

โครงการศึกษาลักษณะนิเวศ-อุทกวิทยา ของแหล่งน้ำไหลในประเทศไทย

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม
กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ปี 2554

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการศึกษาลักษณะนิเวศ-อุทกวิทยา ของแหล่งน้ำไหลในประเทศไทย

ส่วนวิจัยนิเวศเศรษฐศาสตร์และสังคม

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

ปี 2554

คณะผู้วิจัย

ที่ปรึกษาโครงการ

นางสุวรรณา เตียรธสุวรรณ
ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม
นางนิตยา นักระนาด มิถัน
ผู้อำนวยการส่วนนิเวศเศรษฐศาสตร์และสังคม

หัวหน้าโครงการ

นายอัศมน ลิ้มสกุล
นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการ

ผู้ร่วมวิจัย

นายวุฒิชัย	แพงแก้ว	นักวิชาการสิ่งแวดล้อม
นางอัศดร	คำเมือง	นักวิชาการสิ่งแวดล้อม

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย โครงการวิจัยลักษณะทางนิเวศ-อุทกวิทยาของแหล่งน้ำไหลในประเทศไทย ขอขอบคุณ รศ.ดร. พรศิลป์ ผลพันธิน ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ และ ผศ.ดร. สุพัตรา เดวิดสัน ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างชนิดและปริมาณแพลงก์ตอน และสัตว์หน้าดิน รวมทั้งความช่วยเหลือนานัปประการ ทั้งนี้ คณะผู้วิจัย ขอกล่าวคำขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในงานวิจัยชิ้นนี้ รวมทั้งคาดหวังไว้เป็นอย่างสูงว่างานวิจัยชิ้นนี้ จักเป็นประโยชน์แก่การศึกษา งานวิจัย รวมถึงการบริหารจัดการระบบนิเวศแหล่งน้ำไหล โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณต้นน้ำของเขื่อนรัชชประภา เขื่อนขุนด่านปราการชล และเขื่อนอุบลรัตน์ ได้อย่างยั่งยืนต่อไป

คณะผู้วิจัย ฯ

บทคัดย่อ

การศึกษาลักษณะทางอุทก-นิเวศของแหล่งน้ำไหล บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์ เขื่อนขุนด่านปราการชลและเขื่อนรัชชประภา ในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน ระหว่างปี พ.ศ. 2553-2554 พบว่า ปริมาณฝนและน้ำท่า เป็นปัจจัยทางอุทก-อุทกวิทยาพื้นฐานที่กำหนดความแปรปรวนและพลวัตของระบบนิเวศธารน้ำไหล ผลกระทบเชิงอุทกวิทยาประการหนึ่งจากการสร้างเขื่อนปิดกั้นทางน้ำ คือ น้ำที่ไหลออกจากเขื่อน สูญเสียสัญญาณวงจรการเกิดซ้ำทางอุทกวิทยาในคาบเวลารอบปี ซึ่งส่งผลกระทบต่อลักษณะทางนิเวศขั้นพื้นฐาน ซึ่งรวมถึงวงจรชีวิตของสิ่งมีชีวิต ตลอดจนฟลักซ์ของตะกอนอินทรีย์และสารอินทรีย์ ทั้งนี้ คุณภาพน้ำ สารอินทรีย์และธาตุอาหารพืชบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน มีลักษณะที่แตกต่างกันในหลายมิติ โดยความแตกต่างในเชิงพื้นที่ สะท้อนให้เห็นถึงความหลากหลายของระบบนิเวศธารน้ำไหลเชิงโครงสร้างและฟังก์ชันของลำน้ำ พื้นที่รับน้ำและนิเวศป่าโดยรอบ ซึ่งส่งผลให้ลักษณะทางนิเวศและกระบวนการชีวธรณีเคมี มีการเปลี่ยนแปลงเชิงซ้อนตลอดลำน้ำตั้งแต่ต้นน้ำถึงท้ายน้ำ ส่วนการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลา พบว่า คุณภาพน้ำ สารอินทรีย์ และธาตุอาหารพืชส่วนใหญ่ในบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างฤดูกาลและระหว่างปี ซึ่งเกิดจากระบบนิเวศธารน้ำไหล ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยทางอุทก-อุทกวิทยาของลำน้ำ ระบบนิเวศบริเวณต้นน้ำมีลักษณะเป็น Heterotrophic ซึ่งแสดงถึงการย่อยสลายด้วยกระบวนการหายใจของประชาคมสิ่งมีชีวิต เป็นกลไกสำคัญในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่มีแหล่งกำเนิดจากนอกระบบ (Allochthonous source) มาเป็นพลังงานที่หล่อเลี้ยงในห่วงโซ่อาหารของระบบ โดยตะกอนอินทรีย์ขนาดใหญ่และขนาดเล็ก ถูกย่อยสลายตามลำดับขั้นโดยสิ่งมีชีวิต ชั้นปฐมภูมิ

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในภาพรวมของระบบนิเวศธารน้ำไหล ในบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ด้วยเทคนิค Principal Component Analysis (PCA) พบว่า โหมดที่ 1 ของ PCA เป็นตัวแทนที่แสดงความแปรปรวนของอุณหภูมิ น้ำ ออกซิเจนละลายน้ำ สารฟอสฟอรัสละลายน้ำรวม สารอนินทรีย์ฟอสฟอรัสละลายน้ำ สารอนินทรีย์ไนโตรเจนละลายน้ำ ซิลิกาและความหลากหลายของแพลงก์ตอนแบบเกาะติด ของระบบนิเวศธารน้ำไหลบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนรัชชประภา ส่วนโหมดที่ 2 ของ PCA แสดงความแปรปรวนของความเป็นกรด-ด่าง ความเหนียวนำไฟฟ้า สารอนินทรีย์คาร์บอน ตะกอนอินทรีย์ขนาดเล็ก และเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสของตะกอนอินทรีย์ขนาดใหญ่/ขนาดเล็ก ของระบบนิเวศธารน้ำไหลบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนขุนด่านปราการชลและเขื่อนอุบลรัตน์ ทั้งนี้ ลักษณะทางอุทก-นิเวศวิทยาบริเวณต้นน้ำของทั้งสามเขื่อนในภาพรวมมีลักษณะที่สอดคล้องกับแนวคิด River Continuum Concept (RCC) ในขณะที่ การเปลี่ยนแปลงเชิงอุทก-นิเวศบริเวณท้ายน้ำของเขื่อน อาจจะต้องพิจารณาภายใต้บริบทอนุกรมความไม่ต่อเนื่อง (Serial discontinuity) ของลำน้ำที่เกิดจากการสร้างเขื่อน

ผลการศึกษาฯ นี้ นับเป็นข้อมูลทางวิชาการพื้นฐานที่สำคัญในการประกอบตัดสินใจ เพื่อดำเนินการวางแผนและกำหนดมาตรการในการอนุรักษ์ระบบนิเวศแหล่งน้ำไหล โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบนิเวศบริเวณต้นน้ำ

สารบัญ

	หน้า
คณะผู้วิจัย	(1)
กิตติกรรมประกาศ	(2)
บทคัดย่อ	(3)
สารบัญ	(4)
สารบัญตาราง	(6)
สารบัญรูป	(8)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการศึกษาวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทบทวนเอกสารงานวิจัย	5
2.1 ลักษณะทางกายภาพและการไหลของลำธารและแม่น้ำ	5
2.2 ลักษณะทางนิเวศของธารน้ำไหล	9
2.3 แนวคิด River Continuum Concept (RCC)	16
2.4 แหล่งพลังงานจากเศษซากอินทรีย์	18
2.5 เมตาบอลิซึมของระบบนิเวศธารน้ำไหล	24
2.6 การศึกษาระบบนิเวศธารน้ำไหลในประเทศไทย	29
บทที่ 3 แนวคิด ระเบียบและวิธีวิจัย	32
3.1 กรอบแนวคิดและระเบียบวิจัย	32
3.2 พื้นที่ศึกษา	35
3.3 วิธีการตรวจวัดและเก็บตัวอย่าง	40
3.4 วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่าง	49
3.5 วิธีการวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพหุ	52

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการศึกษา	57
4.1 ลักษณะและความแปรปรวนทางอุตุ-อุทกวิทยาของพื้นที่บริเวณเขื่อนอุบลรัตน์ เขื่อนขุนด่านปราการชล และเขื่อนรัชชประภา	57
4.2 ลักษณะคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อน และการ เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและระหว่างปี	70
4.3 ลักษณะของธาตุอาหารพืชบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อน และการเปลี่ยนแปลงตาม ฤดูกาลและระหว่างปี	74
4.4 อัตราการสังเคราะห์แสงของผู้ผลิตขั้นต้นและอัตราการหายใจของประชาคมสิ่งมีชีวิต	87
4.5 ชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนแบบเกาะติด แพลงตอนสัตว์ สัตว์หน้าดินและแบคทีเรีย ในบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ	88
4.6 ชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนแบบเกาะติด แพลงตอนสัตว์ และสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ กับการเปลี่ยนแปลงตามเวลาและเชิงพื้นที่	95
4.7 กลุ่มและความแปรปรวนที่โดดเด่นของแพลงก์ตอนแบบเกาะติด และสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่	105
4.8 ปริมาณตะกอนอินทรีย์ขนาดใหญ่ (CPOM) และขนาดเล็ก (FPOM) และเปอร์เซ็นต์ สารอินทรีย์ของ CPOM และ FPOM	113
4.9 เปอร์เซ็นต์คาร์บอน ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของตะกอนอินทรีย์ขนาดใหญ่และขนาดเล็ก	115
4.10 การเปลี่ยนแปลงในภาพรวมของระบบนิเวศธารน้ำไหลบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อน อุบลรัตน์ เขื่อนขุนด่านปราการชล และเขื่อนรัชชประภา	117
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผลการศึกษา	119
บรรณานุกรม	130

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	สรุป Function feeding groups ของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ในระบบนิเวศธารน้ำไหล	11
ตารางที่ 2.2	แหล่งของสารอินทรีย์ในระบบนิเวศธารน้ำไหล	20
ตารางที่ 2.3	งบประมาณของสารอินทรีย์สำหรับ Bear Brook (ลำน้ำลำดับชั้นที่ 2) จากการทดลอง Hubbard Brook Experimental Forest, New Hampshire ซึ่งมีพื้นที่รับประมาณ 132 เฮกเตอร์	27
ตารางที่ 2.4	เปรียบเทียบพลังงานที่เข้าระบบจากผลผลิตขั้นปฐมภูมิและใบไม้ร่วงในแหล่งน้ำต่างๆ	27
ตารางที่ 2.5	อัตราผลผลิตขั้นปฐมภูมิ (GPP) อัตราการหายใจ (R) และ P/R ratio จากการศึกษาลำธารต่างๆ	28
ตารางที่ 3.1	ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ศึกษา	36
ตารางที่ 3.2	วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางด้านกายภาพ	47
ตารางที่ 3.3	วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี	48
ตารางที่ 3.4	แสดงค่าสถิติสำหรับการควบคุมคุณภาพของการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ	50
ตารางที่ 4.1	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ 31-term smoothed series ระหว่างปริมาณฝนและน้ำท่าไหลเข้าเขื่อน	65
ตารางที่ 4.2	ค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี 2553-2554 ค่าในวงเล็บคือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	74
ตารางที่ 4.3	ค่าเฉลี่ยของธาตุอาหารพืชฟอสฟอรัสในฟอร์มต่างๆ ในบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2553-2554 ค่าในวงเล็บคือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	85
ตารางที่ 4.4	ค่าเฉลี่ยของอนินทรีย์ไนโตรเจนละลายน้ำในฟอร์มต่างๆ ในบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2553-2554 ค่าในวงเล็บคือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	86
ตารางที่ 4.5	ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนระหว่างอนินทรีย์ไนโตรเจนละลายน้ำ (Dissolved Inorganic Nitrogen; DIN) และอนินทรีย์ฟอสฟอรัสละลายน้ำ (Dissolved Inorganic Phosphorus; DIP) ในบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2553- 2554 ค่าในวงเล็บ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	86
ตารางที่ 4.6	ค่าเฉลี่ยของซิลิกา (μM) ในบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี 2553-2554 ค่าในวงเล็บ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	86
ตารางที่ 4.7	ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนระหว่างซิลิกาละลายน้ำและอนินทรีย์ไนโตรเจนละลายน้ำ (Dissolved Inorganic Nitrogen; DIN) ในบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี 2553-2554 ค่าในวงเล็บคือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	87
ตารางที่ 4.8	ค่าเฉลี่ยของสารอนินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ (Dissolved Inorganic Carbon; DIC) (mM) ในบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2553- 2554 ค่าในวงเล็บ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	87

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า	
ตารางที่ 4.9	ค่าเฉลี่ยของปริมาณตะกอนอินทรีย์ขนาดใหญ่ (CPOM) และขนาดเล็ก (FPOM) เเปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์ในรูป Ash Free Dry Mass (%AFDM) ของ CPOM และ FPOM ในบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ในช่วงปี พ.ศ. 2553-2554 ค่าในวงเล็บ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	114
ตารางที่ 4.10	ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์คาร์บอน ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของตะกอนอินทรีย์ขนาดใหญ่ และขนาดเล็ก ในบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างปี พ.ศ. 2553-2554 ค่าในวงเล็บ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	116
ตารางที่ 5.1	สรุปผลคุณภาพน้ำ สารอินทรีย์และธาตุอาหารพืชบางพารามิเตอร์ของระบบนิเวศ บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน	124
ตารางที่ 5.2	สรุปผลคุณภาพน้ำ สารอินทรีย์และธาตุอาหารพืชบางพารามิเตอร์ของระบบนิเวศ ธารน้ำไหลบางแห่งในภูมิภาคต่างๆ	125
ตารางที่ 5.3	สรุปผลความเข้มข้นสารอนินทรีย์คาร์บอน (DIC) ของระบบนิเวศธารน้ำไหลบางแห่ง ในภูมิภาคต่างๆ	
ตารางที่ 5.4	เปรียบเทียบปริมาณตะกอนอินทรีย์ขนาดใหญ่และขนาดเล็ก (CPOM และ FPOM) บริเวณต้นน้ำของทั้งสามเขื่อนกับระบบนิเวศธารน้ำไหลบางแห่งในภูมิภาคต่างๆ	129

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1	บทบาทและความสำคัญของระบบการไหลของน้ำต่อพลวัตและความสมบูรณ์ของระบบนิเวศแหล่งน้ำไหล	6
รูปที่ 2.2	ลักษณะของระบบธารน้ำไหลที่เชื่อมต่อและปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมใกล้เคียงใน 4 มิติ	7
รูปที่ 2.3	โครงข่ายตามลำดับชั้น (Nested hierarchy) ตามขนาดของลำน้ำ ภายในพื้นที่รับน้ำลำดับที่สี่	8
รูปที่ 2.4	โครงข่ายตามลำดับชั้น (Nested hierarchy) ตามขนาดของน้ำ และลักษณะทางกายภาพของทุก-นิเวศของระบบในส่วนย่อย	8
รูปที่ 2.5	ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมที่กำหนดและควบคุมทุกแง่มุมของลักษณะทางกายภาพของลำน้ำซึ่งจัดระบบลำดับชั้นตามสเกลของเชิงพื้นที่	9
รูปที่ 2.6	ระบบนิเวศธารน้ำไหลกับการเชื่อมต่อกับระบบอื่นๆ ทั้งในแนวนอน แนวตั้งและแนวตั้ง	10
รูปที่ 2.7	แสดงกลุ่มหลักๆ ของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่พบในระบบนิเวศธารน้ำไหล	12
รูปที่ 2.8	แสดงจำนวนและชนิดของสิ่งมีชีวิต ณ จุดใดจุดหนึ่งที่สะท้อนถึงคุณสมบัติที่ปรากฏในแง่ลำดับชั้นในห่วงโซ่อาหาร ที่อยู่อาศัย	13
รูปที่ 2.9	แสดงวัฏจักรไนโตรเจนในระบบนิเวศธารน้ำไหล	14
รูปที่ 2.10	ชลศาสตร์และพลวัตการดูดซับและปลดปล่อย รวมทั้งการลำเลียงธาตุอาหารในลำน้ำ	15
รูปที่ 2.11	ตัวอย่างไดอะแกรมของค่าไอโซโทปเสถียรคาร์บอน ($\delta^{13}\text{C}$) และไนโตรเจน ($\delta^{15}\text{N}$) ในองค์ประกอบต่างๆ ของห่วงโซ่อาหารในลำน้ำ โดยลูกศร แสดงถึงการส่งผ่านของธาตุอาหารระดับหนึ่งไปสู่อีกระดับหนึ่งในห่วงโซ่อาหาร ซึ่งมีสัดส่วนประมาณ 3.4 per mil สำหรับไนโตรเจน และ 0.4 per mil สำหรับคาร์บอน	15
รูปที่ 2.12	แนวคิด River Continuum Concept	17
รูปที่ 2.13	กรอบแนวคิดเชิงคณิตศาสตร์ของ Serial Discontinuity Concept โดย DD คือ Discontinuity Distance บริเวณท้ายน้ำที่มีผลต่อตัวแปรทางด้านอุทก-นิเวศวิทยา ในระยะทางที่กำหนด X อันเนื่องจากการควบคุมปริมาณน้ำ	18
รูปที่ 2.14	ช่องทางการส่งผ่านพลังงานและสารอินทรีย์ในห่วงโซ่อาหารของระบบนิเวศธารน้ำไหล	19
รูปที่ 2.15	พลังงานที่ผ่านช่องทาง detritus-based จากใบไม้ร่วงสู่ห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศธารน้ำไหล	21
รูปที่ 2.16	อัตราการย่อยสลายของพืชประเภท Woody และ Nonwoody ชนิดต่างๆ	22
รูปที่ 2.17	กระบวนการย่อยสลายตามลำดับชั้นตอนกรณีใบไม้ที่ย่อยได้ง่ายถึงปานกลางในลำธารเขตอบอุ่น	23
รูปที่ 2.18	ตัวอย่างความเชื่อมโยงระหว่าง Shredder-CPOM ในลำธารขนาดเล็กบริเวณป่าผลัดใบในเขตอบอุ่น	23
รูปที่ 2.19	ตัวอย่างความเชื่อมโยงระหว่าง Collector-FOPM ในลำธารขนาดเล็กบริเวณป่าผลัดใบในเขตอบอุ่น	24
รูปที่ 2.20	โมเดลอย่างง่ายสำหรับพลั๊กคาร์บอนในระบบนิเวศธารน้ำไหล เส้นทึบแสดงเส้นทางการลำเลียงและเมตาบอลิซึมของสารอินทรีย์ในลำธารแบบ Woodland	26
รูปที่ 2.21	คุณภาพน้ำแหล่งน้ำจืดที่ทำการตรวจวัด จำนวน 48 สาย และ 4 แหล่งน้ำนิ่ง ปี 2550–2552	29
รูปที่ 2.22	แสดงคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำสำคัญทั่วประเทศปี พ.ศ. 2552 คุณภาพน้ำแหล่งน้ำจืดที่ทำการตรวจวัด จำนวน 48 สาย และ 4 แหล่งน้ำนิ่ง ปี 2552	30

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 3.1	กรอบแนวคิดการศึกษาระบบนิเวศธารน้ำไหลบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ กรณีที่มีการสร้างเขื่อนกั้นลำน้ำ	33
รูปที่ 3.2	ระเบียบและขอบเขตการศึกษาวิจัยระบบนิเวศธารน้ำไหลบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ	34
รูปที่ 3.3	พื้นที่การศึกษาประกอบด้วยเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น เขื่อนขุนด่านปราการชล จังหวัดนครนายก และเขื่อนรัชชประภา จังหวัดสุราษฎร์ธานี	35
รูปที่ 3.4	พื้นที่จุดเก็บตัวอย่าง บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น	37
รูปที่ 3.5	พื้นที่จุดเก็บตัวอย่าง บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนขุนด่านปราการชล จังหวัดนครนายก	38
รูปที่ 3.6	พื้นที่จุดเก็บตัวอย่าง บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนรัชชประภา จังหวัดสุราษฎร์ธานี	39
รูปที่ 3.7	การเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ขนาดใหญ่และขนาดเล็ก (CPOM และ FPOM)	42
รูปที่ 3.8	การเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอน	43
รูปที่ 3.9	การเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนชนิดที่เกาะติดกับวัตถุท้องน้ำ	44
รูปที่ 3.10	การเก็บตัวอย่างสัตว์หน้าดิน	45
รูปที่ 3.11	การเก็บตัวอย่างคลอโรฟิลล์	46
รูปที่ 3.12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นสัญญาณในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่	53
รูปที่ 3.13	แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ Cluster Analysis	56
รูปที่ 4.1	ค่าเฉลี่ยระยะยาวของปริมาณฝนเฉลี่ยราย 5 วันในรอบปี	59
รูปที่ 4.2	ค่าเฉลี่ยระยะยาวของปริมาณน้ำท่าไหลเข้าเขื่อนเฉลี่ยราย 5 วันในรอบปี	60
รูปที่ 4.3	Cross correlation coefficients ระหว่างปริมาณฝนและน้ำท่าไหลเข้าเขื่อนเฉลี่ยราย 5 วัน ตั้งแต่ Lag 0 ถึง Lag 10 โดยที่ Lag window มีขนาดเท่ากับ 5 วัน	61
รูปที่ 4.4	ค่าเฉลี่ยระยะยาวของปริมาณน้ำไหลออกจากเขื่อนเฉลี่ยราย 5 วันในรอบปี	62
รูปที่ 4.5	ความแปรปรวนของปริมาณฝนในคาบเวลา 1 เดือน (31-day running means)	63
รูปที่ 4.6	ความแปรปรวนของน้ำท่าไหลเข้าเขื่อนในคาบเวลา 1 เดือน (31-day running means)	64
รูปที่ 4.7	ความแปรปรวนของน้ำไหลออกจากเขื่อนในคาบเวลา 1 เดือน (31-day running means)	66
รูปที่ 4.8	Normalized Power Spectral Density (PSD) ของปริมาณฝน	67
รูปที่ 4.9	Normalized Power Spectral Density (PSD) ของน้ำท่าไหลเข้าเขื่อน	68
รูปที่ 4.10	Normalized Power Spectral Density (PSD) ของน้ำไหลออกจากเขื่อน	69
รูปที่ 4.11	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2553-2554	71
รูปที่ 4.12	การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2553-2554	72
รูปที่ 4.13	การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2553-2554	72
รูปที่ 4.14	การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การอิ่มตัวของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2553-2554	73

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.15	การเปลี่ยนแปลงความเหนียวนำไฟฟ้า บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่าง ฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี 2553-2554	73
รูปที่ 4.16	สัดส่วนของสารฟอสฟอรัสบริเวณต้นน้ำ (DIP=อินทรีย์ฟอสฟอรัสละลายน้ำ, DOP=อินทรีย์ ฟอสฟอรัสละลายน้ำ และ TPP =ฟอสฟอรัสรวมในรูปของตะกอน)	78
รูปที่ 4.17	สัดส่วนของสารฟอสฟอรัสบริเวณท้ายน้ำ (DIP=อินทรีย์ฟอสฟอรัสละลายน้ำ, DOP=อินทรีย์ ฟอสฟอรัสละลายน้ำ และ TPP =ฟอสฟอรัสรวมในรูปของตะกอน)	79
รูปที่ 4.18	สัดส่วนของสารอนินทรีย์ไนโตรเจนละลายบริเวณต้นน้ำ (แอมโมเนีย ไนเตรทและไนไตรท์)	80
รูปที่ 4.19	สัดส่วนของสารอนินทรีย์ไนโตรเจนละลายบริเวณท้ายน้ำ (แอมโมเนีย ไนเตรทและไนไตรท์)	81
รูปที่ 4.20	การเปลี่ยนแปลงอินทรีย์ฟอสฟอรัสละลายน้ำ บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2553-2554	82
รูปที่ 4.21	การเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟอสฟอรัสละลายน้ำรวม บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของ ทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2553-2554	82
รูปที่ 4.22	การเปลี่ยนแปลงแอมโมเนีย บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้ง และฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2553-2554	83
รูปที่ 4.23	การเปลี่ยนแปลงไนไตรท์ บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2553-2554	83
รูปที่ 4.24	การเปลี่ยนแปลงไนเตรท บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2553-2554	84
รูปที่ 4.25	การเปลี่ยนแปลงซิลิกาละลายน้ำ บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้ง และฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2553-2554	84
รูปที่ 4.26	การเปลี่ยนแปลงอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2553-2554	85
รูปที่ 4.27	แสดงอัตราการสังเคราะห์แสงและอัตราการหายใจของประชาคมสิ่งมีชีวิตในชั้นน้ำบริเวณ ต้นน้ำ	88
รูปที่ 4.28	องค์ประกอบของแพลงก์ตอนพืชที่เกาะติดกับวัสดุใต้น้ำบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ ในฤดูแล้ง และฤดูฝน ของเขื่อนรัชชประภา	89
รูปที่ 4.29	องค์ประกอบของแพลงก์ตอนพืชที่เกาะติดกับวัสดุใต้น้ำบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ ในฤดูแล้ง และฤดูฝน ของเขื่อนขุนด่านปราการชล	89
รูปที่ 4.30	องค์ประกอบของแพลงก์ตอนพืชที่เกาะติดกับวัสดุใต้น้ำบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ ในฤดูแล้ง และฤดูฝน ของเขื่อนอุบลรัตน์	90
รูปที่ 4.31	ปริมาณของแพลงก์ตอนพืชที่เกาะวัสดุใต้น้ำ (Log ความหนาแน่น) ในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน ของเขื่อนรัชชประภา เขื่อนขุนด่านปราการชล และเขื่อนอุบลรัตน์	90
รูปที่ 4.32	องค์ประกอบของแพลงก์ตอนสัตว์บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ ในฤดูแล้งและฤดูฝนของเขื่อน รัชชประภา	92

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.33	องค์ประกอบของแพลงก์ตอนสัตว์บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ ในฤดูแล้งและฤดูฝนของเขื่อนขุนด่านปราการชล	92
รูปที่ 4.34	องค์ประกอบของแพลงก์ตอนสัตว์บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ ในฤดูแล้งและฤดูฝนของเขื่อนอุบลรัตน์	93
รูปที่ 4.35	ปริมาณของแพลงก์ตอนสัตว์ (Log ความหนาแน่น) ในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝนของเขื่อนรัชชประภา เขื่อนขุนด่านปราการชล และเขื่อนอุบลรัตน์	93
รูปที่ 4.36	36 ความชุกชุมของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินขนาดใหญ่ ในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝนของเขื่อนรัชชประภา เขื่อนขุนด่านปราการชล และเขื่อนอุบลรัตน์	94
รูปที่ 4.37	ค่าเฉลี่ยของปริมาณแบคทีเรียบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ ในฤดูแล้งและฤดูฝนของเขื่อนรัชชประภา เขื่อนขุนด่านปราการชลและเขื่อนอุบลรัตน์	95
รูปที่ 4.38	การเปลี่ยนแปลงคลอโรฟิটล์ เอ ของแพลงก์ตอนแบบเกาะติด บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ในช่วงปี พ.ศ. 2553-2554	96
รูปที่ 4.39	ดัชนีความหลากหลาย (Simpson's diversity index) สำหรับแพลงก์ตอนแบบเกาะติดบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ในช่วงปี พ.ศ. 2553-2554	97
รูปที่ 4.40	ดัชนีความหลากหลาย (Simpson's diversity index) สำหรับแพลงก์ตอนสัตว์บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ในช่วงปี พ.ศ. 2553-2554	97
รูปที่ 4.41	ดัชนีความหลากหลาย (Simpson's diversity index) สำหรับสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ในช่วงปี พ.ศ. 2553-2554	98
รูปที่ 4.42	ชนิดของแพลงก์ตอนแบบเกาะติดที่โดดเด่น บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์ ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝนของปี พ.ศ. 2553	99
รูปที่ 4.43	ชนิดของแพลงก์ตอนแบบเกาะติดที่โดดเด่น บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนขุนด่านปราการชล ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝนของปี พ.ศ. 2553	100
รูปที่ 4.44	ชนิดของแพลงก์ตอนแบบเกาะติดที่โดดเด่น บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนรัชชประภา ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝนของปี พ.ศ. 2553	101
รูปที่ 4.45	ชนิดของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่โดดเด่น บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์ ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝนของปี พ.ศ. 2553	102
รูปที่ 4.46	ชนิดของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่โดดเด่น บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนขุนด่านปราการชล ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝนของปี พ.ศ. 2553	103
รูปที่ 4.47	ชนิดของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่โดดเด่น บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนรัชชประภา ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝนของปี พ.ศ. 2553	104
รูปที่ 4.48	Dendrogram แสดงการจัดกลุ่มแพลงก์ตอนแบบเกาะติดบริเวณต้นน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์ เขื่อนขุนด่านปราการชลและเขื่อนรัชชประภาในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง ด้วยเทคนิค Cluster Analysis	107
รูปที่ 4.49	Dendrogram แสดงการจัดกลุ่มแพลงก์ตอนแบบเกาะติดบริเวณท้ายน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์ เขื่อนขุนด่านปราการชลและเขื่อนรัชชประภาในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง ด้วยเทคนิค Cluster Analysis	108

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.50	Dendrogram แสดงการจัดกลุ่มสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่บริเวณต้นน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์ เขื่อนขุนด่านปราการชลและเขื่อนรัชชประภาในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง ด้วยเทคนิค Cluster Analysis	109
รูปที่ 4.51	Dendrogram แสดงการจัดกลุ่มสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่บริเวณท้ายน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์ เขื่อนขุนด่านปราการชลและเขื่อนรัชชประภาในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง ด้วยเทคนิค Cluster Analysis	110
รูปที่ 4.52	Euclidean Biplot แสดงค่า PCA variable loadings บนชนิดของแพลงก์ตอนแบบเกาะติด และค่า PCA case score ของแต่ละจุดเก็บตัวอย่างบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ในฤดูฝนและฤดูแล้ง ปี พ.ศ. 2553	111
รูปที่ 4.53	Euclidean Biplot แสดงค่า PCA variable loadings บนชนิดของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ และค่า PCA case score ของแต่ละจุดเก็บตัวอย่างบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ในฤดูฝนและฤดูแล้ง ปี พ.ศ. 2553	112
รูปที่ 4.54	สัดส่วน C:N:P ของ CPOM/FPOM	116
รูปที่ 4.55	เปอร์เซ็นต์ลิกนินของ CPOM/FPOM	117
รูปที่ 4.56	Euclidean Biplot แสดงค่า PCA variable loadings บนดัชนีคุณภาพน้ำและดัชนีทาง โครงสร้างของระบบนิเวศธารน้ำไหล และค่า PCA case score ของแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน	118
รูปที่ 5.1	ภาพจำลองกลไกและความเชื่อมโยงระหว่างองค์ประกอบต่างๆ บริเวณต้นน้ำของทั้งสามเขื่อน	123

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการศึกษาวิจัย

แหล่งน้ำไหล (Running water หรือ Lotic) เป็นระบบนิเวศที่มีความซับซ้อนและความหลากหลายสูง โดยมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการแลกเปลี่ยนและหมุนเวียนพลังงานและสสารระหว่างพื้นดิน บรรยากาศและมหาสมุทร ซึ่งช่วยรักษาสมดุลกระบวนการชีวธรณีเคมีของระบบนิเวศ คำจุนสรรพชีวิตนานาชนิด และเอื้อประโยชน์ให้แก่มนุษย์น่านน้ำทั้งด้านเศรษฐกิจและสังคม ตลอดจนเป็นแหล่งกักเก็บน้ำฝนและน้ำท่า ป้องกันและ/หรือลดผลกระทบจากสภาวะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศและภัยพิบัติต่างๆ (Poff et al., 1997; Meybeck, 2003; Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Arthington et al., 2009) ระบบนิเวศแหล่งน้ำไหลยังคงมีความโดดเด่นเฉพาะตัว และรักษาเอกลักษณ์ในด้านความหลากหลายชนิดของพืชและสัตว์ที่ไม่ปรากฏในระบบนิเวศอื่นๆ (Allen, 1995) จากการประเมินมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ในแง่บริการจากระบบนิเวศแหล่งน้ำ (Aquatic ecosystem service) พบว่ามีมูลค่าสูงถึง 4.9 ล้านล้านเหรียญสหรัฐต่อปี หรือประมาณ 15% ของบริการจากระบบนิเวศทั้งหมดของโลก (UNEP, 2002) ความเชื่อมโยงและปฏิสัมพันธ์กับส่วนต่างๆ ของสิ่งแวดล้อมโดยรอบ ทำให้ระบบนิเวศแหล่งน้ำไหล ทำหน้าที่เป็นสื่อกลางสำคัญของวัฏจักรคาร์บอนและธาตุอาหารพืช โดยสภาพและพลวัต ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลเชิงโครงสร้างและฟังก์ชันของระบบ เป็นปัจจัยกำหนดถึงสุขภาพและความอุดมสมบูรณ์ของระบบนิเวศแหล่งน้ำไหลในภาพรวม ตลอดจนสมดุลของปริมาณก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Gregory et al., 1991; Allen, 1995; Palmer et al., 2008; Arthington et al., 2009)

ด้วยเหตุที่แหล่งน้ำไหล เป็นระบบนิเวศแบบเปิดที่พึ่งพาและมีปฏิสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับสิ่งแวดล้อมโดยรอบในพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบนิเวศป่าชายฝั่งแม่น้ำ ส่งผลให้แหล่งน้ำไหล เป็นระบบนิเวศที่มีความเปราะบางสูงต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยภายนอกต่างๆ ในปัจจุบัน แหล่งน้ำไหลของโลกกำลังถูกคุกคามอย่างสูงจากปัจจัยต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางกายภาพของระบบนิเวศ การเพิ่มขึ้นของประชากรโลก การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน การใช้ประโยชน์แหล่งน้ำอย่างไม่มีประสิทธิภาพ มลพิษจากพื้นดิน การเก็บเกี่ยวทรัพยากรมากเกินไปที่เหมาสม และการนำเข้าชนิดพันธุ์ต่างถิ่นที่รุกราน (Nilsson et al., 2005; Poff and Zimmerman, 2010; Vörösmarty et al., 2010; Cardinale, 2011) สองในสามของแม่น้ำขนาดใหญ่ จำนวน 292 สาย ได้ถูกปิดกั้นและแยกจากกันในระดับปานกลางถึงระดับสูงจากการสร้างเขื่อนและอ่างเก็บน้ำ (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2010) ยิ่งกว่านั้น ในปัจจุบันได้มีการสร้างเขื่อนที่มีความสูง 15 เมตร มากกว่า 945,000 แห่งทั่วโลก ซึ่งสามารถรองรับน้ำทั้งหมดได้มากกว่า 96,500 ตารางกิโลเมตร หรือมากกว่าร้อยละ 15 ของปริมาณน้ำท่ารวมของโลก ทั้งนี้ มากกว่า 300 แห่งจัดเป็นเขื่อนขนาดใหญ่ (Nilsson et al., 2005) เมื่อพิจารณาภาพรวมทั่วโลกแล้ว พบว่ามากกว่าครึ่งของแม่น้ำขนาดใหญ่ได้รับผลกระทบจากเขื่อน (Jansson et al., 2000; Nilsson et al., 2005)

จากรายงานการประเมินระบบนิเวศแห่งสหัสวรรษ (Millennium Ecosystem Assessment Report) แห่งองค์การสหประชาชาติและผลการศึกษานานาชาติ ระบุว่า การเพิ่มขึ้นของประชากรโลกและความเจริญก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีในช่วง 50 ปีที่ผ่านมา เป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงและเสื่อมสภาพของระบบนิเวศแหล่งน้ำ ตลอดจนการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมในโลกยุคปัจจุบัน กลายเป็นแรงผลักดันที่สำคัญต่อการเสื่อมโทรมของระบบนิเวศแหล่งน้ำอย่างรวดเร็วและขยายวงกว้างกว่าที่เคยเกิดขึ้นในอดีต (Brown et al., 2005; Millennium

Ecosystem Assessment, 2005, Vorosmarty et al., 2010) นอกจากนี้ ระบบนิเวศแหล่งน้ำไหลในหลายภูมิภาคของโลกกำลังได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งไม่เพียงแต่ทำให้ความอุดมสมบูรณ์ ความหลากหลายทางชีวภาพ การใช้ประโยชน์และความสามารถในการให้บริการของระบบนิเวศต่อมนุษย์ลดลง ยังส่งผลให้ก๊าซเรือนกระจกถูกปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศในปริมาณที่สูงขึ้น (Hall et al., 2008; Döll and Zhang, 2010; United Nation Framework on Climate Change, 2011) ยิ่งกว่านั้น สภาพความเสื่อมโทรมของระบบนิเวศแหล่งน้ำไหล ยังส่งผลกระทบต่อศักยภาพของระบบนิเวศในการเป็นแนวกันชน (Buffer zone) เพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอีกทางหนึ่งด้วย ดังนั้น การศึกษาผลกระทบและการตอบสนองของระบบนิเวศแหล่งน้ำไหลต่อปัจจัยคุกคามดังกล่าว ได้กลายเป็นประเด็นที่สำคัญและจำเป็นในลำดับต้นๆ ต่อการอนุรักษ์และจัดการระบบนิเวศแหล่งน้ำอย่างยั่งยืน เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่การดำรงชีวิตของมนุษย์

ประเทศไทยมีระบบนิเวศแหล่งน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก โดยแบ่งออกเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความสำคัญระดับชาติและนานาชาติมากกว่า 100 แห่ง แหล่งน้ำไหลจำนวน 25 ลุ่มน้ำหลัก และแนวชายฝั่งทะเลความยาวมากกว่า 2,600 กิโลเมตร พื้นที่เหล่านี้กำลังได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเช่นเดียวกับพื้นที่อื่นๆ ของโลก ในช่วงที่ผ่านมา การศึกษาวิจัยในประเด็นพลวัต การเปลี่ยนแปลงเชิงโครงสร้างและฟังก์ชัน ผลกระทบและการตอบสนองของระบบนิเวศแหล่งน้ำไหล ยังอยู่ในขอบเขตจำกัด ด้วยเหตุผลดังกล่าว การวิจัยนี้ได้ดำเนินการศึกษาระบบนิเวศแหล่งน้ำไหลบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ ของเขื่อนรัชชประภา จังหวัดสุราษฎร์ธานี เขื่อนขุนด่านปราการชล จังหวัดนครนายก และเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น ในแง่คุณภาพน้ำพื้นฐาน โครงสร้าง (ความหลากหลายทางชีวภาพ) และฟังก์ชัน (กระบวนการเมตาบอลิซึม) ของระบบนิเวศขั้นปฐมภูมิ ตลอดจนกระบวนการชีวธรณีเคมีที่ควบคุมการหมุนเวียนของสารอินทรีย์และธาตุอาหารพืช เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและระหว่างปี ด้านโครงสร้างและฟังก์ชันของระบบนิเวศแหล่งน้ำไหลของทั้ง 3 เขื่อน และอธิบายกลไกปฏิสัมพันธ์และความเชื่อมโยงระหว่างการเปลี่ยนแปลงด้านโครงสร้างและฟังก์ชันของระบบนิเวศต้นน้ำและท้ายน้ำ ที่เกิดจากการสร้างเขื่อนกั้นลำน้ำและการเปลี่ยนแปลงทางอุทกวิทยาและสิ่งแวดล้อม ตลอดจนกลไกการหมุนเวียนของสารอินทรีย์และพลังงานภายในระบบและระหว่างระบบนิเวศแหล่งน้ำไหลและระบบนิเวศป่า ในบริบทของกรอบแนวคิดและกระบวนการ Energy/carbon flow ทั้งนี้ องค์กรความรู้ดังกล่าวจะมีประโยชน์ต่อการสร้างความรู้ความเข้าใจถึงสุขภาวะของระบบนิเวศแหล่งน้ำไหล (River health) ความยืดหยุ่นหรือภูมิคุ้มกัน (Resilience) ของระบบต่อภัยคุกคาม ศักยภาพของระบบนิเวศต้นน้ำและท้ายน้ำในการดูดซับและปลดปล่อยคาร์บอน รวมทั้งแนวทางการพัฒนาเครื่องมือและวิธีการที่เหมาะสมในการติดตามและประเมินระบบนิเวศแหล่งน้ำไหลแบบบูรณาการ ซึ่งเป็นข้อมูลทางวิชาการที่ช่วยสนับสนุนการรักษาสมดุลของทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในระยะยาว อันจะนำไปสู่การใช้ทรัพยากรอย่างชาญฉลาด และอนุรักษ์แหล่งน้ำไหลอย่างยั่งยืนต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและระหว่างปีในแง่โครงสร้างและฟังก์ชันของระบบนิเวศต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนรัชชประภา เขื่อนขุนด่านปราการชลและเขื่อนอุบลรัตน์

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์ความเชื่อมโยงระหว่างการเปลี่ยนแปลงด้านโครงสร้างและฟังก์ชันของระบบนิเวศต้นน้ำและท้ายน้ำ ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางอุทกวิทยาและสิ่งแวดล้อมรวมทั้งการสร้างเขื่อนกั้นลำน้ำ

1.2.3 เพื่อศึกษากลไกและกระบวนการชีวธรณีเคมีของการหมุนเวียนและถ่ายเทสารอินทรีย์และพลังงานภายในระบบนิเวศแหล่งน้ำไหลและความเชื่อมโยงกับระบบนิเวศป่า ในบริบทของกรอบแนวคิดและกระบวนการที่ค้น Energy/carbon flow

1.2.4 เพื่อพัฒนาและทดสอบกระบวนการและวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการประเมินลักษณะทางอุทกและนิเวศของระบบนิเวศแหล่งน้ำไหล

1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

การศึกษาวิจัยภายใต้โครงการนี้ มีขอบเขตหลักๆ ดังนี้

1.3.1 สำรวจและตรวจวัดลักษณะทางอุทกวิทยา คุณภาพน้ำ ชนิดและปริมาณของสิ่งมีชีวิตชั้นปฐมภูมิ อัตราการสร้างและการทำลายอินทรีย์สารจากกระบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจ องค์ประกอบและอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ของระบบนิเวศในบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้ง 3 เขื่อนที่มีลักษณะทางกายภาพ อุทกวิทยา ภูมิอากาศ ระบบนิเวศป่า และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ในฤดูกาลฝนและฤดูแล้ง

1.3.2 พัฒนาและทดลองเครื่องมือและวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการประเมินลักษณะทางอุทกและนิเวศแหล่งน้ำไหล

1.3.3 วิเคราะห์ความเชื่อมโยงระหว่างโครงสร้างและฟังก์ชันของระบบนิเวศต้นน้ำและท้ายน้ำ และการเปลี่ยนแปลงทางด้านอุทกวิทยา อุตุณิยมวิทยาและปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการสร้างเขื่อนกั้นลำน้ำ ด้วยเทคนิคทางสถิติเชิงพหุ เช่น Principal Component Analysis, Cluster Analysis และ Spectrum Analysis ในการหาความสัมพันธ์ในเชิงเมตริกซ์ของตัวแปรร่วมหลายปัจจัย เพื่ออธิบายกลไกการเชื่อมโยงถึงสาเหตุและผลกระทบ (Cause-effect linkage) ของนิเวศ-อุทกวิทยาต้นน้ำและท้ายน้ำ

1.3.4 การศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างและหน้าที่ของระบบนิเวศต้นน้ำและท้ายน้ำ และศักยภาพของระบบต่อการหมุนเวียนของสารอินทรีย์และการดูดซับ/ปลดปล่อยก๊าซคาร์บอน รวมถึงการประเมินแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์และการเปลี่ยนแปลงสภาพสิ่งแวดล้อม รวมทั้งวิเคราะห์แนวทางการจัดการที่เหมาะสม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 องค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยทางด้านอุทกวิทยาและสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์และการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้าง ฟังก์ชันและกระบวนการชีวธรณีเคมีของระบบนิเวศแหล่งน้ำไหล

1.4.2 องค์ความรู้ด้านศักยภาพของระบบนิเวศแหล่งน้ำไหล ต่อการหมุนเวียนสารอินทรีย์ พลังงานและการดูดซับก๊าซคาร์บอน

1.4.3 เครื่องมือและวิธีการที่เหมาะสมในการติดตามตรวจสอบและประเมินระบบนิเวศแหล่งน้ำไหล

1.4.4 แนวทางการจัดการที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงด้านนิเวศ-อุทกวิทยาของระบบนิเวศแหล่งน้ำไหล

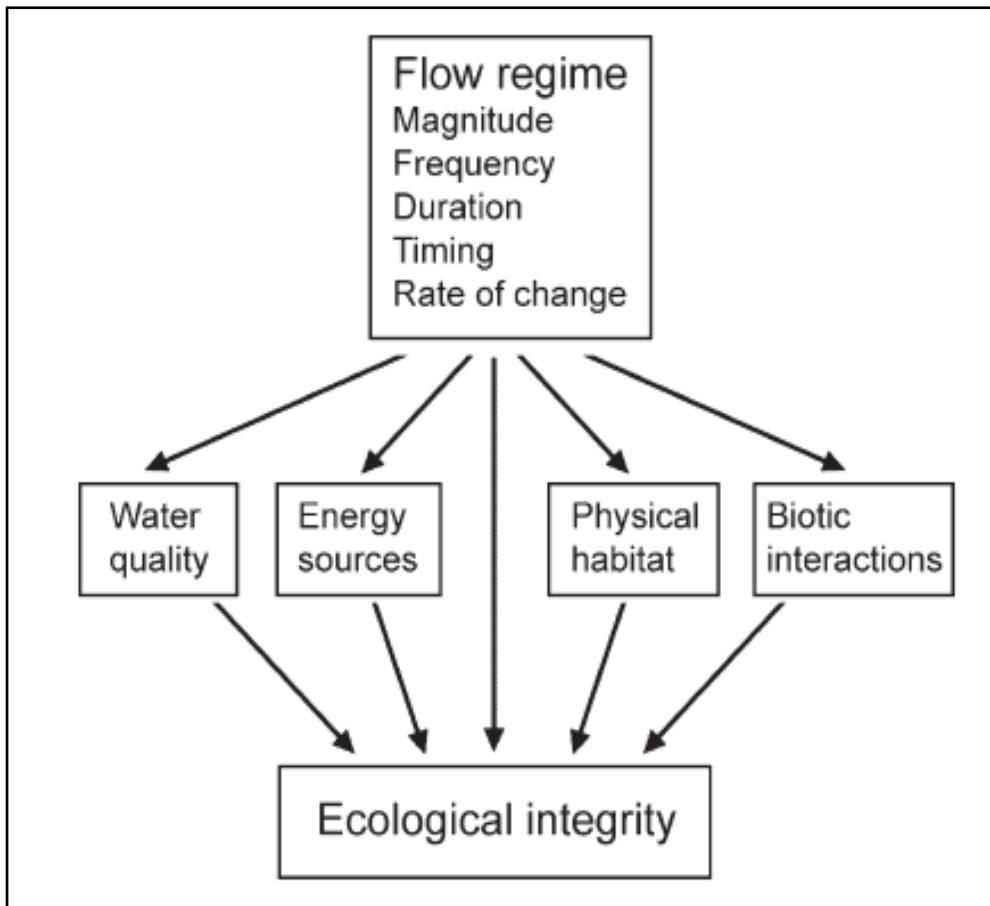
- 1.4.5 ข้อมูลพื้นฐานเพื่อขยายผลการศึกษานิเวศ-อุทกวิทยาของระบบนิเวศแหล่งน้ำไหลและพื้นที่ชุ่มน้ำในระดับประเทศ และระดับภูมิภาค
- 1.4.6 ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการกำหนดวิธีการและมาตรฐานของแหล่งน้ำไหล
- 1.4.7 ข้อมูลสำหรับการกำหนดแนวทางในการอนุรักษ์ระบบนิเวศแหล่งน้ำไหล ตลอดจนการใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืน

บทที่ 2 ทบทวนเอกสารงานวิจัย

2.1 ลักษณะทางกายภาพและการไหลของลำธารและแม่น้ำ

ลำธารและแม่น้ำ มีลักษณะทางกายภาพที่หลากหลายซึ่งค่อนข้างยากที่จะจำแนกความแตกต่างออกจากกันได้อย่างชัดเจน ยกเว้นแต่ลำธารมีขนาดเล็กกว่าแม่น้ำ โดยทั่วไป ธารน้ำไหล มีแหล่งกำเนิดจากทะเลสาบหรืออ่างเก็บน้ำ หรือเกิดขึ้นจากบริเวณตาน้ำแล้วมีการเติมน้ำจากน้ำชะทิ้งจากบนบกและพื้นดิน จากฝนหรือหิมะที่ละลาย ซึ่งการเติมน้ำจากกระบวนดังกล่าว มีความผันแปรตามฤดูกาลที่ส่งผลโดยตรงต่อปริมาณน้ำและพลวัตของลำน้ำ ลักษณะของทางน้ำไหลนั้น ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของพื้นดิน ความลาดชันและปัจจัยทางกายภาพอื่นๆ โดยการไหลตามธรรมชาติของลำธาร มักถูกกำหนดโดยภูมิอากาศ ภูมิประเทศและธรณีสัณฐานของลำน้ำ (Allen and Castillo, 2007; Hauer and Lamberti, 2007) ในพื้นที่เขตร้อน ความแปรปรวนของภูมิอากาศ เป็นปัจจัยหลักที่ควบคุมลักษณะทางอุทกวิทยาและพลวัตของลำธารและแม่น้ำ (Dudgeon, 2008) นอกจากนี้ ความเร็วของกระแส น้ำ ยังเป็นอีกหนึ่งปัจจัยทางกายภาพที่มีความสำคัญต่อความแปรปรวนของธารน้ำซึ่งขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง ความลาดชันของทางน้ำ ความขรุขระของพื้นที่ท้องน้ำ ความลึกและปริมาณฝน ระบบการไหลของลำธาร แสดงลักษณะ 5 ประการในบริบทการระบายของน้ำ คือ ระดับความรุนแรง เวลา ความถี่ ระยะเวลา และอัตราการเปลี่ยนแปลงการไหล (Poff et al., 1997)

เป็นที่ประจักษ์จากหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ว่า ระบบการไหลของลำธารและแม่น้ำ มีบทบาทอย่างสูงต่อความหลากหลายทางชีวภาพและความสมบูรณ์ของระบบนิเวศ (Poff et al., 1997; Hart and Finelli, 1999; Bunn and Arthington, 2002) ทั้งนี้ องค์ประกอบเชิงบูรณาการด้านโครงสร้างและฟังก์ชันของระบบนิเวศธารน้ำไหล มักเกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างพลวัตของการไหลและอินทรีย์สารที่มีแหล่งกำเนิดจากกระบวนการชีวภาพ (Hauer and Lamberti, 2007) การไหลในลำธาร ถูกมองว่าเป็น ‘Mestro’ (Walker et al., 1995) หรือตัวแปรหลัก (Power et al., 1995) ที่กำหนดลักษณะทางอุทกวิทยาและนิเวศขั้นพื้นฐานหลายประการของระบบนิเวศแหล่งน้ำไหล (รูปที่ 2.1) จากมุมมองทางนิเวศขั้นพื้นฐาน เหตุการณ์สภาวะรุนแรง เช่น ความแปรปรวนของระดับการไหลของน้ำที่สูงและต่ำ ส่งผลกระทบบที่แตกต่างกันต่อการดำรงอยู่ของประชากรแต่ละชนิด (Resh et al., 1988; Hart and Finelli, 1999) โดยทั่วไป ระบบการไหลของลำน้ำมีลักษณะที่แตกต่างกันตามภูมิภาค ซึ่งเป็นผลลัพธ์จากการตอบสนองต่อภูมิอากาศและการควบคุมปริมาณน้ำทำโดยพื้นที่รับน้ำ จากผลการศึกษาจำนวนไม่น้อยในช่วงที่ผ่านมา ได้ช่วยสร้างความเข้าใจขั้นพื้นฐานเชิงวิทยาศาสตร์ต่อรูปแบบการเปลี่ยนแปลงการไหลของลำน้ำ ที่โน้มน้าวให้ระบบนิเวศตอบสนองที่หลากหลาย (Bunn and Arthington, 2002) ซึ่งเป็นปัจจัยคุกคามประการสำคัญต่อความหลากหลายทางชีวภาพ และฟังก์ชันของลำธารและแม่น้ำในระดับภูมิภาคและระดับโลก (Nilsson et al., 2005; Dudgeon et al., 2006; Poff et al., 2007)

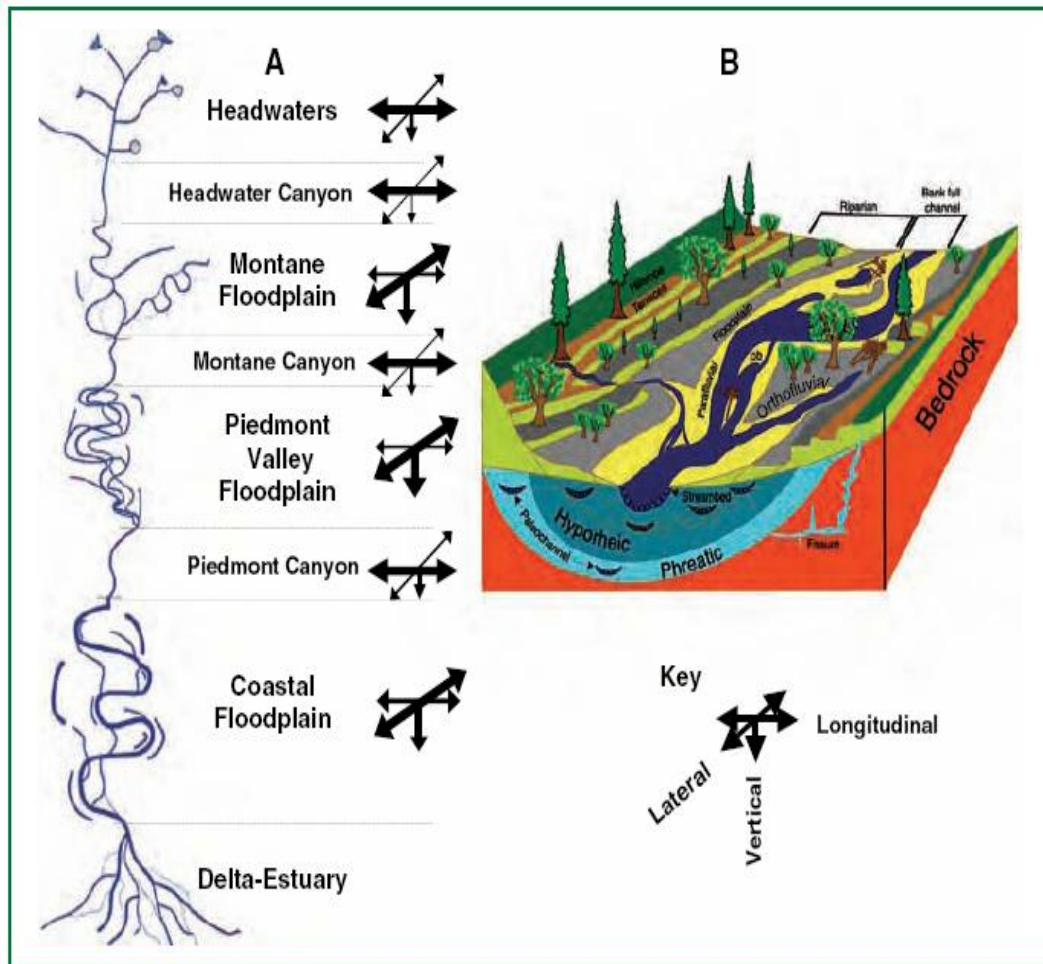


รูปที่ 2.1 บทบาทและความสำคัญของระบบการไหลของน้ำต่อพลวัตและความสมบูรณ์ของระบบนิเวศแหล่งน้ำไหล ที่มา: Allen and Castillo, 2007 ดัดแปลงมาจาก Poff et al., 1997

ธารน้ำไหล มีลักษณะเฉพาะด้านอุทก-นิเวศที่แตกต่างกันหลายประการ เช่น ลักษณะสีของน้ำที่บ่งชี้ถึงความเข้มข้นของอินทรีย์สาร ห่วงโซ่อาหารและแหล่งพลังงานหลักของระบบ เช่น ห่วงโซ่อาหารของธารน้ำไหลที่ปกคลุมไปด้วยป่า มักได้รับอินทรีย์สารสำหรับแหล่งอาหารจากใบไม้ร่วงในช่วงฤดูใบไม้ร่วง ขณะที่แพลงก์ตอนพืชแบบเกาะติด เป็นแหล่งอาหารที่สำคัญสำหรับลำน้ำแบบเปิดที่ตื้นและพื้นที่องน้ำเป็นก้อนหิน ระบบของลำธารและแม่น้ำ ณ จุดใดจุดหนึ่ง มีลักษณะที่เชื่อมต่อกับสิ่งแวดล้อมโดยรอบใน 4 มิติ (รูปที่ 2.2) ความต่อเนื่องและเชื่อมต่อของลำธารและแม่น้ำจากต้นน้ำถึงท้ายน้ำเป็นมิติเชิงแนวนอน สำหรับมิติแนวตั้งเป็นส่วนการเชื่อมต่อระหว่างลำธารและพื้นดินชายฝั่งทั้งสองด้าน

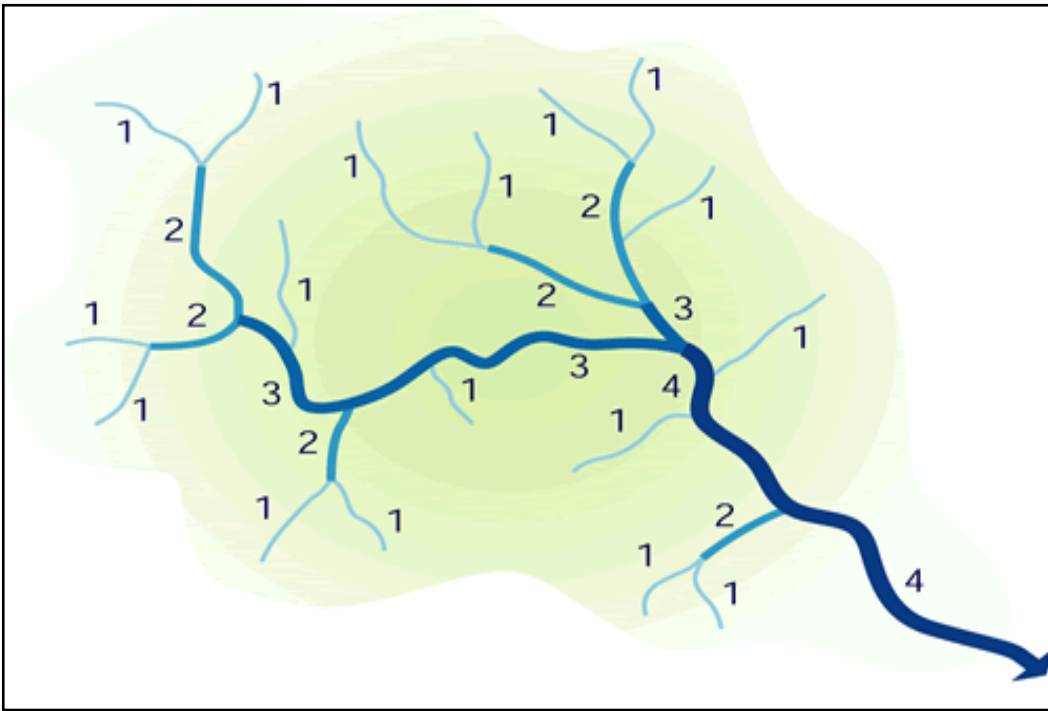
ลำธารและแม่น้ำ รวมทั้งภูมิตศนริมน้ำและพื้นที่รับน้ำโดยรอบ มักประกอบกันเป็นโครงข่ายลำดับชั้น (Nested hierarchy) ตามขนาดของลำน้ำ ธารน้ำขนาดเล็กสุดที่มีน้ำไหลตลอดทั้งปี จะถูกเรียกว่า ลำน้ำลำดับชั้นที่หนึ่ง (First order) ในขณะที่ธารน้ำขนาดเล็กสุดหรือธารน้ำขนาดใหญ่ขึ้นมาบรรจบรวมกัน ก่อเกิดเป็นลำน้ำลำดับชั้นที่สองและสามหรือลำน้ำขนาดใหญ่ ตามลำดับ (รูปที่ 2.3) การพิจารณาระบบนิเวศแหล่งน้ำไหลในรูปโครงข่ายที่เชื่อมต่อกันอย่างเป็นระบบตามลำดับชั้นของอนุกรมหน่วยเล็กๆ นั้น เป็นกรอบเชิงปฏิบัติการที่มีประโยชน์ต่อการวิเคราะห์รูปแบบและกระบวนการของระบบนิเวศธารน้ำไหล (Frissell et al., 1986) สเกลขนาดใหญ่ที่สุดในบริบทของระบบนิเวศแหล่งน้ำไหล คือ กลุ่มน้ำและพื้นที่รับน้ำ ส่วนลำน้ำจะเชื่อมต่อระหว่างต้นน้ำและท้ายน้ำ รวมทั้งลำธารสาขา โดยแต่ละลำน้ำยังคงประกอบด้วยโครงสร้างทางกายภาพและลักษณะของระบบนิเวศในส่วนย่อยๆ เช่น

Segment system, Reach system, Pool/riffle system และ Microhabitat system (รูปที่ 2.4) จากมุมมองของลำธารและแม่น้ำเชิงโครงสร้างที่เชื่อมต่อกันอย่างเป็นระบบตามลำดับชั้นนั้น เน้นให้เห็นภาพกระบวนการในระดับสูงของระบบหรือต้นน้ำ/ลำน้ำลำดับชั้นต้นๆ ควบคุมรูปร่างหน้าตาที่ปรากฏในระดับล่างของระบบหรือท้ายน้ำ/ลำน้ำลำดับชั้นที่สูงขึ้น ทั้งนี้ ภูมิอากาศ แหล่งของน้ำไหล ธรณีวิทยา และลักษณะของพื้นที่ เป็นปัจจัยควบคุมที่สำคัญต่อลุ่มน้ำและพัฒนาการของโครงข่ายลำน้ำสาขา ที่กำหนดขอบเขตการปฏิสัมพันธ์เชิงกระบวนการ ธรณีสัณฐานของลำธารและแม่น้ำ

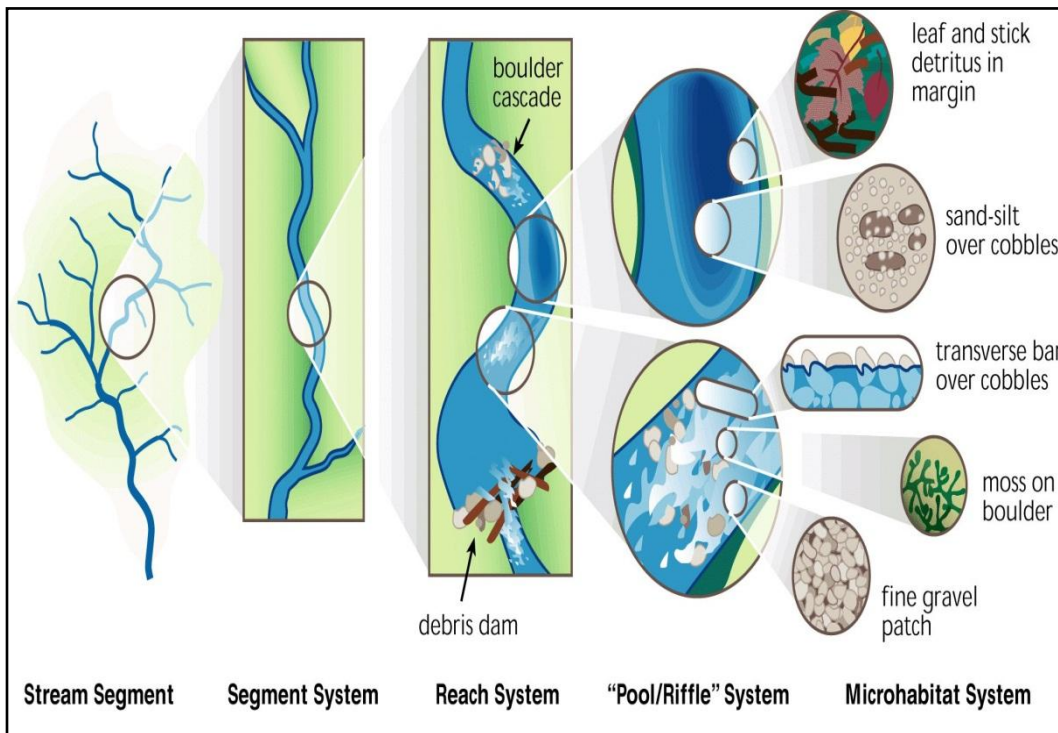


รูปที่ 2.2 ลักษณะของระบบธารน้ำไหลที่เชื่อมต่อและปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมใกล้เคียงใน 4 มิติ
ที่มา: Hauer and Lamberti, 2007

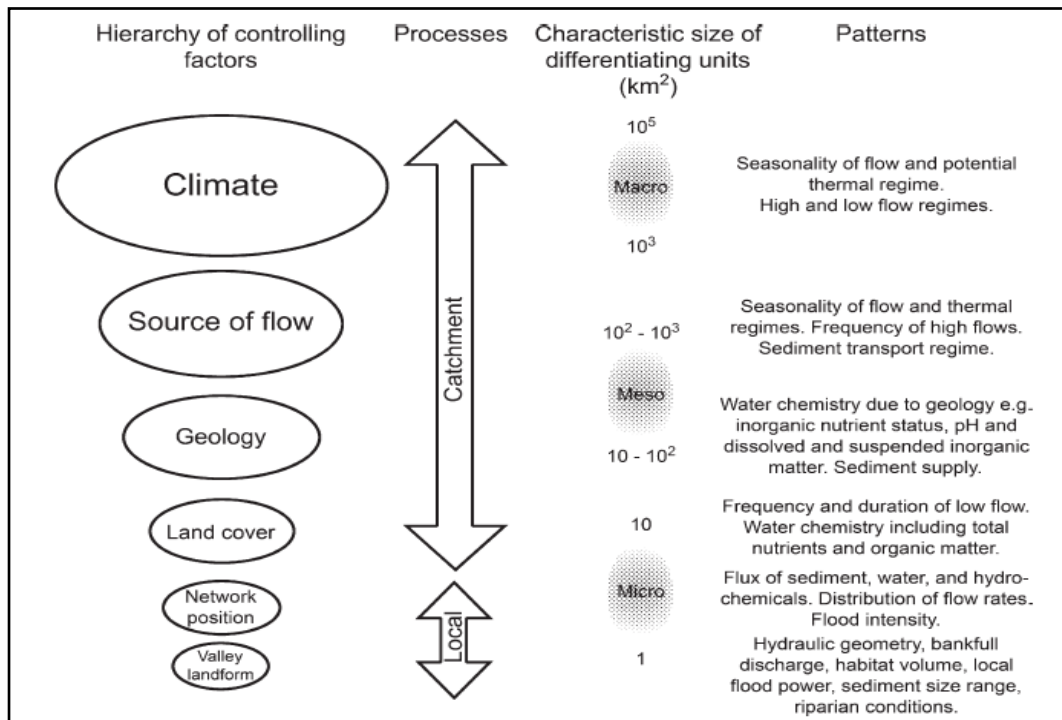
ในบริบทความแปรปรวนเชิงพื้นที่แล้ว ลำธารและแม่น้ำ ถูกกำหนดโดยปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมที่ควบคุมทุกแง่มุมของลักษณะทางกายภาพของลำน้ำ ซึ่งแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่แต่สามารถจัดระบบลำดับชั้นตามสเกลของเชิงพื้นที่ (Snelder and Biggs, 2002) โดยภูมิอากาศ ภูมิประเทศ ธรณีวิทยาและพืชปกคลุมดิน ล้วนเป็นปัจจัยที่ควบคุมในสเกลเชิงพื้นที่ที่แตกต่างกัน คือ ตั้งแต่สเกลขนาดเล็ก (Macroscale) ถึงสเกลขนาดกลาง (Mesoscale) ของลุ่มน้ำและพื้นที่รับน้ำ (รูปที่ 2.5)



รูปที่ 2.3 โครงข่ายตามลำดับชั้น (Nested hierarchy) ตามขนาดของลำน้ำ ภายในพื้นที่รับน้ำลำดับที่สี่
 ที่มา: Stream Corridor Restoration www.usda.gov/stream_restoration



รูปที่ 2.4 โครงข่ายตามลำดับชั้น (Nested hierarchy) ตามขนาดของลำน้ำ และลักษณะทางกายภาพ
 อุทก-นิเวศของระบบในส่วนย่อยๆ
 ที่มา: Frissell et al., 1986



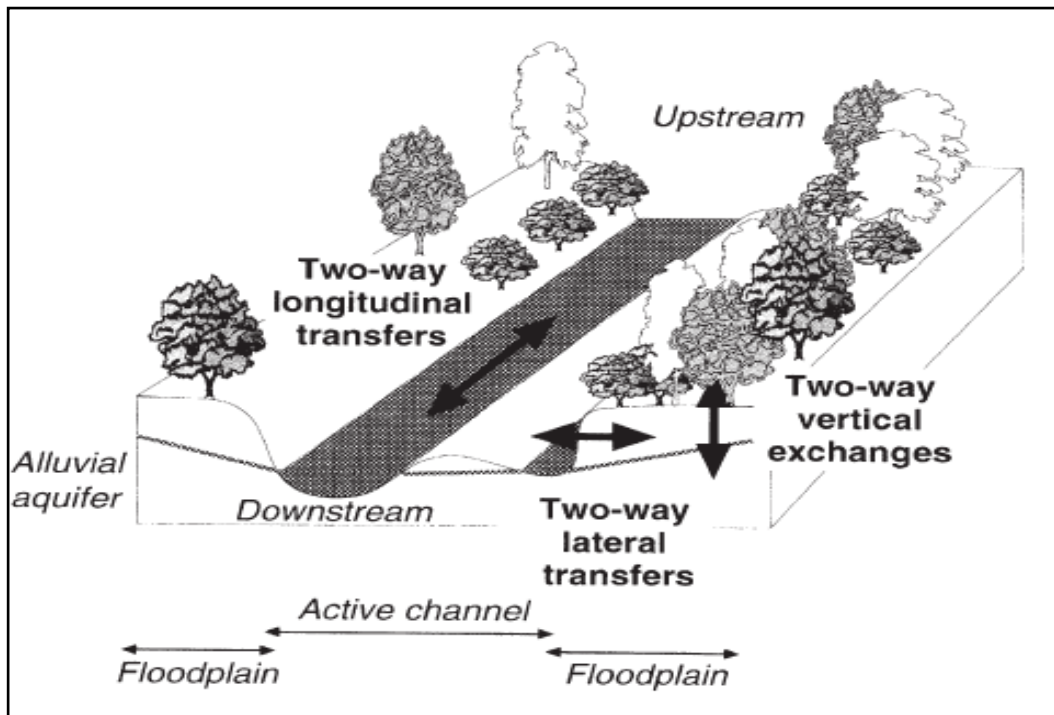
รูปที่ 2.5 ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมที่กำหนดและควบคุมทุกแง่มุมของลักษณะทางกายภาพของลำน้ำ ซึ่งจัดระบบลำดับขั้นตามสเกลของเชิงพื้นที่

ที่มา: Snelder and Biggs, 2002

2.2 ลักษณะทางนิเวศของธารน้ำไหล

ระบบนิเวศธารน้ำไหล (Fluvial ecosystem) เป็นระบบที่บูรณาการระหว่างสิ่งมีชีวิตและปฏิสัมพันธ์เชิงนิเวศกับทุกกระบวนการทางกายภาพและเคมี ซึ่งมีส่วนสำคัญในการกำหนดฟังก์ชันของระบบ (Cummins, 1974; Vannote et al., 1980; Minshall et al., 1985; Allen and Castillo, 2007) ระบบนิเวศทุกระบบมีการแลกเปลี่ยนสสารและพลังงานกับสภาพโดยรอบ แต่ระบบนิเวศธารน้ำไหล มีลักษณะพิเศษ กล่าวคือ เป็นระบบเปิดที่เชื่อมต่อและแลกเปลี่ยนพลัซกกับระบบอื่นๆ ทั้งสัมพันธ์ในแนวนอน แนวตั้งและแนวตั้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับระบบนิเวศป่าชายฝั่งลำน้ำ (Riparian zone) และพื้นที่ราบน้ำท่วมถึง (Floodplain) (Wallace et al., 1997; Cummins, 2002; Piégay and Schumm, 2003; Hauer and Lamberti, 2007) (รูปที่ 2.6)

พลังงานสำหรับประชาคมสิ่งมีชีวิตในห่วงโซ่อาหารของระบบนิเวศธารน้ำไหล ส่วนใหญ่มาจาก 2 แหล่งหลักๆ คือ 1) ผู้ผลิตขั้นปฐมภูมิภายในลำธาร เช่น แพลงก์ตอนพืช ไดอะตอม เป็นต้น (Odum, 1956; Bott, 2007) และ 2) สารอินทรีย์จากพื้นที่โดยรอบ เช่น ใบไม้ร่วง เศษซากของพืชและสัตว์ที่ถูกชะล้างลงสู่ลำน้ำ ในขณะที่แบคทีเรียและราในฐานะผู้ย่อยสลาย เป็นผู้บริโภคขั้นต้นของสารอินทรีย์ ซึ่งช่วยสร้างความสมบูรณ์ของห่วงโซ่อาหารแก่ผู้บริโภคในลำดับถัดไป (Amon and Benner, 1996; Pozo et al., 1997; Webster and Meyer, 1997; Findlay and Sinsabaugh, 1999)



รูปที่ 2.6 ระบบนิเวศธารน้ำไหลกับการเชื่อมต่อกับระบบอื่นๆ ทั้งในแนวนอน แนวตั้งและแนวตั้ง
ที่มา: Allen and Castillo, 2007 ดัดแปลงมาจาก Piégay and Schumm, 2003

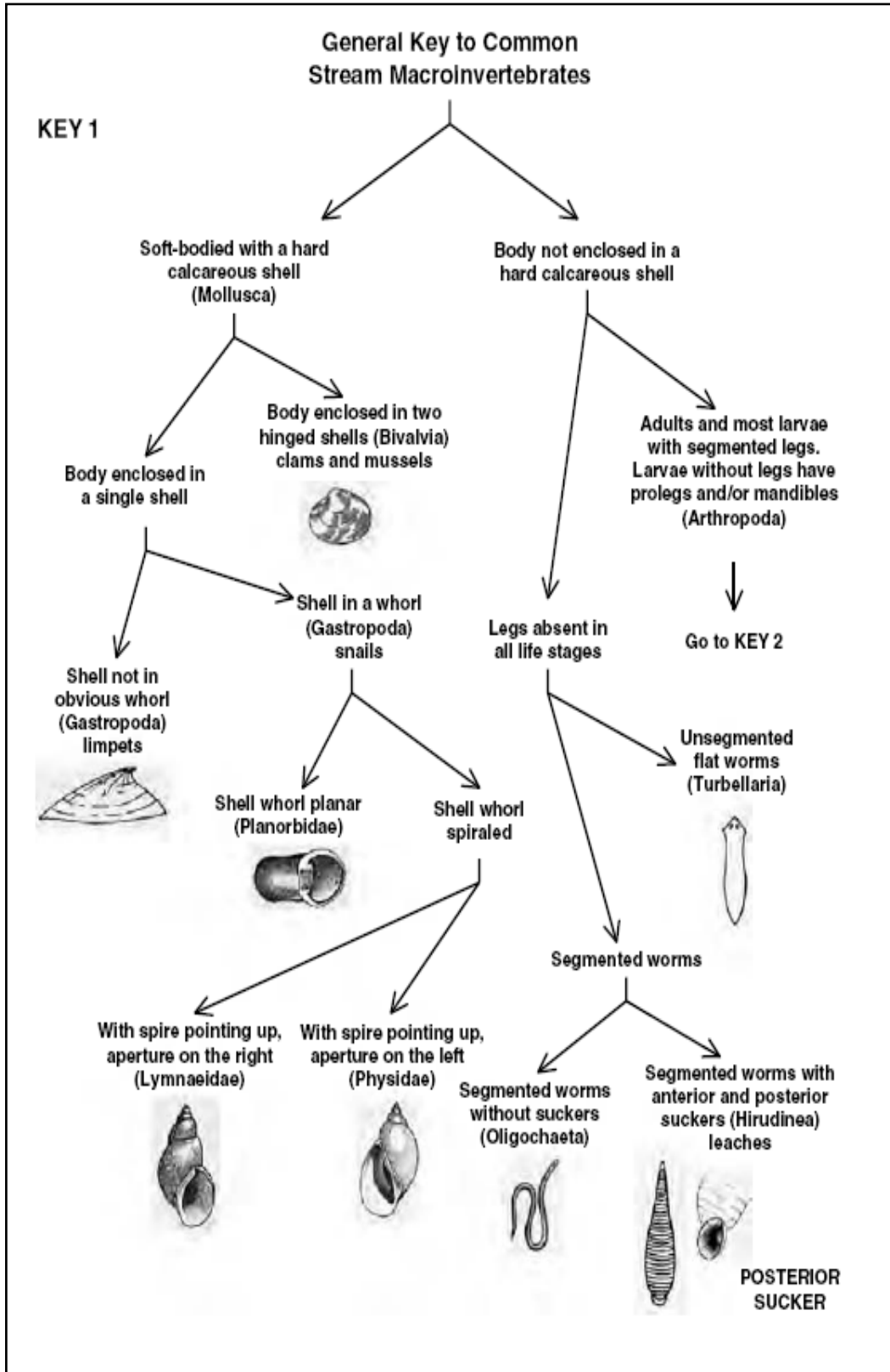
โดยทั่วไป ลำธารรับสารอินทรีย์จากต้นน้ำและบริเวณด้านข้างของลำน้ำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะทางธรรมชาติของระบบนิเวศป่าชายฝั่งลำน้ำ และการเชื่อมต่อกับพื้นที่ราบน้ำท่วมถึง พลังงานส่วนใหญ่สำหรับลำน้ำในบริเวณต้นน้ำที่ปกคลุมไปด้วยป่า และลำธารที่มีพื้นที่ราบน้ำท่วมถึงขนาดใหญ่ มาจากแหล่งภายนอกหรือที่เรียกว่า Allochthous source (Minshall, 1967; Webster et al., 1999; Aitkenhead-Peterson et al., 2003) ส่วนธารน้ำไหลที่พื้นที่ท้องน้ำเป็นก้อนหินและเปิดรับแสงอาทิตย์ พลังงานส่วนใหญ่ผลิตภายในระบบโดยสิ่งมีชีวิตชั้นปฐมภูมิหรือเรียกว่า Autochthonous source (Duncan and Brusven, 1985; Thorp and DeLong, 2002; Bertilsson and Jones, 2003; Bott, 2007) ตามลักษณะทางธรรมชาติแล้ว พลังงานในห่วงโซ่อาหารของลำธารและแม่น้ำ จะเป็นส่วนผสมเชิงซ้อนระหว่าง Allochthous และ Autochthonous (Huxel et al., 2002)

เพื่อปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมทางกายภาพ สิ่งมีชีวิตของระบบนิเวศธารน้ำไหล แสดงลักษณะจำเพาะในแง่ความสามารถในการรวบรวมอาหารและรูปแบบการกิน ซึ่งถูกกำหนดโดยแหล่งอาหารและแหล่งที่อยู่ (Cummins and Klung, 1979; Steinman, 1996; Bott and Borchardt, 1999) สัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ของระบบนิเวศธารน้ำไหล รวมทั้งแมลง กุ้ง หอยและสิ่งมีชีวิตในอนุกรมวิธานอื่นๆ ถูกจัดกลุ่มตามฟังก์ชันการกินอาหาร บนพื้นฐานรูปแบบการรวบรวมและชนิดของอาหาร (Boyero and Bailey, 2001) รูปที่ 2.7 แสดงกลุ่มหลักๆ ของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่พบในระบบนิเวศธารน้ำไหล (Hauer and Resh, 2007) สิ่งมีชีวิตกลุ่ม Grazer-Scraper บริโภคแพลงก์ตอนพืชแบบเกาะติด โดยการขูดจากพื้นท้องน้ำและผิวพื้นของก้อนหิน ส่วนสิ่งมีชีวิตกลุ่ม Collector หรือ Filter ได้รับอาหารที่เป็นซากสิ่งมีชีวิตและตะกอนอินทรีย์ที่มีขนาดเล็กจากการสลายตัวของใบไม้และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ (Wallace and Meritt, 1980; Alvarez and Peckarsky, 2005) Cummins and Klung (1979) ได้สรุป Functional feeding group ของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ในระบบนิเวศธารน้ำไหล รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1 ประชาคมสิ่งมีชีวิตของระบบนิเวศธารน้ำไหล ประกอบขึ้นจากสิ่งมีชีวิตที่ปรับตัวต่อปัจจัยแวดล้อมซึ่งประกอบด้วยสภาพแวดล้อมทางกายภาพและแหล่งอาหาร ซึ่งถูกกล่อมเกล่าเพิ่มเติมผ่านกระบวนการ

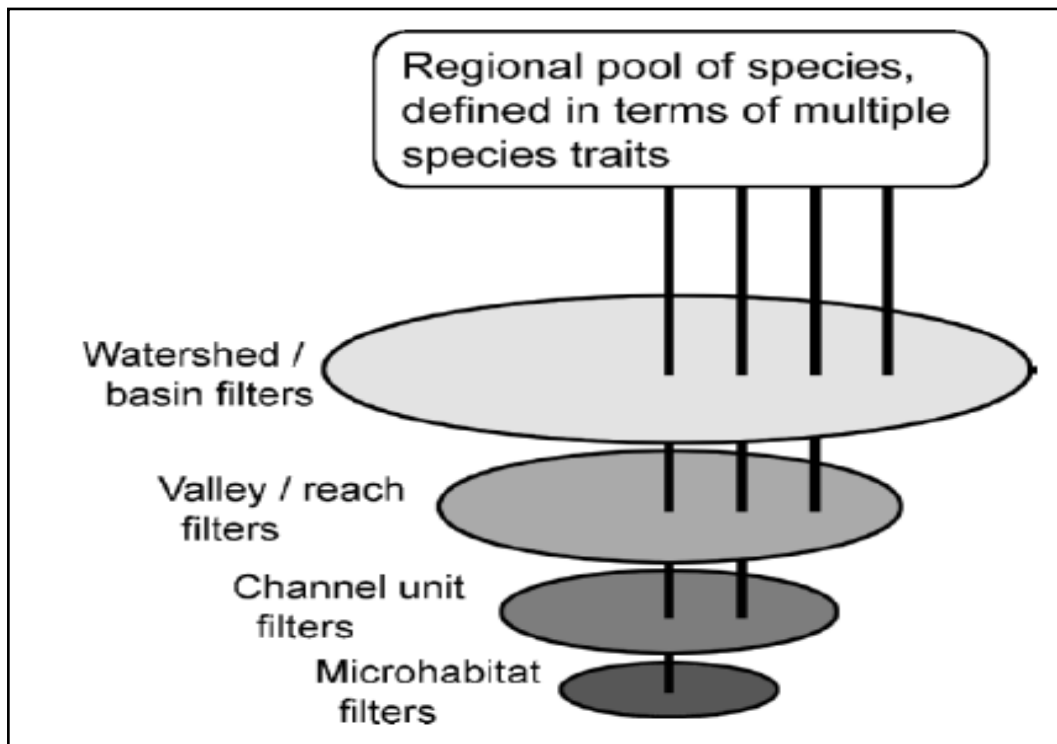
ปฏิสัมพันธ์กับสิ่งมีชีวิตอื่นๆ เช่นเดียวกันกับปรากฏการณ์ในสเกลขนาดใหญ่ของภูมิอากาศ พืชปกคลุมดินและธรณีวิทยา ที่มีอิทธิพลต่อรูปพรรณสัณฐานทางกายภาพและเคมีของลำธารที่มีสเกลขนาดเล็ก โครงข่ายปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม ยังมีบทบาทสำคัญต่อความหลากหลายชนิดของสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะจำเพาะเฉพาะถิ่น (Poff, 1997) (รูปที่ 2.8) ชนิดที่สามารถรวมกันเป็นกลุ่มและอยู่รอดภายในเครือข่ายของลำธารใดลำธารหนึ่งได้โดยเฉพาะ คือ กลุ่มสิ่งมีชีวิตที่ปรากฏภายในพื้นที่ที่สามารถทนทานต่อสภาวะอุทกวิทยาและความร้อน ตลอดจนคุณสมบัติทางเคมีของน้ำ นอกจากนี้ การปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดของสิ่งมีชีวิต ยังเป็นตัวกรองเพิ่มเติมที่ทรงพลัง เมื่อเกิดภาวะขาดแคลนแหล่งอาหาร โดยชนิดใดชนิดหนึ่ง แย่งแย่งเพื่อแทนที่ชนิดอื่นได้โดยสมบูรณ์

ตารางที่ 2.1 สรุป Functional feeding groups ของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ในระบบนิเวศธารน้ำไหล
ที่มา: Cummins and Klung, 1979

Feeding role	Food resource	Feeding mechanism	Examples
Shredder	Nonwoody CPOM, primarily leaves and associated microbiota	Chewing and mining	Several families of Trichoptera, Plecoptera, Crustacea
Filter-collectro/suspension feeder	FPOM and microbiota	Collect particles using setae, specialized filtering apparatus, or nets and secretions	Net-spinning Trichoptera, Simuliidae and other Diptera
Collector-gatherer/deposit feeder	FPOM and microbiota	Collect surface deposit, browse on amorphous material, burrow in soft sediments	Many Ephemeroptera, Chironomidae and Ceratopogonidae
Grazer	Periphyton	Scraping, rasping and browsing adaptations	Several families of Ephemeroptera, and Trichoptera, some Diptera, Lepidoptera and Coleoptera
Predator	Animal prey	Biting and piercing	Odonata, Megaloptera, some Plecoptera, Trichoptera, Diptera and Coleoptera



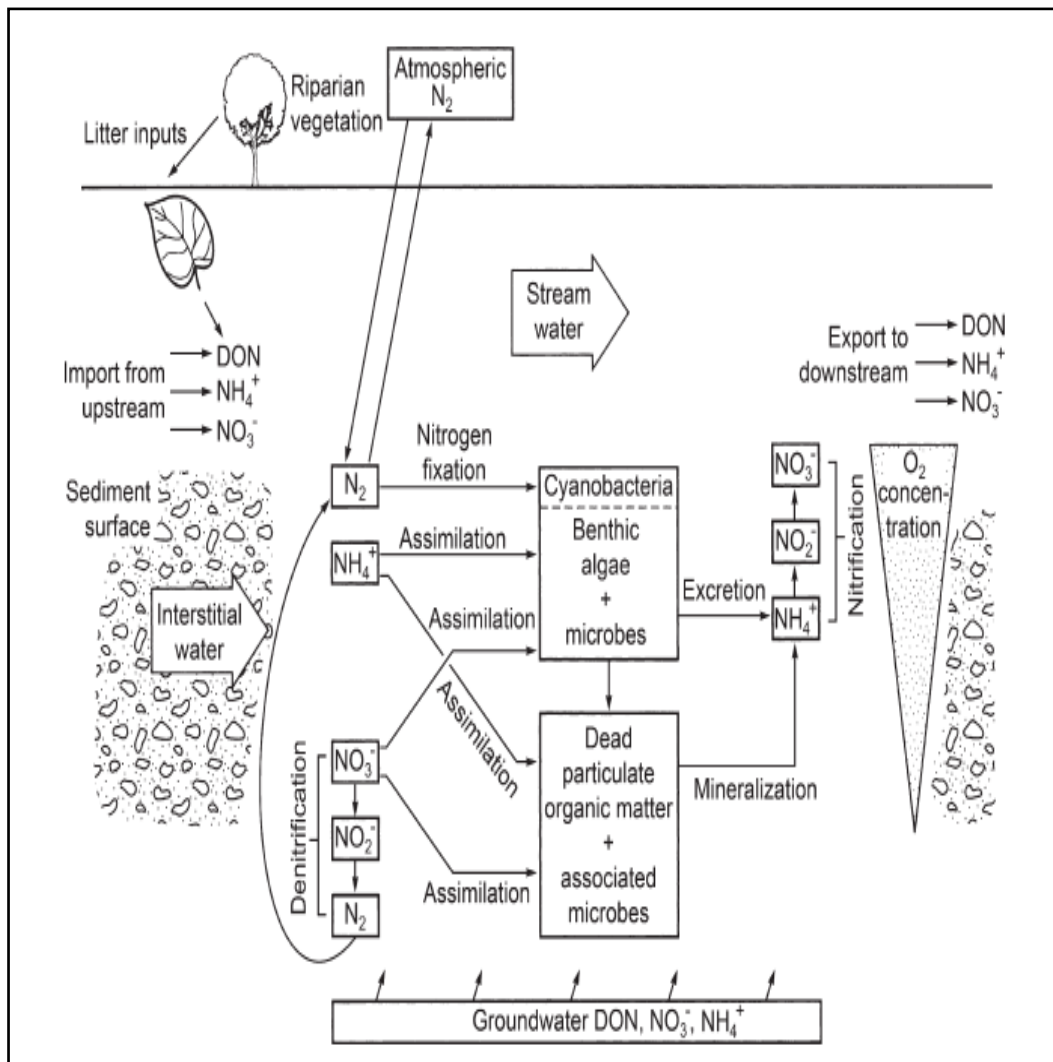
รูปที่ 2.7 แสดงกลุ่มหลักๆ ของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่พบในระบบนิเวศธารน้ำไหล
ที่มา: Hauer and Lamberti, 2007



รูปที่ 2.8 แสดงจำนวนและชนิดของสิ่งมีชีวิต ณ จุดใดจุดหนึ่งที่สะท้อนถึงคุณสมบัติที่ปรากฏในแง่ลำดับชั้นในห่วงโซ่อาหาร ที่อยู่อาศัย ชีวประวัติ เป็นต้น ซึ่งสามารถถ่ายทอดผ่านตัวกรองเชิงซ้อนของทั้งสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิต ณ สเกลเชิงพื้นที่ที่จัดเรียงตามลำดับชั้น

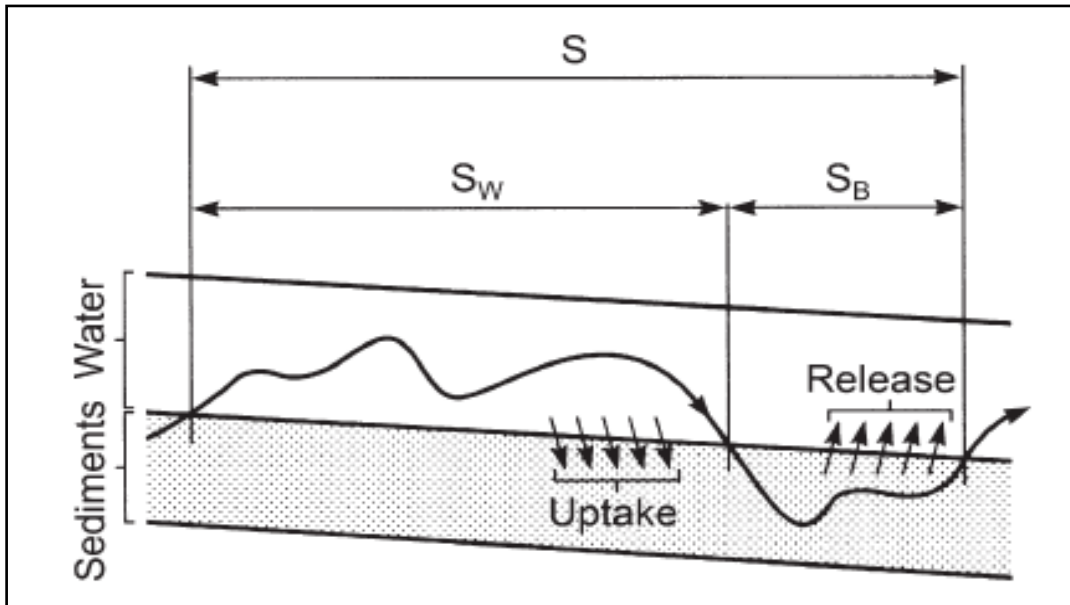
ที่มา: Poff, 1997

อีกนัยหนึ่งเมื่อพิจารณาในเชิงโครงสร้างแล้ว ระบบนิเวศธารน้ำไหล ประกอบด้วย ลักษณะทางอุทกวิทยา ความหลากหลายของที่อยู่อาศัย สารละลาย ตะกอนและสิ่งมีชีวิต โดยกระบวนการและคุณสมบัติบางประการ อาจปรากฏในระดับนิเวศทั้งระบบ ซึ่งรวมถึงการหมุนเวียนของพลังงาน วัฏจักรของคาร์บอนและธาตุอาหาร เช่น ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ตลอดจนแหล่งกำเนิด กระบวนการและการลำเลียงวัตถุจากต้นน้ำสู่ท้ายน้ำหรือทะเล (Cummins, 1974; Borhardt, 1996; Dodds and Welch, 2000) แหล่งน้ำไหล ไม่เพียงมีส่วนเชื่อมโยงที่สำคัญกับวัฏจักรของน้ำเท่านั้น แต่ยังเป็นระบบนิเวศที่ใช้ธาตุที่นำกลับมาใช้ใหม่ผ่านทางกระบวนการชีวภาพอีกด้วย (Leopold et al., 1964) วัฏจักรของธาตุอาหาร ในระบบนิเวศแหล่งน้ำไหล เริ่มจากสารอนินทรีย์ถูกเปลี่ยนเป็นรูปอินทรีย์ในส่วนเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตและถูกส่งผ่านในห่วงโซ่อาหารตามลำดับ ซึ่งสุดท้ายถูกย่อยสลายกลับเป็นสารอนินทรีย์โดยผู้ย่อยสลาย (Vanni, 2002; Vanni et al., 2002) ตัวอย่างวัฏจักรของธาตุอาหารในรูปไนโตรเจน แสดงในรูปที่ 2.9 (Allen and Castillo, 2007)

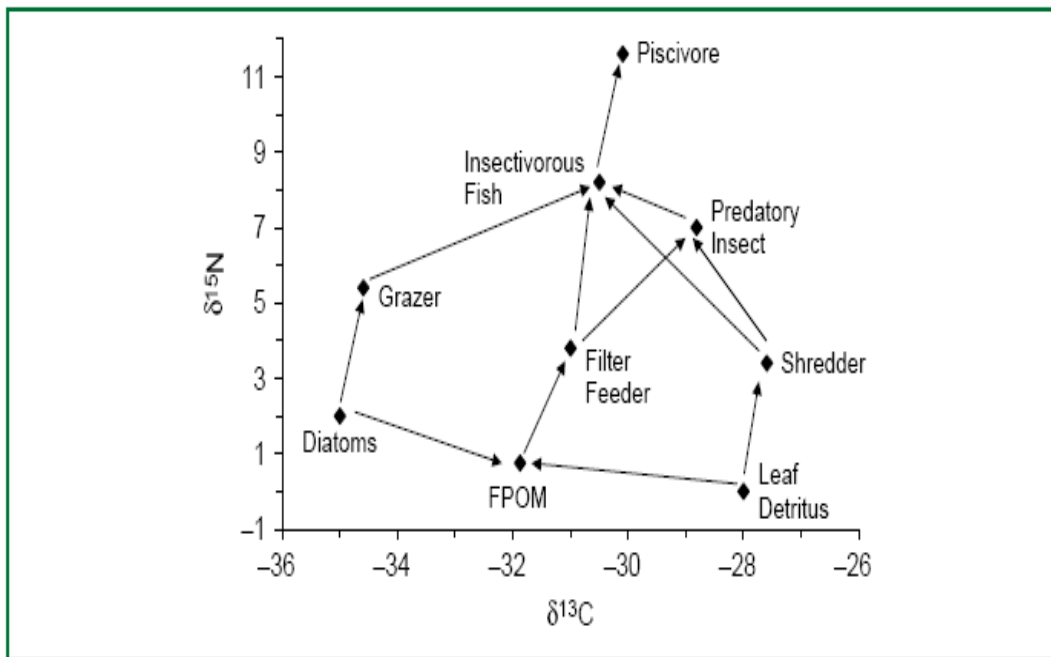


รูปที่ 2.9 แสดงวัฏจักรไนโตรเจนในระบบนิเวศธารน้ำไหล
ที่มา: Allen and Castillo, 2007

ในระบบแหล่งน้ำไหล การลำเลียงสู่ท้ายน้ำเกิดขึ้นทั้งในรูปอนินทรีย์และอินทรีย์ การดูดซับและปลดปล่อยธาตุอาหารในลำน้ำเกิดควบคู่กับการลำเลียง ทำให้วัฏจักรมีลักษณะแบบเกลียว โดยระยะทางแต่ละเกลียว เรียกว่า Uptake length คือ ผลรวมของระยะทางที่ธาตุอาหารเดินทางในรูปของอนินทรีย์ละลายน้ำ ส่วนระยะทางที่ใช้ในส่วนเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตก่อนที่จะย่อยสลายและกลับสู่ชั้นน้ำ เรียกว่า Turnover length (Newbold et al., 1981; Newbold, 1992) (รูปที่ 2.10) โดยการหมุนเวียนของธาตุอาหารในองค์ประกอบต่างๆ ของระบบนิเวศ จะถูกส่งผ่านตามลำดับขั้นในห่วงโซ่อาหาร ซึ่งสามารถนำมาสังเคราะห์และจัดทำโครงสร้างของระบบนิเวศหรือห่วงโซ่อาหาร ได้ด้วยเทคนิคทางไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจน (Hershey et al., 2007) (รูปที่ 2.11)



รูปที่ 2.10 ชลศาสตร์และพลวัตการดูดซับและปลดปล่อย รวมทั้งการลำเลียงธาตุอาหารในลำน้ำ
ที่มา: Newbold, 1992



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างไดอะแกรมของค่าไอโซโทปเสถียรคาร์บอน ($\delta^{13}\text{C}$) และไนโตรเจน ($\delta^{15}\text{N}$) ในองค์ประกอบต่างๆ
ของห่วงโซ่อาหารในลำน้ำ โดยลูกศร แสดงถึงการส่งผ่านของธาตุอาหารระดับหนึ่งไปสู่อีกระดับหนึ่งใน
ห่วงโซ่อาหาร ซึ่งมีสัดส่วนประมาณ 3.4 per mil สำหรับไนโตรเจน และ 0.4 per mil สำหรับ
คาร์บอน

ที่มา: Hershey et al., 2007

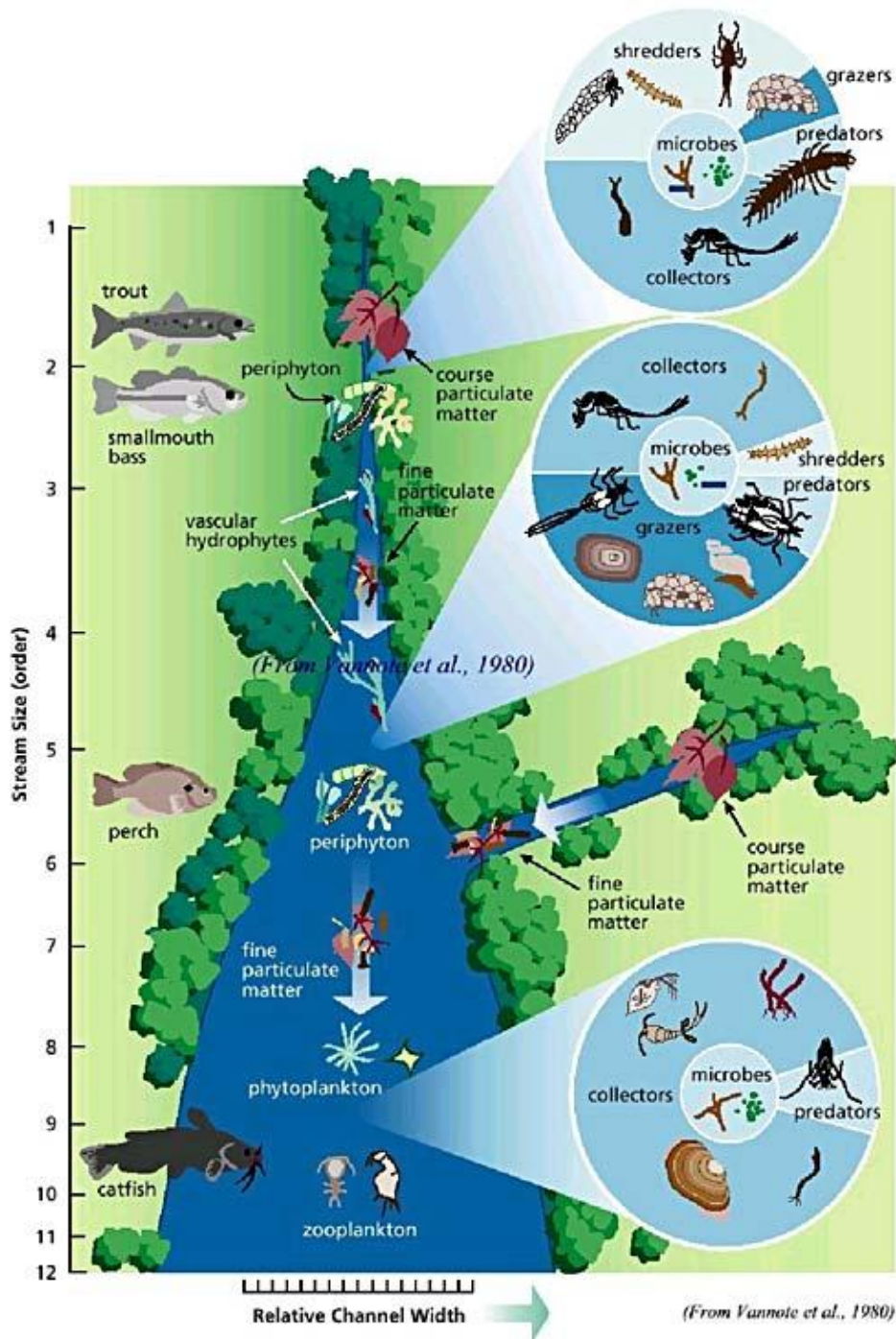
2.3 แนวคิด River Continuum Concept (RCC)

Vannote et al. (1980) ได้พัฒนาและเสนอแนวคิด 'River Continuum Concept' ซึ่งบูรณาการลำดับขั้นของลำธาร แหล่งพลังงาน ห่วงโซ่อาหารและธาตุอาหาร เป็นโมเดลเชิงแนวนอนของระบบนิเวศทางน้ำไหล เพื่ออธิบายรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของประชาคมสิ่งมีชีวิต ที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมด้านกายภาพ (รูปที่ 2.12) หรืออีกนัยหนึ่ง แนวคิด RCC พยายามอธิบายการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างและฟังก์ชันของประชาคมสิ่งมีชีวิตทางน้ำไหล ในบริบทของสถานะทางกายภาพของลำน้ำ ภูมิทัศน์ริมน้ำ รวมทั้งรูปแบบเชิงแนวนอนและการปรับเปลี่ยนแหล่งพลังงานที่เข้าสู่ระบบจากบริเวณพื้นที่ป่าเป็นพื้นที่เปิด บนพื้นฐานของ RCC ประชาคมสิ่งมีชีวิตในกลุ่มผู้ผลิตและผู้บริโภค ปรากฏในลักษณะที่กลมกลืนและสมดุลกับพลวัตทางกายภาพของลำน้ำ ซึ่งประกอบด้วย ความกว้างและความลึกของลำน้ำ ความเร็วและปริมาณของน้ำ ตลอดจนอุณหภูมิ ตัวอย่างเช่น อิทธิพลของระบบนิเวศป่าริมฝั่งลำน้ำ มีบทบาทน้อยลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่โดดเด่น ตามการเพิ่มขึ้นของขนาดลำน้ำจากต้นน้ำถึงบริเวณส่วนกลางลำน้ำ ทั้งนี้ ความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตและบริโภค (การหายใจ) สารอินทรีย์ที่แสดงในรูป P/R ratio มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ต้นน้ำถึงท้ายน้ำ โดยองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิต 4 กลุ่มหลัก คือ Shredder, Collectors, Grazer และ Predator มีการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกับชนิดและลักษณะของแหล่งอาหารตลอดลำน้ำเช่นกัน ตามแนวคิดของ River Continuum Concept ได้แบ่งลำธารและแม่น้ำ ออกเป็นสามส่วนด้วยกัน (รูปที่ 2.12) คือ

1) บริเวณต้นน้ำซึ่งเป็นลำน้ำลำดับที่ 1 ถึง 3 มีลักษณะแคบและถูกปกคลุมด้วยป่าอย่างหนาแน่น ทำให้แสงส่องถึงพื้นน้ำได้น้อย ส่งผลต่อการสร้างสารอินทรีย์ของแพลงก์ตอนพืชผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง สารอินทรีย์ส่วนใหญ่ มาจากแหล่งภายนอก (Allochthonous) โดยเฉพาะอย่างยิ่งใบไม้ร่วงและเศษใบไม้ ทำให้อัตราการหายใจหรือย่อยสลายสารอินทรีย์ดังกล่าวสูงกว่าอัตราการสังเคราะห์แสง ($P/R < 1$) สิ่งมีชีวิตในกลุ่ม Shredder มีบทบาทสำคัญในการสลายเศษใบไม้ขนาดใหญ่ โดยสารอินทรีย์มีความหลากหลายสูง (รูปที่ 2.12)

2) บริเวณส่วนกลางซึ่งเป็นลำน้ำลำดับที่ 4 ถึง 6 โครงสร้างของแม่น้ำ เช่น หินและต้นไม้มีบทบาทที่โดดเด่นต่อการสร้างสารอินทรีย์จากการสังเคราะห์ภายในลำน้ำ (Autochthonous) โดยแพลงก์ตอนพืชชนิดเกาะติดและแพลงก์ตอนพืชชนิดอื่นๆ ทำให้อัตราการสร้างสารอินทรีย์สูงกว่าอัตราการหายใจ ($P/R > 1$) Collector และ Grazer เป็นสิ่งมีชีวิตกลุ่มหลักของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ (รูปที่ 2.12)

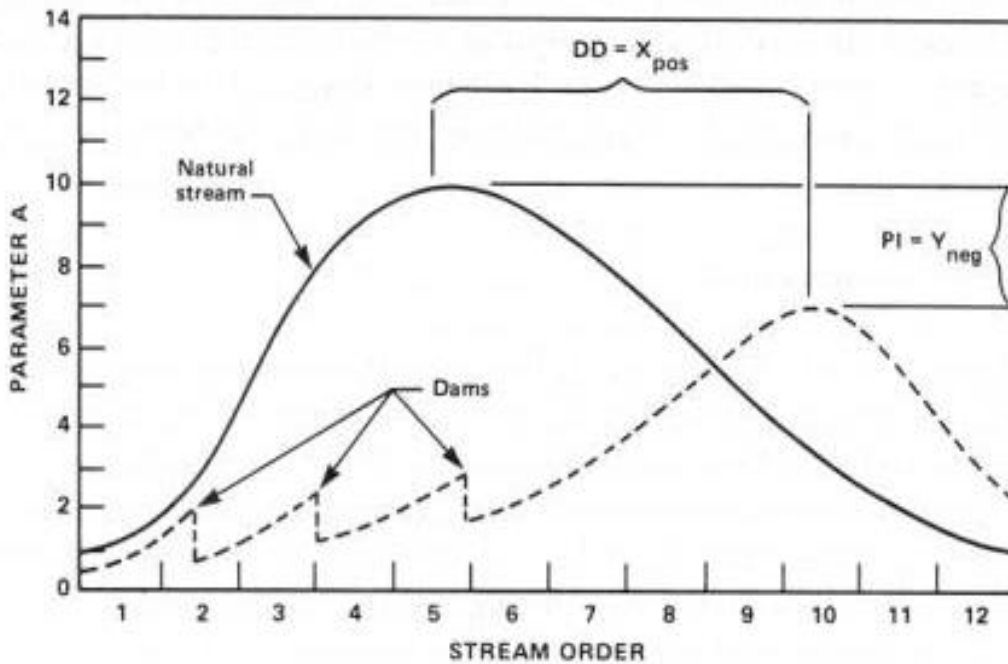
3) บริเวณท้ายน้ำซึ่งเป็นลำน้ำลำดับที่มากกว่า 6 เป็นส่วนที่มีฟลักซ์ของตะกอนแขวนลอยในปริมาณที่สูง แต่การสร้างสารอินทรีย์ด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสงกลับลดลง เนื่องจากความขุ่นของน้ำจากตะกอนแขวนลอยขนาดเล็ก เช่นเดียวกับบริเวณต้นน้ำ อัตราการหายใจหรือย่อยสลายสารอินทรีย์สูงกว่าอัตราการสังเคราะห์แสง ($P/R < 1$) โดยสิ่งมีชีวิตที่โดดเด่นส่วนใหญ่ คือ Collector (รูปที่ 2.12)



รูปที่ 2.12 แนวคิด River Continuum Concept

แม้ว่าแนวคิด RCC ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง และมีประโยชน์ต่อการสร้างความเข้าใจถึงลักษณะทางนิเวศของลำธารเพื่อการฟื้นฟูและอนุรักษ์ อย่างไรก็ตาม การประยุกต์ใช้ RCC กับสถานการณ์จริง ยังมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ เนื่องจาก RCC เป็นโมเดลที่อธิบายสถานการณ์ตามธรรมชาติเท่านั้น แต่ไม่ได้คำนึงถึงปัจจัยและกระบวนการที่ถูกรบกวนและเปลี่ยนแปลงลำน้ำ เช่น การสร้างเขื่อนกั้นลำน้ำ การเปิดพื้นที่ป่าริมฝั่งลำน้ำ การเปลี่ยนแปลงการไหลของน้ำจากเหตุการณ์ธรรมชาติและจากกิจกรรมของมนุษย์ มาพิจารณาประกอบรวมในโมเดล

นักวิจัยหลายท่าน ได้ขยายผลและต่อยอดแนวคิด RCC เพื่อเสริมความสามารถของโมเดลในการอธิบายลักษณะและเหตุการณ์ไม่ปกติที่เกิดขึ้นในลำน้ำ เช่น Ward and Stanford (1983) พัฒนาและเสนอแนวคิด Serial Discontinuity Concept เพื่ออธิบายความผิดปกติทางธรณีสัณฐานของลำธารและแม่น้ำ เช่น การเปลี่ยนทางเดินของน้ำ การสร้างเขื่อนกั้นน้ำ ที่ทำให้ลักษณะทางกายภาพ เคมีและชีวภาพของลำน้ำถูกรบกวนและมีลักษณะไม่ต่อเนื่อง เกิดเป็นอนุกรมความไม่ต่อเนื่อง (Serial discontinuity) ตลอดลำน้ำ (รูปที่ 2.13) โดยการฟันตัวของลำน้ำบริเวณท้ายเขื่อน ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ขนาดของเขื่อน ตำแหน่งของเขื่อนในโครงข่ายของลำน้ำ และจำนวนลุ่มน้ำสาขา เป็นต้น

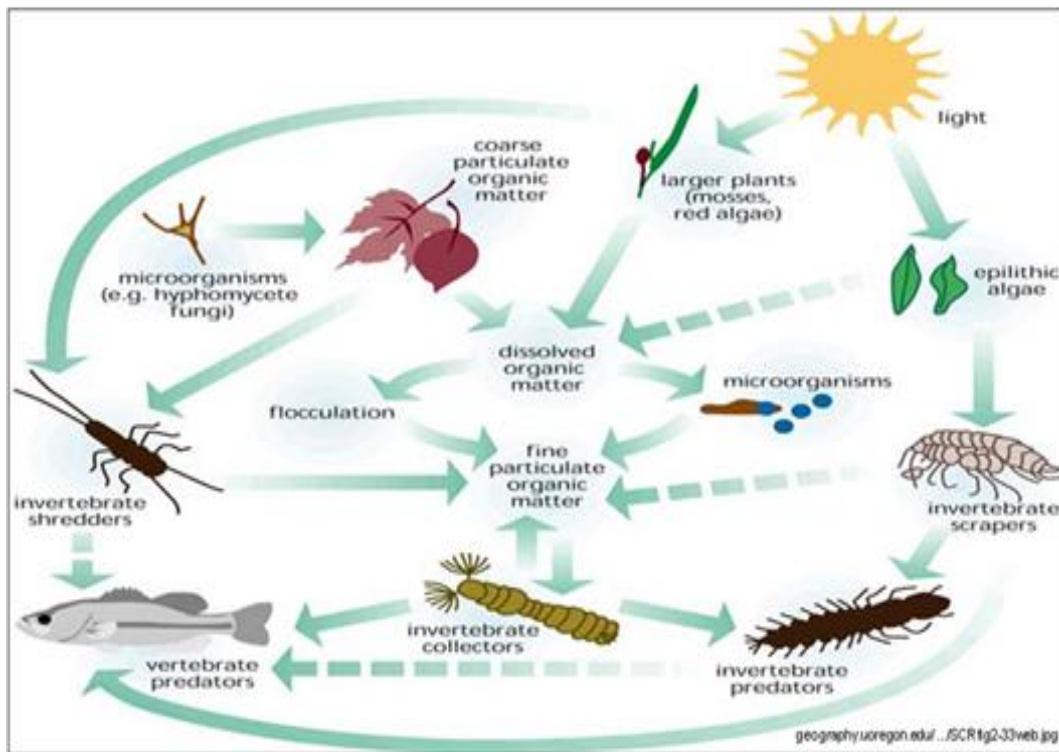


รูปที่ 2.13 กรอบแนวคิดเชิงมโนทัศน์ของ Serial Discontinuity Concept โดย DD คือ Discontinuity Distance บริเวณท้ายน้ำที่มีผลต่อตัวแปรทางด้านอุทก-นิเวศวิทยาในระยะทางที่กำหนด X อันเนื่องจากการควบคุมปริมาณน้ำ

2.4 แหล่งพลังงานจากเศษซากอินทรีย์

เศษซากอินทรีย์ หมายถึง อินทรีย์คาร์บอนที่ไม่ใช่สิ่งมีชีวิตทุกประเภท ซึ่งรวมถึงไปไม้ร่วง ของเสีย ซากสัตว์และสารอินทรีย์เชิงซ้อน ทั้งที่อยู่ในรูปของอนุภาคและสารละลาย (Wetzel, 2001) เศษซากอินทรีย์ นับเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในห่วงโซ่อาหารของระบบนิเวศธารน้ำไหลนอกเหนือจากพลังงานที่ถูกสร้างขึ้นในระบบ โดยผ่านการเปลี่ยนสารคาร์บอนอินทรีย์เป็นสารคาร์บอนอินทรีย์ด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชและพืชน้ำ (รูปที่ 2.14) พลังงานส่วนใหญ่ ได้รับจากอนุภาคและสารอินทรีย์ละลายน้ำ พลังงานที่ผ่านช่องทางนี้เรียกว่า Detritus-based โดยมีผู้ย่อยสลายเป็นผู้บริโภคเศษซากอินทรีย์ในขั้นต้น (รูปที่ 2.15) สารอินทรีย์จากเศษซากไปไม้ที่ตกลงสู่ลำน้ำ แบ่งออกเป็น 3 ประเภทตามขนาด คือ 1) สารอินทรีย์อนุภาคขนาดใหญ่ (Coarse Particulate Organic Matter; CPOM > 1 mm) 2) สารอินทรีย์อนุภาคขนาดเล็ก (Fine Particulate Organic Matter, FPOM < 1 mm และ > 0.5 μm) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (Dissolved Organic Matter, DOM < 0.5 μm) (Allen and Castillo, 2007) โดยแหล่งของสารอินทรีย์ในระบบนิเวศธารน้ำไหล สรุปในตารางที่ 2.2

กระบวนการย่อยสลาย เริ่มต้นหลังจากที่สารอินทรีย์อนุภาคขนาดใหญ่ลงสู่ลำน้ำ อัตราการย่อยสลายของใบไม้ขึ้นอยู่กับลักษณะที่แตกต่างกันในเชิงเคมีและโครงสร้างของใบไม้



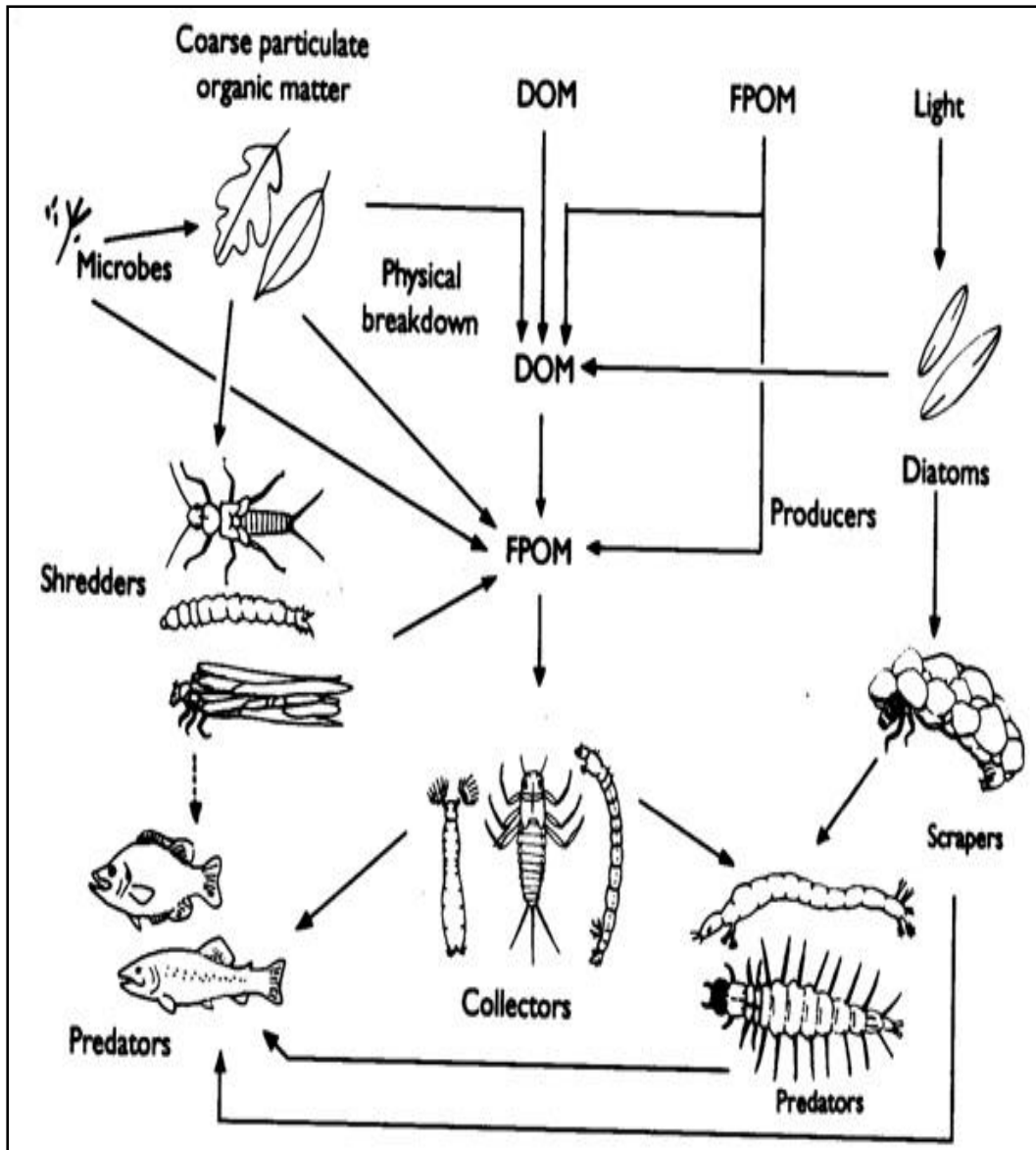
รูปที่ 2.14 ช่องทางการส่งผ่านพลังงานและสารอินทรีย์ในห่วงโซ่อาหารของระบบนิเวศธารน้ำไหล

ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมหลายปัจจัยและพฤติกรรม รวมถึงกิจกรรมของผู้ย่อยสลาย เป็นที่ประจักษ์จากผลการศึกษาที่ผ่านมาว่า อัตราการย่อยสลาย มีความแตกต่างกันอย่างสูงในใบไม้แต่ละชนิด (รูปที่ 2.16) ผลการศึกษา พบว่า การย่อยสลายของใบไม้มีอัตราที่เร็วกว่าปกติในสภาพแวดล้อมที่อุณหภูมิสูงและระบบที่มีธาตุอาหารอุดมสมบูรณ์ (Albelho et al., 2005) อย่างไรก็ตาม การย่อยสลายของใบไม้ กลับลดลงในสภาพแวดล้อมที่ pH มีค่าต่ำ (Dangles and Malmqvist, 2004) กระบวนการย่อยสลายสำหรับสารอินทรีย์อนุภาคขนาดใหญ่ในกรณีใบไม้ร่วงช่วงฤดูใบไม้ร่วง แสดงในรูปที่ 2.17 ซึ่งน้ำหนักในรูปน้ำหนักแห้งของใบไม้ สูญเสียมากถึง 25% ภายใน 24 ชั่วโมง ขั้นตอนหลักของการย่อยสลาย ประกอบด้วย Microbial colonization/growth และ Invertebrate colonization ก่อนที่จะถูกย่อยสลายกลายเป็นสารอินทรีย์อนุภาคขนาดเล็กภายในไม่กี่วัน นอกจากนี้ ใบไม้ร่วงแล้ว พืชน้ำขนาดใหญ่ (Macrophyte) ยังเป็นแหล่งที่สำคัญอีกแหล่งหนึ่งของเศษซากอินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแม่น้ำขนาดใหญ่และลำธารที่มีพื้นที่น้ำท่วมถึงขนาดใหญ่ Polunin (1984) ได้ทำการศึกษาและทบทวนอัตราการย่อยสลายและพฤติกรรมของเศษซากพืชน้ำขนาดใหญ่แล้ว พบว่าอัตราการย่อยสลายไม่แตกต่างจากใบไม้ที่ร่วงมาจากพื้นดิน ตัวอย่างความเชื่อมโยงระหว่างสิ่งมีชีวิตในกลุ่ม Shredder และสารอินทรีย์อนุภาคขนาดใหญ่ รวมทั้งการเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์ และการถ่ายเทพลังงานในห่วงโซ่ในลำธารขนาดเล็กในบริเวณป่าผลัดใบในเขตอบอุ่น ดังแสดงในรูปที่ 2.18

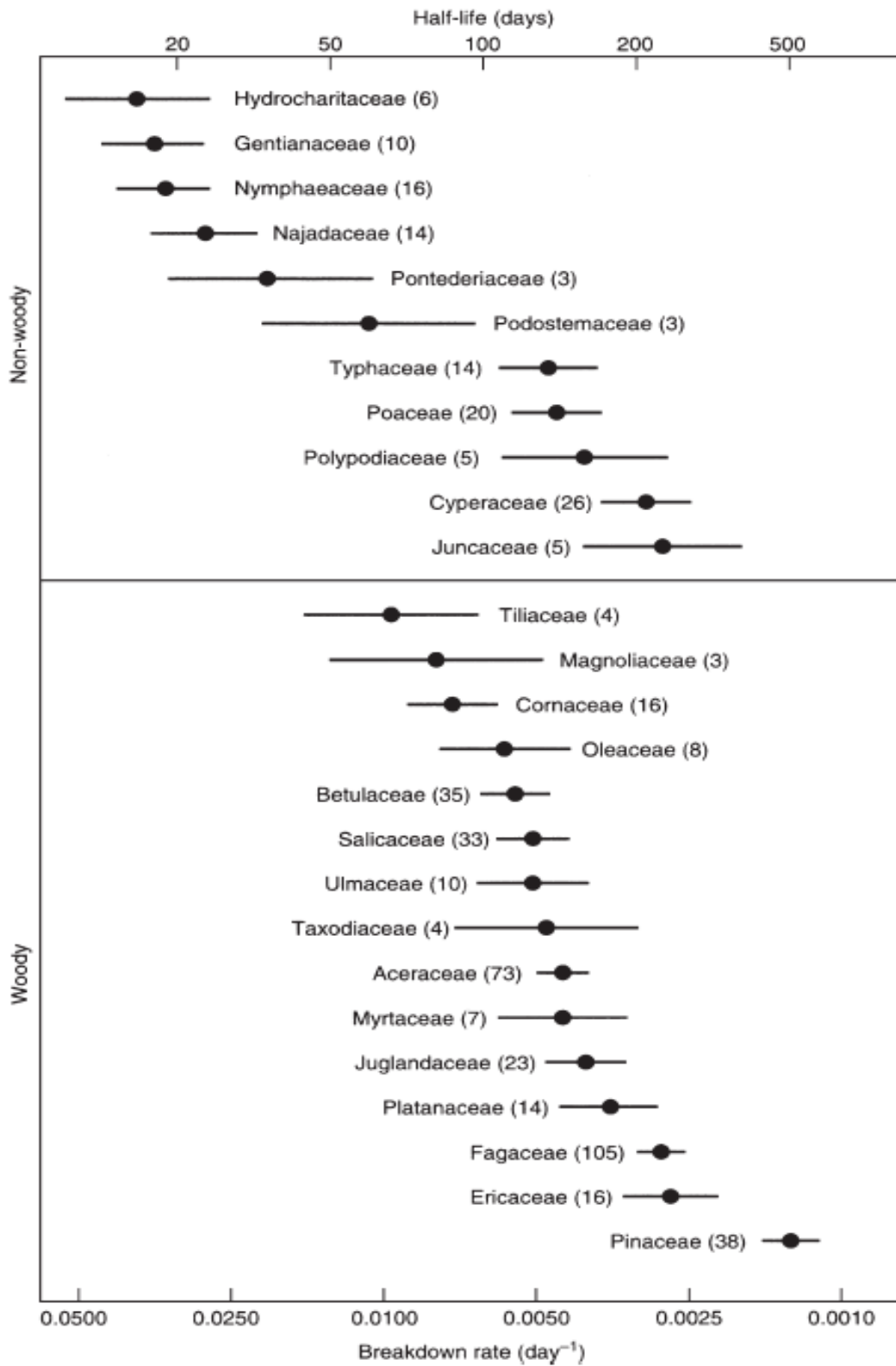
ตารางที่ 2.2 แหล่งของสารอินทรีย์ในระบบนิเวศธารน้ำไหล

<i>Sources of input</i>	<i>Comments</i>
<i>Coarse particulate organic matter (CPOM)</i>	
<ul style="list-style-type: none"> ● Leaves and needles ● Macrophytes during dieback* ● Woody debris ● Other plant parts (flowers, fruit, pollen) ● Other animal parts (feces and carcasses) 	<p>Major input in woodland streams, typically pulsed seasonally</p> <p>Locally important</p> <p>May be major biomass component, very slowly utilized</p> <p>Little information available</p> <p>Little information available</p>
<i>Fine particulate organic matter (FPOM)</i>	
<ul style="list-style-type: none"> ● Breakdown of CPOM ● Feces of small consumers ● From DOM by microbial uptake ● From DOM by physical-chemical processes 	<p>Major input where leaf fall or macrophytes provide CPOM</p> <p>Important transformation of CPOM</p> <p>Organic microlayers on stones and other surfaces</p> <p>Flocculation and adsorption, probably less important than microbial uptake route</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● Sloughing of algae* ● Sloughing of organic layers ● Forest floor litter and soil 	<p>Of local importance, may show temporal pulses</p> <p>Little information available</p> <p>Influenced by storms causing increased channel width and inundation of floodplain, affected by overland versus subsurface flow</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● Stream bank and channel 	<p>Little known, likely related to storms</p>
<i>Dissolved organic matter (DOM)</i>	
<ul style="list-style-type: none"> ● Groundwater 	<p>Major input, relatively constant over time, often highly refractory</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● Subsurface or interflow 	<p>More important during storms</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● Surface flow 	<p>Possibly important during storms causing overland flow</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● Leachate from detritus of terrestrial origin 	<p>Major input, pulsed depending upon leaf fall</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● Throughfall 	<p>Smaller input, dependent on contact of precipitation and clouds with canopy</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● Extracellular release and leachate from algae* 	<p>Of local importance, may show seasonal and diel pulses</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● Extracellular release and leachate from macrophytes* 	<p>Of local importance, may show seasonal and diel pulses</p>

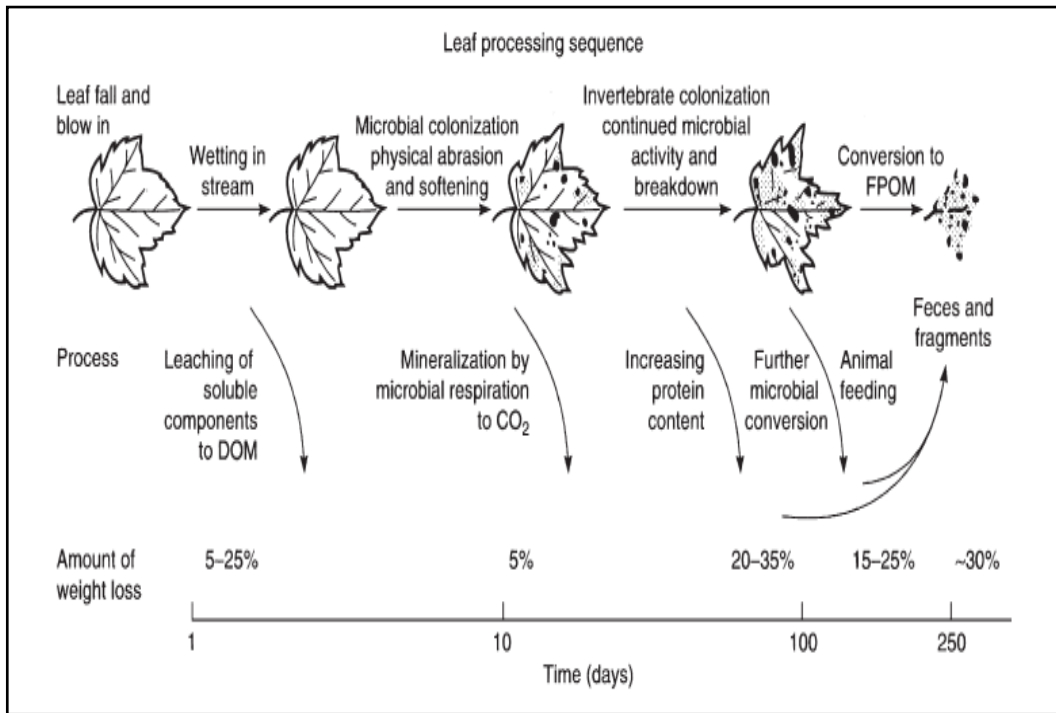
ที่มา: Allen and Castillo, 2007



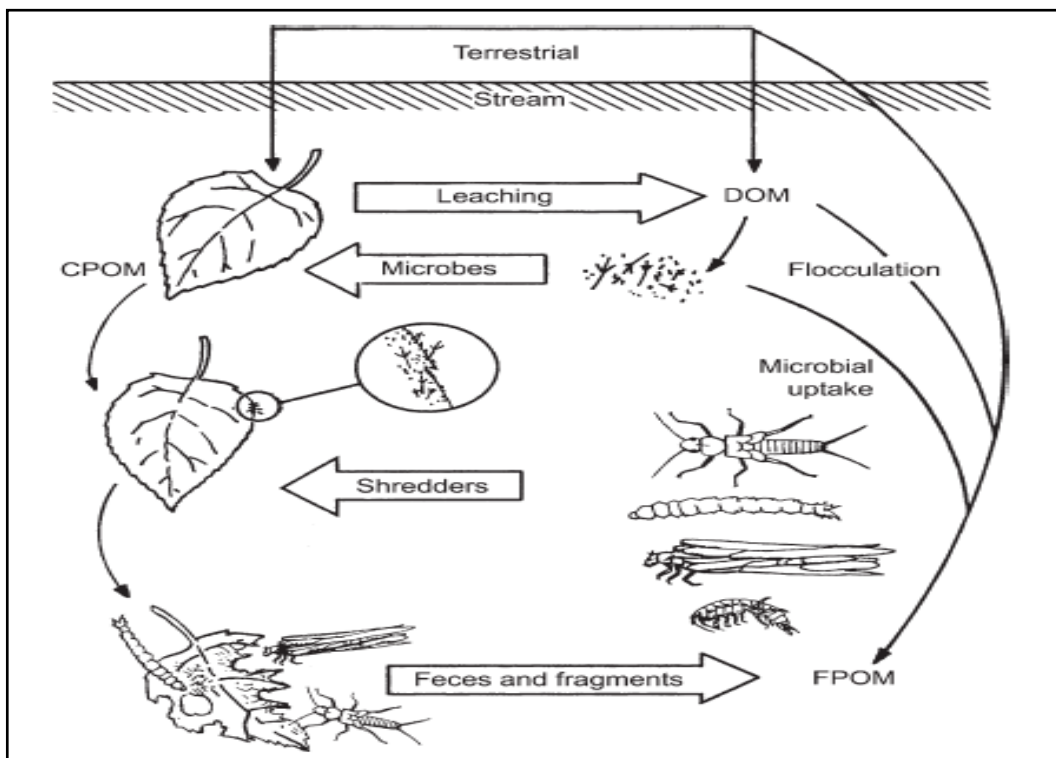
รูปที่ 2.15 พลังงานที่ผ่านช่องทาง detritus-based จากใบไม้ร่วงสู่ห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศธารน้ำไหล



รูปที่ 2.16 อัตราการย่อยสลายของพืชประเภท Woody และ Nonwoody ชนิดต่างๆ
ที่มา: Webster and Benfield, 1986



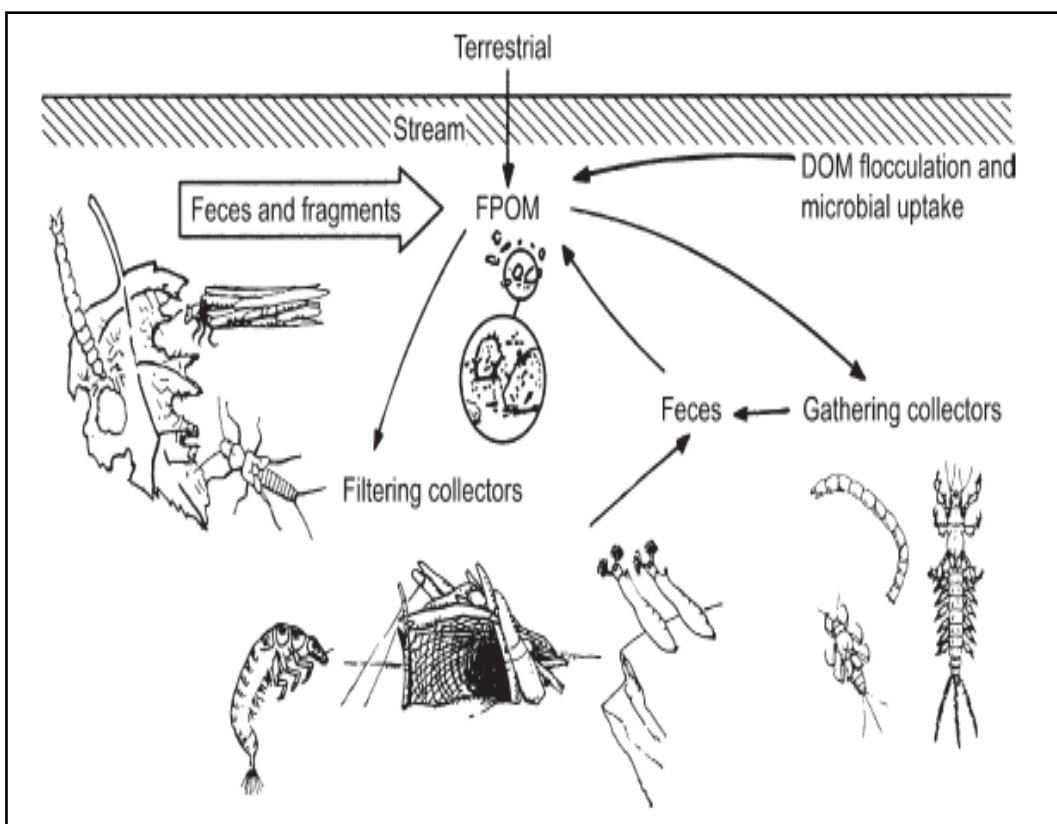
รูปที่ 2.17 กระบวนการย่อยสลายตามลำดับขั้นตอนกรณีใบไม้ที่ลอยได้ง่ายถึงปานกลางในลำธารเขตอบอุ่น



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างความเชื่อมโยงระหว่าง Shredder-CPOM ในลำธารขนาดเล็กบริเวณป่าผลัดใบในเขตอบอุ่น

ที่มา: Allen and Castillo, 2007 ดัดแปลงจาก Cummins and Klung, 1979

ความรู้ความเข้าใจถึงพลังงานที่ผ่านช่องทางสารอินทรีย์อนุภาคขนาดเล็ก ยังไม่ชัดเจนเมื่อเทียบกับองค์ความรู้ด้านพลังงานที่ผ่านช่องทางสารอินทรีย์อนุภาคขนาดใหญ่ แหล่งหนึ่งของสารอินทรีย์อนุภาคขนาดเล็กคือ ผลผลิตขั้นกลางของการย่อยสลายใบไม้ โดยทำให้เกิดสารอินทรีย์อนุภาคขนาดเล็กด้วยกลไกทางกายภาพและกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในกลุ่ม Shredder ซึ่งพบว่า สัดส่วนโดยส่วนใหญ่ของสารอินทรีย์อนุภาคขนาดใหญ่กลายเป็นสารอินทรีย์อนุภาคขนาดเล็กหลังจากผ่านขั้นตอนการย่อยสลายตามธรรมชาติ นอกจากนี้ สารอินทรีย์อนุภาคขนาดเล็กยังถูกพัดพาจากพื้นดินลงสู่ลำน้ำโดยลมและน้ำท่า และถูกเปลี่ยนเป็นสารอินทรีย์ละลายน้ำ โดยแบคทีเรียนำไปใช้เพื่อเปลี่ยนเป็นสารอินทรีย์คาร์บอนที่ละลายน้ำ แหล่งของสารอินทรีย์อนุภาคขนาดเล็กนี้มีช่องทางที่ค่อนข้างซับซ้อนซึ่งยุ่งยากที่จะติดตามตรวจสอบ แต่มีปริมาณและศักยภาพสูงกว่าสารอินทรีย์อนุภาคขนาดเล็กจากแหล่งอื่นๆ (Allen and Castillo, 2007) ตัวอย่างความเชื่อมโยงระหว่างสิ่งมีชีวิตในกลุ่ม Collector และสารอินทรีย์อนุภาคขนาดเล็ก รวมทั้งการเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์ และการถ่ายเทพลังงานในห่วงโซ่ในลำธารขนาดเล็กบริเวณป่าผลัดใบในเขตอบอุ่น ดังแสดงในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 ตัวอย่างความเชื่อมโยงระหว่าง Collector-FOPM ในลำธารขนาดเล็กบริเวณป่าผลัดใบในเขตอบอุ่น

ที่มา: Allen and Castillo, 2007 ดัดแปลงจาก Cummins and Klung, 1979

2.5 เมตาบอลิซึมของระบบนิเวศธารน้ำไหล

แหล่งของสารอินทรีย์คาร์บอน ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานของระบบนิเวศแหล่งน้ำไหล ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ Autochthonous โดยสิ่งมีชีวิตชั้นปฐมภูมิในแหล่งน้ำ และ Allochthonous จากเศษซากอินทรีย์จากระบบนิเวศบก สิ่งมีชีวิตในกลุ่ม Heterotroph ซึ่งประกอบด้วย Microorganism, Meiofauna, และ Macrofauna

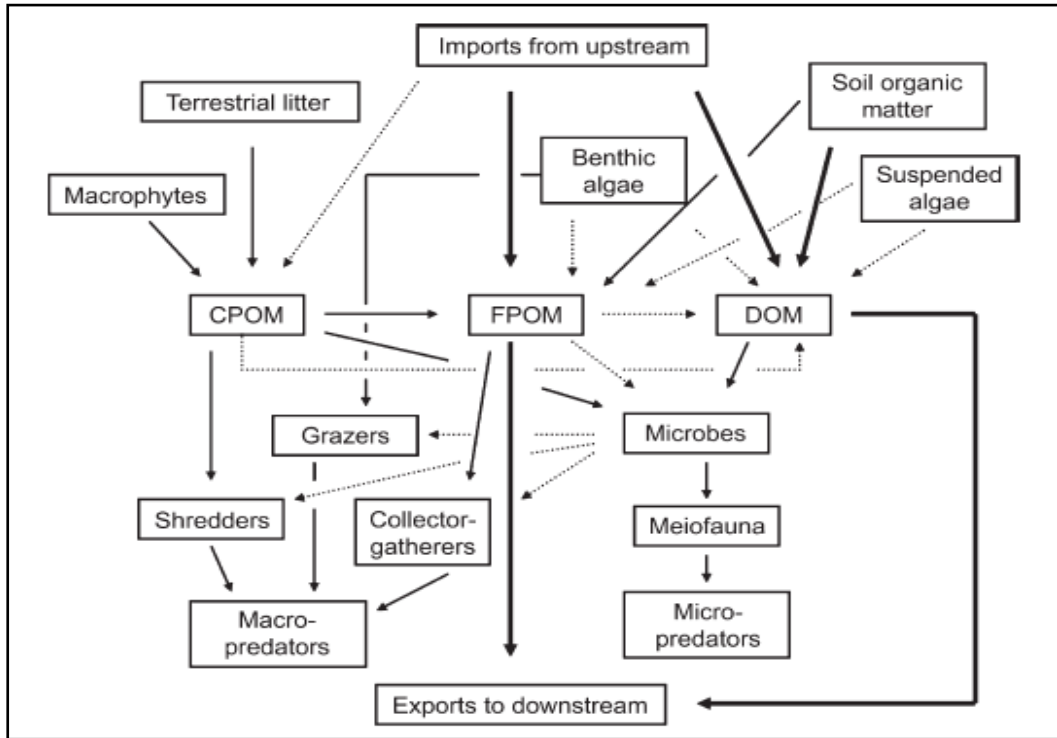
ย่อยสลายและบริโภคสารอินทรีย์ที่ถูกพัดพาและชะล้างลงสู่ลำน้ำ ทำยสุดบางส่วนกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และบางส่วนลำเลียงลงสู่ท้ายน้ำ (รูปที่ 2.20) ดังนั้น พฤติกรรมพื้นฐานของสารอินทรีย์คาร์บอนในธารน้ำไหล จึงประกอบไปด้วยการใช้ประโยชน์โดยสิ่งมีชีวิตในกลุ่มต่างๆ และลำเลียงลงสู่ท้ายและระบายออกนอกระบบ (Wetzel, 2001; Allen and Castillo, 2007) การเปลี่ยนสถานะของระบบนิเวศระหว่าง Autochthony และ Allochthony เป็นการเปลี่ยนแปลงการพึ่งพาระหว่างแหล่งพลังงานภายในระบบและภายนอกซึ่งจะมีการผันแปรตลอดลำน้ำ (Vannote et al., 1980) ลำธารที่มีผลผลิตขั้นปฐมภูมิต่ำ (Primary production; P) แต่มีระดับการหายใจของประชาคมสิ่งมีชีวิต (Respiration; R) สูง แสดงว่าเป็นระบบที่ต้องพึ่งพาพลังงานจากแหล่งภายนอกนอกระบบนิเวศหรือต้นน้ำ ดังนั้น P/R ratio หรือ P-R ซึ่งหมายถึง ผลผลิตสุทธิของระบบนิเวศ (Net ecosystem production; NEP) ใช้เป็นดัชนีที่บ่งชี้ถึงความสำคัญเชิงสัมพัทธ์ของแหล่งอินทรีย์คาร์บอนภายในและแหล่งอินทรีย์คาร์บอนภายนอก (Vannote et al., 1980; Allen and Castillo, 2007; Hauer and Lamberti, 2007) ระบบนิเวศธารน้ำไหลที่ NEP มีค่าเป็นบวก จะอนุมานถึงการลำเลียงสารอินทรีย์สู่ท้ายน้ำ ในขณะที่ NEP มีค่าเป็นลบ จะหมายถึงระบบนิเวศที่ต้องพึ่งพาแหล่งพลังงานจากภายนอก

การสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนแบบเกาะติดพื้นท้องน้ำ พืชน้ำขนาดใหญ่และแพลงก์ตอนพืช เป็นแหล่ง Autochthonous หลักของระบบนิเวศธารน้ำไหล โดยผลผลิตขั้นปฐมภูมิ หมายถึง อัตราการสร้างสารอินทรีย์จากอินทรีย์คาร์บอนโดยสิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์แสงได้ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนพลังงานดวงอาทิตย์เป็นสารอินทรีย์ที่มีพลังงานสูง ตามสมการขั้นพื้นฐานดังนี้



Gross primary production (GPP) และ Net primary production (NPP) หมายถึง ผลผลิตขั้นปฐมภูมিরวมและผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิหรือผลต่างระหว่างผลผลิตรวมกับอัตราการหายใจ ซึ่งแสดงได้ดังนี้

$$\text{GPP} = \text{NPP} + \text{R}$$



รูปที่ 2.20 โมเดลอย่างง่ายสำหรับฟลักซ์คาร์บอนในระบบนิเวศธารน้ำไหล เส้นทึบแสดงเส้นทางการลำเลียง และเมตาบอลิซึมของสารอินทรีย์ในลำธารแบบ Woodland
ที่มา: Allen and Castillo, 2007 ดัดแปลงจาก Wetzel, 2001

ส่วนสารอินทรีย์คาร์บอนจากแหล่ง Allochthonous ประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ทุกชนิดที่ลำธารได้รับจากผลิตที่เกิดขึ้นภายนอกลำธาร ซึ่งประกอบด้วย สารอินทรีย์อนุภาคขนาดใหญ่ สารอินทรีย์อนุภาคขนาดเล็กและสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้

การศึกษาเมตาบอลิซึมของระบบนิเวศธารน้ำไหล จะช่วยอธิบายสัดส่วนผลผลิตขั้นปฐมภูมิในลำน้ำต่อสารคาร์บอนที่ผลิตจากพื้นดิน สัดส่วนคาร์บอนทั้งหมดที่ลงสู่แหล่งน้ำที่ถูกใช้ในการหายใจและลำเลียงลงสู่ท้ายน้ำ โดยมี 2 วิธีหลัก คือ

1. งบประมาณสารอินทรีย์พลังงาน (Organic energy budget) ที่ประกอบด้วยพลังงานที่เข้าและสูญเสีย เป็นการเปรียบเทียบการผ่านเข้าออกระบบในรายละเอียดซึ่งเป็นพื้นฐานในการคำนวณประสิทธิภาพ ที่ระบบนิเวศสามารถใช้พลังงานที่มีอยู่ในภาพรวม (Webster and Meyer, 1997) ตัวอย่างการศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 2.3 สำหรับการเปรียบเทียบพลังงาน ที่เข้าระบบจากผลผลิตขั้นปฐมภูมิและไปไม่ร่วงในแหล่งน้ำต่างๆ สรุปในตารางที่ 2.4
2. P/R ratio และ NEP บ่งชี้ถึงการพึ่งพาสารอินทรีย์จากภายในระบบและภายนอกระบบ โดยระยะทางที่คาร์บอนในรูปอินทรีย์ เดินทางจนกระทั่งย่อยสลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะตรวจวัดเชิงเปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพของระบบนิเวศในกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์ (Newbold et al., 1982) อัตราผลผลิตขั้นปฐมภูมิ (GPP) อัตราการหายใจ (R) และ P/R ratio จากการศึกษาลำธารต่างๆ สรุปในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.3 งบประมาณของสารอินทรีย์สำหรับ Bear Brook (ลำน้ำลำดับชั้นที่ 2) จากการทดลอง Hubbard Brook Experimental Forest, New Hampshire ซึ่งมีพื้นที่รับประมาณ 132 เฮเตอร์

Organic matter parameters	
Inputs (g AFDM m ⁻² year ⁻¹)	
Gross primary production	3.5
Litterfall and lateral movement	594
Groundwater DOM	95
Standing crops (g m ⁻²)	
Wood > 1 mm	530
CBOM > 1 mm (not including wood)	610
FPOM < 1 m	53
Outputs	
Autotrops respiration (g m ⁻² year ⁻¹)	1.75
Heterotrophic respiration (g m ⁻² year ⁻¹)	101
Particulate transport (kg year ⁻¹)	1700
Dissolved transport (kg year ⁻¹)	514

ที่มา: Findlay et al., 1997

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบพลังงานที่เข้าระบบจากผลผลิตชั้นปฐมภูมิและใบไม้ร่วงในแหล่งน้ำต่างๆ

River	Energy input (g C m ⁻² year ⁻¹)		Reference
	Autochthonous NPP	Allochthonous liiter input	
Bear Brook, NH	0.6	251	Fisher and Likens (1973)
Kuparuk River, AK	13	100-300	Peterson et al. (1986)
Root Spring, MA	73	261	Teal (1957)
New Hope Creek, NC	73	238	Hall (1972)
Fort River, MA	169	213	Fisher (1977)
Cone Spring, IA	119	70	Tilly (1968)
Deep Creek, ID1	206	0.2	Minshall (1978)
Deep Creek, ID3	761	1.1	Minshall (1978)
Thames River, UK	667	16	Mann et al. (1970)
Silver Spring, FL	981	54	Odum (1957)
Tecopa Bore, CA	1229	0	Naiman (1976)

ที่มา: Peterson et al., 1986

ตารางที่ 2.5 อัตราผลผลิตขั้นปฐมภูมิ (GPP) อัตราการหายใจ (R) และ P/R ratio จากการศึกษาลำธารต่างๆ

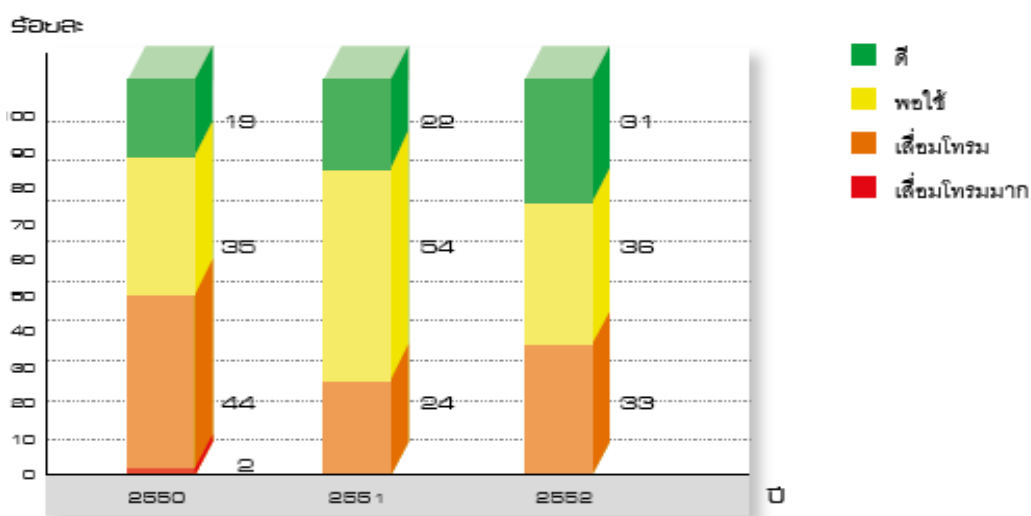
River	Sampling	GPP	R	P/R	Reference
Silver Springs, FL	Winter	8-35	2.8-5.0	2.9-7.0	Odum (1957)
Blue River, OK	Annual	3.0-21.5	7.7-12.6	0.39-1.67	Duffer and Dorris (1966)
River Ivel, UK	Summer	9.6	8.5	1.1	Edwards and Owens (1962)
Truckee River, NV	August	8.1-9.5	11.4	0.83	Thomas and O'Connell (1966)
Buffalo Creek, PA	August	5.6	2.2	2.6	McDiffer et al., (1972)
Sycamore Creek, AZ	Summer	8.5	5.1	1.7	Busch and Fisher (1981)
Madison River, WY	Summer	4.8	1.6	3.0	Wright and Mills (1967)
New Hope Creek, NC	Annual	0.8	1.3	0.7	Hall (1972)
Fort River, MA	Annual	1.8	3.7	0.5	Fisher and Carpenter (1976)
Bear Brook, NH	Annual	0.001	1.5	0.01	Fisher and Likens (1973)
McKenzie River, OR	Annual	0.4-0.9	0.002-0.007	-	Naiman and Sedell (1980)
Bayou Chevreuil, LA	Annual	2.1	2.7	0.7	Day et al. (1977)
Salmon River, ID	Annual	0.54-2.53	0.34-1.73	-	Bott et al. (1985)
Kalamazoo River, MI	Annual	0.13-6.39	0.55-5.79	-	Bott et al. (1985)
White Clay Creek, PA	Annual	0.46-2.65	0.64-3.81	-	Bott et al. (1985)
La Trobe River, Australia	Annual	0.15-1.90	2.97-4.61	0.05-0.50	Chessman (1985)
Ogeechee River, GA	Annual	2.2	6.7	0.3	Edwards and Meyers (1987)

** หน่วยของ GPP และ R เท่ากับ $g\ O^{-2}\ day^{-1}$

ที่มา: Allen and Castillo, 2007 ดัดแปลงจาก Edwards and Meyers, 1986)

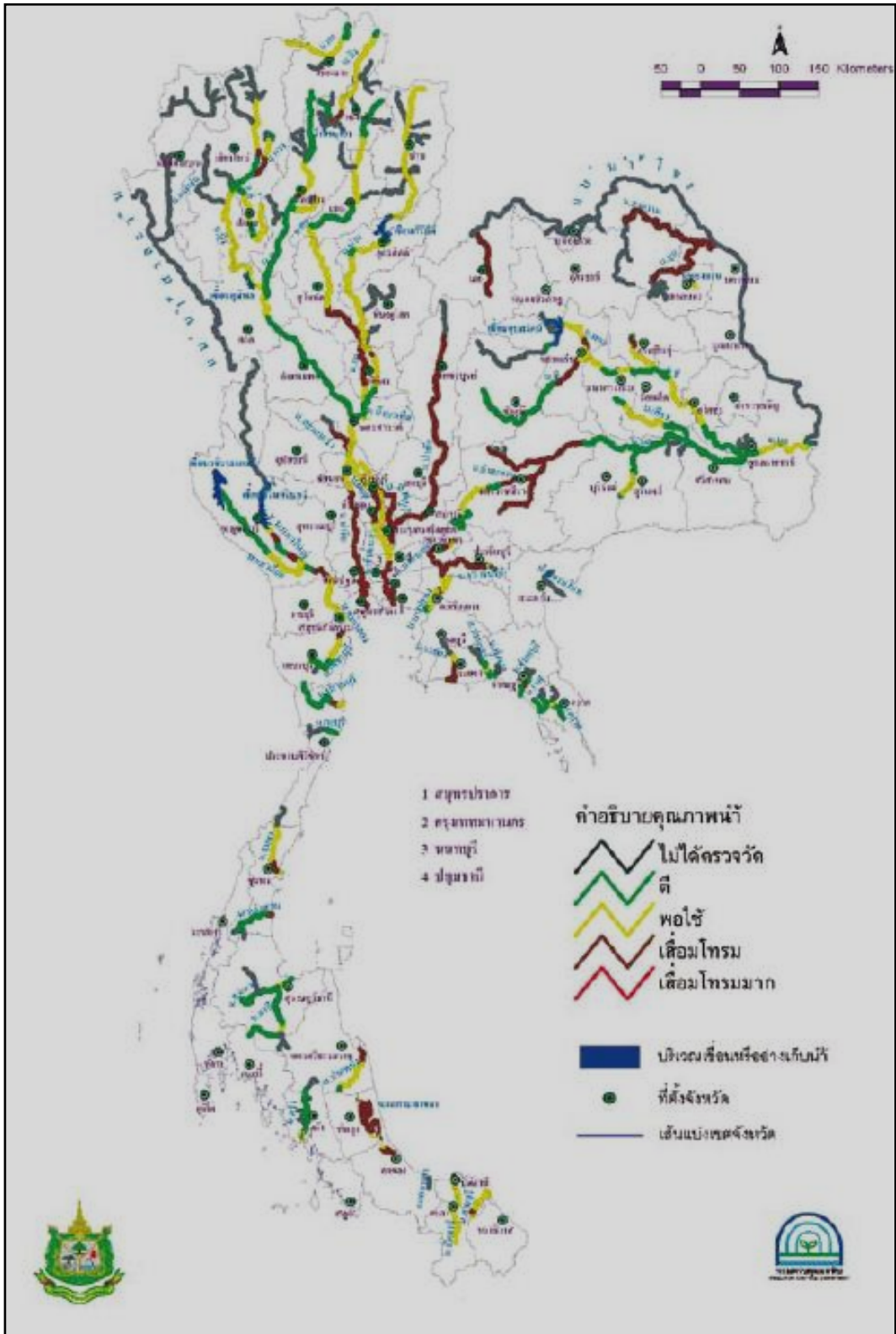
2.6 การศึกษาระบบนิเวศธารน้ำไหลในประเทศไทย

ผลการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำผิวดินในปี พ.ศ. 2552 โดยกรมควบคุมมลพิษ ในแม่น้ำสายสำคัญ 48 สาย และแหล่งน้ำนิ่ง 4 แหล่ง (กว๊านพะเยา บึงบอระเพ็ด หนองหาน และทะเลสาบสงขลา) จากจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำ จำนวน 368 จุดตรวจวัด พบว่าคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ดี พอใช้และเสื่อมโทรม คิดเป็นร้อยละ 31 36 และ 33 ตามลำดับ (กรมควบคุมมลพิษ, 2553) เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำในช่วง 3 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550–2552 พบว่าคุณภาพน้ำโดยรวมมีแนวโน้มดีขึ้นต่อเนื่อง (รูปที่ 2.21 และ 2.22) ทั้งนี้ ในปี พ.ศ. 2551 และ พ.ศ. 2552 ไม่มีแหล่งน้ำที่มีคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์เสื่อมโทรมมาก



รูปที่ 2.21 คุณภาพน้ำแหล่งน้ำจืดที่ทำการตรวจวัด จำนวน 48 สาย และ 4 แหล่งน้ำนิ่ง ปี 2550 – 2552

จากการประเมินคุณภาพน้ำ พบว่าพารามิเตอร์ที่บ่งชี้ถึงปัญหาคุณภาพของแหล่งน้ำไหล คือ การปนเปื้อนแบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria: FCB) การปนเปื้อนแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria: TCB) แอมโมเนีย (NH_3) ความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ (Biochemical Oxygen Demand: BOD) และออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen: DO) คิดเป็นร้อยละ 32 27 22 11 และ 8 ตามลำดับ



รูปที่ 2.22 แสดงคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำสำคัญทั่วประเทศปี พ.ศ. 2552 คุณภาพน้ำแหล่งน้ำจืดที่ทำการตรวจวัด จำนวน 48 สาย และ 4 แหล่งน้ำนิ่ง ปี 2552 ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2553

นอกจากการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำแล้ว ระบบนิเวศธารน้ำไหลในประเทศไทย มีการศึกษาวิจัยไม่แพร่หลายมากนัก อาทิ

พงษ์พันธ์ (2548) ได้ศึกษาความหลากหลายของไดอะตอมพื้นท้องน้ำ ในพื้นที่บริเวณแม่น้ำปิง ระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2547-ธันวาคม พ.ศ. 2548 จากจุดเก็บตัวอย่าง จำนวน 15 จุด เพื่อนำมาใช้เป็นดัชนีติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำ ผลการศึกษา พบไดอะตอมพื้นท้องน้ำทั้งหมด 2 อันดับ 30 สกุล 163 ชนิด โดยคุณภาพน้ำบริเวณต้นแม่น้ำปิง มีคุณภาพดี จัดอยู่ในระดับสารอาหารต่ำ (Oligotrophic status) ส่วนบริเวณปลายน้ำ มีคุณภาพดีถึงปานกลางจัดอยู่ในระดับสารอาหารต่ำถึงปานกลาง (Oligo-mesotrophic status) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ Multivariate Statistical Technique พบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างชนิดของสาหร่ายและพารามิเตอร์คุณภาพน้ำ ซึ่งผลการวิเคราะห์ดังกล่าว แสดงถึงชนิดไดอะตอมพื้นท้องน้ำสามารถบ่งชี้ถึงคุณภาพน้ำ

วารงค์ลักษณ์ (2547) ได้ศึกษาคุณภาพน้ำในแม่น้ำน่านที่ไหลผ่านพื้นที่เกษตรกรรมและชุมชนเมืองจังหวัดพิษณุโลก พื้นที่ละ 3 จุด ทุกเดือน ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2542 - สิงหาคม พ.ศ. 2543 ผลการศึกษาพบว่า คุณภาพน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิ พีเอช ความขุ่น ออกซิเจนละลายน้ำและบีโอดี แปรผันตามฤดูกาลเป็นหลัก ทั้งนี้คุณภาพน้ำจัดเป็นแหล่งน้ำประเภทที่ 2-4

วิรงรอง (2547) ได้ศึกษาคุณภาพน้ำของแม่น้ำท่าจีนตอนล่าง ผลการศึกษา พบว่า อุณหภูมิมีค่าผันแปรอยู่ในช่วง 27.3-32.6 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่าง มีค่าผันแปรอยู่ในช่วง 6.85-8.35 ปริมาณออกซิเจนละลาย มีค่าผันแปรอยู่ในช่วง 0.5-7.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนเตรทมี ค่าผันแปรอยู่ในช่วง 0.02-0.72 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนีย มีค่าผันแปรอยู่ในช่วง 0.84- 1.91 มิลลิกรัมต่อลิตร ออร์โธฟอสเฟต มีค่าผันแปรอยู่ในช่วง 0.062-0.684 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มีค่าผันแปรอยู่ในช่วง 10.0-75.6 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

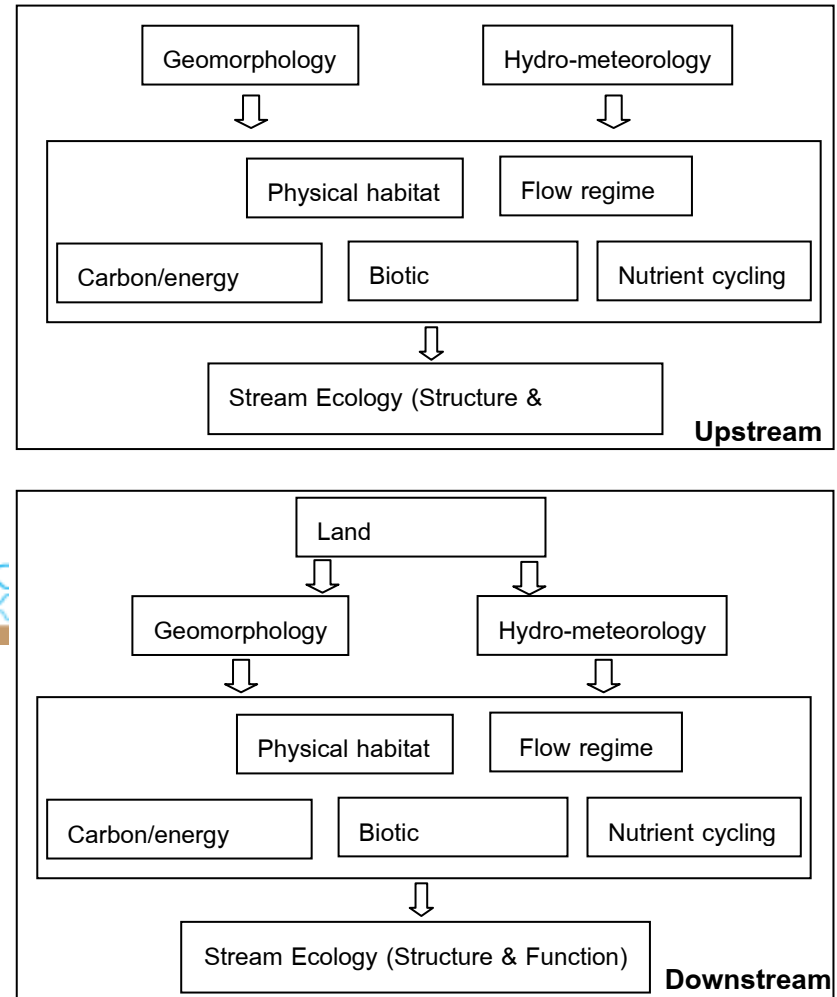
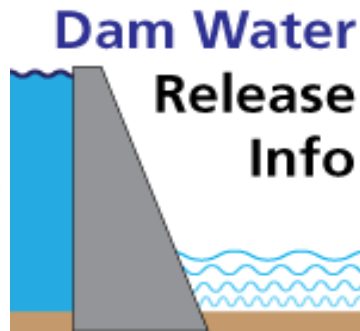
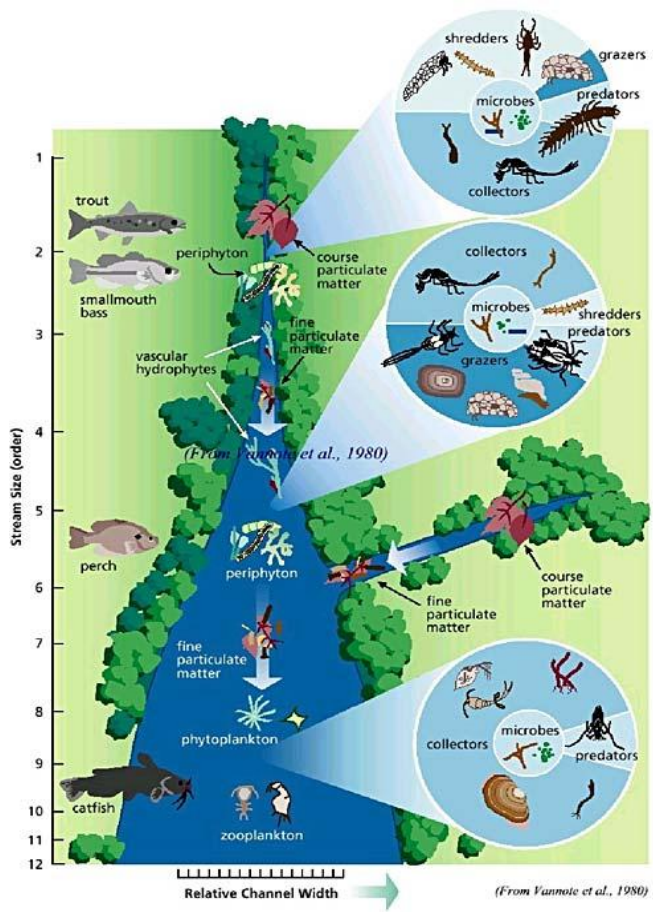
การศึกษาปริมาณทั้งหมดของไนโตรเจนและฟอสเฟตในคลองระโนด จังหวัดสงขลา ตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2535 ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2536 พบว่าอุณหภูมิมีค่า 28.3-29.7 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่าง 7.2-7.5 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ 3.1-6.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 0.5-9.42 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟอสเฟต 3.91-6.53 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้ปริมาณทั้งหมดของไนโตรเจนและฟอสเฟต ที่วิเคราะห์ได้มีปริมาณสูง อาจก่อให้เกิดปัญหาในคลองระโนดได้ (พีระพิทย์, 2537)

บทที่ 3 แนวคิด ระเบียบและวิธีวิจัย

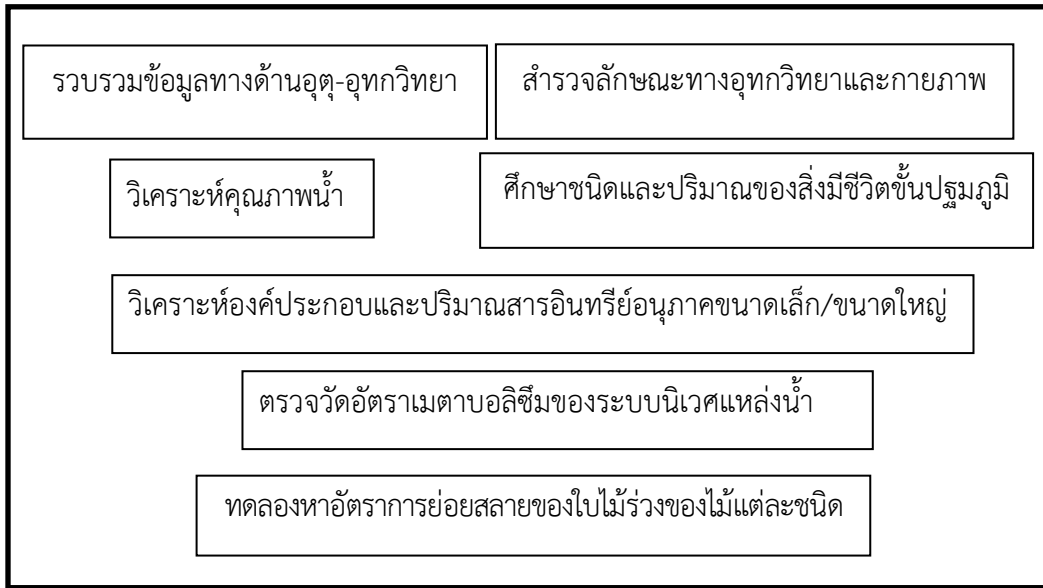
3.1 กรอบแนวคิดและระเบียบวิจัย

การศึกษาวิจัยภายใต้โครงการนี้ อาศัยกรอบแนวคิดเชิงบูรณาการแบบองค์รวมของระบบนิเวศ (Ecosystem-level process) ที่เกิดจากการผสมผสานระหว่างปัจจัย กระบวนการและปฏิสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบย่อยในระบบนิเวศธารน้ำไหลและสภาพแวดล้อมใกล้เคียง โดยพิจารณาและวิเคราะห์ระบบนิเวศธารน้ำไหลในหลายมิติ ทั้งด้านการเชื่อมโยงระหว่างระบบนิเวศธารน้ำไหลและสภาพแวดล้อมภายนอกในรูปของพลังงานและสารอินทรีย์ ด้านพลวัตของการปฏิสัมพันธ์กันระหว่างองค์ประกอบสิ่งมีชีวิตในห่วงโซ่อาหารและระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งไม่มีชีวิต ปฏิกริยาทางกระบวนการเมตาบอลิซึม ความสมดุลขององค์ประกอบทางด้านโครงสร้างและฟังก์ชัน ซึ่งเป็นองค์ประกอบแนวคิดพื้นฐานของ River Continuum Concept (Vannote et al., 1980; Minshall et al., 1985) ในบริเวณต้นน้ำซึ่งเป็นสภาพตามธรรมชาติของระบบนิเวศที่การเปลี่ยนแปลง ส่วนใหญ่เกิดจากการตอบสนองต่อปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา (Hydro-metrological factor) ธรณีสัณฐานและพลวัตของระบบนิเวศป่าไม้ สำหรับระบบนิเวศธารน้ำไหลบริเวณท้ายน้ำ ได้พิจารณาภายใต้กรอบแนวคิด Discontinuity Concept ที่การเปลี่ยนแปลงทางน้ำและปิดกั้นทางน้ำ เนื่องมาจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสร้างเขื่อนกั้นลำน้ำ เป็นส่วนสำคัญนอกเหนือจากปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาและธรณีสัณฐาน ที่ส่งผลต่อกระทบต่อโครงสร้างและฟังก์ชันของระบบนิเวศธารน้ำในภาพรวม (Ward and Stanford, 1983) กรอบแนวคิดในภาพรวมของการศึกษาวิจัย ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยระเบียบและขอบเขตการวิจัย ประกอบด้วย 2 องค์ประกอบหลัก คือ

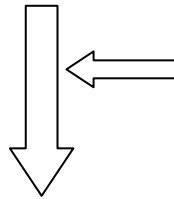
1. การสำรวจและรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ตัวอย่างในภาคสนามและห้องปฏิบัติการ และการทดลองในพื้นที่จริง ซึ่งประกอบด้วยกิจกรรมย่อยๆ ดังนี้
 - การสำรวจและรวบรวมข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยาและกายภาพ
 - การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ
 - การศึกษาชนิดและปริมาณของสิ่งมีชีวิตชั้นปฐมภูมิ
 - วิเคราะห์องค์ประกอบและชนิดของตะกอนอินทรีย์ขนาดเล็กและขนาดใหญ่
 - การตรวจวัดอัตราเมตาบอลิซึมของระบบนิเวศ
2. การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนาและเชิงพหุ เพื่อเปรียบเทียบและอธิบายลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางอุทก-นิเวศ ดังนี้
 - การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของระบบนิเวศบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ
 - ความหลากหลายชนิดของสิ่งมีชีวิตชั้นปฐมภูมิ
 - การหมุนเวียนของสารอินทรีย์ พลังงานและธาตุอาหาร
 - ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศต้นน้ำและท้ายน้ำและการเปลี่ยนแปลงทางปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาและการกั้นลำน้ำ
 - ความเชื่อมโยงระหว่างสิ่งมีชีวิตชั้นปฐมภูมิและอัตราการย่อยสลายของใบไม้ รายละเอียดของระเบียบและขอบเขตการวิจัย ดังแสดงในรูปที่ 3.2



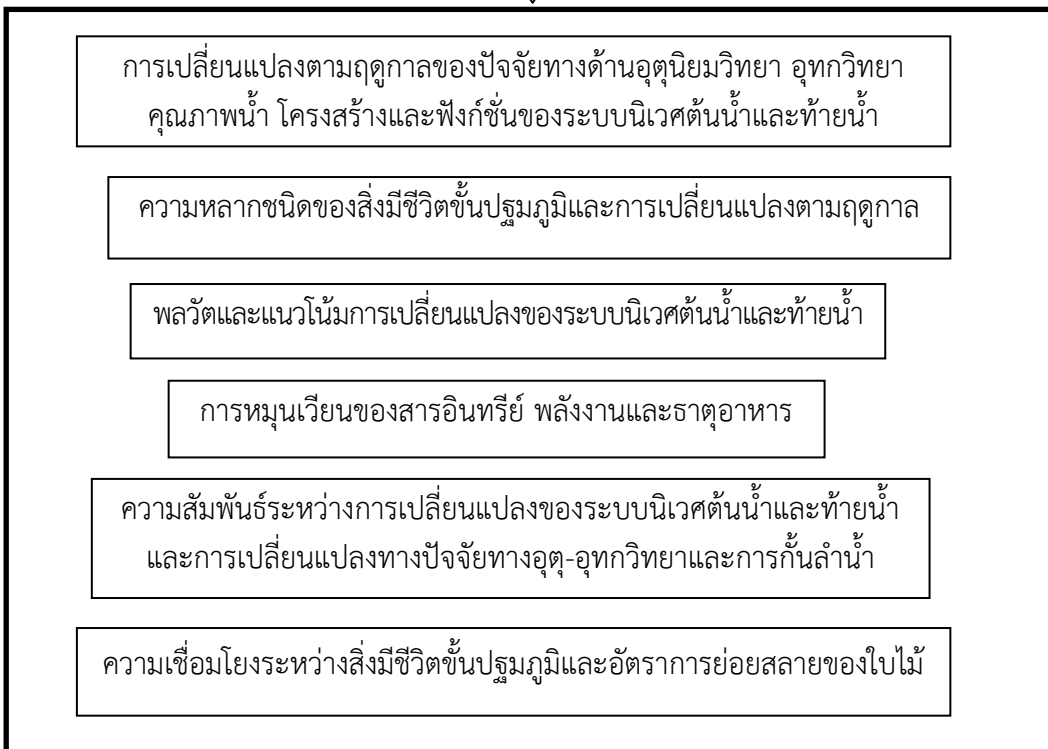
รูปที่ 3.1 กรอบแนวคิดการศึกษาระบบนิเวศธารน้ำไหลบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ กรณีที่มีการสร้างเขื่อนกั้นลำน้ำ



องค์ประกอบที่หนึ่ง



สถิติเชิงพรรณนา
สถิติเชิงพหุ



องค์ประกอบที่สอง

รูปที่ 3.2 ระเบียบและขอบเขตการศึกษาวิจัยระบบนิเวศธารน้ำไหลบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ

3.2 พื้นที่ศึกษา

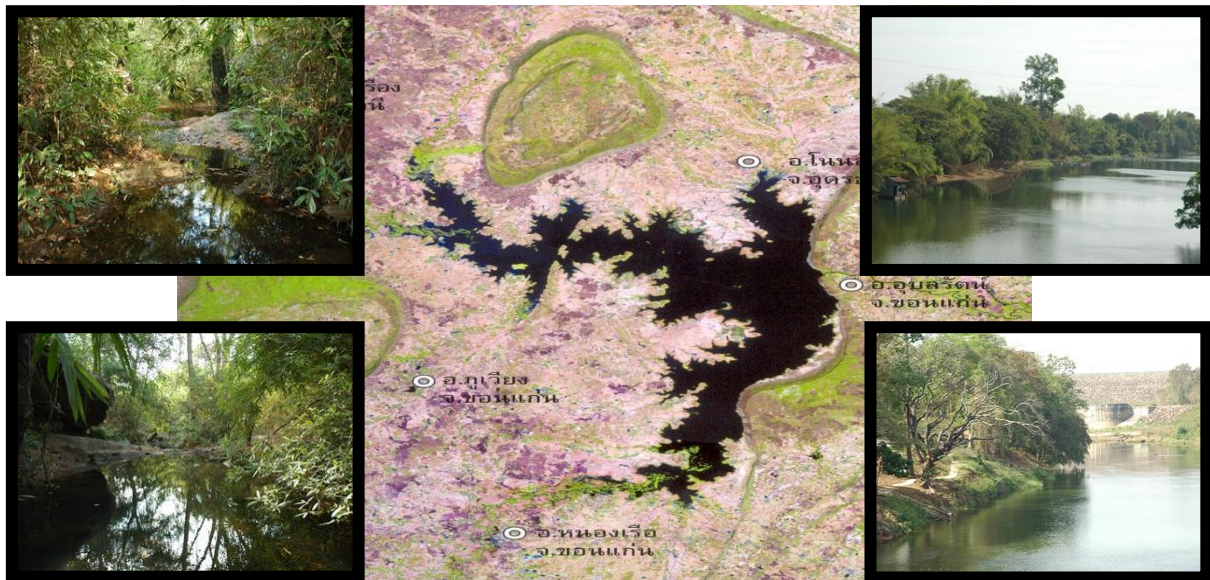
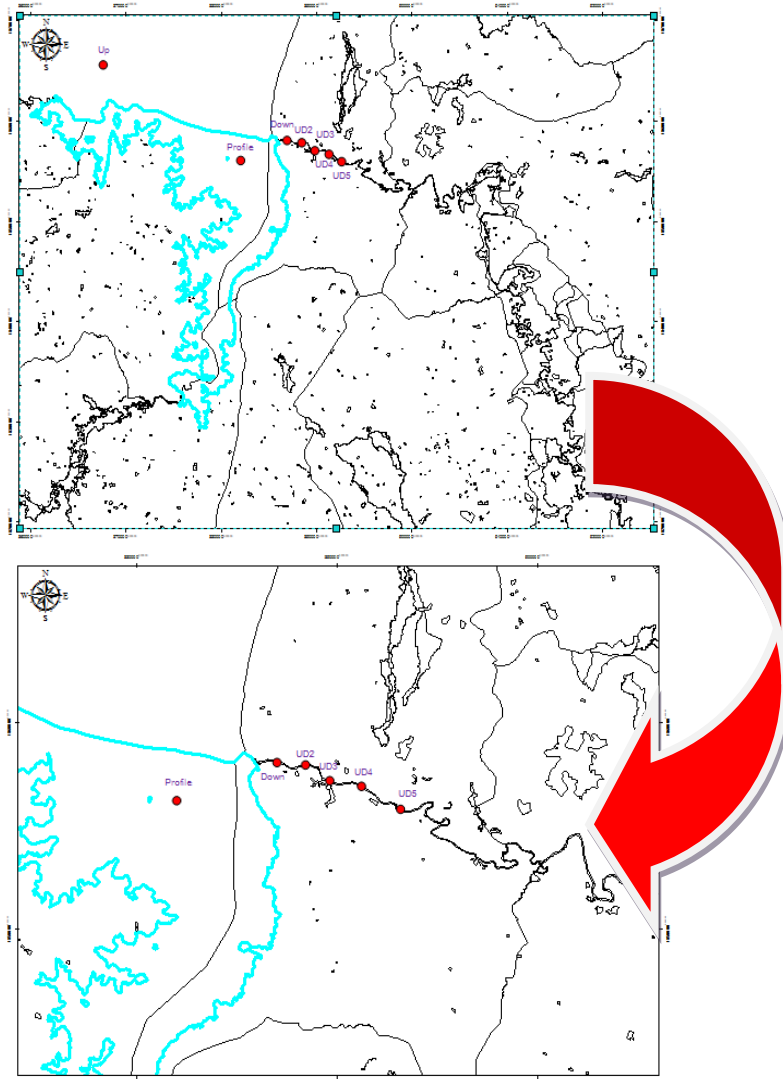
พื้นที่ศึกษา ประกอบด้วยบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อน 3 แห่ง คือ เขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น เขื่อนขุนด่านปราการชล จังหวัดนครนายก และเขื่อนรัชชประภา จังหวัดสุราษฎร์ธานี (รูปที่ 3.3-3.6) ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ศึกษา ดังสรุปในตารางที่ 3.1



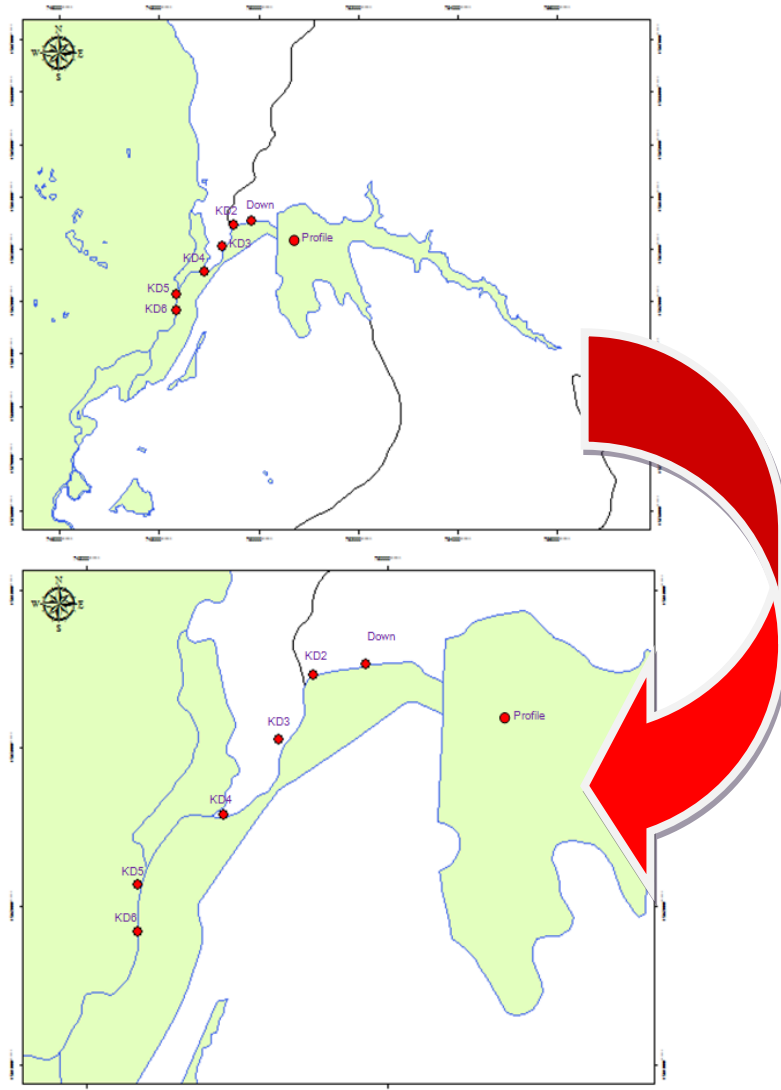
รูปที่ 3.3 พื้นที่การศึกษาประกอบด้วยเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น เขื่อนขุนด่านปราการชล จังหวัดนครนายก และเขื่อนรัชชประภา จังหวัดสุราษฎร์ธานี

ตารางที่ 3.1 ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

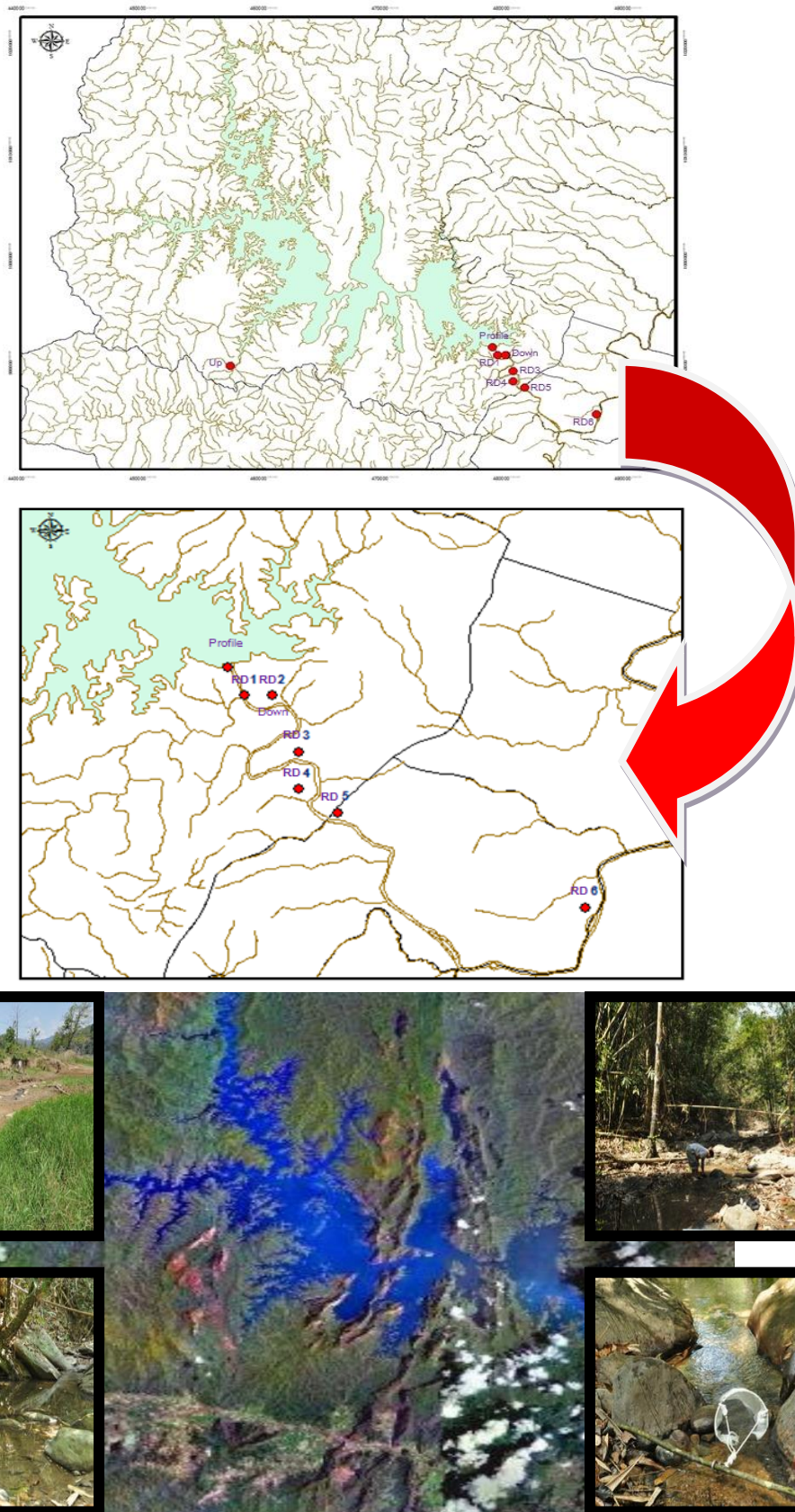
	เขื่อนรัชชประภา	เขื่อนขุนด่านปราการชล	เขื่อนอุบลรัตน์
ที่ตั้ง	บ้านเขี้ยวหลาน ต.เขาพัง อ.บ้านตาขุน จ.สุราษฎร์ธานี	บ้านท่าด่าน ต.หินตั้ง อ.เมือง นครนายก จ.นครนายก	ต.อุบลรัตน์ อ.อุบลรัตน์ จ.ขอนแก่น
ลักษณะของเขื่อน	เขื่อนหินถมแกนดินเหนียว สูง 94 เมตร ความยาว 761 เมตร	เขื่อนคอนกรีตบดอัด (Roller Compacted Concrete) สูง 94 เมตร ความยาว 2,720 เมตร ระดับสันเขื่อน 112 เมตร สันเขื่อน กว้าง 8 เมตร ฐานเขื่อน กว้าง 89 เมตร	เขื่อนหินถมแกนดินเหนียว สูง 32 เมตร ความยาว 885 เมตร ระดับสันเขื่อน 188.10 เมตร สันเขื่อนกว้าง 6 เมตร ฐานเขื่อนกว้าง 125 เมตร
ความจุ	5,638.8 ล้านลูกบาศก์เมตร	224 ล้านลูกบาศก์เมตร	2,263 ล้านลูกบาศก์เมตร
ปริมาณน้ำไหลเข้า	2,598 ล้านลูกบาศก์เมตร	337 ล้านลูกบาศก์เมตร	1,750 ล้านลูกบาศก์เมตร
พื้นที่รับน้ำ	1,435 ตารางกิโลเมตร	194 ตารางกิโลเมตร	12,104 ตารางกิโลเมตร
การใช้ประโยชน์	ผลิตกระแสไฟฟ้า การชลประทาน	การชลประทาน	ผลิตกระแสไฟฟ้า การชลประทาน
กำลังการผลิต กระแสไฟฟ้า	240,000 กิโลวัตต์	-	25,200 กิโลวัตต์
พลังงานไฟฟ้า เฉลี่ย	554 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง	-	55 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง



รูปที่ 3.4 พื้นที่จุดเก็บตัวอย่าง บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น



รูปที่ 3.5 พื้นที่จุดเก็บตัวอย่าง บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนขุนด่านปราการชล จังหวัดนครนายก



รูปที่ 3.6 พื้นที่จุดเก็บตัวอย่าง บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนรัชชประภา จังหวัดสุราษฎร์ธานี

3.3 วิธีการตรวจวัดและเก็บตัวอย่าง

3.3.1 วิธีการตรวจวัดและเก็บตัวอย่างน้ำ

- บริเวณต้นน้ำก่อนไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ทำการเก็บตัวอย่างน้ำ ตรวจวัดลักษณะทางกายภาพของน้ำทันทีด้วยเครื่องมือในขณะที่ทำการเก็บตัวอย่าง ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง ความเค็ม อุณหภูมิ สภาพการนำไฟฟ้า ความเร็วของน้ำ และความเข้มของแสงช่วงคลื่น 400-700 นาโนเมตร (nm) ที่สิ่งมีชีวิตใช้ในการสังเคราะห์แสง (Photosynthetically Active Radiation; PAR) (ตารางที่ 3.2) ตรวจวัดและวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของน้ำภายใน 12 ชั่วโมง ได้แก่ สารละลายแอมโมเนีย ($\text{NH}_3\text{-N}$) สารละลายไนไตรท์ ($\text{NO}_2\text{-N}$) สารอินทรีย์ฟอสเฟตละลายน้ำ (DIP) สารซิลิกาละลายน้ำ (Si) คลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll a) และ สารอินทรีย์คาร์บอน (DIC) ตรวจวัดลักษณะทางเคมีของน้ำในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ไนเตรท ($\text{NO}_3\text{-N}$) สารไนโตรเจนรวม (TN) สารไนโตรเจนละลายน้ำรวม (TDN) สารฟอสเฟตรวม (TP) และสารฟอสเฟตละลายน้ำรวม (TDP) (ตารางที่ 3.3)

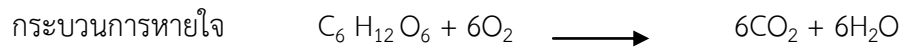
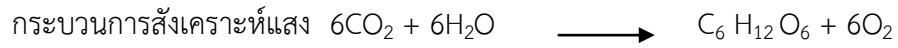
- ภายในอ่างเก็บน้ำบริเวณหน้าประตูปล่อยน้ำ ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำตามระดับความลึกของน้ำ (Profile) โดยวัดลักษณะทางกายภาพของน้ำทันที ด้วยเครื่องมือในขณะที่ทำการเก็บตัวอย่าง ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง ความเค็ม อุณหภูมิและสภาพการนำไฟฟ้า ตรวจวัดลักษณะทางเคมีของน้ำภายใน 12 ชั่วโมง ได้แก่ $\text{NH}_3\text{-N}$ และ DIC

- บริเวณท้ายน้ำหลังประตูปล่อยน้ำจากเขื่อน ทำการเก็บตัวอย่างน้ำ ตรวจวัดลักษณะทางกายภาพของน้ำทันทีด้วยเครื่องมือในขณะที่ทำการเก็บตัวอย่าง ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง ความเค็ม อุณหภูมิ สภาพการนำไฟฟ้า ความเร็วของน้ำ และความเข้มของแสง PAR ตรวจวัดลักษณะทางเคมีของน้ำภายใน 12 ชั่วโมง ได้แก่ $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, DIP, Si, Chlorophyll a และ DIC ตรวจวัดลักษณะทางเคมีของน้ำในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ $\text{NO}_3\text{-N}$, TN, TDN, TP และ TDP (ตารางที่ 3.3)

- บริเวณคลองท้ายน้ำ ทำการตรวจวัดตามระยะความยาวของลำน้ำ โดยวัดลักษณะทางกายภาพของน้ำทันทีด้วยเครื่องมือในขณะที่ทำการเก็บตัวอย่าง ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง ความเค็ม อุณหภูมิและสภาพการนำไฟฟ้า ตรวจวัดลักษณะทางเคมีของน้ำภายใน 12 ชั่วโมง ได้แก่ $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, DIP และ Si (ตารางที่ 3.3)

3.3.2 วิธีการตรวจวัดอัตราการสังเคราะห์แสงและอัตราการหายใจของประชาคมสิ่งมีชีวิต

- การตรวจวัดอัตราการสังเคราะห์แสง และอัตราการหายใจของประชาคมสิ่งมีชีวิตในลำธาร ด้วยเทคนิค Open water oxygen diurnal method (Hauer and Lamberti, 2007) ซึ่งเป็นการวัดอัตราการสังเคราะห์อินทรีย์สารของแพลงก์ตอนพืช และอัตราการเผาผลาญสารอินทรีย์ของประชาคมสิ่งมีชีวิตชั้นปฐมภูมิ (แบคทีเรีย แพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์และสัตว์หน้าดิน) ในแหล่งน้ำ โดยทำการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจนที่ถูกผลิตขึ้นและใช้ไป ตามหลักการทาง Stoichiometry ของกระบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจ ปริมาณออกซิเจนที่เกิดขึ้นหรือถูกใช้ จะเป็นสัดส่วนกับปริมาณอินทรีย์สารที่ถูกสังเคราะห์และถูกเผาผลาญ และเป็นสัดส่วนกับสารอินทรีย์ที่ถูกใช้และปล่อยออก ดังสมการต่อไปนี้



ผลผลิตขั้นต้น (Primary productivity) คือ อัตราการสร้างสารอินทรีย์จากสารอนินทรีย์คาร์บอน โดยกระบวนการสังเคราะห์แสงของสิ่งมีชีวิตชั้นปฐมภูมิ (Primary Producer) จำพวกแพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนแบคทีเรีย และพืชชั้นสูง วิธีที่นิยมใช้ในการตรวจวัดผลผลิตขั้นต้น คือ การวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจน ตามสมการพื้นฐานของกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยสามารถตรวจวัดได้ 3 องค์ประกอบหลักของกระบวนการเมตาบอลิซึมของระบบนิเวศ ได้แก่ ผลผลิตทั้งหมด (Gross primary productivity; GPP) ผลผลิตสุทธิ (Net primary productivity; NPP) และการหายใจ (Respiration; R) ของประชาคมสิ่งมีชีวิต ดังสมการ

$$\text{GPP} = \text{NPP} + \text{R}$$

สำหรับการตรวจวัดอัตราเมตาบอลิซึมของระบบนิเวศ ด้วยเทคนิค Open water oxygen diurnal method นั้น เป็นการตรวจวัดผลรวมทั้งหมดของกระบวนการสร้างและทำลายสารอินทรีย์ของระบบนิเวศ ซึ่งปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ถูกตรวจวัดอย่างต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง โดยการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลายน้ำในลำน้ำ ($C_{(\text{dissolved O}_2)}$) ขึ้นอยู่กับกระบวนการสังเคราะห์แสง (P) การหายใจ (R) และการถ่ายเทของออกซิเจนระหว่างอากาศและน้ำ (E) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$C_{(\text{dissolved O}_2)} = P - R \pm E$$

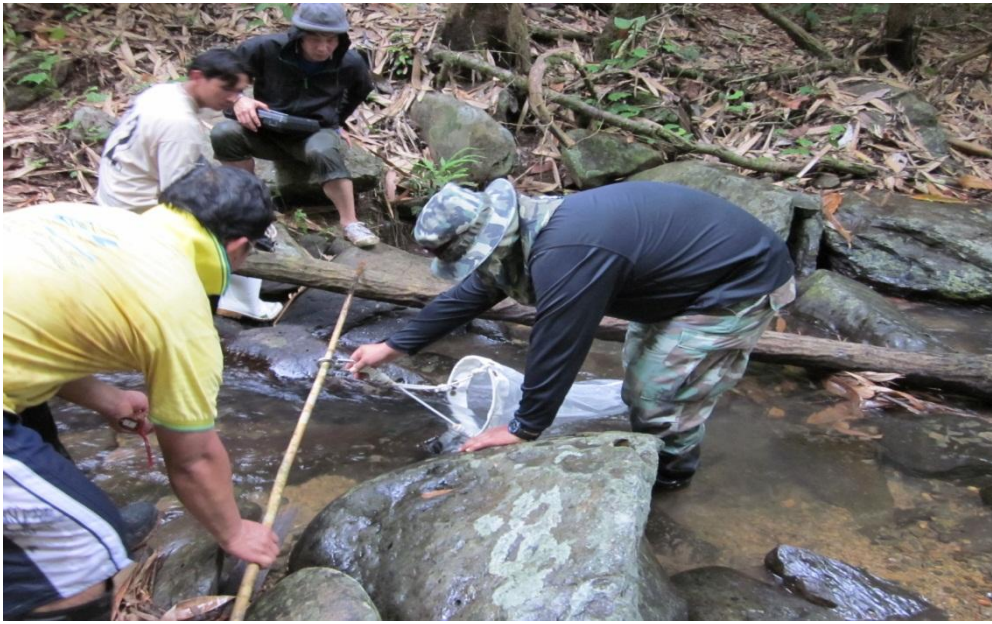
ดังนั้น เมตาบอลิซึมสุทธิของระบบนิเวศหรือผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ (Net Ecosystem Metabolism (NEM) หรือ Net Primary Production (NPP)) เท่ากับ

$$\text{NEM} = \text{GPP} - \text{CR}_{24}$$

เมตาบอลิซึม มักถูกรายงานเป็นหน่วยของคาร์บอน โดยออกซิเจนถูกแปลงให้เป็นหน่วยของคาร์บอน โดยใช้ Photosynthetic Quotient (PQ) เท่ากับ 1.2 และ Respiration Quotient (RQ) เท่ากับ 0.85 (Hashimoto et al., 2005; Vallino et al., 2005) สำหรับการประมาณอัตราการถ่ายเทของออกซิเจนระหว่างอากาศและน้ำ ใช้วิธีที่ระบุใน (Hauer and Lamberti, 2007)

3.3.3 วิธีการเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ขนาดใหญ่และขนาดเล็ก (CPOM และ FPOM)

- การเก็บตัวอย่างตะกอนอินทรีย์ขนาดใหญ่และขนาดเล็ก (Coarse Particulate Organic Matter; CPOM = ตะกอนอินทรีย์ที่มีอนุภาคใหญ่กว่า 1 มิลลิเมตร และ Fine Particulate Organic Matter; FPOM = ตะกอนอินทรีย์ที่มีขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร) ใช้ถุงเก็บตัวอย่างที่มีขนาดของตาข่าย 102 ไมโครเมตร และมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร โดยนำอุปกรณ์เก็บตัวอย่างไปวางไว้ในน้ำเป็นเวลาครึ่งชั่วโมงพร้อมทั้งวัดความเร็วกระแสน้ำในขณะนั้นด้วย (รูปที่ 3.7) จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้เก็บใส่ในถุงซิปลงแล้วนำมาวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานที่ใช้เก็บ CPOM และ FPOM (Jesus, 2005)



รูปที่ 3.7 การเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ขนาดใหญ่และขนาดเล็ก (CPOM และ FPOM)

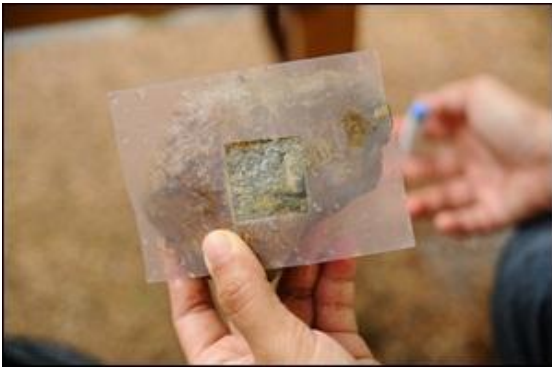
3.3.4 วิธีการเก็บตัวอย่างชีวภาพ

- วิธีการเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอน (รูปที่ 3.8) ใช้ถังตักน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างปริมาตร 50 ลิตร กรองผ่านถุงแพลงก์ตอนที่มีขนาดตา 60 ไมครอน นำตัวอย่างแพลงก์ตอนที่กรองได้ใส่ในขวดพลาสติกที่มีขนาดความจุ 120 มิลลิลิตร เติมสารฟอร์มาลีน เข้มข้นประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ นำตัวอย่างกลับไปวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ (Eaton et al., 1995)



รูปที่ 3.8 การเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอน

- วิธีการเก็บแพลงก์ตอนชนิดที่เกาะติดกับวัตถุท้องน้ำ (รูปที่ 3.9) กำหนดระยะทางประมาณ 100 เมตร กว้าง 5 เมตรสำหรับเก็บตัวอย่างวัตถุที่มีสาหร่ายเกาะติด ทุก ๆ 10 เมตร ใช้แผ่นพลาสติก เจาะตรงกลาง ขนาดความกว้างและความยาวเท่ากันที่ 3.5 เซนติเมตร ทาบลงบนวัตถุแล้วใช้แปรงขนอ่อน ขัดบริเวณช่องว่างบนแผ่นพลาสติก ใช้น้ำล้างตะกอนที่ร้อนออกแล้วเทลงใส่ขวดพลาสติกที่มีขนาดความจุ 120 มิลลิลิตร เติมน้ำสารฟอร์มอลิน เข้มข้นประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ นำตัวอย่างกลับไปวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ (Hiroki and Makoto, 2003)



รูปที่ 3.9 การเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนชนิดที่เกาะติดกับวัตถุท้องน้ำ

- วิธีการเก็บตัวอย่างสัตว์หน้าดิน (รูปที่ 3.10) เก็บตะกอนดินผิวหน้าด้วยวิธี Kick sampling โดยใช้ตาข่ายรองรับตอนล่างตามเส้นทางน้ำ โดยกำหนดพื้นที่ 2 x 5 เมตร นำตัวอย่างใส่ถุงซิปล็อกเติมสารฟอร์มาลินเข้มข้นประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ นำตัวอย่างที่ได้มาแยกชนิดจนถึงระดับสกุล (Genus) นับจำนวนตัวของสัตว์หน้าดินแต่ละชนิด แล้วคำนวณเป็นจำนวนตัวต่อตารางเมตร (Jesus, 2005)



รูปที่ 3.10 การเก็บตัวอย่างสัตว์หน้าดิน

- วิธีการเก็บตัวอย่างแบบที่เรียๆ แบ่งตะกอนดินผิวหน้าใส่ถุงพลาสติกพร้อมแช่เย็นทันที นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ (APHA, 1998)

- วิธีการเก็บตัวอย่างคลอโรฟิลล์ เอ (รูปที่ 3.11) เก็บตัวอย่างน้ำใสในขวดสีชาขนาด 2.5 ลิตร นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ ภายใน 12 ชั่วโมง (Strickland and Parsons, 1972)



รูปที่ 3.11 การเก็บตัวอย่างคลอโรฟิลล์

ตารางที่ 3.2 วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางด้านกายภาพ

ดัชนี	วิธีการวิเคราะห์/อุปกรณ์	หมายเหตุ
1. ความเร็วของน้ำ	Flow meter	วิเคราะห์ในภาคสนาม
2. ความลึกของน้ำ	สายวัด	วิเคราะห์ในภาคสนาม
3. ความเข้มของแสง	Light meter	วิเคราะห์ในภาคสนาม
4. ความเป็นกรด-ด่าง	pH meter	วิเคราะห์ในภาคสนาม
5. อุณหภูมิของน้ำ	S-C-T meter	วิเคราะห์ในภาคสนาม
6. การนำไฟฟ้า	S-C-T meter	วิเคราะห์ในภาคสนาม
7. ความเค็ม	S-C-T meter	วิเคราะห์ในภาคสนาม
8. ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ	DO meter	วิเคราะห์ในภาคสนาม

ตารางที่ 3.3 วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี

ดัชนี	วิธีการวิเคราะห์	หมายเหตุ
1. ออกซิเจนละลายน้ำ	DO Meter	วิเคราะห์ในภาคสนาม
2. แอมโมเนีย (NH ₃ -N)	Indophenols Blue Method	วิเคราะห์ในภาคสนาม
3. ไนเตรท (NO ₃ -N)	Colorimetric Method	วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ
4. ไนไตรท์ (NO ₂ -N)	Cadmium reduction Method	วิเคราะห์ในภาคสนาม
5. สารไนโตรเจนละลายน้ำรวม (TDN)	Total Organic/Nitrogen Analyzer	กรองในภาคสนาม/แช่แข็ง อุณหภูมิ -20 °C
6. สารไนโตรเจนรวม (TN)	Total Organic/Nitrogen Analyzer	แช่แข็งอุณหภูมิ -20 °C
7. สารอินทรีย์ฟอสเฟตที่ละลายน้ำ (DIP)	Ascorbic acid Method	วิเคราะห์ในภาคสนาม
8. สารฟอสเฟตที่ละลายน้ำรวม (TDP)	Persulfate Digestion & Ascorbic Acid Method	กรองในภาคสนาม/แช่แข็ง อุณหภูมิ -20 °C
9. สารฟอสเฟตรวม (TP)	Persulfate Digestion & Ascorbic Acid Method	แช่แข็งอุณหภูมิ -20 °C
10. สารซิลิกาละลายน้ำ (DSi)	Molybdosilicate Method	วิเคราะห์ในภาคสนาม
11. คลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll a)	Spectrophotometric Method # Hexane 90%	วิเคราะห์ในภาคสนาม
12. สารอินทรีย์รวม (TOC)	Total Organic/Nitrogen Analyzer	แช่แข็งอุณหภูมิ -20 °C
13. สารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC)	Total Organic/Nitrogen Analyzer	กรองในภาคสนาม/แช่แข็ง อุณหภูมิ -20 °C
14. สารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ (DIC)	Alkalinity – Gram Potentiometric Titration	วิเคราะห์ในภาคสนาม

3.4 วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.4.1 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

1. การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำในภาคสนาม

- การวิเคราะห์สารอนินทรีย์ฟอสเฟตละลายน้ำ (DIP) ตวงตัวอย่างน้ำที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง Membrane cellulose 50 มิลลิลิตร เติมสารละลายแอสคอร์บิก 1.5 มิลลิลิตร และเติมสารละลายผสม 1.5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 10 นาทีแต่ไม่เกิน 30 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 880 นาโนเมตรด้วย Spectrophotometer บันทึกค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง นำค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างมาคำนวณหาความเข้มข้นจากสมการ Linear regression ที่ได้จากราฟมาตรฐานที่เตรียมไว้

- การวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์ (NO_2^- -N) ตวงตัวอย่างน้ำที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง Membrane Cellulose 50 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Color reagent 2 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมงแล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 543 นาโนเมตร ด้วย Spectrophotometer บันทึกค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง นำค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างมาคำนวณหาความเข้มข้นจากสมการ Linear regression ที่ได้จากราฟมาตรฐานที่เตรียมไว้

- การวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย (NH_3 -N) ตวงตัวอย่างน้ำที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง Membrane Cellulose 50 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Phenol 2 มิลลิลิตร เติมสารละลายปรับสภาพ 1 มิลลิลิตร เติมสารละลายไฮเตอร์ 2 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 5 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 20 ชั่วโมง แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 630 นาโนเมตร ด้วย Spectrophotometer บันทึกค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง นำค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างมาคำนวณหาความเข้มข้นจากสมการ Linear regression ที่ได้จากราฟมาตรฐานที่เตรียมไว้

- การวิเคราะห์ซิลิกาละลายน้ำ (Si) ทำการเจือจางตัวอย่างน้ำที่ผ่านการกรองน้ำด้วยกระดาษกรอง Membrane Cellulose 10 เท่า แล้วนำมา 5 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Acid molybdate 200 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ 10 - 20 นาที เติมสารละลาย Oxalic acid 200 ไมโครลิตร เติมสารละลายแอสคอร์บิก 100 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที แต่ไม่เกิน 1 ชั่วโมง แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 810 นาโนเมตร ด้วย Spectrophotometer บันทึกค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง นำค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างมาคำนวณหาความเข้มข้นจากสมการ Linear regression ที่ได้จากราฟมาตรฐานที่เตรียมไว้

- การวิเคราะห์สารอนินทรีย์คาร์บอน (DIC) ตวงตัวอย่างน้ำ 50 มิลลิลิตร ใส่บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จุ่ม pH electrode ที่ calibrate แล้วลงในบีกเกอร์ แกว่งจนค่า pH ที่อ่านได้คงที่บันทึกค่าไว้ จากนั้นค่อยๆ เติมกรด HCL 0.01N จาก burette จน pH ลดลงไปอยู่ที่ 4.0 บันทึกค่า pH และปริมาตรกรดที่เติมลงไป จากนั้นเติมกรดจาก burette จน pH ลดลงทีละ 0.1 หน่วย รอให้ค่าที่อ่านได้คงที่แล้วบันทึกค่า pH และปริมาตรกรดที่เติมลงไป ทำซ้ำไปเรื่อยๆ จน pH เหลือประมาณ 2.9 ทำ 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง ทำการคำนวณค่า Carbonate, Bicarbonate, carbonic acid, Total dissolved inorganic carbon (DIC) จากสมการ (เพ็ญใจ, 2549)

2. การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำในห้องปฏิบัติการ

- การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ตวงตัวอย่างน้ำที่ผ่าน และไม่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง Membrane Cellulose 50 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Digestion 4 มิลลิลิตร นำเข้า Autoclave ที่อุณหภูมิ 120°C ความดัน 1 kgf/cm² เป็นเวลา 90 นาที จากนั้นนำออกมาทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเติม

สารละลายแอสคอร์บิก 1.5 มิลลิลิตร และเติมสารละลายผสม 1.5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที แต่ไม่เกิน 30 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 880 นาโนเมตร ด้วย Spectrophotometer บันทึกค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง นำค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างมาคำนวณหาความเข้มข้นจากสมการ Linear regression ที่ได้จากราฟมาตรฐานที่เตรียมไว้

-การวิเคราะห์ปริมาณไนเตรท (NO_3^-) ตวงตัวอย่างน้ำที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง Membrane Cellulose 50 มิลลิลิตร เติมสารละลายแอมโมเนียคลอไรด์ 50 มิลลิลิตร นำไปผ่านคอลัมน์แคดเมียม โดยปล่อยให้ทิ้งไป 30 มิลลิลิตร แล้วเก็บ 50 มิลลิลิตร ที่เหลือ เติมสารละลายซัลฟานิลไมด์ 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ 5 – 8 นาที เติมสารละลายเนบิลิล เอ็นทิลีนไดเอมีน 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วปิดฝาด้วยกระดาษอลูมิเนียม ตั้งทิ้งไว้ 10 – 30 นาทีแล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 880 นาโนเมตร ด้วย Spectrophotometer บันทึกค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง นำค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างมาคำนวณหาความเข้มข้นจากสมการ Linear regression ที่ได้จากราฟมาตรฐานที่เตรียมไว้

วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำนี้ เป็นวิธีมาตรฐานที่ใช้กันโดยทั่วไปสำหรับการศึกษาวิจัยพลวัตของระบบนิเวศ ทั้งใน Limnology และ Oceanography (Grasshof et al., 1983; Strickland and Parsons, 1972; Clesceri et al., 1998) รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์ แสดงในตารางที่ 3.3 และค่าสถิติสำหรับการควบคุมคุณภาพของการวิเคราะห์ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 แสดงค่าสถิติสำหรับการควบคุมคุณภาพของการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

ดัชนี	Method Detection Limit (MDL) ($\mu\text{mol/l}$)	Precision (%CV=[SD/mean]*100)	Absorbance of blank วัดด้วย cell 10 cm.
1. แอมโมเนีย ($\text{NH}_3\text{-N}$)	0.10	2.29	0.011
2. ไนไตรท์ ($\text{NO}_2^- \text{-N}$)	0.01	1.51	0.003
3. ไนเตรท ($\text{NO}_3^- \text{-N}$)	0.06	1.74	0.003
4. สารอนินทรีย์ฟอสเฟตที่ละลายน้ำ (DIP)	0.04	4.68	0.002
5. สารฟอสเฟตที่ละลายน้ำรวม (TP)	0.06	1.43	0.001
6. คลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll a)	-	7.70	-
7. ซิลิกา (Silica)	3.01	2.14	0.028

3.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณตะกอนอินทรีย์และเปอร์เซ็นต์ Ash Free Dry Mass (AFDM) ของตะกอนอินทรีย์ขนาดใหญ่และขนาดเล็ก (CPOM และFPOM)

1. ปริมาณตะกอนอินทรีย์

- นำตัวอย่าง CPOM และ FPOM ที่เก็บจากภาคสนามมาซึ่งเพื่อหาน้ำหนักเริ่มต้นจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ นำน้ำหนักเริ่มต้นลบด้วยน้ำหนักแห้งที่คงที่แล้ว จากนั้นนำน้ำหนักที่ได้มาคำนวณหาปริมาณตะกอนอินทรีย์โดยนำมาคูณกับพื้นที่หน้าตัดของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างคูณด้วยเวลา ที่ใช้เก็บตัวอย่างและความเร็วของกระแส น้ำก็จะได้ปริมาณของตะกอนอินทรีย์

2. %Ash Free Dry Mass (AFDM)

- นำตัวอย่างที่อบจนน้ำหนักคงที่แล้วมาอบให้เข้ากัน ตักตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ลงใน Crucible นำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทิ้งให้อุณหภูมิลดลงใน Dedicator จากนั้น ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่เหลือ แล้วลบกับน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้นก็จะได้ AFDM (Mandy et al., 2005)

3.4.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างชีวภาพ

1. แพลงก์ตอนชนิดที่เกาะติด

- การวิเคราะห์ตัวอย่างแพลงก์ตอนชนิดที่เกาะติดกับวัตถุท้องน้ำ นำตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนสัตว์ และแพลงก์ตอนชนิดที่เกาะติดกับวัตถุท้องน้ำ ในส่วนของแพลงก์ตอนสัตว์ปล่อยตัวอย่างตกตะกอนซึ่งใช้เวลาราว 2-3 วัน ดูดน้ำใส่ด้านบนทิ้งไป นำตะกอนทั้งหมดไปจำแนกชนิดและนับจำนวนแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบ 2 ตา ในส่วนของแพลงก์ตอนชนิดที่เกาะติดกับวัตถุท้องน้ำทำการสุ่มตัวอย่างมาตรวจวิเคราะห์ด้วย Sedgewick-Rafter Slide ที่มีขนาดความจุ 1 มิลลิลิตร อย่างน้อย 3 ครั้ง ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบเลนส์ประกอบ

2. สัตว์หน้าดิน

- การวิเคราะห์ตัวอย่างสัตว์หน้าดิน นำตัวอย่างที่ได้มาแยกชนิดจนถึงระดับสกุล (Genus) นับจำนวนตัวของสัตว์หน้าดินแต่ละชนิด แล้วคำนวณเป็นจำนวนตัวต่อตารางเมตร

3. แบคทีเรีย

- การวิเคราะห์ตัวอย่างแบคทีเรีย นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ โดยใช้วิธี Total plate count (อย่างน้อย 3 ซ้ำ ต่อ 1 ตัวอย่าง) คือนำตะกอนดินที่ทราบน้ำหนักแน่นอนมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากเชื้อ นำสารละลายตัวอย่างตะกอนดินที่เจือจางแล้ว 1 มิลลิลิตร หยดลงในจานเพาะเชื้อ เต็มอาหารเลี้ยงเชื้อชนิด Nutrient agar เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ให้อาหารแข็งตัวแล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง จนสังเกตเห็นการเจริญเติบโตของโคโลนี จุลินทรีย์ขึ้นอย่างน้อย 1-4 สัปดาห์ นับจำนวนโคโลนีในแต่ละ Plate คำนวณกลับเป็นปริมาณจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในตัวอย่างตะกอนดิน โดยนำมาคูณกับระดับความเจือจาง คัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีลักษณะของโคโลนี ที่น่าสนใจมาศึกษาชนิดและลักษณะต่อไป โดยการวิเคราะห์ลำดับของนิวคลีโอไทด์ ของ 16s rRNA ซึ่งเป็นวิธีที่มีความแม่นยำสูงกว่าการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและคุณสมบัติทางชีวเคมีของเชื้อ ทำการเทียบเคียงลำดับนิวคลีโอไทด์ที่ได้กับลำดับนิวคลีโอไทด์ในฐานข้อมูล Genebank เพื่อทำการจำแนกเชื้อต่อไป

4. คลอโรฟิลล์ เอ

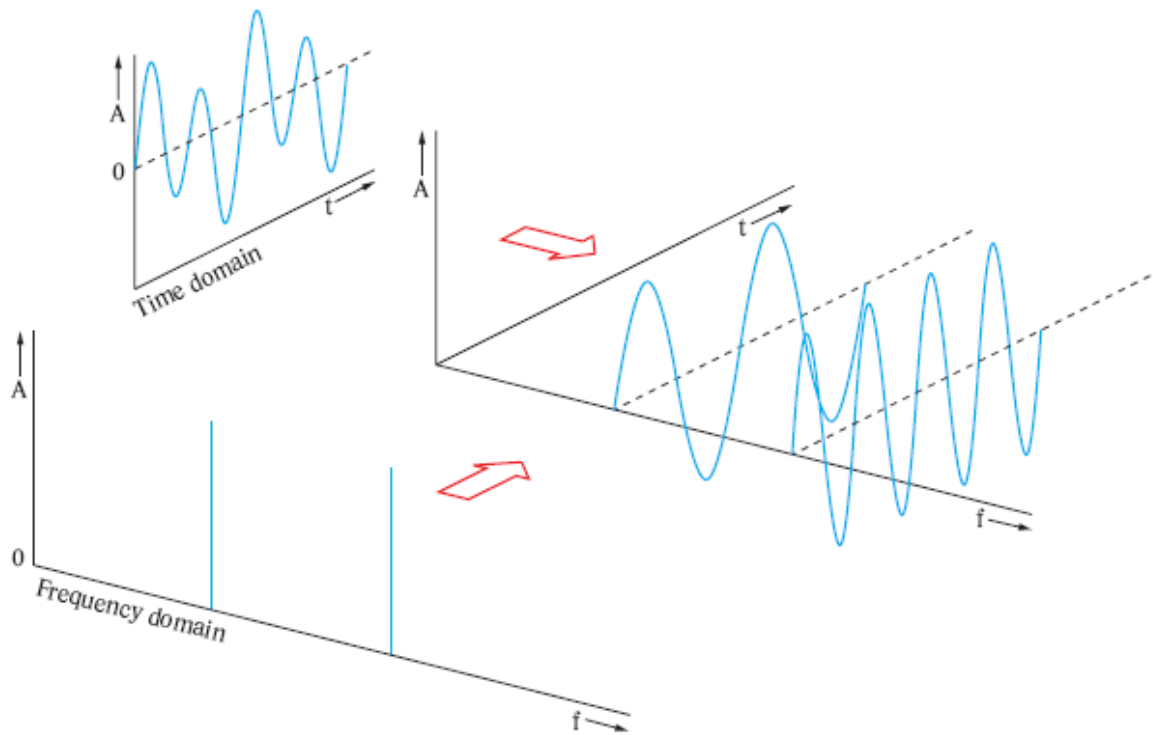
- การวิเคราะห์ตัวอย่างคลอโรฟิลล์ เอ กรองน้ำตัวอย่างด้วยกระดาษกรองชนิด Membrane filter ซึ่ง Pore size มีขนาด 0.45 ไมโครเมตร โดยก่อนกรองให้เติมสารละลาย $MgCO_3$ 3-5 หยด กรองตัวอย่างจนกระดาษกรองตันจากนั้นบันทึกปริมาตรตัวอย่างน้ำที่ใช้ นำกระดาษที่กรองตัวอย่างใส่หลอดแก้วสำหรับวิเคราะห์ เติม Acetone 90% 30 มิลลิลิตร ปั่นด้วย Homogenizer ที่ความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที ตั้งทิ้งไว้ในที่เย็นและมีมืด 20 ชั่วโมง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 750, 664, 647 และ 630 นาโนเมตร ด้วย Spectrophotometer คำนวณค่าความเข้มข้นของ Chlorophyll a จากสูตร (Strickland and Parsons, 1972)

$$\text{Chlorophyll a } (\mu\text{g/l}) = \{(11.85 * E_{664} - 1.54 * E_{647} - 0.08 * E_{630}) * \text{ปริมาตรของ Hexane}\} / \{\text{ปริมาตรของน้ำตัวอย่างที่ใช้} * \text{cuvette cell quartz (10)}\}$$

3.5 วิธีการวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพหุ

สถิติพรรณนาเชิงพหุ ได้นำมาประยุกต์ใช้วิเคราะห์ข้อมูลอุตุ-อุทกวิทยา คุณภาพน้ำ ชนิดและปริมาณของสิ่งมีชีวิตชั้นปฐมภูมิ เพื่ออธิบายรูปแบบการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และฤดูกาล รวมถึงประเมินความสัมพันธ์และความเชื่อมโยงระหว่างองค์ประกอบที่มีชีวิตและไม่มีชีวิตในระบบนิเวศธารน้ำไหลบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ ตลอดจนแสดงถึงผลกระทบจากการกั้นลำน้ำเนื่องจากการสร้างเขื่อนและกิจกรรมอื่นๆ ของมนุษย์ ซึ่งสถิติพรรณนาเชิงพหุที่นำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษานี้ ประกอบด้วย

1. Spectral Analysis เป็นเทคนิคการวิเคราะห์เพื่อแยกความแปรปรวนของอนุกรมข้อมูลซึ่งอยู่ในโดเมนเวลา ให้อยู่ในรูปฟังก์ชันความถี่ของคาบเวลาต่างๆ ในโดเมนความถี่ โดยความแปรปรวนของแต่ละคาบเวลาแสดงในรูป Power spectral density (PSD) ซึ่งเป็นฟังก์ชันคู่ของไซน์และโคไซน์ (Emery and Thomson, 1997; von Storch and Zwiers, 2003; Wilks, 2006) ที่สามารถบ่งชี้ถึงความแปรปรวนของเหตุการณ์เกิดขึ้นซ้ำในคาบเวลาต่างๆ ได้ ทั้งนี้ ภาพรวมความแปรปรวนของอนุกรมข้อมูล จะเท่ากับผลรวมของคลื่นสัญญาณไซน์และโคไซน์ในคาบเวลาต่างๆ ซึ่งมีลักษณะเฟสและแอมพลิจูดที่แตกต่างกัน ความสัมพันธ์การแปลงความแปรปรวนระหว่างโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ของฐานอนุกรมข้อมูล แสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นสัญญาณในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่

การวิเคราะห์ Spectral Analysis อาศัยสมการพื้นฐานของ Fourier Transform ซึ่งแสดงได้ดังนี้

$$y(t) = \bar{y}(t) + \sum_p [A_p \cos(\omega_p t) + B_p \sin(\omega_p t)] \quad (1)$$

เมื่อ \bar{y} = ค่าเฉลี่ยของอนุกรมข้อมูล

A_p, B_p = Fourier coefficient

ω_p = angular frequency ($p=1, 2, \dots$)

$\omega_1 = 2\pi f = 2\pi / T$, T = ความยาวทั้งหมดของอนุกรมข้อมูล

ทั้งนี้ ค่า Fourier coefficient สามารถประมาณได้จาก

$$A_p = \frac{2}{T} \int_0^T y(t) \cos(\omega_p t) dt, \quad p = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

$$B_p = \frac{2}{T} \int_0^T y(t) \sin(\omega_p t) dt, \quad p = 1, 2, \dots \quad (3)$$

สมการแบบย่อของ Fourier Transform ในรูปฟังก์ชันของเฟสและแอมพลิจูด สามารถแสดง ได้ดังนี้

$$y(t) = \frac{1}{2} C_0 + \sum_{p=1}^{\infty} C_p \cos(\omega_p t - \theta_p) \quad (4)$$

$$\text{โดยที่ แอมพลิจูด} = C_p = (A_p^2 + B_p^2)^{1/2}, \quad p = 0, 1, 2, \dots \quad (5)$$

$$\text{เมื่อ } C_0 = A_0 (B_0 = 0) \text{ และ } \theta_p = \tan^{-1} [B_p / A_p] \quad (6)$$

สำหรับการศึกษาภายใต้โครงการนี้ Spectral Analysis ได้นำมาวิเคราะห์รูปแบบเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นซ้ำตามธรรมชาติของปัจจัยทางอุตุ-อุทกวิทยาในคาบเวลาตั้งแต่รอบเดือนถึงปีและหลายๆ ปีของปริมาณฝน ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าเขื่อนและน้ำที่ปล่อยออกจากเขื่อน เพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงทางอุทก-นิเวศวิทยาเนื่องมาจากกิจกรรมของมนุษย์ในการสร้างเขื่อนกั้นลำน้ำ โดยวิเคราะห์ Spectral Analysis บนพื้นฐานของอนุกรมข้อมูลรายวัน

2. Principal Component Analysis (PCA) เป็นเทคนิคพรรณาเชิงพหุที่ได้นำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์ความแปรปรวน พลวัตและพลวัตของระบบชีวกายภาพ ระบบนิเวศและระบบสังคม (Hannachi et al., 2007) เทคนิค PCA มีหลักการบนพื้นฐานการสกัดและแยกฐานข้อมูลหลายตัวแปรให้อยู่ในรูปฟังก์ชันพื้นฐานของ Orthogonal (Eigenvalue/Eigenvector) ด้วยการแปลงเชิงเส้นตรง เพื่อลดมิติและจำนวนตัวแปรให้เหลือจำนวนน้อยลง แต่สามารถอธิบายความแปรปรวนส่วนใหญ่ในฐานข้อมูลเดิม (Preisendorfer, 1988; Emery and Thomson, 1997; von Storch and Zwiers, 2003; Wilks, 2006) โดยสมการ PCA ของเมตริกซ์ข้อมูลหลายตัวแปร $F(t,x)$ สามารถแสดงได้ดังนี้

$$F(t, x) = \sum_{j=1}^p a_j(t)(u_j(x)), \quad (7)$$

โดยที่ p คือ จำนวนโหมดของเมตริกซ์ข้อมูล $F(t,x)$ ในรูปฟังก์ชัน $u_j(x)$ และ $a_j(t)$ และ $a_1 u_1$ เท่ากับผลรวมเชิงเส้นตรงขององค์ประกอบที่ 1 หรือโหมดที่ 1 ของเมตริกซ์ F ที่มีความแปรปรวนสูงสุด ในขณะที่ $a_2 u_2$ เท่ากับผลรวมเชิงเส้นตรงขององค์ประกอบที่ 2 หรือโหมดที่ 2 ของเมตริกซ์ F ที่มีความแปรปรวนเป็นลำดับที่ 2 ทั้งนี้ แต่ละโหมดที่ถูกสกัดออกจากฐานข้อมูลเดิม เป็นอิสระต่อกันหรือมีคุณสมบัติ Orthogonality ซึ่งผลรวมความแปรปรวนในแต่ละโหมด จะเท่ากับค่าความแปรปรวนในฐานข้อมูลเดิม โดยปกติ ความแปรปรวนส่วนใหญ่มักปรากฏอยู่ในโหมดแรก ๆ ของ PCA โดยทั่วไป PCA จะถูกคำนวณจากเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม (Covariance) หรือสหสัมพันธ์ (Correlation) สำหรับการศึกษานี้ ได้นำเทคนิค PCA มาวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมระหว่างปัจจัยทางอุตุ-อุทกวิทยา คุณภาพน้ำ ชนิดและปริมาณของสิ่งมีชีวิตชั้นปฐมภูมิ เพื่อลดจำนวนตัวแปรของข้อมูล ให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบรูปแบบและลักษณะในภาพรวมของระบบนิเวศธารน้ำไหลบริเวณต้นและท้ายน้ำของแต่ละเขื่อนตลอดจนเพื่อสกัดโหมดที่โดดเด่นของความแปรปรวนของระบบนิเวศธารน้ำไหล โดยพิจารณาเชิงระบบทั้งจากองค์ประกอบที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต ทั้งนี้ ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ PCA จะทำการแปลให้เป็นค่า Z score เพื่อปรับ (Normalize) ความแปรปรวนของแต่ละตัวแปรให้มีค่าใกล้เคียงกัน กล่าวคือ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับหนึ่ง

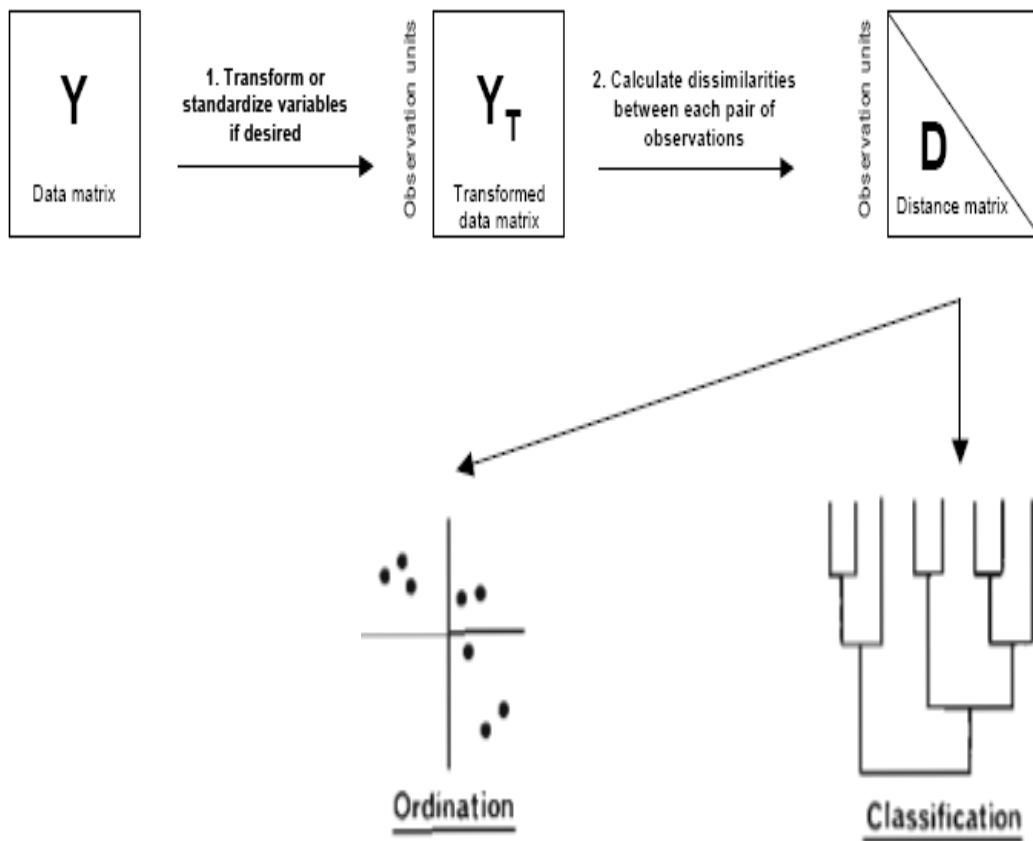
3. Cluster Analysis เป็นเทคนิคทางสถิติเพื่อแบ่งและจัดกลุ่มตัวแปรหรือหน่วยข้อมูลออกเป็นกลุ่มย่อยอย่างน้อย 2 กลุ่ม โดยมีหลักเกณฑ์ในการแบ่ง คือ ให้นำหน่วยที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันมีลักษณะที่สนใจเหมือนกันหรือคล้ายกัน (Similarity) แต่หน่วยที่อยู่ต่างกลุ่มกันจะมีลักษณะที่สนใจต่างกัน (Dissimilarity) (Scott and Knot, 1974; Mardia et al., 1979; Field et al., 1982; Digby and Kempton, 1987; Romesburg, 2004) โดยคำว่าลักษณะที่สนใจอาจจะมีหลายๆ ตัวแปร ทั้งนี้ ตัวแปรที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน จะมีความสัมพันธ์กันมากกว่าตัวแปรที่อยู่ต่างกันในขณะที่ตัวแปรที่อยู่ต่างกัน จะมีความสัมพันธ์กันน้อยหรือไม่มีความสัมพันธ์กันเลย

แนวคิดพื้นฐานที่สุดของการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม คือ ตัวแปรที่ใช้ เพราะตัวแปรเป็นสิ่งที่กำหนดคุณสมบัติของสิ่งที่ระบุความเป็นกลุ่มย่อยของหน่วยศึกษา โดยความคล้ายกันของหน่วยศึกษา สามารถวัดจากความห่างระหว่างวัตถุ ซึ่งสามารถวัดได้หลายวิธี วิธีการหนึ่งที่นิยมวัดกันมากก็คือ วิธีที่เรียกว่าระยะห่างเชิงยูคลิดยกกำลังสอง (Squared Euclidean Distance) ซึ่งเป็นผลรวมของผลต่างยกกำลังสองของทุกตัวแปร

เทคนิค Cluster Analysis แบ่งออกเป็นหลายเทคนิคย่อย โดยเทคนิคที่ใช้กันมากมี 2 เทคนิค คือ

1. การวิเคราะห์กลุ่มแบบขั้นตอน (Hierarchical Cluster Analysis) เป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันมากในการจัดกลุ่ม case หรือจัดกลุ่มตัวแปร ในกรณีที่จำนวน case มีไม่มากนักและไม่ทราบว่าจะตัวแปรใดหรือ case ไດอยู่กลุ่มใดก่อน และไม่ทราบจำนวนกลุ่มมาก่อน
2. K-Means Cluster Analysis หรือที่เรียกอีกอย่างว่าการวิเคราะห์กลุ่มแบบไม่เป็นขั้นตอน (Nonhierarchical Cluster Analysis) ซึ่งเป็นวิธีที่แตกต่างจากเทคนิคการวิเคราะห์แบบเป็นขั้นตอน โดยวิธีนี้ ผู้วิจัยจะต้องกำหนดเองว่าจะต้องแบ่งเป็นกี่กลุ่ม เช่น k กลุ่ม

ขั้นตอนโดยทั่วไปของการวิเคราะห์ Cluster Analysis ดังแสดงในรูปที่ 3.13 สำหรับการศึกษานี้ได้นำ Cluster Analysis มาวิเคราะห์จัดกลุ่มดัชนีคุณภาพน้ำ ตัวอย่างสิ่งมีชีวิตชั้นปฐมภูมิ (แพลงก์ตอนพืชแบบเกาะติด แพลงก์ตอนสัตว์และสัตว์หน้าดิน) ระหว่างระบบนิเวศธารน้ำไหลบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ และระหว่างเขื่อน



รูปที่ 3.13 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ Cluster Analysis

บทที่ 4 ผลการศึกษา

4.1 ลักษณะและความแปรปรวนทางอุตุ-อุทกวิทยาของพื้นที่บริเวณเขื่อนอุบลรัตน์ เขื่อนขุนด่านปราการชล และเขื่อนรัชชประภา

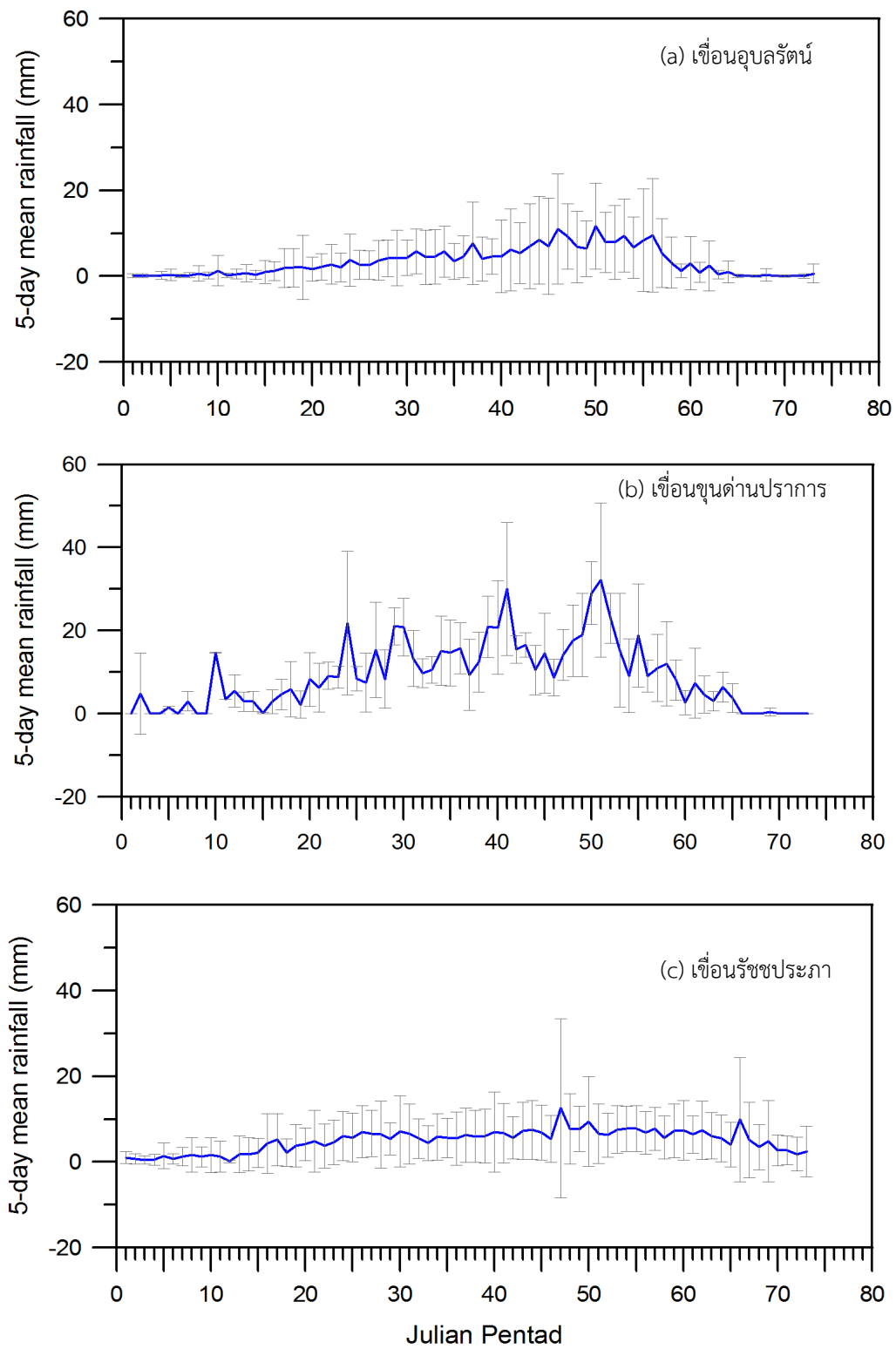
ปริมาณฝน น้ำท่าที่ไหลเข้าเขื่อนและน้ำที่ถูกปล่อยออกจากเขื่อน เป็นปัจจัยพื้นฐานทางอุตุ-อุทกวิทยาที่สำคัญต่อการกำหนดความแปรปรวนและพลวัตของระบบนิเวศธารน้ำไหลบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ ซึ่งเชื่อมโยงกับลักษณะและรูปแบบความแปรปรวนของภูมิอากาศ สภาวะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศในระดับท้องถิ่นและระดับภูมิภาค รวมทั้งกิจกรรมของมนุษย์ที่รบกวนเส้นทางเดินของน้ำและควบคุมปริมาณและอัตราการไหลของน้ำ ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยระยะยาวของปริมาณฝนเฉลี่ยราย 5 วันในรอบปีของข้อมูลจากสถานีตรวจวัดปริมาณฝนผิวพื้นบริเวณใกล้เคียงเขื่อนอุบลรัตน์ เขื่อนขุนด่านปราการชลและเขื่อนรัชชประภา พบว่า รูปแบบความแปรปรวนในรอบปีของฝนทั้งสามเขื่อน มีลักษณะภาพรวมที่สอดคล้องกัน เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ โดยปริมาณฝนเพิ่มขึ้นในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม-กันยายน) ซึ่งมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ มีกำลังแรงพัดปกคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทย (Limsakul et al., 2010) ในขณะที่ปริมาณฝนกลับลดลงในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นช่วงที่อากาศหนาวจากประเทศจีนแผ่ปกคลุมประเทศไทยเป็นระยะๆ ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ (อัศมน และคณะ, 2553) (รูปที่ 4.1) แม้ว่าพื้นที่ทั้งสามแห่งอยู่ภายใต้อิทธิพลมรสุมฤดูร้อนและฤดูหนาว แต่เมื่อพิจารณาในรายละเอียดแล้วพบว่า ความแปรปรวนของฝนในรอบปีของแต่ละเขื่อนมีลักษณะที่แตกต่างกันบางประการ กล่าวคือ ปริมาณฝนบริเวณเขื่อนขุนด่านปราการชล มีแอมพลิจูดและความแปรปรวนระหว่างปีสูงกว่าเขื่อนอุบลรัตน์และเขื่อนรัชชประภา ในขณะที่ช่วงระยะเวลาที่ฝนตกในบริเวณเขื่อนรัชชประภาเกิดขึ้นเกือบตลอดทั้งปี และยาวนานกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเขื่อนอุบลรัตน์และเขื่อนขุนด่านปราการชล (รูปที่ 4.1) ลักษณะที่แตกต่างกันดังกล่าว อาจเกิดจากสภาพภูมิประเทศ ลักษณะทางภูเขาและทางกายภาพของท้องถิ่นที่แตกต่าง

ค่าเฉลี่ยระยะยาวของปริมาณน้ำท่าไหลเข้าเขื่อนเฉลี่ยราย 5 วัน ในรอบปีของเขื่อนอุบลรัตน์ เขื่อนขุนด่านปราการชลและเขื่อนรัชชประภา แสดงในรูปที่ 4.2 โดยภาพรวมแล้ว ความแปรปรวนในรอบปีของปริมาณน้ำท่าไหลเข้าเขื่อนในแง่ของแอมพลิจูดและเฟส มีลักษณะที่สอดคล้องกับรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของฝนในรอบปี โดยน้ำท่าเริ่มไหลเข้าเขื่อนตั้งแต่ Pentad ที่ 25 และถึงจุดสูงสุดระหว่าง Pentad ที่ 40 - 50 (รูปที่ 4.2) และมีแนวโน้มลดลงหลังจาก Pentad ที่ 65 ผลการวิเคราะห์ Cross correlation function ระหว่างปริมาณน้ำฝน (ตัวแปรอิสระ) และปริมาณน้ำท่าไหลเข้าเขื่อน (ตัวแปรตาม) จาก Lag 0 ถึง Lag 10 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่าไหลเข้าเขื่อนของเขื่อนขุนด่านปราการชล และเขื่อนรัชชประภา มีค่าสูงสุดที่ Lag 0 ซึ่งแสดงถึงปริมาณน้ำท่าไหลเข้าเขื่อนเกิดขึ้นพร้อมๆ กันกับเหตุการณ์ฝน โดยไม่ปรากฏ Time lag (รูปที่ 4.3) ในขณะที่ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่าไหลเข้าเขื่อนของเขื่อนอุบลรัตน์ มีค่าสูงสุดที่ Lag 4 ถึง 6 ซึ่งแสดงถึงปริมาณน้ำท่าไหลเข้าเขื่อนล่าช้ากว่าเหตุการณ์ฝนประมาณ 1 เดือน (รูปที่ 4.3) ความแตกต่างทางศาสตร์ของน้ำท่าที่ตอบสนองต่อปัจจัยทางอุตุวิทยานั้น อาจเกิดจากขนาดของพื้นที่รับน้ำและปัจจัยทางภูมิประเทศและพื้นที่ป่าบริเวณต้นน้ำของแต่ละเขื่อนที่มีลักษณะแตกต่างกัน

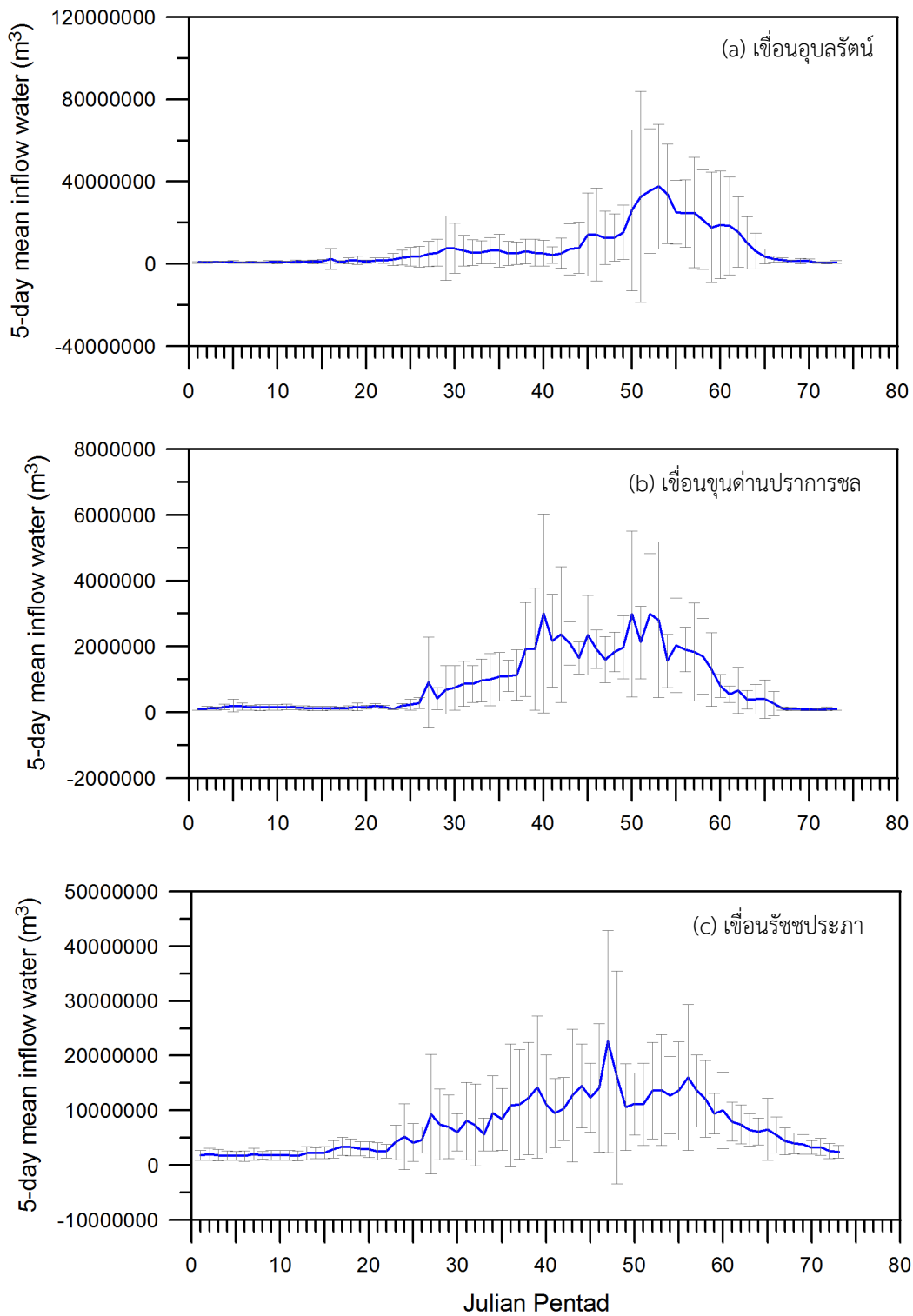
เมื่อพิจารณาถึงรูปแบบการเปลี่ยนแปลงในรอบปีของปริมาณน้ำไหลออกจากเขื่อน มีลักษณะที่แตกต่างจากปริมาณฝนและน้ำท่าไหลเข้าเขื่อน โดยไม่ปรากฏรูปแบบความแปรปรวนที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติที่ชัดเจน (รูปที่ 4.4) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของน้ำไหลออกจากเขื่อน เกิดจากปัจจัยความต้องการใช้น้ำในกิจกรรมต่างๆ ของท้ายน้ำเป็นหลัก

รูปที่ 4.5-4.7 แสดงความแปรปรวนในคาบเวลาดั้งแต่เดือนถึงปีของปริมาณน้ำฝน น้ำท่าไหลเข้าเขื่อน และน้ำไหลออกจากเขื่อนของเขื่อนอุบลรัตน์ เขื่อนขุนด่านปราการชลและเขื่อนรัชชประภา ลักษณะโดยทั่วไปของปริมาณฝนและน้ำท่าไหลเข้าเขื่อน มีความแปรปรวนสูง โดยค่าสูงสุด (Peak) ในแต่ละปีแตกต่างกันอย่างมาก ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์จากอนุกรม 31-term smoothed series ของปริมาณฝนและน้ำท่าไหลเข้าเขื่อน พบว่าความแปรปรวนในคาบเวลาดั้งแต่เดือนถึงปีของทั้งสองตัวแปรมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเขื่อนขุนด่านปราการชลมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงสุด ในขณะที่เขื่อนอุบลรัตน์มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ต่ำสุด (ตารางที่ 4.1) ในแง่ที่น้ำไหลออกจากเขื่อน มีรูปแบบความแปรปรวนรายเดือนและรายปีเช่นกัน แต่ไม่ปรากฏว่ามีความสัมพันธ์กับความแปรปรวนของปริมาณฝนและน้ำท่าไหลเข้าเขื่อน (รูปที่ 4.5 - 4.7)

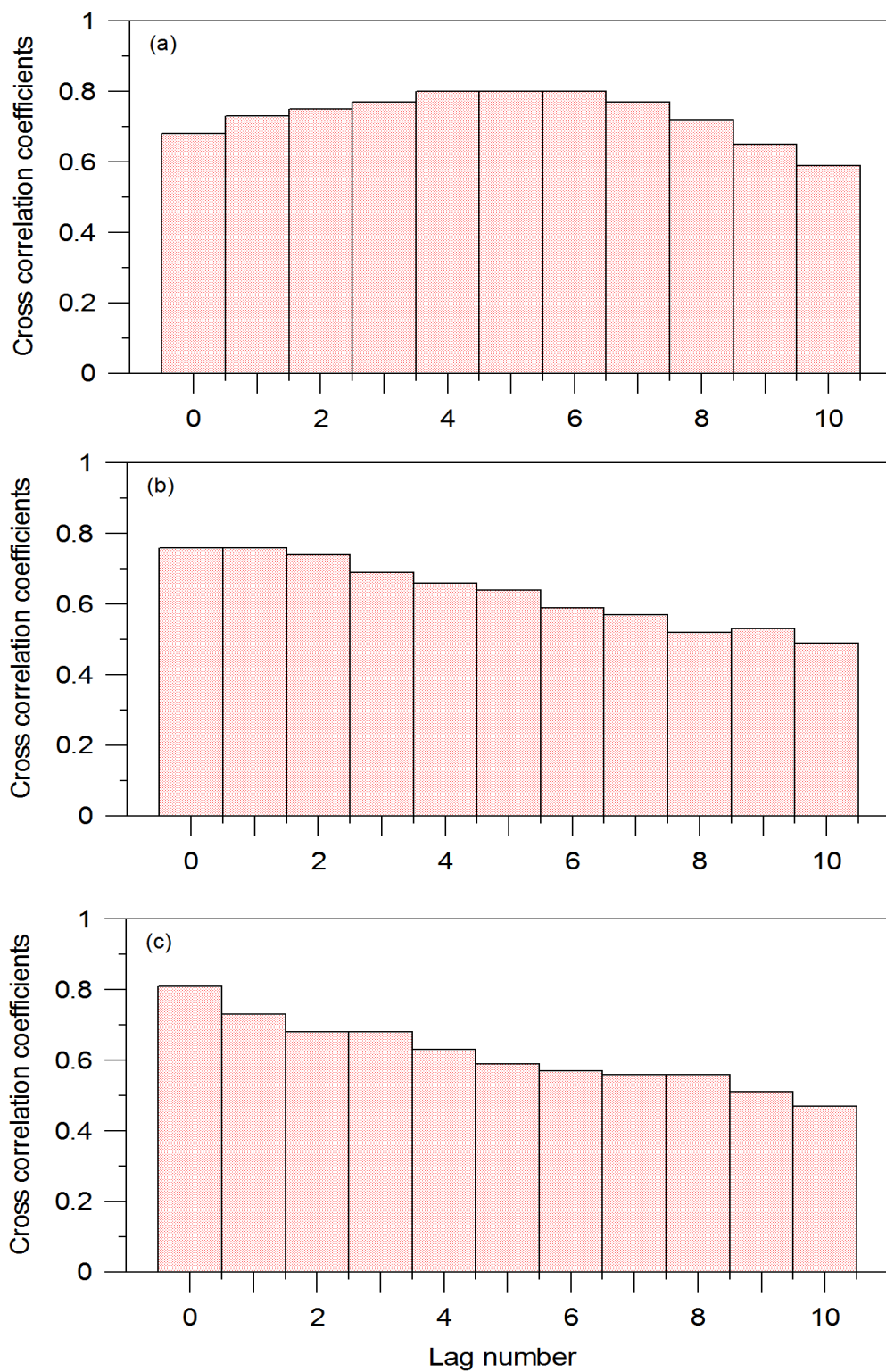
รูปที่ 4.8-4.10 แสดง Normalized Power Spectral Density (PSD) ซึ่งประมาณ Peak ในโดเมนความถี่ที่บ่งชี้ถึงเหตุการณ์เกิดขึ้นซ้ำในคาบเวลาต่างๆ ในรูปฟังก์ชันคู่ของไซน์และโคไซน์ จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Spectrum Analysis ผลการวิเคราะห์ พบว่าปริมาณฝนและน้ำท่าไหลลงสู่เขื่อน ปรากฏ Peak ของเหตุการณ์เกิดขึ้นซ้ำในคาบเวลาหนึ่งปี (รูปที่ 4.8 และ 4.9) ซึ่งเป็นสัญญาณตามธรรมชาติที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงระหว่างมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ เป็นมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในรอบปีและการเปลี่ยนไปมาระหว่างฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยเหตุการณ์ดังกล่าว นับเป็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางอุตุ-อุทกวิทยาที่พบโดยทั่วไป ซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานที่ส่งผลต่อความแปรปรวนและพลวัตของกระบวนการชีวกายภาพและระบบนิเวศต่างๆ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาน้ำที่ไหลออกจากเขื่อน ไม่ปรากฏ Peak ซึ่งเป็นสัญญาณตามธรรมชาติของปัจจัยทางอุทกวิทยา การสูญเสียสัญญาณตามธรรมชาติของน้ำที่ไหลออกจากเขื่อนดังกล่าว แสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากกิจกรรมมนุษย์ที่ปิดกั้นทางน้ำและควบคุมการระบายน้ำ โดยเหตุการณ์ทางอุทกวิทยาที่เกิดขึ้นซ้ำในคาบเวลาหนึ่งปี นับมีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโต สืบพันธุ์และวงจรชีวิตของสิ่งมีชีวิตหลายชนิด รวมทั้งฟลักซ์ของตะกอนอินทรีย์ขนาดใหญ่และขนาดเล็ก สารอินทรีย์ละลายน้ำและธาตุอาหารพืช ดังนั้น หากระบบนิเวศธารน้ำไหล ถูกควบคุมหรือรบกวนจนทำให้เหตุการณ์เกิดขึ้นซ้ำทางอุทกวิทยาเสียสมดุล ย่อมส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศท้ายน้ำ ซึ่งในระยะยาวแล้วอาจมีการเปลี่ยนแปลงทั้งเชิงโครงสร้างและฟังก์ชันอย่างสิ้นเชิง



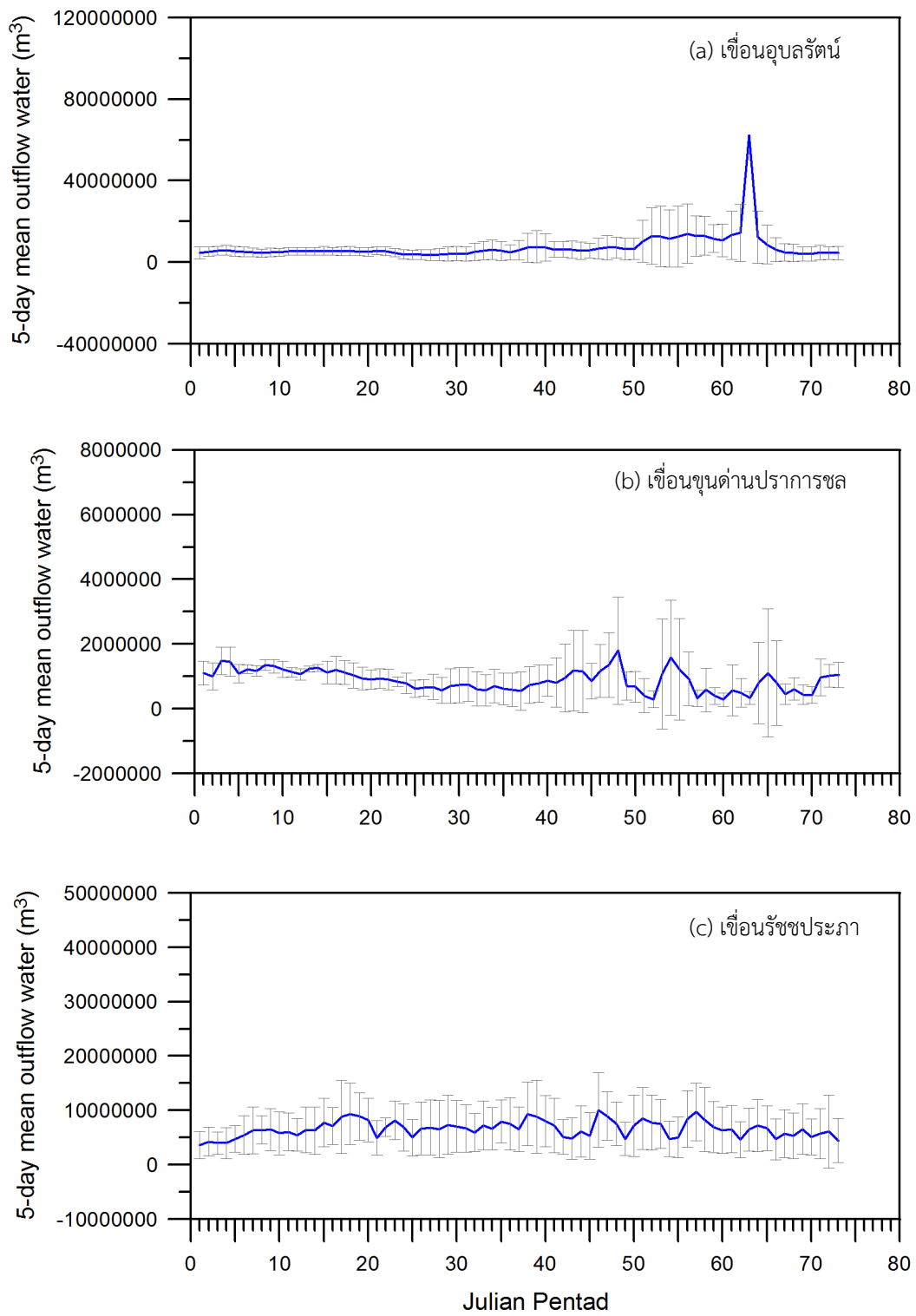
รูปที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยระยะยาวของปริมาณฝนเฉลี่ยราย 5 วันในรอบปี



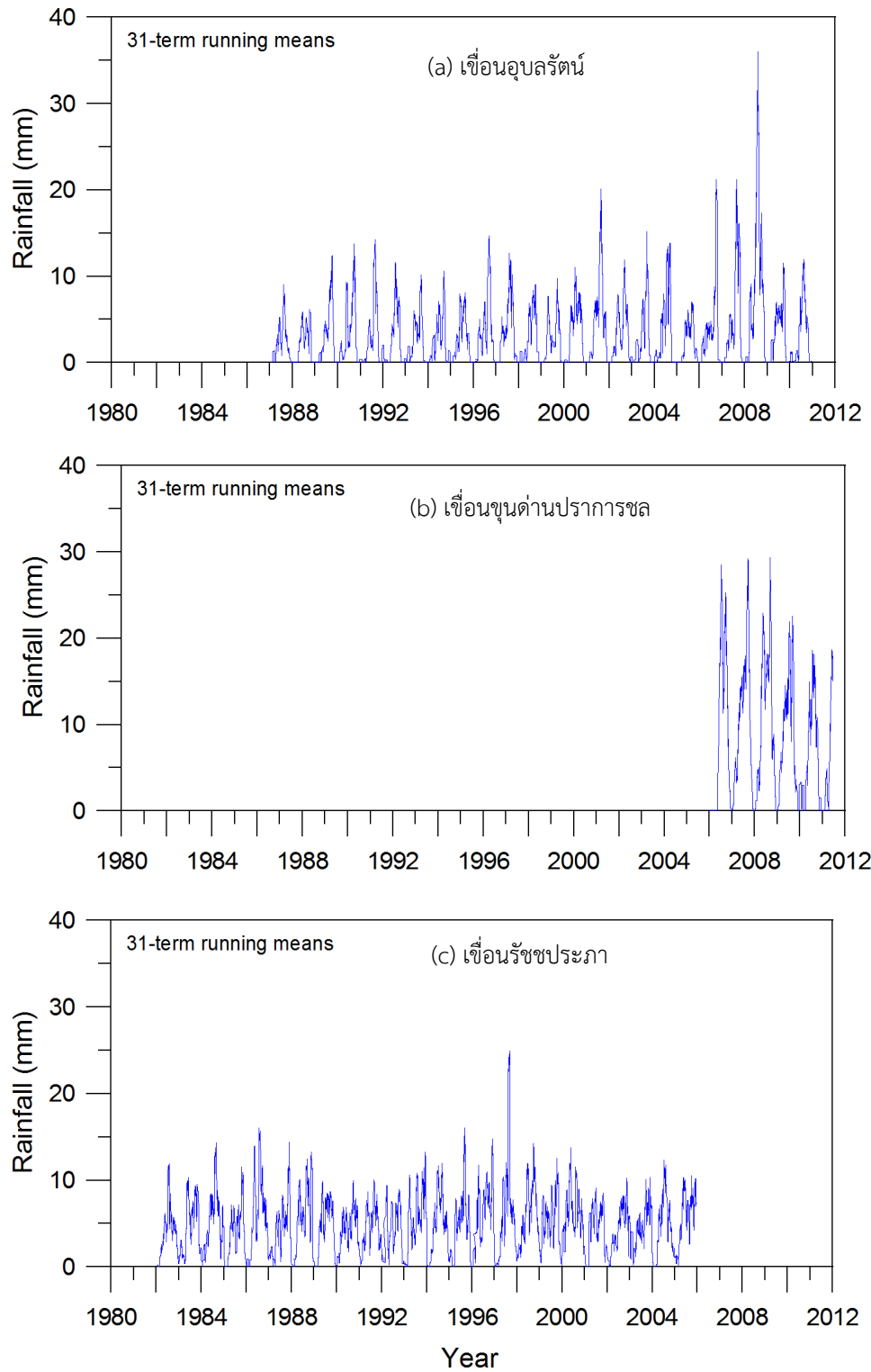
รูปที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยระยะยาวของปริมาณน้ำท่าไหลเข้าเขื่อนเฉลี่ยราย 5 วันในรอบปี



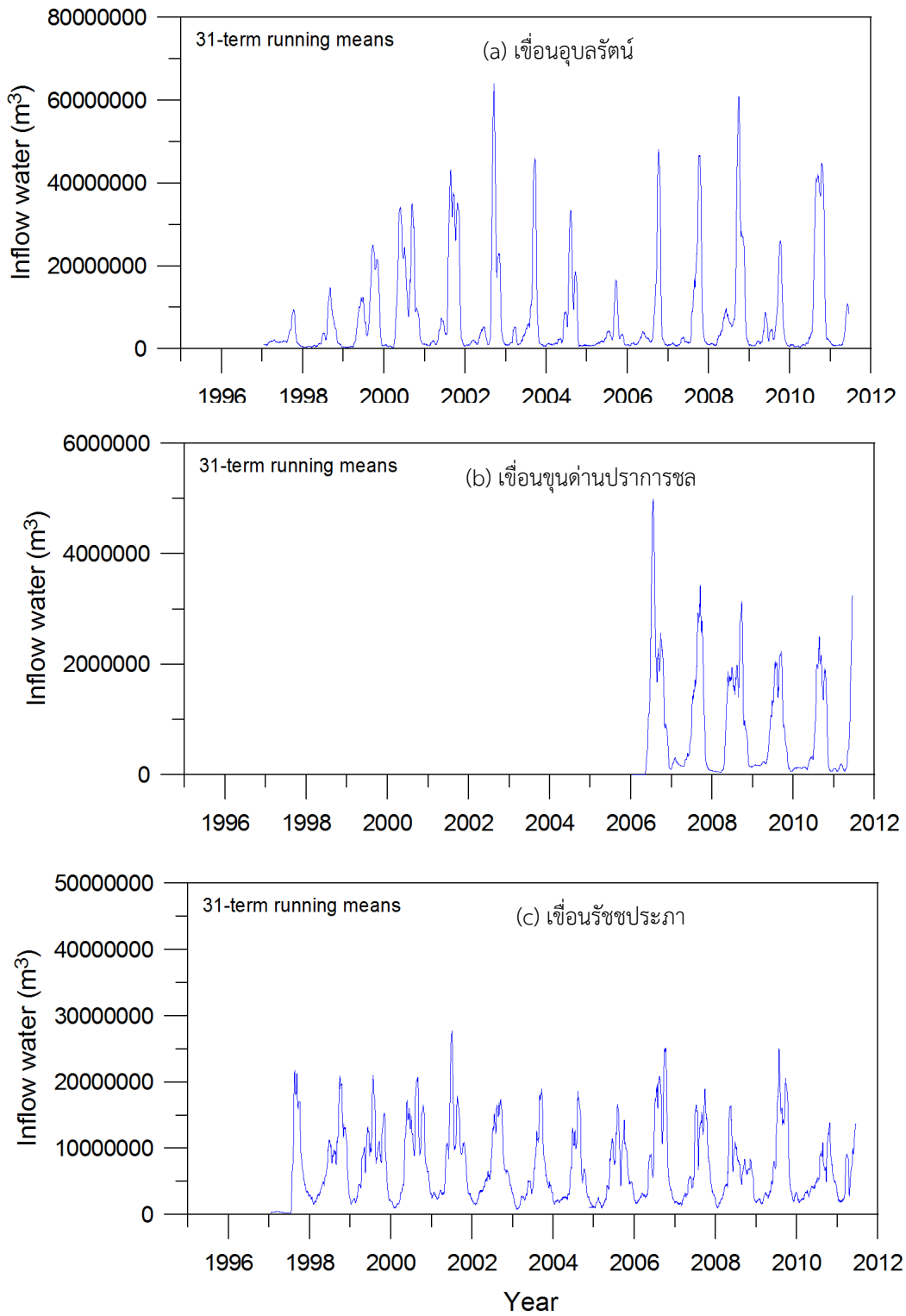
รูปที่ 4.3 Cross correlation coefficients ระหว่างปริมาณฝนและน้ำท่าไหลเข้าเขื่อนเฉลี่ยราย 5 วัน ตั้งแต่ Lag 0 ถึง Lag 10 โดยที่ Lag window มีขนาดเท่ากับ 5 วัน



รูปที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยระยะยาวของปริมาณน้ำไหลออกจากเขื่อนเฉลี่ยราย 5 วันในรอบปี



รูปที่ 4.5 ความแปรปรวนของปริมาณฝนในคาบเวลา 1 เดือน (31-day running means)



รูปที่ 4.6 ความแปรปรวนของน้ำท่าไหลเข้าเขื่อนในคาบเวลา 1 เดือน (31-day running means)

ตารางที่ 4.1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ 31-term smoothed series ระหว่างปริมาณฝนและน้ำท่าไหลเข้าเขื่อน

Rainfall & Inflow runoff (31 - term series)	N	N_{eff}	r	p -value
1. อุบลรัตน์	4779	476	0.43	<0.001
2. ชุนด่านปราการชล	1977	194	0.84	<0.001
3. รัชชประภา	3257	343	0.62	<0.001

หมายเหตุ: ความเชื่อมั่นทางสถิติของ r ประมาณจาก Effective number of independent observation (N_{eff})

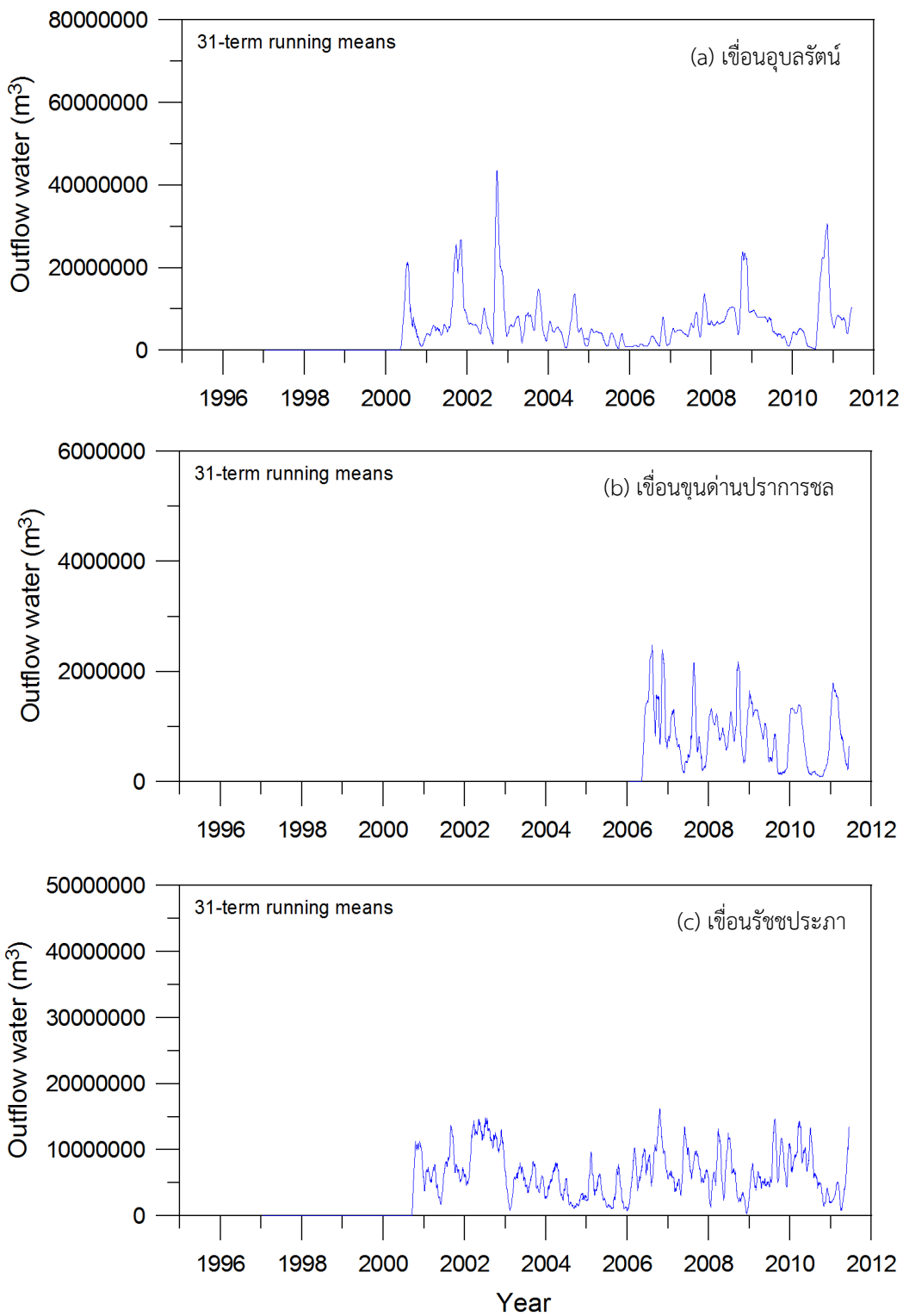
ที่มา: Emery and Thomson, 1997)

$$N_{eff} = \frac{N}{(1 + r_1 r'_1 + \dots + r_{10} r'_{10})}$$

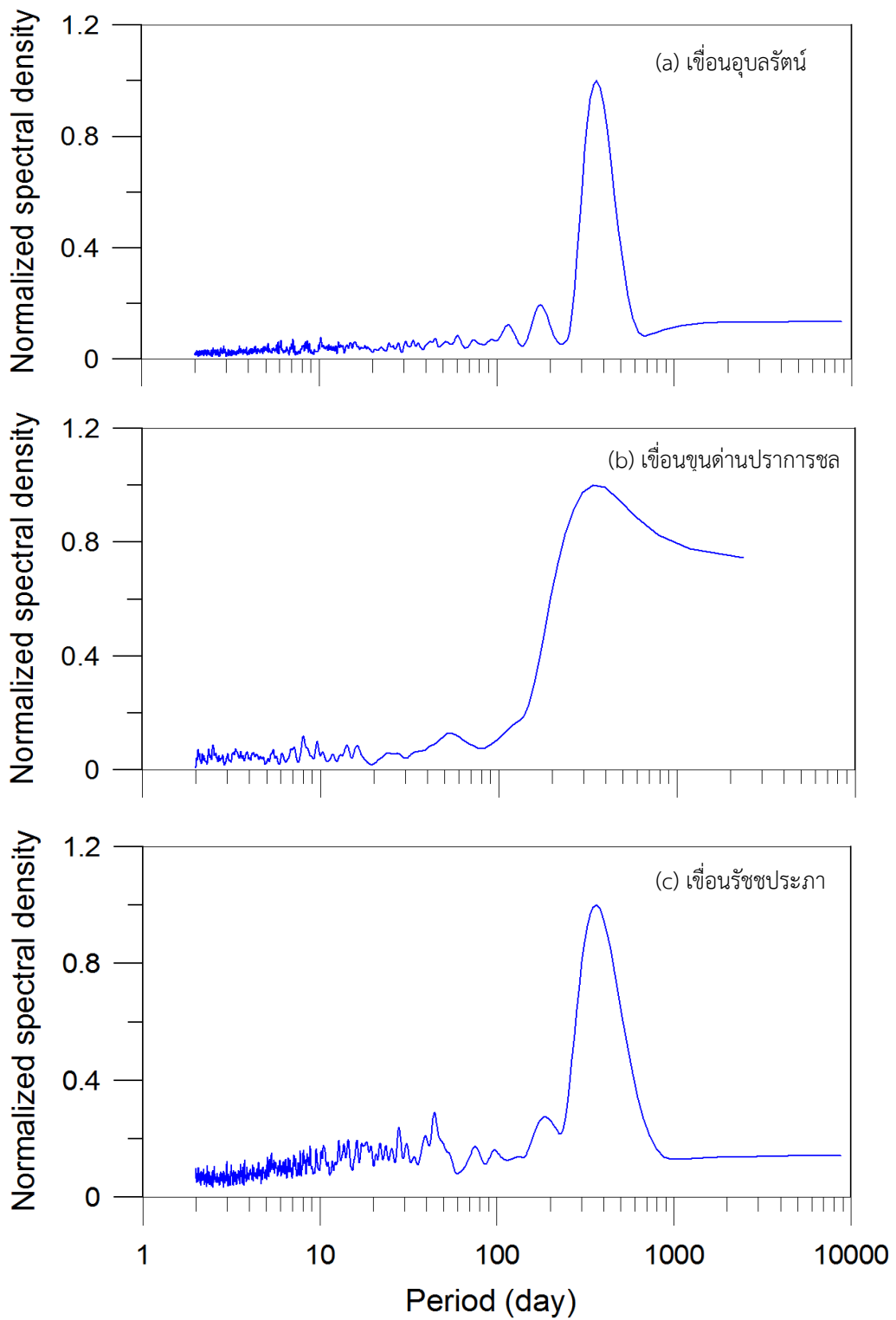
N = จำนวนข้อมูลในแต่ละอนุกรม smoothed series

r_1, \dots, r_{10} = autocorrelation สำหรับ lag 1 ถึง 10 ของอนุกรมข้อมูลชุดที่หนึ่ง

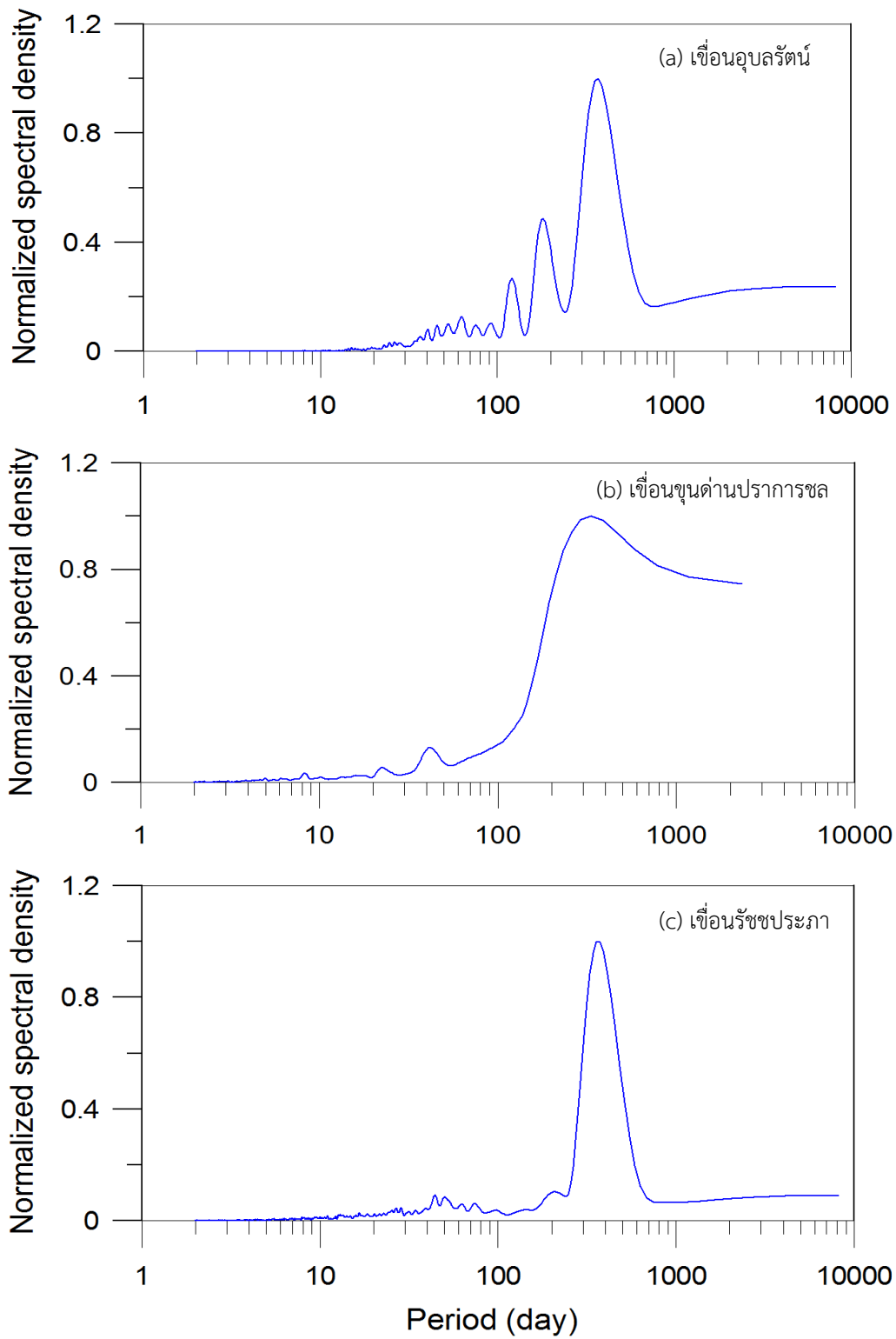
r'_1, \dots, r'_{10} = autocorrelation สำหรับ lag 1 ถึง 10 ของอนุกรมข้อมูลชุดที่สอง



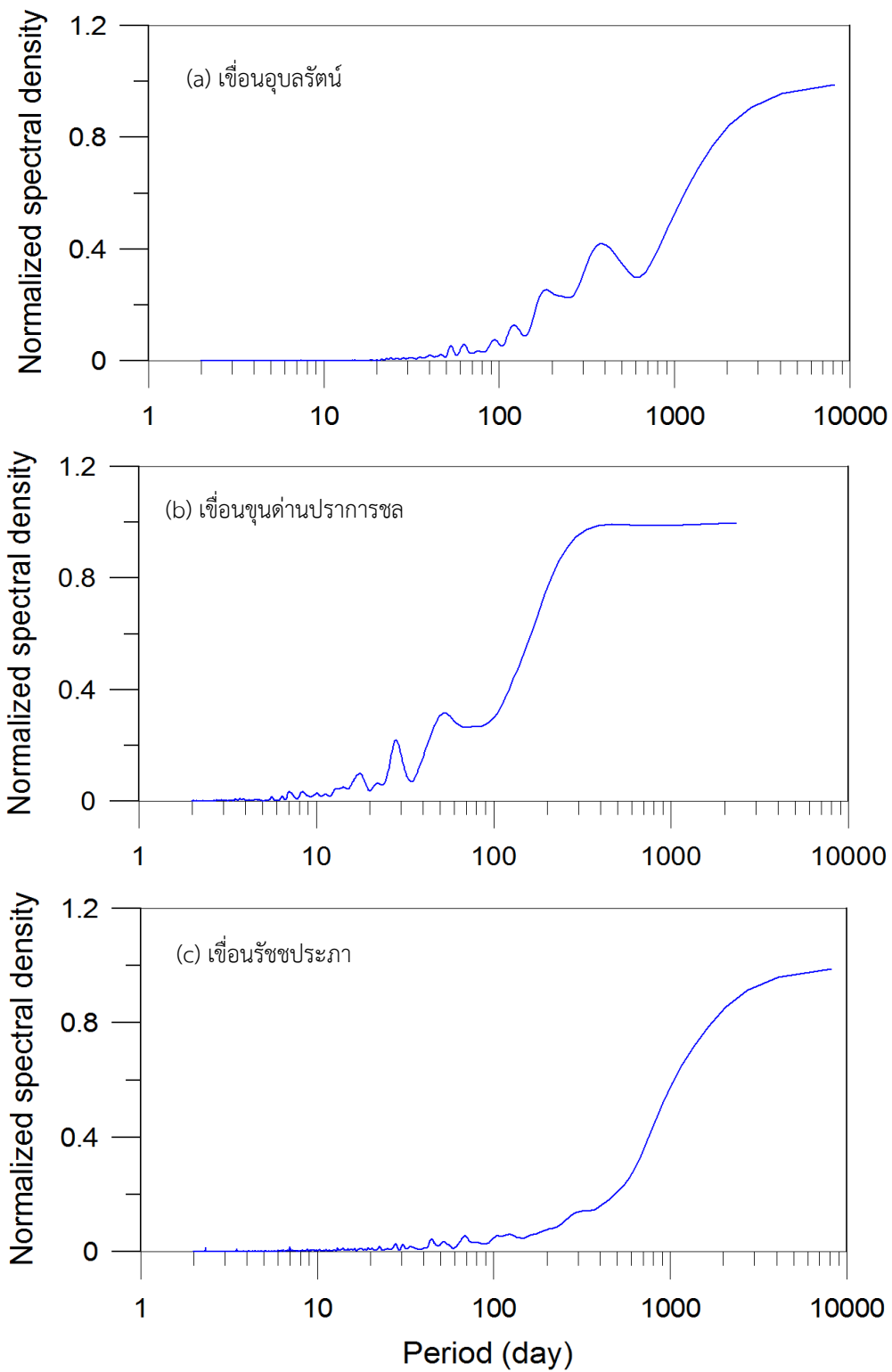
รูปที่ 4.7 ความแปรปรวนของน้ำไหลออกจากเขื่อนในคาบเวลา 1 เดือน (31-day running means)



รูปที่ 4.8 Normalized Power Spectral Density (PSD) ของปริมาณฝน



รูปที่ 4.9 Normalized Power Spectral Density (PSD) ของน้ำท่าไหลเข้าเขื่อน



รูปที่ 4.10 Normalized Power Spectral Density (PSD) ของน้ำไหลออกจากเขื่อน

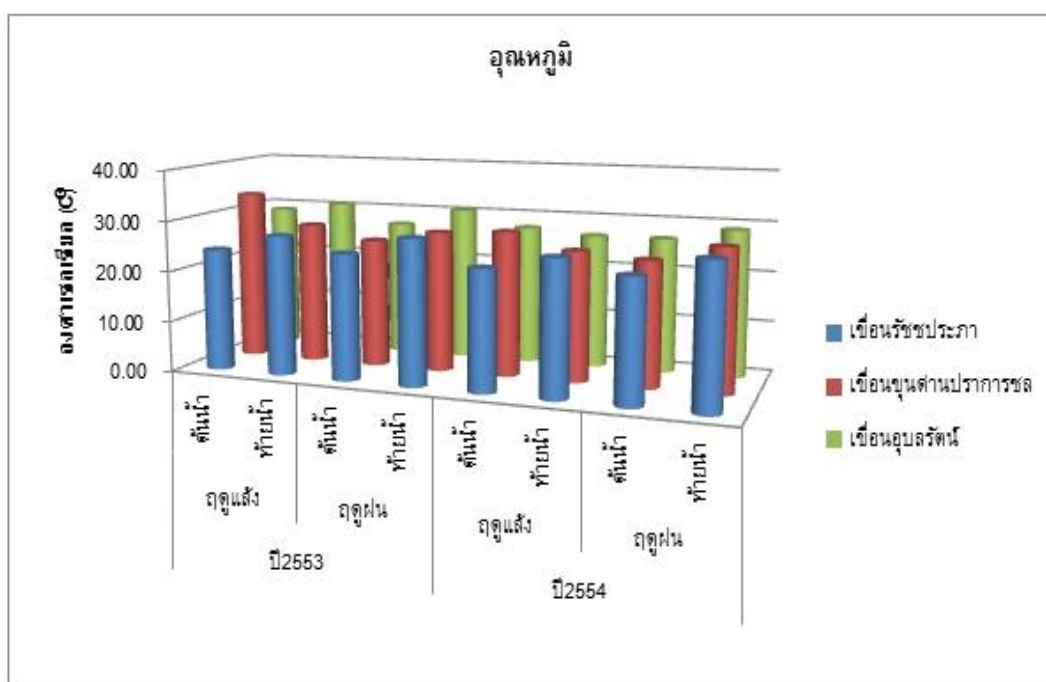
4.2 ลักษณะคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อน และการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและระหว่างปี

ลักษณะคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีในรูปอุณหภูมิน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และความเหนียวน้ำไฟฟ้า ที่ตรวจวัดจากจุดเก็บตัวอย่างบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์ เขื่อนขุนด่าน ปราการชลและเขื่อนรัชชประภา ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ช่วงปี พ.ศ. 2553-2554 แสดงในรูปที่ 4.11-4.14 อุณหภูมิน้ำ มีค่าการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและระหว่างปี รวมถึงระหว่างบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง $24.1-29.2$ °C โดยอุณหภูมิน้ำบริเวณต้นน้ำรัชชประภามีค่าต่ำสุด ในขณะที่ อุณหภูมิน้ำบริเวณท้ายน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์ มีค่าสูงสุด (รูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.2) นอกจากนี้ อุณหภูมิน้ำบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนรัชชประภา มีค่าแตกต่างกันมากที่สุด คือประมาณ 3 °C เมื่อเปรียบเทียบกับอีกสองเขื่อน (รูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.2) ลักษณะที่แตกต่างกันของอุณหภูมิน้ำระหว่างบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำและระหว่างเขื่อนนั้น อาจบ่งชี้ถึงลักษณะทางอุทุนิยมวิทยา สภาพทางกายภาพของพื้นที่ อุทกวิทยาของลำน้ำและรูปแบบการปิดกั้นลำน้ำ ตลอดจนการระบายน้ำออกจากเขื่อนที่แตกต่างกัน คุณภาพน้ำในรูปของความเป็นกรด-ด่างในบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ มีค่าใกล้เคียงกันทั้งสามเขื่อน และมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาอยู่ในช่วงแคบ โดยลักษณะความเป็นกรด-ด่างของน้ำทั้งสามเขื่อน แสดงถึงสภาพความเป็นกลาง 7 ± 0.5 (รูปที่ 4.12 และตารางที่ 4.2) ความเป็นกรด-ด่างในบริเวณต้นน้ำสูงกว่าบริเวณท้ายน้ำ ยกเว้นเขื่อนรัชชประภาซึ่งมีลักษณะที่ตรงกันข้าม (รูปที่ 4.12 และตารางที่ 4.2)

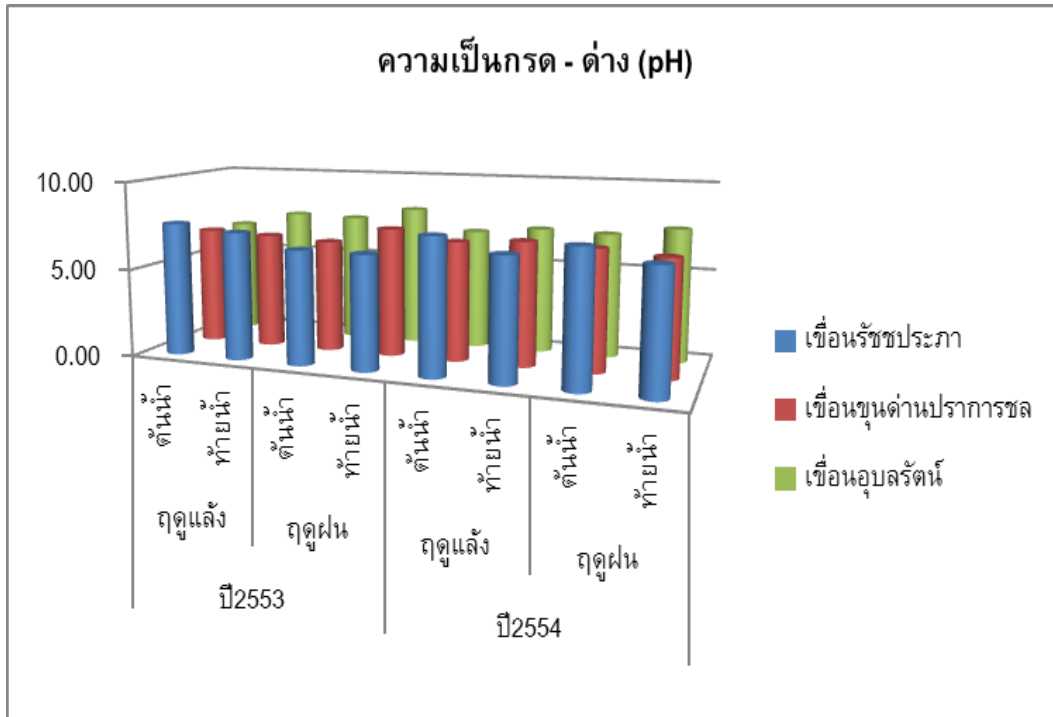
ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และเวลาที่ชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเขื่อนรัชชประภา ซึ่งบ่งชี้ถึงความแตกต่างกันในแง่ของกระบวนการทางกายภาพ เคมีและชีวภาพที่เกี่ยวข้องกับพลวัตของออกซิเจนในลำน้ำ ตลอดจนสัญญาณของผลกระทบต่อกระบวนการบวกลักษณะทางอุทกวิทยาและคุณภาพของลำน้ำ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนรัชชประภา มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ ต้นน้ำมีค่าประมาณ 7.4 ± 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ท้ายน้ำมีค่าประมาณ 2.9 ± 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 4.13 และตารางที่ 4.2) สาเหตุเกิดจากการระบายน้ำจากส่วนล่างของชั้นน้ำซึ่งเป็นชั้นน้ำที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำกว่าปกติหรือใกล้ศูนย์ เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของบริเวณหน้าเขื่อนของรัชชประภาเป็นช่องทางน้ำระหว่างเทือกเขาที่มีลักษณะแคบและมีความลึกของน้ำมากกว่า 50 เมตร ส่งผลให้การไหลเวียนของน้ำระหว่างชั้นบนและชั้นล่างที่เกิดจากลม (Wind-driven water overturning) มีข้อจำกัด ท้ายสุดทำให้ส่วนล่างของชั้นน้ำมีลักษณะนิ่ง (Stagnant) โดยออกซิเจนจากอากาศ ไม่สามารถละลายลงสู่ชั้นน้ำดังกล่าวได้ ในขณะที่ปริมาณออกซิเจนถูกใช้ไปในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างต่อเนื่อง (Sompongchaiyakul, 2006) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำบริเวณท้ายน้ำของเขื่อนรัชชประภา ถือว่าอยู่ในระดับต่ำที่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างและฟังก์ชันของระบบนิเวศท้ายน้ำอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับปริมาณออกซิเจนละลายน้ำบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์และเขื่อนขุนด่านปราการชล ไม่แตกต่างกันมากนัก กล่าวคือ มีค่าแตกต่างกันประมาณ ± 1 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปริมาณออกซิเจนละลายน้ำบริเวณต้นน้ำ มีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณท้ายน้ำ (รูปที่ 4.13 และตารางที่ 4.2) หากพิจารณาการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและระหว่างปีจากค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานแล้ว พบว่า ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์ มีการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับอีกสองเขื่อน (ตารางที่ 4.2) รูปที่ 4.14 แสดงการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การอิ่มตัวของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2553-2554 โดยทั่วไปพบว่า เปอร์เซ็นต์การอิ่มตัวของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงกว้าง ซึ่ง

สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและอุณหภูมิ (รูปที่ 4.11, 4.13 และ 4.14) ทั้งนี้เปอร์เซ็นต์การอิ่มตัวของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำบริเวณต้นน้ำของเขื่อนรัชชประภา สูงกว่าบริเวณท้ายน้ำทั้งช่วงฤดูแล้งและ ฤดูฝนตลอดการศึกษา อย่างไรก็ตาม เปอร์เซ็นต์การอิ่มตัวของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำของอีกสองเขื่อน ไม่มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและระหว่างพื้นที่แน่นอน (รูปที่ 4.14)

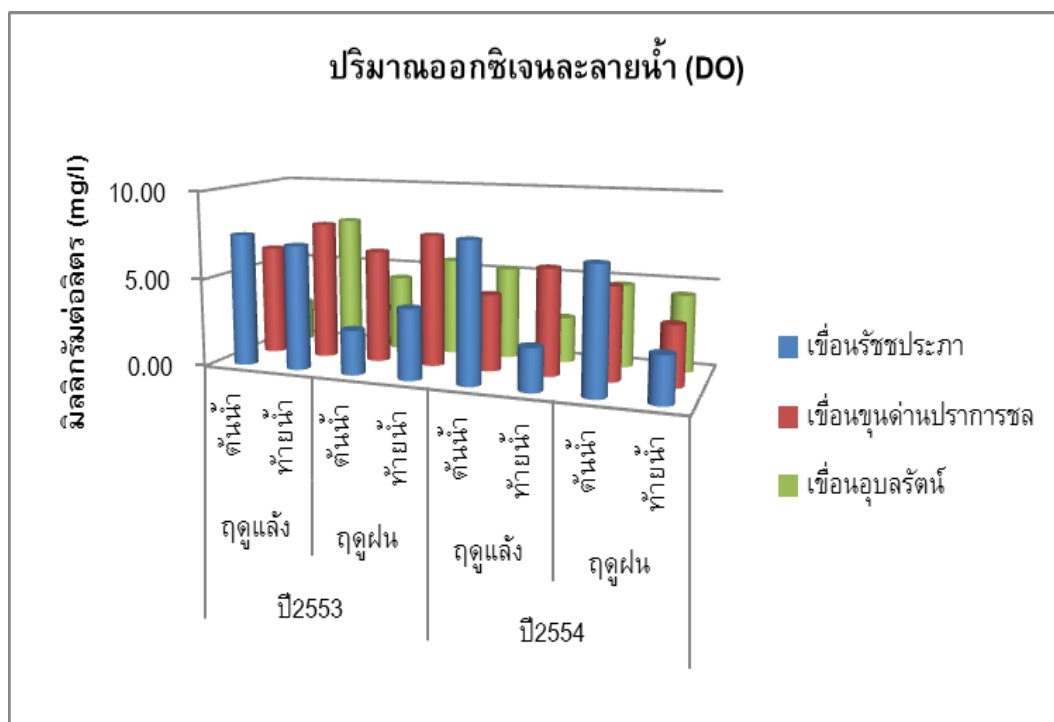
ค่าความเหนียวน้ำไฟฟ้าของน้ำ เป็นดัชนีที่แสดงลักษณะทางกายภาพเชิงธรณีสิ่งแวดล้อมของลำน้ำและลักษณะทางเคมีของดิน ผลการศึกษา พบว่า ค่าความเหนียวน้ำไฟฟ้าของน้ำทั้งสามเขื่อน มีลักษณะที่ต่างกันอย่างชัดเจน โดยเขื่อนอุบลรัตน์ทั้งบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ มีค่าความเหนียวน้ำไฟฟ้าสูงกว่าอีกสองเขื่อน ประมาณ 2-3 เท่า ในขณะที่ เขื่อนขุนด่านปราการชล มีค่าความเหนียวน้ำไฟฟ้าต่ำสุด (รูปที่ 4.15 และตารางที่ 4.2) ลักษณะที่ต่างกันในแง่ความเหนียวน้ำไฟฟ้าของทั้งสามเขื่อน เป็นปัจจัยหนึ่งที่บ่งชี้ถึงลักษณะที่ต่างกันของระบบนิเวศ ธารน้ำไหลในบริบทของธรณีสิ่งแวดล้อมและลักษณะของดิน



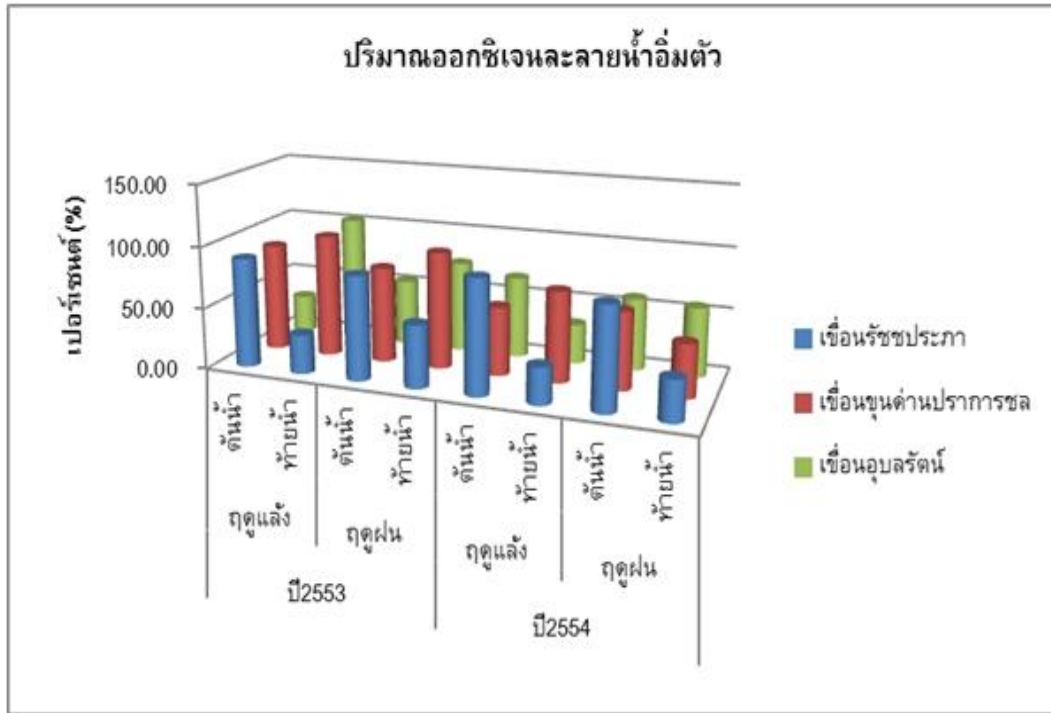
รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2553-2554



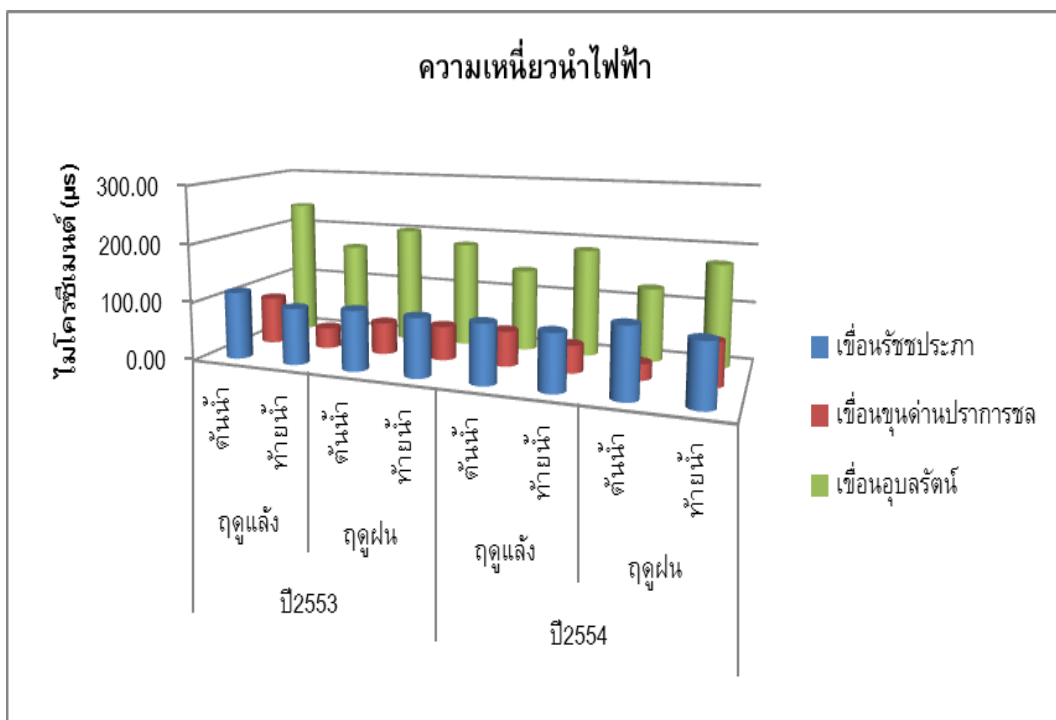
รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2553-2554



รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2553-2554



รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การอิมตัวของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2553-2554



รูปที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงความเหนียวน้ำไฟฟ้า บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี 2553-2554

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี 2553-2554 ค่าในวงเล็บ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เขื่อน	ดัชนี	ต้นน้ำ	ท้ายน้ำ
อุบลรัตน์	อุณหภูมิน้ำ (°C)	27.5 (1.1)	29.2 (1.9)
	pH	7.0 (0.31)	7.5 (0.35)
	DO (mg/l)	4.2 (1.3)	5.1 (2.1)
	DO saturation (%)	52.6 (15.4)	66.6 (29.8)
	ความเหนียวนำไฟฟ้า ($\mu\text{s cm}^{-1}$)	176.9 (52.9)	176.2 (8.8)
ขุนด่านปราการชล	อุณหภูมิน้ำ (°C)	28.0 (4.2)	27.2 (1.2)
	pH	6.7 (0.20)	6.9 (0.37)
	DO (mg/l)	5.6 (0.96)	6.2 (2.0)
	DO saturation (%)	71.4 (14.5)	78.2 (25.8)
	ความเหนียวนำไฟฟ้า ($\mu\text{s cm}^{-1}$)	55.8 (22.5)	53.4 (16.2)
รัชชประภา	อุณหภูมิน้ำ (°C)	24.1 (0.51)	27.5 (0.86)
	pH	7.3 (0.56)	6.8 (0.32)
	DO (mg/l)	7.4 (0.4)	2.9 (0.7)
	DO saturation (%)	87.6 (4.4)	36.5 (9.8)
	ความเหนียวนำไฟฟ้า ($\mu\text{s cm}^{-1}$)	108.6 (8.8)	98.9 (4.0)

4.3 ลักษณะของธาตุอาหารพืชบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อน และการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและระหว่างปี

ฟอสฟอรัสรวมในรูปของตะกอนแขวนลอย (Total Particulate Phosphorus) เป็นองค์ประกอบหลักของสารฟอสฟอรัสบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ซึ่งมีสัดส่วนประมาณร้อยละ 51-77 ของสารฟอสฟอรัสทั้งหมด (รูปที่ 4.16 และ 4.17) อย่างไรก็ตาม อนินทรีย์ฟอสฟอรัสละลายน้ำ กลับเป็นองค์ประกอบหลักของระบบนิเวศต้นน้ำของเขื่อนรัชชประภา ซึ่งมีสัดส่วนร้อยละ 59 ของสารฟอสฟอรัสทั้งหมด (รูปที่ 4.16) สำหรับอนินทรีย์ฟอสฟอรัสละลายน้ำในบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน มีสัดส่วนค่อนข้างน้อยอยู่ในช่วงร้อยละ 13 ถึง 33 (รูปที่ 4.16 และ 4.17) ทั้งนี้ องค์ประกอบของฟอสฟอรัสที่แตกต่างกันนั้น บ่งชี้ถึงลักษณะที่แตกต่างกันของกระบวนการทางชีวเคมีที่ควบคุมการผลิต การย่อยสลาย การหมุนเวียนและการสะสมของธาตุอาหารพืชในระบบนิเวศธารน้ำไหลและสิ่งแวดล้อมโดยรอบ ในกรณีที่ฟอสฟอรัสรวมในรูปของตะกอนแขวนลอย เป็นองค์ประกอบหลัก อาจแสดงถึงระบบที่สิ่งมีชีวิตเปลี่ยนรูปอนินทรีย์และอินทรีย์ฟอสฟอรัสละลายน้ำ เป็นสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำและ/หรือสารฟอสฟอรัสละลายน้ำ ถูกดูดซับบนตะกอนดินและรวมเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำได้ง่าย เนื่องจากสารฟอสเฟตมีประจุลบเป็นกลไกทางชีวกายภาพที่สำคัญของระบบนิเวศธารน้ำไหลนั้น ส่วนอนินทรีย์ฟอสฟอรัสละลายน้ำ เป็นองค์ประกอบหลัก อาจแสดงถึงระบบที่การย่อยสลายสารอินทรีย์ เพื่อเปลี่ยนรูปฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปอนินทรีย์ซึ่งเป็นฟอร์มที่เหมาะสมสำหรับสิ่งมีชีวิตชั้นปฐมภูมิ นำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการสังเคราะห์แสง เป็นกระบวนการหลักของระบบนิเวศ

สารไนเตรทนับเป็นองค์ประกอบหลักของสารอินทรีย์ไนโตรเจนละลายน้ำ ในระบบนิเวศต้นน้ำ ซึ่งมีสัดส่วนประมาณร้อยละ 63-94 โดยสารไนเตรทซึ่งเป็นรีดิคัลฟอร์มของไนโตรเจนที่เกิดจากอนุกรมการย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนในลำธาร ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบเกือบทั้งหมดของสารอินทรีย์ไนโตรเจนในลำน้ำบริเวณต้นน้ำของเขื่อนรัชชประภา (รูปที่ 4.18) นอกจากนี้ สารไนเตรทยังเป็นองค์หลักซึ่งมีสัดส่วนร้อยละ 78 ในกรณีของระบบนิเวศท้ายน้ำของเขื่อนขุนด่านปราการชล (รูปที่ 4.19) อย่างไรก็ตาม แอมโมเนียซึ่งเป็นออกซิไดส์ฟอร์มของไนโตรเจนที่เกิดจากอนุกรมการย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนในชั้นน้ำภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน เป็นองค์ประกอบหลักของสารอินทรีย์ไนโตรเจนละลายน้ำของระบบนิเวศท้ายน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์และเขื่อนรัชชประภา โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำที่ระบายจากเขื่อนรัชชประภาที่มีแอมโมเนียในสัดส่วนที่สูงผิดปกติ (ร้อยละ 95) ซึ่งเป็นสัญญาณของน้ำชั้นล่างที่ปริมาณออกซิเจนมีค่าใกล้ศูนย์ โดยสภาวะดังกล่าว สารอินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกออกซิไดส์ให้อยู่ในรูปของแอมโมเนีย (Sompongchaiyakul, 2006)

สารอินทรีย์ฟอสฟอรัสละลายน้ำ (Dissolved Inorganic Phosphorus; DIP) และสารฟอสฟอรัสละลายน้ำรวม (Total Dissolved Phosphorus; TDP) มีปริมาณที่แตกต่างกันระหว่างบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ และมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและระหว่างปี โดยบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนรัชชประภา มีปริมาณ DIP และ TDP ที่แตกต่างกันสูงสุด กล่าวคือ DIP และ TDP บริเวณต้นน้ำ มีค่าสูงกว่าประมาณ 16 และ 5 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับท้ายน้ำ (รูปที่ 4.20 - 4.21 และ ตารางที่ 4.3) ความเข้มข้นของ DIP และ TDP ที่ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนรัชชประภา นั้น อาจสะท้อนให้เห็นความแตกต่างในบริบทของกระบวนการชีวธรณีเคมี เมตาบอลิซึมของสิ่งมีชีวิตชั้นปฐมภูมิ และการหมุนเวียนของสารฟอสฟอรัสในระบบนิเวศธารน้ำไหลและระหว่างสิ่งแวดล้อมโดยรอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารอินทรีย์จากใบไม้ร่วง ตะกอนแขวนลอยขนาดใหญ่และขนาดเล็ก ส่วนความแตกต่างของปริมาณ DIP และ TDP ระหว่างต้นน้ำและท้ายน้ำของอีกสองเขื่อน มีค่าไม่เกิน 3 เท่า (รูปที่ 4.20 - 4.21 และ ตารางที่ 4.3) เมื่อพิจารณาเพิ่มเติมถึงการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาแล้ว พบว่าปริมาณ DIP และ TDP บริเวณต้นน้ำมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝนและระหว่างปีสูงกว่าบริเวณท้ายน้ำ โดยบริเวณต้นน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์ มีการเปลี่ยนแปลงสูงสุด รองลงมาคือบริเวณต้นน้ำของเขื่อนรัชชประภา (รูปที่ 4.20 - 4.21 และ ตารางที่ 4.3)

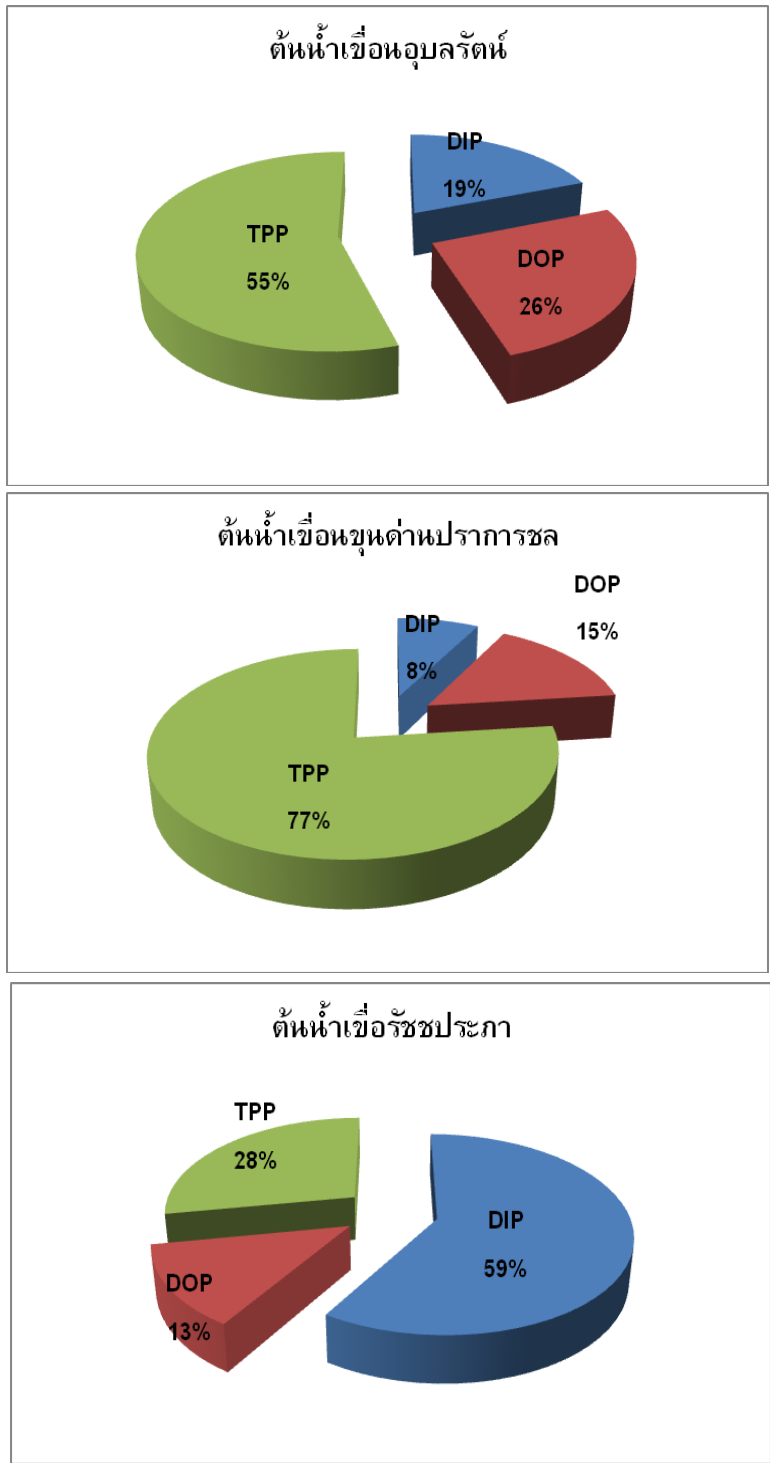
ปริมาณแอมโมเนียที่สูงผิดปกติในบริเวณท้ายเขื่อนของรัชชประภา เป็นอีกลักษณะที่โดดเด่นของการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของอินทรีย์ไนโตรเจนละลายน้ำในรูปออกซิไดส์ของทั้งสามเขื่อน โดยแอมโมเนียในบริเวณท้ายเขื่อนของรัชชประภา มีค่าสูงประมาณ 9 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับต้นน้ำ (รูปที่ 4.22 และ ตารางที่ 4.4) ในขณะที่แอมโมเนียบริเวณต้นน้ำเขื่อนอุบลรัตน์และท้ายน้ำเขื่อนรัชชประภา มีการเปลี่ยนแปลงสูงในเชิงเวลา ซึ่งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าประมาณ 4 - 5 (รูปที่ 4.22 และ ตารางที่ 4.4) ปริมาณแอมโมเนียในระบบนิเวศธารน้ำไหลที่สูงกว่าปกติ อาจสะท้อนให้เห็นถึงช่องทางการย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจน ที่ถูกเปลี่ยนให้เป็นสารแอมโมเนียแทนที่เป็นสารไนเตรท ซึ่งมักเกิดในภาวะที่แหล่งน้ำมีปริมาณออกซิเจนต่ำ สำหรับสารไนไตรท์ ซึ่งเป็นสารกึ่งกลางในกระบวนการย่อยสลายของสารอินทรีย์ไนโตรเจน ให้เป็นสารอินทรีย์ไนโตรเจน โดยปกติจะมีปริมาณต่ำในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ เนื่องจากเป็นสารที่ไม่เสถียร จากผลการศึกษาบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน พบว่าไนไตรท์มีปริมาณที่ต่ำ ยกเว้นบางช่วงเวลาของบริเวณท้ายน้ำเขื่อนขุนด่านปราการชลและเขื่อนอุบลรัตน์ ที่มีปริมาณไนไตรท์สูงผิดปกติ (รูปที่ 4.23 และ ตารางที่ 4.4) ซึ่งอาจแสดงถึงน้ำที่ระบายออกจากเขื่อนในช่วงเวลาดังกล่าว เป็นมวลน้ำใหม่ที่สารอินทรีย์ไนโตรเจนกำลังอยู่ในระหว่างถูกเปลี่ยนรูปให้เป็นสารอินทรีย์ไนโตรเจน

สารไนเตรทซึ่งเป็นผลผลิตขั้นสุดท้ายที่เสถียรของอนินทรีย์ไนโตรเจนละลายน้ำ เกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจน มีปริมาณที่สูงในบริเวณต้นน้ำของเขื่อนรัชชประภา ประมาณ 40 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับท้ายน้ำ และประมาณ 2 - 4 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับต้นน้ำของอีกสองเขื่อน (รูปที่ 4.24 และตารางที่ 4.4) สำหรับเขื่อนขุนด่านปราการชล สารไนเตรทมีค่าสูงบริเวณท้ายน้ำ โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝน ปี พ.ศ. 2554 (รูปที่ 4.24) กรณีของเขื่อนอุบลรัตน์ การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของสารไนเตรทไม่มีรูปแบบที่แน่นอนชัดเจน (รูปที่ 4.24) โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและระหว่างปีของสารไนเตรท มีรูปแบบที่แปรผกผันกับสารแอมโมเนีย ($r = -0.45, p < 0.05, n = 24$) ซึ่งแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงระหว่างภาวะ Reduction และ Oxidation ของระบบนิเวศธารน้ำไหล และตัวรับอิเล็กทรอนิกส์ในวัฏจักรไนโตรเจน จากผลการศึกษาก่อนกล่าวได้ว่าบริเวณต้นน้ำของเขื่อนรัชชประภา เป็นแหล่งสำคัญของสารไนเตรททั้งฤดูแล้งและฤดูฝนต่อระบบนิเวศธารน้ำไหลบริเวณท้ายน้ำ

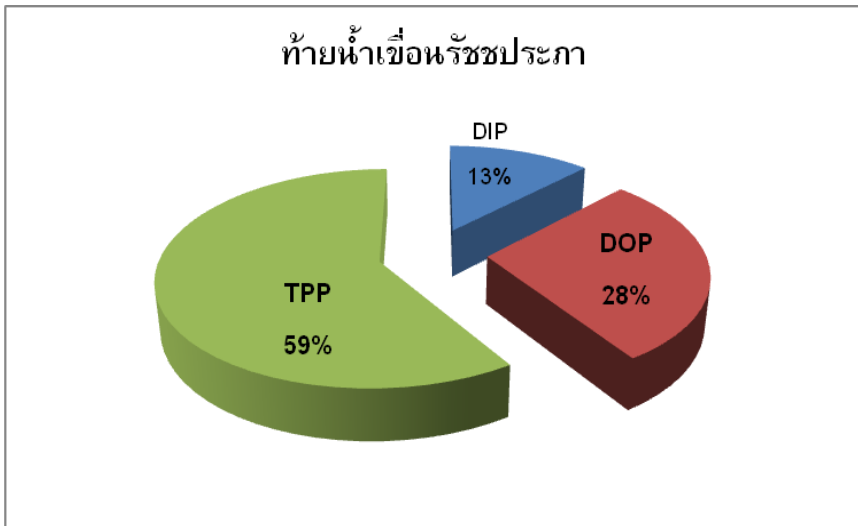
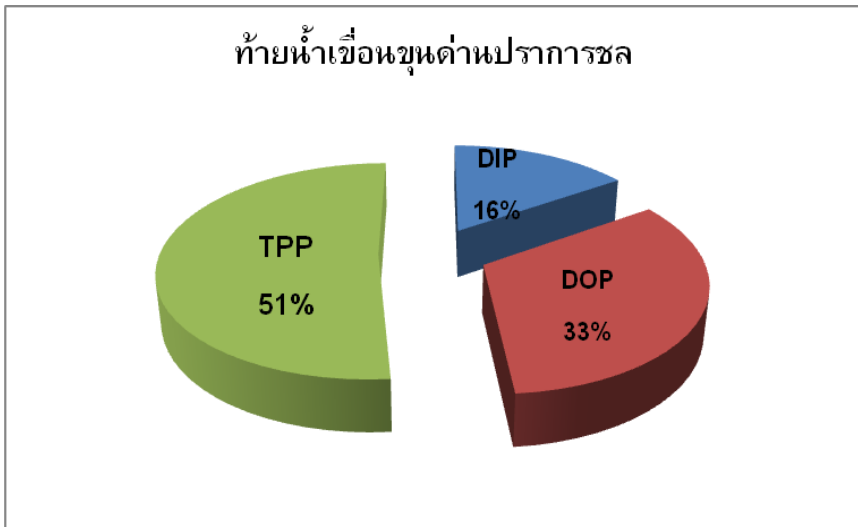
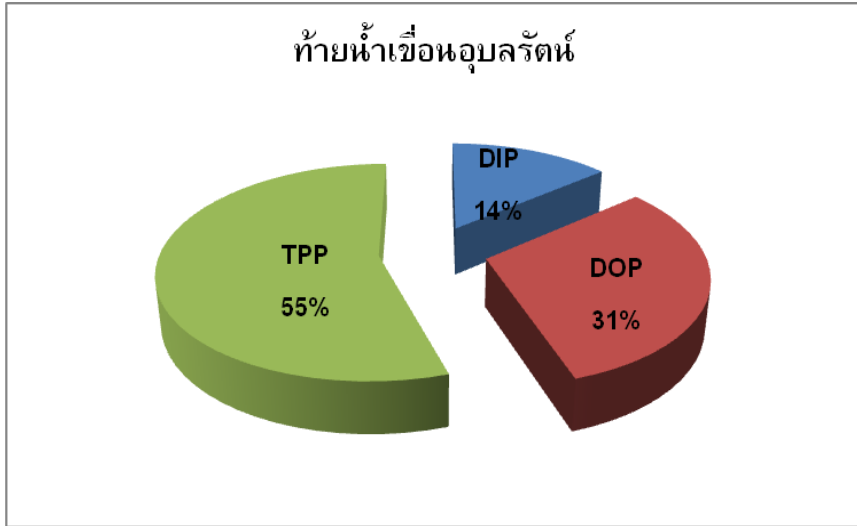
เมื่อวิเคราะห์สัดส่วนของธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในรูปอนินทรีย์ (DIN:DIP ratio) ซึ่งเป็นดัชนีอย่างง่ายที่ใช้ในการวินิจฉัยสถานภาพและพลวัตของระบบนิเวศ รวมทั้งปัจจัยจำกัดต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตชั้นปฐมภูมิ ในแง่ของธาตุอาหารที่จำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต (Karl et al., 1997) พบว่า DIN: DIP ratio เฉลี่ยในบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน สูงกว่า Redfield ratio (16:1) ยกเว้นบริเวณต้นน้ำของเขื่อนรัชชประภา (ตารางที่ 4.5) Redfield ratio (16:1) เป็นสัดส่วนที่ใช้อ้างอิงสำหรับสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำถูกสังเคราะห์และย่อยสลายในภาวะปกติ โดยสิ่งมีชีวิตชั้นปฐมภูมิใช้และปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในอัตรา 16:1 จากลักษณะของ N:P ratio ดังกล่าว บ่งชี้ถึงธาตุฟอสฟอรัสที่อยู่ในฟอร์มที่สิ่งมีชีวิตสามารถนำไปใช้ได้และรูปอนินทรีย์ เป็นปัจจัยจำกัดต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนแบบเกาะติด รวมทั้งสิ่งมีชีวิตชั้นปฐมภูมิอื่น ๆ ของระบบนิเวศธารน้ำไหล บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน อย่างไรก็ตาม อนินทรีย์ไนโตรเจนละลายน้ำ เป็นธาตุอาหารพืชที่จำกัดต่อสิ่งมีชีวิตชั้นปฐมภูมิของระบบนิเวศธารน้ำไหลบริเวณต้นน้ำของเขื่อนรัชชประภา เนื่องจากปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสละลายน้ำในพื้นที่ดังกล่าว มีค่าที่สูง (ตารางที่ 4.5)

ซิลิกาละลายน้ำซึ่งเป็นธาตุอาหารพืชที่จำเป็นต่อสาหร่ายเซลล์เดียวกลุ่มไดอะตอม มีปริมาณที่แตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างต้นน้ำและท้ายน้ำ และระหว่างเขื่อน รวมทั้งมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและระหว่างปีสูง บริเวณต้นน้ำของเขื่อนรัชชประภาเป็นพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ของซิลิกา โดยมีความเข้มข้นสูงถึงประมาณ 500 ไมโครโมล ซึ่งสูงกว่าบริเวณต้นน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์และเขื่อนขุนด่านปราการชล 2-3 เท่า แต่ความเข้มข้นของซิลิกาละลายน้ำกลับลดลงบริเวณท้ายน้ำของเขื่อนรัชชประภาคมากกว่าสองเท่า (รูปที่ 4.25 และตารางที่ 4.6) สาเหตุหลักนอกจากการถูกนำไปใช้สร้างผนังเซลล์ของไดอะตอมแล้ว คือการถูกเก็บกักไว้ในอ่างเก็บน้ำโดยการสร้างเขื่อนกันลำน้ำ ทั้งนี้ เหตุการณ์ดังที่ได้กล่าวนี้ไม่ปรากฏบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์และเขื่อนขุนด่านปราการชล เนื่องจากความเข้มข้นของซิลิกาละลายน้ำบริเวณท้ายน้ำมีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับต้นน้ำ (รูปที่ 4.25 และตารางที่ 4.6) หากพิจารณาการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาแล้ว พบว่าซิลิกาละลายน้ำทุกจุดเก็บตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลที่ชัดเจน (รูปที่ 4.25 และตารางที่ 4.6) การวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่างซิลิกาละลายน้ำและอนินทรีย์ไนโตรเจนละลายน้ำ (Si:DIN) พบว่าบริเวณต้นน้ำของเขื่อนขุนด่านปราการชลมีค่าอัตราส่วน Si:DIN สูงสุดซึ่งแสดงถึงความอุดมสมบูรณ์ของซิลิกา เมื่อเปรียบเทียบกับอนินทรีย์ไนโตรเจนละลายน้ำ ในขณะที่อัตราส่วน Si:DIN ต่ำสุดในบริเวณต้นน้ำของเขื่อนรัชชประภา ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงซิลิกามีสัดส่วนที่ต่ำหากเปรียบเทียบกับอนินทรีย์ไนโตรเจนละลายน้ำ (ตารางที่ 4.7)

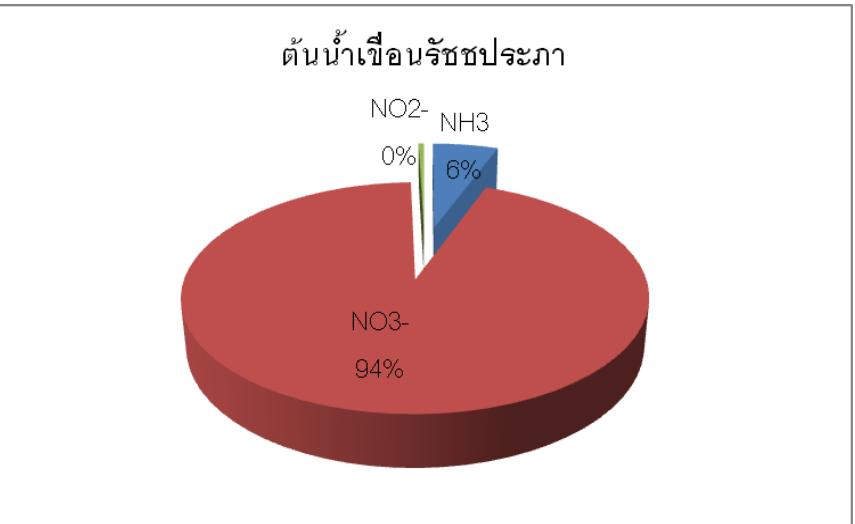
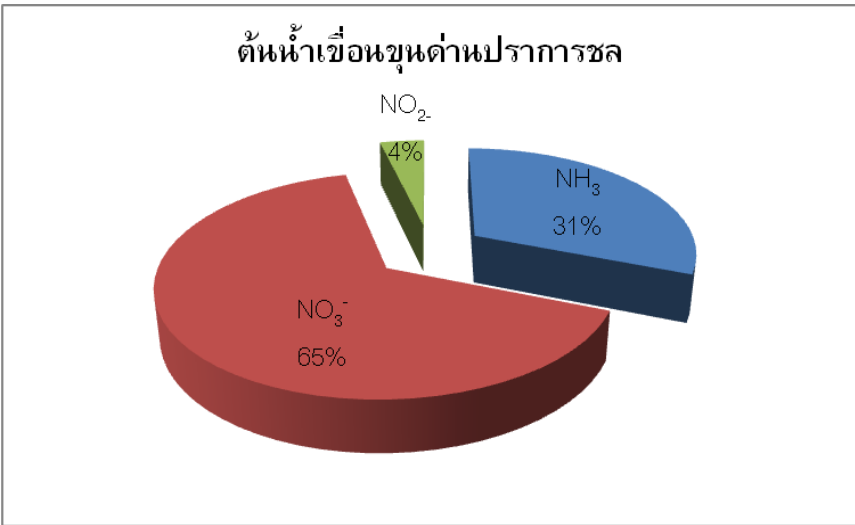
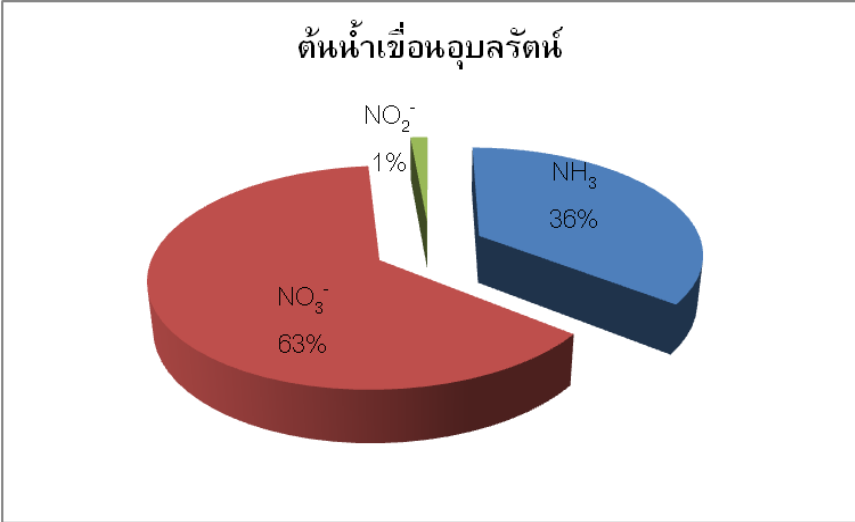
สารอนินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ (Dissolved Inorganic Carbon; DIC) เนื่องจากสารอนินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำนั้นขึ้นอยู่กับค่าอัลคาไลน์ตี (Alkalinity) หรือความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์ (Buffering capacity) ของน้ำในการสะเทิน (Neutralize) กรดหรือด่าง เพื่อควบคุมให้ระดับ pH เสถียร ซึ่งค่าอัลคาไลน์ตีจะสูงหรือต่ำจะขึ้นอยู่กับปริมาณของไบคาร์บอเนต (Bicarbonate; HCO_3^-) คาร์บอเนต (Carbonate; CO_3^{2-}), และไฮดรอกไซด์ (Hydroxide, OH^-) ที่มีอยู่ในน้ำ (เพ็ญใจ, 2549) ดังนั้น เมื่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมตัวกับน้ำจะทำปฏิกิริยาต่อกันเกิดเป็นระบบคาร์บอเนต (Carbonate system) แสดงให้เห็นว่าสารอนินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ มีความสัมพันธ์กับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ซึ่งจากรูปที่ 4.26 และตารางที่ 4.8 พบว่ามีความแตกต่างกันในเชิงของพื้นที่อย่างชัดเจน โดยที่บริเวณต้นน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์มีสารอนินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำสูงกว่าบริเวณท้ายน้ำ ส่วนในบริเวณต้นน้ำของเขื่อนรัชชประภาพบว่ามีสารอนินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำต่ำกว่าบริเวณท้ายน้ำ ส่วนสารอนินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำในระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน พบว่าทั้งเขื่อนรัชชประภา เขื่อนอุบลรัตน์ และเขื่อนขุนด่านปราการชล มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก



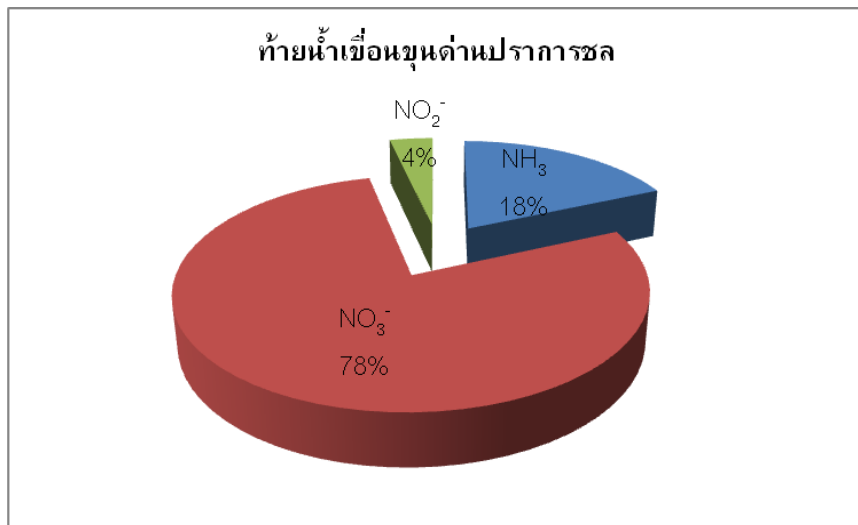
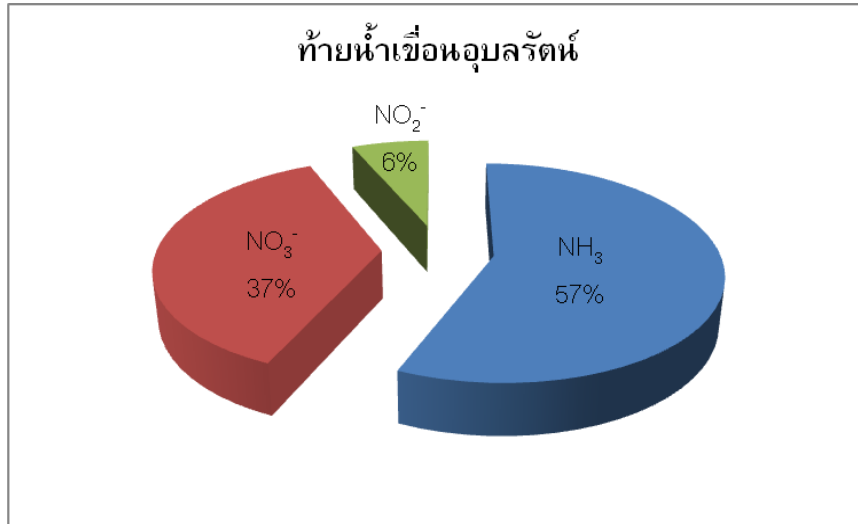
รูปที่ 4.16 สัดส่วนของสารฟอสฟอรัสบริเวณต้นน้ำ (DIP=อินทรีย์ฟอสฟอรัสละลายน้ำ, DOP=อินทรีย์ฟอสฟอรัสละลายน้ำ และ TPP =ฟอสฟอรัสรวมในรูปของตะกอน)



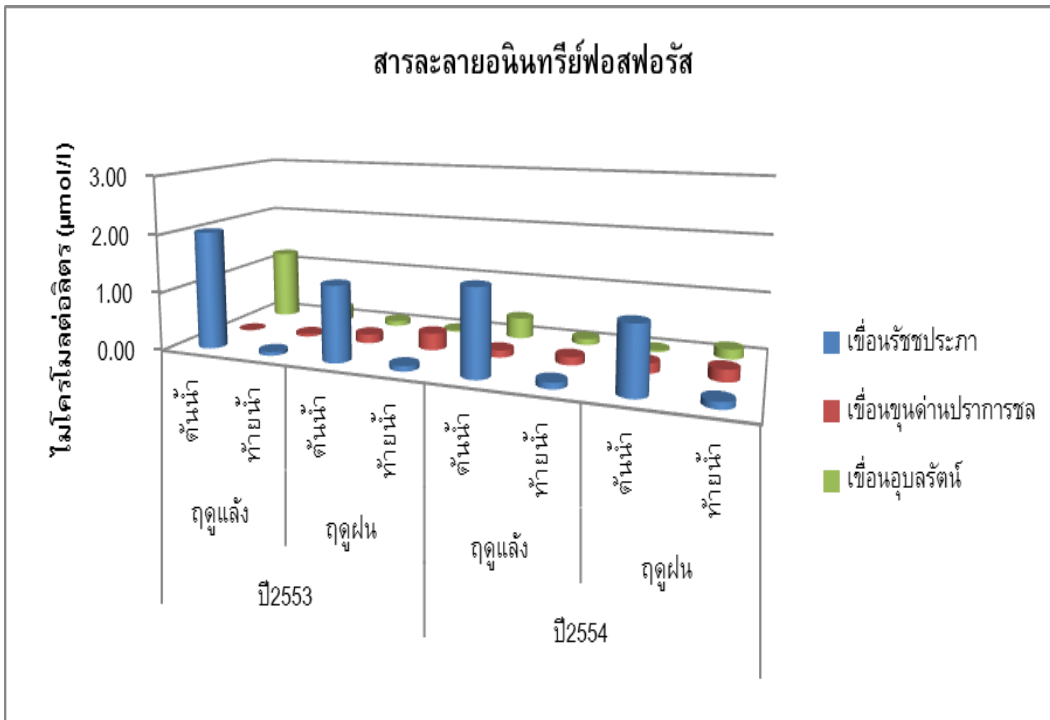
รูปที่ 4.17 สัดส่วนของสารฟอสฟอรัสบริเวณทำยน้ำ (DIP=อินทรีย์ฟอสฟอรัสละลายน้ำ, DOP=อินทรีย์ฟอสฟอรัสละลายน้ำ และ TPP=ฟอสฟอรัสรวมในรูปของตะกอน)



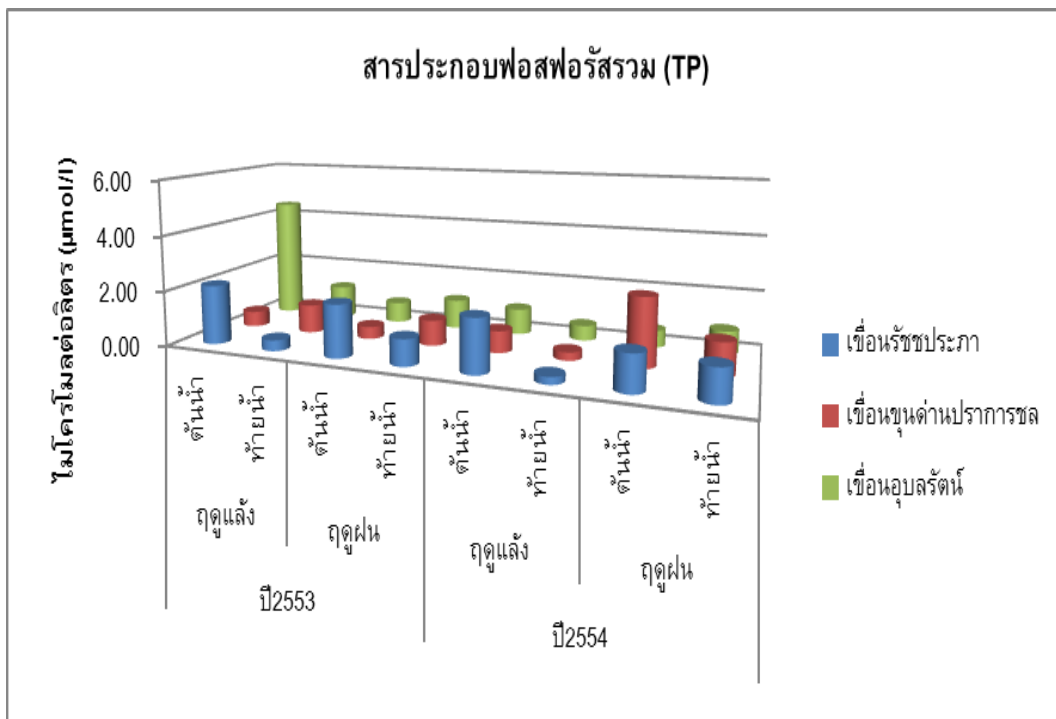
รูปที่ 4.18 สัดส่วนของสารอนินทรีย์ไนโตรเจนละลายบริเวณต้นน้ำ (แอมโมเนีย ไนเตรทและไนไตรท์)



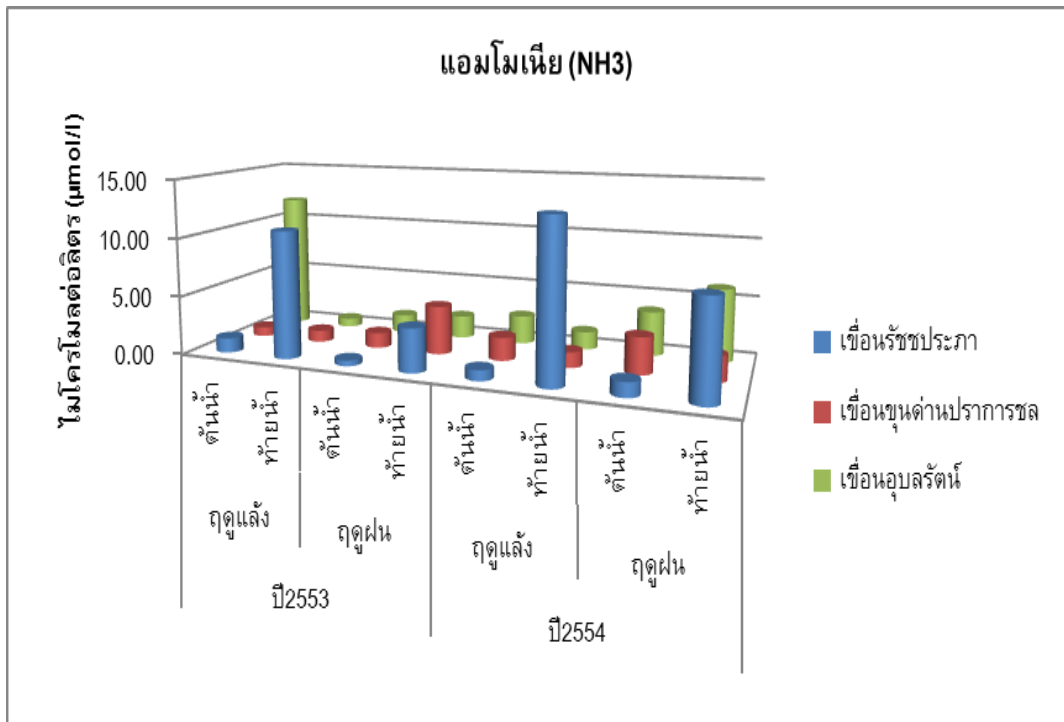
รูปที่ 4.19 สัดส่วนของสารอนินทรีย์ไนโตรเจนละลายบริเวณทำยน้ำ (แอมโมเนีย ไนเตรทและไนไตรท์)



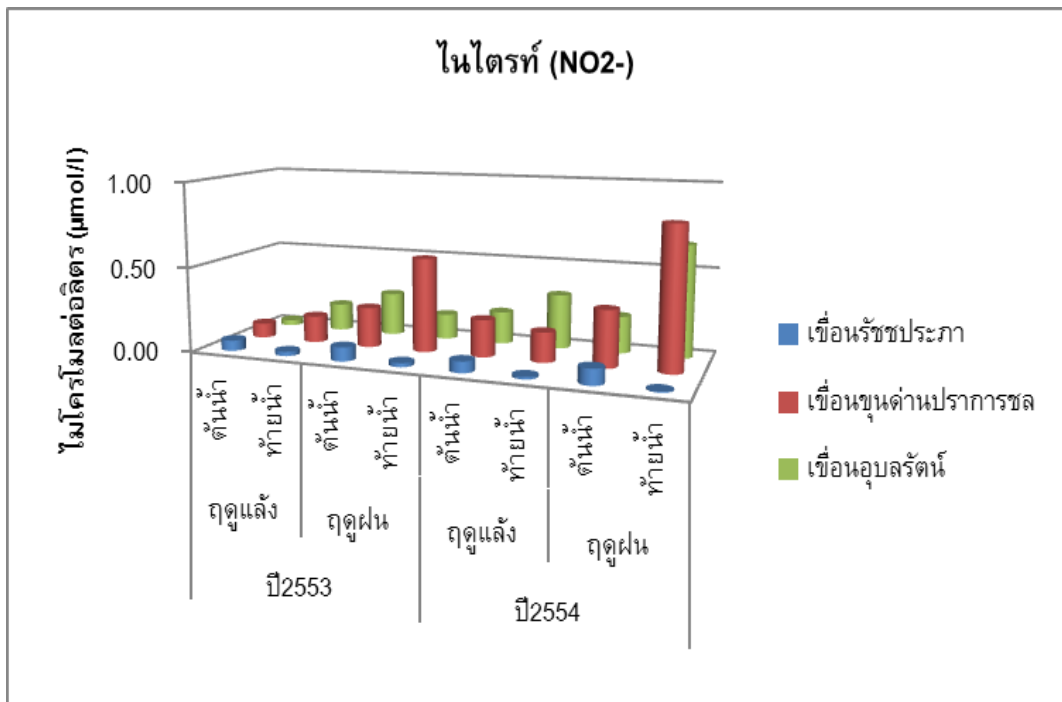
รูปที่ 4.20 การเปลี่ยนแปลงอินทรีย์ฟอสฟอรัสละลายน้ำบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2553-2554



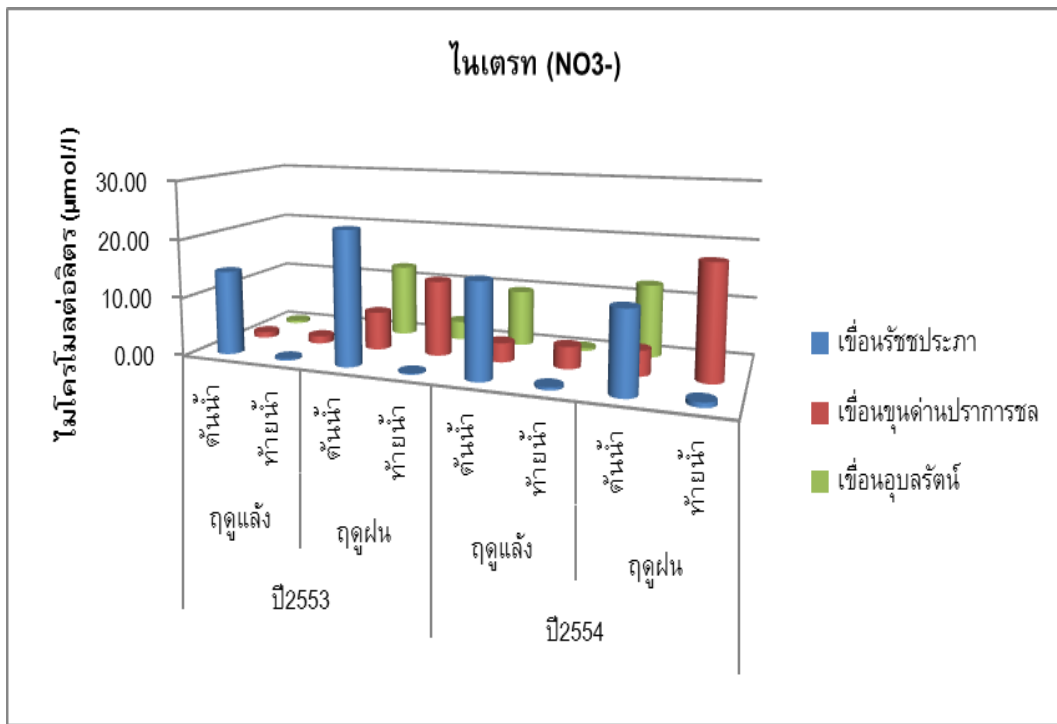
รูปที่ 4.21 การเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟอสฟอรัสละลายน้ำรวม บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2553-2554



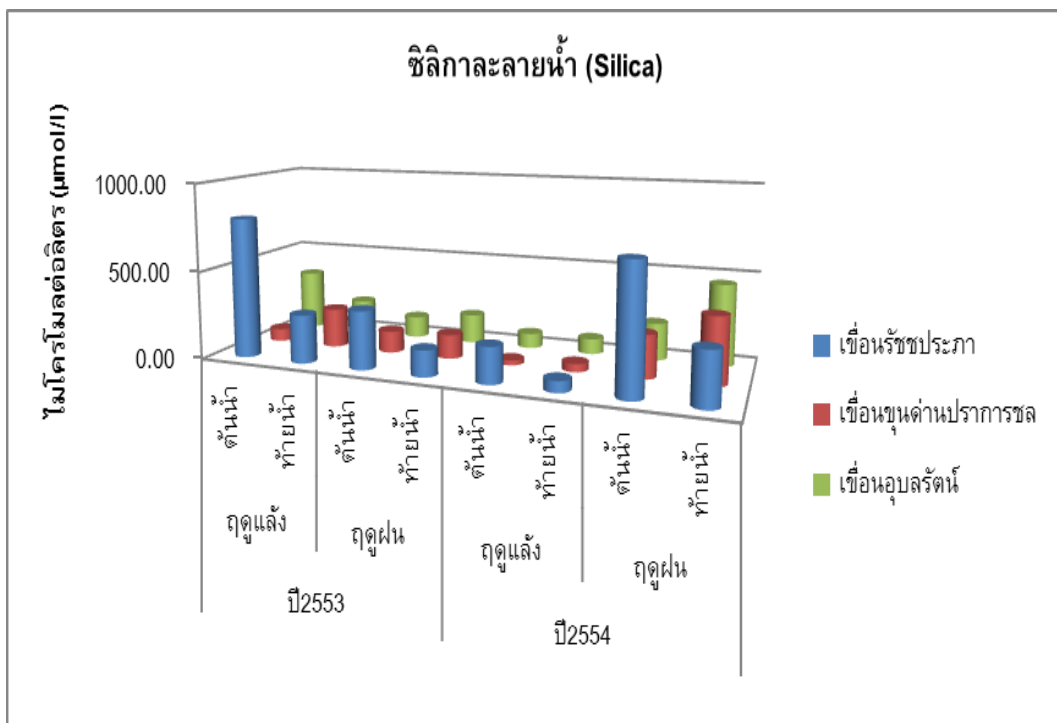
รูปที่ 4.22 การเปลี่ยนแปลงแอมโมเนีย บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2553-2554



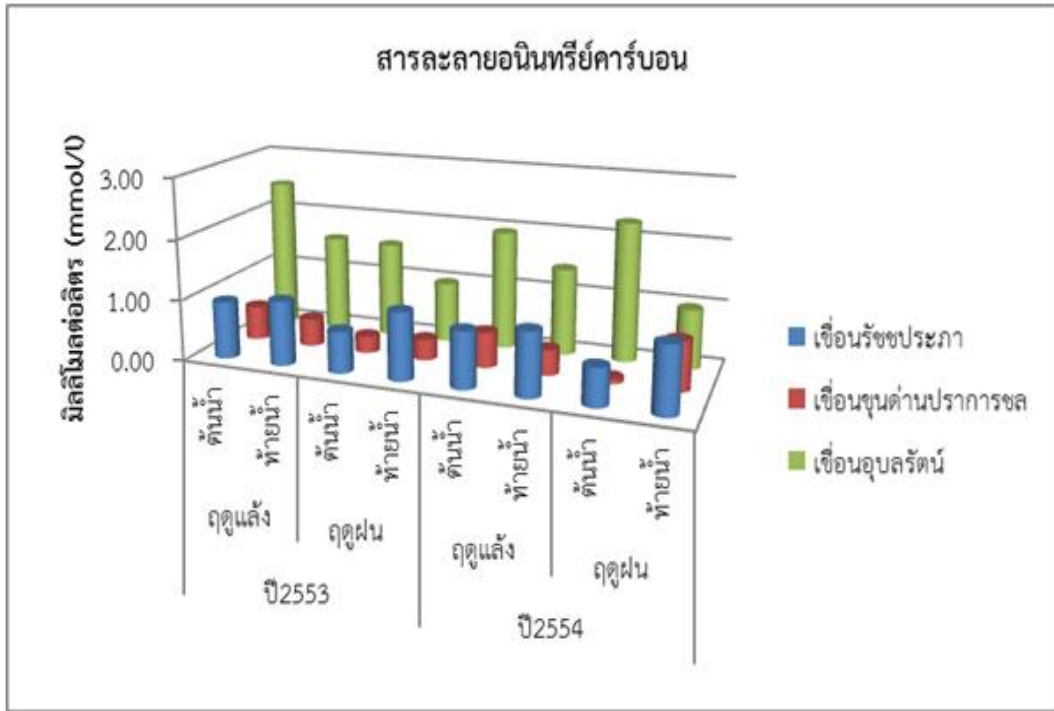
รูปที่ 4.23 การเปลี่ยนแปลงไนไตรท์ บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อนระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2553-2554



รูปที่ 4.24 การเปลี่ยนแปลงไนเตรท บริเวณตื้นน้ำและตื้นน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2553-2554



รูปที่ 4.25 การเปลี่ยนแปลงซิลิกาละลายน้ำ บริเวณตื้นน้ำและตื้นน้ำของทั้งสามเขื่อนระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2553-2554



รูปที่ 4.26 การเปลี่ยนแปลงอนินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2553-2554

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยของธาตุอาหารพืชฟอสฟอรัสในฟอร์มต่างๆ ในบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2553-2554 ค่าในวงเล็บคือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เขื่อน	ดัชนี	ต้นน้ำ	ท้ายน้ำ
อุบลรัตน์	TDP (μM)	0.93 (0.91)	0.55 (0.20)
	DIP (μM)	0.43 (0.55)	0.14 (0.09)
	DOP (μM)	0.51 (0.38)	0.42 (0.21)
ขุนด่านปราการชล	TDP (μM)	0.41 (0.13)	0.47 (0.29)
	DIP (μM)	0.11 (0.08)	0.17 (0.10)
	DOP (μM)	0.30 (0.18)	0.30 (0.33)
รัชชประภา	TDP (μM)	1.59 (0.36)	0.30 (0.20)
	DIP (μM)	1.48 (0.39)	0.09 (0.02)
	DOP (μM)	0.12 (0.18)	0.18 (0.07)

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยของอนินทรีย์ไนโตรเจนละลายน้ำในฟอร์มต่างๆ ในบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2553-2554 ค่าในวงเล็บคือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เขื่อน	ดัชนี	ต้นน้ำ	ท้ายน้ำ
อุบลรัตน์	NH ₃ (μM)	4.90 (4.74)	2.59 (2.44)
	NO ₃ ⁻ (μM)	8.73 (5.67)	1.59 (1.37)
	NO ₂ ⁻ (μM)	0.17 (0.10)	0.32 (0.24)
ขุนด่านปราการชล	NH ₃ (μM)	1.79 (1.00)	2.15 (1.41)
	NO ₃ ⁻ (μM)	3.75 (2.29)	9.25 (8.28)
	NO ₂ ⁻ (μM)	0.22 (0.10)	0.43 (0.32)
รัชชประภา	NH ₃ (μM)	0.96 (0.36)	9.01 (4.14)
	NO ₃ ⁻ (μM)	16.69 (4.17)	0.38 (0.14)
	NO ₂ ⁻ (μM)	0.08 (0.01)	0.02 (0.01)

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนระหว่างอนินทรีย์ไนโตรเจนละลายน้ำ (Dissolved Inorganic Nitrogen; DIN) และอนินทรีย์ฟอสฟอรัสละลายน้ำ (Dissolved Inorganic Phosphorus; DIP) ในบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2553- 2554 ค่าในวงเล็บคือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เขื่อน	ต้นน้ำ	ท้ายน้ำ
อุบลรัตน์	185.4 (244.8)	65.4 (79.0)
ขุนด่านปราการชล	242.2 (390.3)	65.0 (31.7)
รัชชประภา	12.7 (4.3)	106.8 (57.7)

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยของซิลิกา (μM) ในบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี 2553-2554 ค่าในวงเล็บ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เขื่อน	ต้นน้ำ	ท้ายน้ำ
อุบลรัตน์	190.7 (244.8)	226.4 (162.5)
ขุนด่านปราการชล	115.9 (91.9)	194.7 (139.4)
รัชชประภา	510.1 (287.6)	195.9 (110.0)

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนระหว่างซิลิกาละลายน้ำและอนินทรีย์ไนโตรเจนละลายน้ำ (Dissolved Inorganic Nitrogen; DIN) ในบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ตั้งแต่ช่วงปี 2553-2554 ค่าในวงเล็บคือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

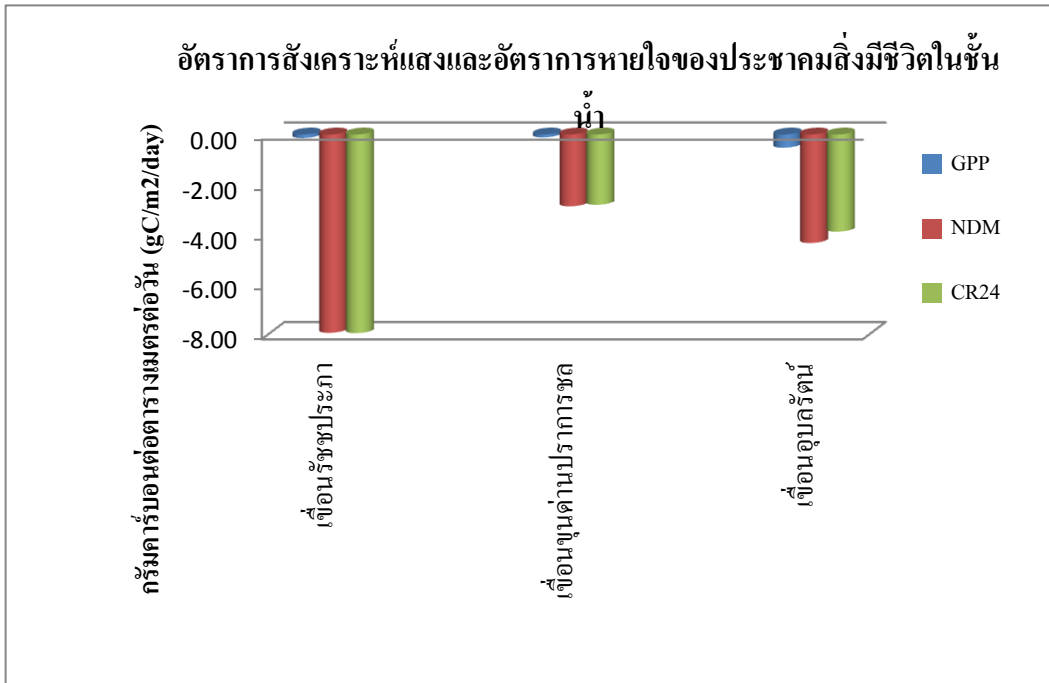
เขื่อน	ต้นน้ำ	ท้ายน้ำ
อุบลรัตน์	185.4 (244.8)	65.4 (79.0)
ขุนด่านปราการชล	242.2 (390.3)	65.0 (31.7)
รัชชประภา	12.7 (4.3)	106.8 (57.7)

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยของสารอนินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ (Dissolved Inorganic Carbon; DIC) (mM) ในบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝนตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2553- 2554 ค่าในวงเล็บคือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เขื่อน	ต้นน้ำ	ท้ายน้ำ
อุบลรัตน์	2.07 (0.40)	1.25 (0.31)
ขุนด่านปราการชล	0.37 (0.24)	0.51 (0.21)
รัชชประภา	0.79 (0.17)	1.08 (0.03)

4.4 อัตราการสังเคราะห์แสงของผู้ผลิตขั้นต้นและอัตราการหายใจของประชาคมสิ่งมีชีวิต

จากรูปที่ 4.27 พบว่าเมตาบอลิซึมสุทธิของระบบนิเวศ (Net Ecosystem Metabolism) ของทั้ง 3 เขื่อน มีค่าต่ำกว่าศูนย์ ส่งผลให้ความสมดุลระหว่างกระบวนการสร้างและทำลายสารอินทรีย์ในรูปอัตราส่วนระหว่างผลผลิตต่อการหายใจของระบบนิเวศทั้งระบบ (Whole Ecosystem GP/R หรือ P/R) บริเวณต้นน้ำของเขื่อน เป็นระบบนิเวศแบบ Heterotrophic ที่มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยกระบวนการหายใจของสังคมสิ่งมีชีวิต สูงกว่าการสังเคราะห์สารอินทรีย์ด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยสารประกอบอินทรีย์จากแหล่งภายนอกระบบนิเวศ (Allochthonous Source) เป็นแหล่งพลังงานหลักของระบบนิเวศ โดยเฉพาะเขื่อนรัชชประภาที่มีอัตราการย่อยสลายสูงกว่าเขื่อนอื่นๆ

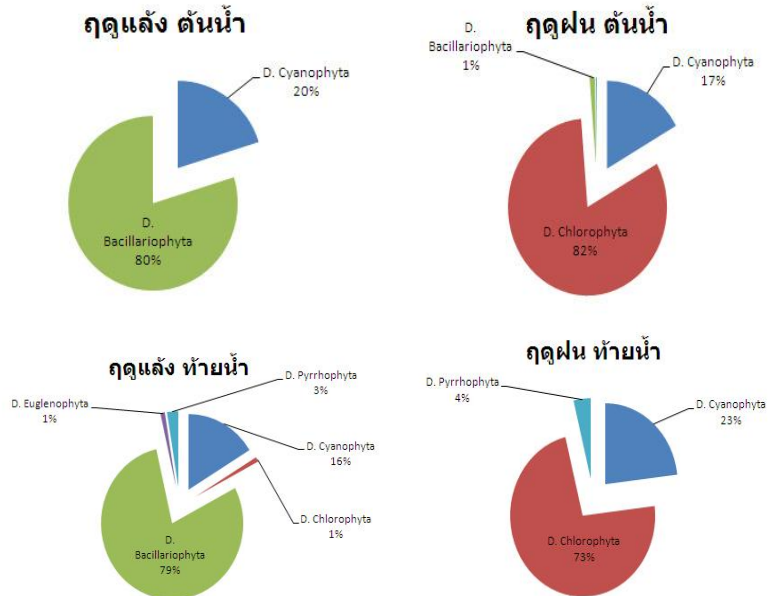


รูปที่ 4.27 แสดงอัตราการสังเคราะห์แสงและอัตราการหายใจของประชาคมสิ่งมีชีวิตในชั้นน้ำบริเวณต้นน้ำ

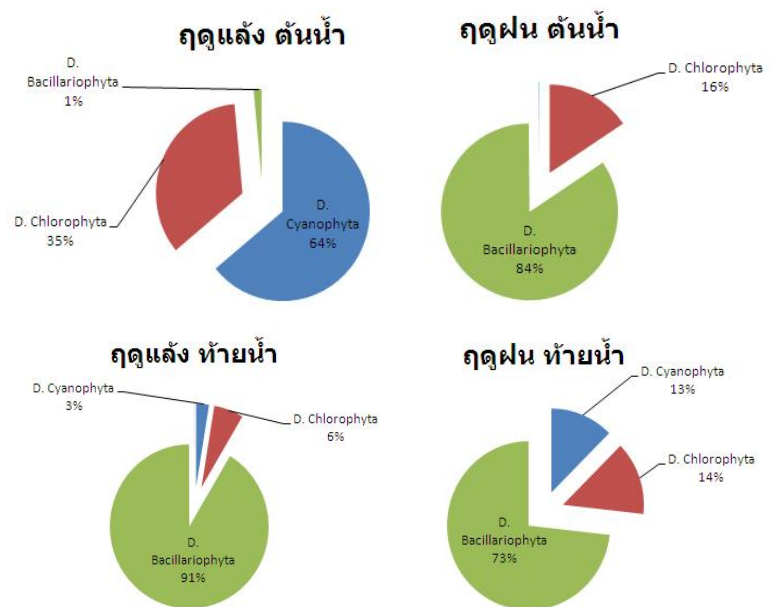
4.5 ชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนแบบเกาะติด แพลงก์ตอนสัตว์ สัตว์หน้าดินและแบคทีเรีย ในบริเวณต้นน้ำ และท้ายน้ำ

ผลการศึกษาชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนแบบเกาะติดกับวัสดุใต้น้ำ บริเวณจุดเก็บตัวอย่างต้นน้ำ และท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อนในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งในปี พ.ศ. 2553 พบแพลงก์ตอนพืชทั้งสิ้น 5 ดิวิชั่น 22 วงศ์ 35 สกุล โดยเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน 2 วงศ์ 6 สกุล สาหร่ายสีเขียว 10 วงศ์ 11 สกุล ไดอะตอม 8 วงศ์ 15 สกุล ยูกลีนา 1 วงศ์ 1 สกุล และไดโนแฟลกเจลเลต 1 วงศ์ 2 สกุล สกุลที่พบทั้งบริเวณต้นน้ำและปลายน้ำและพบได้เกือบทุกครั้งที่เก็บตัวอย่าง ได้แก่ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน สกุล *Lyngba* และไดอะตอมสกุล *Navicula* เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของแพลงก์ตอนแบบเกาะติดกับวัสดุใต้น้ำ ในฤดูแล้งและฤดูฝนของเขื่อนรัชชประภา (รูปที่ 4.28) พบว่าในฤดูแล้งมีองค์ประกอบของแพลงก์ตอนแบบเกาะติดเป็นกลุ่มของไดอะตอม 79-80% และกลุ่มที่พบรองลงมาได้แก่ กลุ่มของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ในขณะที่ในฤดูฝนองค์ประกอบของแพลงก์ตอนแบบเกาะติดเป็นกลุ่มเด่น ได้แก่กลุ่มสาหร่ายสีเขียว โดยพบ 73-82% ของแพลงก์ตอนแบบเกาะติดทั้งหมด ในขณะที่กลุ่มที่พบรองลงมา ได้แก่กลุ่มของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเช่นกัน สำหรับองค์ประกอบของแพลงก์ตอนแบบเกาะติดกับวัสดุใต้น้ำของเขื่อนขุนด่านปราการชลบริเวณต้นน้ำ พบว่าในฤดูแล้งมีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเป็นองค์ประกอบหลัก (64%) รองลงมาได้แก่กลุ่มสาหร่ายสีเขียว (35%) (รูปที่ 4.29) และเมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูฝน องค์ประกอบของแพลงก์ตอนแบบเกาะติดหลักจะเปลี่ยนเป็นกลุ่มของไดอะตอม (84%) และกลุ่มรองลงมายังคงเป็นกลุ่มของสาหร่ายสีเขียว (16%) ส่วนบริเวณท้ายน้ำทั้งในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน องค์ประกอบของแพลงก์ตอนแบบเกาะติดไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก โดยแพลงก์ตอนแบบเกาะติดที่เป็นกลุ่มหลักได้แก่กลุ่มของไดอะตอม (73-91%) ในขณะที่กลุ่มรองลงมาได้แก่กลุ่มของสาหร่ายสีเขียว (6-14%) และกลุ่มของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (3-13%) ตามลำดับ องค์ประกอบของแพลงก์ตอนแบบเกาะติดกับวัสดุใต้น้ำบริเวณต้นน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์ (รูปที่ 4.30) พบว่าในช่วงฤดูแล้ง มีองค์ประกอบของแพลงก์ตอนพืชในกลุ่มของไดอะตอม (41%) และสาหร่ายสีเขียว (46%) ในเปอร์เซ็นต์ที่

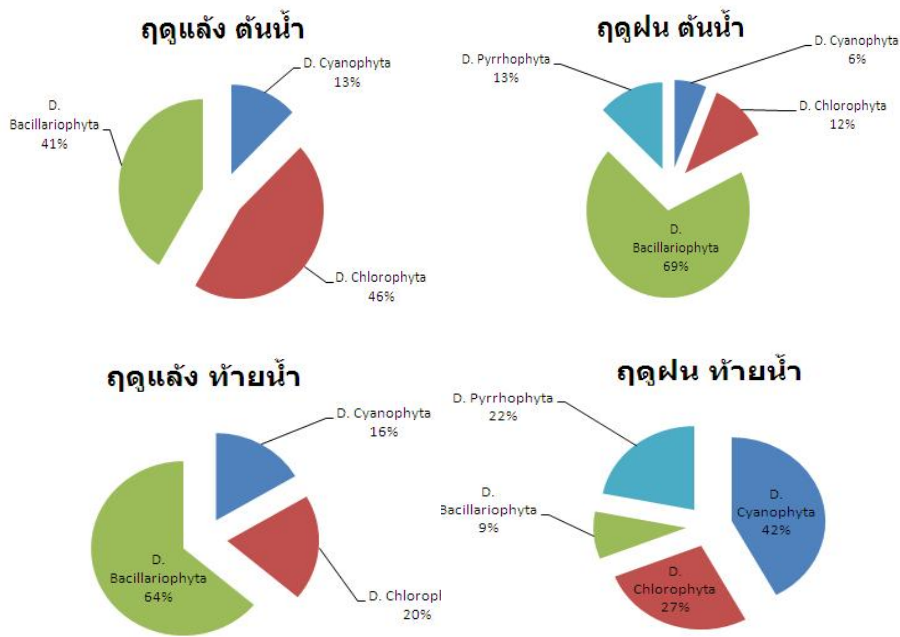
ใกล้เคียงกัน ในขณะที่เมื่อเข้าสู่ช่วงหน้าฝนจะมีกลุ่มของไดอะตอมเป็นกลุ่มหลัก (69%) รองลงมาได้แก่กลุ่มสาหร่ายสีเขียว (13%) และกลุ่มไดโนแฟลเจลเลต (13%) ตามลำดับ เมื่อพิจารณาปริมาณของแพลงก์ตอนแบบเกาะติดวัสดุใต้น้ำบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งเขื่อนทั้งสามแห่ง พบว่าปริมาณของแพลงก์ตอนแบบเกาะติดที่พบในเขื่อนขุนด่านปราการชลมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาได้แก่เขื่อนอุบลรัตน์ และเขื่อนรัชชประภา ตามลำดับ (รูปที่ 4.31)



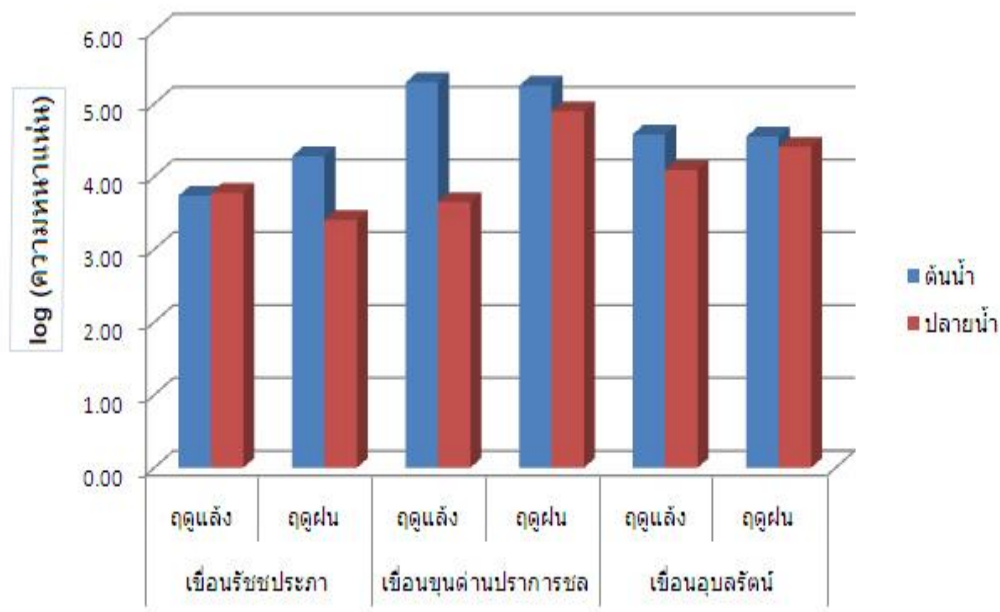
รูปที่ 4.28 องค์ประกอบของแพลงก์ตอนพืชที่เกาะติดกับวัสดุใต้น้ำบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ ในฤดูแล้ง และฤดูฝนของเขื่อนรัชชประภา



รูปที่ 4.29 องค์ประกอบของแพลงก์ตอนพืชที่เกาะติดกับวัสดุใต้น้ำบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ ในฤดูแล้ง และฤดูฝนของเขื่อนขุนด่านปราการชล

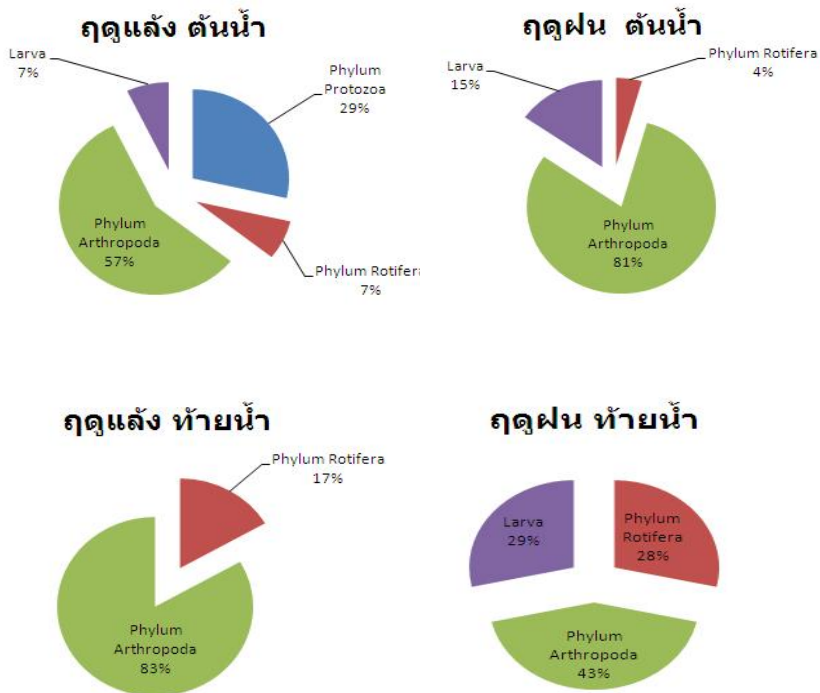


รูปที่ 4.30 องค์ประกอบของแพลงก์ตอนพืชที่เกาะติดกับวัสดุใต้น้ำบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ ในฤดูแล้งและฤดูฝนของเขื่อนอุบลรัตน์

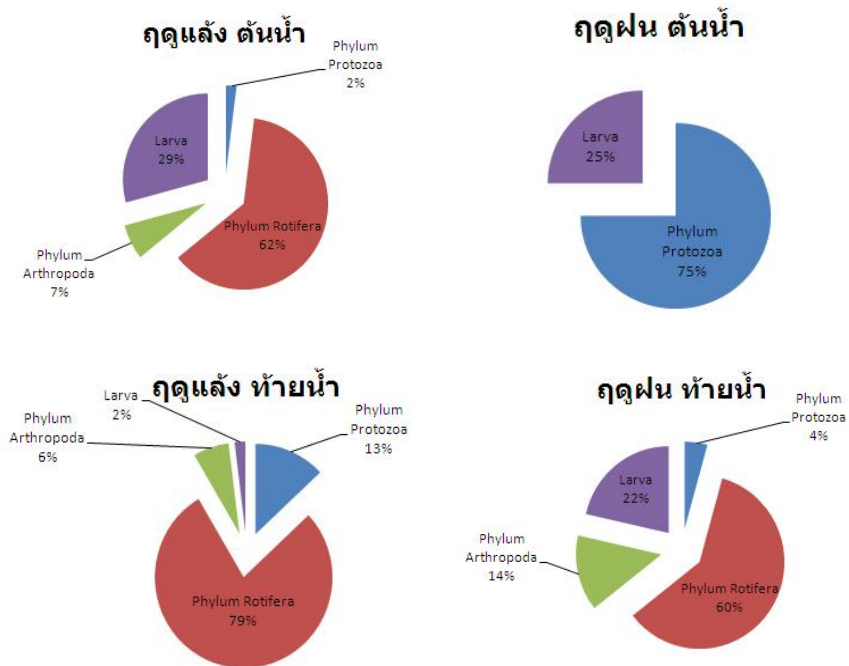


รูปที่ 4.31 ปริมาณของแพลงก์ตอนพืชที่เกาะวัสดุใต้น้ำ (Log ความหนาแน่น) ในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝนของเขื่อนรัชชประภา เขื่อนขุนด่านปราการชลและเขื่อนอุบลรัตน์

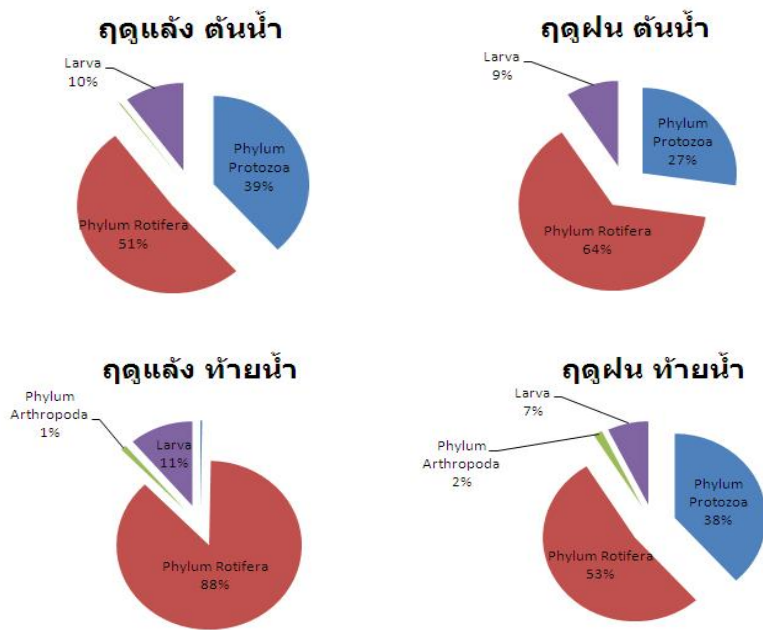
ปริมาณของแพลงก์ตอนสัตว์ บริเวณจุดเก็บตัวอย่างต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อนในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง ในปี พ.ศ. 2553 พบแพลงก์ตอนสัตว์ 4 กลุ่ม คือ กลุ่มโปรโตซัว โรติเฟอร์ อาร์โทรโปดาและกลุ่มตัวอ่อน โดยแพลงก์ตอนสัตว์ของเขื่อนรัชชประภามีความหลากหลายชนิดและความชุกชุมน้อยกว่าเขื่อนขุนด่านปราการชลและเขื่อนอุบลรัตน์ โดยองค์ประกอบหลักของแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบ เป็นกลุ่มอาร์โทรโปดาทั้งบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งฤดูแล้งและฤดูฝน (รูปที่ 4.32) แพลงก์ตอนสัตว์ในกลุ่มอาร์โทรโปดาที่พบได้ในทุกครั้งที่เก็บตัวอย่าง ได้แก่ Cyclopoid copepodid และแพลงก์ตอนสัตว์มีความหลากหลายและความชุกชุมมากที่สุดในบริเวณต้นน้ำในช่วงฤดูฝน แพลงก์ตอนสัตว์ที่พบบริเวณต้นน้ำของเขื่อนขุนด่านปราการชล มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน โดยในช่วงฤดูแล้งจะสามารถพบแพลงก์ตอนสัตว์ได้หลากหลายชนิดกว่าและมีความชุกชุมสูงกว่าองค์ประกอบหลักของแพลงก์ตอนสัตว์ในช่วงฤดูแล้ง จะเป็นกลุ่มโรติเฟอร์ โดยเฉพาะในสกุล *Polyarthra* รองลงมาเป็นกลุ่มตัวอ่อนในระยะนอเพลียส (รูปที่ 4.33) ในขณะที่ในฤดูฝนจะพบแพลงก์ตอนสัตว์อยู่น้อยมากสำหรับบริเวณท้ายน้ำมีความหลากหลายชนิดและมีความชุกชุมในทั้งสองฤดูกาล โดยมีกลุ่มโรติเฟอร์เป็นองค์ประกอบหลัก โดยในช่วงฤดูแล้งจะพบ *Keratella cochlearis* เป็นชนิดเด่น ส่วนฤดูฝนจะพบ *Anuraeopsis fissa* เป็นชนิดเด่น องค์ประกอบของแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบของเขื่อนอุบลรัตน์มีความหลากหลายชนิดและมีความชุกชุมค่อนข้างสูง โดยมีองค์ประกอบหลักที่คล้ายกันทั้งบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน องค์ประกอบหลักของแพลงก์ตอนสัตว์ในเขื่อนอุบลรัตน์เป็นกลุ่มของโรติเฟอร์ รองลงมาได้แก่กลุ่มของโปรโตซัว ยกเว้นบริเวณท้ายน้ำในช่วงฤดูแล้งซึ่งมีระยะวัยอ่อนเป็นองค์ประกอบรองลงมา (รูปที่ 4.34) โรติเฟอร์ที่พบเป็นชนิดเด่นบริเวณต้นน้ำ จะแตกต่างกันไปตามฤดูกาล โดยในฤดูแล้งจะพบ *Brachionus forficula* เป็นชนิดเด่น ในขณะที่ช่วงฤดูฝนจะพบ *Lecane closterocerca* เป็นชนิดเด่น สำหรับโปรโตซัวที่พบเป็นชนิดเด่นบริเวณต้นน้ำ ได้แก่ สกุล *Arcella* ส่วนบริเวณท้ายน้ำจะพบ *Anuraeopsis fissa* เป็นโรติเฟอร์ชนิดเด่นในทั้งสองฤดูกาล และพบโปรโตซัวสกุล *Tintinnopsis* มีความหนาแน่นสูงที่สุดในช่วงฤดูฝน เมื่อพิจารณาความชุกชุมของแพลงก์ตอนสัตว์ พบแพลงก์ตอนสัตว์มีความหนาแน่นสูงบริเวณต้นน้ำมากกว่าท้ายน้ำในเขื่อนรัชชประภาในทั้งสองฤดู ซึ่งตรงข้ามกับความหนาแน่นของแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบในเขื่อนอุบลรัตน์ โดยแพลงก์ตอนสัตว์จะมีความหนาแน่นสูงบริเวณท้ายน้ำมากกว่าบริเวณต้นน้ำในทั้งสองฤดู ส่วนความหนาแน่นของแพลงก์ตอนสัตว์ในเขื่อนขุนด่านปราการชลจะขึ้นกับฤดูกาล โดยในช่วงฤดูแล้ง จะมีความหนาแน่นบริเวณต้นน้ำ ในขณะที่ช่วงฤดูฝนจะมีความหนาแน่นบริเวณท้ายน้ำ (รูปที่ 4.35)



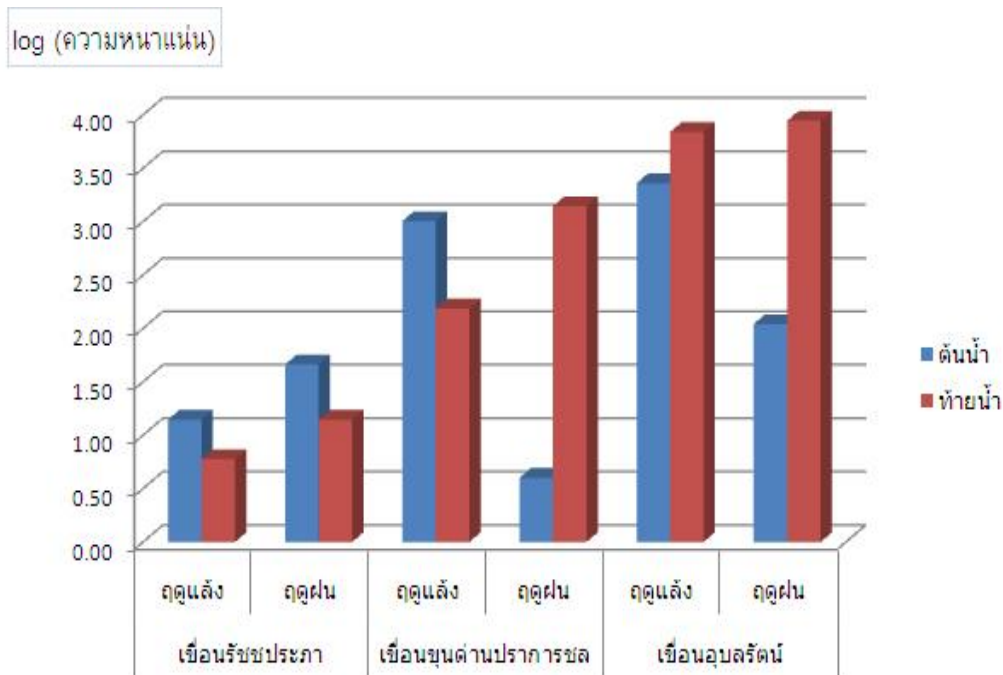
รูปที่ 4.32 องค์ประกอบของแพลงก์ตอนสัตว์บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ ในฤดูแล้งและฤดูฝนของเขื่อนรัชชประภา



รูปที่ 4.33 องค์ประกอบของแพลงก์ตอนสัตว์บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ ในฤดูแล้งและฤดูฝนของเขื่อนขุนด่านปราการชล



รูปที่ 4.34 องค์ประกอบของแพลงก์ตอนสัตว์บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ ในฤดูแล้งและฤดูฝนของเขื่อนอุบลรัตน์



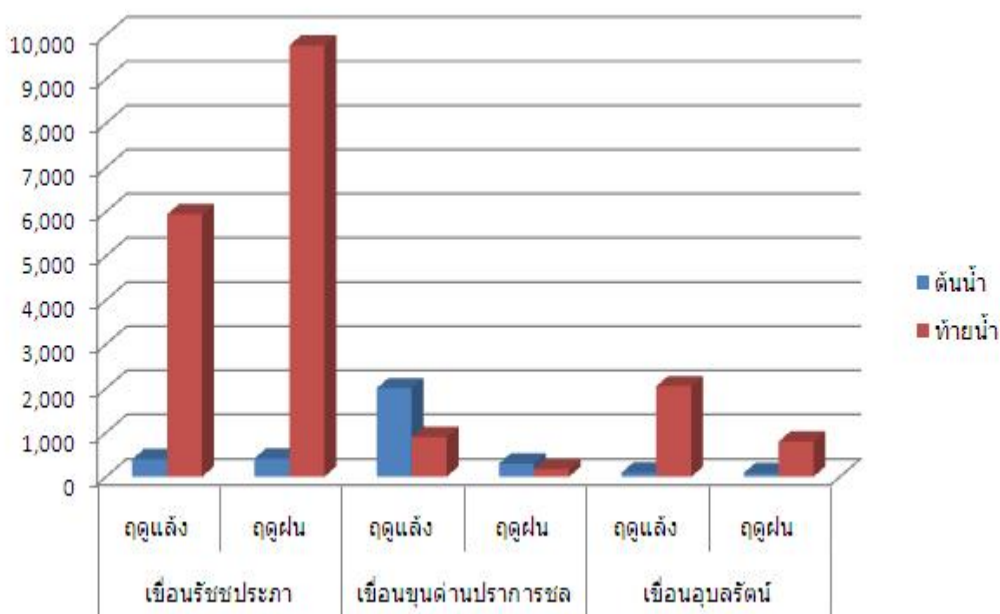
รูปที่ 4.35 ปริมาณของแพลงก์ตอนสัตว์ (Log ความหนาแน่น) ในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝนของเขื่อนรัชชประภา เขื่อนขุนด่านปราการชลและเขื่อนอุบลรัตน์

สัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่พบจากเขื่อนรัชชประภา เขื่อนขุนด่านปราการชลและเขื่อนอุบลรัตน์ จากจุดเก็บตัวอย่างบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง ในปี พ.ศ. 2553 พบมีจำนวนรวมทั้งสิ้น 22,925 ตัว จำแนกออกเป็น 4 ไฟลัม คือ Platyhelminthes, Annelida, Mollusca และ Arthropoda ซึ่งประกอบด้วยสัตว์จำนวนมากกว่า 95 ชนิด จาก 63 วงศ์ กลุ่มแมลงน้ำมีความหลากหลายสูงกว่าสัตว์กลุ่มอื่นๆ โดยพบมากกว่า 76 ชนิด จาก 48 วงศ์ ซึ่งเมื่อเทียบเป็นร้อยละของจำนวนทั้งหมดได้เป็น 80% ของชนิด และ 76% ของวงศ์ที่พบ เป็น

แมลงน้ำ แมลงน้ำกลุ่มเด่นที่พบเป็นพวกริ้นน้ำจืด (Diptera) 1,581 ตัว และแมลงชีปะขาว (Ephemeroptera) 1,292 ตัว เชื้อนรัชชประภา พบความหลากหลายของจำนวนชนิดอยู่ระหว่าง 8-30 ชนิด โดยมีความแตกต่างของจำนวนชนิดที่จุดต้นน้ำกับท้ายน้ำมาก ที่จุดท้ายน้ำมีความหลากหลายของชนิดต่ำมาก (8 ถึง 9 ชนิด) เมื่อเทียบกับจุดต้นน้ำซึ่งพบจำนวนชนิดมาก 20 ถึง 30 ชนิด ในฤดูแล้งและฤดูฝน ตามลำดับ ในทางตรงกันข้าม จุดต้นน้ำเป็นพวกแมลงน้ำ Coleoptera, Diptera และ Ephemeroptera (38, 35, 23%) ส่วนบริเวณท้ายน้ำ พบพวกกลุ่มไส้เดือนดินเป็นจำนวนมากถึง 4,176 และ 9,742 ตัว ในฤดูแล้งและฤดูฝน ตามลำดับ โดยคิดเป็นร้อยละ 70 และ 95 ของตัวอย่างที่พบทั้งหมด เชื้อนขุนด่านปราการชล มีองค์ประกอบของหน้าดินขนาดใหญ่ที่แตกต่างจากเชื้อนอื่น โดยพบมีความหลากหลายชนิดสูงสุดถึงมากกว่า 39 ชนิดที่จุดต้นน้ำในฤดูแล้ง โดยส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มของกิ้งและหอยรวมกันประมาณ 45% ของตัวอย่างทั้งหมด กลุ่มที่มีความชุกชุมในจุดเก็บตัวอย่างดังกล่าวเป็นพวกแมลงน้ำ โดยเฉพาะกลุ่มแมลงชีปะขาวที่มีทั้งความหลากหลายชนิดและความชุกชุมถึงร้อยละ 60 ของจำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่จุดเหนือเชื้อนในฤดูฝน เชื้อนอุบลรัตน์ พบมีความหลากหลายชนิดไม่แตกต่างกันมากระหว่างจุดต้นน้ำและท้ายน้ำ โดยมีจำนวนชนิดอยู่ระหว่าง 12-25 ชนิด กลุ่มที่พบมากที่สุดต้นน้ำเป็นกลุ่มแมลงน้ำ ในขณะที่จุดท้ายน้ำเป็นกิ้ง โดยพบมากถึง 66 และ 50% ของตัวอย่างทั้งหมด และพบว่าในฤดูแล้งมีจำนวนชนิดน้อยกว่าแต่มีความชุกชุมสูงกว่าฤดูฝน เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ ระหว่างจุดเก็บตัวอย่างต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเชื้อน พบว่ากลุ่มสัตว์ในเชื้อนรัชชประภา มีความแตกต่างของจำนวนชนิดและความชุกชุมสูงสุด (รูปที่ 4.36)

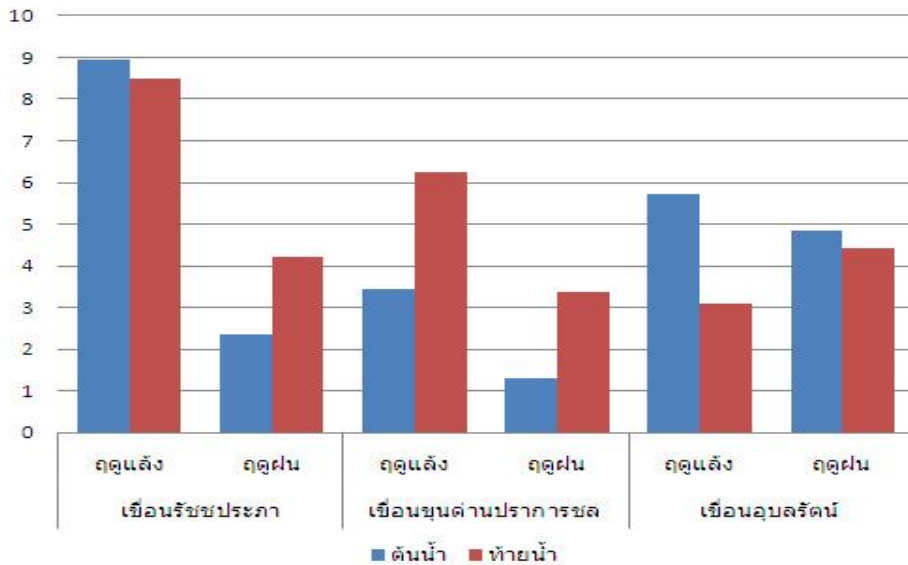
ค่าเฉลี่ยของแบคทีเรียบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเชื้อนรัชชประภา เชื้อนขุนด่านปราการชล และเชื้อนอุบลรัตน์ ในฤดูแล้ง มีค่าสูงกว่าในฤดูฝน ทั้งในบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ และค่าเฉลี่ยของปริมาณของแบคทีเรียบริเวณต้นน้ำของเชื้อนรัชชประภาและเชื้อนขุนด่านปราการชล มีค่าต่ำกว่าบริเวณท้ายน้ำ ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของปริมาณแบคทีเรียในเชื้อนอุบลรัตน์บริเวณต้นน้ำ มีค่าสูงกว่าบริเวณท้ายน้ำในทั้งสองฤดูกาล (รูปที่ 4.37)

จำนวน (ตัว)



รูปที่ 4.36 ความชุกชุมของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินขนาดใหญ่ ในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝนของเชื้อนรัชชประภา เชื้อนขุนด่านปราการชล และเชื้อนอุบลรัตน์

จำนวน (X 10⁵ CFU / ดิน 1



รูปที่ 4.37 ค่าเฉลี่ยของปริมาณแบคทีเรียบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ ในฤดูแล้งและฤดูฝนของเขื่อนรัชชประภา เขื่อนขุนด่านปราการชลและเขื่อนอุบลรัตน์

4.6 ชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนแบบเกาะติด แพลงก์ตอนสัตว์ และสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ กับการเปลี่ยนแปลงตามเวลาและเชิงพื้นที่

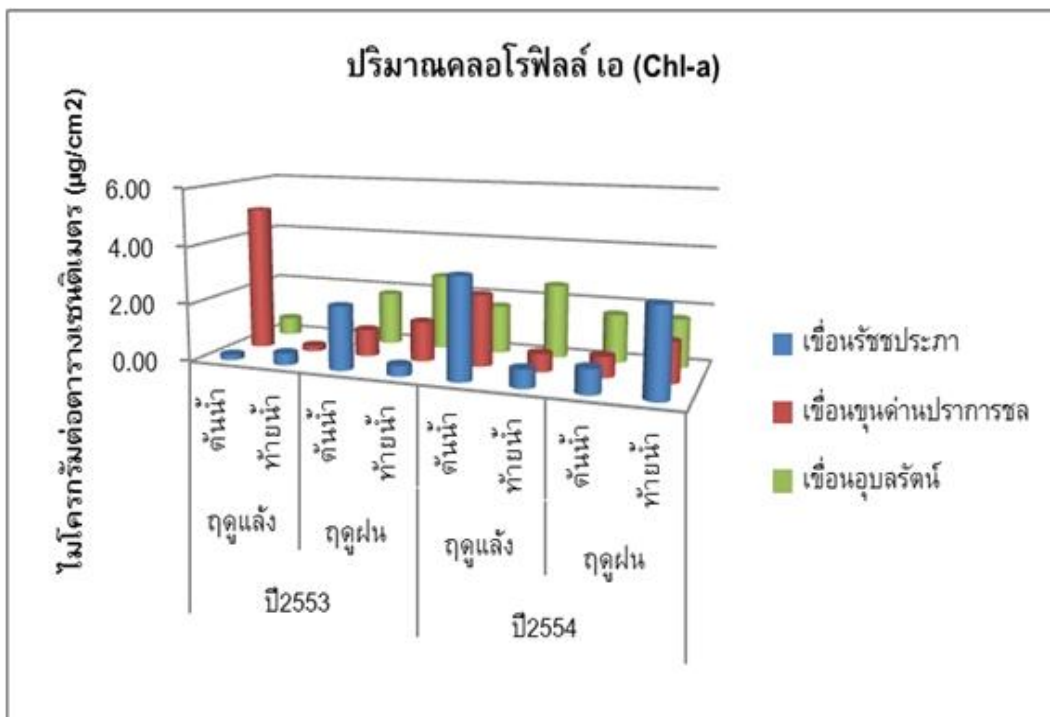
ผลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของแพลงก์ตอนที่เกาะติดกับก้อนหินและวัสดุพื้นท้องน้ำ บริเวณจุดเก็บตัวอย่างต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง ระหว่างปี พ.ศ. 2553-2554 แสดงในรูปที่ 4.38 ในภาพรวมแล้วพบว่า บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของแพลงก์ตอนแบบเกาะติดสูงสุด รองลงมาคือเขื่อนขุนด่านปราการชล เมื่อเปรียบเทียบระหว่างต้นน้ำและท้ายน้ำแล้ว ปรากฏว่า บริเวณต้นน้ำมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของแพลงก์ตอนแบบเกาะติดสูงกว่าบริเวณท้ายน้ำ โดยค่าสูงสุด พบที่บริเวณต้นน้ำของเขื่อนขุนด่านปราการชลซึ่งความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ มีค่า 5 ไมโครกรัมต่อตารางเซนติเมตร (รูปที่ 4.38) ทั้งนี้ ความแปรปรวนของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของแพลงก์ตอนแบบเกาะติด อาจมีความเชื่อมโยงกับ กระแสน้ำ ความขุ่นและระดับของแสงที่ส่องสู่ลำนํ้า ผลการศึกษาครั้งนี้ ไม่พบความแตกต่างของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน

รูปที่ 4.39-4.41 แสดง Simpson's diversity index ซึ่งเป็นดัชนีที่ใช้แสดงถึงความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต (Simpson, 1949) สำหรับแพลงก์ตอนแบบเกาะติด แพลงก์ตอนสัตว์และสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน โดยคำนวณจากข้อมูลปริมาณและชนิดของสิ่งมีชีวิตชั้นปฐมภูมิที่วิเคราะห์ในฤดูแล้งและฤดูฝน ในปี พ.ศ. 2553 Simpson's diversity index ส่วนใหญ่ มีค่ามากกว่า 0.5 ซึ่งถือว่ามีความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตชั้นปฐมภูมิระดับปกติถึงสูง ยกเว้น Simpson's diversity index สำหรับแพลงก์ตอนแบบเกาะติด แพลงก์ตอนสัตว์และสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่บริเวณท้ายเขื่อนของรัฐประภาที่มีค่าต่ำ บ่งชี้ถึงความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตชั้นปฐมภูมิน้อยกว่าปกติ (รูปที่ 4.39-4.41) ลักษณะดังกล่าว สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงทางอุทกวิทยาของลำนํ้า และคุณภาพน้ำบริเวณท้ายเขื่อนที่เกิดจากการควบคุมการปล่อยปริมาณน้ำ

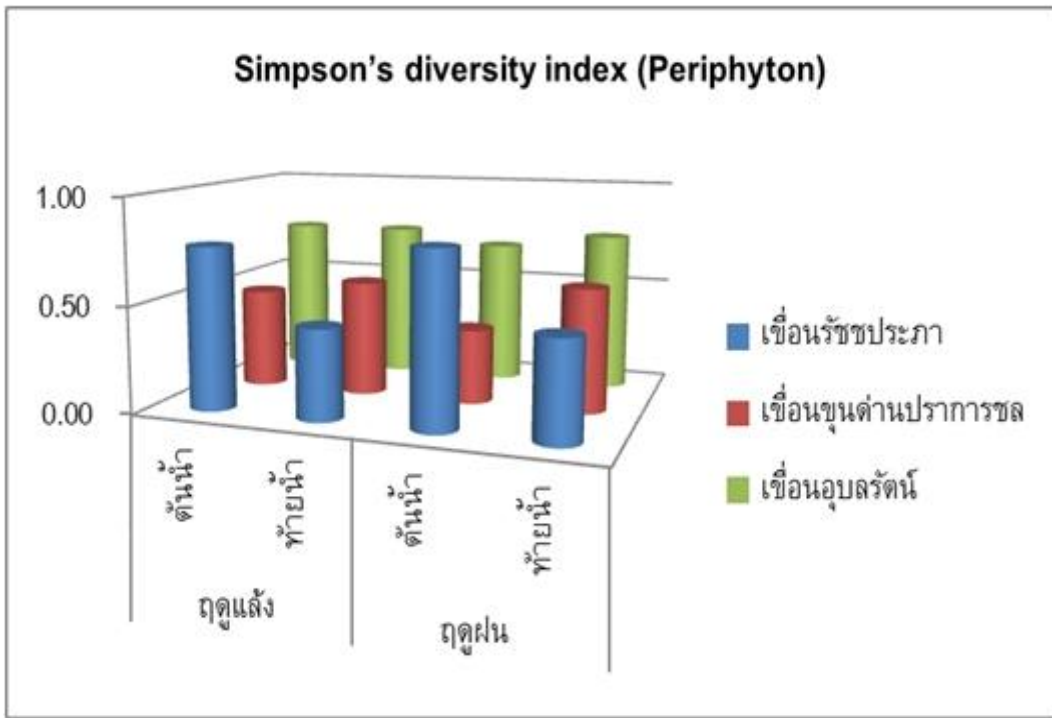
ลักษณะโดยทั่วไปในแง่ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตชั้นปฐมภูมิของทั้งสามเขื่อน พบว่า บริเวณต้นน้ำมีความหลากหลายของแพลงก์ตอนแบบเกาะติด และสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่สูงกว่าบริเวณท้ายน้ำ อย่างไรก็ตาม แพลงก์ตอนสัตว์กลับมีความหลากหลายสูงในบริเวณท้ายน้ำ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีกระแส น้ำแรงกว่าบริเวณต้นน้ำ สาเหตุหนึ่งอาจเนื่องจาก แพลงก์ตอนสัตว์สามารถอาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมดังกล่าวได้ดี เพราะมีความสามารถในการว่ายน้ำหลบอยู่ในบริเวณแอ่งที่ไม่กระทบจากกระแสน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับแพลงก์ตอนแบบเกาะติด เช่นเดียวกันกับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ Simpson's diversity index ไม่แสดงการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลที่ชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ (รูปที่ 4.39 - 4.41)

รูปที่ 4.42 - 4.44 แสดงชนิดแพลงก์ตอนแบบเกาะติดที่โดดเด่นบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน โดยเปอร์เซ็นต์ของชนิดที่โดดเด่น มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลระหว่างกลุ่มไดอะตอม สาหร่ายสีเขียวและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เป็นที่น่าสังเกตว่า สาหร่ายสีเขียวเป็นชนิดที่โดดเด่นของแพลงก์ตอนแบบเกาะติด ในบริเวณท้ายน้ำของเขื่อนรัชชประภาทั้งฤดูแล้งและฤดูฝน (รูปที่ 4.44)

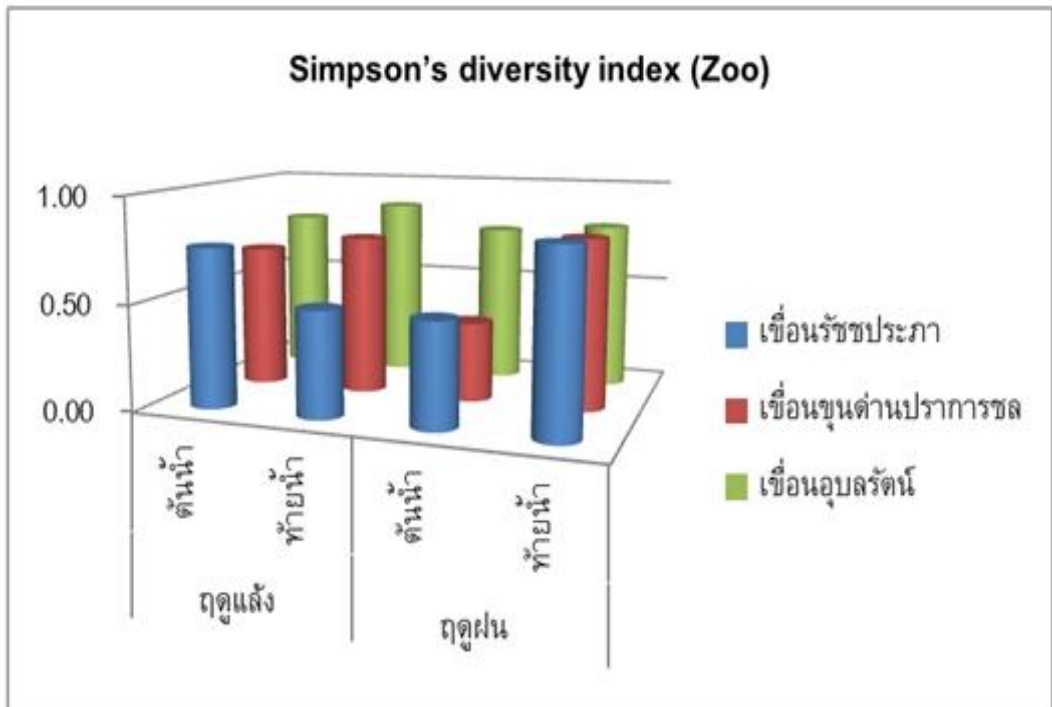
ชนิดที่โดดเด่นของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ มีลักษณะที่แตกต่างกันระหว่างต้นน้ำกับท้ายน้ำ ซึ่งเกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันของระบบนิเวศดังกล่าว รวมทั้งมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล (รูปที่ 4.45 - 4.47) คือ ตัวอ่อนแมลงปอ ตัวสามง่าม หอย กุ้ง ดั้วน้ำ ไส้เดือนดิน เป็นสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่โดดเด่นบริเวณต้นน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์ เขื่อนขุนด่านและเขื่อนรัชชประภาในฤดูแล้งและฤดูฝน ในขณะที่ สัตว์หน้าดินขนาดใหญ่เพียงหนึ่งชนิด กล่าวคือ กุ้ง ตัวสามง่ามและไส้เดือนดิน เป็นชนิดที่โดดเด่นทั้งฤดูแล้งและฤดูฝนในบริเวณท้ายน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์ เขื่อนขุนด่านและเขื่อนรัชชประภา ตามลำดับ (รูปที่ 4.45 - 4.47) ไส้เดือนดิน เป็นสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่โดดเด่นบริเวณท้ายน้ำของเขื่อนรัชชประภา เนื่องจากบริเวณท้ายน้ำของเขื่อนรัชชประภา มีกระแสน้ำเชี่ยวและปริมาณน้ำที่ปล่อยมีความแปรปรวนสูง ทำให้ไส้เดือนดิน ซึ่งเป็นสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ มีความทนทาน และสามารถปรับตัวต่อสภาพดังกล่าวได้ดีกว่าชนิดอื่น ทำให้กลายเป็นชนิดที่โดดเด่นทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง



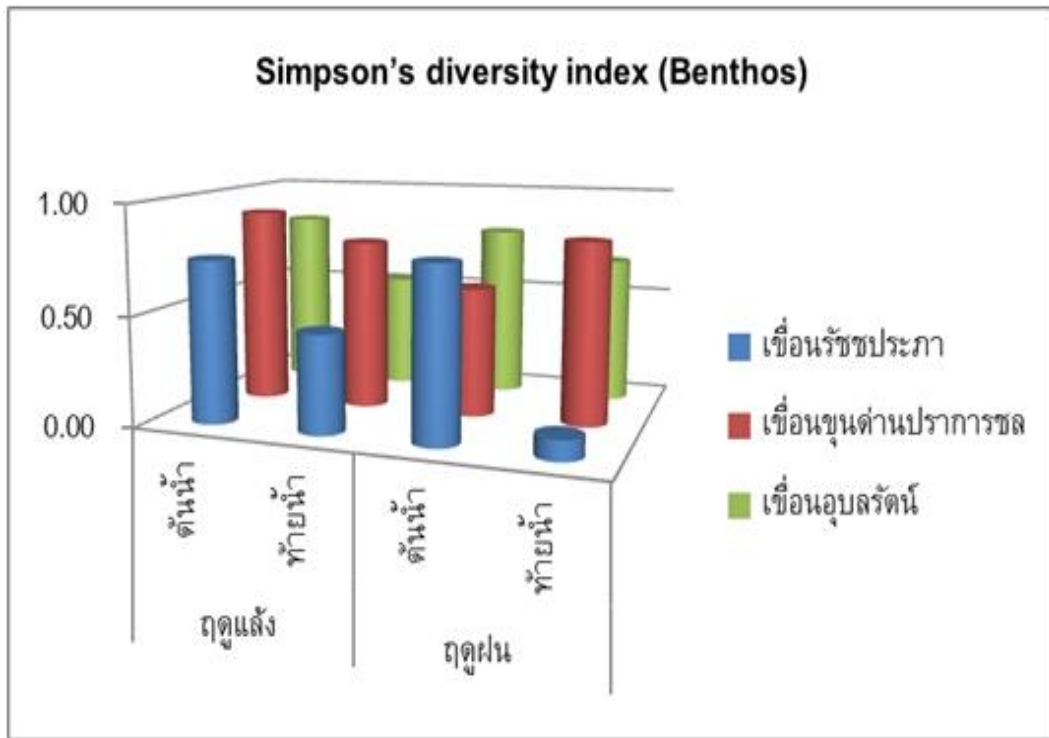
รูปที่ 4.38 การเปลี่ยนแปลงคลอโรฟิลล์ เอ ของแพลงก์ตอนแบบเกาะติด บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อนระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ในช่วงปี พ.ศ. 2553-2554



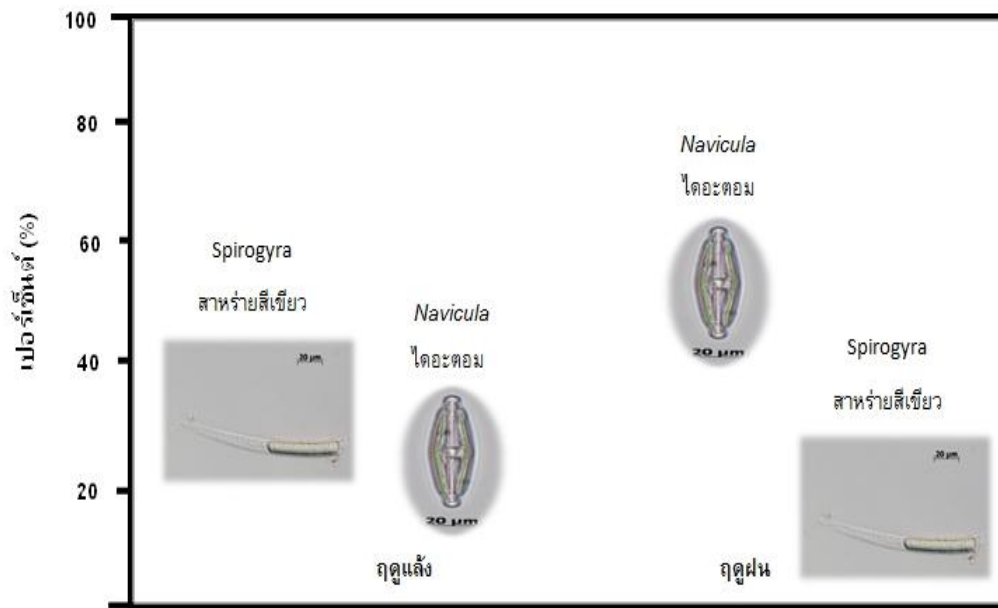
รูปที่ 4.39 ดัชนีความหลากหลาย (Simpson's diversity index) สำหรับแพลงก์ตอนแบบเกาะติด บริเวณตื้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ในช่วงปี พ.ศ. 2553-2554



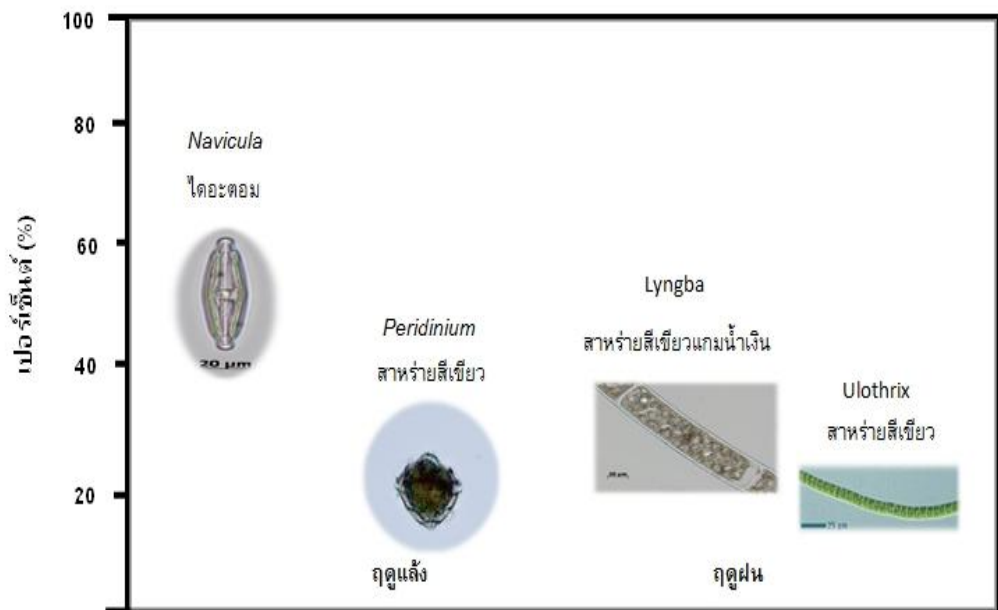
รูปที่ 4.40 ดัชนีความหลากหลาย (Simpson's diversity index) สำหรับแพลงก์ตอนสัตว์ บริเวณตื้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ในช่วงปี พ.ศ. 2553 - 2554



รูปที่ 4.41 ดัชนีความหลากหลาย (Simpson's diversity index) สำหรับสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ บริเวณตื้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ในช่วงปี พ.ศ. 2553 – 2554

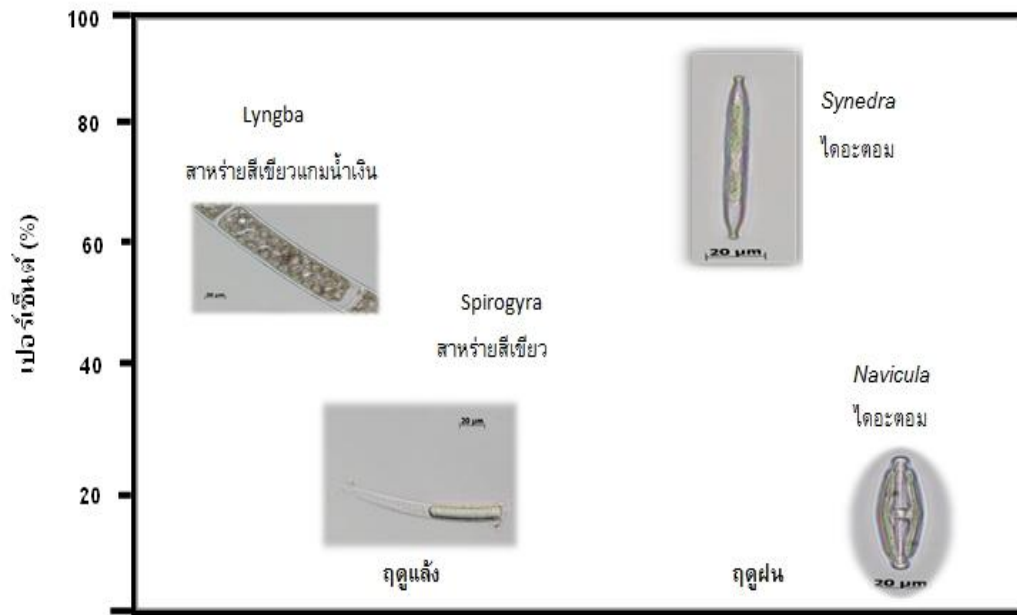


ต้นน้ำเขื่อนอุบลรัตน์

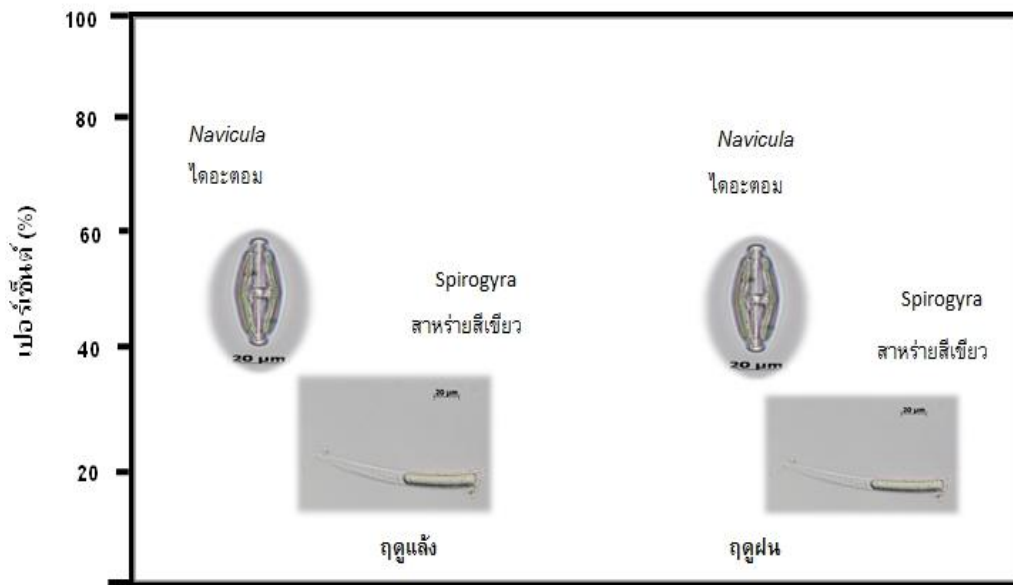


ท้ายน้ำเขื่อนอุบลรัตน์

รูปที่ 4.42 ชนิดของแพลงก์ตอนแบบเกาะติดที่โดดเด่น บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์ ระหว่างฤดูแล้ง และฤดูฝนของปี พ.ศ. 2553

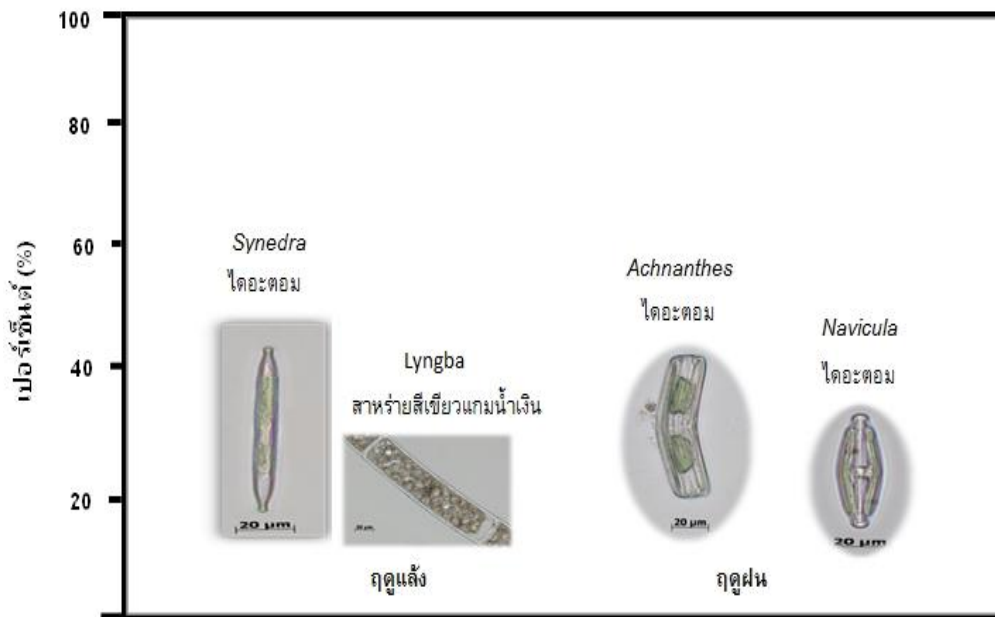


ต้นน้ำเชื่อมขนด้านปรากฏารชล

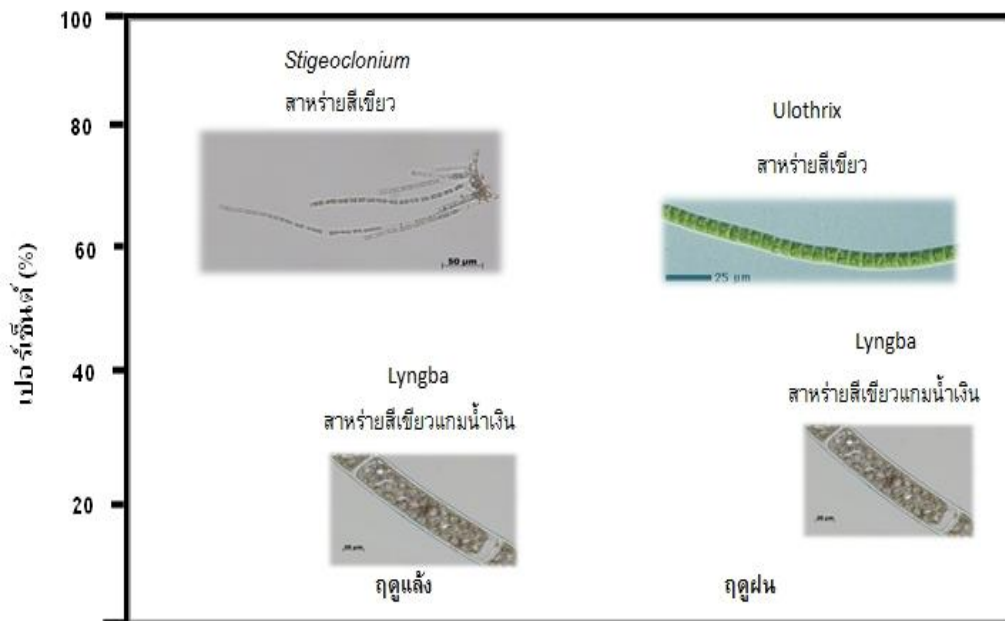


ท้ายน้ำเชื่อมขนด้านปรากฏารชล

รูปที่ 4.43 ชนิดของแพลงก์ตอนแบบเกาะติดที่โดดเด่น บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนขุนด่านปราการชล ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝนของปี พ.ศ. 2553

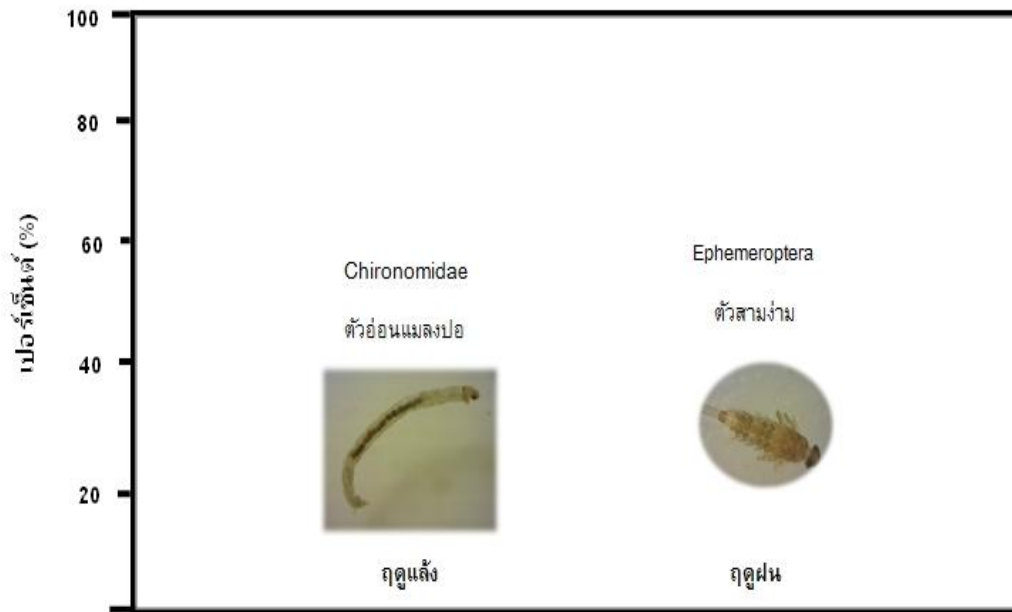


ต้นน้ำขึ้นรัชประภา

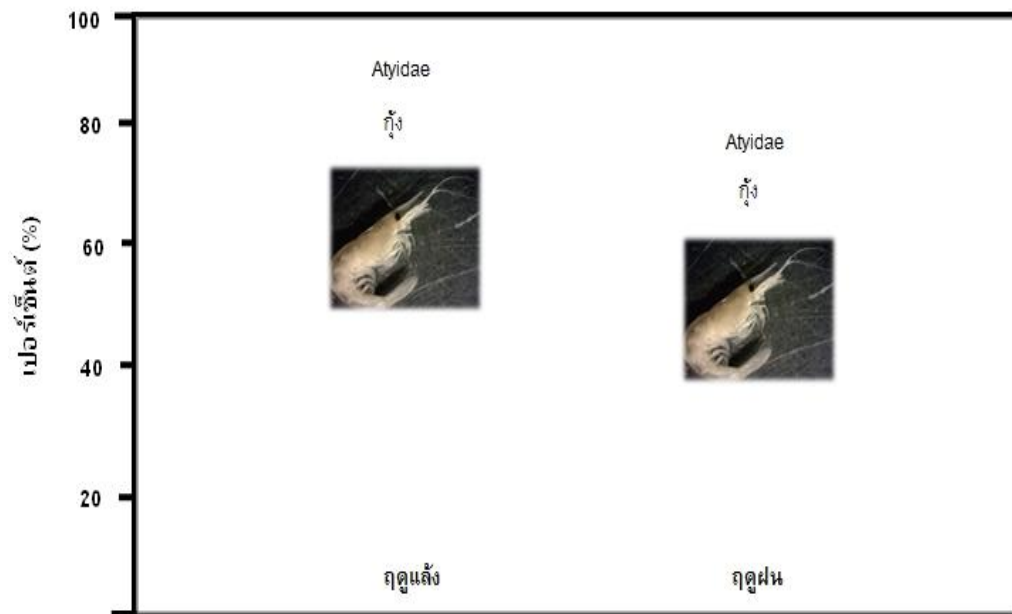


ท้ายน้ำขึ้นรัชประภา

รูปที่ 4.44 ชนิดของแพลงก์ตอนแบบเกาะติดที่โดดเด่น บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนรัชชประภา ระหว่างฤดูแล้ง และฤดูฝนของปี พ.ศ. 2553

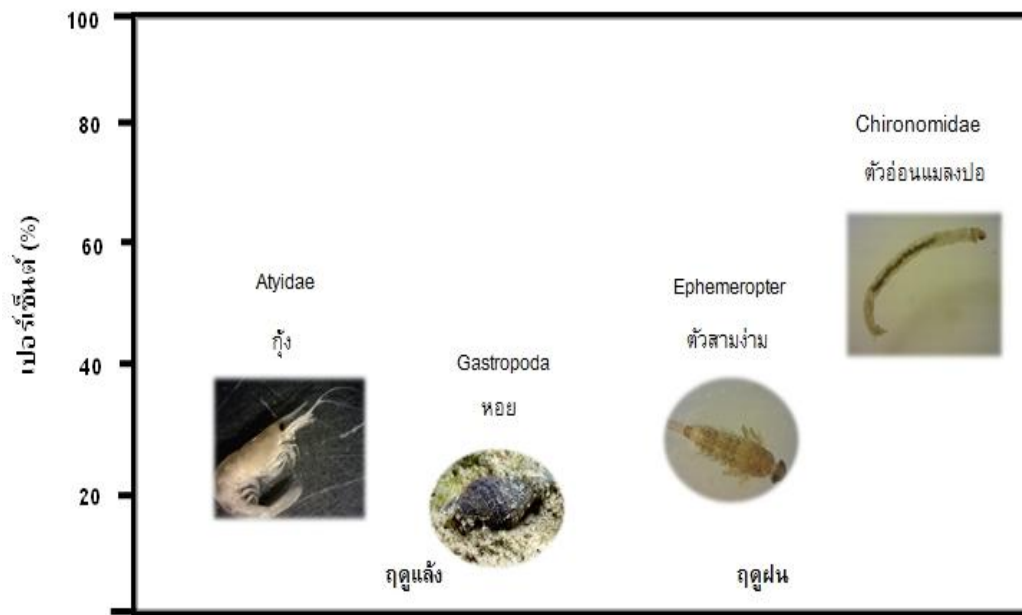


ตม้เ้าเื่อเนบลร์ตน์

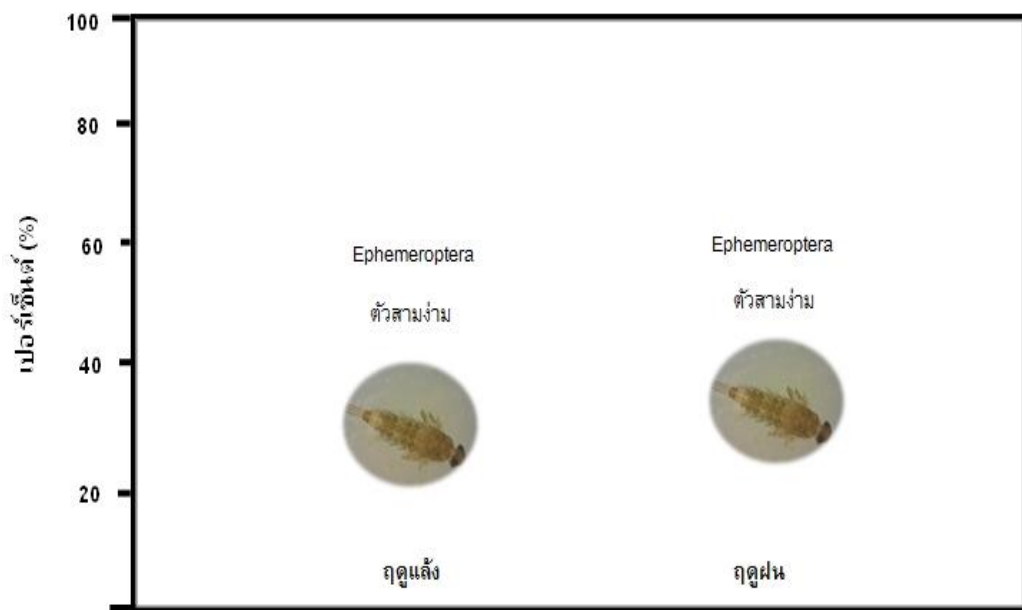


ก้ยเ้าเื่อเนบลร์ตน์

รูปที่ 4.45 ชนิดของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่โดดเด่น บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์ ระหว่างฤดูแล้ง และฤดูฝนของปี พ.ศ. 2553

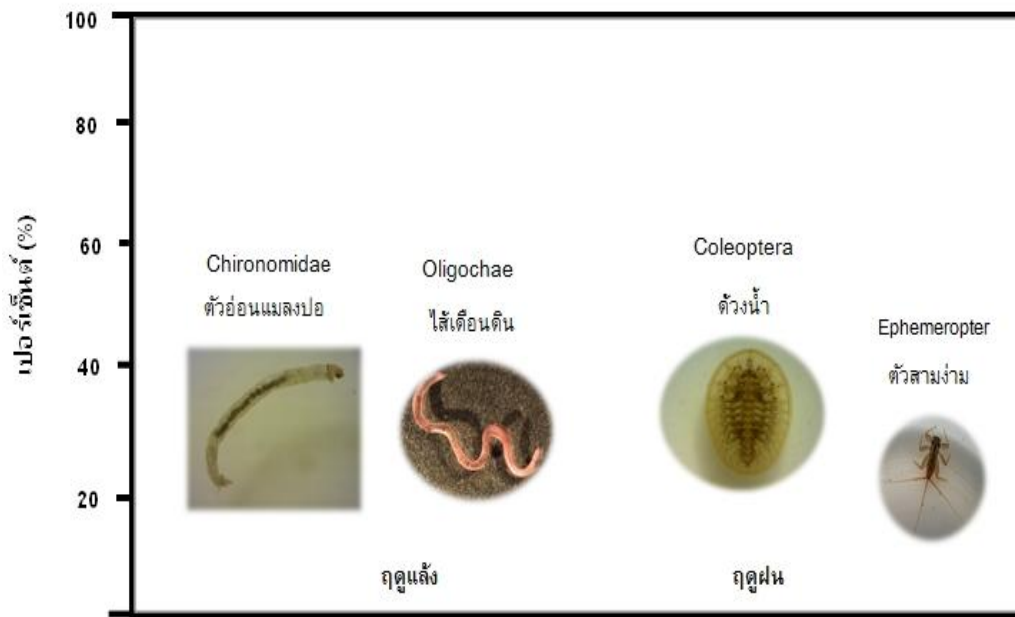


ต้นน้ำเชื่อมณฑำปราคากรชล

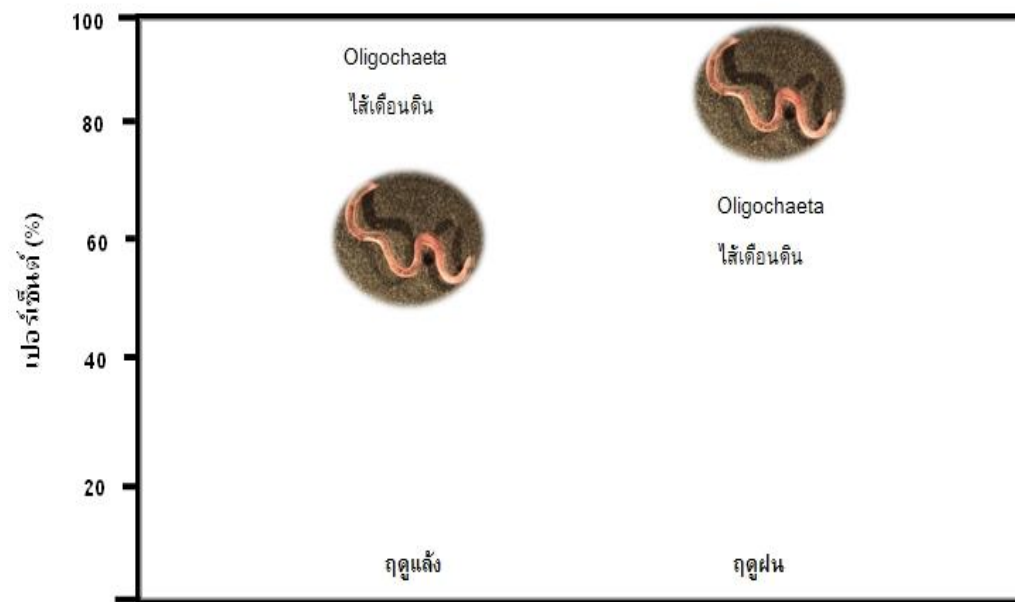


ท้ายน้ำเชื่อมณฑำปราคากรชล

รูปที่ 4.46 ชนิดของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่โดดเด่น บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนขุนด่านปราการชล ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝนของปี พ.ศ. 2553



หัวน้ำเชื่อมรัชชประภา



ท้ายน้ำเชื่อมรัชชประภา

รูปที่ 4.47 ชนิดของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่โดดเด่น บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนรัชชประภา ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝนของปี พ.ศ. 2553

4.7 กลุ่มและความแปรปรวนที่โดดเด่นของแพลงก์ตอนแบบเกาะติด และสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่

ข้อมูลชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนแบบเกาะติด บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อนที่ได้วิเคราะห์ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งของปี พ.ศ. 2553 ได้นำมาวิเคราะห์เพื่อจัดกลุ่มด้วยเทคนิค Cluster Analysis โดยทำการคัดเลือกเฉพาะชนิดที่มีปริมาณมากกว่า 1% ของปริมาณแพลงก์ตอนแบบเกาะติดทั้งหมด ข้อมูลปริมาณของแพลงก์ตอนแบบเกาะติดแต่ละชนิดได้ถูกแปลงเป็นค่า Log (Log transformation) ก่อนทำการวิเคราะห์ Cluster Analysis ทั้งนี้ Log-transformation จะส่งผลต่อการ scaling down เฉพาะค่าข้อมูลของชนิดที่โดดเด่นเท่านั้น แต่ไม่กระทบต่อค่าข้อมูลอื่นๆ ซึ่งเหมาะสมต่อข้อมูลปริมาณของแพลงก์ตอนหรือสิ่งมีชีวิตชั้นปฐมภูมิอื่น เนื่องจากข้อมูลดังกล่าว มักมีการแจกแจงแบบเบ้บวก (positively skewed distribution) (Field et al., 1982; Clifford and Stepheson, 1975) ระยะห่างความเหมือนกัน (Similarity) และความแตกต่าง (Dissimilarity) ของชนิดแพลงก์ตอนแบบเกาะติดของแต่ละเขื่อนในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง ถูกวัดด้วย Bray-Curtis Index เนื่องจาก Bray-Curtis Index มีคุณสมบัติที่สามารถจัดการกับข้อมูลที่มีค่าเป็นศูนย์ (Joint absence) ได้ดี ซึ่งมักปรากฏในข้อมูลชนิดและปริมาณของสิ่งมีชีวิตชั้นปฐมภูมิ (Bray and Curtis, 1957; Field et al., 1982) วิธี Unweighted Pair-Group Method using Arithmetic Average (UPGMA) ซึ่งเป็นการคำนวณระยะห่างเฉลี่ยทุกคู่ของตัวอย่าง ถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นหลักเกณฑ์ในการรวมกลุ่ม (Scott and Knot, 1974; Mardia et al., 1979)

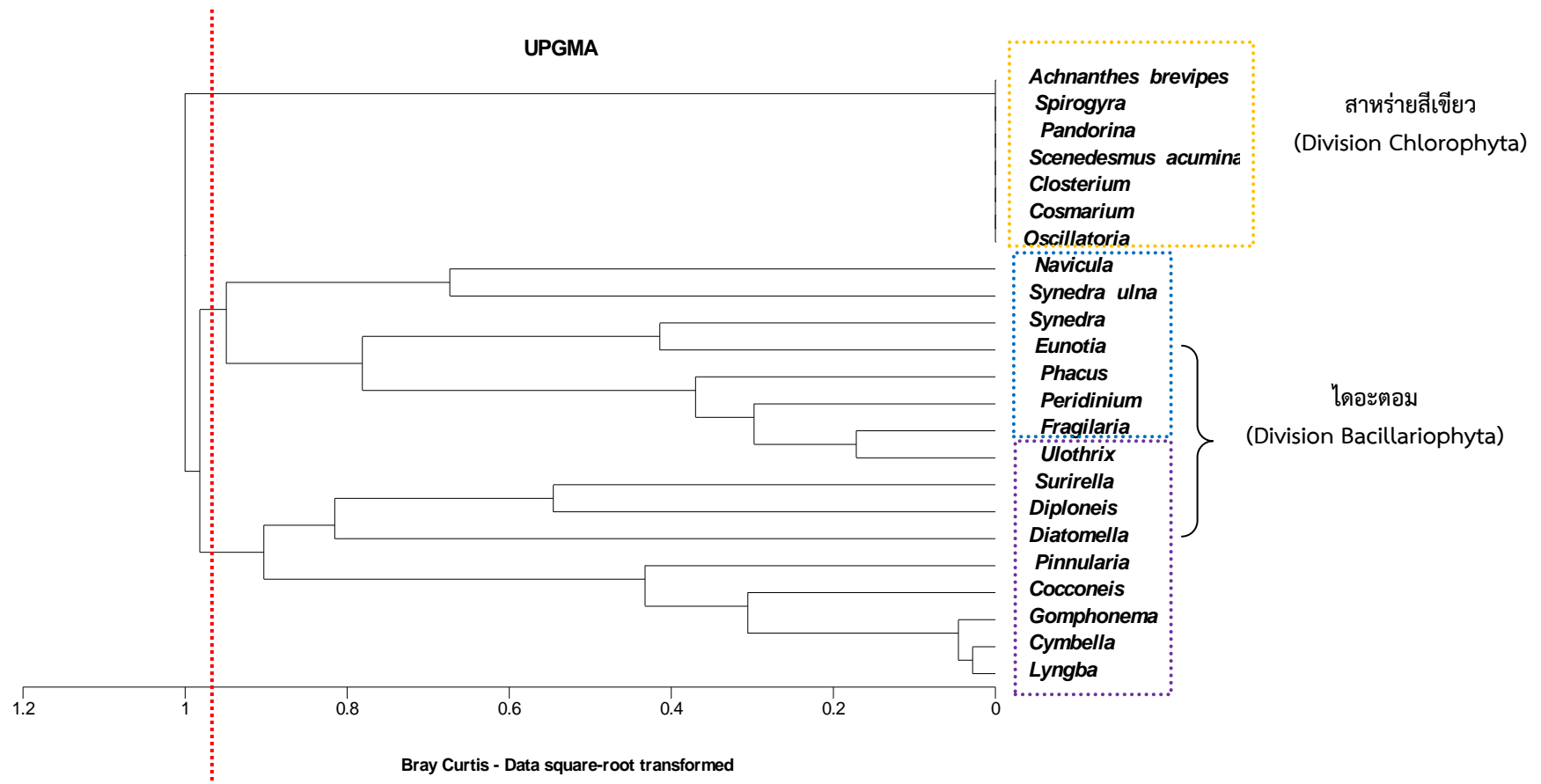
ผลการวิเคราะห์ Cluster Analysis ในรูป Dendrogram ซึ่งแสดงถึงการจัดกลุ่มแพลงก์ตอนแบบเกาะติดบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์ เขื่อนขุนด่านปราการชล และเขื่อนรัชชประภาในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง แสดงในรูป 4.48 และ 4.49 เมื่อใช้ความแตกต่างระหว่างกลุ่มในรูปของ Bray-Curtis Index มากกว่า 90% เป็นเกณฑ์ พบว่า แพลงก์ตอนแบบเกาะติดบริเวณต้นน้ำของทั้งสามเขื่อน ประกอบด้วย 2 กลุ่มหลัก ซึ่งทั้งสองกลุ่มอยู่ในดิวิชันของไดอะตอม (รูปที่ 4.48) เป็นที่น่าสังเกตว่า Bray-Curtis Index มีค่าสูง แสดงถึงชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนแบบเกาะติด ระหว่างกลุ่มและระหว่างจุดเก็บ มีความแตกต่างกันสูง สำหรับแพลงก์ตอนแบบเกาะติดบริเวณท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน มีลักษณะแบ่งออกเป็นสองกลุ่มเช่นกันแต่ผสมกันระหว่างดิวิชันต่างๆ โดยกลุ่มแรก เป็นแพลงก์ตอนแบบเกาะติดในดิวิชันสาหร่ายสีเขียวและ ไดอะตอม ขณะที่กลุ่มที่สอง เป็นแพลงก์ตอนแบบเกาะติดในดิวิชันสาหร่ายสีเขียว ไดอะตอมและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (รูปที่ 4.49) ทั้งนี้ เมื่อพิจารณา Bray-Curtis Index เปรียบเทียบแล้ว พบว่าความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มของแพลงก์ตอนแบบเกาะติดบริเวณท้ายน้ำ มีระดับต่ำกว่าความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มของแพลงก์ตอนแบบเกาะติดบริเวณต้นน้ำ (รูปที่ 4.48 และ 4.49)

รูปที่ 4.50 และ 4.51 แสดงผลการจัดกลุ่มของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ ในระดับชั้น (Class) บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน จากการวิเคราะห์ตัวอย่างในฤดูฝนและฤดูแล้งของปี พ.ศ. 2553 ผลการจัดกลุ่มด้วยเทคนิค Cluster Analysis โดยสรุปพบว่า แมลงน้ำ กุ้ง หอย และไส้เดือนดิน เป็นกลุ่มหลักของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่บริเวณต้นน้ำ (รูปที่ 4.50) ในขณะที่ไรน้ำ แมลงน้ำ กุ้ง หอยและไส้เดือนดิน เป็นสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ 2 กลุ่มที่ปรากฏบริเวณท้ายน้ำ (รูปที่ 4.51) ลักษณะที่แตกต่างกันในแง่ของกลุ่มสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ อาจเชื่อมโยงกับสภาพทางนิเวศ-อุทกวิทยาที่แตกต่างกันระหว่างต้นน้ำและท้ายน้ำ

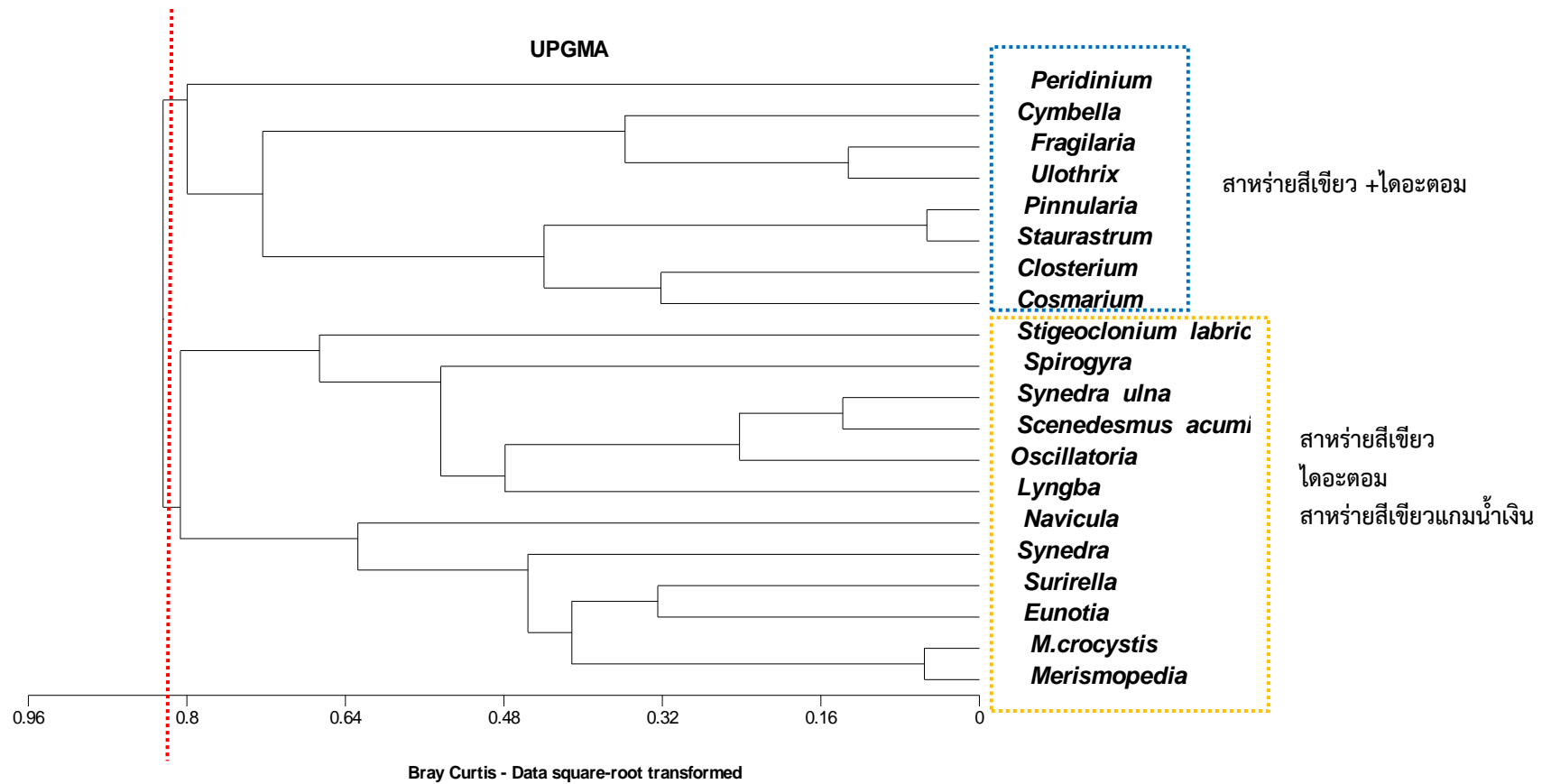
นอกจากนี้ ได้นำเทคนิค PCA มาประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์ลักษณะความแปรปรวนเชิงพื้นที่และเวลาที่โดดเด่นของแพลงก์ตอนแบบเกาะติดบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน โดยได้วิเคราะห์ข้อมูลชนิดและปริมาณแพลงก์ตอนแบบเกาะติดในฤดูแล้งและฤดูฝนในปี พ.ศ.2553 ทั้งนี้ ก่อนทำการวิเคราะห์ PCA ข้อมูลปริมาณของแพลงก์ตอนแบบเกาะติดแต่ละชนิดได้ถูกแปลงเป็นค่า Log (Log transformation) เช่นเดียวกันกับ Cluster Analysis ผลการวิเคราะห์ PCA แสดงในรูปของ Euclidean Biplot ซึ่งอธิบายค่า PCA variable

loadings บนชนิดของแพลงก์ตอนแบบเกาะติด และค่า PCA case score ของแต่ละจุดเก็บตัวอย่างบริเวณต้นน้ำ และท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน (รูปที่ 4.52) จากผลการวิเคราะห์ พบว่า โหมดที่ 1 และ 2 ของ PCA สามารถอธิบายความแปรปรวนร่วมเชิงพื้นที่และเวลาของชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนแบบเกาะติดได้ 44.3% และ 11.6% ตามลำดับ ซึ่งทั้งสองโหมดรวมกัน สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ 55.9% ของความแปรปรวนทั้งหมด (รูปที่ 4.52) โดย PCA โหมดที่ 1 มีค่า loading สูงต่อแพลงก์ตอนแบบเกาะติดในกลุ่มไดอะตอมชนิด *Cymbella*, *Navicula*, *Synedra* และ *Eunotia* ในกลุ่มยูกรีน่าชนิด *Peridinium* และในกลุ่มสาหร่ายสีเขียวชนิด *Spirogyra* ส่วน PCA โหมดที่ 2 มีความสัมพันธ์กับแพลงก์ตอนแบบเกาะติดในกลุ่มไดอะตอมชนิด *Pinnularia*, *Navicula*, *Cocconeis* และ *Rhopalodia gibba* และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Lyngba* (รูปที่ 4.52) ทั้งนี้ PCA โหมดที่ 1 อธิบายความแปรปรวนชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนแบบเกาะติดบริเวณท้ายน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์ในช่วงฤดูฝน และต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนรัชชประภาในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน (รูปที่ 4.52)

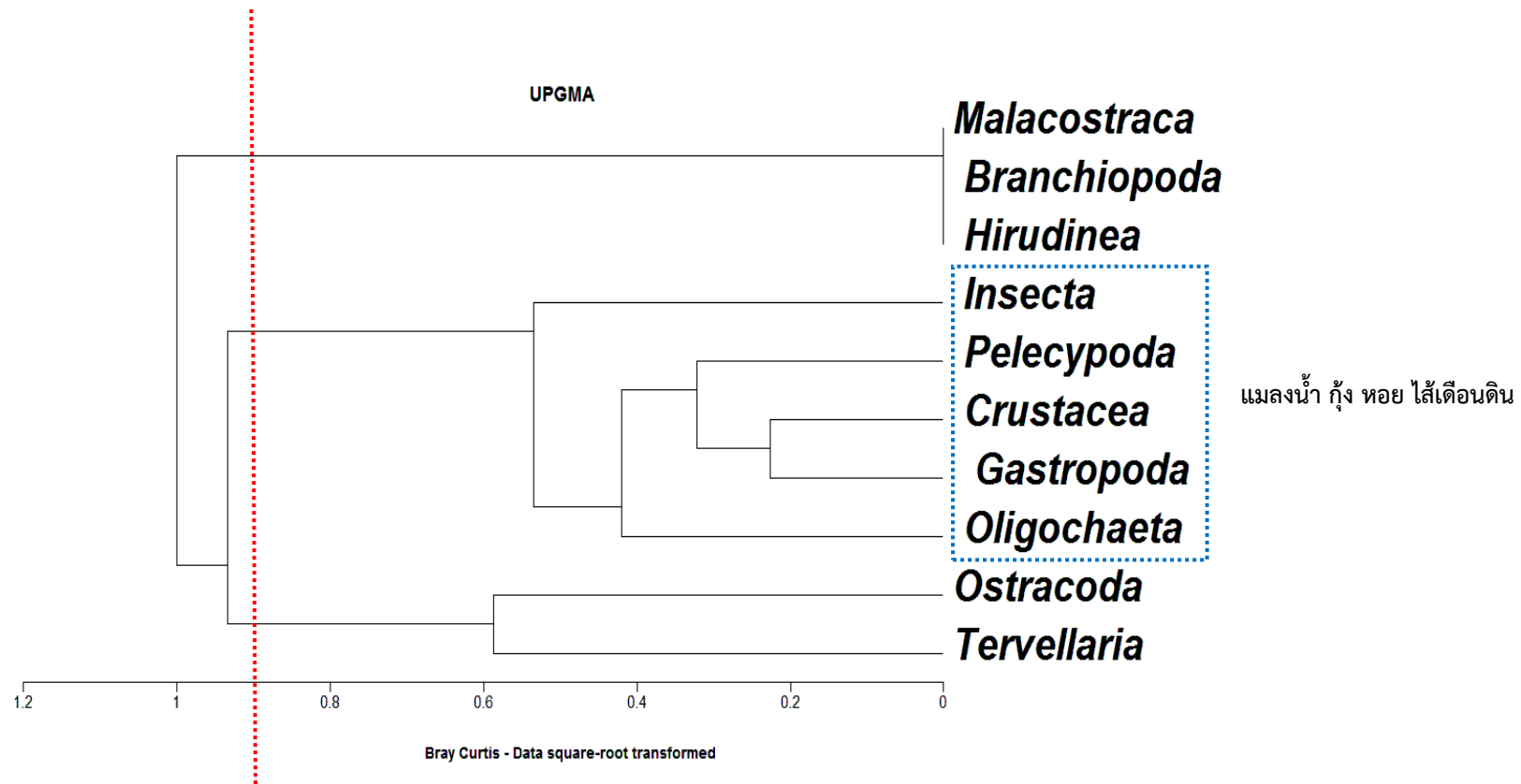
ผลการวิเคราะห์ PCA สำหรับชนิดและปริมาณของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ในระดับชั้น (Class) พบว่า PCA โหมดแรก สามารถอธิบายความแปรปรวนของชนิดและปริมาณของสัตว์หน้าดินเกือบทั้งหมด กล่าวคือ 78.9% ของความแปรปรวนทั้งหมด ส่วนโหมดที่ 2 อธิบายความแปรปรวนได้น้อยกว่า 10% ของความแปรปรวนทั้งหมด (รูปที่ 4.53) โดย PCA โหมดที่ 1 มีค่า loading สูงต่อสัตว์หน้าดินในชั้น *Insecta*, *Crustacea*, *Oligochaeta* และ *Gastropoda* ซึ่งอธิบายความแปรปรวนชนิดและปริมาณของสัตว์หน้าดินบริเวณท้ายเขื่อนของรัชชประภาในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน ต้นน้ำเขื่อนอุบลรัตน์ในช่วงฤดูแล้งและฤดูแล้ง ต้นน้ำและท้ายน้ำเขื่อนขุนด่านปราการชลในฤดูแล้ง และต้นน้ำเขื่อนรัชชประภาในฤดูฝน ตามลำดับ (รูปที่ 4.53)



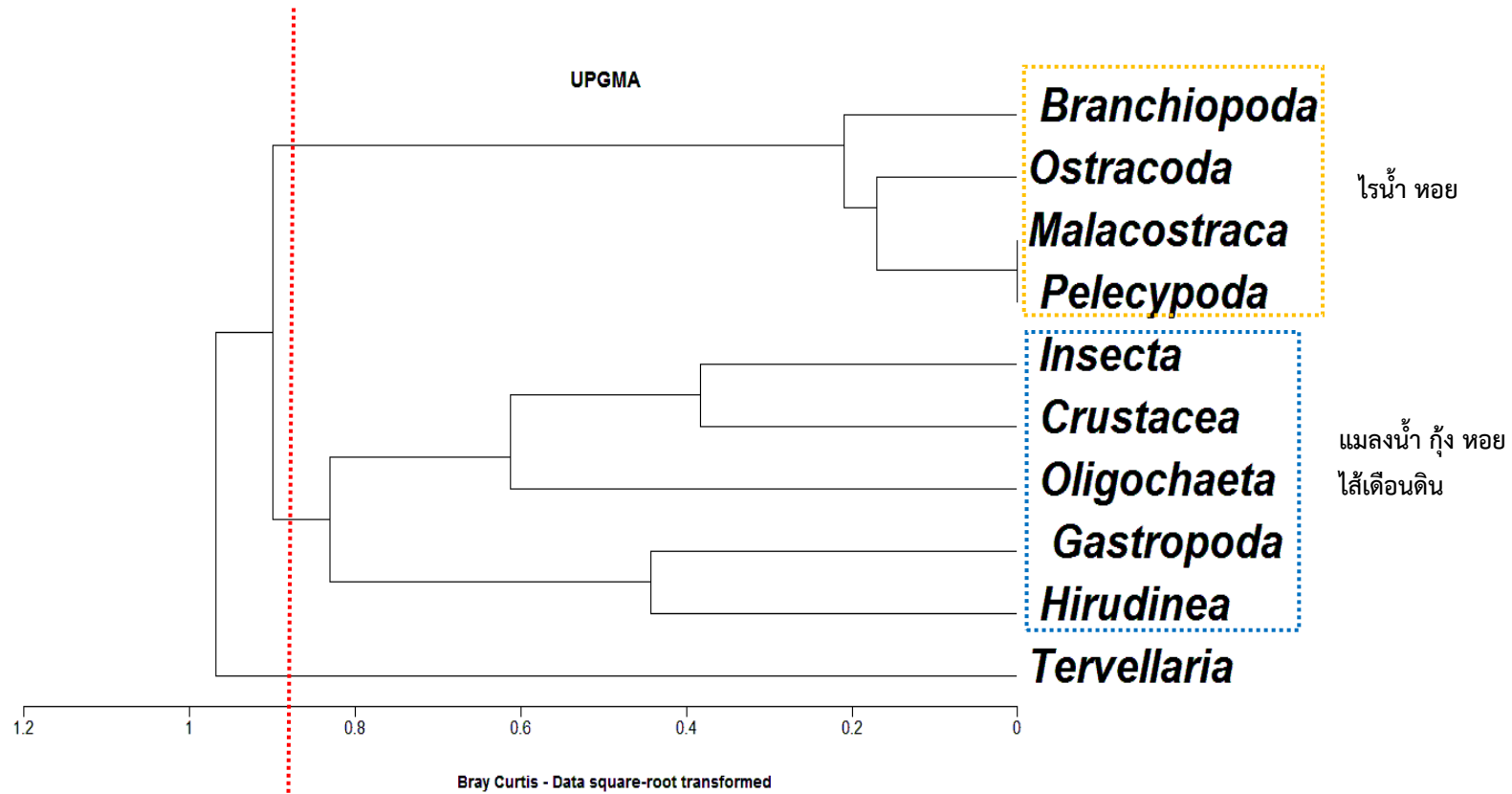
รูปที่ 4.48 Dendrogram แสดงการจัดกลุ่มแพลงก์ตอนแบบเกาะติดบริเวณต้นน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์ เขื่อนขุนด่านปราการชลและเขื่อนรัชชประภาในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง ด้วยเทคนิค Cluster Analysis



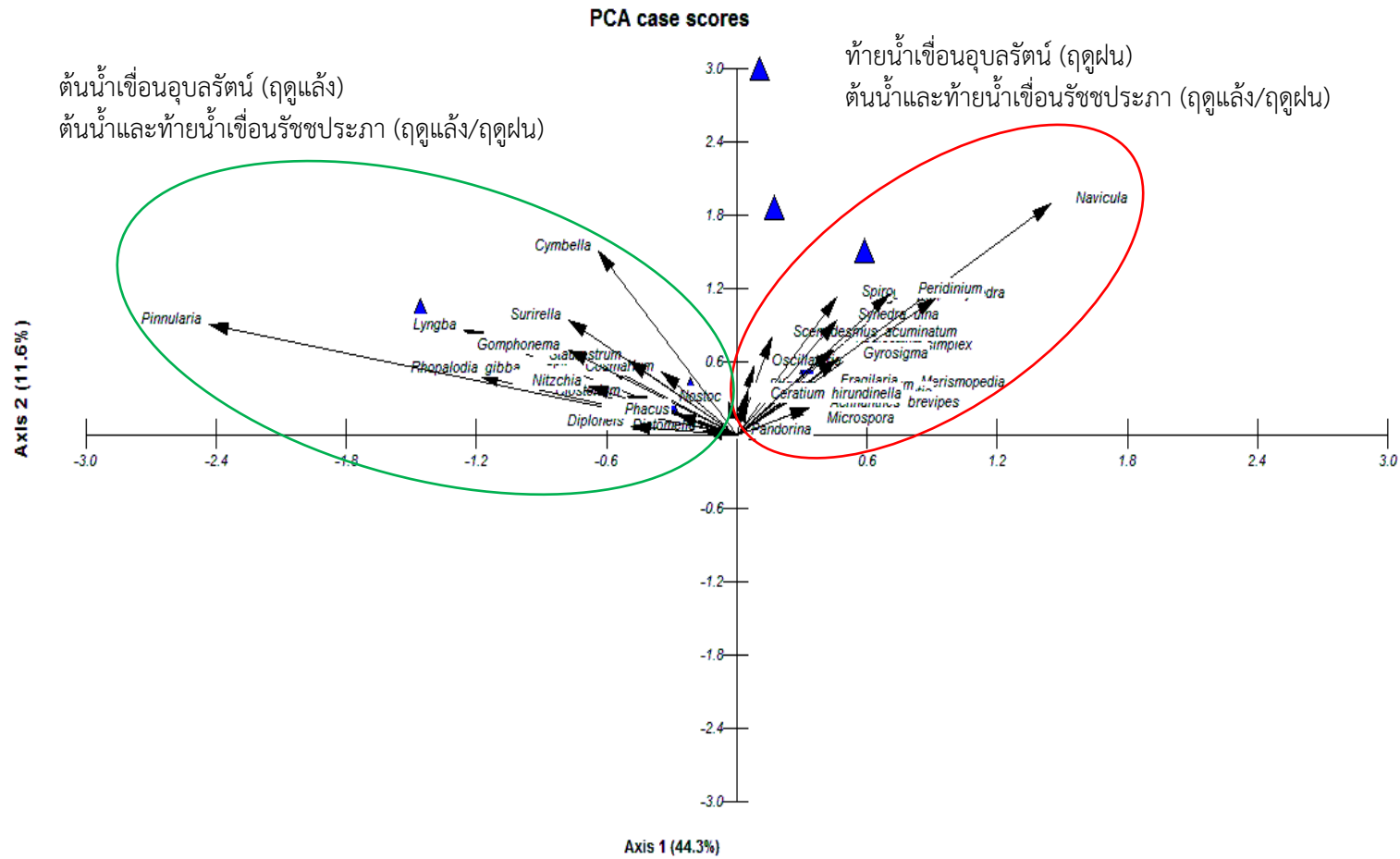
รูปที่ 4.49 Dendrogram แสดงการจัดกลุ่มแพลงก์ตอนแบบเกาะติดบริเวณท้ายน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์ เชื้อราชนิดต่าง ๆ และเชื้อราชนิดอื่นในชั้นฤดูฝนและฤดูแล้ง ด้วยเทคนิค Cluster Analysis



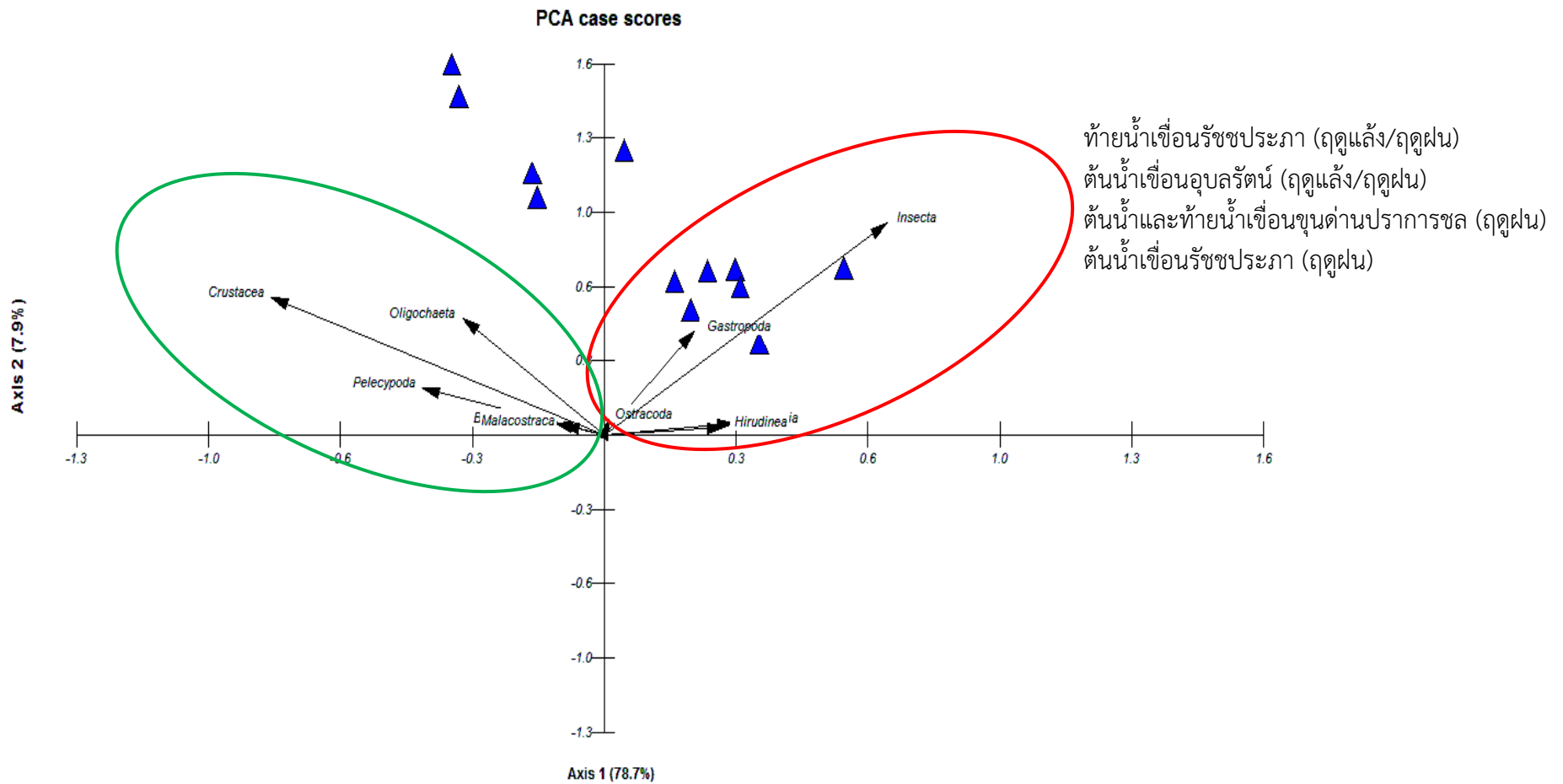
รูปที่ 4.50 Dendrogram แสดงการจัดกลุ่มสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่บริเวณต้นน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์ เขื่อนขุนด่านปราการชลและเขื่อนรัชชประภาในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง ด้วยเทคนิค Cluster Analysis



รูปที่ 4.51 Dendrogram แสดงการจัดกลุ่มสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่บริเวณท้ายน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์ เขื่อนขุนด่านปราการชลและเขื่อนรัชชประภาในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง ด้วยเทคนิค Cluster Analysis



รูปที่ 4.52 Euclidean Biplot แสดงค่า PCA variable loadings บนชนิดของแพลงก์ตอนแบบเกาะติด และค่า PCA case score ของแต่ละจุดเก็บตัวอย่างบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อนในฤดูฝนและฤดูแล้ง ปี พ.ศ. 2553



Vector scaling: 1.30

รูปที่ 4.53 Euclidean Biplot แสดงค่า PCA variable loadings บนชนิดของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ และค่า PCA case score ของแต่ละจุดเก็บตัวอย่างบริเวณต้นน้ำและทำยน้ำของทั้งสามเขื่อนในฤดูฝนและฤดูแล้ง ปี พ.ศ. 2553

4.8 ปริมาณตะกอนอินทรีย์ขนาดใหญ่ (CPOM) และขนาดเล็ก (FPOM) และเปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์ของ CPOM และ FPOM

CPOM และ FPOM บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อนในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง เป็นตะกอนอินทรีย์ที่มีความหลากหลายทั้งขนาดและองค์ประกอบ โดยส่วนใหญ่เป็นเศษใบไม้และกิ่งไม้ที่ร่วงและตกค้างอยู่ในลำน้ำ และถูกสิ่งมีชีวิตชั้นปฐมภูมิโดยเฉพาะอย่างยิ่งสัตว์หน้าดิน ย่อยสลายตามลำดับชั้นให้มีขนาดเล็กลง และถูกเปลี่ยนจากสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อนให้อยู่ในรูปที่มีโครงสร้างสามารถละลายน้ำได้ง่าย และเหมาะต่อการนำไปใช้ประโยชน์ของสิ่งมีชีวิต ผลการศึกษา พบว่า CPOM ในรูปน้ำหนักแห้งบริเวณต้นน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 0.13 - 0.84 g/m³ และบริเวณท้ายน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 0.14 - 1.2 g/m³ ตามลำดับ โดย CPOM บริเวณท้ายน้ำของเขื่อนรัชชประภา มีค่าสูงสุด (ตารางที่ 4.9) สำหรับ FPOM พบว่าบริเวณต้นน้ำ มีค่าอยู่ในช่วง 0.13 - 1.21 g/m³ และบริเวณท้ายน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 0.32 - 1.0 g/m³ ตามลำดับ โดย FPOM บริเวณต้นน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์ มีค่าสูงสุด เมื่อพิจารณาความแปรปรวนตามฤดูกาลจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานแล้ว พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงที่ค่อนข้างกว้าง กล่าวคือ CPOM มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 0.14 - 1.17 และ FPOM มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 0.11 - 1.6 ซึ่งแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ CPOM และ FPOM ขึ้นอยู่ปัจจัยทางกายภาพของลำน้ำเป็นหลัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณและกระแสน้ำ รวมทั้งลักษณะทางอุทกนิยมนิเวศวิทยาของพื้นที่โดยรอบ โดยทั่วไปพบว่าฤดูฝนมีปริมาณ CPOM ในบริเวณต้นน้ำสูงกว่าในช่วงที่ฤดูแล้ง เนื่องจากใบไม้และเศษกิ่งไม้ที่ร่วงตกค้างพันรอบลำน้ำถูกชะลงสู่ลำน้ำในปริมาณที่สูง ทั้งนี้ปริมาณ CPOM ในช่วงฤดูฝนสอดคล้องกับปริมาณและความหลากหลายชนิดของสัตว์หน้าดิน ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์ของ CPOM และ FPOM โดยนำตัวอย่างไปเผาที่อุณหภูมิ 550 °C และหาปริมาณของสารที่หายไปหลังจากการเผา พบว่า เปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์ของ CPOM มีค่าอยู่ในช่วงกว้าง คือ 10.7 ถึง 65.2 โดยเปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์ของ CPOM บริเวณท้ายน้ำของเขื่อน มีสัดส่วนที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์ของ CPOM บริเวณต้นน้ำ (ตารางที่ 4.9) สำหรับเปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์ของ FPOM มีค่าต่ำกว่า CPOM ประมาณ 1-2 เท่า ซึ่งมีค่าประมาณ 3.2 - 23.6% โดยค่าต่ำสุดพบที่ท้ายน้ำของเขื่อนขุนด่านปราการชล (ตารางที่ 4.9) นอกจากนี้ ยังพบว่าเปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์ของทั้ง CPOM และ FPOM มีความแปรปรวนสูงตามฤดูกาล ซึ่งขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดและองค์ประกอบของ CPOM และ FPOM

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยของปริมาณตะกอนอินทรีย์ขนาดใหญ่ (CPOM) และขนาดเล็ก (FPOM) เปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์ในรูป Ash Free Dry Mass (%AFDM) ของ CPOM และ FPOM ในบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ในช่วงปี พ.ศ. 2553-2554 ค่าในวงเล็บคือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เขื่อน	ดัชนี	ต้นน้ำ	ท้ายน้ำ
อุบลรัตน์	CPOM as dry mass (g/m ³)	0.84 (1.17)	0.33 (0.20)
	FPOM as dry mass (g/m ³)	1.21 (1.33)	1.0 (1.0)
	%AFDM (CPOM)	55.5 (36.9)	65.2 (30.2)
	%AFDM (FPOM)	10.6 (9.36)	12.3 (1.7)
ขุนด่านปราการชล	CPOM as dry mass (g/m ³)	0.25 (0.21)	0.14 (0.14)
	FPOM as dry mass (g/m ³)	0.12 (0.11)	0.32 (0.50)
	%AFDM (CPOM)	64.5 (16.3)	10.7 (9.7)
	%AFDM (FPOM)	11.8 (6.5)	3.2 (0.28)
รัชชประภา	CPOM as dry mass (g/m ³)	0.13 (0.15)	1.2 (0.85)
	FPOM as dry mass (g/m ³)	0.71 (1.1)	1.0 (1.6)
	%AFDM (CPOM)	52.6 (14.4)	31.4 (25.5)
	%AFDM (FPOM)	23.6 (19.5)	15.7 (16.5)

หมายเหตุ : %AFDM ของ CPOM และ FPOM คำนวณจาก

$$\frac{(\text{Sample dry mass} - \text{sample ash mass after burning } 550^{\circ}\text{C})}{(\text{Sample dry mass})} * 100$$

ที่มา: Hauer and Lamberti, 2007

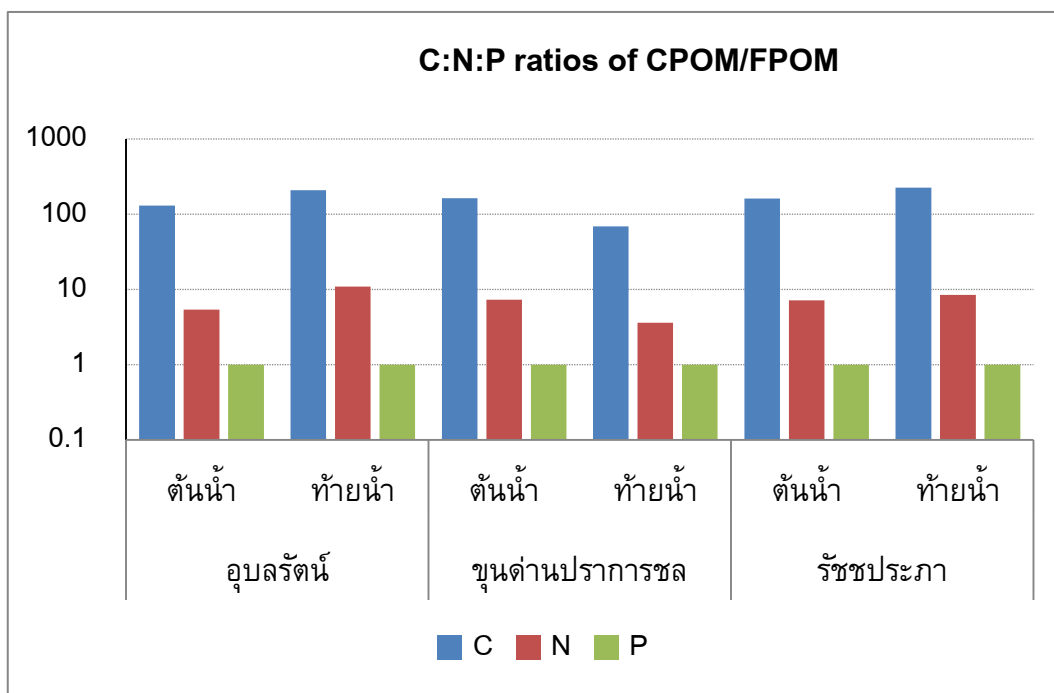
4.9 เปอร์เซ็นต์คาร์บอน ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของตะกอนอินทรีย์ขนาดใหญ่และขนาดเล็ก

ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์คาร์บอน ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของตัวอย่างตะกอนอินทรีย์ขนาดใหญ่ (CPOM)/ขนาดเล็ก (FPOM) บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน แสดงในตารางที่ 4.10 โดยเปอร์เซ็นต์คาร์บอน ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของตัวอย่างบริเวณต้นน้ำ มีค่าอยู่ในช่วง 9.1 - 17.8, 0.38 - 0.79 และ 0.07 - 0.11 ตามลำดับ ในขณะที่ เปอร์เซ็นต์คาร์บอน ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของตัวอย่างบริเวณท้ายน้ำ มีค่าอยู่ในช่วง 11.7 - 24.7, 0.62 - 1.2 และ 0.11 - 0.17 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์คาร์บอน ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของ CPOM/FPOM พบว่า โดยเฉลี่ย ตัวอย่าง CPOM/FPOM บริเวณท้ายน้ำมีเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอน ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส สูงกว่าตัวอย่าง CPOM/FPOM บริเวณต้นน้ำ นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเขื่อน พบว่า เขื่อนรัชชประภา มีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์คาร์บอน ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส สูงกว่าอีกสองเขื่อน เป็นที่น่าสังเกตว่า เปอร์เซ็นต์คาร์บอนบริเวณท้ายน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์และเขื่อนรัชชประภา มีความแปรปรวนตามฤดูกาลสูง (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 25.9 และ 24.4 ตามลำดับ) เมื่อคำนวณสัดส่วน C:N:P พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงกว้าง กล่าวคือ 68 - 224.5:3.6 - 10.9:1 (ตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.54) โดย CPOM/FPOM บริเวณท้ายน้ำของเขื่อนรัชชประภา อุดมสมบูรณ์ไปด้วยธาตุคาร์บอน เมื่อเปรียบเทียบกับไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในขณะที่ CPOM/FPOM บริเวณท้ายน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์อุดมสมบูรณ์ไปด้วยธาตุไนโตรเจน เมื่อเปรียบเทียบกับคาร์บอนและฟอสฟอรัส (รูปที่ 4.54) สัดส่วน C:N:P ของ CPOM/FPOM นับว่ามีความสำคัญต่อการหมุนเวียนของธาตุอาหารในระบบนิเวศน์ ผ่านกระบวนการย่อยสลายตะกอนอินทรีย์ขนาดใหญ่และขนาดเล็ก อีกทั้งยังเป็นสิ่งบ่งชี้ถึงแหล่งกำเนิด องค์กรประกอบและโครงสร้างของ CPOM/FPOM อีกด้วย

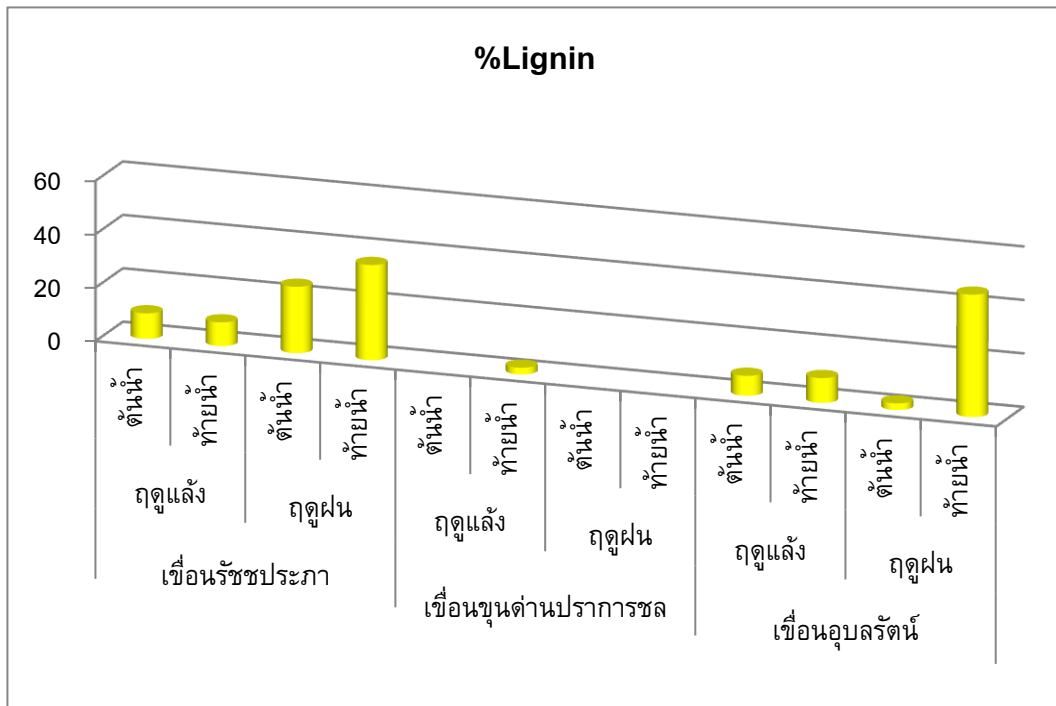
เปอร์เซ็นต์ลิกนินของ CPOM/FPOM ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธี Detergent แสดงในรูปที่ 4.54 โดยลิกนิน เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มักอยู่ร่วมกับเซลลูโลส และประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจน รวมกันเป็นหน่วยย่อยหลายชนิดซึ่งเป็นสารอะโรมาติกที่มีคุณสมบัติยืดหยุ่น แข็งแรงและไม่ละลายน้ำ ลิกนิน นับเป็นส่วนประกอบสำคัญของพืชและย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก ผลการวิเคราะห์ลิกนินในตัวอย่างตะกอนอินทรีย์บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ลิกนินอยู่ในช่วง 2.5 - 45.8 ซึ่งตัวอย่าง CPOM/FPOM บริเวณท้ายน้ำของเขื่อนมีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์ลิกนินสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งท้ายน้ำของเขื่อนรัชชประภาและเขื่อนอุบลรัตน์ (รูปที่ 4.55) นอกจากนี้ ตัวอย่าง CPOM/FPOM ช่วงฤดูฝนมีเปอร์เซ็นต์สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างช่วงฤดูแล้ง (รูปที่ 4.55) นอกจากนี้สัดส่วน C:N:P แล้วเปอร์เซ็นต์ลิกนินยังเป็นตัวชี้วัดสำคัญที่บ่งชี้ถึงแหล่งกำเนิด องค์กรประกอบและโครงสร้างของ CPOM/FPOM ตลอดจนอัตราการย่อยสลายของ CPOM/FPOM ในลำน้ำอีกด้วย

ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์คาร์บอน ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของตะกอนอินทรีย์ขนาดใหญ่และขนาดเล็ก ในบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ระหว่างปี พ.ศ. 2553-2554 ค่าในวงเล็บคือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เขื่อน	ดัชนี	ต้นน้ำ	ท้ายน้ำ
อุบลรัตน์	%C	9.1 (10.2)	23.0 (25.9)
	%N	0.38 (0.47)	1.2 (1.30)
	%P	0.07 (0.02)	0.11 (0.03)
	C:N:P	130:5.4:1	209:10.9:1
ขุนด่านปราการชล	%C	16.3 (0.76)	11.7 (13.9)
	%N	0.73 (0.03)	0.62 (0.67)
	%P	0.1	0.17 (0.09)
	C:N:P	163:7.3:1	68.8:3.6:1
รัชชประภา	%C	17.8 (8.3)	24.7 (24.4)
	%N	0.79 (0.42)	0.93 (0.68)
	%P	0.11 (0.04)	0.11 (0.01)
	C:N:P	161.8:7.2:1	224.5:8.5:1



รูปที่ 4.54 สัดส่วน C:N:P ของ CPOM/FPOM

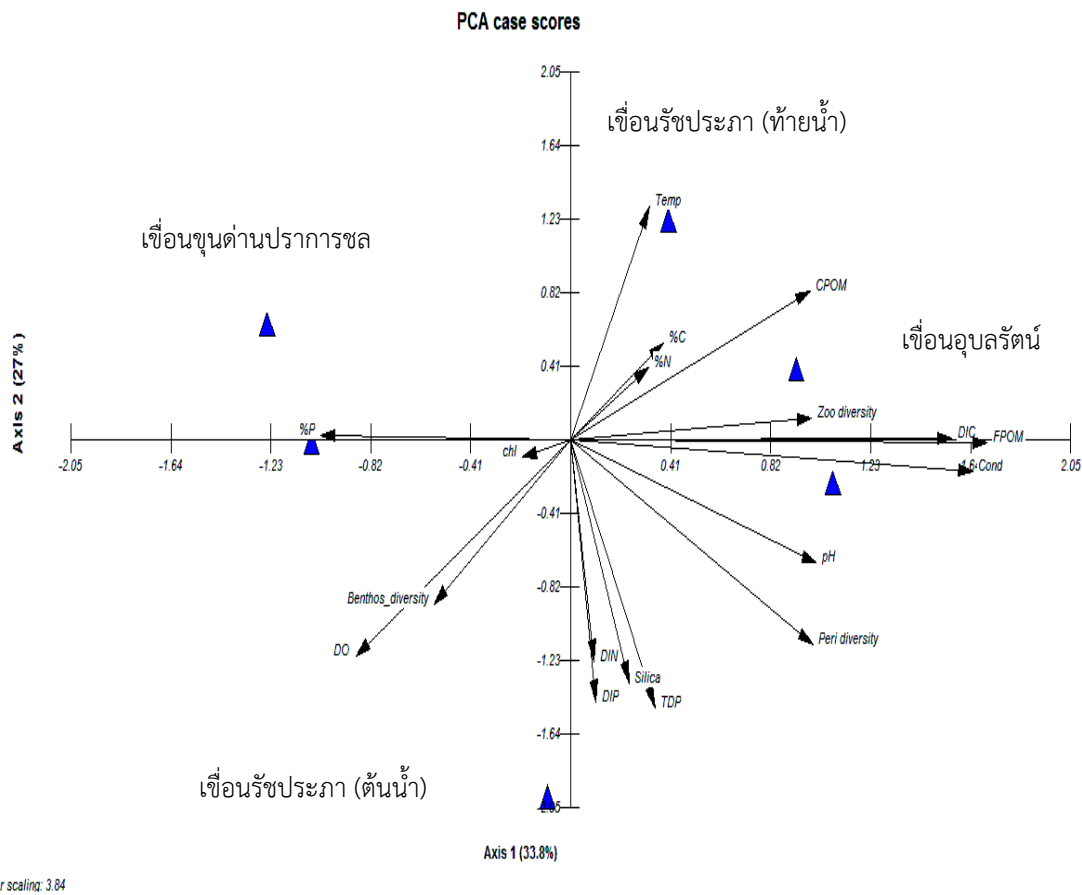


รูปที่ 4.55 เปอร์เซนต์ลิกนินของ CPOM/FPOM

4.10 การเปลี่ยนแปลงในภาพรวมของระบบนิเวศธารน้ำไหลบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ ของเชื้อนอุบลรัตน์ เชื้อนขุนด่านปราการชลและเชื้อนรัชชประภา

ข้อมูลที่ได้สำรวจและรวบรวมบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน จำนวน 18 ดัชนีซึ่งประกอบด้วย 1) อุณหภูมิน้ำ 2) ความเป็นกรด-ด่าง 3) ออกซิเจนละลายน้ำ 4) ความเหนียวน้ำไฟฟ้า 5) สารฟอสฟอรัสละลายน้ำรวม 6) สารอนินทรีย์ฟอสฟอรัสละลายน้ำ 7) สารอนินทรีย์คาร์บอน 8) สารอนินทรีย์ไนโตรเจนละลายน้ำ 9) ซิลิกา 10) คลอโรฟิลล์ เอ 11) ความหลากหลายของแพลงก์ตอนแบบเกาะติด 12) ความหลากหลายของแพลงก์ตอนสัตว์ 13) ความหลากหลายของสัตว์หน้าขนาดใหญ่ 14) ตะกอนอินทรีย์ขนาดใหญ่ 15) ตะกอนอินทรีย์ขนาดเล็ก 16) เปอร์เซนต์คาร์บอนของตะกอนอินทรีย์ขนาดใหญ่/ขนาดเล็ก 17) เปอร์เซนต์ไนโตรเจนของตะกอนอินทรีย์ขนาดใหญ่/ขนาดเล็ก และ 18) เปอร์เซนต์ฟอสฟอรัสของตะกอนอินทรีย์ขนาดใหญ่/ขนาดเล็ก ได้นำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA เพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงในภาพรวมของระบบนิเวศธารน้ำไหลบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของแต่ละเขื่อน โดยข้อมูลถูกจัดเป็นเมตริกซ์ขนาด 18 x 6 และแปลงเป็นค่า Z score ก่อนทำการคำนวณหาค่า Eigenvector, Eigenvalue และ PC score รูปที่ 4.56 แสดงผลการวิเคราะห์ PCA ในรูป Euclidean Biplot ซึ่งอธิบายค่า PCA variable loadings บนดัชนีคุณภาพน้ำและดัชนีทางโครงสร้างของระบบนิเวศธารน้ำไหล และค่า PCA case score ของแต่ละจุดเก็บตัวอย่างบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน จากผลการวิเคราะห์พบว่า โหมดที่ 1 และ 2

ของ PCA สามารถอธิบายความแปรปรวนร่วมทางนิเวศรน้ำไหล ทั้ง 18 ดัชนี บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ ได้ 33.8% และ 27% ของความแปรปรวนทั้งหมด ตามลำดับ ซึ่งทั้งสองโหมตรวมกันสามารถอธิบายความแปรปรวนได้ 60.8% ของความแปรปรวนทั้งหมด (รูปที่ 4.56) โดย PCA โหมตที่ 1 มีค่า loading สูงต่อ อุณหภูมิ น้ำ ออกซิเจนละลายน้ำ สารฟอสฟอรัสละลายน้ำรวม สารอนินทรีย์ฟอสฟอรัสละลายน้ำ สารอนินทรีย์ไนโตรเจนละลายน้ำ ซิลิกาและความหลากหลายของแพลงก์ตอนแบบเกาะติด ส่วน PCA โหมตที่ 2 มีความสัมพันธ์ในระดับสูงกับความเป็นกรด-ด่าง ความเหนียวน้ำไฟฟ้า สารอนินทรีย์คาร์บอน ตะกอนอินทรีย์ขนาดเล็ก และเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสของตะกอนอินทรีย์ขนาดใหญ่/ขนาดเล็ก (รูปที่ 4.56) เมื่อพิจารณา PCA case score แล้ว พบว่า PCA โหมตที่ 1 อธิบายความแปรปรวนของดัชนีคุณภาพน้ำ และดัชนีทางโครงสร้างของระบบนิเวศรน้ำไหลบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนรัชชประภา ในขณะที่ PCA โหมตที่ 2 แสดงความแปรปรวนของดัชนีคุณภาพน้ำและดัชนีทางโครงสร้างของระบบนิเวศรน้ำไหลบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนขุนด่านปราการชลและเขื่อนอุบลรัตน์ (รูปที่ 4.56)



รูปที่ 4.56 Euclidean Biplot แสดงค่า PCA variable loadings บนดัชนีคุณภาพน้ำและดัชนีทางโครงสร้างของระบบนิเวศรน้ำไหล และค่า PCA case score ของแต่ละจุดเก็บตัวอย่างบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน

บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาลักษณะทางอุทก-นิเวศของแหล่งน้ำไหลบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์ เขื่อนขุนด่านปราการชลและเขื่อนรัชชประภา ในบริบทของโครงสร้างและฟังก์ชันของระบบนิเวศแหล่งน้ำไหลตลอดจน กระบวนการชีวธรณีเคมีที่ควบคุมการหมุนเวียนของสารอินทรีย์และพลังงานภายในระบบและระหว่างระบบนิเวศแหล่งน้ำไหลและระบบนิเวศป่า และการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศที่เกิดจากการสร้างเขื่อนกั้นลำน้ำและการเปลี่ยนแปลงทางอุทกวิทยาและสิ่งแวดล้อม ซึ่งสำรวจและเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ในฤดูแล้งและฤดูฝน ระหว่างปี พ.ศ. 2553-2554 แสดงสาระสำคัญที่สามารถสรุป ได้ดังต่อไปนี้

1) ลักษณะทางอุทก-อุทกวิทยา เช่น ปริมาณฝนและน้ำท่า จัดเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญต่อการกำหนดความแปรปรวนและพลวัตของระบบนิเวศธารน้ำไหล ซึ่งเชื่อมโยงโดยตรงกับความแปรปรวนของภูมิอากาศ และสภาวะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศในระดับท้องถิ่นและภูมิภาค โดยผลการศึกษา พบว่า ปริมาณฝนและน้ำท่าไหลลงสู่เขื่อน มีวงจรการเกิดซ้ำในคาบเวลารอบปีตามปกติที่พบในระบบนิเวศอื่นๆ โดยทั่วไป ซึ่งเป็นวงจรทางอุทก-อุทกวิทยาตามธรรมชาติ ที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของระบบลมมรสุมระหว่างฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยวงจรการเกิดซ้ำในคาบเวลารอบปีดังกล่าว นับเป็นการเปลี่ยนแปลงที่กำหนดความแปรปรวน และพลวัตของระบบนิเวศธารน้ำไหลโดยปกติตามธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม การสร้างเขื่อนกั้นลำน้ำ ส่งผลกระทบต่อระบบการไหลของลำน้ำ โดยเปลี่ยนแปลงเส้นทางการเดินของน้ำและควบคุมปริมาณและอัตราการไหลของน้ำ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพรรณาเชิงพหุ แสดงถึงผลกระทบเชิงอุทกวิทยาที่ปรากฏชัดเจน จากการปิดกั้นทางน้ำและควบคุมการระบายน้ำในกรณีของทั้งสามเขื่อนนี้ คือ น้ำที่ไหลออกจากเขื่อน สูญเสียสัญญาณวงจรการเกิดซ้ำในคาบเวลารอบปี โดยเหตุการณ์ทางอุทกวิทยานี้ นับมีบทบาทสำคัญอย่างสูงต่อพลวัตของระบบนิเวศ และส่งผลกระทบต่อแบบลูกโซ่ต่อลักษณะทางนิเวศขั้นพื้นฐานหลายประการ ซึ่งรวมถึงการเจริญเติบโต สืบพันธุ์ และวงจรชีวิตของสิ่งมีชีวิตหลายชนิด ตลอดจนพลวัตรของตะกอนอินทรีย์ขนาดใหญ่และขนาดเล็ก สารอินทรีย์ละลายน้ำและธาตุอาหารพืช ทั้งนี้ หากระบบนิเวศธารน้ำไหลถูกควบคุมหรือรบกวนจากการสร้างเขื่อน จนทำให้วงจรการเกิดซ้ำทางอุทกวิทยาเสียสมดุลในระยะยาวแล้ว ย่อมส่งผลกระทบต่ออย่างมีนัยสำคัญต่อระบบนิเวศท้ายน้ำ ซึ่งท้ายที่สุดอาจมีการเปลี่ยนแปลงอย่างสิ้นเชิงทั้งระบบ

2) คุณภาพน้ำ สารอินทรีย์และธาตุอาหารพืชบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน มีลักษณะที่แตกต่างกันในหลายมิติ โดยความแตกต่างในเชิงพื้นที่ สะท้อนให้เห็นถึงความหลากหลายของระบบนิเวศธารน้ำไหลเชิงโครงสร้างและฟังก์ชัน ในบริบทของสภาพทางกายภาพของลำน้ำและพื้นที่รับน้ำและป่าโดยรอบอุทกวิทยา กระบวนการชีวธรณีเคมี เมตาบอลิซึมของสิ่งมีชีวิตชั้นปฐมภูมิ วัฏจักรของสารอินทรีย์และธาตุอาหารพืช ธรณีสัณฐาน ลักษณะของดิน ตลอดจนระบบการไหลของน้ำและรูปแบบการปิดกั้นลำน้ำ โดยการปฏิสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดของปัจจัยดังกล่าวข้างต้น ได้ส่งผลให้คุณภาพน้ำ สารอินทรีย์และธาตุอาหารพืช มีการเปลี่ยนแปลงเชิงซ้อนตลอดลำน้ำตั้งแต่ต้นน้ำถึงท้ายน้ำ ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างกันในแต่ละเขื่อน ส่วนการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลา พบว่า คุณภาพน้ำ สารอินทรีย์และธาตุอาหารพืชส่วนใหญ่ในบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างฤดูกาลและระหว่างปี ซึ่งมีสาเหตุหลักเกิดจากระบบนิเวศธารน้ำไหล ตอบสนองต่อรูปแบบและลักษณะการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยทางอุทก-อุทกวิทยาของลำน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความ

แปรปรวนตามฤดูกาลของปริมาณฝน น้ำท่าและปริมาณการไหลของน้ำที่เกิดจากอิทธิพลของมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ทั้งนี้ ความแปรปรวนของคุณภาพน้ำ สารอินทรีย์และธาตุอาหารพืชบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อนในช่วงของการศึกษา มีค่าอยู่ในช่วงที่สามารถเปรียบเทียบได้กับค่าที่ในระบบนิเวศธารน้ำไหลในภูมิภาคต่างๆ (ตารางที่ 4.8, 5.1, 5.2 และ 5.3) อย่างไรก็ตาม ดัชนีคุณภาพน้ำ สารอินทรีย์และธาตุอาหารพืชบางพารามิเตอร์ เช่น ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ แอมโมเนีย และซิลิกาบริเวณท้ายเขื่อนรัชชประภา แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงทางกระบวนการชีวธรณีเคมี ที่เกิดจากการกั้นลำน้ำ เนื่องจากการสร้างเขื่อน

3) สัดส่วนของธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในรูปอนินทรีย์ (DIN:DIP ratio) ซึ่งเป็นดัชนีอย่างง่ายที่ใช้ในการวินิจฉัยปัจจัยจำกัดต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตชั้นปฐมภูมิ บ่งชี้ถึงธาตุฟอสฟอรัสที่อยู่ในอนินทรีย์ที่สิ่งมีชีวิตชั้นปฐมภูมิสามารถนำไปใช้ได้ เป็นปัจจัยจำกัดต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนแบบเกาะติดรวมทั้งสิ่งมีชีวิตชั้นปฐมภูมิอื่น ๆ ของระบบนิเวศธารน้ำไหลบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ยกเว้นระบบนิเวศธารน้ำไหลบริเวณต้นน้ำของเขื่อนรัชชประภาที่อนินทรีย์ไนโตรเจนละลายน้ำ กลับเป็นธาตุอาหารพืชที่จำกัดต่อสิ่งมีชีวิตชั้นปฐมภูมิ เนื่องจากอนินทรีย์ฟอสฟอรัสละลายน้ำมีปริมาณที่สูงในพื้นที่ดังกล่าว

4) ระบบนิเวศธารน้ำไหลบริเวณต้นน้ำ มีลักษณะเป็นแบบ Heterotrophic โดยกระบวนการเมตาบอลิซึมในแง่อัตราการหายใจของประชาคมสิ่งมีชีวิต มีค่าสูงกว่าการสังเคราะห์สารอินทรีย์ด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งแสดงถึงการย่อยสลายด้วยกระบวนการหายใจของประชาคมสิ่งมีชีวิต เป็นกลไกที่สำคัญในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่มีแหล่งกำเนิดจากนอกระบบ (Allochthonous source) เป็นพลังงานหลักที่หล่อเลี้ยงในห่วงโซ่อาหารของระบบนิเวศธารน้ำไหลบริเวณต้นน้ำ โดยตะกอนอินทรีย์ขนาดใหญ่และขนาดเล็ก ซึ่งเกิดจากเศษไม้และกิ่งไม้ที่ร่วงและตกค้างอยู่ในลำน้ำ และถูกย่อยสลายตามลำดับขั้นโดยสิ่งมีชีวิตชั้นปฐมภูมิและทุติยภูมิในห่วงโซ่อาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งสัตว์หน้าดิน เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานหลักที่สำคัญของระบบนิเวศต้นน้ำ ผลวิเคราะห์ พบว่า CPOM และ FPOM บริเวณต้นน้ำของทั้งสามเขื่อน มีความหลากหลายทั้งขนาดและองค์ประกอบ รวมทั้งมีความแปรปรวนสูงทั้งเชิงพื้นที่และเวลา อย่างไรก็ตาม ปริมาณของ CPOM และ FPOM บริเวณต้นน้ำของทั้งสามเขื่อน มีค่าอยู่ในช่วงที่พบในระบบนิเวศธารน้ำไหลบางแห่งในภูมิภาคต่างๆ (ตารางที่ 5.4) ทั้งนี้ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ CPOM และ FPOM ขึ้นอยู่กับปัจจัยทางกายภาพและอุทกวิทยาของลำน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ปริมาณและกระแส น้ำ รวมทั้งลักษณะความแปรปรวนของระบบนิเวศป่าและพื้นที่โดยรอบ CPOM บริเวณต้นน้ำ มีองค์ประกอบอินทรีย์สารในรูป AFDM ประมาณ 57% ซึ่งสูงกว่า FPOM ถึง 3 - 4 เท่า นอกจากนี้ สัดส่วน C:N:P ของ CPOM/FPOM มีค่าอยู่ในช่วงกว้าง กล่าวคือ 68 - 224.5 : 3.6 - 10.9:1 โดย CPOM/FPOM บริเวณท้ายน้ำของเขื่อนรัชชประภา อุดมสมบูรณ์ไปด้วยธาตุคาร์บอน เมื่อเปรียบเทียบกับไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในขณะที่ CPOM/FPOM บริเวณท้ายน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์ อุดมสมบูรณ์ไปด้วยธาตุไนโตรเจน เมื่อเปรียบเทียบกับคาร์บอนและฟอสฟอรัส ทั้งนี้ สัดส่วน C:N:P ของ CPOM/FPOM นับว่ามีความสำคัญต่อการหมุนเวียนของธาตุอาหารพืช และยังเป็นสิ่งบ่งชี้ถึงแหล่งกำเนิด องค์ประกอบและโครงสร้างของ CPOM/FPOM ที่เข้าสู่ระบบนิเวศธารน้ำไหล

5) Simpson's diversity index แสดงถึงความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตชั้นปฐมภูมิบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน อยู่ในระดับปกติถึงสูง ยกเว้นบริเวณท้ายเขื่อนรัชชประภาที่บ่งชี้ถึงความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตชั้นปฐมภูมิต่ำกว่าปกติ ซึ่งลักษณะดังกล่าว สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงทางอุทกวิทยาของลำน้ำ และคุณภาพน้ำบริเวณดังกล่าวที่เกิดจากการควบคุมปริมาณน้ำ

6) ผลการวิเคราะห์ Cluster Analysis บ่งชี้ถึงแพลงก์ตอนแบบเกาะติดบริเวณต้นน้ำของทั้งสามเขื่อน ประกอบด้วย 2 กลุ่มหลัก ซึ่งทั้งสองกลุ่มอยู่ในระดับชั้นของไดอะตอม ส่วนแพลงก์ตอนแบบเกาะติดบริเวณท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน มีลักษณะแบ่งออกเป็นสองกลุ่มเช่นกันแต่ผสมกันระหว่างระดับชั้นต่างๆ โดยกลุ่มแรก เป็นแพลงก์ตอนแบบเกาะติดในบริเวณสายน้ำสำหรับสายน้ำและไดอะตอม ขณะที่กลุ่มที่สองเป็นแพลงก์ตอนแบบเกาะติดในบริเวณสายน้ำสำหรับสายน้ำและไดอะตอมและสายน้ำเงิน ผลการวิเคราะห์ลักษณะความแปรปรวนร่วมเชิงพื้นที่และเวลาของแพลงก์ตอนแบบเกาะติดบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน ด้วยเทคนิค PCA ยังแสดงลักษณะเชิงนิเวศเพิ่มเติม โดย PCA โหมดที่ 1 และ 2 ซึ่งอธิบายความแปรปรวนได้มากกว่าครึ่งของความแปรปรวนทั้งหมด เป็นตัวแทนของแพลงก์ตอนแบบเกาะติดในกลุ่มไดอะตอมชนิดโดดเด่นที่พบในบริเวณท้ายเขื่อนอุบลรัตน์ช่วงฤดูฝน และต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนรัชชประภาในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน

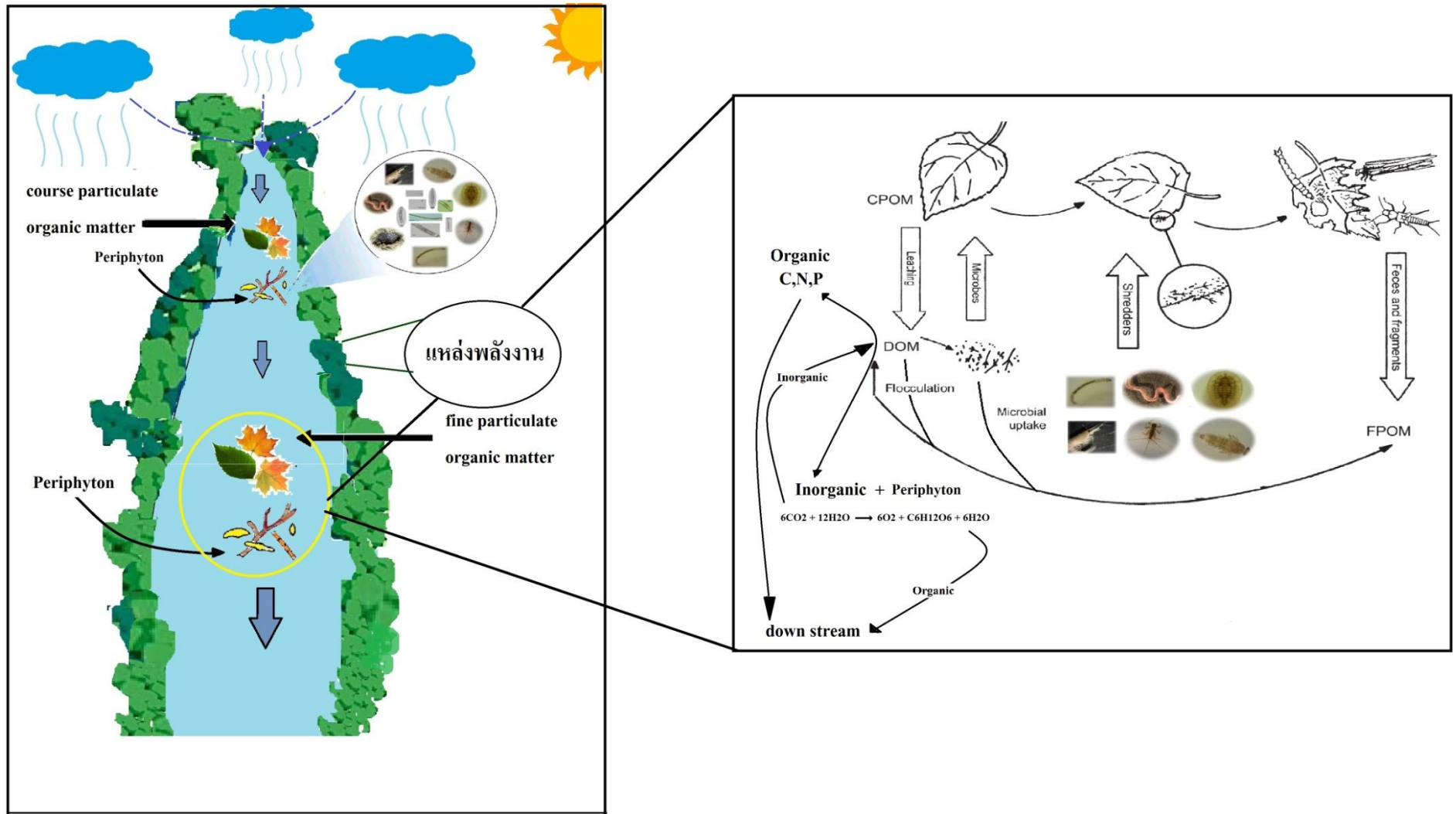
7) ผลการจัดกลุ่มของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ในระดับชั้น (Class) บริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อนด้วยเทคนิค Cluster Analysis โดยสรุปพบว่า แมลงน้ำ กุ้ง หอยและไส้เดือนดิน เป็นกลุ่มหลักของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่บริเวณต้นน้ำ ในขณะที่ ไรน้ำ แมลงน้ำ กุ้ง หอยและไส้เดือนดิน เป็นสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ 2 กลุ่มที่ปรากฏบริเวณท้ายน้ำ กลุ่มของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่แตกต่างกันนี้ เกิดจากลักษณะที่แตกต่างกันในแง่สภาพทางนิเวศ-อุทกวิทยาาระหว่างต้นน้ำและท้ายน้ำ โดยส่วนหนึ่งเชื่อมโยงกับการเปลี่ยนแปลงการไหลของลำน้ำที่เกิดจากการสร้างเขื่อน ทั้งนี้ ความแปรปรวนโดยส่วนใหญ่ของชนิดและปริมาณของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ สามารถอธิบายได้ด้วย PCA โหมดที่ 1 ซึ่งเป็นตัวแทนของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ในชั้น Insecta, Crustacea, Oligochaeta และ Gastropoda ที่พบในบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อนและทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง

8) ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในภาพรวม ของระบบนิเวศธารน้ำไหลบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน จากตัวแปรจำนวน 18 ตัว พบว่าโหมดที่ 1 และ 2 ของ PCA สามารถอธิบายความแปรปรวนร่วมของระบบนิเวศธารน้ำไหลได้ 33.8% และ 27% ของความแปรปรวนทั้งหมด โดย PCA โหมดที่ 1 เป็นตัวแทนที่แสดงความแปรปรวนของอุณหภูมิ น้ำ ออกซิเจนละลายน้ำ สารฟอสฟอรัสละลายน้ำรวม สารอนินทรีย์ฟอสฟอรัสละลายน้ำ สารอนินทรีย์ไนโตรเจนละลายน้ำ ซิลิกาและความหลากหลายของแพลงก์ตอนแบบเกาะติดของระบบนิเวศธารน้ำไหลบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนรัชชประภา ส่วน PCA โหมดที่ 2 แสดงความแปรปรวนของความเป็นกรด-ด่าง ความเหนียวนำไฟฟ้า สารอนินทรีย์คาร์บอน ตะกอนอินทรีย์ขนาดเล็ก และเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสของตะกอนอินทรีย์ขนาดใหญ่/ขนาดเล็ก ของระบบนิเวศธารน้ำไหลบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ ของเขื่อนขุนด่านปราการชลและเขื่อนอุบลรัตน์

9) สภาพทางอุทก-นิเวศวิทยาบริเวณต้นน้ำของทั้งสามเขื่อนในภาพรวม มีลักษณะที่สอดคล้องกับแนวคิด River Continuum Concept (RCC) จากข้อมูลที่สำรวจและวิเคราะห์ทั้งหมด สามารถนำมาสร้างภาพจำลองเชิงมโนทัศน์ถึงกลไกและความเชื่อมโยงระหว่างองค์ประกอบต่างๆ ของระบบนิเวศธารน้ำไหลได้ ดังแสดงในรูป 5.1 ทั้งนี้ ภาพจำลองที่สร้างขึ้นนี้ จะเป็นกรอบในการศึกษาเชิงลึกต่อกลไกการเชื่อมโยงภายใต้ Carbon/energy flow concept ซึ่งองค์ความรู้ เชิงปริมาณในประเด็นดังกล่าว มีความจำเป็นต่อการสร้างความรู้ความเข้าใจต่อพลวัต ความแปรปรวนและฟังก์ชัน รวมทั้งศักยภาพเชิงบริการของระบบนิเวศธารน้ำไหลบริเวณต้นน้ำ

10) อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงเชิงอุทก-นิเวศบริเวณท้ายน้ำของเขื่อน อาจจะต้องพิจารณา ภายใต้กรอบ อนุกรมความไม่ต่อเนื่อง (Serial discontinuity) ของลำน้ำที่เกิดจากการสร้างเขื่อน ทั้งนี้ การศึกษาเชิงปริมาณถึงขอบเขตผลกระทบและการฟื้นตัวบริเวณท้ายเขื่อน จะช่วยสร้างความรู้ความเข้าใจ เพิ่มขึ้นถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นบริเวณปลายน้ำ และแนวทางการแก้ไข

ผลการศึกษานี้ นับเป็นข้อมูลทางวิชาการที่สำคัญในการประกอบตัดสินใจ เพื่อดำเนินการวางแผน และกำหนดมาตรการในการอนุรักษ์ระบบนิเวศแหล่งน้ำไหล โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบนิเวศบริเวณต้นน้ำ ซึ่งมีความเชื่อมโยงอย่างใกล้ชิดกับความอุดมสมบูรณ์ของระบบนิเวศป่า โดยแนวทางและวิธีการศึกษาสามารถนำไปขยายผลในบริเวณต้นน้ำที่สำคัญของประเทศ และสามารถเสนอแนะเพื่อเพิ่มเติม เป็นวิธีการประเมินข้อมูลบรรทัดฐานของระบบนิเวศธารน้ำไหล ก่อนดำเนินโครงการต่างๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำไหลได้



รูปที่ 5.1 ภาพจำลองกลไกและความเชื่อมโยงระหว่างองค์ประกอบต่างๆ บริเวณต้นน้ำของทั้งสามเขื่อน

ตารางที่ 5.1 สรุปผลคุณภาพน้ำ สารอินทรีย์และธาตุอาหารพืชบางพารามิเตอร์ของระบบนิเวศบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำของทั้งสามเขื่อน

Site	Period of study	COND ($\mu\text{S m}^{-1}$)	DO (mg/l)	pH	NH ₃ -N (μM)	NO ₃ -N (μM)	DIP-P (μM)	TP-P (μM)	Reference
1. ต้นน้ำเขื่อนอุบลรัตน์	ฤดูฝนและฤดูแล้ง พ.ศ. 2553-2554	17.7×10^3	4.2	7.00	4.90	8.73	0.43	1.77	การศึกษานี้
2. ท้ายน้ำเขื่อนอุบลรัตน์	ฤดูฝนและฤดูแล้ง พ.ศ. 2553-2554	17.2×10^3	5.1	7.50	2.59	1.59	0.14	0.91	การศึกษานี้
3. ต้นน้ำเขื่อนขุนด่าน ปราการชล	ฤดูฝนและฤดูแล้ง พ.ศ. 2553-2554	5.5×10^3	5.6	6.70	1.79	3.75	0.11	1.05	การศึกษานี้
4. ท้ายน้ำเขื่อนขุนด่าน ปราการชล	ฤดูฝนและฤดูแล้ง พ.ศ. 2553-2554	5.3×10^3	6.2	6.90	2.15	9.25	0.17	0.86	การศึกษานี้
5. ต้นน้ำเขื่อนรัชชประภา	ฤดูฝนและฤดูแล้ง พ.ศ. 2553-2554	10.9×10^3	7.4	7.30	0.96	16.69	1.48	1.81	การศึกษานี้
6. ต้นน้ำเขื่อนรัชชประภา	ฤดูฝนและฤดูแล้ง พ.ศ. 2553-2554	9.9×10^3	2.9	6.80	9.01	0.38	0.09	0.69	การศึกษานี้

ตารางที่ 5.2 สรุปผลคุณภาพน้ำ สารอินทรีย์และธาตุอาหารพืชบางพารามิเตอร์ของระบบนิเวศธารน้ำไหลบางแห่งในภูมิภาคต่างๆ

Site	Period of study	COND ($\mu\text{S m}^{-1}$)	DO (mg/l)	pH	NH ₃ -N (μM)	NO ₃ -N (μM)	DIP-P (μM)	TP-P (μM)	Reference
1. Naustdalsana River, Norway	summer season, 1971-1972	2.25×10^3		6.90					Gunnar, 1985
2. Central North Island, New Zealand	18 Nov.- 3 Dec. 1996	6.53×10^3	9.2						Kevin, 2000
3. Chubut River (Patagonia, Argentina) - Upper - Middle - Lower	Jan - Dec 2004			7.10-8.30 7.30-8.20 7.30-8.10	0.14-3.10 0.64-5.20 0.24-12.60	0.49-5.80 0.61-1.70 0.52-16.40		0.21-1.40 1.40-4.10 0.93-3.00	Maria, 2006
4. River Genil, Spain - Upstream - Downstream		11.8×10^3 18.1×10^3	10.6 10.7	6.70 7.00		8.70 35.5			Casas et al., 2000
5. Nith River, Southern Ontario, Canada	July 1993							2.60	Stone and Droppo, 1994
6. Chena River, Alsaka, USA	Mar. 2005 - Feb. 2006	19.2×10^3		7.40					Yihua et al., 2008
7. Motueka River, Riwaka River, New Zealand		12.69		7.89		120.90			Biggs and Gerbeaux, 1993

ตารางที่ 5.2 (ต่อ)

Site	Period of study	COND ($\mu\text{S m}^{-1}$)	DO (mg/l)	pH	NH ₃ -N (μM)	NO ₃ -N (μM)	DIP-P (μM)	TP-P (μM)	Reference
8. Amazon system -Solimoes above Ica -Negro -Jurue -Trombetas -Amazon at obidos						14.30 3.00 14.40 3.70 10.00		13.60 0.68 - 11.20 7.70	Lewis et al., 1995
9. Orinoco System (Venezuela and Colombia) -Blackwater tributary -Clearwater tributary -White water tributary -Lower Orinoco						0.14 - 5.71 4.86 - 11.21 7.93 - 9.64 5.71		Nd - 0.25 Nd - 0.29 6.06 2.10	Weibezahn, 1990 Castillo et al., 2004 Weibezahn, 1990 Lewis et al., 1999
10. Yukon rivers, British Columbia, Canada						2.43			Guo et al., 2004
10. Mississippi rivers,USA						100.00			Goolsby et al., 1999
11. Ohio river, USA						88.57			Goolsby et al., 1999
12. Nilw river, Egypt	Autumn (1987)- summer (1988)					35.00- 823.00			Abdelhamid et al.,

ตารางที่ 5.2 (ต่อ)

Site	Period of study	COND ($\mu\text{S m}^{-1}$)	DO (mg/l)	pH	NH ₃ -N (μM)	NO ₃ -N (μM)	DIP-P (μM)	TP-P (μM)	Reference
คลองพะแสง จังหวัดสุราษฎร์ธานี	พ.ย. 48 - ก.พ. 49	116.7	5.6	6.99	12.00	11.10	0.23		เพ็ญใจ, 2549
แม่น้ำท่าจีนตอนล่าง			0.5-7.8	7.60	60.2-136.8	1.40-51.10	2.00-22.1.00		วีรกรอง, 2547
คลองระโนด จังหวัดสงขลา	ส.ค. 35 - ก.ค. 36		3.1-6.5	7.20-7.50			126.10-210.60		พีระพิทย์, 2537
แม่น้ำน่าน จังหวัดพิษณุโลก	พ.ย. 42 - ส.ค. 43		7.6-8.6	6.50-7.20					วรางค์ลักษณ์, 2547

ตารางที่ 5.3 สรุปผลความเข้มข้นสารอนินทรีย์คาร์บอน (DIC) ของระบบนิเวศธารน้ำไหลบางแห่งในภูมิภาคต่างๆ

Site	Period of study	DIC (mM)	Reference
1. Nith River, Southern Otario, Canada	Jul. 1993	3.79	Stone and Droppo, 1994
2. St. Lawrence River, USA	Jun. 1997 – Apr. 1999	0.55	Jean et al., 2002
3. York and Pamunkey River, Virginia, USA	Jun., Aug., and Nov. 1999.	3.87	Neubauer et al., 2003
4. Parker and York Rivers, New York, USA	-	0.57	Raymonda et al., 2004
5. Patagonian rivers, Argentina	Sep. 1995 – Mar. 1997	1.63	Brunet et al., 2005
6. Chena River, Alsaka, USA	Mar. 2005 - Feb. 2006	1.60	Yihua et al., 2008
7. Luodingjiang River, China	Apr. – Dec. 2005	0.13	Shurong et al., 2009
8. Vindeln River, Northern Sweden	Monthly (2006 – 2007)	0.23	Marcus et al., 2010
9. Brazos River, Texas, USA	Mar. 2007 – Jul. 2009	2.84	Fan et al., 2010
10. South Han and North Han Rivers, South Korea	Jul. 2004 - Dec. 2005	5.45	Shin et al., 2011

ตารางที่ 5.4 เปรียบเทียบปริมาณตะกอนอินทรีย์ขนาดใหญ่และขนาดเล็ก (CPOM และ FPOM) บริเวณต้นน้ำของทั้งสามเขื่อนกับระบบนิเวศธารน้ำไหลบางแห่งในภูมิภาคต่าง ๆ

Site	Period of study	Average CPOM (g/m ³)	Average FPOM (g/m ³)	Reference
1. ต้นน้ำเขื่อนอุบลรัตน์	2010-2011	0.84	1.21	การศึกษานี้
2. ต้นน้ำเขื่อนขุนด่านปราการชล	2010-2011	0.25	0.12	การศึกษานี้
3. ต้นน้ำเขื่อนรัชชประภา	2010-2011	0.13	0.71	การศึกษานี้
River Genil, Spain -Upstream		0.97		Casas et al., 2000
Hokkaido, Japan - Atsubetsu River - Gunbetsu River	2003	3.65 14.52	0.47 0.42	Hiroki and Makoto, 2003
Sao Joao stream, Portugal	2001	6.3		Gonzales and Graca, 2003
Bear Brook, New Hampshire	1973	0.09	0.25	Stuartg, 1973
Margaraca Forest, Portugal	1998	0.18		Abelho and Graca, 1998
Boreal in eastern Quebec	1984	0.06 - 0.26		Connors and Naiman, 1984
Rhitrodat Lunz study area, Austria	1992	0.65 - 0.99		Moser, 1992
Kings Creek, Kansas	1988	0.03 - 0.78		Gurtz et al., 1988
South-eastern Australian streams.	1992	0.02 - 0.15		Campbell et al., 1992

บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. (2553). รายงานประจำปีสำนักจัดการคุณภาพน้ำ 2552. สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- พงษ์พันธุ์ สีสหกรียงไกร ทัดพร คุณประดิษฐ์ และยุวดี พิรพรพิศาล. (2548). การศึกษาความหลากหลายของไดอะตอมพื้นท้องน้ำเพื่อนำมาติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำของแม่น้ำปิง ปี 2547-2548. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (ชีววิทยา) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พีระพิทย์ พีชมงคล. (2337). ปริมาณทั้งหมดของไนโตรเจนและฟอสเฟตในคลองระโนด อำเภอรโนด จังหวัดสงขลา. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยสกุล. (2549). คู่มือเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวอย่างสิ่งแวดล้อม (น้ำและตะกอนดิน). หน่วยวิจัยชีวธรณีเคมีและการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, หน้า 53 - 56.
- วรพงศ์ลักษณ์ ช่อนกลิ่น และชัยวัฒน์ โพธิ์ทอง. (2547). คุณภาพน้ำของแม่น้ำน่านที่ไหลผ่านพื้นที่เกษตรกรรมและชุมชนเมืองจังหวัดพิษณุโลก. Naresuan University Journal 2005, 13(1): หน้า 37-44
- วิรงรอง ทิมดี. (2547). การศึกษาคุณภาพน้ำของแม่น้ำท่าจีนตอนล่างโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. กลุ่มภูมิสารสนเทศประมง ศูนย์สารสนเทศ กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- อัศมน ลิมสกุล, แสงจันทร์ ลิมจิรากาล, ชณัฐ ภัทรสถาพรกุล, นิตยา นักระนาด มิลน์ และบุญชอบ สุทธิมนัสวงษ์ (2553). แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของฝนช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในประเทศไทย. รายงานการประชุมวิชาการนานาชาติ เรื่องประเทศไทยกับภูมิภาค ครั้งที่ 1 ความเสี่ยงและโอกาสท้าทายในกลไกการจัดการสภาพภูมิอากาศโลก ณ ศูนย์ประชุมอิมแพค เมืองทองธานี จังหวัดนนทบุรี. 19-21 สิงหาคม 2553.
- Abdelhamid, M.I., Shaabandessouki, S.A. and Skulberg, O.M. (1992). Water-quality of the rivers Nile in Egypt: Water Fertility and toxicity evaluated by an algal growth-potential test. Archiv fur Hydrobiologie, 3, 311-337.
- Abelho, M. and Graca, M.A.S. (1998). Litter in a first order stream of a temperate deciduous forest (Margaraca Forest, central Portugal). Hydrobiologia, 386, 147-152.
- Abelho, M., Cressa, C. and Graca, M.A.S. (2005). Microbial biomass, respiration and decomposition of Hura crepitans L. (Euphorbiaceae) leaves in a tropical stream. Biotropica, 37, 397-402.
- Aitkenhead-Peterson, J.A., McDowell, W.H. and Neff, J.C. (2003). Sources, production and regulation of allochthonous dissolved organic matter inputs to surface waters. In: Findlay, S.E.G. and Sinsabaugh, R.L. (eds.), Aquatic Ecosystems: Interactivity of Dissolved Organic Matter. Academic Press/Elsevier Science, San Diego, Pp. 25-70.
- Allan, J.D. (1995). Stream ecology: Structure and function of running waters. Chapman & Hall, New York.

- Allan, J.D. and Castillo, M.M. (2007). 2nd Stream ecology: Structure and function of running waters. Springer.
- Alvarez, M. and Peckarsky, B.L. (2005). How do grazers affect periphyton heterogeneity in streams? *Oecologia*, 142, 576–587.
- Amon, R.M.W. and Benner, R. (1996). Bacterial utilization of different size classes of dissolved organic matter. *Limnology and Oceanography*, 41, 41–51.
- Arthington, A.H., Naiman, R.J., McClain, M.E., and Nilsson, C. (2009). Preserving the biodiversity and ecological services of rivers: New challenges and research opportunities. *Freshwater Biology*, doi:10.1111/j.1365-2427.2009.02340.x.
- Bertilsson, S. and Jones, J.B. Jr. (2003). Supply of dissolved organic carbon to aquatic ecosystems: Autochthonous sources. In: Findlay, S.E.G. and Sinsabaugh, R.L. (eds.), *Aquatic Ecosystems: Interactivity of Dissolved Organic Matter*. Academic Press/Elsevier Science, San Diego, Pp. 3–24.
- Biggs, B.J.F. and Gerbeaux, P. (1993). Periphyton development in relation to macro-scale (geology) and micro-scale (velocity) limiters in two gravel-bed rivers, New Zealand. *New Zealand Journal Marine Freshwater Research*, 27, 39-53.
- Borchardt, M.A. (1996). Nutrients. In: Stevenson, R.J., Bothwell, M.L. and Lowe, R.L. (eds.) *Algal Ecology*. Academic press, San Diego, Pp. 184–227.
- Bothwell, M.L. and Lowe, R.L. (Eds.), *Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems*, Academic Press, Pp. 341–373.
- Bott, T.L. (2007). Primary productivity and community respiration. In: Hauer, F.R. and Lamberti, G.A. (eds.), *Methods in stream ecology*, 2nd edition. Elsevier, Amsterdam, Pp. 663–690.
- Bott, T.L. and Borchardt, M.A. (1999). Grazing of protozoa, bacteria, and diatoms by meiofauna in lotic epibenthic communities. *Journal of the North American Benthological Society*, 18, 499–513.
- Boyero, L. and Bailey, R.C. (2001). Organization of macroinvertebrate communities at a hierarchy of spatial scales in a tropical stream. *Hydrobiologia*, 464, 219–225.
- Brown, L.R., Gray, R.H., Hughes, R.M. and Meador, M.R. (2005). Introduction to effects of urbanization on stream ecosystems. *American Fisheries Society Symposium*, 47, 1-8.
- Brunet, F., Gaiero, D., Probst, Jean-Luc and Depetris, P.J., Gauthier Lafaye, F. and Stille, P., (2005). $\delta^{13}\text{C}$ tracing of dissolved inorganic carbon sources in Patagonian rivers (Argentina). *Hydrological Processes*, 19 (17), 3321-3344.

- Bunn, S.E. and Arthington, A.H. (2002). Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management*, 30, 492–507.
- Cambell, I.E., James, K.R., Hart, B.T. and Devereaux, A. (1992). Allochthonous coarse particulate organic matter in forest and pasture reaches of two south-eastern Australian streams. II. Litter processing. *Freshwater Biology*, 27, 353-365.
- Cardinale, B.J. (2011). Biodiversity improves water quality through niche partitioning. *Nature*, 472, 86-89, doi:10.1038/nature09904.
- Casas, J.J., Zamora-munoz, C., Archila, F., and Alba-Tercedor, J. (2000). The Effect of a headwater dam on the use of leaf bags by invertebrate communities. *Regul. Rivers: Res. Mgmt*, 16, 577–591.
- Conners, M.E. and Naiman, R.J. (1984). Particulate allochthonous inputs: Relationship with stream size in an undisturbed watershed. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 41, 1473-1484.
- Cummins, K.W. (2002). Riparian-stream linkage paradigm. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung fürtheoretische und angewandte Limnologie*, 28, 49–58.
- Cummins, K.W. (1974). Structure and function of stream ecosystems. *BioScience*, 24, 631–641.
- Cummins, K.W. and Klung, M.J. (1979). Feeding ecology of stream invertebrates. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 10, 147–172.
- Dangles, O. and Malmqvist, B. (2004). Species richness-decomposition relationships depend on species dominance. *Ecology Letters*, 7, 395-402.
- Digby, P.G.N., and Kempton, R.A. (1987). *Multivariate analysis of ecological communities*. London: Chapman and Hall.
- Dodds, W.K. and Welch, E.B. (2000). Establishing nutrient criteria in streams. *Journal of the North American Benthological Society*, 19, 186–196.
- Döll, P. and Zhang, J. (2010). Impact of climate change on freshwater ecosystems: A global-scale analysis of ecologically relevant river flow alternations. *Hydrology and Earth System Sciences Discussion*, 7, 1305-1342.
- Dudgeon, D. (2008). *Tropical stream ecology*. Elsevier Inc.
- Dudgeon, D., Arthington, A.H., Gessner, M.O. et al. (2006). Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Review*, 81, 163–182.
- Duncan, W.F.A. and Brusven, M.A. (1985). Energy dynamics of three low-order southeast Alaskan streams: Autochthonous production. *Journal of Freshwater Ecology*, 3, 155–166.
- Emery, W.J. and Thomson, R.E. (1997). *Data analysis methods in physical oceanography*. Pergamon Press, New York, USA.

- Field, J.G., Clarke, K.R. and Warwick, R.M. (1982). A practical strategy for analyzing multispecies distribution patterns. *Marine Ecology- Progress Series*, 8, 37-52.
- Findlay, S.E.G. and Sinsabaugh, R.L. (1999). Unravelling the sources and bioavailability of dissolved organic matter in lotic aquatic ecosystems. *Marine and Freshwater Research*, 50, 781–790.
- Findlay, S.E.G., Likens, G.E., Hedin, L., Fisher, S.G. and McDowell, W.H. (1997). Organic matter dynamics in Bear Brook, Hubbard Brook Experimental Forest, New Hampshire, USA. *Journal of the North American Benthological Society*, 16, 43–46.
- Fisher, S.G. and Likens, G.E. (1973). Energy flow in Bear Brook, New Hampshire: An integrative approach to stream ecosystem metabolism. *Ecological Monographs*, 43, 421–439.
- Frissell, C.A., Liss. W.L., Warren. C.E. and Hurley, M.D. (1986). A hierarchical framework for stream habitat classification: Viewing streams in a watershed context. *Environmental Management*, 10, 199–214.
- Gonzalez J .M. and Graca. M.A.S. (2003). Conversion of leaf litter to secondary production by a shredding caddis-fly. *Freshwater Biology*, 48, 1578–1592
- Goolsby, D.A., Battagin, W.A., Lawrence, G.B., Artz R.S., Aulenbach, B.T., Hooper, R.P., Keeney, D.R. and Strenland, G.J. (1999). Flux and sources of nutrients in the Mississippi Atchafalaya River basin: Report for the integrated assessment on hypoxia in the Gulf of Mexico. NOAA Coastal Ocean Program Decision Analysis, 17, Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, Silver Spring, MD.
- Gregory, S.V., Swanson, F.J., McKee, W.A. and Cummins, K.W. (1991). An ecosystem perspective of riparian zones. *BioScience*, 41, 540–551.
- Gunnar G. R. (1985). Effects of winter warm reservoir release on benthic stream invertebrates. *Hydrobiologia*, 122, 105-111.
- Guo, L.D., Zhang, J.Z. and Gueguen, C. (2004). Speciation and fluxes of nutrients (N,P,Si) from the upper Yukon Rivers. *Global Biogeochemical Cycles*, 18, 1038.
- Gurtz, M.E., Marzolf, G.R., Killingbeck, K.T., Smith, D.L. and McArthur, J.V. (1988). Hydrologic and riparian influences on the import and storage of coarse particulate organic matter in a prairie stream. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 48,1877-1881.
- Hall, N.D., Stuntz, B.B. and Abrams, R.H. (2008). Climate change and freshwater resources. *Natural resource and Environment*, 22, 30-35.
- Hannachi, A., Jolliffe, I.T. and Stephenson, D.B. (2007). Empirical orthogonal functions and related techniques in atmospheric science: A review. *International Journal of Climatology*, 27, 1119-1152.

- Hart, D.D. and Finelli, C.M. (1999). Physical-biological coupling in streams: the pervasive effects of flow on benthic organisms. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 30, 363–395.
- Hauer, F.R. and Lamberti, G.A. (2007). *Methods in stream ecology*, 2nd edition. Elsevier Inc.
- Hauer, F.R. and Resh, V.H. (2007). Macroinvertebrates. In: Hauer, F.R. and Lamberti, G.A. (eds.), *Methods in stream ecology*, 2nd edition. Elsevier, Amsterdam, Pp. 435–463.
- Hershey, A.E., Fortino, K., Peterson, B.J. and Ulseth, A. (2007). Stream food webs. In: Hauer, F.R. and Lamberti, G.A. (eds.), *Methods in stream ecology*, 2nd edition. Elsevier, Amsterdam, Pp. 637–659.
- Hiroki Yabe and Makoto Nakatsugawa. Relationship between habitat environments of aquatic organisms and physical conditions of river channels. Civil Engineering Research Institute of Hokkaido, Japan.
- Huxel, G.R., McCann, K. and Polis, G.A. (2002). Effects of partitioning allochthonous and autochthonous resources on food web stability. *Ecological Research*, 17, 419–432.
- Jansson, R., Nilsson, C. and Renöfält, B. (2000). Fragmentation of riparian floras in rivers with multiple dams. *Ecology*, 81, 899–903.
- Jean-François Hélie a., Claude Hillaire-Marcel a., and Bernard Rondeau., (2002). Seasonal changes in the sources and fluxes of dissolved inorganic carbon through the St. Lawrence River: isotopic and chemical constraint. *Chemical Geology* 186. Pp. 117 - 138.
- J.H. and DeLong, M.D. (2002). Dominance of autochthonous autotrophic carbon in food webs of heterotrophic rivers? *Oikos*, 96, Pp. 543–550.
- Kevin, J.C. and Jane N. Halliday., (2000). Macroinvertebrate-wood associations during decay of plantation pine in New Zealand pumice-bed streams: stable habitat or trophic subsidy. *The North American Benthological Society*. 19(1): Pp. 94–111
- Leopold, L.B., Wolman, M.G. and Miller, J.P. (1964). *Fluvial Processes in Geomorphology*. W.H. Freeman, San Francisco.
- Lewis, W.M. Jr., Hamilton, S.K. and Saunders, J.F. (1995). Rivers of Northern South America. In: Cushing CE, Cummins KW, Minshall GW(eds) *Rivers and stream Ecosystems*. Elsevier, Amsterdam, Pp. 219-256.
- Lewis, W.M. Jr., Melack, J.M., McDowell, W.H., McClain, M. and Richey, J.E. (1999). Nitrogen yields from undisturbed watersheds in the Americas. *Biogeochemistry*, 46, 149-162.
- Limsakul, A., Limjirakan, S. and Suthamanuswong, B. (2010). Asian summer monsoon and its associated rainfall variability in Thailand. *Environment Asia*, 3, 79-89.

- Marcus, W., Ishi, B., Mats, O., Hjalmar, L. and Kevin, B. (2010). Temporal and spatial variability of dissolved inorganic carbon in a boreal stream network: Concentrations and downstream fluxes. *Journal of Geophysical Research*, 115, G02014.
- Mardia, K.V., Kent, J.T., and Bibby, J.M. (1979). *Multivariate analysis*. London: Academic Press.
- Maria Laura Miserendino., (2006). Seasonal and spatial distribution of stoneflies in the Chubut River (Patagonia, Argentina). *Hydrobiologia* (2006) 568: Pp. 263–274
- Meybeck, M. (2003). Global analysis of river systems: from Earth system controls to Anthropocene syndromes. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, DOI 10.1098/rstb.2003.1379.
- Millennium Ecosystem Assessment, (2005). *Millennium Ecosystem Assessment Synthesis Report*. Island Press, Washington DC.Montréal, Pp. 94.
- Minshall, G.W. (1967). Role of allochthonous detritus in the trophic structure of a woodland springbrook community. *Ecology*, 48, 139–149.
- Minshall, G.W., Cummins, K.W., Peterson, R.C., Cushing, C.E., Bruns, D.A., Sedell, J.R. and Vonnote, R.L. (1985). Development in stream ecology theory. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 42, 1045-1055.
- Moser, H., (1992). Input of organic matter in a low orderstream (Rhitrodat Lunz study area, Austria). *Verh. Internat. Verein. Limnol*, 24, 1913-1916.
- Neubauer Scott C. and Anderson Iris C., (2003). Transport of dissolved inorganic carbon from a tidal freshwater marsh to the York River estuary. *Limnol. Oceanogr.*, 48(1). pp. 299-307.
- Newbold, J.D. (1992). Cycles and spirals of nutrients. In: Calow, P. and Petts, G.E. (eds.), *The Rivers Handbook*. Blackwell Scientific, Oxford, pp. 370–408.
- Newbold, J.D., Elwood, J.W., O'Neill, R.V. and VanWinkle, W. (1981). Measuring nutrient spiraling in streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38, 860–863.
- Newbold, J.D., Mulholland, P.J., Elwood, J.W. and Oneill, R.V. (1982). Organic-carbon spiralling in stream ecosystems. *Oikos*, 38, 266–272.
- Nilsson, C., Reidy, C.A., Dynesius, M. and Revenga, C. (2005). Fragmentation and flow regulation of the World's large river systems. *Science*, 308, 405-408.
- Nilsson, C., Reidy, C.A., Dynesius, M. and Revenga, C. (2005). Regulation of the world's large river systems. *Science*, 308, 405–408.
- Odum, H.T. (1956). Primary production in flowing waters. *Limnology and Oceanography*, 1, pp. 102-117.

- Palmer, M.A., Reidy Liermann, C.A., Nilsson, C., Flörke, M., Alcamo, J., Lake, P.S. and Bond, N. (2008). Climate change and the world's river basins: Anticipating management options. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6, 81–89.
- Peterson, B.J., Hobbie, J.E. and Corliss, T.J. (1986). Carbon flow in a tundra stream ecosystem. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 43, 1259–1270.
- Piégay, H. and Schumm, S.A. (2003). System approaches in fluvial geomorphology. In: Kondolf, G.M. and Piégay, H, (eds.) *Tools in Fluvial Geomorphology*. Wiley, West Sussex, Pp. 105-134.
- Poff, N.L. (1997). Landscape filters and species traits: towards mechanistic understanding and prediction in stream ecology. *Journal of the North American Benthological Society*, 16, 391-409.
- Poff, N.L., Allan, J.D., Bain, M.B., Karr, J.R., Prestegard, K.L., Richter, B.D., Sparks, R.E. and Stromberg, J.C. (1997). The natural flow regime: A paradigm for river conservation and restoration. *Bioscience*, 47, 769–784.
- Poff, N.L. and Zimmerman, J.K.H. (2010). Ecological response to altered flow regimes: A literature review to inform the science and management of environment flow. *Freshwater Biology*, 55, 194-205, doi:10.1111/j.1365-2427.2009.02272.x.
- Poff, N.L., Olden, J.D., Merritt, D.M. and Pepin, D.M. (2007). Homogenization of regional river dynamics by dams and global biodiversity implications. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104, 5732–5737.
- Polunin, N.V.C. (1984). The decomposition of emergent macrophytes in fresh-water. In: Macfadyen, A. and Ford, E.D. (eds.), *Advances in Ecological Research*, 14, Academic Press, New York, pp. 115-166.
- Power, M.E., Sun, A., Parker, G., Dietrich, W.E. and Wootton, J.T. (1995). Hydraulic food-chain models. *BioScience*, 45, 159-167.
- Pozo, J., Gonzalez. E., Diez, J.R., Molinero, J. and Elosegui, A. (1997). Inputs of particulate organic matter to streams with different riparian vegetation. *Journal of the North American Benthological Society*, 16, 602-611.
- Preisendorfer, R.W. (1988). *Principal component analysis in meteorology and oceanography*. Elsevier: Amsterdam.
- Raymonda Peter A., Bauer James E., Caracoc Nina F., Colec Jonathan J., Longworthd Brett, Petschd Steven T., (2004). Controls on the variability of organic matter and dissolved inorganic carbon ages in northeast US rivers. *Marine Chemistry* 92. pp. 353– 366.

- Resh, V.H., Brown, A.V., Covich, A.P., Gurtz, M.E., Li, H.W., Minshall, G.W., Reice, S.R., Sheldon, A.L., Wallace, J.B. and Wissmar, R. (1988). The role of disturbance in stream ecology. *Journal of the North American Benthological Society*, 7, 433-455.
- Romesburg, C. (2004). *Cluster analysis for researchers*. LuLu Press, North Carolina.
- Scott, A.J. and Knott, M. (1974). A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. *Biometrics*, 30, 507-512.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity, (2010). *Global Biodiversity Outlook 3*.
- Shin W. J., Chung G. S., Lee D. and Lee K. S., (2011). Dissolved inorganic carbon export from carbonate and silicate catchments estimated from carbonate chemistry and $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15, Pp. 2551-2560.
- Shurong, Z., Lua, X.X., Huiguo, S., Jingtai, H., and David, L.H. (2009). Major ion chemistry and dissolved inorganic carbon cycling in a human-disturbed mountainous river (the Luodingjiang River) of the Zhujiang (Pearl River), China. *Science of the Total Environment*. pp. 2796-2807.
- Simpson, E.H. (1949). Measurement of diversity. *Nature*, 163, 688.
- Snelder, T.H. and Biggs, B.J.F. (2002). Multiscale river environment classification for water resources management. *Journal of the American Water Resources Association*, 38, 1225-1239.
- Sompongchaiyakul, P. (2006). *Carbon/Nutrients and Water Fluxes of Tapi River and Songkhla Lake Watershed*. Final report SARCH project contractor. Biogeochemical and Environmental Change Research Unit, Faculty of Environmental Management, Prince of Songkhla University (Hatyai Campus).
- Steinman, A.D. (1996). Effects of grazers on freshwater benthic algae. In: Stevenson, R.J., Thorp, Stone, M. and Droppo I.G. (1994). Flocculation of fine-grained suspended solids in the river continuum. *Variability in Stream Erosion and Sediment Transport (Proceedings of the Canberra Symposium, December 1994)*. IAHS Publ. no.224. pp.479 - 489.
- Stuart, F. (1973). Energy flow in bear brook, New Hampshire: An integrative approach to stream ecosystem metabolism. *Ecological Monographs*, 43, 421-439.
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2002). *Global Environment Outlook 3 – Past, present and future perspectives*, Earth Scan Publications Ltd., United Kingdom.
- United Nations Framework on Climate Change, (2011). *Climate change and freshwater resources: A synthesis of adaptation actions undertaken by Nairobi work programme partner organizations*. Climate Change Secretariat (UNFCCC), Bonn, Germany.

- Vanni, M.J. (2002). Nutrient cycling by animals in freshwater ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 33, 341–370.
- Vanni, M.J., Flecker, A.S., Hood, J.M. and Headworth, J.L. (2002). Stoichiometry of nutrient recycling by vertebrates in a tropical stream: Linking species identity and ecosystem processes. *Ecology Letters*, 5, 285–293.
- Vannote, R.L., Minshall, G.W., Cummins, K.W., Sedell, J.R. and Cushing, C.E. (1980). The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37, 130–137.
- Vörösmarty, C.J., McIntyre, P.B., Gessner, M.O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., Glidden, S., Bunn, S.E., Sullivan, C.A., Reidy Liermann, C. and Davies, P.M. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 467, 555-561, doi:10.1038/nature09440.
- Walker, K.F., Sheldon, F. and Puckridge, J.T. (1995). A perspective on dryland river ecosystems. *Regulated Rivers: Research & Management*, 11, 85-104.
- Wallace, J.B. and Meritt, R.W. (1980). Filter-feeding ecology of aquatic insects. *Annual Review of Entomology*, 25, 103-132.
- Wallace, J.B., Eggert, S.L., Meyer, J.L. and Webster, J.R. (1997). Multiple trophic links of a forest stream linked to terrestrial litter inputs. *Science*, 277, 102-104.
- Ward, J.V. and Stanford, J.A. (1983). The Serial Discontinuity Concept of River Ecosystems. In: Fontaine, T.D. and Bartell, S.M. (eds.), *Dynamics of Lotic Ecosystems*, Science Publications, Ann Arbor Mich, Pp. 29-42.
- Webster, J.R. and Meyer, J.L. (1997). Organic matter budgets for streams: A synthesis. *Journal of the North American Benthological Society*, 16, 141–161.
- Webster, J.R., Benfield, E.F., Ehrman, T.P., Schaeffer, M.A., Tank, J.L., Hutchens, J.J. and D'Angelo, D.J. (1999). What happens to allochthonous material that falls into streams? A synthesis of new and published information from Coweeta. *Freshwater Biology*, 41, 687–705.
- Weibezahn, F.H. (1990). Hidroquímica y sólidos suspendidos en el alto y medio Orinoco. In the Orinoco Rivers as an Ecosystem. Galac, Caracas, Pp. 150-210.
- Wetzel, R.G. (2001). *Limnology*, 3rd Edition. Academic Press, San Diego.
- Yihua Cai, Laodong Guo and Thomas A. Douglas., (2008). Temporal variations in organic carbon species and fluxes from the Chena River, Alaska. *Limnol. Oceanogr.*, 53(4), 2008, Pp. 1408-1419.