ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม **สาขา**

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม **ภาควิชา**

เรื่อง อิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ในฤดูหนาวต่อการเจริญของไซยาโนแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่งโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี ประเทศไทย

Influenecs of Winter Insolation on Growth Cyanobacteria in Oxidation Ponds for Community Wastewater Treatment at Royal LERD Project Site in Phetchaburi Province Thailand

นามผู้วิจัย นางสาวมัลลิกา ศรีชมภู

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ....

(อาจารย์ทัศนีย์ บุญประคอง, ปร.ด.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ....

(ศาสตราจารย์เกษม จันทร์แก้ว, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ....

(อาจารย์ธนิศร์ ปัทมพิฑูร, ปร.ด.)

หัวหน้าภาควิชา ....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรัตน์ บัวเลิศ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ .... **เดือน** .... **พ.ศ.** ....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

อิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ในฤดูหนาวต่อการเจริญของไซยาโนแบคทีเรียในระบบ
บำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่ง โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย
อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี ประเทศไทย

Influenecs of Winter Insolation on Growth Cyanobacteria in Oxidation Ponds for Community
Wastewater Treatment at Royal LERD Project Site
in Phetchaburi Province Thailand

โดย

นางสาวมัลลิกา ศรีชมภู

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญามหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)
พ.ศ. 2558

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มัลลิกา ศรีชมภู 2558: อิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ในฤดูหนาวต่อการเจริญของไซยาโนแบคทีเรีย ในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่ง โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี ประเทศไทย ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์ทัศนีย์ บุญประคอง, ปร.ด. 113 หน้า

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงฤดูหนาวต่อการเจริญของไซยาโนแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่งของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี โดยตรวจวัดปริมาณรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยตามความยาวคลื่น และเก็บตัวอย่างไซยาโนแบคทีเรีย พร้อมทั้งตรวจวัดคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี เป็นระยะเวลา 2 เดือน ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงกุมภาพันธ์ 2557 พบว่า รังสีดวงอาทิตย์มีปริมาณแผ่เข้ามาอย่างสม่ำเสมอตลอดฤดูหนาว โดยมีรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงคลื่นที่มากที่สุด คือช่วง 621-750 นาโนเมตร 3,499.8 วัตต์/ตารางเมตร รองลงมาคือช่วง 501-570 นาโนเมตร 2,234.9 วัตต์/ตารางเมตร และช่วง 381-450 นาโนเมตร 1,469 วัตต์/ตารางเมตร ส่งผลให้ไซยาโนแบคทีเรียซึ่งมีรงควัตถุทั้งคลอโรฟิลล์เอ ไฟโคบิลิน และแคโรทินอยด์อยู่ในเซลล์ สามารถรับแสงเกิดกระบวนการสังเคราะห์แสง สร้างพลังงานและเพิ่มจำนวน จากการศึกษาพบว่าไซยาโนแบคทีเรียมีปริมาณเพิ่มขึ้นในฤดูหนาว และลดปริมาณลงเมื่อเริ่มเข้าสู่ฤดูร้อนโดยพบไซยาโนแบคทีเรีย ทั้งหมด 11 ชนิด และพบมากในบ่อผึ่งที่ 2 มีการเจริญมากที่สุด และพบมากที่สุด 3 ชนิด คือ *Spirulina platensis, Microcystis aeruginosa* และ *Oscillatoria* sp. เมื่อศึกษาอิทธิพลของไซยาโนแบคทีเรียต่อคุณภาพน้ำพบว่าในช่วงที่มีการบูมของไซยาโนแบคทีเรีย มีผลให้ออกซิเจนละลายน้ำมีค่าสูงเกิดจุดอิ่มตัวของน้ำ เนื่องมาจากกระบวนการสังเคราะห์แสง นอกจากนี้ยังส่งผลให้น้ำเสียมีค่าความสกปรกในรูปบีโอดี ของแข็งแขวนลอย ของแข็งละลายได้ แอมโมเนีย และฟอสฟอรัสสูง

ลายมือชื่อนิสิต	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	_____/_____/_____

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Manlika Srichomphu 2015: Influenecs of Winter Insolation on Growth Cyanobacteria in Oxidation Ponds for Community Wastewater Treatment at Royal LERD Project Site in Phetchaburi Province Thailand. Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, Department of Environmental Science. Thesis Advisor: Miss Thassanee Boonprakong, Ph.D. 113 pages.

This study aimed to investigate the influence of winter solar radiation on cyanobacteria growth in oxidation pond for Community wastewater treatment system of the King's Royally Initiated LaemPhakBia Environmental Research and Development Project, Phetchaburi Province. Average solar radiation wavelengths and cyanobacteria samples, including water samples were collected for two months (January to February 2014). The results found that solar radiation was steady through the winter period. The most wavelength of solar radiation was red wavelength, 621-750 nm. (3,499.8 watt/m^2). The secondary wavelengths were 501-507 nm. (2,234.9 watt/m^2) and 381-450 nm. (1,469 watt/m^2), respectively. The cyanobacteria, which were found chlorophyll a, phycobilins and carotenoid in their cells, obtained the light and photosynthesis for energy synthesis and multiply their cells. The findings found cyanobacteria were increasing in winter and decreasing in summer. The cyanobacteria were found 11 species and the most number of cyanobacteria were found in oxidation pond no.2. The dominantspecies were 3 species, *Spirulinaplatensis*, *Microcystis aeruginosa* and *Oscillatoria* sp. The influences of cyanobacteria on water quality found that dissolved oxygen was above than saturation point when cyanobacteria bloom since photosynthesis. In addition, biochemical oxygen demand, suspended solids and phosphorus concentration were above water quality standard in blooming stage.

__________________ ____ _____/_____/_____

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณความกรุณาการเอาใจใส่ของอาจารย์ ดร.ทัศนีย์ บุญประคองที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และศาสตราจารย์ ดร. เกษม จันทร์แก้ว อาจารย์ ดร.ธนิศร์ ปัทมพิฑูร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่กรุณาฝึกฝน ให้ความรู้ทางวิชาการ ให้คำปรึกษาในการศึกษาวิจัยและการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.เกษม จันทร์แก้ว และคณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชา อบรมสั่งสอน ฝึกฝนและถ่ายทอดความรู้ กระบวนการคิดทางสิ่งแวดล้อมแก่ข้าพเจ้า ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรัตน์ บัวเลิศ ประธานสอบ อาจารย์ ดร.เสนีย์ ส่งศรี ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่สละเวลาอันมีค่าของท่านมาเพื่อสอบและให้คำแนะนำแก่ข้าพเจ้า และขอขอบพระคุณโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ที่ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาวิจัยครั้งนี้ และได้ให้โอกาสในการฝึกประสบการณ์วิจัยทางสิ่งแวดล้อม ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่โครงการฯทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ความสะดวกเป็นอย่างดี ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ ผิวนิล ผู้อนุมัติทุนวิจัยครั้งนี้ นางชรินทร์ทิพย์ เชยหอม เจ้าหน้าปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำประจำโครงการฯ นายพรรณนพ ลิ้มหุ่นเจ้าหน้าที่สถานีตรวจวัดอากาศในโครงการฯ ที่ให้คำปรึกษาที่ดีแก่ข้าพเจ้าเสมอมา ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้แก่ข้าพเจ้ามาตั้งแต่ประถม มัธยม ปริญญาตรีจนปัจจุบันถึงปริญญาโท และสุดท้ายขอบพระคุณเพื่อนสิ่งแวดล้อม รุ่น 36 ที่ร่วมทุกข์ ร่วมสุข ช่วยเหลือและให้กำลังใจที่ดีตลอดมาจนสามารถทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายสุดนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณครอบครัวที่รักและอบอุ่นของข้าพเจ้า คุณพ่อวิสุทธิ์ ศรีชมภู คุณแม่เตียงทอง ศรีชมภู คุณพี่กนกนก-พี่ทัศนีย์ จันทร์วงษ์ คุณพี่สามารถ-พี่รัตนา สีโสดา รวมทั้งญาติพี่น้องทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้แก่ข้าพเจ้าเสมอมา

มัลลิกา ศรีชมภู

ธันวาคม 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	41
ผลและวิจารณ์	49
สรุป	85
ข้อเสนอแนะ	87
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	88
ภาคผนวก	99
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	113

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ตารางที่		หน้า
1	ค่าเฉลี่ยพลังงานรังสีรวมแสงอาทิตย์รายเดือนของพื้นที่ทั่วประเทศไทย	13
2	รังสีดวงอาทิตย์ที่ตรวจวัดได้ บริเวณสถานีตรวจวัดอากาศ โครงการแหลมผักเบี้ยฯ ระหว่างวันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2554-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555	15
3	สมรรถนะการรองรับของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่งของโครงการแหลมผักเบี้ยฯ (ปรับปรุงเมื่อมีนาคม พ.ศ. 2556)	24
4	ดัชนีคุณภาพน้ำและวิธีการวิเคราะห์	47
5	คุณภาพน้ำเสียจากบ่อรวบรวมเข้าบ่อตกตะกอนรายเดือนเฉลี่ย 5 ปี (พ.ศ. 2552-2556)	52
6	ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายเดือนที่แผ่เข้ามาบริเวณพื้นที่โครงการแหลมผักเบี้ยฯ	64
7	ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายเดือนที่ตรวจวัดได้ที่สถานีตรวจวัดอากาศ โครงการแหลมผักเบี้ยฯจังหวัดเพชรบุรี ช่วงฤดูหนาว (พฤศจิกายน 2556-กุมภาพันธ์ 2557)	66
8	ชนิดและร้อยละไซยาโนแบคทีเรียที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่ง ช่วงฤดูหนาว (มกราคม-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557)	68

ตารางผนวกที่

ตารางผนวกที่		หน้า
1	คุณภาพน้ำรายเดือนเฉลี่ย 5 ปีย้อนหลัง (พ.ศ. 2552-2556)	100
2	คุณภาพน้ำในบ่อตกตะกอนช่วงฤดูหนาว (มกราคม-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557)	103
3	คุณภาพน้ำในบ่อผึ่งที่ 1 ช่วงฤดูหนาว (มกราคม-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557)	105
4	คุณภาพน้ำในบ่อผึ่งที่ 2 ช่วงฤดูหนาว (มกราคม-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557)	107
5	คุณภาพน้ำในบ่อผึ่งที่ 3 ช่วงฤดูหนาว (มกราคม-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557)	109
6	คุณภาพน้ำในบ่อปรับสภาพ ช่วงฤดูหนาว (มกราคม-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557)	111

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กรอบแนวคิดการวิจัย	4
2	โครงสร้างของดวงอาทิตย์	6
3	รังสีดวงอาทิตย์ที่แผ่กระจายมายังผิวโลก	8
4	ชั้นบรรยากาศโลกที่ทำหน้าที่ห่อหุ้มและดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลก	12
5	กระบวนการแทรกซึมออกซิเจนจากอากาศลงใต้ผิวดินในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่ง	21
6	การทำงานร่วมกันระหว่างแบคทีเรีย แพลงก์ตอนพืชและสาหร่ายในระบบบำบัดน้ำเสีย	22
7	กระบวนการทำงานของระบบบ่อบำบัดน้ำเสียแบบกึ่งไร้อากาศ	23
8	ลักษณะการไหลล้นของน้ำเสียภายในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่งของโครงการแหลมผักเบี้ยฯ	25
9	โครงสร้างและองค์ประกอบของเซลล์ไซยาโนแบคทีเรีย	30
10	ลักษณะเซลล์ของไซยาแบคทีเรียกลุ่มไม่มีเส้นสายและกลุ่มเส้นสาย	32
11	การดูดกลืนแสงของรงควัตถุแต่ละชนิดในเซลล์	37
12	การเจริญของไซยาโนแบคทีเรียในการเพาะเลี้ยงแบบชั่วคราว	39
13	สถานีตรวจวัดและเครื่องมือสำหรับตรวจวัดพลังงานรังสีดวงอาทิตย์	42
14	จุดเก็บตัวอย่างน้ำและไซยาโนแบคทีเรียบริเวณบ่อบำบัดน้ำเสียโครงการแหลมผักเบี้ยฯ	46
15	ที่ตั้งและการดำเนินระบบในการจัดการน้ำเสียของโครงการแหลมผักเบี้ยฯ	50
16	คุณภาพน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดจากบ่อตกตะกอนเฉลี่ย 5 ปี (พ.ศ.2552-2556)	54
17	คุณภาพน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดจากบ่อผึ่งที่ 1 เฉลี่ย 5 ปี (พ.ศ.2552-2556)	55
18	คุณภาพน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดจากบ่อผึ่งที่ 2 เฉลี่ย 5 ปี (พ.ศ.2552-2556)	57
19	คุณภาพน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดจากบ่อผึ่งที่ 3 เฉลี่ย 5 ปี (พ.ศ.2552-2556)	58
20	คุณภาพน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดจากบ่อปรับสภาพเฉลี่ย 5 ปี (พ.ศ.2552-2556)	60
21	คุณภาพน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดตามระยะทางจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่งเฉลี่ย 5 ปี (พ.ศ. 2552-2556)	61

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
22	ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์รวมรายวันที่ตรวจวัดได้ที่สถานีตรวจวัดอากาศบริเวณโครงการแหลมผักเบี้ยฯ จังหวัดเพชรบุรี (มิถุนายน 2556- มิถุนายน 2557)	63
23	ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์รวมรายวันที่ตรวจวัดได้ที่สถานีตรวจวัดอากาศบริเวณโครงการแหลมผักเบี้ย จังหวัดเพชรบุรีช่วงฤดูหนาว (พฤศจิกายน 2556-กุมภาพันธ์ 2557)	66
24	ร้อยละของไซยาโนแบคทีเรียที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่งช่วงฤดูหนาว	67
25	ชนิดและปริมาณไซยาโนแบคทีเรียที่พบในบ่อตกตะกอน ช่วงฤดูหนาว (มกราคม - กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557)	69
26	ชนิดและปริมาณไซยาโนแบคทีเรียที่พบในบ่อผึ่งที่ 1 ช่วงฤดูหนาว (มกราคม - กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557)	70
27	ชนิดและปริมาณไซยาโนแบคทีเรียที่พบในบ่อผึ่งที่ 2 ช่วงฤดูหนาว (มกราคม - กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557)	71
28	ชนิดและปริมาณไซยาโนแบคทีเรียที่พบในบ่อผึ่งที่ 3 ช่วงฤดูหนาว (มกราคม - กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557)	72
29	ชนิดและปริมาณไซยาโนแบคทีเรียที่พบในบ่อปรับสภาพ ช่วงฤดูหนาว (มกราคม - กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557)	73
30	อิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ต่อการเจริญของไซยาโนแบคทีเรียในบ่อบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่ง	74
31	สีของน้ำเสียในบ่อบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่งช่วงฤดูหนาวในโครงการแหลมผักเบี้ยฯ ที่มีไซยาโนแบคทีเรียเจริญ	75
32	อิทธิพลของปริมาณไซยาโนแบคทีเรียต่อคุณภาพน้ำเสียบ่อตกตะกอนในฤดูหนาว (มกราคม – กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557)	76
33	อิทธิพลของปริมาณไซยาโนแบคทีเรียต่อคุณภาพน้ำเสียบ่อผึ่งที่ 1 ในฤดูหนาว (มกราคม – กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557)	78
34	อิทธิพลของปริมาณไซยาโนแบคทีเรียต่อคุณภาพน้ำเสียบ่อผึ่งที่ 2 ในฤดูหนาว (มกราคม – กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557)	79
35	อิทธิพลของปริมาณไซยาโนแบคทีเรียต่อคุณภาพน้ำเสียบ่อผึ่งที่ 3 ในฤดูหนาว (มกราคม – กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557)	81

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

36 อิทธิพลของปริมาณไซยาโนแบคทีเรียต่อคุณภาพน้ำเสียบ่อปรับสภาพ ในฤดูหนาว (มกราคม–กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557) 82

37 คุณภาพน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่ง โครงการแหลมผักเบี้ยฯ ตามระยะทาง ในช่วงฤดูหนาว (มกราคม-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557) 83

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ในฤดูหนาวต่อการเจริญของไซยาโนแบคทีเรีย ในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่ง โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อม แหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี ประเทศไทย

Influenecs of Winter Insolation on Growth Cyanobacteria in Oxidation Ponds for Community Wastewater Treatment at Royal LERD Project Site in Phetchaburi Province Thailand

คำนำ

โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตั้งอยู่ที่ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี เป็นหน่วยงานที่ทำงานเพื่อสนองแนวพระราชดำริพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ด้านการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยเทคโนโลยีธรรมชาติช่วยธรรมชาติ ที่สามารถทำได้อย่างง่ายและประหยัด ได้แก่ การใช้หญ้ากรองน้ำเสีย พืชบำบัดน้ำเสีย ป่าชายเลนบำบัดน้ำเสีย และระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่ง ซึ่งได้ดำเนินการมาตั้งแต่ปลายปี พ.ศ. 2534 โดยทางโครงการฯ ได้แบ่งการดำเนินงานออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 บ่อรวบรวมน้ำเสียบริเวณบ้านคลองยาง อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี ส่วนที่ 2 คือ ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ในพื้นที่ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่งมีข้อจำกัดเนื่องจากพื้นที่ดินเดิมก่อนการก่อสร้างบ่อบำบัดนั้นเป็นบ่อเลี้ยงกุ้งร้าง นาเกลือเก่า และบางส่วนเป็นป่าเสื่อมโทรม ส่งผลให้ดินบริเวณพื้นที่ก่อสร้างบ่อบำบัดมีความเค็ม จากนั้นจึงได้ดำเนินการปรับสภาพพื้นที่โครงการถมดินบดอัดพื้นบ่อ และถมคันกั้นบ่อด้วยหินและดินบดอัด รวมทั้งสร้างอาคารระบายน้ำล้นจากบ่อสู่บ่อด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งดำเนินการเสร็จและเริ่มดำเนินระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรีมาตั้งแต่วันที่ 15 พฤษภาคม พ.ศ. 2537 (เกษม และคณะ, 2543) ซึ่งกระบวนการบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่งจะเริ่มจากการรวบรวมน้ำเสียในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรีมาเก็บไว้ที่บ่อรวบรวมบริเวณบ้านคลองยาง บ่อนี้จะทำหน้าที่เป็นบ่อดักกรวด ทราย ขยะ และตกตะกอนเบื้องต้น จากนั้นจะทำการสูบน้ำเสียผ่านท่อ HDPE ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตรเป็นระยะทาง 18.5 กิโลเมตร เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่ง ที่ประกอบด้วยบ่อดินอัดแน่นจำนวน 5 บ่อ เรียงต่อกันแบบอนุกรม น้ำเสียชุมชนของเทศบาลเมืองเพชรบุรีถูกสูบเข้ามาบำบัดในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่งของโครงการฯ เฉลี่ย 6,167

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลูกบาศก์เมตร/วัน ด้วยอัตราการไหล 303.15 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง (ธนวัฒน์, 2557) และต้องทำการลอกตะกอนบ่อเพื่อให้การบำบัดน้ำเสียชุมชนมีประสิทธิภาพทุก 5-6 ปี

เทคโนโลยีระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่ง (oxidation pond) ของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เป็นระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนที่อาศัยกลไกธรรมชาติในการบำบัด โดยหลักการบำบัดน้ำเสียและอาศัยการอยู่ร่วมกันของสาหร่ายและแบคทีเรียในการเติมออกซิเจนให้แก่น้ำเสียในระบบบำบัด และยังได้รับออกซิเจนจากการสัมผัสกับอากาศโดยตรง การพัดผ่านของกระแสลมและจากการเผาผลาญของรังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้พลังงาน 583 แคลลอรี่ต่อน้ำ 1 กรัม ในการระเหยน้ำซึ่งจะทำให้น้ำบริเวณผิวด้านบนมีอุณหภูมิต่ำและมีความหนาแน่นมาก ทำให้มวลน้ำมากและจมออกซิเจนลงก้นบ่อ และดันมวลน้ำด้านล่างที่ไม่มีออกซิเจนขึ้นมาด้านบน กระบวนการดังกล่าวเรียกว่ากระบวนการเทอร์โมไซฟอน(thermo-siphon) โดยออกซิเจนที่จมลงก้นบ่อจะถูกจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนนำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ นอกจากนี้ยังมีกระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) ของสาหร่าย แพลงก์ตอนพืช และแบคทีเรียอีกด้วย ออกซิเจนที่ผลิตได้จะถูกแบคทีเรียนำไปใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ และในขณะเดียวกันสาหร่ายก็จะใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียในการสังเคราะห์แสง ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง

อย่างไรก็ดีในช่วงฤดูหนาว (เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2556–กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557) ได้เกิดปรากฏการณ์สาหร่ายบูมในบ่อบำบัด จากการสังเกตน้ำในบ่อเป็นสีเขียวเข้ม มีเม็ดสาหร่ายเล็กๆ เจริญอย่างหนาแน่น และเมื่อเวลาผ่านไปสักระยะเม็ดเล็กๆ เหล่านี้จะจับตัวกันเป็นแผ่นลอยที่ผิวน้ำ เห็นเป็นสีฟ้าออกน้ำเงินปนเขียว ประกอบกับปลานิลที่เลี้ยงไว้เพื่อควบคุมปริมาณแพลงก์ตอนในบ่อเริ่มตาย จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าเป็นแบคทีเรียกลุ่มไซยาโนแบคทีเรียที่มีการเจริญมาก จากปัญหาดังกล่าวยังไม่ทราบแน่ชัดว่าปัจจัยที่แท้จริงของการเจริญของไซยาโนแบคทีเรียคือปัจจัยใดจึงเป็นสาเหตุที่จะต้องมีการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการการเจริญของไซยาโนแบคทีเรียโดยเฉพาะในช่วงฤดูหนาวที่มีการเจริญมากในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่งของโครงการแหลมผักเบี้ยฯ ทั้งนี้เพื่อจะได้เป็นแนวทางในการวางแผนการจัดการป้องกันแก้ไขปรากฏการณ์บูมของสาหร่ายภายในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่งต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ต่อการเจริญของไซยาโนแบคทีเรียช่วงฤดูหนาวในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่ง โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี

สมมุติฐาน

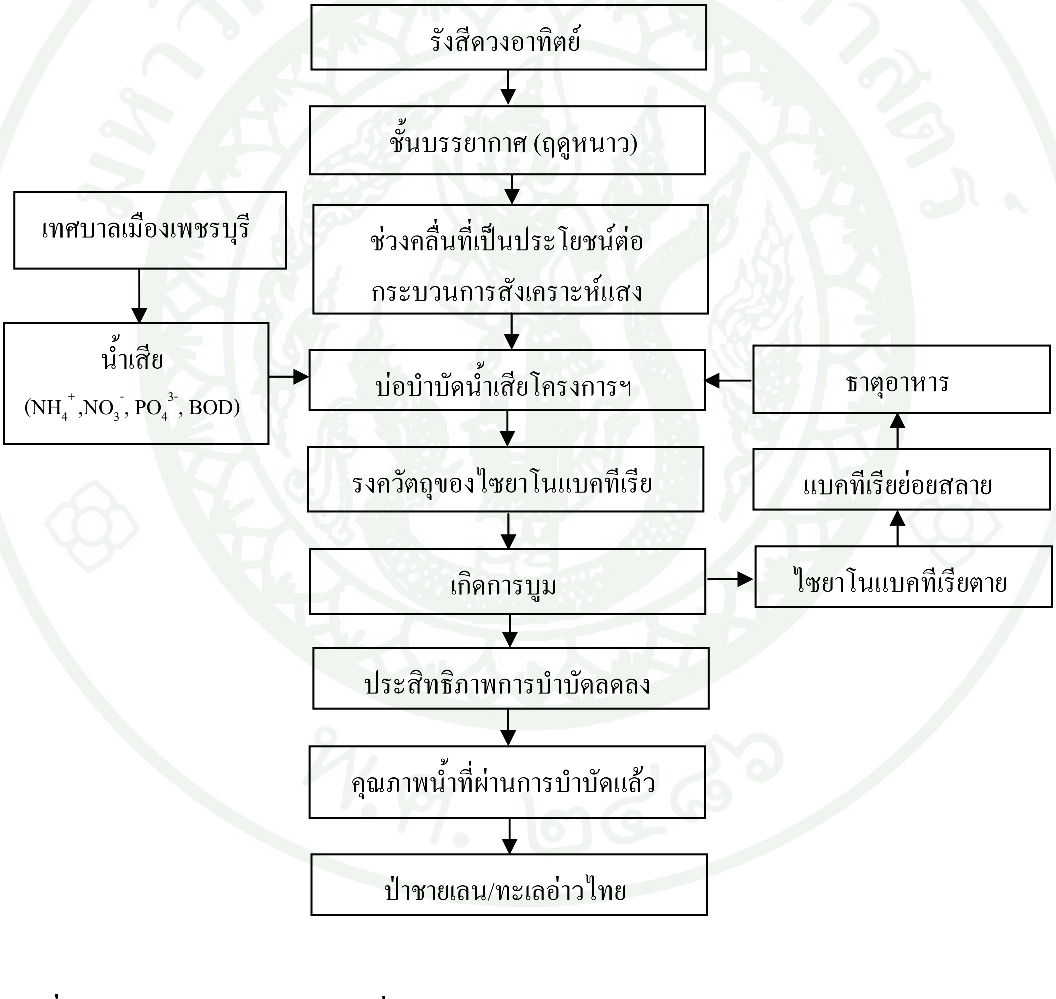
รังสีดวงอาทิตย์ในช่วงฤดูหนาวมีผลต่อการเจริญของไซยาโนแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่ง โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี

กรอบแนวคิดการวิจัย

เทศบาลเมืองเพชรบุรีมีน้ำเสียชุมชนที่มีปริมาณธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และค่าความสกปรกในรูปบีโอดีในปริมาณสูงโดยน้ำเสียเหล่านี้จะถูกรวบรวมจากเทศบาลมายังบ่อรวบรวมน้ำเสียบ้านคลองยาง ซึ่งจะทำการบำบัดขั้นต้นในการตกตะกอนกรวด ทรายและกรองแยกขยะขนาดใหญ่ จากนั้นน้ำเสียจะถูกสูบผ่านท่อ HDPE ไปยังบ่อตกตะกอนและผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่งในพื้นที่โครงการแหลมผักเบี้ยฯ ซึ่งในบ่อมีการสะสมธาตุอาหารที่เป็นปัจจัยในการเจริญของไซยาโนแบคทีเรีย และเนื่องจากโลกหมุนรอบตัวเองโดยโคจรรอบดวงอาทิตซึ่งแกนโลกเอียงทำมุม 23.5 องศากับแนวโคจร ส่งผลให้แต่ละพื้นที่ได้รับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ไม่เท่ากัน ร่วมกับชั้นบรรยากาศจะมีองค์ประกอบและสิ่งปกคลุมต่างๆ ที่เป็นตัวกั้นรังสีดวงอาทิตย์ให้ส่องลงมาไม่เท่ากัน ส่งผลให้ในแต่ละฤดูกาลปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่เข้ามาในโลกจึงมีปริมาณที่ไม่เท่ากัน และเมื่อเข้าสู่ฤดูหนาวในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ ประเทศไทยที่อยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรจะมีพื้นที่และปัจจัยการได้รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์มากขึ้นกว่าฤดูฝน ซึ่งรังสีดวงอาทิตย์จะแผ่มายังโลกในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic wave) และโลกจะได้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปรังสีคลื่นสั้น (short wave radiation) ที่มีผลต่อการเกิดกระบวนการต่างๆ บนโลก ทั้งทางชีวภาพและทางกายภาพแต่เนื่องจากชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกในชั้นต่างๆได้สกัดกั้นรังสีที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ไม่ว่าจะเป็นด้วยการกระเจิง การสะท้อนกลับ และการดูดกลืน เช่น ชั้นเทอร์โมสเฟียร์ (thermosphere) จะมีก๊าซต่างๆที่แตกตัวและมีโมเลกุลส่วนใหญ่อยู่ในรูปของอิออน เช่น NO^+ และ O^+สามารถดูดกลืนรังสีอุลตราไวโอเลต (UV)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชั้นสตราโตสเฟียร์ (stratosphere) มีผงฝุ่นเล็กน้อยแต่มีโอโซนปริมาณมากที่ช่วยดูดกลืนรังสีอุลตราไวโอเลต (UV-C, UV-B เกือบทั้งหมด) และชั้นโทรโพสเฟียร์ (troposphere) มีฝุ่นควันและไอน้ำมากช่วยดูดกลืนรังสีอุลตราไวโอเลต (UV-B บางส่วน) เป็นต้น โดยรังสีดวงอาทิตย์โดยเฉพาะในช่วงคลื่นแสงขาว (visible light) ที่สามารถผ่านเข้ามายังโลกมีบทบาทสำคัญในกระบวนการเจริญและการเพิ่มปริมาณของไซยาโนแบคทีเรียทั้งทางตรงและทางอ้อมโดยกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งเป็นคุณสมบัติของไซยาโนแบคทีเรีย เนื่องจากไซยาโนแบคทีเรียมีรงควัตถุที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงคลื่นต่างๆได้ส่งผลให้ไซยาโนแบคทีเรียมีการเจริญและเพิ่มปริมาณมากขึ้นส่งผลต่อคุณภาพน้ำเสียชุมชนในบ่อก่อนปล่อยลงป่าชายเลนและอ่าวไทย (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย เรื่อง อิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ในฤดูหนาวต่อการเจริญของไซยาโนแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่ง โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี ประเทศไทย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

ดวงอาทิตย์และรังสีดวงอาทิตย์

1. ดวงอาทิตย์

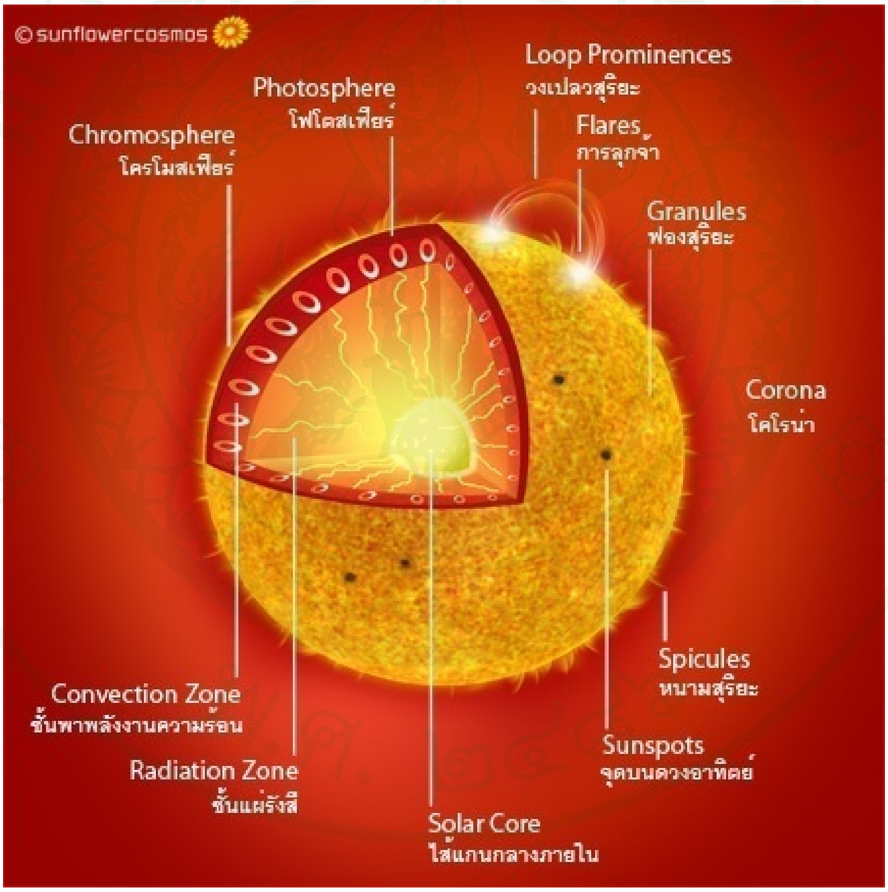
ดวงอาทิตย์ (sun) เป็นดาวฤกษ์ทรงกลมขนาดใหญ่ที่เป็นแหล่งพลังงานสำคัญของโลก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.39×10^6 กิโลเมตร มีความหนาแน่น 1,410 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เป็นดาวสีเหลืองมีก๊าซร้อนจัด บริเวณพื้นผิวมีอุณหภูมิประมาณ 6,000 องศาเซลเซียส โดยมีการหมุนรอบตัวเองที่เส้นศูนย์สูตรใช้เวลา 25.04 วัน มีระยะทางห่างจากโลกประมาณ 1.5×10^8 กิโลเมตร มีแรงโน้มถ่วงที่ผิว 27.9 เท่าของโลก ดวงอาทิตย์อยู่ในสถานะพลาสมา (plasma) คือสภาวะก๊าซที่อิเล็กตรอนไม่ติดกับนิวเคลียส จึงมีความเป็นกลางทางประจุไฟฟ้า

ดวงอาทิตย์มีโครงสร้างแบ่งเป็น 2 ส่วน คือโครงสร้างภายในดวงอาทิตย์และชั้นบรรยากาศของดวงอาทิตย์ (ภาพที่ 2) ส่วนแรกโครงสร้างภายในดวงอาทิตย์ (solar interior) มี 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นใจกลางดวง (core) มีขนาดราว 0.25 ของรัศมีดวงอาทิตย์ มีอุณหภูมิสูงประมาณ $15\text{x}10^6$ องศาเซลเซียส เป็นแหล่งเกิดปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์ หรือปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชัน (nuclear fusion) สร้างพลังงานมหาศาลของดวงอาทิตย์ ถัดมาเป็นชั้นแผ่รังสี (radiation zone) ขนาดราว 0.86 ของรัศมีดวงอาทิตย์ ในชั้นนี้มีอุณหภูมิประมาณ 8,000,000 องศาเซลเซียส โดยพลังงานที่เกิดในแกนที่อยู่ในชั้นใจกลางดวง (core) ของดวงอาทิตย์จะถูกส่งผ่านมายังเขตแผ่รังสีโดยรังสีแกมมา เขตแผ่รังสีนี้มีความหนาแน่นมากทำให้รังสีแกมมาสะท้อนไปมาอยู่ภายใน และไม่สามารถออกไปสู่เขตการพาได้เป็นเวลาหลายล้านปี โดยเฉลี่ยแล้วรังสีแกมมาจะถูกกักไว้เป็นเวลานานประมาณ 170,000 ปี จึงสามารถออกจากเขตแผ่รังสีได้ นั่นหมายความว่าถ้าดวงอาทิตย์หยุดกระบวนการผลิตพลังงานในวันนี้หรือพรุ่งนี้ อีกประมาณ 170,000 ปี เราจึงจะรับรู้ได้ สุดท้ายเป็นชั้นพาพลังงาน (convection zone) เป็นชั้นที่นำพลังงานจากชั้นแผ่รังสีออกสู่ผิวดวงอาทิตย์ ซึ่งจะมีอุณหภูมิลดลงจากเขตแผ่รังสีจนเหลือประมาณ 6,000 องศาเซลเซียส เขตการพาจะมีการเคลื่อนไหวแบบปั่นป่วน โดยจะประกอบด้วยเซลล์การพาที่มีลักษณะคล้ายน้ำเดือดลอยขึ้นสู่ผิวของดวงอาทิตย์

ส่วนที่สอง ชั้นบรรยากาศของดวงอาทิตย์ มี 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นโฟโตสเฟียร์ (photosphere) เป็นชั้นของแสงสว่างของดวงอาทิตย์ที่เรามองเห็นเป็นดวงจ้า มีอุณหภูมิประมาณ 4,000-6,000 องศาเซลเซียส เป็นชั้นบางๆ แต่สว่างจ้ามากจนเราไม่สามารถมองผ่านลึกลงไปถึงตัวดวงอาทิตย์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ถัดมาเป็นชั้นโครโมสเฟียร์ (chromosphere) เป็นบรรยากาศบางๆ สูงขึ้นจากชั้นโฟโตสเฟียร์มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 6,000-20,000 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิระดับนี้ก๊าซไฮโดรเจนจะปล่อยแสงสีแดง เป็นชั้นที่เกิดปรากฏการณ์รุนแรงบนดวงอาทิตย์นอกจากนั้นชั้นนี้ยังปล่อยไอออนของแคลเซียม (Ca^{2+}) ซึ่งเป็นแสงสีม่วงที่มีความยาวคลื่นประมาณ 393.4 นาโนเมตร สุดท้ายเป็นชั้นโคโรนา (corona) เป็นชั้นนอกสุดของดวงอาทิตย์ มีอุณหภูมิสูง 1-2 ล้าน องศาเซลเซียส แผ่อาณาเขตกว้างไกลออกไปมากกว่า 5 เท่าของตัวดวงอาทิตย์ ชั้นนี้จะมีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไปตามปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นภายในตัวดวงอาทิตย์ ซึ่งจะมองเห็นได้เฉพาะขณะเกิดสุริยุปราคาเต็มดวงเมื่อดวงจันทร์เคลื่อนไปบังโฟโตสเฟียร์เท่านั้น เป็นแสงสว่างเรืองสีขาวนวลแผ่ออกโดยรอบมีลักษณะเป็นเส้นสายคล้ายเส้นแรงสนามแม่เหล็กของดวงอาทิตย์



ภาพที่ 2 โครงสร้างของดวงอาทิตย์

ที่มา: สำนักดาราศาสตร์ซันฟลาวเวอร์ คอสมอส (2553)

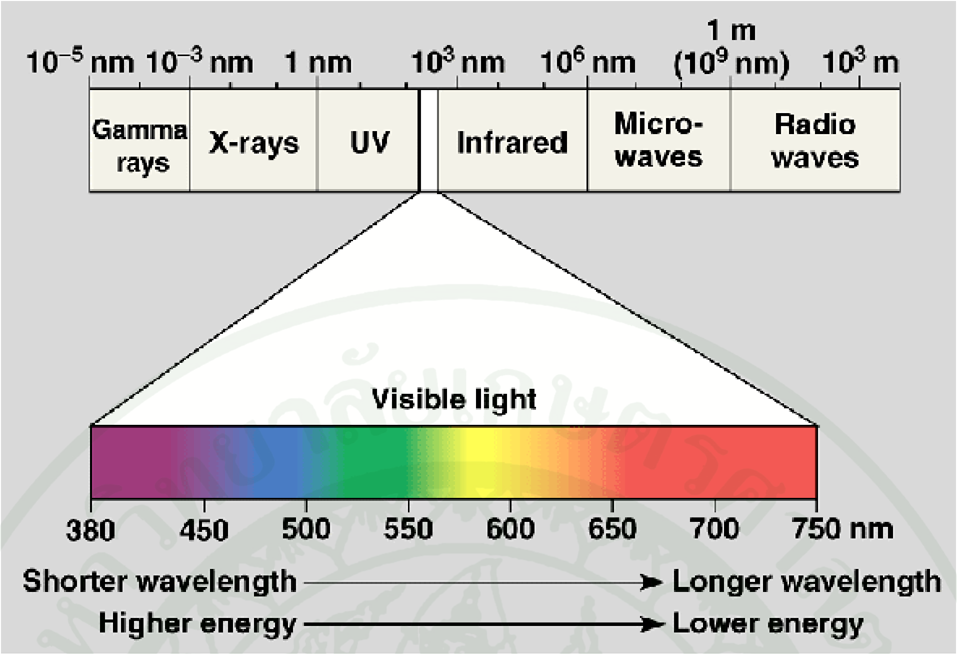
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. รังสีดวงอาทิตย์

ชั้นใจกลางของดวงอาทิตย์เป็นแหล่งเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชัน (nuclear fusion) โดยในชั้นนี้จะประกอบด้วยก๊าซเบาได้แก่ ไฮโดรเจน ฮีเลียม และธาตุอื่นๆ เช่น คาร์บอน ไนโตรเจน ออกซิเจน เป็นต้น มีสัดส่วนร้อยละ 71 27 และ 2 โดยมวลตามลำดับ ปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชันก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบของดวงอาทิตย์อย่างช้าๆ ซึ่งในปัจจุบันองค์ประกอบที่แกนกลางของดวงอาทิตย์กลายเป็นไฮโดรเจน ฮีเลียม และธาตุอื่นๆ ได้แก่ คาร์บอน ไนโตรเจน ออกซิเจน เป็นต้น โดยมีสัดส่วนร้อยละ 35 63 และ 2 โดยมวลตามลำดับ เนื่องจากใจกลางดวงอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงและมีความหนาแน่นมาก ปกติแล้วนิวเคลียส 2 นิวเคลียสจะผลักกันแรงคูลอมบ์ (coulomb’s force) เนื่องจากมีประจุบวกเหมือนกัน แต่ที่แกนกลางของดวงอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงมากพอและมีความหนาแน่นมากจนกระทั่งนิวเคลียสทั้งสองอยู่ใกล้กันมาก จนกระทั่งสามารถเอาชนะแรงคูลอมบ์และเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการรวมกันของอะตอมของธาตุเบาได้อะตอมใหม่ที่มีมวลน้อยกว่ามวลรวมของอะตอมเริ่มต้น และมวลที่หายไปนั้นถูกเปลี่ยนเป็นพลังงาน ผลของปฏิกิริยานี้ทำให้ได้แสงสว่างและความร้อนสูงถึง 6,000 องศาเซลเซียส ให้พลังงานแผ่ออกไปในระบบสุริยะปริมาณมหาศาล นอกจากนี้ยังปลดปล่อยพลังงานในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือที่เรียกว่ารังสีดวงอาทิตย์ (solar radiation) แผ่กระจายไปทุกทิศทุกทาง รวมทั้งโลกด้วย แต่เนื่องจากโลกมีลักษณะเป็นทรงกลมจึงทำให้ได้รับพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์เป็นบางส่วนในระยะเวลาเดียวกัน ทำให้ค่าเฉลี่ยความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ที่แผ่มายังโลกมีค่าคงที่สม่ำเสมอหรือที่เรียกว่า ค่าคงที่แสงอาทิตย์ (solar constant) ประมาณ 1.94 แคลลอรี่/ตารางเซนติเมตร/วินาที แต่เนื่องจากโลกเอียง 23.5 องศากับเส้นวงโคจรจึงทำให้ปริมาณค่าคงที่แสงอาทิตย์เปลี่ยนไปประมาณ 1.94 ± 0.02 แคลลอรี่/ตารางเซนติเมตร/วินาที (เกษม, 2522)

รังสีดวงอาทิตย์หรือพลังงานแสงอาทิตย์ที่แผ่กระจายมายังผิวโลกใช้ระยะเวลาในการเดินทางทั้งสิ้น 8 นาที (Kirk, 1983) โดยรังสีที่แผ่มายังโลกประกอบไปด้วยรังสีที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกัน บางช่วงคลื่นมนุษย์ไม่สามารถมองเห็นได้ เช่น รังสีแกมมา (gamma rays) รังสีเอ็กซ์ (x-rays) รังสีอุลตราไวโอเลต (ultraviolet) รังสีอินฟราเรด (infrared) รังสีไมโครเวฟ (microwave) และรังสีวิทยุ (radio wave) บางช่วงคลื่นมนุษย์สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่น รังสีธรรมชาติหรือแสงขาว (visible light) (ภาพที่ 3)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 3 รังสีดวงอาทิตย์ที่แผ่กระจายมายังผิวโลก

ที่มา: ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชมงคล (2548)

จากภาพที่ 3 แสดงให้เห็นว่ารังสีที่แผ่มายังโลกจะมีช่วงความยาวคลื่นแตกต่างกัน จึงทำให้ค่าพลังงานต่อหนึ่งโมลของโฟตอน (E) มีหน่วยพลังงานเรียกว่า ควอนตัม ซึ่งโฟตอนของรังสีมีค่าพลังงานแตกต่างกันไปตามความยาวคลื่น โดยในรังสีที่มีความยาวคลื่นสั้นจะมีพลังงานสูงกว่ารังสีที่มีความยาวคลื่นยาว (Stephen *et. al.*, 2000) สามารถอธิบายได้โดยสมการ ดังนี้

$$E_{\text{(mole photon)}} = Nhc/\lambda$$
$$= 1.19629 \times 10^{8}\ \text{J}/\lambda$$

เมื่อ E = พลังงานต่อหนึ่งโมลของโฟตอน (จูล)

N = Avogadro's number = 6.023×10^{23}

h = Planck constant = 6.626068×10^{-34} จูลต่อวินาที

c = ความเร็วแสง = 3×10^{8} เมตรต่อวินาที

λ = ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งอยู่ในรูปของพลังงานรังสี (radiant energy) ประกอบด้วยโฟตอนของรังสีชนิดต่างๆโดยที่ขนาดของแต่ละโฟตอนขึ้นกับค่าความถี่ของรังสีนั้นๆ และที่ส่งแผ่มายังโลกสามารถแบ่งได้เป็น 3 ช่วงดังนี้

2.1 ช่วงรังสีอุลตราไวโอเลต (Ultraviolet; UV) เป็นช่วงที่มีความยาวคลื่นช่วง 0.3-0.4 ไมโครเมตร มีประมาณร้อยละ 2-5 สามารถแบ่งได้ตามความยาวช่วงคลื่นได้ดังนี้ UV-C (200-280 นาโนเมตร) UV-B (280-315 นาโนเมตร) และ UV-A (315-400 นาโนเมตร)

2.2 ช่วงรังสีแสงขาว (Visible–light; VL) มีความยาวคลื่นช่วง 0.4-0.7 ไมโครเมตร ประมาณร้อยละ 44-47 สามารถแบ่งได้ตามความยาวช่วงคลื่นและแยกตามสเปคตรัมของแสงได้ 7 ช่วงคลื่นดังนี้ แสงสีม่วง 380-420 นาโนเมตร แสงสีคราม 420-440 นาโนเมตร แสงสีน้ำเงิน 440-470 นาโนเมตร แสงสีเขียว 470-550 นาโนเมตร แสงสีเหลือง 550-580 นาโนเมตร แสงสีส้ม 580-620 นาโนเมตรและแสงสีแดง 620-780 นาโนเมตร (สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้, 2557)

2.3 ช่วงรังสีอินฟราเรด (Near Infrared; NI) มีความยาวคลื่นช่วง 0.9-4.0 ไมโครเมตร ประมาณร้อยละ 44-47 เป็นช่วงคลื่นที่ดูดกลืนมากกว่ากระเจิง จะดูดกลืนในชั้นบรรยากาศโดยไอน้ำในบรรยากาศ (Moteith and Unaworth, 1990)

3. การแผ่รังสีดวงอาทิตย์มายังผิวโลก

รังสีดวงอาทิตย์มีความร้อนสูงถึง 6,000 องศาเซลเซียส ใช้เวลาเดินทางมายังโลกประมาณ 8 นาที รวมระยะทาง 150 ล้านกิโลเมตร และเมื่อรังสีดวงอาทิตย์เดินทางมาถึงชั้นบรรยากาศโลกซึ่งประกอบไปด้วยกลุ่มก๊าซชนิดต่างๆ ประกอบด้วยก๊าซไนโตรเจนมากที่สุด ร้อยละ 78.08 รองลงมาคือ ก๊าซออกซิเจน ร้อยละ 20.94 ก๊าซอาร์กอน ร้อยละ0.93 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ร้อยละ0.03 และก๊าซอื่นๆอีกร้อยละ 0.02 ตามลำดับ ก๊าซเหล่านี้จะช่วยป้องกันรังสีแสงอาทิตย์ไว้ด้วยกระบวนการกระจาย (scattering) เป็นกระบวนการที่อนุภาคเล็กๆและโมเลกุลของก๊าซในอากาศมีการแพร่กระจายเป็นผลให้การแผ่รังสีตกกระทบได้ทุกทิศทาง การดูดกลืน (absorption) เป็นกระบวนการแผ่รังสีที่ตกกระทบไปยังสสาร โดยที่ส่วนหนึ่งของรังสีจะคงอยู่ในสสารและอีกส่วนหนึ่งจะเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานรูปอื่น การดูดกลืนรังสีของดวงอาทิตย์มีผลต่อภาวะอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะดูดกลืนรังสีอินฟาเรด (infrared) ส่งผลต่อภาวะ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้เกิดภาวะอุณหภูมิเรือนกระจกของโลกได้ การสะท้อน (reflection) เกิดขึ้นเมื่อรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบกับวัตถุและถูกสะท้อนจากพื้นผิว การสะท้อนจะแตกต่างกันไปตามพื้นผิว สี และวัสดุต่างๆ ตลอดจนมุมตกกระทบของแสงด้วย ซึ่งเหล่านี้มีผลทำให้ค่าพลังงานต่อหน่วยพื้นที่ ที่ผิวโลกได้รับหรือที่เรียกว่าค่าคงที่แสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 1,394 วัตต์/ตารางเมตร หรือคิดเป็นร้อยละของพลังงานที่โลกได้รับพบว่า ร้อยละ 35 เป็นพลังงานความร้อนที่สะท้อนออกสู่อวกาศ ส่วนอีกร้อยละ 65 เป็นพลังงานที่โลกและบรรยากาศดูดกลืนเอาไว้ โดยสามารถแบ่งได้เป็นอากาศดูดกลืนไว้ร้อยละ 14 ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกดูดกลืนไว้โดยไอน้ำในบรรยากาศ ส่วนอีกร้อยละ 51 จะถูกพื้นผิวโลกและน้ำในมหาสมุทรดูดกลืนไว้ส่งผลให้อุณหภูมิโลกในชั้น troposphere อบอุ่นและเหมาะสมต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก (ดวงพร, 2536; Riehl, 1965)

เมื่อพิจารณาถึงชั้นบรรยากาศโลกที่ประกอบไปด้วยก๊าซต่างๆแล้ว บรรยากาศยังคงมีส่วนประกอบอื่นๆอีก ได้แก่ อนุภาคแขวนลอยต่างๆ เช่น ฝุ่นละออง ละอองเกลือ และสารอินทรีย์ เป็นต้น นอกจากนั้นยังมีไอน้ำเป็นส่วนประกอบซึ่งไอน้ำเป็นส่วนสำคัญในการช่วยป้องกันความร้อนที่โลกดูดซับไว้และทำหน้าที่ควบคุมการคายความร้อนของโลกออกสู่บรรยากาศอย่างไม่รวดเร็วเกินไป ชั้นบรรยากาศสามารถแบ่งได้ 4 ชั้น (ภาพที่ 4) โดยชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 97 อยู่สูงจากผิวโลกขึ้นไปประมาณไม่เกิน 29 กิโลเมตร และอีกประมาณร้อยละ 3 เป็นลักษณะของบรรยากาศที่มีการฟุ้งกระจาย ณ ความสูงที่มากขึ้นบรรยากาศจะเบาบางลงดังนี้

1) ชั้นโทรโพสเฟียร์ (troposphere) เป็นบรรยากาศชั้นล่างสุด ที่อยู่สูงจากพื้นโลกขึ้นไปมีระยะความสูงประมาณ 10-12 กิโลเมตร ประกอบด้วยส่วนผสมของก๊าซชนิดต่างๆและไอน้ำ อุณหภูมิของอากาศจะลดลงตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่เรียกว่า โทรโพพอส ซึ่งเป็นระดับสูงสุดของบรรยากาศชั้นนี้ ในชั้นนี้มีการเคลื่อนไหวของอากาศทั้งในแนวนอนและแนวดิ่ง ที่เป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดปรากฏการณ์ทางอุตุนิยมวิทยา เช่น การก่อตัวของเมฆ ฝน พายุ ฯลฯ

2) ชั้นสตราโทสเฟียร์ (stratosphere) สูงจากชั้นโทรโพสเฟียร์ขึ้นไป มีแนวกั้นระหว่างชั้นที่เรียกว่า โทรโพพอส บรรยากาศชั้นนี้จะมีก๊าซโอโซนอยู่และด้วยคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงอุลตราไวโอเลตหรือแสงเหนือม่วงไว้ จึงทำให้อุณหภูมิของอากาศในชั้นนี้เพิ่มขึ้นตามความสูง ชั้นสูงสุดของบรรยากาศชั้นนี้เรียกว่า สตราโทพอส ซึ่งอยู่สูงจากพื้นดินประมาณ 50-55 กิโลเมตร

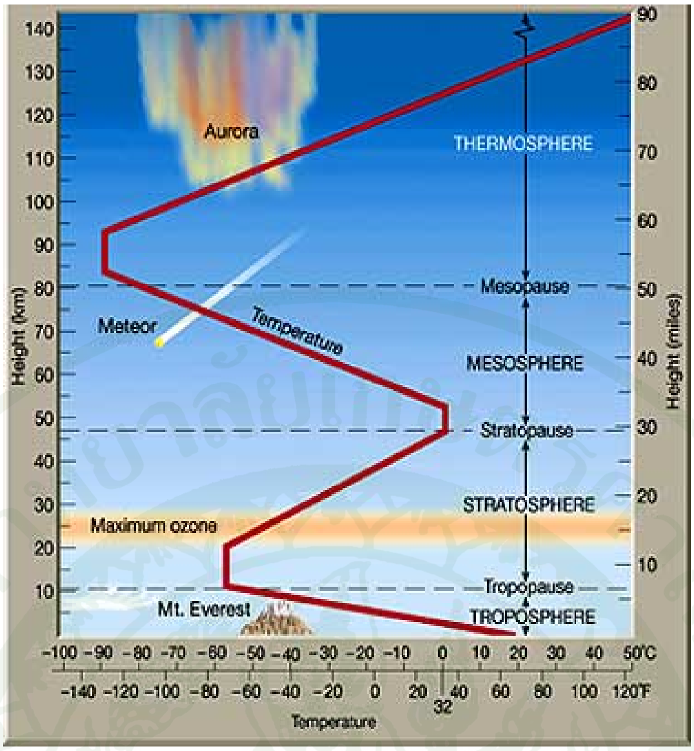
3) ชั้นเมโซสฟียร์ (mesosphere) เป็นชั้นที่อยู่สูงขึ้นไปต่อจากชั้นสตราโทสเฟียร์ มีเขตกั้นระหว่างชั้นบรรยากาศทั้งสองที่เรียกว่า สตราโทพอส บรรยากาศชั้นนี้อยู่สูงขึ้นไปจนถึงระดับความสูง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

85 กิโลเมตร จากพื้นดินและอุณหภูมิของอากาศจะลดลงอย่างรวดเร็วทันทีที่ผ่านพ้นเขตสตราโทพอส ขึ้นไป ชั้นสูงสุดของบรรยากาศชั้นนี้เรียกว่า เมโซพอส เป็นเขตที่ตั้งระหว่างบรรยากาศชั้นเมโซสเฟียร์กับเทอร์มอสเฟียร์

4) ชั้นเทอร์โมสเฟียร์ (thermosphere) เป็นบรรยากาศชั้นนอกสุดที่ห่อหุ้มโลกอยู่ ลักษณะเด่นของบรรยากาศในชั้นนี้ก็คือ อุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามความสูงไม่มีที่สิ้นสุด โดยบรรยากาศในชั้นนี้จะมีการแตกตัวของโมเลกุลของก๊าซต่างๆมากที่สุด มีประจุไฟฟ้าอิสระอยู่มากจึงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งหมายความถึงการมีประจุไฟฟ้าอิสระอยู่มาก สามารถสะท้อนวิทยุคลื่นสั้นได้ จึงเป็นชั้นบรรยากาศที่ใช้ในการสื่อสารโทรคมนาคมทางอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆโดยชั้นบรรยากาศเหล่านี้จะมีบทบาทสำคัญในการป้องกันรังสีคลื่นสั้น เนื่องจากชั้นบรรยากาศแต่ละชั้นมีกลุ่มก๊าซที่มีทั้งชนิด ปริมาณ สัดส่วนและการกระจายแตกต่างกันไป เช่น ชั้นโทรโพสเฟียร์จะมีส่วนช่วยในการป้องกันรังสีแกมมาและรังสีเอ็กซ์ ซึ่งเป็นรังสีคลื่นสั้นที่มีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตบนโลกหรือชั้นสตราโทสเฟียร์จะมีชั้นโอโซน (ozone layer) ช่วยดูดกลืนรังสีอุลตราไวโอเลตในช่วงความยาวคลื่นที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก ได้แก่ UV-C (200-280 นาโนเมตร) และUV-B (280-315 นาโนเมตร) แต่จะปล่อยให้ UV-A ซึ่งมีช่วงความยาวคลื่นยาวที่สุดของรังสีอุลตราไวโอเลตอยู่ในช่วง 315-400 นาโนเมตร และรังสีที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (400-700 นาโนเมตร) ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) ของผู้ผลิตขั้นต้นบนโลก ได้แก่ แพลงก์ตอนพืช สาหร่ายไซยาโนแบคทีเรีย ต้นไม้ เป็นต้น (Kirk, 1983)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 4 ชั้นบรรยากาศโลกที่ทำหน้าที่ห่อหุ้มและดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลก

ที่มา: ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์ (LESA) สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (2553)

4. ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ในประเทศไทย

ประเทศไทยตั้งอยู่ระหว่างเส้นละติจูด 5-20 องศาเหนือและเส้น 96-106 องศาตะวันออก ได้รับอิทธิพลจากมรสุม 2 ชนิด คือ ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ส่งผลให้มีฝนตกชุกเฉลี่ย 1,550 มิลลิเมตร/ปี สลับกับอากาศร้อนอบอ้าวหรือที่เรียกว่าสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ส่วนจำนวนชั่วโมงที่มีแสงแดดในประเทศไทยจะเปลี่ยนแปลงไม่มากในรอบปี กล่าวคือจะต่ำกว่า 12 ชั่วโมงเพียงเล็กน้อยในฤดูหนาว และเกิน 12 ชั่วโมงเพียงเล็กน้อยในฤดูร้อน ด้วยระยะเวลาของแสงอาทิตย์ที่ส่องมายังประเทศไทยเฉลี่ยนานถึง 12 ชั่วโมง/วัน ทำให้ประเทศไทยมีโอกาสที่จะได้รับพลังงานจากรังสีแสงอาทิตย์เป็นจำนวนมาก

จากการศึกษาของเสริมและจรุงแสง (2542) พบว่า การกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์บริเวณต่างๆในแต่ละเดือนของประเทศ ได้รับอิทธิพลสำคัญจากลมมรสุม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้โดยได้จัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย โดยวิเคราะห์จากข้อมูลดาวเทียม GMS4 และ GMS5 ร่วมกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจากภาคพื้นดินเป็นระยะเวลา 6 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2536-2541 จากศึกษาพบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์สูงสุดในช่วงเดือนเมษายนและพฤษภาคม มีค่าเท่ากับ 254.63 และ 245.95 วัตต์/ตารางเมตร/วินาที ตามลำดับ ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในภูมิภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลางบางส่วนและได้รับพลังงานต่ำสุดในเดือนตุลาคมมีค่าเท่ากับ 167.82 วัตต์/ตารางเมตร/วินาที แต่โดยเฉลี่ยแล้วประเทศไทยจะได้รับพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 217.31 วัตต์/ตารางเมตร/วินาที (ตารางที่ 1)

ฤดูกาลในประเทศไทยจะสัมพันธ์กับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ประเทศไทยได้รับโดยเฉลี่ยในรอบหนึ่งปีสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ฤดู ซึ่งในแต่ฤดูกาลมีค่าเฉลี่ยพลังงานแสงอาทิตย์ดังนี้

1) ฤดูร้อน ตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงพฤษภาคมรวม 3 เดือน มีค่าเฉลี่ยพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 21.42 เมกะจูล/ตารางเมตร/วัน หรือ 247.88 วัตต์/ตารางเมตร/วินาที

2) ฤดูฝน ตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคมรวม 5 เดือน มีค่าเฉลี่ยพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 18.05 เมกะจูล/ตารางเมตร/วัน หรือ 208.91 วัตต์/ตารางเมตร/วินาที

3) ฤดูหนาว ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงกุมภาพันธ์รวม 4 เดือน มีค่าเฉลี่ยพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 17.70 เมกะจูล/ตารางเมตร/วัน หรือ 204.86 วัตต์/ตารางเมตร/วินาที

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยพลังงานรังสีรวมแสงอาทิตย์รายเดือนของพื้นที่ทั่วประเทศไทย

เดือน	**พลังงานรังสีรวมแสงอาทิตย์**	
	เมกะจูล/ตารางเมตร/วัน	**วัตต์/ตารางเมตร/วินาที**
มกราคม	17.63	204.05
กุมภาพันธ์	19.17	221.88
มีนาคม	21.00	243.06
เมษายน	22.00	254.63
พฤษภาคม	21.25	245.95
มิถุนายน	21.00	243.06

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 (ต่อ)

เดือน	พลังงานรังสีรวมแสงอาทิตย์	
	เมกะจูล/ตารางเมตร/วัน	**วัตต์/ตารางเมตร/วินาที**
กรกฎาคม	18.25	211.23
สิงหาคม	20.50	237.27
กันยายน	16.00	185.19
ตุลาคม	14.50	167.82
พฤศจิกายน	17.00	196.76
ธันวาคม	17.00	196.76
เฉลี่ย	18.78	217.31

ที่มา: เสริมและจรุงแสง (2542)

5. ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์บริเวณพื้นที่โครงการแหลมผักเบี้ย

สำหรับพื้นที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริตั้งอยู่ในจังหวัดเพชรบุรีทางภาคใต้ตอนบนของประเทศไทยซึ่งจากการศึกษาของ Pannop and Surat (2013) พบว่าปริมาณรังสีในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน-ตุลาคม) จะน้อยที่สุด ช่วงความยาวคลื่นที่ได้รับอยู่ในช่วง 700-1,050 นาโนเมตร ได้รับพลังงานเฉลี่ย 629.24 วัตต์/ตารางเมตร/วินาที ซึ่งได้รับอิทธิพลจากก้อนเมฆที่ช่วยในการดูดซับรังสี ช่วงฤดูหนาว (พฤศจิกายน-กุมภาพันธ์) มีช่วงคลื่นที่รับได้ช่วง 351-700 นาโนเมตร ได้รับพลังงานเฉลี่ย 665.08 วัตต์/ตารางเมตร/วินาที ได้รับอิทธิพลจากลม ฝุ่นช่วยดูดซับและสะท้อนกลับ โดยในเดือนมกราคมสภาพท้องฟ้าโดยทั่วไปมีเมฆน้อย ดวงอาทิตย์จะอยู่ห่างจากเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้าประมาณ 20 องศา ทางซีกฟ้าใต้โดยมีค่ารังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนในช่วง 15-18 เมกะจูล/ตารางเมตร/วัน เดือนกุมภาพันธ์รังสีดวงอาทิตย์จะมีค่าเพิ่มขึ้น ความเข้มสูงขึ้นโดยจะอยู่ในช่วง 20-22 เมกะจูล/ตารางเมตร/วัน ส่วนในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม-พฤษภาคม)ได้รับรังสีเฉลี่ยมากที่สุด 672.68 วัตต์/ตารางเมตร/วินาที ตรงกับจากการศึกษาของพันทิพา (2556) พบว่าฤดูร้อนมีค่าความเข้มของรังสีจากดวงอาทิตย์คลื่นสั้นมากที่สุดในเดือนเมษายนมีค่า 1,482.21 วัตต์/ตารางเมตร ที่ช่วงความยาวคลื่น 476-495 นาโนเมตร มีค่าความเข้มของรังสีจากดวงอาทิตย์คลื่นสั้นเฉลี่ยมากที่สุดถึง 761.7 วัตต์/ตารางเมตร และช่วงความยาวคลื่น 380-

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

450 นาโนเมตร มีค่าความเข้มของรังสีจากดวงอาทิตย์คลื่นสั้นเฉลี่ยน้อยที่สุด 528.3 วัตต์/ตารางเมตร ฤดูฝนมีค่าความเข้มของรังสีจากดวงอาทิตย์คลื่นสั้นมากที่สุดในเดือนตุลาคมมีค่า 1,202.6 วัตต์/ตารางเมตร ที่ช่วงความยาวคลื่น 476-495 นาโนเมตร มีค่าความเข้มของรังสีจากดวงอาทิตย์คลื่นสั้นเฉลี่ยมากที่สุด 597.2 วัตต์/ตารางเมตร และช่วงความยาวคลื่น 380-450 นาโนเมตร มีค่าความเข้มของรังสีจากดวงอาทิตย์คลื่นสั้นเฉลี่ยน้อยที่สุด 416.4 วัตต์/ตารางเมตร และฤดูหนาวค่าความเข้มของรังสีจากดวงอาทิตย์คลื่นสั้นมากที่สุดเดือนพฤศจิกายน มีค่า 1,227.6 วัตต์/ตารางเมตร ช่วงความยาวคลื่น 476-495 นาโนเมตร มีค่าความเข้มของรังสีจากดวงอาทิตย์คลื่นสั้นเฉลี่ยมากที่สุด 613.0 วัตต์/ตารางเมตร และช่วงความยาวคลื่น 380-450 นาโนเมตร มีค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์คลื่น-สั้นเฉลี่ยน้อยที่สุด 417.7 วัตต์/ตารางเมตร และสำหรับค่าข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์ที่ตรวจวัดได้ บริเวณสถานีทดลองโครงการแหลมผักเบี้ยฯระหว่างวันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2554–28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555 (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 รังสีดวงอาทิตย์ที่ตรวจวัดได้ บริเวณสถานีตรวจวัดอากาศ โครงการแหลมผักเบี้ยฯ ระหว่างวันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2554-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555

ลำดับ	เดือน	ความเข้มของรังสีจากดวงอาทิตย์เฉลี่ย ช่วง Visible light (วัตต์/ตารางเมตร)			
		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	เฉลี่ยเวลากลางวัน	อุณหภูมิ(^{0}K)
1	มีนาคม พ.ศ.2554	1223.56	0.00	602.81	300.98
2	เมษายน พ.ศ.2554	1482.21	1.65	681.49	301.13
3	พฤษภาคม พ.ศ.2554	1312.41	6.50	634.73	301.29
4	มิถุนายน พ.ศ.2554	1054.22	4.72	501.98	300.40
5	กรกฎาคม พ.ศ.2554	1127.54	2.14	520.73	300.25
6	สิงหาคม พ.ศ.2554	1137.43	0.78	554.84	300.23
7	กันยายน พ.ศ.2554	1129.57	0.22	509.67	300.40
8	ตุลาคม พ.ศ.2554	1202.68	0.29	532.35	299.35
9	พฤศจิกายน พ.ศ.2554	1227.58	0.08	551.55	299.42
10	ธันวาคม พ.ศ.2554	1104.11	0.00	489.48	296.60
11	มกราคม พ.ศ.2555	1051.95	0.00	479.35	298.34
12	กุมภาพันธ์ พ.ศ.2555	1170.79	0.00	545.71	299.27

หมายเหตุ ค่าสูงสุดและต่ำสุดวิเคราะห์ที่ช่วงเวลา 6.00 น.-18.00 น.

ที่มา: พันทิพา (2556)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

น้ำเสียชุมชนและระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่ง

น้ำเสียหมายถึงของเสียที่อยู่ในสภาพของเหลวรวมทั้งมลสารที่ปะปนหรือปนเปื้อนอยู่ในของเหลว (สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, 2535) นอกจากนี้น้ำเสียยังหมายถึงน้ำที่ผ่านการใช้ประโยชน์มา ซึ่งอาจเป็นการใช้ประโยชน์ทั้งในบ้านเรือน การเกษตรหรือกิจการอุตสาหกรรมต่างๆส่งผลให้น้ำมีสมบัติต่างไปจากเดิมเนื่องจากมีสิ่งสกปรกต่างๆทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ปนเปื้อนอยู่ในน้ำ ดังนั้นปริมาณสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียจึงขึ้นอยู่กับการใช้ประโยชน์ของน้ำ (ฉัตรไชย, 2539) น้ำเสียสามารถแบ่งตามแหล่งกำเนิดได้ 3 ประเภท คือ น้ำเสียชุมชน น้ำเสียอุตสาหกรรม และน้ำเสียเกษตรกรรม (พัฒนา, 2546)

1. น้ำเสียชุมชน

น้ำเสียชุมชน (Domestic Wastewater) หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมประจำวันของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชน และกิจกรรมที่เป็นอาชีพ ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบอาหารและชำระล้างสิ่งสกปรกทั้งหลายภายในบ้านเรือนและอาคารประเภทต่าง (กรมควบคุมมลพิษ, 2545) ปริมาณน้ำเสียชุมชนที่เกิดขึ้นจากบ้านเรือน อาคารประเภทต่างๆมีประมาณร้อยละ 80 ของปริมาณน้ำใช้โดยประเมินจากประชากรและพื้นที่ใช้สอย จากการประเมินดังกล่าวในปี 2555 มีอัตราการเกิดน้ำเสียชุมชน ภาคกลาง 183-406 ลิตร/คน/วัน ภาคเหนือ 282 ลิตร/คน/วัน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 291-306 ลิตร/คน/วัน และภาคใต้ 249 ลิตร/คน/วัน (สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, 2538)

2. ลักษณะของน้ำเสียชุมชน

น้ำเสียชุมชนที่เกิดจากบ้านพักอาศัยประกอบไปด้วยน้ำเสียจากกิจกรรมต่างๆในชีวิตประจำวันมีองค์ประกอบของน้ำเสียชุมชน (ปราณี, 2537; กรมควบคุมมลพิษ, 2545) ดังนี้

2.1 สารอินทรีย์ หมายถึงสารที่ประกอบของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และอนุพันธ์ต่างๆ เช่นอนุพันธ์ของออกซิเจน ไนโตรเจน และธาตุอื่นๆ โดยทั่วไปจะมีธาตุที่เป็นองค์ประกอบ คือ คาร์บอนร้อยละ 58 ไฮโดรเจนร้อยละ 10 ออกซิเจนร้อยละ 20 ไนโตรเจนร้อยละ 5 ฟอสฟอรัสและกำมะถันร้อยละ 1 สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ในน้ำเสียชุมชนแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1) คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 25-50 เช่น น้ำตาล แป้ง มีมากในข้าว มันฝรั่ง และเซลลูโลส พบในเยื่อไม้ กระดาษ และเนื้อเยื่อพืช ส่วนมากเซลลูโลสจะสลายตัวได้ช้ากว่าแป้ง สำหรับน้ำตาลเมื่อละลายน้ำจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียเป็นแอลกอฮอล์ คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ

2) โปรตีน ร้อยละ 40-60 พบในอาหารพวกเนื้อสัตว์ เป็นสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำเสีย ทั้งโปรตีนและยูเรีย ถูกแบคทีเรียย่อยสลายเป็นสารประกอบไนเตรท คาร์บอนไดออกไซด์

3) ไขมัน ประมาณร้อยละ 10 เป็นส่วนที่ละลายน้ำได้น้อย แบคทีเรียจะย่อยสลายได้ในอัตราที่ช้า ไขมันเป็นสารประกอบเอสเทอร์ของแอลกอฮอล์หรือกรีเซอรอลกับกรดไขมัน

2.2 สารอนินทรีย์ ได้แก่ แร่ธาตุต่างๆที่อาจไม่ทำให้เกิดน้ำเน่าเหม็น แต่อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ได้แก่ คลอไรด์ ซัลเฟอร์ เป็นต้น

2.3 โลหะหนักและสารพิษ อยู่ในรูปของสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์และสามารถสะสมอยู่ในวงจรอาหาร เกิดเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น ปรอท โครเมียม ทองแดง ปกติจะอยู่ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดศัตรูพืชที่ปนมากับน้ำทิ้งจากการเกษตร สำหรับในเขตชุมชนอาจมีสารมลพิษนี้มาจากอุตสาหกรรมในครัวเรือนบางประเภท เช่น ร้านชุบโลหะ อู่ซ่อมรถ และน้ำเสียจากโรงพยาบาล เป็นต้น

2.4 น้ำมันและสารลอยน้ำต่างๆ เป็นอุปสรรคต่อการสังเคราะห์แสงและกีดขวางการกระจายของออกซิเจนจากอากาศลงสู่น้ำ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดสภาพไม่น่าดู

2.5 ของแข็งเมื่อจมตัวสู่ก้นลำน้ำทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจนที่ท้องน้ำ ทำให้แหล่งน้ำตื้นเขินมีความขุ่นสูง มีผลกระทบต่อการดำรงชีพของสัตว์

2.6 สารก่อให้เกิดฟอง/สารซักฟอง ได้แก่ ผงซักฟอง สบู่ ฟองจะกีดกันการกระจายของออกซิเจนในอากาศสู่น้ำ และอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

2.7 จุลินทรีย์ น้ำเสียจากโรงฟอกหนัง โรงฆ่าสัตว์ หรือโรงงานอาหารกระป๋อง จะมีจุลินทรีย์เป็นจำนวนมาก จุลินทรีย์เหล่านี้ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิตสามารถลดระดับของออกซิเจน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ละลายน้ำทำให้เกิดสภาพเน่าเหม็น นอกจากนี้จุลินทรีย์บางชนิดอาจเป็นเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อประชาชน เช่น จุลินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงพยาบาล

2.8 ธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส เมื่อมีปริมาณสูงจะทำให้เกิดการเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณอย่างรวดเร็วของสาหร่าย (algae bloom) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ระดับออกซิเจนในน้ำลดลงต่ำในช่วงกลางคืน อีกทั้งยังทำให้เกิดวัชพืชน้ำ

2.9 กลิ่น เกิดจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน หรือกลิ่นอื่น จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานทำปลาป่น โรงฆ่าสัตว์ เป็นต้น

2.10 อุณหภูมิ อุณหภูมิของน้ำเสียมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดน้ำเสีย โดยอาจทำให้เกิดการแบ่งชั้นของน้ำ (stratification) เร่งปฏิกิริยาการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์และลดระดับการละลายของออกซิเจนในน้ำ ซึ่งอาจทำให้เกิดสภาพเน่าเหม็นได้ อุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 25-32 องศาเซลเซียส

น้ำเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากการปนเปื้อนของสารอินทรีย์และสารอินทรีย์จากการทิ้งของเสียประเภทสารอินทรีย์ลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งจัดเป็นอาหารของจุลินทรีย์โดยผ่านกระบวนการย่อยสายจุลินทรีย์ ที่มีปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนแรกเป็นกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน (aerobic process) ดังสมการที่ 1

$$\text{สารอินทรีย์(CHONS)+จุลินทรีย์} \xrightarrow{O_2} \text{จุลินทรีย์ขยายพันธ์}+CO_2+H_2O+SO_2^{4-}+NO_3^{3-} \text{........(1)}$$

จากปฏิกิริยาของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนในน้ำเสีย ผลของปฏิกิริยาจะทำให้ได้สารอินทรีย์ที่มีขนาดเล็กลง แต่จำนวนจุลินทรีย์จะเพิ่มขึ้น และได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) น้ำ (H_2O) และธาตุอาหารของแพลงก์ตอนพืช เช่น ซัลเฟต ไนเตรท เป็นต้น รวมทั้งพลังงานเพิ่มขึ้น กระบวนการนี้จะส่งผลให้ออกซิเจนละลายน้ำลดลง และถ้าสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ยังมีอยู่ก็จะทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งจะส่งผลให้ค่าความสกปรกในรูปบีโอดีที่สูงขึ้น ทำให้สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำและต้องการออกซิเจนในการดำรงชีวิตตายได้ หรือมีปริมาณลดลง เจริญได้ไม่เต็มที่เท่าที่ควร และเมื่อกระบวนการย่อยสลาย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารอินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนใช้ออกซิเจนหมดลงจะจะทำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนตามมา

ขั้นตอนที่สองเป็นกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช่ออกซิเจน (anaerobic process) ดังสมการที่ 2

$$\text{สารอินทรีย์(CHONS)+แบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน} \longrightarrow \text{กรดอินทรีย์และแอลกอฮอล์} \xrightarrow{SO_4^{2-},\ NO_3^{-}} CO_2+NH_3+H_2S+CH_4+H_2O....(2)$$

จากปฏิกิริยาของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช่ออกซิเจนในน้ำเสีย ผลของกระบวนการทำให้เกิดกรดอินทรีย์ (organic acid) และแอลกอฮอล์ (alcohal) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แอมโมเนีย (NH_3) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ก๊าซมีเทน (CH_4) และน้ำ (H_2O) (สุกัญญา, 2548) ซึ่งจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนจะทำให้เกิดกลิ่นเหม็นและสีที่น่ารังเกียจ ทำลายทัศนียภาพส่งผลต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนที่อยู่บริเวณนั้น นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศสิ่งแวดล้อม ทำให้เสียสมดุลธรรมชาติ น้ำไม่สามารถใช้อุปโภคบริโภคได้ เป็นปัญหาต่อการคมนาคม การท่องเที่ยว และการผลิตน้ำประปาซึ่งจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมากขึ้น

3. การบำบัดน้ำเสียชุมชน

การบำบัดน้ำเสีย หมายถึงกระบวนการกำจัดน้ำโสโครกหรือขบวนการแยกหรือทำลายสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนในน้ำให้ลดลงหรือทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้น (ธนิศร์, 2556) เป็นการดำเนินการเปลี่ยนแปลงสภาพของเสียในน้ำให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมพอที่จะไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อแหล่งรับน้ำเสียนั้นๆ ซึ่งจุดมุ่งหมายสำคัญของการบำบัดน้ำเสียชุมชน คือลดความสกปรกในรูปบีโอดี และลดตะกอนแขวนลอยน้ำ และลดปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์ม (พัฒนา, 2546)

การบำบัดน้ำเสียชุมชนมีอยู่หลายวิธีซึ่งการเลือกวิธีการบำบัดต้องขึ้นอยู่กับลักษณะของ น้ำเสียชุมชนที่เกิดขึ้นและความสกปรกของน้ำ ซึ่งสามารถจำแนกได้ 3 วิธี คือ

วิธีการทางกายภาพ เป็นวิธีการบำบัดด้วยกระบวนการทางฟิสิกส์ เช่น แรงโน้มถ่วงและแรงเหวี่ยง เพื่อแยกสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนมากับน้ำออก โดยมักทำเป็นขั้นตอนแรกของกระบวนการบำบัด เช่น การใช้ตะแกรงแยก การทำให้ตกตะกอน และรางดักกรวดทราย เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการทางเคมี เป็นวิธีการบำบัดด้วยการใส่สารเคมีลงในน้ำเสียทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารเคมีที่ใส่ลงไปสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนละลายอยู่ในน้ำเสีย เพื่อให้สามารถแยกเอาสารที่ปนเปื้อนออกมาจากน้ำได้ เช่น การตกตะกอนผลึก การทำให้เป็นกลาง การฆ่าเชื้อโรค เป็นต้น

วิธีการทางชีวภาพ เป็นวิธีการบำบัดด้วยสิ่งมีชีวิตในการแปรสภาพสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนละลายมากับน้ำให้อยู่ในสภาพที่ไม่ก่อให้เกิดเป็นปัญหามลภาวะเป็นพิษต่อแหล่งน้ำ สิ่งมีชีวิตที่สำคัญในการบำบัดน้ำเสียมากที่สุดคือ แบคทีเรีย รองมาคือ สาหร่าย และโปรโตซัว

การบำบัดน้ำเสียชุมชนนอกจากวิธีการที่กล่าวมายังมีวิธีการบำบัดอีกประการหนึ่ง ได้แก่ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบธรรมชาติ ซึ่งอาศัย ดิน พืช จุลินทรีย์และสภาพแวดล้อมทางกายภาพในการบำบัดน้ำเสีย โดยไม่ต้องอาศัยเครื่องจักร เป็นวิธีการบำบัดโดยอาศัยกลไกธรรมชาติเป็นหลักและกระบวนการธรรมชาติของดินและน้ำ สารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับน้ำจะถูกบำบัดทางชีวภาพด้วย จุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนร่วมกับการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนในชั้นดิน และอาศัยการตกตะกอน การกรองผ่านชั้นดินหรือผ่านระบบรากพืช (เกรียงศักดิ์, 2539)

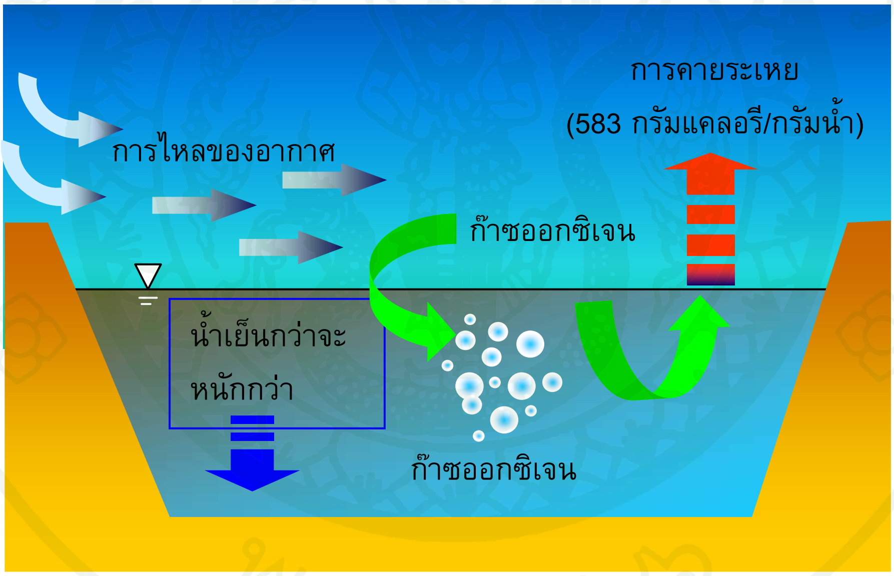
4. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่ง

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่ง เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ออกซิเจนโดยการอาศัยกลไกธรรมชาติ อาจมีบ่อเดียวหรือหลายบ่อต่อกันแบบอนุกรมก็ได้ และทำการกักพักน้ำเสียไว้ในบ่อให้มีระยะเวลานานพอที่แบคทีเรียจะย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสีย (บรรจงและเอนก, 2537) ทั้งนี้จุลินทรีย์จะได้รับออกซิเจนจากกระบวนการเทอร์โมไซฟอน และกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายที่เกิดขึ้นในบ่อ โดยสาหร่ายจะใช้ปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงในการสร้างเซลล์ใหม่และผลิตออกซิเจนให้กับแบคทีเรียนำไปใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ และในขณะเดียวกันสาหร่ายก็ใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียในการสังเคราะห์แสง ดังนั้นบ่อควรมีความลึกไม่เกิน 1.5 เมตร เพื่อให้แสงอาทิตย์ส่องได้ทั่วถึง และระบบต้องมีระยะเวลาเก็บกักน้ำนานมากพอและการบำบัดน้ำเสียแบบต่อเนื่อง น้ำเสียจะไหลเข้าและออกบ่อตลอดเวลาในระหว่างที่น้ำเสียอยู่ในบ่อบำบัด (สตรีไทย, 2544) บ่อบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่งสามารถออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ตามบทบาทหน้าที่ (กรมควบคุมมลพิษ, 2549) ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.1 บ่อใช้อากาศ

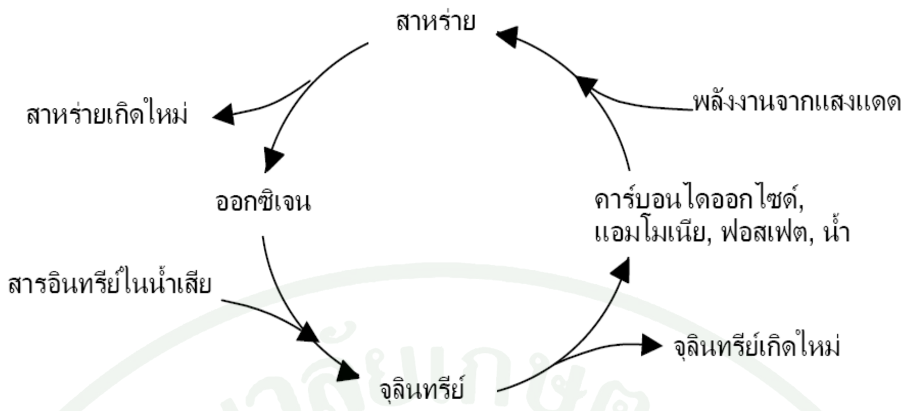
บ่อใช้อากาศ (aerobic pond) เป็นบ่อที่ออกแบบให้มีความลึกประมาณ 1.0-1.5 เมตร ระยะเวลากักเก็บประมาณ 40 วัน จึงจะทำให้ออกซิเจนจากบรรยากาศเหนือผิวน้ำแทรกซึมลงสู่โมเลกุลของน้ำได้โดยกระบวนการเทอร์โมไซฟอน (thermo-siphon) โดยน้ำที่ระเหยจากผิวน้ำซึ่งใช้ความร้อนประมาณ 583 แคลอรีต่อน้ำหนึ่งกรัม ทำให้ผิวน้ำเย็นและมีความหนาแน่นมากกว่ามวลน้ำด้านล่างและในขณะเดียวกันก็เกิดภาวะกดอากาศเหนือผิวน้ำทำให้ออกซิเจนแทรกซึมเข้าสู่โมเลกุลของน้ำ จึงทำให้น้ำบริเวณผิวที่มีความหนาแน่นมากและมีออกซิเจนละลายอยู่มาก จมตัวลงสู่ก้นบ่อและดันมวลน้ำบริเวณก้นบ่อขึ้นมาด้านบน ซึ่งจะเกิดกระบวนการดังกล่าวซ้ำไปซ้ำมา ด้วยเหตุนี้จึงทำให้มวลน้ำภายในบ่อมีออกซิเจนละลายอยู่มาก จึงเกิดกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนอยู่ตลอดเวลา (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 กระบวนการแทรกซึมออกซิเจนจากอากาศลงใต้ผิวน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่ง

ด้วยความที่บ่อใช้อากาศมีความลึกไม่มากนัก ส่งผลให้แสงแดดส่องลงถึงก้นบ่อ ทำให้เกิดกระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) ซึ่งเป็นอีกกระบวนการหนึ่งที่ช่วยเติมออกซิเจนให้กับน้ำเสีย และให้แบคทีเรียนำไปใช้เป็นตัวรับอิเล็คตรอนในกระบวนการหายใจระดับเซลล์ ซึ่งเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างแบคทีเรีย แพลงก์ตอนพืช และสาหร่าย โดยจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์และสารอนินทรีย์ที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียมาใช้ร่วมกันในกระบวนการสังเคราะห์แสง (ภาพที่ 6)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

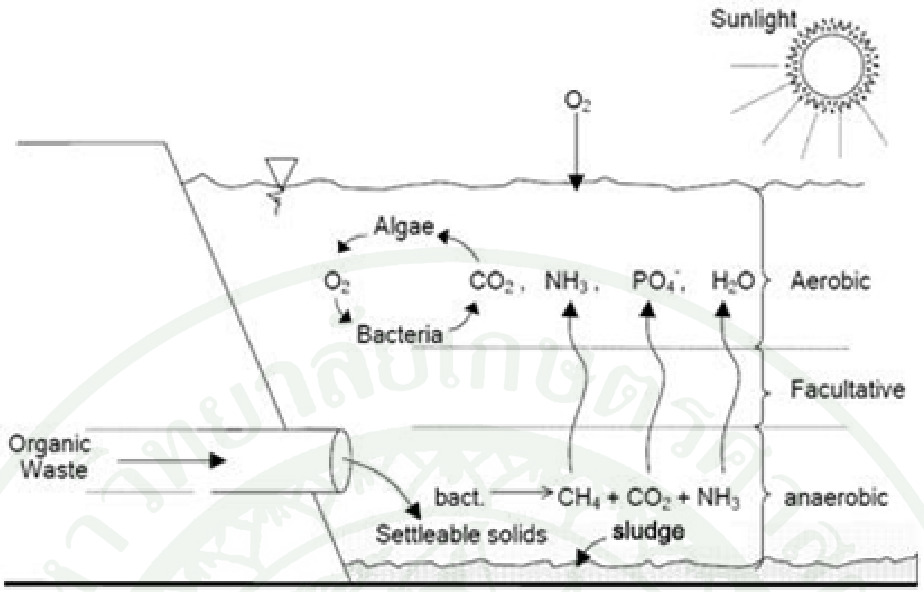


ภาพที่ 6 การทำงานร่วมกันระหว่างแบคทีเรีย แพลงก์ตอนพืชและสาหร่ายในระบบบำบัดน้ำเสีย

4.2 บ่อกึ่งไร้อากาศ

บ่อกึ่งไร้อากาศ (facultative pond) เป็นบ่อบำบัดที่มีความลึกมากกว่าบ่อแบบใช้อากาศ แต่ไม่ลึกมากไปกว่าบ่อไร้อากาศ คือ มีความลึกประมาณ 1.0-2.5 เมตร ใช้ระยะเวลาเก็บกักประมาณ 10 วัน จะทำให้ประสิทธิภาพในการลดค่าความสกปรกได้ถึงร้อยละ 85 บ่อบำบัดแบบบ่อกึ่งไร้อากาศ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชั้น (ภาพที่ 7) ชั้นที่หนึ่ง เรียกว่า aerobic zone ที่อยู่บนสุดของผิวน้ำที่แสงแดดสามารถส่องถึงในชั้นแรกนี้จะเกิดกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนอย่างสมบูรณ์ด้วยแบคทีเรีย เกิดกระบวนการสังเคราะห์แสง แพลงก์ตอนพืช สาหร่าย และแบคทีเรียในกลุ่มที่ต้องการออกซิเจนในกระบวนการหายใจเป็นหลัก และเกิดกระบวนการ thermo-siphon เหมือนในบ่อใช้อากาศ ส่วนชั้นที่สอง เรียกว่า facultative zone ในชั้นนี้โอกาสที่แสงแดดจะส่องถึงนั้นน้อยมาก จึงไม่ค่อยเกิดการสังเคราะห์แสงแต่จะเกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียกลุ่มที่มีความสามารถในการใช้ออกซิเจนในรูปออกซิเจนอิสระที่เป็นองค์ประกอบของสารอนินทรีย์ (facultative bacteria) เช่น ไนเตรทและซัลเฟต ที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายใน aerobic zone และในชั้นสุดท้ายซึ่งเป็นชั้นล่างสุด เรียกว่า anaerobic zone ซึ่งเป็นชั้นที่แสงไม่สามารถส่องถึงและไม่มีออกซิเจน จึงเกิดกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเกิดขึ้น ผลที่ได้คือเกิดก๊าซ เช่น ก๊าซมีเทนขึ้นสู่ผิวน้ำ แต่จะถูกแบคทีเรียที่มีความสามารถในการออกซิไดซ์มีเทนเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ลอยสู่บรรยากาศ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 7 กระบวนการทำงานของระบบบ่อบำบัดน้ำเสียแบบกึ่งไร้อากาศ

4.3 บ่อไร้อากาศ

บ่อไร้อากาศ (anaerobic pond) เป็นบ่อที่มีความลึกประมาณ 3-4 เมตร เหมาะสำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกในรูปบีโอดีสูงๆ โดยมีระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียไว้ในบ่อประมาณไม่น้อยกว่า 4 วัน จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ได้ถึงร้อยละ 75 โดยอาศัยกระบวนการทำงานของแบคทีเรียที่ย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนในกลุ่ม acid forming bacteria แบคทีเรียในกลุ่มนี้จะย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนได้กรดอินทรีย์ออกมา ส่วนใหญ่จะเป็นกรดอะซิติกและกรดไพรพิโอนิค จากนั้นจะมีแบคทีเรียอีกกลุ่ม คือ methanoginic bacteria เป็นแบคทีเรียในกลุ่มที่มีความสามารถในการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนเป็นก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟล์ปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศ นอกจากนี้ด้วยความที่บ่อแบบไร้ออกซิเจนมีความลึกมาก มวลน้ำเสียภายในบ่อจึงค่อนข้างนิ่งเหมาะต่อการใช้เป็นตกตะกอนจำพวกตะกอนดินและทราย ดังนั้นบ่อไร้อากาศจึงนิยมใช้เป็นบ่อแรกของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่งของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อม แหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่งของโครงการแหลมผักเบี้ยฯ ตั้งอยู่ในภูมิศาสตร์เส้นรุ้งที่ 130 02’ 40” ถึง 130 03’ 20” เหนือ และเส้นแวงที่ 1000 05’ 10” ถึง 1000 06’ 05” ตะวันออก หรือพิกัด UTM ที่ 1442240 ถึง 14434380 เหนือ และ 0617780 ถึง 0619271 ตะวันออก ตำบลแหมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี มีโครงสร้างเป็นบ่อดินเหนียวอัดแน่น ต่อกันแบบอนุกรม 5 บ่อ ได้แก่ บ่อตกตะกอน บ่อผึ่งที่ 1 บ่อผึ่งที่ 2 บ่อผึ่งที่ 3 และบ่อปรับสภาพ ซึ่งมีสมรรถนะการรองรับน้ำเสีย (ตารางที่ 3) บ่อมีความลึกอยู่ระหว่าง 1.4-2.4 เมตร ทำหน้าที่บำบัดน้ำเสียชุมชนจากเทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี น้ำเสียจะถูกรวบรวมด้วยสถานีสูบน้ำเสีย 5 แห่ง ซึ่งตั้งอยู่ภายในเขตเทศบาลโดยจะถูกสูบมาเก็บไว้ ณ สถานีรวบรวมน้ำเสียบ้านคลองยาง จากนั้นจะถูกสูบผ่านท่อ HDPE เส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร เป็นระยะทาง 18.5 กิโลเมตร ใช้เวลาประมาณ 5 ชั่วโมง มาถึงบ่อตกตะกอนของโครงการฯ ปัจจุบันมีน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีถูกสูบมาบำบัดเฉลี่ยประมาณ 6,167 ลูกบาศก์เมตร/วัน ด้วยอัตราการไหล 303.15 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง เข้าบ่อบำบัด 268.55 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง (ธนวัฒน์, 2557) น้ำออกจากบ่อตกตะกอนจะไหลล้นไปบ่อผึ่งที่ 1, 2, 3 และบ่อปรับสภาพ (ภาพที่ 8) นอกจากนี้ภายในบ่อบำบัดยังมีการเลี้ยงปลานิลซึ่งเป็นปลากินพืชในอัตราส่วน 2 ตัว/พื้นที่ผิวน้ำ 1 ตารางเมตร เพื่อควบคุมปริมาณสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืชได้ดีที่สุด (นฤชิต, 2554)

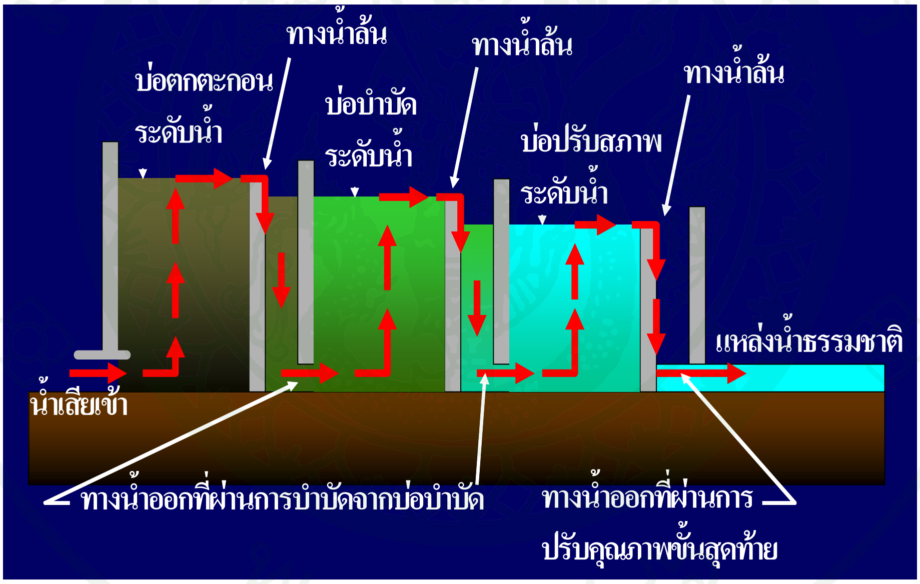
ตารางที่ 3 สมรรถนะการรองรับของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่งของโครงการแหลมผักเบี้ยฯ (ปรับปรุงเมื่อมีนาคม พ.ศ. 2556)

ชนิดบ่อ	ลักษณะบ่อ	พื้นที่ผิว (ตารางเมตร)	ความลึกบ่อ (เมตร)	ปริมาตรบ่อ (ลูกบาศก์เมตร)	ระยะเวลากักน้ำ (วัน)
บ่อตกตะกอน	สี่เหลี่ยมจตุรัส	10,135	2.43	21,970	3.5
บ่อผึ่งที่ 1	สี่เหลี่ยมผืนผ้า	28,795	2.23	60,906	9.8
บ่อผึ่งที่ 2	สี่เหลี่ยมผืนผ้า	32,140	1.93	59,007	9.5
บ่อผึ่งที่ 3	สี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า	33,912	1.64	54,011	8.7
บ่อปรับสภาพ	สี่เหลี่ยมคางหมู	42,879	1.42	59,155	9.5
	รวม	**147,861**	**-**	**255,049**	**41**

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ที่มา: ธนวัฒน์ (2557)

ด้วยวิธีที่ต่างจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่งอื่นๆ คือ การออกแบบให้น้ำเสียไหลล้นออกทางผิวน้ำผ่านสันขอบบ่อคอนกรีตโดยให้มีความหนาของน้ำที่ไหลล้น 3-7 เซนติเมตร ซึ่งเป็นระดับที่มีการแทรกซึมของออกซิเจนได้ดี (Satreethai *et. al.*, 2013) และมุดเข้าทางก้นบ่อถัดไป ถือเป็นอีกหนึ่งกระบวนการที่ช่วยเติมออกซิเจนให้กับน้ำบริเวณก้นบ่อและช่วยให้น้ำเสียเกิดการปั่นกวนในแนวตั้ง อันจะเป็นการช่วยให้น้ำบริเวณก้นบ่อได้หมุนวนขึ้นมาบริเวณผิวน้ำและผ่านการเติมอากาศด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสงและกระบวนการเทอร์โมไซฟอนต่อไป โดยมีระยะเวลาในการบำบัดทั้ง 5 บ่อ เพื่อควบคุมประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยการใช้ระยะเวลาพักน้ำเสีย (detention time) แต่ละบ่อตั้งแต่ บ่อตกตะกอน บ่อผึ่งที่ 1 ถึง 3 และบ่อปรับสภาพ เท่ากับ 3.5 9.8 9.5 8.7 และ 9.5 วัน ตามลำดับ รวมทั้งสิ้น 41 วัน (ธนวัฒน์, 2557) จากนั้นน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดและมีคุณภาพน้ำที่ดีแล้วจะไหลออกสู่ป่าชายเลนภายในพื้นที่โครงการแหลมผักเบี้ยฯ และไหลออกทะเลอ่าวไทยต่อไป



ภาพที่ 8 ลักษณะการไหลล้นของน้ำเสียภายในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่งของโครงการแหลมผักเบี้ยฯ

ที่มา: โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย (2552)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ไซยาโนแบคทีเรียในน้ำเสียชุมชน

1. ไซยาโนแบคทีเรีย

ไซยาโนแบคทีเรียหรือสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (blue green algae) ไซยาโนแบคทีเรียยังเป็นสิ่งมีชีวิตที่ทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ดี จากการพบซากดึกดำบรรพ์(fossil) ในยุค archaeozoic ซึ่งเป็นเวลามากกว่า 2 พันล้านปีมาแล้วทำให้ทราบว่าไซยาโนแบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์กลุ่มที่มีชีวิตที่โบราณที่สุดในบรรดาสิ่งมีชีวิตทั้งหลายที่มีคลอโรฟิลล์อยู่ในเซลล์ (ยุวดี, 2549) ไซยาโนแบคทีเรียมีมากถึง 55 จีนัส 7,500 สปีชีส์ หรืออาจจะมากกว่านี้ (Chapman and Chapman, 1975) ส่วนใหญ่เป็นพวกอยู่ในน้ำจืดด้วยความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมที่อาศัยอยู่ได้ดีและจากการมีวิวัฒนาการมานานทำให้สามารถพบไซยาโนแบคทีเรียได้ในสภาวะแวดล้อมหลายรูปแบบไม่ว่าจะเป็นรูปแบบการดำรงชีวิตอยู่ร่วมกับสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น หรือแม้แต่พบในสภาวะแวดล้อมสุดขั้ว (extreme environment) เช่น ขั้วโลก ในทะเลทราย ในน้ำพุร้อน หรือแหล่งที่มีความเค็มสูง (Oren, 2000; Vincent, 2000; Ward and Castenholz, 2000; Wyn-Williams, 2000)

1.1 สัณฐานวิทยา

ไซยาโนแบคทีเรียเป็นสิ่งมีชีวิตพวกโปรคาริโอตที่ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส ขนาดเซลล์มีขนาดตั้งแต่เล็กที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า (0.5-1.0 ไมโครเมตร) จนถึงขนาดใหญ่ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 60 ไมโครเมตรขึ้นไป เซลล์รวมกลุ่มและมีเยื่อเมือกหุ้ม เซลล์มีนิวเคลียสที่ไม่มีเยื่อหุ้มทำให้สารพันธุกรรมกระจายทั่วเซลล์ และภายในเซลล์มีถุงลมพยุงเซลล์ให้สามารถลอยอยู่บริเวณผิวน้ำเพื่อรับแสงอาทิตย์ นอกจากนี้ไซยาโนแบคทีเรียยังสามารถสังเคราะห์แสงได้โดยที่ใช้น้ำเป็นตัวให้อิเล็คตรอนในกระบวนการสังเคราะห์แสง และสามารถผลิตออกซิเจนออกมา ซึ่งเรียกว่าเป็นแบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่ให้ออกซิเจน (oxygenic photosynthetic bacteria) เนื่องจากภายในเซลล์มีรงควัตถุที่ใช้สำหรับกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยมีรงควัตถุหลักคือคลอโรฟิลล์เอและไฟโคบิลิโปรตีน นอกจากนี้ไซยาโนแบคทีเรียยังสามารถตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศได้อีกด้วย และสำหรับองค์ประกอบต่างๆของเซลล์ (ภาพที่ 9) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.1.1 ผนังเซลล์ ไซยาโนแบคทีเรียมีผนังเซลล์เช่นเดียวกับแบคทีเรียแกรมลบ คือไม่มีเซลลูโลส แต่จะประกอบไปด้วยกรดอะมิโนและอะมิโนซูการ์ ได้แก่ กรดไดอะมิโนไพเมลิก อะเลนีน กลูโคซามีนและกรดมิวรามิก ผนังเซลล์ประกอบด้วยผนังชั้นใน 2 ชั้นจะเหมือนกันส่วนชั้นนอกจะ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แตกต่างขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม ไซยาโนแบคทีเรียจะมีการสร้างสารเมือกห่อหุ้มผนังเซลล์ชั้นนอก ซึ่งทำให้เซลล์หลายๆเซลล์ยึดต่อกันเป็นรูปร่างกลมหรือเป็นเส้นสาย (Mauseth, 1991; Lee, 1995) เมือกหรือชีทที่ห่อหุ้มเซลล์จะมีลักษณะใสไม่มีสี แต่เหนียว หรือบางชนิดจะมีสีเช่นสีเหลืองหรือสีน้ำตาลเนื่องจากมีสารสีฟุสโคโรดินและฟุสโคคลอรีน ถ้ามีสีแดงหรือสีม่วงก็เนื่องจากมีสารสีกลีโคแคพซิน ส่วนใหญ่ไซยาโนแบคทีเรียจะย่อยสลายสารมาเป็นเมือกหุ้มซึ่งประกอบไปด้วยพวกเพกทิก (pectic) ความหนาของเมือกที่หุ้มจะต่างกัน ไซยาโนแบคทีเรียบางชนิดมีเมือกหุ้มเป็นชั้น เช่น *Gloecapsa* บางชนิดเชื่อมเป็นเนื้อเดียวกัน บางชนิดละลายน้ำได้

1.1.2 ไซโทพลาสซึม บริเวณกลางเซลล์จะมีสายดีเอ็นเอ รอบๆโซโทพลาสซึมประกอบไปด้วยชั้นไทลาคอลยด์ และมีการรวมกับโครงสร้างไฟโคบิลิโซม (phicobilisome) อยู่บนไทลาคอยด์ซึ่งเป็นไฟโคบิลิโปรตีน และมีไกลโคเจน แกรนูล นอกจากนี้บริเวณกลางเซลล์ยังมีไรโบโซมขนาด 70s อยู่อย่างหนาแน่น ไม่มีนิวเคลียส ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส และไม่มีกระบวนการไมโทซีส (Lee, 1995) ในไซโทพลาสซึมประกอบด้วยองค์ประกอบดังนี้

1) ไซยาโนไฟซีน แกรนูล (cyanophysin granule) คืออาหารสะสมที่ไซยาโน-แบคทีเรียสะสมไว้ในไซโทพลาสซึม มีขนาดใหญ่ เป็นแหล่งโปรตีน มักพบใกล้ผนังเซลล์ของพวกไซยาโนแบคทีเรียแบบเส้นสาย (Smith, 1950) ไซยาโนไฟซีน แกรนูลจะพบมากช่วงการเจริญระยะสเตชันนารี ซึ่งเป็นช่วงที่ประชากรคงที่ และจะพบน้อยในช่วงเอกซ์โพเนนเซียลในระยะที่มีการแบ่งเซลล์อย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีการนำไซยาโนไฟซีน แกรนูลไปใช้ในการเจริญ (Lee, 1995)

2) คาร์บอกซิโซม หรือพอดิฮีดรีล บอดี (craboxysome or polyhedral bodies) จะปรากฏกลางเซลล์ประกอบด้วยเอนไซม์ในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ คือ ไรบูโลส-1, 5-ไบฟอสเฟต, คาร์บอกซิเลสและออกซิจิเนส ซึ่งจะใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของไซยาโน-แบคทีเรียที่คล้ายกับพืชชั้นสูงส่วนใหญ่

3) พอลิฟอสเฟต บอดี หรือเมแทโครแมติก (metachromatic) หรือโวลูทินแกรนูล มีรูปร่างกลม ภายในประกอบด้วยฟอสเฟตพบในเซลล์ที่มีอายุมาก

4) พอลิกลูแคน แกรนูล (polyglucan granule) หรือแอลฟา-แกรนูล พบอยู่ในช่องว่างระหว่างไทลาคอยด์ ขณะไซยาโนแบคทีเรียสังเคราะห์แสงพอลิกลูแคน แกรนูลจะประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตที่มีกลูโคส 14-16 โมเลกุล คล้ายกับแอมิโลเพ็ทิน บางครั้งเรียกว่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แป้งไซยาโนไฟซีน จะมีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ ซึ่งจะมีการสะสมไว้เป็นอาหารของเซลล์ไซยาโน-แบคทีเรียต่อไป

1.1.3 ก๊าซแวคิวโอล (gas vacuole) ประกอบด้วยถุงแก๊ส มีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ กระจายอยู่ทั่วไป มีลักษณะเป็นสีเหลืองแกมเขียว ถ้ากำลังขยายต่ำจะมีสีดำ และถ้ากำลังขยายสูงจะมีสีแดง เยื่อที่ห่อหุ้มถุงก๊าซเป็นโปรตีน ภายในบรรจุก๊าซความดันประมาณ 1 บรรยากาศ เป็นเยื่อที่ยอมให้ก๊าซผ่านเข้าออกได้ แต่ไม่ยอมให้น้ำผ่านเข้า ภายในมีก๊าซออกซิเจนที่ใช้ในการหายใจและการลอยตัว ก๊าซแวคิวโอลในไซยาโนแบคทีเรียสามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่มตามหน้าที่ คือกลุ่มแรกมีก๊าซแวคิวโอลบางระยะในวัฏจักรชีวิต เช่น *Gloeotrichia ghosei* บางชนิดพบเฉพาะในฮอร์โมโกเนียซึ่งจะทำให้ลอยขึ้นมาเมื่อถูกปลดจากสายเดิม เป็นวิธีการแพร่กระจายพันธุ์โดยการสร้างทุ่นลอย กลุ่มที่สอง เช่น *Anabaena, Oscillatoria, Microcystis* เป็นต้น กลุ่มนี้จะใช้ก๊าซแวคิวโอลเป็นทุ่นลอย มีผลทำให้เกิดการบูม โดยลอยอยู่ใกล้ผิวน้ำเป็นจำนวนมาก และเมื่อมีแสงเกิดการสังเคราะห์แสงก๊าซแวคิวโอลจะลดลงและหายไป แต่บางชนิดเมื่ออยู่ในที่มืดก๊าซแวคิวโอลจะหายไปและปรากฏขึ้นเมื่อได้รับแสง (กาญจนภาชน์, 2527)

1.1.4 รงควัตถุและกระบวนการสังเคราะห์แสง ไซยาโนแบคทีเรียมีรงควัตถุที่สำคัญประกอบด้วย คลอโลฟิลล์เอ แคโรทินอยด์ และไฟโคบิลิน ซึ่งอยู่ในรูปของบิลิโปรตีน ทำหน้าที่ดูดซับแสงสีแดงหรือแสงสีน้ำเงินมาใช้ประโยชน์ รงควัตถุชนิดคลอโลฟิลล์เอจะจัดเรียงตัวอยู่ในชั้นของเมมเบรนที่เรียกว่าไทลาคอยด์ (thylakoid) ส่วนบริเวณเยื่อเมมเบรนของไทลาคอยด์ (thylakoid) จะมีอนุภาคที่เรียกว่า ไฟโคลิบิโซม (phicobilisome) เรียงเป็นแนวรอบๆ ซึ่งรงควัตถุที่พบมากในไฟโคบิลิโซม คือ ไฟโคบิลิน โดยเฉพาะไฟโคไซยานิน รงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงของไซยาโนแบคทีเรีย คือ คลอโลฟิลล์เอ ซึ่งมี 2 รูปแบบ คือ คลอโลฟิลล์เอที่รับแสงในช่วงคลื่นยาว คือ คลอโลฟิลล์เอ 680 ในระบบแสง 1 และคลอโลฟิลล์เอที่รับแสงในช่วงคลื่นสั้น คือ คลอโลฟิลล์เอ 670 ในระบบแสง 2

สำหรับแคโรทีนอยด์ได้แก่ บีตา-แทโรทีน และแคโรทีน เช่น ฟลาวิซิน และมีแซนโท-ฟิลล์ 2 ชนิด ที่พบในไซยาโนแบคทีเรีย คือ มิกโซแซนทิน และมิกโซแซนโทฟิลล์ นอกจากนี้ยังมีออสซิลลาแซนทิน ซินอะแซนทีน ลูตีน อะฟานิโซฟิลล์ และอะฟานิซิน

ส่วนไฟโคบิลินจะเป็นสารทีจำพวกโปรตีนละลายน้ำได้ ในไซยาโนแบคทีเรียจะพบ 4 ชนิด คือ ซี-ไฟโคไซยานิน ดูดแสงที่มีความยาวคลื่น 620 นาโนเมตรได้มากที่สุด แอลโล-

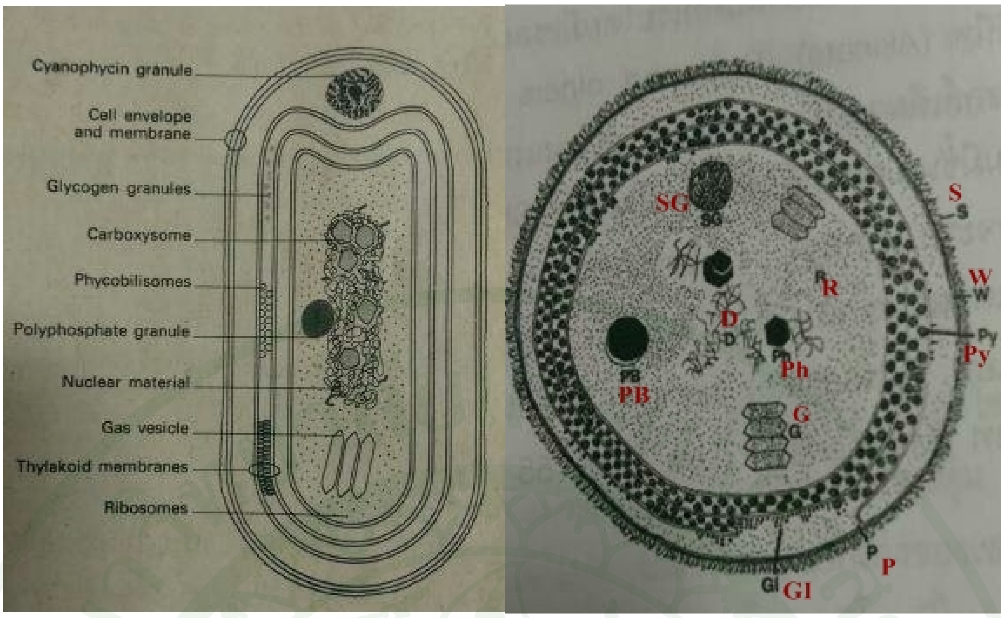
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ไฟโคไซยานิน ดูดแสงที่มีความยาวคลื่น 568 นาโนเมตร ได้มากที่สุด ซีไฟโคอิริทริน ดูดแสงที่มีความยาวคลื่น 565 นาโนเมตร ได้มากที่สุด และไฟโคอิริโทรไซยานิน ดูดแสงที่มีความยาวคลื่น 568นาโนเมตร ได้มากที่สุด ไฟโคบิลิโปรตีนของไซยาโนแบคทีเรียมีหน้าที่ 2 อย่างคือ ช่วยสะสมไนโตรเจนให้แก่เซลล์ และช่วยรวบรวมพลังงานแสง

1.1.5 อะคีนีท หรือสปอร์ ในระยะพักตัวที่ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ทนต่อความร้อน และการขาดแคลนอาหารที่ยาวนานได้ ซึ่งจะพบในไซยาโนแบคทีเรียบางชนิด อะคินีทเจริญมากจากเซลล์ปกติ รูปร่างเป็นทรงกลมหรือเซลล์ยาว มีสีน้ำตาลหรือเหลือง (จงจินต์, 2524) การงอกของอะคินีทจะทำให้ผนังหุ้มสปอร์แตกออกและฮอร์โมโกเนียจะเจริญต่อไป ส่วนอะคินีทจะสร้างสารเมือกเป็นผนังชั้นในหุ้มไว้ แล้วค่อยแตกออกมากผนังชั้นนอก

1.1.6 เฮเทอโรซิสต์ เป็นโครงสร้างที่สำคัญของไซยาโนแบคทีเรียแบบเส้นสาย ด้วยเหตุผล 2 ประการคือ เป็นตำแหน่งที่มีการขาดเป็นท่อนๆ เมื่อมีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศซึ่งเป็นบริเวณที่เหมาะสมต่อการเจริญต่อไป และเป็นตำแหน่งที่มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจน โดยภายในมีเอนไซม์ไนโตรจิเนส (nitrogrnase) ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญในกระบวนการ ไนตริฟิกเซชัน เฮเทอโรซิสต์เป็นเซลล์พิเศษที่แตกต่างจากเซลล์ปกติภายในมีลักษณะใส มีสีเขียวแกมเหลือง เนื่องจากมีคลอโรฟิลล์เอและแคโรทีนอยด์ การสร้างเฮเทอโรซิสต์มีอิทธิพลจากโมลิบดีนัมที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นและได้รับสารอาหารจากเซลล์ปกติที่อยู่ติดกันผ่านทางไซโทพลาสมิก คอนเนคชันที่ผ่านโพลาร์โนดูลเป็นทางส่งไนโตรเจนจากเฮเทอโรวิสต์ไปเซลล์ปกติ ในขณะเดียวกันเซลล์ปกติมีการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์และส่งไปยังเฮเทอโรซิสต์ รวมทั้งสารประกอบจากกระบวนการเมแทบอลิซึมที่จำเป็นไปยังเฮเทอโรซิสต์ด้วย (Lee, 1995)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



(ก) (ข)

ภาพที่ 9 โครงสร้างและองค์ประกอบของเซลล์ไซยาโนแบคทีเรีย (ก) เซลล์ไซยาโนแบคทีเรีย ปี 1981 (ข) เซลล์ไซยาโนแบคทีเรีย ปี 1995 S=ชีท/เมือก W=ผนังเซลล์ Py=ไฟโคบิลิโซม P=เยื่อหุ้มเซลล์ GI=ไกลโครเจน แกรนูล G=ก๊าซแวคิวโอล Ph=โพลีฮีดรอท บอดี R=ไรโบโซม D=สายใยดีเอ็นเอPB=โพลีฟอสเฟต บอดี SG=ไซยาโนไฟซีน แกรนูล

ที่มา: Norton (1981) และ Lee (1995)

1.2 การสืบพันธุ์

การสืบพันธ์ของไซยาโนแบคทีเรียเป็นการสืบพันธ์แบบไม่อาศัยเพศเท่านั้น บัญญัติ (2532) วันเพ็ญ (2549) โดยเป็นการแบ่งตัวเป็นส่วนใหญ่พบในพวกเซลล์เดียว ส่วนพวกที่เป็นเส้นสายจะมีการสืบพันธุ์แบการขาดเป็นท่อนมีการขาดหลุดเป็นส่วนๆ ส่วนที่แยกจากไตรโคม เรียกว่า ฮอร์โมโกเนียและบางชนิดมีการสืบพันธุ์โดยการสร้างสปอร์ ซึ่งจะมีผนังหนามาหุ้มเซลล์ที่แยกออกมาเรียกว่า ฮอร์โมสปอร์ (bold *et. al*, 1980) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1.2.1 การแบ่งตัว (fission) เริ่มจากมีการจำลองโครโมโซมเป็น 2 ส่วนแล้วแยกออกคนละขั้ว แบ่งจาก 1 ไป 2 ต่อมาผนังเซลล์คลอดเข้าหากันคั่นกลางเซลล์ทำให้เยื่อหุ้มคอดด้วย ผลสุดท้ายเกิดเป็นผนังกั้นเซลล์แยกออกจากกันเมื่อสิ้นสุดการแบ่งเซลล์จะมีการสร้างผนังเซลล์ใหม่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ล้อมรอบเซลล์ลูกทางด้านในของผนังเซลล์แม่เดิม พวกที่อยู่เป็นกลุ่มเช่น *Microcystis* และ *Merismopedia* ส่วนพวกที่เป็นเส้นสายเช่น *Oscillatoria*, *Anabaena* และ *Nostoc* เป็นต้น

1.2.2 การสร้างฮอร์โมโกเนีย หรือฮอร์โมโกน (hormogonia or hormogones) เป็นสายสั้นๆ ลักษณะเหมือนสายเดิมทั้งหมดซึ่งเป็นชิ้นส่วนไตรโคมที่ถอดออกจากสายพ่อแม่เดิมแล้วเคลื่อนที่ออกจากสายเดิมโดยการลื่นไถล พวกที่เป็นสายง่ายๆ คือ *Oscillatoria* สายที่ยาวจะมีบางเซลล์ที่สลายไป หรือเซลล์ที่ตายและมีเซพาเรชันดิสก์ หรือเนไครเดีย ซึ่งเป็นปลายสุดของฮอร์โมโกเนียที่อยู่ติดกับเซลล์ที่ตายทั้งสองด้านจะโค้งลง ถ้าเป็นพวกที่สร้างเฮเทอโรซิสต์ การขาดของฮอร์โมโกเนียจะเกิดขึ้นตรงรอยต่อระหว่างเฮเทอโรซิสต์กับเซลล์ปกติที่ติดกัน

1.2.3 การสร้างสปอร์ (spore formation) ไซยาโนแบคทีเรียมีการสร้างสปอร์แบบไม่เคลื่อนที่ ได้แก่การสร้างเอกโซสปอร์ หรือการแตกหน่อ เช่น *Chamaesiphon* บางชนิดสร้างเอนโด-สปอร์มีการแบ่งเซลล์ได้สปอร์จำนวนมาก

1.3 อนุกรมวิธานของไซยาโนแบคทีเรีย

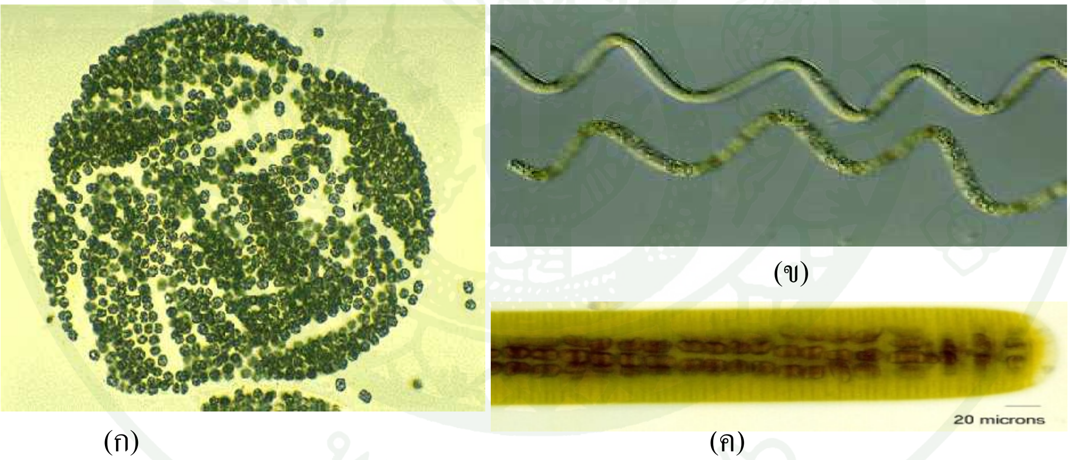
ไซยาโนแบคทีเรียจัดอยู่ในดิวิชัน cyanophyta หรืออาจจะมีชื่อเรียกเป็นดิวิชันอื่น เช่น myxophyta, myxophycophyta, cyanochloronta และ cyanophycophyta (Bold and Wynne, 1985) แต่ผู้เชี่ยวชาญทางแบคทีเรียจะเรียกว่า ไซยาโนแบคทีเรีย และจัดไว้ใน class schizophyceae อยู่ใน division schizomycophyta ซึ่งเป็นกลุ่มเดียวกับแบคทีเรียทั่วๆไป ทั้งนี้เพราะมีโครงสร้างของนิวเคลียสคล้ายคลึงกับนิวเคลียสของแบคทีเรีย และบางชนิดยังมีคุณสมบัติในการตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้เช่นเดียวกับแบคทีเรียที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้ นอกจากนั้นยังมีคุณสมบัติทางชีวเคมีคล้ายคลึงกับแบคทีเรียด้วย ในระดับของจีนัสและสปีชีส์นั้นจะอาศัยจากลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Rippka, 1988) โดยพิจารณาจากลักษณะการเจริญเติบโต เป็นเซลล์เดี่ยว รวมกันเป็นกลุ่มหรือเรียงตัวกันอยู่เป็นเส้นสาย การมีลักษณะโครงสร้างที่เป็นเส้นสาย และจากลักษณะทางสัณฐานวิทยา สามารถแบ่งไซยาโนแบคทีเรียได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

กลุ่มแรกกลุ่มที่ไม่เป็นเส้นสาย (Non-filamentous form หรือ unicellular cyanobacteria) ส่วนใหญ่มีรูปร่างเป็นทรงกลม (coccoid form) พบทั้งที่เป็นเซลล์เดี่ยว และอยู่กันเป็นกลุ่มแบบ palmelloid colonies ที่มีเมือกหุ้มอยู่ (firm mucilaginous envelopes) มีการแบ่งตัวจาก1 เป็น 2 จาก 2 เป็น 3 (amitotic) อาจจะอยู่เป็นเซลล์เดี่ยวๆ เช่น *Chroococcus* หรืออาจจะอยู่รวมกันเป็นโคโลนี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แบบพาล์เมลลา เช่น *Microcystis* sp., *Merismopedia* sp., *Eucapsis* sp. และ *Anacystis* sp. เป็นต้น เซลล์ของพวกนี้มีรูปร่างต่างๆ กัน เช่น กลม รูปไข่ ทรงกระบอก หรือรูปไข่แบบแหลมหัวแหลมที่แน่นอนก็ได้

ส่วนในกลุ่มที่สองคือกลุ่มที่สองมีรูปร่างเป็นเส้นสาย (filamentous form) เซลล์จะเรียงต่อกันเป็นเส้นสายเรียกว่า ตรัยโคม (trichome) กลุ่มเส้นสายนี้อาจจะตรงและเรียบไม่มีการแตกแขนง มีเซลล์ชนิดเดียวกันมาเรียงต่อกันเรียกว่า homocystous forms เช่น *Oscillatoria* sp. และ *Lyngbya* sp. เป็นต้น (ภาพที่ 10) และอีกกลุ่มเส้นสายที่มีมากกว่า 1 มาเรียงต่อกัน ซึ่งมีหนังเซลล์หนา 2 ชั้น ชั้นนอกเป็น polysaccharide ส่วนชั้นในเป็น glycolipid เพื่อจำกัดการเข้าของออกซิเจนโดยเซลล์ปกติและมีเฮเทอโรซิสต์มาเรียงสลับหรืออยู่ที่ปลายสุดของตรัยโคม เรียกว่า *heterocystous forms* เช่น *Nostoc* sp.และ *Anabaena* sp.เป็นต้น บางชนิดเส้นสายนั้นอาจจะมีปลายโค้งงอ หรือบิดเป็นเกลียว เช่น *Arthrospira* sp. และ *Spirulina* sp. บางชนิดมีลักษณะเป็น tube-like ที่มีเมือกหุ้ม (mucilaginous sheath) ได้แก่ *Lyngbya* sp. (ยุวดี, 2549)



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 10 ลักษณะเซลล์ของไซยาโนแบคทีเรียกลุ่มไม่เป็นเส้นสายและกลุ่มเส้นสาย
(ก) *Microcystis* sp. (ข) *Spirulina* sp. (ค) *Oscillatoria* sp.

ที่มา: Purdue University and Wichita State University (1995)

อย่างไรก็ตามการจัดจำแนกชนิดของไซยาโนแบคทีเรียโดยอาศัยลักษณะทางสัณฐานวิทยาในหลายๆ จีนัสที่มีความคล้ายคลึงกันมาก เช่น *Phormidium* sp., *Oscillatoria* sp. และ *Lyngbya* sp. ยังมีปัญหาอย่างมาก และจากความก้าวหน้าทางด้านเทคนิคทางอณูชีววิทยาในปัจจุบัน จึงทำให้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สามารถศึกษาได้ถึงลักษณะทางพันธุกรรมซึ่งจะใช้เป็นข้อมูลในการจัดจำแนกร่วมกับการใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

Rippka *et al.* (1979) ได้จัดจำแนกไซยาโนแบคทีเรียจากลักษณะทางสัณฐานวิทยา รูปแบบการสืบพันธ์และลักษณะโคโลนี ลักษณะทางนิเวศวิทยาและแหล่งที่พบโดยแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มคือ

กลุ่มที่ 1 Chroococcales เป็นเซลล์เดี่ยว รูปร่างแท่นหรือกลมที่มีการเพิ่มจำนวนโดยการแบ่งตัวจาก 1 เป็น 2 หรือ การแตกหน่อ

กลุ่มที่ 2 Pleurocapsales เป็นเซลล์เดี่ยว รูปร่างแท่งหรือกลมที่มีการเพิ่มจำนวนโดยการแบ่งตัวจาก 1 เป็นหลายเซลล์ โดยเซลล์ที่สืบพันธ์จะเรียกว่าเบโอไวต์ (baeocyte)

กลุ่มที่ 3 Oscillatoriales เป็นเส้นสาย ที่มีการเพิ่มจำนวนโดยการแบ่งตัวจาก 1 เป็น 2 ในระนาบเดียว ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเซลล์ไปเป็นเฮทเทอโรซิสต์หรือ อะคินีท

กลุ่มที่ 4 Nostocales เป็นเส้นสาย ที่มีการเพิ่มจำนวนโดยการแบ่งตัวจาก 1 เป็น 2 ในระนาบเดียว มีการเปลี่ยนแปลงเซลล์ไปเป็นเฮทเทอโรซิสต์หรือ อะคินีท

กลุ่มที่ 5 Stigonematales เป็นเส้นสาย ที่มีการเพิ่มจำนวนโดยการแบ่งตัว ในหลายระนาบทำให้ได้เส้นสายที่แตกกิ่งก้านอย่างแท้จริง และมีการเปลี่ยนแปลงเซลล์ไปทำหน้าที่เฉพาะอย่าง

ระบบของ Anagnostidis and Komarek (1988); Komarek and Anagnostidis (1989); Anagnostidis and Komarek (1990); Komarek and Anagnostidis (1999)ได้จัดจำแนกไซยาโนแบคทีเรียใหม่โดยแบ่งออกเป็น 4 Order คือ

1) Order Chroococcales เป็นพวกเซลล์เดียว โดยเซลล์อาจจะอยู่เดี่ยวๆ หรือเป็นโคโลนีสืบพันธุ์โดยวิธีการแบ่งเซลล์

2) Order Oscillatoriales มีลักษณะเป็นเส้นสาย อาจจะเป็นเส้นสายที่ไม่มีแตกแขนงหรือแตกแขนงแบบไม่แท้จริง บางชนิดมีเมือกหุ้ม เซลล์มีรูปร่างแบบทรงกระบอก ไม่มีการสร้าง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เฮเทอโรซิสต์ (ทำหน้าที่ตรึงไนโตรเจน) หรืออะคินีท (เป็นเซลล์ในระยะฟักตัว) สืบพันธุ์โดยการใช้วิธีขาดเป็นท่อนๆ

3) Order Nostocales มีลักษณะเป็นเส้นสายไม่แตกแขนง มีชีทหุ้มหนาหรือบางแล้วแต่ชนิด เซลล์มีรูปร่างกลม หรือเหลี่ยมเล็กน้อยแล้วป่องตรงกลาง บางชนิดเป็นแบบทรงกระบอก สร้างอะคินีท มีเฮเทโรซิสต์ ที่สามารถงอกออกเป็นเส้นสายใหม่ได้อีกด้วย

4) Order Stigonematales มีลักษณะเป็นเส้นสายที่แตกแขนงได้หลายแบบ มีทั้งแตกแขนงแท้จริงและไม่แท้จริง และแต่ละแบบจะมีการแตกแขนงหลายทิศทาง เซลล์ที่ประกอบด้วยเส้นสายนั้นอาจประกอบด้วยเซลล์แถวเดียว 2 แถว หรือมากกว่า แต่แขนงที่แตกออกไปมีเป็นเซลล์แถวเดียว แต่อาจจะมีมากกว่าหนึ่งแถวก็ได้ เมือก/ชีทที่หุ้มมักมีสีเหลือง หรือน้ำตาล มีการสร้างเฮเทอโรซิสต์ แต่ไม่พบว่ามีการสร้างอะคินีท สืบพันธุ์โดยการขาดออกเป็นท่อน

2. ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของไซยาโนแบคทีเรีย

2.1 ปัจจัยทางกายภาพ

ปัจจัยทางกายภาพที่มีผลต่อการเจริญของไซยาโนแบคทีเรียที่สำคัญได้แก่ อุณหภูมิ ความเป็นกรดด่าง ความชื้น แสง ความขุ่น (ธีรศักดิ์ 2556) และอื่นๆดังนี้

2.1.1 อุณหภูมิ (temperature) ไซยาโนแบคทีเรียสามารถเจริญในทุกช่วงอุณหภูมิ อย่างในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิต่ำมากบริเวณขั้วโลก หรือพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูงบริเวณน้ำพุร้อนก็สามารถพบได้ โดย อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไซยาโนแบคทีเรียอยู่ในช่วง 30-35 องศาเซลเซียส (ธงชัย, 2535) Roger and Kulasoorya (1980) กล่าวว่าอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อชีวมวล (biomass) และความสามารถในการให้ผลผลิต (productivity) ส่วนอุณหภูมิน้ำที่เหมาะสมกับการเจริญของ *Microsytis aeruginosa* อยู่ที่อุณหภูมิ 23.5-29.5 องศาเซลเซียส (Liping *et. al*., 2013)

2.1.2 ความเป็นกรดด่าง Ruschel and Vose (1984) กล่าวว่าไซยาโนแบคทีเรียเจริญเติบโตได้ดีในดินที่เป็นกลางจนถึงเป็นด่าง Venkataraman (1981) กล่าวว่า pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 5.5-8.5 เมื่อทดลองในดินนาข้าวที่มีไนโตรเจนในดินต่ำจะพบความสัมพันธ์ทางบวกระหว่างความเป็นกรดด่างของน้ำ และปริมาณไซยาโนแบคทีเรีย ถ้ามีความเป็นกรดด่างสูง เช่นการเติมปูน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จะเพิ่มการเจริญเติบโตของไซยาโนแบคทีเรีย (Rogerand, 1980) อย่างไรก็ตามก็พบสายพันธุ์ต่างๆ ของไซยาโนแบคทีเรียในดินที่มีความเป็นกรดด่าง ช่วง5-6 (Durrel, 1964) แต่การเจริญเติบโตของไซยาโนแบคทีเรียจะดีที่สุดถ้า pH เป็นกลางหรือใกล้กลาง (6.5 ถึง 7.5) (Okuda and Yamaguchi, 1952) และจากการศึกษาของสมชาย (2551) พบว่า *Oscillatoria* จะเจริญได้ดีที่ความเป็นกรดด่าง 6-9 และ แต่จะเจริญได้ดีที่สุดที่ความเป็นกรดด่างเท่ากับ 9 เช่นเดียวกับ *Microcystis* ที่เจริญได้ดีที่ความเป็นกรดด่าง 6-9 แต่จะเจริญได้ดีที่สุดที่ 7.5

2.1.3 ความชื้น ไซยาโนแบคทีเรียมีความทนทานต่อความแห้งแล้งได้สูง Materasi and Balloni (1965) รายงานว่าพบไซยาโนแบคทีเรียเพียงร้อยละ 30 ในดินนาของประเทศอิตาลีที่ตรึงไนโตรเจนได้ ส่วนในประเทศเซเนกัลซึ่งมีช่วงแห้งแล้งนานถึง 8 เดือนยังสามารถพบไซยาโน-แบคทีเรีย 95 เปอร์เซ็นต์ก่อนสิ้นฤดูแล้ง พื้นที่ลุ่มในอินเดียที่มีความชื้นสูงจะมีสาหร่ายสีเขียวอยู่มาก แต่เมื่อความชื้นที่เหมาะสมจะมีไซยาโนแบคทีเรียมากตามมาและทนทานได้นานต่อสภาพความแห้งแล้งในนาข้าวโดยจะพบ *Cylindrospermum* sp. มาก ซึ่งสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่แห้งแล้งได้ดีเมื่อสิ้นสุดฤดูปลูกข้าว ในญี่ปุ่นก็มีรายงานว่าพบไซยาโนแบคทีเรียในปริมาณสูงในดินที่มีสภาพน้ำขังตลอดไป

2.1.4 แสง เป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญของไซยาโนแบคทีเรียเนื่องจากจะช่วยเร่งการแบ่งเซลล์ และเพื่อการเจริญเติบโต (Alam *et. al., 2001*) ปกติจะเจริญอยู่ในดินความลึกไม่เกิน0.5 เซนติเมตร หรือในพื้นที่ที่มีน้ำขัง ความเข้มของแสงจะเปลี่ยนแปลงไปขึ้นกับ ฤดูกาล พืชที่เจริญปกคลุมอยู่ ตลอดจนความขุ่นของน้ำในนาข้าวจะพบไซยาโนแบคทีเรียลอยอยู่บนผิวน้ำ หรืออยู่รวมกันเป็นกลุ่มในเวลากลางวัน เนื่องมาจากการเกิดก๊าซออกซิเจนจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของไซยาโนแบคทีเรียเอง จุลินทรีย์ชนิดนี้มีความทนทานต่อแสงได้แตกต่างกันแล้วแต่ชนิดและสายพันธุ์(ธงชัย, 2546) นอกจากนี้แสงจะเป็นตัวคัดเลือกชนิดของไซยาโนแบคทีเรีย (Venkataraman, 1981) Ruschel and Vose (1984) กล่าวว่าความเข้มแสง (light intensity) เป็นปัจจัยภูมิอากาศ (climatic factor) ที่สำคัญเนื่องจากไซยาโนแบคทีเรียจะไวต่อความเข้มแสงสูง

2.1.5 ความขุ่นของน้ำ ถ้าน้ำขุ่นมากมีผลให้แสงผ่านน้ำได้น้อยลง จึงอาจพบไซยาโนแบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจน ในบางครั้งฝนอาจอาจทำ ให้เกิดการคลุกเคล้ากันระหว่างไซยาโนแบคทีเรียและดิน ทำให้กิจกรรมการตรึงไนโตรเจนของไซยาโนแบคทีเรียลดลงเกือบทั้งหมดได้ (ธงชัย, 2546)

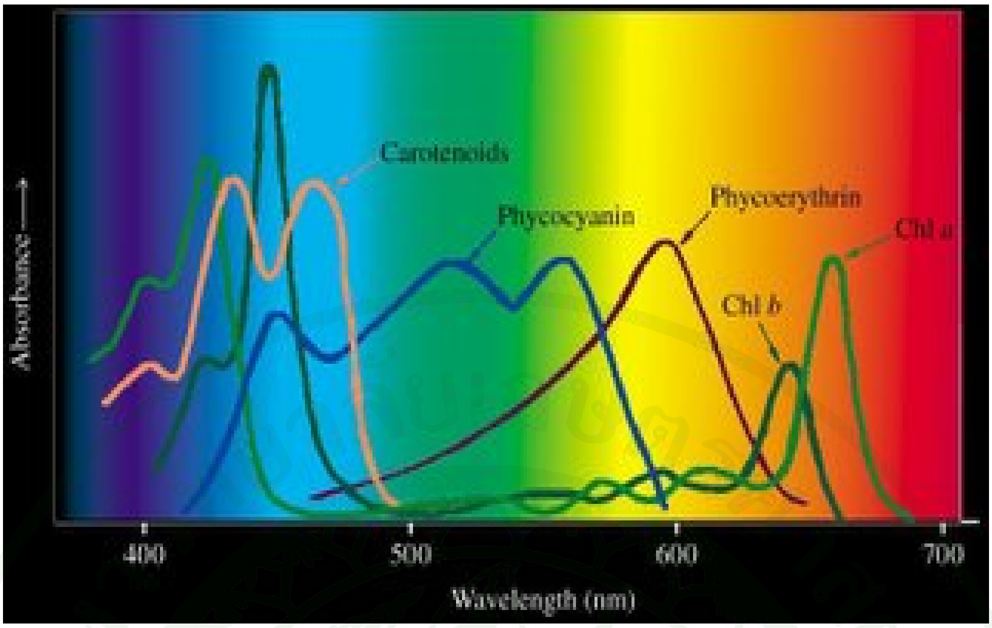
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.1.6 ความเค็ม ความเค็มเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของไซยาโนแบคทีเรีย เนื่องจากมีผลทำให้ความสมดุลของอิออนภายในเซลล์ผิดปกติและส่งผลไปยับยั้งการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ ลดอัตราตรึงไนโตรเจนมาใช้และการทำงานของเอนไซม์ alkaline phosphatas (herbst Blinn, 1998; Fu and Bell, 2003) รวมทั้งลดการเกิด nitrogenase activity (Rai *et. al.*, 2001) ใน *Anabaena* sp. นอกจากนี้ยังพบว่าเกลือโพแทสเซียมความเข้มข้น 5 มิลลิโมล สามารถที่จะยับยั้งการเจริญของ *Microcystis* ได้ (Parker *et. al.*, 1997)

2.1.7 ลม กรณีที่ไม่มีสิ่งกีดขวางหรือต้นข้าวบังกระแสลมเอาไว้ ลมก็อาจจะพัดเอาไซยาโนแบคทีเรียไปอยู่รวมกัน บริเวณขอบบ่อหรือแหล่งน้ำทำให้เห็นเป็นแผ่น (ธงชัย, 2546)

จากปัจจัยทางกายภาพโดยเฉพาะแสงที่มีความสำคัญต่อไซยาโนแบคทีเรีย เนื่องจากไซยาโนแบคทีเรียมีความพิเศษแตกต่างจากสาหร่ายชนิดอื่นๆ คือมีรงควัตถุที่สามารถดูดกลืนแสงอาทิตย์ในแต่ช่วงคลื่นและทำให้สามารถเปลี่ยนสีได้โดยการเปลี่ยนสีขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นแสง (wavelength) และความเข้มแสง (intensity) โดยในปี 1902 Gaidukov ได้ตั้งสมมติฐานที่เรียกว่า Gaidukov phenomenon อธิบายว่าไซยาโนแบคทีเรียสามารถเปลี่ยนสีได้เมื่อเลี้ยงในที่ที่มีแสงสีต่างๆกันทำให้สร้างรงควัตถุที่แตกต่างกันและมีปริมาณมากน้อยแตกต่างกันด้วย โดย Gaidukov ได้ใช้ *Oscillatoria* sp. ทดลองให้แสงสีเขียว ซึ่งไซยาโนแบคทีเรียชนิดนี้จะมีสีแดง เพราะแสงสีเขียวไปกระตุ้นให้สร้างรงควัตถุสีแดงพวกไฟคิเออริธรินแต่ถ้าเลี้ยงในแสงสีแดงจะทำให้สาหร่ายมีสีน้ำเงินมากขึ้น เพราะแสงสีแดงกระตุ้นให้สร้างไฟโคไซยานิน ซึ่งเป็นรงควัตถุสีน้ำเงิน (ภาพที่ 11) เป็นต้น ส่วนอีกการทดลองหนึ่งให้ความเข้มข้น ของแสงต่างกันพบว่า ถ้าให้ความเข้มของแสงสูง สาหร่ายจะมีสีน้ำเงิน ซึ่งรงควัตถุในเซลล์ไซยาโนแบคทีเรียมีสามารถดูดกลืนแสงได้คือ คลอโรฟิลล์สามารถดูดกลืนแสงในช่วงคลื่นสีม่วงและสีน้ำเงิน 400-500 นาโนเมตร และสีแดง 500-600 นาโนเมตร ไฟโคไซยานินดูดกลืนในช่วงคลื่นสีเหลือง 550-615 นาโนเมตร แคโรทีนอยด์ดูดกลืนในช่วงคลื่นสีครามและน้ำเงินช่วง 450-500 นาโนเมตรซึ่งถ้าความเข้มข้นของแสงต่ำเซลล์จะเป็นสีแดง ตรงกับความจริงตามธรรมชาติที่ว่าไซยาโน-แบคทีเรียที่ขึ้นในระดับน้ำลึกๆ จะมีสีแดงหรือสีม่วง ส่วนที่ขึ้นอยู่ผิวหน้าน้ำหรือผิวดินจะมีสีน้ำเงินเข้ม การเปลี่ยนสีอีกประการหนึ่งของไซยาโนแบคทีเรียคาดว่าจะเกี่ยวกับการขาดไนโตรเจนพบว่าถ้าขาดสารอาหารชนิดนี้จะทำให้มีสีซีดลง หรือเป็นสีเหลือง แต่สำหรับไซยาโนแบคทีเรียที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากสิ่งแวดล้อมก็จะไม่พบกรณีดังกล่าว (ยุวดี, 2549)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 11 การดูดกลืนแสงของรงควัตถุแต่ละชนิดในเซลล์
ที่มา: Jason (2008)

2.2 ปัจจัยธาตุอาหาร

การเจริญของไซยาโนแบคทีเรียมีธาตุอาหารเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญโดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัสซึ่งในแหล่งน้ำธรรมชาติจะมีธาตุอาหารอยู่ และในบ่อบำบัดน้ำเสียก็เช่นกัน เนื่องจากน้ำเสียที่เข้ามาจะถูกย่อยสลายทำให้เกิดธาตุอาหารพวกสารอินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการเจริญของแพลก์ตอนพืช ไซยาโนแบคทีเรียแต่ละชนิด (Pillay, 1992)

2.2.1 ไนโตรเจน ปริมาณไนโตรเจนเป็นปัจจัยที่มีผลต่อกลไกทางสรีรวิทยาของไซยาโนแบคทีเรีย Saha (2003) พบว่าในสภาวะที่ขาดไนโตรเจนเป็นเวลานานจะทำให้ลักษณะเซลล์ของ *Oscillatoria* มีสีเหลืองและเซลล์จะแตกหักออกจากเส้นสายเป็นจำนวนมาก การเจริญจะลดลง 17 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสด นอกจากนี้ Saadoum *et. al.* (2001) ยังพบว่าปริมาณแอมโมเนียมีผลต่อการสังเคราะห์ปริมาณ grosmin โดย *Anabaena* จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแอมโมเนียเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันกับปริมาณไนเตรทจะมีผลทำให้ *Anabaena* เพิ่มขึ้นตามปริมาณไนเตรทด้วย

2.2.2 ฟอสฟอรัส ในช่วงที่ไซยาโนแบคทีเรียเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วจะทำให้ความเป็นกรด-ด่างของน้ำเพิ่มขึ้นมากกว่า 9 เป็นผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำเพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เนื่องจากสิ่งมีชีวิตถูกย่อยสลายและจะแตกตัวปล่อยฟอสฟอรัสสู่แหล่งน้ำ ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้การสังเคราะห์ปริมาณ geosmin เพิ่มขึ้น จากการศึกษาของ Yusoff *et. al.*(2001) พบว่า *Oscillatoria* เจริญได้ดีในน้ำที่สกัดจากตะกอนดินบ่อเลี้ยงกุ้ง และเมื่อนำไปวิเคราะห์พบว่ามีปริมาณฟอสเฟต 25.98 มิลลิกรัม/ลิตร และไนโตรเจน 65.45 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณมากพอต่อการเจริญของ *Oscillatoria*

ในช่วงที่ปริมาณฟอสเฟตในน้ำเพิ่มขึ้นแต่ปริมาณไนโตรเจนในน้ำไม่เปลี่ยนแปลง ทำให้อัตราส่วนไนโตรเจนกับฟอสฟอรัส (TN:TP ratio) มีอัตราส่วนที่ต่ำกว่า 29 ในช่วงที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของ *Oscillatoria* และ *Microcystis* ถ้าปริมาณฟอสเฟตลดลงจนอัตราส่วนไนโตรเจนกับฟอสเฟตมีอัตราส่วนมากกว่า 29 ก็จะทำให้การเจริญของไซยาโน-แบคทีเรียลดลงซึ่งอาจกล่าวได้ว่าอัตราส่วนระหว่างไนโตรเจนกับฟอสเฟตเป็นดัชนีบอกแนวโน้มการเจริญของ *Oscillatoria* และ *Microcystis* ในแหล่งน้ำที่มีธาตุอาหารอุดมสมบูรณ์ (Havens *et. al*., 2003; Xie *et. al*., 2003) ส่วนในสภาวะแหล่งน้ำที่พิจารณาถึงความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหาร Downing (1992) โดยมีอัตราส่วนระหว่างไนโตรเจนรวมและฟอสฟอรัสรวมซึ่งถ้าอัตราส่วนมีค่ามากกกว่า 17 ถือว่าแหล่งน้ำนั้นมีความอุดมสมบูรณ์น้อย (oligothophic) แต่ถ้าอัตราส่วนมีค่าน้อยกว่า 17 จะถือว่าแหล่งน้ำนั้นมีความอุดมสมบูรณ์ (euthophic) ซึ่งจะทำให้เกิดการเจริญของแพลงก์ตอนพืช ไซยาโนแบคทีเรีย และสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กเป็นจำนวนมาก

2.2.3 แร่ธาตุอื่นๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญของไซยาโนแบคทีเรีย ได้แก่ แคลเซียม (Ca) การเติมแคลเซียมในรูปของปูนขาว ($CaCo_3$) ทำให้การเจริญเติบโตของไซยาโนแบคทีเรียดีขึ้น ทั้งนี้เพราะเป็นธาตุที่สำคัญและยังช่วยปรับความเป็นกรดด่างของดินให้สูงขึ้น ซึ่งเหมาะกับการเจริญของไซยาโนแบคทีเรีย นอกจากนี้ยังรวมถึงธาตุโพแทสเซียม (K) โซเดียม (Na) กำมะถัน (S) โคบอลท์ (Co) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) และอื่นๆ

ไซยาโนแบคทีเรียเมื่อได้รับปัจจัยการเจริญเพียงพอจะทำให้มีการเจริญและเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็วจากการศึกษาในห้องปฏิบัติการแบบปิดไซยาโนแบคทีเรียจะเจริญเติบโตโดยแบ่งเป็น 4 ระยะ (ภาพที่ 12) คือ

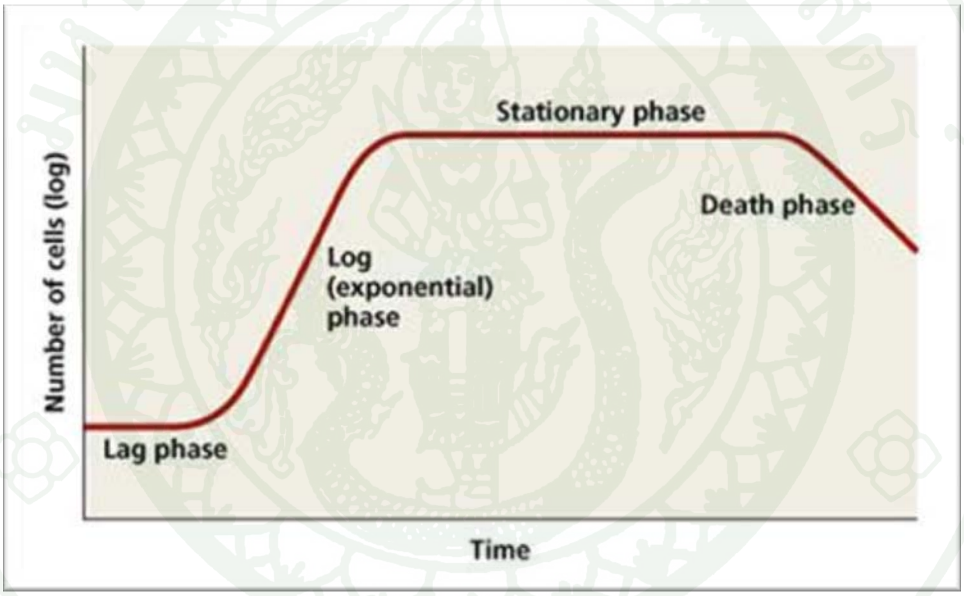
ระยะที่ 1 Lag phase เป็นระยะที่เริ่มทำ การเพาะเลี้ยงเชื้อในถังหมักในระยะนี้ไม่มีการเพิ่มจำนวนของเซลล์ เป็นระยะที่เซลล์กำ ลังปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระยะที่ 2 Exponential phase (log phase) เป็นระยะที่เซลล์มีการแบ่งตัวและเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ภายในถังเพาะเลี้ยงมีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านเคมี ชีวภาพและกายภาพ

ระยะที่ 3 Stationary phase เป็นระยะที่เซลล์ไม่มีการเพิ่มจำนวนแต่เซลล์ยังคงมีความต้องการพลังงานเพื่อการอยู่รอด ซึ่งระยะนี้พลังงานมีผลต่อการเจริญของเซลล์เป็นอย่างมาก

ระยะที่ 4 Death phase เป็นระยะที่เซลล์ที่มีชีวิตรอดเริ่มมีปริมาณลดลงเนื่องจากการขาดแคลนของพลังงาน หรือสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อการดำ รงชีพ



ภาพที่ 12 การเจริญของไซยาโนแบคทีเรียในการเพาะเลี้ยงแบบครั้งคราว
ที่มา: Richmond (1986)

3. ไซยาโนแบคทีเรียที่พบในระบบบำบัดน้ำเสีย

ไซยาโนแบคทีเรียที่มีมากกว่า 7,500 ชนิด จะแพร่กระจายอยู่ทั้งในน้ำจืด น้ำเค็มและในดิน เช่น *Anabaena, Nostoc, Calothrix, Cylindrospermum*, *Microcystis, Spirulina* และ *Oscillatoria* เป็นต้น ซึ่งในน้ำจืดไซยาโนแบคทีเรียสามารถเจริญได้ทั้งในน้ำธรรมชาติและในน้ำเสียซึ่งเป็นโดยเฉพาะในแหล่งที่มีปัจจัยในการเจริญ เช่น ธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และปัจจัยทาง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กายภาพต่างๆ เช่น อุณหภูมิ แสง ความชื้น ความเค็ม ความเป็นกรดด่าง เป็นต้น ไซยาโนแบคทีเรียสามารถเจริญได้ในสภาพแวดล้อมที่รุนแรงโดยจะมีทั้งที่เป็นเซลล์เดียวและแบบเส้นสาย ดังนี้

1) พวกเซลล์เดียวที่ไม่มีหนวดที่เรียกว่า คอคคอยด์ (coccoid form) ซึ่งพบทั้งที่เป็นเซลล์เดี่ยว (unicellular) กลุ่มเซลล์ (colony) และแบบพาลเมลลา (palmella form) พวกคอคคอยด์ จะมีรูปร่างได้หลายแบบตั้งแต่ กลม ทรงกระบอก กระสวย ฯลฯ การแบ่งเซลล์อาจจะแบ่งทิศทางเดียว หรือ 2-3 ทิศทาง อาจจะอยู่เป็นเซลล์เดียวเดี่ยวๆ เช่น *Chroococcus* หรืออาจจะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มเซลล์แบบพาลเมลลา เช่น *Merismopedia, Eucapsis, Anacystis* เป็นต้น ส่วนพวก *Coelosphaerium* และ *Gomphosphaeria* จะมีเซลล์เรียงกันเป็นชั้นๆ ในกลุ่มเซลล์รูปกลม

2) พวกที่เป็นเส้นสาย (filamentous form) เกิดจากเซลล์หลายเซลล์มาต่อกันจนเป็นรูปร่างเป็นเส้นยาวพวกที่เป็นเส้นสายส่วนของเซลล์ที่เรียงกันเป็นแถว เรียกว่า ตรัยโคม (trichome) ดังนั้นในแต่ละเส้นสายจึงประกอบไปด้วยตรัยโคมและชีทรวมกัน เส้นสายนี้อาจตรงและเรียบไม่มีการแตกแขนง เช่น *Oscillatoria*, *Lyngbya* บางชนิดอาจมีปลายโค้งงอ หรือบิดเป็นเกลียว เช่น *Arthrospira* เป็นต้น

ไซยาโนแบคทีเรียเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์วอเตอร์บูม ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่มีไซยาโนแบคทีเรียเจริญอย่างรวดเร็วส่วนใหญ่เป็นพวก *Oscillatoria* และ *spirulina* ซึ่งเป็นสาเหตุให้น้ำเน่าเสีย (บัญญัติ, 2532) โดยเบื้องต้นจะส่งผลต่อคุณภาพน้ำให้เปลี่ยนแปลงไป เช่น ลักษณะทางกายภาพเช่นสีของแหล่งน้ำผิดไปจากธรรมชาติกลายเป็นสีเขียว หรือสีเขียวปนน้ำเงินโดย ความขุ่นแหล่งน้ำมีความขุ่นมากขึ้นเนื่องจากมีปริมาณสารแขวนลอยในน้ำสูง เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ในฤดูหนาวต่อการเจริญของไซยาโนแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่ง โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี ประเทศไทย มีแผนการทดลอง อุปกรณ์และวิธีการดังนี้

1. แผนการทดลอง

1.1 ศึกษารวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้าง กระบวนการ และประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่งของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ 5 ปีย้อนหลังตั้งแต่ปี พ.ศ.2552–2556 โดยรวบรวมจากเอกสารเผยแพร่ รายงานประจำปี และงานวิจัยที่เกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่ง เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนการวิจัย

1.2 ศึกษาปัจจัยการเจริญของไซยาโนแบคทีเรีย โครงสร้าง และความสัมพันธ์ของไซยาโนแบคทีเรียที่มีผลต่อคุณภาพน้ำ จากเอกสารเผยแพร่ เอกสารงานวิจัย วารสาร บทความ ตำราเรียน และหนังสือต่างๆ

1.3 ศึกษาความสัมพันธ์ของรังสีดวงอาทิตย์ที่มีผลต่อการเจริญของไซยาโนแบคทีเรียโดยไซยาโนแบคทีเรียมีโครงสร้างที่คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และไซโคบิลินที่สามารถดูดจับรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงคลื่นต่างและสามารถสังเคราะห์แสงได้ จึงได้ทำการวางแผนและศึกษาอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ในฤดูหนาวต่อการเจริญของไซยาโนแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่ง และสำหรับการศึกษาครั้งนี้ได้มีการเก็บตัวอย่างน้ำ ไซยาโนแบคทีเรีย และรังสีดวงอาทิตย์ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้น

2. อุปกรณ์

2.1 อุปกรณ์ภาคสนาม

- ขวดเก็บตัวอย่างน้ำพลาสติกโพลีเอสทีลีน ขนาด 1 ลิตร
- ขวดเก็บตัวอย่างไซยาโนแบคทีเรีย ขนาด 250 มิลลิลิตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

- แพลงก์ตอนเน็ตขนาดตา 45 ไมโครเมตร
- กระบอกตวงขนาด 5 ลิตร
- กระดาษฟอร์ยห่อขวดตัวอย่างน้ำ
- เครื่อง DO meter ยี่ห้อ WTW รุ่น pulti 3410
- เครื่อง pH meter ยี่ห้อ WTW รุ่น pH 3210
- เครื่อง TDS meter ยี่ห้อ WTW รุ่น Cond 3210
- ฟอร์มาลีนเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์
- ปิเปตขนาด 10 มิลลิลิตร

2.2 เครื่องมือตรวจวัดปริมาณรังสีดวงอาทิตย์

- เครื่องวัดสเปกตรัมแสง (Spectroradiometer) ยี่ห้อ EKO รุ่น MS-700
- เครื่องวัดปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (Net radiometer) ยี่ห้อ Kipp&Zonen รุ่น CNR4

(ก)

(ข)

ภาพที่ 13 สถานีตรวจวัดและเครื่องมือตรวจวัดรังสีดวงอาทิตย์ในพื้นที่โครงการแหลมผักเบี้ยฯ
(ก) เครื่องวัดปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (Net radiometer) ยี่ห้อ Kipp&Zonen รุ่น CNR 4
(ข) เครื่องวัดสเปกตรัมแสง (Spectroradiometer) ยี่ห้อ EKO รุ่น MS-700

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3 อุปกรณ์และสารเคมีในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์

1) การวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอย; suspended solid (SS) ได้แก่

- กระดาษกรอง GF/C ขนาด 0.45 ไมครอน
- ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ
- โถทำแห้ง พร้อมสารดูดความชื้น
- เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- ปากคีบ
- เครื่องดูดสูญญากาศ
- ถ้วยอะลูมิเนียม ฟอยด์
- กระบอกตวง
- น้ำกลั่น

2) การวิเคราะห์ความสกปรกในรูปบีโอดี; Biochemical oxygen demand (BOD) ได้แก่

- ขวดบีโอดี ขนาด 300 มิลลิลิตร พร้อมจุกปิดสนิท
- ตู้เย็นควบคุมอุณหภูมิ
- ปิเปต
- กระบอกตวง
- ขวดรูปกรวย
- ขวดปรับปริมาตร
- บีกเกอร์
- ขวดเก็บสารละลาย
- น้ำกลั่น
- สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์
- สารลายแมกนีเซียมซัลเฟต
- สารละลายแคลเซียมคลอไรด์
- สารละลายเฟริคลิไรด์
- สารละลายแมงกานีสซัลเฟต
- สารละลายอัลคาไล-ไอ โอ ไดด์-เอ ไซด์
- กรดซัลฟูริกเข้มข้น
- น้ำแป้ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

- สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล
- สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัล
- สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต 0.025 นอร์มัล
- สารละลายโซเดียมซัลไฟล์ 0.025 นอร์มัล

3) การวิเคราะห์ทีเคเอ็น; Total Kjedahl Nitrogen (TKN) ได้แก่

- ขวดเคลดาห์ล ขนาด 800 มิลลิลิตร
- ชุดเครื่องมือสำหรับการย่อย
- ชุดเครื่องมือสำหรับทำการย่อยกลั่นแอมโมเนีย
- ชุดไตเตรท
- เม็ดกันเดือด
- กระบอกตวง
- น้ำกลั่น
- น้ำยาสำหรับย่อยสลาย
- สารละลายปรอทซัลเฟต
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์-โซเดียมไธโอซัลเฟต
- สารละลายพีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์

4) การวิเคราะห์แอมโมเนียม; Ammonium (NH_4^+) ได้แก่

- ฮอทเพลท
- ขวดรูปกรวย
- กระบอกตวง
- บิวเรต
- กรดกำมะถัน 0.02 นอร์มัล
- น้ำกลั่น

5) การวิเคราะห์ไนเตรท; Nitrate-Nitrogen (NO_3^-) ได้แก่

- เครื่องสเปคโทรโฟโตมิเตอร์
- เครื่องอังน้ำ (water barth)
- ที่วางหลอดทดลอง
- หลอดทดลองขนาดบรรจุ 50 มิลลิลิตร (reaction tube)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

- ปิเปต
- น้ำกลั่น
- สารละลายสต็อคไนเตรท
- สารละลายมาตรฐานไนเตรท
- สารละลายโซเดียมอาร์เซไนต์
- สารละลายบรูซีน-กรดซัลฟานิลิค
- สารละลายกรดซัลฟุริก
- สารละลายโซเดียมคลอไรด์

6) การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมด; Total Phosphorus (TP) ได้แก่
- เครื่องสเปคโทรโฟโตมิเตอร์
- ปิเปต
- ขวดรูปกรวย
- ดรอปเปอร์
- น้ำกลั่น
- น้ำยารวม
- กรดซัลฟุริค 5 นอร์มัล
- กรดแอสคอร์บิค
- สารละลายฟีนอล์ทาลีนอินดิเคเตอร์
- สารละลายแอนติโมนิลโพตัสเซียมตาร์เตรต
- สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต
- สารละลายสต็อคฟอสเฟต
- สารสะลายมาตรฐานฟอสเฟต

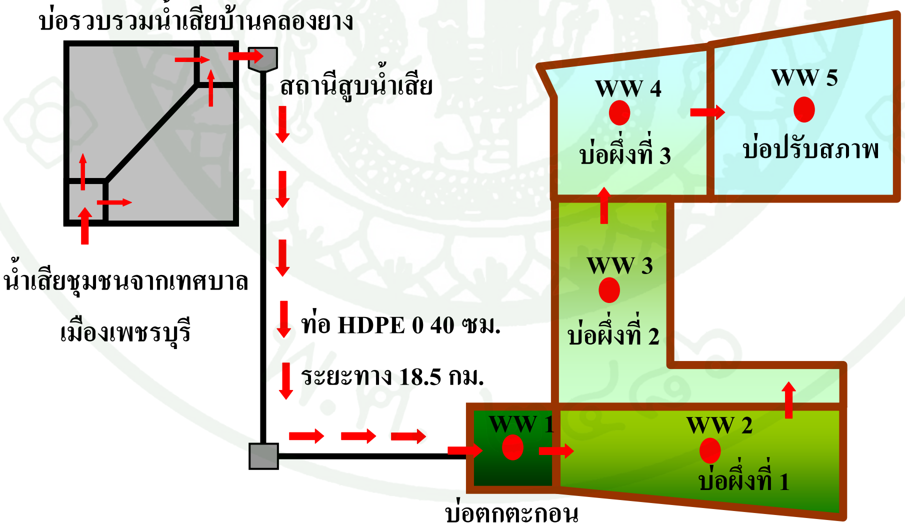
7) การวิเคราะห์ออร์โทฟอสเฟต; Orthophosphates (PO_4^{3-}) ได้แก่
- เครื่องสเปคโตโฟโตมิเตอร์
- เครื่องแก้วที่ล้างด้วยกรดและน้ำกลั่นจนสะอาด
- ปิเปต
- กรดซัลฟูริก 5 นอร์มัล
- กรดแอสคอร์บิค 0.1 โมลาร์
- สารละลายแอนติโนมิลโพตัสเซียมตาร์เตรต

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

- สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต
- น้ำยารวม (ซัลฟูริก 5 นอร์มัล+แอนติโนมิลโพตัสเซียมตาร์เตรต+แอมโมเนียมโมลิบเดต+แอสคอร์บิค 0.1 โมลาร์)
- สารละลายสต็อคฟอสเฟต
- สารละลายมาตรฐานฟอสเฟต

3. วิธีการ

3.1 กำหนดจุดและเก็บตัวอย่างน้ำโดยเก็บตัวอย่างน้ำจากระบบบ่อบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่งของโครงการแหลมผักเบี้ยฯ บริเวณกึ่งกลางบ่อจำนวน 5 บ่อ ซึ่งกำหนดสัญลักษณ์เป็น WW1-WW 5 เรียงลำดับตั้งแต่บ่อตกตะกอน บ่อผึ่งที่ 1 บ่อผึ่งที่ 2 บ่อผึ่งที่ 3 และบ่อปรับสภาพ ตามลำดับ (ภาพที่ 14) โดยใช้ขวดพลาสติกเก็บตัวอย่างน้ำโพลีเอทีลีน (polyethylene; PE) ขนาด 1 ลิตร ด้วยวิธีการจ้วงเก็บ (grap sampling) ที่ความลึก 30 เซนติเมตรจากผิวน้ำ ในช่วงเวลา 11.00-13.00 น. เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่คุณภาพน้ำในระบบบำบัดคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง (Pattamapitoon *et. al*, 2013) ทุก 2 วัน ตั้งแต่เดือนมกราคม-มีนาคม 2557



ภาพที่ 14 จุดเก็บตัวอย่างน้ำและไซยาโนแบคทีเรียบริเวณบ่อบำบัดน้ำเสียโครงการแหลมผักเบี้ยฯ

หมายเหตุ ● จุดเก็บตัวอย่างน้ำและไซยาโนแบคทีเรีย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.2 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทั้งทางกายภาพและเคมี แบ่งเป็น 2 ส่วน คือการตรวจวัดคุณภาพน้ำภาคสนามด้วยเครื่องมือตรวจวัดภาคสนาม และการตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการของโครงการแหลมผักเบี้ยฯ ตามวิธีมาตรฐานของ APHA AWWA และ WPCF (1998) (ตารางที่ 4)

3.3 กำหนดจุดเก็บและเก็บตัวอย่างไซยาโนแบคทีเรีย (ภาพที่ 14) เป็นจุดเดียวกับที่เก็บตัวอย่างน้ำ โดยเก็บตัวอย่างไซยาโนแบคทีเรียด้วยแพลงก์ตอนเน็ต (plankton net) ขนาดความกว้างของตา 40ไมครอนโดยตักน้ำตัวอย่างในบ่อ 20 ลิตรกรองผ่านถุงกรอง นำตัวอย่างที่อยู่ในบล็อกเกอร์ใส่ขวดเก็บตัวอย่างพลาสติกขนาด 250 มิลลิลิตร และเติมน้ำยาฟอร์มาลีนเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และแช่ในน้ำแข็งเพื่อรักษาตัวอย่าง และวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานของ ลัดดา และโสภณา (2546)

ตารางที่ 4 ดัชนีคุณภาพน้ำและวิธีการวิเคราะห์

ดัชนี	หน่วย	เครื่องมือและวิธีการ
Temperature	องศาเซลเซียส	Thermometer
pH	-	pH-meter
Dissolved oxygen (DO)	มิลลิกรัม/ลิตร	DO meter
Total dissolved solid (TDS)	มิลลิกรัม/ลิตร	Conductivity meter
Conductivity (EC)	ไมโครซีเมน/เซนติเมตร	Conductivity meter
Salinity (Sal)	มิลลิกรัม/ลิตร	Conductivity meter
suspended solid (SS)	มิลลิกรัม/ลิตร	Filter with GF/C, Dried at 103-105°C
Biochemical oxygen demand (BOD)	มิลลิกรัม/ลิตร	BOD incubation 20°C 5 day
Total nitrogen (TKN)	มิลลิกรัม/ลิตร	Kjeldahl method
Ammonium (NH_4^+)	มิลลิกรัม/ลิตร	Colorimetric method
Nitrate (NO_3^-)	มิลลิกรัม/ลิตร	Brucine Method
Total Phosphorus (TP)	มิลลิกรัม/ลิตร	Ascorbic Method
Phosphate (PO_4^{3-})	มิลลิกรัม/ลิตร	Colorimetric method

3.4 เก็บข้อมูลปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่แผ่เข้ามาในโลก (in come) จากสถานีตรวจวัดอากาศโครงการแหลมผักเบี้ยฯ ตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2556 ถึง มิถุนายน 2557 ซึ่งเครื่องตรวจวัดจะทำการตรวจวัดตลอด 24 ชั่วโมง ในช่วงความยาวคลื่น 300-1,140 นาโนเมตรปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตรวจวัดได้จะนำมารวมกันเป็นปริมาณรังสีรายวัน และแยกตามความยาวคลื่นตั้งแต่ 300-750 นาโนเมตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ซึ่งเป็นรังสีดวงอาทิตย์ช่วงคลื่นสั้นที่มีผลต่อกิจกรรมต่างๆของสิ่งมีชีวิตโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับสิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์แสงได้ที่เป็นผู้ผลิตขั้นต้น จากนั้นนำปริมาณรังสีดวงอาทิตย์รายวันแต่ละช่วงความยาวคลื่นมาเฉลี่ยเป็นรายเดือนและรายฤดูกาล

4. สถานที่

ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่ง และสถานีตรวจวัดอากาศโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

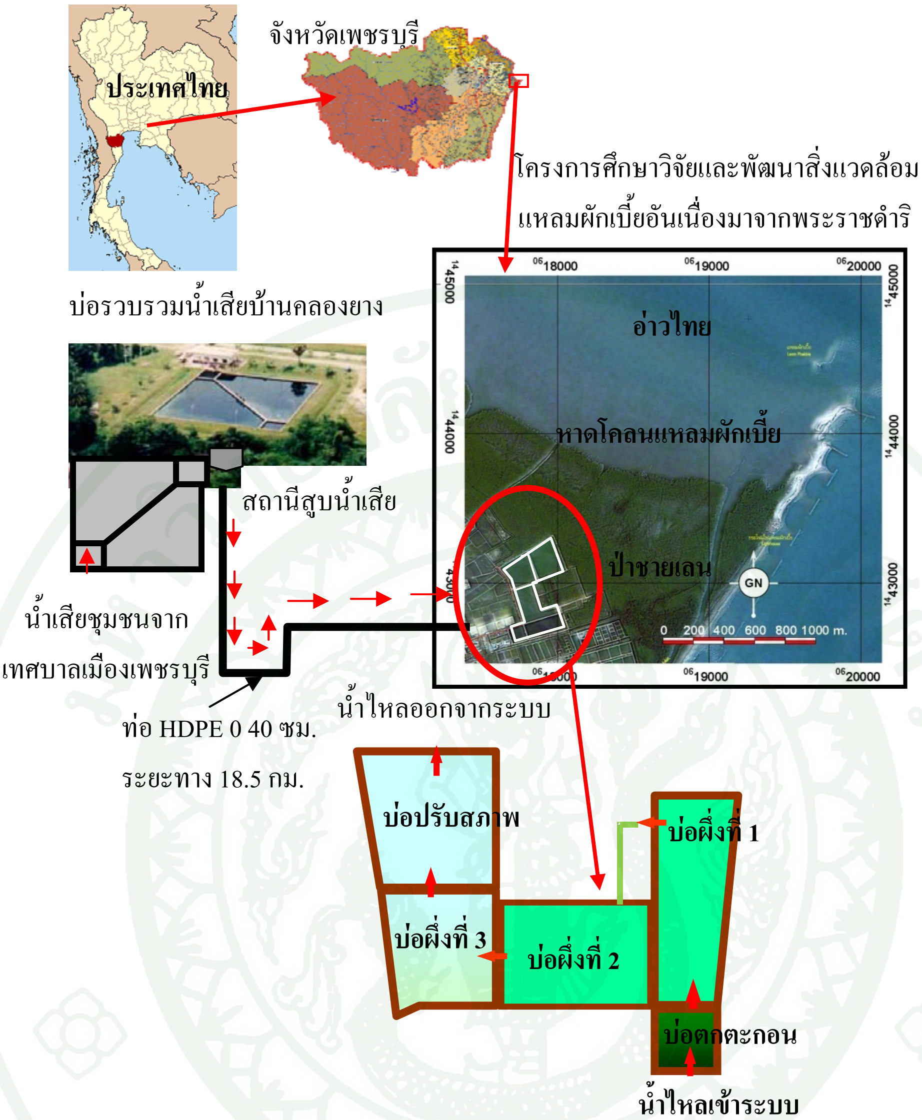
ผลและวิจารณ์

1. ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่งโครงการแหลมผักเบี้ยฯ

1.1 การจัดการน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่งโครงการแหลมผักเบี้ยฯ

ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่งของโครงการแหลมผักเบี้ยฯ มีโครงสร้างเป็นบ่อดินเหนียวอัดแน่น เรียงต่อกัน 5 บ่อแบบอนุกรม ได้แก่ บ่อตกตะกอน บ่อผึ่งที่ 1 บ่อผึ่งที่ 2 บ่อผึ่งที่3 และบ่อปรับสภาพ บ่อสามารถรองรับน้ำเสียชุมชนได้ 255,048.04 ลูกบาศก์เมตร บนพื้นที่ 147,860.91 ตารางเมตร พื้นที่สร้างบ่อบำบัดเป็นพื้นที่โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปลูกสร้าง ไม่มีต้นไม้ทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็กมาบดบังแสงอาทิตย์ แม้กระทั้งขอบบ่อก็สร้างให้สามารถรับแสงอาทิตย์ได้เมื่อเวลาพระอาทิตย์ขึ้นและตกโดยทำให้มีแนวลาดเท 45 องศา ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่งนี้ทำหน้าที่บำบัดน้ำเสียชุมชนของเทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี ซึ่งเทศบาลเมืองเพชรบุรีมีจำนวนประชากรตามทะเบียนราษฎร์ประมาณ 30,000 คน และประชากรแฝงเช่นนักท่องเที่ยว พ่อค้า แรงงานต่างด้าวอีก ประมาณ 10,000 คน ผลิตน้ำเสียประมาณ 7,200 ลูกบาศก์เมตร/วัน น้ำเสียจะถูกรวบรวมโดยเทศบาลเมืองเพชรบุรีเพื่อมาบำบัด ในการรวบรวมของเทศบาลไม่สามารถรวบรวมน้ำเสียที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมดซึ่งน้ำเสียเหล่านี้จะไหลผ่านท่อปิดมารวมกันที่สถานีรวบรวมน้ำเสียชุมชนขนาด 10,000 ตารางเมตร ที่บ้านคลองยาง ตำบลนาวุ้ง อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี ก่อนจะถูกสูบผ่านท่อ HDEP ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร ในระบบปิด (closed system) ระยะทาง 18.5 กิโลเมตร ปริมาตร 6,167 ลูกบาศก์เมตร/วัน เข้าสู่บำบัดในระบบบ่อบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่งในโครงการฯซึ่งเป็นระบบเปิด (open system) โดยจะได้รับอิทธิพลจากปัจจัยภายนอกอยู่ตลอดเวลา เช่น ฝน แสงแดด ลม ละอองเกลือ และฝุ่น เป็นต้น น้ำที่สูบผ่านท่อมาจะไหลเข้าบ่อตกตะกอน และถูกบำบัดด้วยกลไกธรรมชาติตามหลักทางฟิสิกส์ ด้วยแรงโน้มถ่วงโลกในการตกตะกอนสิ่งปนเปื้อนหรือสารอินทรีย์ต่างๆ และน้ำที่ใสจะไหลล้นผ่านสันขอบบ่อคอนกรีตตามแรงโน้มถ่วงโลกผ่านไปยังบ่อผึ่งที่ 1 บ่อผึ่งที่ 2 บ่อผึ่งที่ 3 โดยในบ่อนี้น้ำเสียที่เข้ามาจะถูกบำบัดด้วยกระบวนการเทอร์โมไซฟอน และกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืชซึ่งเป็นการเติมออกซิเจนให้กับแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ และน้ำที่ผ่านการบำบัดจากบ่อผึ่งจะไหลเข้าบ่อปรับสภาพ ไหลไปยังป่าชายเลนและออกทะเลอ่าวไทยต่อไป (ภาพที่ 15)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 15 ที่ตั้งและการดำเนินระบบในการจัดการน้ำเสียของโครงการแหลมผักเบี้ยฯ

1.2 คุณภาพน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีที่ถูกสูบจากสถานีรวบรวมน้ำเสียบ้าน-คลองยางเข้าสู่บ่อตกตะกอนโครงการแหลมผักเบี้ยฯ

จากการรวบรวมและศึกษาคุณภาพน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่งของโครงการแหลมผักเบี้ยฯ ย้อนหลัง 5 ปี (พ.ศ. 2552-2556) พบว่าระบบมีการดำเนินการบำบัดน้ำเสียชุมชน และมีช่วงปิดระบบบำบัด 2 ครั้ง คือ ครั้งแรกปิดเพื่อขุดลอกตะกอนและปรับปรุงระบบในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2555 ครั้งที่ 2 ปิดเพื่อปรับปรุงระบบในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2556 ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2556 สำหรับการบำบัดน้ำเสีย 5 ปีย้อนหลัง ได้เฉลี่ยรายเดือนตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม โดยน้ำเสียชุมชนที่ถูกรวบรวม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มายังบ่อรวบรวมบ้านคลองยาง พบว่า มีค่าความสกปรกในรูปบีโอดีเฉลี่ยสูงถึง 57.2มิลลิกรัม/ลิตร และมีออกซิเจนละลายน้ำต่ำมากอยู่ที่ 0.7 มิลลิกรัม/ลิตร เช่นเดียวกับปริมาณธาตุอาหารที่มีค่าเฉลี่ยสูง ได้แก่ ทีเคเอ็น 13.4 มิลลิกรัม/ลิตร แอมโมเนีย 3.1 มิลลิกรัม/ลิตร ไนเตรท 0.8 มิลลิกรัม/ลิตร ฟอสฟอรัส 2.2 มิลลิกรัม/ลิตร และออร์โทฟอสเฟต 2.02 มิลลิกรัม/ลิตร และเมื่อน้ำเสียชุมชนถูกส่งผ่านท่อ HDEP ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร ระยะทาง 18.5 กิโลเมตร เป็นเวลา5 ชั่วโมง ซึ่งเกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียแบบไม่ใช่ออกซิเจน (satreethai *et. al*, 2013) ส่งผลให้น้ำเสียที่เข้าบ่อตกตะกอนมีค่าความสกปรกในรูปบีโอดีลดลงเฉลี่ยเหลือเพียง 39.4 มิลลิกรัม/ลิตร โดยตลอดทั้งปีความสกปรกในรูปบีโอดีที่เข้ามาในระบบบ่อไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P=0.189) เช่นเดียวกับไนเตรทที่เข้ามาในระบบตลอดทุกฤดูกาลเฉลี่ย 5 ปีไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P=0.653) ส่วนทีเคเอ็นและแอมโมเนียที่เข้าระบบมีปริมาณที่แตกต่างกันในแต่ละฤดูอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) ซึ่งในฤดูฝนทีเคเอ็นและแอมโมเนียจะเข้ามาในปริมาณมาก เนื่องจากการชะล้างของน้ำฝน ส่วนในฤดูหนาวและฤดูร้อนมีปริมาณน้อยไม่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ดีทีเคเอ็นที่เข้ามาลดลงเฉลี่ยเหลือเพียง 12.5 มิลลิกรัม/ลิตร เช่นเดียวกับแอมโมเนียลดลงเฉลี่ยเหลือเพียง 2.7 มิลลิกรัม/ลิตร (ตารางที่ 5)

สำหรับฟอสฟอรัสรวมและออร์โทฟอสเฟตเมื่อผ่านการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนมาแล้วในท่อส่งน้ำเสียระยะทาง 18.5 กิโลเมตร ส่งผลให้ฟอสฟอรัสรวมลดลงเฉลี่ยเหลือเพียง 1.8 มิลลิกรัม/ลิตร และออร์โทฟอสเฟตลดลงเฉลี่ยเหลือเพียง 1.48 มิลลิกรัม/ลิตร แต่อย่างไรก็ดีฟอสฟอรัสรวมและออร์โทฟอตเฟสที่เข้าระบบในบ่อตกตะกอน มีปริมาณแตกต่างกันในแต่ละฤดูอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) ซึ่งในฤดูฝน (มิถุนายน-ตุลาคม) ของทุกปีจะมีปริมาณสูง ส่วนในฤดูหนาวและฤดูร้อนมีปริมาณน้อยกว่าไม่ต่างกัน (ตารางที่ 5)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 5 คุณภาพน้ำเสียจากบ่อรวบรวมเข้าบ่อตกตะกอนรายเดือนเฉลี่ย 5 ปี (พ.ศ. 2552-2556)

ดัชนี	จุดเก็บ	เดือน												P-value
		ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	
BOD	บ่อรวบรวมบ้านคลองยาง	47.2	66.3	65.7	56.5	64.8	54.9	56.0	62.3	64.7	52.1	48.5	48.1	0.189
(มิลลิกรัม/ลิตร)	น้ำเข้าบ่อตอตะกอน	29.7	37.4	31.5	43.5	38.0	43.5	42.0	48.5	51.4	36.1	36.8	34.3	
TKN	บ่อรวบรวมบ้านคลองยาง	15.4	14.3	13.3	18.4	16.5	12.9	12.2	18.1	8.8	6.7	9.7	14.1	0.007
(มิลลิกรัม/ลิตร)	น้ำเข้าบ่อตอตะกอน	5.6	14.9	15.0	16.1	14.4	11.6	13.5	20.0	10.8	6.4	12.4	9.3	
NH_4^+	บ่อรวบรวมบ้านคลองยาง	0.0	2.8	1.9	2.0	2.1	4.0	4.3	4.4	4.1	4.5	3.6	3.5	0.001
(มิลลิกรัม/ลิตร)	น้ำเข้าบ่อตอตะกอน	0.0	2.4	2.6	2.7	2.4	3.1	3.3	3.4	2.8	3.9	2.4	2.9	
NO_3^-	บ่อรวบรวมบ้านคลองยาง	0.9	1.5	1.2	0.8	0.7	0.7	0.5	0.6	0.8	0.5	0.6	0.6	0.653
(มิลลิกรัม/ลิตร)	น้ำเข้าบ่อตอตะกอน	0.9	1.2	1.0	0.8	0.7	0.7	0.5	0.6	0.7	0.5	0.9	0.6	
TP	บ่อรวบรวมบ้านคลองยาง	2.1	2.4	1.0	2.0	1.9	2.7	2.6	2.0	3.1	2.0	2.0	2.2	0.001
(มิลลิกรัม/ลิตร)	น้ำเข้าบ่อตอตะกอน	1.1	1.8	1.3	1.9	1.0	2.4	2.6	1.9	2.3	1.6	1.5	1.5	
PO_4^{3-}	บ่อรวบรวมบ้านคลองยาง	1.9	2.3	0.9	1.9	1.8	2.5	2.5	1.9	2.9	1.9	1.9	2.0	0.001
(มิลลิกรัม/ลิตร)	น้ำเข้าบ่อตอตะกอน	0.8	1.5	1.0	1.6	0.7	2.3	2.4	1.6	2.1	1.3	1.2	1.2	

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.3 คุณภาพน้ำภายในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่ง 5 ปีย้อนหลัง (พ.ศ. 2552-2556)

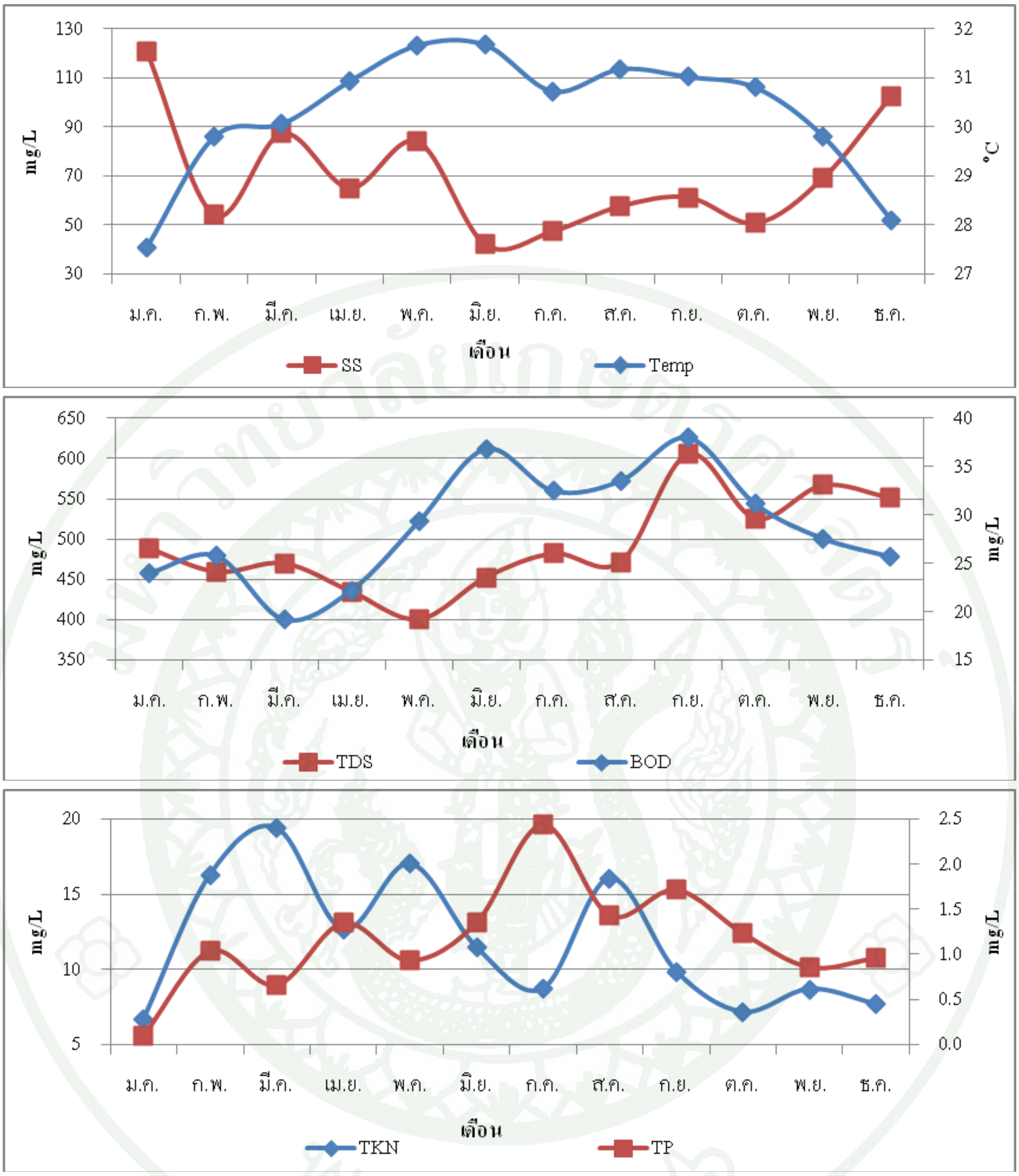
เมื่อพิจารณาคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัด 5 ปีย้อนหลังโดยเฉลี่ยในแต่ละเดือนตั้งแต่ต้นปี เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคมรายบ่อดังนี้

1.3.1 บ่อตกตะกอน

น้ำเสียชุมนที่เข้ามาจะถูกบำบัดด้วยกระบวนการทางฟิสิกส์ ตามแรงโน้มถ่วงของโลก บ่อมีความลึก 2.43 เมตร เพื่อให้ตะกอนหนักที่ปนเปื้อนมาตกตะกอนมากที่สุด น้ำเสียในบ่อมีสีดำเนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์รวมตัวกับโลหะที่มีอยู่ในน้ำเสียเกิดเป็นโลหะซัลไฟด์เห็นเป็นสีดำและขณะเดียวกัน ผิวน้ำนิ่งไม่เกิดคลื่นผิวน้ำเนื่องจากมีมลสารปนเปื้อนอยู่มาก ทำให้มีแรงดึงดูดระหว่างสารปนเปื้อน และโมเลกุลของน้ำเพิ่มขึ้นเป็นผลให้แรงตึงผิวมาก สำหรับอุณหภูมิของน้ำเสียเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 27.5-31.6 องศาเซลเซียส ต่ำสุดในเดือนมกราคมฤดูหนาวและสูงสุดในเดือนมิถุนายนฤดูร้อน ของแข็งแขวนลอยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 42.0-120.7 มิลลิกรัม/ลิตร สูงสุดในเดือนมกราคมเนื่องจากเป็นบ่อแรกที่รับน้ำเสียชุมชนมีสารอินทรีย์ปนเปื้อนมาก และน้อยที่สุดในเดือนสิงหาคม ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนที่มีน้ำฝนเข้ามาเจือจางในระบบทำให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยลดลง ส่งผลต่อค่าความสกปรกในรูปบีโอดีมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 19.2-38.0 มิลลิกรัม/ลิตร เช่นเดียวกับปริมาณของแข็งละลายได้ที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 400-606 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเริ่มเข้าสู่ฤดูร้อนจนถึงฤดูฝนและลดลงเมื่อเริ่มเข้าสู่ฤดูหนาว สำหรับไนโตรเจนรวมมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 6.4–23.1 มิลลิกรัม/ลิตร ที่เกินมาตรฐานเล็กน้อย เช่นเดียวกันกับฟอสฟอรัสรวมที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.10-2.44 มิลลิกรัม/ลิตร (ภาพที่ 16) นอกจากนี้บ่อตกตะกอนยังมีออกซิเจนละลายน้ำค่อนข้างต่ำเฉลี่ยอยู่ที่ 0.6-5.1 มิลลิกรัม/ลิตร และมีค่าความเป็นกรดด่างเฉลี่ยอยู่ที่ 7.1-7.6 เป็นกลาง (ตารางผนวกที่ 1)

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารในบ่อตกตะกอนย้อนหลัง 5 ปีจากอัตราส่วนระหว่างไนโตรเจนรวมทั้งหมดต่อฟอสฟอรัสรวม (TN:TP ratio) พบว่ามีค่าเท่ากับ 10.17 ซึ่งถือว่าเป็นแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ (euthophic) เนื่องจากอัตราส่วนระหว่างไนโตรเจนและฟอสฟอรัสน้อยกว่า 17 (John and Edward, 1992)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



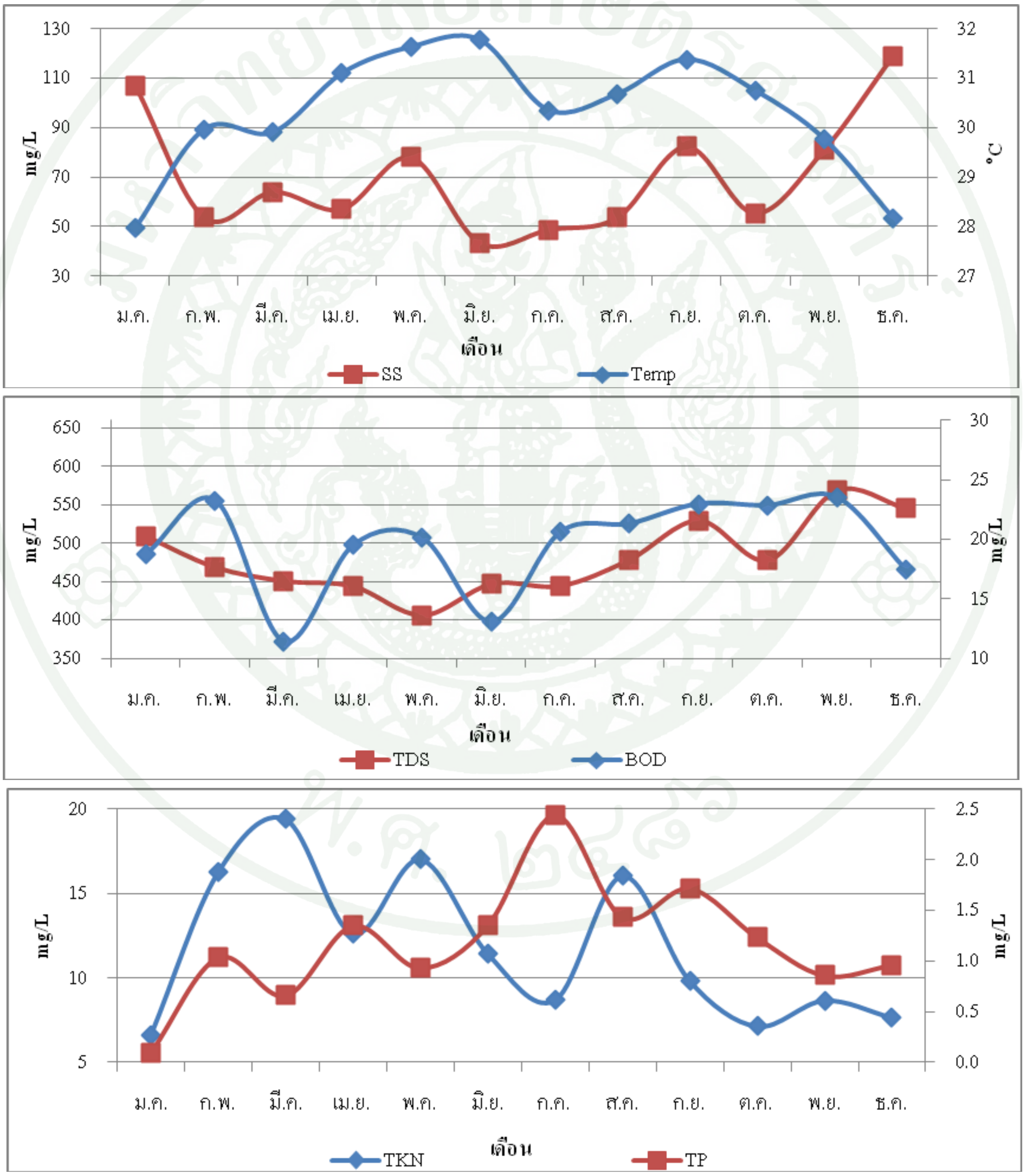
ภาพที่ 16 คุณภาพน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดจากบ่อตกตะกอนเฉลี่ย 5 ปี (พ.ศ. 2552-2556)

1.3.2 บ่อผึ่งที่ 1

น้ำเสียในบ่อผึ่งที่ 1 จะผ่านการบำบัดโดยกระบวนการทางฟิสิกส์ด้วยการตกตะกอนสารอินทรีย์ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่ยังคงเหลือมาจากบ่อตกตะกอน และมีการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการเทอร์โมไซฟอน และกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย และแพลงก์ตอนพืช เพื่อเป็นการเติมออกซิเจนให้กับแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยน้ำมีสีที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ใสขึ้นจากบ่อตกตะกอน ผิวน้ำเกิดคลื่นขึ้นเล็กน้อย โดยน้ำเสียมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 27.9-31.8 องศาเซลเซียส น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบ่อผึ่งที่ 1 มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 43.3-119 มิลลิกรัม/ลิตร ลดลงจากบ่อตกตะกอนเช่นเดียวกับปริมาณของแข็งละลายได้ที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 405.7-568.3 มิลลิกรัม/ลิตร ส่งผลให้ความสกปรกในรูปบีโอดีลดลงด้วยเฉลี่ยเหลืออยู่เพียง 11.4-23.5 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณไนโตรเจนรวมก็เช่นกันมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3.03-19.3 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสก็ลดลงเฉลี่ยเหลือเพียง 0.1-1.6 มิลลิกรัม/ลิตร (ภาพที่ 17)



ภาพที่ 17 คุณภาพน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดจากบ่อผึ่งที่ 1 เฉลี่ย 5 ปี (พ.ศ. 2552-2556)

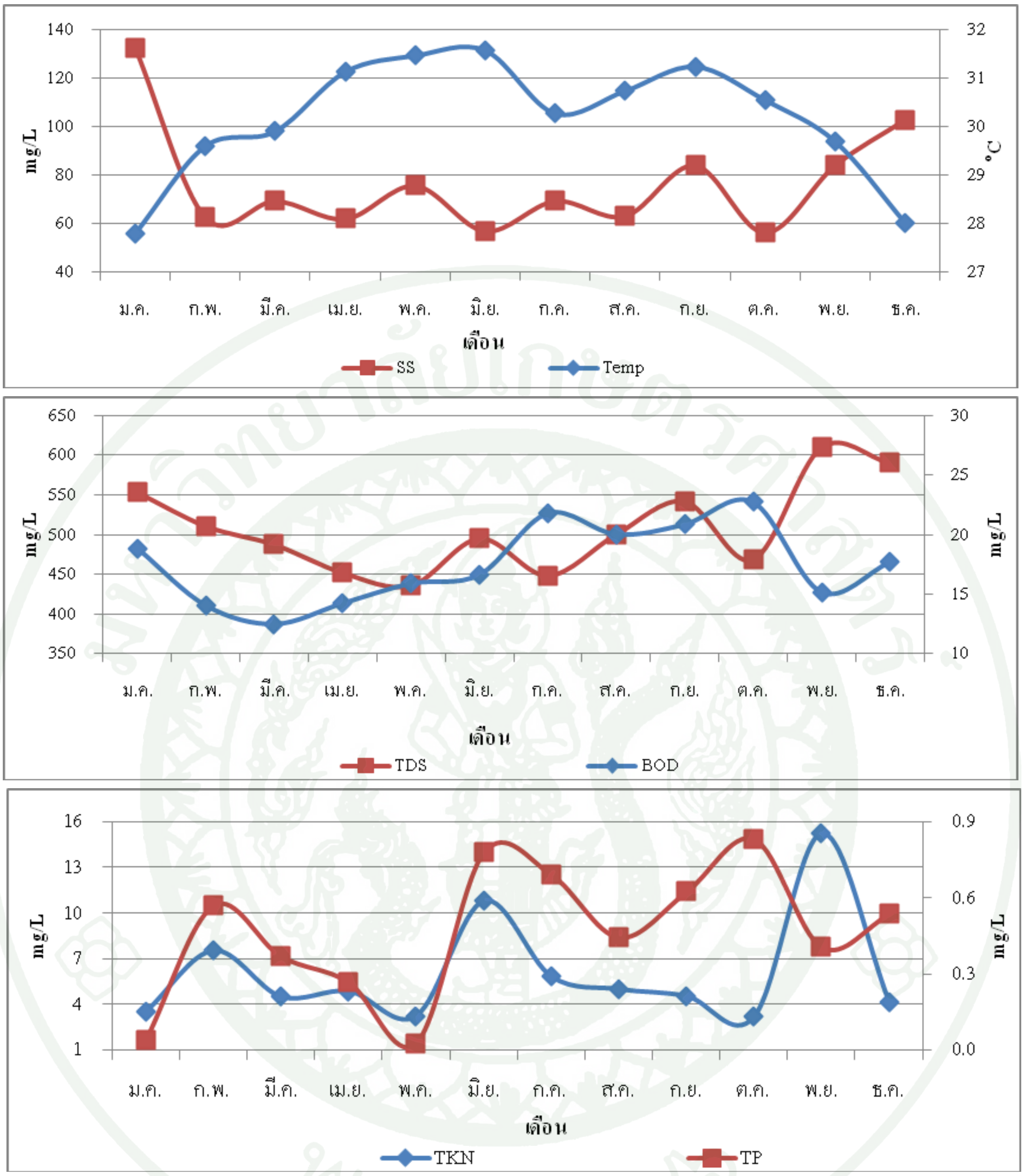
นอกจากนี้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำยังมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 2.5-6.2 มิลลิกรัม/ลิตร และความเป็นกรดด่างมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 7.3-7.9 สภาพยังเป็นกลาง (ตารางผนวกที่ 1) และเมื่อพิจารณาถึงความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารในบ่อผึ่งที่ 1 ย้อนหลัง 5 ปีจากอัตราส่วนระหว่างไนโตรเจนรวมทั้งหมดต่อฟอสฟอรัสรวม (TN:TP ratio) พบว่ามีค่าเท่ากับ 9.24 ซึ่งถือว่าเป็นแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ (euthophic) เนื่องจากอัตราส่วนระหว่างไนโตรเจนรวมทั้งหมดต่อฟอสฟอรัสรวมน้อยกว่า 17 (John and Edward, 1992)

1.3.3 บ่อผึ่งที่ 2

น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบ่อผึ่งที่ 1 จะไหลผ่านสันขอบบ่อคอนกรีตมาบ่อผึ่งที่ 2 โดยน้ำเสียในบ่อจะถูกบำบัดด้วยกระบวนการทางธรรมชาติเช่นเดียวกับบ่อผึ่งที่ 1 ซึ่งในบ่อนี้จะมีความลึก 1.93 เมตร น้ำเสียในบ่อนี้มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 27.8-31.6 องศาเซลเซียส น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 56.3-132.3 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งสูงสุดในเดือนมกราคมช่วงฤดูหนาว เช่นเดียวกับปริมาณของแข็งแขวนลอยที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 436-609 มิลลิกรัม/ลิตร สูงสุดในเดือนพฤศจิกายนช่วงฤดูหนาวและลดลงเหลือน้อยที่สุดในฤดูร้อนเดือนพฤษภาคม ส่งผลให้ความสกปรกในรูปบีโอดีมีค่าอยู่ระหว่าง 12.5-22.7 มิลลิกรัม/ลิตรเช่นเดียวกับปริมาณไนโตรเจนรวมที่เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2.8-16.0 มิลลิกรัม/ลิตร และฟอสฟอรัสรวมมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.03-0.8 มิลลิกรัม/ลิตร (ภาพที่ 18) ลดลงจากบ่อผึ่งที่ 1 สำหรับปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าเฉลี่ยอยู่ระเพิ่มขึ้นระหว่าง 4.2-7.5 มิลลิกรัม/ลิตร และความเป็นกรดด่างมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 7.7-8.5 น้ำเสียมีสภาพเป็นด่าง (ตารางผนวกที่ 1)

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารในบ่อผึ่งที่ 2 ย้อนหลัง 5 ปีจากอัตราส่วนระหว่างไนโตรเจนรวมทั้งหมดต่อฟอสฟอรัสรวม (TN:TP ratio) พบว่ามีค่าเท่ากับ 13.06 ซึ่งถือว่าเป็นแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ (euthophic) เนื่องจากอัตราส่วนระหว่างไนโตรเจนรวมทั้งหมดต่อฟอสฟอรัสรวมน้อยกว่า 17 (John and Edward, 1992)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



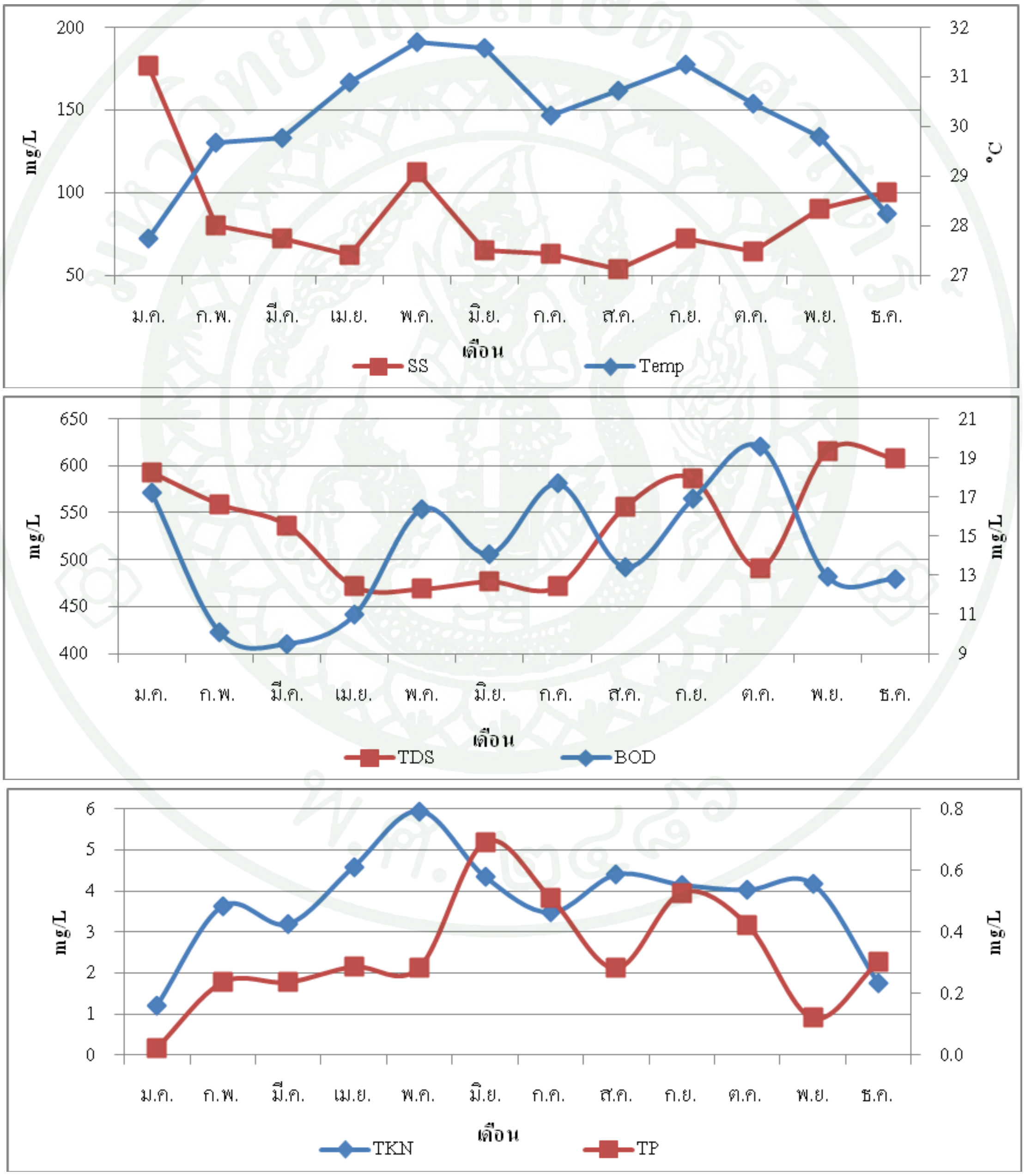
ภาพที่ 18 คุณภาพน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดจากบ่อผึ่งที่ 2 เฉลี่ย 5 ปี (พ.ศ. 255-2556)

1.3.4 บ่อผึ่งที่ 3

น้ำในบ่อผึ่งที่ 3 เป็นน้ำเสียที่ไหลล้นผ่านสันขอบบ่อคอนกรีตมาจากบ่อผึ่งที่ 2 ลักษณะของสีน้ำจะใส ผิวน้ำเกิดคลื่นจำนวนมากโดยเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำเสียอยู่ระหว่าง 27.7-31.6 องศาเซลเซียส และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะมีค่าของแข็งแขวนลอยอยู่ระหว่าง 53.8-177 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีค่าเฉลี่ยที่สูงช่วงฤดูหนาวเช่นเดียวกับปริมาณของแข็งละลายที่มีค่าเฉลี่ยอยู่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระหว่าง 469-616 มิลลิกรัม/ลิตร ลดลงจากบ่อผึ่งที่ 2 ส่งผลให้ความสกปรกในรูปบีโอดีลดลงด้วย โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 9.5-19.6 มิลลิกรัม/ลิตร ตามมาตรฐานกำหนด ส่วนปริมาณไนโตรเจนรวมมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1.8-9.1 มิลลิกรัม/ลิตร และฟอสฟอรัสรวมมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.02-0.7 มิลลิกรัม/ลิตร ลดลงเช่นกัน (ภาพที่ 19) นอกจากนี้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำก็เพิ่มขึ้นโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 5.2-7.4 มิลลิกรัม/ลิตร เหมาะสำหรับการอาศัยของสัตว์น้ำ ส่วนความเป็นกรดด่างน้ำมีสภาพเป็นด่างอ่อนๆ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 8.2-9.0 (ตารางผนวกที่ 1)



ภาพที่ 19 คุณภาพน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดจากบ่อผึ่งที่ 3 เฉลี่ย 5 ปี (พ.ศ. 2552-2556)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

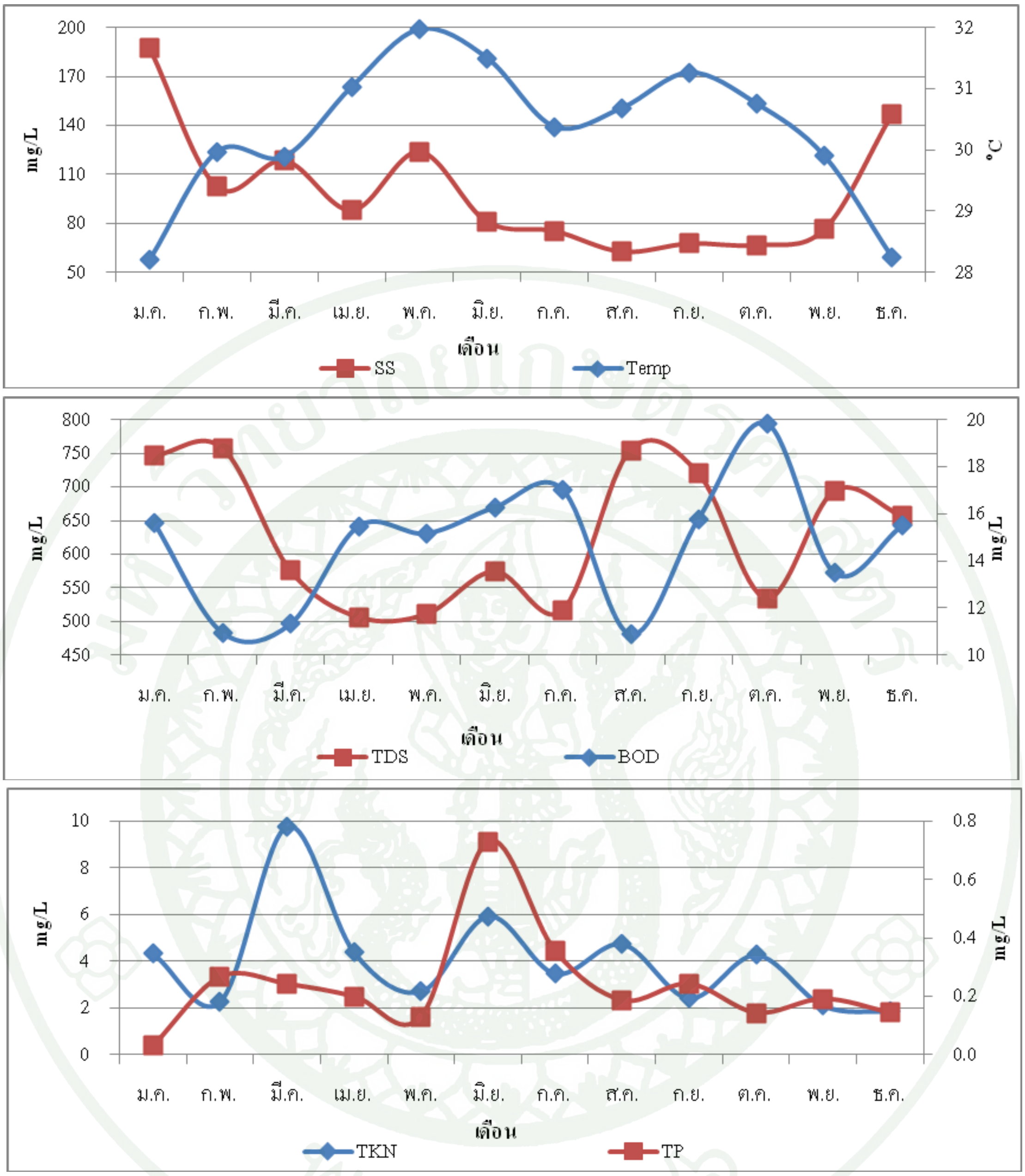
นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารในบ่อผึ่งที่ 3 ย้อนหลัง 5 ปีจากอัตราส่วนระหว่างไนโตรเจนรวมทั้งหมดต่อฟอสฟอรัสรวม (TN:TP ratio) พบว่ามีค่าเท่ากับ 12.09 ซึ่งถือว่าเป็นแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ (euthophic) เนื่องจากอัตราส่วนระหว่างไนโตรเจนรวมทั้งหมดต่อฟอสฟอรัสรวมน้อยกว่า 17 (John and Edward, 1992)

1.3.5 บ่อปรับสภาพ

น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากผึ่งที่ 3 จะไหลล้นผ่านสันขอบบ่อคอนกรีตมาบ่อปรับ-สภาพที่มีความลึกน้อยที่สุดเพียง 1.42 เมตร เพื่อให้แสงอาทิตย์สามารถส่องลงไปได้มากที่สุดถึงก้นบ่อ เพื่อให้เกิดการสังเคราะห์แสงและเติมออกซิเจนให้มากที่สุดซึ่งอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำอยู่ระหว่าง 28.2-32.0 องศาเซลเซียส และน้ำที่ผ่านการบำบัดจากบ่อนี้มีของแข็งแขวนลอยอยู่ระหว่าง 62.6-187.7 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจากบ่อผึ่งที่ 3 เล็กน้อยเช่นเดียวกันปริมาณของแข็งละลายได้มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 506-757 มิลลิกรัม/ลิตร ส่งผลต่อความสกปรกในรูปบีโอดีที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 10.9-19.8 มิลลิกรัม/ลิตร อยู่ในมาตรฐานกำหนดคุณภาพน้ำทิ้งจากระบบบำบัด (กรมควบคุมมลพิษ, 2550) สำหรับปริมาณไนโตรเจนรวมมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.6-8.2 มิลลิกรัม/ลิตร และปริมาณฟอสฟอรัสรวมที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.03-0.7 มิลลิกรัม/ลิตร (ภาพที่ 20) ลดลงจากบ่อผึ่งที่3 จนอยู่ในมาตรฐานกำหนด สำหรับปริมาณออกซิเจนละลายน้ำก็เพิ่มขึ้นเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 6.03-9.5 มิลลิกรัม/ลิตร ความเป็นกรดด่างก็เพิ่มขึ้นเป็นกันจนทำให้น้ำมีสภาพเป็นด่างโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ระหว่าง 8.4-9.3 เกินมาตรฐานเล็กน้อย (ตารางผนวกที่ 1)

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารในบ่อปรับสภาพย้อนหลัง 5 ปีจากอัตราส่วนระหว่างไนโตรเจนรวมทั้งหมดต่อฟอสฟอรัสรวม (TN:TP ratio) พบว่ามีค่าเท่ากับ 18.22 ซึ่งถือว่าน้ำสะอาดแล้วและถือได้ว่าเป็นแหล่งน้ำที่ไม่มีความอุดมสมบูรณ์ (oligcthophic) เนื่องจากอัตราส่วนระหว่างไนโตรเจนรวมทั้งหมดต่อฟอสฟอรัสรวมมากกว่า 17 (John and Edward, 1992)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

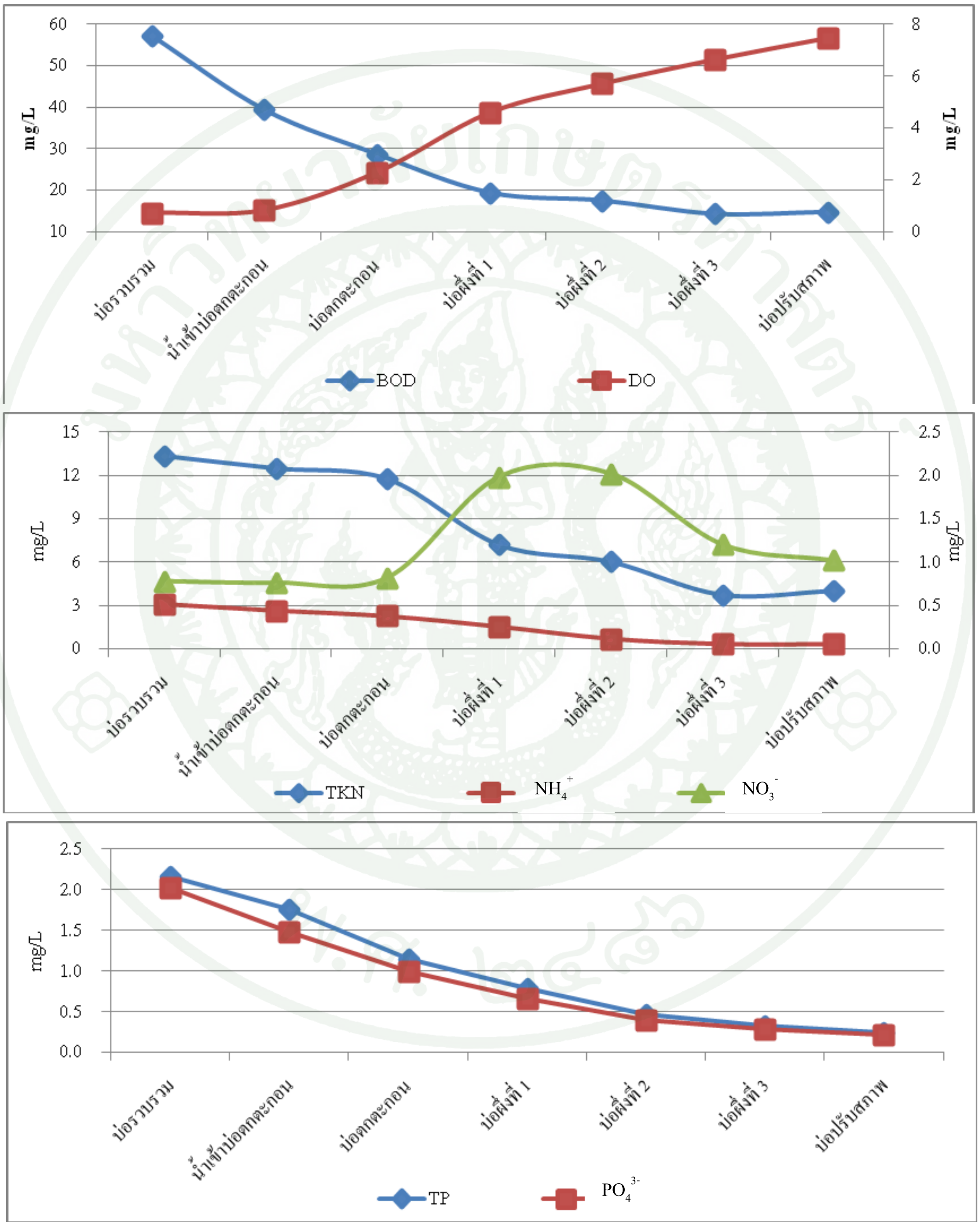


ภาพที่ 20 คุณภาพน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดจากบ่อปรับสภาพเฉลี่ย 5 ปี (พ.ศ. 2552-2556)

ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่งของโครงการแหลมผักเบี้ยฯ เมื่อน้ำเสียผ่านกระบวนการบำบัดโดยผ่านกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในท่อและกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนต่อในบ่อทำให้คุณภาพน้ำรายเดือนเฉลี่ย 5 ปีมีคุณภาพที่ดีขึ้น ได้แก่ ความสกปรกในรูปบีโอดีมีแนวโน้มลดลงตามระยะทางตั้งแต่บ่อตกตะกอนถึงบ่อปรับสภาพทำให้มีค่าเฉลี่ยเหลือเพียง 14.8 มิลลิกรัม/ลิตร อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งชุมชนจากระบบบำบัด (กรมควบคุมมลพิษ, 2550) เช่นเดียวกับออกซิเจนละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นจากบ่อตกตะกอนถึงบ่อปรับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สภาพซึ่งมีค่าเฉลี่ยสูงถึง 7.5 มิลลิกรัม/ลิตร และเช่นเดียวกับทีเคเอ็น และฟอสฟอรัสที่เข้ามาในปริมาณมากแต่ถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนในบ่อทำให้ปริมาณลดลง จากบ่อตกตะกอน บ่อผึ่งที่ 1, 2, 3 และบ่อปรับสภาพตามลำดับ (ภาพที่ 21)



ภาพที่ 21 คุณภาพน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดตามระยะทางจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่งเฉลี่ย 5 ปี (พ.ศ. 2552-2556)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

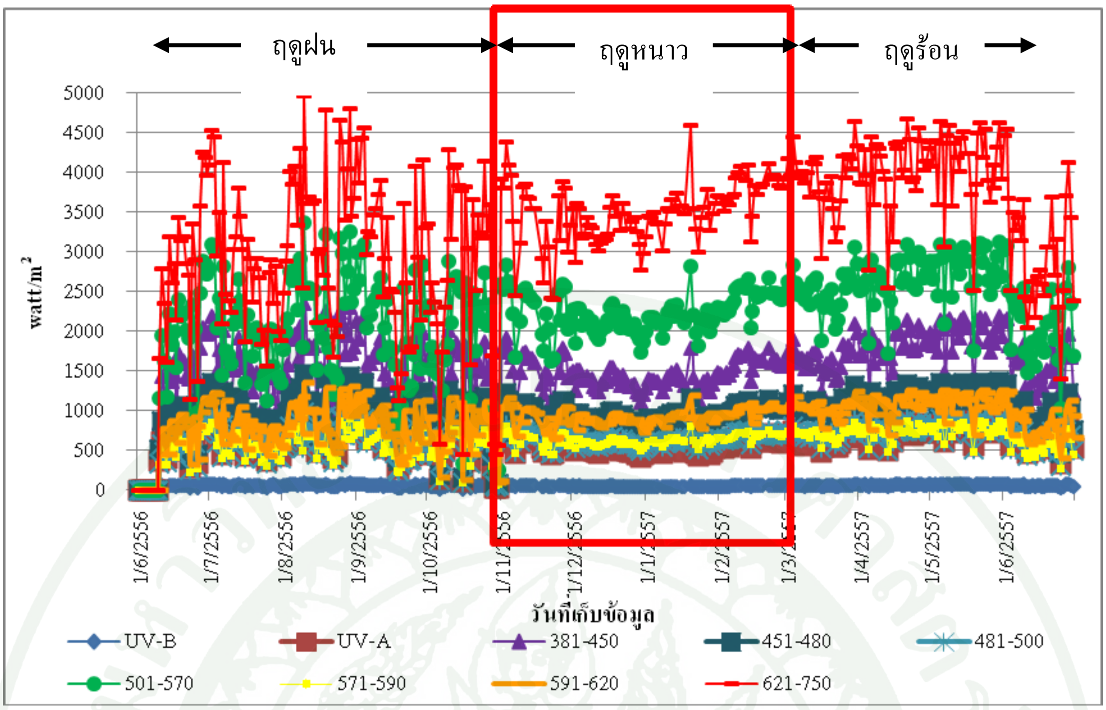
สำหรับในบ่อปรับสภาพ ทีเคเอ็นและฟอสฟอรัสจะเหลือน้อยมาก ทีเคเอ็นเฉลี่ยเหลือเพียง 4.0 มิลลิกรัม/ลิตร เช่นเดียวกับแอมโมเนียเฉลี่ยเหลือเพียง 0.3 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนไนเตรทมีปริมาณเพิ่มขึ้นในบ่อผึ่งที่ 1 และบ่อผึ่งที่ 2 เนื่องจากเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันเปลี่ยนแอมโมเนีย เป็นไนไตรท์และไนเตรทตามลำดับ และเมื่อน้ำผ่านบ่อปรับสภาพไนเตรทก็ลดลงเฉลี่ยเหลือเพียง 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร และถูกปล่อย สุดท้ายปริมาณฟอสฟอรัสรวมเมื่อผ่านกระบวนการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนในบ่อส่งผลให้ปริมาณเฉลี่ยลดลงเมื่อน้ำออกจากระบบในบ่อปรับสภาพทำให้มีค่าเฉลี่ยเหลือเพียง 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร และออร์โทฟอสเฟตเฉลี่ยเหลือเพียง 0.22 มิลลิกรัม/ลิตร (ภาพที่ 21) ซึ่งจากการรวบรวมข้อมูลย้อนหลัง 5 ปี พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่งสามารถบำบัดน้ำเสียชุมชนให้มีคุณภาพที่ดีอยู่ในเกณฑ์คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วที่กรมควบคุมมลพิษกำหนดก่อนปล่อยลงสู่ป่าชายเลนและทะเลอ่าวไทย

2. อิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ในฤดูหนาวต่อการเจริญของไซยาโนแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่ง

2.1 ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์

ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตรวจวัดเป็นรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องเข้ามาในโลก (in come) โดยใช้ชุดตรวจวัดรังสีดวงอาทิตย์ Spectroradiometer รุ่น MS-700 โดยตรวจพลังงานแสงทุก 10 นาโนเมตร ตั้งแต่ความยาวคลื่น 300-1,140 นาโนเมตร รวมเป็นรายวันตั้งแต่ มิถุนายน 2556 ถึง มิถุนายน 2557 แบ่งตามช่วงความยาวคลื่นดังนี้ UV-B UV-A 381-420 นาโนเมตร 421-460 นาโนเมตร 461-490 นาโนเมตร 491-580 นาโนเมตร 581-590 นาโนเมตร 591-620 นาโนเมตร และ 621-750 นาโนเมตร (ภาพที่ 22)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 22 ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์รวมรายวันที่ตรวจวัดได้ที่สถานีตรวจวัดอากาศบริเวณ

โครงการแหลมผักเบี้ยฯ จังหวัดเพชรบุรี (มิถุนายน 2556-มิถุนายน 2557)

จากภาพที่ 22 พบว่าในช่วงฤดูฝนจะมีปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ลงมาน้อยมากและไม่สม่ำเสมอเนื่องจากได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดเอาความชื้นจากมหาสมุทรอินเดียเข้ามาปกคลุมประเทศไทยทำให้ท้องฟ้ามีเมฆมากและมีฝนตกซึ่งไอน้ำในบรรยากาศจะเป็นตัวสกัดกั้นรังสีไม่ให้ผ่านเข้ามาในโลก ส่วนในช่วงฤดูหนาวปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ลงมาอย่างสม่ำเสมอเนื่องจากท้องฟ้าในช่วงฤดูหนาวท้องฟ้าโปร่งใสมีเมฆปกคลุมน้อยกว่าช่วงอื่นๆ ซึ่งเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าช่วงดังกล่าวเป็นเมฆชั้นสูง และมีเมฆที่ก่อตัวในแนวตั้งเป็นเมฆคิวมูลัส (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2557) และในช่วงฤดูร้อนถึงปริมาณรังสีเฉลี่ยจะลงมามากแต่ก็ไม่สม่ำเสมอเช่นกันเนื่องจากในท้องฟ้ามีปริมาณไอน้ำสูงร่วมกับบริเวณพื้นที่โครงการแหลมผักเบี้ยฯ อยู่ติดกับทะเลซึ่งจะได้รับอิทธิพลจากละอองเกลือและฝุ่นละอองทำให้บดบังรังสีแสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงคลื่น (Pannop and Surut, 2013; Pantipa and surut, 2013; Winai *et.al.*, 2013) และจากภาพที่ 22 ทั้ง 3 ฤดูมีปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่เข้ามามากที่สุด คือช่วงแสงสีแดงความยาวคลื่น 621-750 นาโนเมตร รองลงมาเป็นช่วงแสงสีเขียว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความยาวคลื่น 501-570 นาโนเมตร รองลงมาอีกคือช่วงแสงสีม่วงความยาวคลื่น 381-450 นาโนเมตร จากปริมาณรังสีดวงอาทิตย์รายวันนำมาเฉลี่ยเป็นรายเดือนและแบ่งตามช่วงความยาวคลื่นดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายเดือนที่แผ่เข้ามาบริเวณพื้นที่โครงการแหลมผักเบี้ยฯ

เดือน	ปริมาณรังสี (วัตต์/ตารางเมตร) หน่วยเป็นนาโนเมตร									รวม
	UV-B	UV-A	381-450	451-480	481-500	501-570	571-590	591-620	621-750	
มิ.ย. 56	54.7	602.8	1,426.9	873.4	575.9	1,970.5	534.8	774.2	2,821.0	9,634.2
ก.ค. 56	56.2	612.5	1,440.2	879.5	579.6	1,982.5	537.8	778.7	2,841.3	9,708.3
ส.ค. 56	64.0	701.9	1,672.5	1026.9	677.9	2,326.1	634.7	919.8	3,368.1	11,391.9
ก.ย. 56	57.1	629.6	1,497.1	918.0	605.7	2,077.7	565.7	819.8	2,998.4	10,169.2
ต.ค. 56	45.5	506.3	1,241.4	773.0	513.4	1,782.3	490.3	713.1	2,651.9	8,717.2
ฤดูฝน	55.5	610.6	1,455.6	894.2	590.5	2,027.8	552.7	801.1	2,936.1	9,924.2
พ.ย. 56	54.3	611.5	1,549.6	977.5	652.5	2,271.4	628.8	917.2	3,417.0	11,079.9
ธ.ค. 56	45.6	515.2	1,361.4	876.6	590.6	2,086.4	588.2	863.0	3,294.2	10,221.2
ม.ค. 57	45.2	508.2	1,375.5	896.8	607.5	2,165.8	617.2	907.7	3,496.3	10,620.2
ก.พ. 57	54.7	608.6	1,589.3	1018.6	684.9	2,416.1	681.5	997.9	3,791.8	11,843.5
ฤดูหนาว	50.0	560.9	1,469.0	942.4	633.9	2,234.9	628.9	921.5	3,499.8	10,941.2
มี.ค. 57	57.5	639.8	1,653.6	1,056.0	709.3	2,502.3	705.4	1,032.4	3,919.5	12,275.7
เม.ย. 57	64.4	714.1	1,791.7	1,127.5	752.4	2,627.2	732.1	1,067.5	3,997.6	12,874.5
พ.ค. 57	72.2	803.0	1,959.1	1,215.2	805.4	2,778.6	764.6	1,110.5	4,108.2	13,616.8
ฤดูร้อน	64.7	719.0	1,801.4	1,132.9	755.7	2,636.0	734.0	1,070.1	4,008.4	12,922.4

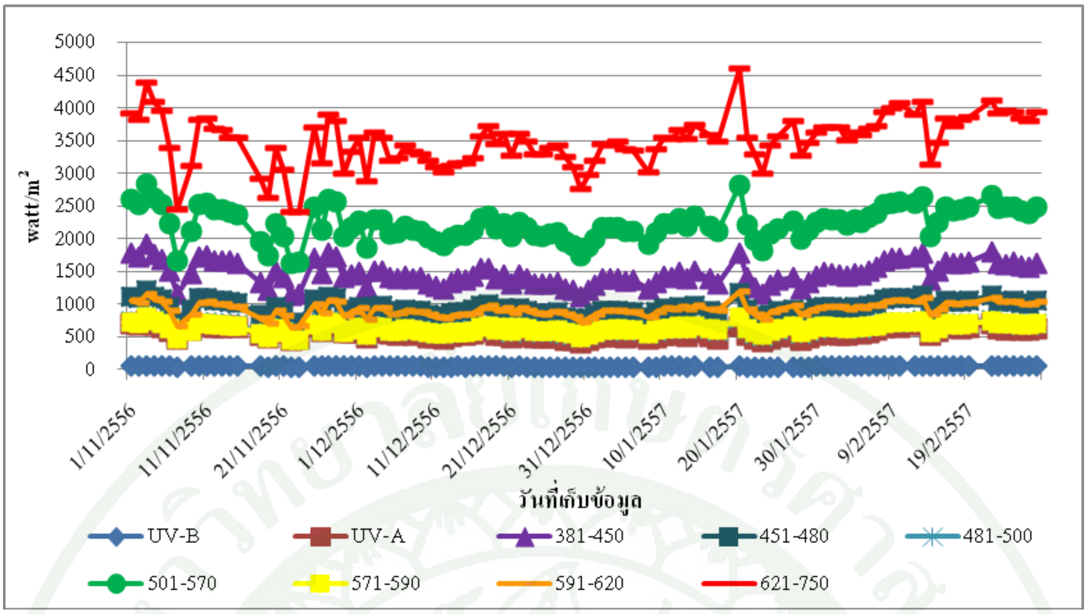
จากตารางที่ 6 พบว่าปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน-ตุลาคม) มีค่าปริมาณรังสีดวงอาทิตย์รวมอยู่ระหว่าง 8,717.2-11,391.9 วัตต์/ตารางเมตร ในฤดูหนาว (พฤศจิกายน-กุมภาพันธ์) มีค่าปริมาณรังสีดวงอาทิตย์รวมอยู่ระหว่าง 10,221.2 -11,843.5 วัตต์/ตารางเมตร และในฤดูร้อน (มีนาคม-พฤษภาคม) มีปริมาณรังสีดวงอาทิตย์รวมอยู่ระหว่าง12,275.7-13,616.8 วัตต์/ตารางเมตร และเฉลี่ยทั้ง 3 ฤดูเรียงลำดับจากปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่เข้ามามากที่สุดไปน้อยที่สุด คือ ฤดูร้อน ฤดูหนาว และฤดูฝน โดยมีค่ารวมคือ 12,922.4 วัตต์/ตารางเมตร 10,941.2วัตต์/ตารางเมตร และ 9,924.2 วัตต์/ตารางเมตร ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2 ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ในฤดูหนาว

ฤดูหนาว (พฤศจิกายน 2556-กุมภาพันธ์ 2557) ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่เข้ามาในพื้นที่โครงการแหลมผักเบี้ยฯมีปริมาณสม่ำเสมอเนื่องจากท้องฟ้าในช่วงฤดูหนาวท้องฟ้าโปร่งใสมีเมฆปกคลุมน้อยและจากปริมาณรังสีที่สามารถตรวจวัดได้สามารถพบว่าช่วงคลื่นที่มีปริมาณรังสีมากที่สุดคือช่วงแสงสีแดง ความยาวคลื่น 621-750 นาโนเมตร มีปริมาณรวม 13,999.2 วัตต์/ตารางเมตร รองลงมาคือช่วงแสงสีเขียว ความยาวคลื่น 501-570 นาโนเมตร มีปริมาณรวม 8,939.7 วัตต์/ตารางเมตร รองลงมาคือ ช่วงแสงสีม่วงความยาวคลื่น 381-450 นาโนเมตร มีปริมาณรวม 5,875.9 วัตต์/ตารางเมตร รองลงมาอีกคือ ช่วงแสงสีครามความยาวคลื่น 451-480 นาโนเมตร มีปริมาณรวม 3,769.5 วัตต์/ตารางเมตร และช่วงที่น้อยที่สุดคือช่วง UV-B มีปริมาณรวม 199.9 วัตต์/ตารางเมตร (ภาพที่ 23) นอกจากนี้ในช่วงฤดูหนาวปริมาณรังสีดวงอาทิตย์รวมรายเดือนมีปริมาณมากที่สุดเดือนกุมภาพันธ์ 11,843.5 วัตต์/ตารางเมตร รองลงมาเดือนพฤศจิกายน 11,079.9 วัตต์/ตารางเมตร รองลงมาอีก คือเดือนมกราคม 10,620.2 วัตต์/ตารางเมตร และน้อยที่สุดในเดือนธันวาคม 10,221.2 วัตต์/ตารางเมตร (ตารางที่ 6) และช่วงความยาวคลื่นในช่วงฤดูหนาวที่ตรวจวัดได้มีสัดส่วนของรังสีแต่ละช่วงคลื่นต่อปริมาณรังสีรวมเฉลี่ยที่โครงการแหลมผักเบี้ยฯได้รับมีดังนี้ UV-B คิดเป็นร้อยละ0.45 UV-A คิดเป็นร้อยละ 5.12 ช่วงความยาวคลื่น 381-450 นาโนเมตร คิดเป็นร้อยละ 13.42 ช่วงความยาวคลื่น 451-480 นาโนเมตร คิดเป็นร้อยละ 8.61 ช่วงความยาวคลื่น 481-500 นาโนเมตร คิดเป็นร้อยละ 5.79 ช่วงความยาวคลื่น 501-570 นาโนเมตร คิดเป็นร้อยละ 20.42 ช่วงความยาวคลื่น 571-590 นาโนเมตร คิดเป็นร้อยละ 5.74 ช่วงความยาวคลื่น 591-620 นาโนเมตร คิดเป็นร้อยละ 8.42 และช่วงความยาวคลื่น 621-750 นาโนเมตร คิดเป็นร้อยละ 32.98 ตามลำดับ (ตารางที่ 7)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 23 ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายวันที่ตรวจวัดได้ที่สถานีตรวจวัดอากาศ โครงการแหลมผักเบี้ยฯ จังหวัดเพชรบุรี ช่วงฤดูหนาว (พฤศจิกายน 2556-กุมภาพันธ์ 2557)

ตารางที่ 7 ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายเดือนที่ตรวจวัดได้ที่สถานีตรวจวัดอากาศ โครงการแหลมผักเบี้ยฯจังหวัดเพชรบุรี ช่วงฤดูหนาว (พฤศจิกายน 2556-กุมภาพันธ์ 2557)

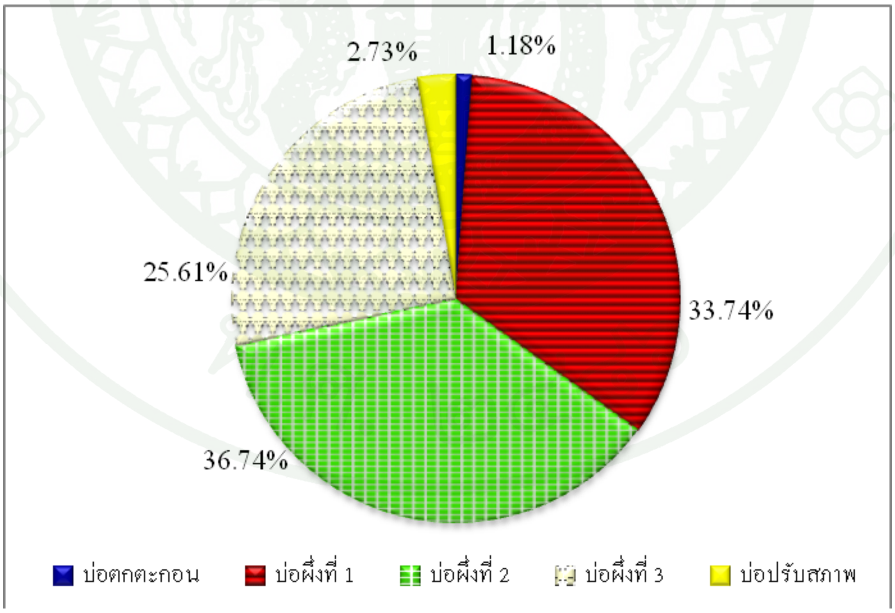
เดือน	**ปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์ (วัตต์/ตารางเมตร) หน่วยเป็นนาโนเมตร**								
	UV-B	**UV-A**	**381-450**	**451-480**	**481-500**	**501-570**	**571-590**	**591-620**	**621-750**
พ.ย. 56	54.3	611.5	1,549.6	977.5	652.5	2,271.4	628.8	917.2	3,417.0
ธ.ค. 56	45.6	515.2	1,361.4	876.6	590.6	2,086.4	588.2	863.0	3,294.2
ม.ค. 57	45.2	508.2	1,375.5	896.8	607.5	2,165.8	617.2	907.7	3,496.3
ก.พ. 57	54.7	608.6	1,589.3	1,018.6	684.9	2,416.1	681.5	997.9	3,791.8
เฉลี่ย	50.0	560.9	1,469.0	942.4	633.9	2,234.9	628.9	921.5	3,499.8
สัดส่วนต่อปริมาณรวม	0.45%	5.12%	13.42%	8.61%	5.79%	20.42%	5.74%	8.42%	32.98%

หมายเหตุ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์รวมในฤดูหนาว 10,941.2 วัตต์/ตารางเมตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3 ไซยาโนแบคทีเรียในบ่อบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่งโครงการแหลมผักเบี้ยฯ

ไซยาโนแบคทีเรียที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่งมีทั้งหมด 11 ชนิด ซึ่งชนิดที่พบมากที่สุดคือ *Spirulina platensis* คิดเป็นร้อยละ 82.74 รองลงมาคือ *Microcystis aeruginosa* คิดเป็นร้อยละ 11.05 รองลงมาอีกคือ *Oscillatoria* sp.คิดเป็นร้อยละ 3.52 และรองลงมาอีกคือ *Cylindrospermopsis philipinensis* คิดเป็นร้อยละ 1.28 และ *Rhaphidiopsis* sp.คิดเป็นร้อยละ 1.26 ชนิดที่พบน้อยลงมาอีกคือ *Chroococcus minutes* คิดเป็นร้อยละ 0.06 *Gloeocapsa* sp. คิดเป็นร้อยละ 0.01 *Anabaenopsis* sp. คิดเป็นร้อยละ 0.01 *M. incerta* คิดเป็นร้อยละ 0.01 *Spirulina subsalsa* คิดเป็นร้อยละ 0.01 และสุดท้ายชนิดที่พบน้อยที่สุด คือ *Merismopedia minima* คิดเป็นร้อยละ 0.001 ดังแสดงในตารางที่ 8 และเมื่อคิดเป็นร้อยละจากปริมาณที่พบทั้งหมดในระบบช่วงฤดูหนาวที่มีการเก็บตัวอย่างพบว่าในบ่อตกตะกอนพบ 7 ชนิด มีปริมาณ 1.02×10^{8} เซลล์/ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 1.18 บ่อผึ่งที่ 1 พบ 7 ชนิดมีปริมาณ 2.92×10^{9} เซลล์/ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 33.74 บ่อผึ่งที่ 2 พบ 7 ชนิด มีปริมาณ 3.18×10^{9} เซลล์/ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 36.74 บ่อผึ่งที่ 3 พบ 7 ชนิด มีปริมาณ 2.22×10^{9} เซลล์/ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 25.61 และบ่อปรับสภาพพบ 10 ชนิด มีปริมาณ 2.36×10^{8} เซลล์/ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 2.73 (ภาพที่ 24)



ภาพที่ 24 ร้อยละของไซยาโนแบคทีเรียที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่งช่วงฤดูหนาว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 ชนิดและร้อยละไซยาโนแบคทีเรียที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่ง ช่วงฤดูหนาว (มกราคม-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557)

ชนิดไซยาโนแบคทีเรีย	ร้อยละที่พบ	บ่อตกตะกอน	บ่อผึ่งที่ 1	บ่อผึ่งที่ 2	บ่อผึ่งที่ 3	บ่อปรับสภาพ
Spirulina platensis	82.74	$1.09x10^{6}$	$6.67x10^{8}$	$7.46x10^{8}$	$3.76x10^{8}$	$2.84x10^{6}$
Microcystis aeruginosa	11.05	$3.52x10^{4}$	$7.38x10^{5}$	$3.84x10^{7}$	$1.73x10^{8}$	$2.66x10^{7}$
Oscillatoria sp.	3.52	$1.38x10^{6}$	$5.84x10^{7}$	$1.16x10^{7}$	$4.76x10^{6}$	$1.97x10^{5}$
Cylindrospermopsis philipinensis	1.28	-	-	-	$4.66x10^{5}$	$2.71x10^{7}$
Rhaphidiopsis sp.	1.26	$2.17x10^{7}$	$4.90x10^{6}$	$1.60x10^{4}$	$6.49x10^{4}$	$3.42x10^{5}$
Chroococcus minutes	0.06	$1.12x10^{6}$	$6.53x10^{4}$	$7.76x10^{4}$	$3.24x10^{4}$	$5.85x10^{4}$
Gloeocapsa sp.	0.01	$1.36x10^{5}$	$5.52x10^{4}$	$4.08x10^{4}$	-	-
Anabaenopsis sp.	0.01	-	-	-	-	$2.17x10^{5}$
M. incerta	0.01	$6.62x10^{3}$	-	-	-	$1.10x10^{5}$
Spirulina subsalsa	0.01	-	-	-	-	$1.23x10^{6}$
Merismopedia minima	0.001	-	$9.56x10^{3}$	$5.35x10^{3}$	$6.62x10^{3}$	$4.12x10^{3}$

จากภาพที่ 24 บ่อที่มีสัดส่วนการเจริญของไซยาโนแบคทีเรียมากที่สุด คือในบ่อผึ่งที่ 2 ซึ่งมีไซยาโนแบคทีเรียที่พบมากที่สุด 3 ชนิด คือ *Spirulina platensis* โดยพบทั้งหมดช่วงฤดูหนาว เฉลี่ย $7.46x10^{8}$ เซลล์/ลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือ *M. aeruginosa* เฉลี่ย $3.84x10^{7}$ เซลล์/ลูกบาศก์เมตรและรองลงมาอีกคือ *Oscillatoria* sp. เฉลี่ย $1.16x10^{7}$ เซลล์/ลูกบาศก์เมตร คิดรวมเป็นร้อยละ 99.99 ของบ่อ ไซยาโนแบคทีเรียทั้ง 3 ชนิดนี้มีลักษณะเซลล์แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มเป็นเส้นสาย ได้แก่ *Spirulina platensis* และ *Oscillatoria* sp. และกลุ่มไม่เป็นเส้นสายโดยเป็นพวกกลุ่มโคโลนี ได้แก่ *M. aeruginosa* ซึ่งจะมีเมือกหุ้มอยู่ไซยาโนแบคทีเรียทั้ง 3 ชนิดมีลักษณะเซลล์ที่คล้ายกันคือ ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียสภายในเซลล์มี ไซโตพลาสซึม และมีรงควัตถุที่สามารถรับแสงได้ คือ คลอโรฟิลล์เอ (chlorophyll-a) คาโรทีนอยด์ (carotenoids) ไฟโคไซยานิน (phycocyamin) และ อัลโลไฟโคไซยานิน (allophycocyanin) จึงทำให้สามารถสังเคราะห์แสงได้ นอกจากนี้พบว่า *Oscillatoria* sp. และ *M. aeruginosa* ยังมีความสามารถตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศได้ (free living –nitrogen fixation) และในขณะเดียวกัน *M. aeruginosa* ก็สามารถสร้างพิษ microcystin ซึ่งเป็นสารพิษชนิด

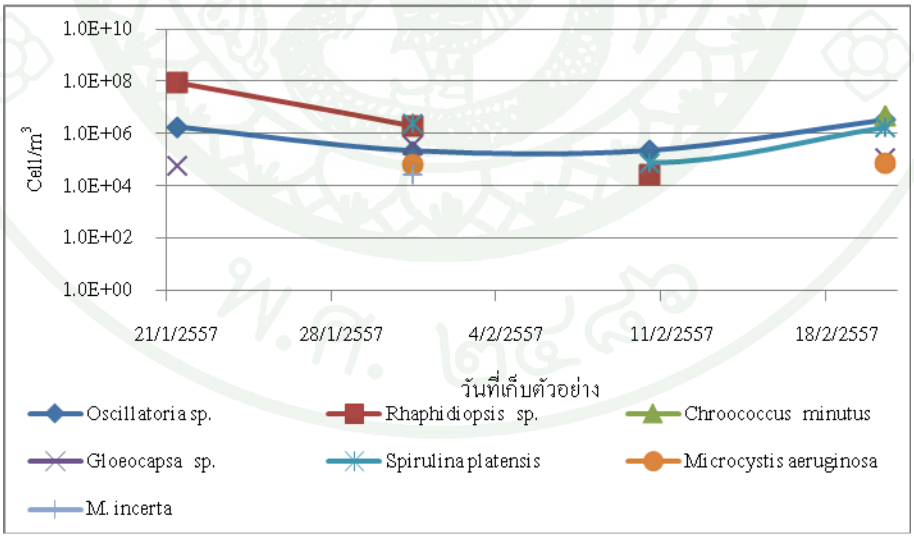
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

hepatotoxin ที่ออกฤทธิ์ต่อระบบการหายใจและทำลายเนื้อเยื่อตับของปลา (กาญจนภาชน์, 2527; Nishiwaki-Matsushima *et.al.,* 1992; Anderson *et.al.*, 1993)

ไซยาโนแบคทีเรียที่พบในแต่ละบ่อส่วนใหญ่มีชนิดที่ไม่แตกต่างกันเนื่องจากเมื่อเกิดการเจริญขึ้นจากบ่อตกตะกอนน้ำก็จะไหลพาไปยังบ่ออื่นๆ ตามลักษณะการไหลของน้ำในระบบร่วมกับปริมาณรังสีและธาตุอาหารที่เหมาะสมพร้อมนำไปใช้ ในแต่ละบ่อจึงทำให้ไซยาโนแบคทีเรียในแต่ละบ่อมีการเจริญ ซึ่งมีรายละเอียดชนิดและปริมาณที่พบดังนี้

2.3.1 บ่อตกตะกอน

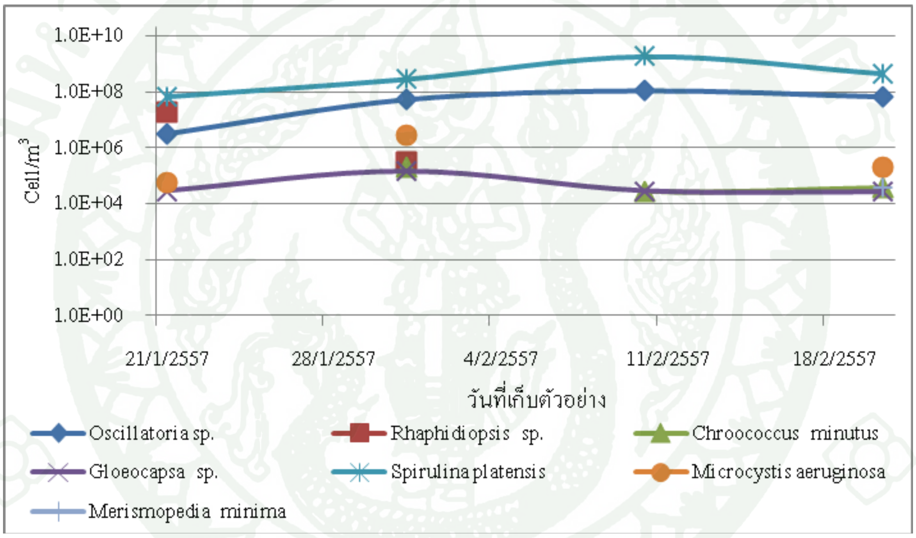
ไซยาโนแบคทีเรียที่พบในบ่อตกตะกอนในช่วงฤดูหนาว (มกราคม-กุมภาพันธ์2557) ทั้งหมด 7 ชนิด (ตารางที่ 8) ชนิดที่พบมากที่สุดคือ *Rhaphidiopsis* sp. เฉลี่ย 2.17x10^7 เซลล์/ลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือ *Spirulina platensis* เฉลี่ย 1.09x10^6 เซลล์/ลูกบาศก์เมตร รองลงมาอีกคือ *Oscillatoria* sp. เฉลี่ย 1.38x10^7 เซลล์/ลูกบาศก์เมตร และชนิดที่พบน้อยที่สุดคือ *M. incerta* เฉลี่ย 6.62x10^4 เซลล์/ลูกบาศก์เมตร โดยในช่วงกลางฤดูหนาวเดือนมกราคมพบมากถึง 6 ชนิด และเมื่อเริ่มเข้าสู่ฤดูร้อนบางชนิดก็ลดจำนวนลง บางชนิดก็ไม่พบ (ภาพที่ 25)



ภาพที่ 25 ชนิดและปริมาณไซยาโนแบคทีเรียที่พบในบ่อตกตะกอนช่วงฤดูหนาว (มกราคม-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557)

2.3.2 บ่อผึ่งที่ 1

ไซยาโนแบคทีเรียที่พบในบ่อผึ่งที่ 1 มี 7 ชนิด (ตารางที่ 8) โดยในฤดูหนาวมีชนิดที่พบมากที่สุด คือ *Spirulina platensis* เฉลี่ย 6.67x10^8 เซลล์/ลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือ *Oscillatoria* sp. เฉลี่ย 5.84x10^7 เซลล์/ลูกบาศก์เมตร โดยจะพบตลอดทุกฤดูในฤดูหนาวตั้งแต่ในเดือนมกราคมและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเริ่มเข้าสู่ฤดูร้อนเดือนกุมภาพันธ์ รองลงมาอีกคือ *Rhaphidiopsis sp.* เฉลี่ย 4.90x10^6 เซลล์/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งจะพบในช่วงฤดูหนาวในเดือนมกราคมและเมื่อเริ่มเข้าสู่ฤดูร้อนจะไม่พบ และชนิดที่พบน้อยที่สุดคือ *Merismopedia minima* เฉลี่ย 9.56x10^3 เซลล์/ลูกบาศก์เมตร ที่พบเฉพาะในฤดูหนาวแต่ไม่พบในฤดูร้อน (ภาพที่ 26)

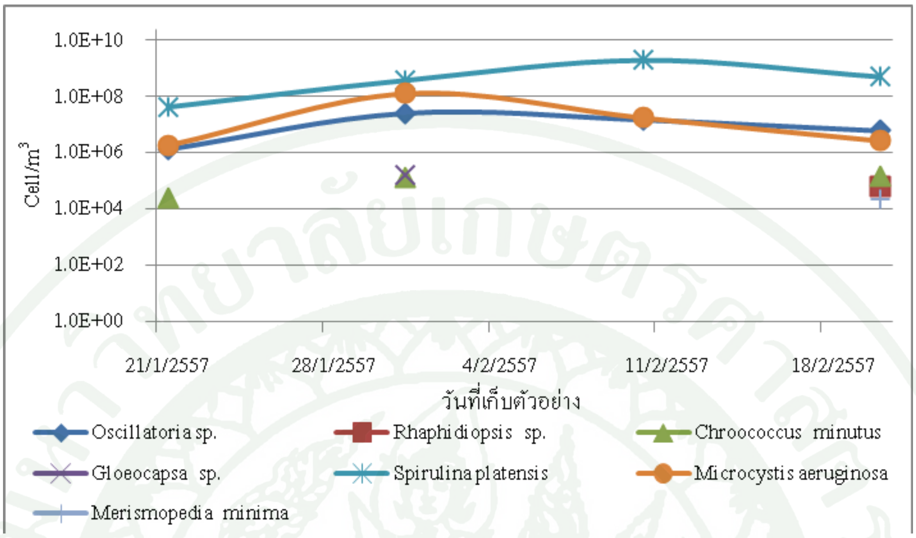


ภาพที่ 26 ชนิดและปริมาณไซยาโนแบคทีเรียที่พบในบ่อผึ่งที่ 1 ช่วงฤดูหนาว (มกราคม-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557)

2.3.3 บ่อผึ่งที่ 2

ไซยาโนแบคทีเรียที่พบในบ่อผึ่งที่ 2 มีทั้งหมด 7 ชนิด (ตารางที่ 8) โดยในฤดูหนาวมีชนิดที่พบมากที่สุดคือ *Spirulina platensis* เฉลี่ย 7.46x10^8 เซลล์/ลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือ *M. aeruginosa* เฉลี่ย 3.84x10^7 เซลล์/ลูกบาศก์เมตร และรองลงมาอีกคือ *Oscillatoria* sp. เฉลี่ย 1.16x10^7 เซลล์/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งทั้ง 3 ชนิดที่พบมีอยู่ตลอดทุกฤดูกาล โดยจะมีมากในช่วงเดือนมกราคมและมีแนวโมลดลงเมื่อเข้าสู่ฤดูร้อนในเดือนกุมภาพันธ์ กลับมีปริมาณเพิ่มขึ้นอีก และ

สำหรับชนิดที่พบน้อยที่สุดคือ *Merismopedia minima* เฉลี่ย 5.35x10^{3} เซลล์/ลูกบาศก์เมตร ที่จะพบในช่วงฤดูหนาวเท่านั้น (ภาพที่ 27)

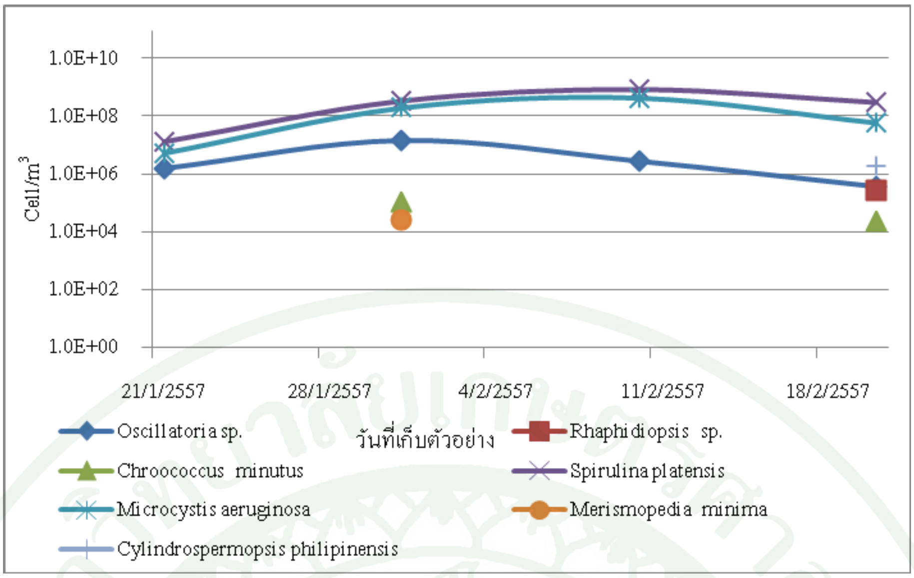


ภาพที่ 27 ชนิดและปริมาณไซยาโนแบคทีเรียที่พบในบ่อผึ่งที่ 2 ช่วงฤดูหนาว (มกราคม-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557)

2.3.4 บ่อผึ่งที่ 3

ไซยาโนแบคทีเรียที่พบในบ่อผึ่งที่ 3 มีทั้งหมด 7 ชนิด (ตารางที่ 8) ในช่วงฤดูหนาวมีชนิดที่พบมากที่สุดคือ *Spirulina platensis* เฉลี่ย 3.76x10^{8} เซลล์/ลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือ *Microcystis aeruginosa* เฉลี่ย 1.73x10^{8} เซลล์/ลูกบาศก์เมตร และรองลงมาอีกคือ *Oscillatoria* sp. เฉลี่ย 4.76x10^{6} เซลล์/ลูกบาศก์เมตร ทั้ง 3 ชนิดจะพบในทุกฤดูกาลโดยจะมีมากในเดือนมกราคมช่วงกลางฤดูหนาวและลดลงเมื่อเริ่มเข้าสู่ฤดูร้อนเดือนกุมภาพันธ์ และชนิดที่พบน้อยที่สุดคือ *Merismopedia minima* 6.62x10^{3} เซลล์/ลูกบาศก์เมตร โดยจะพบช่วงกลางฤดูหนาวเดือนมกราคมเท่านั้น (ภาพที่ 28)

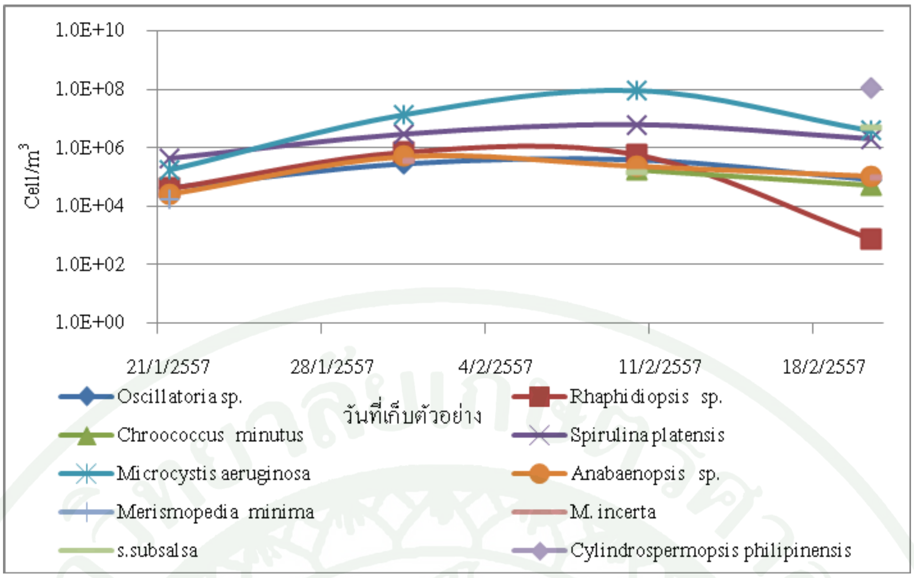
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 28 ชนิดและปริมาณไซยาโนแบคทีเรียที่พบในบ่อผึ่งที่ 3 ช่วงฤดูหนาว (มกราคม-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557)

2.3.5 บ่อปรับสภาพ

ไซยาโนแบคทีเรียที่พบในบ่อปรับสภาพมีทั้งหมด 10 ชนิดมากกว่าทุกบ่อในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่ง (ตารางที่ 8) โดยชนิดที่พบมากที่สุดในฤดูหนาวคือ *Cylindrospermopsis philipinensis* เฉลี่ย $2.71x10^{7}$ เซลล์/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งจะเริ่มพบในช่วงปลายฤดูหนาวเดือนกุมภาพันธ์และมีจำนวนเพิ่มขึ้นในฤดูร้อนเดือนมีนาคม ชนิดที่พบมากรองลงมาคือ *Microcystis aeruginosa* เฉลี่ย $2.66x10^{7}$ เซลล์/ลูกบาศก์เมตร รองลงมาอีกคือ *Spirulina platensis* เฉลี่ย $2.84x10^{6}$ เซลล์/ลูกบาศก์เมตร โดยทั้ง 2 ชนิดพบทุกฤดูทั้งแต่ฤดูหนาวเดือนมกราคมถึเมื่อเริ่มเข้าสู่ฤดูร้อนโดยมีปริมาณเฉลี่ยรายเดือนมีแนวโน้มลดลง และชนิดที่พบน้อยที่สุดคือ *Merismopedia minima* $4.12x10^{3}$ เซลล์/ลูกบาศก์เมตร โดยพบกลางฤดูหนาวเดือนมกราคมและนอกจากนี้มีไซยาโนแบคทีเรียบางชนิดที่พบเฉพาะฤดูหนาวแต่ไม่พบในฤดูร้อนเช่น *M. incerta* (ภาพที่ 29)

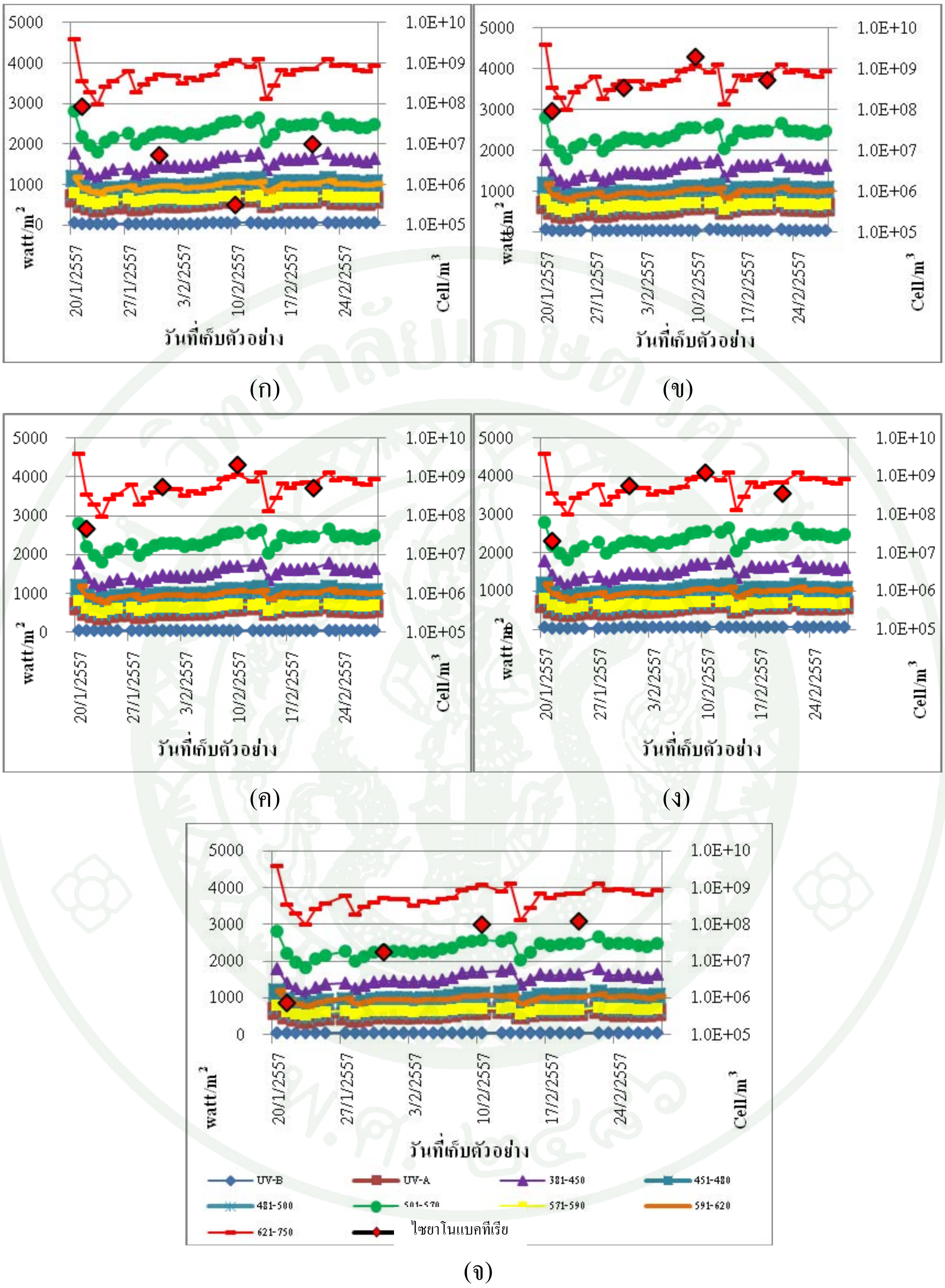


ภาพที่ 29 ชนิดและปริมาณไซยาโนแบคทีเรียที่พบในบ่อปรับสภาพช่วงฤดูหนาว (มกราคม-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557)

2.4 อิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ต่อการเจริญของไซยาโนแบคทีเรียและคุณภาพน้ำ

รังสีดวงอาทิตย์มีผลต่อการเจริญของไซยาโนแบคทีเรีย เนื่องจากไซยาโนแบคทีเรียสามารถสังเคราะห์แสงได้และในโครงสร้างเซลล์มีรงควัตถุมากกว่าหนึ่งชนิดสำหรับใช้ในการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างพลังงาน ซึ่งรงควัตถุแต่ละชนิดจะสามารถรับแสงในแต่ละช่วงคลื่นได้ไม่เท่ากัน เช่น คลอโลฟิลล์ดูกลืนแสงช่วง 420-480 นาโนเมตร และช่วง 650-700 นาโนเมตร แคโรทีนอยด์ดูดกลืนช่วง 450-520 นาโนเมตร และไฟโคบิลินดูดกลืนช่วง 490-650 นาโนเมตร (Karina *et. al.*,2001; Haibo and Baosheng, 2005; Y. Hong *et. al.*, 2010) โดยปริมาณรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายวันช่วงฤดูหนาวมีปริมาณสม่ำเสมอตั้งแต่ต้นฤดูกาลในเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์โดยมีรังสีช่วงคลื่นที่ลงมามาก 3 ช่วงคลื่นคือ ช่วงคลื่นแสงสีแดงความยาวคลื่น 621-750 นาโนเมตร ปริมาณเฉลี่ยมากที่สุด 3,499.8 วัตต์/ตารางเมตร รองลงมาเป็นช่วงคลื่นแสงสีเขียวความยาวคลื่น 501-570 นาโนเมตร ปริมาณเฉลี่ย 2,234.9 วัตต์/ตารางเมตร รองลงมาอีกคือ ช่วงคลื่นแสงสีม่วงความยาวคลื่น 381-450 นาเมตร ปริมาณเฉลี่ย 1,469 วัตต์/ตารางเมตร (ภาพที่ 23)(ตารางที่ 7) ทำให้ไซยาโน-แบคทีเรียซึ่งมีรงควัตถุหลายชนิดโดยเฉพาะคลอโลฟิลล์เอ ไฟโคไซยานิน และแคโรทีนอยด์ที่สามารถสังเคราะห์แสงได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ประกอบกับในระบบบำบัดที่มีธาตุอาหารเข้ามาสะสมในช่วงฤดูฝนในปริมาณมากพร้อมที่จะเจริญ และเมื่อฤดูหนาวมีปัจจัยสำคัญคือรังสีดวงอาทิตย์ที่มีคุณภาพดีมากระตุ้นจึงส่งผลให้สามารถเจริญและเพิ่มปริมาณได้อย่างรวดเร็ว (ภาพที่ 30)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

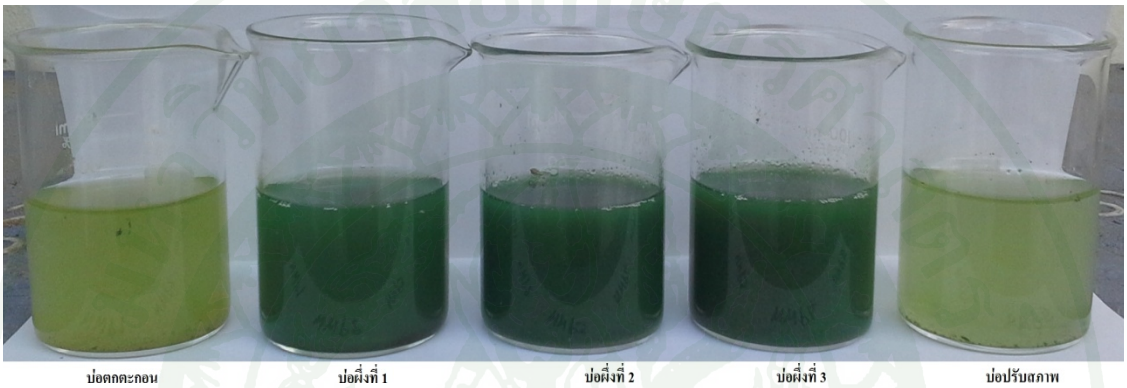


ภาพที่ 30 อิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ที่มีผลต่อการเจริญของไซยาโนแบคทีเรียในบ่อบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่ง

หมายเหตุ (ก) บ่อตกตะกอน (ข) บ่อผึ่งที่ 1 (ค) บ่อผึ่งที่ 2 (ง) บ่อผึ่งที่ 3 (จ) บ่อปรับสภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ไซยาโนแบคทีเรียที่เจริญมากในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่งเป็นกลุ่มที่มีรงควัตถุสีเขียว คือ คลอโลฟิลล์เอ และมีรงควัตถุที่มีสีน้ำเงินพวกไฟโคไซยานิน จึงทำให้เวลาที่มีแสงโดยเฉพาะในช่วงฤดูหนาวที่มีช่วงคลื่นสีแดง 621-750 นาโนเมตร ปริมาณมากและสม่ำเสมอจึงกระตุ้นให้รงควัตถุชนิดคลอโลฟิลล์เอ ทำงานได้ดีและแสดงแสงสีของเซลล์เป็นสีเขียวตามสีของรงควัตถุที่ออกมารับแสงจึงทำให้ในบ่อผึ่งที่ 2 ที่มีไซยาโนแบคทีเรียเจริญอยู่มากมองเห็นเป็นสีเขียว (ภาพที่ 31)



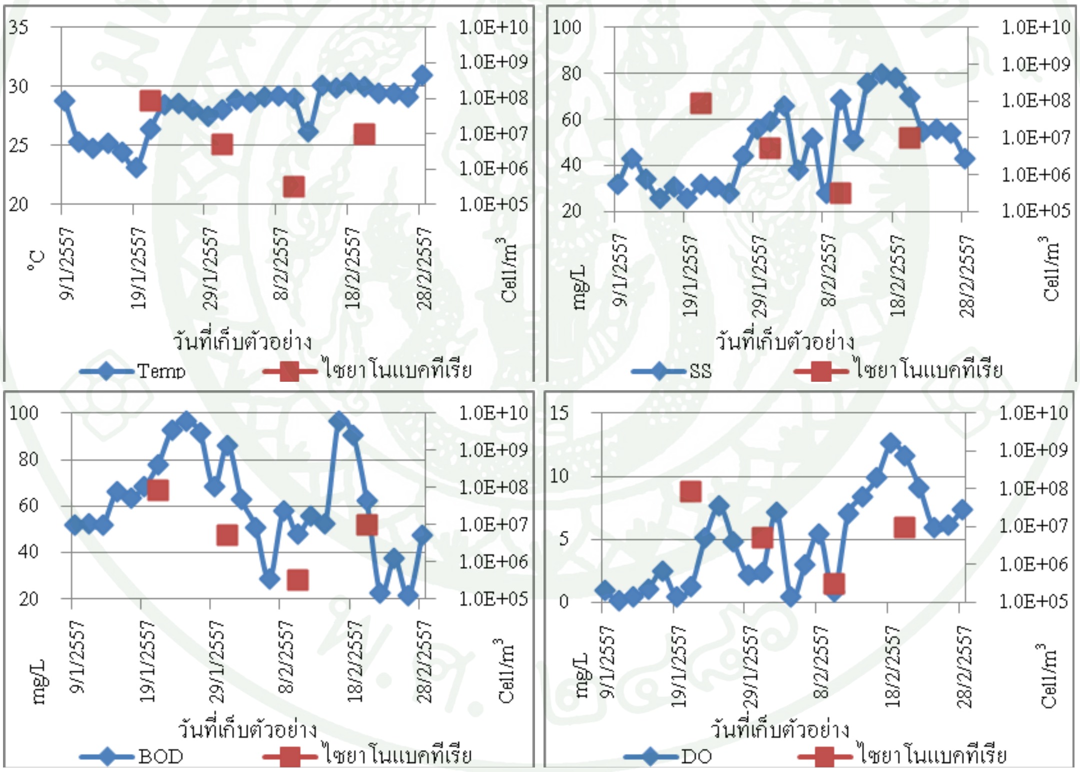
ภาพที่ 31 สีของน้ำเสียในบ่อบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่งช่วงฤดูหนาวในโครงการแหลมผักเบี้ยฯ ที่มีไซยาโนแบคทีเรียเจริญ

2.4.1 บ่อตกตะกอน

น้ำเสียในบ่อตกตะกอนเป็นน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ปนเปื้อนในปริมาณที่สูง และมีสีดำ เนื่องจากรับน้ำที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในท่อปิดเป็นระยะทาง 18.5 กิโลเมตร เป็นเวลา 5 ชั่วโมงส่งผลให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟล์ (H_2S) จากนั้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟล์จะทำปฏิกิริยากับเหล็กในตะกอนน้ำเสียได้โลหะซัลไฟล์ (FeS) มีสมบัติเป็นตะกอนสีดำ ในช่วงฤดูหนาวที่ผ่านมาน้ำเสียในบ่อมีอุณหภูมิต่ำที่สุด 23.1 องศาเซลเซียส ในเดือนมกราคมเฉลี่ยที่ 26.6 องศาเซลเซียส และเพิ่มขึ้นเรื่อยในเดือนกุมภาพันธ์เฉลี่ย 29.3 องศาเซลเซียส เนื่องจากน้ำเสียในบ่อมีสีดำทำให้ดูดความร้อนจากแสงอาทิตย์และจากปริมาณสารอินทรีย์ที่มากทำเกิดปฏิกิริยาในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ทำให้มีการปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมากด้วย จึงให้ให้น้ำในบ่อนี้มีอุณหภูมิสูงกว่าบ่ออื่น และส่งผลให้ไซยาโนแบคทีเรียมีการเจริญโดยเฉพาะ *Spirulina platensis*, *Microcystis aeruginosa* และ *Oscillatoria* sp เนื่องจากน้ำเสียมีอุณหภูมิเหมาะสมในการเจริญ (Liping, 2013) ส่งผลให้ของแข็งแขวนลอยในเดือนมกราคมเฉลี่ย 36.8

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มิลลิกรัม/ลิตร และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในเดือนกุมภาพันธ์เป็น 58.2 มิลลิกรัม/ลิตร และส่งผลให้ความสกปรกในรูปบีโอดีมีค่าที่สูงตามด้วยโดยในเดือนมกราคมเฉลี่ย 72.3 มิลลิกรัม/ลิตร และมากที่สุด 96.8 มิลลิกรัม/ลิตร ในกลางเดือนกุมภาพันธ์และมีแนวโน้มลดลงมาเมื่อเริ่มเข้าสู่ฤดูร้อนในเดือนกุมภาพันธ์โดยที่ค่าเฉลี่ย 52.5 มิลลิกรัม/ลิตร เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ที่สูงทำให้จุลินทรีย์ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายมากตามไปด้วย (ภาพที่ 32) ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าเฉลี่ยลดลงเหลือเพียง 2.4 มิลลิกรัม/ลิตร ในเดือนมกราคม และเพิ่มขึ้นในเดือนกุมภาพันธ์เฉลี่ย 6.7 มิลลิกรัม/ลิตร นอกจากนี้ปริมาณของแข็งละลายได้ในบ่อยังมีค่าสูงในช่วงต้นเดือนมกราคมโดยมีค่าสูงที่สุด 543 มิลลิกรัม/ลิตร และมีค่าเฉลี่ย 505.2 มิลลิกรัม/ลิตร แต่เมื่อเข้าสู่ฤดูร้อนมีแนวโน้มลดลงเฉลี่ยเหลือเพียง 425.7 มิลลิกรัม/ลิตร และสำหรับความเป็นกรดด่างของน้ำเสียมีภาพเป็นกลางโดยมีค่าเฉลี่ยในเดือนมกราคมอยู่ที่ 7.43 และ 7.59 ในเดือนกุมภาพันธ์ (ตารางผนวกที่ 2)



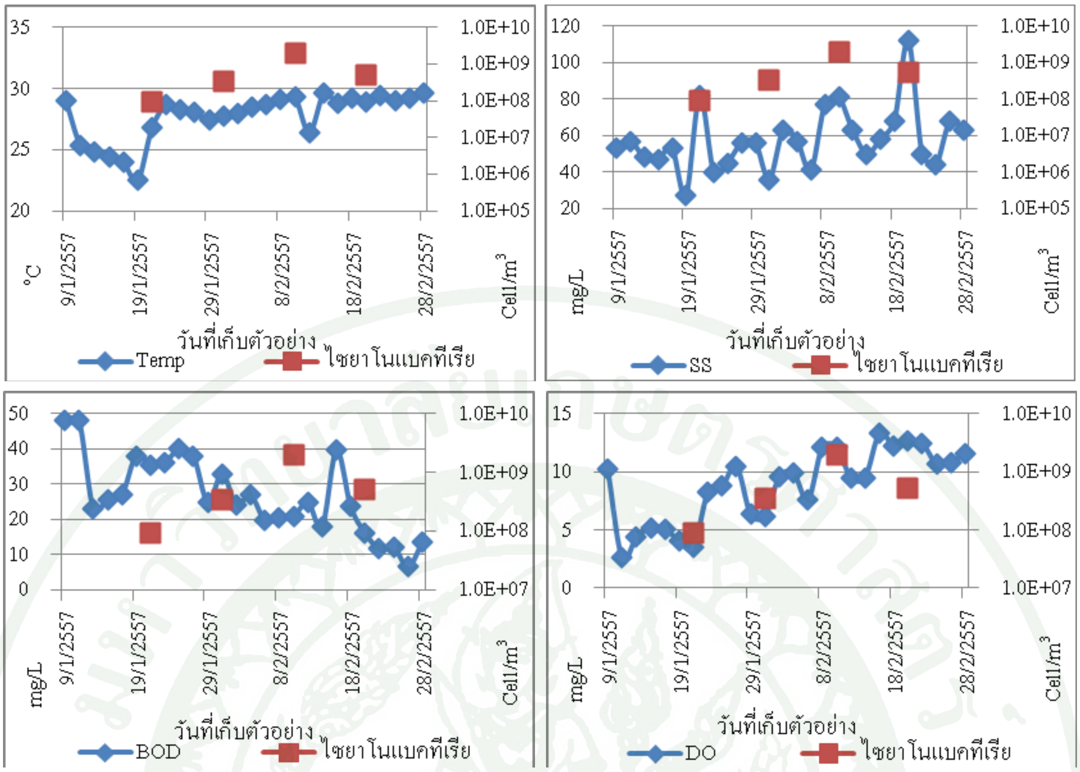
ภาพที่ 32 อิทธิพลของปริมาณไซยาโนแบคทีเรียต่อคุณภาพน้ำเสียบ่อตกตะกอนในฤดูหนาว (มกราคม-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.4.2 บ่อผึ่งที่ 1

บ่อผึ่งที่ 1 อุณหภูมิน้ำเสียอยู่ระหว่าง 22.50-30.9 องศาเซลเซียสโดยเดือนมกราคมมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 26.4 องศาเซลเซียสและเพิ่มขึ้นในเดือนกุมภาพันธ์เฉลี่ยอยู่ที่ 29.1 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของไซยาแบคทีเรียจึงทำพบมากถึง 9 ชนิด และชนิดที่พบถี่ที่สุด 3 ชนิด คือ *Spirulina platensis*, *Microcystis aeruginosa* และ *Oscillatoria* sp. โดยไซยาโน-แบคทีเรียที่พบเหล่านี้ส่งผลให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยในฤดูหนาวในเดือนมกราคมมีค่าสูงเฉลี่ย 50 มิลลิกรัม/ลิตร และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในเดือนกุมภาพันธ์เฉลี่ย 52.9 มิลลิกรัม/ลิตร เนื่องจากเซลล์ของสิ่งมีชีวิตมีลักษณะขนาดใหญ่เป็นพวกเส้นสาย และกลุ่มโคโลนี (Haider *et. al.,* 2003) ทำให้เมื่อนำไปกรองด้วยกระดาษกรองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 40 ไมโครเมตรจึงไม่สามารถผ่านกระดาษกรองได้ และปริมาณของแข็งละลายได้ในเดือนมกราคมก็มีค่าเฉลี่ยที่สูงถึง 513.4 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อเริ่มเข้าสู่ฤดูร้อนมีแนวโน้มลดลงโดยในเดือนกุมภาพันธ์มีค่าเฉลี่ยเหลือเพียง 479.3 มิลลิกรัม/ลิตร ส่งผลให้ความสกปรกในรูปบีโอดีมีค่ามากในเดือนมกราคมเฉลี่ย 34.8 มิลลิกรัม/ลิตร และมีแนวโน้มลดลงในเดือนกุมภาพันธ์เฉลี่ย 27.6 มิลลิกรัม/ลิตร (ภาพที่ 33) ซึ่งส่งผลต่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำด้วยทำให้ในเดือนมกราคมมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6.3 มิลลิกรัม/ลิตรและเพิ่มขึ้นในเดือนกุมภาพันธ์เฉลี่ย 9.99 มิลลิกรัม/ลิตร เนื่องจากในเวลากลางวันที่มีแสงไซยาโนแบคทีเรียกลุ่มนี้จะสังเคราะห์แสงทำให้ปลดปล่อยออกซิเจนออกมาละลายน้ำเพิ่มขึ้น และสำหรับความเป็นกรดด่างของน้ำเสียในบ่อมีสภาพเป็นด่างอ่อน โดยในเดือนมกราคมมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 7.8 และเมื่อเริ่มเข้าสู่ฤดูร้อนในเดือนกุมภาพันธ์ความเป็นกรดด่างมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 8.9 (ตารางผนวกที่ 3)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



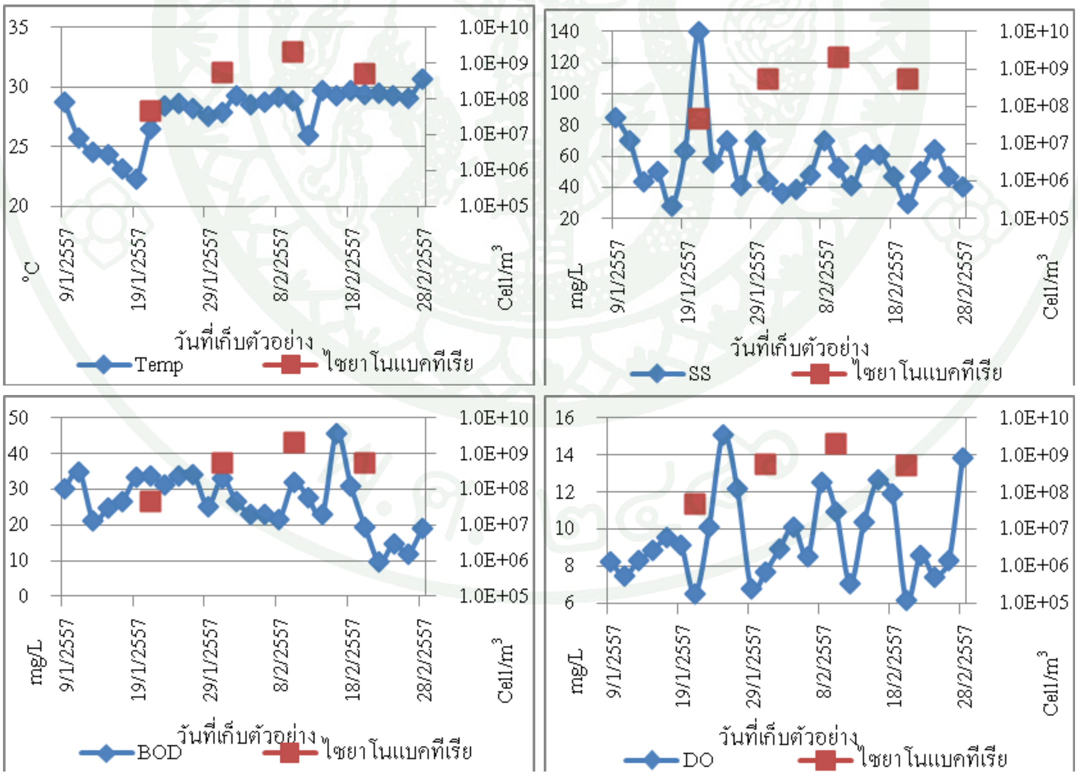
ภาพที่ 33 อิทธิพลของปริมาณไซยาโนแบคทีเรียต่อคุณภาพน้ำเสียบ่อผึ่งที่ 1 ในฤดูหนาว (มกราคม-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557)

2.4.3 บ่อผึ่งที่ 2

ในบ่อผึ่งที่ 2 อุณหภูมิของน้ำเสียมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 22.3 องศาเซลเซียส ในเดือนมกราคมเฉลี่ย 26.3 องศาเซลเซียส โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในเดือนกุมภาพันธ์เฉลี่ย 29.1 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมในการเจริญของไซยาโนแบคทีเรีย (Peerapornpisal *et. al.*, 1999; Liping *et. al.*, 2013) จากชนิดและปริมาณไซยาโนแบคทีเรียที่พบถี่ที่สุด 3 ชนิด คือ*Spirulina platensis*, *Microcystis aeruginosa* และ *Oscillatoria* sp.ที่มีปริมาณสูงในเดือนมกราคมและสูงที่สุดช่วงปลายเดือน จากนั้นมีแนวโน้มลดลงและกลับเพิ่มขึ้นมาอีกในเดือนกุมภาพันธ์ การเพิ่มปริมาณของไซยาโน-แบคทีเรียส่งผลให้ของแข็งแขวนลอยมีปริมาณมากในเดือนมกราคมเฉลี่ย 63.4 มิลลิกรัม/ลิตร และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเริ่มเข้าสู่ฤดูร้อนในเดือนกุมภาพันธ์มีค่าเฉลี่ยเหลือเพียง 49.1 มิลลิกรัม/ลิตร เช่นเดียวกับความสกปรกในรูปบีโอดีที่มีค่าสูงในเดือนมกราคมเฉลี่ย 30.14 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งค่าความสกปรกในรูปบีโอดีมีค่าสูงในช่วงกลางฤดูหนาว ต้นเดือนมกราคมมีแนวโน้มลดลงในปลายเดือน และกลับมาเพิ่มขึ้นอีกในต้นเดือนกุมภาพันธ์ซึ่งในเดือนกุมภาพันธ์ความสกปรกในรูปบีโอดี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เฉลี่ยเหลือเพียง 23.4 มิลลิกรัม/ลิตร (ภาพที่ 34) เนื่องจากเซลล์ไซยาโนแบคทีเรียที่ตายลงถูกแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนย่อยสลายโดยดึงออกซิเจนมาใช้ในกระบวนการย่อยสลาย สำหรับของแข็งละลายได้มีค่าสูงในฤดูหนาวช่วงเดือนมกราคมมีค่าเฉลี่ย 574.1 มิลลิกรัม/ลิตร และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเริ่มเข้าสู่ฤดูร้อนในเดือนกุมภาพันธ์ โดยมีค่าเฉลี่ยเหลือเพียง 526.4 มิลลิกรัม/ลิตร และนอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) มีค่าค่อนข้างสูงอยู่ในช่วง 6.2-15.1 มิลลิกรัม/ลิตร โดยในเดือนมกราคมมีค่าเฉลี่ย 9.2 มิลลิกรัม/ลิตร และเดือนกุมภาพันธ์มีค่าเฉลี่ย 9.8 มิลลิกรัม/ลิตร เนื่องจากไซยาโนแบคทีเรียสามารถสังเคราะห์แสงได้จึงทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมากขึ้นร่วมกับเมื่อปริมาณไซยาโนแบคทีเรียลดลง การย่อยสลายของแบคทีเรียก็ลดลงไปด้วยทำให้ออกซิเจนละลายน้ำเพิ่มขึ้น และส่งผลให้น้ำเสียในบ่อมีสภาพเป็นด่างอ่อนๆ โดยมีค่าความเป็นกรดด่างในเดือนมกราคมเฉลี่ย 8.7 มิลลิกรัม/ลิตร และมีแนวโน้มลดลงในเดือนกุมภาพันธ์เฉลี่ยเหลือเพียง 8.4 มิลลิกรัม/ลิตร เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์จะปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาและทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดเป็นกรดคาร์บอนิก และแตกตัวเป็นคาร์บอนเนตไบคาร์บอนเนตทำให้น้ำมีสภาพเป็นด่างอ่อนๆ (ตารางผนวกที่ 4)



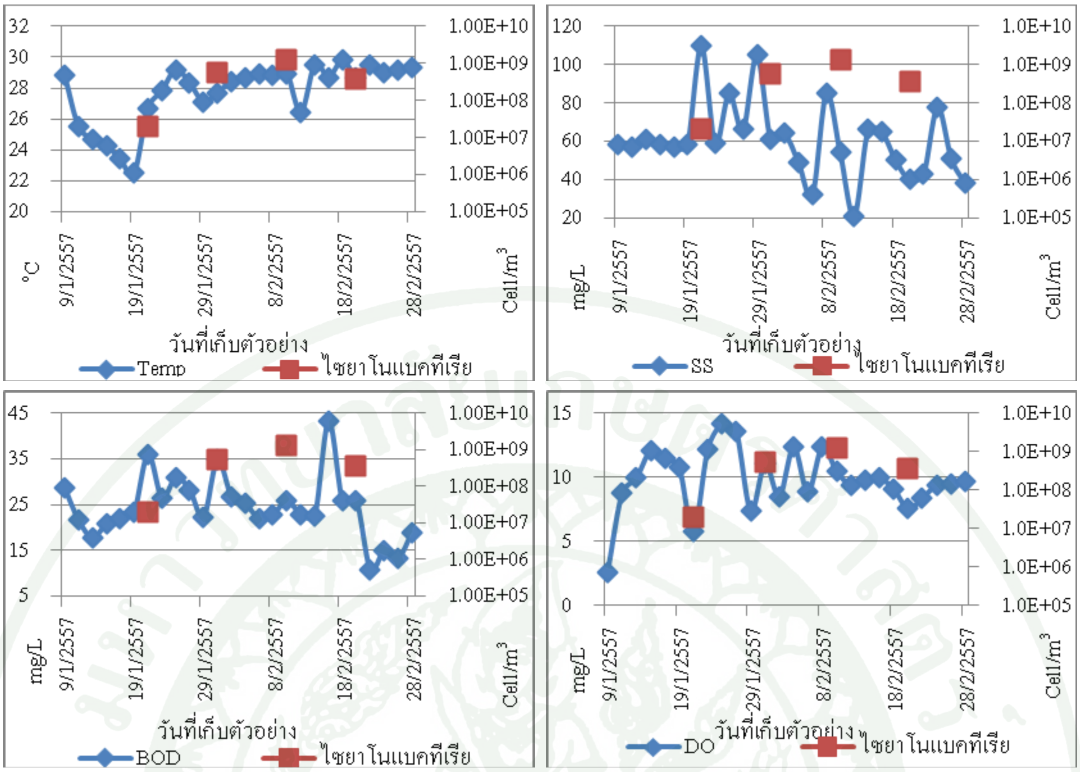
ภาพที่ 34 อิทธิพลของปริมาณไซยาโนแบคทีเรียต่อคุณภาพน้ำเสียบ่อผึ่งที่ 2ในฤดูหนาว (มกราคม-มีนาคม พ.ศ. 2557)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.4.4 บ่อผึ่งที่ 3

น้ำเสียบ่อผึ่งที่ 3 มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 22.5-29.8 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิน้ำเพิ่มสูงขึ้นจากฤดูหนาวถึงฤดูร้อน ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่ไซยาโนแบคทีเรียเจริญได้ดีจึงพบมากถึง 7ชนิด ส่งผลให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยสูงถึง 110 มิลลิกรัม/ลิตร ในเดือนมกราคมและมีค่าเฉลี่ย69.6 มิลลิกรัม/ลิตร และเมื่อเข้าสู่ฤดูร้อนช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ปริมาณของแข็งแขวนลอยมีแนวโน้มลดลงเฉลี่ยเหลือเพียง 52.6 มิลลิกรัม/ลิตร เช่นเดียวกับปริมาณของแข็งละลายได้ที่มีค่าสูงในเดือนมกราคมและมีแนวโน้มลดลงในเดือนกุมภาพันธ์ โดยมีค่าเฉลี่ย 628.7 มิลลิกรัม/ลิตร และ596 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ โดยส่งผลให้ค่าความสกปรกในรูปบีโอดีสูงในเดือนมกราคมเฉลี่ย26.0 มิลลิกรัม/ลิตร และมีแนวโน้มลดลงในเดือนกุมภาพันธ์เฉลี่ยเหลือเพียง 22.9 มิลลิกรัม/ลิตร(ภาพที่ 35) เช่นเดียวกันปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าเฉลี่ยเดือนมกราคมค่อนข้างสูงอยู่ที่ 10มิลลิกรัม/ลิตร และมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยในเดือนกุมภาพันธ์เฉลี่ยเหลือ 9.7 มิลลิกรัม/ลิตรนอกจากนี้น้ำเสียยังมีสภาพเป็นด่างซึ่งในเดือนมกราคมมีค่าเฉลี่ยเกินมาตรฐานกำหนดมีค่าอยู่ที่ 9.2แต่เมื่อเริ่มเข้าสู่ฤดูร้อนในเดือนกุมภาพันธ์ความเป็นกรดด่างมีค่าลดลงเฉลี่ยเหลือเพียง 8.9 (ตารางผนวกที่ 5) เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาและทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดเป็นกรดคาร์บอนิกและแตกตัวเป็นคาร์บอนเนต ไบคาร์บอนเนตทำให้น้ำมีสภาพเป็นด่าง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



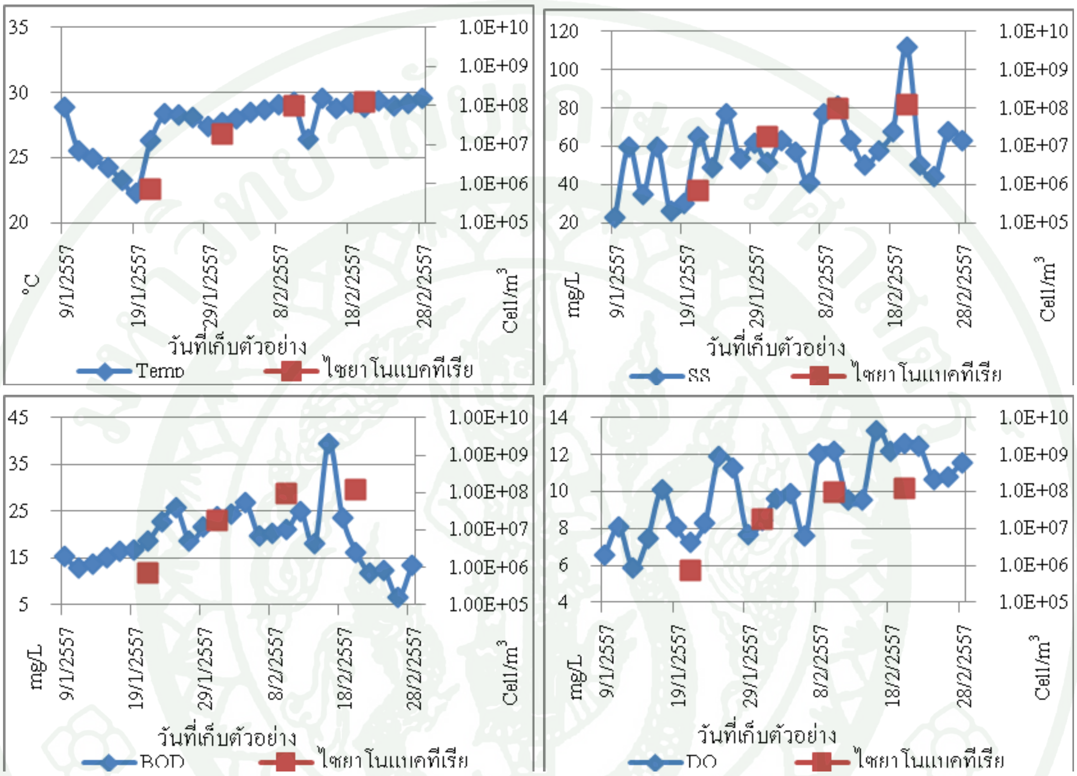
ภาพที่ 35 อิทธิพลของปริมาณไซยาโนแบคทีเรียต่อคุณภาพน้ำเสียบ่อผึ่งที่ 3 ในฤดูหนาว (มกราคม-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557)

2.4.5 บ่อปรับสภาพ

น้ำเสียในบ่อปรับสภาพในช่วงฤดูหนาวมีลักษณะของสีน้ำค่อนข้างใสโดยน้ำเสียในบ่อนี้มีอุณหภูมิต่ำกว่าบ่ออื่นโดยในเดือนมกราคมมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 26.3 องศาเซลเซียส ในมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในเดือนกุมภาพันธ์เฉลี่ยอยู่ที่ 28.8 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำมีปริมาณค่อนข้างต่ำในเดือนมกราคมเฉลี่ยอยู่ที่ 49.4 มิลลิกรัม/ลิตร และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในเดือนกุมภาพันธ์เฉลี่ย 63.9 มิลลิกรัม/ลิตร เนื่องจากบ่อมีความตื้นทำให้มีปริมาณแสงที่ส่องลงไปได้ทั่วถึงจึงทำให้ไซยาโนแบคทีเรียสามารถสังเคราะห์แสงและเพิ่มปริมาณได้อีก แต่ในทางกลับกันปริมาณของแข็งละลายได้มีปริมาณสูงในเดือนมกราคมเฉลี่ย 708.7 มิลลิกรัม/ลิตร และมีแนวโน้มลดลงในเดือนกุมภาพันธ์เฉลี่ยเหลือเพียง 673.3 มิลลิกรัม/ลิตร ส่งผลต่อค่าความสกปรกในรูปบีโอดีที่มีมากในเดือนมกราคมสูงถึง 25.8 มิลลิกรัม/ลิตร และมีแนวโน้มลดลงในปลายเดือน และเมื่อเข้าสู่เดือนกุมภาพันธ์ความสกปรกในรูปบีโอดีกลับเพิ่มขึ้นอีกโดยมีค่าสูงกว่าในเดือนมกราคมอยู่ที่ 39.6 มิลลิกรัม/ลิตร เนื่องจากไซยาโนแบคทีเรียที่ตายลงทำให้จุลินทรีย์ที่ใช้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ออกซิเจนมีการย่อยสลายที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 36) นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคมเฉลี่ย 8.4 มิลลิกรัม/ลิตร โดยในเดือนกุมภาพันธ์มีค่าเฉลี่ย 11 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนสภาพความเป็นกรดด่างของน้ำในบ่อมีภาพเป็นด่างโดยในช่วงฤดูหนาวตลอดเดือนมกราคมถึงกุมภาพันธ์มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 9.1 (ตารางผนวกที่ 6)

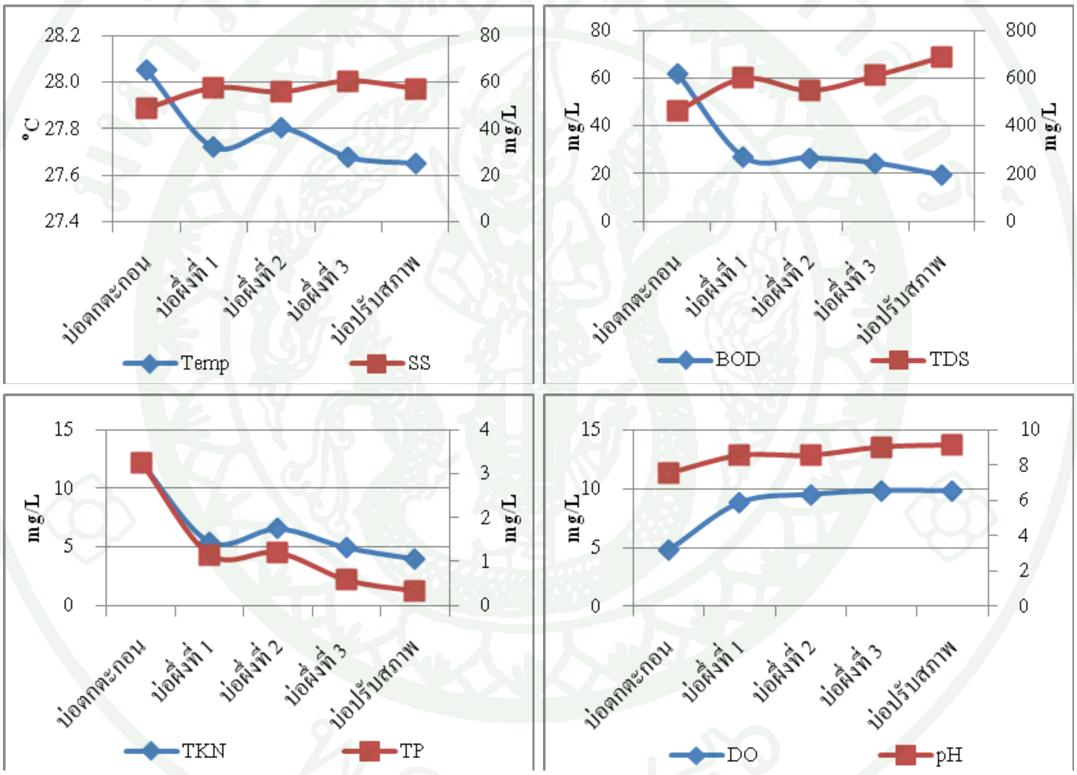


ภาพที่ 36 อิทธิพลของปริมาณไซยาโนแบคทีเรียต่อคุณภาพน้ำเสียบ่อปรับสภาพในฤดูหนาว (มกราคม-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557)

ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่งของโครงการแหลมผักเบี้ยฯ ในช่วงฤดูหนาวที่มีไซยาโนแบคทีเรียเจริญมากซึ่งไซยาโนแบคทีเรียจะมีการเจริญมากในเดือนมกราคม และลดลงเมื่อเข้าสู่เดือนกุมภาพันธ์ โดยพบว่า อุณหภูมิของน้ำเฉลี่ยมีค่า 28.1, 27.7, 27.8, 27.7 และ 27.7 องศาเซลเซียส ตามลำดับซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของไซยาโนแบคทีเรีย และจากที่มีไซยาโนแบคทีเรียเจริญมากในระบบบำบัดน้ำเสียทำให้ส่งผลต่อคุณภาพน้ำและเมื่อพิจารณาคุณภาพน้ำตามระยะทางการไหล พบว่า ค่าของแข็งแขวนลอยมีค่าลดลงจากบ่อตกตะกอนมาบ่อผึ่งที่ 1 แต่จะเพิ่มขึ้นในบ่อผึ่งที่ 2 และกลับลดลงอีกในบ่อผึ่งที่ 3 และบ่อปรับสภาพ โดยมีค่าเฉลี่ย 49, 57, 56, 60, 57 มิลลิกรัม/ลิตรตามลำดับ และค่าความสกปรกในรูปบีโอดีที่มีค่าสูงในบ่อตกตะกอนโดย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มีค่าเฉลี่ย 61.5 มิลลิกรัม/ลิตร และลดลงตามระยะทางโดยมีค่าเฉลี่ย 26.8, 26.5, 24.3 และ 19.3 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับเนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์และเซลล์ไซยาโนแบคทีเรียที่ตายลงถูกแบคทีเรียย่อยสลายตลอดเวลาและเมื่อเริ่มเข้าสู่ฤดูร้อนปริมาณไซยาโนแบคทีเรียลดลง น้ำเสียที่ไหลผ่านมายังบ่อปรับสภาพก็มีปริมาณสารอินทรีย์ปนเปื้อนก็ลดลงทำให้คุณภาพน้ำในรูปบีโอดีมีค่าลดลง ส่วนค่าของแข็งละลายได้กลับมีปริมาณสูงขึ้นจากบ่อตกตะกอนเฉลี่ย 462, 599, 549, 611, 690 มิลลิกรัม/ลิตรตามลำดับ ดังภาพที่ 37 เนื่องจากปริมาณไซยาโนแบคทีเรียลดลง สารอินทรีย์เจือจางลง ปริมาณธาตุสารอาหารมีมากขึ้นและร่วมกับอิทธิพลของน้ำทะเลทำให้ปริมาณปริมาณของแข็งละลายได้ในบ่อปรับสภาพเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 37 คุณภาพน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่ง โครงการแหลมผักเบี้ยฯตามระยะทางในช่วงฤดูหนาว (มกราคม-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557)

นอกจากนี้ยังพบว่าคุณภาพน้ำตามระยะทางมีปริมาณธาตุอาหารทีเคเอ็นและฟอสฟอรัสมีปริมาณเฉลี่ยลดลงจากบ่อตะตะกอนถึงบ่อปรับสภาพ ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นอินทรีย์ไนโตรเจนหรือทีเคเอ็นมีค่าเฉลี่ย 12.2, 5.4, 6.6, 4.9 และ 4.0 มิลลิกรัม/ลิตร และฟอสฟอรัสรวมเฉลี่ย 3.3, 1.2, 1.2, 0.6, 0.3 มิลลิกรัม/ลิตร เนื่องจากไนโตรเจนและฟอสฟอรัสซึ่งเป็นสารอินทรีย์ย่อยสลายได้ถูก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แบคทีเรียย่อยสลายตลอดเวลาจึงทำให้ปริมาณลดลง เช่นเดียวกับปริมาณออร์โทฟอสเฟตที่จะมีปริมาณลดลงจากบ่อตกตะกอนถึงบ่อปรับสภาพ แต่สำหรับไนโตรเจนที่ถูกย่อยสลายโดยแล้วจะเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรท ตามลำดับ นอกจากนี้จากความสามารถในการตรึงไนโตรเจน (nitrogen fixation) จากบรรยากาศของไซยาโนแบคทีเรียส่งผลให้ปริมาณไนเตรทในน้ำสูงขึ้นในบ่อปรับสภาพ ส่วนปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและความเป็นกรดด่างมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นตามระยะทาง โดยเฉลี่ยออกซิเจนละลายน้ำมีค่า 4.8, 8.8, 9.5, 9.8 และ 9.8 มิลลิกรัม/ลิตร และความเป็นกรดด่างมีค่าเฉลี่ย 7.5, 8.5, 8.5 9.0 และ 9.1 (ภาพที่ 37) โดยน้ำมีสภาพเป็นด่างเนื่องจากไซยาโน-แบคทีเรียที่สามารถสังเคราะห์แสงได้จะปลดปล่อยออกซิเจนออกมากและในขณะเดียวกันแบคทีเรียที่อยู่ในน้ำเสียการทำการย่อยสลายสารอินทรีย์พร้อมทั้งเซลล์ไซยาโนแบคทีเรียที่ตายในบ่อและจะปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดเป็นกรดคาร์บอนิกและแตกตัวเป็นคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนต

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุป

1. การจัดการน้ำเสียด้วยระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่งโครงการแหลมผักเบี้ยฯ

1.1 ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่งของโครงการแหลมผักเบี้ยฯมีโครงสร้างเป็นบ่อดินเหนียวอัดแน่นเรียงต่อกัน 5 บ่อ ได้แก่ บ่อตกตะกอน บ่อผึ่งที่ 1 บ่อผึ่งที่ 2 บ่อผึ่งที่ 3 และบ่อปรับสภาพ ซึ่งเป็นระบบเปิด สามารถรองรับน้ำเสียชุมชนได้ 225,048.04 ลูกบาศก์เมตร บนพื้นที่ 147,860.91 ตารางเมตร น้ำเสียชุมชนที่เข้ามาจะถูกบำบัดด้วยกลไกธรรมชาติช่วยธรรมชาติ โดยใช้กระบวนการทางฟิสิกส์ กระบวนการเทอร์โมไซฟอน และกระบวนการสังเคราะห์แสง เพื่อเป็นการเติมออกซิเจนให้กับจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับน้ำ น้ำที่ผ่านการบำบัดจะถูกปล่อยไปยังป่าชายเลนและออกทะเลอ่าวไทยต่อไป

1.2 คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดข้อมูล 5 ปีย้อนหลัง (พ.ศ. 2552-2556) ระบบมีการปิดเพื่อขุดลอกและปรับปรุงระบบ 2 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 ช่วงตุลาคม 2554–กรกฎาคม 2555 และครั้งที่ 2 ช่วงมกราคม-พฤษภาคม 2556 โดยสีน้ำที่ผ่านการบำบัดแต่ละบ่อจะดีขึ้นจากสีดำในบ่อตกตะกอนจะใสขึ้นอย่างชัดเจน ผิวน้ำที่นิ่งในบ่อตกตะกอนจะเกิดคลื่นในบ่อผึ่งที่ 1 และเกิดคลื่นมากขึ้นในบ่อปรับสภาพ อุณหภูมิของน้ำเสียในแต่ละบ่อมีแนวโน้มที่คล้ายกัน คือจะมีอุณหภูมิต่ำในช่วงฤดูหนาวและมีเพิ่มขึ้นในช่วงฤดูร้อนและลดลงอีกครั้งเมื่อเข้าฤดูฝน และคุณภาพน้ำเมื่อผ่านการบำบัดจะมีคุณภาพที่ดีขึ้นโดยจากบ่อรวบรวมน้ำเสียบ้านคลองยางผ่านกระบวนบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนก็สามารถลดปริมาณความสกปรกในรูปบีโอดีและธาตุอาหารต่างๆได้ และเมื่อน้ำเข้าสู่บ่อตกตะกอนเข้าระบบบ่อน้ำยิ่งมีคุณภาพที่ดีขึ้นซึ่งในบ่อปรับสภาพที่ปล่อยน้ำออกน้ำจะมีความสกปรกอยู่ในเกณฑ์กำหนดและปริมาณธาตุอาหารน้อยมาก

2. อิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ต่อการเจริญของไซยาโนแบคทีเรียและคุณภาพน้ำ

2.1 ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่แผ่เข้ามายังโลก บริเวณจังหวัดเพชรบุรีในพื้นที่โครงการแหลมผักเบี้ยฯ ช่วงฤดูหนาวมีปริมาณสูงสุดในเดือนพฤศจิกายนช่วงต้นฤดูและมีแนวโน้มลดลงจนถึงเดือนกุมภาพันธ์ที่มีปริมาณน้อยสุด และในช่วงคลื่นที่มีปริมาณเฉลี่ยมากที่สุดในช่วงฤดูหนาวคือ

- แสงสีแดง ช่วงความยาวคลื่น 621-750 นาโนเมตร เฉลี่ย 3,499.8 วัตต์/ตารางเมตร
- แสงสีเขียว ช่วงความยาวคลื่น 501-570 นาโนเมตร เฉลี่ย 8,939.73 วัตต์/ตารางเมตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

- แสงสีม่วง ช่วงความยาวคลื่น 381-450 นาโนเมตร เฉลี่ย 1,469 วัตต์/ตารางเมตร

2.2 ปริมาณไซยาโนแบคทีเรียในฤดูหนาวพบทั้งหมด 11 ชนิด

- บ่อตกตะกอน พบ 7 ชนิด ปริมาณ $1.02x10^8$ เซลล์/ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 1.18
- บ่อผึ่งที่ 1 พบ 7 ชนิด ปริมาณ $2.92x10^9$ เซลล์/ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 33.74
- บ่อผึ่งที่ 2 พบ 7 ชนิด ปริมาณ $3.18x10^9$ เซลล์/ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 36.74
- บ่อผึ่งที่ 3 พบ 7 ชนิด ปริมาณ $2.22x10^9$ เซลล์/ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 25.61
- บ่อปรับสภาพพบ 10 ชนิด ปริมาณ $2.36x10^8$ เซลล์/ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 2.73

ชนิดที่พบในฤดูหนาวมีชนิดที่พบมากมากที่สุด 3 คือ *Spirulina platensis*, *Microcystis aeruginosa* และ *Oscillatoria* sp.

2.3 รังสีแสงอาทิตย์ที่โลกได้รับมีอิทธิพลต่อการเจริญของไซยาโนแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่ง หรือกล่าวได้ว่ารังสีดวงอาทิตย์ในฤดูหนาวเป็นปัจจัยจำกัดในการเจริญของไซยาโนแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน เนื่องจากคุณภาพน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียทุกบ่อมีความอุดมสมบูรณ์สังเกตจากอัตราส่วนระหว่างไนโตรเจนและฟอสฟอรัสรวม มีค่าน้อยกว่า 17 แต่กลับมีการบูมเฉพาะฤดูหนาว โดยปัจจัยการเจริญของไซยาโนแบคทีเรียคือรังสีดวงอาทิตย์เพราะไซยาโนแบคทีเรียเป็นสิ่งมีชีวิตที่ดำรงชีวิตแบบ chemoautotroph ซึ่งตรงกับในฤดูหนาวท้องฟ้ามีปริมาณเมฆปกคลุมน้อยทำให้ท้องฟ้าโปร่ง รังสีแสงอาทิตย์ สามารถส่องลงมาได้มากทำให้ไซยาโนแบคทีเรีย ที่มีรงควัตถุหลายชนิดสามารถรับแสงในแต่ละช่วงคลื่นได้มาก และเมื่อเริ่มเข้าสู่ฤดูร้อนและฤดูฝนท้องฟ้ามีปริมาณไอน้ำ และฝุ่นละออง เพิ่มขึ้นทำให้เป็นตัวสะกัดกั้นรังสีดวงอาทิตย์ส่งผลต่อปริมาณรังสีที่เข้ามาลดลงไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้ไซยาโนแบคทีเรียรับแสงได้ลดลงส่งผลทำให้การสังเคราะห์แสงลดลงจึงทำให้ปริมาณที่ลดลง และจากการเจริญของไซยาโนแบคทีเรียที่มากผิดปกติ หรือเรียกว่าปรากฏการสาหร่ายบูมในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อผึ่งมีผลต่อคุณภาพน้ำเนื่องจากอุณหภูมิของน้ำเหมาะสมต่อการเจริญและปริมาณไซยาโนแบคทีเรีย โดยพบว่าอุณหภูมิของน้ำเสียที่เหมาะสมต่อการเจริญของไซยาโนแบคทีเรียอยู่ที่ 22.3-30.7 องศาเซลเซียส และนอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณไซยาโนแบคทีเรียส่งผลต่อปริมาณของแข็งแขวนลอย ความสกปรกในรูปบีโอดี ของแข็งละลายได้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและความเป็นกรดด่าง เนื่องจากคุณสมบัติในการสังเคราะห์แสงและมีการปลดปล่อยออกซิเจนทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีมาก เกิดการย่อยสลายมากขึ้นมีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ก็ส่งผลต่อความเป็นกรดด่างของน้ำและเมื่อเซลล์ตายลงก็ส่งผลต่อความสกปรกในรูปบีโอดีเพิ่มขึ้นเนื่องจากแบคทีเรียใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายเซลล์ที่ตายมากขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาและทดลองหาแนวทางจัดการปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่เป็นสาเหตุการเจริญของไซยาโนแบคทีเรีย เช่น การสกัดกั้นหรือลดปริมาณแสงที่เข้ามาในบ่อโดย การใช้ตาข่ายกรองแสงบริเวณบ่อเพื่อลดแสงในช่วงความยาวคลื่นสีแดง หรือสีเขียว เป็นต้น

2. ควรมีการศึกษาและทดลองหาแนวทางจัดการปริมาณธาตุอาหารที่เข้ามาในระบบมากในฤดูฝน ซึ่งถือว่าเป็นการสะสมธาตุอาหารไว้และพร้อมที่จะเจริญอยู่ตลอดเวลาเพียงมีปัจจัยด้านรังสีดวงอาทิตย์มากระตุ้นก็จะทำให้ไซยาโนแบคทีเรียเจริญได้ทันที ในการลดปริมาณธาตุอาหารก่อนเข้าระบบสามารถทำได้ โดยให้น้ำเสียชุมชนไหลผ่านแปลงพืชก่อนเข้าสู่บ่อตกตะกอนโดยใช้พืชในการดูดธาตุอาหาร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

เกษม จันทร์แก้ว, พันธ์ทิพย์ กล่อมเจ๊ก, ชาตรี นิ่มปี และเสกสรร เทพพิทักษ์. 2543. ข้อจำกัดของระบบบำบัดน้ำเสีย. น. 17-1 – 17-19. *ใน* **เอกสารประกอบสัมมนาวิชาการ รายงานการศึกษาวิจัยวิทยาศาสตร์การจำกัดขยะและการบำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำริ ระหว่างวันที่ 24-25 สิงหาคม พ.ศ. 2543**. โครงกาศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, กรุงเทพฯ.

เกษม จันทร์แก้ว. 2522. **คู่มือประกอบคำบรรยาย อุตุนิยมวิทยาใกล้ผิวดิน.** ภาควิชาอนุรักษ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์. 2527. **สาหร่าย**. คณะประมง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2552. **ความรู้อุตินิยมวิทยา เรื่องฤดูกาลของประเทศไทย.** แหล่งที่มา: http://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=23, 15 กุมภาพันธ์ 2557.

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2557. **จำนวนเมฆในท้องฟ้า.** แหล่งที่มา: www.tmd.go.th2/info/info.pdf?FileID=57, 1 ตุลาคม 2557.

กรมควบคุมมลพิษ. 2545. **น้ำเสียชุมชนและระบบบำบัดน้ำเสีย**. โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, กรุงเทพฯ

กรมควบคุมมลพิษ. 2549. **ระบบบำบัดน้ำเสีย.** แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/info_serv/water_wt.html, 28 พฤศจิกายน 2557.

กรมควบคุมมลพิษ. 2550. **มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน.** แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.html#s, 14. 28 พฤศจิกายน 2557.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. **การบำบัดน้ำเสีย**. มิตรนราการพิมพ์. กรุงเทพฯ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย. 2552. **เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำริ :การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย** แหล่งที่มา: http://www.haii.or.th/wiki84/index.php, 1 ตุลาคม 2557.

จงจินต์ ศิวะศิลป์. 2524. **สาหร่ายวิทยา.** คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่

ฉัตรไชย รัตนไชย. 2539. **การจัดการคุณภาพน้ำ.** พิมพ์ครั้งที่ 2 . โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ดวงพร นพคุณ. 2536. **ภูมิอากาศวิทยา.** บริษัท พัฒนกิจการพิมพ์กระดาษ จำกัด, กรุงเทพฯ.

ธนิศร์ ปัทมพิทูร. 2556. **ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติของรังสีแสงอาทิตย์ต่อการ ลดปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มและแบคทีเรียก่อโรคในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่ง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธนวัฒน์ จินจารักษ์. 2557. **สมดุลน้ำในระบบบ่อผึ่งบำบัดน้ำเสียโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธีรศักดิ์ สมดี. 2556. **จุลชีววิทยาพื้นฐาน**. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

ธงชัย มาลา. 2535. **ปุ๋ยชีวภาพเพื่อการเกษตร**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ ฯ.

นฤชิต คำปิน. 2554. **แบบจำลองอัตราความหนาแน่นการปล่อยปลานิล (*Oreochromis niloticus*) ในบ่อบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่ง โครงการศึกษาวิจัย และพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย จังหวัดเพชรบุรี.** วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บัญญัติ สุขศรีงาม. 2532. **จุลชีววิทยา เล่ม 2**. พิมพ์ครั้งที่ 2. โอ เอสพริ้นติ้ง เฮาส์, กรุงเทพฯ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บรรจง วรรธนะพงษ์ และ อเนก ก้านสังวอน. 2537. **ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย.** เอกสารประกอบการประชุมเชิงปฏิบัติการโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี. วันที่ 3-4 เมษายน พ.ศ. 2537 ณ โรงแรมชะอำรีเจนท์ อำเภอชะอำ, เพชรบุรี.

ปราณี พันธุมสินชัยง. 2537. **คู่มือการดำเนินงานควบคุมปัญหาน้ำเสียของภาครัฐบาล องค์การบริหารและสุขาภิบาล**. เรือนแก้วการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

พันทิพา วงศ์ละคร. 2556. **ความผันแปรของรังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์ อันเนื่องมาจากความเข้มข้นของฝุ่นละอองบริเวณโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พรรณีย์ แตงศรี. 2551. **การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดและแบคทีเรียก่อโรคในน้ำเสียจากโรงฆ่าสุกรที่ผ่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบพืชกรองด้วยธูปฤาษี จังหวัดสุพรรณบุรี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พัฒนา มูลพฤกษ์. 2546. **อนามัยสิ่งแวดล้อม = Environmental health**. พิมพ์ครั้งที่ 3. ภาควิชาวิทยาศาสตร์อนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชมงคล. 2548. **แสง และทฤษฎีควอนตัม.** แหล่งที่มา: http://www.rmutphysics.com/PHYSICS/oldfront/100/electromagnetic-wave2.htm, 15 กรกฎาคม 2557.

ยุวดี พีรพรพิศาล. 2549. **สาหร่ายวิทยา.** ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ลัดดา วงศ์รัตน์ และ โสภณา บุญญาภิวัฒน์. 2546. **คู่มือวิธีการเก็บและวิเคราะห์แพลงก์ตอน.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วันเพ็ญ ภูติจันทร์. 2549. **วิทยาสาหร่าย (phycology)**. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์ (LESA) สำนักงานกองทุนสนับสนุนกาวิจัย (สกว.). 2553. **โครงสร้างบรรยากาศ.** แหล่งที่มา: http://portal.edu.chula.ac.th/lesa_cd/assets/document/LESA212/6/atm_structure/atm_structure/atm_structure.html, 15 กรกฎาคม 2557.

สตรีไทย สถิติ. 2544. **ระยะเวลาและจำนวนบ่อผึ่ง ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากเทศบาลเมืองเพชรบุรี ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัด เพชรบุรี.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยนเรศวร.

สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2557. **แสงที่มองเห็นได้ (visible light)**. แหล่งที่มา: **Error! Hyperlink reference not valid.**, 15 กรกฎาคม 2557.

สุกัญญา สารณาคมน์กุล. 2548. **การศึกษาคุณสมบัติบางประการของน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนของพุทธรักษา ธรรมรักษาและขิงแดงในสภาพน้ำขังสลับแห้งของดินร่วมกับพืช.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมชาย หวังวิบูลย์กิจ. 2551. **ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน Oscillatoria sp. และ Microcystis sp. และความสัมพันธ์ของปริมาณสาหร่ายต่อกลิ่นโคลนในกุ้งขาวแวนนาไม (Litopenaeus vannamei)) ในบ่อเลี้ยง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. 2538. **นโยบายและแผนการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2540-2559**. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.

สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. 2535. **พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติพ.ศ. 2535**. แหล่งที่มา : http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_envi.html, 28 พฤศจิกายน 2557.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำนักดาราศาสตร์ซันฟลาวเวอร์ คอสมอส. 2553. **Solar Observing: ดวงอาทิตย์..ดาวที่เราลืมดู** . แหล่งที่มา: http://www.sunflowercosmos.org, 15 กรกฎาคม 2557.

เสริม จันทร์ฉาย และ จรุงแสง ลักษณบุญส่ง. 2542. **แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียมสำหรับประเทศไทย.** พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัท จิรังรัชต์ จำกัด.

Alam, M.G.M., N. Jahan, L. Thalib, B. Wei and T. Maekawa. 2001. Effects of environmentalfactors on the seasonally change of phytoplankton population in a closed freshwaterpond. **Envi. Int**. 27:363-371.

Anagnostidis, K and Komarek, J. 1988. Modern approach to the classification system of cyanobacteria 3. Oscillatoriales. **Archiv für Hydrobiologie/Algological Studies.** 50: 327-427.

Anagnostidis, K and Komarek, J. 1990. Modern approach to the classification system of cyanobacteria 5. Stigonematales. **Archiv für Hydrobiologie/Algological Studies.** 59: 1-73.

Anderson, R. J., H. A. Luu, D. Z. X. Chen, C. F. B. Holmes, M. L. Kent, L. Leblanc, F.J. R. Taylor and D. E. Williams. 1993. Chemical and biological evidence links microcystins to salmon "netpen liver disease": **Toxicon.** 31: 1315-1323.

Antonio, A., H.J. Beinea, R. Sparapania, M. Nardinoc and I. Allegrinia. 2006. Observation of coinciding arctic boundary layer ozone depletion and snow surface emissions of nitrous acid. **Atmospheric Environment.** 40: 1949-1956.

Anita G.J., E.W.Helbling, M.K. de Boer and V.E. Villafane. 2001. Patterns of DNA damage and photoinhibition in temperate South-Atlantic picophytoplankton exposed to solar ultraviolet radiation. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**. 62: 9-18.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

APHA, AWWA and WPCF. 1998. **Standard Method for the Examination of Water and Wastewater.** 19th (ed.). America Public Health Association, Washington, DC.

Bold, Harold.C. and Wynne, Michael J. 1985. **Introduction to the algae**. New Delhi: Prentice-Hall, of India private limited.

Bold Harold **C.,** C. Alexopoulos, & T. Delevoryas. 1980. **Morphology of plant and fungi.** 4th ed. New York. Harper and Row Publishing.

Chapman, V.J. and Chapman, D.J. 1975. **The algae**. London: The Macmillan press, Ltd.

Durrel, L.W. 1964. Algae in tropical soils. **Tran. Amer. Society.** 83 : 79-85.

Fu, F. and P.R.F. Bell. 2003. Effect of salinity on growth, pigmentation, N2 fixation and alkaline phosphatase activety of cultured Trichodesmium sp. Mar. Ecol. **Prog. Ser**. 257:69-76.

Herbst, D.B. and D.W. Blinn, 1998. Experimental mesocosm studies of salinity effects on the benthic algal community of a saline lake. **J. Phycol**. 34:772-778.

Haibo jiang and Baosheng Qiu. 2005. Photosynthetic adaptation of a bloom-forming cyanobacterium microcystis aeruginosa (cyanophyceae) to prolonged UV-B exposure 1. **Journal of Phycology**, 41(5): 983-992.

Havens, K.E., R.T. Jame, T.L. East and V. H. Smith. 2003. N:P ratios, light limitation, and cyanobacterial dominance in a subtropical lake impacted by non-point source nutrient pollution. **Envi. Poll**. 122:379-390.

Jason Morrow. 2008. **Pigments and absorption spectra**. source; http://phototroph.blogspot.com/2006/11/pigments-and-absorption-spectra.html, 1 Novenber 2557.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

John A. Downing and Edward McCauley. 1992. The nitrogen: phosphorus relationship in lakes. **Limnol Oceanogr**. 37(5): 936-945

Karina Hesse., Elke Dittmann, Thomas Borner. 2001. Consequences of impaired microcystin production for light-dependent growth and pigmentation of Microcystis aeruginosa PCC 7806. **FEMS Microbiology Ecology**, (37): 39-43.

Komarek, J. and Anagnostidis, K. 1989. Modern approach to the classification system of cyanobacteria 4. Nostocales. **Archiv für Hydrobiologie/Algological studies.** 56: 247-345.

Komarek, J. and Anagnostidis, K. 1999. **Cyanoprokaryota : Chroococcales 1**. Teil. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag Jena.

Kirk, John T.O. 1983. **Light and photosynthesis in aquatic ecosystems**. The press syndicate of the University of Cambridge, New York, USA.

Lee, Robert Edward. 1995. **Phycology**. 2nd ed. New York. Cambridge University press.USA.

Liping Wang, Lasan Liu, Binghui Zheng. 2013. Eutrophication development and its key regulating factors in a water-supply reservoir in North China. **Journal of Environmental Science**. 25: 962-970

Materasi, R. and W. Balloni. 1965. The observation present of microorganisms autothrophes fixator vary areas. **Ann. Inst. Pasteur, Parris, 3. Suppl.** 218-223.

Mauseth, James. 1991. **Botany: AnIntroduction to Plant Biology**. Philadelphia: Sauders College Publishing.

Monteith, J. L. and M.H. Unsworth. 1990. **Principles of Environmental Physics**. University of Nottingham of Agriculture. Edward Arnold Ltd. London. pp. 71 -74.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Norton Cynthia friend. 1981. **Microbiolog**y. Massachusetts addision-wesley publishing company

Nishiwaki-matsushima, R.,T.Ohta, S. Nishiwaki, M. Suganuma, K. Kohyama, T. Ishikawa, W.W. Carmichael and H. Fujiki. 1992. Liver tumer promotion by cyanobactrial cyclic peptide toxin microcystin LR. Cancer Res. **Clin. Oncol.** 118:420-424.

Okuda, A. and Yamaguchi, M. 1952. Algae and atmospheric nitrogen fixation in paddy soil II. Relation between the growth of blue-green algae and physical or chemical properties of soil and effect of soil treatments and inoculation on the nitrogen. **Mem Res. Intst. FoodSci.** 4 : 1

Oren, A. 2000. Salts and brines. In: Whitton, B.A. and Potts, M. (eds). **The ecology of cyanobacteria their diversity in time and space**. pp. 281–306, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Pannop Limhoon. and Surat. Bualert. 2013. Variation of net Radiation and Solar Spectrum in Thailand. **International of Environmental Science and Development.** 4 (2): 107-110

Pantipa Wonglakorn . and Surut Bualert. 2013. Solar Spectrum Forcing Due to Soil Particle Concentration. **International of Environmental Science and Development.** 4 (2): 116-118.

Parker, D. L., H. D. Kumar, L. C. Rai and J. B. Singh. 1997. Potassium salts inhibit growth of the cyanobacteria Microcystis spp. in pond water and difined media: implications for control of microcystin-producing aquatic bloom. **Appl. and Envi. Micro**. 63(6):2324-2329.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Pattamapitoon, T., P. Sirirote., P. Pakkong and K. Chunkao. 2013. Nature of Solar Radiation as Encouraged to Produce an Increment of Dissolved Oxygen and Hydrogen Peroxide in Oxidation Ponds for Community Wastewater Treatment at H.M.The King's LERD Project Site in Phetchaburi Province, Thailand. **Modern Applied Science.** 7(6): 26-41

Peerapornsisal, Y., Sonthichai, W., Somdee, T., Mulsin P. and Rott, E. 1999. Water quality and phytoplanktion in the Mae Kuang Udomtara reservoir Ching Mai Thailand. **Journal Science Chang Mai University,** 26(1): 25-43.

Pillay, T.V.R. 1992. **Aquaculture and the Environment**. John Wiley & Sons Inc., New York.

Purdue University and Wichita State University, 1995. **Oscillatoria sp Microcystis sp. Spirulina sp.** source; http://wwwcyanosite.bio.purdue.edu/images/lgimages/BIGO4.JPG, 1 November 2014.

Richmond, A. 1986. **CRC Handbook of Microalgal Mass Culture**. CRC press Inc., RocaRaton, Florida, USA.

Rippka, R. 1988. Recognition and identification of cyanobacteria**. Methods in Enzymology**. 167: 28-67.

Rippka, R., Deruelles, J., Waerbury, J., Herdman, M. and Stanier, R. 1979. Generic assignments, strain histories and properties of pure cultures of cyanobacteria**. Journal of General Microbiology**. 111: 1-61.

Riehl, H. 1965**. Introduction to the Atmosphere**. Mc Graw – Hill Book Comp. Inc. New York.U.S.A.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Roger PA and Kulasooroya SA. 1980. **Blue-green algae and rice**. The International Rice Research Institute, PO Box 933, Manila, Philippines.

Rai, V., S.P. Tiwari and A.K. Rai. 2001. Effect of NaCl on nitrogen fixation of unadapted and NaCl-adapted Azolla pinnata'Anabaena azollae. Aqua. Bot. 71:109.117.

Ruschel, A. P. and P.B, Vose. 1984. **Current Developments in Biological Nitrogen Fixation**. John Wiley and Sons.

Saadoun, I.M.K., K.S. Schrader, and W.T. Blevins. 2001. Environmental and nutritional factors affecting geosmin synthesis by Anabaena sp. **Wat. Res**. 35(5):1209-1218.

Saha, K.S., L Uma and G. Subramanian. 2003. Nitrogen stress induced changes in the msrine cyanobacterium Oscillatoria willei BDU 130511. FEMS Micro. **Ecol**. 45:263-272.

Satreethai Pommai., K. Chunkao, N. Dumpin, S. Boonmang and C. Nimpee. (2013). Determining the In-pipe anaerobic processing distance before draining to oxidationpond of municipal wastewater treatment. International **Journal of Environmental Science and Development**. 4: 157-162.

Smith, Gilbert M. 1950. **the fresh-water algae of the united states**. 2^{nd} ed. New York.. McGraw-Hill Book Company. USA.

Stephen, D.M., S. Demers and M. Vernet. 2000. The effect of UV radiation in the marine environment. **Cambridge environmental chemistry series 10.** The press syndicate of the University of Cambridge, New York, USA.

Venkataraman, G.S. 1981. Blue-green Algae for Rice Production. **FAO Soil Bull. 46.** Food andAgricultural Organization of the United Nation, Rome. 102 p.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Vincent, W.F. 2000. Cyanobacteria dominance in the polar regions. In: Whitton, B. A. and Potts, M. (eds). **The ecology of cyanobacteria their diversity in time and space**. pp.321–340. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Ward, D.M. and Castenholz, R.W. 2000. Cyanobacteria in geothermal habitats. In: Whitton, B. A. and Potts, M. (eds). **The ecology of cyanobacteria their diversity in time and space**. pp. 37–59. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Whynn-Williams, D.D. 2000. Cyanobacteria in deserts – life at the limit? In: Whitton, B.A. and Potts, M. (eds). **The ecology of cyanobacteria their diversity in time and space**. pp.341– 366. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Winai Meesang ., Surut Bualert and Pantipa Wonglakorn. 2013. Sea Salt Aerosols: Shortwave Radiative Forcing. **International of Environmental Science and Development.** 4 (2): 104-106.

Xie, L., P, Xie, S. Li, H. Tang and H. LiU. 2003. The low TN:TP ratio, a cause or a result of Microcystis blooms?. **Wat. Res**. 37:2073-2080.

Yusoff, F.M., H.B. Matias, Z.A. Khalid and S. Phang. 2001. Culture of microalgae using interstitial water extracted from shrimp pond bottom sediments. **Aquaculture.** 201:263-270.

Hong Y., H.Y.Hu, A. Sakoda, and M.Sagehasshi. 2010. Effects of Allelochemical Gramine on Photosynthetic Pigments of Cyanobacterium Microcystis aeruginosa. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, (4): 11-23.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 คุณภาพน้ำรายเดือนเฉลี่ย 5 ปีย้อนหลัง (พ.ศ. 2552-2556)

บ่อ	เดือน	พารามิเตอร์ BOD (mg/L)	DO (mg/L)	TSS (mg/L)	TKN (mg/L)	NH_4^+ (mg/L)	NO_3^- (mg/L)	TP (mg/L)	OP_4 (mg/L)	pH
ตกตะกอน	มกราคม	24.0	2.6	120.7	6.6	0.0	0.9	0.1	0.13	7.6
	กุมภาพันธ์	25.8	5.1	54.0	16.3	2.6	1.5	1.0	0.85	7.6
	มีนาคม	19.2	2.8	87.3	19.4	2.4	0.9	0.7	0.53	7.3
	เมษายน	22.2	2.6	65.0	12.6	2.6	0.8	1.4	1.15	7.5
	พฤษภาคม	29.3	1.8	84.0	17.0	1.7	0.7	0.9	0.76	7.1
	มิถุนายน	36.8	2.8	42.0	11.5	3.0	0.8	1.3	1.15	7.1
	กรกฎาคม	32.5	1.8	47.3	8.7	2.4	0.6	2.4	2.36	7.2
	สิงหาคม	33.5	1.7	57.6	16.0	2.6	0.7	1.4	1.23	7.1
	กันยายน	38.0	3.0	61.2	9.9	2.7	0.8	1.7	1.52	7.4
	ตุลาคม	30.2	0.7	49.5	6.2	3.9	0.5	0.9	0.72	7.4
	พฤศจิกายน	27.1	1.3	65.3	9.3	1.5	1.1	1.0	0.80	7.4
	ธันวาคม	25.7	1.2	102.5	7.7	1.8	0.7	1.0	0.79	7.2
ผึ่งที่ 1	มกราคม	18.7	2.5	107.0	2.6	0.0	2.6	0.06	0.10	7.6
	กุมภาพันธ์	23.3	5.0	53.7	4.6	1.7	3.1	1.0	0.79	7.6
	มีนาคม	11.4	4.1	64.0	5.7	1.7	1.1	0.1	0.14	7.5
	เมษายน	19.5	4.6	57.0	7.8	2.7	0.9	0.4	0.34	7.8
	พฤษภาคม	20.1	5.2	78.0	7.1	1.0	1.3	0.4	0.31	7.6
	มิถุนายน	13.1	5.5	43.3	13.2	1.9	1.0	1.6	1.43	7.3
	กรกฎาคม	20.6	6.2	48.7	5.7	1.8	1.5	1.4	1.17	7.5
	สิงหาคม	21.3	3.3	53.6	11.7	1.7	1.0	1.1	0.94	7.5
	กันยายน	23.0	5.7	82.4	6.4	1.5	0.8	0.9	0.75	7.9
	ตุลาคม	22.5	3.4	49.0	6.1	2.2	1.1	0.8	0.68	7.8
	พฤศจิกายน	22.2	4.9	77.8	8.7	0.8	3.6	0.8	0.63	7.9
	ธันวาคม	17.4	4.4	119.0	7.0	1.5	5.8	0.8	0.65	7.7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

บ่อ	เดือน	พารามิเตอร์								
		BOD (mg/L)	DO (mg/L)	TSS (mg/L)	TKN (mg/L)	NH_4^+ (mg/L)	NO_3^- (mg/L)	TP (mg/L)	OP_4 (mg/L)	pH
ผึ่งที่ 2	มกราคม	18.8	4.4	132.3	3.5	0.0	2.9	0.04	0.09	8.1
	กุมภาพันธ์	14.0	6.8	62.7	7.5	0.8	2.4	0.6	0.46	8.3
	มีนาคม	12.5	7.5	69.3	4.5	0.1	2.9	0.4	0.31	8.1
	เมษายน	14.2	5.9	62.0	4.9	1.0	1.0	0.3	0.24	8.5
	พฤษภาคม	15.9	5.9	75.7	3.2	0.3	2.8	0.0	0.08	7.9
	มิถุนายน	16.6	6.8	57.0	10.8	0.8	1.2	0.8	0.63	7.7
	กรกฎาคม	21.8	5.0	69.3	5.8	0.5	2.4	0.7	0.56	7.8
	สิงหาคม	20.0	4.8	63.2	5.0	1.0	1.4	0.4	0.37	7.7
	กันยายน	20.9	6.5	84.0	4.5	0.6	1.9	0.6	0.51	8.4
	ตุลาคม	22.7	4.3	56.3	3.2	1.5	1.1	0.8	0.68	8.2
	พฤศจิกายน	15.2	6.3	84.0	15.2	0.9	1.9	0.4	0.34	8.2
	ธันวาคม	17.7	4.2	102.8	4.1	0.9	2.4	0.5	0.44	7.9
ผึ่งที่ 3	มกราคม	17.2	5.9	177.0	1.2	0.0	1.3	0.02	0.08	8.8
	กุมภาพันธ์	10.1	7.4	80.3	3.6	0.5	1.2	0.2	0.22	8.7
	มีนาคม	9.5	7.2	72.3	3.2	0.0	1.4	0.2	0.22	8.7
	เมษายน	11.0	6.9	62.0	4.6	0.6	0.8	0.3	0.25	9.0
	พฤษภาคม	16.4	6.4	112.3	5.9	0.2	0.9	0.3	0.25	8.4
	มิถุนายน	14.1	7.3	65.0	4.4	0.5	1.2	0.7	0.56	8.2
	กรกฎาคม	17.7	6.3	63.0	3.5	0.1	1.3	0.5	0.42	8.2
	สิงหาคม	13.4	6.8	53.8	4.4	0.7	2.0	0.3	0.25	8.3
	กันยายน	16.9	7.3	72.6	4.2	0.3	1.3	0.5	0.43	8.7
	ตุลาคม	19.6	5.2	64.7	4.0	0.3	0.8	0.4	0.35	8.5
	พฤศจิกายน	12.9	6.2	90.0	4.2	0.5	1.3	0.1	0.14	8.5
	ธันวาคม	12.8	6.8	100.5	1.8	0.4	1.0	0.3	0.27	8.4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

บ่อ	เดือน	พารามิเตอร์								
		BOD (mg/L)	DO (mg/L)	TSS (mg/L)	TKN (mg/L)	NH_4^+ (mg/L)	NO_3^- (mg/L)	TP (mg/L)	OP_4 (mg/L)	pH
ปรับสภาพ	มกราคม	15.6	6.0	187.7	4.3	0.0	1.3	0.03	0.08	9.0
	กุมภาพันธ์	11.0	7.6	102.3	2.3	1.2	1.1	0.3	0.24	9.0
	มีนาคม	11.3	6.9	118.7	9.8	0.1	0.9	0.2	0.22	8.6
	เมษายน	15.5	7.8	88.0	4.4	0.4	0.7	0.2	0.19	9.3
	พฤษภาคม	15.2	8.2	124.0	2.7	0.1	0.7	0.1	0.15	8.7
	มิถุนายน	16.3	9.5	81.0	5.9	0.2	0.7	0.7	0.59	8.5
	กรกฎาคม	17.0	7.6	75.3	3.5	0.2	0.7	0.4	0.30	8.7
	สิงหาคม	10.9	8.3	62.6	4.7	0.5	2.0	0.2	0.18	8.5
	กันยายน	15.8	6.9	67.6	2.4	0.2	1.5	0.2	0.22	9.0
	ตุลาคม	19.8	7.0	66.7	4.3	0.5	0.6	0.1	0.15	9.1
	พฤศจิกายน	13.5	5.9	76.3	2.1	0.3	1.0	0.2	0.19	8.6
	ธันวาคม	15.5	8.0	146.8	1.8	0.4	1.0	0.1	0.15	8.4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 คุณภาพน้ำในบ่อตกตะกอนช่วงฤดูหนาว (มกราคม-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557)

วันที่เก็บตัวอย่าง	Temp (ºC)	SS (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	NH_4 (mg/l)	NO3 (mg/l)	TP (mg/l)	PO (mg/l)	TDS (mg/l)	DO (mg/l)	EC (µS/cm)	salinity (g/L)	pH (-)
9/1/2557	28.8	32	52.0	9.0	3.0	0.2	1.5	1.3	517	0.9	771	0.3	7.3
11/1/2557	25.3	43	52.3	11.3	4.0	0.2	1.9	1.7	534	0.1	797	0.3	7.3
13/1/2557	24.8	34	51.8	8.7	2.8	0.2	2.0	1.8	528	0.4	788	0.3	7.2
15/1/2557	25.2	26	66.0	7.7	2.4	0.2	2.3	2.2	520	1.1	777	0.3	7.3
17/1/2557	24.4	31	63.8	10.5	3.6	0.2	2.7	2.7	515	2.5	769	0.3	7.4
19/1/2557	23.1	26	68.3	8.1	2.5	0.2	3.2	3.4	516	0.5	770	0.3	7.3
21/1/2557	26.4	32	78.0	11.6	4.1	0.2	2.2	2.1	543	1.3	782	0.3	7.2
23/1/2557	28.5	31	93.0	8.1	2.6	0.2	4.2	5.0	485	5.1	724	0.3	7.2
25/1/2557	28.6	28	96.7	7.7	2.3	0.2	5.3	7.0	485	7.7	724	0.3	7.3
27/1/2557	28.0	44	91.5	9.9	3.4	0.2	2.4	2.4	478	4.8	713	0.3	7.4
29/1/2557	27.5	56	68.3	8.9	2.9	0.2	1.5	1.3	477	2.2	712	0.3	7.2
31/1/2557	28.0	59	86.3	15.2	5.4	0.3	3.0	3.0	464	2.4	692	0.3	9.1
เฉลี่ย	28.9	66	63.0	7.1	2.1	0.2	2.2	2.1	464	7.1	692	3.0	7.5
2/2/2557	29.0	69	48.0	8.3	2.7	0.2	6.0	8.5	431	0.9	644	0.2	7.5
4/2/2557	26.2	51	55.5	9.9	3.4	0.2	8.9	15.9	432	7.0	643	0.2	7.4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

วันที่เก็บ ตัวอย่าง	Temp (ºC)	SS (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	NH_4 (mg/l)	NO3 (mg/l)	TP (mg/l)	PO (mg/l)	TDS (mg/l)	DO (mg/l)	EC (µS/cm)	salinity (g/L)	pH (-)
6/2/2557	30.1	76	52.3	12.1	4.3	0.2	3.2	3.4	432	8.4	650	0.2	7.3
8/2/2557	29.9	80	96.8	10.0	3.4	0.2	2.6	2.6	423	9.9	633	0.2	7.5
10/2/2557	30.3	78	90.8	12.0	4.2	0.2	2.6	2.6	405	12.6	605	0.2	8.2
12/2/2557	30.0	70	62.3	17.0	6.1	0.3	3.8	4.3	409	11.6	610	0.2	7.9
14/2/2557	29.4	55	22.5	15.1	5.4	0.3	2.5	2.4	404	9.1	603	0.2	7.9
16/2/2557	29.4	56	37.5	13.8	4.9	0.2	1.3	1.1	404	5.9	601	0.2	7.5
18/2/2557	29.1	54	21.6	11.8	4.2	0.2	3.6	3.9	399	6.1	595	0.2	7.9
20/2/2557	31.0	43	47.4	16.4	5.8	0.3	3.2	3.4	401	7.4	599	0.2	7.8
22/2/2557	29.4	63	53.5	12.6	4.4	0.2	3.8	4.829	414	7.9	618	0.2	7.7
24/2/2557	29.0	69	48.0	8.3	2.7	0.2	6.0	8.5	431	0.9	644	0.2	7.5
26/2/2557	26.2	51	55.5	9.9	3.4	0.2	8.9	15.9	432	7.0	643	0.2	7.4
28/2/2557	30.1	76	52.3	12.1	4.3	0.2	3.2	3.4	432	8.4	650	0.2	7.3
เฉลี่ย	29.9	80	96.8	10.0	3.4	0.2	2.6	2.6	423	9.9	633	0.2	7.5
มาตรฐาน	23-32[1]	<30[1]	<20[1]	-	<0.06[1]	-	<2[1]	-	<500[1]	>3[2]	-	-	5.5-9.0[1]

หมายเหตุ [1] คือ มาตรฐานควบคุมการระระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

[2] คือ มาตรฐานคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการอาศัยอยู่ของสัตว์น้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 3 คุณภาพน้ำในบ่อผึ่งที่ 1 ช่วงฤดูหนาว (มกราคม-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557)

วันที่เก็บ ตัวอย่าง	Temp (ºC)	SS (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	NH_4 (mg/l)	NO3 (mg/l)	TP (mg/l)	PO (mg/l)	TDS (mg/l)	DO (mg/l)	EC (µS/cm)	salinity (g/L)	pH (-)
9/1/2557	29.0	53	48.0	6.0	1.5	0.2	1.0	0.8	535	10.3	799	0.3	8.4
11/1/2557	25.4	57	48.0	8.5	2.7	0.2	1.1	0.9	536	2.7	800	0.3	7.3
13/1/2557	24.8	48	23.1	6.4	1.7	0.2	1.7	1.5	536	4.4	799	0.3	7.6
15/1/2557	24.4	47	25.5	5.9	1.4	0.2	2.2	2.1	529	5.2	789	0.3	7.6
17/1/2557	24.0	53	27.0	8.2	2.6	0.2	1.4	1.2	523	5.1	781	0.3	7.4
19/1/2557	22.5	27	38.1	7.7	2.4	0.2	2.7	2.6	516	4.1	770	0.3	7.4
21/1/2557	26.8	82	35.4	8.4	2.7	0.2	4.0	4.7	542	3.5	812	0.3	7.3
23/1/2557	28.7	40	36.0	8.1	2.5	0.2	3.2	3.3	489	8.2	729	0.3	8.4
25/1/2557	28.3	45	40.2	6.4	1.7	0.2	3.5	3.9	486	8.8	726	0.3	8.5
27/1/2557	28.1	56	38.1	8.4	2.7	0.2	2.0	1.8	481	10.5	718	0.3	8.5
29/1/2557	27.4	56	24.9	4.5	0.6	0.3	0.9	0.7	491	6.4	733	0.3	7.8
31/1/2557	27.8	36	33.0	7.9	2.4	0.2	2.8	2.8	497	6.2	742	0.3	8.0
เฉลี่ย	26.4	50	34.8	7.2	2.1	0.2	2.2	2.2	513	6.3	767	0.3	7.8
2/2/2557	28.0	63	24.3	3.8	0.1	0.3	0.0	1.7	678	9.6	1012	0.4	9.1
4/2/2557	28.5	57	27.0	3.7	0.0	0.3	0.3	3.2	671	9.9	1002	0.4	9.3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

วันที่เก็บ ตัวอย่าง	Temp (ºC)	SS (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	NH_4 (mg/l)	NO3 (mg/l)	TP (mg/l)	PO (mg/l)	TDS (mg/l)	DO (mg/l)	EC (µS/cm)	salinity (g/L)	pH (-)
6/2/2557	28.7	41	19.8	4.1	0.3	0.3	0.3	2.0	761	7.6	1039	0.5	9.1
8/2/2557	29.1	77	20.4	3.9	0.2	0.3	0.2	1.0	668	12.1	998	0.4	9.2
10/2/2557	29.3	81	21.0	3.9	0.2	0.3	0.3	3.2	671	12.2	1001	0.4	9.1
12/2/2557	26.4	63	24.9	4.1	0.3	0.3	0.9	6.4	676	9.5	1009	0.4	9.0
14/2/2557	29.6	50	18.0	3.9	0.2	0.3	0.3	1.1	674	9.5	990	0.4	9.0
16/2/2557	28.8	58	39.6	3.9	0.2	0.3	0.1	1.1	662	13.3	988	0.4	9.1
18/2/2557	29.2	68	23.7	3.7	0.0	0.3	0.2	1.3	661	12.2	986	0.4	9.1
20/2/2557	28.9	112	16.2	3.7	0.1	0.3	0.4	2.1	662	12.6	988	0.4	9.1
22/2/2557	29.4	50	11.7	3.7	0.0	0.3	0.0	1.7	661	12.4	986	0.4	9.2
24/2/2557	29.0	44	12.3	3.7	0.0	0.3	0.3	0.4	664	10.7	986	0.4	9.1
26/2/2557	29.2	68	6.6	4.7	0.7	0.3	0.1	2.1	656	10.8	979	0.4	9.4
28/2/2557	29.6	63	13.5	3.9	0.2	0.3	0.0	1.6	661	11.6	986	0.4	9.2
เฉลี่ย	28.8	64	19.9	3.9	0.2	0.3	0.3	2.1	673	11.0	996	0.4	9.1
มาตรฐาน	23-32[1]	<30[1]	<20[1]		<0.06[1]		<2[1]		<500[1]	>3[2]	-	-	5.5-9.0[1]

หมายเหตุ [1] คือ มาตรฐานควบคุมการระระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

[2] คือ มาตรฐานคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการอาศัยอยู่ของสัตว์น้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 4 คุณภาพน้ำในบ่อผึ่งที่ 2 ช่วงฤดูหนาว (มกราคม-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557)

วันที่เก็บตัวอย่าง	Temp (ºC)	SS (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	NH_4 (mg/l)	NO3 (mg/l)	TP (mg/l)	PO (mg/l)	TDS (mg/l)	DO (mg/l)	EC (µS/cm)	salinity (g/L)	pH (-)
9/1/2557	28.7	85	30.0	3.9	0.1	0.3	0.6	0.5	604	8.3	902	0.4	8.9
11/1/2557	25.7	70	35.0	6.0	1.5	0.2	0.7	0.6	610	7.5	908	0.4	8.6
13/1/2557	24.5	44	21.3	4.5	0.5	0.3	1.1	0.9	594	8.3	887	0.4	8.6
15/1/2557	24.3	50	24.6	5.6	1.3	0.2	1.1	0.9	586	8.8	874	0.4	8.5
17/1/2557	23.1	28	26.4	5.8	1.3	0.2	0.7	0.6	586	9.5	875	0.4	8.5
19/1/2557	22.3	63	33.3	6.7	1.9	0.2	1.2	1.0	583	9.2	870	0.4	8.8
21/1/2557	26.5	140	33.6	5.7	1.3	0.2	1.3	1.1	628	6.5	941	0.4	8.4
23/1/2557	28.4	56	31.2	6.9	1.9	0.2	1.4	1.2	533	10.1	795	0.3	8.8
25/1/2557	28.6	70	33.9	6.2	1.6	0.2	1.9	1.7	528	15.1	789	0.3	9.1
27/1/2557	28.2	41	34.2	7.0	2.0	0.2	1.3	1.1	538	12.2	803	0.3	8.9
29/1/2557	27.6	70	25.2	4.2	0.4	0.3	0.7	0.6	550	6.8	820	0.3	8.4
31/1/2557	27.9	44	33.0	6.2	1.6	0.2	1.4	1.2	549	7.7	819	0.3	8.5
เฉลี่ย	26.3	63	30.1	5.7	1.3	0.2	1.1	0.9	574	9.2	857	0.4	8.7
2/2/2557	29.3	36	26.4	4.6	0.7	0.3	0.3	0.3	544	8.9	811	0.3	8.5
4/2/2557	28.5	39	23.1	6.7	1.8	0.2	0.3	0.3	536	10.1	800	0.3	8.8

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

วันที่เก็บ ตัวอย่าง	Temp (ºC)	SS (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	NH_4 (mg/l)	NO3 (mg/l)	TP (mg/l)	PO (mg/l)	TDS (mg/l)	DO (mg/l)	EC (µS/cm)	salinity (g/L)	pH (-)
6/2/2557	28.7	48	23.1	7.1	2.0	0.2	1.7	1.5	540	8.5	806	0.3	8.6
8/2/2557	29.2	70	21.6	6.7	1.8	0.2	0.3	0.3	536	12.6	802	0.3	8.9
10/2/2557	28.9	53	31.8	6.5	1.8	0.2	1.7	1.5	531	11.0	793	0.3	8.5
12/2/2557	26.0	41	27.6	7.8	2.4	0.2	3.0	3.1	543	7.1	811	0.3	8.1
14/2/2557	29.7	61	22.8	4.7	0.7	0.3	0.8	0.6	521	10.4	780	0.3	8.5
16/2/2557	29.3	61	45.6	4.5	0.6	0.3	0.8	0.7	524	12.7	785	0.3	8.5
18/2/2557	29.7	47	30.9	9.4	3.2	0.2	1.3	1.1	521	11.9	777	0.3	8.5
20/2/2557	29.4	30	19.2	10.0	3.4	0.2	1.9	1.7	533	6.2	796	0.3	8.0
22/2/2557	29.5	50	9.6	9.7	3.3	0.2	0.9	0.7	529	8.6	789	0.3	8.3
24/2/2557	29.3	64	14.7	9.1	3.0	0.2	0.4	0.3	517	7.4	757	0.3	8.3
26/2/2557	29.1	47	12.0	9.8	3.3	0.2	1.7	1.5	503	8.3	750	0.3	8.1
28/2/2557	30.7	40	18.9	5.3	1.0	0.3	2.9	3.0	491	13.9	733	0.3	8.6
เฉลี่ย	29.1	49	23.4	7.3	2.1	0.2	1.3	1.2	526	9.8	785	0.3	8.4
มาตรฐาน	23-32[1]	<30[1]	<20[1]		<0.06[1]		<2[1]		<500[1]	>3[2]	-	-	5.5-9.0[1]

หมายเหตุ [1] คือ มาตรฐานควบคุมการระระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

[2] คือ มาตรฐานคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการอาศัยอยู่ของสัตว์น้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 5 คุณภาพน้ำในบ่อผึ่งที่ 3 ช่วงฤดูหนาว (มกราคม-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557)

วันที่เก็บตัวอย่าง	Temp (ºC)	SS (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	NH_4 (mg/l)	NO3 (mg/l)	TP (mg/l)	PO (mg/l)	TDS (mg/l)	DO (mg/l)	EC (µS/cm)	salinity (g/L)	pH (-)
9/1/2557	28.8	58	28.6	3.8	0.1	0.3	0.3	0.2	670	2.6	1000	0.4	8.8
11/1/2557	25.5	57	21.6	6.2	1.6	0.2	0.5	0.4	653	8.8	975	0.4	9.2
13/1/2557	24.7	61	17.7	3.9	0.2	0.3	0.8	0.6	649	10.0	968	0.4	9.2
15/1/2557	24.3	58	20.7	4.3	0.5	0.3	0.2	0.2	643	12.1	959	0.4	9.3
17/1/2557	23.4	57	21.9	3.9	0.2	0.3	0.5	0.4	639	11.5	955	0.4	9.3
19/1/2557	22.5	58	23.3	6.3	1.6	0.2	0.8	0.6	633	10.8	945	0.4	9.3
21/1/2557	26.7	110	36.0	4.6	0.6	0.3	0.7	0.6	676	5.8	974	0.4	9.1
23/1/2557	27.8	59	26.4	5.2	1.0	0.3	1.5	1.2	602	12.2	898	0.4	9.4
25/1/2557	29.2	85	30.9	4.8	0.8	0.3	0.2	0.2	595	14.2	888	0.4	9.4
27/1/2557	28.3	66	28.2	7.0	2.0	0.2	0.7	0.5	594	13.6	886	0.4	9.4
29/1/2557	27.1	105	22.2	3.9	0.2	0.3	0.1	0.1	598	7.4	893	0.4	9.2
31/1/2557	27.7	61	34.8	4.6	0.6	0.3	0.3	0.3	592	11.1	884	0.4	9.3
เฉลี่ย	26.3	70	26.0	4.9	0.8	0.3	0.5	0.4	629	10.0	935	0.4	9.2
2/2/2557	28.4	64	26.7	4.0	0.2	0.3	0.2	0.2	583	8.5	870	0.4	8.9
4/2/2557	28.7	49	25.2	5.0	0.9	0.3	0.2	0.2	584	12.4	872	0.4	9.3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

วันที่เก็บตัวอย่าง	Temp (ºC)	SS (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	NH_4 (mg/l)	NO3 (mg/l)	TP (mg/l)	PO (mg/l)	TDS (mg/l)	DO (mg/l)	EC (µS/cm)	salinity (g/L)	pH (-)
6/2/2557	28.9	32	21.9	5.3	1.1	0.2	0.5	0.4	586	8.9	875	0.4	9.1
8/2/2557	28.8	85	22.8	4.7	0.7	0.3	0.4	0.3	581	12.4	868	0.4	9.2
10/2/2557	28.9	54	25.8	4.7	0.7	0.3	0.8	0.6	584	10.5	874	0.4	9.0
12/2/2557	26.4	21	22.8	4.2	0.4	0.3	3.1	3.3	595	9.4	888	0.4	8.9
14/2/2557	29.5	66	22.5	4.5	0.6	0.3	0.3	0.3	665	9.8	887	0.4	8.7
16/2/2557	28.7	65	43.2	3.9	0.2	0.3	0.4	0.3	594	10.0	886	0.4	8.9
18/2/2557	29.8	50	25.8	5.3	1.1	0.2	0.4	0.3	597	9.1	891	0.4	8.7
20/2/2557	28.7	40	25.8	5.7	1.3	0.2	0.8	0.7	607	7.6	905	0.4	8.4
22/2/2557	29.5	43	10.8	5.9	1.4	0.2	0.1	0.1	605	8.4	903	0.4	8.4
24/2/2557	29.0	78	15.0	5.8	1.4	0.2	0.3	0.3	599	9.4	893	0.4	8.6
26/2/2557	29.2	51	13.2	6.4	1.7	0.2	0.7	0.6	579	9.5	865	0.4	9.0
28/2/2557	29.3	38	18.9	4.4	0.5	0.3	0.4	0.4	585	9.7	873	0.4	8.8
เฉลี่ย	28.8	53	22.9	5.0	0.9	0.3	0.6	0.6	596	9.7	882	0.4	8.8
มาตรฐาน	23-32[1]	<30[1]	<20[1]		<0.06[1]		<2[1]		<500[1]	>3[2]	-	-	5.5-9.0[1]

หมายเหตุ [1] คือ มาตรฐานควบคุมการระระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

[2] คือ มาตรฐานคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการอาศัยอยู่ของสัตว์น้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 6 คุณภาพน้ำในบ่อปรับสภาพช่วงฤดูหนาว (มกราคม-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557)

วันที่เก็บตัวอย่าง	Temp (ºC)	SS (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	NH_4 (mg/l)	NO3 (mg/l)	TP (mg/l)	PO (mg/l)	TDS (mg/l)	DO (mg/l)	EC (µS/cm)	salinity (g/L)	pH (-)
9/1/2557	28.9	23	15.4	3.7	0.1	0.3	0.1	0.1	727	6.6	1085	0.5	8.9
11/1/2557	25.5	60	12.8	4.8	0.7	0.3	0.1	0.1	722	8.1	1077	0.5	9.1
13/1/2557	24.9	35	13.8	3.8	0.1	0.3	0.3	0.3	726	5.8	1083	0.5	9.0
15/1/2557	24.3	60	15.0	4.0	0.2	0.3	0.1	0.1	727	7.4	1086	0.5	9.0
17/1/2557	23.3	26	16.5	3.8	0.1	0.3	0.2	0.2	727	10.1	1083	0.5	9.1
19/1/2557	22.3	30	16.8	4.1	0.3	0.3	0.7	0.5	724	8.1	1081	0.5	9.1
21/1/2557	26.3	65	18.6	3.9	0.2	0.3	0.6	0.5	743	7.2	1086	0.5	9.4
23/1/2557	28.4	49	22.8	4.0	0.2	0.3	0.4	0.4	673	8.3	1005	0.4	9.2
25/1/2557	28.3	77	25.8	4.2	0.4	0.3	0.8	0.7	686	11.9	1024	0.5	9.3
27/1/2557	28.1	54	18.6	4.1	0.3	0.3	0.8	0.7	684	11.3	1021	0.5	9.3
29/1/2557	27.4	62	21.6	4.0	0.2	0.3	0.4	0.3	685	7.7	1023	0.5	9.1
31/1/2557	27.7	52	24.0	3.8	0.1	0.3	0.3	0.3	680	8.5	1014	0.4	9.1
เฉลี่ย	26.3	49	18.5	4.0	0.2	0.3	0.4	0.3	709	8.4	1056	0.5	9.1
2/2/2557	28.0	63	24.3	3.8	0.1	0.3	0.0	0.1	678	9.6	1012	0.4	9.1
4/2/2557	28.5	57	27.0	3.7	0.0	0.3	0.3	0.2	671	9.9	1002	0.4	9.3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

วันที่เก็บ ตัวอย่าง	Temp (ºC)	SS (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	NH_4 (mg/l)	NO3 (mg/l)	TP (mg/l)	PO (mg/l)	TDS (mg/l)	DO (mg/l)	EC (µS/cm)	salinity (g/L)	pH (-)
6/2/2557	28.7	41	19.8	4.1	0.3	0.3	0.3	0.3	761	7.6	1039	0.5	9.1
8/2/2557	29.1	77	20.4	3.9	0.2	0.3	0.2	0.2	668	12.1	998	0.4	9.2
10/2/2557	29.3	81	21.0	3.9	0.2	0.3	0.3	0.3	671	12.2	1001	0.4	9.1
12/2/2557	26.4	63	24.9	4.1	0.3	0.3	0.9	0.7	676	9.5	1009	0.4	9.0
14/2/2557	29.6	50	18.0	3.9	0.2	0.3	0.3	0.3	674	9.5	990	0.4	9.0
16/2/2557	28.8	58	39.6	3.9	0.2	0.3	0.1	0.1	662	13.3	988	0.4	9.1
18/2/2557	29.2	68	23.7	3.7	0.0	0.3	0.2	0.2	661	12.2	986	0.4	9.1
20/2/2557	28.9	112	16.2	3.7	0.1	0.3	0.4	0.3	662	12.6	988	0.4	9.1
22/2/2557	29.4	50	11.7	3.7	0.0	0.3	0.0	0.1	661	12.4	986	0.4	9.2
24/2/2557	29.0	44	12.3	3.7	0.0	0.3	0.3	0.3	664	10.7	986	0.4	9.1
26/2/2557	29.2	68	6.6	4.7	0.7	0.3	0.1	0.1	656	10.8	979	0.4	9.4
28/2/2557	29.6	63	13.5	3.9	0.2	0.3	0.0	0.1	661	11.6	986	0.4	9.2
เฉลี่ย	28.8	64	19.9	3.9	0.2	0.3	0.3	0.2	673	11.0	996	0.4	9.1
มาตรฐาน	23-32[1]	<30[1]	<20[1]		<0.06[1]		<2[1]		<500[1]	>3[2]	-	-	5.5-9.0[1]

หมายเหตุ [1] คือ มาตรฐานควบคุมการระระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

[2] คือ มาตรฐานคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการอาศัยอยู่ของสัตว์น้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นางสาวมัลลิกา ศรีชมภู
เกิดวันที่	21 ตุลาคม 2532
สถานที่เกิด	จังหวัดเลย
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
ตำแหน่งงานปัจจุบัน	ผู้ช่วยนักวิจัย
สถานที่ทำงาน	โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ เลขที่ 50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 โทรศัพท์: 02-579-2116
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์