

การประเมินความเสี่ยงของระบบนิเวศทางน้ำในพื้นที่ปกปักพันธุกรรมพืช เขื่อนภูมิพลจังหวัดตาก โดยใช้โครงข่ายเบย์เซียน

Aquatic ecological risk assessment in plant genetic conservation area of Bhumibol dam, Tak province using Bayesian network

ลันธิวัฒน์ พิทักษ์พล^{1*}

Santiwat Pithakpol^{1*}

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเสี่ยงของระบบนิเวศทางน้ำบริเวณพื้นที่ปกปักพันธุกรรมพืชเขื่อนภูมิพล จังหวัดตาก โดยการประยุกต์ใช้โครงข่ายเบย์เซียน โดยทำการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ข้อมูลปัจจัยคุณภาพน้ำที่มีผลต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำจาก 5 แหล่งน้ำจำนวน 4 ครั้ง ระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนตุลาคม 2555 และใช้ข้อมูลทุติยภูมิร่วมกับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในการประเมินความเสี่ยงของแหล่งน้ำ ผลการศึกษาพบว่าคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำของพื้นที่ปกปักพันธุกรรมพืชเขื่อนภูมิพลอยู่ในระดับปานกลาง ปัจจัยที่ต้องเฝ้าระวังคือปริมาณแอมโมเนียฟอสเฟต บีโอดี และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำโดยเฉพาะในฤดูแล้ง โดยแหล่งน้ำที่มีความเสี่ยงต่อการเสื่อมโทรมมากคือแหล่งน้ำในเส้นทางที่ 1 และเส้นทางที่ 4 จุดที่ 2 อย่างไรก็ตามความเสี่ยงของระบบนิเวศยังอยู่ในระดับต่ำแต่ควรมีการจัดการเช่นการรักษาระดับน้ำในช่วงฤดูแล้งโดยการสร้างฝายชะลอน้ำ ส่วนในแหล่งน้ำนั้นควรมีแผนการจัดการคุณภาพน้ำ เช่นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเพื่อเร่งการย่อยสลายสารอินทรีย์และใช้ในการหายใจของสัตว์น้ำ รวมถึงการเปิดโอกาสให้ชุมชนที่อยู่บริเวณท้ายเขื่อนแม่ปิงตอนล่าง ได้เข้ามามีส่วนร่วมในกิจกรรมการอนุรักษ์ทรัพยากรสัตว์น้ำของเขื่อน เป็นต้น

คำสำคัญ: ประเมินความเสี่ยง, โครงข่ายเบย์เซียน, คุณภาพน้ำ, พื้นที่ปกปักพันธุกรรมพืชเขื่อนภูมิพล

ABSTRACT: The objective of this research was to assess aquatic ecosystem risk of water resources in a plant genetic conservation area of Bhumibol dam, Tak province, using Bayesian network. Water samples were collected 4 times during January to October 2012 from 5 streams/reservoirs. Data were analyzed together with secondary data and expert's opinions for risk assessment. Results showed that water quality in aquatic ecosystems was classified into moderate status. Parameters that should be further monitored are ammonia, soluble orthophosphate, biochemical oxygen demand (BOD), and dissolved oxygen (DO) especially in dry season. Water resource in route 1 and route 4-2 showed higher risk than others. Although the risk to overall ecosystems was still low, management measures should be adopted, such as maintaining water level using check dam in high slope area or applying aeration in lentic waters to accelerate organic decomposition and for animal respiration. Nearby community participation in fishery resources conservation activity should also be extended.

Keywords: Assess aquatic ecological risk, Bayesian network, Water quality, A plant genetic conservation area of Bhumibol dam

¹ สาขาวิชาการประมง คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ, มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา 56000

Department of Fishery, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Phayao, Phayao 56000

* Corresponding author: santiwatp@hotmail.com

บทนำ

เขื่อนภูมิพล อำเภอสามเงา จังหวัดตาก เป็นหน่วยงานของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตที่ได้เข้าร่วมโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี โดยมีพื้นที่ปกปักพันธุกรรมพืชจำนวน 8,103 ไร่ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2556) ซึ่งในพื้นที่ดังกล่าวครอบคลุมทั้งระบบนิเวศบนบกและระบบนิเวศทางน้ำ โดยมีลำห้วยและอ่างเก็บน้ำก่อนที่จะไหลลงสู่ลำน้ำสายหลักคือแม่น้ำปิง ระบบนิเวศทางน้ำในพื้นที่ปกปักพันธุกรรมพืชซึ่งได้จัดเป็นเส้นทางศึกษาธรรมชาติที่เชื่อมต่อกับแม่น้ำปิงซึ่งเป็นระบบนิเวศท้ายเขื่อนจากการศึกษาของสันติวัฒน์และคณะ(2550) พบว่าระบบนิเวศทางน้ำบริเวณท้ายเขื่อนเป็นระบบที่มีลักษณะเฉพาะตัว ผู้ผลิตขั้นต้นส่วนใหญ่เป็นพืชชายน้ำ มีแพลงก์ตอนพืชน้อย น้ำมีความโปร่งแสงสูง และออกซิเจนละลายน้ำค่อนข้างต่ำเนื่องจากเป็นน้ำที่ถูกปล่อยออกจากระดับลึกของอ่างเก็บน้ำการศึกษาครั้งนี้จึงทำการประเมินความเสี่ยงของระบบนิเวศแหล่งน้ำที่เชื่อมกับลำน้ำปิงโดยการเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในพื้นที่ปกปักพันธุกรรมพืชเขื่อนภูมิพล และประยุกต์ใช้โครงข่ายเบย์เซียนในการประเมินความเสี่ยงของระบบนิเวศต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำเพื่อที่จะเสนอแนะมาตรการต่างๆ และจัดทำแผนการจัดการความเสี่ยง ในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยโครงข่ายเบย์เซียนมีองค์ประกอบ ได้แก่ โครงสร้างซึ่งเป็นกลุ่มของตัวแปรที่จะมีผลต่อความเสื่อมโทรมของสภาพแวดล้อมที่สนใจศึกษา และความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงกันระหว่างตัวแปรในรูปแบบของความน่าจะเป็น การจัดทำแบบกรอบแนวคิดและโครงข่ายเบย์เซียนใช้กฎความน่าจะเป็นของ Thomas Bayes หรือ Bayes' Rule คือ

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) P(A)}{P(B)}$$

การใช้ โครงข่ายเบย์เซียนมีข้อดีคือสามารถใช้สนับสนุนการตัดสินใจปัญหาที่มีหลายปัจจัยมาเกี่ยวข้องและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบริหาร

จัดการได้ดีเนื่องจากเมื่อมีข้อมูลใหม่เพิ่มขึ้นก็สามารถเพิ่มเติมข้อมูลได้ง่าย ทำให้สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบการจัดการได้ตามสถานการณ์(Jensen, 1996) ซึ่งโครงข่ายเบย์เซียนถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินความเสี่ยงของระบบนิเวศเช่นการลดลงของประชากรปลา brown trout ในแม่น้ำ Swiss ประเทศสวิตเซอร์แลนด์(Borsuket al., 2006) เป็นต้น

วิธีการศึกษา

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี 4 ครั้งตามฤดูกาลในรอบปีโดยทำการเก็บข้อมูลในเดือนมกราคม เดือนเมษายน เดือนกรกฎาคม และเดือนตุลาคม พ.ศ. 2555 จากจุดเก็บตัวอย่างในพื้นที่ปกปักพันธุกรรมพืช เขื่อนภูมิพล จำนวน 5 สถานีโดยคัดเลือกแหล่งน้ำให้ครอบคลุมพื้นที่เส้นทางศึกษาธรรมชาติของเขื่อน คือ สถานีที่ 1 อ่างเก็บน้ำขนาดเล็กบริเวณทางขึ้นสันเขื่อนสถานีที่ 2 ลำห้วยบริเวณหลังร้านอาหาร สถานีที่ 3 ลำห้วยใกล้สะพานจุดปล่อยปลา (ห้วยแก่ง) สถานีที่ 4 จุดที่ 1 ลำห้วยหลังสนามกอล์ฟหลุมที่ 14 (ห้วยสามเงา) สถานีที่ 4 จุดที่ 2 สระน้ำที่เป็นบ่อตกปลา (ห้วยสามเงา) (Figure 1) โดยเก็บตัวอย่างที่ระดับกึ่งกลางความลึก และนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการได้แก่ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ บีโอดี แอมโมเนีย ไนโตรเจนในเตรท-ไนโตรเจน ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส โดยวิธีของ APHA, AWWA and WEF (2012) คลอโรฟิลล์เอโดยประยุกต์วิธีของStrickland and Parsons (1972) สำหรับข้อมูลที่สามารถทำการตรวจวัดในภาคสนามได้ ได้แก่ ความลึกและความโปร่งแสงเก็บข้อมูลโดยใช้ลูกดิ่งวัดความลึกและเซคคีดีสค์ ส่วนอุณหภูมิความเป็นกรด-ด่าง และการนำไฟฟ้าของน้ำทำการตรวจวัดโดยใช้เครื่องวัดคุณภาพน้ำหลายตัวแปร (YSI 556mps) ประเมินคุณภาพน้ำโดยใช้ค่าดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไป (Water Quality Index; WQI) (วนิดา, 2554) ทำการสร้างตัวแบบกรอบแนวคิดของปัจจัยที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อทรัพยากรประมงและนำเข้าข้อมูลคุณภาพน้ำ

ที่ศึกษาตามตัวแบบที่สร้างขึ้นในโครงข่ายเบย์เซียน โดยใช้โปรแกรม Netica™ และนำปัจจัยที่มีโอกาสที่จะเกิดความเสี่ยงต่อระบบนิเวศสูงมาพิจารณามาตรการ

และแนวทางในการจัดการความเสี่ยงโดยคณะนักวิจัย และหารือร่วมกับเจ้าหน้าที่ของเขื่อนภูมิพล

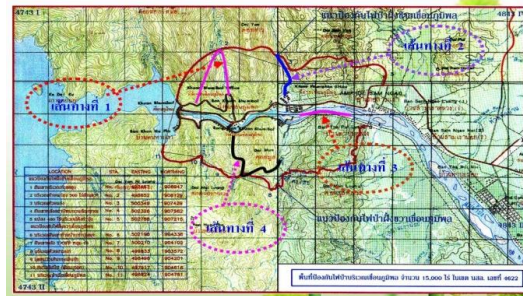


Figure 1 Sampling stations in 4 nature trails of Bhumibol dam plant genetic protection area

ผลการศึกษา

จากการศึกษาคุณภาพน้ำบางประการในแหล่งน้ำของพื้นที่ปกป้องพันธุ์กรรมพืชเขื่อนภูมิพล พบว่าการนำไฟฟ้าของน้ำมีความแตกต่างกันในแต่ละเส้นทางสำรวจและสถานีเก็บตัวอย่าง ($P < 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยมากที่สุดในเส้นทางที่ 1 ทางขึ้นสันเขื่อน เท่ากับ $1,236.0 \mu\text{S/cm}$ และมีค่าน้อยที่สุดในเส้นทางที่ 4 จุดที่ 2 บริเวณอ่างเก็บน้ำ มีค่าเท่ากับ $247.7 \mu\text{S/cm}$ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำมีค่าเฉลี่ย 6.1 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งไม่แตกต่างกันในแต่ละเส้นทาง ($P > 0.05$) แต่มีความแตกต่างกันในแต่ละเดือนโดยในเดือนเมษายนมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำต่ำที่สุด 3.1 มิลลิกรัมต่อลิตรของออกซิเจน (ppm) บีโอดีมีค่าอยู่ระหว่าง $0.1 - 2.5 \text{ ppm-O}_2$ โดยมีค่าสูงในเดือนกรกฎาคม ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน มีค่าเฉลี่ย 0.48 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งมีความแตกต่างกัน ในแต่ละเส้นทาง ($P < 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยมากที่สุดในเส้นทางที่ 4 จุดที่ 2 บริเวณอ่างเก็บน้ำ เท่ากับ 0.87 mg/L . (Figure 2) ดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปในช่วงเดือนมกราคม ถึงเดือนตุลาคม 2555 พบว่ามีค่าเฉลี่ยแตกต่างกัน ($P < 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยมากที่สุดในเดือนมกราคม รองลงมาคือเดือนเมษายน และมีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดในเดือนกรกฎาคม โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการศึกษาเท่ากับ 63.4 เมื่อพิจารณาและ

แต่ละเส้นทางสำรวจพบว่าดัชนีคุณภาพน้ำมีค่าเฉลี่ยมากที่สุดในเส้นทางที่ 2 บริเวณหลังร้านอาหาร เท่ากับ 64.8 รองลงมา คือ เส้นทางที่ 4 จุดที่ 1 บริเวณหลังสนามกอล์ฟหลุมที่ 14 และเส้นทางที่ 4 จุดที่ 2 บริเวณอ่างเก็บน้ำ และมีค่าน้อยที่สุดในเส้นทางที่ 1 บริเวณสันเขื่อน มีค่าเท่ากับ 62.7 ซึ่งแสดงว่าคุณภาพน้ำในทุกสถานที่ศึกษามีคุณภาพในระดับปานกลาง (Figure 3)

การจัดทำตัวแบบกรอบแนวคิดของปัจจัยเสี่ยงของระบบนิเวศทางน้ำบริเวณเขื่อนภูมิพล รวมถึงการระบุระดับของตัวแปรและนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำและความคิดเห็นของนักวิจัยและผู้เชี่ยวชาญเข้าสู่โครงข่ายเบย์เซียนพบว่า การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่มีผลต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ ประกอบด้วยตัวแปรที่เป็นสาเหตุได้แก่เดือน (Month) สถานี (Station) ปริมาณน้ำฝน (Precipitation) ระดับน้ำ (Water Level) อุณหภูมิ (Temperature) การนำไฟฟ้า (Conductivity) แอมโมเนีย (Ammonia) ไนเตรท (Nitrate) อนินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลายน้ำ (DIN) อนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ (DIP) คลอโรฟิลล์เอ (Chlorophyll a) อุณหภูมิ (Temperature) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) การเปิดปิดประตูน้ำ (Water regulation) ระดับน้ำ (Water level) การไหลของน้ำ (Water flow)

ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) บีโอดี (BOD) และตัวแปรที่เป็นผล ได้แก่ ทรัพยากรปลาในแหล่งน้ำที่ศึกษา (Fishery resource) โดยความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแสดงใน Figure 4 จากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปรพบว่าตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณปลาในระบบนิเวศแหล่งน้ำในพื้นที่ปกปักรักษารูกรมพืชของเขื่อนภูมิพล มากที่สุดคือปริมาณแอมโมเนีย ปริมาณ

ออกซิเจนที่ละลายน้ำ ปริมาณฟอสเฟต และปริมาณบีโอดี จากการศึกษาพบว่าคุณภาพน้ำส่วนใหญ่ยังมีค่าที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำเมื่อนำข้อมูลวิเคราะห์ด้วยโครงข่ายเบย์เซียนพบว่าระบบนิเวศทางน้ำของพื้นที่ศึกษาในปัจจุบันมีความเสี่ยงอยู่ในระดับต่ำ

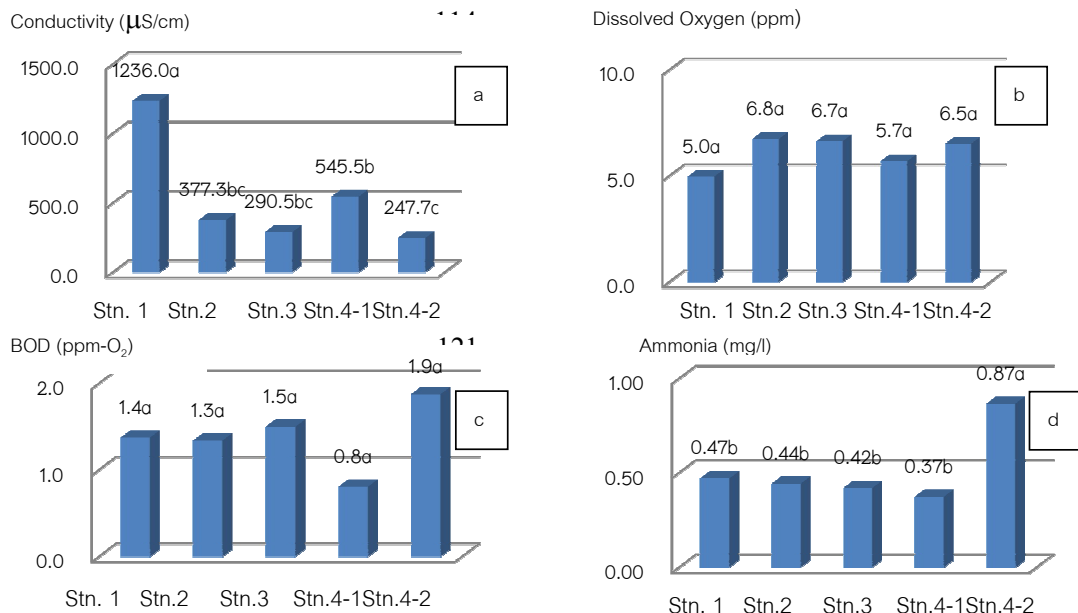


Figure 2 Some water quality parameters in sampling station (Stn.) of the plant genetic conservation area, Bhumibol dam, Tak Province) conductivity (□ S/cm) b) dissolved oxygen (ppm) c) BOD (ppm- O_2) d) ammonia (mg/l)

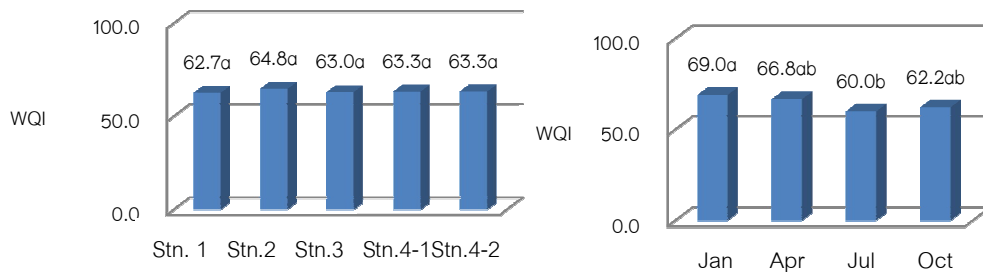


Figure 3 Water quality index (WQI) of sampling stations and sampling months in Bhumibol plant genetic protection area

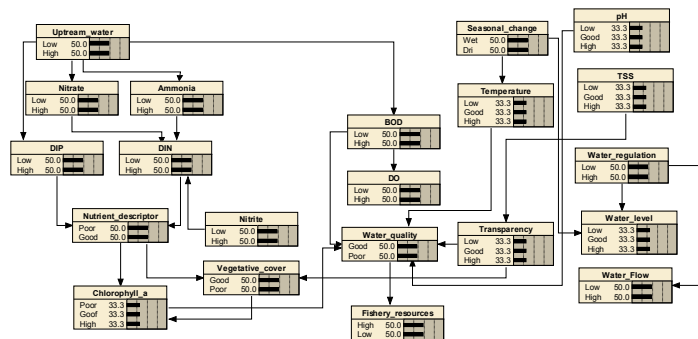


Figure 4 Cause-effect conceptual model of other risk factors to fishery resource in aquatic ecosystems of Bhumibol dam plant genetic protection area using Bayesian network

วิจารณ์

จากการประเมินความเสี่ยงของระบบนิเวศทางน้ำในพื้นที่ปกปักรักษามรดกพืช เชื้อนภูมิพล อำเภอสางเา จังหวัดตาก พบว่าคุณภาพน้ำส่วนใหญ่ยังมีคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำโดยเฉพาะเมื่อพิจารณาจากปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำมีค่าสูงกว่า 3.0 มก./ล. (กรมประมง, 2530) ตลอดช่วงระยะเวลาที่ศึกษาโดยมีคุณภาพน้ำโดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง (วนิดา, 2554) อย่างไรก็ตามเนื่องจากแหล่งน้ำที่ทำการศึกษเป็นลำน้ำย่อยในบริเวณเส้นทางศึกษาธรรมชาติและเป็นลำน้ำที่ไหลลงสู่ลำน้ำปิงที่ปล่อยออกมาจากเขื่อนภูมิพลดังนั้นผลกระทบหรือความเสี่ยงจากการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำจึงไม่เห็นอย่างชัดเจนโดยปัจจัยที่พบว่าอาจเกิดความเสี่ยงต่อแหล่งน้ำได้แก่

แอมโมเนีย ออร์โธฟอสเฟต ปริมาณบีโอดี การนำไฟฟ้าที่ค่อนข้างสูง โดยเฉพาะบริเวณสถานีที่ 1 และสถานีที่ 4-2 ซึ่งเป็นแหล่งน้ำที่มีการเคลื่อนที่ของน้ำน้อยและเป็นแหล่งน้ำที่รองรับน้ำจากลำธารในบริเวณที่มีการทับถมของเศษซากพืชทำให้มีสารอินทรีย์สะสมในแหล่งน้ำและทำให้มีโอกาสที่คุณภาพน้ำจะเสื่อมโทรมได้มากกว่าบริเวณอื่น สำหรับคุณภาพน้ำในพารามิเตอร์อื่นๆ โดยทั่วไปมีคุณภาพใกล้เคียงกับที่รายงานโดยสันธิวัฒน์ และคณะ (2550) ที่ทำการศึกษาคูณภาพน้ำบางประการบริเวณลำน้ำปิงในพื้นที่โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชเชื้อมภูมิพล จังหวัดตาก ตั้งแต่บริเวณใต้เขื่อนภูมิพลจนถึงเหนือเขื่อนแม่ปิงตอนล่าง จำนวน 5 สถานี โดยเก็บข้อมูล 3 ครั้ง ตั้งแต่เดือนมีนาคม ถึงเดือนกรกฎาคม 2550 ผลการศึกษพบว่าคุณภาพน้ำ

มีความผันแปรตามช่วงระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง และคุณภาพน้ำส่วนใหญ่มีความเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ(กรมประมง, 2530)ยกเว้นปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำที่พบว่าบางช่วงเวลามีค่าต่ำกว่า 3.0 ppm และมีโอกาสที่จะเกิดความเสี่ยงต่อระบบนิเวศ การใช้โครงข่ายเบย์เซียนในการประมาณค่าโอกาสที่จะเกิดความเสี่ยงต่อระบบนิเวศแหล่งน้ำพบว่าสามารถใช้ได้ดีในกรณีการศึกษาครั้งนี้ซึ่งมีปริมาณข้อมูลที่จำกัด (Borsuket al., 2006) ดังนั้นการจัดทำมาตรการจัดการความเสี่ยงจึงมุ่งเน้นไปที่การลดปริมาณธาตุอาหารและเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำกรณีที่เป็นแหล่งน้ำนิ่งและการรักษาระดับน้ำในฤดูแล้งกรณีที่เป็นลำธาร

สรุป

การศึกษานี้พบว่าระบบนิเวศทางน้ำท้ายเขื่อนเป็นระบบนิเวศที่มีลักษณะเฉพาะตัวโดยได้รับน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำเหนือเขื่อนในระดับที่ลึกจากผิวน้ำ มีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในรอบวันน้ำมีความโปร่งแสงสูง และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่ค่อนข้างต่ำแหล่งน้ำที่ศึกษาในครั้งนี้อยู่ในพื้นที่ปกปักพันธุกรรมพืชซึ่งเป็นลำน้ำย่อยที่ไหลลงสู่แม่น้ำปิงบริเวณท้ายเขื่อน จึงได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำน้อยกว่าในลำน้ำสายหลัก รวมถึงแหล่งน้ำที่ศึกษาเป็นลำน้ำขนาดเล็กและเป็นบริเวณต้นน้ำ ดังนั้นการจัดการความเสี่ยงของระบบนิเวศจึงควรดำเนินการในลักษณะที่เป็นการรักษาระดับน้ำในช่วงฤดูแล้ง เช่น การสร้างฝายชะลอน้ำในกรณีที่เป็นลำธารส่วนในแหล่งน้ำนิ่งควรมีแผนการจัดการคุณภาพน้ำเช่นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเพื่อช่วยให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์และเป็นออกซิเจนสำหรับใช้ในการหายใจของสัตว์น้ำ รวมถึงการเปิดโอกาสให้ชุมชนที่อยู่บริเวณท้ายเขื่อนแม่ปิงตอนล่าง ได้เข้ามามีส่วนร่วมในกิจกรรมการอนุรักษ์ทรัพยากรสัตว์น้ำของเขื่อนเช่นการปล่อยปลาเพื่อช่วยเพิ่มจำนวนทรัพยากรประมงในพื้นที่ เป็นต้น

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ ดร.ปิยรัชฎ์ เจริญทรัพย์ รองหัวหน้าสำนักงานฝ่ายวิชาการ โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยเพื่อน้อมวุฒิให้คามอนุเคราะห์ประสานงาน การเข้าศึกษาในพื้นที่ และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัย โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากมหาวิทยาลัยพะเยา

เอกสารอ้างอิง

- กรมประมง. 2530. เกณฑ์คุณภาพน้ำเพื่อการคุ้มครองทรัพยากรสัตว์น้ำจืด. เอกสารวิชาการสถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ ฉบับที่ 75/2530
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2556. โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี สนองพระราชดำริโดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. http://www2.egat.co.th/egatrspg/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=115&Itemid=751ค้นเมื่อ 25 มกราคม 2556
- วนิดา ชูอักษร. 2554. การพัฒนาดัชนีคุณภาพน้ำเพื่อการจัดการทรัพยากรน้ำ. วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 7(2):64-73
- สันธิวัฒน์ พัทธ์กุล, รัฐภูมิ พรหมณะ, ศุภลักษณ์ ฤทธิ์ผล, ภาวิณี พงษ์เย็น และวาสนา ณ ฝัน. 2550. คุณภาพน้ำบางประการในพื้นที่โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช อันเนื่องมาจากพระราชดำริ เขื่อนภูมิพล จังหวัดตาก. รายงานฉบับสมบูรณ์เสนอต่อโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช อันเนื่องมาจากพระราชดำริ.
- APHA, AWWA and WEF. 2012. Standard Methods for examination of water and wastewater. 22nd ed. Washington.
- Borsuk, M.E, P. Reichert, A. Peter, E.Schager and P. Burkhardt-Holm. (2006).Assessing the decline of brown trout (*Salmo trutta*) in Swiss river using a Bayesian probability network. Ecological Modelling 192: 224-244.
- Jensen, F.V. 1996. An Introduction to Bayesian Networks. Springer-Verlag New York, Inc., New York.
- Strickland, J.D.H and T.R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Fisheries Research Board of Canada.