

**ความสามารถในการรองรับกรดในอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ
จังหวัดกาญจนบุรี โดยการใช The First-Order Acidity Balance Model
A CRITICAL LOAD FOR ACIDITY OF VAJIRALONGKORN RESERVOIR IN
KANCHANABURI PROVINCE BY USING A FIRST-ORDER ACIDITY BALANCE
MODEL**

จutharat เสงี่ยมวงศ์* ศุภิกา วาณิชชัง
Jutharat Sangiamwong*, Supika Vanitchung

คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
Faculty of Environmental Culture and Ecotourism, Srinakharinwirot University.

*Corresponding author, e-mail: pear_jutharat@hotmail.com

Received: May 1, 2018; Revised: June 20, 2018; Accepted: July 27, 2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการประเมินค่า Critical Load (CL) ของกรด ด้วยวิธี The First-Order Acidity Balance (FAB) Model ซึ่งเป็นวิธีที่อาศัยสมการสมดุลประจุระหว่างแหล่งก่อและแหล่งรองรับซัลเฟตและไนโตรเจนภายใต้สภาวะสมดุลในอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ จังหวัดกาญจนบุรี โดยใช้กลุ่มข้อมูลเป็น 2 กลุ่ม คือ 1) ข้อมูลโดยตรง (Direct Data) ได้แก่ พื้นที่ลุ่มน้ำ พื้นที่ป่าในพื้นที่ลุ่มน้ำ พื้นที่แหล่งน้ำผิวดิน การตกสะสมของซัลเฟตและไนโตรเจน และ 2) ข้อมูลโดยอ้อม (Indirect Data) ได้แก่ น้ำท่ารายปี ไนโตรเจนที่พืชดูดซึมเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ความเข้มข้นของ Base Cation ช่วงก่อนอุตสาหกรรม

ผลการศึกษาคำนวณค่า Critical Load ของกรด พบว่า ไนโตรเจนที่พืชดูดซึมเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตมีค่า 9,980 อิกควิวาเลนท์/เฮกตาร์/ปี ปริมาณน้ำท่ารายปี มีค่า 1.15 เมตร/ปี และค่าเฉลี่ยการตกสะสมของซัลเฟตและไนโตรเจน เท่ากับ 121.96 และ 85.09 อิกควิวาเลนท์/เฮกตาร์/ปี ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าตกสะสมของซัลเฟตและไนโตรเจนในเขตกรุงเทพฯ ถึง 4 เท่า และเลือกใช้ข้อมูลที่มีคุณภาพ ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ และความซับซ้อนของแบบจำลองโดยเมื่อใช้ Acid Neutralization Capacity limit (ANC_{limit}) ที่ 20 ไมโครอิกควิวาเลนท์/ลิตร ที่เป็นระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำมาใช้ประเมินในแบบจำลอง FAB Model พบว่า อ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณมีความสามารถในการรองรับซัลเฟตและไนโตรเจนได้ 6.637 กิโลอิกควิวาเลนท์/เฮกตาร์/ปี

คำสำคัญ: การประเมินความสามารถในการรองรับกรด การตกสะสมของซัลเฟตและไนโตรเจน รูปแบบการสมดุลกรดอันดับหนึ่ง

Abstract

This study estimates the critical load (CL) of acidity for Vajiralongkorn reservoir, Kanchanaburi province by the first-order acidity balance (FAB) model, which bases its calculation on the steady state mass balance between sinks and sources of sulfur and nitrogen. The data required for calculation can be classified into two groups: direct and indirect data. Direct data is that which can be collected directly from sources of information. These include catchment area, forest in the catchment area, lake area and sulfur and nitrogen depositions. The indirect data are the estimated values, annual run off, sulfur and nitrogen uptakes, and base cation concentrations at a pre-industrial rate.

The results estimate of data used to calculate the critical load of acid, nitrogen uptake was 9,980 eq/ha/yr, annual runoff was 1.15 m/yr and annual averages of sulfur and nitrogen depositions were 121.96 and 85.09 eq/ha/yr, respectively. The deposition monitoring amount in Kanchanaburi was 4 times lower compared with Bangkok. Depending on the quality of input data, their sensitivity, and the complexity of the FAB model, a value for acid neutralizing capacity (ANC) limit of 20 $\mu\text{eq/liter}$ was used to calculate CL. To ensure no damage to fish. The critical load of acidity (sulfur and nitrogen) in the Vajiralongkorn reservoir was 6.637 keq/ha/yr.

Keywords: Critical Load Of Acidity, Sulfur and Nitrogen Deposition, The First-Order Acidity Balance (FAB) Model

บทนำ

การพัฒนาเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาประเทศ สำหรับประเทศกำลังพัฒนาอย่างประเทศไทยจึงให้ความสำคัญกับการพัฒนาเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมอย่างมาก ทำให้เกิดปัญหามลพิษต่างๆ ตามมาเนื่องจากอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในกระบวนการผลิต ส่งผลให้ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเพิ่มขึ้น การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลทำให้เกิดก๊าซที่สำคัญ 2 กลุ่ม คือ ก๊าซออกไซด์ของซัลเฟอร์ (Sox) และก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (Nox) [1] ก๊าซทั้งสองกลุ่มนี้นับเป็นมลพิษไร้พรมแดน (Transboundary Pollution) ที่ถูกปล่อยจากแหล่งกำเนิดจะแพร่กระจายออกไปในบรรยากาศ และจับตัวกับฝุ่นละอองในบรรยากาศทำให้สามารถถูกพัดพาไป

ได้ไกลจากแหล่งที่กำเนิดเป็นหลายร้อยกิโลเมตร [2] นอกจากนี้ยังสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำในบรรยากาศ กลายสภาพเป็นกรดเข้มข้นและตกลงสู่พื้นโลก เรียกว่า การตกสะสมของกรดจากบรรยากาศ (Atmospheric Acid Deposition) ผลกระทบจากการตกสะสมของกรดสู่ผิวโลกทั้งพื้นดิน แหล่งน้ำ และวัสดุต่างๆ ทำให้พื้นดินและแหล่งน้ำเกิดความเป็นกรดส่งผลกระทบต่อพืช สัตว์ และมนุษย์ [3] หลายๆ ประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ถึงปัญหาการตกสะสมของกรดมากขึ้น จึงได้รวมกลุ่มกันตั้งเป็นเครือข่ายในการติดตามตรวจวัดการตกสะสมฝนกรดในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียง (Acid Deposition Monitoring Network In East Asia: EANET) เพื่อให้เกิดความเข้าใจร่วมกันถึงสถานภาพของการตกสะสมของกรด [4]

ช่วงก่อนอุตสาหกรรม การตกสะสมของกรดส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ ปัญหาการตกสะสมของกรดจึงไม่รุนแรงและยังอยู่ในวิสัยที่ระบบนิเวศจะรองรับได้ โดยอาศัยองค์ประกอบต่างๆ ที่อยู่ในระบบนิเวศช่วยในการปรับสภาพเพื่อรักษาสมดุลของระบบนิเวศไว้ การพัฒนาอุตสาหกรรมในอัตราที่สูงทำให้ระบบนิเวศซึ่งเป็นแหล่งรองรับมลพิษได้รับมลสารมากเกินไปขีดความสามารถที่ระบบนิเวศจะสามารถปรับสมดุลได้เกิดเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา แหล่งรองรับการตกสะสมของกรดที่สำคัญอย่างหนึ่งคือแหล่งน้ำผิวดิน การตกสะสมของกรดสู่แหล่งน้ำผิวดินในปริมาณมากจะทำให้ระบบนิเวศแหล่งน้ำผิวดินเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ดังนั้นการรู้ระดับความสามารถในการรองรับกรดของแหล่งน้ำผิวดินเป็นอีกหนึ่งแนวทางในการลดปัญหาการตกสะสมของกรด ด้วยการประเมินความสามารถในการรองรับกรด (Critical Load) ซึ่งเป็นการคาดการณ์ปริมาณของสารมลพิษหนึ่งชนิดหรือมากกว่า ที่ระบบนิเวศได้รับในปริมาณมากที่สุดซึ่งต่ำกว่าปริมาณที่ทำให้เกิดผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อดัชนีชีวภาพ (Biological Indicator) ของระบบนิเวศ” [5] ซึ่งสามารถใช้การทดลองหรือแบบจำลองในการอธิบาย โดยวิธีที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน [6] ได้แก่ The First-Order Acidity Balance (FAB) Model เป็นวิธีที่อาศัยหลักการสมดุลมวลภายใต้สภาวะสมดุล [5] ที่มีความจำกัดของข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพในงานวิจัยนี้เลือกใช้แบบจำลอง FAB Model เพื่อประเมินความสามารถในการรองรับกรดที่ไม่ส่งผลกระทบต่อดัชนีชีวภาพของระบบนิเวศแหล่งน้ำผิวดิน โดยอาศัยข้อมูล ได้แก่ ข้อมูลทางอุทกวิทยา ข้อมูลการตกสะสม และข้อมูลคุณภาพน้ำ อีกทั้งจากการตรวจสอบข้อมูลดังกล่าวพบว่า EANET มีการเก็บข้อมูลในพื้นที่อ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ จังหวัดกาญจนบุรี ทั้งยังมีการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องสามารถใช้ประเมินค่าความสามารถในการรองรับกรดได้

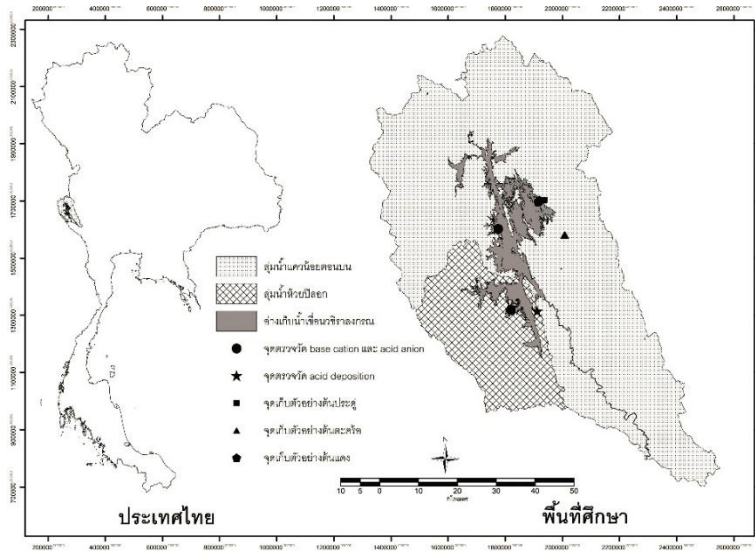
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาแนวทางในการประเมินความสามารถในการรองรับกรดของแหล่งน้ำผิวดินที่เหมาะสมในกรณีการมีข้อมูลที่จำกัด
2. ประเมินความสามารถในการรองรับกรดในอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณด้วย The First-Order Acidity Balance (FAB) Model

วิธีดำเนินการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา

งานวิจัยนี้ เลือกศึกษาในพื้นที่อ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณเนื่องจากเป็นอ่างเก็บน้ำที่มีขนาดใหญ่มีความสำคัญต่อการประกอบอาชีพของประชาชนที่อยู่รอบเขื่อน และยังมีข้อมูลสำคัญที่เพียงพอในการศึกษา ได้แก่ ข้อมูลทางอุทกวิทยา ข้อมูลการตกสะสม และข้อมูลคุณภาพน้ำอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำแควน้อยตอนบนและห้วยปีลอกซึ่งเป็นลุ่มน้ำสาขาของลุ่มน้ำแม่กลอง ดังภาพที่ 1 มีลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่เป็นภูเขาใหญ่น้อยเรียงสลับซับซ้อน สภาพป่าส่วนใหญ่เป็นป่าไม้เบญจพรรณที่มีป่าไผ่แซม [7]



ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษา จุดเก็บตัวอย่างพืช และจุดเก็บตัวอย่างน้ำ

ที่มา: ปรับปรุงจากข้อมูลกรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช

2. The First-Order Acidity Balance (FAB)

Model

FAB Model เป็นการคำนวณค่า Critical Load (CL) ของกรดในระบบนิเวศแหล่งน้ำผิวดิน ซึ่งรวมถึงพื้นที่รองรับน้ำด้วย โดยพิจารณาเฉพาะซัลเฟอร์ (S) และไนโตรเจน (N) ที่อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำที่เกิดจากการตกสะสมเท่านั้น [8] FAB Model เป็นการประเมินที่อาศัยหลักการสมดุลมวล ระหว่างแหล่งกำเนิดมลพิษและแหล่งรองรับมลพิษ [9]

โดยกระบวนการทั้งหมดจะเกิดขึ้นภายในพื้นที่ลุ่มน้ำแล้วถูกพาไปยังแหล่งน้ำและมีกระบวนการกักเก็บไว้ในแหล่งน้ำ [8] แหล่งกำเนิดมลพิษใน FAB Model คือการตกสะสมของซัลเฟอร์และไนโตรเจน แหล่งรองรับมลพิษประกอบด้วย กระบวนการกักซัลเฟอร์และไนโตรเจนไว้ในตะกอนดินใต้ท้องน้ำ กระบวนการดูดซึมเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของพืช วัฏจักรไนโตรเจน และ Base Cation สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ [10]

$$N_{dep} + S_{dep}^* = fN_{upt} + (1 - r)(N_i + N_{de}) + rN_{ret} + rS_{ret} + BC_{dep}^* + (1 - r) BC_w - fBC_{upt} - Alk_{le} \quad (1)$$

เมื่อ N_{dep} คือ การตกสะสมของไนโตรเจน (Nitrogen Deposition) (eq/ha/yr), S_{dep}^* คือ การตกสะสมของซัลเฟอร์ (Sulfur Deposition) ซึ่งไม่รวมที่ได้รับจากทะเล (eq/ha/yr), N_{upt} คือ ไนโตรเจนที่พืชดูดซึมเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต (Nitrogen Uptake) (eq/ha/yr), N_i คือ กระบวนการ Nitrogen Immobilization ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำ (eq/ha/yr), N_{de} คือ ไนโตรเจนที่สูญเสียไปจากกระบวนการ Denitrification (eq/ha/yr), N_{ret} คือ การเก็บกักไนโตรเจนในตะกอนดิน (N Retention) (eq/ha/yr), S_{ret} คือการเก็บกักซัลเฟอร์ในตะกอนดิน (S Retention) (eq/ha/yr), BC_{dep}^* คือ Base Cation จากการตกสะสมซึ่งไม่รวมที่ได้รับจากทะเล (eq/ha/yr), BC_w คือ Base Cation จากการพื้ทาง

เคมี (eq/ha/yr), BC_{upt} คือ Base Cation ที่พืชดูดซึมเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต (eq/ha/yr), Alk_{le} คือ การชะละลายของด่าง (Leaching of Alkalinity) (eq/ha/yr), f คือ สัดส่วนของพื้นที่ป่าในพื้นที่ลุ่มน้ำ, r คือ สัดส่วนระหว่างพื้นที่แหล่งน้ำต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ

จากสมการที่ (1) Base Cation เป็นพารามิเตอร์ที่ยุงยากในการประเมินค่า จึงกำหนดให้ Base Cation ($BC_{dep}^+ + (1 - r)BC_w - fBC_{upt}$) เท่ากับค่าการชะละลายของ Base Cation สุทธิ ซึ่งประเมินได้จากการชะละลายของ Base Cation จากพื้นที่ลุ่มน้ำเข้าสู่แหล่งน้ำผิวดินช่วงก่อนมีอุตสาหกรรม สามารถเขียนสมการได้ดังนี้ [11]

$$(BC_{dep}^+ + (1 - r)BC_w - fBC_{upt}) = (Q[BC]_0^+) \quad (2)$$

โดย Q คือ น้ำท่ารายปี ส่วน Alk_{le} ในสมการที่ (1) หมายถึง ปริมาณ Base Cation ที่อยู่ในระบบนิเวศที่ใช้ในการสะเทินกรด ดังนั้น Alk_{le} จึงเป็น ความสามารถของแหล่งน้ำในการสะเทินกรด หรืออาจเรียกว่า Acid Neutralization Capacity (ANC) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้ [10]

$$Alk_{le} = Q[ANC] \quad (3)$$

การคำนวณ CL ของกรดสำหรับแหล่งน้ำผิวดินด้วยวิธี FAB Model นี้จะใช้ค่า ANC เป็นเกณฑ์ทางเคมีในการระบุสภาวะวิกฤตของระบบนิเวศ ดังนั้นจึงใช้ค่า ANC ที่น้อยที่สุด ที่ใช้ในการสะเทินกรดแล้วไม่เกิดผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อระบบนิเวศ สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$Q[ANC] = Q[ANC]_{limit} \quad (4)$$

เมื่อนำสมการที่ (2) และ (4) แทนเข้าไปในสมการที่ (1) จึงสามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$N_{dep}^+ + S_{dep}^+ = fN_{upt} + (1 - r)(N_i + N_{de}) + rN_{ret} + rS_{ret} + Q([BC]_0^+ - [ANC]_{limit}) \quad (5)$$

3. แนวทางการประเมินพารามิเตอร์เพื่อการคำนวณ Critical Load

เมื่อพิจารณาสมการที่ใช้ในการคำนวณด้วย FAB Model (สมการที่ 5) พบว่ามีพารามิเตอร์ที่ต้องใช้ ดังนี้

3.1 N_{dep}^+ และ S_{dep}^+ การตกสะสมของกรด มี 2 รูปแบบ คือ การตกสะสมแบบเปียก และการตกสะสมแบบแห้ง ซึ่งในการศึกษานี้ใช้ข้อมูล จากโครงการเครือข่ายการติดตามตรวจสอบการตกสะสมของกรดในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียง (EANET) ในประเทศไทยมีจุดตรวจวัดการตกสะสมของกรด อยู่ 6 แห่ง ซึ่งการศึกษานี้เลือกใช้ข้อมูลจากจุดตรวจวัดเขื่อนวชิราลงกรณ ซึ่งตั้งอยู่ที่ Latitude : $14^{\circ}46'N$ Longitude : $98^{\circ}35'E$

3.2 Q คือปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ จากพื้นที่รับน้ำ การศึกษาครั้งนี้ประเมินปริมาณน้ำท่ารายปีโดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ ซึ่งเก็บข้อมูลโดยโรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

3.3 N_{upt} ประเมินโดยใช้ข้อมูลการเจริญเติบโตของป่าในลุ่มน้ำแควน้อยตอนบนและห้วยปิลอก และปริมาณ N ในพีชเด่นของป่าดังกล่าว โดยจะทำการเก็บตัวอย่างส่วนต่างๆ ของพีชเด่นเพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด สามารถคำนวณหา N_{upt} ได้จากสมการดังต่อไปนี้ [11]

$$N_u^{(g)} = NPP \times (ctX_{st} + f_{br*st} \times ctX_{br}) \quad (6)$$

$N_u^{(g)}$ คือ ปริมาณไนโตรเจนที่ใช้เพื่อการเจริญเติบโต ($eq/m^2/yr$), k_{gr} คือ อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อปี ($m^3/m^2/yr$), ρ คือ ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (kg/m^3), NPP คือ ผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิของป่า ($kg/m^2/yr$), ctX_{st} คือ ความเข้มข้นของไนโตรเจนในเนื้อไม้บริเวณลำต้น (eq/kg), ctX_{br} คือ ความเข้มข้นของไนโตรเจนในกิ่ง (eq/kg) และ f_{br*st} คือ สัดส่วนของกิ่งต่อลำต้น

การศึกษานี้จะเลือกเก็บไม้เด่นที่มีค่าดัชนีความสำคัญทางนิเวศวิทยาสูงในอันดับ 1-3 ได้แก่ ประดู่ป่า (*Pterocarpus macrocarpus*), แดง (*Xylocarpus xylocarpa*) และตะคร้อ (*Schleichera oleosa*) [12] ของป่าเบญจพรรณในพื้นที่ลุ่มน้ำที่ศึกษา โดยเก็บตัวอย่างเนื้อไม้บริเวณลำต้นและกิ่ง เท่านั้น ใช้วิธีการเก็บตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยกำหนดเส้นทางการเก็บตัวอย่าง 3 เส้นทาง ระยะทางเส้นทางละ 500 เมตร และกำหนดจุดเก็บตัวอย่างพีชทั้งหมด 10 จุด ห่างกันจุดละ 50 เมตร แต่ละเส้นทางเก็บตัวอย่างพีช 1 ชนิด นำตัวอย่างส่วนเนื้อไม้บริเวณลำต้นและกิ่งของพีชแต่ละชนิดทั้ง 10 จุดมารวมกันเพื่อเป็นตัวแทนของเนื้อไม้บริเวณลำต้นและกิ่งของพีชแต่ละชนิด และวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดด้วยวิธี Kjeldahl Method

3.4 N_i ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำ ในประเทศไทยยังไม่มีกรรายงานข้อมูล Nitrogen Immobilization ของชุดดินต่างๆ ดังนั้นในการกำหนดค่า N_i ในการศึกษาี้ เลือกใช้ข้อมูลหตุยภูมิที่ได้จากการศึกษา ค่า Nitrogen Immobilization ของดินชนิดตามระบบการจำแนกดินของประเทศอังกฤษ [13] โดยนำข้อมูลหตุยภูมิที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อกำหนดค่า N_i ที่เหมาะสมและปลอดภัยสำหรับการศึกษาในครั้งนี้มากที่สุด

3.5 N_{de} ไนโตรเจนที่สูญเสียไปจากกระบวนการ Denitrification คำนวณได้ตามสมการที่ 7 [15]

$$N_{de} = f_{de} \times (N_{dep} - N_i - N_{upt}) \quad (7)$$

โดย f_{de} คือ Denitrification Fraction จะขึ้นอยู่กับชนิดและความชื้นของดิน ซึ่งส่วนใหญ่จะมีค่าต่ำ ยกเว้นในพื้นที่บริเวณ Peat Soil ที่อาจมีค่าสูง โดยค่าเฉลี่ยของ Denitrification Fraction สำหรับแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำมีความสัมพันธ์เชิงเส้นดังต่อไปนี้ [8]

$$f_{de} = 0.1 + 0.7f_{pea} \quad (8)$$

3.6 S_{ret} การเก็บกักซัลเฟอร์ในแหล่งน้ำสันนิษฐานว่าเป็นสัดส่วนกับปริมาณซัลเฟตที่เข้าสู่แหล่งน้ำสุทธิ โดยสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ [14]

$$rS_{ret} = \rho_s \times S_{dep} \quad (9)$$

เมื่อ ρ_s คือ ปัจจัยการเก็บกักซัลเฟตในแหล่งน้ำ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ Kinetic ดังนี้

$$\rho_s = \frac{S_s}{S_s + Q/r} \quad (10)$$

เมื่อ S_s คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลซัลเฟต (Mass Transfer Coefficient For Sulfate)

3.7 N_{ret} การเก็บกักไนโตรเจนในแหล่งน้ำสันนิษฐานว่าเป็นสัดส่วนกับปริมาณไนโตรเจนที่เข้าสู่แหล่งน้ำสุทธิ โดยสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ [10]

$$rN_{ret} = \rho_N [N_{dep} - fN_{upt} - (1 - r) (N_i + N_{de})] \quad (11)$$

เมื่อ ρ_N คือ ปัจจัยการเก็บกักไนเตรทในแหล่งน้ำ (Retention Factor) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$\rho_N = \frac{S_N}{S_N + Q/r} \quad (12)$$

เมื่อ S_N คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลไนเตรท (Mass Transfer Coefficient For Nitrate)

3.8 $[BC]_0^*$ ประเมินผลรวมของ Base Cation จากการผุพังทางเคมี การตกสะสม และพืชดูดซึมไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต [15] ดังสมการ

$$BC_t^* = BC_{dep}^* + BC_w - BC_{upt} + BC_{exc} \quad (13)$$

เมื่อ BC_{exc} คือ ปริมาณ Base Cation ที่ถูกปลดปล่อยออกมาเนื่องจากกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน ดังนั้นสามารถคำนวณ BC_{exc} ได้จากการสมการที่ 14 [16]

$$BC_{exc} = BC_t^* - BC_0^* \quad (14)$$

เนื่องจาก BC_{exc} มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงในระยะยาวของปริมาณ Acid Anion ที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเล จึงสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$BC_{exc} = F(\Delta SO_4^- + \Delta NO_3^-) \quad (15)$$

ดังนั้นสามารถคำนวณ $[BC]_0^*$ ได้จากสมการที่ 14 และสมการที่ 15 ดังนี้ [9]

$$[BC]_0^* = [BC]_t^* - F([SO_4^{2-}]_t^* - [SO_4^{2-}]_0^* + [NO_3^-]_t - [NO_3^-]_0) \quad (16)$$

โดย F คือ อัตราการส่วนการเปลี่ยนแปลงระหว่างความเข้มข้นของ Base Cation และ Acid Aion [16] ซึ่งไม่รวมที่ได้รับจากน้ำทะเล ณ เวลาใดเวลาหนึ่งเทียบกับเวลาช่วงก่อนมีอุตสาหกรรมภายใต้สภาวะที่คงสมบัติน้ำเคมีของน้ำคงที่ (Steady-State Water Chemistry)

3.9 ANC_{limit} คือปริมาณ Base Cation ที่น้อยที่สุดที่สามารถรองรับและสะเทินกรดให้อยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อโครงสร้างและหน้าที่ของระบบนิเวศ อีกทั้งยังเป็นค่าที่เปลี่ยนไปตามสภาวะแวดล้อมของแหล่งน้ำผิวดินและตัวบ่งชี้ทางชีวภาพของแหล่งน้ำผิวดินนั้นๆ ในการศึกษาใช้วิธีการประมาณค่า ANC_{limit} โดยการเปรียบเทียบค่า ANC_{limit} ที่ใช้กันทั่วไป เพื่อพิจารณาความเหมาะสมที่จะนำมาใช้

ผลการวิจัย

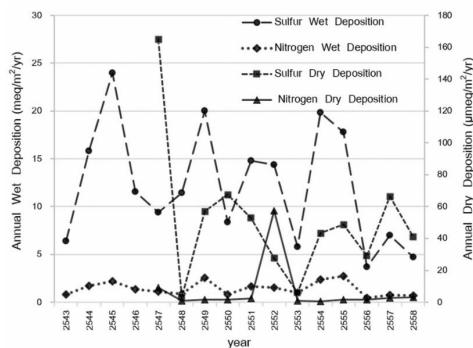
1. การประเมินพารามิเตอร์สำหรับการคำนวณ critical load

ผลการประเมินค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับการคำนวณค่า Critical Load ด้วยวิธี FAB Model และผลการคำนวณค่า Critical Load ของกรดในอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ สามารถแบ่งพารามิเตอร์ได้เป็น 2 ส่วน คือ ข้อมูลโดยตรงและข้อมูลโดยอ้อม ซึ่งการประมาณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทั้งจากการลงพื้นที่เก็บข้อมูลและการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ มีดังนี้

1.1 ข้อมูลโดยตรง (Direct Data)

1.1.1 พื้นที่ลุ่มน้ำ พื้นที่ป่าในลุ่มน้ำละพื้นที่อ่างเก็บน้ำ ประมวลข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (ข้อมูลจากกรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช ปี 2543) ด้วยโปรแกรม AcrMap GIS พบว่า ลุ่มน้ำแม่ น้ำแควน้อยตอนบนมีพื้นที่รวมทั้งสิ้น 4,115 km² และลุ่มน้ำห้วยปิลอกมีพื้นที่รวมทั้งสิ้น 952 km² และมีพื้นที่ป่าทั้งหมด 3,959 km² ซึ่งป่าส่วนใหญ่เป็นป่าเบญจพรรณแสดงดังภาพที่ 1 และจากข้อมูลของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย พบว่า เขื่อนวชิราลงกรณมีพื้นที่อ่างเก็บน้ำเหนือเขื่อน 388 km²

1.1.2 S^{dep} และ N^{dep} การศึกษาที่ใช้ข้อมูลการตกสะสมจากโครงการ EANET โดยการตกสะสมของซัลเฟอร์และไนโตรเจนทั้งแบบเปียกและแบบแห้ง ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2543-2558 แสดงดังภาพที่ 2 พบว่าจุดตรวจวัดกาญจนบุรี (เขื่อนวชิราลงกรณ) มีการตกสะสมของซัลเฟอร์ซึ่งไม่รวมที่ได้รับจากทะเลและไนโตรเจน 121.96 eq/ha/yr และ 85.09 eq/ha/yr ตามลำดับ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อตกสะสมของกรดขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม ได้แก่ ทิศทางและความแรงของลม ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดและแหล่งรองรับมลพิษ ปริมาณฝน นอกจากนี้อาจมีผลมาจากปัจจัยทางธรรมชาติ คือ การเกิดไฟป่าซึ่งล้วนแต่ส่งผลต่อการตกสะสมของ S และ N ได้



ภาพที่ 2 ปริมาณ S^{dep} และ N^{dep} รายปี แบบเปียกและแบบแห้ง พ.ศ. 2543 - 2558

ที่มา: ปรับปรุงจากข้อมูลของโครงการ Acid Deposition Monitoring Network in East Asia

1.1.3 Q ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนวชิราลงกรณ จากโรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ เฉลี่ยในช่วงปี พ.ศ. 2543-2558 มีค่า 5,830.71 MCM/yr ดังนั้นปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยได้เท่ากับ 1.15 m/yr

1.2 ข้อมูลโดยอ้อม (Indirect Data)

1.2.1 N จากการศึกษาวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในชั้นส่วนลำต้นและกิ่งของพืชเด่น ได้แก่ ต้นแดง ต้นประดู่ป่า และต้นตะคร้อ

บริเวณพื้นที่อุทยานแห่งชาติเขาแหลมซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่น้ำแควน้อยตอนบนและลุ่มน้ำห้วยปิลอก แสดงดังตารางที่ 1 การประเมินปริมาณไนโตรเจนในเนื้อเยื่อตามสมการที่ 6 พบว่าป่าเบญจพรรณในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่น้ำแควน้อยตอนบนและลุ่มน้ำห้วยปิลอกมีค่า ไนโตรเจนที่พืชดูดซึมเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต เท่ากับ 9,980 eq/ha/yr

ตารางที่ 1 ปริมาณไนโตรเจนในลำต้นและกิ่งของพืชแต่ละชนิด

พืช	ความเข้มข้นของ N ในเนื้อไม้บริเวณลำต้น (meq/kg)	ความเข้มข้นของ N ในกิ่ง (meq/kg)
แดง	1,136.675	456.340
ประดู่ป่า	635.300	190.857
ตะคร้อ	487.321	95.312
เฉลี่ย	753.099	247.503

1.2.2 N_i ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำ การศึกษาใช้ค่า N_i เท่ากับ 0.0714 keq/ha/yr การวิเคราะห์ความเหมาะสมในการเลือกค่าดังกล่าวมาใช้พบว่า กระบวนการ N Immobilization เป็นการเปลี่ยนไนโตรเจนในรูปสารประกอบอนินทรีย์เป็นสารประกอบอินทรีย์ ซึ่ง N_i ถือเป็นแหล่งรองรับการตกสะสมกรดอย่างหนึ่ง ดังนั้นการเลือกใช้ค่า N_i เท่ากับ 0.0714 keq/ha/yr จึงถือว่ามีความปลอดภัยต่อแหล่งน้ำผิวดินและป้องกันไม่ให้เกิดการคำนวณค่า Critical Load มีค่ามากเกินไป (Overestimated)

1.2.3 N_{de} การประเมิน สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 7 ดังนั้นสามารถคำนวณค่า N_{de} ได้เท่ากับ -996.76 eq/ha/yr

1.2.4 S_{ret} การเก็บกักซัลเฟตในแหล่งน้ำเป็นสัดส่วนกับปริมาณซัลเฟตที่เข้าสู่แหล่งน้ำสุทธิ สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 9 ในการคำนวณค่า Sulfur Retention พบว่ามีตัวแปรค่า S_s เป็นค่าที่ยังไม่มีการวิเคราะห์เฉพาะสำหรับแหล่งน้ำผิวดินในประเทศไทย

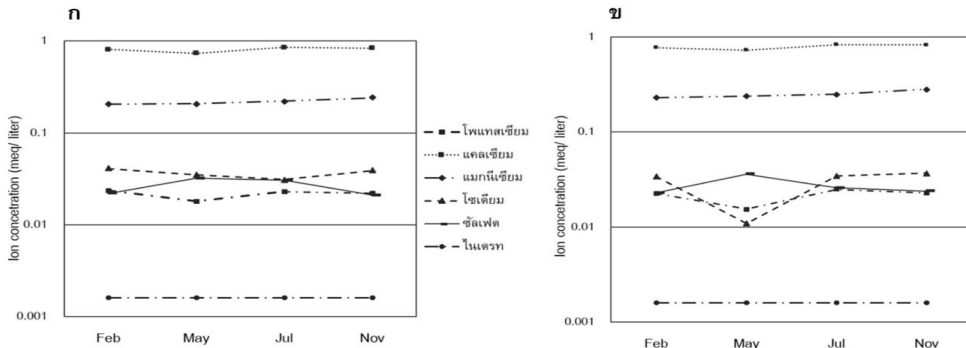
จึงเลือกใช้ค่า S_s เท่ากับ 0.5 m/yr [14] ซึ่งเป็นค่ากลางที่นิยมใช้กันทั่วไปในยุโรปและเอเชีย ดังนั้นอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณมีค่า S_{ret} เท่ากับ 3.95 eq/ha/yr

1.2.5 N_{ret} สามารถคำนวณ N_{ret} ได้จากสมการที่ 11 ค่า S_N เป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่ยังไม่มีการวิเคราะห์สำหรับในพื้นที่ศึกษา จึงเลือกใช้ค่า S_N เท่ากับ 5 m/yr [14] ดังนั้นอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณมีค่า N_{ret} ได้เท่ากับ -1716.58 eq/ha/yr แสดงให้เห็นว่า ไนโตรเจนที่เข้าสู่แหล่งน้ำถูกนำไปใช้ในกระบวนการอื่นๆ จนหมดและไม่ถูกกักเก็บอยู่ในแหล่งน้ำ

1.2.6 $[BC]_0^*$ ประกอบด้วยความเข้มข้นของ Ca^{2+} Mg^{2+} Na^+ และ K^+ โดย $[BC]_0^*$ เป็นศักยภาพตามธรรมชาติของแหล่งน้ำเองในการสะเทินกรด ปริมาณ Ca^{2+} Mg^{2+} Na^+ K^+ SO_4^{2-} ซึ่งไม่รวมที่ได้รับจากทะเลและ NO_3^- ช่วงปี พ.ศ. 2558 จากโครงการติดตามตรวจสอบการตกสะสมของกรดในประเทศไทย พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.8 0.234 0.033 0.022

0.027 และ 0.002 meq/liter ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 3 นั่นคือ $[BC]_i^+$ และ $[SO_4^{2-}]_o^+$ มีค่า 1.088 และ 0.193 meq/liter ตามลำดับ ในขณะที่ $[NO_3^-]_i$ มีค่าน้อยกว่า 0.0016 meq/liter

ซึ่งถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับไอออนตัวอื่น ๆ ดังนั้น $[BC]_o^+$ ตามสมการที่ 16 มีค่า 1.253 meq/liter หรือ 1.253 eq/m³



ภาพที่ 3 ปริมาณ Base Cation Sulfate และ Nitrate ปี พ.ศ. 2558

ก) จุดตรวจวัดบ้านโป่ง ข) จุดตรวจวัดบ้านผาผึ้ง

ที่มา: ปรับปรุงจากข้อมูลของโครงการติดตามตรวจสอบการตกสะสมของกรดในประเทศไทย

1.2.7 ANC_{limit} ในการศึกษาี้เลือกใช้ค่า 20 $\mu\text{eq/liter}$ ซึ่งเป็นค่าที่ใช้กันทั่วไปในยุโรปและเอเชีย [14, 17] ที่ได้จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดของแหล่งน้ำผิวดินและการสูญเสีย Acid Neutralization Capacity (ANC) ในทะเลสาบของประเทศ Norwegian [17] ซึ่ง ANC_{limit} เท่ากับ 20 $\mu\text{eq/liter}$ เป็นค่าที่ต่ำที่สุด ซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบที่เป็นอันตราย

ต่อปลาแซลมอนที่เป็น Sensitive Indicator ซึ่งปลาแซลมอนเป็นปลาน้ำจืด ซึ่งน้ำจืดมีความสามารถในการทนกรดได้น้อยกว่าปลาน้ำจืดที่อยู่ในอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ ดังนั้นการเลือกใช้ค่า ANC_{limit} เท่ากับ 20 $\mu\text{eq/liter}$ จึงถือว่ามีความเหมาะสมและมีความปลอดภัยต่อปลาในอ่างเก็บน้ำ

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลและแหล่งอ้างอิง

ข้อมูล	แหล่งอ้างอิง	การวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล/แหล่งข้อมูล	ข้อจำกัดของข้อมูล	ความเหมาะสมในการใช้งาน
N_{dep} และ S_{dep}^-	โครงการเครือข่ายการติดตามตรวจสอบการตกสะสมของกรดในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียง	โครงการของหน่วยงานภาครัฐ มีความน่าเชื่อถือ	ใช้กับพื้นที่ จ.กาญจนบุรี	เหมาะสม
$[BC]$ $[SO_4^{2-}]$ และ $[NO_3^-]$	โครงการติดตามตรวจสอบการตกสะสมของกรดในประเทศไทย	โครงการของหน่วยงานภาครัฐ มีความน่าเชื่อถือ	ใช้กับพื้นที่อ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ	เหมาะสม
Q	โรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ, การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย	การเก็บข้อมูลของหน่วยงานรัฐวิสาหกิจ มีความน่าเชื่อถือ	ใช้กับพื้นที่อ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ	เหมาะสม

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ข้อมูล	แหล่งอ้างอิง	การวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล/แหล่งข้อมูล	ข้อจำกัดของข้อมูล	ความเหมาะสมในการใช้งาน
N_i	Hall J; et al. (1998). Report prepared under DETR/ NERC Contract EPG1/3/116	ข้อมูลจากงานวิจัยในยุโรป	ใช้ในพื้นที่ประเทศอังกฤษ	ข้อจำกัดของข้อมูล - ไม่มีข้อมูลสำหรับประเทศไทย - เลือกใช้ค่าที่ปลอดภัยต่อการประเมิน CL
ANC_{limit}	Lien L; et al. (1996). The Science of the Total Environment.	มีการนำมาใช้ในงานวิจัยทั้งในเอเชียและยุโรป	ใช้กับแหล่งน้ำผิวดินและแม่น้ำ	เหมาะสม
S_s	Xuemei Ye; et al. (2002). The Science of the Total Environment	มีการนำมาใช้ในงานวิจัยทั้งในเอเชียและยุโรป	ใช้กับแหล่งน้ำผิวดิน	เหมาะสม
S_N	C.E.W., Steinberg; R.F., Wright. (1992). Acidification of Freshwater Ecosystems Implications for the Future. Xuemei Ye; et al. (2002). The Science of the Total Environment	มีการนำมาใช้ในงานวิจัยทั้งในเอเชียและยุโรป	ใช้กับแหล่งน้ำผิวดินประเภท nitric acid added	เหมาะสม

2. การวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลแหล่งข้อมูล และการตรวจสอบความอ่อนไหว

การวิเคราะห์คุณภาพข้อมูลและความเหมาะสมของข้อมูลทุติยภูมิ ที่ใช้เพื่อการคำนวณ CL ในการศึกษาี้ แสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ข้อมูลเฉพาะของพื้นที่ศึกษา ได้แก่ N_{dep} , S_{dep}^+ [BC] $[SO_4^{2-}]$ $[NO_3^-]$ และ Q เป็นข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือ มีการเก็บข้อมูลอย่างสม่ำเสมอ มีแหล่งที่มาจากโครงการของหน่วยงานภาครัฐ นอกจากนี้ยังมีค่าคงที่อื่นๆ ได้แก่ ANC_{limit} , S_s และ S_N ที่มีการนำไปใช้ในงานวิจัยทั้งในเอเชียและยุโรป จึงมีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในการศึกษา ใดๆก็ตามประเทศไทยยังมีความจำกัดของข้อมูล N_i ดังนั้นการศึกษานี้จึงใช้ข้อมูลจากงานวิจัยในประเทศยุโรป และเลือกค่าที่สร้างความปลอดภัยที่สุดต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำผิวดิน

เมื่อพิจารณา S_s , S_N และ N_i ซึ่งเป็นค่าคงที่ ตลอดจนค่า ANC_{limit} การเลือกใช้ค่าแนะนำ

หรือค่าที่ใช้กันในยุโรปและเอเชียจึงมีผลต่อความแม่นยำของการศึกษานี้ ดังนั้นจึงต้องวิเคราะห์ค่าความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ดังกล่าว ตลอดจนค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ โดยตรวจสอบความอ่อนไหว ดังนี้ กรณีที่ 1 ตรวจสอบความอ่อนไหว ANC_{limit} กรณีที่ 2 ตรวจสอบความอ่อนไหว N_i กรณีที่ 3 ตรวจสอบความอ่อนไหว S_N กรณีที่ 4 ตรวจสอบความอ่อนไหว S_s แสดงดังตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์พบว่า การเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลในเดทรททำให้ค่า CL มี %ความอ่อนไหว เป็น 13% และ 10% ตามลำดับ ส่วนการเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์และพารามิเตอร์อื่นๆ มีผลให้ค่า CL มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลในเดทรทจึงเป็นพารามิเตอร์ที่อ่อนไหวต่อการคำนวณค่าความสามารถในการรองรับกรดในอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ

ตารางที่ 3 การตรวจสอบความอ่อนไหวของค่าสัมประสิทธิ์และพารามิเตอร์

สถานการณ์	CL (keq/ha/yr)	% ความอ่อนไหว
กรณีปกติ	6.637	-
กรณี 1 ตรวจสอบความอ่อนไหว ANC _{limit}	CL (ANC = 0)	6.66
กรณี 2 ตรวจสอบความอ่อนไหว N _i	CL (N _i = 214.3)	6.768
กรณี 3 ตรวจสอบความอ่อนไหว S _N	CL (S _N = 2)	7.545
	CL (S _N = 8)	5.966
กรณี 4 ตรวจสอบความอ่อนไหว S _s	CL (S _s = 0.2)	6.634
	CL (S _s = 0.8)	6.639
ค่าเฉลี่ย		6.69
SD		0.46
%CV		6.88

สรุปและอภิปรายผล

ผลการประเมินความสามารถในการรองรับกรดของอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ จังหวัดกาญจนบุรี มีค่าเท่ากับ 6.637 keq/ha/yr หรือมีค่าในช่วง 5.69 – 7.57 keq/ha/yr เมื่อพิจารณาจากค่าที่ประมาณได้แต่ละพารามิเตอร์พบว่า การตกสะสมของซัลเฟอร์และไนโตรเจนมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับความสามารถของแหล่งรองรับ โดย S_{dep} และ N_{dep} ที่ได้จากจุดตรวจวัดกาญจนบุรี (เขื่อนวชิราลงกรณ) มีค่า 0.122 และ 0.085 keq/ha/yr ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่าการตกสะสมที่ได้จากจุดตรวจวัดกรุงเทพมหานครที่มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.47 และ 0.038 keq/ha/yr ตามลำดับ เนื่องจากจุดตรวจวัดกรุงเทพมหานครตั้งอยู่ในเขตเมืองที่มีการจราจรหนาแน่นและใกล้เขตอุตสาหกรรมจึงทำให้มีการใช้เชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ในปริมาณที่สูง ซึ่งการเผาไหม้เชื้อเพลิงทำให้เกิดการปล่อยสารประกอบออกไซด์ของซัลเฟอร์ (SO_x) และสารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ต่างจากจุดตรวจวัดเขื่อนวชิราลงกรณ ที่ตั้งอยู่ในเขตชนบทที่พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นป่าไม้และพื้นที่เกษตรกรรม นอกจากนี้สถานประกอบการส่วนใหญ่

เป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ดังนั้นแหล่งกำเนิดมลพิษในพื้นที่ศึกษาจึงมีปริมาณไม่มาก เมื่อพิจารณาพารามิเตอร์ทั้งหมดที่ใช้สำหรับการประเมินความสามารถในการรองรับกรดพบว่า ไนโตรเจนที่พืชดูดซึมไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต เป็นพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อการรองรับการตกสะสมของกรดได้มากที่สุด

จากข้อมูลการตกสะสมของกรด (ซัลเฟอร์และไนโตรเจน) ช่วงปี พ.ศ. 2543-2558 พบว่า มีค่าการตกสะสมอยู่ในช่วง 0.066 – 0.373 keq/ha/yr ซึ่งมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับความสามารถในการรองรับกรด (CL) ของอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ มีค่าอยู่ในช่วง 5.69 – 7.57 keq/ha/yr แสดงให้เห็นว่าอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณยังสามารถรองรับการตกสะสมของกรดได้อีกค่อนข้างมาก เนื่องจากพื้นที่ลุ่มน้ำแม่น้ำแควน้อยตอนบนและลุ่มน้ำห้วยปีลอกมีลักษณะธรณีวิทยาเป็นเขาหินปูน ทำให้มีผลต่อปริมาณ Base Cation ในแหล่งน้ำ ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญที่กำหนดค่าในการรองรับความเป็นกรดของแหล่งน้ำผิวดิน อีกทั้งพื้นที่โดยรอบอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าและมีอุตสาหกรรมขนาดเล็กจึงมีค่าการตกสะสม

ของกรดไม่สูง ทำให้อ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ ยังมีศักยภาพมากพอในการรองรับการตกสะสมของกรดในอนาคต แต่ถ้าแหล่งรองรับกรดลดลง เช่น พื้นที่ป่าลดลง จะทำให้ความสามารถในการรองรับกรดลดลงด้วย ดังนั้นเพื่อป้องกันปัญหาอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณซึ่งมีความสำคัญทั้งในแง่การเกษตรและการประมงเกิดสภาพความเป็นกรด จึงควรมีมาตรการป้องกันปัญหาการสูญเสียพื้นที่ป่าในพื้นที่รับน้ำ ซึ่งจะส่งผลให้ศักยภาพของแหล่งน้ำผิวดินในการรองรับกรดลดลงไปด้วย

การเปรียบเทียบ CL การศึกษานี้กับการศึกษาในพื้นที่อื่นๆ พบว่า ทะเลสาบส่วนใหญ่ในหมู่เกาะ Svalbard มากกว่า 67% มีค่า Critical Load มากกว่า 1 keq/ha/yr [18] ส่วนทะเลสาบที่อยู่ทางตอนเหนือของสหรัฐอเมริกาและทางตะวันออกเฉียงของแคนาดา มีทะเลสาบจำนวน 82%

มีค่า Critical Load มากกว่า 0.4 keq/ha/yr และทะเลสาบจำนวน 12.9% มีค่าการตกสะสมของกรดมากกว่า Critical Load [19] ส่วนประเทศในภูมิภาคเอเชียที่มีการศึกษาค่า CL ได้แก่ ประเทศจีน ซึ่งพบว่า แหล่งน้ำผิวดินส่วนใหญ่มีค่า CL ของกรดอยู่ในช่วง 2-15 keq/ha/yr [14] และสำหรับประเทศไทยได้มีการศึกษาค่า CL ของกรดในอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ ซึ่งเป็นพื้นที่ศึกษาในครั้งนี้ พบว่า มีค่า CL ของกรด เท่ากับ 6.637 keq/ha/yr เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการรองรับการตกสะสมของกรดของอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณกับแหล่งน้ำผิวดินในประเทศจีน พบว่า อ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณมีความสามารถในการรองรับกรดอยู่ในช่วงเดียวกับแหล่งน้ำผิวดินในประเทศจีน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Poosuk Photirakkit-Prachayanusorn. (2010). *Environmental Chemistry*. Nakhon Pathom: Sal.
- [2] Pollution Control Department. (2015). *Acid Precursors: Transboundary pollution*. Retrieved April 4, 2015, from http://www.pcd.go.th/info_serv/air_aciddeposition.html
- [3] Kowit Suwannahong. (2002). *Study of Acid Deposition in the Western Region of Thailand*. Dissertation, M.Sc. (Environmental Technology). Bangkok: Graduate School of King Mongkuts University of Technology Thonburi.
- [4] Acid Deposition Monitoring Network in East Asia. (2015). *Data Report on the Acid Deposition in the East Asian Region*. Retrieved April 15, 2015, from <http://www.eanet.asia>
- [5] Federal Environmental Agency. (1996). *Manual on methodologies and criteria for mapping critical levels/loads and geographical areas where they are exceeded*. n.p.
- [6] Aherne, J; Posch, M; Dillon, P.J.; & Henriksen, A. (2004). Critical loads of acidity for surface waters in south-central Ontario, Canada: Regional applications of the first-order acidity balance (FAB) model. *Water, Air, and Soil Pollution: Focus*. 4: 25-36.
- [7] Nakkaree Sonsupap. (2007). *Analysis on Distribution and Structure of Benthic Fauna Communities for Assessment of Aquatic Enrichment Status in Vajiralongkorn Reservoir and Srinakarin Reservoir*. Dissertation, M.Sc. (Fisheries Science). Bangkok: Graduate School of Kasetsart University.

- [8] Posch, M; Kämäri, J; Forsius, M; Henriksen, A; & Wilander, A. (1997). Exceedance of Critical Loads for Lakes in Finland, Norway, and Sweden: Reduction Requirements for Acidifying Nitrogen and Sulfur Deposition. *Environmental Management*. 21(2): 291-304.
- [9] Henriksen, A. (1998). *Application of the First-order acidity balance (FAB) model to Norwegian surface waters*. Norwegian Institute for Water Research Oslo, Norway.
- [10] Henriksen, A; Forsius, M; Kämäri, J; Posch, M; & Wilander, A. (1993). *Exceedance of critical loads for lakes in Finland, Norway and Sweden: Reduction requirements for nitrogen and sulfur deposition*. Acid Rain Research Report 32/1993, Norwegian Institute for Water Research, Oslo, Norway.
- [11] C.E.W., Steinberg; R.F., Wright. (1992). *Acidification of Freshwater Ecosystems Implications for the Future*. n.p.
- [12] Phanumard Ladpala; and Samreong Panuthai. (2006). *Structure and Dynamics of Mixed Deciduous Forest at the Maeklong Watershed Research Station*. Forest and Plant Conservation Research Office, Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation. Bangkok.
- [13] Hall, J; Bull, K; Bradley, I; Curtis, C; Freer-Smith, P; Hornung, M; Howard, D; Langan, S; Loveland, P; Reynolds, B; Ulyett, J; & Warr, T. (1998). *Status of UK critical loads and exceedances. Part 1: Critical loads and critical load maps*. Report prepared under DETR/NERC Contract EPG1/3/116.
- [14] Xuemei Ye; Jiming Hao; Lei Duan; & Zhongping Zhou. (2002). Acidification sensitivity and critical loads of acid deposition for surface waters in China. *The Science of the Total Environment*. 289: 189-203.
- [15] ICP Modelling & mapping. (2015). *Critical Loads for Aquatic Ecosystems*. Retrieved April 1, 2015, from http://www.icpmapping.org/Mapping_Manual
- [16] Henriksen, A; & Dillon, P.J. (2001). *Critical load of acidity in south-central Ontario, Canada: I. Application of the Steady-State Water Chemistry (SSWC) model*. Acid Rain Research Report 52/01, Norwegian Institute for Water Research, Oslo, Norway.
- [17] Lien, L.; Raddum, GG; Fjellheim, A; & Henriksen, A. (1996). A critical limit for acid neutralizing capacity in Norwegian surface waters, based on new analyses of fish and invertebrate responses. *The Science of the Total Environment*. 177: 173-193.
- [18] Dupont, J; Clair, T.A.; Gagnon, C; Jeffries, D.S.; Kahl, J.S.; Nelson, S.J.; & Peckenham, J.M. (2005). Estimation of Critical loads of acidity for lakes in northeastern United States and eastern Canada. *Environmental Monitoring and Assessment*. 109: 275-291.
- [19] Lien, L; Henriksen, A; & Traaen, Tor S. (1995). Critical loads of acidity to surface waters: Svalbard. *The Science of the Total Environment*. 160/161: 703-713.