

การศึกษาการสูญเสียน้ำจากการระเหยของอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ในประเทศไทย

The Study on Evaporation Losses from Large Reservoirs in Thailand

อารียา อุทธิมา, กิตติพัฒน์ สาลิกิจ, กฤตยา สมานวงศ์รักษ์, พรรณทิพา ศรีธรรมมา และอิทธิพล ชีรนรวิชย์

Areeya Rittima, Kittipat Saleekij, Krittaya Samarnwongrak, Punthipa Sritamma and Ittiphol Cheeranoravanich

ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล อ.ศาลายา จ.นครปฐม 73170

โทร. 02-889-2138 ต่อ 6384 โทรสาร 02-889-2138 ต่อ 6388

E-mail: egart@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

ข้อมูลทางอุทกวิทยานับเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการวางแผนและบริหารจัดการระบบอ่างเก็บน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ข้อมูลการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำสะท้อนถึงข้อมูลปริมาณน้ำต้นทุนของระบบ บทความฉบับนี้จึงเป็นการนำเสนอผลการศึกษาและทบทวนถึงลักษณะรูปแบบ และแนวโน้มของการสูญเสียน้ำจากการระเหยของอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ในประเทศไทยซึ่งประกอบด้วยอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ รัชประภา ศรีนครินทร์ และสิริกิติ์ โดยอาศัยข้อมูลตรวจวัดจริงจากภาควัดการระเหยร่วมกับวิธีการประมาณค่า 4 วิธี ได้แก่ วิธีงบประมาณ วิธีเอมไพริคัล วิธีเคลื่อนย้ายมวล และวิธีผสมผสาน ผลการศึกษาพบว่า อัตราการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดอันเนื่องมาจากปัจจัยข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาและลักษณะกายภาพของอ่างเก็บน้ำโดยมีค่าการสูญเสียน้ำจากการระเหยสูงถึง 19.68% เทียบกับปริมาณการเก็บกักใช้การที่ระดับเก็บกักเฉลี่ย ในขณะที่ผลการวิเคราะห์การสูญเสียของอ่างเก็บน้ำรัชประภา ศรีนครินทร์ และสิริกิติ์ถือว่าไม่สูงนักเมื่อเทียบกับปริมาณการเก็บกักใช้การของแต่ละอ่างเก็บน้ำกล่าวคืออยู่ในช่วงระหว่าง 3.92% ถึง 7.38% โดยแสดงอิทธิพลของแนวโน้มลดลงสำหรับอ่างเก็บน้ำรัชประภา และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยสำหรับอ่างเก็บน้ำศรีนครินทร์และสิริกิติ์ตามปัจจัยความผันแปรของภูมิอากาศในพื้นที่

คำสำคัญ : การสูญเสียน้ำจากการระเหยของอ่างเก็บน้ำ

Abstract

Hydrological data plays a crucial role for reservoir planning and management especially the reservoir evaporation loss which is regarded as the major data to reflect the amount of water supply of the reservoir system. This paper aimed to present the pattern and tendency of evaporation data from large reservoirs in Thailand; Ubolratana, Rajjaprabha, Srinagarind, and Sirikit Reservoirs using the observed evaporation data together with applying 4 methods; water budget, empirical, mass transfer, and combination methods for estimation. The results transparently showed the upward trend of evaporation rate at Ubolratana Reservoir due to the variation of meteorological data and physical characteristics of the reservoir. It was estimated that the evaporation loss at Ubolratana Reservoir was up to 19.68% of the active storage at the average water level. However, it showed the lower values of evaporation loss for Rajjaprabha, Srinagarind, and Sirikit Reservoirs which ranged between 3.92%-7.38%. In addition, it showed the downward trend of the evaporation rate for Rajjaprabha Reservoir and small upward trend for Srinagarind and Sirikit Reservoirs due to the climate variation in the area.

Key words: Reservoir evaporation losses

1. บทนำ

ความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องถึงลักษณะพื้นฐานของข้อมูลอุทกวิทยาอ่างเก็บน้ำนับได้ว่าเป็นส่วนสำคัญในการวางแผนและบริหารจัดการระบบอ่างเก็บน้ำให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Evaporation Losses) ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่าข้อมูลฝนที่นักวิจัยจำนวนมากให้ความสนใจในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาอันเนื่องมาจากอิทธิพลของวิกฤตการณ์โลกร้อน โดยส่วนใหญ่แล้วข้อมูลการระเหยของน้ำถูกนำมาใช้ในการออกแบบหาขนาดความจุอ่างเก็บน้ำ การประเมินน้ำต้นทุนของระบบ รวมถึงนำมาใช้ศึกษาวิเคราะห์เพื่อกำหนดการปล่อยน้ำที่เหมาะสมจากอ่างเก็บน้ำเพื่อลดความเสี่ยงที่จะปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำผิดพลาดที่เป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาอุทกภัยหรือภัยแล้งตามมา จากการทบทวนเอกสารวรรณกรรมทางด้านการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operation Study) พบว่า ไม่ค่อยมีงานศึกษาที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลการสูญเสียจากอ่างเก็บน้ำอย่างเด่นชัดนัก ยกตัวอย่างเช่น Harboe และคณะ [1] ได้ทำการศึกษาถึงอัตราการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำรายเดือนเฉลี่ยโดยกำหนดให้สัมพันธ์กับข้อมูลระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำเท่านั้น ในขณะที่ Shiao และ Lee [2] ไม่ได้นำข้อมูลการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำใด ๆ มาพิจารณาในสมการสมดุลของน้ำในอ่างเก็บน้ำเลย ด้วยเหตุนี้งานวิจัยชิ้นนี้จึงเป็นการศึกษาและทบทวนถึงลักษณะรูปแบบ และแนวโน้มของข้อมูลการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ที่คัดเลือกในประเทศไทยโดยอาศัยข้อมูลตรวจวัดจริงจากถาดวัดการระเหย (Evaporation Pan) ร่วมกับอาศัยวิธีประมาณค่า 4 วิธี ได้แก่ วิธีงบประมาณ (Water Budget Method) วิธีเอ็มไพริคัล (Empirical Method) วิธีเคลื่อนย้ายมวล (Mass Transfer Method) และวิธีผสมผสาน (Combination Method) เพื่อทำการศึกษาและเปรียบเทียบ ซึ่งผลการศึกษาที่ได้ นอกเหนือจะทราบลักษณะพื้นฐานของข้อมูลที่ปรากฏขึ้นจริงในระบบแล้ว ยังเป็นข้อมูลที่สะท้อนให้เห็นถึงภาพรวมของทรัพยากรน้ำต้นทุนของประเทศในปัจจุบัน และเป็นฐานข้อมูลที่สำคัญในการคาดการณ์น้ำต้นทุนในอนาคต นอกจากนี้ยังเพิ่มความตระหนักให้แก่หน่วยงาน

รับผิดชอบหลักในการเตรียมความพร้อมเพื่อวางแผนและบูรณาการการจัดการน้ำอย่างเหมาะสมต่อไป สำหรับวิธีการในการประมาณค่าการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำสามารถแบ่งได้เป็น 5 กลุ่มหลักดังนี้

- (1) วิธีงบประมาณ (Water Budget Method) เป็นวิธีที่ง่ายในการคำนวณหาปริมาณการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำโดยอาศัยสมการอุทกวิทยาพื้นฐานของผลต่างระหว่างปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธิ (Net Inflow) และปริมาณน้ำที่ไหลออกจากอ่างเก็บน้ำสุทธิ (Net Outflow) ซึ่งจะมีค่าเท่ากับการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเก็บกักของน้ำในอ่างเก็บน้ำ (Storage Change) [3]
- (2) วิธีเอ็มไพริคัล (Empirical Method) เป็นการพัฒนารูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปสมการการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ (Multiple Linear Regression Equation) เพื่อประมาณค่าการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำโดยกำหนดให้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลอุทกวิทยา ตลอดจนข้อมูลลักษณะสำคัญของอ่างเก็บน้ำต่าง ๆ เป็นตัวแปรอิสระ [4-6]
- (3) วิธีงบประมาณพลังงาน (Energy Budget Method) เป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นบนพื้นฐานของกฎอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of Energy Law) กล่าวคือพลังงานที่เข้ามา (Incoming Energy) จะเท่ากับพลังงานที่ออกไป (Outgoing Energy) ซึ่งอาศัยข้อมูลที่สำคัญประกอบด้วย รังสีคลื่นสั้นและคลื่นยาว พลังงานความร้อนที่สัมผัสได้ (Sensible Heat) และพลังงานที่ใช้ไปในกระบวนการระเหยของน้ำ
- (4) วิธีเคลื่อนย้ายมวล (Mass Transfer Method) เป็นวิธีการประมาณค่าการระเหยของน้ำโดยประยุกต์กฎของ Dalton เนื่องมาจากการเคลื่อนตัวของไอน้ำจากพื้นที่ผิวน้ำเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วลม (Wind Velocity) และความแตกต่างของความดันไอ (Vapor Pressure Deficit) ในรูปของ $E = f(u)(e_{sw} - e_d)$ เมื่อ $f(u)$ เป็นฟังก์ชันของความเร็วลม (Wind Speed, u) ซึ่งวัดที่ระดับเหนือพื้นผิวน้ำ และโดยส่วนใหญ่แล้วฟังก์ชันของความเร็วลมจะอยู่ในรูปของ $f(u) = a \cdot u$ เมื่อ a เป็นค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient) ที่ผันแปรตามพื้นที่ศึกษา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นรูปร่างและขนาด

ของอ่างเก็บน้ำ ความสูงและตำแหน่งของสถานีวัดข้อมูล อุตุนิยมวิทยา สภาพอากาศ และอื่น ๆ เป็นต้น [7]

(5) วิธีผสมผสาน (Combination Method) เป็นการประมาณค่า การการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำโดยการผสมผสาน ระหว่างวิธีงบประมาณและวิธีเคลื่อนย้ายมวลเข้าด้วยกันโดยดึง ข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์ (Radiation Energy) และข้อมูล พลังงานอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamic Energy) เป็นข้อมูล หลักในสมการที่ใช้คำนวณ โดยมีสมการที่ใช้ในการประมาณ ค่าการระเหยที่มีชื่อเสียงได้แก่ สมการของ Penman สมการ ของ Priestley-Taylor และสมการของ De Bruin [8]

2. วิธีการศึกษา

รายละเอียดของขั้นตอนการศึกษามีดังนี้

(1) ทำการรวบรวมข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและข้อมูลอุทกวิทยา ของอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่โดยคัดเลือกจากตัวแทนอ่างเก็บน้ำ ของแต่ละภาคในประเทศไทยจำนวน 4 อ่างประกอบด้วย อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ (Ubolratana Reservoir, UB) อ.อุบลรัตน์ จ. ขอนแก่น อ่างเก็บน้ำรัชชประภา (Rajjaprabha Reservoir, RPB) อ.บ้านดุง จ.สุราษฎร์ธานี อ่างเก็บน้ำศรีนครินทร์ (Srinagarind Reservoir, SND) อ.ศรีสวัสดิ์ จ.กาญจนบุรี และ อ่างเก็บน้ำสิริกิตต์ (Sirikit Reservoir, SK) อ.ท่าปลา จ. อุตรดิตถ์ ซึ่งข้อมูลศึกษาได้แก่ ข้อมูลปริมาณการระเหยจาก อ่างเก็บน้ำ (Reservoir Evaporation) ข้อมูลระดับน้ำในอ่างเก็บ น้ำ (Reservoir Water Level) ข้อมูลพื้นที่ผิวน้ำในอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Surface Area) ข้อมูลอุณหภูมิ (Temperature) ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ข้อมูลจำนวน ชั่วโมงแสงแดด (Sunshine Hour) และข้อมูลความเร็วลม (Wind Velocity) รวมถึงข้อมูลการระเหยจากผิวดินการระเหย จากสถานีใกล้เคียง เป็นต้น

(2) ประยุกต์ใช้วิธีงบประมาณในการประมาณค่าการระเหยของน้ำ จากอ่างเก็บน้ำโดยอาศัยข้อมูลศึกษาที่เก็บรวบรวมมาได้จาก ขั้นตอนข้างต้น อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ไม่ได้นำตัวแปรของ ปริมาณน้ำใต้ดินที่ไหลเข้าและออกจากอ่างเก็บน้ำมาพิจารณา เนื่องจากเป็นตัวแปรที่ทำการตรวจวัดได้ยากและมีค่าค่อนข้าง

น้อย และในระยะยาวจะถือว่าข้อมูลปริมาณน้ำใต้ดินค่อนข้าง คงที่

(3) ประยุกต์ใช้วิธีเอมไพริคัลเพื่อพัฒนาแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์ในลักษณะการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ สำหรับเป็น ทางเลือกในการประมาณค่าการระเหยของน้ำโดยอาศัยข้อมูล อุตุนิยมวิทยา ข้อมูลอุทกวิทยา ตลอดจนข้อมูลอื่นๆ ที่จำเป็น เป็นตัวแปรอิสระ โดยการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างตัว แปรตามและตัวแปรอิสระจะอาศัยผลการวิเคราะห์ค่า สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Cross-Correlation) และ สหสัมพันธ์ของตัวแปรเอง (Auto-Correlation) ที่มีค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง และทำการประเมินค่าพารามิเตอร์ ของแบบจำลองโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least-Square Criterion Method)

(4) ประยุกต์ใช้วิธีเคลื่อนย้ายมวลเพื่อพัฒนาแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์อย่างง่ายในรูปของ $E = f(u)(e_{sw} - e_d)$ สำหรับ ประมาณค่าการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำ

(5) ประยุกต์ใช้วิธีผสมผสานตามสมการของ Penman สมการ ของ Priestley-Taylor และสมการของ De Bruin สำหรับ ประมาณค่าการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำ

(6) ศึกษาวิเคราะห์ถึงลักษณะรูปแบบ และแนวโน้มของข้อมูล อัตราการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำที่อาศัยข้อมูลตรวจวัด จริงจากผิวดินการระเหยร่วมกับวิธีประมาณค่าทั้ง 4 วิธี และ คำนวณปริมาณการสูญเสียจากการระเหยจากอ่างเก็บน้ำ ตลอดจนหาค่าความคลาดเคลื่อนของการประมาณค่าการ ระเหยโดยวิธีต่าง ๆ เทียบกับวิธีผิวดินการระเหย สำหรับการ ศึกษาครั้งนี้ไม่ได้นำวิธีงบประมาณมาใช้ในการวิเคราะห์ เนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลที่มีอยู่

3. ผลและวิจารณ์

3.1 ผลการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของทั้ง 4 อ่างเก็บน้ำพบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงปี ค.ศ. 2000-2010 ของอ่างเก็บน้ำอุบล- รัตน์ รัชชประภา และศรีนครินทร์ มีแนวโน้มสูงขึ้น +0.57, +0.66, +0.33 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับ ข้อมูลในอดีตช่วงปี ค.ศ. 1971-2000 ในขณะที่มีแนวโน้ม

ลดลง -0.93 องศาเซลเซียสสำหรับอ่างเก็บน้ำสิริกิติ์ อย่างไรก็ตามเมื่อทำการเปรียบเทียบข้อมูลในปี ค.ศ. 2000 และ 2010 พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยในปี ค.ศ. 2010 มีค่าสูงกว่าปี ค.ศ. 2000 ทั้ง 4 อ่างเก็บน้ำ สำหรับผลการวิเคราะห์ข้อมูลความเร็วลมสูงสุดพบว่า ข้อมูลระยะยาวในช่วงปี ค.ศ. 2000-2010 มีแนวโน้มต่ำกว่าในช่วงปี ค.ศ. 1971-2000 ทุกอ่างเก็บน้ำ อย่างไรก็ตามผลการเปรียบเทียบข้อมูลปัจจุบันพบว่า ความเร็วลมสูงสุดในปี ค.ศ. 2010 ยังคงมีค่าสูงกว่าปี ค.ศ. 2000 ทั้ง 4 อ่างเก็บน้ำ ในขณะที่ข้อมูลจำนวนชั่วโมงแสงแดดและความชื้นสัมพัทธ์ของทั้ง 4 อ่างเก็บน้ำมีความผันแปรขึ้นลงแตกต่างกันไม่มากนักในแต่ละช่วงเวลาดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1 จากข้อมูลบ่งชี้ให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศโดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลอุณหภูมิในประเทศไทยที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการสูญเสียน้ำจากการระเหยของอ่างเก็บน้ำร่วมกับตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาอื่น ๆ

ตารางที่ 1 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของแต่ละอ่างเก็บน้ำ

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา	ช่วงข้อมูลปี ค.ศ.	
	1971-2000	2000-2010
(1) อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์		
อุณหภูมิเฉลี่ย ($^{\circ}\text{C}$)	26.80	27.37
ความเร็วลมสูงสุด (knot)	47.00	38.00
ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ย ต่อวัน (hr)	7.17	6.33
ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)	71.00	71.36
(2) อ่างเก็บน้ำรัชชประภา		
อุณหภูมิเฉลี่ย ($^{\circ}\text{C}$)	26.80	27.46
ความเร็วลมสูงสุด (knot)	47.00	43.00
ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ย ต่อวัน (hr)	NA	5.94
ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)	82.00	79.63
(3) อ่างเก็บน้ำศรีนครินทร์		
อุณหภูมิเฉลี่ย ($^{\circ}\text{C}$)	28.40	28.73
ความเร็วลมสูงสุด (knot)	60.00	25.00
ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ย ต่อวัน (hr)	NA	7.09
ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)	74.00	70.35

(4) อ่างเก็บน้ำสิริกิติ์		
อุณหภูมิเฉลี่ย ($^{\circ}\text{C}$)	27.30	26.37
ความเร็วลมสูงสุด (knot)	63.00	20.00
ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ย ต่อวัน (hr)	NA	6.62
ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)	73.00	73.01

หมายเหตุ : NA ไม่มีการตรวจวัดข้อมูล

3.2 ผลการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลสมมูลอ่างเก็บน้ำ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสมมูลอ่างเก็บน้ำพบว่า ปริมาณน้ำเก็บกักและระดับน้ำเก็บกักเฉลี่ยในปี ค.ศ. 2010 มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของข้อมูลในช่วงปี ค.ศ. 2000-2010 ทั้ง 4 อ่างเก็บน้ำ ในทางกลับกันข้อมูลปริมาณน้ำเก็บกักและระดับน้ำเก็บกักเฉลี่ยในปี ค.ศ. 2000 ของทั้ง 4 อ่างมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยของข้อมูลในช่วง 10 ปีหลัง ในขณะที่ข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเฉลี่ยผันแปรขึ้นลงตามปัจจัยตำแหน่งที่ตั้ง สภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศของแต่ละอ่างเก็บน้ำดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 2 จากข้อมูลแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่ลดลงของปริมาณน้ำเก็บกักของทุกอ่างเก็บน้ำ ซึ่งส่วนหนึ่งเป็นผลจากปริมาณการสูญเสียน้ำจากการระเหยของอ่างเก็บน้ำที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำต้นทุนของระบบอ่างเก็บน้ำที่ลดลงในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา

ตารางที่ 2 ข้อมูลสมมูลอ่างเก็บน้ำของแต่ละอ่างเก็บน้ำ

ข้อมูลอ่างเก็บน้ำ	ช่วงข้อมูลปี ค.ศ.		
	2000-2010	2000	2010
(1) อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์			
ปริมาณน้ำเก็บกักเฉลี่ย (mcm)	1,342.5	1,660.7	1,232.5
ระดับน้ำเก็บกักเฉลี่ย (m. msl.)	178.8	180.1	178.1
ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเฉลี่ย (mcm)	8.6	11.8	12.1
(2) อ่างเก็บน้ำรัชชประภา			
ปริมาณน้ำเก็บกักเฉลี่ย (mcm)	4,116.8	4,206.7	3,921.9
ระดับน้ำเก็บกักเฉลี่ย (m. msl.)	85.5	86.2	84.2
ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเฉลี่ย (mcm)	6.98	8.83	5.47

(3) อ่างเก็บน้ำศรีนครินทร์			
ปริมาณน้ำเก็บกักเฉลี่ย (mcm)	15,178	15,188	14,129
ระดับน้ำเก็บกักเฉลี่ย (m. msl.)	173.4	173.5	170.6
ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเฉลี่ย (mcm)	13.5	16.2	9.7
(4) อ่างเก็บน้ำสิริกิตต์			
ปริมาณน้ำเก็บกักเฉลี่ย (mcm)	6,841.0	7,820.4	5,301.0
ระดับน้ำเก็บกักเฉลี่ย (m. msl.)	150.0	154.8	142.0
ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเฉลี่ย (mcm)	17.5	16.0	17.1

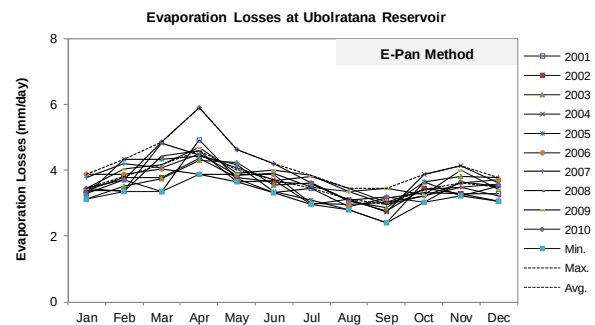
3.3 ผลการประมาณค่าการระเหยจากอ่างเก็บน้ำ

ผลการประมาณค่าการระเหยจากอ่างเก็บน้ำโดยอาศัยข้อมูลตรวจวัดจริงจากถาดวัดการระเหย ซึ่งกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ถาดวัดการระเหยเท่ากับ 0.80 แสดงไว้ในรูปที่ 1 จากผลการวิเคราะห์พบว่าอัตราการระเหยของน้ำผันแปรตามช่วงฤดูกาล ลักษณะอ่างเก็บน้ำ รวมถึงวิธีการประมาณค่า กล่าวคือ ในช่วงฤดูแล้งการสูญเสียจากการระเหยค่อนข้างสูงกว่าฤดูฝน โดยอัตราการระเหยเฉลี่ยจากวิธีถาดวัดการระเหยของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ รัชชประภา ศรีนครินทร์ และสิริกิตต์มีค่าเท่ากับ 3.91, 3.31, 4.33, และ 3.63 มิลลิเมตรต่อวัน ในช่วงฤดูแล้งและมีค่าเท่ากับ 3.37, 3.00, 3.63, และ 3.23 มิลลิเมตรต่อวัน ในช่วงฤดูฝน ตามลำดับ หรือลดลงมาประมาณ 9.37%-16.17% ในช่วงฤดูฝน อัตราการระเหยสูงสุดอยู่ในช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน ดังแสดงในตารางที่ 3 นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าอ่างเก็บน้ำศรีนครินทร์ซึ่งมีพื้นที่ผิวน้ำขนาดใหญ่สุดประกอกับสภาพทางอุตุนิยมวิทยาที่เอื้ออำนวยไม่ว่าจะเป็น อุณหภูมิเฉลี่ย ความเร็วลมสูงสุด จำนวนชั่วโมงแสงแดด รวมถึงความชื้นสัมพัทธ์ ส่งผลให้มีอัตราการระเหยสูงสุดทั้งในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน ซึ่งส่งผลต่อปริมาณน้ำต้นทุนของระบบที่จะเก็บกักไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

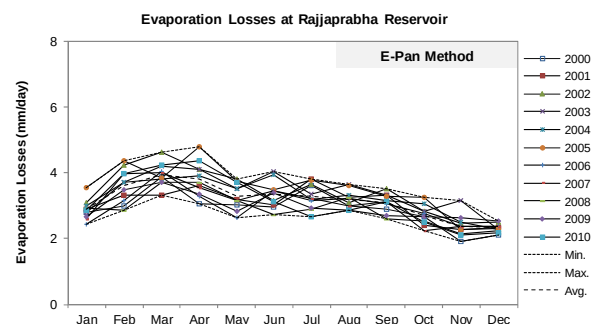
ตารางที่ 3 อัตราการระเหยจากอ่างเก็บน้ำโดยวิธีถาดวัดการ

ระเหย				
อัตราการระเหยจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย (mm/day)				
เดือน	UB	RPB	SND	SK
ม.ค.	3.44	2.88	3.61	2.86
ก.พ.	3.79	3.62	4.24	3.27
มี.ค.	4.16	3.94	4.82	3.85
เม.ย.	4.61	3.81	5.51	4.71
พ.ค.	3.99	3.30	4.41	4.15
มิ.ย.	3.72	3.34	4.00	3.67
ก.ค.	3.44	3.29	3.80	3.11
ส.ค.	3.11	3.19	3.63	3.00
ก.ย.	2.96	3.10	3.68	3.12
ต.ค.	3.41	2.70	3.24	3.26
พ.ย.	3.60	2.38	3.44	3.19
ธ.ค.	3.47	2.32	3.40	2.91
ฤดูแล้ง	3.91	3.31	4.33	3.63
ฤดูฝน	3.37	3.00	3.63	3.23

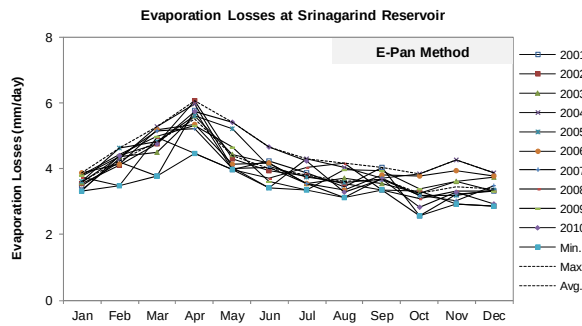
หมายเหตุ : ฤดูแล้ง (ธ.ค.-พ.ค.) ฤดูฝน (มิ.ย.-พ.ย.)



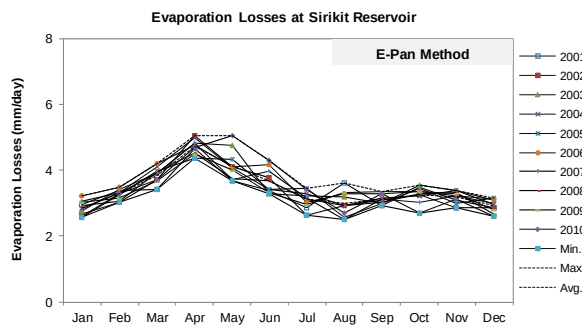
(1.1) อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์



(1.2) อ่างเก็บน้ำรัชชประภา



(1.3) อ่างเก็บน้ำศรีนครินทร์



(1.4) อ่างเก็บน้ำสิริกิติ์

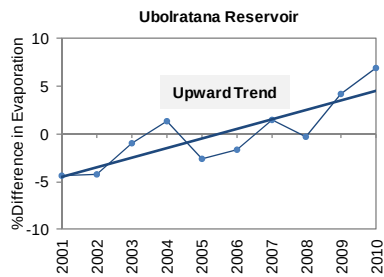
รูปที่ 1 อัตราการระเหยจากอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000-2010

จากการวิเคราะห์อัตราการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำโดยวิธี ภาควิเคราะห์ระเหยในปีต่าง ๆ ของทั้ง 4 อ่างโดยทำการ เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในช่วง 10 ปี ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2001-2010 พบว่า อัตราการระเหยจากอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์มีแนวโน้มเพิ่ม สูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยผันแปรอยู่ระหว่าง -4.40% ถึง +6.99% เทียบกับค่าเฉลี่ยของการระเหยในช่วง 10 ปี ในขณะที่ อัตราการระเหยจากอ่างเก็บน้ำรัชประภาแสดงอิทธิพลของ แนวโน้มลดลงโดยผันแปรค่อนข้างสูงในช่วง -8.28% ถึง +11.82% เทียบกับค่าเฉลี่ยของการระเหยในช่วง 10 ปี สำหรับ อัตราการระเหยจากอ่างเก็บน้ำศรีนครินทร์และสิริกิตตินั้น พบว่า มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเทียบกับค่าเฉลี่ยในช่วงปี ค.ศ. 2001-2010 อยู่ระหว่าง -4.53% ถึง +5.42% และ -2.92% ถึง +5.22% ตามลำดับ ซึ่งผันแปรไม่สูงนัก นอกจากนี้ยังแสดง อิทธิพลของแนวโน้มเพิ่มขึ้น (Upward Trend) ปรากฏให้เห็น เล็กน้อยดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 4 และรูปที่ 2 จากการ วิเคราะห์สภาพทางอุตุนิยมวิทยาพบว่าอ่างเก็บน้ำรัชประภา ซึ่งเป็นอ่างเก็บน้ำเดียวที่ตั้งอยู่ในภาคใต้ของประเทศไทยนั้นมี

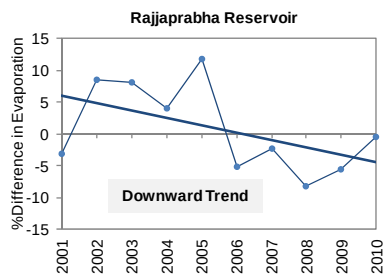
อุณหภูมิเฉลี่ยและจำนวนชั่วโมงแสงแดดต่ำกว่าอ่างเก็บน้ำ อื่นๆ ในขณะที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ค่อนข้างสูง ซึ่งส่งผลทำให้ อัตราการระเหยของน้ำไปยังชั้นบรรยากาศในรูปของไอน้ำ (Water Vapor) ต่ำสุดนั่นเอง

ตารางที่ 4 อัตราการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำโดยวิธีภาควิเคราะห์ระเหยในช่วงปี ค.ศ. 2001-2010

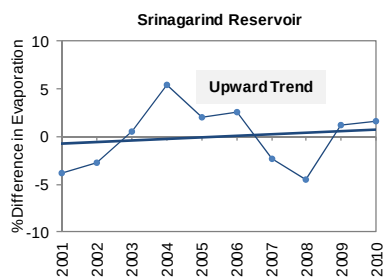
เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเทียบกับค่าเฉลี่ยของการระเหย ในช่วงปี ค.ศ. 2001-2010				
ปี	UB	RPB	SND	SK
2001	-4.40	-3.06	-3.82	-1.95
2002	-4.22	+8.55	-2.74	-2.92
2003	-0.95	+8.06	+0.56	+3.03
2004	+1.35	+3.96	+5.42	+1.23
2005	-2.59	+11.82	+2.01	-1.54
2006	-1.67	-5.07	+2.62	+5.22
2007	+1.51	-2.21	-2.32	-0.87
2008	-0.25	-8.28	-4.53	-2.14
2009	+4.23	-5.45	+1.20	-0.89
2010	+6.99	-0.48	+1.58	+0.84
การระเหยเฉลี่ย (mm/day)	3.64	3.16	3.98	3.43
แนวโน้ม	เพิ่มขึ้น	ลดลง	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น



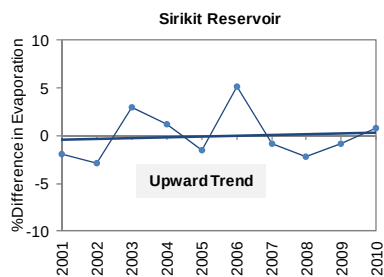
(2.1) อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์



(2.2) อ่างเก็บน้ำรัชชประภา



(2.3) อ่างเก็บน้ำศรีนครินทร์



(2.4) อ่างเก็บน้ำสิริกิติ์

รูปที่ 2 เปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการระเหยเทียบกับค่าเฉลี่ยของการระเหยในช่วงปี ค.ศ. 2001-2010

นอกจากนี้ผลการประมาณการค่าการสูญเสียจากการระเหยของทั้ง 4 อ่างยังพบว่า ที่ระดับเก็บกักน้ำเฉลี่ยของแต่ละอ่างเก็บน้ำ ปริมาณการสูญเสียจากการระเหยของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ รัชชประภา ศรีนครินทร์ และสิริกิติ์มีค่าเท่ากับ 346.55, 172.54, 551.59, และ 260.98 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี

หรือคิดเป็น 19.68%, 4.02%, 7.38%, และ 3.92% เทียบกับปริมาณเก็บกักใช้การ จากข้อมูลจะเห็นได้ว่าอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์นั้นมีการสูญเสียจากการระเหยสูงสุดและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นในอนาคตอีกด้วย ซึ่งนับเป็นตัวแปรที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของน้ำต้นทุนของระบบที่จะนำไปใช้ทั้งในปัจจุบันและอนาคต ตลอดจนแนวทางการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำที่จะต้องดำเนินการภายใต้สภาวะต่อวิกฤติการขาดแคลนน้ำ ทั้งนี้จากการวิเคราะห์สาเหตุ นอกเหนือจากปัจจัยทางสภาพทางอุตุนิยมวิทยาที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการสูญเสียจากการระเหยแล้ว ลักษณะทางกายภาพของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ที่มีความลึกของระดับน้ำเก็บกักเพียง 7 เมตรหรือมีความลึกไม่มากอาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อัตราการระเหยค่อนข้างสูง ในขณะที่ผลการวิเคราะห์ปริมาณการสูญเสียของอ่างเก็บน้ำรัชชประภา ศรีนครินทร์ และสิริกิติ์ถือว่าไม่สูงนักเมื่อเทียบกับปริมาณเก็บกักใช้การของแต่ละอ่างเก็บน้ำกล่าวคืออยู่ในช่วงระหว่าง 3.92%-7.38% ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ปริมาณการสูญเสียจากการระเหยจากอ่างเก็บน้ำ

รายละเอียดข้อมูล	UB	RPB	SND	SK
ระดับเก็บกักเฉลี่ย (m. msl.)	178.75	85.47	173.41	149.99
ปริมาณเก็บกักใช้การ (mcm)	1,761	4,287	7,470	6,660
การระเหยเฉลี่ย (mm/day)	3.64	3.16	3.98	3.43
การสูญเสียจากการระเหย*				
1) ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี	346.55	172.54	551.59	260.98
2) %ปริมาณเก็บกักใช้การ	19.68	4.02	7.38	3.92

หมายเหตุ : *คิดที่ระดับเก็บกักเฉลี่ย

สำหรับเทคนิควิธีในการประมาณค่าการระเหยจากอ่างเก็บน้ำซึ่งประกอบด้วย วิธีบับน้ำ วิธีเอนไพร์กัล วิธีเคลื่อนย้ายมวล และวิธีผสมผสานโดยเลือกสมการ Penman, Priesley-Taylor และ De Bruin มาใช้นั้นพบว่า การประมาณค่าโดยวิธีบับน้ำนั้นมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเทียบกับวิธีถาดวัดการระเหยสูงถึง +74.64% สำหรับอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ และลดต่ำลงเป็น -10.66%, -18.04% และ +22.23% สำหรับอ่างเก็บน้ำ

รัชชประภา ศรีนครินทร์ และศิริกิตติ์ ตามลำดับ ในขณะที่วิธีเอนไพร์กัลซึ่งพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในลักษณะสมการการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุนามนั้นให้ผลการประมาณค่าการระเหยใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัดจริงมากที่สุด โดยมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนในช่วง -1.78% ถึง +0.95% เท่านั้น สำหรับวิธีเคลื่อนย้ายมวลพบว่าให้ผลการประมาณค่าสูงกว่าข้อมูลตรวจวัดจริงทุกอ่างเก็บน้ำ และมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการประมาณค่าสูงกว่าวิธีอื่น ๆ กล่าวคืออยู่ในช่วง +50.66% ถึง +146.46% ในขณะที่การนำวิธีผสมผสานมาประยุกต์ใช้พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับวิธีเคลื่อนย้ายมวล ทั้งนี้การประมาณค่าโดยอาศัยสมการ Penman ให้ค่าสูงกว่าข้อมูลตรวจวัดจริงทุกอ่างเก็บน้ำ โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสูงถึง +13.08% ถึง +98.65% สำหรับการประยุกต์ใช้สมการ Priesley-Taylor ที่พัฒนาคัดแปลงจากสมการ Penman พบว่าให้ผลการประมาณค่าการระเหยจากอ่างเก็บน้ำใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัดจริงมากขึ้น โดยให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนอยู่ระหว่าง -29.22% ถึง +12.46% ในขณะที่การใช้สมการของ De Bruin ซึ่งคัดแปลงมาจากสมการ Penman เช่นเดียวกันพบว่าให้ผลการประมาณค่าต่ำกว่าข้อมูลตรวจวัดจริงทุกอ่างเก็บน้ำ โดยมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนตั้งแต่ -44.86% ถึง -3.07% ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 เปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนของการประมาณค่าโดยวิธีต่าง ๆ เทียบกับวิธีถาดวัดการระเหย

วิธีการประมาณค่า	เปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนเทียบกับวิธีถาดวัดการระเหย			
	UB	RPB	SND	SK
วิธีบ่งน้ำ	+74.64	-10.66	-18.04	+22.23
วิธีเอนไพร์กัล	+0.44	+0.30	+0.95	-1.78
วิธีเคลื่อนย้ายมวล	+146.46	+50.66	+93.66	+119.76
วิธีผสมผสาน				
1) สมการ Penman	+98.65	+13.08	+64.05	+80.64
2) สมการ Priesley-Taylor	+12.46	-29.22	-7.69	+3.08
3) สมการ De Bruin	-3.07	-44.86	-19.87	-11.79

เมื่อทำการวิเคราะห์ถึงสาเหตุของความคลาดเคลื่อนดังกล่าวจากสูตรการคำนวณและประเภทของข้อมูลที่ใช้ในการประมาณค่าของแต่ละวิธีตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 7 นั้นจะเห็นได้ว่า วิธีบ่งน้ำอาศัยข้อมูลสมมูลอ่างเก็บน้ำเป็นหลักได้แก่ข้อมูลปริมาณน้ำเก็บกักที่เวลาต่าง ๆ (S_t, S_{t+1}) ข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง (I_t) และข้อมูลปริมาณการระบายน้ำจากอ่าง (R_t) เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ความถูกต้องในการประมาณค่าการระเหยโดยวิธีนี้จึงขึ้นอยู่กับความน่าเชื่อถือได้ของข้อมูลที่ทำให้การตรวจวัดและรวบรวมไว้ ยิ่งไปกว่านั้นการประมาณค่าด้วยวิธีนี้ได้รวมเทอมประมาณการสูญเสียน้ำจากการรั่วซึม (Reservoir Seepage) เข้าไปด้วย ทำให้ได้ค่าประมาณการสูงกว่าข้อมูลตรวจวัดจริง อย่างไรก็ตามวิธีบ่งน้ำถือได้ว่าเป็นวิธีที่ง่ายโดยสามารถประมาณค่าข้อมูลการระเหยรายวัน รายเดือน รายฤดูกาล และรายปีได้สะดวกและรวดเร็ว สำหรับวิธีเอนไพร์กัลนั้นการศึกษานี้ได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียน้ำจากการระเหยโดยกำหนดให้เป็นฟังก์ชันกับข้อมูลปริมาณการระเหยที่เวลาซ้อนหลัง 1-3 วัน ($E_{t-1}, E_{t-2}, E_{t-3}$) ข้อมูลปริมาณน้ำเก็บกัก (S_t) ข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง (I_t) ข้อมูลจำนวนชั่วโมงแสงแดด (Sn_t) ข้อมูลอุณหภูมิ (Temp) ข้อมูลความเร็วลมสูงสุด (MaxWd) และข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ (RH) หรือ $E_t = f(E_{t-1}, E_{t-2}, E_{t-3}, S_t, I_t, Sn_t, Temp, MaxWd, RH)$ ในรูปของสมการการถดถอยเชิงเส้นพหุนาม หรือ $E_t = aE_{t-1} + bE_{t-2} + cE_{t-3} + dS_t + eI_t + fSn_t + gTemp + hMaxWd + gRH_t$ เมื่อ a-h เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลอง ในขณะที่วิธีเคลื่อนย้ายมวลซึ่งอาศัยข้อมูลความเร็วลมเป็นหลักโดยกำหนดฟังก์ชันความเร็วลมให้อยู่ในรูปสมการ $f(u) = a(1 + MaxWd/16)$ เมื่อ a = 0.36 พบว่าให้ค่าประมาณการสูงกว่าข้อมูลตรวจวัดจริงค่อนข้างมาก สำหรับการประมาณค่าโดยใช้สมการ Penman ซึ่งให้ค่าสูงกว่าข้อมูลตรวจวัดจริงจากถาดวัดการระเหยนั้นพบว่าสูตรการคำนวณจะอาศัยข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับข้อมูลพลังงานอากาศพลศาสตร์ หรือข้อมูลความเร็วลมร่วมด้วย ส่งผลให้ผลการประมาณค่าสูงกว่าข้อมูลตรวจวัดจริงในทิศทางเดียวกันกับวิธีเคลื่อนย้ายมวล ในขณะที่การประมาณค่าโดยใช้สมการของ Priesley-Taylor ซึ่ง

ดัดแปลงสมการของ Penman และกำหนดให้ค่าการระเหยขึ้นอยู่กับเทอมของรังสีแสงอาทิตย์เป็นหลัก และกำหนดให้เทอมอากาศพลศาสตร์เป็นสัดส่วนคงที่กับการระเหยของน้ำทั้งหมดนั้น พบว่าให้ผลใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัดจริงมากกว่าวิธีเคลื่อนย้ายมวล หรือวิธีผสมผสานโดยใช้สมการอื่นๆ ในขณะที่การใช้สมการของ De Bruin ซึ่งได้ดัดแปลงสมการของ Penman และใช้พารามิเตอร์ α ที่ได้จากสมการของ Priestley-Taylor เพื่อพัฒนาสมการในการประมาณค่าการระเหยใหม่ที่กำหนดให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันของเทอมอากาศพลศาสตร์นั้นพบว่า ยังคงให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการประมาณค่าค่อนข้างสูงและให้ผลต่ำกว่าข้อมูลตรวจวัดจริง แสดงให้เห็นว่าการนำข้อมูลความเร็วลม ($f(u)$) รวมถึงข้อมูลความแตกต่างของความดันไอ ($e_{sw} - e_d$) อาจมีสารสนเทศมากเกินไปทำให้ผลการประมาณค่าการสูญเสียน้ำจากการระเหยคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงค่อนข้างสูง

ตารางที่ 7 สูตรการคำนวณและประเภทของข้อมูลที่ใช้ในการประมาณค่าของแต่ละวิธี

วิธีการประมาณค่า	ประเภทข้อมูลที่ใช้		
	สมดุลอ่างเก็บน้ำ	พลังงานแสงอาทิตย์	พลังงานอากาศพลศาสตร์
วิธีบังน้ำ	✓	-	-
วิธีเอนไพร์กัล	✓	✓	✓
วิธีเคลื่อนย้ายมวล	-	-	✓
วิธีผสมผสาน			
1) สมการ Penman	-	✓	✓
2) สมการ Priesley-Taylor	-	✓	✓
3) สมการ De Bruin	-	✓	✓

หมายเหตุ : สมการที่ใช้ในการคำนวณ/รูปแบบของแบบจำลอง

- (1) วิธีบังน้ำ $E_t = S_t - S_{t+1} + I_t - R_t$
- (2) วิธีเอนไพร์กัล $E_t = f(E_{t-1}, E_{t-2}, E_{t-3}, S_t, I_t, S_n, \text{Temp}, \text{Max Wd}, RH_t)$
- (3) วิธีเคลื่อนย้ายมวล $E = f(u)(e_{sw} - e_d)$
- (4) วิธีผสมผสาน: Penman*, Priesley-Taylor**, De Bruin***

$$E = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{(Q_m - Q_t)}{\rho_w L_v} + \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) f(u) (e_{s\alpha} - e_d) *$$

$$E = \alpha \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{(Q_m - Q_t)}{\rho_w L_v} **$$

$$E = \frac{\alpha}{\alpha - 1} \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) \frac{f(u)(e_{s\alpha} - e_d)}{\rho_w L_v} ***$$

4. สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาพบว่าอัตราการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ ซึ่งเป็นอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดอันเนื่องมาจากปัจจัยข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาที่เพิ่มสูงขึ้นและลักษณะกายภาพของอ่างเก็บน้ำเองโดยมีค่าการสูญเสียน้ำจากการระเหยสูงถึง 19.68% เทียบกับปริมาตรเก็บกักใช้การสำหรับอัตราการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำศรีนครินทร์ และสิริกิติ์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยโดยปริมาณการสูญเสียน้ำคิดเป็น 3.92% และ 7.38% ของปริมาตรเก็บกักใช้การตามลำดับ อย่างไรก็ตามอัตราการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำรัชชประภา มีแนวโน้มลดลงอันเนื่องมาจากสภาพทางอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ที่แตกต่างไปจากอ่างเก็บน้ำอื่น ๆ โดยปริมาณการสูญเสียน้ำคิดเป็น 4.02% ของปริมาตรเก็บกักใช้การ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ในการสนับสนุนทุนวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] R. Harboe, T.R. Gautam and P.R. Onta, "Conjunctive Operation of Hydroelectric and Thermal Power Plants", Journal of Water Resources Planning and Management, Vol.120, No.6, 1994, pp. 778-793.
- [2] J.T. Shiau and H.C. Lee, "Derivation of Optimal Hedging Rules for a Water-Supply Reservoir through Compromise Programming", Water Resource Management, Vol.19, 2005, pp. 111-132.

- [3] M.E. Jensen, "Estimating Evaporation from Water Surface", The CSU/ARS Evapotranspiration Workshop, Fort Collins, 15 Mar 2010.
- [4] C. Sivapragasam, F. Vasudevan, J. Maran, C. Bose, S. Kaza and N. Ganesh, "Modeling Evaporation-Seepage Losses for Reservoir Water Balance in Semi-Arid Regions", Water Resource Management, Vol.23, 2009, pp. 853-867.
- [5] K. Senturk and F.K. Oruc, "A Case Study : Evaporation Estimation at Oymapinar Dam", BALWOIS. Ohrid, Republic of Macedonia, 25-29 May 2010.
- [6] W.G. Knisel, "A Factor Analysis of Reservoir Losses", Water Resource Management, Vol.2, 1970, pp. 491-498.
- [7] S.K. Jain and V.P. Singh, "Water Resources Systems Planning and Management", Elsevier Science, 2003, New York, 857 p.
- [8] K.G. Soultana and Z.A. Vassilis, "Comparison Of Different Evaporation Estimation Methods Applied to Lake Vegoritis, Greece", Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering, School of Agriculture, Aristotle University of Thessaloniki, Greece.