การศึกษาการสูญเสียน้ำจากการระเหยของอ่างเก็บน้ำขนาดกลางและขนาดเล็กในประเทศไทย

The Study on Evaporation Losses from Medium and Small Reservoirs in Thailand

อารียา ฤทธิมา, กิตติพัฒน์ สาลีกิจ, กฤตยา สมานวงศ์รักษ์, พรรณทิพา ศรีธรรมมา และอิทธิพล ชีรนรวนิชย์

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

ข้อมูลการระเหยของน้ำนับเป็นข้อมูลทางอุทกวิทยาที่มีความสำคัญต่อปริมาณน้ำต้นทุนของระบบอ่างเก็บน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอ่างเก็บน้ำขนาดกลางและขนาดเล็กซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่เขตร้อนที่มีปริมาณการสูญเสียน้ำจากการระเหยค่อนข้างสูงอย่างประเทศไทย บทความฉบับนี้จึงเป็นการนำเสนอผลการศึกษาและทบทวนถึงลักษณะรูปแบบ และแนวโน้มของการสูญเสียน้ำจากการระเหยของอ่างเก็บน้ำขนาดกลางและขนาดเล็กซึ่งประกอบด้วยอ่างเก็บน้ำทับเสลา ป่าสักชลสิทธิ์ หนองปลาไหล แม่กวงอุดมธารา และยางชุม โดยอาศัยข้อมูลตรวจวัดจริงจากถาดวัดการระเหยร่วมกับวิธีการประมาณค่า 4 วิธี ได้แก่ วิธีงบน้ำ วิธีเอมไพริกัล วิธีเคลื่อนย้ายมวล และวิธีผสมผสาน ผลการศึกษาพบว่าที่ระดับเก็บกักเฉลี่ยปริมาณการสูญเสียน้ำจากการระเหยของอ่างเก็บน้ำค่อนข้างสูงโดยผันแปรระหว่าง 3.31%-21.01% ของปริมาตรเก็บกักใช้การของอ่างเก็บน้ำ ยิ่งไปกว่านั้นส่วนใหญ่ยังมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นในอนาคต อันเนื่องมาจากปัจจัยความผันแปรของข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาในปัจจุบันและลักษณะทางกายภาพของอ่างเก็บน้ำ ในขณะที่การประมาณการค่าการระเหยโดยวิธีเอมไพริกัลให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนต่ำสุดเมื่อเทียบกับวิธีการประมาณค่าอื่น ๆ

คำสำคัญ : การสูญเสียน้ำจากการระเหยของอ่างเก็บน้ำ

Abstract

In the hydrological system, evaporation data plays a crucial role particularly for the water availability estimation of the reservoir system especially the medium and small size reservoirs which are located in the arid region and produce large volume of evaporation loss like Thailand. This paper aimed to present the pattern and tendency of evaporation data from medium and small reservoirs; Tubsalao, Pasakchonlasith, Nongplalai, Maekuang Udomthara, and Yangchum Reservoirs using the observed evaporation data together with applying 4 methods; water budget, empirical, mass transfer, and combination methods for estimation. The results showed high percentage in evaporation losses which ranged between 3.31%-21.01% of the active storage for all reservoirs. Moreover, the evaporation rate tended to be increased in the future mostly due to the high variation in meteorological data at the present time and the physical characteristics of the reservoirs. Additionally, using the empirical method for evaporation loss estimation also gave the lower percentage error than others.

Key words: Reservoir evaporation losses

1. บทนำ

ข้อมูลการระเหยของน้ำ (Evaporation Data) นับเป็นข้อมูลทางอุทกวิทยาที่มีความสำคัญต่อปริมาณน้ำต้นทุนของระบบอ่างเก็บน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งอ่างเก็บน้ำขนาดกลางและขนาดเล็กซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่เขตร้อนที่มีปริมาณการสูญเสียน้ำจากการระเหยค่อนข้างสูงอย่างประเทศไทย โดยทั่วไปแล้วอ่างเก็บน้ำขนาดกลางและขนาดเล็กถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่ม

RECEIVED 7 December, 2012

ACCEPTED 8 January, 2013

ขีดความสามารถในการตอบสนองความต้องการน้ำในกิจกรรมต่าง ๆ จากข้อจำกัดของโครงการขนาดใหญ่ที่มีอยู่เดิมในหลายๆ ประเทศพบว่าได้มีการประมาณการปริมาณการสูญเสียน้ำจากการระเหยของอ่างเก็บน้ำโดยให้ความสำคัญกับอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กเป็นพิเศษยกตัวอย่างเช่น ในประเทศออสเตรเลียประมาณการว่าปริมาณการระเหยสูงถึง 40% ของปริมาณน้ำต้นทุนที่เก็บกักไว้ในพื้นที่แปลงเพาะปลูก Mugabe และคณะรายงานว่าสัดส่วนปริมาณการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กในประเทศซิมบับเวในช่วงฤดูร้อนค่อนข้างสูง หรือบริเวณทางตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศสเปนที่มีการประมาณการว่าปริมาณการสูญเสียน้ำจากการระเหยของอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กสูงถึง 8.3% ของความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรกรรม หรือคิดเป็น 27% ของความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคเป็นจำนวนกว่า 2 ล้านครัวเรือน [1] ด้วยเหตุนี้งานวิจัยชิ้นนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและทบทวนถึงลักษณะรูปแบบ และแนวโน้มของข้อมูลการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำขนาดกลางและขนาดเล็กในประเทศไทยโดยอาศัยข้อมูลตรวจวัดจริงจากถาดวัดการระเหย (Evaporation Pan) ร่วมกับอาศัยวิธีวิเคราะห์ 4 วิธีได้แก่ วิธีงบน้ำ (Water Budget Method) วิธีเอมไพริกัล (Empirical Method) วิธีเคลื่อนย้ายมวล (Mass Transfer Method) และวิธีผสมผสาน (Combination Method) ซึ่งผลการศึกษาที่ได้จะเป็นฐานข้อมูลที่สำคัญที่สะท้อนให้เห็นถึงปริมาณน้ำต้นทุนของระบบอ่างเก็บน้ำขนาดกลางและขนาดเล็กในประเทศไทยเพื่อเสริมศักยภาพในการบริหารจัดการน้ำทั้งระบบของประเทศ

การระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำนับเป็นสาเหตุหลักของการสูญเสียน้ำจากอ่างเก็บน้ำ นอกเหนือจากการรั่วซึมของน้ำในอ่างเก็บน้ำ (Seepage Losses) และการไหลซึมของน้ำผ่านตัวเขื่อน (Leakage through Dam) [2] การระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำ (Evaporation Losses) เป็นกระบวนการที่น้ำจากผิวของอ่างเก็บน้ำได้รับพลังงานความร้อนทำให้แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำโดยเฉพาะบริเวณผิวน้ำที่รับพลังงานความร้อนโดยตรงลดลงอย่างรวดเร็วจนทำให้อนุภาคของน้ำหลุดลอยขึ้นสู่บรรยากาศในรูปของไอน้ำ โดยปกติแล้วการสูญเสียน้ำอันเนื่องมาจากการระเหยจะขึ้นอยู่กับลักษณะผิวน้ำที่มีการระเหยกล่าวคือ อ่างเก็บน้ำที่มีผิวน้ำน้อยแต่มีความลึกของน้ำมาก ปริมาณการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำจะค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับอ่างเก็บน้ำที่มีลักษณะตื้นและผิวน้ำมีขนาดกว้าง นอกจากนี้ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาไม่ว่าจะเป็นรังสีอาทิตย์ (Radiation) ความเร็วลม (Wind Speed) อุณหภูมิ (Temperature) ความดันไอ (Vapor Pressure) ของอากาศบริเวณรอบ ๆ ผิวน้ำ ละติจูด (Latitude) ฤดูกาล (Season) เวลา (Time) ความชื้น (Humidity) และลักษณะภูมิอากาศ (Climate Condition) ยังเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการระเหย แม้กระทั่งคุณภาพน้ำ (Water Quality) ก็ยังมีอิทธิพลต่ออัตราการระเหย สำหรับวิธีการในการประมาณค่าการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำโดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 5 กลุ่มหลักได้แก่ วิธีงบน้ำ วิธีเอมไพริกัล วิธีงบพลังงาน วิธีเคลื่อนย้ายมวล และวิธีผสมผสานซึ่งสมการที่ใช้ในการประมาณค่าการระเหยที่มีชื่อเสียงได้แก่ สมการของ Penman, Priestley-Taylor และ De Bruin [3]

2. วิธีการศึกษา

รายละเอียดของขั้นตอนการศึกษามีดังนี้

(1) ทำการรวบรวมข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและข้อมูลอุทกวิทยาของอ่างเก็บน้ำขนาดกลางและขนาดเล็กในประเทศไทยโดยคัดเลือกอ่างเก็บน้ำขนาดกลางซึ่งมีปริมาตรเก็บกักตั้งแต่ 100-1,000 ล้านลูกบาศก์เมตรจำนวน 4 อ่างประกอบด้วย อ่างเก็บน้ำทับเสลา (Tubsalao Reservoir, TB) อ.ลานสัก จ.อุทัยธานี อ่างเก็บน้ำป่าสักชลสิทธิ์ (Pasakchonlasith Reservoir, PS) อ.พัฒนานิคม จ.ลพบุรี อ่างเก็บน้ำหนองปลาไหล (Nongplalai Reservoir, NP) อ.ปลวกแดง จ.ระยอง อ่างเก็บน้ำแม่กวงอุดมธารา (Maekuang Udomthara Reservoir, MKU) อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ และอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กซึ่งมีปริมาตรเก็บกักต่ำกว่า 100 ล้านลูกบาศก์เมตรจำนวน 1 อ่างคือ อ่างเก็บน้ำยางชุม (Yangchoom Reservoir, YC) อ.กุยบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์

(2) ประยุกต์ใช้วิธีงบน้ำในการประมาณค่าการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำโดยอาศัยข้อมูลศึกษาที่เก็บรวบรวมมาได้จากขั้นตอนข้างต้น วิธีงบน้ำเป็นวิธีการประมาณการที่ง่าย

กล่าวคืออาศัยสมการอุทกวิทยาพื้นฐานของผลต่างระหว่างปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธิ (Net Inflow) และปริมาณน้ำที่ไหลออกจากอ่างเก็บน้ำสุทธิ (Net Outflow) ซึ่งจะมีค่าเท่ากับการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเก็บกักของน้ำในอ่างเก็บน้ำ (Storage Change) [4] อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ไม่ได้นำตัวแปรของปริมาณน้ำใต้ดินที่ไหลเข้าและออกจากอ่างเก็บน้ำมาพิจารณาเนื่องจากเป็นตัวแปรที่ทำการตรวจวัดได้ยากและมีค่าค่อนข้างน้อย และในระยะยาวจะถือว่าข้อมูลปริมาณน้ำใต้ดินค่อนข้างคงที่

(3) ประยุกต์ใช้วิธีเอมไพริกัลเพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในลักษณะการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณในการประมาณค่าการระเหยของน้ำโดยอาศัยข้อมูลอุตุนิยมวิทยาข้อมูลอุทกวิทยา ตลอดจนข้อมูลอื่นๆ ที่จำเป็นเป็นตัวแปรอิสระ [5-7] โดยการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจะอาศัยผลการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Cross-Corrrelation) และสหสัมพันธ์ของตัวแปรเอง (Auto-Correlation) ที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง และทำการประเมินค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least-Square Criterion Method)

(4) ประยุกต์ใช้วิธีเคลื่อนย้ายมวลเพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อย่างง่ายในรูปของ $E = f(u)(e_{sw} - e_d)$ สำหรับประมาณค่าการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำโดยกำหนดฟังก์ชันความเร็วลมให้อยู่ในรูปสมการ $f(u) = a(1+MaxWd/16)$ เมื่อ a = ค่าสัมประสิทธิ์กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.36 และ MaxWd = ความเร็วลมสูงสุด

(5) ประยุกต์ใช้วิธีผสมผสานตามสมการของ Penman, Priestley-Taylor และ De Bruin สำหรับประมาณค่าการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำ

(6) ศึกษาวิเคราะห์ถึงลักษณะรูปแบบ และแนวโน้มของข้อมูลอัตราการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำที่อาศัยข้อมูลตรวจวัดจริงจากถาดวัดการระเหยร่วมกับวิธีประมาณค่าทั้ง 4 วิธี และคำนวณปริมาณการสูญเสียน้ำจากการระเหยจากอ่างเก็บน้ำ ตลอดจนหาค่าความคลาดเคลื่อนของการประมาณค่าการระเหยโดยวิธีต่าง ๆ เทียบกับวิธีถาดวัดการระเหย สำหรับการศึกษานี้ไม่ได้นำวิธีงบพลังงานมาใช้ในการวิเคราะห์เนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลที่มีอยู่

3. ผลและวิจารณ์

3.1 ผลการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาซึ่งแสดงในตารางที่ 1 พบว่าข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงปี ค.ศ. 2002-2010, 2000-2010, และ 2001-2010 ของอ่างเก็บน้ำหนองปลาไหล แม่กวง อุดมธารา และยางชุมมีค่าเพิ่มสูงขึ้น 0.42, 0.77, และ 1.01 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงปี ค.ศ. 1971-2000 ในขณะที่อุณหภูมิเฉลี่ยของอ่างเก็บน้ำทับเสลาในช่วงปี ค.ศ. 2002-2010 และอ่างเก็บน้ำป่าสักชลสิทธิ์ในช่วงปี ค.ศ. 2003-2010 ลดลงจากเดิม 0.36 และ 0.62 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สำหรับข้อมูลความเร็วลมสูงสุดในช่วงปีปัจจุบันพบว่ามีแนวโน้มลดลงทุกอ่างเก็บน้ำ ในขณะที่ข้อมูลจำนวนชั่วโมงแสงแดดและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยผันแปรแตกต่างกันในแต่ละอ่างเก็บน้ำโดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเฉลี่ยกล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แนวโน้มจำนวนชั่วโมงแสงแดดจะเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ในทางกลับกันปริมาณความชื้นสัมพัทธ์จะลดลง จากความผันแปรของข้อมูลอุตุนิยมวิทยาดังที่กล่าวมานับได้ว่าเป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการสูญเสียน้ำจากอ่างเก็บน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งอ่างเก็บน้ำขนาดกลางและขนาดเล็กซึ่งมีความจุและความลึกไม่มากนักและมีโอกาสรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงสูง

ตารางที่ 1 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของแต่ละอ่างเก็บน้ำ

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา	ช่วงข้อมูลปี ค.ศ.	
	1971-2000	2000-2010
(1) อ่างเก็บน้ำทับเสลา		
อุณหภูมิเฉลี่ย (^{O}C)	28.20	27.84
ความเร็วลมสูงสุด (knot)	50.00	37.00
ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ยต่อวัน (hr)	7.36	7.09
ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)	70.00	77.28

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา	ช่วงข้อมูลปี ค.ศ.	
	1971-2000	2000-2010
(2) อ่างเก็บน้ำป่าสักชลสิทธิ์		
อุณหภูมิเฉลี่ย (^{O}C)	28.10	27.48
ความเร็วลมสูงสุด (knot)	45.00	34.00
ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ยต่อวัน (hr)	NA	7.23
ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)	71.00	71.77
(3) อ่างเก็บน้ำหนองปลาไหล		
อุณหภูมิเฉลี่ย (^{O}C)	28.20	28.62
ความเร็วลมสูงสุด (knot)	50.00	40.00
ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ยต่อวัน (hr)	6.44	6.71
ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)	77.00	77.61
(4) อ่างเก็บน้ำแม่กวงอุดมธารา		
อุณหภูมิเฉลี่ย (^{O}C)	25.60	26.37
ความเร็วลมสูงสุด (knot)	64.00	28.00
ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ยต่อวัน (hr)	7.12	6.61
ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)	71.00	72.95
(5) อ่างเก็บน้ำยางชุม		
อุณหภูมิเฉลี่ย (^{O}C)	27.10	28.11
ความเร็วลมสูงสุด (knot)	44.00	25.00
ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ยต่อวัน (hr)	NA	5.82
ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)	77.00	76.30

หมายเหตุ : NA ไม่มีการตรวจวัดข้อมูล

3.2 ผลการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลสมดุลอ่างเก็บน้ำ

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลสมดุลอ่างเก็บน้ำในช่วงปีปัจจุบันของทั้ง 5 อ่างในภาพรวมพบว่า ปริมาณน้ำเก็บกักเฉลี่ย ระดับน้ำเก็บกักเฉลี่ย และปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเฉลี่ยผันแปรขึ้นลงแตกต่างกันตามปัจจัยสภาพภูมิอากาศของแต่ละพื้นที่ซึ่งเป็นแหล่งที่ตั้งของแต่ละอ่างเก็บน้ำ อย่างไรก็ตามผลการศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลอ่างเก็บน้ำในช่วงปีปัจจุบันของอ่างเก็บน้ำทับเสลาและหนองปลาไหลพบว่า แสดงอิทธิพลแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นไม่ว่าจะเป็นข้อมูลปริมาณน้ำเก็บกักเฉลี่ย ระดับน้ำเก็บกักเฉลี่ย และปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเฉลี่ย อย่างไรก็ตามกลับให้ผลในทางกลับกันสำหรับอ่างเก็บน้ำป่าสักชลสิทธิ์ แม่กวงอุดมธารา และยางชุมซึ่งข้อมูลอ่างเก็บน้ำส่วนใหญ่ในปีปัจจุบันมีแนวโน้มลดลงดังแสดงในตารางที่ 2 จากผลการวิเคราะห์อาจกล่าวได้ว่าความผันแปรของข้อมูลอ่างเก็บน้ำในระบบส่งผลต่อปริมาณการสูญเสียน้ำจากการระเหยที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 2 ข้อมูลสมดุลอ่างเก็บน้ำของแต่ละอ่างเก็บน้ำ

ข้อมูลสมดุลอ่างเก็บน้ำ	ช่วงข้อมูลปี ค.ศ.		
	2000-2010	2000	2010
(1) อ่างเก็บน้ำทับเสลา			
ปริมาณน้ำเก็บกักเฉลี่ย (mcm)	66.46	60.34	71.68
ระดับน้ำเก็บกักเฉลี่ย (m. msl.)	147.62	146.91	147.77
ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเฉลี่ย (mcm)	0.31	0.34	0.48
(2) อ่างเก็บน้ำป่าสักชลสิทธิ์			
ปริมาณน้ำเก็บกักเฉลี่ย (mcm)	546.35	636.20	486.72
ระดับน้ำเก็บกักเฉลี่ย (m. msl.)	39.93	40.81	39.04
ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเฉลี่ย (mcm)	6.02	5.01	9.38
(3) อ่างเก็บน้ำหนองปลาไหล			
ปริมาณน้ำเก็บกักเฉลี่ย (mcm)	133.18	133.14	138.28
ระดับน้ำเก็บกักเฉลี่ย (m. msl.)	43.33	43.33	43.61
ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเฉลี่ย (mcm)	0.49	0.44	0.53
(4) อ่างเก็บน้ำแม่กวงอุดมธารา			
ปริมาณน้ำเก็บกักเฉลี่ย (mcm)	98.19	87.35	80.14
ระดับน้ำเก็บกักเฉลี่ย (m. msl.)	366.16	365.29	363.24
ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเฉลี่ย (mcm)	0.50	0.45	0.50
(5) อ่างเก็บน้ำยางชุม			
ปริมาณน้ำเก็บกักเฉลี่ย (mcm)	27.33	30.56	23.77
ระดับน้ำเก็บกักเฉลี่ย (m. msl.)	81.71	82.48	81.23
ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเฉลี่ย (mcm)	0.12	0.13	0.03

3.3 ผลการประมาณค่าการระเหยจากอ่างเก็บน้ำ

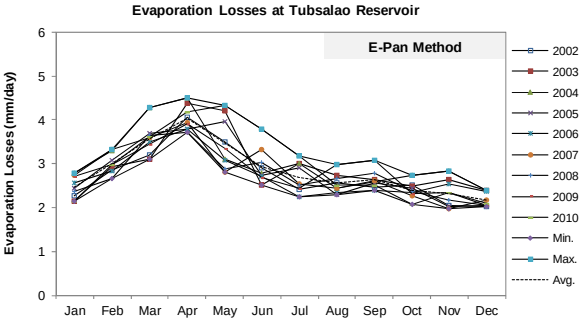
ผลการวิเคราะห์อัตราการระเหยจากอ่างเก็บน้ำโดยอาศัยข้อมูลตรวจวัดจริงจากถาดวัดการระเหย ซึ่งกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ถาดวัดการระเหยเท่ากับ 0.80 พบว่า อัตราการระเหยในช่วงฤดู

แล้งของทุกอ่างเก็บน้ำสูงกว่าในช่วงฤดูฝนตั้งแต่ 2.14%-16.72% โดยอัตราการระเหยในช่วงฤดูแล้งเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 3.94 มิลลิเมตรต่อวัน จากอ่างเก็บน้ำป่าสักชลสิทธิ์ และต่ำสุดเท่ากับ 3.11 มิลลิเมตรต่อวัน จากอ่างเก็บน้ำทับเสลา ในขณะที่อัตราการระเหยในช่วงฤดูฝนเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 3.66 มิลลิเมตรต่อวัน จากอ่างเก็บน้ำหนองปลาไหล และต่ำสุดเท่ากับ 2.59 มิลลิเมตรต่อวัน จากอ่างเก็บน้ำทับเสลา นอกจากนี้อัตราการระเหยจากอ่างเก็บน้ำสูงสุดเกิดขึ้นในเดือนเมษายนและต่ำสุดช่วงเดือนตุลาคม-มกราคมดังแสดงรายละเอียดข้อมูลในตารางที่ 3 และรูปที่ 1

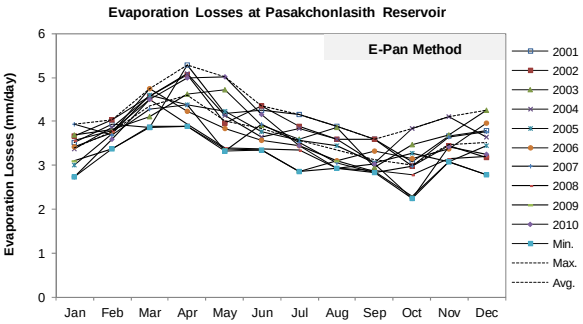
ตารางที่ 3 อัตราการระเหยจากอ่างเก็บน้ำโดยวิธีถาดวัดการระเหย

อัตราการระเหยจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย (mm/day)					
เดือน	TB	PS	NP	MKU	YC
ม.ค.	2.46	3.40	3.33	2.57	3.18
ก.พ.	2.99	3.75	3.56	3.40	3.80
มี.ค.	3.56	4.37	3.88	3.86	4.11
เม.ย.	4.03	4.59	4.31	4.79	4.45
พ.ค.	3.46	4.02	3.83	4.05	3.64
มิ.ย.	2.94	3.83	3.90	3.50	3.72
ก.ค.	2.69	3.57	3.81	3.15	3.32
ส.ค.	2.55	3.35	3.78	3.11	3.22
ก.ย.	2.63	3.12	3.45	3.26	3.31
ต.ค.	2.39	3.00	3.34	3.05	2.91
พ.ย.	2.32	3.46	3.70	2.86	3.32
ธ.ค.	2.17	3.53	3.54	2.41	3.39
ฤดูแล้ง	3.11	3.94	3.74	3.51	3.76
ฤดูฝน	2.59	3.39	3.66	3.15	3.30

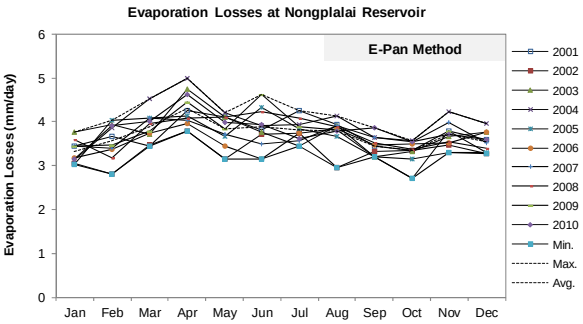
หมายเหตุ : ฤดูแล้ง (ธ.ค.-พ.ค.) ฤดูฝน (มิ.ย.-พ.ย.)



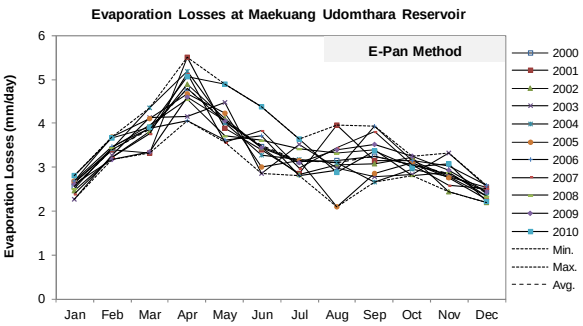
(1.1) อ่างเก็บน้ำทับเสลา



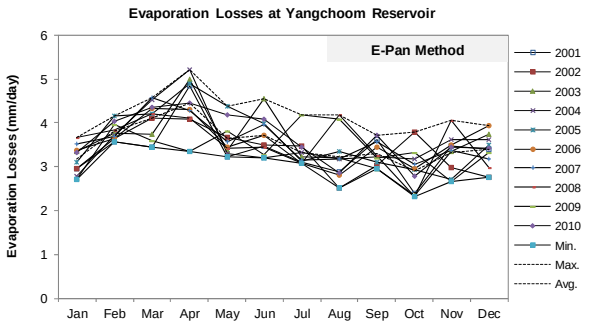
(1.2) อ่างเก็บน้ำป่าสักชลสิทธิ์



(1.3) อ่างเก็บน้ำหนองปลาไหล



(1.4) อ่างเก็บน้ำแม่กวงอุดมธารา



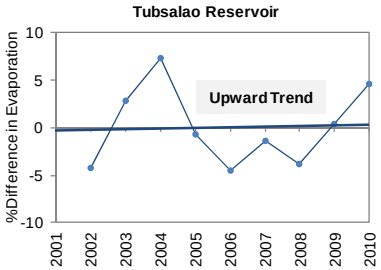
(1.5) อ่างเก็บน้ำยางชุม

รูปที่ 1 อัตราการระเหยจากอ่างเก็บน้ำขนาดกลางและขนาดเล็กตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000-2010

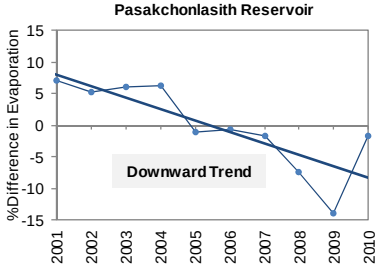
นอกจากนี้จากการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของอัตราการระเหยจากอ่างเก็บน้ำของข้อมูลในปีต่าง ๆ เทียบกับค่าเฉลี่ยของการระเหยในช่วงปี ค.ศ. 2001-2010 พบว่า อัตราการระเหยจากอ่างเก็บน้ำทับเสลา หนองปลาไหล แม่กวงอุดมธารา และยางชุมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 4 และรูปที่ 2 ทั้งนี้เนื่องมาจากอิทธิพลของข้อมูลอุตุนิยมวิทยาโดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์พบว่าอัตราการระเหยจากอ่างเก็บน้ำป่าสักชลสิทธิ์มีแนวโน้มลดลงในช่วงปี ค.ศ. 2001-2010 ทั้งนี้จากการวิเคราะห์หาสาเหตุพบว่า ส่วนหนึ่งเนื่องมาจากสภาพทางอุตุนิยมวิทยาที่มีความแตกต่างไปจากอ่างเก็บน้ำอื่น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุณหภูมิเฉลี่ย จำนวนชั่วโมงแสงแดด ที่มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ซึ่งส่งผลต่อแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในลักษณะดังกล่าว ในขณะที่ปัจจัยความผันแปรของข้อมูลสมดุลอ่างเก็บน้ำบ่งชี้ถึงแนวโน้มของอัตราการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำต่าง ๆ ไม่ชัดเจนนัก ถึงแม้จะส่งผลต่อปริมาณการสูญเสียน้ำจากอ่างเก็บน้ำที่แตกต่างกันก็ตาม

ตารางที่ 4 อัตราการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำโดยวิธีถาดวัดการระเหยในช่วงปี ค.ศ. 2001-2010

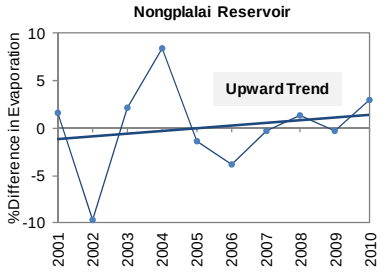
เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเทียบกับค่าเฉลี่ยของการระเหยในช่วงปี ค.ศ. 2001-2010					
ปี	TB	PS	NP	MKU	YC
2001	NA	7.08	1.62	1.50	-4.82
2002	-4.21	5.18	-9.73	-3.00	-4.25
2003	2.81	5.99	2.16	-1.80	0.57
2004	7.37	6.27	8.38	-0.30	1.13
2005	-0.70	-1.09	-1.35	-3.30	2.55
2006	-4.56	-0.54	-3.78	-0.30	0.57
2007	-1.40	-1.63	-0.27	0.90	1.70
2008	-3.86	-7.36	1.35	0.00	0.57
2009	0.35	-13.9	-0.27	-0.30	-2.27
2010	4.56	-1.63	2.97	7.51	3.97
การระเหยเฉลี่ย (mm/day)	2.85	3.67	3.70	3.33	3.53
แนวโน้ม	เพิ่มขึ้น	ลดลง	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น



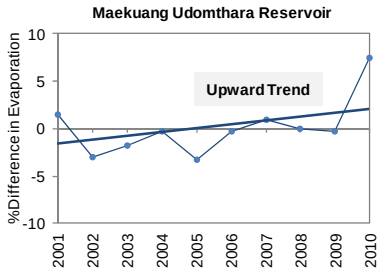
(2.1) อ่างเก็บน้ำทับเสลา



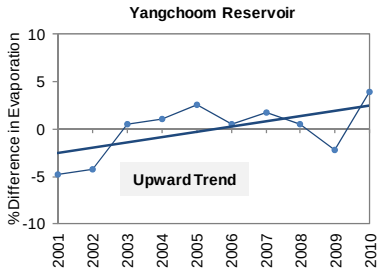
(2.2) อ่างเก็บน้ำป่าสักชลสิทธิ์



(2.3) อ่างเก็บน้ำหนองปลาไหล



(2.4) อ่างเก็บน้ำแม่กวงอุดมธารา



(2.5) อ่างเก็บน้ำยางชุม

รูปที่ 2 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของอัตราการระเหยเทียบกับค่าเฉลี่ยของการระเหยในช่วงปี ค.ศ. 2001-2010

จากการประมาณค่าปริมาณการสูญเสียน้ำจากการระเหยจากอ่างเก็บน้ำยังพบว่า ที่ระดับเก็บกักเฉลี่ยปริมาณการสูญเสียน้ำของอ่างเก็บน้ำทับเสลา ป่าสักชลสิทธิ์ หนองปลาไหล แม่กวงอุดมธารา และยางชุมคิดเป็น 7.65%, 21.01%, 18.03%, 3.31%, และ 14.97% ของปริมาตรเก็บกักใช้การ ตามลำดับ ดังแสดงผลไว้ในตารางที่ 5 โดยอ่างเก็บน้ำป่าสักชลสิทธิ์มีปริมาณการสูญเสียน้ำจากการระเหยสูงสุดถึง 164.60 ล้านลูกบาศ์เมตรต่อปี ถึงแม้ข้อมูลอัตราการระเหยจะมีแนวโน้มลดลงในปีปัจจุบันก็ตาม ทั้งนี้จากการวิเคราะห์หาสาเหตุจากลักษณะกายภาพของอ่างเก็บน้ำพบว่า อ่างเก็บน้ำป่าสักชลสิทธิ์มีปริมาตรเก็บกักใช้การสูงสุด ประกอบกับพื้นที่ผิวน้ำที่ระดับเก็บกักเฉลี่ยมีขนาดใหญ่ถึงแม้จะมีความลึกน้ำสูงกว่าอ่างเก็บน้ำอื่น ๆ ก็ตาม ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำจากการระเหยสูงที่สุด ในขณะที่อ่างเก็บน้ำทับเสลา หนองปลาไหล แม่กวงอุดมธารา และยางชุมมีปริมาณการสูญเสียน้ำจากการระเหยอยู่ในช่วง 5.55-27.13 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นในอนาคต ทั้งนี้จากการวิเคราะห์ลักษณะกายภาพของอ่างเก็บน้ำพบว่า อ่างเก็บน้ำทับเสลาและหนองปลาไหลมีลักษณะตื้นและผิวน้ำมีขนาดกว้างส่งผลให้ปริมาณการสูญเสียน้ำจากการระเหยค่อนข้างสูง ในขณะที่อ่างเก็บน้ำแม่กวงอุดมธาราและยางชุมมีขนาดพื้นผิวน้ำน้อยกว่าและความลึกของน้ำค่อนข้างมาก ส่งผลให้ปริมาณการสูญเสียน้ำจากการระเหยต่ำกว่าเล็กน้อย จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นบ่งชี้ให้เห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำจากการระเหยของอ่างเก็บน้ำขนาดกลางและขนาดเล็กนั้นมีปริมาณค่อนข้างสูงและโดยส่วนใหญ่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งนับได้ว่าเป็นข้อมูลที่สะท้อนถึงเสถียรภาพของปริมาณน้ำต้นทุนในระบบอ่างเก็บน้ำที่ไม่แน่นอนในอนาคต ตลอดจนส่งผลต่อความสามารถในการบริหารจัดการน้ำเพื่อตอบสนองความต้องการน้ำให้ได้รับความพึงพอใจแก่ทุกฝ่ายในระยะยาวอีกด้วย

ตารางที่ 5 ปริมาณการสูญเสียน้ำจากการระเหยจากอ่างเก็บน้ำ

รายละเอียดข้อมูล	TB	PS	NP	MKU	YC
ระดับเก็บกักเฉลี่ย (m. msl.)	147.6	39.9	43.3	366.2	81.7
ระดับเก็บกักปกติ (m. msl.)	157.0	42.0	45.0	385.0	84.8
ระดับเก็บกักต่ำสุด (m.msl.)	143.0	21.5	33.3	350.0	72.0
ความลึกที่ระดับเก็บกักเฉลี่ย (m.)	4.6	18.4	10.0	16.2	9.7
พื้นที่ผิวน้ำที่ระดับเก็บกักเฉลี่ย (sq.km.)	10.5	122.4	20.0	6.8	4.3
ปริมาตรเก็บกักใช้การ (mcm)	143.0	783.0	150.5	249.0	37.1
การระเหยเฉลี่ย (mm/day)	2.85	3.67	3.70	3.33	3.53
การสูญเสียน้ำจากการระเหย*					
1) ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี	10.94	164.5	27.13	8.24	5.55
2) %ปริมาตรเก็บกักใช้การ	7.65	21.01	18.03	3.31	14.97

หมายเหตุ : *คิดที่ระดับเก็บกักเฉลี่ย

ผลจากการประมาณค่าการระเหยจากอ่างเก็บน้ำโดยวิธีงบน้ำ วิธีเอมไพริกัล วิธีเคลื่อนย้ายมวล และวิธีผสมผสานโดยเลือกสมการ Penman, Priesley-Taylor และ De Bruin พบว่า วิธีงบน้ำมีความน่าเชื่อถือค่อนข้างน้อยจึงไม่ได้นำผลมาแสดงในตารางที่ 6 ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากความถูกต้องของข้อมูลสมดุลอ่างเก็บน้ำระยะยาวที่ทำการตรวจสอบได้ยาก ในขณะที่ผลการประมาณค่าการระเหยด้วยวิธีเอมไพริกัลโดยพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในลักษณะสมการการถดถอยเชิงเส้นแบบพหูคูณโดยกำหนดให้ข้อมูลการสูญเสียน้ำจากการระเหยเป็นฟังก์ชันกับข้อมูลปริมาณการระเหยที่เวลาย้อนหลัง 1-3 วัน (E_{t-1}, E_{t-2}, E_{t-3}) ข้อมูลปริมาณน้ำเก็บกัก (S_t) ข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง (I_t) ข้อมูลจำนวนชั่วโมงแสงแดด (Sn_t) ข้อมูลอุณหภูมิ ($Temp_t$) ข้อมูลความเร็วลมสูงสุด ($MaxWd_t$) และข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ (RH_t) หรือ $E_t = f(E_{t-1}, E_{t-2}, E_{t-3}, S_t, I_t, Sn_t, Temp_t, MaxWd_t, RH_t)$ หรือ $E_t = aE_{t-1}+bE_{t-2}+cE_{t-3}+dS_t+eI_t+fSn_t+gTemp_t+hMaxWd_t+gRH_t$ เมื่อ a-h เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองพบว่า มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนอยู่ระหว่าง -3.49% ถึง +29.97% เมื่อเทียบกับวิธีถาดวัดการระเหยซึ่งถือว่าค่อนข้างน้อยกว่าวิธีอื่น ๆ สำหรับผลการประมาณค่าการระเหยด้วยวิธีเคลื่อนย้ายมวลซึ่งใช้ข้อมูลความเร็วลมในกลุ่มพลังงานอากาศพลศาสตร์มาคำนวณเป็นหลักพบว่า มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูงตั้งแต่ +68.12% ถึง +138.03% เมื่อเทียบกับวิธีถาดวัดการระเหย นอกจากนี้ยังมีแนวโน้มให้ค่าประมาณการสูงกว่าข้อมูลตรวจวัดจริงจากถาดวัดการระเหย

ตารางที่ 6 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการประมาณค่าโดยวิธีต่าง ๆ เทียบกับวิธีถาดวัดการระเหย

วิธีการประมาณค่า	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเทียบกับวิธีถาดวัดการระเหย				
	TB	PS	NP	MKU	YC
วิธีงบน้ำ	UD*	UD*	UD*	UD*	UD*
วิธีเอมไพริกัล	1.05	-3.49	0.08	29.97	0.45
วิธีเคลื่อนย้ายมวล	80.97	78.41	130.9	138.0	68.12
วิธีผสมผสาน					
1) Penman	39.26	41.63	91.88	85.11	28.84
2) Priesley-Taylor	-17.13	-20.21	6.88	6.53	-24.72
3) De Bruin	-32.05	-30.98	-6.32	-9.32	-37.15

หมายเหตุ : UD* ข้อมูลไม่น่าเชื่อถือ (Unreliable Data)

ในทำนองเดียวกันผลการประมาณค่าโดยใช้สมการ Penman พบว่าให้ค่าประมาณการสูงกว่าข้อมูลตรวจวัดจริงจากถาดวัดการระเหย อย่างไรก็ดีมีแนวโน้มให้ค่าประมาณการใกล้เคียงกว่าวิธีเคลื่อนย้ายมวลกล่าวคือ เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง +28.84% ถึง +91.88% เมื่อเทียบกับวิธีถาดวัดการระเหย ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าสูตรการคำนวณซึ่งสรุปไว้ในตารางที่ 7 นั้นจะอาศัยข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับข้อมูลพลังงานอากาศพลศาสตร์ หรือข้อมูลความเร็วลมร่วมด้วยส่งผลให้ผลการประมาณค่าสูงกว่าข้อมูลตรวจวัดจริงในทิศทางเดียวกันกับวิธีเคลื่อนย้ายมวล ในขณะที่การประมาณค่าโดยใช้สมการของ Priesley-Taylor ซึ่งดัดแปลงสมการของ Penman และกำหนดให้ค่าการระเหยขึ้นอยู่กับเทอมของรังสีแสงอาทิตย์เป็นหลัก และกำหนดให้เทอมอากาศพลศาสตร์เป็นสัดส่วนคงที่กับการระเหยของน้ำทั้งหมดนั้น พบว่าให้ผลใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัดจริงมากกว่าวิธีเคลื่อนย้ายมวล หรือวิธีผสมผสานโดยใช้สมการอื่น ๆ โดยมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง -24.72% ถึง +6.88% เมื่อเทียบกับวิธีถาดวัดการระเหย ในขณะที่การใช้สมการของ De Bruin ซึ่งได้ดัดแปลงสมการของ Penman และใช้พารามิเตอร์ α ที่ได้จากสมการของ Priestley-Taylor เพื่อพัฒนาสมการในการประมาณค่าการระเหยใหม่ที่กำหนดให้อยู่ในรูปของฟังก์ชัน

ของเทอมอากาศพลศาสตร์นั้นพบว่า ยังคงให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการประมาณค่าค่อนข้างสูงและให้ผลต่ำกว่าข้อมูลตรวจวัดจริงในช่วง -37.15% ถึง -6.32% เมื่อเทียบกับวิธีถาดวัดการระเหย แสดงให้เห็นว่าการนำข้อมูลความเร็วลม รวมถึงข้อมูลความแตกต่างของความดันไอ อาจมีสารสนเทศมากเกินไปทำให้ผลการประมาณค่าการสูญเสียน้ำจากการระเหยคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงค่อนข้างสูง

ตารางที่ 7 สูตรการคำนวณและประเภทของข้อมูลที่ใช้ในการประมาณค่าของแต่ละวิธี

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

หมายเหตุ : สมการที่ใช้ในการคำนวณ/รูปแบบของแบบจำลอง

(1) วิธีงบน้ำ $E_t = S_t - S_{t+1} + I_t - R_t$

(2) วิธีเอมไพริกัล $E_t = f(E_{t-1}, E_{t-2}, E_{t-3}, S_t, I_t, Sn_t, Temp_t, Max\ Wd_t, RH_t)$

(3) วิธีเคลื่อนย้ายมวล $E = f(u)(e_{sw} - e_d)$

(4) วิธีผสมผสาน: Penman*, Priesley-Taylor**, De Bruin***

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

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

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

4. สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณการสูญเสียน้ำจากการระเหยของอ่างเก็บน้ำขนาดกลางและขนาดเล็กในประเทศไทยค่อนข้างสูงโดยคิดเป็น 7.65%, 21.01%, 18.03%, 3.31%, และ 14.97% ของปริมาตรเก็บกักใช้การของอ่างเก็บน้ำทับเสลา ป่าสักชลสิทธิ์ หนองปลาไหล แม่กวงอุดมธารา และยางชุม ตามลำดับ ยิ่งไปกว่านั้นส่วนใหญ่ยังมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นในอนาคต อันเนื่องมาจากปัจจัยความผันแปรของข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาในปัจจุบันและลักษณะทางกายภาพของอ่างเก็บน้ำซึ่งสะท้อนถึงเสถียรภาพของปริมาณน้ำต้นทุนของระบบอ่างเก็บน้ำ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ในการสนับสนุนทุนวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] B. Gallego-Elvira, A. Baille, J.F. Maestre-Valero, V. Martinez-Alvarez, “Energy Balance Equipped with a Suspended Cover in a Semiarid Climate (South-Eastern Spain)”, Hydrological Processes, 2010.

[2] 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.

[3] 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.

[4] M.E. Jensen, “Estimating Evaporation from Water Surface”, The CSU/ARS Evapotranspiration Workshop, Fort Collins, 15 Mar 2010.

[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.