



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์
พลวัตของรูปแบบจุลินทรีย์ที่สอดคล้องกับการวิเคราะห์เมตาจีโนมิกส์และ
คุณภาพน้ำในระบบลุ่มน้ำของระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก
(Dynamics of microbial community profiles corresponding to
metagenomics analysis and water quality of the river basin
system in Eastern Economic Corridor)

นางสาวจันทิมา ปิยะพงษ์ หัวหน้าโครงการ
นายสุรศักดิ์ ชันคำ ผู้ร่วมวิจัย
นางสาวนิชชา จำเริญศักดิ์ศรี ผู้ร่วมวิจัย
นางสาวนุชสุภา สุนทมาลา ผู้ร่วมวิจัย
นางสาวสุนิรัตน์ รัตนะ ผู้ร่วมวิจัย
นางลาวัลย์ เอียวสวัสดิ์ ผู้ร่วมวิจัย

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้
จากเงินอุดหนุนจากรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562
มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 2562A10802029

สัญญาเลขที่ 53/2562

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

พลวัตของรูปแบบจุลินทรีย์ที่สอดคล้องกับการวิเคราะห์เมตาจีโนมิกส์และคุณภาพน้ำในระบบลุ่มน้ำของระบบเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก (Dynamics of microbial community profiles corresponding to metagenomics analysis and water quality of the river basin system in Eastern Economic Corridor)

นางสาวจันทิมา ปิยะพงษ์ หัวหน้าโครงการ

ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

นายสุรศักดิ์ ชันคำ ผู้ร่วมวิจัย

ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

นางสาวนิชชา จำเริญศักดิ์ศรี ผู้ร่วมวิจัย

ธนาคารทรัพยากรชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

นางสาวนุชสุภา สุนทมาลา ผู้ร่วมวิจัย

ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

นางสาวสุนิรัตน์ รัตน์ะ ผู้ร่วมวิจัย

สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 7 (สระบุรี)

นางลาวัลย์ เอียวสวัสดิ์ ผู้ร่วมวิจัย

สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 13 (ชลบุรี)

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพลวัตของจุลินทรีย์ กระแสน้ำและคุณภาพน้ำในแม่น้ำบางปะกงซึ่งเป็นแม่น้ำสายหลักในระบบลุ่มน้ำของระบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออกด้วยการวิเคราะห์เมตาจีโนมิกส์ของจุลินทรีย์ เก็บข้อมูลจากพารามิเตอร์คุณภาพน้ำทั้งทางกายภาพ เคมีและชีวภาพจาก 6 สถานีของแม่น้ำบางปะกง ครอบคลุม ต้นน้ำ กลางน้ำและปลายน้ำ ในปี พ.ศ. 2563 และศึกษาข้อมูลอนุกรมวิธานของจุลินทรีย์ที่ได้จากการวิเคราะห์ชุมชนจุลินทรีย์ด้วย 16S metagenomics ผลการศึกษาที่คำนวณจาก ดัชนีคุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดิน (Water Quality Index, WQI) พบว่า สถานีปากน้ำมีคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์เสื่อมโทรม ส่วนสถานีกลางน้ำและต้นน้ำที่อยู่ในชุมชนโดยรวมมีคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์พอใช้ ขณะที่สถานีต้นน้ำและเป็นพื้นที่ป่าคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ดี ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลอนุกรมวิธานของจุลินทรีย์ที่ได้จากการวิเคราะห์โดย 16S metagenomics นอกจากนี้ยังพบว่ากลุ่มจุลินทรีย์เด่น (Dominant taxon) คือ *Pseudomonas* spp. ซึ่งพบที่สถานีปากแม่น้ำมากกว่าสถานีอื่นๆ ที่เป็นแหล่งน้ำคุณภาพดีมากกว่า ดังนั้นมีความเป็นไปได้ว่าแบคทีเรียกลุ่มนี้อาจใช้เป็นจุลินทรีย์ดัชนีเพื่อประเมินมลพิษทางน้ำในเขตนํ้ากร่อยหรือแม่น้ำบางปะกงได้

Abstract

This study was aimed to investigate microbial dynamics, tidal dynamics and water quality of Bangpakong River as the major river basin system in Eastern Economic Corridor based on metagenomic analysis. We collected the water quality data: physical, chemical and biological parameters from 6 stations (from upstream, middle-stream, and downstream of Bangpakong River) in 2020. We also explored microbial taxonomy from 16S metagenomic analysis of microbial community. From Surface Water Quality Index (WQI), the station at the river mouth was poor while the stations at middle-stream and upstream with human settlement were fair on average and the stations at the upstream with the forest were good. These WQI results were corresponded to the taxonomy profiles from the 16S metagenomic analysis. Also, *Pseudomonas* spp. were dominant taxa at the station at the river mouth and were more abundant when comparing to other stations with better water quality. Therefore, it is possible that these bacterial groups could be used as indicators for assessment of water pollution in estuary or Bangpakong River.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 53/2562

งานวิจัยนี้สำเร็จได้เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากหลายหน่วยงานได้แก่ กองบริหารการวิจัยและนวัตกรรม ภาควิชาชีววิทยาและภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และสถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ธนาคารทรัพยากรชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 13 (ชลบุรี) ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 6 ชลบุรี สำนักงานปศุสัตว์จังหวัดฉะเชิงเทราและอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่

งานวิจัยนี้ไม่อาจสำเร็จลุล่วงได้ถ้าปราศจากความอนุเคราะห์รวมทั้งการให้คำปรึกษาอย่างน้อยช่วงใดช่วงหนึ่งของงานวิจัยนี้ ได้แก่ นายภัครธรณ์ เทียนไชย (ผู้ว่าราชการจังหวัดชลบุรี) รศ. ดร. สยาม อรุณศรีมรกด ดร. ปัญญา วรเพชรายุทธ ดร. ชวีณูรวิ สิริกาญจน ผศ. ดร. ศศิธร มั่นเจริญ ดร. กฤษณัยน์ เจริญจิตร นางสาวนิภาภรณ์ แสนภาษา Prof. Marco Ciolli Dr. Clara Tattoni Prof. Ruben Sommaruga Dr. Emmanuel Paradis และ ผศ. เผชญูโชค จินตเศรษฐี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณผู้มีพระคุณที่ไม่ได้เอ่ยนามที่มีส่วนร่วมให้ความช่วยเหลือให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	ก
Abstract.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญภาพ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
บทนำ	
ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
วิธีดำเนินการวิจัย	
การตรวจวัดคุณภาพน้ำและการเก็บตัวอย่างน้ำ.....	4
ปริมาณน้ำท่าในรอบน้ำขึ้น-น้ำลง สถานี BK-03 วัดหัวไทร.....	9
การสกัดดีเอ็นเอและการวิเคราะห์ 16S metagenomics.....	12
ผลการศึกษา	
ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำ.....	13
Taxonomy profile จากการศึกษาวิเคราะห์ชุมชนซีพจุลินทรีย์ (microbial community) ด้วย 16S metagenomics.....	22
พลวัตกระแสน้ำ ณ สถานี BK-03 (วัดหัวไทร).....	36
สรุปและวิจารณ์ผลการศึกษา.....	41
บรรณานุกรม.....	44
ภาคผนวก	

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 สถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำและเก็บตัวอย่างน้ำ จำนวน 6 สถานี บริเวณแม่น้ำบางปะกง.....	5
2 ช่วงเวลาตรวจวัดคุณภาพน้ำและเก็บตัวอย่างน้ำ เก็บตัวอย่างวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2563.....	6
3 ช่วงเวลาตรวจวัดคุณภาพน้ำและเก็บตัวอย่างน้ำ เก็บตัวอย่างวันที่ 10 กันยายน 2563.....	6
4 ช่วงเวลาตรวจวัดคุณภาพน้ำและเก็บตัวอย่างน้ำ เก็บตัวอย่างวันที่ 10 พฤศจิกายน 2563.....	6
5 สถานี BK-03 วัดหัวไทร.....	10
6 ช่วงเวลาเก็บข้อมูลช่วงน้ำเกิด (ประมาณขึ้น 15 ค่ำหรือแรม 15 ค่ำ) ทำการเก็บตัวอย่าง จำนวน 2 ครั้ง ครั้งที่ 1 ระหว่างวันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2563 เวลาประมาณ 17:00 น. ถึงวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2563 เวลาประมาณ 14:00 น. และครั้งที่ 2 ระหว่างวันที่ 18 กันยายน 2563 เวลาประมาณ 12:00 น. ถึงวันที่ 19 กันยายน 2563 เวลาประมาณ 01:00 น.....	11
7 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Temperature °c) และความเค็ม (Salinity psu) ตามสถานี และฤดูกาลที่ผิวน้ำในแม่น้ำบางปะกง.....	15
8 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง (pH) และปริมาณสารแขวนลอยในน้ำ (Suspended Solids mg/L) ตามสถานีและฤดูกาลที่ผิวน้ำในแม่น้ำบางปะกง.....	16
9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO mg/L) และความ ต้องการออกซิเจนในกระบวนการทางชีวภาพ (Biological Oxygen Demand, BOD mg/L) ตามสถานีและฤดูกาลที่ผิวน้ำในแม่น้ำบางปะกง.....	17
10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอาหารอนินทรีย์ไนโตรเจนละลายน้ำ (Dissolved Inorganic Nitrogen, DIN) ได้แก่ แอมโมเนีย (Ammonia, NH ₃ -N µg/L) ไนไตรท์ (Nitrite, NO ₂ -N µg/L) และไนเตรท (Nitrate, NO ₃ -N µg/L) ตามสถานีและฤดูกาลที่ผิวน้ำในแม่น้ำบางปะกง.	18
11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอาหารอนินทรีย์ฟอสฟอรัสละลายน้ำ (Dissolved Inorganic Phosphorous, DIP) ได้แก่ ออโรฟอสเฟต (Phosphate, PO ₄ -P µg/L) ตามสถานีและ ฤดูกาลที่ผิวน้ำในแม่น้ำบางปะกง.....	19
12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแบคทีเรีย ได้แก่ แบคทีเรียฟีคัลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria, FCB MPN/100mL) แบคทีเรียโคลิฟอร์มรวมทั้งหมด (Total Coliform Bacteria, TCB MPN/100mL) และ <i>Escherichia coli</i> ตามสถานีและฤดูกาลที่ผิวน้ำใน แม่น้ำบางปะกง.....	20
13 กราฟแสดงการวิเคราะห์ค่าของพารามิเตอร์คุณภาพน้ำด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal component analysis).....	21
14 แผนภูมิแท่งแสดง Phylum-profile ของจุลินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบตามระดับของความชุก ชุมสัมพันธ์ในแต่ละแห่งของแต่ละซ้ำในแต่ละสถานีที่ได้มาจากการวิเคราะห์ 16S metagenomics ในฤดูร้อน.....	25

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
15 แผนภูมิแท่งแสดง phylum-profile ของจุลินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบตามระดับของความชุกชุมสัมพันธ์ในแต่ละแห่งของแต่ละซ้ำในแต่ละสถานที่ที่ได้มาจากการวิเคราะห์ 16S metagenomics ในฤดูฝน.....	26
16 แผนภูมิแท่งแสดง phylum-profile ของจุลินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบตามระดับของความชุกชุมสัมพันธ์ในแต่ละแห่งของแต่ละซ้ำในแต่ละสถานที่ที่ได้มาจากการวิเคราะห์ 16S metagenomics ในฤดูหนาว.....	27
17 แผนภูมิแท่งแสดง species profile ของจุลินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบตามระดับของความชุกชุมสัมพันธ์ในแต่ละสถานที่ที่ได้มาจากการวิเคราะห์ 16S metagenomics โดยแผนภูมิบนแสดงในฤดูฝน (กันยายน 2563) และแผนภูมิล่างแสดงในฤดูหนาว (พฤศจิกายน 2533).....	28
18 แผนที่ความร้อนทางอนุกรมวิธาน (Taxonomy heatmap) แสดงความชุกชุมสัมพันธ์ของ 50 ชนิดแรกของจุลินทรีย์ที่มีค่าสูงสุด ที่ได้มาจากการวิเคราะห์ 16S metagenomics โดยการวิเคราะห์แบบจัดกลุ่ม (Cluster analysis) และการวิเคราะห์แบบจัดกลุ่มตามลำดับชั้น (Hierarchical clustering) ตามความไม่คล้ายคลึงกันแบบ Bray-Curtis (Bray-Curtis dissimilarity) ในฤดูร้อน.....	29
19 แผนที่ความร้อนทางอนุกรมวิธาน (Taxonomy heatmap) แสดงความชุกชุมสัมพันธ์ของ 50 ชนิดแรกของจุลินทรีย์ที่มีค่าสูงสุด ที่ได้มาจากการวิเคราะห์ 16S metagenomics โดยการวิเคราะห์แบบจัดกลุ่ม (Cluster analysis) และการวิเคราะห์แบบจัดกลุ่มตามลำดับชั้น (Hierarchical clustering) ตามความไม่คล้ายคลึงกันแบบ Bray-Curtis (Bray-Curtis dissimilarity) ในฤดูฝน.....	30
20 แผนที่ความร้อนทางอนุกรมวิธาน (Taxonomy heatmap) แสดงความชุกชุมสัมพันธ์ของ 50 ชนิดแรกของจุลินทรีย์ที่มีค่าสูงสุด ที่ได้มาจากการวิเคราะห์ 16S metagenomics โดยการวิเคราะห์แบบจัดกลุ่ม (Cluster analysis) และการวิเคราะห์แบบจัดกลุ่มตามลำดับชั้น (Hierarchical clustering) ตามความไม่คล้ายคลึงกันแบบ Bray-Curtis (Bray-Curtis dissimilarity) ในฤดูหนาว.....	31
21 แผนภูมิแท่งแสดง Phylum-profile ของจุลินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบตามระดับของความชุกชุมสัมพันธ์ในแต่ละแห่งที่สถานีวัดหัวไทร (BK-03) โดยแต่ละแห่งแสดงเวลาที่เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อศึกษาพลวัตของกระแสน้ำ (Tidal dynamics) ใน 4 ช่วงเวลาระหว่างน้ำลงต่ำสุดถึงน้ำขึ้นสูงสุดในรอบ 25 ชั่วโมง โดยแต่ละช่วงเวลาเก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ 16S metagenomics ที่เป็นตัวแทนในฤดูฝนและน้ำมาก (กันยายน 2563).....	32

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
22 แผนภูมิแท่งแสดง Species profile ของจุลินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบตามระดับของความขุกชุมสัมพันธ์ในแต่ละแห่งที่สถานีวัดหัวไทร (BK-03) โดยแต่ละแท่งแสดงเวลาที่เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อศึกษาพลวัตของกระแสน้ำ (Tidal dynamics) ใน 4 ช่วงเวลาระหว่างน้ำลงต่ำสุดถึงน้ำขึ้นสูงสุดในรอบ 25 ชั่วโมง โดยแต่ละช่วงเวลาเก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ 16S metagenomics แผนภูมิบนแสดงของฤดูร้อนช่วงน้ำน้อย (กุมภาพันธ์ 2563) และแผนภูมิล่างแสดงของฤดูฝนช่วงน้ำมาก (พฤศจิกายน 2563).....	33
23 แผนภูมิความร้อนทางอนุกรมวิธาน (Taxonomy heatmap) แสดงความขุกชุมสัมพันธ์ของ 50 ชนิดแรกของจุลินทรีย์ที่มีค่าสูงสุด ที่ได้มาจากการวิเคราะห์ 16S metagenomics โดยการวิเคราะห์แบบจัดกลุ่ม (Cluster analysis) แผนภูมิความร้อนบนแสดงในฤดูร้อน (น้ำน้อย) ในเดือนกุมภาพันธ์ 2563 และแผนภูมิความร้อนล่างแสดงในฤดูฝน (น้ำมาก) ในเดือนกันยายน 2563 จากสถานี BK-03 วัดหัวไทร โดยเวลาที่เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อศึกษาพลวัตของกระแสน้ำ (Tidal dynamics) ใน 4 ช่วงเวลา ช่วงเวลาละ 3 ชั่วโมง ระหว่างน้ำลงต่ำสุดถึงน้ำขึ้นสูงสุดในรอบ 25 ชั่วโมง.....	34
24 ภาพตัดขวางลำน้ำสถานี BK-036 วัดหัวไทร ช่วงเวลาเก็บตัวอย่างเดือนกุมภาพันธ์และกันยายน 2563.....	36
25 พื้นที่หน้าตัดลำน้ำช่วงฤดูน้ำน้อย การกระจายอุณหภูมิและความเค็มตามแนวตั้งบริเวณกึ่งกลางลำน้ำ และความเร็วและทิศทางกระแสน้ำที่ผิวหน้า วันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2563 ช่วงน้ำขึ้นสูง (LHW).....	37
26 พื้นที่หน้าตัดลำน้ำช่วงฤดูน้ำน้อย การกระจายอุณหภูมิและความเค็มตามแนวตั้งบริเวณกึ่งกลางลำน้ำ และความเร็วและทิศทางกระแสน้ำที่ผิวหน้า วันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2563 ช่วงน้ำลงต่ำสุด (LLW).....	37
27 พื้นที่หน้าตัดลำน้ำช่วงฤดูน้ำน้อย การกระจายอุณหภูมิและความเค็มตามแนวตั้งบริเวณกึ่งกลางลำน้ำ และความเร็วและทิศทางกระแสน้ำที่ผิวหน้า วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2563 ช่วงน้ำขึ้นสูงสุด (HHW).....	38
28 พื้นที่หน้าตัดลำน้ำช่วงฤดูน้ำน้อย การกระจายอุณหภูมิและความเค็มตามแนวตั้งบริเวณกึ่งกลางลำน้ำ และความเร็วและทิศทางกระแสน้ำที่ผิวหน้า วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2563 ช่วงน้ำลงต่ำ (HLW).....	38
29 พื้นที่หน้าตัดลำน้ำช่วงฤดูน้ำมาก การกระจายอุณหภูมิและความเค็มตามแนวตั้งบริเวณกึ่งกลางลำน้ำ และความเร็วและทิศทางกระแสน้ำที่ผิวหน้า วันที่ 18 กันยายน 2563 ช่วงน้ำลงต่ำสุด (LLW).....	39
30 พื้นที่หน้าตัดลำน้ำช่วงฤดูน้ำมาก การกระจายอุณหภูมิและความเค็มตามแนวตั้งบริเวณกึ่งกลางลำน้ำ และความเร็วและทิศทางกระแสน้ำที่ผิวหน้า วันที่ 18 กันยายน 2563 ช่วงน้ำขึ้นสูงสุด (HHW).....	39

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
31 พื้นที่หน้าตัดลำน้ำช่วงฤดูน้ำมาก การกระจายอุณหภูมิตามแนวตั้งบริเวณ กึ่งกลางลำน้ำ และความเร็วและทิศทางกระแสน้ำที่ผิวหน้า วันที่ 19 กันยายน 2563 ช่วง น้ำลงต่ำ (HLW).....	40
32 พื้นที่หน้าตัดลำน้ำช่วงฤดูน้ำมาก การกระจายอุณหภูมิตามแนวตั้งบริเวณ กึ่งกลางลำน้ำ และความเร็วและทิศทางกระแสน้ำที่ผิวหน้า วันที่ 19 กันยายน 2563 ช่วง น้ำขึ้นสูง (LHW).....	40
33 พื้นที่หน้าตัดลำน้ำช่วงฤดูน้ำน้อย การกระจายอุณหภูมิตามแนวตั้งบริเวณ กึ่งกลางลำน้ำ และความเร็วและทิศทางกระแสน้ำที่ผิวหน้าในรอบน้ำขึ้น-น้ำลง วันที่ 23-24 กุมภาพันธ์ 2563.....	42
34 พื้นที่หน้าตัดลำน้ำช่วงฤดูน้ำมาก การกระจายอุณหภูมิตามแนวตั้งบริเวณ กึ่งกลางลำน้ำ และความเร็วและทิศทางกระแสน้ำที่ผิวหน้าในรอบน้ำขึ้น-น้ำลง วันที่ 18-19 กันยายน 2563.....	43

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ตำแหน่งสถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำและเก็บตัวอย่างน้ำ.....	5
2 ปัจจัยคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมีและชีวภาพ และวิธีการตรวจวัด.....	8
3 ผลจากการตรวจวัดคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมีและชีวภาพแยกตามพารามิเตอร์และฤดูกาล...	14
4 สรุปข้อมูล Taxonomy profile ในระดับไฟลัม (Phylum) ของจุลินทรีย์ที่แสดงถึงจำนวนไฟลัมที่พบ จำนวนชนิดของจุลินทรีย์ที่พบและไฟลัมที่มีความชุกชุมสัมพันธ์มากที่สุด 3 ไฟลัมแรก ของผลรวมทั้ง 6 สถานีในแต่ละฤดูกาล จากการวิเคราะห์ 16S metagenomics ทั้ง 6 สถานีตลอดการศึกษา รวมทั้งการศึกษาพลวัตกระแสน้ำ.....	35

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันโลกกำลังเผชิญกับความท้าทายในหลายๆ ด้านที่เกี่ยวข้องกับนิเวศบริการ (ประโยชน์ที่มนุษย์ได้รับจากระบบนิเวศ) ไม่ว่าจะเป็นทั้งทางตรงและทางอ้อม ได้แก่ อาหาร น้ำ พลังงาน และสิ่งแวดล้อม ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อมนุษย์ทั้งทางด้านสุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดี การได้ประโยชน์จากด้านหนึ่งอาจนำมาซึ่งการเสียประโยชน์ในอีกด้านหนึ่ง เช่น การพัฒนาพื้นที่เกษตรกรรมที่พึ่งพิงธรรมชาติไปสู่เกษตรกรรมแบบใช้สารเคมีอาจทำให้ประชาชนมีรายได้ที่เพิ่มขึ้นแต่ขณะเดียวกันทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากมลพิษที่เกิดขึ้นรวมทั้งปัญหาสุขภาพที่แย่งลง

โครงการระเบียบเศรษฐกิจภาคตะวันออก มีหลักในการดำเนินการเพื่อพัฒนาและส่งเสริมเศรษฐกิจพิเศษตามประกาศของทางรัฐบาล ซึ่งทุกภาคส่วนทั้งภาครัฐ เอกชน และประชาชน จะต้องมีส่วนร่วมกันในการพัฒนาครั้งนี้ เพื่อยกระดับพื้นที่ภูมิภาคตะวันออกของประเทศไทยให้เป็นเขตเศรษฐกิจชั้นนำของเอเชีย นอกจากนี้จะเห็นว่าการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออกได้ส่งเสริมการพัฒนาที่ต้องคำนึงถึงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้เพราะอดีตที่ผ่านมาการเจริญเติบโตของเมืองได้ส่งผลให้มีปัญหาสิ่งแวดล้อมอย่างมากมาย ซึ่งหากการพัฒนาในครั้งนี้ได้มีการวิเคราะห์ และติดตามตัวชี้วัดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมต่างๆ เพื่อเป็นการเฝ้าระวัง คาดการณ์ และวางแผนปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต ซึ่งจะทำให้การพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออกเป็นการพัฒนาอย่างยั่งยืน

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตทั้งคน สัตว์ และพืช หากน้ำมีปัญหาหรือไม่มีคุณภาพ จะส่งผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อสิ่งมีชีวิต ไม่เพียงแต่ในประเทศไทยเท่านั้น แต่ยังส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตบนโลกใบนี้ด้วย ดังนั้นการวิเคราะห์คุณภาพน้ำจึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญสำหรับการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำ เพื่อให้ทราบถึงสถานการณ์ปัจจุบัน หรือแนวโน้มของปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคตซึ่งจะทำให้สามารถวางแผนการบริหารจัดการน้ำ แนวทางแก้ไขปัญหาต่างๆ แม้กระทั่งการป้องกันผลที่จะเกิดขึ้นจากมลพิษในแหล่งน้ำได้อย่างทันท่วงที

ลุ่มน้ำบางปะกงตลอดความยาวตั้งแต่จังหวัดชลบุรี ฉะเชิงเทรา ปราจีนบุรี และกบินทร์บุรี เป็นเส้นทางสำคัญที่ส่งผ่านสารอาหารละลายน้ำลงสู่ชายฝั่งทะเล จากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิ ความเค็ม ความขุ่น ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) ปริมาณออกซิเจนที่ต้องใช้ในการย่อยสลายสารอาหารทางชีวภาพ (Biological Oxygen Demand, BOD) ปริมาณออกซิเจนที่ต้องใช้ในการย่อยสลายสารอาหารทางเคมี (Chemical Oxygen Demand, COD) ปริมาณแอมโมเนียและฟอสเฟตละลายน้ำ โดยเฉพาะปริมาณฟิสิกัลโคลิฟอร์ม แสดงให้เห็นถึงปัญหาคุณภาพน้ำโดยรวมบริเวณลุ่มน้ำที่เกิดขึ้นในฤดูน้ำน้อยเมื่อเทียบกับคุณภาพน้ำในฤดูน้ำมาก แม่น้ำบางปะกงจึงมีความสำคัญต่อระบบชลประทาน อุตสาหกรรม เกษตรกรรม และการประมง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดสถานะภาพทางเศรษฐกิจของจังหวัดชายฝั่ง

ทะเลภาคตะวันออก ข้อมูลการตรวจวัดคุณภาพน้ำบริเวณลุ่มน้ำบางปะกง (Bordalo *et al.*, 2001), บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก (เช่น กรมควบคุมมลพิษ, 2550, 2551, 2552; สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล, 2537, 2545, 2549; พิชาญ สว่างวงศ์, 2541; ฉลวย มุสิก และคณะ, 2549, 2550) และบริเวณบางปะกงเอสทรี (เช่น อนุกุล บูรณประทีปรัตน์ และเผชิญโชค จินตเศรษฐี, 2554; อนุกุล บูรณประทีปรัตน์ และประสาร อินทเจริญ, 2554) แสดงแนวโน้มความสัมพันธ์เมื่อเทียบกับคุณภาพน้ำในอดีตและมีความสัมพันธ์กับแนวโน้มการขยายตัวของชุมชน ความเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำนี้อาจก่อผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจของชุมชนที่ใช้ประโยชน์จากลุ่มน้ำ

การศึกษาพลวัตของคุณภาพน้ำบริเวณบางปะกงเอสทรีจากการวิเคราะห์ข้อมูลทุติยภูมิจากโครงการ NRCT-JSPS ระหว่างปี 2537-2540 โดย Jintasaeranee *et al.* (2000) แสดงให้เห็นน้ำจืดปริมาณมากที่แม่น้ำบางปะกงได้รับในช่วงฤดูน้ำมากนั้น สามารถกระจายจากปากแม่น้ำออกไปได้ไกลถึงประมาณ 15 กิโลเมตรจนถึงบริเวณตอนกลางของบางปะกงเอสทรี น้ำท่าปริมาณมากนี้ไม่เพียงแต่นำน้ำจืดลงไปเจือจางมวลน้ำที่เค็มกว่าในบริเวณเอสทรีเท่านั้น แต่ยังนำสารอาหารละลายน้ำปริมาณมากที่แม่น้ำสะสมไว้ในฤดูน้ำน้อยออกสู่เอสทรีอีกด้วย (Bordalo *et al.*, 2001) การเจือจางของน้ำจืดดังกล่าวนอกจากอาจเป็นสาเหตุให้สัตว์น้ำเศรษฐกิจตายเป็นจำนวนมาก (สุขุม เร้าใจ, 2547) และในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะที่ส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพน้ำอย่างกระทันหัน เช่น มีการระบายน้ำปริมาณมากกว่าปกติจากประตูระบายน้ำลงสู่เอสทรี อาจก่อให้เกิดปัญหาคุณภาพน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วมากและส่งผลกระทบต่อเกษตรกร ชุมชน ผู้บริโภค และเศรษฐกิจโดยรวมได้ อย่างไรก็ตามการศึกษาล่าสุดที่ผ่านมาเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพน้ำทุติยภูมิ ระหว่างปี 2537-2540 เท่านั้น ซึ่งหากเปรียบเทียบกับคุณภาพน้ำที่มีแนวโน้มเสื่อมโทรมลงในปัจจุบันแล้ว ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นน่าจะมีผลรุนแรงมากกว่าปกติ อีกทั้งยังอาจขยายวงกว้างมากกว่าสภาวะปกติด้วย ทำให้เห็นประเด็นสำคัญของการศึกษาล่าสุดของสารอาหารละลายน้ำและคุณภาพน้ำบางประการในแม่น้ำบางปะกง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่าและการกระจายปริมาณสารอาหารละลายน้ำตามฤดูกาล และเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลพลวัตของจุลินทรีย์ที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ด้วย 16S metagenomics จะสามารถใช้คาดการณ์ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับคุณภาพน้ำแม่น้ำบางปะกงได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อได้ข้อมูลพลวัตของสังคมแบคทีเรีย ความหลากหลาย และการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ก่อโรคในเขตพื้นที่ ECC จากตัวอย่างแหล่งน้ำในบริเวณต้นน้ำ กลางน้ำ และ ปลายน้ำ ซึ่งเป็นแหล่งที่มีกิจกรรมการใช้ประโยชน์จากประชาชนในพื้นที่ ทั้งเพื่อการอยู่อาศัย การเกษตร และอุตสาหกรรมในแต่ละฤดูกาล

2. การศึกษาล่าสุดของสารอาหารละลายน้ำและคุณภาพน้ำบางประการในแม่น้ำบางปะกง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่าและการกระจายปริมาณสารอาหารละลายน้ำตามฤดูกาล

ขอบเขตของโครงการวิจัย

งานวิจัยในครั้งนี้ต้องการศึกษาพลวัตของสังคมจุลินทรีย์เน้นกลุ่มแบคทีเรียด้วยเทคโนโลยีเมตาจีโนมิกส์ และพลวัตของสารอาหารในน้ำและคุณภาพน้ำบางประการจากตัวอย่างแหล่งน้ำในบริเวณต้นน้ำ กลางน้ำ และปลายน้ำของแม่น้ำบางปะกง ซึ่งเป็นแหล่งที่มีกิจกรรมการใช้ประโยชน์จากประชาชนในพื้นที่ ทั้งเพื่อการอยู่อาศัย การเกษตร และอุตสาหกรรม ในแต่ละฤดูกาลในช่วงเวลา 1 ปี และในฤดูกาลที่แตกต่างกันของแม่น้ำบางปะกง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบข้อมูลความหลากหลาย และการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ก่อโรคในเขตพื้นที่ EEC จากตัวอย่างแหล่งน้ำในแม่น้ำบางปะกงบริเวณต้นน้ำ กลางน้ำและปลายน้ำซึ่งเป็นแหล่งที่มีกิจกรรมการใช้ประโยชน์จากประชาชนในพื้นที่ และแหล่งที่ใช้ประโยชน์ทางการเกษตร ในแต่ละฤดูกาล เพื่อวางแผนการจัดการน้ำแบบบูรณาการต่อไป
2. ทราบพลวัตของสารอาหารละลายน้ำและคุณภาพน้ำบางประการในแม่น้ำบางปะกง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่าและการกระจายปริมาณสารอาหารละลายน้ำตามฤดูกาล

วิธีดำเนินการวิจัย

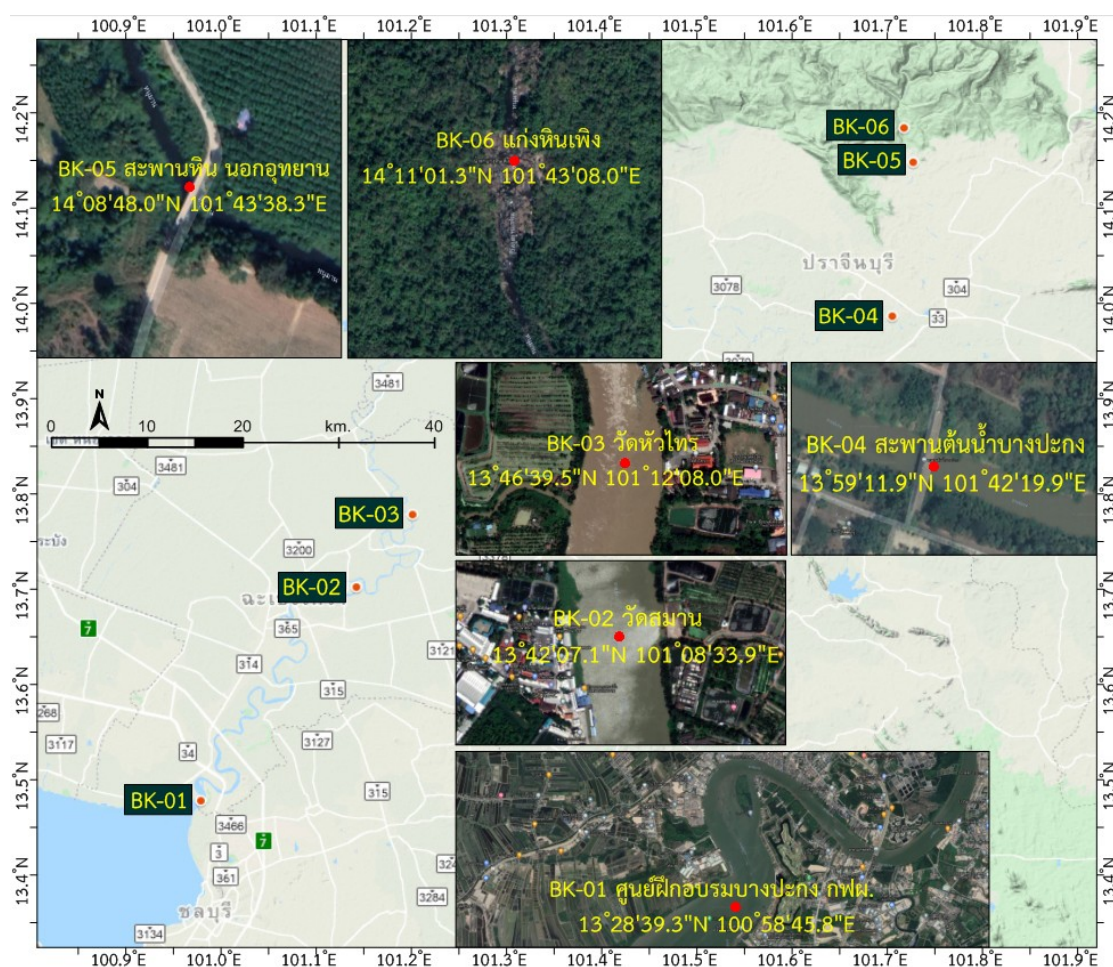
การตรวจวัดคุณภาพน้ำและการเก็บตัวอย่างน้ำ

เนื่องจากสถานการณ์โรคระบาดของไวรัสโคโรนา (COVID-19) ทางสำนักอุทยานแห่งชาติ กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช ประกาศปิดการเข้าในอุทยานแห่งชาติและวนอุทยานทุกแห่ง ระหว่างวันที่ 25 มีนาคมถึงวันที่ 30 มิถุนายน 2563 ทำให้การออกภาคสนามเพื่อเก็บตัวอย่างน้ำที่ใน สถานีอ้างอิง BK-06 (Reference site) ซึ่งอยู่ในเขตอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ ไม่สามารถดำเนินการได้ตามแผนงานที่วางไว้ ดังนั้นเพื่อให้การดำเนินการวิจัยสอดคล้องกับวัตถุประสงค์หลัก การออกภาคสนามตามฤดูเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อศึกษา 16S metagenomics จึงเก็บข้อมูลได้เพียง 5 ครั้ง แบ่งเป็น 2 ประเด็นคือ 1. เก็บตัวอย่างน้ำ 3 ครั้งเพื่อศึกษาอิทธิพลของฤดูกาลต่อชุมชนพืชจุลินทรีย์และ 2. เก็บตัวอย่างน้ำ 2 ครั้งเพื่อศึกษาอิทธิพลปริมาณน้ำท่าในรอบน้ำขึ้น-น้ำลงของในรอบปีตามฤดูกาลของประเทศไทยที่สอดคล้องกับประกาศของกรมอุตุฯ ที่แบ่งเป็น 3 ฤดูคือ ฤดูร้อนเก็บตัวอย่างในภาคสนามในเดือนกุมภาพันธ์ 2563 ฤดูฝนในเดือนกันยายน 2563 และฤดูหนาวเดือนพฤศจิกายน 2563 ตามลำดับ

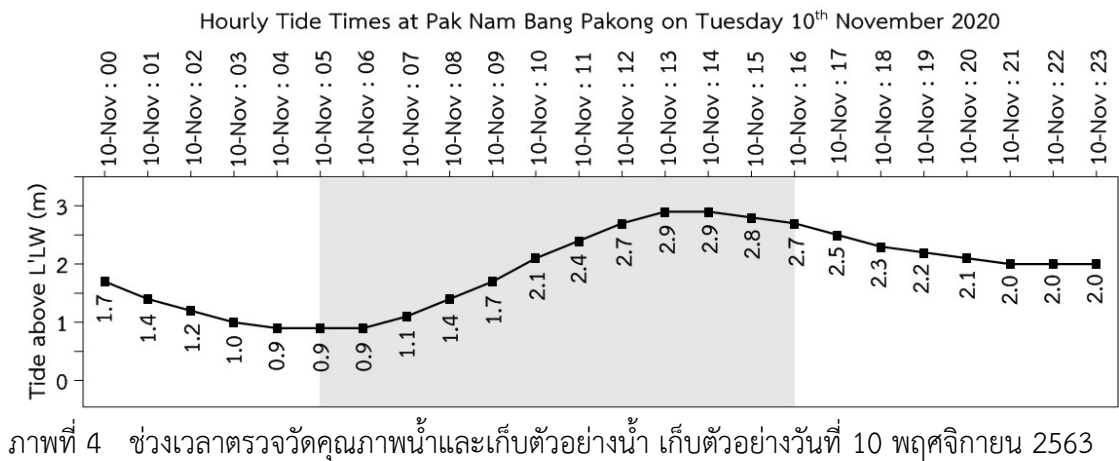
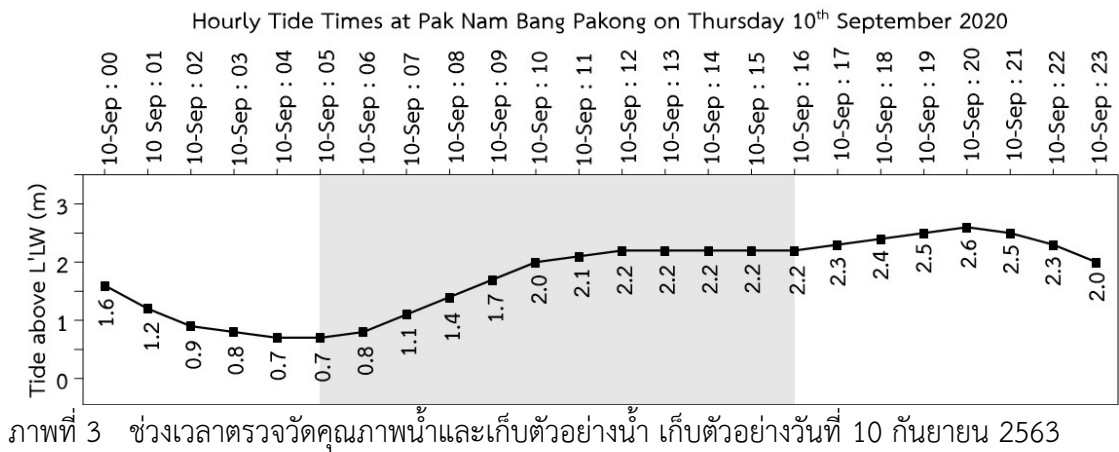
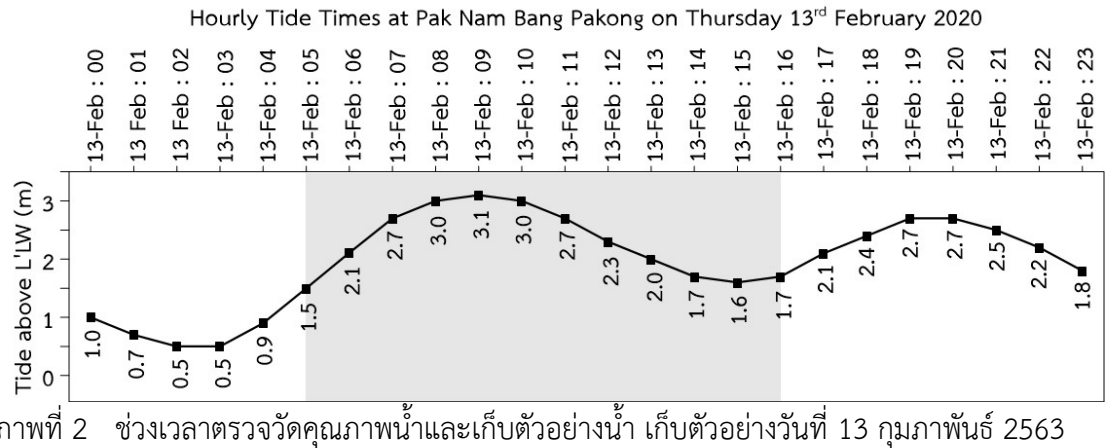
ตรวจวัดคุณภาพน้ำทางกายภาพ และเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อตรวจวัดคุณภาพน้ำทางเคมี และชีวภาพ ตลอดความยาวแม่น้ำบางปะกงรวม 177 กิโลเมตร จำนวน 6 สถานี ได้แก่ สถานี BK-01 ศูนย์ฝักอบรมบางปะกง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ) ตำบลท่าข้าม อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา ตั้งอยู่บริเวณปากแม่น้ำบางปะกงซึ่งรองรับคุณภาพน้ำจากทุกสถานีก่อนระบายออกสู่บางปะกงแอสทรี สถานี BK-02 วัดสมานรัตนาราม ตำบลก้อนแก้ว อำเภอเมืองฉะเชิงเทรา จังหวัดฉะเชิงเทรา ที่เป็นชุมชนและพื้นที่รับน้ำจากเขื่อนตลิ่งชันบางปะกง มีระยะทางห่างจากศูนย์ฝักอบรมบางปะกง กฟผ. ประมาณ 45 กิโลเมตร สถานี BK-03 วัดหัวไทร ตำบลหัวไทร อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา เป็นพื้นที่รับน้ำจากชุมชนและพื้นที่เกษตรกรรมในพื้นที่ มีระยะทางห่างจากวัดสมานรัตนารามประมาณ 20 กิโลเมตร สถานี BK-04 สะพานต้นน้ำบางปะกง ตำบลวังดาล อำเภอกบินทร์บุรี จังหวัดปราจีนบุรี ซึ่งรับน้ำจากชุมชนและเกษตรกรรมจากคลองพระปรังและแม่น้ำหนุมาน มีระยะทางห่างจากวัดหัวไทรประมาณ 80 กิโลเมตร สถานี BK-05 สะพานหิน (รอบนอกเขตอุทยาน) ตำบลสะพานหิน อำเภอนาดี จังหวัดปราจีนบุรี ซึ่งรับน้ำจากชุมชนบริเวณคลองใส่น้อยแม่น้ำหนุมาน มีระยะทางห่างจากสะพานต้นน้ำบางปะกงประมาณ 22 กิโลเมตร และสถานี BK-06 แก่งหินเพิงในอุทยานฯ (จุดอ้างอิงต้นน้ำ) ในแม่น้ำหนุมานใสใหญ่ อำเภอนาดี จังหวัดปราจีนบุรี มีระยะทางห่างจากสะพานหินประมาณ 10 กิโลเมตร(ตารางที่ 1 และภาพที่ 1) ดำเนินการตรวจวัดคุณภาพน้ำทางกายภาพและเก็บตัวอย่างน้ำรวมจำนวน 3 ครั้งในรอบปี ตามฤดูกาลของประเทศไทยที่สอดคล้องกับประกาศของกรมอุตุฯ ได้แก่ ช่วงฤดูร้อนในวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2563 ช่วงฤดูฝนในวันที่ 10 กันยายน 2563 และช่วงฤดูหนาวในวันที่ 10 พฤศจิกายน 2563 ตามลำดับ โดยทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำและเก็บตัวอย่างน้ำในช่วงน้ำขึ้นตามตารางน้ำ (กรมอุทกศาสตร์, 2563) แสดงในภาพที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ตำแหน่งสถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำและเก็บตัวอย่างน้ำ

สถานี	ลองจิจูด	แลตติจูด
BK-01 ศูนย์ฝึกรบกรมบางปะกง กพผ.	100° 58' 55.6" E	13° 28' 33.2" N
BK-02 วัดสมาน	101° 08' 30.3" E	13° 42' 07.4" N
BK-03 วัดหัวไทร	101° 12' 10.3" E	13° 46' 39.4" N
BK-04 สะพานต้นน้ำบางปะกง	101° 42' 19.3" E	13° 59' 11.8" N
BK-05 สะพานหิน รอบนอกเขตอุทยาน	101° 43' 38.4" E	14° 08' 48.1" N
BK-06 แก่งหินเพิงในอุทยานฯ (จุดอ้างอิง)	101° 43' 46.5" E	14° 10' 03.1" N



ภาพที่ 1 สถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำและเก็บตัวอย่างน้ำ จำนวน 6 สถานี บริเวณแม่น้ำบางปะกง (ดัดแปลงจากภาพถ่ายดาวเทียมจาก www.google.co.th)



ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำทางกายภาพที่ผิวน้ำ ณ สถานีเก็บตัวอย่าง (in-situ) ในภาคสนาม ได้แก่ อุณหภูมิ (Temperature, T °c) ความเค็ม (Salinity, S psu) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO mg/L) ปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด (Total Dissolved Solids, TDS g/L) ด้วยเครื่องวัดคุณภาพน้ำแบบหลายตัวแปร (Multi

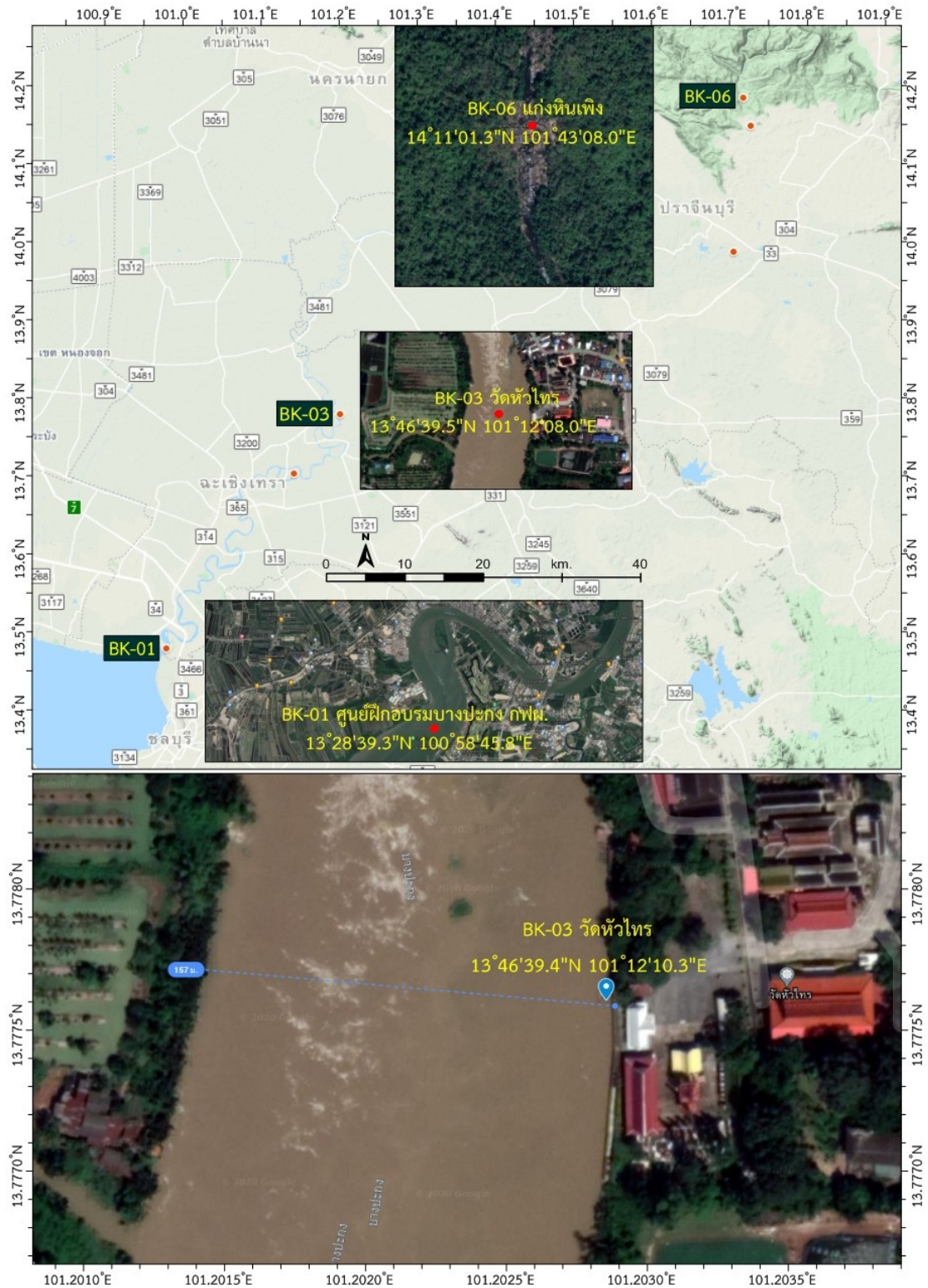
parameter sensors / Multi-probe) ยี่ห้อ YSI รุ่น 6600 และเก็บตัวอย่างน้ำที่ผิวน้ำเพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนจากตะกอนพื้นท้องน้ำ นำตัวอย่างน้ำกลับมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการทางเคมีได้แก่ ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids, SS mg/L) ความต้องการออกซิเจนทางชีวภาพ (Biological Oxygen Demand, BOD mg/L) สารอาหารอนินทรีย์ไนโตรเจนละลายน้ำ (Dissolved Inorganic Nitrogen, DIN) ได้แก่ แอมโมเนีย (Ammonia, $\text{NH}_3\text{-N}$ $\mu\text{g/L}$) ไนไตรท์ (Nitrite, $\text{NO}_2\text{-N}$ $\mu\text{g/L}$) ไนเตรท (Nitrate, $\text{NO}_3\text{-N}$ $\mu\text{g/L}$) สารอาหารอนินทรีย์ฟอสฟอรัสละลายน้ำ (Dissolved Inorganic Phosphorous, DIP) ได้แก่ ออร์โธฟอสเฟต (Phosphate, $\text{PO}_4\text{-P}$ $\mu\text{g/L}$) และวิเคราะห์ทางชีวภาพในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ แบคทีเรียฟีคัลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria, FCB MPN/100mL) แบคทีเรียโคลิฟอร์มรวมทั้งหมด (Total Coliform Bacteria, TCB MPN/100mL) และ *Escherichia coli* (*E. coli*) วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมีและชีวภาพสรุปไว้ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยข้อมูลของพารามิเตอร์คุณภาพน้ำข้างต้นจะนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบหลายตัวแปรโดยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (principal component analysis) ในโปรแกรม R

ตารางที่ 2 ปัจจัยคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมีและชีวภาพ และวิธีการตรวจวัด

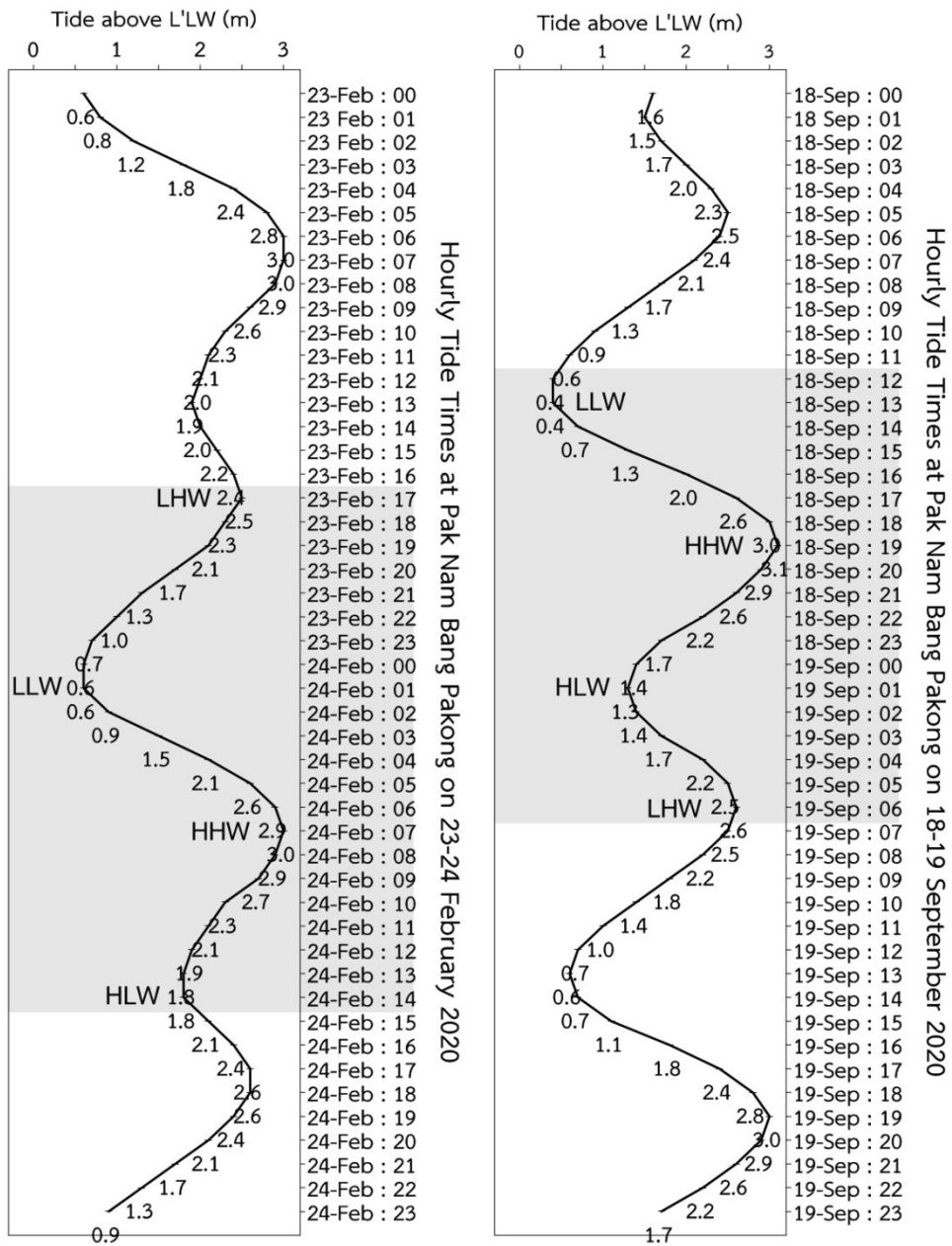
Parameters	Equipments/Methods
Temperature, T °c	Multi parameter sensors / Multi-probe
Salinity, S psu	Multi parameter sensors / Multi-probe
pH	Multi parameter sensors / Multi-probe
Dissolved Oxygen, DO mg/L	Multi parameter sensors / Multi-probe
Total Dissolved Solids, TDS g/L	Multi parameter sensors / Multi-probe
Suspended Solid, SS mg/L	GF/C Filter Gravimetric Method
Biological Oxygen Demand, BOD mg/L	Azide Modification (Strickland & Parsons, 1972)
Ammonia, NH ₃ -N µg/L	Phenol-hypochloride (Grasshoff <i>et al.</i> , 1999)
Nitrite, NO ₂ -N µg-N/L	Diazotization (Strickland & Parsons, 1972)
Nitrate, NO ₃ -N µg/L	Cd reduction & Diazotization (Strickland & Parsons, 1972)
Phosphate, PO ₄ -P µg/L	Ascorbic acid (Strickland & Parsons, 1972)
Fecal Coliform Bacteria, FCB MPN/100 mL	Multiple Tube Fermentation Technique (APHA, AWWA & WEF, 2017)
Total Coliform Bacteria, TCB MPN/100 mL	Multiple Tube Fermentation Technique (APHA, AWWA & WEF, 2017)
<i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>)	Multiple Tube Fermentation Technique (Feng <i>et al.</i> , 2002)

ปริมาณน้ำท่าในรอบน้ำขึ้น-น้ำลง สถานี BK-03 วัดหัวไทร

สถานี BK-03 วัดหัวไทร (ภาพที่ 5) ตำบลหัวไทร อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา ถูกกำหนดให้เป็นสถานีเพื่อศึกษาพลวัตของสารอาหารละลายน้ำและคุณภาพน้ำบางประการในแม่น้ำบางปะกง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่าและการกระจายปริมาณสารอาหารละลายน้ำตามฤดูกาล และเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลพลวัตของจุลินทรีย์ที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ด้วย 16S metagenomics จะสามารถใช้คาดการณ์ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับคุณภาพน้ำแม่น้ำบางปะกงได้ โดยทำการตรวจวัดพื้นที่หน้าตัดลำน้ำ กระแสน้ำ และคุณภาพน้ำทางกายภาพ เนื่องจากอยู่ในตำแหน่งตรงกลางระหว่างพื้นที่รับน้ำจากต้นน้ำในเขตอุทยานจากชุมชนและพื้นที่เกษตรกรรม โดยมีระยะทางห่างจากสถานี BK-06 แก่งหินเพิงในอุทยานฯ (จุดอ้างอิงต้นน้ำ) ประมาณ 112 กิโลเมตร และสถานี BK-01 บริเวณศูนย์ฝึก่อบรมบางปะกง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ) ปากน้ำบางปะกง มีระยะห่างประมาณ 65 กิโลเมตร การตรวจวัดดำเนินการที่การตรวจวัดพื้นที่หน้าตัดลำน้ำ (Cross section) ด้วยเครื่องวัดความลึกน้ำ Portable Depth Sounder ยี่ห้อ HONDEX รุ่น PS-7FL ตรวจวัดการกระจายอุณหภูมิและความเค็มตามความลึก (Temperature & Salinity profiles, T-S profiles) ที่กลางลำน้ำด้วยเครื่อง CTD Profiler รุ่น Model SD208 และตรวจวัดความเร็วและทิศทางกระแสน้ำ (Current meter) ที่ผิวน้ำบริเวณกลางลำน้ำด้วยเครื่องวัดกระแสน้ำยี่ห้อ JFE advantech รุ่น Infinity AEM-USB การตรวจวัดดำเนินการครอบคลุมช่วงน้ำเกิด (ประมาณขึ้น 15 คำหรือแรม 15 คำ) ทำการเก็บตัวอย่างจำนวน 2 ครั้งในรอบปีตามฤดูกาลมรสุม ได้แก่ ช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือหรือฤดูน้ำน้อย เก็บตัวอย่างระหว่าง 23-24 กุมภาพันธ์ 2563 และช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้หรือฤดูน้ำมาก เก็บตัวอย่างระหว่าง 18-19 กันยายน 2563 (ภาพที่ 6) ดำเนินการเก็บข้อมูลช่วงน้ำเกิด (ประมาณขึ้น 15 คำหรือแรม 15 คำ) ทำการเก็บตัวอย่างจำนวน 2 ครั้ง ครั้งที่ 1 ระหว่างวันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2563 เวลาประมาณ 17:00 น. ช่วงน้ำขึ้นสูง (Lower High Water, LHW) ถึงวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2563 เวลาประมาณ 01:00 น. ช่วงน้ำลงต่ำสุด (Lower Low Water, LLW) เวลาประมาณ 07:00 น. ช่วงน้ำขึ้นสูงสุด (Higher High Water, HHW) และเวลาประมาณ 14:00 น. ช่วงน้ำลงต่ำ (Higher Low Water, HLW) (ซ้าย) และครั้งที่ 2 ระหว่างวันที่ 18 กันยายน 2563 เวลาประมาณ 12:00 น. ช่วงน้ำลงต่ำสุด (Lower Low Water, LLW) เวลาประมาณ 19:00 น. ช่วงน้ำขึ้นสูงสุด (Higher High Water, HHW) ถึงวันที่ 19 กันยายน 2563 เวลาประมาณ 01:00 น. ช่วงน้ำลงต่ำ (Higher Low Water, HLW) และเวลาประมาณ 06:00 น. ช่วงน้ำขึ้นสูง (Lower High Water, LHW) (ขวา) ตามลำดับ



ภาพที่ 5 สถานี BK-03 วัดหัวไทร (ดัดแปลงจากภาพถ่ายดาวเทียมจาก www.google.co.th)



ภาพที่ 6 ช่วงเวลาเก็บข้อมูลช่วงน้ำเกิด (ประมาณขึ้น 15 ค่ำหรือแรม 15 ค่ำ) ทำการเก็บตัวอย่าง จำนวน 2 ครั้ง ครั้งที่ 1 ระหว่างวันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2563 เวลาประมาณ 17:00 น. ถึง วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2563 เวลาประมาณ 14:00 น. (ซ้าย) และครั้งที่ 2 ระหว่างวันที่ 18 กันยายน 2563 เวลาประมาณ 12:00 น. ถึงวันที่ 19 กันยายน 2563 เวลาประมาณ 01:00 น. (ขวา)

การสกัดดีเอ็นเอและการวิเคราะห์ 16S metagenomics

ภายหลังทดลองหาและคัดเลือกวิธีการที่เหมาะสมในการสกัดดีเอ็นเอ ชุดสกัดดีเอ็นเอจาก ZymoBIOMICS[®] นำมาใช้ในการสกัดดีเอ็นเอในโครงการนี้ โดยนำกระดาศกรงที่มีตัวอย่างดีเอ็นเอที่ได้มาจากกระบวนการกรองน้ำที่ได้จากการเก็บตัวอย่างน้ำของแต่ละตัวอย่างในแต่ละสถานีมาตัดให้มีขนาดเล็กและดำเนินการสกัดดีเอ็นเอด้วยตามขั้นตอนของการสกัดดีเอ็นเอด้วย ZymoBIOMICS[®] DNA kit ดีเอ็นเอที่สกัดได้จาก 3 กระดาศกรงของแต่ละซ้ำของแต่ละสถานีถูกนำมาวัดคุณภาพดีเอ็นเอของแต่ละชุดของการสกัดดีเอ็นเอในแต่ละกระดาศกรง เมื่อได้ดีเอ็นเอที่มีความบริสุทธิ์มากพอและไม่ปนเปื้อนโปรตีนหรือสารตัวอื่นๆ ตัวอย่างที่ได้ที่มีคุณภาพที่ดีที่สุดถูกนำไปวิเคราะห์ที่ Zymo Research สำหรับ 16S metagenomics ต่อไปและตัวอย่างที่เหลือถูกเก็บไว้ในตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการศึกษาในอนาคต

สำหรับการเตรียมตัวอย่างควบคุมในการทดลอง ใช้ ZymoBIOMICS[®] microbial community DNA standard ที่ประกอบไปด้วย เชื้อแบคทีเรียบริสุทธิ์เติมลงไปในตัวอย่างเป็นควบคุม milli-q[®] type 1 ultrapure water เพื่อใช้เป็น positive control ดังนี้ *Bacillus subtilis*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecalis*, *Lactobacillus fermentum*, *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* และ *Pseudomonas aeruginosa*

การเตรียม 16S rRNA library และการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ดำเนินการโดย Zymo Research ซึ่งใช้ Illumina[®] MiSeq[™] with a v3 reagent kit (600 cycles) โดยผลของลำดับนิวคลีโอไทด์ประสิทธิภาพสูงของ 16S rRNA ถูกนำมาวิเคราะห์ทางชีวสารสนเทศของการอ่านข้อมูลดิบจาก amplicon sequence ที่มีลักษณะเฉพาะโดยใช้ Dada2 pipeline (Callahan *et al.*, 2016) ใช้ Uclust จาก Qiime v.1.9.1 ในการระบุทางอนุกรมวิธานโดยใช้ฐานข้อมูลของ Zymo Research โดยการแสดงผลองค์ประกอบของจุลินทรีย์โดยภาพและการวิเคราะห์ความหลากหลายชนิดทั้งระดับ alpha-diversity และ beta-diversity โดยใช้ Qiime v.1.9.1 (Caporaso *et al.*, 2010) ในส่วนของความชุกชุม (abundance) ที่มีความแตกต่างกันมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มทางอนุกรมวิธานถูกระบุด้วย LEfSe (Segata *et al.*, 2011)

ผลการศึกษา

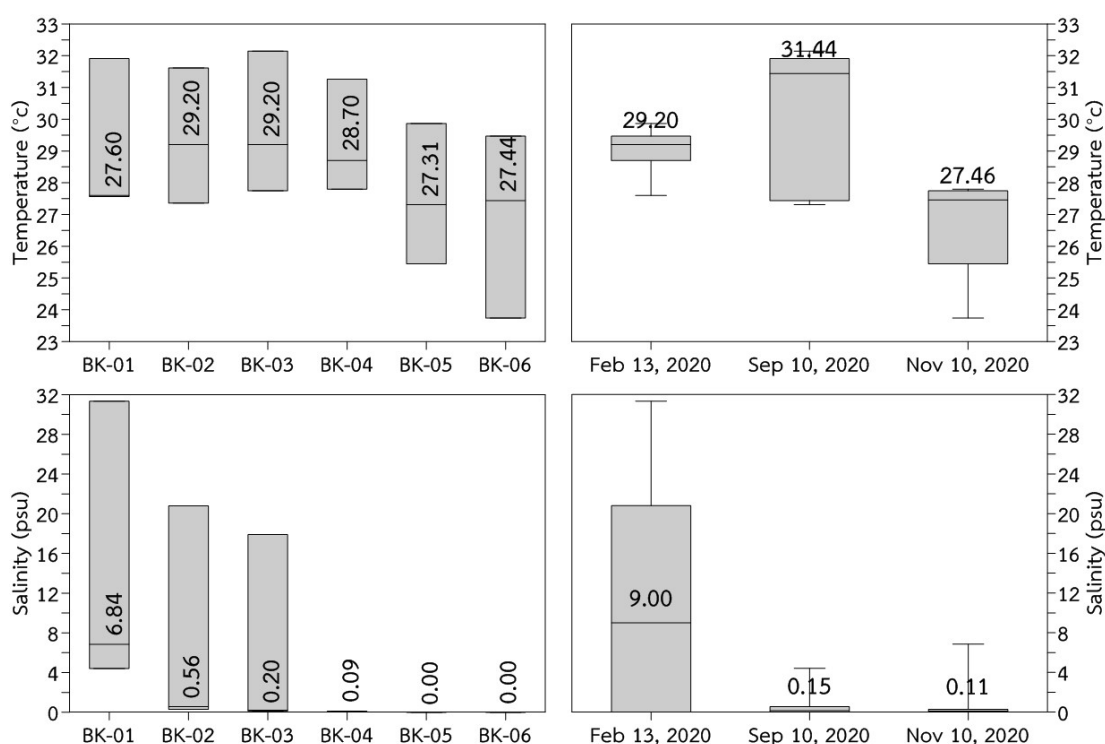
ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำ

ผลจากการตรวจวัดคุณภาพน้ำที่ผิวหน้าน้ำในแม่น้ำบางปะกงทางกายภาพ เคมีและชีวภาพ แยกตามพารามิเตอร์และฤดูกาลสรุปดังแสดงในตารางที่ 3 สำหรับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยข้อมูลในแต่ละสถานีและฤดูกาลแสดงด้วยกราฟแบบ Box and Whisker plots (ภาพที่ 7 ถึงภาพที่ 12)

ตารางที่ 3 ผลจากการตรวจวัดคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมีและชีวภาพแยกตามพารามิเตอร์และฤดูกาล

Parameters	Sampling on 13 th Feb, 2020 ฤดูร้อน		Sampling on 10 th Sep, 2020 ฤดูฝน		Sampling on 10 th Nov, 2020 ฤดูหนาว	
	min-max	mean ± SD	min-max	mean ± SD	min-max	mean ± SD
Physical						
Temp. [°C]	27.60–29.87	29.01 ± 0.79	27.31–32.15	30.28 ± 2.27	23.74–27.80	26.61 ± 1.66
Sal. [psu]	0.00–31.33	11.69 ± 13.53	0.00–4.41	0.88 ± 1.74	0.00–6.84	1.22 ± 2.76
pH	7.25–9.06	8.05 ± 0.70	5.59–7.38	6.57 ± 0.69	6.97–7.74	7.22 ± 0.27
DO [mg/L]	3.47–7.40	5.51 ± 1.91	1.56–7.67	4.99 ± 2.56	2.09–8.58	4.93 ± 2.91
TDS (g/L)	No Data	No Data	0.01–5.24	1.07 ± 2.06	0.01–7.73	1.40 ± 3.10
Chemical						
TSS [mg/L]	1.87–152.28	63.51 ± 70.72	4.69–53.22	23.21 ± 17.09	2.72–58.42	32.18 ± 24.22
BOD [mg/L]	1.20–5.93	3.79 ± 2.18	0.43–3.83	2.11 ± 1.31	0.73–3.23	1.82 ± 0.94
NH ₃ -N [mg/L]	0.01–0.02	0.01 ± 0.00	0.01–0.06	0.03 ± 0.03	0.02–0.12	0.06 ± 0.04
NO ₂ -N [µg/L]	0.15–1.78	0.86 ± 0.61	0.96–38.62	15.32 ± 17.07	1.27–59.91	27.79 ± 25.80
NO ₃ -N [µg/L]	0.51–21.63	6.19 ± 7.77	55.00–405.60	213.12 ± 137.98	33.79–226.66	134.73 ± 71.82
PO ₄ -P [µg-/L]	0.00–2.52	1.05 ± 1.19	10.97–109.90	44.65 ± 36.64	26.17–85.67	51.11 ± 22.92
Microbial						
FCB (MPN/100 mL)	32.50–144.33	74.97 ± 40.30	36.67–636.67	298.17 ± 243.35	19.33–2,010.00	565.20 ± 828.75
TCB (MPN/100 mL)	146.67–2,710.00	747.67 ± 987.30	56.00–4666.67	2,300.44 ± 1,578.35	206.67–13,900.00	3,857.22 ± 5,268.62
E.coli (MPN/100 mL)	No Data	No Data	14.33–856.67	358.50 ± 315.96	7.20–16,00.00	316.19 ± 633.93

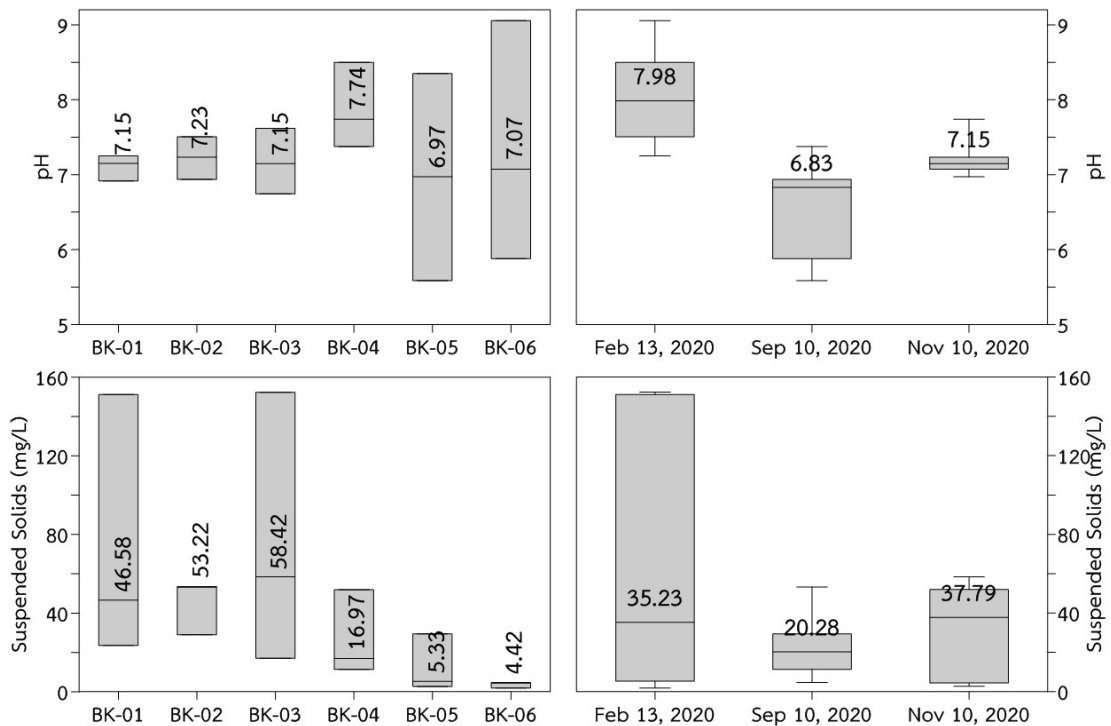
คุณภาพน้ำทางกายภาพ ได้แก่ อุณหภูมิ (Temperature °c) และความเค็ม (Salinity psu) (ภาพที่ 5) มีความแตกต่างกันในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่างและฤดูกาล โดยพบอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดที่สถานี BK-06 โดยมีค่าเฉลี่ย 27.44 °c และเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดที่สถานี BK-04 โดยมีค่าเฉลี่ย 28.70 °c ส่วนค่าความเค็มพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดที่สถานี BK-01 โดยมีค่าเฉลี่ย 6.84 psu และไม่เปลี่ยนแปลงเลยที่สถานี BK-05 และ BK-06 ซึ่งมีค่าความเค็ม 0.00 psu และยังพบว่าอุณหภูมิต่างตามฤดูกาลมากที่สุดในช่วงฤดูฝนและน้อยที่สุดในช่วงฤดูร้อน ส่วนความเค็มพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดในฤดูร้อน ส่วนในฤดูฝนและฤดูหนาวแทบจะมีการเปลี่ยนแปลงความเค็มที่ผิวหน้าน้ำในแม่น้ำบางปะกง



ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Temperature °c) และความเค็ม (Salinity psu) ตามสถานี และฤดูกาลที่ผิวหน้าน้ำในแม่น้ำบางปะกง

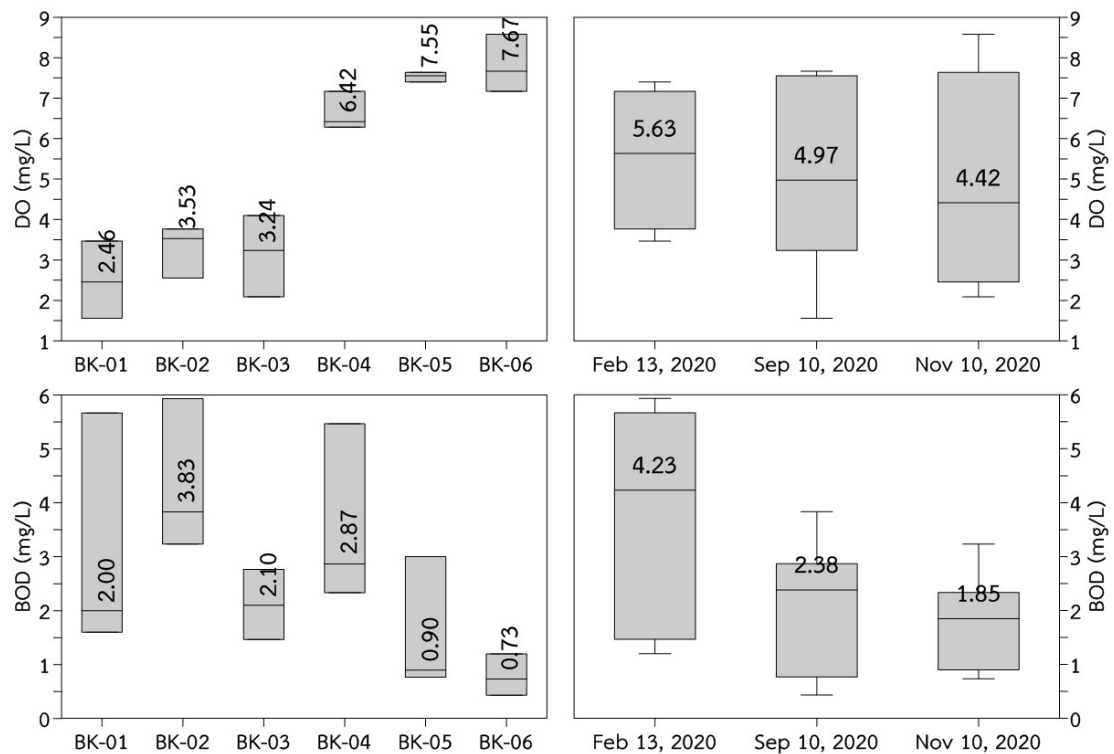
ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH) และปริมาณสารแขวนลอยในน้ำ (Suspended Solids, SS mg/L) (ภาพที่ 8) มีความแตกต่างกันในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่างและฤดูกาล โดยพบว่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดที่สถานี BK-05 และ BK-06 โดยมีค่าเฉลี่ย 6.97 และ 7.07 ตามลำดับ และเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดที่สถานี BK-01 โดยมีค่าเฉลี่ย 7.15 และค่าปริมาณสารแขวนลอยในน้ำพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดในรอบปีที่สถานี BK-01 และ BK-03 โดยมีค่าเฉลี่ย 46.58 mg/L และ 58.42 mg/L ตามลำดับ และแทบจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลยที่สถานี BK-06 ซึ่งมีค่าปริมาณสารแขวนลอยในน้ำเฉลี่ย 4.42 mg/L และพบว่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำมีความแตกต่างตามฤดูกาลอย่างมากในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน โดยมีค่าเฉลี่ย 7.98 และ 6.83 ตามลำดับ และน้อยที่สุดในช่วงฤดูหนาวมีค่าเฉลี่ย 7.15 ส่วนปริมาณสารแขวนลอยในน้ำพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงมาก

ที่สูงสุดในฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ย 35.23 mg/L ส่วนในฤดูฝนและฤดูหนาวมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารแขวนลอยในน้ำน้อยกว่ามาก โดยมีค่าเฉลี่ย 20.28 mg/L และ 37.79 mg/L ตามลำดับ



ภาพที่ 8 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง (pH) และปริมาณสารแขวนลอยในน้ำ (Suspended Solids mg/L) ตามสถานีและฤดูกาลที่ผิวน้ำในแม่น้ำบางปะกง

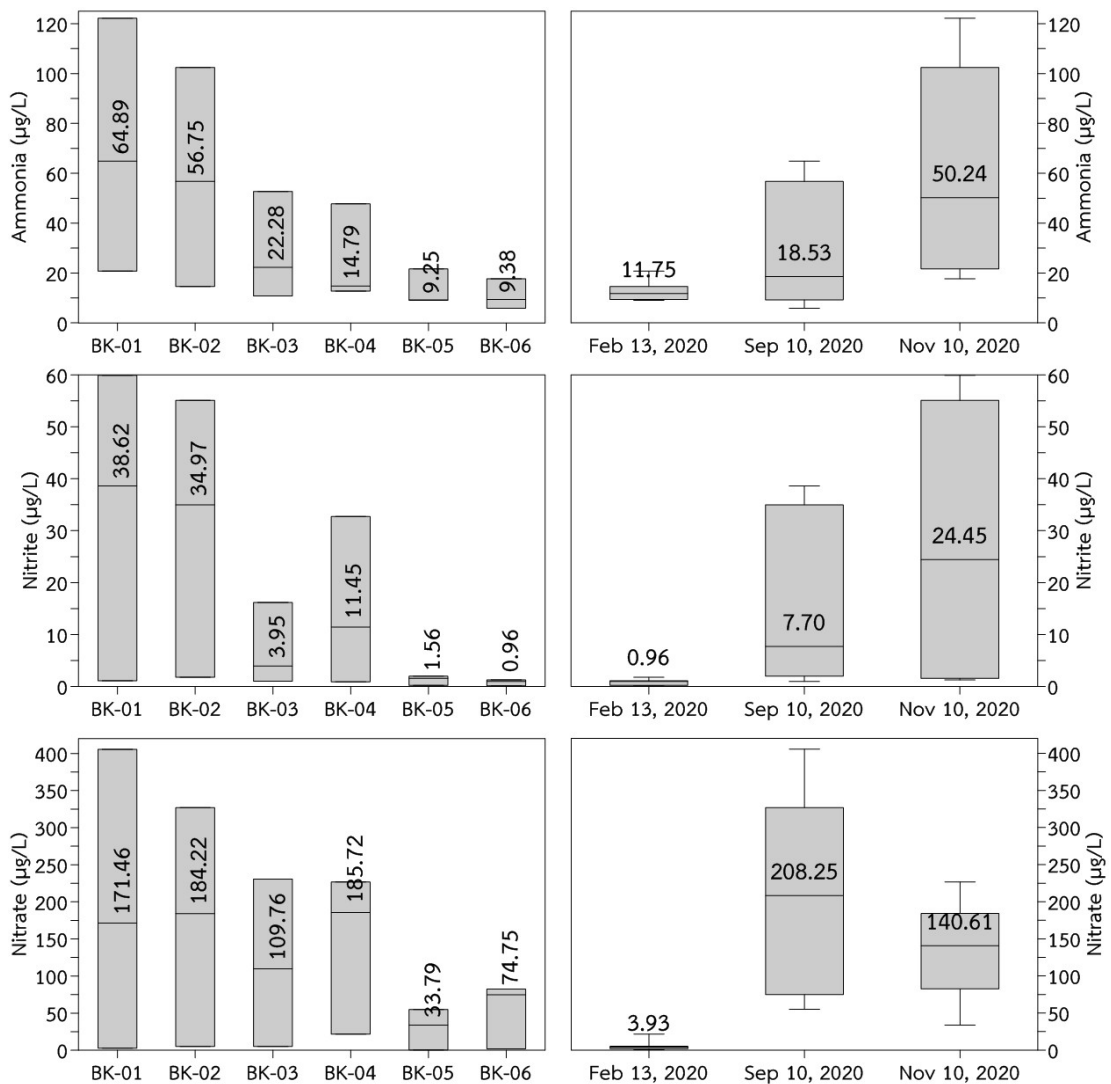
คุณภาพน้ำทางเคมี ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO mg/L) และความต้องการใช้ออกซิเจนทางชีวภาพ (Biological Oxygen Demand, BOD mg/L) (ภาพที่ 7) พบว่ามีความแตกต่างกันในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่างและฤดูกาล โดยพบปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากที่สถานี BK-01, BK-03 และ BK-06 และยังสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำน้อยกว่าระหว่างสถานี BK-01 ถึง BK-03 โดยมีค่าเฉลี่ย 2.46 mg/L, 3.53 mg/L และ 3.24 mg/L ตามลำดับ และกลุ่มที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมากกว่าระหว่างสถานี BK-04 ถึง BK-06 โดยมีค่าเฉลี่ย 6.42 mg/L, 7.55 mg/L และ 7.67 mg/L ตามลำดับ ในขณะที่ค่าความต้องการใช้ออกซิเจนทางชีวภาพพบว่าการเปลี่ยนแปลงอย่างมากที่สถานี BK-01, BK-02, BK-04 และ BK-05 โดยมีค่าเฉลี่ย 2.00 mg/L, 3.83 mg/L, 2.87 mg/L และ 0.90 mg/L ตามลำดับ แต่พบว่าสถานี BK-03 และ BK-01 มีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า โดยมีค่า 2.10 mg/L และ 0.73 mg/L ตามลำดับ และพบว่าทั้งการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและความต้องการใช้ออกซิเจนทางชีวภาพตามฤดูกาลมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากตามฤดูกาลทั้งหมด โดยพบปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยในฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาวมีค่า 5.63 mg/L, 4.97 mg/L และ 4.42 mg/L ตามลำดับ และความต้องการใช้ออกซิเจนทางชีวภาพเฉลี่ยในฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาวมีค่า 4.23 mg/L, 2.38 mg/L และ 1.85 mg/L ตามลำดับ



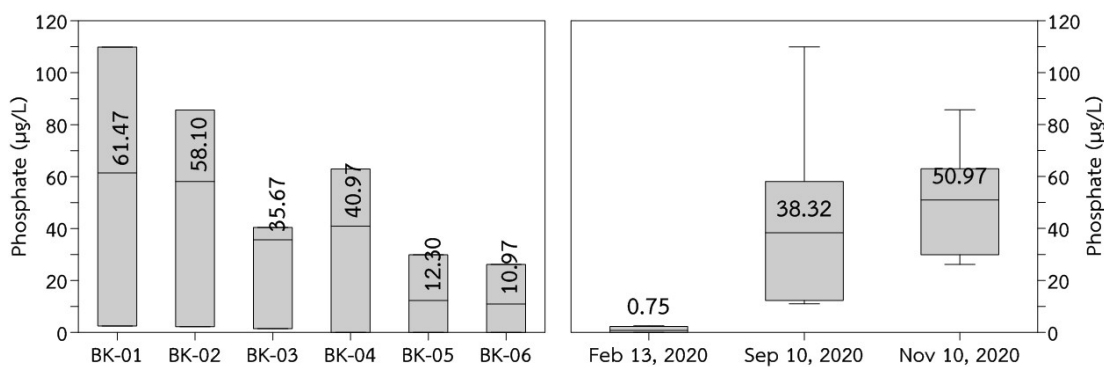
ภาพที่ 9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO mg/L) และความต้องการออกซิเจนในกระบวนการทางชีวภาพ (Biological Oxygen Demand, BOD mg/L) ตามสถานีและฤดูกาลที่ผิวน้ำในแม่น้ำบางปะกง

ปริมาณสารอาหารอนินทรีย์ไนโตรเจนละลายน้ำ (Dissolved Inorganic Nitrogen, DIN) ได้แก่ แอมโมเนีย (Ammonia, $\text{NH}_3\text{-N}$ $\mu\text{g/L}$) ไนไตรท์ (Nitrite, $\text{NO}_2\text{-N}$ $\mu\text{g/L}$) ไนเตรท (Nitrate, $\text{NO}_3\text{-N}$ $\mu\text{g/L}$) (ภาพที่ 8) พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากที่สถานี BK-01 และ BK-02 มีค่าเฉลี่ย $\text{NH}_3\text{-N}$ 64.89 $\mu\text{g/L}$ และ 56.75 $\mu\text{g/L}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ 38.62 $\mu\text{g/L}$ และ 34.97 $\mu\text{g/L}$ และ $\text{NO}_3\text{-N}$ 171.46 $\mu\text{g/L}$ และ 184.22 $\mu\text{g/L}$ ตามลำดับ ส่วนสถานี BK-03 และสถานี BK-04 พบค่าเฉลี่ยน้อยกว่า มีค่าเฉลี่ย $\text{NH}_3\text{-N}$ 22.28 $\mu\text{g/L}$ และ 14.79 $\mu\text{g/L}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ 3.95 $\mu\text{g/L}$ และ 11.45 $\mu\text{g/L}$ และ $\text{NO}_3\text{-N}$ 109.76 $\mu\text{g/L}$ และ 185.72 $\mu\text{g/L}$ ตามลำดับ และพบค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดระหว่างสถานี BK-02 และสถานี BK-01 มีค่าเฉลี่ย $\text{NH}_3\text{-N}$ 9.25 $\mu\text{g/L}$ และ 9.38 $\mu\text{g/L}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ 1.56 $\mu\text{g/L}$ และ 0.96 $\mu\text{g/L}$ และ $\text{NO}_3\text{-N}$ 33.79 $\mu\text{g/L}$ และ 74.75 $\mu\text{g/L}$ ตามลำดับ และที่สำคัญพบว่าปริมาณสารอาหารอนินทรีย์ไนโตรเจนละลายน้ำมีความแตกต่างตามฤดูกาลอย่างมากในช่วงฤดูฝนและฤดูหนาว พบว่ามีค่าเฉลี่ย $\text{NH}_3\text{-N}$ 18.53 $\mu\text{g/L}$ และ 50.24 $\mu\text{g/L}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ 7.70 $\mu\text{g/L}$ และ 24.45 $\mu\text{g/L}$ และ $\text{NO}_3\text{-N}$ 208.25 $\mu\text{g/L}$ และ 140.61 $\mu\text{g/L}$ ตามลำดับ ส่วนในฤดูแล้งพบว่ามีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด โดยพบค่าเฉลี่ย $\text{NH}_3\text{-N}$ 11.75 $\mu\text{g/L}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ 0.96 $\mu\text{g/L}$ และ $\text{NO}_3\text{-N}$ 3.93 $\mu\text{g/L}$ ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณสารอาหารอนินทรีย์ฟอสฟอรัสละลายน้ำ (Dissolved Inorganic Phosphorus, DIP) ได้แก่ ออโรฟอสเฟต (Phosphate, $\text{PO}_4\text{-P}$ $\mu\text{g/L}$) (ภาพที่ 9) พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากที่สถานี BK-01 และ BK-02 มีค่าเฉลี่ย 61.47 $\mu\text{g/L}$ และ 58.10 $\mu\text{g/L}$ พบน้อยกว่าที่สถานี BK-03 และ BK-04 มีค่า

35.67 $\mu\text{g-N/L}$ และ 40.97 $\mu\text{g/L}$ และพบน้อยมากที่สถานี BK-05 และ BK-06 มีค่าเฉลี่ย 12.30 $\mu\text{g/L}$ และ 10.97 $\mu\text{g/L}$ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสารอาหารอนินทรีย์ฟอสฟอรัสละลายน้ำ พบว่ามี การเปลี่ยนแปลงมากในช่วงฤดูฝนและฤดูหนาว โดยมีค่าเฉลี่ย 38.32 $\mu\text{g/L}$ และ 50.97 $\mu\text{g/L}$ ส่วนใน ฤดูร้อนพบว่ามียค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด โดยพบค่าเฉลี่ย 0.75 $\mu\text{g/L}$ ตามลำดับ

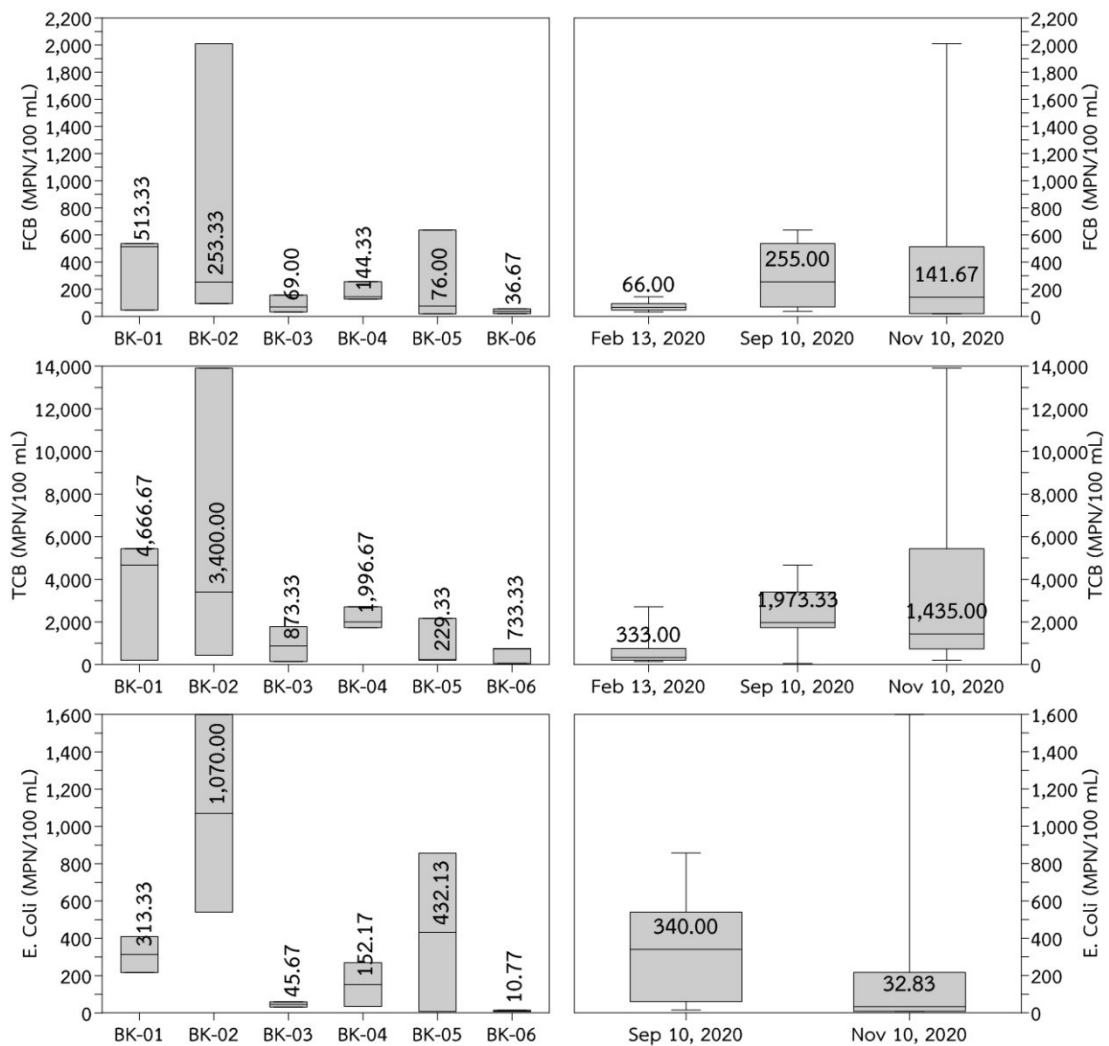


ภาพที่ 10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอาหารอนินทรีย์ไนโตรเจนละลายน้ำ (Dissolved Inorganic Nitrogen, DIN) ได้แก่ แอมโมเนีย (Ammonia, $\text{NH}_3\text{-N}$ $\mu\text{g/L}$) ไนไตรท์ (Nitrite, $\text{NO}_2\text{-N}$ $\mu\text{g/L}$) และไนเตรท (Nitrate, $\text{NO}_3\text{-N}$ $\mu\text{g/L}$) ตามสถานีและฤดูกาลที่ ผิวน้ำในแม่น้ำบางปะกง



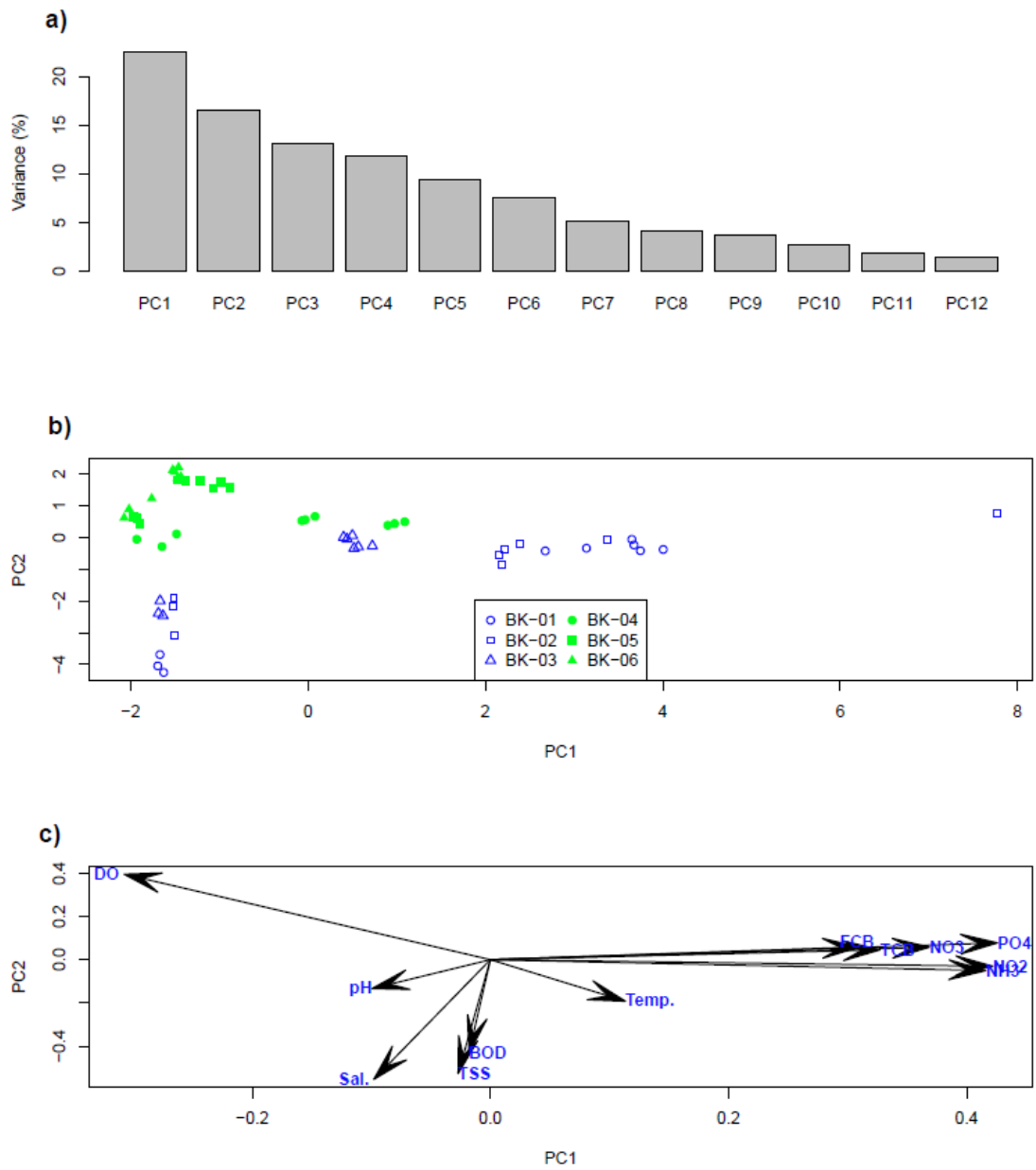
ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอาหารอนินทรีย์ฟอสฟอรัสละลายน้ำ (Dissolved Inorganic Phosphorous, DIP) ได้แก่ ออโรฟอสเฟต (Phosphate, $\text{PO}_4\text{-P}$ µg/L) ตามสถานีและฤดูกาลที่ผิวน้ำในแม่น้ำบางปะกง

คุณภาพน้ำทางชีวภาพ ได้แก่ แบคทีเรียฟีคัลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria, FCB MPN/100mL) แบคทีเรียโคลิฟอร์มรวมทั้งหมด (Total Coliform Bacteria, TCB MPN/100mL) และ *Escherichia coli* (*E. coli*) (ภาพที่ 10) พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดที่สถานี BK-01 และ BK-02 โดยมีค่าเฉลี่ย FCB 513.33 MPN/100mL และ 253.33 MPN/100mL, TCB 4,666.67 MPN/100mL และ 3,400.00 MPN/100mL และ *E. coli* 313.33 MPN/100mL และ 1,070.00 MPN/100mL ตามลำดับ ในขณะที่สถานี BK-03 ถึง BK-05 กลับพบน้อยกว่า โดยพบ FCB 69.00 MPN/100mL, 144.33 MPN/100mL, และ 76.00 MPN/100mL ตามลำดับ TCB 873.33 MPN/100mL และ 1,996.67 MPN/100mL และ 733.33 MPN/100mL ที่สถานี BK-06 ตามลำดับ และ *E. coli* 45.67 MPN/100mL และ 152.17 MPN/100mL ยกเว้นที่สถานี BK-05 ที่พบ *E. coli* สูงถึง 432.13 MPN/100mL ส่วนที่สถานี BK-06 กลับพบน้อยมากโดยพบ FCB 36.67 MPN/100mL ยกเว้น TCB 229.33 MPN/100mL ที่สถานี BK-05 และ *E. coli* 10.77 MPN/100mL ตามลำดับ ในขณะที่ตามฤดูกาลพบว่า FCB และ TCB มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากในฤดูฝนและฤดูหนาว โดยมีค่า FCB 255.00 MPN/100mL และ 141.67 MPN/100mL และ TCB 1,973.33 และ 1,435.00 MPN/100mL ส่วนในฤดูร้อนพบ FCB 66.00 MPN/100mL และ TCB 333.00 MPN/100mL ซึ่งน้อยกว่ามาก ในทางตรงกันข้ามกลับพบ *E. coli* มากในฤดูฝน มีค่า 340.00 MPN/100mL และพบน้อยกว่าอย่างมากในฤดูหนาว เพียง 32.83 MPN/100mL



ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแบคทีเรีย ได้แก่ แบคทีเรียฟีคัลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria, FCB MPN/100mL) แบคทีเรียโคลิฟอร์มรวมทั้งหมด (Total Coliform Bacteria, TCB MPN/100mL) และ *Escherichia coli* ตามสถานี และฤดูกาลที่ผิวน้ำในแม่น้ำบางปะกง

สุดท้ายเมื่อนำองค์ประกอบหลักพล็อตเป็นกราฟ 2 มิติ ประกอบด้วย PC1 และ PC2 ซึ่งอธิบายความแปรปรวนของข้อมูล 22.5% และ 16.5% ตามลำดับ โดยความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์คุณภาพน้ำ แสดงดังภาพที่ 13 โดยเวกเตอร์ของพารามิเตอร์ที่อยู่ใกล้กันและห่างจากจุด (0,0) ด้วยระยะใกล้เคียงกันจะมีความสัมพันธ์มากกว่าเวกเตอร์ของพารามิเตอร์ที่อยู่ไกลกัน โดยพบว่า มี 3 กลุ่มของพารามิเตอร์ที่สามารถใช้อธิบายการจัดกลุ่มของสถานีเก็บตัวอย่างได้ชัดเจนตามภาพดังนี้ กลุ่มที่ 1 DO กลุ่มที่ 2 FCB TCB ไนเตรต ไนไตรท์ แอมโมเนียและฟอสเฟต และกลุ่มที่ 3 BOD TSS และ salinity สัมพันธ์กันมากกว่ากลุ่มอื่น ส่วน BOD และ TSS เป็นอีกหนึ่งกลุ่มที่ใช้อธิบายการจัดกลุ่มของสถานีเก็บตัวอย่างได้ตามภาพ



ภาพที่ 13 กราฟแสดงการวิเคราะห์ค่าของพารามิเตอร์คุณภาพน้ำด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal component analysis)

Taxonomy profile จากการวิเคราะห์ชุมชนซีพจุลินทรีย์ (microbial community) ด้วย 16S metagenomics

จากการศึกษาพลวัตของรูปแบบจุลินทรีย์รวมทั้งจุลินทรีย์ดัดชนิดด้วยการวิเคราะห์ 16S metagenomics จากตัวอย่างน้ำที่ได้จากสถานีเก็บตัวอย่างสถานีละ 3 ซ้ำ ได้ผลแยกตามฤดูกาล จากสถานีทั้งหมด 6 สถานีครอบคลุมปลายน้ำ กลางน้ำและต้นน้ำ ดังนี้ คือ 1. BK-01 ปากน้ำบริเวณ ศูนย์ฝึกการไฟฟ้า ท่าข้าม (13°28'33.2" N 100°58'55.6" E) 2. BK-02 วัดสมาน (13°42'07.4" N 101°08'30.3" E) 3. BK-03 วัดหัวไทร (13°46'39.4" N 101°12'10.3" E) 4. BK-04 สะพานต้นน้ำบางปะกง (13°59'11.8" N 101°42'19.3" E) 5. BK-05 สะพานหิน รอบนอกเขตอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ (14°08'48.1" N 101°43'38.4" E) และ 6. BK-06 Reference site ต้นน้ำในเขตอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ แก่งหินเพิง (14°10'03.1" N 101°43'46.5") และศึกษาเพิ่มเติมในส่วนพลวัตกระแสน้ำ ณ สถานี BK-03 วัดหัวไทร ได้ผล Taxonomy profile ของชุมชนซีพจุลินทรีย์ด้วยการวิเคราะห์ 16S metagenomics แยกตามเวลาเก็บตัวอย่างได้ดังต่อไปนี้ (ภาพที่ 14 ถึงภาพที่ 24 และตารางที่ 4)

ฤดูร้อน (กุมภาพันธ์ 2563)

จากการศึกษาทั้งหมดทุกสถานี มีจำนวนไฟล์ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างในฤดูร้อน (กุมภาพันธ์ 2563) ทั้งสิ้นเท่ากับ 27 ไฟล์ โดยไฟล์ที่มีความชุกชุมสัมพันธ์สูงสุด 3 อันดับแรกโดยการรวมผลของทุกสถานีได้แก่ 1. Proteobacteria (57.5%) 2. Actinobacteria (19.2%) และ 3. Cyanobacteria (7.1%) ตามลำดับ และมีจำนวนชนิดเท่ากับ 1154 ชนิด เมื่อทำการวิเคราะห์ จุลินทรีย์ดัดชนิดที่ใช้ประเมินมลพิษทางน้ำพบว่า มี *Pseudomonas* spp. มากกว่า 10 ชนิดแต่ relative abundance มีค่าน้อย กระจายที่สถานีต้นน้ำและกลางน้ำ อย่างไรก็ตามไม่พบจุลินทรีย์นี้ที่ ปากน้ำหรือปลายน้ำในฤดูร้อน ในขณะที่จุลินทรีย์ที่ถูกใช้ในการประเมินการปนเปื้อนของสิ่งปฏิกูลที่เกิดจากมูลขับถ่าย (Fecal pollution) ได้แก่ *Escherichia coli*, *Enterococcus* spp. ไม่พบใน สถานีใดเลย ส่วน *Clostridium perfringens* พบเพียงแค่ 1 ซ้ำที่ BK04 สถานีสะพานต้นแม่น้ำบางปะกง อย่างไรก็ตามปริมาณที่พบจุลินทรีย์ชนิดนี้น้อยมากไม่เกิน 0.1% ของสัดส่วนความชุกชุมสัมพันธ์ (Relative abundance) ที่คำนวณจากซ้ำเดียวกัน ส่วนอีกสองซ้ำที่สะพานต้นแม่น้ำบางปะกงไม่พบเชื้อชนิดนี้ เมื่อวิเคราะห์แบบจัดกลุ่ม (cluster analysis) และการวิเคราะห์แบบจัดกลุ่มตามลำดับชั้น (hierarchical clustering) ตามความไม่คล้ายคลึงกันแบบ Bray-Curtis (Bray-Curtis dissimilarity) ซึ่งกลุ่มที่มีการกระจายของข้อมูลคล้ายกันถูกรวมไว้ด้วยกัน พบว่าสามารถแบ่งกลุ่มสถานีที่มีความคล้ายคลึงกันของจุลินทรีย์ได้ออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ กลุ่มสถานีปากน้ำถึงสถานีกลางน้ำ (BK-01, BK-02 และ BK-03) และกลุ่มสถานีต้นน้ำ (BK-04, BK-05 และ BK-06)

ฤดูฝน (กันยายน 2563)

จากการศึกษาทั้งหมดทุกสถานี มีจำนวนไฟล์ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างในฤดูฝน (กันยายน 2563) ทั้งสิ้นเท่ากับ 20 ไฟล์ โดยไฟล์ที่มีความชุกชุมสัมพันธ์สูงสุด 4 อันดับแรกโดยการรวมผลของทุกสถานีได้แก่ 1. Proteobacteria (67.0%) 2. Actinobacteria (21.2%) 3. Bacteroidetes (5.2 %) โดยแบคทีเรียกลุ่มนี้พบที่สถานี BK-06 (Reference site) ต้นน้ำในเขตอุทยานแห่งชาติเขา

ใหญ่ แ่งหินเพิง ในสัดส่วนที่มากกว่าสถานีอื่น ในขณะที่ 4. Cyanobacteria (3.5 %) ไม่พบที่สถานี BK-06 (Reference site) และมีจำนวนชนิดเท่ากับ 517 ชนิด เมื่อทำการวิเคราะห์จุลินทรีย์ดัดขึ้นที่ใช้ประเมินมลพิษทางน้ำพบว่า มี *Pseudomonas* spp. มากกว่า 17 ชนิดโดยมีความชุกชุมสัมพัทธ์มากที่สุดที่สถานี BK-01 ปากน้ำบริเวณศูนย์ฝึกการไฟฟ้า ท่าข้าม ขณะที่สถานี BK-06 (reference site) ไม่พบจุลินทรีย์กลุ่มนี้เลย ส่วนจุลินทรีย์ที่ถูกใช้ในการประเมินการปนเปื้อนของสิ่งปฏิกูลที่เกิดจากมูลขับถ่าย (Fecal pollution) ได้แก่ *Escherichia coli* , *Enterococcus* spp. และ *Clostridium perfringens* ไม่พบเลยตลอดการศึกษาจากการเก็บตัวอย่างในฤดูฝน เมื่อวิเคราะห์แบบจัดกลุ่ม (cluster analysis) และการวิเคราะห์แบบจัดกลุ่มตามลำดับชั้น (hierarchical clustering) ตามความไม่คล้ายคลึงกันแบบ Bray-Curtis (Bray-Curtis dissimilarity) ซึ่งกลุ่มที่มีการกระจายของข้อมูลคล้ายกันถูกรวมไว้ด้วยกัน พบว่าสามารถแบ่งกลุ่มสถานีที่มีความคล้ายคลึงกันของจุลินทรีย์ได้ออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ กลุ่มสถานีปากน้ำสถานีกลางน้ำ และสถานีต้นน้ำที่เป็นชุมชนเมือง (BK-01, BK-02 และ BK-03 และ BK-04) และกลุ่มสถานีต้นน้ำที่เป็นพื้นที่ป่า (BK-05 และ BK-06) ซึ่งผลการศึกษารการจัดกลุ่มตามลำดับชั้นในฤดูฝนนี้แตกต่างจากฤดูร้อนที่การแบ่งเป็น กลุ่มสถานีปากน้ำถึงสถานีกลางน้ำ (BK-01, BK-02 และ BK-03) และกลุ่มสถานีต้นน้ำ (BK-04, BK-05 และ BK-06)

ฤดูหนาว (พฤศจิกายน 2563)

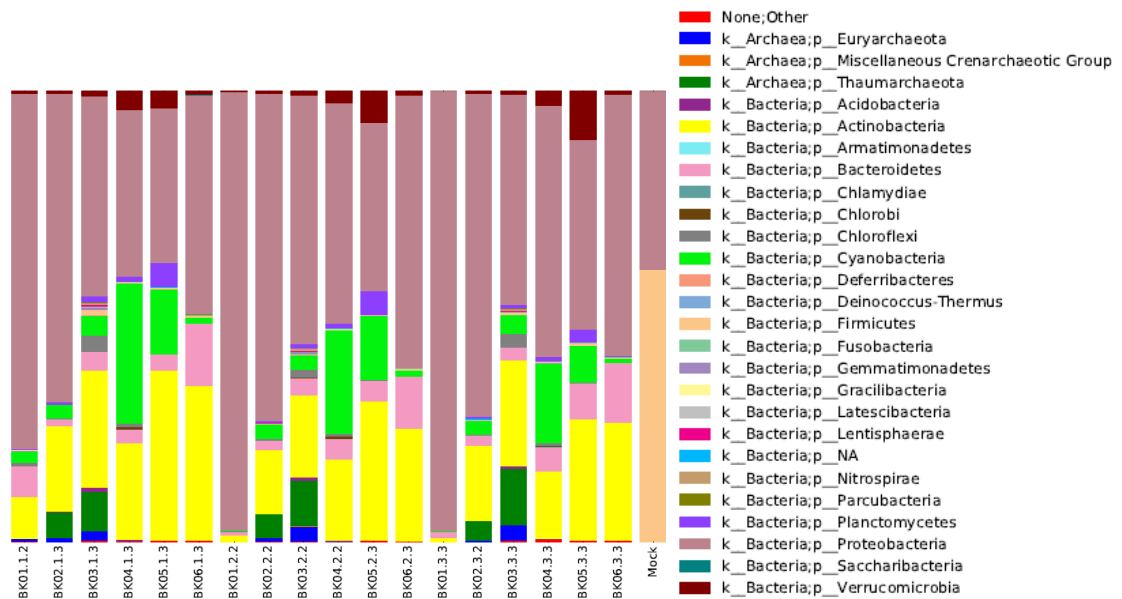
จากการศึกษาทั้งหมดทุกสถานี มีจำนวนโพลัมที่ได้จากการเก็บตัวอย่างในฤดูหนาว (พฤศจิกายน 2563) ทั้งสิ้นเท่ากับ 27 โพลัม โดยโพลัมที่มีความชุกชุมสัมพัทธ์สูงสุด 4 อันดับแรกโดยการรวมผลของทุกสถานีได้แก่ 1. Proteobacteria (58.8%) 2. Actinobacteria (21.2%) 3. Bacteroidetes (12.8%) 4. Cyanobacteria (2.5%) ไม่พบที่สถานี BK-06 (Reference site) และมีจำนวนชนิดเท่ากับ 881 ชนิด เมื่อทำการวิเคราะห์จุลินทรีย์ดัดขึ้นที่ใช้ประเมินมลพิษทางน้ำ พบว่า มี *Pseudomonas* spp. มากกว่า 14 ชนิดโดยเป็นจีนัสที่มีความชุกชุมสัมพัทธ์มากที่สุด (Dominant taxon) ที่สถานี BK-01 (ปากน้ำบริเวณศูนย์ฝึกการไฟฟ้า ท่าข้าม) ขณะที่สถานี BK-05 (สะพานหินรอบนอกเขตอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่) และ BK-06 (Reference site) ไม่พบจุลินทรีย์กลุ่มนี้เลย ส่วนจุลินทรีย์ที่ถูกใช้ในการประเมินการปนเปื้อนของสิ่งปฏิกูลที่เกิดจากมูลขับถ่าย (Fecal pollution) ได้แก่ *Escherichia coli* , *Enterococcus* spp. และ *Clostridium perfringens* ไม่พบเลยตลอดการศึกษาจากการเก็บตัวอย่างในฤดูฝน เมื่อวิเคราะห์แบบจัดกลุ่ม (Cluster analysis) และการวิเคราะห์แบบจัดกลุ่มตามลำดับชั้น (Hierarchical clustering) ตามความไม่คล้ายคลึงกันแบบ Bray-Curtis (Bray-Curtis dissimilarity) ซึ่งกลุ่มที่มีการกระจายของข้อมูลคล้ายกันถูกรวมไว้ด้วยกัน วิเคราะห์แบบจัดกลุ่ม พบว่าสามารถแบ่งกลุ่มสถานีที่มีความคล้ายคลึงกันของจุลินทรีย์ได้ออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ สถานีปากน้ำ (BK-01) เพียงสถานีเดียว และกลุ่มสถานีกลางน้ำ ถึงสถานีต้นน้ำทั้งหมด (BK-02 BK-03 BK-04 BK-05 และ BK-06) โดยใน 2 สถานีต้นน้ำคือ BK-05 และ BK-06 นี้มีความคล้ายคลึงกันของจุลินทรีย์มากกว่าอีก 3 สถานีคือ BK-02 BK-03 และ BK-04 นอกจากนี้พบว่าผลการศึกษารการจัดกลุ่มตามลำดับชั้นในฤดูหนาวนี้แตกต่างจากฤดูฝนร้อนที่ การแบ่งเป็น กลุ่มสถานีปากน้ำสถานีกลางน้ำ และสถานีต้นน้ำที่เป็นชุมชนเมือง (BK-01 BK-02 และ BK-03 และ BK-04) และกลุ่มสถานีต้นน้ำที่เป็นพื้นที่ป่า (BK-05 และ BK-06)

พลวัตกระแสน้ำ ณ สถานี BK-03 (วัดหัวไทร) ในฤดูร้อน (กุมภาพันธ์ 2563)

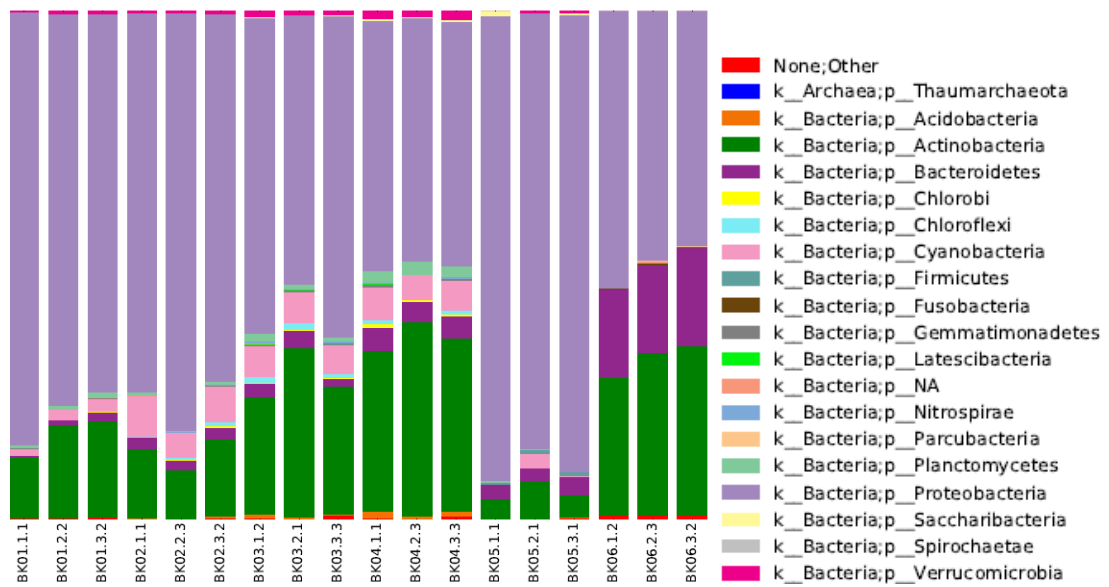
จาก phylum-profile ของจุลินทรีย์เพื่อศึกษาพลวัตของกระแสน้ำ (tidal dynamics) ใน 4 ช่วงเวลาระหว่างน้ำลงต่ำสุดถึงน้ำขึ้นสูงสุดในรอบ 25 ชั่วโมงของฤดูร้อน จากทั้งหมดทุกช่วงเวลาและซ้ำของสถานี BK-03 (วัดหัวไทร) มีจำนวนโพลัมทั้งสิ้น 24 โพลัม โดยโพลัมที่มีความชุกชุมสัมพัทธ์สูงสุด 3 อันดับแรกโดยการรวมผลของทั้ง 4 ช่วงเวลาได้แก่ 1. Proteobacteria (40.0%) 2. Actinobacteria (19.3%) และ 3. Cyanobacteria (14.1%) ตามลำดับ และมีจำนวนชนิดรวมทั้งเท่ากับ 643 ชนิด เมื่อทำการวิเคราะห์จุลินทรีย์ดัดชนิดที่ใช้ประเมินมลพิษทางน้ำพบว่า มี *Pseudomonas* spp. 2 ชนิดและมีค่า relative abundance ในขณะที่จุลินทรีย์ที่ถูกใช้ในการประเมินการปนเปื้อนของสิ่งปฏิกูลที่เกิดจากมูลขับถ่าย (fecal pollution) ได้แก่ *Escherichia coli*, *Enterococcus* spp. และ *Clostridium perfringens* ไม่พบเลยตลอดการศึกษาพลวัตของกระแสน้ำในฤดูร้อนนี้ เมื่อวิเคราะห์แบบจัดกลุ่ม (cluster analysis) และการวิเคราะห์แบบจัดกลุ่มตามลำดับขั้น (hierarchical clustering) ตามความไม่คล้ายคลึงกันแบบ Bray-Curtis (Bray-Curtis dissimilarity) ซึ่งกลุ่มที่มีการกระจายของข้อมูลคล้ายกันถูกรวมไว้ด้วยกัน จากการศึกษาการจัดกลุ่มนี้พบว่า การเก็บตัวอย่างในช่วงเวลาของกระแสน้ำขึ้นน้ำลงที่เวลาต่างกัน ในฤดูร้อนมีอิทธิพลมากกว่า การเก็บตัวอย่างในช่วงเวลาที่กระแสน้ำขึ้นน้ำลงต่างกัน ในฤดูฝน โดยชุมชนจุลินทรีย์ในช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างเวลาเดียวกันมีความคล้ายคลึงกันมากกว่าชุมชนจุลินทรีย์ที่เก็บในช่วงเวลาต่างกัน ในฤดูร้อนที่มีน้ำน้อย

พลวัตกระแสน้ำ ณ สถานี BK-03 (วัดหัวไทร) ในฤดูฝน (กันยายน 2563)

จาก Phylum-profile ของจุลินทรีย์เพื่อศึกษาพลวัตของกระแสน้ำ (tidal dynamics) ใน 4 ช่วงเวลาระหว่างน้ำลงต่ำสุดถึงน้ำขึ้นสูงสุดในรอบ 25 ชั่วโมงของฤดูฝน จากทั้งหมดทุกช่วงเวลาและซ้ำของสถานี BK-03 (วัดหัวไทร) มีจำนวนโพลัมทั้งสิ้น 18 โพลัมและตาราง โดยโพลัมที่มีความชุกชุมสัมพัทธ์สูงสุด 3 อันดับแรกโดยการรวมผลของทั้ง 4 ช่วงเวลาได้แก่ 1. Actinobacteria (46.1%) 2. Proteobacteria (28.1%) และ 3. Cyanobacteria (10.8%) ตามลำดับ และมีจำนวนชนิดทั้งสิ้นเท่ากับ 334 ชนิด เมื่อทำการวิเคราะห์จุลินทรีย์ดัดชนิดที่ใช้ประเมินมลพิษทางน้ำ พบว่า ไม่พบทั้ง *Pseudomonas* spp. และจุลินทรีย์ที่ถูกใช้ในการประเมินการปนเปื้อนของสิ่งปฏิกูลที่เกิดจากมูลขับถ่าย (fecal pollution) ได้แก่ *Escherichia coli*, *Enterococcus* spp. และ *Clostridium perfringens* ตลอดการศึกษาพลวัตของกระแสน้ำในฤดูฝนนี้ เมื่อวิเคราะห์แบบจัดกลุ่ม (Cluster analysis) และการวิเคราะห์แบบจัดกลุ่มตามลำดับขั้น (Hierarchical clustering) ตามความไม่คล้ายคลึงกันแบบ Bray-Curtis (Bray-Curtis dissimilarity) ซึ่งกลุ่มที่มีการกระจายของข้อมูลคล้ายกันถูกรวมไว้ด้วยกัน จากการศึกษาการจัดกลุ่มนี้พบว่า การเก็บตัวอย่างในช่วงเวลาของกระแสน้ำขึ้นน้ำลงที่เวลาต่างกัน ในฤดูฝนมีอิทธิพลน้อยกว่าการเก็บตัวอย่างในช่วงเวลาที่กระแสน้ำขึ้นน้ำลงต่างกัน ในฤดูร้อน โดยชุมชนจุลินทรีย์ที่เก็บตัวอย่างในช่วงเวลาต่างกัน ในฤดูฝนซึ่งมีน้ำมากมีความคล้ายคลึงกันมากกว่าชุมชนจุลินทรีย์ที่เก็บในช่วงเวลาต่างกัน ในฤดูร้อนที่มีน้ำน้อย

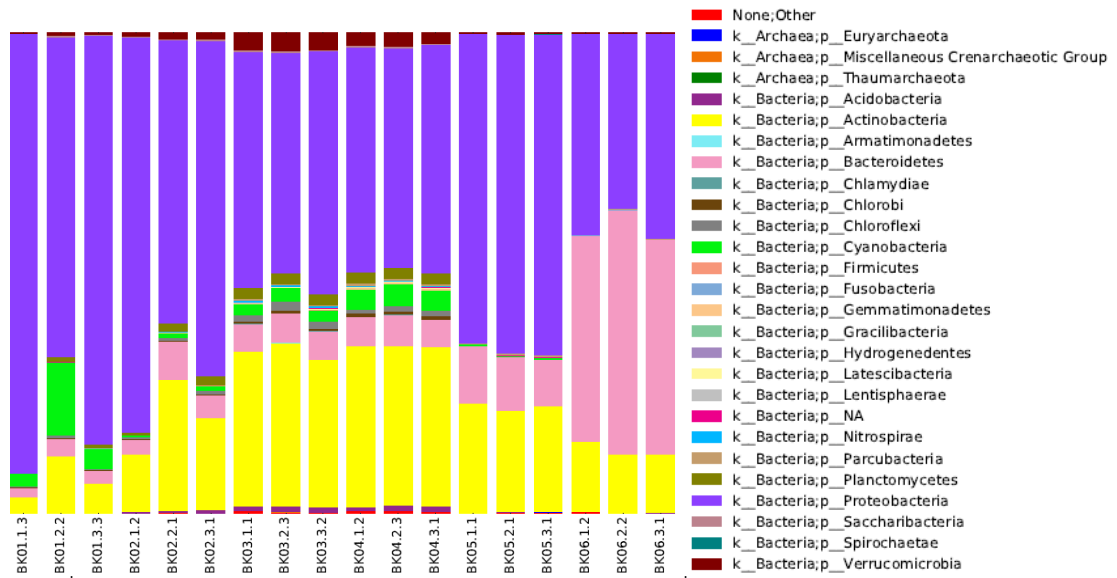


ภาพที่ 14 แผนภูมิแท่งแสดง Phylum-profile ของจุลินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบตามระดับของความชุกชุมสัมพันธ์ในแต่ละแห่งของแต่ละซ้ำในแต่ละสถานีที่ได้มาจากการวิเคราะห์ 16S metagenomics ในฤดูร้อน (กุมภาพันธ์ 2563) จาก 6 สถานี สถานีละ 3 ซ้ำ ตั้งแต่ปากน้ำแม่น้ำบางปะกง (BK-01) ถึงต้นน้ำในเขตอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ แก่งหินเพิง (BK-06) สถานีละ 3 ซ้ำ *คำอธิบายแกนในแผนภูมิแท่ง สีในแต่ละแผนภูมิแท่งแสดงด้วยสีของฟิล์มนั้น

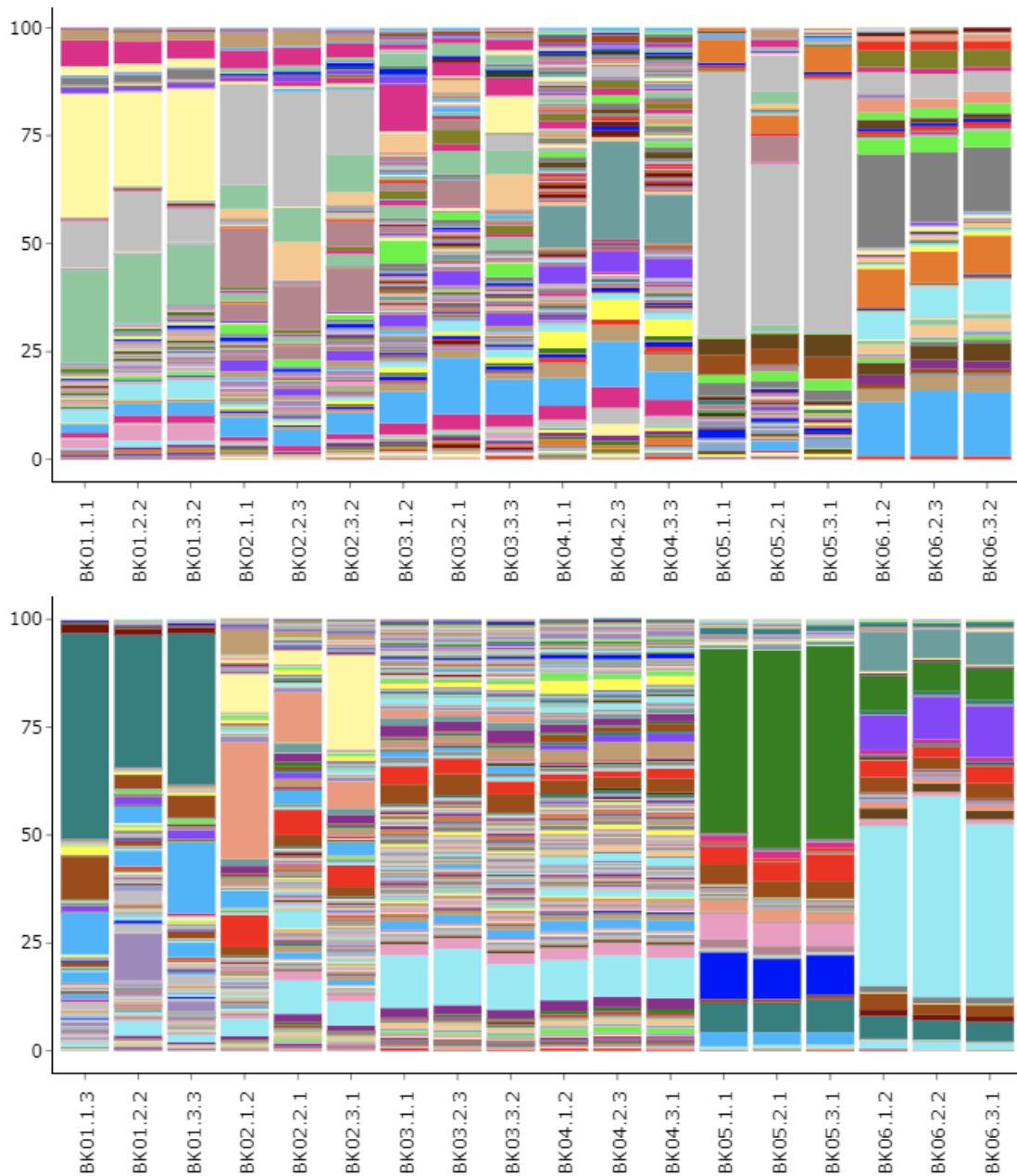


ภาพที่ 15 แผนภูมิแท่งแสดง phylum-profile ของจุลินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบตามระดับของความชุกชุมสัมพันธ์ในแต่ละแท่งของแต่ละซ้ำในแต่ละสถานที่ที่ได้มาจากการวิเคราะห์ 16S metagenomics ในฤดูฝน (กันยายน 2563) จาก 6 สถานี สถานีละ 3 ซ้ำ ตั้งแต่ปากน้ำแม่น้ำบางปะกง (BK01) ถึงต้นน้ำในเขตอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ แก่งหินเพิง (BK06) สถานีละ 3 ซ้ำ

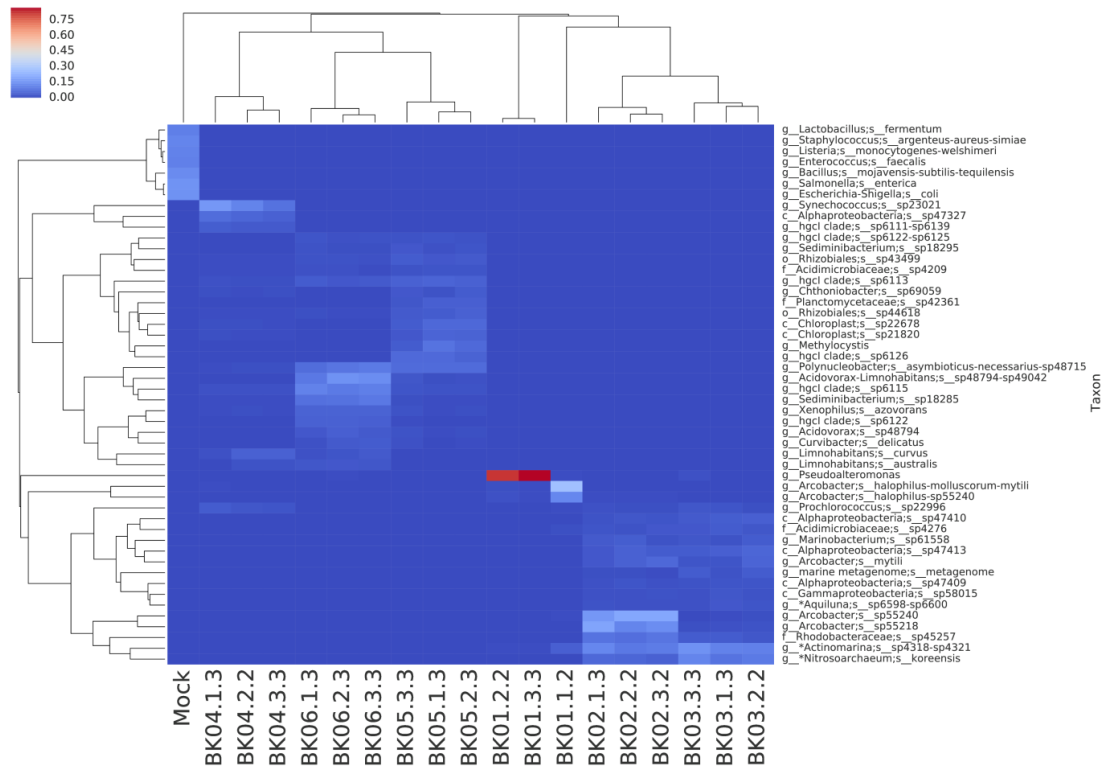
*คำอธิบายแกนในแผนภูมิแท่ง สีในแต่ละแผนภูมิแท่งแสดงด้วยสีของไฟล์นั้น



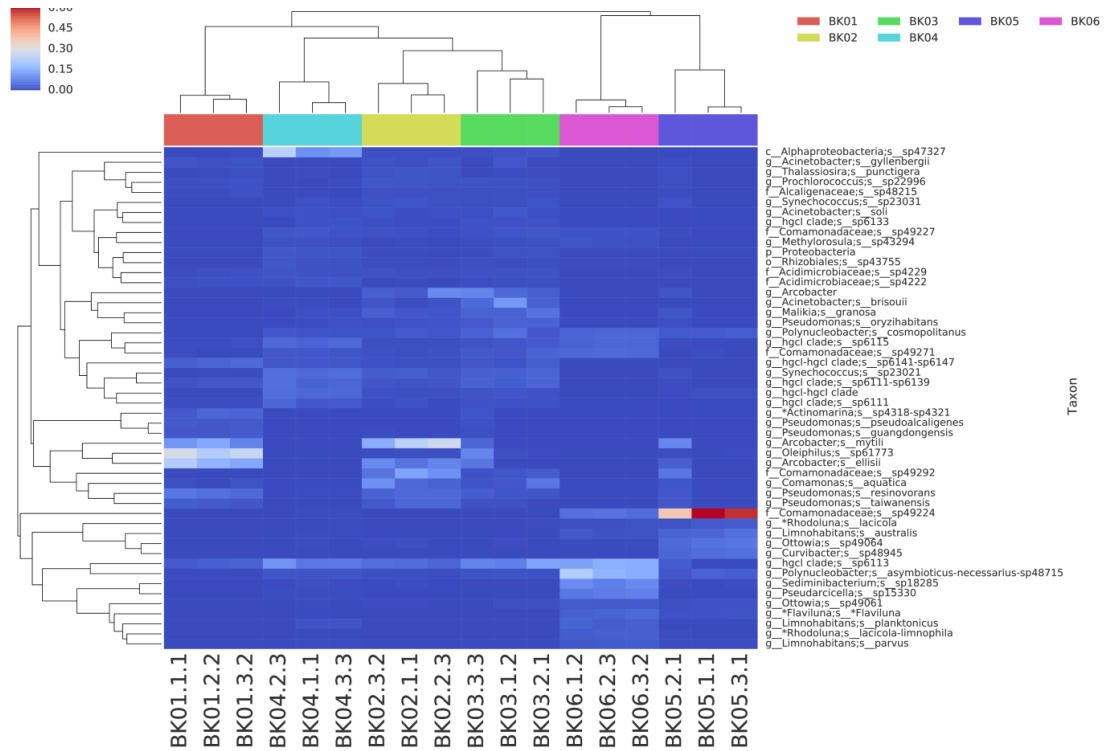
ภาพที่ 16 แผนภูมิแท่งแสดง phylum-profile ของจุลินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบตามระดับของความชุกชุมสัมพันธ์ในแต่ละแห่งของแต่ละซ้ำในแต่ละสถานีที่ได้มาจากการวิเคราะห์ 16S metagenomics ในฤดูหนาว (พฤศจิกายน 2563) จาก 6 สถานี สถานีละ 3 ซ้ำ ตั้งแต่ปากน้ำแม่น้ำบางปะกง (BK-01) ถึงต้นน้ำในเขตอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ แก่งหินเพิง (BK-06) สถานีละ 3 ซ้ำ *คำอธิบายแกนในแผนภูมิแท่ง สีในแต่ละแผนภูมิแท่งแสดงด้วยสีของไฟลัมนั้น



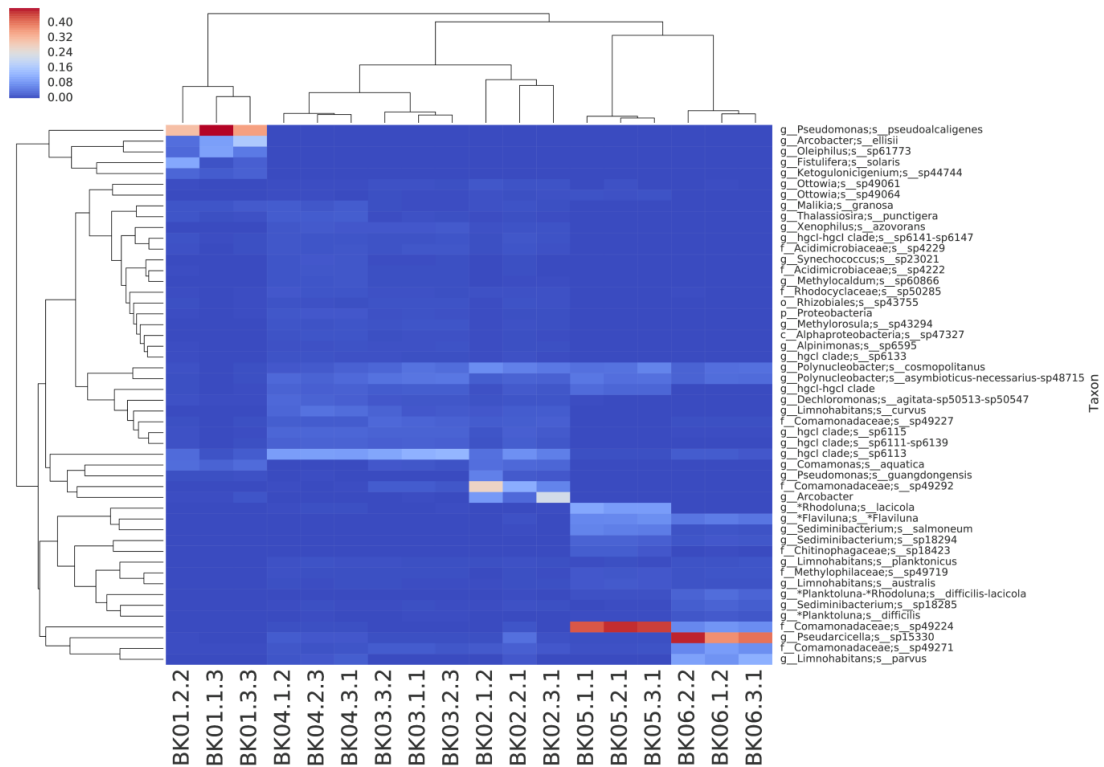
ภาพที่ 17 แผนภูมิแท่งแสดง species profile ของจุลินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบตามระดับของความชุกชุมสัมพันธ์ในแต่ละสถานีที่ได้มาจากการวิเคราะห์ 16S metagenomics โดยแผนภูมิบนแสดงในฤดูฝน (กันยายน 2563) และแผนภูมิล่างแสดงในฤดูหนาว (พฤศจิกายน 2533) จาก 6 สถานี สถานีละ 3 ซ้ำ ตั้งแต่ปากน้ำแม่น้ำบางปะกง (BK-01) ถึงต้นน้ำในเขตอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ แก่งหินเพิง (BK-06) สถานีละ 3 ซ้ำ



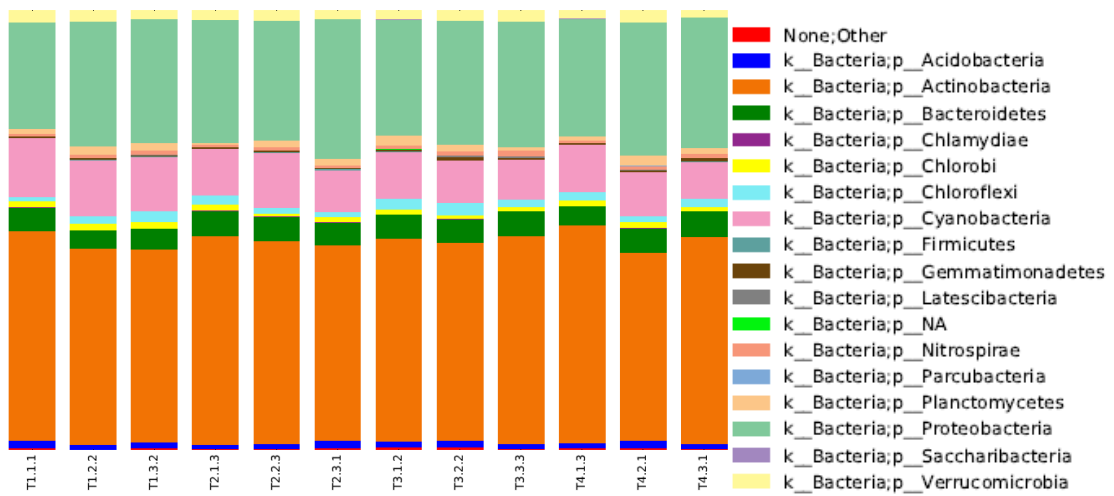
ภาพที่ 18 แผนที่ความร้อนทางอนุกรมวิธาน (Taxonomy heatmap) แสดงความชุกชุมสัมพัทธ์ของ 50 ชนิดแรกของจุลินทรีย์ที่มีค่าสูงสุด ที่ได้มาจากการวิเคราะห์ 16S metagenomics โดยการวิเคราะห์แบบจัดกลุ่ม (Cluster analysis) และการวิเคราะห์แบบจัดกลุ่มตามลำดับชั้น (Hierarchical clustering) ตามความไม่คล้ายคลึงกันแบบ Bray-Curtis (Bray-Curtis dissimilarity) ซึ่งกลุ่มที่มีการกระจายของข้อมูลคล้ายกันถูกรวมไว้ด้วยกัน โดยในแต่ละแถวแสดงความชุกชุมสัมพัทธ์ของแต่ละชนิดโดยมีชื่อชนิดอยู่ทางขวามือ แผนที่ความร้อนแสดงในฤดูร้อน (กุมภาพันท์ 2563) จาก 6 สถานี สถานีละ 3 ซ้ำ ได้แก่ ศูนย์ฝึกการไฟฟ้าท่าข้าม ปากน้ำแม่บางปะกง (BK-01) วัดสนามฯ (BK-02) วัดหัวไทร (BK-03) สะพานต้นน้ำบางปะกง (BK-04) สะพานหินรอบนอกเขตอุทยานฯ (BK-05) และ สถานีต้นน้ำในเขตอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ แก่งหินเพิง (BK-06) สถานีละ 3 ซ้ำ



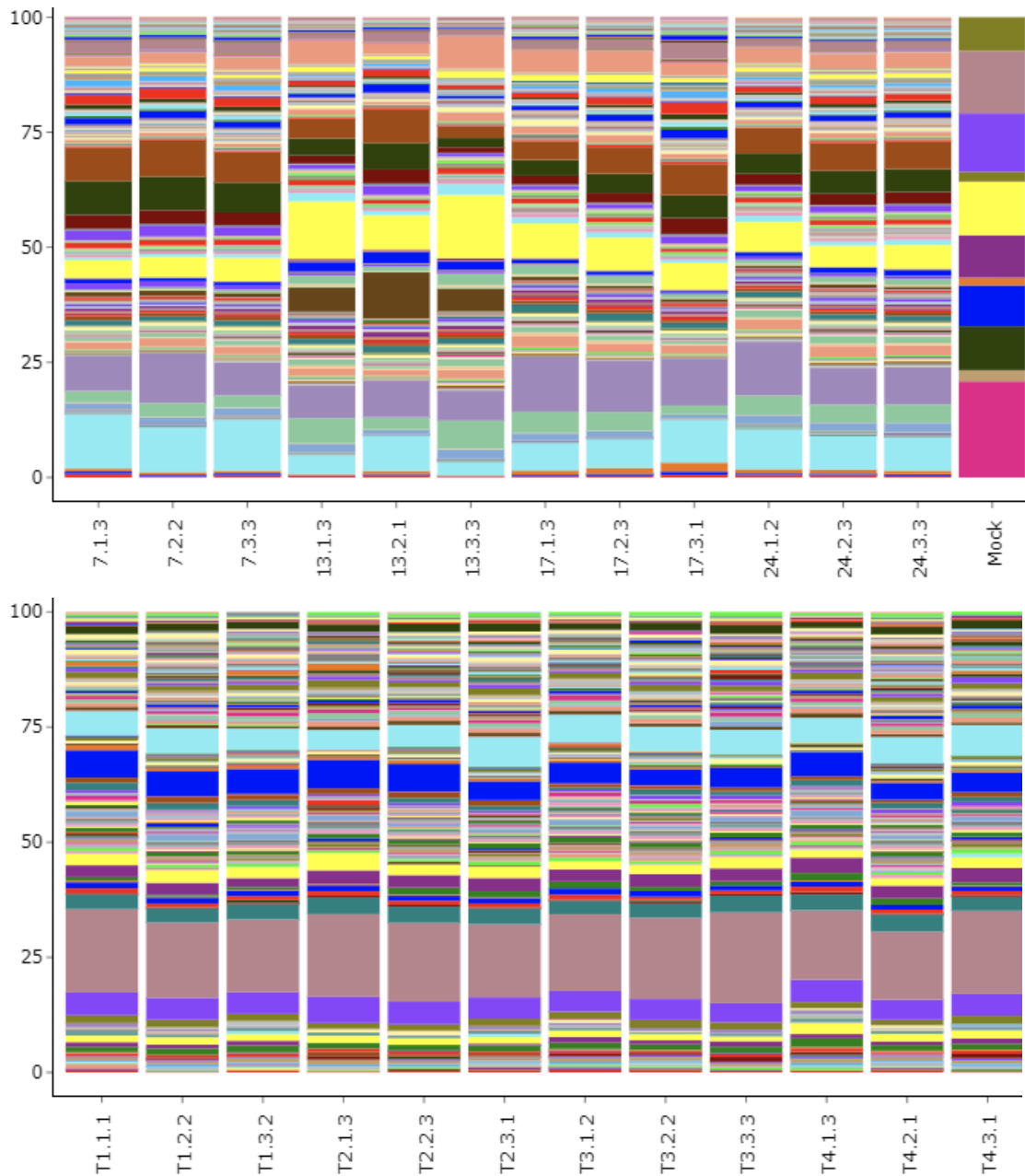
ภาพที่ 19 แผนที่ความร้อนทางอนุกรมวิธาน (Taxonomy heatmap) แสดงความชุกชุมสัมพัทธ์ของ 50 ชนิดแรกของจุลินทรีย์ที่มีค่าสูงสุด ที่ได้มาจากการวิเคราะห์ 16S metagenomics โดยการวิเคราะห์แบบจัดกลุ่ม (Cluster analysis) และการวิเคราะห์แบบจัดกลุ่มตามลำดับชั้น (Hierarchical clustering) ตามความไม่คล้ายคลึงกันแบบ Bray-Curtis (Bray-Curtis dissimilarity) ซึ่งกลุ่มที่มีการกระจายของข้อมูลคล้ายกันถูกรวมไว้ด้วยกัน โดยในแต่ละแถวแสดงความชุกชุมสัมพัทธ์ของแต่ละชนิดโดยมีชื่อชนิดอยู่ทางขวามือ แผนที่ความร้อนแสดงในฤดูฝน (กันยายน 2563) จาก 6 สถานี สถานีละ 3 ซ้ำ ได้แก่ ศูนย์ฝึกการไฟฟ้าท่าข้าม ปากน้ำแม่น้ำบางปะกง (BK01) วัดสมานฯ (BK02) วัดหัวไทร (BK03) สะพานต้นน้ำบางปะกง (BK04) สะพานหินรอบนอกเขตอุทยานฯ (BK05) และสถานีต้นน้ำในเขตอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ แก่งหินเพิง (BK06) สถานีละ 3 ซ้ำ



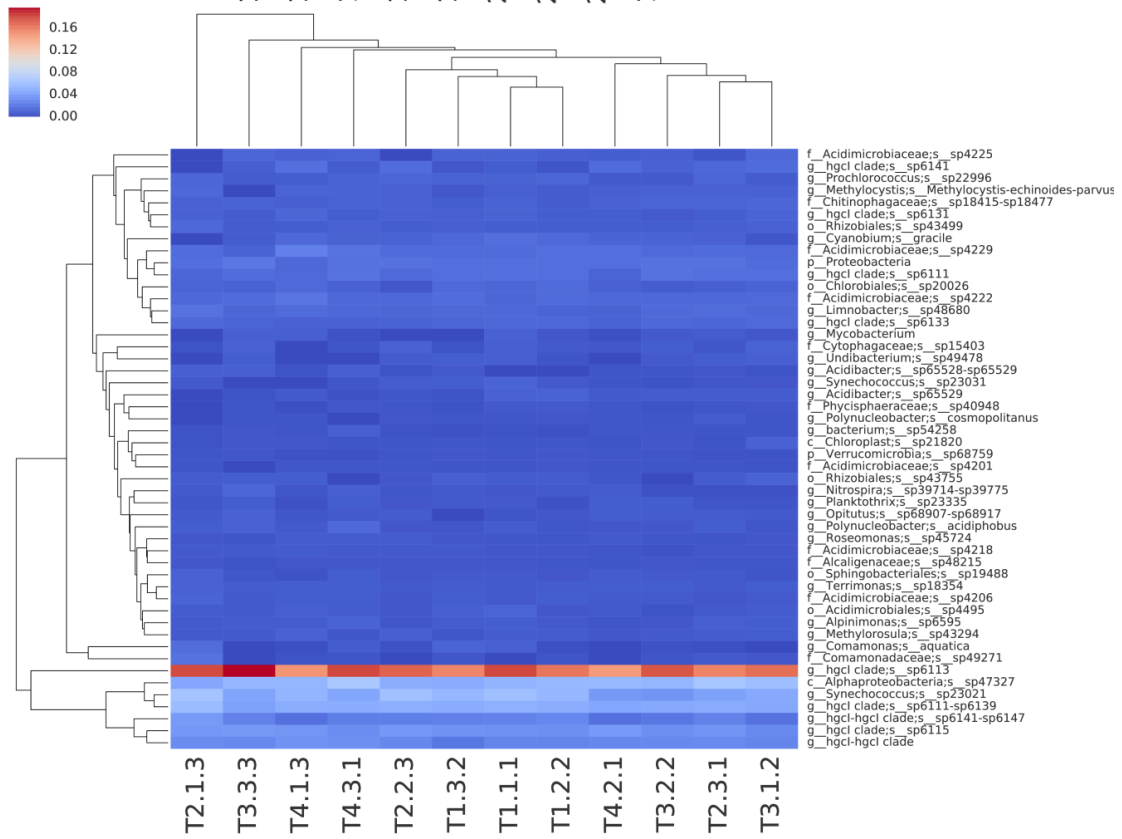
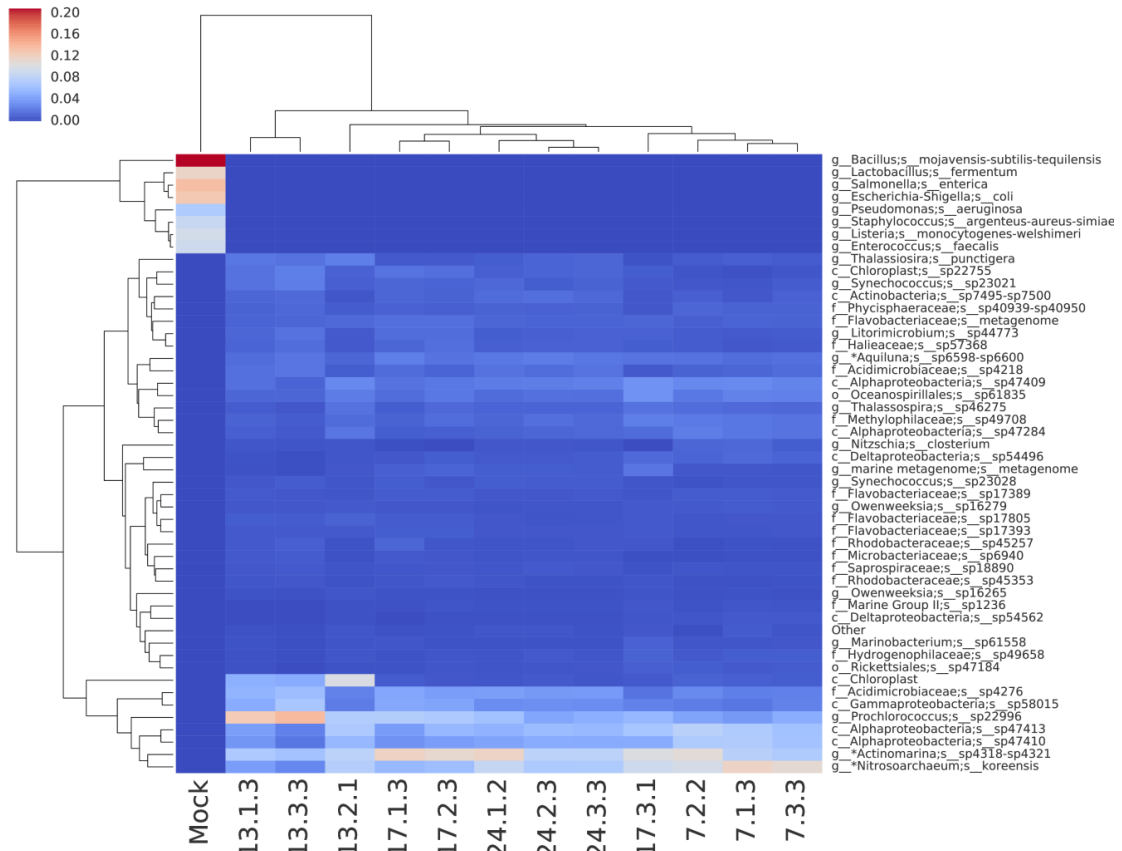
ภาพที่ 20 แผนที่ความร้อนทางอนุกรมวิธาน (taxonomy heatmap) แสดงความชุกชุมสัมพัทธ์ของ 50 ชนิดแรกของจุลินทรีย์ที่มีค่าสูงสุด ที่ได้มาจากการวิเคราะห์ 16S metagenomics โดยการวิเคราะห์แบบจัดกลุ่ม (Cluster analysis) และการวิเคราะห์แบบจัดกลุ่มตามลำดับชั้น (Hierarchical clustering) ตามความไม่คล้ายคลึงกันแบบ Bray-Curtis (Bray-Curtis dissimilarity) ซึ่งกลุ่มที่มีการกระจายของข้อมูลคล้ายกันถูกรวมไว้ด้วยกัน โดยในแต่ละแถวแสดงความชุกชุมสัมพัทธ์ของแต่ละชนิดโดยมีชื่อชนิดอยู่ทางขวามือ แผนที่ความร้อนแสดงในฤดูหนาว (พฤศจิกายน 2563) จาก 6 สถานี สถานีละ 3 ซ้ำ ได้แก่ ศูนย์ฝึกการไฟฟ้าท่าข้าม ปากน้ำแม่น้ำบางปะกง (BK-01) วัดสมานฯ (BK-02) วัดหัวไทร (BK-03) สะพานต้นน้ำบางปะกง (BK-04) สะพานหินรอบนอกเขตอุทยานฯ (BK-05) และสถานีต้นน้ำในเขตอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ แก่งหินเพิง (BK-06) สถานีละ 3 ซ้ำ



ภาพที่ 21 แผนภูมิแท่งแสดง Phylum-profile ของจุลินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบตามระดับของความซุกซมสัมพันธ์ในแต่ละแท่งที่สถานีวัดหัวไทร (BK-03) โดยแต่ละแท่งแสดงเวลาที่เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อศึกษาพลวัตของกระแสน้ำ (tidal dynamics) ใน 4 ช่วงเวลาระหว่างน้ำลงต่ำสุดถึงน้ำขึ้นสูงสุดในรอบ 25 ชั่วโมง โดยแต่ละช่วงเวลากลับตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ 16S metagenomics ที่เป็นตัวแทนในฤดูฝนและน้ำมาก (กันยายน 2563)
*คำอธิบายแกนในแผนภูมิแท่ง สีในแต่ละแผนภูมิแท่งแสดงด้วยสีของไฟลัมนั้น



ภาพที่ 22 แผนภูมิแท่งแสดง Species profile ของจุลินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบตามระดับของความขุ่นสัมพัทธ์ในแต่ละแห่งที่สถานีวัดหัวไทร (BK-03) โดยแต่ละแท่งแสดงเวลาที่เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อศึกษาพลวัตของกระแสน้ำ (Tidal dynamics) ใน 4 ช่วงเวลาระหว่างน้ำลงต่ำสุดถึงน้ำขึ้นสูงสุดในรอบ 25 ชั่วโมง โดยแต่ละช่วงเวลาเก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ 16S metagenomics แผนภูมิมินแสดงของฤดูร้อนช่วงน้ำน้อย (กุมภาพันธ์ 2563) และแผนภูมิล่างแสดงของฤดูฝนช่วงน้ำมาก (พฤศจิกายน 2563)



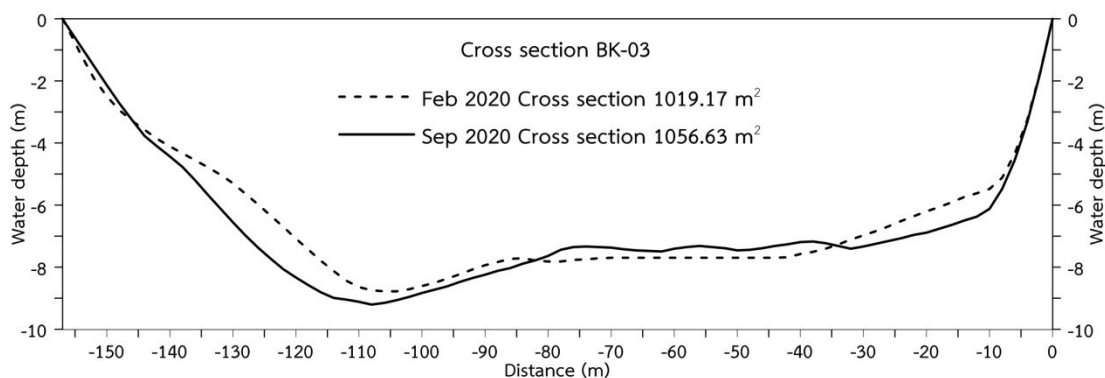
ภาพที่ 23 แผนที่ความร้อนทางอนุกรมวิธาน (Taxonomy heatmap) แสดงความชุกชุมสัมพัทธ์ของ 50 ชนิดแรกของจุลินทรีย์ที่มีค่าสูงสุด ที่ได้มาจากการวิเคราะห์ 16S metagenomics โดยการวิเคราะห์แบบจัดกลุ่ม (Cluster analysis) แผนที่ความร้อนบนแสดงในฤดูร้อน (น้ำน้อย) ในเดือนกุมภาพันธ์ 2563 และแผนที่ความร้อนล่างแสดงในฤดูฝน (น้ำมาก) ในเดือนกันยายน 2563 จากสถานี BK-03 วัดห้วยไทร โดยเวลาที่เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อศึกษาพลวัตของกระแสน้ำ (Tidal dynamics) ใน 4 ช่วงเวลา ช่วงเวลาละ 3 ชั่วโมง ระหว่างน้ำลงต่ำสุดถึงน้ำขึ้นสูงสุดในรอบ 25 ชั่วโมง

ตารางที่ 4 สรุปข้อมูล Taxonomy profile ในระดับไฟลัม (Phylum) ของจุลินทรีย์ที่แสดงถึงจำนวนไฟลัมที่พบ จำนวนชนิดของจุลินทรีย์ที่พบและไฟลัมที่มีความชุกชุมสัมพัทธ์มากที่สุด 3 ไฟลัมแรก ของผลรวมทั้ง 6 สถานีในแต่ละฤดูกาล จากการวิเคราะห์ 16S metagenomics ทั้ง 6 สถานีตลอดการศึกษา รวมทั้งการศึกษาพลวัตกระแสน้ำ ณ สถานีเก็บตัวอย่างน้ำวัดห้วยไทร (BK-03)

ฤดูเก็บตัวอย่าง (เวลา)	จำนวนไฟลัมที่พบ	จำนวนชนิดที่พบ	ไฟลัมที่มีความชุกชุมสัมพัทธ์สูงสุด 3 ไฟลัมแรก (% relative abundance)
ฤดูร้อน (กุมภาพันธ์ 2563)	27	1154	1. Proteobacteria (57.5%) 2. Actinobacteria (19.2%) 3. Cyanobacteria (7.1%)
ฤดูฝน (กันยายน 2563)	20	517	1. Proteobacteria (67.0%) 2. Actinobacteria (21.2%) 3. Bacteroidetes (5.2 %)
ฤดูหนาว (พฤศจิกายน 2563)	27	881	1. Proteobacteria (58.8%) 2. Actinobacteria (21.2%) 3. Bacteroidetes (12.8 %)
พลวัตกระแสน้ำในฤดูน้ำน้อย (กุมภาพันธ์ 2563)	24	643	1. Proteobacteria (40.0%) 2. Actinobacteria (19.3%) 3. Cyanobacteria (14.1%)
พลวัตกระแสน้ำในฤดูน้ำมาก (กันยายน 2563)	18	334	1. Actinobacteria (46.1%) 2. Proteobacteria (28.1%) 3. Cyanobacteria (10.8%)

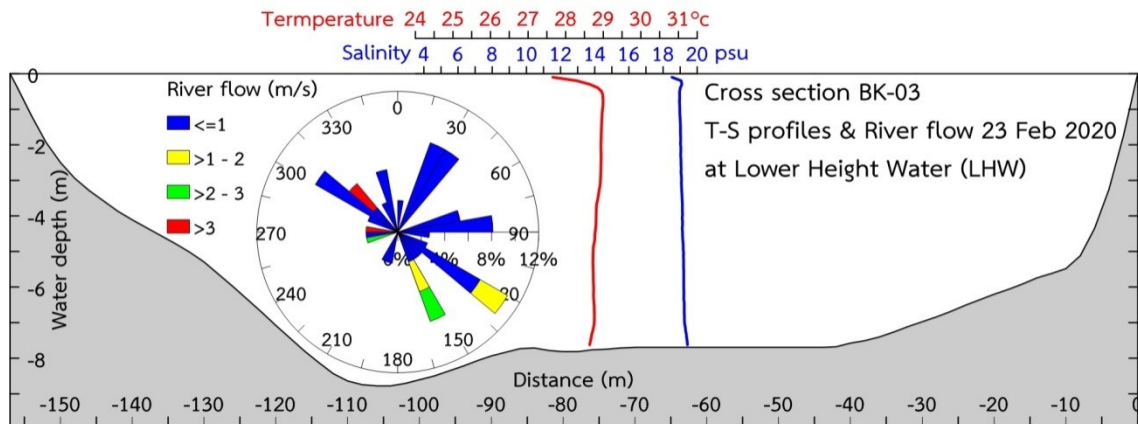
พลวัตกระแสน้ำ ณ สถานี BK-03 (วัดหัวไทร)

ผลการศึกษาภาพตัดขวางลำน้ำสถานี BK-03 วัดหัวไทร (ภาพที่ 24) พบว่าแตกต่างของพื้นที่หน้าตัดลำน้ำตามฤดูกาลระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่างในฤดูน้ำน้อยในวันที่ 23-24 กุมภาพันธ์ 2563 ลำน้ำมีพื้นที่หน้าตัดประมาณ 1019.17 ตารางเมตร และฤดูน้ำมากในวันที่ 18-19 กันยายน 2563 ลำน้ำมีพื้นที่หน้าตัดประมาณ 1056.63 ตารางเมตร โดยพบว่าพื้นที่ท้องน้ำช่วง 10-30 เมตร จากฝั่งวัดหัวไทรด้านขวามือของภาพตัดขวางมีความลึกในฤดูน้ำมากเพิ่มมากกว่าฤดูน้ำน้อยประมาณ 50 เซนติเมตร และพื้นที่ท้องน้ำช่วง 110-145 เมตร จากวัดหัวไทรพบพื้นที่ท้องน้ำมีความลึกในฤดูน้ำมากเพิ่มมากกว่าในฤดูน้ำน้อยประมาณ 1.5 เมตร ส่วนพื้นที่ท้องน้ำบริเวณกลางแม่น้ำพบเปลี่ยนแปลงความลึกเพิ่มขึ้นและลดลงเพียงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าน้ำท่าปริมาณมากในฤดูน้ำมากน่าจะเป็นสาเหตุของกัดเซาะพื้นที่ท้องน้ำบริเวณใกล้ตลิ่งทั้งสองฝั่งของลำน้ำ ส่วนในฤดูน้ำน้อยตะกอนจากต้นน้ำน่าจะถูกนำมาสะสมที่พื้นที่ท้องน้ำในบริเวณนี้เพิ่มเติมได้



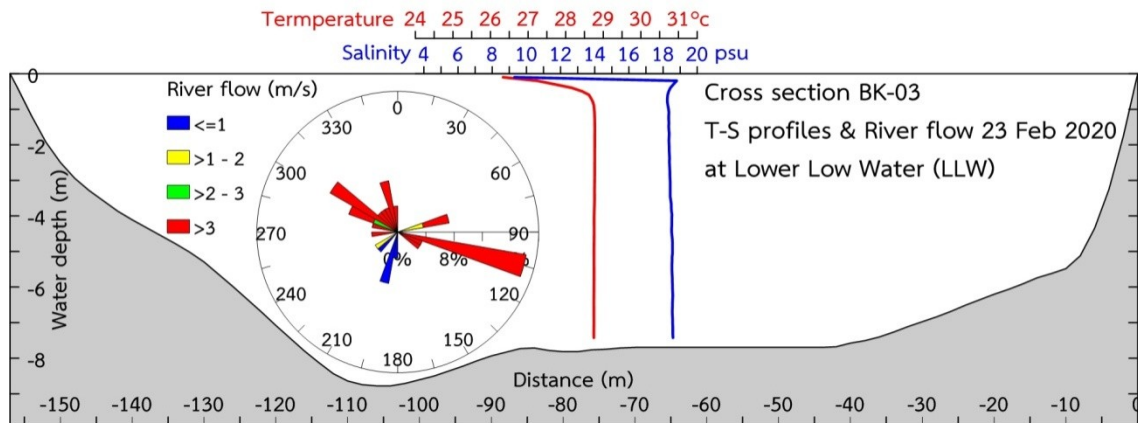
ภาพที่ 24 ภาพตัดขวางลำน้ำสถานี BK-036 วัดหัวไทร ช่วงเวลาเก็บตัวอย่างเดือนกุมภาพันธ์และกันยายน 2563

ผลการตรวจวัดการกระจายอุณหภูมิและความเค็มตามแนวตั้งบริเวณกึ่งกลางลำน้ำ และความเร็วและทิศทางกระแสน้ำที่ผิวน้ำ วันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2563 ช่วงน้ำขึ้นสูง (LHW) (ภาพที่ 25) พบว่าผิวน้ำมีความเค็มประมาณ 11-12 psu ส่วนน้ำที่ลึกกว่ามีความเค็มประมาณ 14 psu และน้ำมีอุณหภูมิที่ผิวน้ำประมาณ 30-31 องศาเซลเซียส และกระแสน้ำขึ้นมีความเร็วประมาณ 1-2 เมตรต่อวินาที ในทิศทางระหว่างประมาณ 30-120 องศา แสดงให้เห็นว่าน้ำความปั่นป่วนและมีการผสมกันตลอดพื้นที่หน้าตัดลำน้ำ โดยชั้นผิวน้ำเป็นชั้นที่จืดกว่าและเป็นชั้นน้ำบางๆ



ภาพที่ 25 พื้นที่หน้าตัดลำน้ำช่วงฤดูน้ำน้อย การกระจายอุณหภูมิและความเค็มตามแนวตั้งบริเวณกึ่งกลางลำน้ำ และความเร็วและทิศทางกระแสน้ำที่ผิวน้ำ วันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2563 ช่วงน้ำขึ้นสูง (LHW)

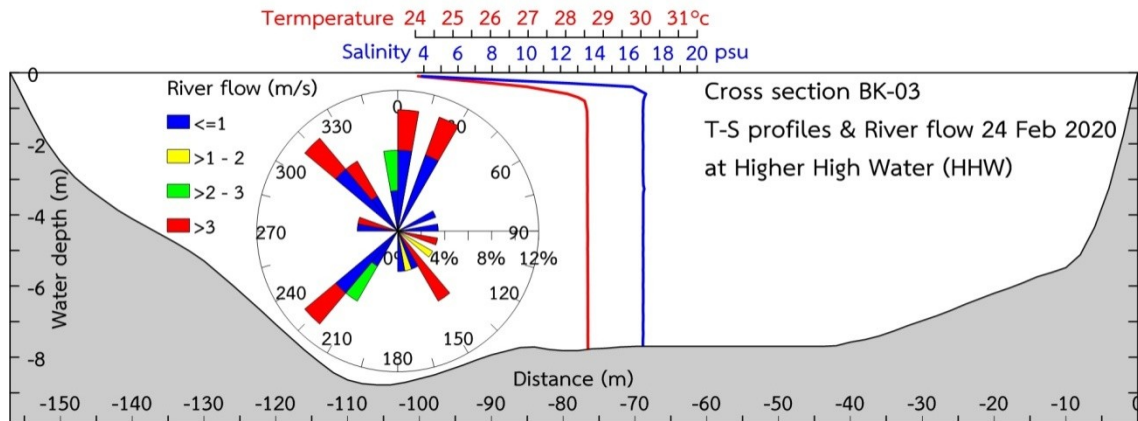
ผลการตรวจวัดการกระจายอุณหภูมิและความเค็มตามแนวตั้งบริเวณกึ่งกลางลำน้ำ และความเร็วและทิศทางกระแสน้ำที่ผิวน้ำ วันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2563 ช่วงน้ำลงต่ำสุด (LLW) (ภาพที่ 26) พบว่าผิวน้ำมีความเค็มประมาณ 8.5-16 psu ส่วนน้ำที่ลึกกว่ามีความเค็มประมาณ 18 psu และน้ำมีอุณหภูมิที่ผิวน้ำประมาณ 26.5-30.5 องศาเซลเซียส และกระแสน้ำขึ้นมีความเร็วประมาณมากกว่า 3 เมตรต่อวินาที บางส่วนมีทิศทางประมาณ 300 องศา และส่วนใหญ่อยู่ในทิศทางประมาณ 120 องศา แสดงให้เห็นว่าน้ำยังคงมีความปั่นป่วนและมีการผสมกันตลอดพื้นที่หน้าตัดลำน้ำ โดยชั้นผิวน้ำเป็นชั้นที่จืดกว่าและเป็นชั้นน้ำบางๆ



ภาพที่ 26 พื้นที่หน้าตัดลำน้ำช่วงฤดูน้ำน้อย การกระจายอุณหภูมิและความเค็มตามแนวตั้งบริเวณกึ่งกลางลำน้ำ และความเร็วและทิศทางกระแสน้ำที่ผิวน้ำ วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2563 ช่วงน้ำลงต่ำสุด (LLW)

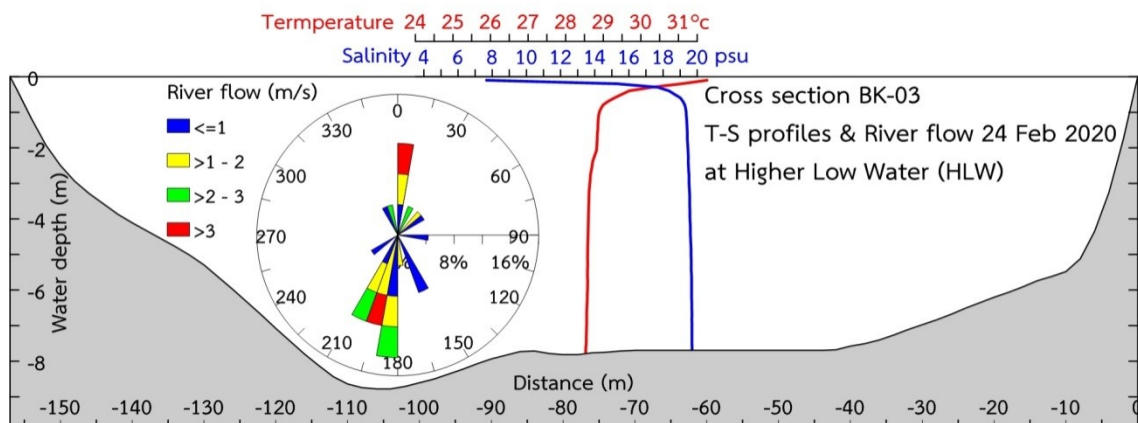
ผลการตรวจวัดการกระจายอุณหภูมิและความเค็มตามแนวตั้งบริเวณกึ่งกลางลำน้ำ และความเร็วและทิศทางกระแสน้ำที่ผิวน้ำ วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2563 ช่วงน้ำขึ้นสูงสุด (HHW) (ภาพที่ 27) พบว่าผิวน้ำมีความเค็มประมาณ 4-12 psu ส่วนน้ำที่ลึกกว่ามีความเค็มประมาณ 16 psu และน้ำมีอุณหภูมิที่ผิว

น้ำประมาณ 24-28 องศาเซลเซียส และกระแสน้ำขึ้นมีความเร็วประมาณ 1-3 เมตรต่อวินาที ในทิศทางระหว่างประมาณ 0-30 องศา 215 องศา และ 315 องศา ยังแสดงให้เห็นว่าน้ำยังคงมีความปั่นป่วนและมีการผสมกันตลอดพื้นที่หน้าตัดลำน้ำ โดยชั้นผิวน้ำยังคงเป็นชั้นที่จืดกว่าและเป็นชั้นน้ำลึกประมาณ 1 เมตร



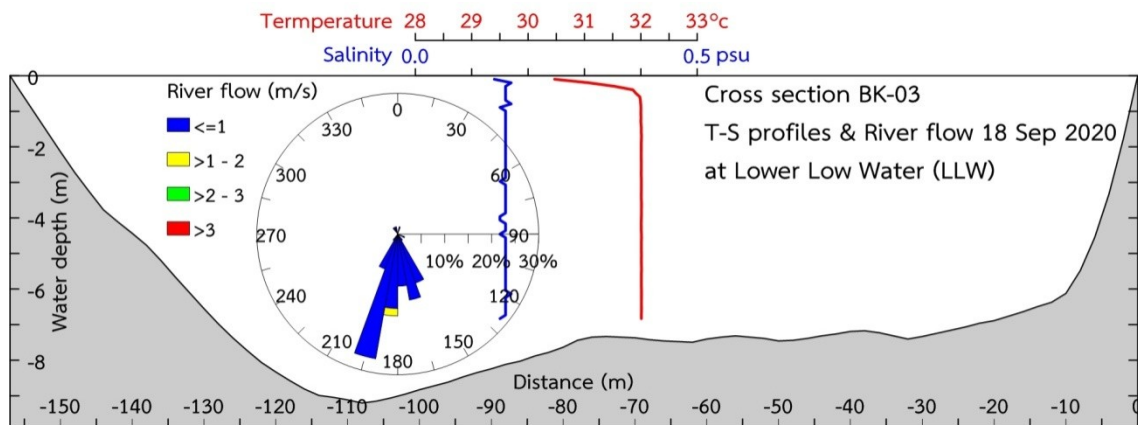
ภาพที่ 27 พื้นที่หน้าตัดลำน้ำช่วงฤดูน้ำน้อย การกระจายอุณหภูมิและความเค็มตามแนวตั้งบริเวณกึ่งกลางลำน้ำ และความเร็วและทิศทางกระแสน้ำที่ผิวน้ำ วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2563 ช่วงน้ำขึ้นสูงสุด (HHW)

ผลการตรวจวัดการกระจายอุณหภูมิและความเค็มตามแนวตั้งบริเวณกึ่งกลางลำน้ำ และความเร็วและทิศทางกระแสน้ำที่ผิวน้ำ วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2563 ช่วงน้ำลงต่ำ (HLW) (ภาพที่ 28) พบว่าผิวน้ำมีความเค็มประมาณ 8-18 psu ส่วนน้ำที่ลึกกว่ามีความเค็มประมาณ 19 psu และน้ำมีอุณหภูมิที่ผิวน้ำประมาณ 30-31 องศาเซลเซียส ส่วนน้ำที่ลึกกว่ามีอุณหภูมิต่ำกว่า และกระแสน้ำขึ้นมีความเร็วประมาณ 1-3 เมตรต่อวินาที ในทิศทางระหว่างประมาณ 0 องศา และ 180-210 องศา แสดงให้เห็นว่าน้ำที่ผิวน้ำเป็นน้ำจืดหรือน้ำกร่อยที่ไหลลงปากแม่น้ำในขณะที่มีน้ำเค็มในช่วงน้ำขึ้นไหลเลียบพื้นที่ท้องน้ำ และน้ำจืดและเค็มมีการแบ่งชั้นกันในพื้นที่หน้าตัดลำน้ำ



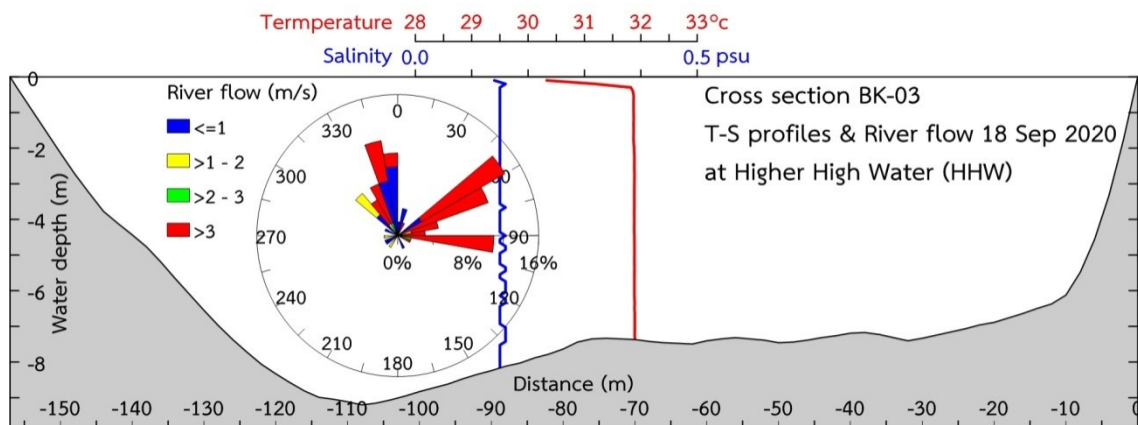
ภาพที่ 28 พื้นที่หน้าตัดลำน้ำช่วงฤดูน้ำน้อย การกระจายอุณหภูมิและความเค็มตามแนวตั้งบริเวณกึ่งกลางลำน้ำ และความเร็วและทิศทางกระแสน้ำที่ผิวน้ำ วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2563 ช่วงน้ำลงต่ำ (HLW)

ผลการตรวจวัดการกระจายอุณหภูมิและความเค็มตามแนวตั้งบริเวณกึ่งกลางลำน้ำ และความเร็วและทิศทางกระแสน้ำที่ผิวน้ำ วันที่ 18 กันยายน 2563 ช่วงน้ำลงต่ำสุด (LLW) (ภาพที่ 29) พบว่าน้ำตลอดหน้าตัดลำน้ำมีความเค็มประมาณ 0.15 psu และน้ำมีอุณหภูมิที่ผิวน้ำประมาณ 30.5-32 องศาเซลเซียส และกระแสน้ำขึ้นมีความเร็วประมาณ 1 เมตรต่อวินาที ในทิศทางประมาณ 190 องศา แสดงให้เห็นน้ำจืดปริมาณมากตลอดลำน้ำไหลลงปากแม่น้ำ



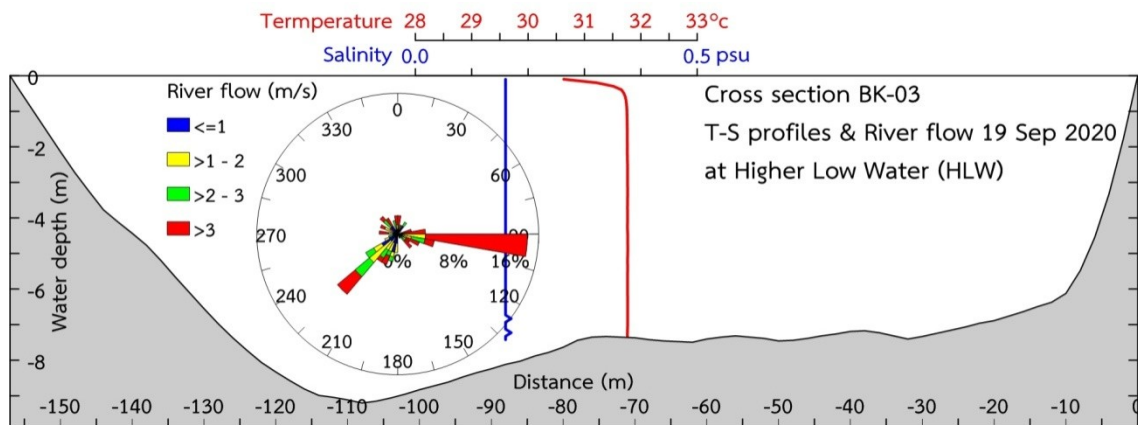
ภาพที่ 29 พื้นที่หน้าตัดลำน้ำช่วงฤดูน้ำมาก การกระจายอุณหภูมิและความเค็มตามแนวตั้งบริเวณกึ่งกลางลำน้ำ และความเร็วและทิศทางกระแสน้ำที่ผิวน้ำ วันที่ 18 กันยายน 2563 ช่วงน้ำลงต่ำสุด (LLW)

ผลการตรวจวัดการกระจายอุณหภูมิและความเค็มตามแนวตั้งบริเวณกึ่งกลางลำน้ำ และความเร็วและทิศทางกระแสน้ำที่ผิวน้ำ วันที่ 18 กันยายน 2563 ช่วงขึ้นสูงสุด (HHW) (ภาพที่ 30) พบว่าน้ำตลอดหน้าตัดลำน้ำยังคงมีความเค็มประมาณ 0.15 psu และน้ำมีอุณหภูมิที่ผิวน้ำประมาณ 30.5-32 องศาเซลเซียส และกระแสน้ำขึ้นมีความเร็วประมาณมากกว่า 3 เมตรต่อวินาที ในทิศทางประมาณ 6 องศา และ 345 องศา แสดงให้เห็นน้ำจืดปริมาณมากผสมกับน้ำทะเลตลอดพื้นที่หน้าตัดลำน้ำ



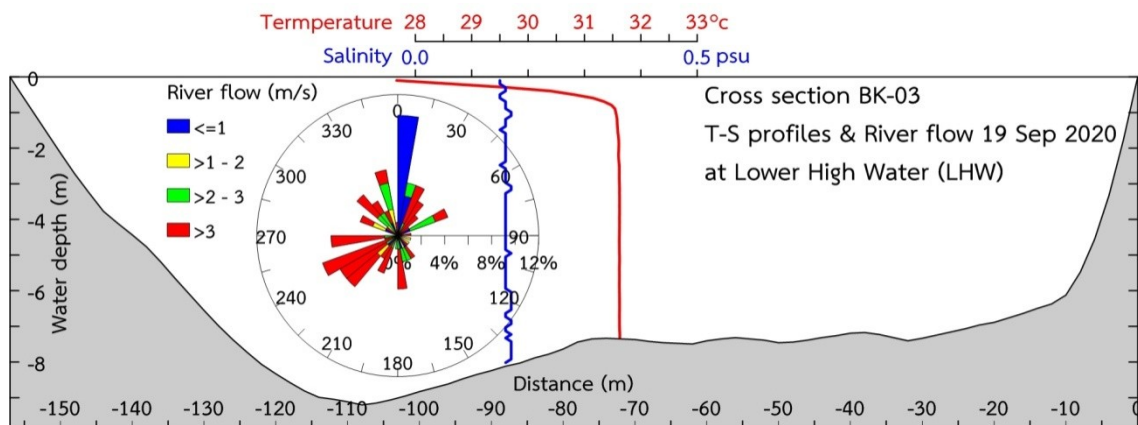
ภาพที่ 30 พื้นที่หน้าตัดลำน้ำช่วงฤดูน้ำมาก การกระจายอุณหภูมิและความเค็มตามแนวตั้งบริเวณกึ่งกลางลำน้ำ และความเร็วและทิศทางกระแสน้ำที่ผิวน้ำ วันที่ 18 กันยายน 2563 ช่วงน้ำขึ้นสูงสุด (HHW)

ผลการตรวจวัดการกระจายอุณหภูมิและความเค็มตามแนวตั้งบริเวณกึ่งกลางลำน้ำ และความเร็วและทิศทางกระแสน้ำที่ผิวน้ำ วันที่ 19 กันยายน 2563 ช่วงน้ำลงต่ำ (HLW) (ภาพที่ 31) พบว่าน้ำตลอดหน้าตัดลำน้ำยังคงมีความเค็มประมาณ 0.15 psu และน้ำมีอุณหภูมิที่ผิวน้ำประมาณ 30.5-32 องศาเซลเซียส และกระแสน้ำขึ้นมีความเร็วประมาณ 2-3 เมตรต่อวินาที ในทิศทางประมาณ 90 องศา และ 225 องศา แสดงยังให้เห็นน้ำจืดปริมาณมากตลอดลำน้ำไหลลงปากแม่น้ำ



ภาพที่ 31 พื้นที่หน้าตัดลำน้ำช่วงฤดูน้ำมาก การกระจายอุณหภูมิและความเค็มตามแนวตั้งบริเวณกึ่งกลางลำน้ำ และความเร็วและทิศทางกระแสน้ำที่ผิวน้ำ วันที่ 19 กันยายน 2563 ช่วงน้ำลงต่ำ (HLW)

ผลการตรวจวัดการกระจายอุณหภูมิและความเค็มตามแนวตั้งบริเวณกึ่งกลางลำน้ำ และความเร็วและทิศทางกระแสน้ำที่ผิวน้ำ วันที่ 19 กันยายน 2563 ช่วงน้ำขึ้นสูง (LHW) (ภาพที่ 32) พบว่าน้ำตลอดหน้าตัดลำน้ำยังคงมีความเค็มประมาณ 0.15 psu และน้ำมีอุณหภูมิที่ผิวน้ำประมาณ 27.5-31.5 องศาเซลเซียส และกระแสน้ำขึ้นมีความเร็วประมาณ 1 เมตรต่อวินาที ในทิศทางประมาณ 0-15 องศา ซึ่งยังคงแสดงให้เห็นน้ำจืดปริมาณมากมีการผสมตลอดพื้นที่หน้าตัด



ภาพที่ 32 พื้นที่หน้าตัดลำน้ำช่วงฤดูน้ำมาก การกระจายอุณหภูมิและความเค็มตามแนวตั้งบริเวณกึ่งกลางลำน้ำ และความเร็วและทิศทางกระแสน้ำที่ผิวน้ำ วันที่ 19 กันยายน 2563 ช่วงน้ำขึ้นสูง (LHW)

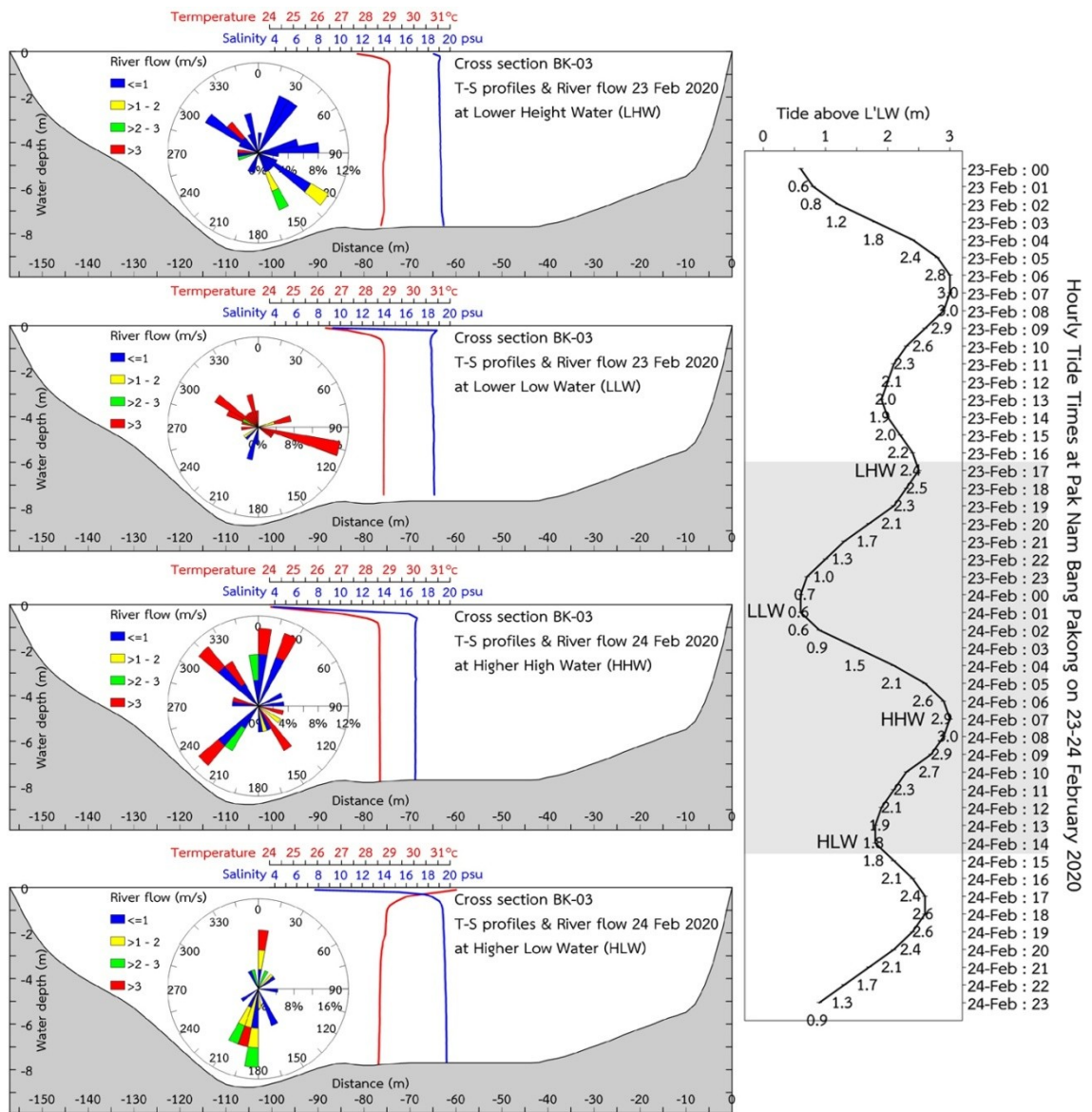
สรุปและวิจารณ์ผลการศึกษา

จากผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำและผล taxonomy profile จากการวิเคราะห์ชุมชนซีพจุลินทรีย์ (Microbial community) ด้วย 16S metagenomics โดยตัวอย่างน้ำจากแม่น้ำบางปะกงทั้งหมด 6 สถานีครอบคลุม ต้นน้ำ กลางน้ำ ปลายน้ำ จาก 3 ฤดูกาล คือ ฤดูร้อนเดือนกุมภาพันธ์ 2563 ฤดูฝนเดือนกันยายน 2563 และฤดูหนาวเดือนพฤศจิกายน 2563 และการศึกษาพลวัตของกระแสน้ำพบว่าโดยภาพรวมสอดคล้องกัน ประกอบกับการวิเคราะห์เพิ่มเติม ตามการตรวจวัดและประเมินคุณภาพของแหล่งน้ำของสำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ โดยพิจารณาจากดัชนีคุณภาพน้ำ 5 พารามิเตอร์คือ ออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) ความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ (Biological Oxygen Demand, BOD) ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria, TCB) และแบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria, FCB) ตาม WQI พบว่าผลของคุณภาพน้ำของทั้งสามฤดูที่สถานีเก็บตัวอย่างน้ำของแม่น้ำบางปะกงข้างต้นสอดคล้องกับผล taxonomy profile จากการวิเคราะห์โดย 16S metagenomics เช่นกัน ดังนี้ สถานี BK-01 ปากน้ำบริเวณศูนย์ฝึการไฟฟ้า ท่าข้าม มีคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์เสื่อมโทรม ส่วน สถานี BK-02 วัดสมาน BK-03 วัดหัวไทร BK-04 สะพานต้นน้ำบางปะกง มีคุณภาพน้ำโดยเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์พอใช้ ขณะที่สถานี BK-05 สะพานหิน รอบนอกเขตอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ และ BK-06 Reference site ต้นน้ำในเขตอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ แก่งหินเพียงมีคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ดี นอกจากนี้ผลการศึกษาพบว่าความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์คุณภาพน้ำเกี่ยวกับสารอาหารนอกเหนือจากปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) พารามิเตอร์สารอินทรีย์อื่นล้วนมีความสัมพันธ์อย่างมากกับแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria, TCB) และแบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria, FCB) ซึ่งอาจใช้อธิบายกลุ่มของสถานีได้ด้วย อย่างไรก็ตามเพื่อยืนยันถึงความสัมพันธ์ระหว่างความหลากหลายชนิดของจุลินทรีย์ในแหล่งน้ำแต่ละบริเวณกับค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำทั้งทางกายภาพ เคมีและชีวภาพเพื่อให้ผลที่ได้มีความน่าเชื่อถือมากขึ้นควรวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดด้วยกันมากกว่าวิเคราะห์แบบแยกส่วน

จากผลการศึกษาความหลากหลายของจุลินทรีย์และการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ก่อโรคในแม่น้ำบางปะกงจากตัวอย่างแหล่งน้ำในบริเวณต้นน้ำ กลางน้ำ และ ปลายน้ำ โดยใช้ 16S metagenomics พบว่า ความหลากหลายชนิดของจุลินทรีย์มีจำนวนมากที่สุดในฤดูร้อน และน้อยสุดในฤดูฝนไม่ว่าจะเป็นการศึกษาพลวัตของชุมชนซีพจุลินทรีย์เปรียบเทียบระหว่างฤดูกาลหรือดูที่พลวัตกระแสน้ำ ความหลากหลายชนิดของจุลินทรีย์โดยเฉพาะกลุ่มแบคทีเรียในระดับไฟลัมและชนิดพบที่ฤดูร้อนมากที่สุด โดยไฟลัมที่มีความชุกชุมสัมพันธ์สูงสุดในทุกฤดูคือไฟลัม Proteobacteria นอกจากนี้จากผล 16S metagenomics ไม่พบจุลินทรีย์ที่ถูกใช้ในการประเมินการปนเปื้อนของสิ่งปฏิภูลที่เกิดจากมูลขี้ถ่าย (fecal pollution) ได้แก่ *Escherichia coli*, *Enterococcus* spp. และ *Clostridium perfringens* ถึงแม้ว่าจุลินทรีย์ทั้ง 3 กลุ่มนี้เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำทางจุลชีววิทยาโดยทั่วไป (Scott et al., 2002 & Saingam et al. 2020) อย่างไรก็ตามพบว่าที่สถานีปลายน้ำโดยเฉพาะที่ปากน้ำที่คุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์เสื่อมโทรม มีความชุกชุมของจุลินทรีย์กลุ่ม *Pseudomonas* spp. มากกว่า

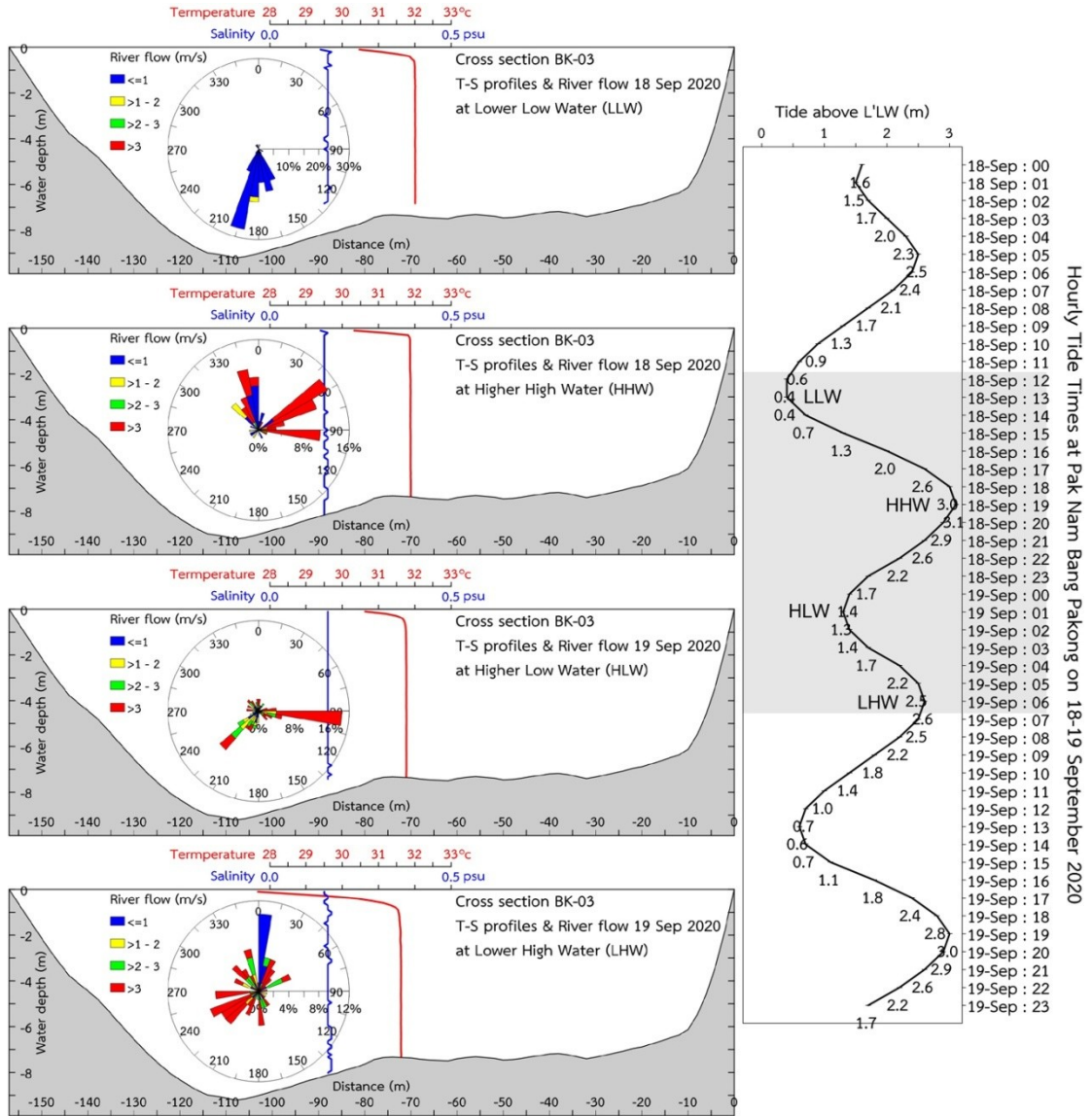
สถานีอื่นๆ ถ้ามีการยืนยันผล 16S metagenomics ด้วยการใช้เทคนิคจำเพาะเช่น qPCR ถึงการมีอยู่จริงของแบคทีเรียที่เรียกรวม *Pseudomonas* spp. ในแหล่งน้ำที่เสื่อมโทรม จุลินทรีย์กลุ่มนี้อาจใช้เป็นดัชนีชี้วัดภาวะมลพิษในพื้นที่น้ำกร่อยเช่นแม่น้ำบางปะกงได้

การศึกษาพบว่าตลอดพื้นที่หน้าตัดลำน้ำบริเวณสถานี BK-03 วัดหัวไทร (ภาพที่ 33) ช่วงฤดูน้ำน้อยในรอบน้ำขึ้น-น้ำลง มีน้ำจืดปริมาณน้อยยวาวตัวที่ผิวน้ำเป็นชั้นบางๆ และชั้นน้ำด้านล่างมีการผสมผสานของมวลน้ำตามความลึกอย่างปั่นป่วน เป็นผลให้น้ำท่าปริมาณน้อยตามฤดูกาลผสมกันดีกับน้ำทะเลเกือบทั้งหมด ยกเว้นช่วง HLW วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2563 ที่พบน้ำท่าปริมาณมากไหลลงสู่ปากแม่น้ำด้วยความเร็วประมาณ 1-3 เมตรต่อวินาที



ภาพที่ 33 พื้นที่หน้าตัดลำน้ำช่วงฤดูน้ำน้อย การกระจายอุณหภูมิและความเค็มตามแนวตั้งบริเวณกึ่งกลางลำน้ำ และความเร็วและทิศทางกระแสน้ำที่ผิวน้ำในรอบน้ำขึ้น-น้ำลง วันที่ 23-24 กุมภาพันธ์ 2563

และการศึกษาพบว่าตลอดพื้นที่หน้าตัดลำน้ำบริเวณสถานี BK-03 วัดหัวไทร (ภาพที่ 34) ช่วงฤดูน้ำมากในรอบน้ำขึ้น-น้ำลง มีน้ำจืดปริมาณมากหรือน้ำท่าปริมาณมากตามฤดูกาลผลักดันน้ำทะเลและไหลลงสู่ปากแม่น้ำช่วงน้ำลงต่ำที่สุด (LLW) ด้วยความเร็วประมาณ 1 เมตรต่อวินาที แต่ในช่วงอื่นน้ำจืดปริมาณมากกลับยังผลักดันหรือผสมกันบ้างกับน้ำทะเลในพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 34 พื้นที่หน้าตัดลำน้ำช่วงฤดูน้ำมาก การกระจายอุณหภูมิและความเค็มตามแนวตั้งบริเวณกึ่งกลางลำน้ำ และความเร็วและทิศทางกระแสที่ผิวน้ำในรอบน้ำขึ้น-น้ำลง วันที่ 18-19 กันยายน 2563

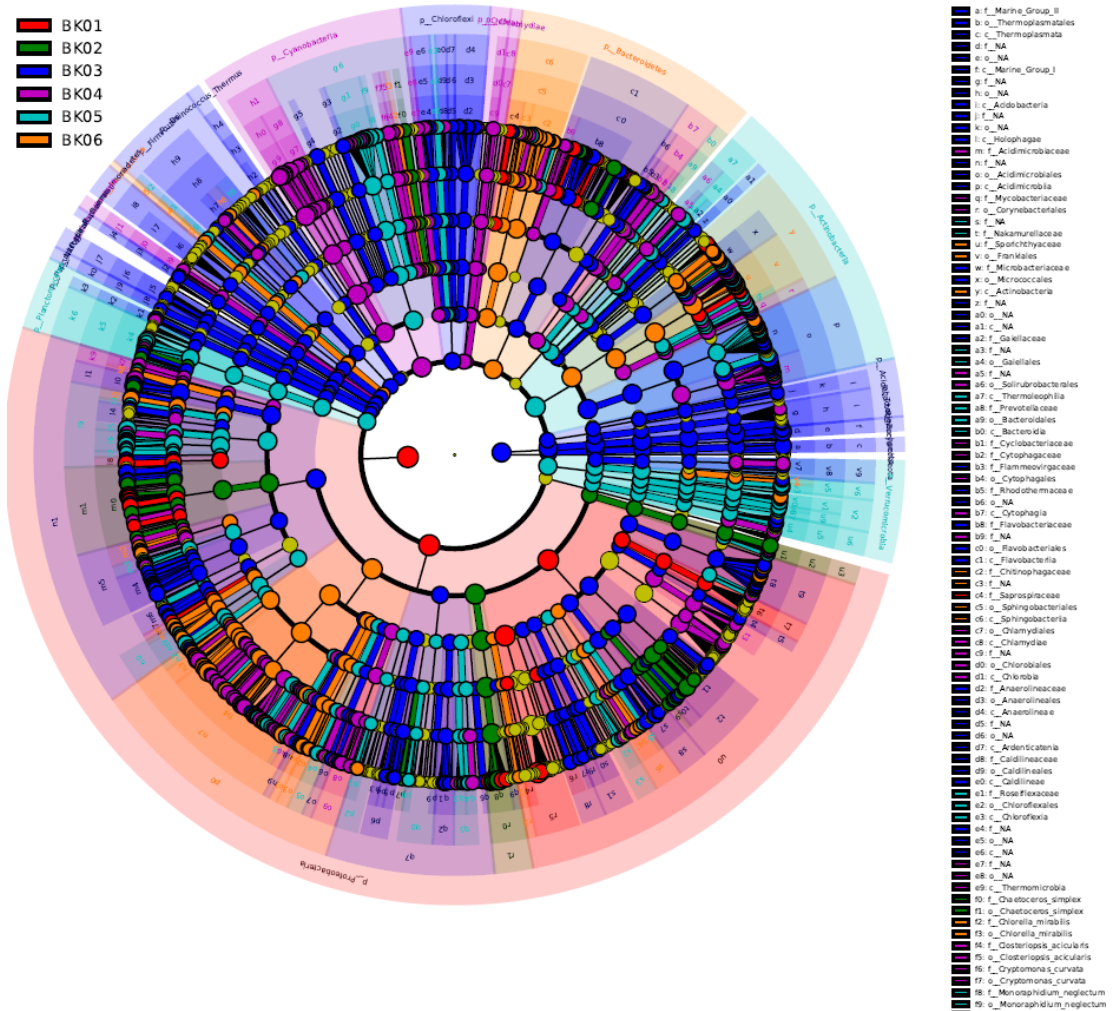
บรรณานุกรม

- APHA, AWWA & WEF. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd Edition*. American Public Health Association.
- Bordalo, A.A., Nilsunranchit, W., & Chalermwat, K. (2001). Water quality and used of the Bangpakong River (Eastern Thailand). *Water Research, 35*(15), 3635-3642.
- Callahan, B.J., McMurdie, P.J., Rosen, M.J., Han, A.W., Johnson, A.J., & Holmes, S.P. (2016). DADA2: High resolution sample inference from Illumina amplicon data. *Nat Methods, 13*(7), 581-583. doi: 10.1038/nmeth.3869
- Caporaso, J.G., Kuczynski, J., Stombaugh, J., Bittinger, K., Bushman, F.D., Costello, E.K., & Knight, R. (2010). QIIME allows analysis of high-throughput community sequencing data. *Nat Methods, 13*(7), 335-336. doi: 10.1038/nmeth.f.303
- Feng, P., Weagant, S.D., & Grant, M.A. (2002). *Enumeration of Escherichia Coli and the Coliform Bacteria, In Bacteriological Analytical Manual (BAM Chapter 4)*. เข้าถึงได้จาก <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-4-enumeration-escherichia-coli-and-coliform-bacteria> เมื่อวันที่ 23 มีนาคม 2564.
- Grasshoff, K., Kremling, K., & Ehrhardt, M. (1999). *Methods of Seawater Analysis 3rd Edition*. Weinheim: Wiley-VCH.
- Jintasaeranee, P., Buranapratheprat, A., & Sawangwong, P. (2000). Dynamics of some water Qualities of the Bangpakong Estuary. *Proceedings of the 11th Joint Seminar on Marine Science*, 9-15.
- Saingam, P., Li, B., & Yan, T. (2020). Fecal indicator bacteria, direct pathogen detection, and microbial community analysis provide different microbiological water quality assessment of a tropical urban marine estuary. *Water Research, 185*, 116280.
- Scott, T.M., Rose, J.B., Jenkins, T.M., Farrah, S.R., & Lukasik, J. (2002). Microbial Source Tracking: Current Methodology and Future Direction. *Applied and Environmental Microbiology, 68*(12), 5796-5803.
- Strickland, J.D.H., & Parsons, T.R. (1972). *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. Fishery Research Board of Canada, Ottawa.
- Sumampouw, O.J., & Risjani, Y. (2014). Bacteria as Indicators of Environmental Pollution: Review. *International Journal of Ecosystem, 4*(6), 251-258.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2550). *รายงานประจำปีสำนักจัดการคุณภาพน้ำ พ.ศ. 2550*. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร.

- กรมควบคุมมลพิษ. (2551). รายงานประจำปีสำนักจัดการคุณภาพน้ำ พ.ศ. 2551. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2552). รายงานประจำปีสำนักจัดการคุณภาพน้ำ พ.ศ. 2552. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร.
- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2548). ระบบนิเวศน้ำกร่อยแม่น้ำบางปะกง. กรุงเทพฯ.
- กรมอุทกศาสตร์. (2563). หนังสือมาตรฐานน้ำ น่านน้ำไทย พ.ศ. 2563. กรมอุทกศาสตร์. กองทัพเรือ.
- พิชญ์ สว่างวงศ์. (2541). รายงานวิจัยโครงการวิจัยร่วม NRCT-JSPS. การศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์เคมี และชีวภาพ ในบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง 2537-2540, NRCT-JSPS.
- ฉลวย มุสิกะ แววดา ทองระอา วันชัย วงสุดาวรรณ และอาวูธ หมั่นหาผล. (2549). สถานการณ์คุณภาพน้ำชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ปี 2547. วารสารการประมง, 59(3), 235-241.
- ฉลวย มุสิกะ วันชัย วงสุดาวรรณ อาวูธ หมั่นหาผล และแววดา ทองระอา. (2550). สถานการณ์คุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งภาคตะวันออก ปี 2548. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 12(1), 33-44.
- รวมทรัพย์ ชำนาญธนา. (2549). แพลงก์ตอนพืชที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีบริเวณชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 1/2549. สถาบันวิจัยและพัฒนาทางทะเลชายฝั่งทะเล และป่าเลน กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- ราชกิจจานุเบกษา. (2550). ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 27 (พ.ศ. 2549) เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล. เล่มที่ 124 ตอนที่ 11 ง (1 กุมภาพันธ์ 2550). 123-133.
- สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล. (2537). การศึกษาคุณภาพน้ำบริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออก. สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา.
- สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล. (2545). รายงานการวิจัยสภาวะแวดล้อมทางทะเลในบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก. สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา.
- สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล. (2549). รายงานการวิจัยโครงการเฝ้าระวังและการวางแผนทางป้องกันการเกิดปรากฏการณ์ซีปลาวาฬในบริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดชลบุรี. สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี.
- สุขุม ไร่ใจ. (2547). การศึกษาผลกระทบของความเค็มต่ำที่มีต่อการตายของหอยแมลงภู่ (*Perna viridis* Linneaus). วารสารการประมง, 54(3), 229-233.
- สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2549). การบริหารจัดการนิเวศลุ่มน้ำบางปะกง. กรุงเทพฯ.
- อนุกุล บุรณประทีปรัตน์ และประสาร อินทเจริญ. (2554). คุณภาพน้ำในอ่าวชลบุรี พ.ศ. 2551. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 16(1), 94-106.
- อนุกุล บุรณประทีปรัตน์ และเผชิญโชค จินตเศรษฐี. (2554). คุณภาพน้ำบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง พ.ศ. 2545. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 17(2), 72-85.

ภาคผนวก

Cladogram



กิจกรรมที่ดำเนินการเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัยตามกิจกรรมที่แท้จริง

กิจกรรมที่ดำเนินการหลัก	ผู้รับผิดชอบหลัก
การกำหนดสถานีเก็บตัวอย่าง	นางสาวสุนิรัตน์ รัตน์และ นางสาวจันทิมา ปิยะพงษ์
การสำรวจพื้นที่เหมาะสมที่ใช้เป็นสถานีและออกภาคสนามสำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำ	นางสาวจันทิมา ปิยะพงษ์
การวิเคราะห์ TCB และ FCB ณ ห้องปฏิบัติการ	นางสาวลาวัลย์ เอียวสวัสดิ์
การวิเคราะห์พารามิเตอร์คุณภาพน้ำทางกายภาพและทางเคมี ณ ห้องปฏิบัติการ	นางสาวจันทิมา ปิยะพงษ์
การกรองน้ำเพื่อการสกัด DNA ณ ห้องปฏิบัติการ	นางสาวจันทิมา ปิยะพงษ์
การสกัด DNA ณ ห้องปฏิบัติการ	นางสาวนิชชา จำเริญศักดิ์ศรี
การวิเคราะห์ชีวสารสนเทศเมตาจีโนมิกส์	นางสาวนิชชา จำเริญศักดิ์ศรี และนางสาวจันทิมา ปิยะพงษ์
การวิเคราะห์พารามิเตอร์คุณภาพน้ำ	นางสาวจันทิมา ปิยะพงษ์
การเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์ มอบรายงานให้หน่วยงานภาครัฐ และตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน	นางสาวจันทิมา ปิยะพงษ์



ภาพกิจกรรมแสดงความเชื่อมโยงกับผู้เชี่ยวชาญและที่ปรึกษาโครงการภายนอก Prof. Ruben Sommaruga, PhD in Limnology, Director of the Department of Ecology, University of Innsbruck, Austria (Outgoing Research Visit ASEA-UNINET (SP 24) 2019) ได้ร่วมสำรวจพื้นที่กับ ผศ. ดร. จันทิมา ปิยะพงษ์ หัวหน้าโครงการวิจัย เพื่อศึกษา ลักษณะพื้นที่ของแม่น้ำบางปะกงและวางแผนการเก็บตัวอย่างน้ำให้เหมาะสมตามลักษณะ พื้นที่ของแม่น้ำบางปะกงในเดือนมกราคม 2563 รวมทั้งให้คำปรึกษาแก้ไขอุปสรรคและความท้าทายที่เกิดขึ้นของการทำวิจัยก่อนหน้านี้โดยเฉพาะเรื่องการเก็บตัวอย่างน้ำใน ภาคสนามและการดำเนินการในห้องปฏิบัติการเพื่อการกรองน้ำและสกัดดีเอ็นเอให้ประสบความสำเร็จในห้องปฏิบัติการรวมทั้งเป็นผู้ที่มีบทบาทสำคัญที่ทำให้การดำเนินโครงการนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี