาศร้อนที่สุด

3) คุณภาพน้ำผิวดินและภาวะมลพิษในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

ปัญหาคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาส่วนใหญ่มาจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทใหญ่ๆ คือ ชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม ฟาร์มสุกร นากุ้ง และพื้นที่เกษตรอื่นๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้คือ

3.1 น้ำเสียชุมชน เนื่องจากลุ่มทะเลสาบสงขลามีการกระจายตัวของประชากรไม่สม่ำเสมอโดยมีชุมชนอยู่หนาแน่นบริเวณเมืองใหญ่ๆ เช่นเทศบาลนครหาดใหญ่ และสงขลา ส่งผลให้ปริมาณน้ำเสียชุมชนในแต่ละพื้นที่แตกต่างกัน สำหรับคุณภาพน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่มีปัญหาในเรื่องคุณภาพน้ำมากที่สุดคือลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นและสภาวะที่ปนเปื้อนในแหล่งรองรับน้ำเสียแต่ละชุมชนเมืองในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาในปี พ. ศ 2540 และ พ.ศ 2544 สรุปได้ว่าปริมาณน้ำเสียชุมชนมีค่า ประมาณ 96,850 และ 97,090 l/d ตามลำดับ หรือคิดเป็นภาระบรรทุกในรูปบีโอดี (BOD_5- loading) ประมาณ 17,210 และ 16,560 kgBOD_5/d จากการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำทิ้งที่ปล่อยจากบ่อบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่ในช่วงเดือน

มกราคม–มิถุนายน พ.ศ. 2545 พบว่ามีค่าเฉลี่ยของ บีโอดี อยู่ในช่วง 8-18 mg/l (เทศบาลนครหาดใหญ่, 2545)

3.2 น้ำเสียอุตสาหกรรมมีแนวโน้มรุนแรงขึ้นโดยเฉพาะในเขตลุ่มน้ำผ่านคลองอู่ตะเภามีโรงงานอุตสาหกรรมพวกผลิตภัณฑ์ยาง 53 แห่ง มีโรงงานเกี่ยวกับสัตว์น้ำ 10 แห่ง โรงงานประเภทอื่นๆ 11 แห่ง รวม 74 แห่ง และมีน้ำทิ้งจากโรงงานซึ่งผ่านระบบบำบัดแล้วปล่อยลงคลองจำนวน 26 โรงงาน มีประสิทธิภาพการบำบัดตั้งแต่ 70.0-99.8% ภาระความสกปรกที่ปล่อยสู่คลองอู่ตะเภามีค่าสูงถึงประมาณ 500 kgBOD/d และโรงงานมีบ่อเก็บกักโดยไม่ปล่อยลงคลอง 48 แห่ง (สำนักงานนโยบาย และแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548)

3.3 น้ำเสียจากฟาร์มสุกรและนากุ้ง ฟาร์มสุกรเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทเกษตรกรรมที่สำคัญในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา พบว่าฟาร์มสุกรหนาแน่นใน จ.พัทลุง บริเวณ อ.ควนขนุน อ.เมืองพัทลุง พบว่าน้ำเสียจากฟาร์มขนาดเล็กมีค่า บีโอดี เท่ากับ 1,500 mg/l และจากฟาร์มขนาดกลางมีค่า บีโอดี เท่ากับ 2,000 mg/l ปริมาณมลสารที่ปล่อยออกจากฟาร์มเลี้ยงกุ้งกุลาดำในเขต อ.ระโนด จ.สงขลา พบว่าเกิดมลพิษในรูป บีโอดี ประมาณ 1.99 kg/rai/d โดยเฉลี่ย ฉะนั้นปริมาณค่า บีโอดี จากฟาร์มเลี้ยงกุ้งในเขตลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ประมาณได้ที่ 13,530-18,900 kg/d ซึ่งถือว่าสูงมากหากไม่มีการบำบัดก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

3.4 น้ำเสียจากพื้นที่เกษตรอื่นๆ มีแหล่งกำเนิดเป็นลักษณะกระจาย (Non- point source) รวมถึงน้ำป่า หรือ Runoff จากพื้นที่กสิกรรม การทำสวนผลไม้ และสวนยางพาราที่เป็นการใช้พื้นที่หลักของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา แหล่งน้ำเสียประเภทนี้มีการกระจายตัวสูง และยังไม่มีระบบบำบัดที่ชัดเจน

ประเภท และลักษณะของน้ำเสีย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545) มีดังนี้

1) ลักษณะน้ำเสียทางกายภาพ โดยทั่วไปน้ำเสียมีองค์ประกอบต่างๆดังจะกล่าวต่อไปนี้ มากน้อยแตกต่างกันไปตามประเภทของน้ำเสีย

1.1 ของแข็ง (Total Solids) หมายถึงสารทุกอย่างในของเหลวยกเว้นน้ำ ซึ่งเป็นตัวแปรพื้นฐานที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสียโดยมีประเภทต่างๆคือ ของแข็งจมตัวได้ (Settleable Solids) ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids : TDS) ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids : SS) และของแข็งระเหยง่าย (Volatile Solids: VS)

1.2 กลิ่น (Odor) เกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจนเปลี่ยนสภาพของซัลเฟตเป็นซัลไฟด์จากการเกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งมีกลิ่นเหม็นแบบไข่เน่า และยังมีสารอื่นอีกที่เกิดกลิ่นในสภาพไร้ออกซิเจนของน้ำเสียได้แก่ Organic Sulfide, Organic Amines, Organic Phosphorus และ Organic Acids

1.3 สี (Color) การเกิดสาหร่ายปริมาณมากๆจะทำให้เกิดปัญหาเรื่องสีในน้ำ นอกจากจะทำให้ แหล่งน้ำไม่น่าดู อีกทั้งยังขวางแสงแดดทำให้แสงส่องไม่ถึงใต้น้ำ ทำให้การสังเคราะห์แสงของพืชลดลง

1.4 ความขุ่น (Turbidity) คือสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำ กั้นขวางแสงแดด น้ำที่มีความขุ่นสูงต้องใช้ปริมาณคลอรีนมากกว่าปกติในกระบวนการฆ่าเชื้อ

1.5 อุณหภูมิ (Temperature) อุณหภูมิของน้ำจะขึ้นอยู่กับแสงที่ส่องผ่านลงไปในน้ำ โดยการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานความร้อนซึ่งส่งผลให้น้ำที่มีความลึกแตกต่างกันจะมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันด้วย อุณหภูมิของน้ำมีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาทางเคมี มีผลต่อการลดลงของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ และมีผลต่อกลิ่น (ทวีวงศ์ ศรีบุรี, 2541) ปฏิกิริยาชีวเคมีของจุลินทรีย์ในน้ำจะสูงขึ้น และการเจริญเติบโตของพืชที่ก่อให้เกิดปัญหาภาวะมลพิษทางน้ำสูงขึ้นด้วยเมื่อน้ำมีอุณหภูมิสูง

2) ลักษณะน้ำเสียทางเคมี

น้ำเสียจากชุมชนส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารอินทรีย์พวกคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และน้ำมัน การวัดปริมาณสารอินทรีย์นิยมวัดในรูปของบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand: BOD) และ ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD) นอกจากนี้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen: DO) จะเป็นดัชนีที่ชี้วัดความสกปรกของน้ำได้ การละลายของออกซิเจนในน้ำขึ้นอยู่กับความดันบรรยากาศ (Partial Pressure) ความสกปรก (Impurity) และอุณหภูมิ โดยที่ความดัน 1 บรรยากาศ ที่ 35 ºC ออกซิเจนละลายได้ 7 mg/l (ออกซิเจนละลายในน้ำเพิ่มขึ้นถ้าอุณหภูมิลดลง) การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพจะมีประสิทธิภาพดีควรมีออกซิเจนไม่น้อยกว่า 2 mg/l ถ้าขาดออกซิเจนแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจนเปลี่ยนสภาพของซัลเฟตเป็นซัลไฟด์จากการเกิดก๊าซไข่เน่า (H_2S) ทำให้เกิดกลิ่นรบกวน และเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

2.1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางชีววิทยา (Biological Treatment) ควรจะมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ในช่วง 5-9 ถ้าสูงหรือต่ำกว่านี้จุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบบำบัดจะดำรงชีวิตอยู่ได้ไม่ดี การบำบัดน้ำเสียโดยการตกตะกอนด้วยสารส้มควรจะมีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 5-8 และน้ำทิ้งที่ผ่านระบบบำบัดจะต้องมีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 5-9

ก่อนปล่อยทิ้ง น้ำเสียที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นกลางจะมีความเหมาะสมต่อการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพ

2.2 ไนโตรเจน (Nitrogen) ธาตุไนโตรเจนเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจุลินทรีย์ที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ อัตราส่วนที่เหมาะสมของ BOD_5 : N คือ 100 : 5 อย่างไรก็ตามหากค่าไนโตรเจนในน้ำเสียมีมากเกิน และเมื่อปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจะก่อให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) โดยทั่วไปไนโตรเจนในน้ำจะอยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน (Org-N) แอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) ไนไตรท์-ไนโตรเจน (NO_2-N) และไนเตรท-ไนโตรเจน (NO_3-N)

2.3 ฟอสฟอรัส (Phosphorus) มักอยู่ในรูปออร์โธฟอสเฟต โพลีฟอสเฟต และอินทรีย์ฟอสเฟต ปริมาณฟอสเฟตในน้ำเสียที่เหมาะสม จะทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพแต่การปล่อยน้ำทิ้งที่ปริมาณฟอสเฟตสูงจะกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชน้ำอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกับไนโตรเจน และทำให้เกิดปัญหาในแหล่งน้ำที่รองรับน้ำทิ้ง

2.4 โลหะหนัก (Heavy Metals) โลหะหนักบางชนิดหากมีในปริมาณที่พอเหมาะจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตเช่นสังกะสี ทองแดง เหล็ก แต่สำหรับโลหะหนักบางชนิดจะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตเช่น แคดเมียม ปรอท นิกเกิล ในการควบคุมดูแลระบบต้องทราบว่าในน้ำเสียมีโลหะหนักชนิดใดและในปริมาณเท่าไร ปริมาณโลหะหนักจะมีผลกระทบต่อการทำงานของจุลินทรีย์ และการเลือกระบบบำบัด ที่เหมาะสม

2.5 สารเคมีที่เป็นพิษ ปัจจุบันมีสารอินทรีย์สังเคราะห์ต่างๆที่ผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรมและการเกษตร จึงทำให้น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิดและการเกษตรมีสารพิษสะสมอยู่ สารพิษมักมีคุณสมบัติยากต่อการย่อยสลายเช่นเป็นสารพิษที่มีหมู่ฮาโลเจนอยู่ในโมเลกุลของสารประกอบพวกอะโรมาติกเช่นวัตถุมีพิษบางชนิด

3) ลักษณะน้ำเสียทางชีวภาพ

3.1 แบคทีเรีย (Bacteria) เป็นจุลินทรีย์ที่มีบทบาทมากที่สุดในการบำบัดน้ำเสีย สามารถพบได้ทั่วๆไปทั้ง ในดิน น้ำ อากาศ มีทั้งชนิดที่เป็นประโยชน์และโทษ แบคทีเรียจะเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะค่าพีเอชที่เป็นกลาง และอุณหภูมิที่เหมาะสม อุณหภูมิเป็นพารามิเตอร์หนึ่งทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญต่ออัตราการเจริญ และการตายของจุลินทรีย์เพราะอุณหภูมิมีผลต่อปฏิกิริยาชีวเคมีภายในเซลล์ เช่นพวกที่เจริญ ได้ดีในที่อุณหภูมิต่ำๆ (Psychrophile) อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญจะต่ำกว่า 20 ℃ ส่วนพวกที่เจริญได้ดีในที่อุณหภูมิปานกลาง (Mesophile) คืออุณหภูมิในช่วง 20-40 ℃ อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญประมาณ 37 ℃ เชื้อโรคส่วนใหญ่อยู่

ในกลุ่มนี้ และพวกที่เจริญได้ดีในที่อุณหภูมิสูง (Thermophile) อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 55-60ºC และที่อุณหภูมิที่ 99ºC ก็สามารถเจริญได้ แหล่งที่พบเช่นน้ำพุร้อน น้ำทิ้งจากเครื่องซักผ้าที่ใช้น้ำอุณหภูมิสูง การจัดจำแนกว่าเป็นกลุ่มใดยึดเอาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเป็นหลัก (ดวงพร คันธโชติ, 2545)

3.2 รา (Fungi) ราสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรียในสภาพที่ความเป็นกรด-ด่าง ต่ำหรือมีปริมาณไนโตรเจนน้อย และสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์พวกคาร์โบไฮเดรตได้ดี

3.3 สาหร่าย (Algae) และจุลสาหร่าย (Micro algae) พบอยู่ตามที่มีความชื้นสูง น้ำทิ้ง น้ำจืด และน้ำเค็ม สาหร่ายมีบทบาทในระบบบำบัดน้ำเสียบางระบบเช่นระบบบ่อผึ่ง ระบบบ่อปรับเสถียร และบึงประดิษฐ์ สาหร่ายบางชนิดสร้างสารพิษก่อให้เกิดปัญหากับแหล่งน้ำ

3.4 โปรโตซัว (Protozoa) บทบาทของโปรโตซัวในระบบบำบัดน้ำเสียไม่ค่อยเด่นชัด ส่วนมากจะกินแบคทีเรียที่มีชีวิต และตายแล้ว บางชนิดเป็นเชื้อโรค

3.5 ไวรัส (Viruses) สามารถทำลายเซลล์ของแบคทีเรียซึ่งทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ และ แปรรูปสารอนินทรีย์ในน้ำเสีย บางชนิดก่อโรคกับมนุษย์และสัตว์ สิ่งมีชีวิตอื่นๆ ซึ่งได้แก่ Rotifer, Cladocera, Ostracods และ Copepods เป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง (Invertebrate) ที่มีอยู่ในบ่อและจะกินสาหร่ายกับแบคทีเรียทำให้สารแขวนลอยหายไปเมื่ออาหารหมดสัตว์เหล่านี้จะตายและตกลงสู่ก้นบ่อ (ธีระ เกรอต, 2539)

ระบบบำบัดน้ำเสีย (คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2540)

การบำบัดน้ำเสียแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน

1) การบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ (Physical Wastewater Treatment) เป็นขั้นตอนแรกเพื่อกำจัดเอาสิ่งสกปรกที่มีขนาดใหญ่ออกจากน้ำเสียก่อนจะเข้าสู่การบำบัดขั้นต่อไป สิ่งปนเปื้อนที่สามารถบำบัดออกจากน้ำเสียในขั้นตอนนี้ได้แก่ ของแข็งขนาดใหญ่ กรวด ทราย ไขมัน และน้ำมัน โดยวิธีการตกตะกอน การกรอง บ่อดักไขมัน และการใช้ตะแกรงเป็นต้น

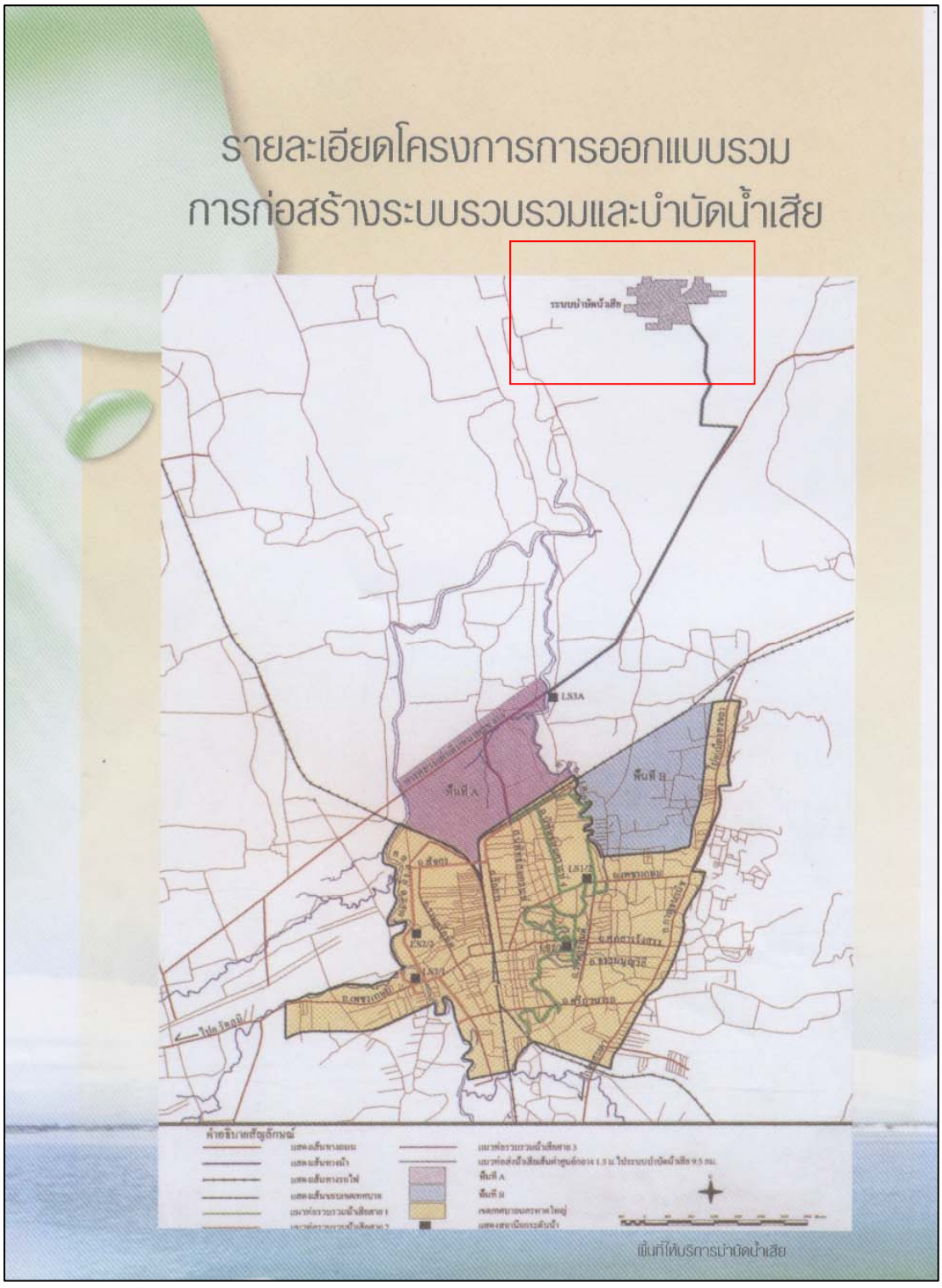
2) การบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา (Biological Wastewater Treatment) เป็นกระบวนการที่ใช้สิ่งมีชีวิตพวกจุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆที่ปนเปื้อนในน้ำเสียเพื่อป้องกันการเกิดปัญหามลพิษต่อแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยแบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญที่สุดในการบำบัดน้ำเสีย (http://www.sut.ac.th/e-texts/Medicine/ behs/lesson8/lesson 8-2.html - 42k. 19/12/47) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) เป็นระบบหนึ่งของกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาคือใช้ปฏิกิริยาทางชีววิทยา และชีวเคมี ของแบคทีเรียช่วยย่อย

สลายสิ่งเจือปนในน้ำเสียและสาหร่ายมีส่วนร่วมด้วย ระบบบ่อปรับเสถียรสามารถกำจัดฟีคัลโคลิฟอร์มได้ดีกว่าระบบอื่นๆและ มีต้นทุนต่ำ ระบบบำบัดนี้มีเหมาะกับประเทศภูมิอากาศเขตร้อน เพราะความเข้มของแสงสูง และอุณหภูมิสูงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูง (Mara *et al.,*1992)

3) การบำบัดน้ำเสียทางเคมี (Chemical Wastewater Treatment) โดยอาศัยหลักการตกตะกอนและใช้สารเคมีเพื่อทำให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีสภาพเป็นกลางก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดย ต้องปรับสภาพความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 5-9 เมื่อน้ำมีสภาพเป็นกรด (ค่า pH ต่ำ) จะปรับค่าโดยใช้ โซดาไฟ (NaOH) หรือแอมโมเนีย (NH_3) และเมื่อน้ำมีสภาพเป็นด่าง (ค่า pH สูง) ปรับโดยใช้กรดกำมะถัน (H_2SO_4) หรือกรดเกลือ (HCl) หรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และนิยมใช้คลอรีนในการกำจัดเชื้อโรคในน้ำเสียก่อนที่ปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

ระบบรวบรวม และบำบัดน้ำเสียรวมเทศบาลนครหาดใหญ่

ระบบรวบรวม และบำบัดน้ำเสียรวมเทศบาลนครหาดใหญ่ หรือ ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ มีพื้นที่ให้บริการครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 30 km^2 ในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่โดยคลอบคลุมบริเวณเทศบาลคอหงส์ และเทศบาลคลองแห สถานที่ตั้งระบบบำบัดน้ำเสีย ตั้งอยู่บริเวณตำบลน้ำน้อย และตำบลคูเต่า อำเภอหาดใหญ่พื้นที่ประมาณ 2,040 ไร่ 2 งาน 216 ตารางวา (ภาพที่1) ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำเทศบาลนครหาดใหญ่ เป็นระบบแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) ร่วมกับการใช้บึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland) รับน้ำเสียได้รวมทั้งสิ้น 138,000 m^3/d (ภาพที่ 2) ซึ่งมีข้อดี คืออาศัยกลไกการทำงานของธรรมชาติช่วยในการปรับสภาพน้ำเสียให้มีคุณภาพดีขึ้น และไม่สิ้นเปลืองพลังงาน และค่าใช้จ่าย (โครงการระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำเทศบาลนครหาดใหญ่ สงขลา, มปป. และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งระเทศไทย, 2540) ระบบบ่อปรับเสถียรยังสามารถกำจัดจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค และระบบก็ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ดูแลรักษาง่าย ทนทานต่อการเพิ่มกระทันหัน (Shock Load) ได้มากกว่าวิธีการบำบัดแบบอื่นโดยไม่จำเป็นต้องมีระบบฆ่าเชื้อโรค ข้อเสียของระบบบ่อปรับเสถียรต้องการพื้นที่ในการก่อสร้างมาก นอกจากนี้ในบ่อแอนแอโรบิค หรือระบบไร้อากาศเกิดกลิ่นเหม็นหากออกแบบหรือควบคุมไม่ดีพอ และน้ำทิ้งมีปัญหาสาหร่ายปะปนอยู่มากโดยเฉพาะจากบ่อแอโรบิค (สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2540 และ Metcalf and Eddy, 1991)



ภาพที่ 1 แสดงพื้นที่ก่อสร้างระบบรวบรวมและบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่

ที่มา: โครงการออกแบบรวมการก่อสร้างระบบรวบรวมและบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่มี 4 ขั้นตอน คือ 1) การบำบัดเบื้องต้น (Preliminary Treatment) 2) บ่อบำบัดน้ำเสียขั้นแรก (Primary Treatment) 3) บ่อบำบัดน้ำเสียขั้นที่สอง (Secondary Treatment) 4) การบำบัดขั้นสูง (Advance Treatment) โดยที่ขั้นตอน 1 ถึง 3 เป็นการบำบัดแบบใช้บ่อปรับเสถียรขณะที่ขั้นสุดท้ายใช้บึงประดิษฐ

1. การบำบัดเบื้องต้น (Preliminary Treatment) เป็นการบำบัดทางกายภาพเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่อยู่ในรูปของแข็งขนาดใหญ่หรือเศษขยะที่มากับน้ำเสียโดยติดตั้งตะแกรงดักขยะอัตโนมัติ (Automatic Fine Screen)

2. บ่อบำบัดน้ำเสียขั้นแรก (Primary Pond) โดยทั่วไปบ่อนี้มีการออกแบบระบบดังนี้ บ่อแอนแอโรบิคหรือไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Pond) มีอัตรารับสารอินทรีย์สูงโดยของแข็งจะตกสู่ก้นบ่อ และถูกย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจน ความลึกบ่อ 2-5 เมตร มีระยะเก็บกักน้ำ 7 วัน (ธีระ เกรอต, 2539 และ Pena, 2003) และมีรายงานของ สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, (2540) และ Metcalf and Eddy, (1991) พบว่าบ่อนี้มีระยะเก็บกักน้ำ 4.5 วัน อัตราภาระบรรทุกบีโอดี (BOD $_5$ Loading rate) 224-672 $gBOD_5/m^2$-d และประสิทธิภาพในกำจัดบีโอดี 50% และสำหรับบ่อบำบัดน้ำเสียขั้นแรกหรือ บ่อหมักไร้อากาศ ของเทศบาลนครหาดใหญ่ มีจำนวน 2 บ่อต่อเชื่อมแบบคู่ขนานมีพื้นที่บ่อ 45 ไร่ และ 48 ไร่ เป็นบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน ตกตะกอนของแข็งที่อยู่ในรูปตะกอนสารอินทรีย์และกรวดทรายออกจากน้ำเสีย บ่อนี้มีความลึก 3.4 เมตร ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6.12 วัน เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์แบบ ไม่ใช้ออกซิเจนและสามารถลดปริมาณค่าบีโอดี ได้บางส่วน (โครงการระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำเทศบาลนครหาดใหญ่ สงขลา, มปป.) บ่อแอนแอโรบิคจะทำงานได้ดีในภูมิอากาศที่อบอุ่นที่อุณหภูมิ 20ºC มีประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีได้ 60% และ ที่อุณหภูมิ 25ºC ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี มากกว่า 70% มีระยะเก็บกักสั้น เนื่องจากบ่อนี้ไม่มีออกซิเจนจึงพบสาหร่ายได้น้อยมากแต่ก็พบบ้างโดยส่วนใหญ่จะพบพวก *Chlamydomonas* ลอยเป็นแผ่นบางๆ ที่ผิวน้ำ

3. บ่อหมัก หรือบ่อผึ่ง (Facultative Pond) เป็นการบำบัดน้ำเสียขั้นที่สอง (Secondary Treatment) โดยทั่วไปบ่อนี้มีการออกแบบระบบดังนี้ ความลึกของบ่อ 1-2 เมตร (กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545 และ ธีระ เกรอต, 2539) ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 7-30 วัน อัตราภาระบีโอดี 34 $gBOD_5/m^2$-d ประสิทธิภาพในกำจัด บีโอดีเท่ากับ 70-90% (สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2540 และ Metcalf and Eddy, 1991) รับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นมาก่อนและในบ่อนี้จะมีกิจกรรมของสาหร่ายร่วมด้วยทำให้มีปริมาณออกซิเจนมากอยู่ในส่วนบนและเมื่อมีสาหร่ายมากทำให้น้ำมีสีเขียวเข้ม และมีสีแดงหรือชมพู เมื่อมีการเจริญของพวก Anoxyphotosynthetic Bacteria เกิดขึ้น

ความเข้มข้นของสาหร่ายในบ่อขึ้นอยู่กับสารอาหาร และอุณหภูมิ ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ 500-2,000 µg/l การสังเคราะห์แสงของสาหร่ายมีผลเพิ่มความเข้มข้นของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ กล่าวคือ หลังจากช่วงเช้าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ค่อยๆ สูงขึ้น ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ขึ้นสูงสุดในช่วงบ่าย หลังจากนั้นปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ก็จะต่ำลงและต่ำสุดในตอนกลางคืน ลมมีความสำคัญส่งผลให้ของเหลวในบ่อผสมกันทำให้มีการกระจายของค่าบีโอดี ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ แบคทีเรีย และสาหร่ายมีผลต่อการบำบัดน้ำเสียของบ่อนี้ (Mara *et al.,* 1992) บ่อหมักของเทศบาลนครหาดใหญ่ มี 2 บ่อ คู่ขนานกันมีพื้นที่ต่อบ่อประมาณ 138 ไร่และ 171 ไร่ มีความลึก 1.70 -1.80 เมตร ระยะเก็บกักน้ำ 9.38 วัน (โครงการระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำเทศบาลนครหาดใหญ่ สงขลา, มปป.) การบำบัดในบ่อนี้จะเกิดขึ้นสองแบบภายในบ่อเดียวกัน สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำส่วนบนจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic Bacteria) โดยใช้ออกซิเจนที่ได้จากการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายที่อยู่ในบ่อส่วนบน สำหรับบ่อส่วนล่างที่แสงแดดส่องไม่ถึงมีออกซิเจนต่ำ การย่อยสลายเกิดโดยพวกแฟคคัลเททีฟแอนแอโรบ

4. บ่อบ่ม (Maturation Pond) เป็นการบำบัดน้ำเสียขั้นที่สอง (Secondary Treatment) โดยทั่วไปบ่อนี้มีการออกแบบระบบดังนี้ ระยะเก็บกักน้ำ 5-20 วัน ความลึกของน้ำในบ่อ 1-1.5 เมตร อัตราภาระบีโอดี 25 $gBOD_5/m^2$-d และ ประสิทธิภาพในกำจัดบีโอดีเท่ากับ 60-80% (สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2540 และ Metcalf and Eddy, 1991) การเข้าออกและหมุนเวียนของออกซิเจนดี มีสาหร่ายมากและมีความหลากหลายดังแสดงในตารางที่ 1 และที่สำคัญบ่อนี้มีกลไกในการกำจัดพวกแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรค และพวกฟีคัลโคลิฟอร์ม พวก โปรโตซัวที่อยู่ในรูป cyst และไข่ของพยาธิที่อาศัยอยู่ในตะกอน จะตกสู่ก้นบ่อเนื่องจากระยะเก็บกักที่ยาว ทำให้ตายและพบว่าบ่อตื้นสามารถทำลายไวรัสได้ดีกว่าบ่อลึก การออกแบบที่เหมาะสมทำให้กำจัดจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคได้โดยวัดจากการกำจัดแบคทีเรียบ่งชี้ มีประสิทธิภาพการกำจัดมากกว่า 99.99% (ธีระ เกรอต, 2539) มีการรายงานว่าบ่อนี้มีการกำจัดค่าบีโอดีน้อยแต่มีการลดปริมาณไนโตรเจนได้มากถึง 80% และแอมโมเนียได้ 95% โดยสาหร่ายใช้เพื่อการเจริญ มีการกำจัดฟอสฟอรัส ในรูปฟอสฟอรัสทั้งหมดได้น้อยกว่า 50% (Mara *et al.,* 1992 อ้างโดย Pena, 2003) บ่อบ่มของเทศบาลนครหาดใหญ่ มีจำนวน 2 บ่อคู่ขนานกันมีพื้นที่ต่อบ่อประมาณ 78 ไร่ และ 39 ไร่มีความลึก 1.3-1.4 เมตร ระยะเก็บกักน้ำ 4.06 วัน บ่อนี้จะช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ และบ่อบ่มเป็นบ่อที่มีสภาพแอโรบิคแสงแดดส่องถึงก้นบ่อ มีอากาศที่ผิวน้ำและอาศัยแสงแดดทำลายเชื้อโรคหรือจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับน้ำทิ้งก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม (โครงการระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำเทศบาลนครหาดใหญ่ สงขลา, มปป.)

บ่อ		พื้นที่ของบ่อ
บ่อหมัก	(P-1)	45 ไร่
บ่อหมัก	(P-2)	48 ไร่
บ่อผึ่ง	(F-1)	138 ไร่
บ่อผึ่ง	(F-2)	171 ไร่
บ่อบ่ม	(M-1)	78 ไร่
บ่อบ่ม	(M-2)	39 ไร่
บึงประดิษฐ์ 1	(W-1)	213 ไร่
บึงประดิษฐ์ 2	(W-2)	74 ไร่
บึงประดิษฐ์ 3	(W-3)	43 ไร่
บึงประดิษฐ์ 4	(W-4)	134 ไร่
บึงประดิษฐ์ 5	(W-5)	123 ไร่

ภาพที่ 2 ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ เทศบาลนครหาดใหญ่

ที่มา: โครงการระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

5. บึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland) มีที่มาจาก พื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetland) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีน้ำท่วมขัง และมีปริมาณของสารอินทรีย์หรือสารอาหารอยู่ในน้ำ จึงพบพืชน้ำหลายประเภทเช่น กกเจริญเติบโตอยู่ พืชมีส่วนช่วยให้ความสกปรกในรูปของสารอินทรีย์หรือสารอาหารในน้ำลดลงจึงมีการนำมาสร้างบึงประดิษฐ์เพื่อกำจัดธาตุอาหารพืชได้แก่ฟอสฟอรัสและไนโตรเจน และยังสามารถลดเชื้อโรคได้ด้วย พืชที่สามารถเจริญเติบโตในพื้นที่มีน้ำท่วมขังจึงสามารถนำมาใช้ได้ Brix (1993) ได้จำแนกพื้นที่ชุ่มน้ำตามประเภทของพืชในระบบออกเป็น 4 ประเภท

1) ระบบพืชลอยน้ำ (Free – floating macrophyte treatment system) พืชในระบบจะลอยอยู่ผิวน้ำ ได้แก่ ผักตบชวา จอก แหน

2) ระบบพืชพ้นน้ำ (Emergent macrophyte treatment system) ในพื้นที่น้ำท่วมขัง ได้แก่ พืชประเภทกก ธูปฤาษี

3) ระบบใต้น้ำ (Submergent macrophyte treatment system) ได้แก่ พืชเจริญเติบใต้น้ำได้แก่ สาหร่ายไฟ สาหร่ายข้าวเหนียว สาหร่ายหางกระรอก

4) ระบบผสม คือ ระบบผสมระหว่างระบบที่กล่าวข้างต้นเข้าด้วยกันหรือใช้ร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสียอื่นๆ เช่นระบบบ่อผึ่ง

หลักการในการบำบัดน้ำเสียของระบบบึงประดิษฐ์ เป็นระบบที่เลียนแบบธรรมชาติในการบำบัดน้ำเสีย มีกระบวนการหลายอย่างเกิดขึ้นในระบบที่ช่วยในการบำบัดน้ำเสีย ดังนี้

1) การตกตะกอน (Sedimentation) ราก ลำต้นของพืช หิน ดิน ทราย เป็นตัวกรองตะกอนแขวนลอยในน้ำ สารอินทรีย์และเชื้อโรคบางชนิดยังสามารถตกตะกอนลงด้วย

2) จุลินทรีย์ (Microorganisms) ราก ลำต้น ของพืช หรือ หิน ดิน ทราย ที่ใช้ปลูกพืชเป็นตัวกลาง (media) ให้จุลินทรีย์ในน้ำเกาะอาศัยอยู่ จุลินทรีย์นี้มีทั้งประเภทที่ใช้อากาศ และไม่ใช้อากาศ ในการเจริญเติบโต ช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ ทำให้ค่าความสกปรกของน้ำในรูปของบีโอดีลดลง นอกจากนี้มีแบคทีเรียประเภท Nitrifying Bacteria ที่ออกซิไดซ์แอมโมเนียเป็นไนเตรท และ Denitrifying Bacteria รีดิวซ์ไนเตรทให้อยู่ในรูปของก๊าซไนโตรเจน จึงช่วยลดปริมาณไนโตรเจนในน้ำ

3) การเกาะตามผิว (Adsorption) หิน ดิน ทราย จะประกอบด้วยแร่ธาตุ บางชนิดที่ช่วยให้ฟอสฟอรัสในน้ำเกาะติดอยู่ตามผิว จึงช่วยลดปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำได้

4) พืช พืชมีส่วนช่วยในการบำบัดน้ำ คือเป็นแหล่งอาศัยสำหรับจุลินทรีย์ ที่ช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ และพืชก็ยังดูดซึมสารอาหารบางส่วนในน้ำโดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เพื่อการเจริญเติบโต

จากการศึกษาวิจัยของศูนย์วิจัย และฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของพืช 3 ประเภทในบึงประดิษฐ์ คือ ต้นธูปฤาษี ต้นกกกลม และต้นหญ้า อ้อ และระบบที่ไม่มีต้นพืช (ชุดควบคุม) ผลการศึกษาพบว่าในในบ่อบำบัดน้ำเสียที่มีการปลูกพืช หญ้าอ้อ ธูปฤาษี กกกลม มีประสิทธิภาพในการลดบีโอดี ทีเคเอ็น (Total Kjedahl Nitrogen) และฟอสฟอรัสได้ดีกว่าบ่อที่ไม่มีการปลูกพืช ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของพืชต่างๆในระบบบึงประดิษฐ์

ประสิทธิภาพในการลดความสกปรก (%)	ไม่มีต้นไม้ (Control)	หญ้าอ้อ (Reed)	ธูปฤาษี (Cattail)	กกกลม (Bulrush)
บีโอดี	2	89	96	96
สารแขวนลอย	71	82	91	97
ทีเคเอ็น	35	70	74	90
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	41	82	97	94

ที่มา: รายงานผลวิจัย พ.ศ. 2537 – 2543 ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม)

จากรายงานของ Steiner และ Combs (1993) พบว่าระบบบึงประดิษฐ์ ที่ติดตั้งไว้โดยรับน้ำจาก Septic tank สามารถลดค่าบีโอดีได้ 73 – 89 % ตะกอนแขวนลอย 90 – 95 % และเชื้อฟีคัลโคลิฟอร์ม (Fecal coliforms) ได้ 78 – 99 %

การบำบัดน้ำเสียของเทศบาลหาดใหญ่ มีบึงประดิษฐ์จำนวน 5 บ่อ ระดับความลึกต่างๆกันอยู่ระหว่าง 0.7-1.4 เมตร ใช้พื้นที่บ่อรวมทั้งสิ้นประมาณ 587 ไร่ ปัจจุบันปล่อยน้ำเข้าเพื่อบำบัดคือ บึงประดิษฐ์ (W1) ที่มีระดับความลึก 0.7 เมตร ระยะเก็บกักน้ำ 5.96 วัน ส่วนบึงประดิษฐ์ (W2) ระดับความลึก 1.4 เมตร ระยะเก็บกักน้ำ 4.14 วัน และ บึงประดิษฐ์ (W3) ระดับความลึก 1.4 เมตร ระยะเก็บกักน้ำ 2.4 วัน ขณะที่บึงประดิษฐ์ (W4) และ บึงประดิษฐ์ (W5) อยู่ในช่วงปรับปรุง บ่อเหล่านี้จัดเป็นระบบการบำบัดขั้นสูง (AdvancedTreatment) วัตถุประสงค์เพื่อกำจัดสารอาหารอนินทรีย์ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส รวมถึงการทำลายเชื้อโรคโดยอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์และพืชน้ำ สามารถกำจัดปริมาณค่าสารแขวนลอย (Suspended Solids) และกำจัดอนินทรีย์ไนโตรเจนโดยกระบวนการ Nitrification และ Denitrification มีการปลูกพืชไว้ในบึงประดิษฐ์แต่

ละบ่อให้เหมาะสมกับหน้าที่การทำงานของแต่ละบ่อเช่น ต้นกกสามเหลี่ยม ธูปฤาษี จอก แหน เพื่อช่วยในการลดค่าบีโอดี ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส และยังช่วยกรองสารแขวนลอยในน้ำเสียอีกด้วย

นอกจากนี้ยังมีบ่อเก็บน้ำฉุกเฉิน (Emergency Pond) เพื่อใช้กักเก็บน้ำเสียสำรองเอนกประสงค์ในกรณีเกิดภาวะฉุกเฉิน เก็บกักน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแต่ยังไม่ได้มาตรฐาน และกักเก็บน้ำในกรณีบำรุงรักษาหรือขุดลอกตะกอน จากการตรวจของเทศบาลนครหาดใหญ่พบว่าคุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วสามารถลดค่าความสกปรกในรูปบีโอดี (BOD_5) ได้โดยมีค่าไม่เกิน 10 mg/l ค่าสารแขวนลอย ไม่เกิน 30 mg/l (โครงการระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำเทศบาลนครหาดใหญ่ สงขลา, มปป)

จุลินทรีย์บ่งชี้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียทางจุลชีววิทยา

1. แบคทีเรียบ่งชี้ การตรวจวิเคราะห์หาแบคทีเรียก่อโรคหรือเชื้อโรคในน้ำสามารถทำได้ทั้งทางตรง และทางอ้อม ทางตรงเป็นการตรวจวิเคราะห์หาแบคทีเรียชนิดนั้นๆ โดยเฉพาะซึ่งต้องใช้เวลาในการตรวจนาน และวิธีการยุ่งยากซับซ้อน ส่วนทางอ้อมเป็นการตรวจวิเคราะห์หาแบคทีเรียบ่งชี้ (Indicator Bacteria) เช่นโคลิฟอร์ม ถ้าตรวจพบก็แสดงว่าน้ำนั้นอาจจะไม่ปลอดภัย เพราะมีการปนเปื้อนของอุจจาระของมนุษย์หรือสัตว์เลือดอุ่น (ภาคจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2547 และ Bitton, 1994) การตรวจทางอ้อมนี้รวดเร็วกว่าจึงเป็นที่นิยมกันมาก แบคทีเรียบ่งชี้มีอยู่ด้วยกันหลายประเภท แต่ที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ โคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliforms) ฟีคัลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliforms) *Escherichia coli* , ฟีคัลสเตรปโตคอคไค (Fecal streptococci) *และ Clostridium perfringens* (ภาคจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2547)

1.1 โคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliforms) เชื้อโคลิฟอร์มจัดอยู่ในแฟมิลี Enterobacteriacea**e** เป็นแบคทีเรียที่อยู่ในลำไส้ของคนและสัตว์เลือดอุ่น ออกมากับอุจจาระทุกครั้ง เป็นกลุ่มแบคทีเรียที่มีรูปร่างเป็นรูปแท่ง ติดสีแกรมลบไม่มีสปอร์เจริญได้ในที่มีอากาศหรือไม่มีอากาศก็ได้ (facultative anaerobe) สามารถหมักน้ำตาลแลกโตสได้แล้วให้ก๊าซภายใน 24-48 ชั่วโมง ที่ 35 ºC โคลิฟอร์มแบคทีเรียเหล่านี้ได้แก่ แบคทีเรียในจีนัส *Escherichia Enterobacter Citrobacter และ Klebsiella* ถ้าตรวจพบโคลิฟอร์มในน้ำ แสดงว่าน้ำนั้นอาจมีการปนเปื้อนด้วยอุจจาระของมนุษย์ และมูลของสัตว์เลือดอุ่นจะไม่ปลอดภัยถ้านำไปอุปโภคบริโภค ดังนั้น เชื้อโคลิฟอร์มทั้งหมดจึงสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ที่ดีถึงประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียทางจุลชีววิทยา (Bitton, 1994)

จากการตรวจคุณภาพน้ำเสียชุมชนในสหรัฐอเมริกาสามารถแบ่งเป็น 3 ระดับคือ สกปรกน้อยตรวจพบจำนวนโคลิฟอร์มทั้งหมด 10^6–10^7 MPN/100 ml สกปรกปานกลางตรวจพบจำนวนโคลิฟอร์มทั้งหมด 10^7–10^8 MPN/100 ml และสกปรกมากตรวจพบจำนวนโคลิฟอร์มทั้งหมด 10^8–10^9 MPN/100 ml (Tchobanoglous and Burton, 1991 อ้างโดย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม และ สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545)

1.2 ฟีคัลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliforms) พวกนี้อาศัยอยู่ในลำไส้ของคน และสัตว์เลือดอุ่นถูกขับถ่ายออกมากับอุจจาระ (Feces) แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถหมักน้ำตาลแลกโตสได้ที่ 44.5 ± 0.2ºC ในเวลา 24 ชั่วโมง เชื้อกลุ่มนี้ได้แก่แบคทีเรียในจีนัส *Escherichia และ Klebsiella* จากการตรวจคุณภาพน้ำเสียชุมชนในสหรัฐอเมริการะดับสกปรกน้อยตรวจพบจำนวนฟีคัลโคลิฟอร์ม 10^4-10^5 MPN/100 ml (Tchobanoglous and Burton, 1991 อ้างโดย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม และ สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545)

1.3 อีโคไล *(Escherichia coli)* แบคทีเรียแกรมลบรูปร่างเป็นแท่งตรง มีขนาดกว้าง 1.1 ถึง 1.5 μm และยาว 2.0 ถึง 6.0 μm พบในลำไส้ตอนล่างของสัตว์เลือดอุ่น ได้รับการตั้งชื่อตามผู้เชี่ยวชาญชาวเยอรมัน คือ Theodor Escherichia (Berchinger and Fairbrother, 1999) เคลื่อนที่ได้ ไม่สร้างสปอร์ ให้ผลการทดสอบ catalase เป็นบวก oxidase ให้ผลลบ และ IMViC test เป็น ++-- และ -+-- สามารถเจริญได้ทั้งในสภาวะที่มี และไม่มีออกซิเจน (facultative anaerobe) (Doyle, 1989) ปกติสามารถเจริญได้บนอาหารธรรมดา ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 7-46ºC ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.4-10 เมื่อเพาะเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Mac Conkey ซึ่งเป็นทั้ง differential medium และ selective medium จะให้โคโลนีสีชมพูหรือแดงเนื่องจากการ ferment น้ำตาล lactose และเมื่อเพาะเลี้ยงบนอาหาร Eosin methylene blue (EMB) ซึ่งเป็นทั้ง selective และ differential medium จะให้โคโลนีสีเขียวปีกแมลงทับมีลักษณะสะท้อนแสงมันวาวที่เรียกว่า metallic sheen เชื้อ *E .coli* พบได้บ่อยในสิ่งแวดล้อมทั่วไป เช่น ดิน พืช น้ำ ในลำไส้คน และสัตว์ ปกติจะไม่ก่ออันตรายใดๆต่อร่างกาย (Murray *et al*., 1998) แต่ก็มี *E. coli* ที่เป็นเชื้อโรค มักก่อให้เกิดโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินอาหาร และยังสามารถพบในระบบอื่นๆ ของมนุษย์เช่นการติดเชื้อในระบบทางเดินปัสสาวะ (urinary tract infection) (Eisenstien, 1995, Farmer, 1995) *E. coli* อาศัยอยู่ในลำไส้ของคน และขับออกมากับอุจจาระคนและสัตว์เลือดอุ่น คิดเฉลี่ย 50 ล้าน โคโลนีต่อกรัม โดยทั่วไปน้ำเสียจากชุมชนที่ยังไม่ผ่านการบำบัดจะพบมากกว่า 3 ล้านโคโลนี/100 ml (Hammer, 1996) ปกติจะไม่ก่อโรค แต่ก็มีบางสายพันธุ์ก่อโรคในเนื้อเยื่อและอวัยวะบางอย่างได้ โดยมากจะเป็นกับระบบทางเดินปัสสาวะ นอกจากนี้ยังพบว่า *E. coli* หลายกลุ่มทำให้เกิดโรคท้องร่วงแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม

1) Enterotoxigenic *E. coli* (ETEC) ทำให้เกิดอาการท้องร่วงทั้งอย่างอ่อน และรุนแรง

2) Enteroinvasive *E. coli* (EIEC) เป็น *E. coli* ที่สามารถบุกรุกเซลล์เยื่อบุของลำไส้ใหญ่ทำให้เกิดภาวะเลือดออกในลำไส้ (invade intestinal mucosa) ซึ่งมีอาการคล้ายโรคบิดจากเชื้อแบคทีเรีย (Shigellosis) คือมีไข้ (fever) ท้องร่วง (diarrhea) คลื่นไส้ (nausea) และอาเจียน (vomiting)

3) Enterohemorrhagic *E. coli* (EHEC) จัดเป็นกลุ่มที่รุนแรงที่สุด และอาจก่อให้เกิดลำไส้อักเสบมีเลือดออก

4) Enteropathogenic *E. coli* (EPEC) ทำให้เกิดอาการท้องร่วง มักระบาดในทารกแรกคลอดในสถานรับเลี้ยงเด็ก

5) Enteroaggregative *E. coli* (EaggEC) เชื้อจะผลิต enteroaggregative heat-stable toxin (EAST) ก่อให้เกิดอาการท้องเสียทั้งแบบเรื้อรัง และเฉียบพลัน และก่อให้เกิดการติดเชื้อของระบบทางเดินปัสสาวะ (urinary tract infection) มักพบทำให้เกิดอาการท้องร่วงในเด็กอายุต่ำกว่า 6 เดือน

1.4 Fecal streptococci (ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2547) จัดอยู่ในกลุ่ม Lancefield's group D ซึ่งเป็นกลุ่ม Fecal streptococci ที่มีอยู่ตามธรรมชาติในลำไส้ของคน และสัตว์เลือดอุ่น การตรวจหา Fecal streptococci เป็นการเพิ่มเติมข้อมูลคุณภาพน้ำทางด้านแบคทีเรียในน้ำได้เป็นอย่างดีเพราะเชื้อกลุ่มนี้อยู่ได้ไม่นาน ความสามารถในการอยู่รอดในน้ำ และสิ่งแวดล้อมค่อนข้างจำกัด ดังนั้นถ้าตรวจพบเชื้อ Fecal streptococci แสดงว่ามีการปนเปื้อนเร็วๆนี้ และเป็นประโยชน์ในการบอกแหล่งของภาวะมลพิษด้วยเพราะ Fecal streptococci ประกอบด้วย *Streptococcus* หลาย species เช่น *S. faecalis, S. faecium, S. bovis, S. equines* และ *S. avium* เชื้อบางสายพันธุ์ในกลุ่มนี้พบได้ในโฮสท์บางชนิดเท่านั้น (host specificity) ถ้าตรวจพบ *S. bovic* และ *S .equinus* เป็นส่วนมากแสดงว่ามลภาวะนั้นมาจากสัตว์เลือดอุ่นที่ไม่ใช่คน การตรวจแยกสายพันธุ์ค่อนข้างยากและเสียเวลา ดังนั้นจึงนิยม วิธีการบอกแหล่งของมลภาวะโดยการตรวจหา Fecal streptococci (FS) ร่วมกับหา Fecal coliforms : (FC) แล้วใช้อัตราส่วนของ Fecal coliforms/Fecal streptococci (FC/FS ratio) เป็นข้อมูลในการบอกแหล่งที่มาของมลภาวะได้ เช่น อัตราส่วนของ FC/FS เป็น 4.4 หรือเกินแสดงว่า แหล่งของมลภาวะมาจากคนแต่ถ้าอัตราส่วนต่ำกว่า 0.7 แสดงว่าแหล่งของภาวะมลพิษไม่ได้มาจากคนอาจเป็นสัตว์และถ้าอยู่ระหว่าง 0.7 -4.4 แสดงว่าแหล่งมลภาวะมีที่มาจากคน และสัตว์ผสมกัน โดยที่อัตรานี้ใช้ได้ผลเมื่อมีการปนเปื้อนด้วยอุจจาระในช่วง 24 ชั่วโมงแรก (ดวงพร คันธโชติ, 2547)

กลไกหลักในการกำจัดจุลินทรีย์ในบ่อบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร

ฟีคัลแบคทีเรียส่วนใหญ่ถูกกำจัดในบ่อหมัก (F) และในบ่อบ่ม (M) แม้ว่าจะมีบ้างที่ถูกกำจัดในบ่อไร้อากาศจากการรวมกันกับของแข็งและตกตะกอน กลไกหลักในการกำจัด ฟีคัลแบคทีเรียในบ่อหมัก (F) และ บ่อบ่ม (M) เป็นที่ทราบว่าขึ้นกับปัจจัยต่อไปนี้

1) เวลาและอุณหภูมิ

2) ค่าความเป็นกรด-ด่าง ควรมากกว่า 9

3) ค่าความเข้มของแสงสูงและปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำสูง

เวลา และอุณหภูมิทั้ง 2 อย่างนี้เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในการออกแบบในบ่อบ่ม (Maturation Pond) เพื่อส่งผลให้ฟีคัลแบคทีเรียตายในบ่อบ่มเพิ่มขึ้น สภาพของบ่อที่แสงส่องถึงก้นบ่อทำให้เกิดการสังเคราะห์แสงสูง ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 9 ค่าที่สูงเช่นนี้เป็นเพราะสาหร่ายในบ่อใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เร็วกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากหายใจของแบคทีเรีย จึงทำให้เกิดการแตกตัวของกรดคาร์บอนิกในน้ำซึ่งจะอยู่ในรูปคาร์บอเนต และไบคาร์บอเนตดังนี้

$$2\,HCO_3^- \longrightarrow CO_3^{2-} + H_2O + CO_2$$

$$CO_3^{2-} + H_2O \longrightarrow 2OH^- + CO_2$$

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกนำไปใช้โดยสาหร่ายเพื่อการสังเคราะห์แสงและการเกิดไฮดรอกไซด์อิออนจากการแตกตัวของกรดคาร์บอนิก ทำให้เกิดสภาพเป็นด่างในน้ำส่งผลให้ค่าความเป็นกรดด่างสูงซึ่งไม่เหมาะต่อการเจริญของแบคทีเรีย

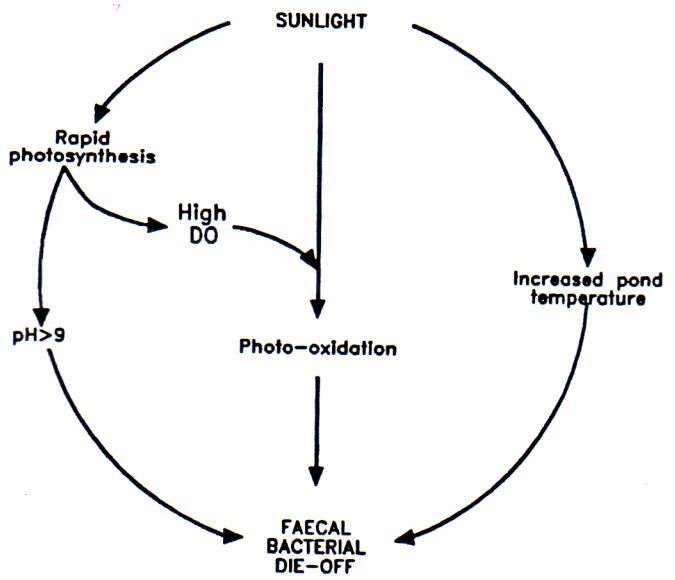
บทบาทของความเข้มของแสงสูง และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำสูงโดยพบว่า แสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 425-700 nm สามารถทำลายฟีคัลแบคทีเรียได้ โดยเชื้อถูกดูดซึมโดยสารอินทรีย์กลุ่มฮูมิก (humic) ที่มีปริมาณมากประกอบกับการมีออกซิเจนสูงในน้ำเสียด้วยเวลาที่นานพอที่จะทำลายเซลล์ของฟีคัลแบคทีเรีย โดยการออกซิไดซ์ด้วยแสง (Photo-oxidation) การทำลายเชื้อโดยแสง พบว่าขึ้นอยู่กับการมีก๊าซออกซิเจนและค่าความเป็นกรด-ด่างที่สูงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ

นอกจากนี้แสงแดดยังมีบทบาทต่อการกำจัดฟีคัลแบคทีเรียในบ่อปรับเสถียรดังนี้คือ

1) โดยตรงคือการเพิ่มอุณหภูมิในบ่อ

2) ทางอ้อมโดยเป็นแหล่งให้พลังงานแสงซึ่งจำเป็นต่อการสังเคราะห์แสง

ของสาหร่ายซึ่งไม่เพียงแต่ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงเกิน 9 แต่ยังเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูงขึ้นด้วย ซึ่งปัจจัยที่กล่าวมาเป็นสิ่งจำเป็นที่ส่งผลต่อกระบวนการ Photo-oxidation (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 กลไกในการกำจัดฟีคัลแบคทีเรีย
ที่มา: Mara *et al.,* (1992)

2. สาหร่าย (Algae) จัดอยู่ในพวกยูคารีโอตเป็นผู้ผลิต (Producer) ในระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นจุลินทรีย์ที่สังเคราะห์แสงได้เพราะมีคลอโรฟิลล์ และการที่มีรงควัตถุ (Pigment) ที่แตกต่างกันทำให้สาหร่ายมีสีต่างกันไปเช่นสีเขียว สีแดง สีน้ำตาล สีน้ำเงิน ซึ่งใช้เป็นลักษณะสำคัญในการจัดจำแนกหมวดหมู่ของสาหร่าย อาจใช้ประเภทคลอโรฟิลล์ในการจำแนก ลักษณะของเซลล์เป็นพวกยูคารีโอต สาหร่ายมีขนาดรูปร่างแตกต่างกันตั้งแต่ขนาดเล็กสุดที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจนถึงขนาดใหญ่ที่มีความยาวถึง 100 ฟุต ลักษณะรูปร่างต่างกันไปเช่นรูปกลม รูปท่อน รูปเกลียว รูปแฉก รูปกระสวย บางชนิดเซลล์อาจอยู่ร่วมกันเป็นกลุ่มเช่น *Volvox* ต่อกันเป็นสายเช่น *Anabaena* เรียงกันเป็นแผ่น เช่น *Ulva* สาหร่ายพวกที่เคลื่อนที่ได้จะอาศัยแฟลกเจลลา หรือเท้าเทียม การสืบพันธุ์มีทั้งแบบมีเพศ และไม่มีเพศ (ดวงพร คันธโชติ, 2545)

ไซยาโนแบคทีเรีย (Cyanobacteria) หรือสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว (Blue green algae) เป็นจุลินทรีย์พวกโปรคารีโอต ที่มีการสังเคราะห์แสงได้เหมือนพืชอาจเรียกว่าจุลสาหร่าย สามารถพบได้ในบ่อบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรและบึงประดิษฐ์เช่นกัน

ในน้ำเสียมีธาตุอาหารสูงจึงเกิดปัญหาการเจริญเติบโตมากเกินไปของสาหร่าย (Algal Bloom) นอกจากนี้สาหร่ายพบได้ตามแหล่งน้ำทั่วไป น้ำจืด น้ำเค็ม แม้กระทั่งพื้นดินที่มีความชื้น การเจริญเติบโตของสาหร่ายแต่ละชนิดในแหล่งน้ำสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของน้ำได้ แหล่งน้ำที่มีปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสมากทำให้เกิดการเจริญเติบโตที่มากเกินไปของสาหร่าย น้ำเกิดกลิ่นเน่าเหม็นของสาหร่าย รงควัตถุที่พบในสาหร่ายได้แก่ Chlorophylls, Phycobilins, Xanthophylls และ Carotenes การวิเคราะห์หาปริมาณ รงควัตถุโดยเฉพาะ Chlorophyll *a* เป็นวิธีทางเคมีที่ใช้ในการวัดการเจริญเติบโตของสาหร่ายโดยจะพบ Chlorophyll *a* ประมาณ 1-2% ของน้ำหนักแห้งของแพลงก์ตอนพืช ภายในเซลล์ของแพลงก์ตอนพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดแพลงก์ตอนพืช อายุของเซลล์ แสง และสารประกอบแร่ธาตุที่จำเป็นในการเจริญเติบโต (ภาคจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2547)

การจัดหมวดหมู่ของสาหร่าย (Bold and Wynne, 1985) ซึ่งจำแนกสาหร่ายทั้งหมดออกเป็น 9 ดิวิชันดังนี้

1. Division Cyanophyta ได้แก่ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน
2. Division Chlorophyta ได้แก่ สาหร่ายสีเขียว
3. Division Charophyta ได้แก่ สาหร่ายไฟ
4. Division Euglenophyta ได้แก่ สาหร่ายยูกลีนอยด์
5. Division Phaeophyta ได้แก่ สาหร่ายสีน้ำตาล
6. Division Chrysophyta ได้แก่ สาหร่ายสีน้ำตาลแกมทอง สาหร่ายสีเขียวแกมเหลือง และไดอะตอม สาหร่ายในกลุ่มนี้มีสมาชิกมากที่สุดคือไดอะตอม นักสาหร่ายวิทยาปัจจุบันได้แยกออกเป็นดิวิชั่นใหม่คือ Division Bacillariophyta
7. Division Pyrrhophyta ได้แก่ สาหร่ายไดโนแฟลเจลเลต
8. Division Cryptophta ได้แก่ สาหร่ายคริพโตโมแนดส์
9. Division Rhodophyta ได้แก่ สาหร่ายสีแดง

การใช้สาหร่ายเป็นตัวชี้ภาวะมลพิษทางน้ำแบ่งแหล่งน้ำตามความมากน้อยของสารอาหาร (trophic level) ออกเป็น 3 ระดับ และสามารถบอกถึงคุณภาพน้ำได้อีกด้วย (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2549)

1. แหล่งน้ำที่มีสารอาหารน้อย (Oligotrophic) มักจะพบสาหร่ายสีเขียวประเภท Desmids ได้แก่ *Staurastrum, Staurodesmus, Cosmarium และ Closterium* แสดงว่าน้ำนั้นมีคุณภาพน้ำดี และยังพบไดอะตอมจะเป็นประเภทเซนทริค (centrice diatom) เช่น *Cyclotella* (Palmer, 1969)

2. แหล่งน้ำที่มีสารอาหารปานกลาง (Mesotrophic) จะพบสาหร่ายไดโนแฟลเจลเลต เช่น *Peridinium, Gymnodinium* และ *Ceratium* แสดงว่าน้ำนั้นมีคุณภาพปานกลาง

3. แหล่งน้ำที่มีสารอาหารมาก (Eutrophic) น้ำมีคุณภาพไม่ดีและโดยทั่วไปแหล่งน้ำที่มีสารอาหารมากมักจะพบสาหร่ายน้อยประเภท (ขาดความหลากหลาย) โดยแต่ละประเภทจะมีจำนวนมาก บางครั้งอาจพบสาหร่ายเพียงชนิดเดียว แต่มีปริมาณมากก็เป็นได้ ในแหล่งน้ำดังกล่าวจะพบสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria* และ *Phormidium* สาหร่ายยูกลีนอยด์ เช่น *Euglena, Phacus* และ *Trachelomonas*

สาหร่ายที่มักพบในระบบบำบัดน้ำเสีย แบ่งเป็น 5 ประเภท (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539) และในตารางที่ 2 แสดงตัวอย่างของสาหร่ายที่มักพบในบ่อปรับเสถียร (Curtis,1994)

1. *Chlorophyta* สาหร่ายที่มีสีเขียว

2. *Euglenophyta* สาหร่ายที่มีสีเขียวชนิดที่เคลื่อนที่ได้

3. *Chrysophyta* สาหร่ายที่มีสีเหลืองแกมเขียว หรือสีทองแกมน้ำตาล ซึ่งพบได้ในน้ำทะเล และน้ำจืดทั่วๆไป

4. *Pyrophyta* สาหร่ายที่มีสีทองแกมน้ำตาล หรือสีเขียวแกมน้ำตาลเคลื่อนที่ได้

5. *Cyanophyta* สาหร่ายที่มีสีน้ำเงินแกม เขียวสามารถใช้ไนโตรเจนจากอากาศเป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับการสังเคราะห์เซลล์ได้

ตารางที่ 2 ตัวอย่างของสาหร่ายสกุลต่างๆที่พบในบ่อปรับเสถียร บำบัดน้ำเสียประเภทน้ำเสียชุมชน

Algae	Facultative Pond	Maturation Pond
Euglenophyta		
Euglena	+	+
Phacus	+	+
Chlorophyta		
Chlamydomnas	+	+
Chlorogonium	+	+
Eudorina	+	+
Pandorina	+	+
Pyrobotrys	+	+
Ankistrodesmus	⊗	+
Chlorella	+	+
Micractinium	⊗	+
Scenedesmus	⊗	+
Selenastrum	⊗	+
Carteria	+	+
Coelastrum	⊗	+
Dictyosphaerium	⊗	+
Oocystis	⊗	+
Volvox	+	⊗
Chrysophyta		
Navicula	+	+
Cyclotella	⊗	+
Cyanophyta		
Ocsillatoria	+	+
Anabaena	+	+

+ =มี ⊗ =ไม่มี

ที่มา: Curtis, T.P. (1994).

1.3 วัตถุประสงค์

1) ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียทางจุลชีววิทยาของเทศบาลนครหาดใหญ่โดยใช้แบคทีเรียบ่งชี้ต่อไปนี้ โคลิฟอร์มทั้งหมด ฟีคัลโคลิฟอร์ม อีโคไล และฟีคัลสเตรปโตคอคไค

2) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแบคทีเรียบ่งชี้กับปัจจัยทางเคมี-กายภาพ ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง ออกซิเจนละลายน้ำ ความเข้มแสง และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ

3) ศึกษาชนิดของสาหร่ายในระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อเป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ทราบถึงประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อแบคทีเรียบ่งชี้ของระบบบำบัดน้ำเสีย

2) ทราบถึงคุณภาพน้ำทางจุลชีววิทยาของน้ำที่ผ่านการบำบัดก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ และ คาดการณ์ถึงความเสี่ยงจะเป็นแหล่งของเชื้อก่อโรคระบบทางเดินอาหาร

3) จากผลการศึกษาดังกล่าวนำไปสู่การบริหารการจัดการระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมกับการกำจัดเชื้อโรค

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

1.วัสดุและอุปกรณ์

1.1 วัสดุ วัสดุที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย อาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับการตรวจวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา สารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเพื่อการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ และการทดสอบทางชีวเคมีกับเชื้อจุลินทรีย์ตลอดจนอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดคุณภาพน้ำในภาคสนามมีรายละเอียดดังนี้

1.1.1 อาหารเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย

Lauryl tryptose broth (LTB)

Eosin methylene blue agar (EMB)

Lactose broth (LB)

Nutrient agar (NA)

Nutrient broth (NB)

Brilliant green lactose bile broth (BGLB)

EC medium

Azide dextrose broth

Pfizer selective enterococcus agar (PSE)

Simmon’ s citrate agar

MR- VP medium

1.1.2 สารเคมี

Indole test ทดสอบอินโดลใช้ Kovac’s reagent

Methyl red test ใช้ Methyl red ทดสอบ

Voges–Proskauer test (VP) ใช้ 5% Naphathol และ 4% KOH ทดสอบ

สารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต 1%

90% Acetone

70% Alcohol

90% Formalin

1.2. อุปกรณ์เครื่องใช้ในการทดลอง

เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างน้ำและอุปกรณ์ที่ใช้การตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางด้านเคมี-กายภาพ และทางจุลชีววิทยา

1.2.1 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำ

ขวดพลาสติก (Polyethylene) ขนาด 1 l

ขวดแก้ว Duran ปราศจากเชื้อเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์หาแบคทีเรียบ่งชี้ ขนาด 250 ml

ขวดสีชาขนาด 250 ml เก็บตัวอย่างน้ำตรวจชนิดของสาหร่าย

ถุงดำ

ขวดน้ำกลั่น

ทิชชู

ปากกาเคมี

1.2.2 อุปกรณ์วิเคราะห์คุณภาพน้ำทางด้านเคมี-กายภาพ

เครื่องวัดค่า pH (Check mate รุ่น M 90)

เครื่อง วัดความเข้มแสง ยี่ห้อ Denki Light Meter.รุ่น DK-211

เครื่อง DO meter ยี่ห้อ YSI Ecosen รุ่น DO 200 , ประเทศเยอรมัน

เครื่อง Thermo Spectronic type Helios Alpha 100-240V ประเทศสหรัฐอเมริกา

เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler ประเทศเยอรมัน

เครื่องเหวี่ยงตกตะกอนชนิดความเร็วต่ำ Centifuge ยี่ห้อ Sorvall รุ่น RT 7,ประเทศสหรัฐอเมริกา

เครื่องปั๊มสุญญากาศและชุดกรอง (Filtrator) ยี่ห้อ Gast รุ่น 0823-101Q-SG 608x

1.2.3 อุปกรณ์วิเคราะห์คุณภาพน้ำทางด้านจุลชีววิทยา

Loop

จานเพาะเชื้อ

Magnetic bar
หลอดทดลองขนาดต่างๆ
ปิเปต (pipette) ขนาด 1, 5 , และ 10 ml
หลอดดักแก๊ส
แท่งแก้วคน
ขวดเก็บตัวอย่าง
กระบอกตวงขนาด 25 ml และ 100 ml
Micropipette
ตะเกียงก๊าซ
Membrane filter ขนาด 0.45 ไมโครมิเตอร์
กล้องจุลทรรศน์
ตู้บ่มเชื้อ (Incubator)
หม้อนึ่งความดันไอน้ำ (Autoclave)
อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)
ตู้เย็น

2.วิธีการดำเนินการวิจัย

1) เก็บตัวอย่างน้ำที่ระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่ จำนวน 7 บ่อ 8 จุดดังภาพที่ 4 โดยเก็บที่จุดปลายท่อของบ่อที่ระดับลึกจากผิวน้ำ 1ฟุต จากบ่อบำบัดทุกบ่อที่มีการเดินระบบและบ่อเก็บน้ำที่ผ่านการบำบัดพร้อมปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยเริ่มจากบ่อบำบัดเบื้องต้นหรือบ่อไร้อากาศ จำนวน 2 จุด (P1A และ P1B) บ่อหมัก (F) บ่อบ่ม (M) บึงประดิษฐ์ (W1, W2, W3) และบ่อพักน้ำ (S) โดยเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 10 วัน โดยเก็บในช่วงเดือนกรกฎาคม-ตุลาคม 2549 และในแต่ละครั้งเริ่มเก็บน้ำที่ช่วงเวลา 9.30-12.00 น. เพื่อใช้วิเคราะห์ปริมาณเชื้อแบคทีเรียบ่งชี้และปริมาณ คลอโรฟิลล์ เอ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1.1 แบคทีเรียบ่งชี้ เก็บตัวอย่างน้ำจากสถานที่ในข้อ 1 ใส่ขวด Duran ขนาด 250 ml. ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว นำตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์หาแบคทีเรียบ่งชี้ ได้แก่ โคลิฟอร์ม ฟีคัลโคลิฟอร์ม อี โคไล และ ฟีคัลคอคไคโดยวิธี Multiple tube fermentation technique หรือ Most Probable Number (MPN method) แบบ 5 หลอด (APHA , 1998) รายละเอียดดังแสดงในภาพที่ 5 ในการศึกษานี้มีขีดจำกัดในเรื่องงบประมาณและระยะเวลาการเก็บตัวอย่างจึงเก็บทุกๆ 10 วัน พร้อมกันทุกบ่อแทนที่จะเก็บตามค่า Hydraulic Retention Time (HRT) ของแต่ละบ่อและเหตุผลที่

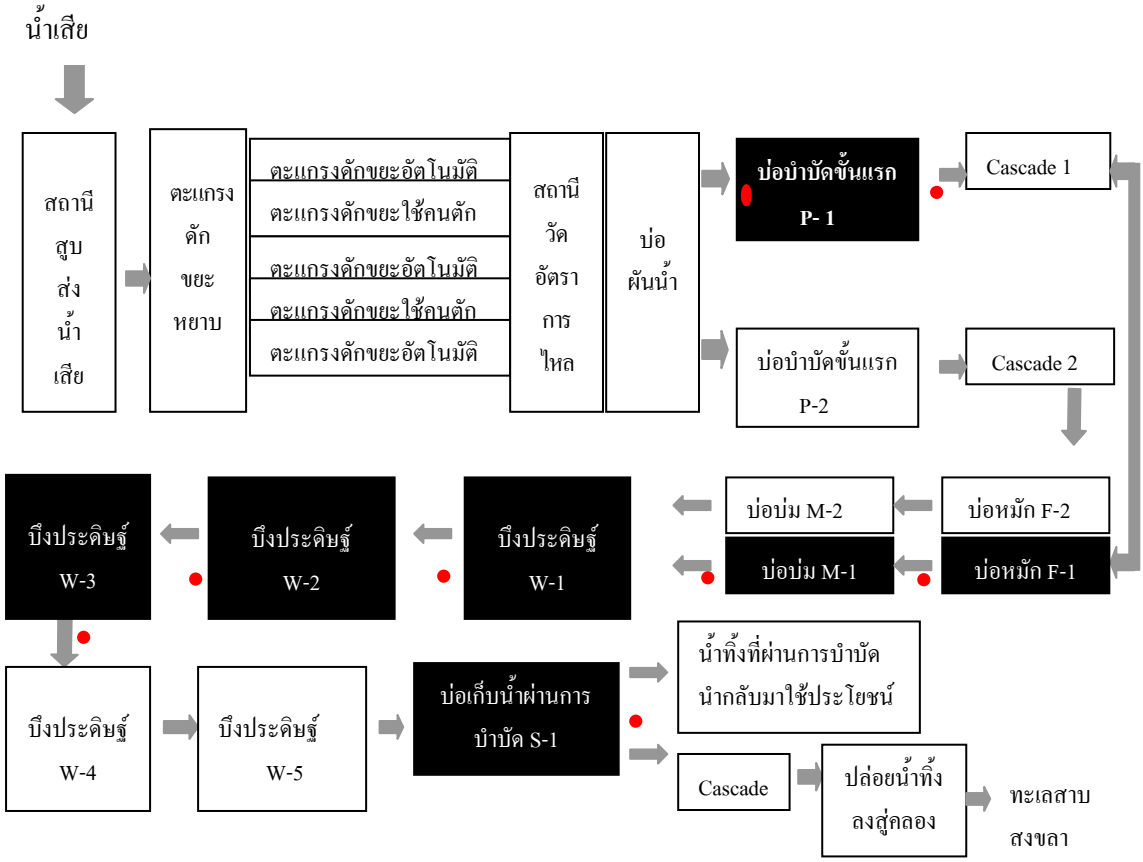
เลือก 10 วัน เป็นเพราะบ่อในระบบบำบัดส่วนใหญ่มีค่า (HRT) ประมาณ 4 วัน ขณะที่บ่อที่เหลือมีค่า 2.4 วัน 6.12 วัน และ 9.38 วัน (ภาคผนวก ง) ดังนี้ช่วงระยะเวลาที่น้ำอยู่ในแต่ละบ่อเพียงพอสำหรับการประเมินค่าการบำบัดแบคทีเรียบ่งชี้

1.2 คลอโรฟิลล์ เอ เก็บน้ำตัวอย่าง จาก ข้อ1 ใส่ขวดพลาสติกขนาด 1 l คลุมด้วยถุงดำเพื่อมิให้เกิดการสังเคราะห์แสงนำมาวิเคราะห์หาปริมาณ คลอโรฟิลล์ เอ ตามวิธีการใน (APHA , 1998) โดยการสกัดด้วยอะซิโตน 90% แล้ววัดสารสกัดที่ความยาวคลื่น 750, 664, 647, และ 630 นาโนมิเตอร์ด้วยเครื่อง Thermo Spectronic type Helios Alpha 100-240 V (APHA , 1998) รายละเอียดดูภาคผนวก

1.3 ชนิดของสาหร่ายเก็บตัวอย่างน้ำจากข้อ 1 ใส่ขวดสีชาดองด้วยฟอร์มาลีน 90 % ศึกษาชนิดของสาหร่ายโดยใช้กล้องจุลทรรศน์และเทียบเคียงตาม ยุวดี พีรพรพิศาล (2548) และ Bold and Wynne (1985)

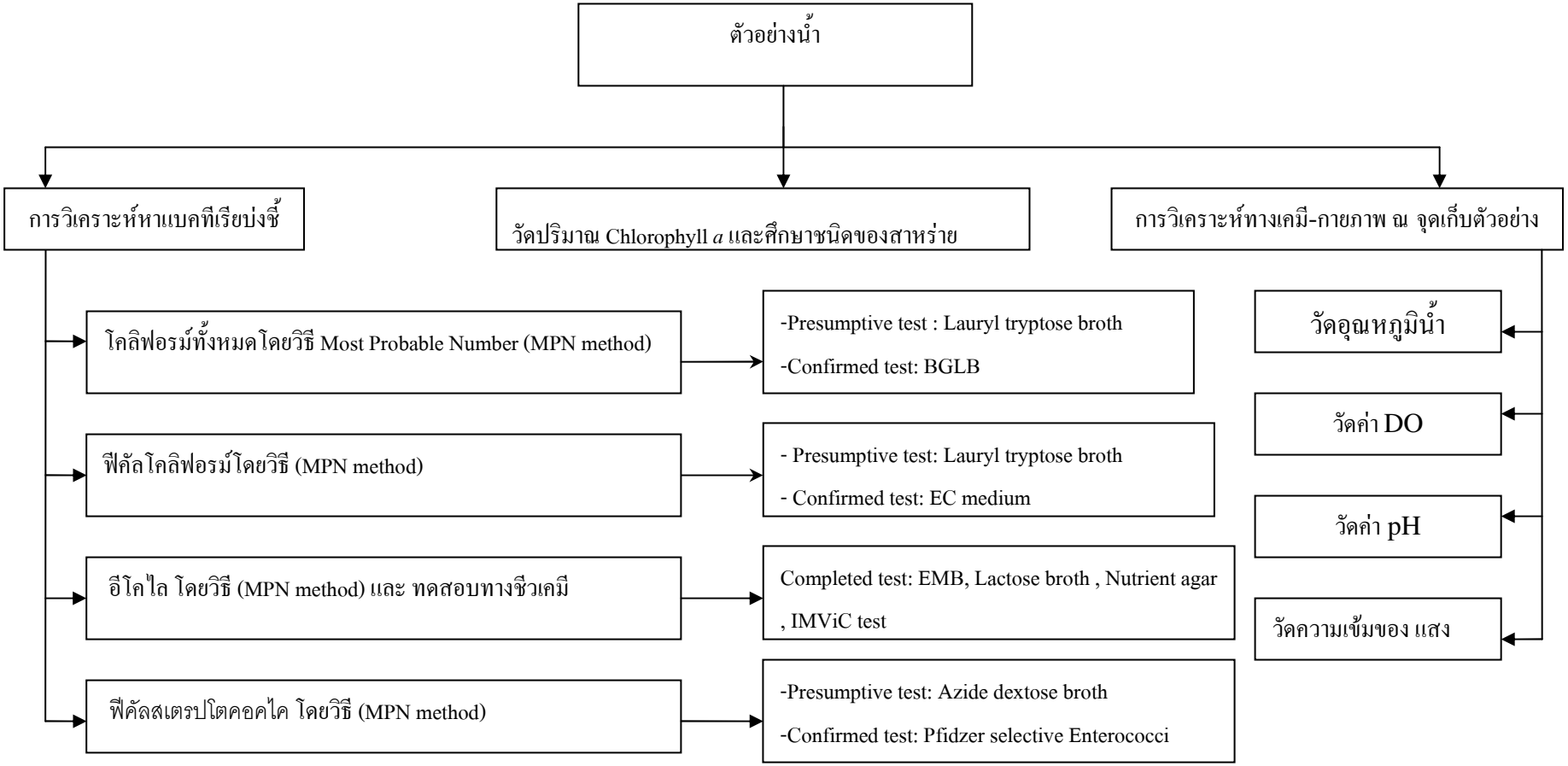
2) คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพ วัดอุณหภูมิน้ำโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ ความเป็นกรด-ด่าง ใช้ pH meter ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) วัดโดย YSI Ecosen DO และความเข้มของแสงวัดโดย Denki Light Meter DK-211 ณ จุดเก็บตัวอย่างน้ำ และ สำหรับพารามิเตอร์เหล่านี้วัดที่เวลา 9.30-11.00น, 12.00-13.55น, 14.00-15.55น และ 16.00-17.55 น.รวม 4 ช่วงเวลาในการเก็บแต่ละครั้ง

3) การหาระยะเก็บกักน้ำ HRT ดูรายละเอียดในภาคผนวก



หมายเหตุ ● คือ จุดเก็บตัวอย่างน้ำ ณ. จุดปล่อยปลายท่อของแต่ละบ่อ

ภาพที่ 4 แผนผังระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่ซึ่งใช้ระบบบ่อปรับเสถียรร่วมกับบึงประดิษฐ์



ภาพที่ 5 แผนผังการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางจุลชีววิทยา ชีววิทยา และทางเคมี – กายภาพ ใช้ตามวิธีของ APHA AWWA&WEF (1998) ศึกษาชนิดของสาหร่ายตาม Bold and Wynne (1985)

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

1) วิเคราะห์ประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียทางจุลชีววิทยาโดยพิจารณาจากการลดลงของแบคทีเรียบ่งชี้โดยคำนวนตามสูตรข้างล่าง

ประสิทธิภาพของการบำบัด (%)

$$= \frac{\text{ปริมาณแบคทีเรียบ่งชี้ในน้ำเข้าระบบ – ปริมาณแบคทีเรียบ่งชี้ในน้ำออกจากระบบ x100}}{\text{ปริมาณแบคทีเรียบ่งชี้ในน้ำเข้าระบบ}}$$

2) ข้อมูลคุณภาพด้านเคมี-กายภาพและ จุลชีววิทยา แสดงโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา หาค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : S.D.) ค่าต่ำสุด (Minimum : Min) ค่าสูงสุด (Maximum : Max) และค่าพิสัย (Range)

3) การวิเคราะห์เพื่อดูประเภทของบ่อบำบัดจะมีผลต่อปัจจัยทางเคมี-กายภาพ รวมถึงประเภทของบ่อน้ำและประเภทของแบคทีเรียที่มีต่อการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย จากการวิเคราะห์พบว่าลักษณะการทดลองเป็นแบบ Two Factorial Design โดยมีปัจจัยแรกเป็นบ่อน้ำ (P, F, M, W1, W2, W3 และ S) และปัจจัยที่สองเป็นช่วงเวลา (9.30-11.30, 12.00-13.55, 14.00-15.55, และ16.00 -17.55 น.) จึงมี Treatment Combination จำนวน 28

4) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยโปรแกรมที่ใช้คือ SPSS version 10 โดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆข้อมูลคุณภาพด้านเคมี-กายภาพ (อุณหภูมิ ความเข้มของแสง ค่าออกซิเจนละลายน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง) ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และจุลชีววิทยา (โคลิฟอร์ม ฟีคัลโคลิฟอร์ม อี โคไล และฟีคัลคอคไค) ข้างต้นมาทดสอบการกระจายของข้อมูลเพื่อใช้พิจารณาว่าเป็นข้อมูลแบบโค้งปกติ (Parametric) หรือไม่ปกติ (Nonparametric) แล้วจึงพิจารณาใช้สถิติอ้างอิงในกรณีหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำทางเคมี-กายภาพและจุลชีววิทยาของตัวอย่างน้ำของระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่ ถ้าผลการพิจารณาพบว่าข้อมูลเป็นแบบ Parametric ใช้สถิติทดสอบแบบ Pearson Product Moment correlation แต่ถ้าผลพิจารณาว่าเป็นข้อมูลแบบ Non–Parametric ให้ใช้สถิติทดสอบ Spearman Rank Correlation จากข้อมูลที่ศึกษาการกระจายของข้อมูลเป็นแบบ Non–Parametric จึงใช้สถิติทดสอบ Spearman Rank Correlation เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทั้งหมด (จรีย์ ควรหาเวช, 2546)

บทที่ 3

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

3.1. ข้อมูลลักษณะทั่วไปของระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่

ระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่ ใช้ระบบบ่อปรับเสถียรโดยอาศัยกลไกการบำบัดโดยธรรมชาติช่วยบำบัดต้องอาศัยเวลาหรือระยะกักเก็บน้ำของน้ำเสียซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด ปัจจุบันการเดินระบบเดินไลน์เดียวเนื่องจากปริมาณน้ำเข้าระบบน้อย เริ่มจากน้ำเสียชุมชนผ่านการแยกขยะด้วยตระแกรงดักขยะเป็นการบำบัดเบื้องต้น (Preliminary Treatment) ไปสู่การบำบัดขั้นแรก ได้แก่ บ่อไร้อากาศ (Primary Pond: P) มีระยะเก็บกักน้ำ (ydraulic Retention Time : RT) 6.12 วัน ไปสู่การบำบัดขั้นที่สอง ได้แก่ บ่อหมัก (Facultative Pond: F) และบ่อบ่ม (Maturation Pond: M) โดยบ่อหมัก (F) มีระยะเก็บกักน้ำ 9.38 วัน ไปสู่ บ่อบ่ม M มีระยะเก็บกักน้ำ 4.06 วัน ไปสู่การบำบัดขั้นสูง ได้แก่ บึงประดิษฐ์ W1 (Wetland: W1) มีระยะเก็บกักน้ำ 5.96 วัน ไปสู่บึงประดิษฐ์ W2 (Wetland: W2) มีระยะเก็บกักน้ำ 4.14 วัน ไปสู่บึงประดิษฐ์ W3 (Wetland: W3) มีระยะเก็บกักน้ำ 2.4 วัน ดังตารางที่ 3 และสุดท้ายไป บ่อเก็บน้ำผ่านการบำบัด ในการศึกษานี้เรียกสั้นๆว่าบ่อพักน้ำ (Effluent Storage Pond: S) เพื่อปล่อยลงคลองขุดไหลออกทะเลสาบสงขลา

ตารางที่ 3 ค่า ydraulic Retention Time (RT) ของแต่ละบ่อบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่

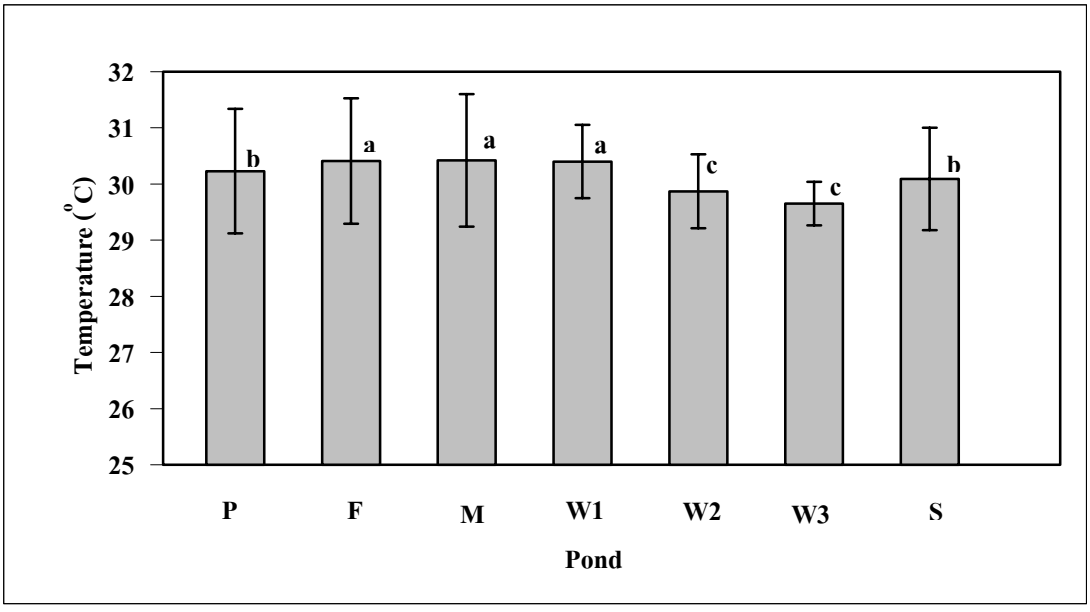
Pond	RT (day)
P (Primary Pond)	6.12
F (Facultative Pond)	9.38
M (Maturation Pond)	4.06
W1 (Wetland 1)	5.96
W2 (Wetland 2)	4.14
W3 (Wetland 3)	2.4

3.2. ผลการศึกษาคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่

1. อุณหภูมิ

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าประเภทของบ่อน้ำส่งผลต่อความแตกต่างของอุณหภูมิอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และพบว่าช่วงเวลาก็มีผลต่ออุณหภูมิของน้ำ ($p < 0.05$) โดยมีรายละเอียดดังจะกล่าวต่อไป

1.1ผลการศึกษาอุณหภูมิ ช่วงเวลา 9.30-11.30 น. จากภาพที่ 6 สามารถจัดแบ่งอุณหภูมิของน้ำเป็น 3 ระดับได้แก่สูง (30.40-30.42ºC) ปานกลาง (30.09-30.23ºC) และ ต่ำ (29.65-29.87ºC)โดยบ่อที่มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูง ได้แก่ บ่อบ่ม (M) บ่อหมัก (F) และบึงประดิษฐ์ (W1) มีค่า 30.42 ± 1.18ºC, 30.41 ± 1.12ºC และ 30.40 ± 0.65ºC ตามลำดับ เนื่องจากบ่อนี้มีความลึก 1.3-1.4 m เป็นบ่อตื้นและ อยู่ในที่โล่งแจ้งแสงแดดส่องได้ทั่วทั้งบ่อ บ่อที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยปานกลาง ได้แก่ บ่อไร้อากาศ (P) บ่อและบ่อพักน้ำ (S) โดยมีค่า 30.23 ± 1.11ºC และ 30 ± 0.91ºC ตามลำดับ บ่อที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำ คือบึงประดิษฐ์ (W2) และ บึงประดิษฐ์ (W3) โดยมีค่า 29.87 ± 0.66ºC และ 29.65 ± 0.39ºC ตามลำดับ เนื่องจากบ่อนี้ มีผักตบชวาปกคลุมมากมายแสงแดดส่องไปไม่ถึงจึงส่งผลให้อุณหภูมิน้ำมีค่าต่ำสำหรับรายละเอียดอุณหภูมิของน้ำแต่ละบ่อในการเก็บแต่ละครั้งดูตารางภาคผนวก ค ที่ 1

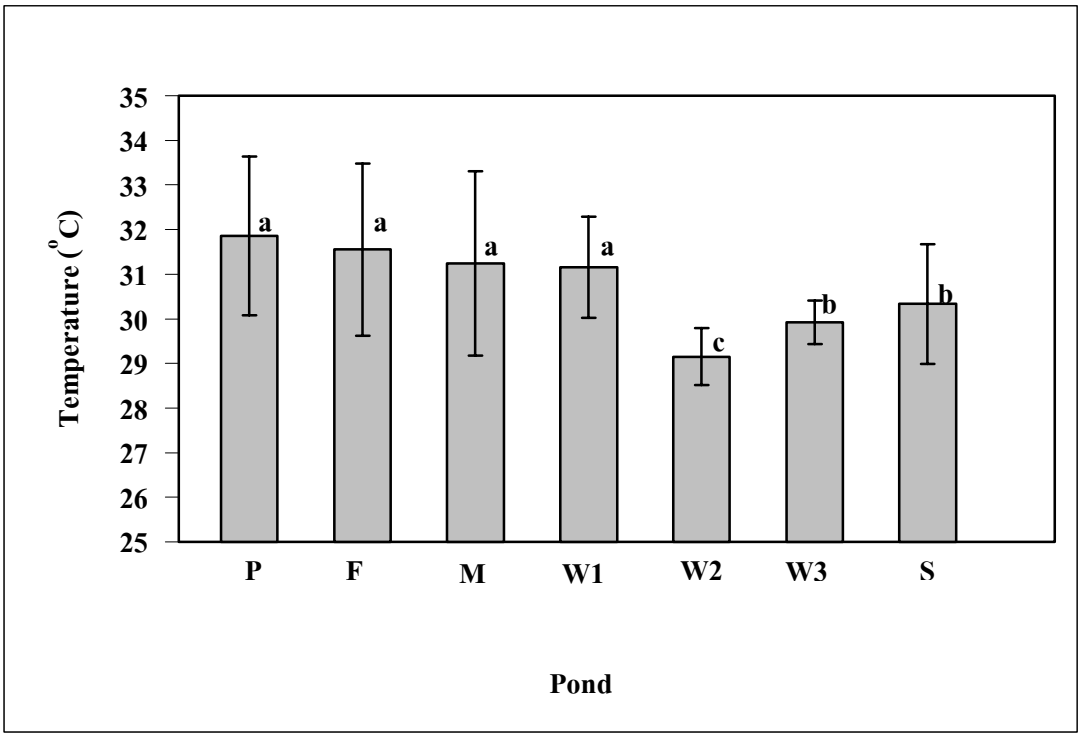


ภาพที่ 6 อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำแต่ละบ่อช่วงเวลา 9.30-11.30 น.จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้งของระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่

หมายเหตุ a ระดับสูง b ระดับปานกลาง c ระดับต่ำ ($p < 0.05$)

1.2 ผลการศึกษาอุณหภูมิ ช่วงเวลา 12.00-13.55 น.

จากภาพที่ 7 อุณหภูมิของน้ำระดับสูงได้แก่ (31.24-31.86ºC) ปานกลาง (29.92-31.24ºC) และ ต่ำ 29.15ºC โดยบ่อที่มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูง ได้แก่ บ่อไร้อากาศ (P) และ บ่อหมัก (F) บ่อบ่ม (M) และบึงประดิษฐ์ (W1) โดยมีค่า 31.86 ± 1.78ºC 31.55 ± 1.93ºC 31.24 ± 2.06ºC และ 31.16 ± 1.13ºC ตามลำดับ เนื่องจากสภาพอากาศในช่วงเวลานี้มีแสงแดดจ้า ส่องทั่วบ่อ บ่อที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยปานกลางได้แก่ บ่อพักน้ำ (S) และบึงประดิษฐ์ (W3) มีค่า 30.33 ± 1.34ºC และ 29.92 ± 0.48ºC ตามลำดับ บ่อที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด ได้แก่ บึงประดิษฐ์ (W2) มีค่า 29.15 ± 0.64ºC เนื่องจากบ่อนี้มีปริมาณผักตบชวาหนาแน่นบดบังแสงแดดที่ส่องจึงทำให้อุณหภูมิของน้ำในบ่อนี้มีค่าต่ำ ลักษณะของอุณหภูมิน้ำในช่วงกลางวันโดยส่วนใหญ่สูงกว่าอุณหภูมิในช่วงเช้าประมาณ 1ºC เป็นเพราะความเข้มของแสงที่มากขึ้นซึ่งจะกล่าวในภายหลัง สำหรับรายละเอียดอุณหภูมิของน้ำแต่ละบ่อในการเก็บแต่ละครั้งดูตารางภาคผนวก ค ที่ 2

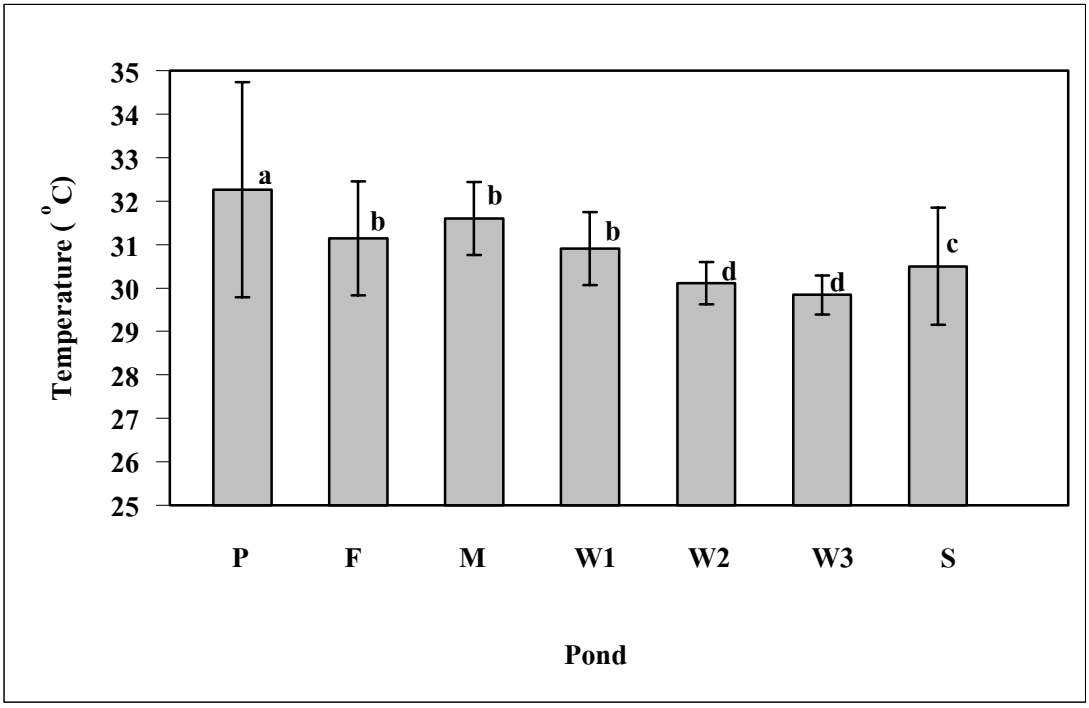


ภาพที่ 7 อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำแต่ละบ่อช่วงเวลา 12.00-13.55 น.จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้งของระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่

หมายเหตุ a ระดับสูง b ระดับปานกลาง c ระดับต่ำ ($p < 0.05$)

1.3 ผลการศึกษาอุณหภูมิ ช่วงเวลา 14.00-15.55 น.

จากภาพที่ 8 สามารถจัดแบ่งอุณหภูมิของน้ำเป็น 4 ระดับ อุณหภูมิของน้ำระดับสูง ได้แก่ 32.26°C ค่อนข้างสูง (30.9-31.6ºC) ปานกลาง 30.5ºC และ ต่ำ (29.84-30.11ºC) โดยบ่อที่มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูง ได้แก่ บ่อไร้อากาศ (P) โดย มีค่า 32.26 ± 2.47ºC เนื่องจากการวัดอุณหภูมิในวันที่ 7 ก.ย 2549 ครั้งที่ 7 สูงถึง 37.1ºC (ดูจากตารางผนวก ค ที่ 3) เพราะ สภาพอากาศในช่วงเวลานี้มีแสงแดดจ้าและความร้อนสะสมจึงส่งผลให้บ่อนี้มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงที่สุด ทั้ง 4 ช่วงเวลาภาพที่ 6-9 บ่อที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยค่อนข้างสูง ได้แก่บ่อหมัก (F) บ่อบ่ม (M) บึงประดิษฐ์ (W1) โดย มีค่า 31.6 ± 2.31ºC 31.14 ± 1.31ºC และ 30.9 ± 0.8ºC อุณหภูมิปานกลาง ได้แก่ บ่อพักน้ำ (S) โดย มีค่า 30.5 ± 1.35ºC บ่อที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด ได้แก่ บึงประดิษฐ์ (W2) และ บึงประดิษฐ์ (W3) โดยมีค่า 30.11 ± 0.49ºC และ 29.84 ± 0.45ºC ตามลำดับ จากการวัดอุณหภูมิในครั้งที่ 5 และ 8 ของบึงประดิษฐ์ (W3) อุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 29.30ºC เนื่องจากสภาพอากาศมีเมฆฝนและไม่มีแสงแดด จึงส่งผลให้บ่อนี้มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด อีกทั้งโดยลักษณะทั่วไปของบ่อนี้ถูกปกคลุมด้วยผักตบชวามากมาย สำหรับรายละเอียดอุณหภูมิของน้ำละบ่อในการเก็บแต่ละครั้งดูตารางภาคผนวก ค ที่ 3

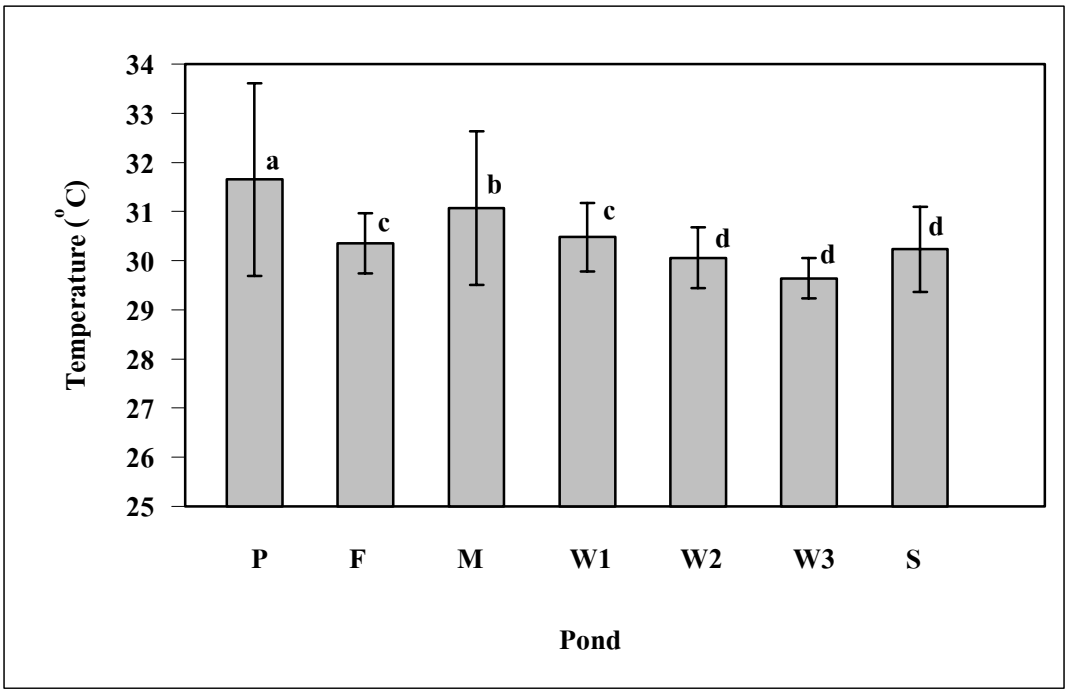


ภาพที่ 8 อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำแต่ละบ่อช่วงเวลา 14.00-15.55 น.จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้งของระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่

หมายเหตุ a ระดับสูง b ค่อนข้างสูง c ระดับปานกลาง d ระดับต่ำ ($p < 0.05$)

1.4 ผลการศึกษาอุณหภูมิ ช่วงเวลา 16.00-17.55 น.

จากภาพที่ 9 อุณหภูมิของน้ำระดับสูงได้แก่ 31.65ºC ค่อนข้างสูง (31.07ºC)ปานกลาง (30.35-30.48ºC) และ ต่ำ (29.64-30.23ºC) โดยบ่อที่มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงได้แก่ บ่อไร้อากาศ (P) มีค่า 31.65 ± 1.96ºC บ่อที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยค่อนข้างสูง ได้แก่บ่อบ่ม (M) มีค่า 31.07± 1.57ºC ปานกลาง ได้แก่บึงประดิษฐ์ (W1) บ่อหมัก (F) โดยมีค่า 30.35 ± 0.61ºC และ 30.48 ± 0.70ºC ตามลำดับ และ ต่ำได้แก่ บ่อพักน้ำ (S) บึงประดิษฐ์ (W2) และบึงประดิษฐ์ (W3) โดยมีค่า30.23 ± 0.86ºC, 30.06 ± 0.62ºC และ 29.64 ± 0.41ºC ตามลำดับ เนื่องจากการวัดในวันที่ 17 ส.ค 2549 ครั้งที่ 5 บึงประดิษฐ์ (W3) มีอุณหภูมิต่ำสุด 28.80ºC ช่วงเวลาดังกล่าวเริ่มมีฝนตก สำหรับรายละเอียดอุณหภูมิของน้ำแต่ละบ่อในการเก็บแต่ละครั้งดูตารางภาคผนวก ครั้ง ที่ 4



ภาพที่ 9 อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำแต่ละบ่อช่วงเวลา 16.00-17.55 น.จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้งของระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่

หมายเหตุ a ระดับสูง b ค่อนข้างสูง c ระดับปานกลาง d ระดับต่ำ ($p < 0.05$)

พบว่าได้อุณหภูมิของบ่อแต่ละบ่อมีค่าสูงบ้างต่ำบ้าง นอกจากความลึกของบ่อแล้ว สิ่งที่ทำให้ส่งผลต่ออุณหภูมิของบ่อก็คือ สิ่งที่บดบังแสงเช่นมีผักตบชวาหนาแน่นมากจนเกินไปทำให้แสงไม่สามารถส่องไปถึง การมีสารอินทรีย์วัตถุอยู่มากในบ่อทำให้เก็บความร้อนไว้ได้มากจึงทำให้บ่อไร้อากาศ (P) มีอุณหภูมิอยู่ในระดับสูงทุกช่วงเวลา นอกจากนี้ก็ยังมีเรื่องสภาพภูมิอากาศด้วยที่มีผลต่ออุณหภูมิของน้ำในบ่อ

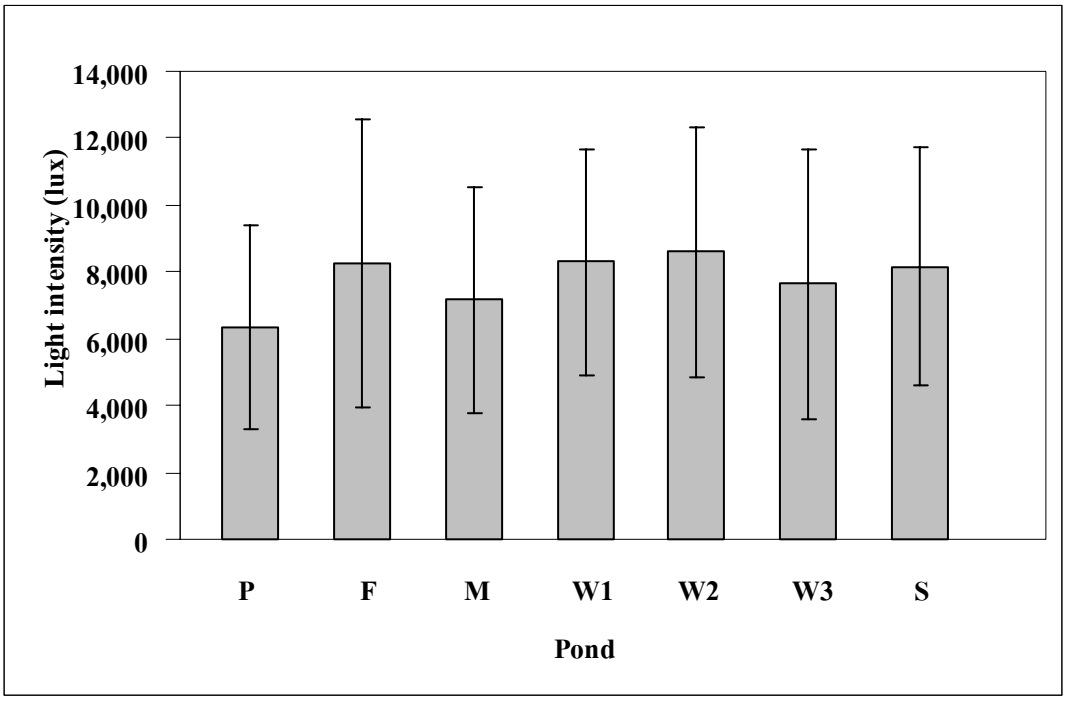
เมื่อพิจารณาจากช่วงเวลาต่างๆแล้วพบว่า บ่อไร้อากาศ (P) อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด 32.26 ± 2.47ºC ที่ช่วงเวลา 14.00-15.55 น. จากภาพที่ 8 ตารางภาคผนวก ค ที่ 3 เพราะบ่ออยู่ในที่โล่งแจ้งมีสารอินทรีย์สูงอีกทั้งช่วงเวลานี้แสงแดดจ้ามาก ส่องมาทั่วบ่อ จึงส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำในบ่อนี้มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ส่วนบึงประดิษฐ์ (W2) อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด 29.15 ± 0.64ºC ที่ช่วงเวลา 12.00-13.55 น.จากภาพที่ 7 ตารางภาคผนวก ค ที่ 2 เนื่องจากบ่อนี้มีปริมาณผักตบชวาหนาแน่นบดบังแสงแดดที่ส่องไม่สามารถไปถึงท้องน้ำทำให้อุณหภูมิของน้ำในบ่อนี้มีค่าต่ำ นอกจากนี้เป็นที่ทราบว่าฤดูกาลมีผลอย่างมากต่ออุณหภูมิน้ำเช่นในฤดูร้อนอุณหภูมิสูงส่งผลให้การกำจัดเชื้อในระบบบ่อปรับเสถียรดี (Troussellier and Legendre, 1989)

2. ความเข้มแสง

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าประเภทของบ่อน้ำไม่มีผลต่อความเข้มแสง แต่ช่วงเวลามีผลต่อความเข้มแสงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีรายละเอียดดังจะกล่าวต่อไป

2.1 ผลการศึกษาความเข้มแสงช่วงเวลา 9.30-11.30 น.

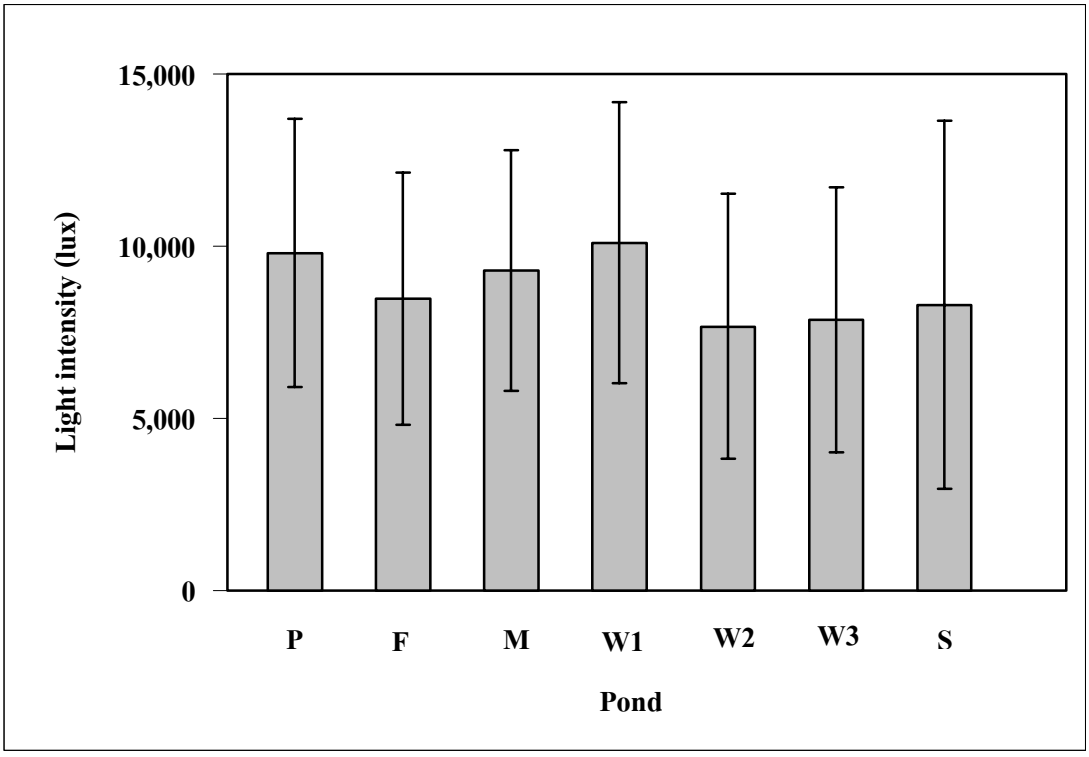
จากภาพที่ 10 สามารถจัดแบ่งความเข้มแสงเป็น 3 ระดับแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่สูง (8,164-8,613 lux) ปานกลาง (7,155-7,643 lux) และ ต่ำ 6,336 lux โดยบ่อที่มีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยสูงได้แก่ บึงประดิษฐ์ (W2) บึงประดิษฐ์ (W1) บ่อหมัก (F) บ่อพักน้ำ (S) มีค่า 8,613 ± 3,034 lux, 8,311 ± 3,378 lux , 8,252 ± 4,310 lux และ 8,164 l ± 3,290 lux ตามลำดับ บ่อ ที่มีค่า ความเข้มแสงเฉลี่ยปานกลางได้แก่ บ่อบ่ม (M) และ บึงประ ดิษฐ์ (W3) โดยมีค่า 7,515 ± 3,789 lux และ 7,643 ± 4,052 lux ตามลำดับ และต่ำได้แก่ บ่อไร้อากาศ (P) 6,336 ± 3,034 lux สำหรับรายละเอียดความเข้มแสงแต่ละบ่อในการเก็บแต่ละครั้งดูตารางภาคผนวก ค ที่ 5



ภาพที่ 10 ปริมาณความเข้มแสงเฉลี่ยของแต่ละบ่อช่วงเวลา 9.30-11.30 น. จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้งของระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่

2.2 . ผลการศึกษาความเข้มแสงช่วงเวลา 12.00-13.55 น.

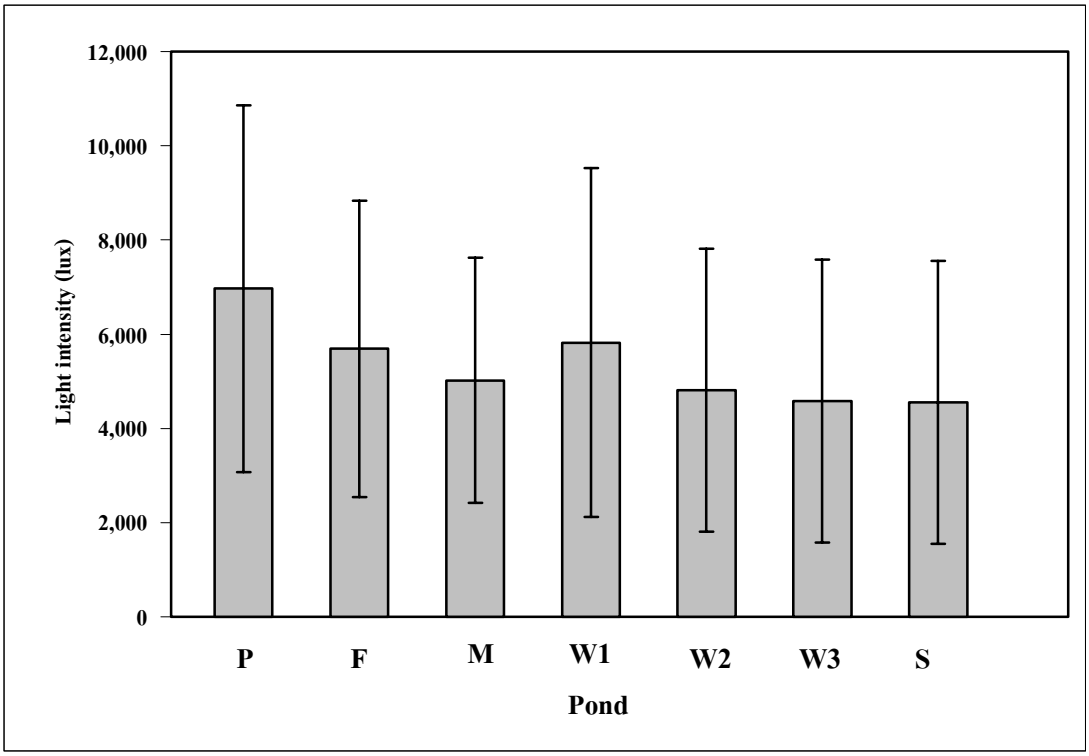
จากภาพที่ 11 สามารถจัดแบ่งความเข้มแสงเป็น 3 ระดับแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ได้แก่สูง (10,099-9,802 lux) ปานกลาง (8,480-9,291 lux) และต่ำ (7,665-8,298 lux) โดยบ่อที่มีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยสูงได้แก่ บึงประดิษฐ์ (W1) และบ่อไร้อากาศ (P) โดย มีค่า 10,099 ± 4,080 lux และ 9,802 ± 3,900 lux ตามลำดับ บ่อที่มีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยปานกลางได้แก่ บ่อบ่ม (M) บ่อหมัก (F) โดยมีค่า 9,291 ± 3,500 lux และ 8,480 ± 3,660 lux ตามลำดับ บ่อที่มีค่า ความเข้มแสงเฉลี่ยต่ำได้แก่บ่อพักน้ำ (S) บึงประดิษฐ์ (W3) บึงประดิษฐ์ (W2) โดยมีค่า 8,298 ± 5,340 lux 7,861 ± 3,840 lux และ 7,665 ± 3,850 lux ตามลำดับ สำหรับรายละเอียดความเข้มแสงแต่ละบ่อในการเก็บแต่ละครั้งดูตารางภาคผนวก ค ที่ 6



ภาพที่ 11 ปริมาณความเข้มแสงเฉลี่ยของแต่ละบ่อช่วงเวลา 12.00-13.55 น. จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้งของระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่

2.3.ผลการศึกษาความเข้มแสงช่วงเวลา 14.00-15.55 น.

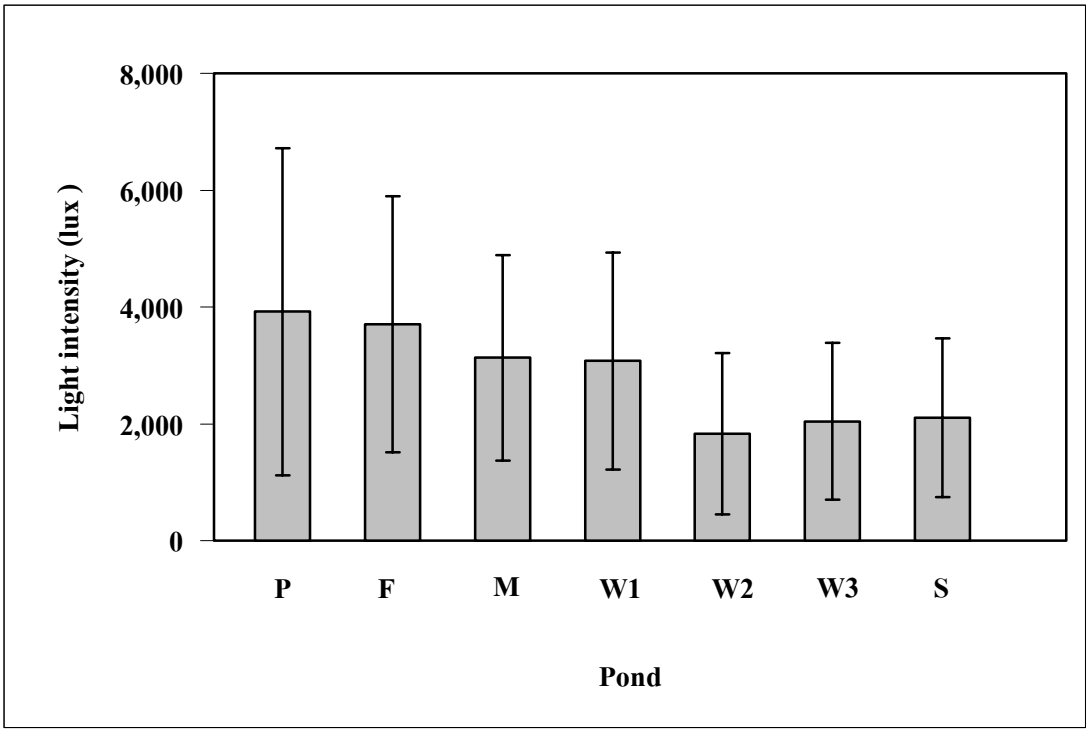
จากภาพที่ 12 ความเข้มแสงแบ่งเป็น 3 ระดับแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ได้แก่สูง (6,965 lux) ปานกลาง (5,690-5,820 lux) และ ต่ำ (4,550-5,020 lux) โดยบ่อ ที่มีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยสูงได้แก่ บ่อไร้อากาศ (P) มีค่า 6,965 lux บ่อที่มีค่า ความเข้มแสงเฉลี่ย ปานกลางได้แก่บึงประดิษฐ์ (W1) และบ่อหมัก (F) โดยมีค่า 5,820 ± 3,700 lux และ 5,690 ± 3,150 lux ตามลำดับ บ่อที่มีค่า ความเข้มแสงเฉลี่ย ต่ำได้แก่บ่อบ่ม (M) บึงประดิษฐ์ (W2) บึงประดิษฐ์ (W3) และ บ่อพักน้ำ (S) โดยมีค่า 5,020 ± 2,600 lux 4,810 ± 3,690 lux 4,580 ± 3,000 lux และ 4,550 ± 3,000 lux ตามลำดับสำหรับรายละเอียดความเข้มแสงแต่ละบ่อในการเก็บแต่ละครั้งดูตารางภาคผนวก ค ที่ 7



ภาพที่ 12 ปริมาณความเข้มแสงเฉลี่ยของแต่ละบ่อในช่วงเวลา 14.00-15.55 น. จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้งของระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่

2.4. ผลการศึกษาความเข้มแสงช่วงเวลา 16.00-17.55 น.

จากภาพที่ 13 ความเข้มแสงแบ่งเป็น 3 ระดับแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ได้แก่สูง (3,700-3,920 lux) ปานกลาง (3,074-3,130 lux) และ ต่ำ (1,831-2,104 lux) โดยบ่อที่มีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยสูงได้แก่บ่อไร้อากาศ (P) บ่อหมัก (F) โดยมีค่า3,920 ± 2,800 lux และ 3,700 ± 2,190 lux ส่วนบ่อที่มีความเข้มแสงเฉลี่ยปานกลางได้แก่ บ่อบ่ม (M) บึงประดิษฐ์ (W1) มีค่า 3,130 ± 1,760 lux และ 3,074 ± 1,860 lux และต่ำ ได้แก่ บ่อพักน้ำ (S) บึงประดิษฐ์ (W3) บึงประดิษฐ์ (W2) โดยมีค่า 2,104 ± 1,360 lux, 2,043 ± 1,340 lux และ 1,831 ± 1,380 lux ตามลำดับ กรณีที่ บึงประดิษฐ์ (W2) มีความเข้มแสงต่ำสุด สาเหตุหนึ่งเนื่องจากจากการวัดความเข้มแสงในวันที่ 7 ก.ย (ครั้งที่ 7) ช่วงเวลาดังกล่าวไม่มีแสงแดดเลยครึ้มฟ้าครึ้มฝนจึงส่งผลให้บ่อ มีค่าต่ำ 520 lux สำหรับรายละเอียดความเข้มแสงแต่ละบ่อในการเก็บแต่ละครั้งดูตารางภาคผนวก ค ที่ 8

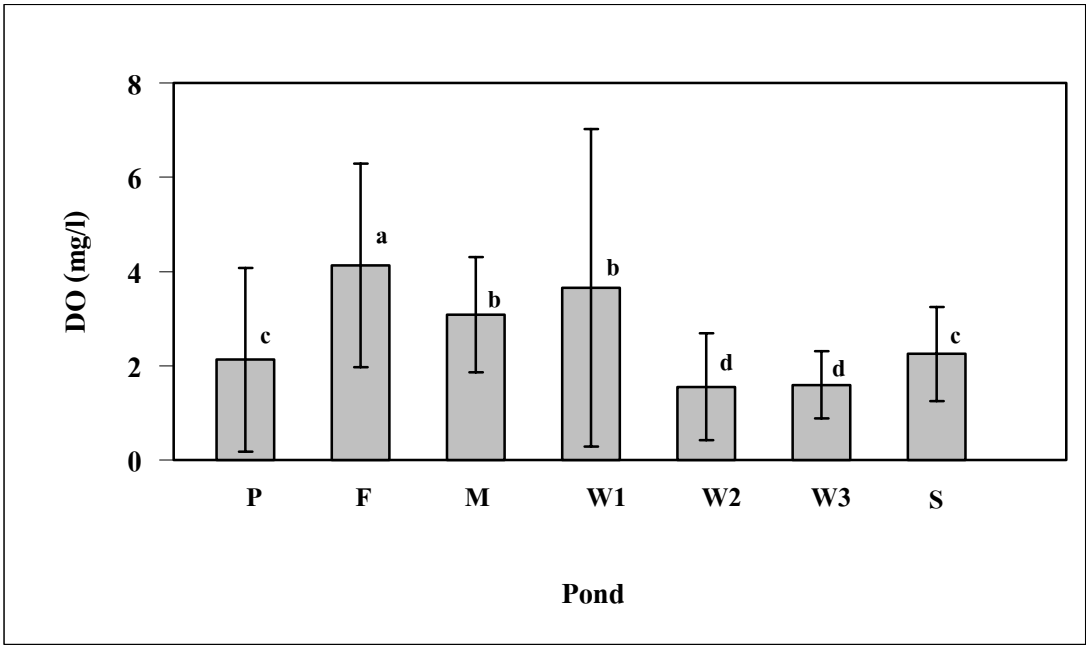


ภาพที่ 13 ปริมาณความเข้มแสงเฉลี่ยของแต่ละบ่อในช่วงเวลา 16.00-17.55 น.จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้งของระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่

จากช่วงเวลาต่างๆที่ศึกษาพบว่าความเข้มแสงโดยฉลี่ยมีค่าสูงสุดช่วงเวลา 12.00-13.55 น.ได้แก่บึงประดิษฐ์ (W1) มีค่า อยู่ในช่วง 3,130-14,660 lux ค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 10,099 ± 4,080 lux และบ่อไร้อากาศ (P) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9,802 ± 3,900 lux จากภาพที่ 11 ดูรายละเอียดตารางผนวก ค ที่ 6 ส่วนช่วงเวลา 16.00-17.55 น. บึงประดิษฐ์ (W2) มีค่าอยู่ในช่วง 520-4,790 lux ค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 1,831 ± 1,380 lux จากภาพที่ 13 ดูรายละเอียดตารางผนวก ค ที่ 8 ซึ่งสัมพันธ์กับอุณหภูมิเพราะความเข้มแสงสูงส่งผลให้อุณหภูมิสูง (ภาพที่ 7) นอกเหนือจากช่วงเวลาแล้วความเข้มแสงขณะนั้นอาจแปรเปลี่ยนตามภูมิอากาศเช่นจากการศึกษาอยู่ในเดือนกรกฎาคม-ตุลาคม ซึ่งเป็นช่วงเข้าฤดูฝนจึงทำให้ค่าอุณหภูมิแปรปรวนในช่วงเวลาที่ศึกษาเนื่องจากอิทธิพลของก้อนเมฆ และฝนที่ส่งผลต่อความเข้มแสงซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่พบว่าช่วงเวลามีผลต่อความเข้มแสงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

3. ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ

3.1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าประเภทของบ่อน้ำมีผลต่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ช่วงเวลาไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีรายละเอียดดังจะกล่าวต่อไป ผลการศึกษาปริมาณออกซิเจนละลายน้ำช่วงเวลา 9.30-11.30 น.จากภาพที่ 14 สามารถจัดแบ่ง ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเป็น 4 ระดับได้แก่สูง (4.13 mg/l) ค่อนข้างสูง 3.08-3.65 mg/l ปานกลาง (2.13-2.25 mg/l) และต่ำ (1.56-1.59 mg/l) โดยบ่อที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยสูงได้แก่ บ่อหมัก (F) โดยมีค่า 4.13 ± 2.16 mg/l ค่อนข้างสูงได้แก่ บึงประดิษฐ์ (W1) บ่อบ่ม (M) โดยมีค่า 3.65 ± 3.37 mg/l และ 3.08 ± 1.22 mg/l ตามลำดับ ปานกลาง ได้แก่ บ่อพักน้ำ (S) บ่อไร้อากาศ (P) โดยมีค่า 2.25 ± 1.0 mg/l และ 2.13 ± 1.95 mg/l ตามลำดับ และต่ำได้แก่ บึงประดิษฐ์ (W2) และบึงประดิษฐ์ (W3) มีค่า 1.56 ± 1.13 mg/l และ 1.59 ± 0.71 mg/l ตามลำดับ พบว่าในช่วงเวลานี้บ่อหมัก (F) จากการวัด ในครั้งที่ 6 วันที่ 28 สค 2549 มีค่าสูงถึง 8.63 (mg/l) สภาพสีของน้ำในบ่อสีเขียวเข้มมาก ส่วนบึงประดิษฐ์ (W 2) จากการวัด ในครั้งที่ 7 ครั้งที่ 8 และ ครั้งที่ 10 มีค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเท่ากับ 0.94, 0.75, และ 0.05 mg/l ตามลำดับซึ่งต่ำมากและ ในการตรวดวัด ในครั้งที่ 7 ฝนตกหนักมากน้ำมีตะกอนขุ่นมากในการตรวจวัด ในครั้งที่ 8 ค่าต่ำเพราะช่วงเวลาดังกล่าวไม่มีแดดเลยจึงไม่มีการสังเคราะห์แสงสำหรับรายละเอียดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำแต่ละบ่อในการเก็บแต่ละครั้งดูตารางภาคผนวก ค ที่ 9

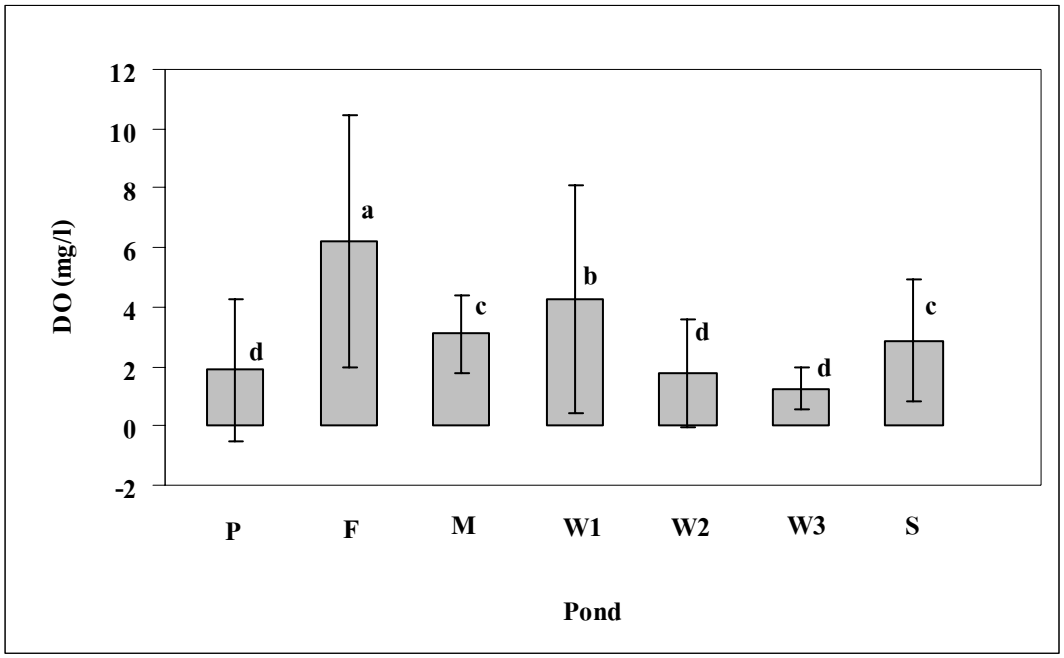


ภาพที่ 14 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยของแต่ละบ่อช่วงเวลา 9.30-11.30 น. จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้งของระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่

หมายเหตุ a ระดับสูง b ค่อนข้างสูง c ระดับปานกลาง d ระดับต่ำ ($p < 0.05$)

3.2 ผลการศึกษาปริมาณออกซิเจนละลายน้ำช่วงเวลา 12.00-13.55 น.

จากภาพที่ 15 จัดแบ่ง ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเป็น 4 ระดับได้แก่สูง (6.19 mg/l) ค่อนข้างสูง (4.25 mg/l) ปานกลาง (2.88 -3.08 mg/l) และ ต่ำ (1.24-1.90 mg/l) โดยบ่อที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยสูงได้แก่ บ่อหมัก (F) มีค่า 6.19 ± 4.23 mg/l บ่อที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยค่อนข้างสูงได้แก่ บึงประดิษฐ์ (W1) โดยมีค่า 4.25 ± 3.84 mg/l ส่วนบ่อที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยปานกลางได้แก่บ่อบ่ม (M) และ บ่อพักน้ำ (S) โดยมีค่า 3.08 ± 1.29 mg/l และ 2.88 ± 2.06 mg/l ตามลำดับ และบ่อที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยต่ำได้แก่ บ่อไร้อากาศ (P) บึงประดิษฐ์ (W2) และบึงประดิษฐ์ (W3) โดยมีค่า 1.90 ± 2.39 mg/l, 1.75 ± 1.80 mg/l และ 1.24 ± 0.70 mg/l ตามลำดับ กรณีที่บ่อหมัก (F) มีค่าออกซิเจนละลายน้ำสูงมีความสัมพันธ์กับการมีสาหร่ายมากโดยสาหร่ายที่มีมากมายหลายชนิดในบ่อนี้ (จะนำเสนอภายหลัง) สังเคราะห์แสงส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูง สำหรับรายละเอียดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำแต่ละบ่อในการเก็บแต่ละครั้ง ดูตารางผนวก ค ที่ 10

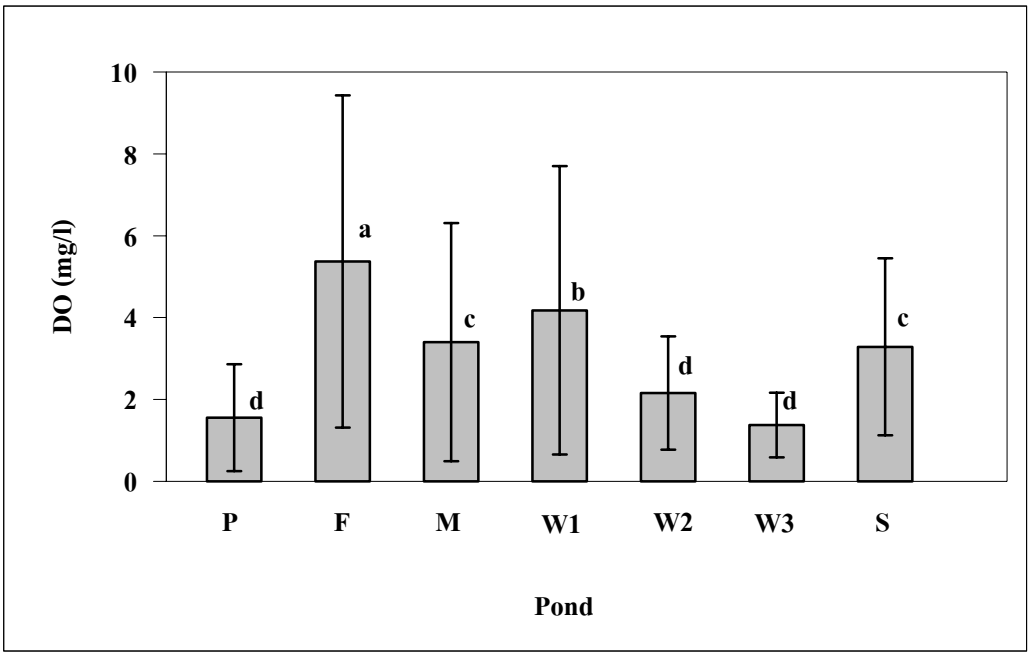


ภาพที่ 15 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยของแต่ละบ่อช่วงเวลา 12.00-13.55 น.จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้งของระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่

หมายเหตุ a ระดับสูง b ค่อนข้างสูง c ระดับปานกลาง d ระดับต่ำ ($p < 0.05$)

3.3 ผลการศึกษาปริมาณออกซิเจนละลายน้ำช่วงเวลา 14.00-15.55 น.

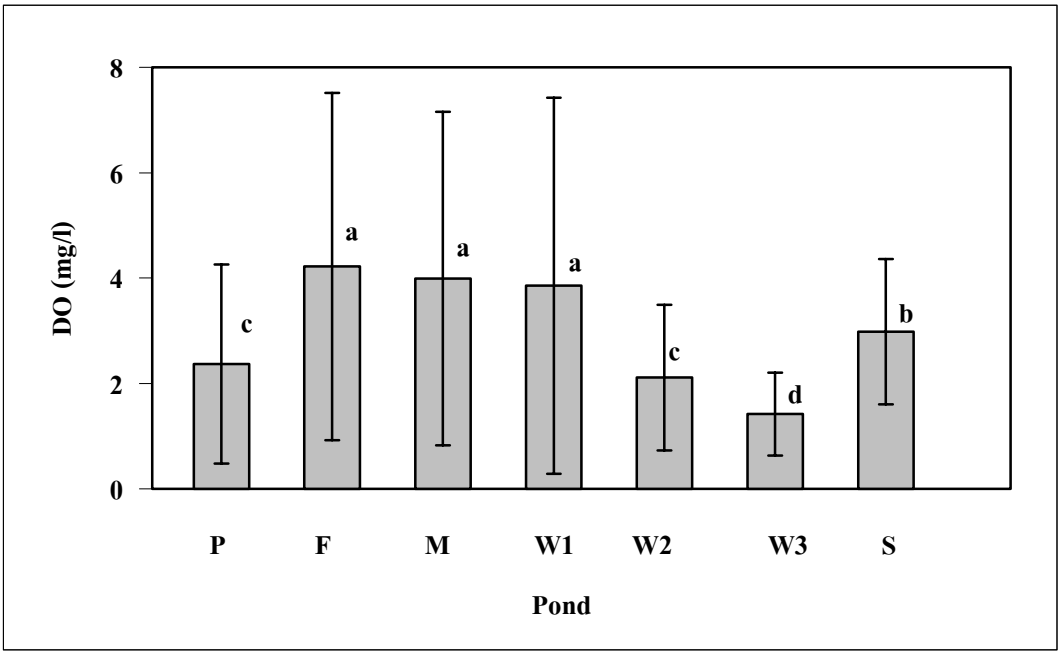
จากภาพที่ 16 จัดแบ่ง ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเป็น 4 ระดับได้แก่สูง (5.37 mg/l) ค่อนข้างสูง 4.18 mg/l ปานกลาง (3.29-3.40 mg/l) และ ต่ำ (1.37-2.16 mg/l) โดยบ่อที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยสูงได้แก่บ่อหมัก (F) มีค่า 5.37 ± 4.60 mg/l โดยบ่อที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยค่อนข้างสูงได้แก่ บึงประดิษฐ์ (W1) มีค่า 4.18 ± 3.53 mg/l ส่วนบ่อที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยปานกลางได้แก่บ่อบ่ม (M) และบ่อพักน้ำ (S) มีค่า 3.40 ± 2.91 mg/l และ 3.29 ± 2.16 mg/l บ่อที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยต่ำได้แก่ บึงประดิษฐ์ (W2) บ่อไร้อากาศ (P) บึงประดิษฐ์ (W3) มีค่า 2.16 ± 1.38 mg/l 1.5 ± 1.31 mg/l และ 1.37 ± 0.79 mg/l กรณีที่บ่อหมัก (F) มีปริมาณ ออกซิเจนละลายน้ำสูง เป็นเพราะอุณหภูมิสูง ความเข้มแสงสูง (ภาพที่ 8 และ 12) สูงน้ำสีเขียวเข้มแสดงถึงการเจริญได้ดีของสาหร่าย (นำเสนอภายหลัง) ด้วยจึงส่งผลให้ค่าปริมาณ ออกซิเจนละลายน้ำของบ่อนี้สูง สำหรับรายละเอียดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำแต่ละบ่อในการเก็บแต่ละครั้ง ดูตารางผนวก ครั้ง ที่ 11



ภาพที่ 16 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยของแต่ละบ่อช่วงเวลา 14.00-15.55 น.จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้งของระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่
หมายเหตุ a ระดับสูง b ค่อนข้างสูง c ระดับปานกลาง d ระดับต่ำ ($p < 0.05$)

3.4 ผลการศึกษาปริมาณออกซิเจนละลายน้ำช่วงเวลา 16.00-17.55 น.

จากภาพที่ 17 จัดแบ่งปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเป็น 4 ระดับได้แก่สูง (3.86-4.22 mg/l) ค่อนข้างสูง 2.98 mg/l ปานกลาง (2.11-2.37 mg/l) และ ต่ำ (1.42 mg/l) โดยบ่อที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยสูงได้แก่ บ่อหมัก (F) บ่อบ่ม (M) บึงประดิษฐ์ (W1) โดยมีค่า 4.22 ± 3.30 mg/l, 3.99 ±3.16 mg/l และ 3.86 ± 3.57 mg/l บ่อที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยค่อนข้างสูงได้แก่ บ่อพักน้ำ (S) มีค่า 2.98 ± 1.38 mg/l ส่วนบ่อที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยปานกลางได้แก่ บ่อไร้อากาศ (P) และบึงประดิษฐ์ (W2) โดยมีค่า 2.37 ± 189 mg/l และ 2.11 ± 1.38 mg/l และต่ำ ได้แก่บ่อบึงประดิษฐ์ (W3) มีค่า 1.42 ± 0.79 mg/l สำหรับรายละเอียดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำแต่ละบ่อในการเก็บแต่ละครั้ง ดูตารางผนวก ค ที่ 12



ภาพที่ 17 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยของแต่ละบ่อบำบัดน้ำเสียในช่วงเวลา 16.00-17.55 น. จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้งของระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่
หมายเหตุ a ระดับสูง b ค่อนข้างสูง c ระดับปานกลาง d ระดับต่ำ ($p < 0.05$)

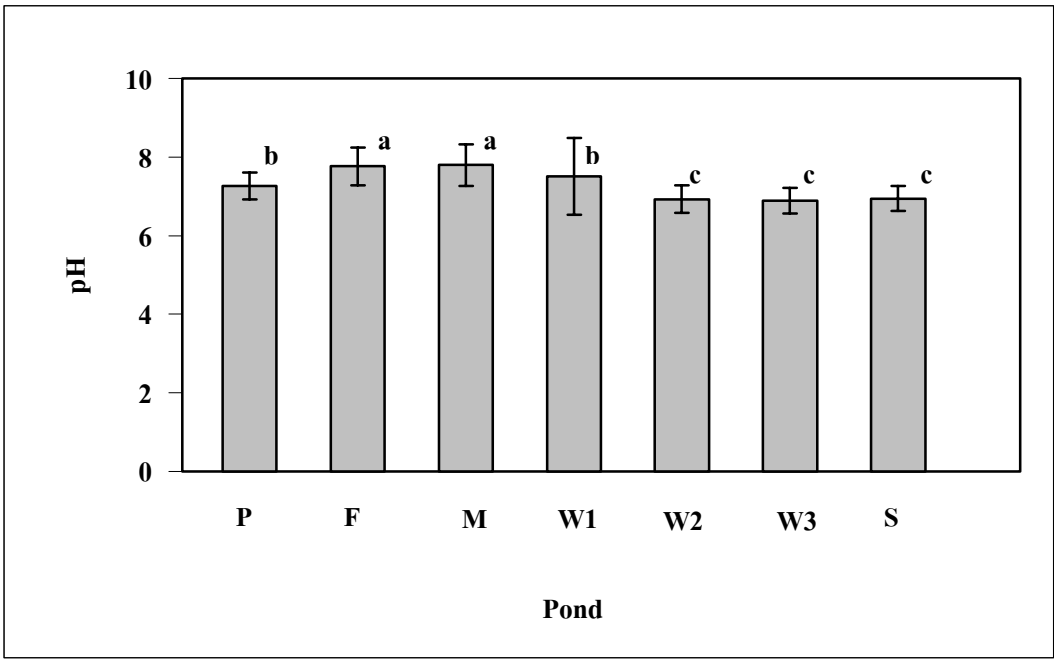
จากช่วงเวลาต่างๆที่ศึกษาพบว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำโดยเฉลี่ยมีค่าสูงสุดช่วงเวลา12.00-13.55 น.ได้แก่ บ่อหมัก (F) มีค่าอยู่ในช่วง 1.04-11.63 mg/l ค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 6.19 ± 4.23 mg/l ดังภาพที่ 15 และตารางภาคผนวก ค ที่ 10 เป็นเพราะความเข้มแสงของแสงแดดสูงสุดในช่วงช่วงเวลา 12.00-13.55 น. (ภาพที่ 11) ส่งผลให้มีการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายมากที่สุด อย่างไรก็ตามช่วงเวลาก็ไม่ผลต่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p > 0.05$) ซึ่งเป็นเพราะว่าช่วงเวลาที่ศึกษาเป็นช่วงเวลากลางวันจึงมีการสังเคราะห์แสงในช่วงเวลาดังกล่าว

4 .ความเป็นกรด-ด่าง

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าประเภทของบ่อน้ำมีผลต่อความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ขณะที่ช่วงเวลาไม่มีผลต่อความเป็นกรด-ด่างของน้ำในแต่ละบ่อ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีรายละเอียดดังจะกล่าวต่อไป

4.1 ผลการศึกษาความเป็นกรด-ด่าง ช่วงเวลา 9.30 -11.30 น.

จากภาพที่ 18 จัดแบ่งความเป็นกรด-ด่างของน้ำเป็น 3 ระดับได้แก่สูง (7.76-7.80) ปานกลาง (7.27-7.51) และ ต่ำ (6.89-6.95) โดยบ่อที่มีค่าเฉลี่ยสูงได้แก่ บ่อหมัก (F) บ่อบ่ม (M) โดยมีค่า 7.80 ± 0.53, 7.76 ± 0.49 ส่วนบ่อที่มีความเป็นกรด-ด่าง ปานกลางได้แก่ บึงประดิษฐ์ (W1) บ่อไร้อากาศ (P) มีค่า 7.51 ± 0.97, 7.27 ± 0.35 และ ต่ำได้แก่บ่อพักน้ำ (S) บ่อบึงประดิษฐ์ (W2) และบ่อบึงประดิษฐ์ (W3) โดยมีค่า 6.95 ± 0.32, 6.93 ± 0.35 และ 6.89 ± 0.33 ตามลำดับ สำหรับรายละเอียดความเป็นกรด-ด่างของน้ำแต่ละบ่อในการเก็บแต่ละครั้ง ดูตารางผนวก ค ที่ 13

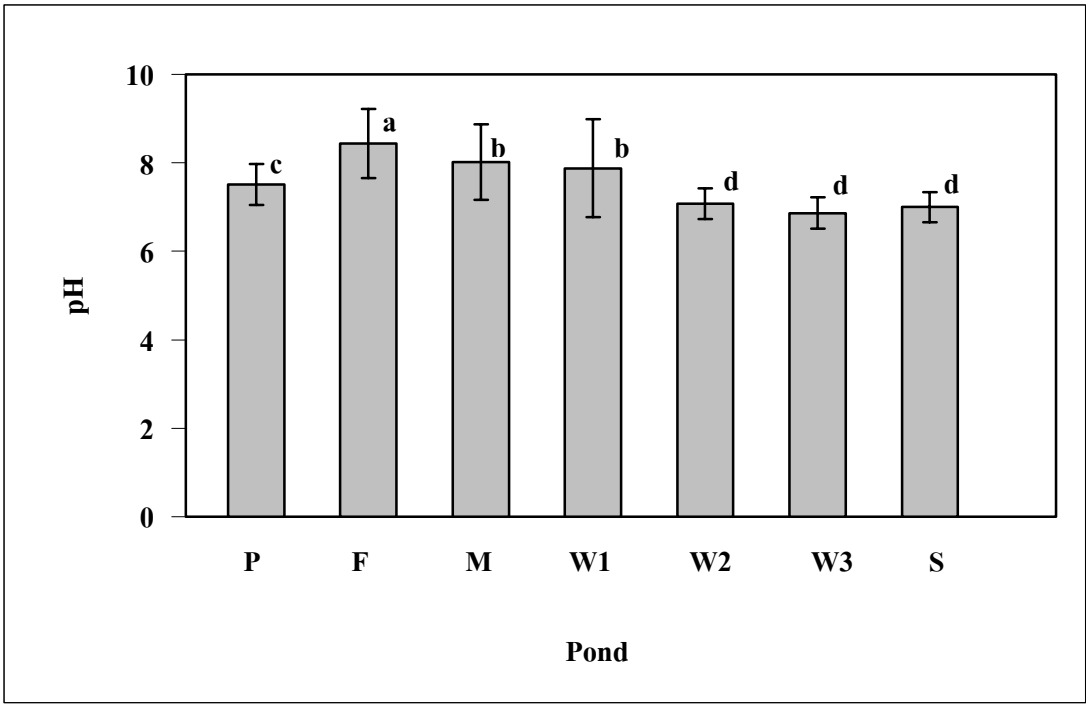


ภาพที่ 18 ความเป็นกรด-ด่าง เฉลี่ยของแต่ละบ่อช่วงเวลา 9.30 -11.30 น.จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้งของระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่

หมายเหตุ a ระดับสูง b ระดับปานกลาง c ระดับต่ำ ($p < 0.05$)

4.2 ผลการศึกษาความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ช่วงเวลา 12.00-13.55 น.

จากภาพที่ 19 จัดแบ่งความเป็นกรด-ด่างของน้ำเป็น 4 ระดับได้แก่สูง (8.44) ค่อนข้างสูง (7.88-8.02) ปานกลาง (7.51) และ ต่ำ (6.86-7.08) โดยบ่อที่มีค่า ความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยสูงได้แก่ บ่อหมัก (F) มีค่า 8.44 ± 0.78 ส่วนบ่อที่มี ความเป็นกรด-ด่าง ค่อนข้างสูงได้แก่ บ่อบ่ม (M) บึงประดิษฐ์ (W1) โดยมีค่า 8.02 ± 0.85 และ 7.88 ± 1.10 ส่วนบ่อที่มีความเป็นกรด-ด่างปานกลางได้แก่ บ่อไร้อากาศ (P) มีค่า 7.51 ± 0.46 และต่ำได้แก่ บึงประดิษฐ์ (W2) บ่อพักน้ำ (S) และ บึงประดิษฐ์ (W3) มีค่า 7.08 ± 0.35, 7.00 ± 0.34 และ 6.86 ± 0.30 ตามลำดับ สำหรับรายละเอียดความเป็นกรด-ด่างของน้ำแต่ละบ่อในการเก็บแต่ละครั้งดูตารางภาคผนวก ค ที่ 14

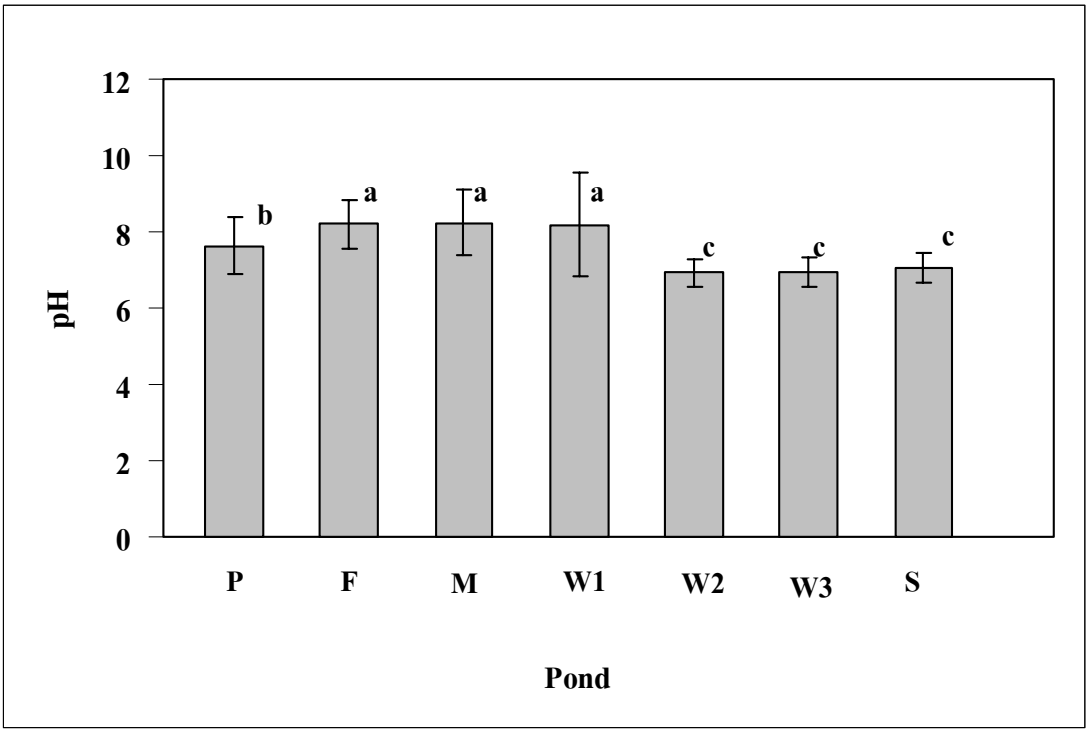


ภาพที่ 19 ความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ย ของแต่ละบ่อช่วงเวลา 12.00-13.55 น. จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้งของระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่

หมายเหตุ a ระดับสูง b ค่อนข้างสูง c ระดับปานกลาง d ระดับต่ำ ($p < 0.05$)

4.3. ผลการศึกษาความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ช่วงเวลา 14.00-15.55 น.

จากภาพที่ 20 จัดแบ่งความเป็นกรด-ด่างของน้ำเป็น 3 ระดับได้แก่สูง (8.18-8.24) ปานกลาง (7.63) และ ต่ำ (6.94-7.07) โดยบ่อที่มีค่า ความเป็นกรด-ด่าง เฉลี่ยสูงได้แก่ บ่อ หมัก (F) บ่อบ่ม (M) บึงประดิษฐ์ (W1) โดยมีค่า 8.24 ± 0.86, 8.20 ± 0.63 และ 8.18 ± 1.36 ตามลำดับ ส่วนบ่อที่มีความเป็นกรด-ด่าง ปานกลางได้แก่ บ่อไร้อากาศ (P) มีค่า 7.63 ± 0.73 และ ต่ำได้แก่ บ่อพักน้ำ (S) บึงประดิษฐ์ (W3) บึงประดิษฐ์ (W2) มีค่า 7.07 ± 0.30, 6.96 ± 0.39 และ 6.94 ± 0.36 ตามลำดับ สำหรับรายละเอียดความเป็นกรด-ด่างของน้ำแต่ละบ่อในการเก็บแต่ละครั้งดูตารางภาคผนวกที่15

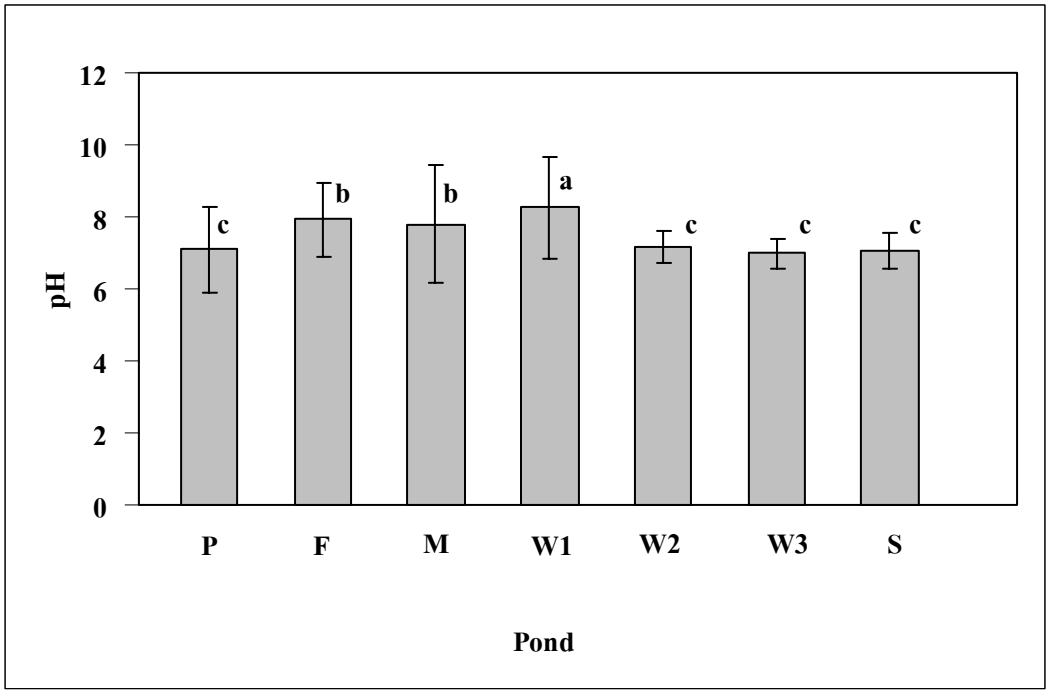


ภาพที่ 20 ความเป็นกรด-ด่าง เฉลี่ยของแต่ละบ่อช่วงเวลา 14.00-15.55 น.จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้งของระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่

หมายเหตุ a ระดับสูง b ค่อนข้างสูง c ระดับปานกลาง d ระดับต่ำ ($p < 0.05$)

4.4 ผลการศึกษาความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ช่วงเวลา 16.00-17.55 น.

จากภาพที่ 21 จัดแบ่งความเป็นกรด-ด่างของน้ำเป็น 3 ระดับได้แก่ สูง (8.26) ปานกลาง (7.79-7.92) และ ต่ำ (6.98-7.16) โดยบ่อที่มีค่า ความเป็นกรด-ด่าง เฉลี่ยสูงได้แก่ บึงประดิษฐ์ (W1) มีค่า 8.26 ± 1.42 ส่วนบ่อที่มีความเป็นกรด-ด่าง ปานกลางได้แก่ บ่อหมัก (F) บ่อบ่ม (M) และต่ำได้แก่ บ่อไร้อากาศ (P) บึงประดิษฐ์ (W2) บึงประดิษฐ์ (W3) และ บ่อพักน้ำ (S) โดยมีค่า 7.16 ± 0.44, 7.09 ± 1.18, 7.06 ± 0.4 และ 6.98 ± 0.43 ตามลำดับ สำหรับรายละเอียดความเป็นกรด-ด่างของน้ำแต่ละบ่อในการเก็บแต่ละครั้งดูตารางภาคผนวก ค ที่ 16



ภาพที่ 21 ความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ย ของแต่ละบ่อช่วงเวลา 16.00-17.55 น.จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้งของระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่

หมายเหตุ a ระดับสูง b ระดับปานกลาง c ระดับต่ำ ($p < 0.05$)

จากช่วงเวลาต่างๆที่ศึกษาพบว่า ความเป็นกรด-ด่าง มีค่าเฉลี่ยสูงสุดช่วงเวลา 12.00 -13.55 น. มีค่า 8.44 ในบ่อหมัก (F) แต่ช่วงเวลาไม่มีผลต่อความเป็นกรด-ด่างของน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เป็นเพราะช่วงเวลาที่ศึกษาเป็นช่วงเวลากลางวันเท่านั้น ในบ่อหมัก (F) มีค่าสูงสุดเป็นเพราะในช่วงเวลาดังกล่าว ความเข้มของแสงแดดสูงอุณหภูมิสูง และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูงในช่วงดังกล่าวด้วยส่งผลให้ ความเป็นกรด-ด่างสูงด้วย เนื่องจากมีการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายสูง จะนำเสนอผลภายหลัง และสามารถอธิบายผลดังกล่าว จากรายงานของ Mara *et al*. (1992) ในช่วงที่มีแสงแดดพบว่าสาหร่ายในบ่อใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เร็วกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการหายใจของแบคทีเรีย จึงเกิดการแตกตัวของคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนตได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ซึ่งสาหร่ายนำไปใช้ในการสังเคราะห์แสง) และไฮดรอกซี (OH^-) จึงทำให้เกิดการสะสม OH^- และเกิดสภาวะเป็นด่างขึ้น ด้วยปัจจัยร่วมดังที่กล่าวมาจึงทำให้ฟีคัลโคลิฟอร์มตาย ซึ่งจะนำเสนอผลภายหลัง

รายงานของ Curtis *et al.,* (1992) แสงที่มีความยาวคลื่น 425-700 nm สามารถทำลายเชื้อฟีคัลโคลิฟอร์มโดยสารอินทรีย์ในน้ำเสียดูดพลังงานแสงสะสมไว้ส่งผลให้ทำลายเซลล์ของฟีคัลโคลิฟอร์มโดย Photo-oxidation และแสงยังช่วยเพิ่มอุณหภูมิของน้ำในบ่อให้พลังงานต่อการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายส่งผลให้ค่า ความเป็นกรดด่างในบ่อเพิ่มขึ้นค่าออกซิเจนละลายในน้ำสูง ซึ่งมีผลต่อการกำจัดเชื้อ

แสงในช่วงคลื่น 425-700 nm ทำลายฟีคัลโคลิฟอร์มโดยการดูดกลืนแสงของสารพวกฮูมิกซึ่งมีมากในน้ำเสียซึ่งในช่วงเวลาที่นานพอทำให้ เซลล์ถูกทำลายโดยดวงอาทิตย์มีผล 3 ประการในการทำลายเชื้อฟีคัลโคลิฟอร์มโดยตรงคือการเพิ่มอุณภูมิของน้ำและทางอ้อมคือเป็นแหล่งพลังงานสำหรับการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายซึ่งไม่เพียงแต่เพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่าง (> 9) แต่ส่งผลให้ออกซิเจนละลายน้ำมีค่าสูงด้วยทำให้เกิดการทำลายด้วยแสง (photo-oxidation) ตามที่กล่าวมาแล้ว (ภาพที่ 15)

จากการศึกษาของ Davies-Colley *et al.,* (1999) แสงแดดประกอบด้วยแสงที่เกี่ยวกับการทำลายเชื้อคือแสงช่วง UVB (290-320) UVA (320-400 nm) และ ช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ (400-550 nm) ในสัดส่วนประมาณ 0.2, 0.5 และ 28 % ช่วงเที่ยงวัน แสงแดดเป็นปัจจัยหลักในการทำลายเชื้อตามธรรมชาติในบ่อปรับเสถียรโดยมีปัจจัยสิ่งแวดล้อมเช่นค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าออกซิเจนละลายน้ำร่วมด้วยกลไกการทำลายเชื้อโดยเสงแดดมี 3 แบบ คือ

1. การทำลายโดยตรงที่ DNA (Deoxyribonucleic acid) โดยแสงอัลตราไวโอเลตชนิด UVB ในแสงแดด

2. แสงแดดไปทำลายโดยไปออกซิไดซ์สารชีวโมเลกุลภายในเซลล์เช่น DNA และองค์ประกอบอื่นๆของเซลล์ซึ่งไวต่อแสงซึ่งเกิดเมื่อค่าความเป็นกรดด่างต่ำ

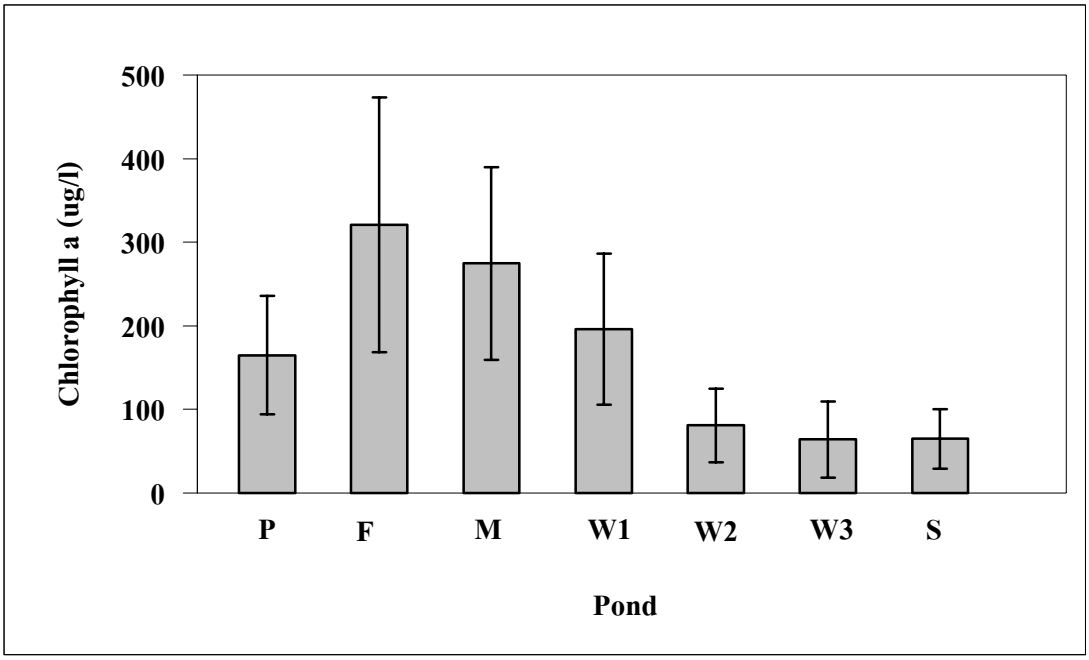
3. แสงแดดไปออกซิไดซ์โครงสร้างภายนอก เช่น เยื่อหุ้มเซลล์ การทำลายเชื้อสเตรปโตคอคโคขึ้นกับค่าออกซิเจนละลายน้ำและการดูดกลืนแสงแดดของอนุภาคต่างๆภายในบ่อโดยไม่ขึ้นกับค่าความเป็นกรด-ด่าง ในช่วง 7-10 ซึ่งเป็นกลไกการฆ่าเชื้อแบบ 3 คือทำลายที่เหยื่อหุ้มเซลล์ ขณะที่การทำลายเชื้ออีโคไลขึ้นกับค่าออกซิเจนละลายน้ำ และค่าความเป็นกรด-ด่างที่มากกว่า 8.5 ดังนั้นที่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่ำกว่า 8.5 การทำลายเป็นผลจาก UVB (แบบที่ 1) ขณะที่อนุภาคต่างๆในบ่อก็ดูดกลืนแสงช่วงคลื่นที่ยาวเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างสูงมีส่วนช่วยในการทำลาย แสดงว่าค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำเป็นกลไกการทำลายแบบ 2 ขณะที่ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงเป็นการทำลายแบบ 3

3.3. ผลการศึกษาข้อมูลสาหร่ายของระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่

3.3.1 ผลการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ

ในช่วงเวลา 9.30-11.30 น. จากภาพที่ 22 จัดแบ่งปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เป็น 4 ระดับได้แก่ สูง (321 μg/l) ค่อนข้างสูง (275 μg/l) ปานกลาง (165-196) และ ต่ำ (64-81 μg/l) โดยบ่อที่มีค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เฉลี่ยสูงได้แก่ บ่อหมัก (F) ค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 321 ± 152 μg/l ค่อนข้างสูงได้แก่ บ่อบ่ม (M) โดยมีค่า 275 ± 115 μg/l ปานกลางได้แก่บ่อไร้อากาศ (P) บึงประดิษฐ์ (W1) โดยมีค่า 165 ± 71 μg/l, 196 ± 90 μg/l, และต่ำได้แก่บึงประดิษฐ์ (W2) บ่อพักน้ำ (S) และบึงประดิษฐ์ (W3) โดยมีค่า 81 ± 44 μg/l, 65 ± 35 μg/l, 64 ± 45 μg/l ตามลำดับ ซึ่งการที่บ่อหมัก (F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 321 ± 152 μg/l เป็นเพราะในการเก็บน้ำครั้งที่ 2, 3 และ 7 พบว่าสีของน้ำเขียวเข้มมากโดยเฉพาะครั้งที่ 7 ความเข้มแสงเฉลี่ยสูงถึง 14,890 lux เพราะบ่อนี้มีสาหร่ายมากมาย พบว่าสีของน้ำเขียวเข้มมากทั้งบ่อจนเห็นได้ชัด จึงมีกิจกรรมสังเคราะห์แสงสูงส่งผลให้น้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูง (ภาพที่ 18) ซึ่งเกิดจากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เกิดจากการหายใจไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้ของสาหร่ายเพื่อสังเคราะห์แสงทำให้เกิดการสลายกรดคาร์บอนิกและเกิดไฮดรอกซี (OH^-) ขึ้นตามที่เคยกล่าวมาแล้วซึ่งจะมีผลต่อการทำลายเชื้อโดยปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ที่เหมาะสมคือ 500-2,000 μg/l จะส่งเสริมให้กิจกรรมการฆ่าเชื้อได้ผลดีโดยเป็นผลจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย สำหรับรายละเอียดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของน้ำแต่ละบ่อในการเก็บแต่ละครั้งดู

ตารางภาคผนวก ค ที่ 17 ส่วนบ่อบึงประดิษฐ์ (W3) ค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 64 µg/l โดยในการเก็บน้ำครั้งที่ 3 คลอโรฟิลล์ เอ ต่ำสุด 17 µg/l นั้นพบว่าความเข้มแสงต่ำ 690 lux และพบว่าในบ่อนี้มีผักตบชวาหนาแน่นมากทั่วบ่อทำให้บดบังแสงที่จะส่องถึง



ภาพที่ 22 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เฉลี่ยของแต่ละบ่อจากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้งของระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่

3.3.2 ผลการศึกษาชนิดของสาหร่าย

จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 10 ครั้งในแต่ละบ่อบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ บ่อไร้อากาศ (P) บ่อหมัก (F) บ่อบ่ม (M) บึงประดิษฐ์ (W1) บึงประดิษฐ์ (W2) บึงประดิษฐ์ (W3) และบ่อพักน้ำ (S) ซึ่งพบทั้งหมด 5 ดิวิชั่นได้แก่ Cyanophyta, Chlorophyta, Bacilariophyta, Euglenophyta, Pyrrhophyta

สาหร่ายที่พบได้ในทุกบ่อมี 3 ดิวิชั่น คือ Cyanophyta ได้แก่ *Merismopedia* , Chlorophyta ได้แก่ *Cosmaium*, *Kinchneriella,* และ *Senedesmus* ดิวิชั่น Bacilariophyta ได้แก่ *Cyclotella* ดังภาพที่ 23 และ ตารางที่ 4

สาหร่ายที่พบได้ในบ่อไร้อากาศ (P) เท่านั้น ได้แก่ *Euglena* จัดเป็นสาหร่ายในดิวิชั่น Euglenophyta ดังภาพที่ 24 และ ตารางที่ 4

สาหร่ายที่พบได้ในบ่อหมัก (F) เท่านั้น ได้แก่ *Pandorina* จัดเป็นสาหร่ายในดิวิชั่น Chlorophyta ภาพที่ 25 และ ตารางที่ 4

สาหร่ายที่พบได้ในบางบ่อเช่นพบในบ่อ (M) เท่านั้นไม่พบในบ่ออื่น ได้แก่ *Aphanocapsa, Aphanothece , Chroococcus* ซึ่งจัดเป็นสาหร่ายในดิวิชั่น Cyanophyta ภาพที่ 26 และ ตารางที่ 4

สาหร่ายที่พบได้ในบึงประดิษฐ์ (W1) เท่านั้น ได้แก่ *Staurodesmus* ซึ่งจัดอยู่ในดิวิชั่นChlorophyta ดังภาพที่ 27 และ ตารางที่ 4 .

สาหร่ายที่พบได้ในบึงประดิษฐ์ (W2) เท่านั้น ได้แก่ *Synechococcus, Micnocysti* อยู่ในดิวิชั่น Cyanophyta และ *Peridinium* อยู่ในดิวิชั่น *Pyrrhophyta* ดังภาพที่ 28 และ ตารางที่ 4

สาหร่ายที่ พบได้ในบ่อ (S) เท่านั้น*ได้แก่ Perediopsis* อยู่ในดิวิชั่น *Pyrrhophyta* ดังภาพที่ 29 และ ตารางที่ 4

จากงานวิจัยในบ่อไร้อากาศ พบชนิดของสาหร่ายน้อยที่สุดรวม 15 ชนิด และ ภาพที่ 30 แสดงถึงสาหร่ายชนิดต่างๆที่พบปะปนในบ่อต่างๆของระบบบำบัด) เนื่องจากบ่อนี้เป็นบ่อไร้อากาศ ซึ่งสภาพน้ำนิ่ง มีสารอินทรีย์สูงเกินไป สาหร่ายที่พบจึงต้องสามารถทนอยู่ในสภาพนี้ *Euglena* เป็น สาหร่ายที่พบได้ในบ่อไร้อากาศ (P) เท่านั้น ยุวดี พีรพรพิศาล (2548) ได้กล่าวถึงการพบ *Euglena* ในแหล่งน้ำนิ่งและน้ำไหลเอื่อยที่น้ำมีคุณภาพน้ำไม่ดี ล่องลอยเป็นอิสระซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. (2544) ได้กล่าวถึงระดับความลึกของบ่อ การกวนน้ำเป็นปัจจัยกำหนดชนิดของสาหร่าย บ่อที่ได้รับการหมุนเวียนของน้ำดีโดยลมและคลื่น ส่วนใหญ่จะพบสาหร่ายที่ไม่เคลื่อนที่เกิดการกระจัดกระจายทั่วทั้งบ่อ แต่ถ้าบ่อมีน้ำนิ่งและแบ่งเป็นชั้นๆจะพบสาหร่ายที่เคลื่อนที่ได้ เช่นยูกลีนา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย ที่พบ *Euglena* เฉพาะบ่อไร้อากาศ (P) *Oscillatoria* ซึ่งเป็นดัชนีบ่งชี้ถึงคุณภาพน้ำเสียแต่ในงานวิจัยนี้นอกจากพบในบ่อหมัก (F) ยังพบในบ่อบึงประดิษฐ์ (W1) บึงประดิษฐ์ (W2) และ บึงประดิษฐ์ (W3) ดังนั้นควรศึกษาถึงสปีชีส์ ส่วน *Pediastrum* มงกุฎท้องน้ำเป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำดีพบในบ่อหมัก (F) บ่อบ่ม (M) บึงประดิษฐ์ (W1) และ บ่อพักน้ำ (S) และการที่พบ *Staurodesmus* สาหร่าย ที่พบได้ในบึงประดิษฐ์ (W1) เท่านั้น ซึ่งเป็นเพราะว่า *Staurodesmus* พบในแหล่งน้ำนิ่งที่น้ำมีคุณภาพดี การดำรงชีวิตล่องลอยเป็นอิสระ (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2548)

Muhammad *et al.,* (1998) ได้รายงานว่าในระบบบ่อปรับเสถียรมีสาหร่ายที่ปล่อยสารพิษออกมาที่เรียกว่า. “gray area” มักเกิดในบ่อไร้อากาศ และบ่อหมักเกิดจากสาหร่ายที่เคลื่อนที่

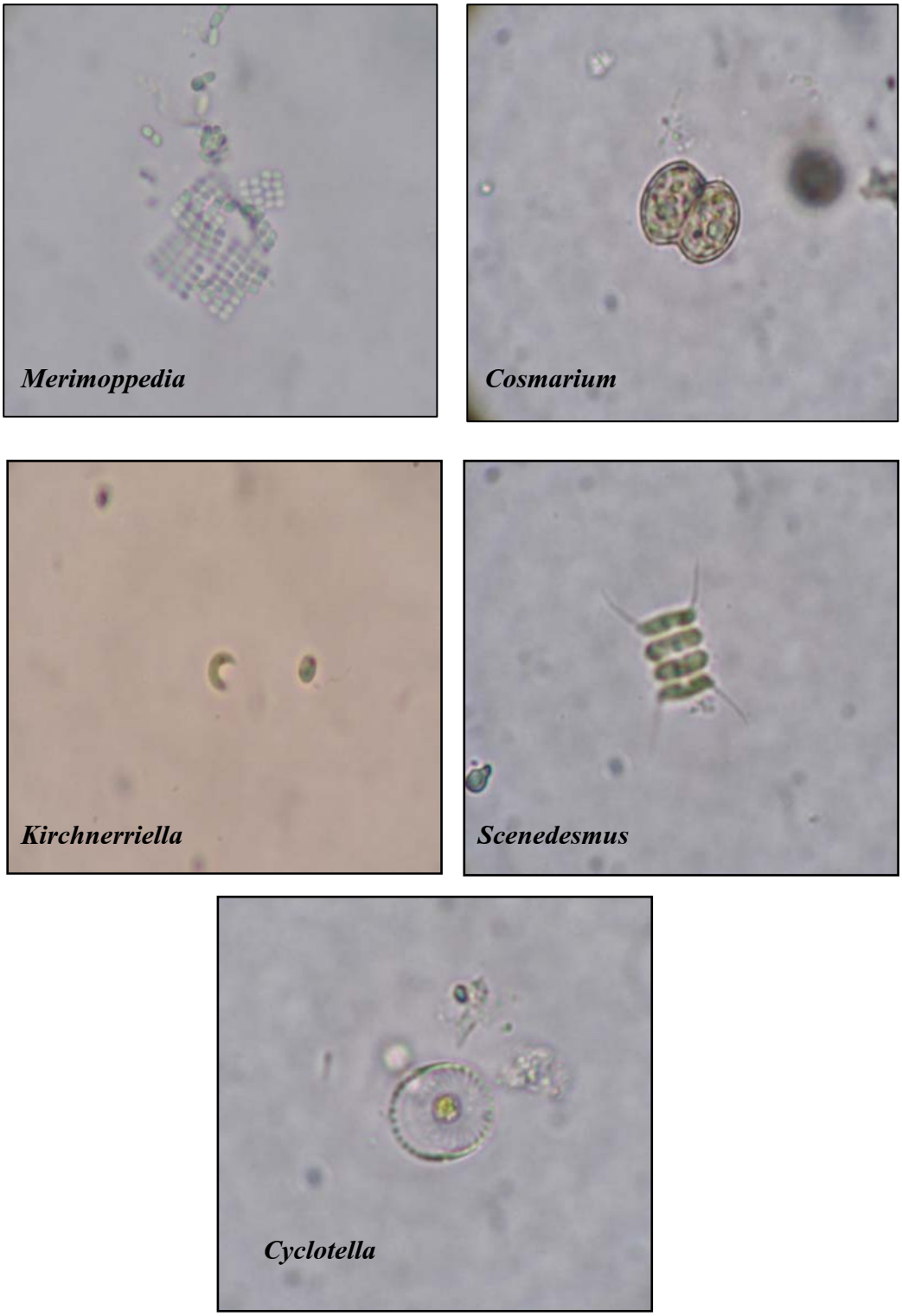
ได้ มีแฟลเจลลาได้แก่ *Euglena Chlamydomonas* ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่พบ *Euglena* และ *Chlamydomonas* ในบ่อดังกล่าวด้วย

งานวิจัยของ Davies-Colley *et al.,*(1995) กล่าวถึง ประสิทธิภาพของระบบบำบัดบ่อปรับเสถียรในประเทศนิวซีแลนด์พบว่าสาหร่ายที่พบเสมอคือ *Chlorella* *Euglena* และ *Senedesmus* ค่ามัธยฐาน ของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เท่ากับ 880 mg/m^3 วัดที่ความยาวคลื่น 300-1,500 mg/m^3 ส่วนในฤดูร้อนที่พบเป็นประชากรส่วนใหญ่คือ *Oscillatoria*

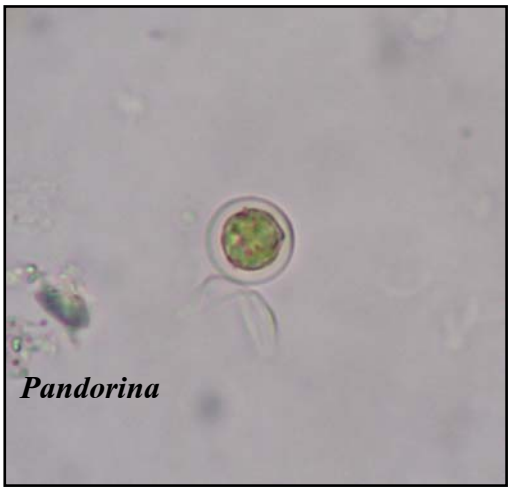
จากการศึกษาของ Curtis *et al.,* (1992) สาหร่ายที่พบในบ่อหมัก (F) น้ำมีสีเขียวเข้มพบ สาหร่าย *Chlorella* และที่เคลื่อนที่เช่น *Euglena* และ *Chlamydomonas*

ส่วนบ่อพักน้ำ (S) ซึ่งเป็นบ่อสุดท้ายรอปล่อยน้ำออกพบชนิดของสาหร่ายมากที่สุดรวม 24 ชนิด (ภาพที่25 และภาพที่ 30) การที่พบ *Pediastrum* ซึ่ง เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำดี เนื่องจากบ่อนี้เป็นบ่อที่น้ำบำบัดเรียบร้อยแล้วน้ำใส พร้อมที่จะปล่อยออกคุณภาพน้ำดีจึงพบสาหร่ายหลากหลายชนิดดังที่กล่าวมาแล้ว นอกจากนี้ยังไม่พบ *Oscillatoria* และ *Euglena* ซึ่งเป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำเสีย ในบ่อพักน้ำ (S) ผลจากงานวิจัยครั้งนี้พบน้ำที่ปล่อยออกมีคุณภาพดีและไม่เป็นอันตรายที่จะปล่อยลงสู่ทะเลสาบในแง่ที่ไม่พบสาหร่ายที่สร้างสารพิษ (algal toxin)

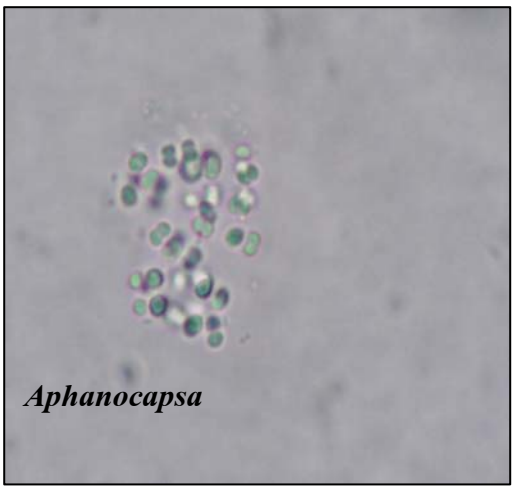
ชนิดของสาหร่ายที่พบในบ่อบำบัดน้ำเสีย

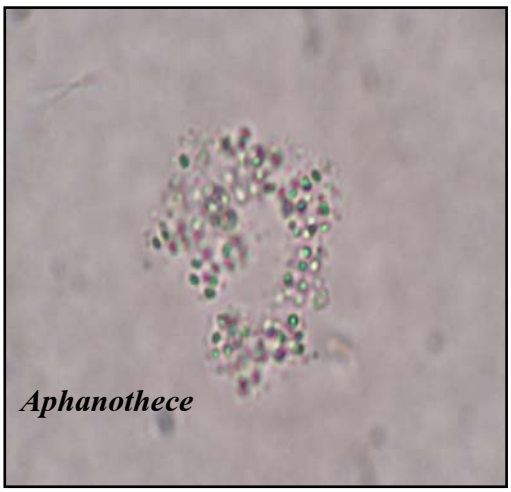


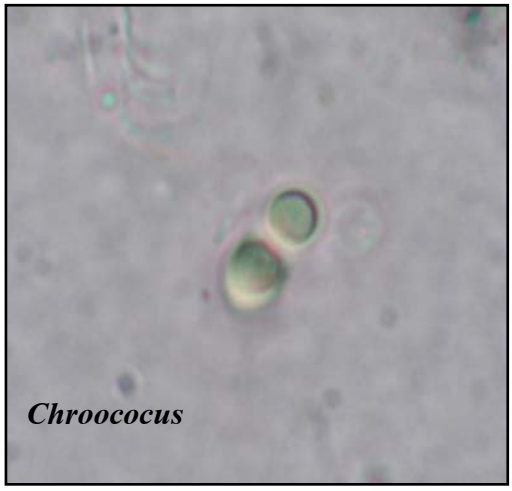
ภาพที่ 23 สาหร่ายที่พบได้ในทุกบ่อบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้ง (กำลังขยาย 40X)



ภาพที่ 24 สาหร่ายที่พบในบ่อไร้อากาศ (P) เท่านั้น ภาพที่ 25 สาหร่ายที่พบในบ่อหมัก (F) เท่านั้น



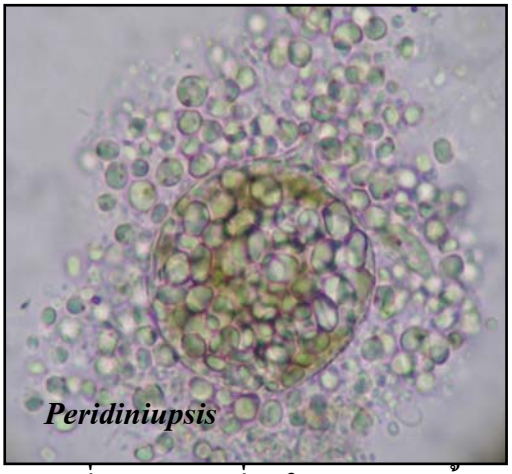




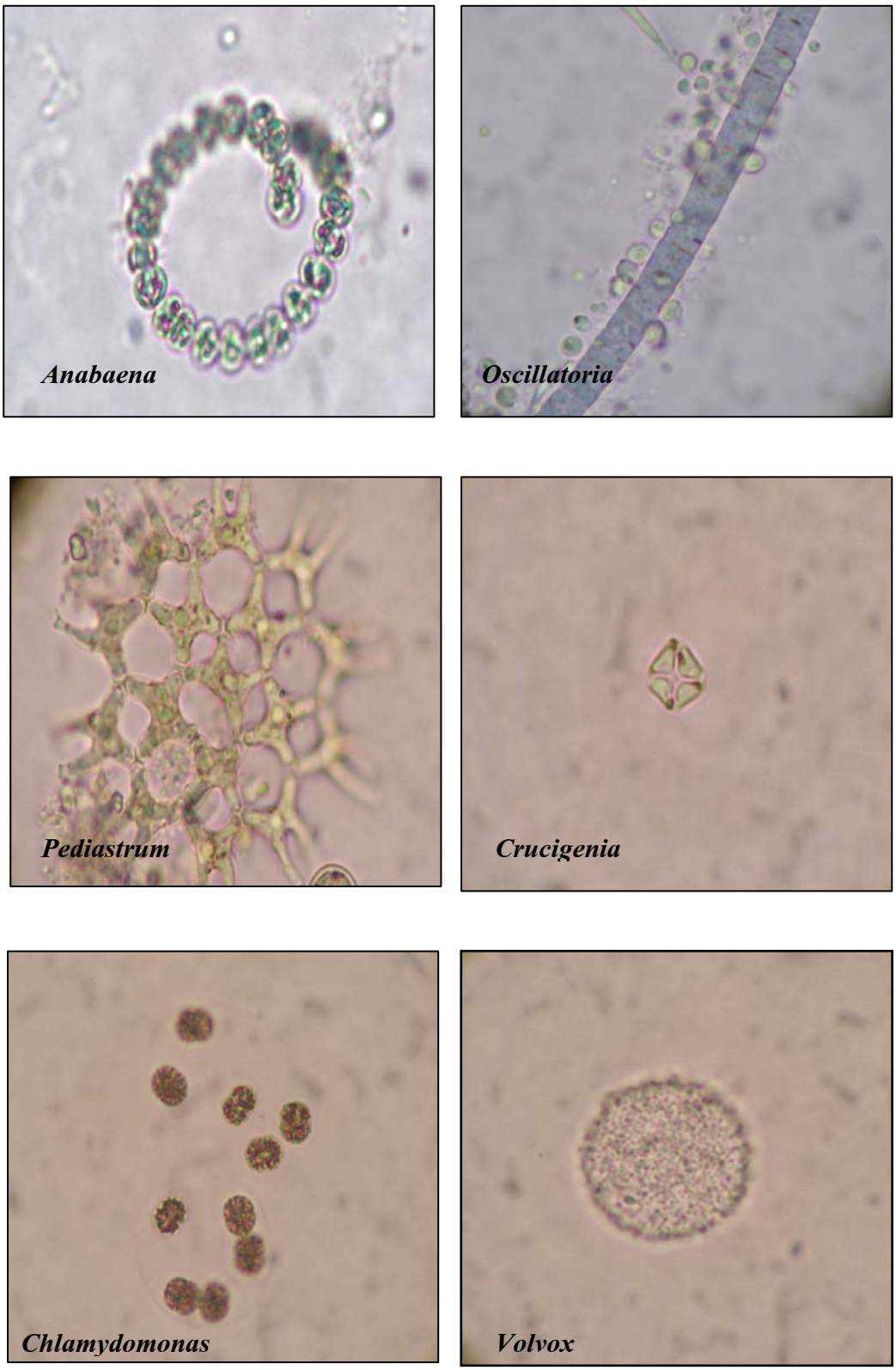
ภาพที่ 26 สาหร่ายที่พบในบ่อบ่ม (M) เท่านั้น

ภาพที่ 27 สาหร่ายที่พบในบึงประดิษฐ์ (W1) เท่านั้น ภาพที่ 28 สาหร่ายที่พบในบึงประดิษฐ์ (W2)เท่านั้น

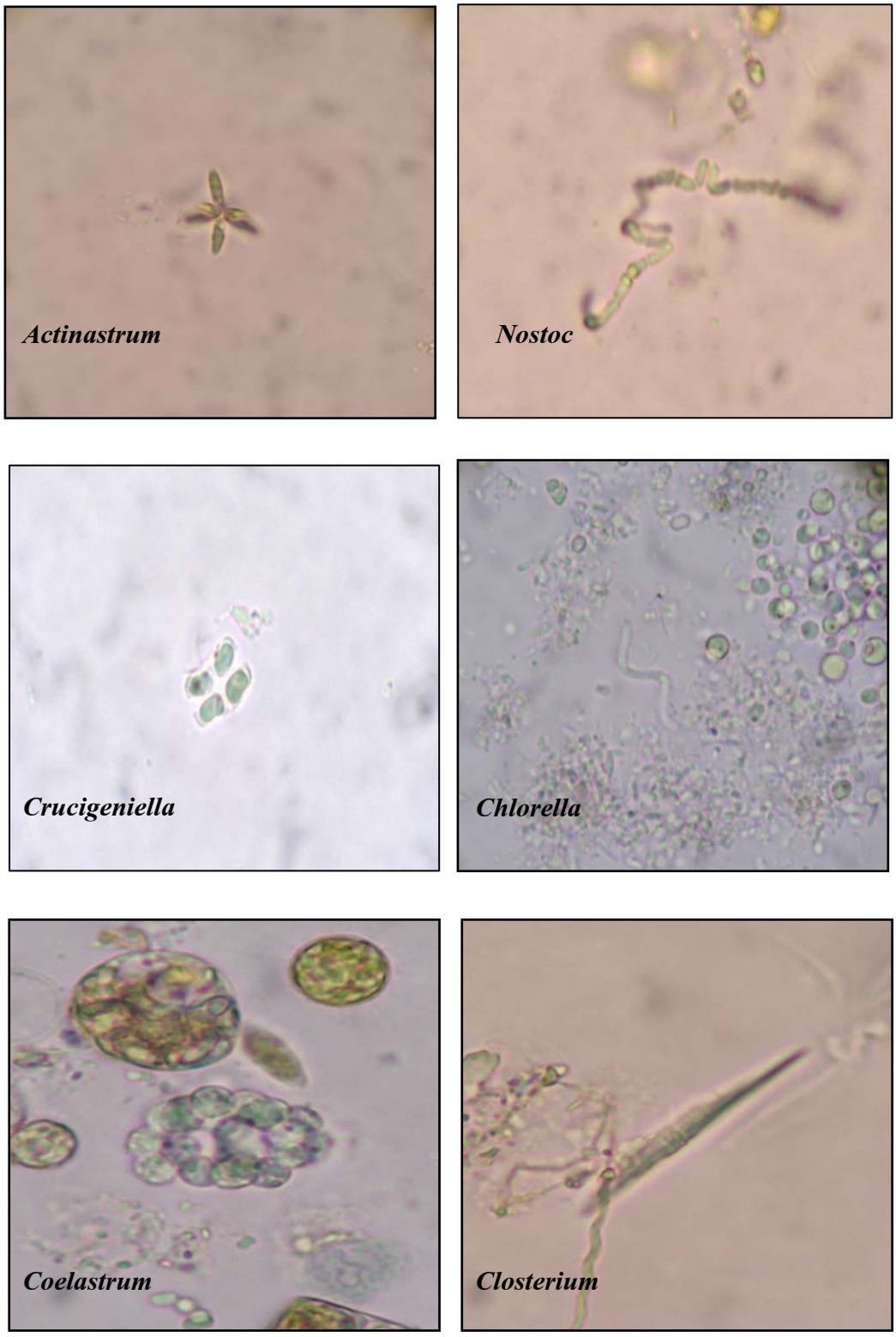
ภาพที่ 28 (ต่อ) สาหร่ายที่พบในบึงประดิษฐ์ (W2) เท่านั้น



ภาพที่ 29 สาหร่ายที่พบในบ่อ (S) เท่านั้น

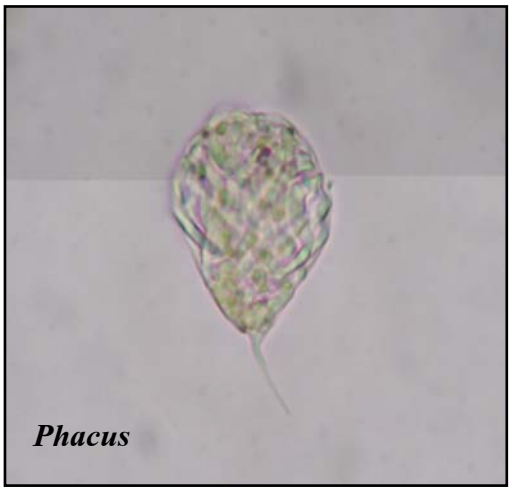


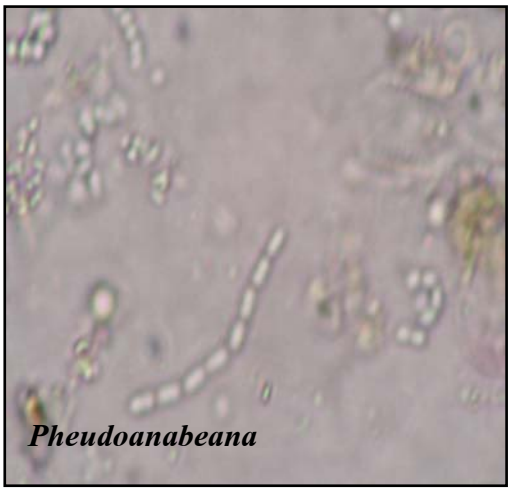
ภาพที่ 30 สาหร่ายที่พบได้ปะปนกันไปในบ่อต่างๆจากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้ง



ภาพที่ 30 (ต่อ) สาหร่ายที่พบได้ปะปนกันไปในบ่อต่างๆจากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้ง

ภาพที่ 30 (ต่อ) สาหร่ายที่พบได้ปะปนกันไปในบ่อต่างๆจากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้ง





ภาพที่ 30 (ต่อ) สาหร่ายที่พบได้ปะปนกันไปในบ่อต่างๆจากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้ง

ตารางที่ 4 สาหร่ายที่พบในแต่ละบ่อของบ่อบำบัดน้ำเสีย จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้ง

Algae	P	F	M	W1	W2	W3	S
Cyanophyta							
Anabaena	-	-	-	+	+	+	+
Aphanocapsa	-	-	+	-	-	-	-
Aphanothece	-	-	+	-	-	-	-
Chroococcus	-	-	+	-	-	-	-
Merismopedia	+	+	+	+	+	+	+
Oscillatoria	+	-	-	+	+	+	-
Planktolyngbya	+	+	+	+	-	+	+
Pheudoanabeana	+	-	+	+	-	-	+
Synechococcus	-	-	-	-	+	-	-
Nostoc	-	-	-	+	+	+	+
Microcystis	-	-	-	-	+	-	-
Chlorophyta							
Actinastrum	-	+	-	-	-	-	+
Closterium	-	+	-	+	+	+	+
Coelastrum	+	+	-	+	-	-	-
Cosmaium	+	+	+	+	+	+	+
Crucigenia	-	+	+	+	-	-	+
Crucigenilla	-	-	+	-	-	+	+
Golenkinia	-	+	+	+	+	+	+
Kinchneriella	+	+	+	+	+	+	+
Monoraphidium	+	+	-	-	-	+	+
Staurodesmus	-	-	-	+	-	-	-

+ = มี ; - = ไม่มี

ตารางที่ 4 (ต่อ) สาหร่ายที่พบในแต่ละบ่อของบ่อบำบัดน้ำเสีย จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้ง

Algae	P	F	M	W1	W2	W3	S
Chlorophyta							
Pediastrum	-	+	+	+	-	-	+
Senedesmus	+	+	+	+	+	+	+
Ankistrodesmus	+	-	+	-	-	-	-
strarastrum	-	-	-	+	-	+	-
Spirogyra	-	+	+	-	-	-	-
Tetraedron	-	+	+	+	-	-	+
Volvox	-	-	-	-	-	-	-
Pandorina	-	+	-	-	-	-	-
Chlorella	+	+	-	-	-	-	-
Chlamydomonas	-	+	+	-	-	-	-
Dictyosphaerium	+	+	-	+	+	+	+
Euglenophyta							
Euglena	+	-	-	-	-	-	-
Phacus	+	+	+	-	-	+	+
Trachelomonas	-	-	-	+	+	-	+
Bacillariophyta							
Cyclotella	+	+	+	+	+	+	+
Diatom	-	+	+	+	-	+	+
Diatomella	-	-	-	+	+	-	+
Pyrrhophyta							
Perediopsis	-	-	-	-	-	-	+
Peridinium	-	-	-	-	+	-	+
Total Genera	**15**	**21**	**20**	**22**	**16**	**17**	**24**

+ = มี ; - = ไม่มี

3.4. ผลการศึกษาปริมาณแบคทีเรียบ่งชี้ของระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่

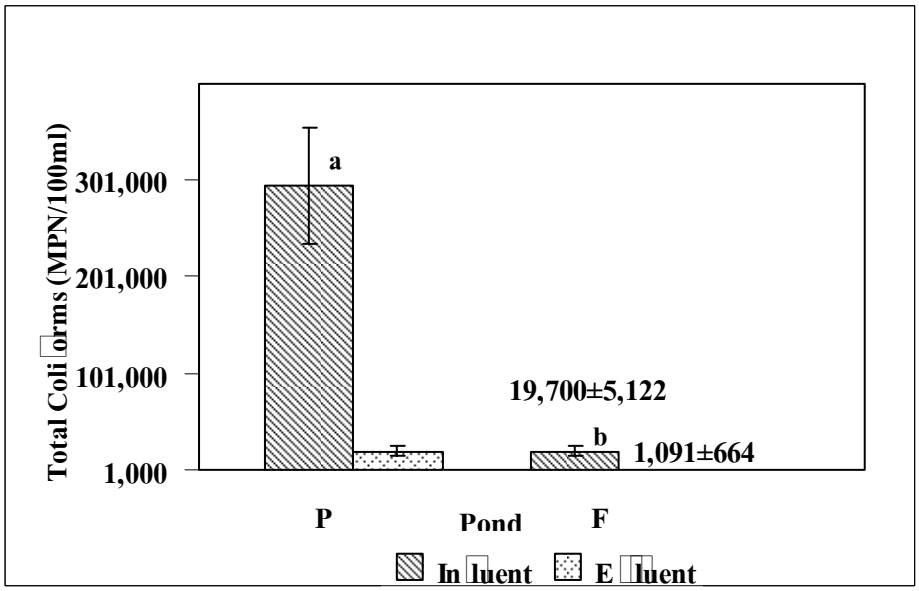
ระบบบำบัดน้ำเสียทั้งหมด 7 บ่อ ซึ่งเก็บตัวอย่างในช่วง 9.30-11.30 น. เพื่อศึกษาปริมาณแบคทีเรียบ่งชี้ได้แก่โคลิฟอร์มทั้งหมด ฟีคัลโคลิฟอร์ม อีโคไล และฟีคัลสเตรปโตคอคไค ได้ผลดังนี้

3.4.1 ผลการศึกษาปริมาณเชื้อโคลิฟอร์มทั้งหมด

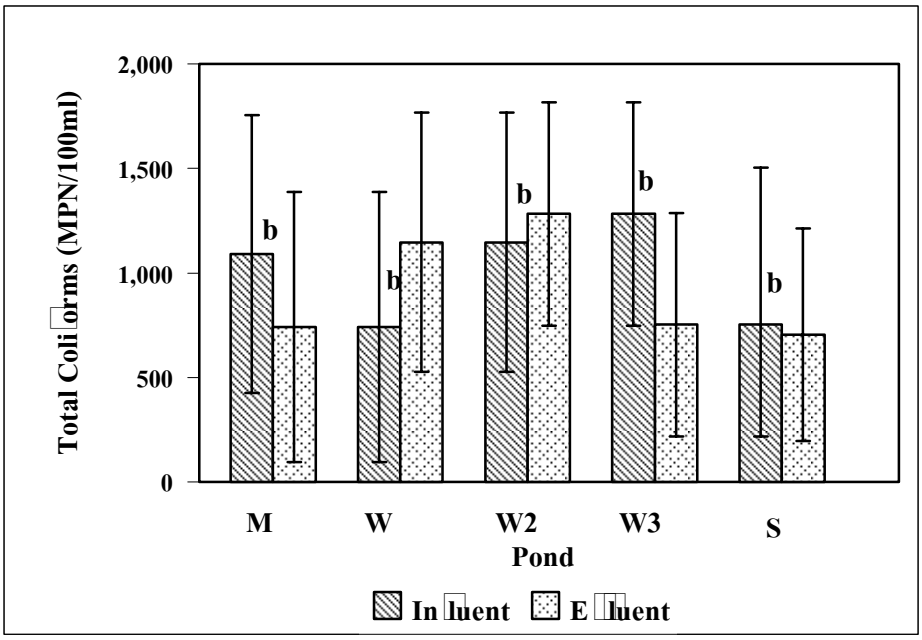
ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าประเภทของบ่อน้ำมีผลต่อปริมาณเชื้อโคลิฟอร์มทั้งหมด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีรายละเอียดดังจะกล่าวต่อไป จากภาพที่ 31 สามารถจัดแบ่งปริมาณเชื้อในน้ำเป็น 2 ระดับทั้งน้ำเข้า-น้ำออกจัดว่าสูงคือ บ่อไร้อากาศ (P) และที่เหลือจัดเป็นกลุ่มต่ำ โดยบ่อไร้อากาศ (P) มีค่า 294,000 ± 60,222 MPN/100 ml และ 19,700 ± 5,122 MPN/100 ml ตามลำดับ เนื่องจาก เป็นบ่อการบำบัดน้ำเสียขั้นแรกน้ำเสียที่เข้ามา มาจากแหล่งชุมชนยังไม่ได้ผ่านการบำบัดจึงทำให้มีปริมาณเชื้อโคลิฟอร์มทั้งหมดสูงสุด

บ่อที่มีปริมาณเชื้อเฉลี่ยในกลุ่มต่ำได้แก่ บ่อหมัก (F) โดยมีค่าน้ำเข้า 19,700 ± 5,122 MPN /100 ml และ น้ำออก 1,091 ± 664 MPN/100 ml โดยพบว่าบ่อ (F) มีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อสูงบึงประดิษฐ์ (W2) มีค่าน้ำเข้า 1,146 ± 620 MPN/100 ml และ น้ำออก 1,282 ± 535 MPN/100 ml บึงประดิษฐ์ (W1) มีค่าน้ำเข้า 740 ± 646 MPN/100 ml น้ำออก 1,146 ± 620 MPN/100 ml บ่อบ่ม (M) มีค่าน้ำเข้า 1,091 ± 664 MPN/100 ml น้ำออก 740 ± 646 MPN/100 ml

บึงประดิษฐ์ (W3) น้ำเข้า 1,282 ± 535 MPN/100 ml น้ำออก 752 ± 535 MPN/100 ml และ บ่อพักน้ำ (S) มีค่าน้ำเข้า 752 ± 535 MPN/100 ml น้ำออก 704 ± 509 MPN/100 ml บ่อนี้เป็นบ่อเก็บน้ำเพื่อรอปล่อยได้ผ่านการบำบัดเรียบร้อยแล้วทำให้ปริมาณเชื้อโคลิฟอร์มทั้งหมดต่ำ สำหรับรายละเอียดปริมาณเชื้อโคลิฟอร์มทั้งหมดแต่ละบ่อในการเก็บแต่ละครั้ง ดูตารางผนวก ค ที่ 18



ก



ข

ภาพที่ 31 ค่าเฉลี่ยปริมาณเชื้อโคลิฟอร์มทั้งหมดของน้ำเข้า-น้ำออก ของแต่ละบ่อในระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่

ก บ่อไร้อากาศ (P) และบ่อหมัก (F)

ข บ่อบ่ม (M) บึงประดิษฐ์ (W1 W2 W3) และบ่อพักน้ำ (S)

หมายเหตุ a ระดับสูง b ระดับต่ำ ($p < 0.05$)

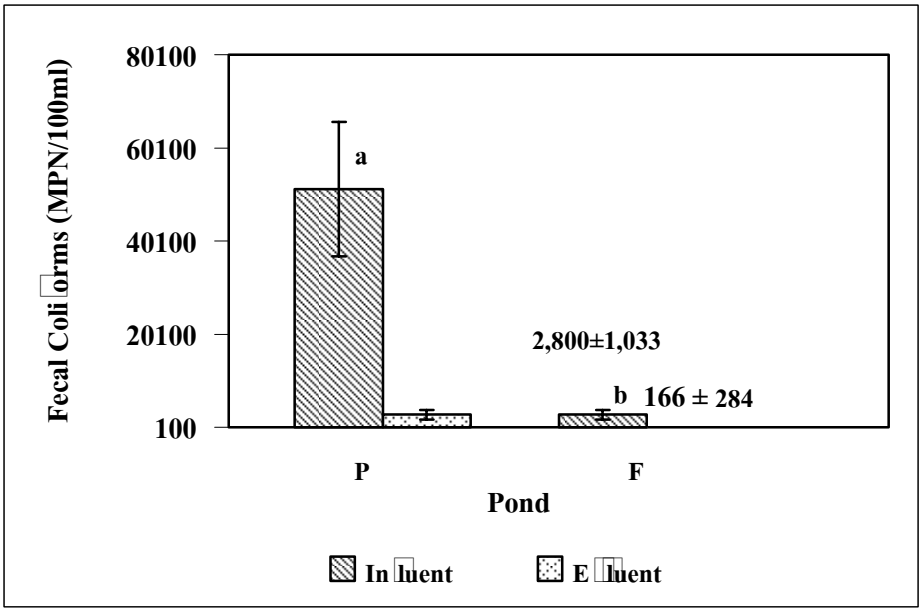
3.4.2 ผลการศึกษาปริมาณเชื้อฟีคัลโคลิฟอร์ม

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าประเภทของบ่อน้ำมีผลต่อปริมาณเชื้อฟีคัลโคลิฟอร์มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีรายละเอียดดังจะกล่าวต่อไป จากภาพที่ 32 สามารถจัดแบ่งปริมาณเชื้อกลุ่มนี้ของน้ำเป็น 2 ระดับระดับทั้งน้ำเข้า-น้ำออก

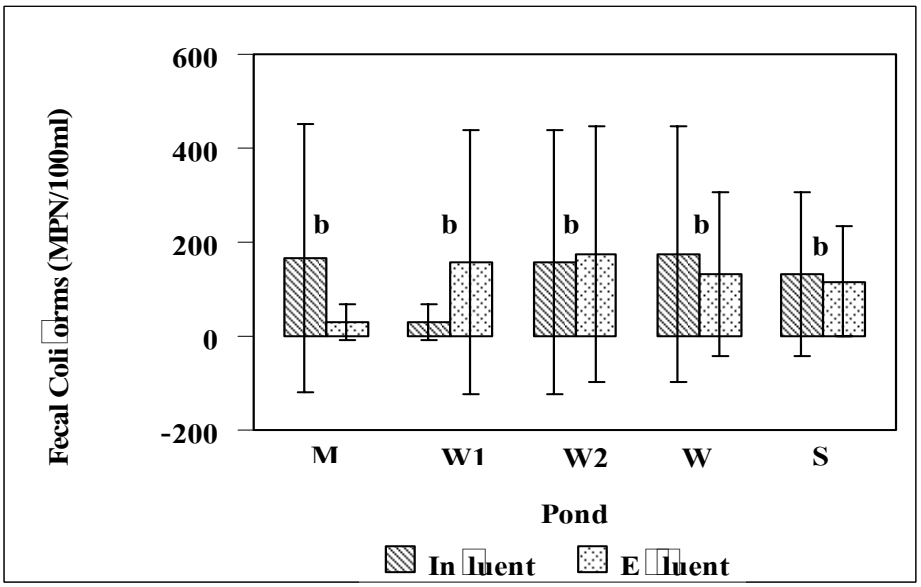
โดยบ่อที่มีค่าปริมาณ เชื้อ เฉลี่ยสูง ได้แก่ บ่อไร้อากาศ (P) โดยมีค่า 51,200 ± 14,459 MPN /100 ml เนื่องจาก เป็นบ่อบำบัดน้ำเสียขั้นแรกที่เข้ามา มาจากแหล่งชุมชนยังไม่ได้ผ่านการบำบัดจึงทำให้มีปริมาณเชื้อฟีคัลโคลิฟอร์มสูงสุดแต่น้ำที่ออกจากระบบ มีค่า 2,800 ± 1,033 MPN/100 ml

บ่อที่มีปริมาณเชื้อเฉลี่ยจัดอยู่ในกลุ่มต่ำได้แก่บ่อที่เหลือในระบบโดย บ่อหมัก (F) มีค่าน้ำเข้า 2,800 ± 1,033 MPN/100 ml และ น้ำออก 166 ± 664 MPN/100 ml ขณะที่บึงประดิษฐ์ (W2) น้ำเข้า 157 ± 280 MPN/100 ml น้ำออก 175 ± 272 MPN /100 ml และบ่อบึงประดิษฐ์ (W3) มีค่าน้ำเข้า 175 ± 272 MPN/100 ml น้ำออก 133 ± 174 MPN/100 ml และ บึงประดิษฐ์ (W1) มีค่าน้ำเข้า 30 ± 38 MPN/100 ml น้ำออก 157 ± 280 MPN/100 ml

ส่วนบ่อพักน้ำ (S) มีค่าน้ำเข้า 133 ± 174 MPN/100 ml น้ำออก 116 ± 284 MPN/100 ml และบ่อบ่ม (M) มีค่าน้ำเข้า 166 ± 284 MPN/100 ml น้ำออก 30 ± 38 MPN/100 ml บ่อบ่ม (M) มีปริมาณเชื้อต่ำสุดเนื่องจากบ่อบ่ม (M) เป็นการบำบัดขั้นสองโดยลักษณะของบ่อแล้วมีความลึก 1.3 -1.4 เมตร เป็นบ่อที่ตื้นที่สุด มีระยะเก็บกักน้ำ 2.35 วันจากตารางที่ 3 โดยบ่อนี้มีแสงแดดส่องถึงก้นบ่อจึงช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำจากกระบวนการสังเคราะห์แสง บ่อนี้มีกลไกในการกำจัดพวกแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคและพวกฟีคัลโคลิฟอร์ม โดยอาศัยแสงแดดทำลายเชื้อโรคซึ่งได้กล่าวมาแล้ว สำหรับรายละเอียดปริมาณเชื้อฟีคัลโคลิฟอร์มแต่ละบ่อในการเก็บแต่ละครั้ง ดูตารางผนวก ค ที่ 19



ก



ข

ภาพที่ 32 ปริมาณเชื้อฟีคัลโคลิฟอร์ม ของน้ำเข้า-น้ำออก ของแต่ละบ่อในระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่

ก บ่อไร้อากาศ (P) และบ่อหมัก (F)

ข บ่อบ่ม (M) บึงประดิษฐ์ (W1 W2 W3) และบ่อพักน้ำ (S)

หมายเหตุ a ระดับสูง b ระดับต่ำ ($p < 0.05$)

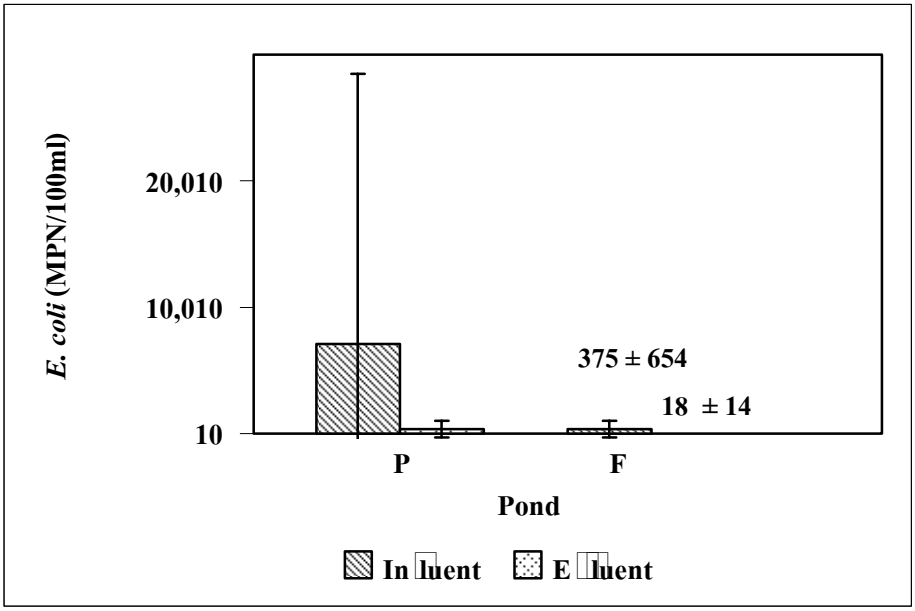
3.4.3 ผลการศึกษาปริมาณเชื้ออีโคไล

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าประเภทของบ่อน้ำไม่มีผลต่อปริมาณเชื้ออีโคไลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) จากภาพที่ 33 แต่เมื่อพิจารณาตามปริมาณเชื้อที่มีอยู่อาจกล่าวได้ว่า บ่อที่มีค่าปริมาณเชื้ออีโคไลเฉลี่ยสูง ได้แก่ บ่อไร้อากาศ (P) โดยน้ำเข้ามีค่า 7,098 ± 14,459 MPN/100 ml เนื่องจาก เป็นบ่อการบำบัดน้ำเสียขั้นแรกน้ำเสียที่เข้ามา มาจากแหล่งชุมชนยังไม่ได้ผ่านการบำบัดจึงทำให้มีปริมาณเชื้ออีโคไลสูงสุดและน้ำออกมีค่า 375 ± 654 MPN/100 ml

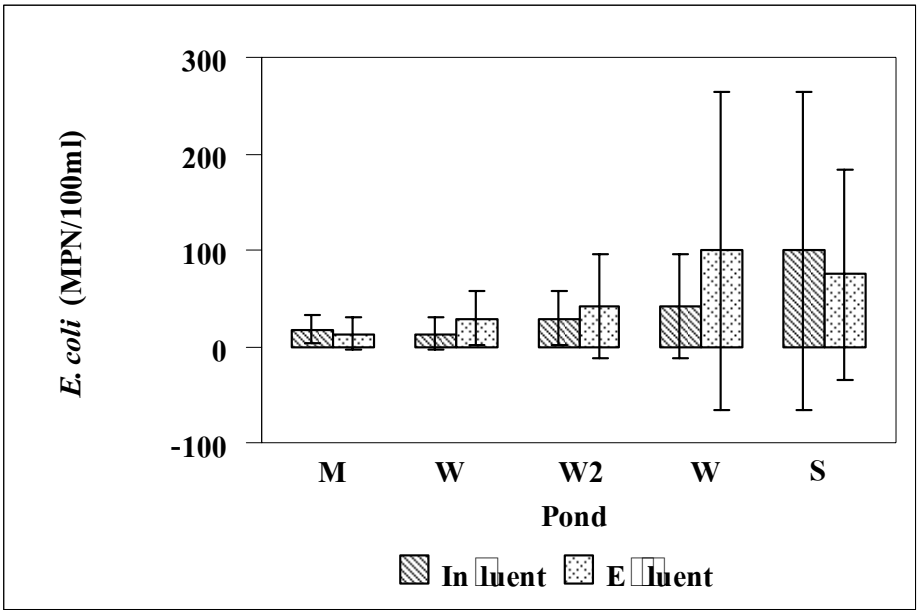
ส่วนบ่อที่มีปริมาณเชื้อเฉลี่ยค่อนข้างสูงได้แก่บึงประดิษฐ์ (W3) โดยมีค่าน้ำเข้า 41 ± 54 MPN/100 ml น้ำออก 99 ± 166 MPN/100 ml บ่อพักน้ำ (S) น้ำเข้า 99 ± 166 MPN/100 ml และน้ำออก 74 ± 110 MPN/100 ml

ส่วนบ่อที่มีปริมาณเชื้อเฉลี่ยปานกลางได้แก่ บึงประดิษฐ์ (W1) โดยมีค่าน้ำเข้า 13 ±16 MPN /100 ml และน้ำออกค่า 29 ± 28 MPN/100 ml บึงประดิษฐ์ (W2) โดยมีค่าน้ำเข้า 29 ± 28 MPN /100 ml และน้ำออก 41 ± 54 MPN/100 ml

บ่อที่มีปริมาณเชื้อ เฉลี่ยต่ำได้แก่บ่อ (F) โดยมีค่าน้ำเข้า 375 ± 654 MPN/100 ml และน้ำออก 18 ± 14 MPN/100 ml บ่อบ่ม (M) โดยมีค่าน้ำเข้า 18 ± 14 MPN/100 ml และน้ำออก 13 ± 16 MPN/100 ml พบว่าบ่อบ่ม (M) มีปริมาณเชื้อในน้ำขาออกต่ำสุดเนื่องจากบ่อบ่ม (M) ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาแล้ว ในกรณีของเชื้อฟีคัลโคลิฟอร์มซึ่งอีโคไลก็จัดว่าเป็นตัวแทนของเชื้อในกลุ่มดังกล่าวซึ่งแสดงว่ามีการปนเปื้อนด้วยสิ่งปฏิกูล (APHA,AWWA and WEF, 1998) สำหรับรายละเอียดปริมาณเชื้ออีโคไล แต่ละบ่อในการเก็บแต่ละครั้ง ดูตารางผนวก ค ที่ 20



ก



ข

ภาพที่ 33 ค่าเฉลี่ยปริมาณเชื้ออีโคไล ของน้ำเข้า-น้ำออก ของแต่ละบ่อในระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่

ก บ่อไร้อากาศ (P) และบ่อหมัก (F)

ข บ่อบ่ม (M) บึงประดิษฐ์ (W1 W2 W3) และบ่อพักน้ำ (S)

3.4.4 ผลการศึกษาปริมาณเชื้อฟีคัลสเตรปโตคอคไค

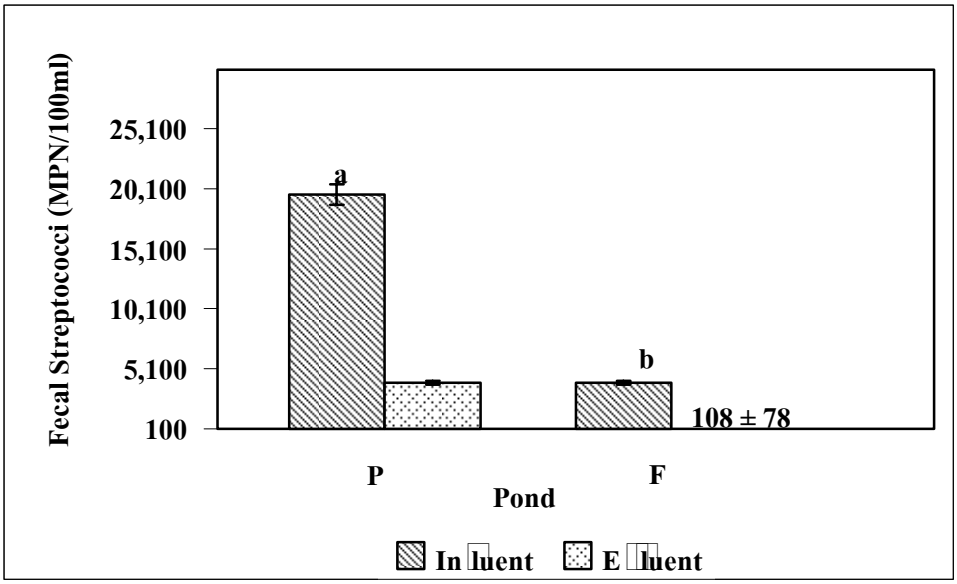
ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าประเภทของบ่อน้ำมีผลต่อปริมาณเชื้อฟีคัลโคลิฟอร์มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีรายละเอียดดังจะกล่าวต่อไป จากภาพที่ 34 สามารถจัดแบ่งปริมาณเชื้อเป็น 2 ระดับทั้งน้ำเข้า-น้ำออกโดยบ่อไร้อากาศ (P) จัดว่าสูงและที่เหลือจัดเป็นกลุ่มต่ำ

บ่อที่มีค่าปริมาณเชื้อเฉลี่ยสูงสุด ได้แก่ บ่อไร้อากาศ (P) โดยมีค่า 19,600 ± 14,459 MPN /100 ml เนื่องจาก เป็นบ่อการบำบัดน้ำเสียขั้นแรกน้ำเสียที่เข้ามา มาจากแหล่งชุมชนยังไม่ได้ผ่านการบำบัดจึงทำให้มีปริมาณเชื้อสูงสุดและน้ำออกจากบ่อ 3,920 ± 165 MPN/100 ml

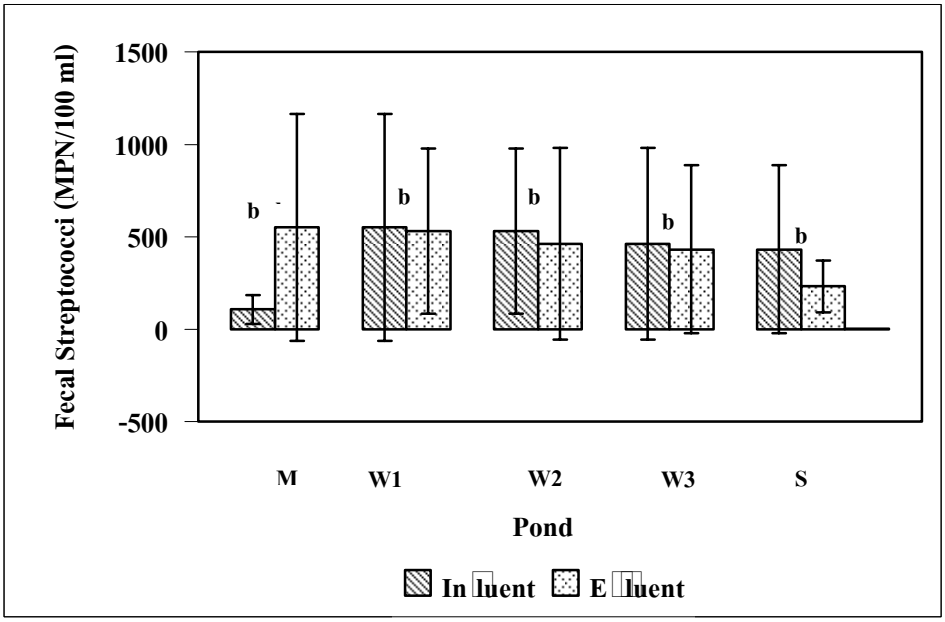
ส่วนบ่อบ่ม (M) โดยน้ำเข้า 108 ± 78 MPN/100 ml น้ำออก 550 ± 616 บึงประดิษฐ์ (W1) น้ำเข้ามีค่า 550 ± 616 MPN/100 ml น้ำออก 531 ± 445 MPN/100 ml

ส่วนบึงประดิษฐ์ (W2) น้ำเข้า 531 ± 445 MPN/100 ml น้ำออก 461 ± 519 MPN/100 ml บึงประดิษฐ์ (W3) น้ำเข้า 461 ± 519 MPN/100 ml น้ำออก 432 ± 456 MPN /100 ml

บ่อพักน้ำ (S) โดยน้ำเข้า 432 ± 456 MPN/100 ml น้ำออก 232 ± 142 MPN/100 ml และบ่อหมัก (F) โดยน้ำเข้า 3,920 MPN /100 ml น้ำออก 108 ± 78 MPN/100 ml เนื่องจากบ่อหมัก (F) มีความลึก 1.7-1.8 เมตร มีระยะเก็บกักน้ำ 9.38 วัน นานที่สุดและเชื้อกลุ่มนี้มีชีวิตอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้ไม่นานเมื่อเทียบกับแบคทีเรียบ่งชี้กลุ่มอื่นๆ (AP□A,AWWA and WEF, 1998) จากตารางที่ 3 โดยการบำบัดในบ่อนี้ชั้นบนมีการย่อยสลายของสารอินทรีย์โดยใช้ออกซิเจนจากที่ได้จากการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย สำหรับบ่อส่วนล่างที่แสงแดดส่องไม่ถึงมีออกซิเจนต่ำการย่อยสลายเกิดโดยพวกแฟคคัลเททีฟแอนแอโรบและลมมีความสำคัญส่งผลให้ของเหลวในบ่อผสมทำให้มีการกระจายของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ แบคทีเรียและสาหร่ายมีผลต่อการบำบัดของบ่อนี้ (Mara *et al.,* 1992) สำหรับรายละเอียดปริมาณเชื้อฟีคัลสเตรปโตคอคไค แต่ละบ่อในการเก็บแต่ละครั้ง ดูตารางผนวก ค ที่ 21



ก



ข

ภาพที่ 34 ค่าเฉลี่ยปริมาณเชื้อฟีคัลสเตรปโตคอคไค ของน้ำเข้า-น้ำออก ของแต่ละบ่อในระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่

ก บ่อไร้อากาศ (P) และบ่อหมัก (F)

ข บ่อบ่ม (M) บึงประดิษฐ์ (W1 W2 W3) และบ่อพักน้ำ (S)

หมายเหตุ a ระดับสูง b ระดับต่ำ ($p < 0.05$)

3.4.5 ผลการศึกษา อัตราส่วนฟีคัลโคลิฟอร์มต่อฟีคัลสเตรปโตคอคไค

ค่าอัตราส่วนระหว่างฟีคัลโคลิฟอร์มต่อฟีคัลสเตร็ปโตคอคไค (FC/FS) สามารถบอกได้ว่าต้นกำเนิดของการปนเปื้อน เกิดจากสิ่งปฏิกูลประเภทใดคือ น้ำเสียมีต้นกำเนิดการปนเปื้อนมาจากอุจจาระของสัตว์ (สัตว์เลือดอุ่นเช่น ไก่ สุนัข หมู วัวโดย ค่าอยู่ในช่วงน้อยกว่า 0.7 แต่ถ้าค่า FC/FS มากกว่า 4.4 ต้นกำเนิดการปนเปื้อนมาจากอุจจาระของคน ถ้ามีค่าระหว่าง 0.7–4.4 แสดงว่าต้นกำเนิดการปนเปื้อนมาจากคนและสัตว์รวมกัน แต่จะได้ผลเมื่ออุจจาระหรือมูลมีการปนเปื้อนไม่เกิน 24 ชั่วโมง เพราะฟีคัลโคไลฟอร์มอยู่ได้ไม่นานในสิ่งแวดล้อม (ดวงพร คันธโชติ, 2547)

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนฟีคัลโคลิฟอร์มต่อฟีคัลสเตรปโตคอคไคในระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่

Pond	FC	FS	ค่าเฉลี่ย FC/FS ± S.D.
P (Primary Pond)	51,200	19,600	2.6 ± 0.7
F (Facultative Pond)	166	108	2.9 ± 5.4
M (Maturation Pond)	30	550	0.4 ± 0.8
W1 (Wetland 1)	157	531	0.2 ± 0.2
W2 (Wetland 2)	175	461	0.6 ± 0.6
W3 (Wetland 3)	133	432	1.2 ± 2.1
S (Effluent Storage Pond)	116	232	0.7 ± 0.6

จากตารางที่ 5 การที่บ่อหมัก (F) มีค่า FC/FS สูงสุด อยู่ในช่วง 0.2-16.7 ค่าเฉลี่ย 2.9 ± 5.4 และบ่อบึงประดิษฐ์ (W1) มีค่า FC/FS ต่ำสุด อยู่ในช่วง 0-0.6 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.2 ± 0.2 (ภาคผนวก ค ที่ 26 แต่เมื่อมาพิจารณาถึงแต่ละบ่อจากการเก็บตัวอย่างน้ำเสียใน 10 ครั้งทำให้ทราบว่าค่า FC/FSในบ่อหมัก (F) จากการเก็บตัวอย่าง ในครั้งที่ 1 วันที่ 6 ก.ค 2549 และครั้งที่ 9 วันที่ 28 ก.ย 2549 มีค่าเท่ากับ 8.4 และ 16.7 ตามลำดับซึ่งสูง (มากกว่า 4.4) ดูรายละเอียดจาก (ตารางผนวก ค ที่ 26) อาจกล่าวได้ว่าน้ำเสียมีการปนเปื้อนมาจากอุจจาระของคนเพราะเนื่องจากในบ่อนี้ในวันที่ทำการเก็บตัวอย่างน้ำผู้ทำวิจัยได้เห็นชาวบ้านประมาณ 4-5 คน ลักลอบจับปลา จึงทำให้คาดคะเนตามที่กล่าวมา แต่เมื่อพิจารณาถึงค่าเฉลี่ยแล้วบ่อหมัก (F) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.9 จึงกล่าวได้ว่าการปนเปื้อนมาจากคนและสัตว์รวมกัน ส่วนบึงประดิษฐ์ (W1) มีค่าเฉลี่ย FC/FS เท่ากับ 0.2 ซึ่งต่ำกว่า 0.7 จึงมีต้นกำเนิดการปนเปื้อนมาจากอุจจาระของสัตว์เท่านั้น (ตารางผนวก ค ที่ 26)

3.5. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดแบคทีเรียบ่งชี้ของระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าประเภทของบ่อบำบัดและประเภทเชื้อแบคทีเรียมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การกำจัดเชื้อแบคทีเรีย ($p < 0.05$) โดยประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อแบคทีเรียบ่งชี้แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือสูงได้แก่ บ่อไร้อากาศ (P) และบ่อหมัก (F) ส่วนบ่อที่เหลือจัดอยู่ในกลุ่มต่ำ สำหรับประเภทของเชื้อพบว่า อีโคไลกำจัดได้ต่ำสุดขณะกลุ่มเชื้อที่เหลือจัดอยู่ในกลุ่มกำจัดเชื้อได้สูง

3.5.1. ประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อโคลิฟอร์มทั้งหมด

บ่อหมัก (F) เท่ากับ 95 ± 2.5% บ่อไร้อากาศ (P) เท่ากับ 93.4 ± 0.5% บ่อบ่ม (M) เท่ากับ 71.4 ± 20% บึงประดิษฐ์ (W1) เท่ากับ 74.4 ± 11.5% บึงประดิษฐ์ (W2) เท่ากับ 62 ± 0 % บึงประดิษฐ์ (W3) เท่ากับ 58.11 ± 21.27% และบ่อพักน้ำ (S) เท่ากับ 48.1 ± 31.6% ภาพที่ 35 (ตารางภาคผนวก ค ที่ 22) บ่อหมัก (F) มีค่า □RT สูงสุดคือ 9.4 วัน ส่วนบึงประดิษฐ์ (W3) มีค่า □RT ต่ำสุด 2.4 วัน หากมีระยะกักเก็บน้ำที่ยาวนานก็จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดดีคือสามารถกำจัดแบคทีเรียบ่งชี้ได้มากเมื่อเทียบกับประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อโคลิฟอร์มทั้งหมดพบว่า ค่าเฉลี่ยของบ่อหมัก (F) สูงสุดถึง 95% ค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ บ่อพักน้ำ (S) เท่ากับ 48.1% และ สำหรับระบบบึงประดิษฐ์ของระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาล นครหาดใหญ่ไม่มีการปลูกพืชที่แตกต่างกันมีเพียงผักตบชวา และการกำจัดเชื้อขึ้นกับหลายปัจจัยเช่น ระยะกักเก็บน้ำความลึกของบ่อโดยกลไกการกำจัด คือการย่อยสลายการตายตามธรรมชาติคือเมื่อสภาพแวดล้อมไม่อำนวย ร่วมทั้งการดูดซับของพืชและการตกตะกอนจะมีผลต่อเชื้อสูงด้วยในที่นี้ คือบ่อไร้อากาศ (P) มีค่าสูงถึง 93.4 ± 0.5% สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดของบ่อพักน้ำ (S) ที่ต่ำสุดนั้นเนื่องจากบ่อพักน้ำ (S) เป็นบ่อที่เก็บน้ำไว้รอปล่อยเท่านั้น สำหรับรายละเอียดประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อโคลิฟอร์มทั้งหมดประสิทธิภาพแต่ละบ่อในการเก็บแต่ละครั้ง ดูตารางผนวก ค ที่ 22 เชื้อโคลิฟอร์มทั้งหมดอยู่ในบ่อพักน้ำ (S) เฉลี่ยเท่ากับ 704 ± 509 MPN/100 ml ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อโคลิฟอร์มจากบ่อไร้อากาศ (P) ถึงบ่อพักน้ำ (S) ทั้งระบบสูงถึง 99.8 ± 0.2% จากตารางภาคผนวก ค ที่ 28

ผลการศึกษานี้พบว่าประสิทธิภาพของ บึงประดิษฐ์ (W1-W3) ในการลดเชื้อโคลิฟอร์มทั้งหมดคือ 74.4 ± 11.5%, 62 ± 0% และ 58.1 ± 21.3% ส่วนบ่อพักน้ำ (S) เท่ากับ 48.1 ± 31.6% สอดคล้องกับที่มีการศึกษามาก่อนจากรายงานพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยบึงประดิษฐ์พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อโคลิฟอร์มอยู่ในช่วง 52-85% โดยชนิดพืชที่ปลูกคือ ธูปฤาษีมีระยะกักเก็บน้ำ 4-27 วัน ประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อโคลิฟอร์มอยู่

ในช่วง 59-80% โดยพืชที่ปลูกคือ กกกลมมีระยะกักเก็บน้ำ 3-27 วัน (พิจิตรา ชโยปถัมภ์, 2546) แต่อย่างไรก็ตามประประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อโคลิฟอร์มก็ยังมีปัจจัยอื่นๆที่ส่งผลให้กลไกการกำจัดเชื้อสูงโดยจะกล่าวต่อไป

3.5.2.ประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อฟีคัลโคลิฟอร์ม

การกำจัดเชื้อฟีคัลโคลิฟอร์มในบ่อหมัก (F) เท่ากับ 95.3 ± 6.9% บ่อไร้อากาศ (P) เท่ากับ 94.7 ± 0.5% บ่อ (M) เท่ากับ 70.3 ± 16.2% บึงประดิษฐ์ (W1) เท่ากับ 46.7 ± 10.5% บึงประดิษฐ์ (W2) เท่ากับ 53.4 ± 18.6% บึงประดิษฐ์ (W3) เท่ากับ 68.1 ± 18.2% และ บ่อพักน้ำ (S) เท่ากับ 30.0 ± 17.0% ภาพที่ 35 ดูรายละเอียดจาก (ตารางภาคผนวก ค ที่ 23) อีกครั้งที่พบว่าบ่อหมัก (F) มีประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อฟีคัลโคลิฟอร์มเฉลี่ยสูงสุด 95.3% มีระยะกักเก็บน้ำ 9.4 วัน ส่วนบ่อที่ประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อฟีคัลโคลิฟอร์มเฉลี่ยต่ำสุดคือบึงประดิษฐ์ (W1) เท่ากับ 53.4 ± 18.6% มีระยะกักเก็บน้ำ 4.2 วัน ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อฟีคัลโคลิฟอร์มจากบ่อไร้อากาศ (P) ถึง บ่อพักน้ำ (S) ทั้งระบบสูงถึง 99.8% (ตารางภาคผนวก ค ที่ 28) และบ่อพักน้ำ (S) มีเชื้อ 116 MPN/100 ml ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาอื่นๆประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรของบ่อแอนแอโรบิค ระยะกักเก็บน้ำ 1 วัน บ่อหมัก (F) และบ่อบ่ม (M) ระยะกักเก็บน้ำ 5 วัน พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อฟีคัลโคลิฟอร์ม 99.97% (Oragui *et al.,* 1987) และ รายงานของ Steiner และ DC Combs (1993) พบว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่รับน้ำจาก Septic tank สามารถกำจัดเชื้อฟีคัลโคลิฟอร์ม ได้ 78 – 99% เป็นที่ทราบกันดีว่าฟีคัลโคลิฟอร์มเจริญได้ทั้งในสภาพมีอากาศ และไร้อากาศ (ดวงพร คันธโชติ, 2537) แต่ปริมาณเชื้อลดลงเมื่อค่าออกซิเจนละลายน้ำสูง (ภาพที่14-17) และยังมีสาเหตุร่วมจากสภาพความเป็นด่างของน้ำ (ภาพที่ 18-21) (ผลจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายดังที่กล่าวมาแล้ว) เชื้อฟีคัลโคลิฟอร์มอยู่ในบ่อพักน้ำ (S) เท่ากับ 116 MPN/100 ml ซึ่งไม่เหมาะต่อการเจริญของเชื้อ

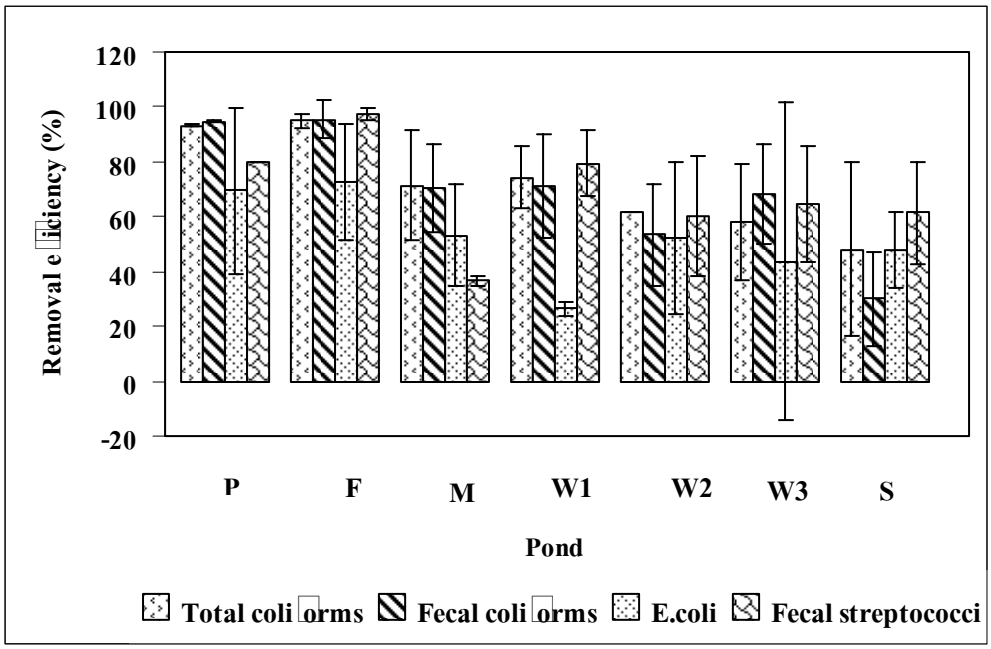
3.5.3.ประสิทธิภาพการกำจัดเชื้ออีโคไล

การลดปริมาณเชื้ออีโคไลในบ่อหมัก (F) เท่ากับ 72.8 ± 21.3% บ่อไร้อากาศ (P) เท่ากับ 69.4 ± 30.4% บ่อบ่ม (M) เท่ากับ 53.3 ± 18.5% บึงประดิษฐ์ (W2) เท่ากับ 52.3 ± 27.5 บึงประดิษฐ์ (W3) เท่ากับ 43.8 ± 57.8% บึงประดิษฐ์ (W1) เท่ากับ 26.4 ± 2.6% อีกครั้ง พบว่าบ่อหมัก (F) มีประสิทธิภาพการกำจัดอีโคไลเฉลี่ยสูงสุด 72.9 ± 21.2% ส่วนบ่อที่มีประสิทธิภาพการกำจัดเชื้ออีโคไลเฉลี่ยต่ำสุดยังคงเป็น บึงประดิษฐ์ (W1) เท่ากับ 26.4% จากบ่อไร้อากาศ (P) ถึง บ่อพักน้ำ (S) ทั้งระบบสูงถึง 75.8% และบ่อนี้มีอีโคไล 74 MPN/100 ml ดูรายละเอียดจาก ตารางผนวก ค ที่ 30 สำหรับรายละเอียดประสิทธิภาพการกำจัดเชื้ออีโคไลแต่ละบ่อในการเก็บแต่ละครั้ง ดูตารางผนวก ค ที่ 24 สาเหตุที่กำจัดอีโคไลได้ต่ำเป็นเพราะค่าความเป็นกรด-ด่างของแต่ละบ่อต่ำกว่า 8.5 (ภาพที่ 18-21) และการกำจัดเชื้อชนิดนี้จะได้ผลดีต่อเมื่อน้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 8.5 ดังรายละเอียดที่กล่าวมาแล้วว่าเป็นกลไกการฆ่าแบบ 3 ของแสงแดด (Davies-Colley *et al*., 1998)

3.5.4.ประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อฟีคัลสเตรปโตคอคไค

ประสิทธิภาพการบำบัดเชื้อฟีคัลสเตรปโตคอคไคบ่อหมัก (F) เท่ากับ 97.3 ± 1.9% บ่อไร้อากาศ (P) เท่ากับ 80 ± 0% บึงประดิษฐ์ (W1) เท่ากับ 79.5 ± 11.7 % บึงประดิษฐ์ (W3) เท่ากับ 64.5 ± 21.0% บึงประดิษฐ์ (W2) เท่ากับ 60.2 ± 21.7% บ่อ (M) เท่ากับ 36.7 ± 2% เช่นเดิมที่พบว่าบ่อหมัก (F) มีประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อฟีคัลสเตรปโตคอคไคเฉลี่ยสูงสุด 97.3 ± 1.9% ส่วนบ่อที่มีประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อเชื้อฟีคัลสเตรปโตคอคไคเฉลี่ยต่ำสุดคือบ่อบ่ม (M) เท่ากับ (36.7 ± 2) สำหรับรายละเอียดประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อฟีคัลสเตรปโตคอคไคแต่ละบ่อในการเก็บแต่ละครั้ง ดูตารางผนวก ค ที่ 23 และกรณีที่พบว่าบ่อบ่ม (M) ประสิทธิภาพการบำบัดต่ำเนื่องจากพบว่าหลายครั้งที่ไปเก็บตัวอย่างในบริเวณทางเดินขอบบ่อนั้นพบมูลกระบือมากมายกองอยู่รอบทางเดินจึงอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนในบ่อจึงทำให้ค่าเชื้อฟีคัลสเตรปโตคอคไคสูงทั้งที่ผ่านการบำบัดมาแล้วจากบ่อหมัก (F) แล้วค่ากลับเพิ่มมากขึ้นในบ่อเช่นวันที่ (27 ก.ค.2549) (7, 17, 28 ส.ค. 2549) (7, 18 ก.ย.2549) และ (9 ต.ค.2549**)** และเชื้อถูกกำจัดต่อในบ่อบึงประดิษฐ์ (W1) ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อฟีคัลสเตรปโตคอคไคสูงถึง 79.5 ± 11.7% และประสิทธิภาพการ บำบัดจากน้ำเข้าระบบคือจาก บ่อไร้อากาศ (P) ถึง บ่อพักน้ำ (S) ทั้งระบบสูงถึง 98.8% (ตารางภาคผนวก ค ที่ 30) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อฟีคัลโคลิฟอร์มในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรที่ว่าบ่อแอนแอโรบิค ระยะกักเก็บน้ำ 1 วัน บ่อหมัก (F) และบ่อบ่ม (M) มีระยะกักเก็บน้ำ 5 วันประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อฟีคัลสเตรปโตคอคไค 99.99% (Oragui *et al*.,1987) เชื้อฟีคัลสเตรปโตคอคไคในบ่อพักน้ำ (S) เท่ากับ 232 MPN/100 ml

เนื่องจากปริมาณน้ำเข้าในระบบมีค่าเท่ากับ 40,000 m^3/d แต่การปล่อยน้ำทิ้งออกไม่กำหนดปริมาณที่แน่นอนจึงควรมีการกำหนดปริมาตรการปล่อยถึงแม้นปริมาณเชื้อโคลิฟอร์มทั้งหมดและฟีคัลโคลิฟอร์มในบ่อ (S) มีค่าอยู่ในช่วง 240-1600 MPN/100 ml และ 8-350 MPN/100 ml มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ของมาตรฐาน แหล่งน้ำผิวดินประเภท 2 และ 3 (ปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดไม่เกิน 5,000 และ 20,000 MPN/100 ml) ฟีคัลโคลิฟอร์มไม่เกิน 1,000 และ 4,000 MPN/100 ml) (ยังไม่มีมาตรฐานโคลิฟอร์มทั้งหมดและฟีคัลโคลิฟอร์มสำหรับน้ำทิ้ง) (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2537) เพราะหากปล่อยน้ำเสียในปริมาณมากปริมาณความเข้มข้นของเชื้อก็สูงด้วย จึงควรตระหนักด้วยว่าปริมาณน้ำทิ้งที่จะปล่อยออกมามีปริมาตรเท่าไรที่จะไม่ส่งผลกระทบต่อทะเลสาบสงขลาบริเวณที่รองรับ ดังนั้นการปล่อยน้ำทิ้งลงสู่ทะเลสาบสงขลาควรปล่อยช่วงน้ำขึ้นเพื่อให้น้ำทะเลช่วยเจือจางปริมาณเชื้อและสิ่งสกปรกอื่นๆที่หลงเหลืออยู่เพื่อความปลอดภัยของทะเลสาบสงขลา เพราะหากปล่อยน้ำเสียในปริมาณมากปริมาณความเข้มข้นของเชื้อก็สูงด้วยจึงเป็นเรื่องที่ต้องศึกษา TMDL (Total Maximum Daily Load)



ภาพที่ 35 ประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อแบคทีเรียบ่งชี้ต่างๆ ในแต่ละบ่อของระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้ง

จากการประเมินประสิทธิภาพของแบคทีเรียบ่งชี้ ของระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่ พบว่าบ่อหมัก (F) สามารถกำจัดแบคทีเรียบ่งชี้ทุกประเภทได้สูงสุดโดยกำจัดเชื้อโคลิฟอร์มทั้งหมด 95% เชื้อฟีคัลโคลิฟอร์ม 95.3% อีโคไล 72.8 % ฟีคัลสเตรปโตคอคไค 97.3%

ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดทั้งระบบ จากบ่อไร้อากาศ (P) ถึงบ่อพักน้ำ (S) ของระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่พบว่าทั้งระบบสามารถกำจัด โคลิฟอร์มทั้งหมด เฉลี่ย 99.8% เชื้อฟีคัลโคลิฟอร์ม เฉลี่ย 99.8% อีโคไล เฉลี่ย 75.8% และ ฟีคัลสเตรปโตคอคไค เฉลี่ย 98.8%

ในบ่อพักน้ำ (S) มีเชื้อโคลิฟอร์มทั้งหมดในช่วง 240-1,600 MPN/100 ml ค่าเฉลี่ย 704 MPN/100 ml เชื้อฟีคัลโคลิฟอร์ม มีค่าอยู่ในช่วง 8-350 MPN/100 ml ค่าเฉลี่ย 116 MPN/100 ml อีโคไลอยู่ในช่วง 2-350 MPN/100 ml ค่าเฉลี่ย 74 MPN/100 ml ฟีคัลสเตรปโตคอคไค ในช่วง 79-540 MPN/100 ml ค่าเฉลี่ย 232 MPN/100 ml น้ำในบ่อนี้พร้อมปล่อยออกสู่ทะเลสาบสงขลา ปริมาณเชื้อโคลิฟอร์มทั้งหมดและฟีคัลโคลิฟอร์มในบ่อ (S) มีค่า ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด สำหรับมาตรฐาน แหล่งน้ำผิวดินประเภท 2 และ 3 (ปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดไม่เกิน 5,000 และ 20,000 MPN/100 ml) ฟีคัลโคลิฟอร์มไม่เกิน 1,000 และ 4,000 MPN/100 ml) (ยังไม่มีมาตรฐานโคลิฟอร์มทั้งหมดและฟีคัลโคลิฟอร์มสำหรับน้ำทิ้ง) (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2537) และจากรายงานการควบคุมดูแลระบบระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่ ปี พ.ศ. 2550 (ไม่มีข้อมูล พ.ศ.2549) พบว่าค่าเฉลี่ยของ ค่า BOD เท่ากับ 15.5 mg/l ซึ่งแหล่งน้ำผิวดินประเภท 4 กำหนดไม่เกิน 4 mg/l ค่า SS เท่ากับ 33 mg/l ค่า Nitrite เท่ากับ 0.495 mg/l ดูรายละเอียดภาคผนวก ค ที่ 32

จากผลการศึกษากล่าวได้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดแบคทีเรียบ่งชี้ของระบบบำบัดมีประสิทธิภาพดี แต่ค่า BOD ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภท 4 (ภาคผนวก ค) และเนื่องจากปริมาตรที่บำบัดมีปริมาตรสูงดังนั้นปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วพร้อมปล่อยออกต้องพิจารณาปริมาตรที่จะปล่อยออกด้วย ซึ่งถ้าหากปล่อยออกมากไปอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในทะเลสาบสงขลาซึ่งเป็นแหล่งรองรับ แนวทางการแก้ปัญหาจึงควรปล่อยน้ำออกช่วงน้ำขึ้นเพื่อให้น้ำทะเลช่วยเจือจางสิ่งสกปรกลง ในระดับหนึ่ง หรืออาจเป็นการทยอยปล่อยน้ำออกซึ่งควรมีการศึกษาถึงปริมาตรที่ปล่อยออกจะไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำของทะเลสาบสงขลา

3.6. ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)

ช่วงเวลา 9.30-11.30 น.เป็นช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างมาศึกษาคุณภาพทางจุลชีววิทยา เพื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพ กับปริมาณแบคทีเรียบ่งชี้ ของบ่อต่างๆในระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่ดังตารางที่ 6 ซึ่งพบความสัมพันธ์ดังนี้

1. อุณหภูมิมีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับปานกลางกับออกซิเจนละลายในน้ำ และมีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับต่ำกับความเป็นกรดด่าง ($r = 0.465$, $p < 0.01$ $r = 0.362$, $p < 0.01$) การที่อุณหภูมิมีความสัมพันธ์เชิงบวกระดับปานกลางกับค่าออกซิเจนละลายในน้ำ เพราะว่าอุณหภูมิที่ศึกษา (ภาพที่ 6-9) อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่ายและอุณหภูมิเป็นผลจากแสงแดดการมีแสงทำให้สาหร่ายสังเคราะห์แสงจึงเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ และการที่อุณหภูมิมีความสัมพันธ์เชิงบวกระดับต่ำกับความเป็นกรด-ด่างสาเหตุหนึ่งมาจากกรณีสังเคราะห์แสงของสาหร่ายเช่นกันปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการหายใจของแบคทีเรียไม่เพียงพอต่อการสังเคราะห์แสงทำให้ต้องมีการสลายกรดคาร์บอนิก ($\square_2CO_3$) จึงเกิด O$\square$ขึ้น (Curtis 1994)

2. ความเข้มแสงมีความสัมพันธ์เชิงผกผันในระดับต่ำกับเชื้อโคลิฟอร์มทั้งหมดกับฟีคัลสเตรปโตคอคไค ($r = - 0.23$, $p < 0.05$ $r = - 0.246$, $p < 0.05$) กรณีที่แสงมามีความสัมพันธ์กับฟีคัลโคลิฟอร์มทั้งหมดและกับฟีคัลสเตรปโตคไค เป็นที่ทราบกันดีว่าในแสงแดดซึ่งมีส่วนของแสงอุลตราไวโอเลตที่สามารถทำลายเซลล์จุลินทรีย์ได้ นอกจากนี้ความเข้มแสงที่ถูกดูดโดยสารอินทรีย์ ในน้ำก็ส่งผลให้เกิดการออกซิไดซ์ด้วยแสง (Photo- oxidation) ในกรณีที่ค่าออกซิเจนละลายน้ำสูงซึ่งเป็นผลจากการสังเคราะห์แสงมีผลทำให้จุลินทรีย์ตายได้ แต่สำหรับอีโคไล จัดว่าเป็นแบคทีเรียที่ต้านทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดีรวมทั้งแสงอุตราไวโอเลตด้วย (Curtis, 1994) และสภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำไม่สูงพอ (ภาพที่ 18-21)

3. ค่าออกซิเจนละลายในน้ำมีความสัมพันธ์เชิงผกผันในระดับต่ำกับโคลิฟอร์มทั้งหมดกับฟีคัลโคลิฟอร์มและกับฟีคัลสเตรปโตคอคไค ($r = - 0.247$, $p <0.05$, $r = - 0.344$, $p < 0.01$, $r = - 0.283$, $p< 0.05$,) นอกจากนี้แล้วค่าออกซิเจนละลายในน้ำยังมีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางกับความเป็นกรด-ด่าง ($r = - 0.493$, $p < 0.01$)

4. ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับปานกลางกับความเป็นกรด-ด่าง ($r = 0.525$, $p < 0.01$) กรณีที่ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ความสัมพันธ์เชิงบวกระดับปานกลางกับความเป็นกรด-ด่าง เกิดขึ้นเนื่องจากปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เป็นผลจากการเจริญของสาหร่ายจึงสามารถใช้วัดการเจริญของสาหร่ายทางอ้อม การมีคลอโรฟิลล์ เอ มากแสดงว่าสาหร่ายเจริญได้ดี

และมีการสังเคราะห์แสงมากซึ่งผลของการสังเคราะห์แสงที่สูงมากทำให้ส่งผลต่อความเป็นกรดด่างสูงขึ้นดังที่กล่าวมาแล้ว

5. โคลิฟอร์มทั้งหมดมีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับปานกลางกับฟีคัลโคลิฟอร์มและกับฟีคัลสเตรปโตคอคไค ($r = 0.614$, $p < 0.01$, $r = 0.642$ $p < 0.01$) เพราะว่าเชื้อ ทั้ง 3 กลุ่มมีแหล่งที่มาจากแหล่งเดียวกันคืออุจจาระหรือมูลสัตว์ (AP A, 1998)

6. ฟีคัลโคลิฟอร์มมีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับปานกลางกับอีโคไลและกับฟีคัลสเตรปโตคอคไค ($r = 0.582$, $p < 0.05$, $r = 0.571$, $p < 0.01$) เพราะมีแหล่งที่มาจากแหล่งเดียวกันคืออุจจาระหรือมูลสัตว์

ตารางที่ 6 ความสัมพันธ์ของทุกบ่อกับพารามิเตอร์ต่างๆที่ช่วงเวลา 9.30-11.30 น.

Parameter	Temperature	Light	DO	p□	Chlorophyll *a*	Coliforms	Fecal coliforms	*E.coli*	Fecal streptococci
	r	r	r	r	r	r	r	r	r
Temperature	-	-	0.465**	0.362**	-	-	-	-	-
Light	-	-	-	-	-	- 0.230*	-	-	- 0.246*
DO	0.465**	-	-	0.493**	-	- 0.247*	- 0.344**	-	- 0.283*
p□	0.362**	-	0.493**	-	0.525**	-	-	-	-
Chlorophyll *a*	-	-	-	0.525**	-	-	-	-	-
Coliforms	-	- 0.230*	- 0.247*	-	-	-	0.614**	-	0.642**
Fecal coliforms	-	-	- 0.344**	-	-	0.614**	-	0.582*	0.571**
E.coli	-	-	-	-	-	-	0.582*	-	-
Fecal streptococci	-	- 0.246*	- 0.283*	-	-	0.642**	0.571**	-	-

r= correlation; r > 0.70 (high correlation), r = 0.40-0.69 (medium correlation), r = 0.20-0.39 (low correlation)

p= Probability- value, * Significant difference ($p<0.05$),** Significant difference ($p<0.01$)

บทที่ 4

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

4.1 บทสรุป

ระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่เป็นระบบบำบัดแบบบ่อปรับเสถียร รวม 3 บ่อ ได้แก่ บ่อไร้อากาศ (P) บ่อหมัก (F) บ่อบ่ม (M) ร่วมกับบึงประดิษฐ์ 3 บ่อ (W1, W2, W3) และ บ่อพักน้ำ (S) รองรับน้ำที่บำบัดแล้วพร้อมปล่อยออกสู่ทะเลสาบสงขลา

จากการวิเคราะห์ปัจจัยทางเคมี-กายภาพทางสถิติแบบ Two-Factorial Design พบว่าประเภทของบ่อบำบัดน้ำเสียมีผลต่อ อุณหภูมิ ออกซิเจนละลายน้ำและ ค่าความเป็นกรด-ด่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และช่วงเวลา มีผลต่อ อุณหภูมิ และความเข้มแสง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ประเภทของบ่อบำบัดน้ำเสียและประเภทของเชื้อแบคทีเรียบ่งชี้มีผลต่อ เปอร์เซ็นต์การกำจัดเชื้อแบคทีเรียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อโคลิฟอร์มทั้งหมดทั้งระบบ ได้ 99.8% โดยประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อสูงสุดเกิดในบ่อหมัก (F) เท่ากับ 95% และพบว่าค่าโคลิฟอร์มทั้งหมดมีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับปานกลางกับค่าฟีคัลโคลิฟอร์มและฟีคัลสเตรปโตคอคไค ค่าโคลิฟอร์มมีความสัมพันธ์เชิงผกผันในระดับต่ำกับค่าความเข้มแสงและค่าออกซิเจนละลายน้ำ

ประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อฟีคัลโคลิฟอร์มทั้งระบบได้ 99.8% โดยประสิทธิภาพการลดเชื้อสูงสุดเกิดในบ่อหมัก (F) เท่ากับ 95.3% ฟีคัลโคลิฟอร์มมีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับปานกลางกับกับโคลิฟอร์มทั้งหมดกับฟีคัลสเตรปโตคอคไคและกับอีโคไลโดยมีความสัมพันธ์เชิงผกผันในระดับต่ำกับค่าออกซิเจนละลายน้ำ

ประสิทธิภาพการกำจัดเชื้ออีโคไลทั้งระบบ 75.8% โดยประสิทธิภาพการลดเชื้อสูงสุดเกิดใน บ่อหมัก (F) ลดเชื้อได้ 72.8%

ประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อฟีคัลสเตรปโตคอคไคสูงสุดทั้งระบบ 98.8% โดยประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อสูงสุดเกิดในบ่อหมัก (F) ได้ 97.3%

จากงานวิจัยในบ่อไร้อากาศ พบ 5 ชนิด *Euglena* เป็น สาหร่ายที่พบได้ในบ่อไร้อากาศ (P) เท่านั้นและในบ่อนี้พบ *Oscillatoria* ด้วยซึ่งสาหร่ายทั้งสองต่างก็เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำเสีย ส่วนบ่อพักน้ำ (S) ซึ่งเป็นบ่อสุดท้ายรอปล่อยน้ำออกพบชนิดของสาหร่ายมากที่สุดรวม 24 ชนิด โดยพบ *Pediastrum* ซึ่งเป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำดี น้ำใส และที่สำคัญคือไม่พบ *Oscillatoria* (ดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำเสีย) ในบ่อพักน้ำ (S) เลยในงานวิจัยครั้งนี้

ดังนั้นการประเมินประสิทธิภาพโดยใช้แบคทีเรียบ่งชี้ และชนิดของสาหร่ายก็เป็นดัชนีบ่งชี้ได้ด้วย

4.2 ข้อเสนอแนะ

4.2.1 การปล่อยน้ำออกควรคำนึงถึงปริมาตรของน้ำที่จะปล่อยออกในแต่ละครั้งว่าจะส่งผลให้ปริมาณแบคทีเรียบ่งชี้แต่ละกลุ่มสูงเกินไปหรือไม่ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำควรปล่อยน้ำออกช่วงน้ำขึ้น

4.2.2 ส่วนบึงประดิษฐ์เนื่องจากขาดความหลากหลายของพืชน้ำโดยเฉพาะบึงประดิษฐ์ (W2) ที่เต็มไปด้วยผักตบชวาส่งผลให้การกำจัดเชื้อแบคทีเรียบ่งชี้ต่ำ ควรนำพืชพวก กก ธูปฤาษี มาปลูกในบึงประดิษฐ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อได้มากยิ่งขึ้นเพราะผักตบชวาใบใหญ่บดบังแสงจึงลดการสังเคราะห์แสงจากสาหร่าย ดังนั้นความเป็นกรดด่างของน้ำไม่เพิ่มขึ้นเท่าที่ควร จึงควรนำพืชพวก กก ธูปฤาษี มาปลูกในบึงประดิษฐ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย

4.2.3 ควรให้ความสำคัญกับการใช้สาหร่ายเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำดี-น้ำเสีย โดยเฉพาะในบ่อพักน้ำก่อนปล่อยออกสู่ทะเลสาบสงขลาที่ไม่ควรพบ *Euglena* และ *Oscillatoria* ขณะเดียวกันควรพบ *Pediastrum*

4.2.4 ควรทำการศึกษาช่วงฤดูแล้งและช่วงฤดูฝน เนื่องจากการศึกษานี้เป็นการศึกษาในช่วงกรกฎาคม-ตุลาคม ดั้งนั้นควรมีการศึกษาในช่วงฤดูแล้ง (กุมภาพันธ์-พฤษภาคม) และช่วงฤดูฝน (ตุลาคม-มกราคม) เพื่อประเมินประสิทธิภาพการบำบัดแบคทีเรียบ่งชี้ทั้งปี

บรรณานุกรม

กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2545. ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. กรุงเทพฯ : สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์.

คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม. 2540 . การควบคุม และการเดินระบบบำบัดน้ำเสีย . สงขลา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

โครงการระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำเทศบาลนครหาดใหญ่ สงขลา. มปป.

จรีย์ ควรหาเวช. 2546. เอกสารการอบรม SPSS For Windows. กลุ่มงานบริการวิชาการศูนย์คอมพิวเตอร์ มหาวิทยาสงขลานครินทร์

ดวงพร คันธโชติ. 2537. อนุกรมวิธานของแบคทีเรียและปฏิบัติการ. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์

———————2545. นิเวศวิทยาของจุลินทรีย์. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

_____2547. จุลชีววิทยาในระบบบำบัดน้ำเสีย. ภาคจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ทวีวงศ์ ศรีบุรี. 2541. การวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์บริษัท มายด์พับลิชชิงจำกัด

เทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา, 2545 “รายงานผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำ ระบบบำบัดน้ำเสียรวม แหล่งน้ำและแหล่งกำเนิดมลพิษ”, บริษัท บีเจที วอเตอร์ จำกัด

ธีระ เกรอต. 2539. วิศวกรรมน้ำเสีย การบำบัดทางชีวภาพ. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 8. 2537. พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติเรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ในราชกิจจานุเบกษาเล่ม 111 ตอนที่ 16 ง

พิจิตรา ชโยปถัมภ์ . 2546. การบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยบึงประดิษฐ์. สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ภาคจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2547. คู่มือปฏิบัติการจุลชีววิทยาแวดล้อมสำหรับนักศึกษาวิทยาศาสตร์. สงขลา : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2544 . เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ยุวดี พีรพรพิศาล .2548. สาหร่ายน้ำจืดในภาคเหนือของประเทศไทย. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

———————— 2549. สาหร่ายวิทยา. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สำนักพิมพ์โชตนาพรินท์ เชียงใหม่

ระบาดวิทยาและควบคุมโรคสำนักงานสาธารณะสุขจังหวัดสงขลาในช่วงปี 2549 ค้นหาได้จาก http://www.Skho.moph.go.th/health_infio/ssj_info/file_data /disease.xls.

ศูนย์สารสนเทศเพื่อการบริหารและพัฒนางานปกครอง กรมการปกครองกระทรวงมหาดไทย นครสวรรค์ วังไชยา นางเลิ้ง เขตดุสิต กรุงเทพฯ 11-9 2549.

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม . 2543. รายงานวิจัย พ.ศ 2537-2543 กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม.

สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2540 และMetcalf and Eddy 1991). “ค่ากำหนดการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย”.ม.ปป (ออนไลน์) / 25 ตุลาคม 2548. ค้นหาได้จาก http:// pcdv 1.pcd. go.th/ Water Quality / Waste WT / Stabilization Pond.

สำนักงานนโยบาย และแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, มหาวิทยาลัยทักษิณ และ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา. 2548. โครงการจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา. สงขลา : ห้างหุ้นส่วนสามัญนีโอพ้อยท์.

APHA, AWWA and WEF. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 th ed . NewYork : American Public Health Association.

Bitton ,1994.Wastewater Microbiology.Wiley-Liss, NewYork.

Bold, H.C. and Wynne, M. J. 1985.Introduction to the algae:Structure and Reproduction. Prentice, Hall, Inc., Englewood,Cliffs, New Jersey.

Brix, H. 1993. Wastewater Treatment in ContructedWetlands : System Design, Removal Processes and Treatment Performance. in G.A. Constructed Wetlands for water Quality Improvement. U.S.A. : Lewis Publishers.

Curtis, T.P., Mara, D.D. and Silva, S.A.1992. The effect of sunlight on faecal coliforms in ponds: implications for research and design. Water Science and Technology 26,1729-1738.

Curtis, T.P. 1994. The effect of sunlight on mechanisms for the die-off of faecal coliform bacteria In waster stabilization ponds: ค้นหาได้จาก

http://www.leeds.ac.uk/civil/ceri/water/tphe/publicat/monog/Res-mon1.doc (1ธันวาคม 2548).

Davies-Colley, R. J., Hickey, C. W. and Quinn, J. M. 1995 Organic matter, nutrients, and optical characteristics of sewage lagoon NZ J. Mar. Freshwater Res. 29, 235-250.

Davies-Colley, R. J., Donnison, A. M. and Speed, D. J.1997 Sunlight wavelengths inactivating faecal indicator micro-organisms in waste stabilisation ponds. Wat. Sci.Technol. 35, 219-225.

Eisenstien, B.I. 1995. Enterobacteriaceae : Principle and Practice of Infection Disease. 4 th ed.Churchill Livingstone.

Farmer, J.J. 1995. Enterobacteriaceae : Manual of clinical Microbiology. 6 th ed. , American Society Microbiology. Washington, D. C. : ASM Press.

Hammer, M.J. 1996. Water And WasteWater Technology : Medical Microbiology. 3 ed.. St.Louis : Von Hoffmann Press.

Kingsbuy, D.T and Wagner, G.E. 1990.The National Medical for Independent Study Microbiology. 2 nd ed. U.S.A.

Lee, R.E. 1999. Phycology.Cambridge University Press.,Cambridge.

Mara, D.D., Alabaster, G.P., Pearson, H.W. and Mills, S.W. 1992. Waste Stabilization Ponds: A Design Manual for Eastern Africa. Lagoon Technology International. ค้นหาได้จากhttp://www.leeds.ac.uk/civil/ceri/water/t pH e/publicat/wspwarm/wsp-slides.pdf (1ธันวาคม 2548).

Muhammad, H.Al-Malack, Anderson, G.K and almasi ,A.L 1998. Treatment of anoxic pond effluent using crossflow microfiltration. University of Kermanchah, Iran pp. 3738-3746.

Murray, P.R., Rosenthal, K.S., and Pfaller, M.A. 1998.Enterobacteriaeae. MedicalmMicrobiology (3th ed), pp.791.Louis: von Hoffmann Press.

Oragui, J.I., Curtis, T.P., Silva, S.A. and Mara D.D.1987.The Handbook of Water and Wastewater Microbiology.477-479.

Palmer, C.M. 1969.A composite rating of algae tolerance organic pollution J.Phycol., 78-82

Pena, M.R. 2003. Universidad del Valle,Instituto Cinara. Cali Colombia. Available from: http:irc.nl/page/ 8237. 19/12/47.

Suranaree University of Technology. 2547. การบำบัดน้ำเสีย. Available from: http://www.sut.ac.th/e-texts/Medicine/ behs/lesson8/lesson 8-2.html - 42k. 19/12/47.

Steiner, G.R. and Combs, D.W. 1993. Small Contructed Wetlands Systems for Domestic Waste Water Treatment and their Performance. In G.A. Moshiri (ed) Constructed Wetlands for Water Quality Improvement, Lewis Publishers, U.S.A pp. 491 – 498.

Troussellier, M. and Legendre, P. 1989. Dynamics of fecal coliform and culturable heterotroph densities in an eutrophic ecosystem: stability of models and evolution of these bacterial groups. Microbial Ecol. 17, 227-235.

ภาคผนวก ก
การตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางจุลชีวิทยา

1.การตรวจวิเคราะห์หาโคไลฟอร์มทั้งหมด โดยวิธีเอ็มพีเอ็น

วิธีนี้ใช้ในการตรวจวิเคราะห์ไคลิฟอร์มของตัวอย่างน้ำที่ขุ่นหรือน้ำเสียต่างๆ ได้ ซึ่งวิธีเยื่อกรองไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ เพราะเยื่อกรองจะอุดตัน การตรวจวิเคราะห์ตามวิธีนี้มีอยู่ 3 ขั้นตอน ด้วยกันคือ

การตรวจวิเคราะห์ขั้นแรก

การตรวจวิเคราะห์ขั้นยืนยัน

การตรวจวิเคราะห์ขั้นสมบูรณ์

วิธีการตรวจวิเคราะห์

ระบบหลอดเลี้ยงเชื้อที่ใช้ตรวจวิเคราะห์กันมี □ระบบ คือ ระบบ 3 หลอด และระบบ 5 หลอด ซึ่งหมายถึงจำนวนของหลอดเลี้ยงเชื้อที่ใช้หมักต่อปริมาณน้ำจำนวนหนึ่งๆ ว่าเป็น 3 หรือ 5 หลอด ปริมาณน้ำตัวอย่างที่ใช้ ดังนี้คือ 10 – 1 – 0.1 แต่ระบบที่เลือกใช้ คือระบบ 5 หลอด เพราะมีข้อดีคือค่าที่ได้มีความถูกต้องมากกว่าส่วนข้อเสียคือระบบ 5 หลอด ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อมาก

1. การตรวจวิเคราะห์ขั้นแรก

1. นำหลอดแก้วที่บรรจุอาหารเหลวลอริลทริพโตสบรอธ (Lauryl tryptose broth) อยู่จนท่วมหลอดเดอร์แรม ไปทำให้ปลอดเชื้อโดยนำไปอบในหม้อนึ่งอัดเสียก่อน

□.เขียนสัญลักษณ์บนหลอดแก้วให้เรียบร้อย

3. เขย่าน้ำตัวอย่างแรงๆ ประมาณ □5 ครั้ง

4. ใช้ปิเปต ขนาด 10 ml. ดูดน้ำตัวอย่างใส่ลงในหลอดที่บรรจุอาหารเหลวเข้มข้นเป็น □เท่า (double strength) 5 หลอด หลอดละ 10 ml

5. ใช้ปิเปต ขนาด 1 ml ดูดน้ำตัวอย่างใส่ลงในหลอดที่บรรจุอาหารเหลวเข้มข้นปกติ (single strength) จำนวน 5 หลอดๆ ละ 1 ml.

6. ใช้ปิเปต ขนาด 1 ml. ดูดน้ำตัวอย่างใส่ลงในหลอดที่บรรจุอาหารเหลวเข้มข้นปกติ จำนวน 5 หลอดๆ ละ 0.1 ml

7. เขย่าหลอดเบาๆ เพื่อให้อาหารเหลวผสมกับน้ำตัวอย่างด้วยดี

8. นำหลอดทั้งหมด ไปเพาะเชื้อในตู้อบเพาะเชื้อที่ 35 $\pm$ 0.5° C เป็นเวลา □4 $\pm$ □ ชั่วโมง

9. เมื่อครบ 4 ± ชั่วโมง นำหลอดหมักทั้งหมดมาตรวจดูก๊าซ หลอดที่เกิดก๊าซให้ผลบวก หลอดที่ไม่เกิดก๊าซนำไปอบในตู้อบเพาะเชื้อต่อจนครบ 48 ± 3 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาอ่านผลอีกครั้งหนึ่ง หลอดที่เกิดก๊าซภายใน 48 ± 3 ชั่วโมง จะให้ผลเป็นบวกทั้งหมด ส่วนหลอดที่ไม่เกิดก๊าซจะให้ผลเป็นลบ หลอดที่เกิดก๊าซและให้ผลเป็นบวก ต้องเป็นก๊าซที่เกิดจากการหมัก ซึ่งจะทำให้อาหารเหลวที่ใช้หมักขุ่น และเมื่อเขย่าลอดหมักเบาๆ จะพบมีฟองก๊าซเล็กๆ ในอาหารเหลวนอกหลอดเดอร์แรม หลอดที่เกิดก๊าซนอกจากจะมีโคลิฟอรม์ในตัวอย่างน้ำ ยังมีแบคทีเรียชนิดอื่น และยีสต์ สามารถย่อยสลายแล็กโทสให้เกิดก๊าซได้ จึงต้องนำไปตรวจวิเคราะห์ในขั้นยืนยันต่อไป

2. การตรวจวิเคราะห์ขั้นยืนยัน

การเกิดก๊าซในขั้นแรกต้องนำไปตรวจต่อในขั้นยืนยันว่าแบคทีเรียที่ปรากฏในน้ำตัวอย่างเป็นโคลิฟอร์มหรือเปล่า เนื่องจากยังมีแบคทีเรียอื่นๆ ที่สามารถหมักแล็กโทสแล้วเกิดก๊าซได้เช่นกัน โดยถ่ายของเหลวบางส่วนจากหลอดที่เกิดก๊าซในขั้นแรกใส่ลงในหลอดที่มีอาหารเหลวบริลเลียนกรีนแล็กโทสไบล์บรอธ ซึ่งแบคทีเรียอื่นๆ ที่ไม่ใช่โคไลฟอร์มจะถูกยับยั้งไม่ให้เจริญเติบโต ดังนั้นก๊าซที่เกิดขึ้นในหลอดในขั้นนี้จึงบอกได้ว่า เกิดจากแบคทีเรียพวกโคลิฟอร์ม การตรวจในขั้นยืนยันมีขั้นตอนดังนี้คือ

1. เลือกหลอดที่เกิดก๊าซจากการตรวจขั้นแรก มาทำการตรวจวิเคราะห์ขั้นยืนยันต่อไปโดยทุกหลอดที่เกิดก๊าซมาตรวจ

เขียนสัญลักษณ์บนหลอดแก้วที่บรรจุอาหารบริลเลียนกรีนแล็กโทสไบล์บรอธเตรียมไว้แล้ว ให้ตรงกับหลอดที่ให้ผลบวก

3. เขย่าหลอดที่ให้ผลบวกเบาๆ แล้วเอาห่วงโลหะเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 mm ลนไฟให้แดงแล้วทิ้งให้เย็นสักครู่ จุ่มลงไปในหลอดที่ให้ผลบวกให้มีของเหลวติดอยู่เต็มห่วง แล้วจึงนำไปจุ่มลงในหลอดบริลเลียนกรีนแล็กโทสไบล์บรอธ ทำจนครบทุกหลอด

4. นำหลอดที่ถ่ายเชื้อลงไปอบเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 ± 0.5° C เป็นเวลา 48 ± 3 ชั่วโมง

5. หลอดที่เกิดก๊าซใน 48 ± 3 ชั่วโมง ทั้งหมด จะให้ผลเป็นบวก

3. การตรวจวิเคราะห์ขั้นสมบูรณ์

1. ถ่ายเชื้อด้วยห่วงโลหะจากหลอดที่ให้ผลบวกในขั้นยืนยันลงบนจานเพาะเชื้อที่มีอาหารแข็งเอ็นโดหรืออีเอ็มบี (Endo agar of Eosin methylene blue agar) โดยขยับปลายห่วงลากกลับไปกลับมาบนผิวอาหารแข็ง (streak) จนทั่วจาน

นำไปอบเพาะเชื้อในตู้อบที่อุณหภูมิ 35 ± 0.5° C เป็นเวลา 4 ± ชั่วโมงโดยคว่ำจาน

3. โคโลนีที่เกิดขึ้นจะเป็นสีม่วงแดง สีจะเข้ม และเป็นมันวาวคล้ายโลหะ หรือเป็นสีชมพูและเยิ้ม

4. ใช้เข็มจิ้มเอาโคโลนีที่แยกเดี่ยวๆ และเห็นชัดในแต่ละจานใส่ลงในหลอดที่บรรจุอาหารเหลวลอริลทริพโตสบรอธ และหลอดที่บรรจุอาหารแข็งนิวเตรียนท์อาการ์ สแลนท์ (nutrient agar slant)

5. นำหลอดอาหารทั้งสองชนิดที่ใส่เชื้อแล้ว ไปอบที่อุณหภูมิ 35 ± 0.5° C. เป็นเวลา 24 ± 2 ชั่วโมง ถ้าเป็นโคไลฟอร์มจะให้ก๊าซเกิดขึ้นในหลอดอาหารเหลวลอริลทริพโตสบรอธ หากไม่มีก๊าซเกิดขึ้นในเวลา 24 ± 2 ชั่วโมง ก็ให้อบต่อถึง 48 ± 3 ชั่วโมง ส่วน นิวเตรียนท์อาการ์ สแลนท์ให้นำเชื้อไปย้อมสี (Gram – stain) และส่องดูลักษณะของแบคทีเรียด้วยกล้องจุลทรรศน์

4. การย้อมสี (Gram-Stain Technique)

4.1 น้ำยาเคมี

1. แอมโมเนี่ยม ออกซาเลต-คริสตัล ไวโอเลต (Ammonium-oxalate-crystal violet, Hucker's) ละลายคริสตัลไวโอเลต (90% dye content) 2 กรัม ใน 20 มล. ของ 95% เอทิลแอลกอฮอล์ (C_2H_5OH) และละลายแอมโมเนี่ยมออกซาเลตโมโนไฮเดรต [$(NH_4)_2C_2O_4 . H_2O$] จำนวน 0.8 g ในน้ำกลั่น 80 ml ผสมสารละลายทั้งสองเข้าด้วยกัน ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ก่อนใช้โดยกรองเก็บใส่ขวด

2. สารละลายลูกอล (Lugol's solution, Gram's modification) บดผลึกไอโอดีน 1 กรัม และโพแทสเซียมไอโอไดด์ 2 g ในครกกระเบื้อง เติมน้ำกลั่นเรื่อยๆ ครั้งละ 1 – 3 ml ในระหว่างบด จนกระทั่งละลายหมด ล้างครกด้วยน้ำกลั่นที่เหลือ (สารละลายจะมีปริมาตรสุดท้าย 300 ml)

3.สีย้อมซ้ำ (Counterstain) ละลายซาฟรานิน ไดย์ (safranin dye) 2.5 g ใน 100 ml ของ 95% เอทิลแอลกอฮอล์เติม 10 ml ของสารละลายที่ได้ลงในน้ำกลั่น 10 ml

4. อะซีโตนแอลกอฮอล์ (Acetone alcohol) ผสม 95% เอทิลแอลกอฮอล์กับอะซีโตน ในปริมาณที่เท่ากันเข้าด้วยกัน

4.2 วิธีย้อมสี

นำเชื้อจากอาการ์สแลนท์แตะลงบนกระจกสไลด์ที่หยดน้ำกลั่น 1 หยด แล้วทำให้แห้งโดยเลื่อนสไลด์ไปมาบนเปลวไฟ จึงนำไปย้อมสีด้วยสารละลายแอมโมเนี่ยมออกซาเลตคริสตัลไวโอเลต เป็นเวลา 1 นาที นำไปล้างสีด้วยน้ำก๊อกแล้วจึงเติมสารละลายลูกอล 1 นาที นำไปล้างด้วยน้ำก๊อก แล้วจึงล้างด้วยอะซีโตนแอลกอฮอล์ เป็นเวลา 15 – 30 วินาที โดยจับสไลด์ให้เอียงด้วยนิ้วชี้และนิ้วหัวแม่มือ แล้วหยดอะซีโตนแอลกอฮอล์ลงไปจนสีถูกล้างออกหมด จากนั้นจึงทำการย้อมสี

อีกครั้งด้วยซาฟรานินเป็นเวลา 15 วินาที แล้วจึงล้างออกด้วยน้ำก๊อก ซับให้แห้งด้วยกระดาษซับแล้วนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์

แบคทีเรียที่สีย้อมไม่ถูกล้างออกจะยังคงติดสีของคริสตัลไวโอเลตอยู่ ซึ่งจะเห็นเซลล์ติดสีน้ำเงินเข้มเป็นพวกแกรมบวก (Gram positive) ส่วนเซลล์ที่สีย้อมครั้งแรกถูกล้างออกไปและติดสีของซาฟรานิน จะเห็นเป็นสีชมพู เป็นพวกแกรมลบ (Gram negative)

การอ่านผล

ถ้าเกิดก๊าซในหลอดอาหารลอริลทริพโตสบรอธ (ของการตรวจวิเคราะห์ในขั้นสมบูรณ์) ภายใน 48 ± 3 ชั่วโมง และเชื้อจากหลอดอาหารแข็งนิวเตรียนท์อาการ์สแลนท์ เมื่อย้อมสีติดสีแกรมลบ (Gram – negative) ส่องกล้องจุลทรรศน์ดูมีลักษณะเป็นท่อนๆ เล็กๆ ไม่มีสปอร์ (rod – shape, non – spore forming) แสดงว่าแบคทีเรียในน้ำตัวอย่างที่ทำการตรวจวิเคราะห์เป็นโคไลฟอร์ม

การตรวจวิเคราะห์หาฟีคัลโคไลฟอร์ม โดยวิธีเอ็มพีเอ็น

การตรวจวิเคราะห์เพื่อใช้แยกดูว่าโคลิฟอร์มที่พบในน้ำตัวอย่างเป็นพวกฟีคัลโคลิฟอร์ม หรือ นันฟีคัลโคลิฟอร์มนั้น โดยการเพิ่มอุณหภูมิของการอบเพาะเชื้อ การตรวจวิเคราะห์ทำได้ □วิธี คือวิธีพีเอ็น และวิธีเยื่อกรอง ในการตรวจวิธีเอ็มพีเอ็นทำโดยถ่ายเชื้อจากการตรวจโคไลฟอร์มในขั้นแรกใส่ลงในหลอดอาหารเหลว อีซี (EC Medium) ซึ่งเป็นการตรวจขั้นยืนยัน ทั้งนี้เพื่อให้เชื้อเจริญเติบโตในการตรวจขั้นแรกเสียก่อน

การตรวจวิเคราะห์ฟีคัลโคลิฟอร์มด้วยอาหารเหลว อีซี ใช้ในการหาความสกปรกของลำน้ำ, แหล่งน้ำดิบ, ระบบบำบัดน้ำโสโครก, น้ำทะเลและการตรวจสอบคุณภาพน้ำทั่วๆ ไป

วิธีการตรวจวิเคราะห์

1. ถ่ายของเหลวจากหลอดที่ให้ผลบวกจากการตรวจโคลิฟอร์มในขั้นแรกใส่ลงในหลอดบรรจุอาหารเหลว อี.ซี.ที่มีหลอดเดอร์แรมคว่ำอยู่ภายใน ด้วยห่วงโลหะที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว โดยทำพร้อมๆ กับการตรวจโคไลฟอร์มในขั้นยืนยันที่ใช้อาหารเหลวบริลเลียนกรีน แล็กโทส ไบล์บรอธ

□. นำหลอดอาหารเหลว อีซี ที่ได้รับการถ่ายเชื้อแล้วไปอบน้ำร้อนในอ่างน้ำร้อน (water bath) ภายใน 30 นาที หลังจากการเติมเชื้อแล้ว ที่อุณหภูมิ 44.5 ± 0.□ C เป็นเวลา □4 ± □ ชั่วโมง โดยให้ระดับน้ำในอ่างท่วมสูงเกินระดับผิวบนของอาหารในหลอด

3. หลอดที่เกิดก๊าซภายใน □4 ชั่วโมง ให้อ่านผลเป็นบวก แสดงว่าโคไลฟอร์มที่ปะปนอยู่ในน้ำตัวอย่างเป็นฟีคัลโคไลฟอร์มที่ถูกขับถ่ายออกมากับอุจจาระของคนและสัตว์เลือดอุ่น หลอดที่ไม่เกิดก๊าซภายใน □4 ชั่วโมงให้อ่านผลเป็นลบ แสดงว่าโคไลฟอร์มที่ปะปนอยู่ในน้ำตัวอย่างเป็นนันฟีคัลโคไลฟอร์มที่มาจากพืชหรือดิน

4. การอ่านผลเช่นเดียวกับของโคลิฟอร์ม ผลที่ได้จะมีค่าเป็นเอ็มพีเอ็นต่อน้ำตัวอย่าง 100 ml (MPN/100 ml)

2. Imvic test การอ่านผลและแปลผลทางชีวเคมี

Imvic test เป็นการทดสอบทางชีวเคมี 4 อย่างได้แก่ Indole test MR test VP test และ Citrate test (ดวงพร คันธโชติ, □537) โดยมีรายละเอียดการทดสอบดังนี้

Indole test

วิธีทดสอบ

ถ่ายเชื้อที่ต้องการทดสอบลงไปใน 1% peptone broth แล้ว incubate ที่ 35 °C เป็นเวลา □4 -48 ชั่วโมง แล้วหยด Kovacs' reagent 5 หยด แล้วเขย่าหลอดทดลองเบาๆ □-3 ครั้ง สังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงที่สีของอาหาร

การแปลผล

ผลบวก: มีสีแดงที่ผิวของอาหาร (red ring)

ผลลบ : สีเหมือน Kovacs' reagent คือ สีเหลือง

Methyl red test

วิธีทดสอบ

ถ่ายเชื้อที่ต้องการทดสอบลงไปใน MR/VP broth แล้ว incubate ที่ 35°C เป็นเวลา □4 -48 ชั่วโมง แล้วหยด methyl red 5 หยด สังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงสีของอาหารทันทีที่หยด indicator

การแปลผล

ผลบวก: อาหารเปลี่ยนเป็นสีแดง

ผลลบ : อาหารมีสีเหลือง

Voges – Proskauer test

วิธีทดสอบ

ถ่ายเชื้อที่ต้องการทดสอบลงไปใน MR/VP broth แล้ว incubate ที่ 35°C เป็นเวลา 4 -48 ชั่วโมง แล้วหยด 5% naphthol ลงไป 6 หยด เขย่า แล้วจึงหยด 40% KOH ลงไป หยด เขย่าให้เข้ากันดี ทิ้งไว้ 10-15 นาที แล้วสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของสีอาหาร

การแปลผล

ผลบวก: อาหารสีแดง

ผลลบ : อาหารสีเหลือง

Citrate test

วิธีทดสอบ

ถ่ายเชื้อที่ต้องการทดสอบ โดยการ streak บนผิว Simmon's citate agar แล้ว incubate ที่ 35 °C เป็นเวลา 4 -48 ชั่วโมง สังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงสีของ medium และการเติบโตของแบคทีเรีย

การแปลผล

ผลบวก: มีแบคทีเรียขึ้นและอาหารเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำเงิน

ผลลบ : ไม่มีแบคทีเรียขึ้นและอาหารไม่เปลี่ยนสี (Holt *et al*., 1994)

การตรวจวิเคราะห์หาฟีคัลสเตร็ปโตคอคไค (Fecal Streptococci)

การตรวจวิเคราะห์หาฟีคัลสเตร็ปโตคอคไค เพื่อแสดงถึงการปนเปื้อนของอุจจาระ แบคทีเรียในกลุ่มนี้ได้แก่ *S. faecalis, S. faecalis subsp. liquefaciens, S faecalis subsp. zymogenes, S. faecium, S. bovis และ S. equins* ซึ่งพบได้ในอุจจาระของคนและสัตว์เลือดอุ่นอื่นๆ อันได้แก่ ไก่ สุนัข หมู ในการพิจารณาคุณภาพของน้ำเราไม่ใช้ผลการวิเคราะห์ฟีคัลสเตร็ปโตคอคไคเพียงลำพัง แต่จะพิจารณาร่วมกับผลการวิเคราะห์ฟีคัลโคลิฟอร์ม

ค่าอัตราส่วนระหว่างฟีคัลโคลิฟอร์มต่อฟีคัลสเตร็ปโตคอคไค (FC/FS) สามารถบอกได้ว่าต้นกำเนิดของการปนเปื้อน เกิดจากอะไรดังนี้คือ ถ้าหากค่าอัตราส่วนระหว่าง FC/FS เท่ากับ 4.4 แสดงว่าเกิดการปนเปื้อนของสิ่งขับถ่ายจากคน ถ้าหากน้อยกว่า 0.7 แสดงว่าต้นกำเนิดการปนเปื้อนเกิดจากสัตว์ ถ้ามีค่าระหว่าง 0.7 – 4.4 แสดงว่าต้นกำเนิดการปนเปื้อนเกิดจากคนและสัตว์รวมกัน (ดวงพร คันธโชติ, 547)

ข้อควรระวังในการแปลผลค่าอัตราส่วน FC/FS

1. จะต้องทำการวัดพีเอชของตัวอย่างน้ำด้วยว่าเป็นเท่าไร เพราะว่าสเตร็ปโตคอคไคจะมีปริมาณเปลี่ยนแปลงไป เมื่อพีเอชของน้ำสูงกว่า 9.0 หรือต่ำกว่า 4.0

 ฟีคัลสเตร็ปโตคอคไค เมื่อออกมาจากสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ (host) มาอยู่ในสิ่งแวดล้อม จะมีอายุสั้น ดังนั้นในการเก็บตัวอย่างน้ำ จึงควรเก็บให้ใกล้แหล่งที่เป็นต้นกำเนิดความสกปรกที่สุด

3. เมื่อมีต้นกำเนิดความสกปรกหลายๆ แห่งด้วยกัน จะต้องทำการสืบสวนถึงต้นกำเนิดความสกปรกที่แท้จริง เพราะไม่เช่นนั้นแล้วค่าอัตราส่วนนี้จะทำให้การประเมินแหล่งต้นกำเนิดความสกปรกผิดพลาดได้

4. เมื่อใช้ค่าอัตราส่วนนี้กับน้ำทะเล อ่าว และปากแม่น้ำ จะต้องใช้ความระมัดระวังและละเอียดอ่อน เพราะค่าที่ได้จากต้นกำเนิดที่เป็นมนุษย์และไม่ใช่มนุษย์มีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อย

5. ห้ามใช้อัตราส่วนนี้เมื่อมีจำนวนฟีคัสสเตร็ปโตคอคไคต่ำกว่า 100/100 ml.

การตรวจวิเคราะห์หาฟีคัลสเตร็ปโตคอคไค โดยวิธีเอ็มพีเอ็น

1. การตรวจวิเคราะห์ขั้นแรก

1. ใส่ตัวอย่างน้ำปริมาณที่พอเหมาะลงในชุดหลอดทดลองที่บรรจุอาหารเหลวเอไซด์เด็กซ์โตส (azide dextrose broth) โดยใช้อาหารเหลวความเข้มข้นปกติ 10 ml เมื่อตัวอย่างน้ำที่ใช้ตรวจวิเคราะห์เป็น 1 ml หรือน้อยกว่า และให้ใช้อาหารเหลวความเข้มข้นเป็นสองเท่าเมื่อตัวอย่างน้ำที่ใช้ตรวจวิเคราะห์เป็น 10 ml ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวอย่างน้ำนั้นๆ

 นำหลอดอาหารเหลวที่ใส่ตัวอย่างน้ำลงไปแล้ว ไปอบในตู้อบเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 ± 0.5ºC. เป็นเวลา 4 ± ชั่วโมง จึงทำการอ่านผลโดยดูความขุ่นที่เกิดขึ้นในแต่ละหลอด หลอดที่อาหารเหลวขุ่นอ่านผลเป็นบวก ส่วนหลอดที่ไม่ปรากฏความขุ่นหรือไม่แน่ใจให้อบเพาะเชื้อต่อจนได้ 48 ± 3 ชั่วโมง จึงนำมาอ่านผลใหม่

2. การตรวจวิเคราะห์ขั้นยืนยัน

หลอดที่เกิดความขุ่นในอาหารเหลวเอไซด์เด็กซ์โตส คือ ให้ผลบวกในการตรวจขั้นแรก นำมาตรวจวิเคราะห์ในขั้นยืนยันต่อ โดยนำมา streak ในจานเพาะเชื้อที่บรรจุอาหารแข็งพีเอสอี (PSE agar) แล้วนำไปอบในตู้อบเพาะเชื้อที่ 35 ± 0.5ºC. เป็นเวลา 4 ± ชั่วโมง ดูโคโลนีที่เกิดขึ้น ถ้าโคโลนีเป็นสีน้ำตาลดำล้อมรอบด้วยวงแหวนสีน้ำตาล (brownish-black colonies with brown halos) แสดงว่าเป็นโคโลนีของฟีคัลสเตร็ปโตคอคไค

3.การอ่านค่าและแปลผล

โดยนับจำนวนหลอดที่ให้ผลบวกในการตรวจวิเคราะห์และขั้นยืนยันแล้วไปเทียบกับตารางดัชนี MPN อ่านค่าที่ได้เป็น MPN/100 ml ของตัวอย่างน้ำเช่นเดียวกับการหา MPN ของโคไลฟอร์ม

ตารางภาคผนวก ข ที่ 1 ตาราง MPN

Table 9221.IV. MPN Index and 95% Confidence Limits for Various Combinations of Positive Results When Five Tubes Are Used per Dilution (10 mL, 1.0 mL, 0.1 mL)*

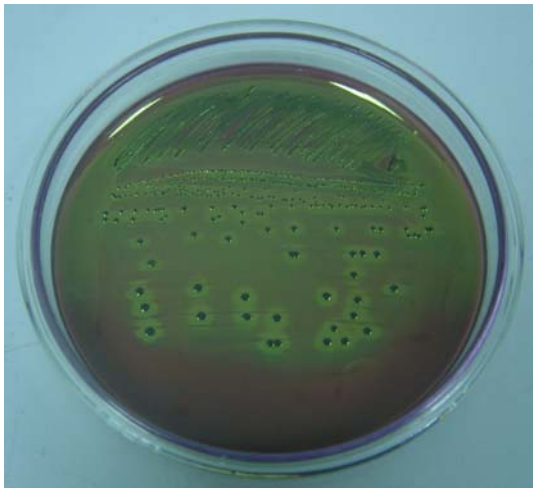
Combination of Positives	MPN Index/ 100 mL	Confidence Limits		Combination of Positives	MPN Index/ 100 mL	Confidence Limits	
		Low	High			Low	High
0-0-0	<1.8	—	6.8	4-0-3	25	9.8	70
0-0-1	1.8	0.090	6.8	4-1-0	17	6.0	40
0-1-0	1.8	0.090	6.9	4-1-1	21	6.8	42
0-1-1	3.6	0.70	10	4-1-2	26	9.8	70
0-2-0	3.7	0.70	10	4-1-3	31	10	70
0-2-1	5.5	1.8	15	4-2-0	22	6.8	50
0-3-0	5.6	1.8	15	4-2-1	26	9.8	70
1-0-0	2.0	0.10	10	4-2-2	32	10	70
1-0-1	4.0	0.70	10	4-2-3	38	14	100
1-0-2	6.0	1.8	15	4-3-0	27	9.9	70
1-1-0	4.0	0.71	12	4-3-1	33	10	70
1-1-1	6.1	1.8	15	4-3-2	39	14	100
1-1-2	8.1	3.4	22	4-4-0	34	14	100
1-2-0	6.1	1.8	15	4-4-1	40	14	100
1-2-1	8.2	3.4	22	4-4-2	47	15	120
1-3-0	8.3	3.4	22	4-5-0	41	14	100
1-3-1	10	3.5	22	4-5-1	48	15	120
1-4-0	10	3.5	22	5-0-0	23	6.8	70
2-0-0	4.5	0.79	15	5-0-1	31	10	70
2-0-1	6.8	1.8	15	5-0-2	43	14	100
2-0-2	9.1	3.4	22	5-0-3	58	22	150
2-1-0	6.8	1.8	17	5-1-0	33	10	100
2-1-1	9.2	3.4	22	5-1-1	46	14	120
2-1-2	12	4.1	26	5-1-2	63	22	150
2-2-0	9.3	3.4	22	5-1-3	84	34	220
2-2-1	12	4.1	26	5-2-0	49	15	150
2-2-2	14	5.9	36	5-2-1	70	22	170
2-3-0	12	4.1	26	5-2-2	94	34	230
2-3-1	14	5.9	36	5-2-3	120	36	250
2-4-0	15	5.9	36	5-2-4	150	58	400
3-0-0	7.8	2.1	22	5-3-0	79	22	220
3-0-1	11	3.5	23	5-3-1	110	34	250
3-0-2	13	5.6	35	5-3-2	140	52	400
3-1-0	11	3.5	26	5-3-3	170	70	400
3-1-1	14	5.6	36	5-3-4	210	70	400
3-1-2	17	6.0	36	5-4-0	130	36	400
3-2-0	14	5.7	36	5-4-1	170	58	400
3-2-1	17	6.8	40	5-4-2	220	70	440
3-2-2	20	6.8	40	5-4-3	280	100	710
3-3-0	17	6.8	40	5-4-4	350	100	710
3-3-1	21	6.8	40	5-4-5	430	150	1100
3-3-2	24	9.8	70	5-5-0	240	70	710
3-4-0	21	6.8	40	5-5-1	350	100	1100
3-4-1	24	9.8	70	5-5-2	540	150	1700
3-5-0	25	9.8	70	5-5-3	920	220	2600
4-0-0	13	4.1	35	5-5-4	1600	400	4600
4-0-1	17	5.9	36	5-5-5	>1600	700	—
4-0-2	21	6.8	40				

*Results to two significant figures

Lactose broth, Azide dextrose broth, EC medium

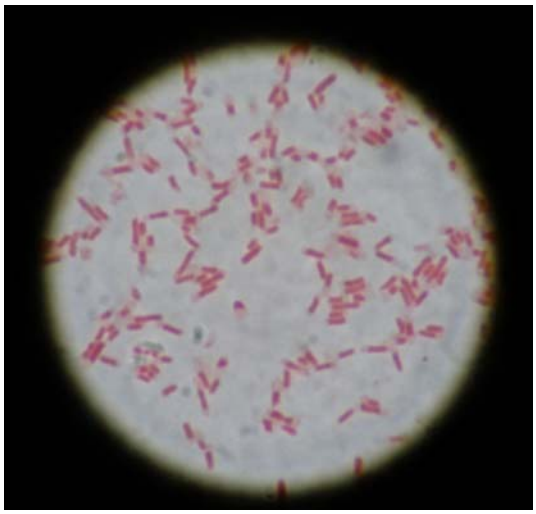
Brilliant green lactose bile broth

Eosin methylene blue agar (EMB)



ลักษณะโคโลนีของอีโคไลที่มีสีเขียวคล้ายปีกแมลงทับ(Metalic sheen)

Nutrient agar (NA)

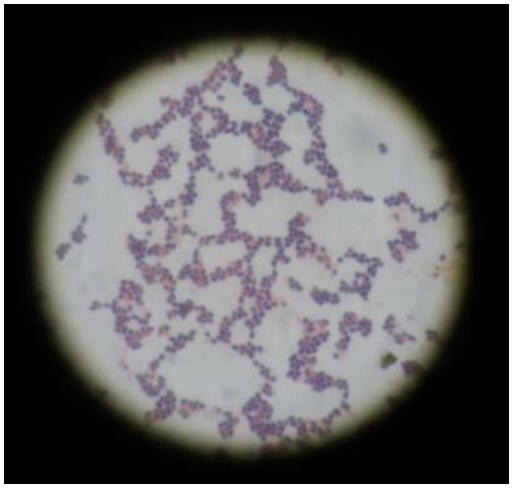


การติดสีแกรมลบของอีโคไล

ภาพผนวก ที่ 1 การทดสอบทางจุลชีวิทยาของแบคทีเรียบ่งชี้

Indole test medium , Methyl red test medium (MR) , Voges Proskauer test medium (VP), Simon s citrate agar

Pfizer selective enterococcus agar



Fecal streptococci

ภาพผนวก ที่ 1 (ต่อ) การทดสอบทางจุลชีวิทยาของแบคทีเรียบ่งชี้

ภาคผนวก ข

วิธีวิเคราะห์ปริมาณ Chlorophyll *a*

วิธีการหาปริมาณ chlorophyll a ในแพลงก์ตอนพืชโดยวิธี Spectrophotometric เป็นการวัดการเจริญของสาหร่ายทางอ้อม

วิธีการทดลอง

1. การเก็บตัวอย่างน้ำ ใช้ขวดสีชาเก็บตัวอย่างน้ำที่ระดับต่ำกว่าผิวน้ำประมาณ ฟุต โดยมีปริมาตร 0.5-5 l ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชตัวอย่างน้ำต้องนำมาวิเคราะห์ภายใน ชม. ถ้ามีความจำเป็นต้องเก็บไว้นานกว่านี้ให้เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C (ไม่เกิน 4 ชั่วโมง)

. นำน้ำตัวอย่างมากรองด้วย membrane filter ขนาด 0.45 μm โดยใช้เครื่องปั๊มสุญญากาศช่วย ก่อนการกรองควรเติมสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนตประมาณ 1-1.5 ml ลงไปเพื่อเคลือบกระดาษกรองและช่วยให้การกรองมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

3. นำกระดาษกรองม้วนใส่หลอดแก้ว โดยให้ด้านของแพลงก์ตอนพืชอยู่ด้านในเติมสารละลายอะซิโตนลงไปประมาณ -3 ml บดด้วยเครื่องบดประมาณ 1 นาที เทสารละลายลงในหลอดปั่น ซะล้างเครื่องบดประมาณ 1 นาที เทสารละลายลงในหลอดปั่น ซะล้างเครื่องบดด้วยสารละลายอะซิโตนแล้วเทรวมใส่ในหลอดปั่น ปริมาตรโดยรวมไม่ควรเกิน 10 ml

4. นำตัวอย่างมาเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 3,000-4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที รินน้ำใสออก วัดปริมาตร แล้วนำไปวัดด้วยเครื่อง spectrophotometer อ่านค่า optical density ที่ความยาวช่วงคลื่น 750, 664, 647 และ 630 nm ค่า optical density ที่ความยาวช่วงคลื่น 750 nm เป็นค่าความขุ่น นำค่านี้ไปลบค่า optical density ที่ความยาวช่วงคลื่น 664,647 และ 630 nm แล้วจึงนำมาคำนวณ

คำนวณหาปริมาณ chlorophyll a (C_a) จากสูตรต่อไปนี้

$$C_a = 11.85 (OD_{664}) - 1.54 (OD_{647}) - 0.08 (OD_{630})$$

C_a คือปริมาณ Chlorophyll a ที่สกัดในสารละลายอะซิโตนมีหน่วยเป็นμg/ml ดังนั้นปริมาณ Chlorophyll a ในน้ำตัวอย่าง หน่วยเป็น μg/l มีค่าเท่ากับ

$$= \frac{C_a \text{ X ปริมาตรน้ำที่สกัด (ml)}}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (l)}}$$

เอกสารอ้างอิง

Standard methods for the examination of wastewater. 0th Edition, 1998,American Public Health Association, Washington DC.

ภาพผนวก ที่ ระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่

ภาคผนวก ค

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตารางภาคผนวก ค ที่ 1 อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำ (°C) แต่ละบ่อช่วงเวลา 9.30-11.30 น.จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้ง

ครั้งที่/บ่อ	P	F	M	W1	W□	W3	S
1	□9.00	30.□0	30.50	31.50	31.50	30.□0	30.60
□	30.00	30.□0	3□.40	30.40	□9.80	□9.50	□9.70
3	30.60	3□.50	30.70	31.00	30.00	30.□0	□9.90
4	□9.□0	□9.70	□9.70	30.00	□9.60	□9.30	30.30
5	□9.80	□9.80	□9.60	30.80	□9.60	□9.40	□9.10
6	30.30	□9.70	□8.90	□9.90	□9.90	□9.30	□9.90
7	30.10	31.30	31.00	31.00	30.00	□9.90	3□.30
8	33.00	□8.70	□8.70	□9.50	□9.10	□9.10	□9.□0
9	□9.70	30.30	31.30	□9.70	□9.□0	□9.80	□9.60
10	30.60	31.70	31.40	30.□0	30.00	□9.80	30.30
Average	30.□3	30.41	30.4□	30.40	□9.87	□9.65	30.09
SD.	1.11	1.1□	1.18	0.65	0.66	0.39	0.91
Min.	□9.00	□8.70	□8.70	□9.50	□9.10	□9.10	□9.10
Max.	33.00	3□.50	3□.40	31.50	31.50	30.□0	3□.30

ตารางภาคผนวก ค ที่ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำ (°C) แต่ละบ่อช่วงเวลา 1 .00-13.55 น.จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้ง

ครั้งที่/บ่อ	P	F	M	W1	W	W3	S
1	30.00	31.00	30.60	31.60	30.40	30.40	30.40
	30.30	30.70	30.50	30.60	.90	.80	30.00
3	30.00	31.90	30.40	31.90	.30	30.50	.90
4	3 . 0	30. 0	30.10	30.30	.60	.70	30.10
5	31. 0	33.00	30.00	33.40	.70	30.00	.40
6	31.80	30.00	.40	30.40	.70	.40	30.00
7	34.70	35.90	35. 0	31.80	.50	30.60	34.00
8	31.10	.10	. 0	.60	.10	. 0	. 0
9	3 .30	31. 0	33.10	30. 0	.10	.50	30.10
10	35.00	3 .50	33.90	31.80	. 0	30.10	30. 0
Average	31.86	31.55	31. 4	31.16	.15	.9	30.33
SD.	1.78	1.93	.06	1.13	0.64	0.48	1.34
Min.	30	.1	.	.6	.3	.	.
Max.	35	35.9	35.	33.4	30.4	30.6	34

ตารางภาคผนวก ค ที่ 3 อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำ (°C) แต่ละบ่อช่วงเวลา 14.00-15.55 น.จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้ง

ครั้งที่/บ่อ	P	F	M	W1	W□	W3	S
1	31.6	30.90	31.10	3□.10	30.70	30.30	30.60
□	30.□	31.00	30.70	31.10	30.10	□9.90	30.30
3	□9.9	30.40	□9.70	30.10	□9.80	□9.50	30.00
4	3□.5	30.90	31.00	30.50	30.30	□9.90	30.60
5	31.3	31.90	□9.50	31.60	□9.50	□9.30	□9.30
6	3□.3	□9.40	30.40	30.60	30.10	□9.80	30.30
7	37.1	34.10	36.□0	31.60	30.80	30.70	34.10
8	□9.3	□9.70	□9.50	□9.70	□9.30	□9.30	□9.40
9	3□.8	31.40	33.50	30.00	30.00	□9.60	□9.90
10	35.6	31.70	34.40	31.60	30.50	30.10	30.50
Average	3□.16	31.14	31.6	30.9	30.11	□9.84	30.5
SD.	□.47	1.31	□.31	0.84	0.49	0.45	1.35
Min.	□9.3	□9.4	□9.5	□9.7	□9.3	□9.3	□9.3
Max.	37.1	34.1	36.□	3□.□	30.8	30.7	34.1

ตารางภาคผนวก ค ที่ 4 อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำ (°C) แต่ละบ่อช่วงเวลา 16.00-17.55 น.จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้ง

ครั้งที่/บ่อ	P	F	M	W1	W□	W3	S
1	30.40	□9.50	30.60	31.□0	30.10	□9.90	30.50
□	□9.70	31.10	30.40	31.00	31.10	□9.90	30.00
3	30.10	30.50	30.40	30.50	30.00	□9.60	30.50
4	3□.70	30.50	30.90	□9.90	30.10	□9.90	30.00
5	31.□0	□9.40	□9.□0	30.30	□9.30	□8.80	□9.10
6	33.30	30.□0	31.30	30.70	30.□0	□9.80	30.□0
7	35.60	31.10	34.70	30.60	30.60	30.10	3□.□0
8	□9.10	□9.80	□9.40	□9.50	□9.50	□9.30	□9.30
9	3□.50	30.70	31.80	□9.50	□9.10	□9.□0	□9.80
10	31.90	30.70	3□.00	31.60	30.60	□9.90	30.70
Average	31.65	30.35	31.07	30.48	30.06	□9.64	30.□3
SD.	1.96	0.61	1.57	0.70	0.6□	0.41	0.86
Min.	□9.10	□9.40	□9.□0	□9.50	□9.10	□8.80	□9.10
Max.	35.6	31.1	34.7	31.6	31.1	30.1	3□.□

ตารางภาคผนวก ค ที่ 5 ปริมาณความเข้มแสงเฉลี่ย (Lux) ของแต่ละบ่อช่วงเวลา 9.30-11.30 น. จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้ง

ครั้งที่/บ่อ	P	F	M	W1	W	W3	S
1	10,390	,580	3,810	11,950	1 ,140	,850	10,550
	3, 80	4,470	3,440	4,1 0	,880	3, 10	3,810
3	3,600	6,900	5,130	5, 90	5,170	7,300	4, 80
4	8,100	9,570	10,3 0	10,850	11,7 0	10,370	11,570
5	6,870	1 ,580	1 ,600	10,0 0	9,490	10,660	10,460
6	6, 40	6,710	5,560	8,1 0	11,300	4,190	5,070
7	10, 60	14,890	5,490	6,110	9, 00	11, 80	11, 00
8	1,040	,480	,700	3,300	,330	,600	3, 90
9	5,710	1 ,110	1 , 00	11,050	10,600	11,630	10,050
10	7,870	10, 30	10,300	1 ,300	11,300	1 ,340	11,360
Average	6,336	8, 5	7,155	8,311	8,613	7,643	8,164
SD.	3,034	4,310	3,790	3,378	3,739	4,053	3,54
Min.	1,040	,480	,700	3,300	,330	,600	3, 90
Max.	10,390	14,890	1 ,600	1 ,300	1 ,140	1 ,340	11,570

ตารางภาคผนวก ค ที่ 6 ปริมาณความเข้มแสงเฉลี่ย (Lux) ของแต่ละบ่อช่วงเวลา 1□.00-13.55 น. จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้ง

ครั้งที่/บ่อ	P	F	M	W1	W□	W3	S
1	11,690	3,460	9,570	11,850	9,780	8,530	6,840
□	4,350	5,130	4,710	4,030	3,050	3,□30	□,760
3	10,860	8,670	8,030	7,7□0	4,470	6,7□0	4,010
4	1□,170	1□,100	1□,□90	11,770	11,730	11,9□0	1□,450
5	11,□60	11,570	11,470	14,660	4,□00	3,590	□,040
6	6,570	6,5□0	7,300	8,400	8,0□0	7,9□0	16,9□0
7	14,□00	11,850	1□,380	1□,□60	11,800	11,750	1□,□40
8	□,6□0	3,0□0	□,750	3,130	□,080	□,110	□,5□0
9	13,□00	10,480	1□,800	13,890	10,010	10,6□0	10,□00
10	11,000	1□,000	11,610	13,□80	11,510	1□,□□0	13,000
Average	9,80□	8,480	9,□91	10,099	7,665	7,861	8,□98
SD.	3,900	3,660	3,500	4,080	3,850	3,840	5,340
Min.	□,6□0	3,0□0	□,750	3,130	□,080	□,110	□,040
Max.	14,□00	1□,100	1□,800	14,660	11,800	1□,□□0	16,9□0

ตารางภาคผนวก ค ที่ 7 ปริมาณความเข้มแสงเฉลี่ย (Lux) ของแต่ละบ่อในช่วงเวลา 14.00-15.55 น. จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้ง

ครั้งที่/บ่อ	P	F	M	W1	W□	W3	S
1	4,□50	4,7□0	5,070	4,090	3,□70	3,600	3,010
□	6,850	8,880	4,430	3,880	1,710	□,800	□,860
3	890	1,800	1,780	1,690	850	1,480	1,□80
4	10,180	10,960	8,□60	9,110	9,360	8,510	8,030
5	5,390	5,070	1,6□0	630	1,340	1,□80	1,150
6	5,590	3,8□0	6,950	7,110	6,300	3,170	5,680
7	11,660	10,050	9,350	10,180	8,960	8,900	9,490
8	□,650	4,580	3,810	3,□10	□,□30	□,650	□,460
9	9,990	4,□90	5,730	6,710	3,380	4,7□0	3,780
10	1□,□00	□,680	3,170	11,610	10,650	8,660	7,800
Average	6,965	5,690	5,0□0	5,8□0	4,810	4,580	4,550
SD.	3,890	3,150	□,600	3,700	3,690	3,000	3,000
Min.	890	1,800	1,6□0	630	850	1,□80	1,150
Max.	1□,□00	10,960	9,350	11,610	10,650	8,900	9,490

ตารางภาคผนวก ค ที่ 8 ปริมาณความเข้มแสงเฉลี่ย (Lux) ของแต่ละบ่อในช่วงเวลา 16.00-17.55 น. จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้ง

ครั้งที่/บ่อ	P	F	M	W1	W□	W3	S
1	4,170	5,090	6,360	5,810	□,050	3,580	4,1□0
□	□,400	3,□00	□,840	□,340	1,700	1,970	1,780
3	1,710	3,410	1,9□0	1,700	1,010	1,□50	4,1□0
4	6,300	6,690	4,990	4,500	4,1□0	4,700	1,780
5	1,□90	1,460	1,7□0	1,750	900	1,□□0	1,180
6	10,490	6,940	5,480	4,870	1,080	1,090	1,9□0
7	□,740	1,0□0	1,340	1,380	5□0	410	□□0
8	□,480	1,780	1,670	1,660	1,□00	1,500	870
9	1,350	1,440	1,480	870	940	1,1□0	1,150
10	6,□70	5,980	3,500	5,860	4,790	3,590	3,900
Average	3,9□0	3,701	3,130	3,074	1,831	□,043	□,104
SD.	□,800	□,190	1,760	1,860	1,380	1,340	1,360
Min.	1,□90	1,0□0	1,340	870	5□0	410	□□0
Max.	10,490	6,940	6,360	5,860	4,790	4,700	4,1□0

ตารางภาคผนวก ค ที่ 9 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ย (mg/l) ของแต่ละบ่อช่วงเวลา 9.30-11.3 น. จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้ง

ครั้งที่/บ่อ	P	F	M	W1	W□	W3	S
1	0.10	5.07	5.40	10.30	4.73	□.4□	4.50
□	0.95	4.05	□.6□	3.33	1.95	1.83	□.58
3	□.91	6.18	□.88	9.46	1.□4	□.78	□.46
4	0.60	4.50	□.56	1.50	1.58	0.95	□.59
5	0.97	5.95	4.88	5.□8	1.61	□.37	□.11
6	0.55	8.63	3.45	1.74	1.19	1.45	□.49
7	□.38	3.35	3.10	1.98	0.94	0.91	□.50
8	4.30	1.30	1.53	1.13	0.75	1.09	1.08
9	1.8□	□.16	3.13	1.□□	1.06	1.60	1.50
10	6.70	1.7□	1.□7	0.59	0.50	0.51	0.65
Average	□.13	4.13	3.08	3.65	1.56	1.59	□.□5
SD.	1.95	□.16	1.□□	3.37	1.13	0.71	1.00
Min.	0.10	1.30	1.□7	0.59	0.50	0.51	0.65
Max.	6.70	8.63	5.40	10.30	4.73	□.78	4.50

ตารางภาคผนวก ค ที่ 10 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ย (mg/l) ของแต่ละบ่อช่วงเวลา 1 □.00-13.55 น.ต่างๆกันจากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้ง

ครั้งที่/บ่อ	P	F	M	W1	W□	W3	S
1	0.50	7.□1	5.40	11.55	6.47	0.67	7.80
□	0.98	11.63	□.6□	3.95	1.3□	1.63	3.39
3	0.50	11.38	□.88	9.00	□.95	□.10	□.13
4	0.88	7.65	□.56	1.6□	0.53	1.14	3.78
5	□.□1	11.19	4.88	7.90	1.30	□.6□	3.38
6	0.41	4.95	3.45	□.95	1.53	1.06	□.97
7	□.05	3.40	3.10	□.5□	1.13	0.77	□.49
8	8.40	1.□1	1.53	0.58	0.58	0.6□	0.63
9	□.16	□.19	3.13	1.36	1.□□	1.1□	1.57
10	0.9□	1.04	1.□7	1.09	0.50	0.53	0.63
Average	1.90	6.19	3.08	4.□5	1.75	1.□4	□.88
SD.	□.39	4.□3	1.□9	3.84	1.80	0.70	□.06
Min.	0.41	1.04	1.□7	0.58	0.50	0.53	0.63
Max.	8.40	11.63	5.40	11.55	6.47	□.6□	7.80

ตารางภาคผนวก ค ที่ 11 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ย (mg/l) ของแต่ละบ่อช่วงเวลา 14.00-15.55 น.ต่างๆกันจากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้ง

ครั้งที่/บ่อ	P	F	M	W1	W□	W3	S
1	1.05	7.17	8.40	9.75	4.60	□.63	6.60
□	1.14	10.39	□.6□	7.84	□.□7	□.10	4.30
3	0.49	6.37	□.70	7.00	□.34	1.07	5.75
4	1.89	9.91	8.51	1.53	3.56	1.67	4.4□
5	3.58	10.57	1.87	7.10	3.37	□.45	3.95
6	1.41	□.7□	3.34	4.84	1.94	1.08	3.77
7	4.16	4.□0	4.□9	1.90	1.8□	1.06	□.04
8	0.34	0.86	0.64	0.5□	0.5□	0.54	0.64
9	0.87	0.83	0.85	0.79	0.74	0.67	0.8□
10	0.66	0.71	0.8□	0.5□	0.44	0.47	0.58
Average	1.56	5.37	3.40	4.18	□.16	1.37	3.□9
SD.	1.31	4.06	□.91	3.53	1.38	0.79	□.16
Min.	0.34	0.71	0.64	0.5□	0.44	0.47	0.58
Max.	4.16	10.57	8.51	9.75	4.60	□.63	6.60

ตารางภาคผนวก ค ที่ 1 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ย (mg/l) ของแต่ละบ่อบำบัดน้ำเสียในช่วงเวลา 16.00-17.55 น.ต่างๆกันจากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้ง

ครั้งที่/บ่อ	P	F	M	W1	W	W3	S
1	3.80	7.38	8.64	9.49	5. 4	.7	5.47
	0.38	10.44	.41	9. 5	.04	1.73	4.1
3	.5	5.64	8.61	7.11	1.66	1. 0	5.47
4	5.58	6.55	7.05	1.85	.64	1.13	4.1
5	5.05	4.53	4.83	4.37	.54	.00	3.35
6	.37	3.48	3.98	3.43	.97	1.08	.8
7	1.53	1.6	1.91	0.67	1. 8	0.78	1.68
8	0.18	0.95	0.71	0.49	0.50	0.5	0.64
9	1. 3	0.54	0.63	0.53	0.5	0.53	0.6
10	1.05	1.06	1.13	1.36	1.73	.50	1.51
Average	.37	4.	3.99	3.86	.11	1.4	.98
SD.	1.89	3.30	3.16	3.57	1.38	0.79	1.83
Min.	0.18	0.54	0.63	0.49	0.50	0.5	0.6
Max.	5.58	10.44	8.64	9.49	5. 4	.7	5.47

ตารางภาคผนวก ค ที่ 13 ความเป็นกรด-ด่าง เฉลี่ยของแต่ละบ่อช่วงเวลา 9.30 -11.30 น.ต่างๆกันจากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้ง

ครั้งที่/บ่อ	P	F	M	W1	W□	W3	S
1	6.97	7.36	7.4□	9.□5	6.90	6.75	6.76
□	8.□1	8.36	8.□0	8.06	7.91	7.8□	7.83
3	7.□6	7.36	7.16	9.1□	6.75	6.77	6.78
4	7.01	7.45	7.30	6.85	6.76	6.7□	6.83
5	7.16	7.81	7.53	7.55	6.87	6.8□	6.84
6	7.16	8.79	7.64	6.95	6.90	6.86	6.94
7	7.16	7.73	8.33	6.77	6.8□	6.79	7.00
8	7.□0	7.30	7.40	6.86	6.78	6.77	6.78
9	7.□1	7.56	8.74	6.8□	6.76	6.80	6.85
10	7.31	7.9□	8.□3	6.86	6.8□	6.79	6.84
Average	7.□7	7.76	7.80	7.51	6.93	6.89	6.95
SD.	0.35	0.49	0.53	0.97	0.35	0.33	0.3□
Min.	6.97	7.30	7.16	6.77	6.75	6.7□	6.76
Max.	8.□1	8.79	8.74	9.□5	7.91	7.8□	7.83

ตารางภาคผนวก ค ที่ 14 ความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ย ของแต่ละบ่อช่วงเวลา 1□.00-13.55 น.ต่างๆกัน จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้ง

ครั้งที่/บ่อ	P	F	M	W1	W□	W3	S
1	7.07	7.48	7.31	9.□3	6.80	6.73	6.79
□	8.16	9.18	8.□7	8.18	7.86	7.84	7.90
3	7.07	8.49	7.07	8.96	7.03	6.71	6.76
4	7.15	7.65	7.57	6.83	7.09	6.7□	6.85
5	7.□5	9.1□	7.□8	9.58	7.30	6.81	6.9□
6	7.19	8.□7	7.71	7.04	7.40	6.77	6.95
7	7.84	9.85	9.10	6.99	6.86	6.67	7.10
8	7.93	7.48	7.5□	6.86	6.78	6.70	6.74
9	7.□6	8.41	9.11	6.79	6.75	6.75	6.95
10	8.□0	8.43	9.30	8.30	6.9□	6.94	7.0□
Average	7.51	8.44	8.0□	7.88	7.08	6.86	7.00
SD.	0.46	0.78	0.85	1.10	0.35	0.35	0.34
Min.	7.07	7.48	7.07	6.79	6.75	6.67	6.74
Max.	8.□0	9.85	9.30	9.58	7.86	7.84	7.90

ตารางภาคผนวก ค ที่ 15 ความเป็นกรด-ด่าง เฉลี่ยของแต่ละบ่อช่วงเวลา 14.00-15.55 น.จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้ง

ครั้งที่/บ่อ	P	F	M	W1	W□	W3	S
1	7.06	7.43	7.93	9.□7	6.83	6.73	6.86
□	8.□□	9.□8	8.□1	10.□8	7.93	7.85	8.0□
3	7.□0	7.53	7.03	9.68	6.71	6.66	7.38
4	7.□0	7.94	8.15	6.84	6.90	6.75	6.9□
5	7.37	8.90	7.□9	8.97	6.88	6.81	6.94
6	7.□□	7.5□	8.75	8.81	6.89	6.81	6.98
7	8.61	8.76	9.35	6.97	6.8□	7.49	6.84
8	7.00	8.□7	7.38	6.81	6.78	6.73	6.78
9	7.33	8.3□	8.67	6.78	6.73	6.79	6.87
10	9.09	8.07	9.59	7.35	6.89	6.95	7.06
Average	7.63	8.□0	8.□4	8.18	6.94	6.96	7.07
SD.	0.73	0.63	0.86	1.36	0.36	0.39	0.38
Min.	7.00	7.43	7.03	6.78	6.71	6.66	6.78
Max.	9.09	9.□8	9.59	10.□8	7.93	7.85	8.0□

ตารางภาคผนวก ค ที่ 16 ความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ย ของแต่ละบ่อช่วงเวลา 16.00-17.55 น.จากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้ง

ครั้งที่/บ่อ	P	F	M	W1	W□	W3	S
1	7.10	7.59	8.01	9.17	6.87	6.71	6.79
□	8.1□	9.83	8.30	10.53	7.89	7.84	7.94
3	7.64	7.84	9.11	9.06	7.□4	7.18	6.79
4	7.4□	7.75	8.10	6.81	6.90	6.70	7.94
5	7.56	7.57	7.56	7.69	7.86	6.7□	6.84
6	7.43	8.□3	9.1□	8.8□	6.97	6.76	6.95
7	3.83	5.7□	3.43	7.□7	7.43	7.64	6.73
8	7.01	8.58	7.47	6.78	6.74	6.67	6.67
9	7.38	8.35	8.75	6.56	6.66	6.65	6.80
10	7.38	7.7□	8.01	9.88	7.08	6.90	7.11
Average	7.09	7.9□	7.79	8.□6	7.16	6.98	7.06
SD.	1.18	1.03	1.63	1.4□	0.44	0.43	0.48
Min.	3.83	5.7□	3.43	6.56	6.66	6.65	6.67
Max.	8.1□	9.83	9.1□	10.53	7.89	7.84	7.94

ตารางภาคผนวก ค ที่ 17 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เฉลี่ย (ug/l) ของแต่ละบ่อจากการเก็บตัวอย่างน้ำ 10 ครั้ง

ครั้งที่/บ่อ	P	F	M	W1	W□	W3	S
1	158	□46	19□	364	70	43	38
□	10□	5□7	140	1□3	7□	37	43
3	317	601	464	□39	□□	17	6□
4	□55	338	3□5	114	81	59	64
5	83	374	439	164	74	70	81
6	170	□48	168	103	43	□9	40
7	159	308	□80	108	63	53	31
8	136	□95	309	188	79	81	74
9	130	93	146	□66	1□5	7□	60
10	139	175	□83	□89	181	179	154
Average	165	3□1	□75	196	81	64	65
SD.	71	15□	115	90	44	45	35
Min.	83	93	140	103	□□	17	31
Max.	317	601	464	364	181	179	154

ตารางภาคผนวก ค ที่ 18 ปริมาณเชื้อโคลิฟอร์มทั้งหมด (MPN/100 ml) ของแต่ละบ่อ ในระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่

ครั้งที่/บ่อ	P_{1A}	P_{1B}	F	M	W_1	$W_{\square}$	W_3	S
1	330,000	3,000	1,600	500	80	350	540	430
2	330,000	3,000	1,600	1,600	540	1,600	90	540
3	330,000	3,000	1,600	350	1,600	1,600	80	350
4	330,000	3,000	1,600	1,600	1,600	1,600	90	90
5	30,000	13,000	80	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600
6	330,000	1,000	540	90	1,600	1,600	350	540
7	170,000	11,000	140	7	90	350	0	40
8	330,000	3,000	1,600	540	1,600	1,600	90	1,600
9	330,000	3,000	1,600	46	10	90	170	540
10	30,000	13,000	350	0	1,600	1,600	1,600	80
Average	94,000	19,700	1,091	740	1,146	1,8	75	704
SD.	60,	5,1	664	646	60	535	535	509
Min.	170,000	11,000	140	7	10	350	170	40
Max.	330,000	3,000	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600

ตารางภาคผนวก ค ที่ 19 ปริมาณเชื้อฟีคัลโคลิฟอร์ม (MPN/100 ml) ของแต่ละบ่อ ในระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่

ครั้งที่/บ่อ	P_{1A}	P_{1B}	F	M	W_1	W_2	W_3	S
1	68,000	4,000	90	130	79	130	540	350
2	40,000	2,000	70	11	3	40	49	11
3	40,000	2,000	70	11	11	3	2	8
4	40,000	2,000	8	4	3	6	49	79
5	68,000	4,000	33	17	8	6	46	110
6	40,000	2,000	17	7	80	140	79	79
7	40,000	2,000	11	9	130	130	47	33
8	68,000	4,000	140	17	38	4	30	7
9	68,000	4,000	350	33	46	110	140	170
10	40,000	2,000	33	49	90	90	350	80
Average	51,200	3,800	166	30	157	175	133	116
SD.	14,459	1,033	84	38	80	71	174	117
Min.	40,000	2,000	8	4	8	6	2	8
Max.	68,000	4,000	90	130	90	90	540	350

ตารางภาคผนวก ค ที่ 0 ปริมาณเชื้อ อีโคไล (MPN/100 ml) ของแต่ละบ่อ ในระบบบำบัดน้ำเสีย ของเทศบาลนครหาดใหญ่

ครั้งที่/บ่อ	P_{1A}	P_{1B}	F	M	W_1	W_2	W_3	S
1	68,000	1,600	47	34	79	130	540	350
2	34	48	11	11	8	34	33	22
3	48	59	17	4	9	13	2	8
4	2	1	8	4	13	4	49	7
5	4	6	9	6	5	4	11	11
6	350	1,600	13	4	70	8	7	79
7	7	5	2	2	15	10	14	4
8	14	8	6	2	4	2	4	2
9	90	30	33	17	46	70	140	70
10	1,600	350	30	50	38	140	170	170
Average	7,098	375	18	13	29	41	99	74
SD.	21,405	654	14	16	28	54	166	110
Min.	2	5	2	2	4	2	2	2
Max.	68,000	1,600	47	50	79	140	540	350

ตารางภาคผนวก ค ที่ 1 ปริมาณเชื้อฟีคัลสเตรปโตคอคไค (MPN/100ml) ของแต่ละบ่อ ในระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่

ครั้งที่/บ่อ	P_{1A}	P_{1B}	F	M	W_1	W_2	W_3	S
1	0,000	4,000	110	110	350	79	540	170
2	0,000	4,000	170	110	540	1,600	1,600	540
3	0,000	4,000	40	350	90	130	350	350
4	18,000	3,600	11	1,600	130	90	540	40
5	0,000	4,000	79	540	170	49	170	10
6	0,000	4,000	79	130	540	350	540	79
7	0,000	4,000	6	130	540	140	350	130
8	0,000	4,000	170	1,600	350	350	130	170
9	18,000	3,600	1	13	170	70	7	170
10	0,000	4,000	170	90	1,600	90	70	350
Average	19,600	3,90	108	550	531	461	43	3
SD.	843	169	78	616	445	519	456	14
Min.	18,000	3,600	11	13	130	49	7	79
Max.	0,000	4,000	40	1,600	1,600	1,600	1,600	540

2. ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัดแบคทีเรียบ่งชี้ประเภทต่างๆของระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่

ตารางภาคผนวก ค ที่ ประสิทธิภาพการกำจัด เชื้อ Total coliforms ของแต่ละบ่อบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่

Pond	P			F			M			W1			W2			W3			S		
Date	**Influent (MPN/100 ml)**	**Effluent (MPN/100 ml)**	**Reduction%**	**Influent (MPN/100 ml)**	**effluent (MPN/100 ml)**	**Reduction %**	**(MPN/100 ml)**	**Effluent (MPN/100 ml)**	**Reduction %**	**Influent (MPN/100 ml)**	**Effluent (MPN/100 ml)**	**Reduction %**	**Influent (MPN/100 ml)**	**Effluent (MPN/100 ml)**	**Reduction %**	**Influent (MPN/100 ml)**	**Effluent (MPN/100 ml)**	**Reduction %**	**Influent (MPN/100 ml)**	**Effluent (MPN/100 ml)**	**Reduction %**
6 Jul 49	**3.3x10^5**	3x10^4	93.03	3x10^4	1600	93.04	1600	500	68.75	500	80	8 .50	80	350	-	350	540	-	540	430	0.30
17-Jul-49	**3.3x10^5**	3x10^4	93.03	3x10^4	1600	93.04	1600	1600	0.00	1600	540	66. 5	540	1600	-	1600	9 0	4 .50	9 0	540	41.30
7 Jul 49	**3.3x10^5**	3x10^4	93.03	3x10^4	1600	93.04	1600	350	78.13	350	1600	-	1600	1600	0	1600	80	83.50	80	350	-
7 Aug 49	**3.3x10^5**	3x10^4	93.03	3x10^4	1600	93.04	1600	1600	0.00	1600	1600	0	1600	1600	0	1600	9 0	4 .50	9 0	9 0	0
17 Aug 49	**2.3x10^5**	1.3x10^4	94.35	1.3x10^4	80	97.85	80	1600	-	1600	1600	0	1600	1600	0	1600	1600	0	1600	1600	0
8 Aug 49	**3.3x10^5**	3x10^4	93.33	3x10^4	540	97.55	540	9 0	-	9 0	1600	-	1600	1600	0	1600	350	78.13	350	540	-
7 Sep 49	**1.7x10^5**	1.1x10^4	93.53	1.1x104	140	98.73	140	7	80.71	7	9 0	-	9 0	350	61.96	350	0	37.14	0	40	-
18 Sep 49	**3.3x10^5**	3x10^4	93.03	3x10^4	1600	93.04	1600	540	66. 5	540	1600	-	1600	1600	0	1600	9 0	4 .50	9 0	1600	-
8 Sep 49	**3.3x10^5**	3x10^4	93.03	3x10^4	1600	93.04	1600	46	97.13	46	1 0	-	1 0	9 0	-	9 0	170	81.5	170	540	-
9 Oct 49	**2.3x10^5**	1.3x10^4	94.35	1.3x10^4	350	97.31	350	0	37.14	0	1600	-	1600	1600	0	1600	1600	0	1600	80	8 .50
Average	**294,000**	**19,700**	**±93.37**	**19,700**	**1,091**	**94.97**	**1,091**	**740**	**71.35**	**740**	**1,146**	**74.38**	**1,146**	**1,282**	**61.96**	**1,282**	**752**	**58.11**	**752**	**704**	**48.06**
SD.	**±60,222**	**±5,122**	**±0.54**	**±5,122**	**±664**	**±2.51**	**±664**	**±646**	**±20.00**	**±646**	**±620**	**±11.49**	**±620**	**±535**	**±-0**	**±535**	**±535**	**±21.27**	**±535**	**±509**	**±31.61**

หมายเหตุ – แสดงว่าปริมาณเชื้อโคลิฟอร์มของน้ำเข้าน้อยกว่าน้ำออก

ตารางภาคผนวก ค ที่ 3 ประสิทธิภาพการกำจัด เชื้อ Fecal coliforms ของแต่ละบ่อบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่

Pond	P			F			M			W1			W2			W3			S		
Date	Influent (MPN/100 ml)	Effluent (MPN/100 ml)	Reduction%	Influent (MPN/100 ml)	effluent (MPN/100 ml)	Reduction %	(MPN/100 ml)	Effluent (MPN/100 ml)	Reduction %	Influent (MPN/100 ml)	Effluent (MPN/100 ml)	Reduction %	Influent (MPN/100 ml)	Effluent (MPN/100 ml)	Reduction %	Influent (MPN/100 ml)	Effluent (MPN/100 ml)	Reduction %	Influent (MPN/100 ml)	Effluent (MPN/100 ml)	Reduction %
6 Jul 49	$6.8x10^4$	$4x10^3$	94.12	$4x10^3$	920	77.00	920	130	85.87	130	79	39.23	79	130	-	130	540	-	540	350	35.19
17-Jul-49	$4x10^4$	$2x10^3$	95.00	$2x10^3$	70	96.50	70	22	68.57	22	23	-	23	240	-	240	49	79.58	49	22	55.10
7 Jul 49	$4x10^4$	$2x10^3$	95.00	$2x10^3$	70	96.50	70	11	84.29	11	22	-	22	23	-	23	2	91.30	2	7.8	-
7 Aug 49	$4x10^4$	$2x10^3$	95.00	$2x10^3$	7.8	99.61	7.8	4	48.72	4	23	-	23	6.1	73.48	6.1	49	-	49	79	-
17 Aug 49	$6.8x10^4$	$4x10^3$	94.12	$4x10^3$	33	99.18	33	17	48.48	17	7.8	54.12	7.8	26	-	26	46	-	46	110	-
8 Aug 49	$4x10^4$	$2x10^3$	95.00	$2x10^3$	17	99.15	17	6.8	60.00	6.8	280	-	280	140	50.00	140	79	43.57	79	79	0.00
7 Sep 49	$4x10^4$	$2x10^3$	95.00	$2x10^3$	22	98.90	22	9.3	57.73	9.3	130	-	130	130	0.00	130	47	63.85	47	33	29.79
18 Sep 49	$6.8x10^4$	$4x10^3$	94.12	$4x10^3$	140	96.50	140	17	87.86	17	38	-	38	24	36.84	24	30	-	30	27	10.00
8 Sep 49	$6.8x10^4$	$4x10^3$	94.12	$4x10^3$	350	91.25	350	33	90.57	33	46	-	46	110	-	110	140	-	140	170	-
9 Oct 49	$4x10^4$	$2x10^3$	95.00	$2x10^3$	33	98.35	33	49	70.23	49	920	-	920	920	0.00	920	350	61.96	350	280	20.00
Average	**51,200**	**2,800**	**94.65**	**2,800**	**166**	**95.29**	**166**	**30**	**70.23**	**30**	**157**	**46.67**	**157**	**175**	**53.44**	**175**	**133**	**68.05**	**133**	**116**	**30.0**
SD.	**±14,459**	**±1,033**	**±0.46**	**±1,033**	**±284**	**±6.88**	**±284**	**±38**	**±16.21**	**±38**	**±280**	**±10.53**	**±280**	**±272**	**±18.55**	**±272**	**±174**	**±18.22**	**±174**	**± 117**	**±17.01**

หมายเหตุ – แสดงว่าปริมาณเชื้อฟีคัลโคลิฟอร์มของน้ำเข้าน้อยกว่าน้ำออก

ตารางภาคผนวก ค ที่ 4 ประสิทธิภาพการกำจัด เชื้อ *E.coli* ของแต่ละบ่อบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่

Pond	**P**			**F**			**M**			**W1**			**W2**			**W3**			**S**		
Date	**Influent (MPN/100 ml)**	**Effluent (MPN/100 ml)**	**Reduction %**	**Influent (MPN/100 ml)**	**Effluent**	**Reduction %**	**Influent (MPN/100 ml)**	**Effluen (MPN/100 ml)**	**Reduction %**	**Influent (MPN/100 ml)**	**Effluent (MPN/100 ml)**	**Reduction %**	**influent (MPN/100 ml)**	**Effluent (MPN/100 ml)**	**Reduction %**	**Influent (MPN/100 ml)**	**Effluent (MPN/100 ml)**	**Reduction %**	**Influent (MPN/100 ml)**	**Effluent (MPN/100 ml)**	**Reduction %**
6 Jul 49	$6.8x10^4$	1600	97.65	1600	47	97.88	47	34	7.66	47	79	-	79	130	-	130	540	-	**350**	350	35.19
17-Jul-49	34	48	-	48	11	77.08	11	11	0	11	7.8	9.09	7.8	34	-	34	33	.94	**22**		33.33
7 Jul 49	48	59	-	59	17	71.19	17	4	76.47	4	9.3	0	9.3	13	-	13		84.6	**7.8**	7.8	-
7 Aug 49	1.8	1	-	1	7.8	77.86	7.8	4	48.7	4	13	-	13	4	69.3	4	49	-	**79**	7	44.90
17 Aug 49	3.6	6	-	6	9.3	64.3	9.3	6.1	34.41	6.1	4.5	6.3	4.5	3.6	0	3.6	11	-	**110**	11	0
8 Aug 49	350	1600	-	1600	13	99.19	13	4	69.3	4	70	-	70	7.8	88.86	7.8	7	-	**79**	79	-
7 Sep 49	6.8	4.5	33.8	4.5	1.8	60	1.8	1.8	0	1.8	15	-	15	10	33.33	10	14	-	**33**	4	71.43
18 Sep 49	14	8.3	40.71	8.3	5.6	3.53	5.6	1.8	67.86	1.8	3.6	-	3.6	1.8	50	1.8	3.7	-	**27**	1.8	51.35
8 Sep 49	90	3	96.5	3	33	5.71	33	17	48.48	17	46	-	46	70	-	70	140	-	**170**	70	50
9 Oct 49	1600	350	78.13	350	30	91.43	30	50	-	50	38	4.00	38	140	-	140	170	-	**280**	170	0
Average	**7,098**	**375**	69.3	**375**	**18**	7.84	**18**	**13**	53.6	**13**	**29**	6.44	**29**	**41**	5.	**41**	**99**	43.78	**99**	**74**	47.7
SD.	**±21,405**	**±654**	±30.41	**±654**	**±14**	±1.1	**±14**	**±16**	±18.53	**±16**	**±28**	±.55	**±28**	**±54**	**±27.53**	**±54**	**±166**	**±57.75**	**±166**	**±110**	±13.8 0

หมายเหตุ – แสดงว่าปริมาณเชื้อ *E .Coli* ของน้ำเข้าน้อยกว่าน้ำออก

ตารางภาคผนวก ค ที่ 5 ประสิทธิภาพการกำจัด เชื้อ fecal streptococci ของแต่ละบ่อบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่

Pond	P			F			M			W1			W2			W3			S		
Date	Influent (MPN/100 ml)	Effluent (MPN/100 ml)	Reduction %	Influent (MPN/100 ml)	Effluent (MPN/100 ml)	Reduction %	Influent (MPN/100 ml)	Effluent (MPN/100 ml)	Reduction %	Influent (MPN/100 ml)	Effluent (MPN/100 ml)	Reduction %	Influent (MPN/100 ml)	Effluent (MPN/100 ml)	Reduction %	Influent MPN/100 ml)	Effluent (MPN/100 ml)	Reduction %	Influent (MPN/100 ml)	Effluent (MPN/100 ml)	Reduction %
6 Jul 49	x10^4	4x10^3	80	4x10^3	110	97.5	110	110	-	110	350	-	350	79	-	79	540	-	540	170	68.5
17-Jul-49	x10^4	4x10^3	80	4x10^3	170	95.75	170	110	35.9	110	540	-	540	1600	-	1600	1600	0	1600	540	66.5
7 Jul 49	x10^4	4x10^3	80	4x10^3	40	94.00	40	350	-	350	90	-	90	130	85.87	130	350	-	350	350	-
7 Aug 49	1.8x4	3.6x10^3	80	3.6x10^3	11	99.69	11	1600	-	1600	130	91.88	130	90	-	90	540	41.30	540	40	55.56
17 Aug 49	x10^4	4x10^3	80	4x10^3	79	98.03	79	540	-	540	170	68.5	170	49	71.18	49	170	-	170	10	9.41
8 Aug 49	x10^4	4x10^3	80	4x10^3	79	98.03	79	130	-	130	540	-	540	350	35.19	350	540	-	540	79	85.37
7 Sep 49	x10^4	4x10^3	80	4x10^3	6	99.35	6	130	-	130	540	-	540	140	74.07	140	350	-	350	130	6.86
18 Sep 49	x10^4	4x10^3	80	4x10^3	170	95.75	170	1600	-	1600	350	78.13	350	350	0	350	130	6.86	130	170	-
8 Sep 49	1.8x4	3.6x10^3	80	3.6x10^3	1	99.4	1	13	38.10	13	170	-	170	70	58.8	70	7	61.43	7	170	-
9 Oct 49	x10^4	4x10^3	80	4x10^3	170	95.75	170	90	-	90	1600	-	1600	90	4.5	90	70	9.39	70	350	-
Average	19,600	3,90	80±	3,90	108	97.30	108	550	36.69	550	531	79.5	531	461	60.15	461	43	64.49	43	3	61.33
SD.	± 843	±169	0	±169	±78	±1.93	±78	±616	±1.98	±616	± 445	±11.74	± 445	±519	± 1.66	±519	±456	± 1.04	±519	±14	±18.48

หมายเหตุ – แสดงว่าปริมาณเชื้อฟีคัลสเตปโตคอคคัสของน้ำเข้าน้อยกว่าน้ำออก

ตารางภาคผนวก ค ที่ 6 ค่าอัตราส่วนระหว่างฟีคัลโคไลฟอร์มต่อฟีคัลสเตร็ปโตคอคไค (FC / FS)

Pond	P			F			M			W1			W2			W3			S		
Date	Fecal coliform (MPN/100 ml)	fecalstreptococcus (MPN/100 ml)	FC/FS	Fecal coliform (MPN/100 ml)	fecalstreptococcus (MPN/100 ml)	FC/FS	Fecal coliform (MPN/100 ml)	fecalstreptococcus (MPN/100 ml)	FC/FS	Fecal coliform (MPN/100 ml)	fecalstreptococcus (MPN/100 ml)	FC/FS	Fecal coliform (MPN/100 ml)	fecalstreptococcus (MPN/100 ml)	FC/FS	Fecal coliform (MPN/100 ml)	fecalstreptococcus (MPN/100 ml)	FC/FS	Fecal coliform (MPN/100 ml)	fecalstreptococcus (MPN/100 ml)	FC/FS
6 Jul 49	**6.8x10^4**	x10^4	3.4	**920**	110	8.4	**130**	110	1.	**79**	350	0.	**130**	79	1.6	**540**	540	1.0	**350**	170	.1
17-Jul-49	**4x10^4**	x10^4		**70**	170	0.4	**22**	110	0.	**23**	540	0.0	**240**	1600	0.	**49**	1600	0.0	**22**	540	0.0
7 Jul 49	**4x10^4**	x10^4		**70**	40	0.3	**11**	350	0.0	**22**	90	0.0	**23**	130	0.	**2**	350	0.0	**7.8**	350	0.0
7 Aug 49	**4x10^4**	1.8x4	.	**7.8**	11	0.7	**4**	1600	0.0	**23**	130	0.	**6.1**	90	0.0	**49**	540	0.1	**79**	40	0.3
17 Aug 49	**6.8x10^4**	x10^4	3.4	**33**	79	0.4	**17**	540	0.0	**7.8**	170	0.0	**26**	49	0.5	**46**	170	0.3	**110**	10	0.9
8 Aug 49	**4x10^4**	x10^4		**17**	79	0.	**6.8**	130	0.1	**280**	540	0.5	**140**	350	0.4	**79**	540	0.1	**79**	79	1.0
7 Sep 49	**4x10^4**	x10^4		**22**	6	0.8	**9.3**	130	0.1	**130**	540	0.	**130**	140	0.9	**47**	350	0.1	**33**	130	0.3
18 Sep 49	**6.8x10^4**	x10^4	3.4	**140**	170	0.8	**17**	1600	0.0	**38**	350	0.1	**24**	350	0.1	**30**	130	0.	**27**	170	0.
8 Sep 49	**6.8x10^4**	1.8x4	3.8	**350**	1	16.7	**33**	13	5	**46**	170	0.3	**110**	70	1.6	**140**	7	5.	**170**	170	1.0
9 Oct 49	**4x10^4**	x10^4		**33**	170	0.	**49**	90	0.1	**920**	1600	0.6	**920**	90	1.0	**350**	70	5.0	**280**	350	0.8
Averag	51, 00	19,600	.6	166	108	.9	30	550	0.4	157	531	0.	175	461	0.6	133	43	1.	116	3	0.7
SD.	±14,459	±843	±0.7	± 84	±78	±5.4	±38	± 616	±0.8	± 80	±445	±0.	± 7	±519	±0.6	±174	±456	± .1	±117	±14	**±0.6**

ตารางภาคผนวก ค ที่ 7 เปอร์เซ็นต์เฉลี่ย (%) การกำจัดเชื้อแบคทีเรียบ่งชี้ต่างๆ ของแต่ละบ่อ ในระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่

บ่อ	โคลิฟอร์มทั้งหมด	ฟีคัลโคลิฟอร์ม	อีโคไล	ฟีคัลสเตรปโตคอคไค
P	93.37 ± 0.54	94.65 ± 0.46	69.37 ± 30.41	80 ± 0
F	94.97 ± .51	95. 9 ± 6.88	7 .84 ± 1. 1	97.3 ± 1.93
M	71.35 ± 0.00	70. 3 ± 6. 1	53. 6 ± 18.53	36.69 ± 1.98
W1	74.38 ± 11.49	46.67 ± 10.53	6.44 ± .55	79.51 ± 11.74
W	61.96 ± 0	53.44 ± 18.55	5 .1 8 ± 7.53	60.15 ± 1.66
W3	58.11 ± 1. 7	68.05 ± 18.	43.78 ± 57.75	64.49 ± 1.04
S	48.06 ± 31.61	30.01 ± 17.01	47.7 ± 13.8	61.33 ± 18.48

ตารางภาคผนวก ค ที่ 8 การประเมินประสิทธิภาพ Total Coliforms ทั้งระบบ บ่อ P ถึงบ่อ S

ครั้ง/บ่อ	P	S	% ประสิทธิภาพการบำบัดทั้งระบบ
1	330,000	430	99.87
	330,000	540	99.84
3	330,000	350	99.89
4	330,000	9 0	99.7
5	30,000	1,600	99.30
6	330,000	540	99.84
7	170,000	40	99.86
8	330,000	1,600	99.5
9	330,000	540	99.84
10	30,000	80	99.88
		เฉลี่ย	99.76
		SD.	0.19

ตารางภาคผนวก ค ที่ 9 การประเมินประสิทธิภาพ Fecal Coliforms ทั้งระบบ บ่อ P ถึงบ่อ S

ครั้ง/บ่อ	P	S	%ประสิทธิภาพการบำบัดทั้งระบบ
1	68,000	350	99.49
2	40,000	13	99.95
3	40,000	8	99.98
4	40,000	79	99.80
5	68,000	110	99.84
6	40,000	79	99.80
7	40,000	33	99.92
8	68,000	17	99.96
9	68,000	170	99.75
10	40,000	280	99.30
		เฉลี่ย	99.78
		SD.	0.21

ตารางภาคผนวก ค ที่ 30 การหาประสิทธิภาพ *E.coli* การบำบัดทั้งระบบ บ่อ P ถึงบ่อ S

ครั้ง/บ่อ	P	S	%ประสิทธิภาพการบำบัดทั้งระบบ
1	68,000	350	99.49
2	34	13	35.29
3	48	8	83.75
4	2	17	-
5	4	11	-
6	350	79	77.43
7	7	4	41.18
8	14	2	87.14
9	90	70	9.39
10	1,600	170	89.38
		เฉลี่ย	75.76
		SD.	24.07

ตารางภาคผนวก ค ที่ 31 การหาประสิทธิภาพการบำบัด Fecal streptococi ทั้งระบบ บ่อ P ถึงบ่อ S

ครั้ง/บ่อ	P	S	%ประสิทธิภาพการบำบัดทั้งระบบ
1	0,000	170	99.15
	0,000	540	97.30
3	0,000	350	98. 5
4	18,000	40	-
5	0,000	1 0	-
6	0,000	79	99.61
7	0,000	130	99.35
8	0,000	170	99.15
9	18,000	170	99.06
10	0,000	350	98. 5
		เฉลี่ย	98.76
		SD.	0.77

ตารางภาคผนวก ค ที่ 3 แสดงปริมาณค่าต่างๆที่วัดในช่วงเดือน ก.ค.- ต.ค.ปี พ.ศ. 550

ว.ด.ป	BOD mg/l	SS mg/l	Nitrite mg/l
มาตรฐาน*	ไม่เกิน 4	ไม่มีการกำหนด	ไม่มีการกำหนด
7 ก.ค 50	19.8	18	0.37
16 ส.ค 50	18.3	49	0.35
1 ก.ย.50	15.9		1.01
18 ต.ค 50	8	43	0.35

BOD = Biochemical Oxegen Demand

SS = Suspended Solids

จากรายงานการควบคุมดูแลระบบระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่ ปีพ.ศ. 550

*ประกาศกระทรวงการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 8 (พ.ศ. 537) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 535 เริ่มกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินประเภท 4

ภาคผนวก ง

ระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่ออกแบบไว้ให้สามารถรองรับน้ำเสียได้ระยะเวลา 20 ปี โดยในระยะ 10 ปี แรก พ.ศ. 2539-2548 สามารถรับน้ำเสียประมาณ 69,000 m^3/d และในระยะ 10 ปี ถัดไป พ.ศ. 2549-2558 รับน้ำเสียได้รวมทั้งสิ้นประมาณ 138,000 m^3/d ในช่วงเวลาทำวิจัยเนื่องจากมีปริมาณน้ำน้อย จึงทำการเดินระบบเพียงไลน์เดียวเท่านั้น (โครงการระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำเทศบาลนครหาดใหญ่, มปป) จากรายงานการควบคุมดูแลระบบระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่ 16 ส.ค-15 ก.ย ปีพ.ศ. 2549 มีปริมาณน้ำเสียเฉลี่ย เท่ากับ 40,000 m^3/d

การคำนวณค่า Hydraulic retention time (HRT) ของระบบคำนวณจากสูตรดัง

$$HRT = V/Q \quad (V = \text{Pond Volume})(Q = \text{Water Volume})$$

บ่อไร้อากาศ (P) มีพื้นที่ 45 ไร่

$$HRT = \frac{(45 \text{ rai})(1{,}600 \text{ m}^2/\text{rai})(3.4 \text{ m})}{40{,}000 \text{ m}^3/\text{d}}$$

$$= 6.1 \text{ d}$$

บ่อหมัก (F) มีพื้นที่ 138 ไร่

$$HRT = \frac{(138 \text{ rai})(1{,}600 \text{ m}^2/\text{rai})(1.7 \text{ m})}{40{,}000 \text{ m}^3/\text{d}}$$

$$= 9.38 \text{ d}$$

บ่อบ่ม (M) มีพื้นที่ 78 ไร่

$$HRT = \frac{(78 \text{ rai})(1{,}600 \text{ m}^2/\text{rai})(1.3 \text{ m})}{40{,}000 \text{ m}^3/\text{d}}$$

$$= 4.06 \text{ d}$$

บ่อหมัก (W1) มีพื้นที่ 113 ไร่

$$HRT = \frac{(113 \text{ rai})(1{,}600 \text{ m}^2/\text{rai})(0.7 \text{ m})}{40{,}000 \text{ m}^3/\text{d}}$$

$$= 5.96 \text{ d}$$

บ่อหมัก (W2) มีพื้นที่ 74 ไร่

$$HRT = \frac{(74 \text{ rai})(1{,}600 \text{ m}^2/\text{rai})(1.4 \text{ m})}{40{,}000 \text{ m}^3/\text{d}}$$

$$= 4.14 \text{ d}$$

บ่อหมัก (W3) มีพื้นที่ 43 ไร่

$$HRT = \frac{(43 \text{ rai})(1{,}600 \text{ m}^2/\text{rai})(1.4 \text{ m})}{40{,}000 \text{ m}^3/\text{d}}$$

$$= 2.4 \text{ d}$$

ภาคผนวก จ การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ตารางภาคผนวก จ ที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์ของปัจจัยทางเคมี-กายภาพ

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	อุณหภูมิ	154.903[a]	7	5.737	3.559	.000
	ความเข้มแสง	1.671E9[b]	7	6.187E7	5.470	.000
	ออกซิเจน	445.865[c]	7	16.514	.818	.000
	ความเป็นกรดด่าง	7 .43[d]	7	.676	4.470	.000
Intercept	อุณหภูมิ	61758.690	1	61758.690	16 376.1 5	.000
	ความเข้มแสง	1.071E10	1	1.071E10	947.180	.000
	ออกซิเจน	408.580	1	408.580	411.050	.000
	ความเป็นกรดด่าง	15649.511	1	15649.511	6144.5 3	.000
Fact1	อุณหภูมิ	10 .750	6	17.1 5	10.6 3	.000
	ความเข้มแสง	6.630E7	6	1.105E7	.977	.441
	ออกซิเจน	399.130	6	66.5	11.353	.000
	ความเป็นกรดด่าง	6 .375	6	10.396	17.368	.000
Time	อุณหภูมิ	.6 7	3	7.54	4.679	.003
	ความเข้มแสง	1.489E9	3	4.965E8	43.893	.000
	ออกซิเจน	7.556	3	.519	.430	.73
	ความเป็นกรดด่าง	3.577	3	1.19	1.99	.116
Fact1 * Time	อุณหภูมิ	9.5 6	18	1.640	1.018	.440
	ความเข้มแสง	1.149E8	18	638 803.690	.564	.9 3
	ออกซิเจน	39.179	18	.177	.371	.99

	ความเป็นกรดด่าง	6.90	18	.349	.584	.910
Error	อุณหภูมิ	406.37	5	1.61		
	ความเข้มแสง	.850E9	5	1.131E7		
	ออกซิเจน	1476.61	5	5.860		
	ความเป็นกรดด่าง	150.841	5	.599		
Total	อุณหภูมิ	6319.830	80			
	ความเข้มแสง	1.53E10	80			
	ออกซิเจน	4331.057	80			
	ความเป็นกรดด่าง	1587.596	80			
Corrected Total	อุณหภูมิ	561.140	79			
	ความเข้มแสง	4.51E9	79			
	ออกซิเจน	19.477	79			
	ความเป็นกรดด่าง	3.085	79			

a. R Squared = .76 (Adjusted R Squared = .198)

b. R Squared = .370 (Adjusted R Suared = .30)

c. R Squared = .3 (Adjusted R Squared = .150)

d. R Squared = .34 (Adjusted R Squared = .51)

ตารางภาคผนวก จ ที่ การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในบ่อต่างๆ

อุณหภูมิ

Duncan

ประเภทบ่อน้ำ	N	Subset			
		1		3	4
W3	40	9.76 5			
W	40	9.7975			
S	40	30. 875	30. 875		
W1	40		30.7350	30.7350	
F	40		30.86 5	30.86 5	
M	40			31.08 5	31.08 5
P	40				31.5000
Sig.		.081	.056	. 5	.143

ถ้า p < 0.05 หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ถ้า p > 0.05 หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต

ตารางภาคผนวก จ ที่ 3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในบ่อต่างๆ

ออกซิเจน

Duncan

ประเภทบ่อน้ำ	N	Subset				
		1		3	4	5
W3	40	1.4050				
W	40	1.8950	1.8950			
P	40	1.9893	1.9893			
S	40		.8475	.8475		
M	40			3.3895	3.3895	

W1	40				3.9847	3.9847
F	40					5.0195
Sig.		.313	.097	.318	.□73	.057

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 5.860.

ถ้า p < 0.05 หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ถ้า p > 0.05 หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวก จ ที่ 4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเป็นกรดด่างในบ่อต่างๆ

ความเป็นกรดด่าง

Duncan

ประเภทบ่อน้ำ	N	Subset		
		1	□	3
W3	40	6.9□18		
S	40	7.0160	7.0160	
W□	40	7.0□65	7.0□65	
P	40		7.3735	
W1	40			7.9545
M	40			7.9600
F	40			8.0800
Sig.		.573	.051	.499

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.The error term is Mean Square

(Error) = .599.

หมายเหตุ ถ้า p < 0.05 หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ถ้า p > 0.05 หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวก จ ที่ 5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในบ่อต่างๆ

อุณหภูมิ

Duncan

ช่วงเวลา	N	Subset 1	Subset □
9.3-11.3	70	30.15□9	
16-17	70	30.4971	30.4971
1□-13	70		30.7443
14-15	70		30.9071
Sig.		.110	.071

Means for groups in homogeneous subsets

are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) =

1.61□.

หมายเหตุ ถ้า $p < 0.05$ หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ถ้า $p > 0.05$ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวก จ ที่ 6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มแสงในบ่อต่างๆ

ความเข้มแสง

Duncan

ช่วงเวลา	N	Subset		
		1	□	3
16-17	70	□8□9.0000		
14-15	70		5346.4□86	
9.3-11.3	70			778□.0000
1□-13	70			8785.14□9
Sig.		1.000	1.000	.079

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 11310851.905.

ถ้า $p < 0.05$ หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ถ้า $p > 0.05$ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวก จ ที่ 7 แสดงผลการวิเคราะห์ของ

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:เปอร์เซนต์เฉลี่ยการกำจัดฯ

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	7635.53[a]	9	848.361	5.663	.001
Intercept	119591.807	1	119591.807	798.36	.000
well	5986.401	6	997.734	6.661	.001
bacteria	1648.85	3	549.617	3.669	.03
Error	696.338	18	149.797		
Total	1 99 3.398	8			
Corrected Total	10331.590	7			

a. R Squared = .739 (Adjusted R Squared = .609)

ตารางภาคผนวก จ ที่ 8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซนต์เฉลี่ยการกำจัดในบ่อต่างๆ

เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยการกำจัดฯ

Duncan

บ่อน้ำ	N	Subset	
		1	□
S	4	46.7750	
W□	4	56.9575	
M	4	57.88□5	
W3	4	58.6100	
W1	4	6□.8050	
P	4		84.3475
F	4		90.1000
Sig.		.111	.515

Means for groups in homogeneous subsets

are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) =

149.797.

ถ้า $p < 0.05$ หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ถ้า $p > 0.05$ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวก จ ที่ 9 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซนต์เฉลี่ยการกำจัดของแต่ละเชื้อ

เปอร์เซนต์เฉลี่ยการกำจัดฯ

Duncan

ชนิดแบคทีเรีย	N	Subset 1	Subset □
EC	7	5□.□386	
FE	7		68.4971
FC	7		68.9371
TC	7		71.74□9
Sig.		1.000	.645

Means for groups in homogeneous subsets

are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) =

149.797.

ถ้า $p < 0.05$ หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ถ้า $p > 0.05$ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางกรรฐศรน์ แดงตะโก

รหัสประจำตัวนักศึกษา 4777001

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (ชีววิทยา)	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สงขลา	2535

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

การเผยแพร่ในการประชุมวิชาการ

กรรฐศรน์ แดงตะโก, ดวงพร คันธโชติ และเจิดจรรย์ ศิริวงศ์ 2550. "การประเมินประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่โดยใช้ปริมาณจุลินทรีย์บ่งชี้". **เอกสารประกอบการประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัย "การวิจัยเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตอย่างยั่งยืน"**. จัดโดยมหาวิทยาลัยทักษิณ ณ โรงแรมกรีนเวิลด์ พาเลช อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา ระหว่างวันที่ 17 -21 กันยายน 2550.