

การศึกษาการวัดปริมาณการระเหยโดยถาดวัดการระเหยของอ่างเก็บน้ำลำตะคอง

ภัทรสุตา โพธิ์ศรี^{1*} ปรัชญา ยอดดำรงค์² ศตวรรษ หฤหรรษ์พงศ์³ สุนทรี แทบประสิทธิ์⁴

^{1*,2,3}สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก,
กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย

⁴สำนักสำรวจและออกแบบ กรมทางหลวง กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย

*ผู้นิพนธ์ประสานงาน อีเมล : Phattrasuda_ph@rmutto.ac.th, Phattrasuda@hotmail.com

รับต้นฉบับ: 3 พฤษภาคม 2564; รับบทความฉบับแก้ไข: 25 พฤษภาคม 2564; ตอบรับบทความ: 15 มิถุนายน 2564
เผยแพร่ออนไลน์: 25 มิถุนายน 2564

บทคัดย่อ

การศึกษารังนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบค่าการระเหยจากถาดวัดการระเหย Class A pan กับค่าการระเหยจากการจำลองถาดวัดการระเหยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ทำจากวัสดุทองเหลืองจำนวน 2 ใบ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 300 มิลลิเมตร ลึก 200 มิลลิเมตรและหนา 4 มิลลิเมตร บริเวณสนามอุตุนิยมวิทยาของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาลำตะคอง สำนักชลประทานที่ 8 ต่อเนื่องกันระหว่างเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม ต่อเนื่องกันเป็นเวลา 3 เดือน และค่าการระเหยจากทฤษฎีของเพนแมนภายใต้เงื่อนไขเดียวกันบนสนามอุตุนิยมวิทยาของพื้นที่ศึกษา จากผลการศึกษาพบว่า ค่าที่วัดได้จากถาดวัดการระเหยชนิดทองเหลืองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตรจะมีค่ามากกว่าถาดวัดการระเหย Class A pan ประมาณร้อยละ 15 ค่าอัตราส่วน E_m/E_{pan} เฉลี่ยเท่ากับ 1.21 เดือนที่มีการระเหยเฉลี่ยมากที่สุดคือเดือนเมษายนมีค่า 6.03 มิลลิเมตร/วัน ค่าการระเหยที่คำนวณจากสมการเพนแมน (Penman Equation) มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าค่าที่วัดได้จากถาดวัดการระเหยชนิดทองเหลืองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ประมาณร้อยละ 30 เดือนที่มีการระเหยเฉลี่ยมากที่สุดคือเดือนเมษายนมีค่า 5.17 มิลลิเมตร/วัน และค่าสัมประสิทธิ์ของถาดทองเหลือง K_p เฉลี่ยตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม เท่ากับ 0.76

คำสำคัญ : การระเหย ถาดวัดการระเหย สัมประสิทธิ์การระเหย สมการเพนแมน

The Study of Evaporation Measurement of Lam Takhong Reservoir

Phattrasuda Phosri^{1*} Pruchaya Yoddumrong² Sattawat Haruehasapong³ Soontaree Taprasit⁴

^{1*,2,3}*Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,
Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Bangkok, Thailand*

⁴*Bureau of Location and Design, Department of Highway*

*Corresponding Author. E-mail address: Phattrasuda_ph@rmutto.ac.th, Phattrasuda@hotmail.com

Received: 3 May 2021; Revised: 25 May 2021; Accepted: 15 June 2021

Published online: 25 June 2021

Abstract

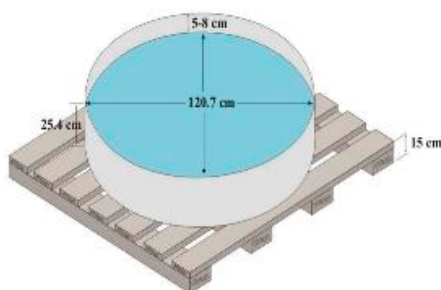
This research aims to find out the comparison results of evaporation value of Class A pan with the evaporation pan model constructed as the tool of the study. Two evaporation model pans made from brass with 30 - centimeters diameter (300 millimeters diameter, 200 millimeters in depth and 4 millimeters in thickness) were situated in the location at The Lam Ta Khong Operation Maintenance Project, Nakhon Ratchasima Province, during March through May. With the similar meteorological conditions, the data was continuously collected for 3 months to compare the evaporation value of the two pans with the Class A pan at the site and with the evaporation of the Penman Equation method. The results showed that the average evaporation of 30 - centimeters diameter pans were approximately 15% greater than the Class A pan, E_m/E_{pan} ratio was 1.21 and the maximum average evaporation value, which was in April at 6.03 millimeter/day. The average evaporation of the Penman Equation was approximately 30% less than the 30 - centimeters diameter pans and the maximum average evaporation value, which was in April at 5.17 millimeter/day. The average evaporation coefficient (K_p) of the 30 - centimeters diameter pans was at 0.76 which the only coefficient of evaporation in the summer season.

Keywords: Evaporation, Pan evaporation, Coefficient of evaporation, Penman equation

1) บทนำ

การระเหยของน้ำ (Evaporation) คือกระบวนการหนึ่งในวัฏจักรของน้ำซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งตลอดเวลาที่น้ำอยู่ในอ่างเก็บน้ำ ทะเลหรือมหาสมุทร จะเกิดการระเหยทั้งจากผิวน้ำโดยตรง หรือจากผิวดินและการคายน้ำจากพืชเกิดการคายระเหยนับเป็นการสูญเสียน้ำ ปริมาณน้ำฝนที่ตกลงสู่พื้นดินในปริมาณ 2 ใน 3 ส่วนจะเกิดการระเหยสู่บรรยากาศ ซึ่งการสูญเสียน้ำเป็นส่วนสำคัญในการศึกษาระบบและการจัดการทรัพยากรน้ำ การหาอัตราการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำทำให้ทราบค่าการระเหยเพื่อนำมาใช้ประกอบในการพิจารณาออกแบบระบบและการคาดการณ์การจัดสรรน้ำ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการระเหยขึ้นอยู่กับความอุณหภูมิ ขึ้นสัมผัส ความเร็วลม ขนาดพื้นที่ผิวของการระเหย ความลึกของน้ำ และความดันไอน้ำในอากาศ [1], [2] เป็นต้นด้วยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณค่าการระเหยมากดังกล่าว จึงทำให้การหาค่าทำได้ด้วยความลำบากมีปัจจัยควบคุมที่ต้องเก็บข้อมูลอยู่มาก

ปัจจุบันเครื่องมือวัดการระเหยที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและเป็นที่ยอมรับขององค์กรอุตุนิยมโลก คือถาดคลาส เอ ของสหรัฐอเมริกา American Evaporation Class A Pan [3] จะประกอบด้วยถาดน้ำ (Evaporation Pan) ขนาดลึก 25.4 เซนติเมตร (10 นิ้ว) เส้นผ่าศูนย์กลาง 120.7 เซนติเมตร (48 นิ้ว) ตั้งสูงจากพื้นดิน 15 เซนติเมตร (6 นิ้ว) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ถาดวัดการระเหยแบบคลาส เอ (Evaporation Class A Pan)
แหล่งที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา [3]

ถาดวัดการระเหยแบบคลาส เอ (Evaporation Class A Pan) เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้กันมากที่สุดเพราะมีความสะดวกในการใช้งาน การบำรุงรักษา และง่ายในการติดตั้ง ในการหาค่าของการระเหยจากพื้นผิวน้ำขนาดใหญ่เช่น ทะเลสาบหรืออ่างเก็บน้ำ ซึ่งเครื่องมือวัดการระเหยแบบนี้ก็มีใช้ไปทั่วทั้งในประเทศไทยด้วย ข้อมูลที่ได้จากถาดวัดการระเหยจะนำไปใช้ในการออกแบบทางด้านอุทกวิทยา การจัดสรรน้ำ และการบริหารจัดการน้ำในโครงการพัฒนาแหล่งน้ำต่อไป

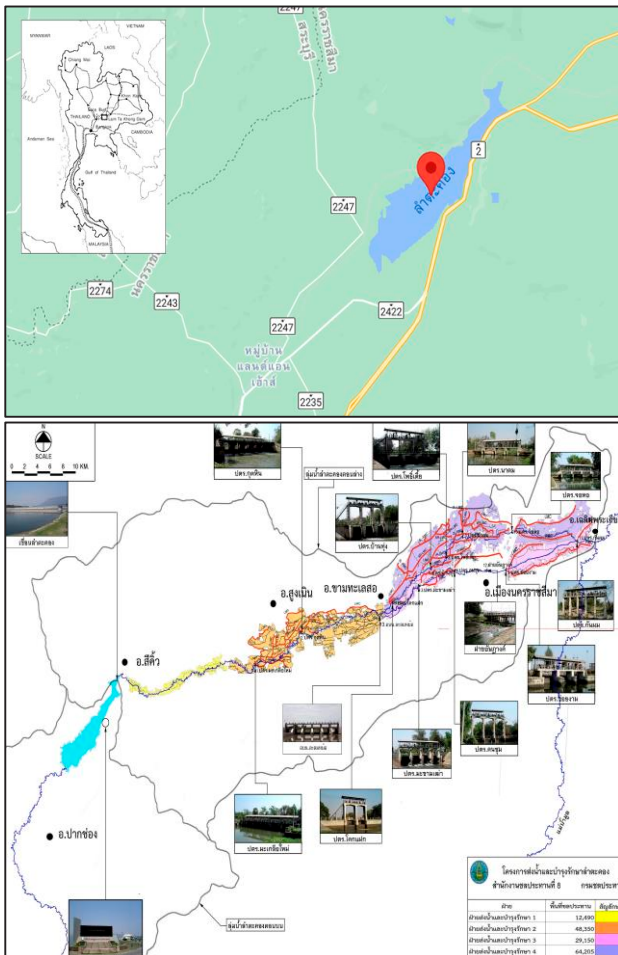
การศึกษาครั้งนี้จึงมีแนวคิดที่จะทำการศึกษาค่าการระเหยด้วยการจำลองแบบจากถาดคลาส เอ โดยใช้ทองเหลือง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร จำนวน 2 ถาด (Pan Model, E_m) ซึ่งเก็บข้อมูลจากบริเวณสนามอุตุนิยมวิทยาของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาลำตะคอง สำนักชลประทานที่ 8 ต่อเนื่องกันระหว่างเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม ต่อเนื่องกันเป็นเวลา 3 เดือน เพื่อนำข้อมูลที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับค่าการระเหยจากสถิติการตรวจวัดซึ่งนำมาวิเคราะห์โดยใช้สมการของ Penman และจากข้อมูลที่เก็บจากถาดคลาส เอ (Class Pan A, E_{pan}) ของพื้นที่โครงการเพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหยขนาด 30 เซนติเมตร (Pan Model Coefficient) ซึ่งวัตถุประสงค์ของการศึกษาเพื่อศึกษาเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการจำลองจากถาดคลาส เอ โดยใช้ทองเหลืองที่มีขนาด 30 เซนติเมตร โดยอ้างอิงกับงานศึกษาที่ผ่านมาซึ่งใช้สังกะสี [4] เทียบกับค่าจากถาดคลาส เอ (Class Pan A, E_{pan}) กับทฤษฎีของเพนแมนในการคำนวณค่าการระเหย ทำให้ได้ข้อมูลมาเปรียบเทียบกับการใช้ถาดคลาส เอ (Class Pan A, E_{pan}) สามารถนำมาใช้เป็นตัวแทนในพื้นที่ศึกษาสำหรับการใช้เก็บข้อมูลการระเหยในพื้นที่ที่จำกัดเพื่อความสะดวกในการเก็บข้อมูลและง่ายต่อการบำรุงรักษาในพื้นที่ศึกษาต่อไป

2) วิธีการศึกษา

2.1) พื้นที่ศึกษา

ลำตะคองเป็นลำน้ำสาขาที่สำคัญสายหนึ่งของแม่น้ำมูลมีต้นน้ำอยู่บริเวณเทือกเขาตองพญาเย็น ความยาวลำตะคองตลอดสายประมาณ 220 กิโลเมตรลักษณะภูมิอากาศบริเวณลุ่มน้ำลำตะคอง อยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ มี 3 ฤดูกาล คือ ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อนนอกจากอิทธิพลของมรสุมแล้ว ยังได้รับอิทธิพลของพายุ

ตีเปรสชันทางทิศตะวันออกในช่วงเดือนกันยายนและตุลาคมทำให้เกิดฝนตกชุกในบริเวณพื้นที่พายุพัดผ่านเขื่อนลำตะคอง ตั้งอยู่ตำบลลาดบัวขาวห่างจากตัวเมืองประมาณ 62 กิโลเมตรดังแสดงในรูปที่ 2 เป็นเขื่อนดินสร้างกันลำตะคองที่ช่องเขาเขื่อนลั่นและช่องเขาถ่านเสียด [5] เริ่มสร้างในปี พ.ศ. 2507 แล้วเสร็จในปี 2512 ลักษณะทางอุทกวิทยา พื้นที่รับน้ำฝน 1,430 ตารางกิโลเมตร ปริมาณฝนปีเฉลี่ย 905.36 ตารางกิโลเมตร ปริมาณน้ำไหลลงอ่างฯ รายปีสูงสุด 497.78 ล้านลูกบาศก์เมตร รายปีเฉลี่ย 260.60 ล้านลูกบาศก์เมตร รายปีต่ำสุด 80.53 ล้านลูกบาศก์เมตร ปริมาณน้ำที่ระดับเก็บกักปกติ 323.95 ล้านลูกบาศก์เมตร ปริมาณน้ำใช้การได้ 297.07 ล้านลูกบาศก์เมตร[5]



รูปที่ 2 พื้นที่ศึกษา

แหล่งที่มา : โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาลำตะคอง สำนักชลประทานที่ 8 กรมชลประทาน [5]

2.2) เครื่องมือและอุปกรณ์ในการหาค่าระเหยจากอ่างเก็บน้ำ

การวัดการระเหยอาจจะแบ่งได้เป็นอีก 3 ชนิดด้วยกัน คือ ชนิดฝังดิน (Sunken Pan) ชนิดลอยอยู่บนผิวน้ำ (Floating Pan) และ ชนิดอยู่บนผิวดิน (Surface Pan) [2] สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ใช้การวัดการระเหยแบบคลาส เอ (Evaporation Pan) ชนิดอยู่บนผิวดิน ซึ่งจะยอมให้น้ำระเหยจากผิวน้ำได้โดยตรง

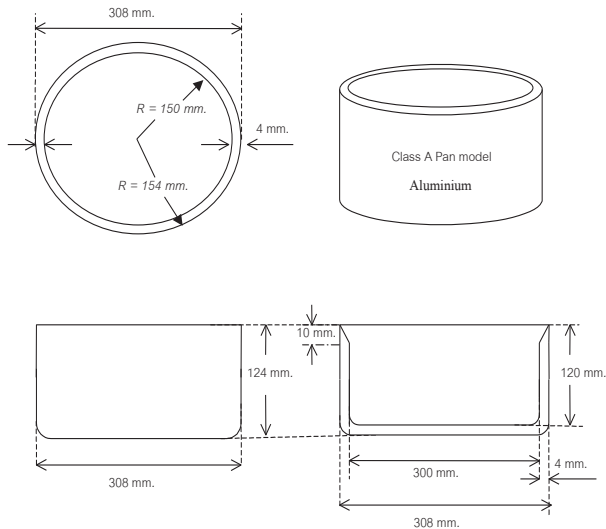
การทดลองหาปริมาณการระเหยนี้เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ การระเหยของภาควัดการระเหยทองเหลืองโดยการจำลองแบบภาควัดคลาส เอ ซึ่งการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การศึกษาเพื่อหาปริมาณการระเหยจากภาควัดการระเหยทองเหลืองโดยการจำลองแบบภาควัดคลาส เอ และ การศึกษาหาปริมาณการระเหยของเพนแมน

2.2.1) ภาควัดการระเหยทองเหลืองโดยการจำลองแบบภาควัดคลาส เอ

ภาควัดการระเหยทองเหลืองโดยการจำลองแบบภาควัดคลาส เอ จำนวน 2 ใบ ซึ่งแต่ละใบมีขนาดเท่ากันคือ เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 30 เซนติเมตร ลึก 20 เซนติเมตร ฐานที่ตั้งรองภาควัดจากไม้สูง 10 เซนติเมตร อุปกรณ์วัดระดับน้ำเพื่อใช้ในการวัดระดับของฐานรองภาควัด กระบอกตวงน้ำขนาด 100 มิลลิลิตร เทอร์โมมิเตอร์ วัดอุณหภูมิของบรรยากาศ เครื่องมือวัดระดับความลึกน้ำแบบตะขอ (Hook Gage) ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งพบว่าเคยมีผู้ศึกษาด้วยภาควัดการระเหยที่ทำจากสังกะสีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตรที่สถานีตรวจวัดอากาศเกษตรกำแพงแสน [4]



รูปที่ 3 ภาควัดการระเหยทองเหลืองโดยการจำลองแบบภาควัดคลาส เอ



รูปที่ 3 ถาดวัดการระเหยของเหลวโดยการจำลองแบบถาดคลาส เอ (ต่อ)



รูปที่ 4 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการวัดค่าการระเหยด้วยวิธีเพนแมน
แหล่งที่มา : โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาลำตะคอง สำนักงานชลประทานที่ 8
กรมชลประทาน [5]

2.3) การหาค่าการระเหยจากอ่างเก็บน้ำโดยใช้ข้อมูลถาดวัดการระเหย

การเก็บข้อมูลการระเหยจากอ่างเก็บน้ำดำเนินการในช่วงฤดูร้อน คือเดือนมีนาคม ถึงเดือนพฤษภาคม ซึ่งทำการทดลองเพื่อเก็บข้อมูล การระเหยต่อเนื่องกัน 90 วัน ซึ่งการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การศึกษาเพื่อหาปริมาณการระเหยจากถาดวัดการระเหยของเหลวโดยการจำลองแบบถาดคลาส เอ และการศึกษาเพื่อหาปริมาณการระเหยของเพนแมนซึ่งทำการศึกษาควบคู่ไปพร้อมกัน โดยจะต้องใช้สถานที่ทดสอบเดียวกันเพื่อควบคุมสภาวะต่างๆ ให้เหมือนกัน

2.3.1) การคำนวณหาค่าปริมาณการระเหยจากการจำลองแบบถาดคลาส เอ

วางถาดวัดการระเหยของเหลวโดยการจำลองแบบถาดคลาส เอ ลงตรงตำแหน่งกึ่งกลางของฐานรองจากนั้นให้เติมน้ำสะอาดลงไปในถาดจนถึงขีดบอกระดับที่ตั้งไว้ในสเกล โดยการเติมน้ำนั้นจะต้องใช้กระบอกตวงน้ำและน้ำปรับให้ไ้ระดับ พร้อมทั้งบันทึกค่าที่ตั้งไว้กับสเกลด้วย ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 เติมน้ำลงในถาดพร้อมติดตั้งเครื่องมือวัดระดับน้ำ (Hook gage)

ปริมาณการระเหยที่จดบันทึกในแต่ละวันเท่ากับผลต่างของปริมาณน้ำที่เติมลงไปในวันนั้นรวมกับปริมาณน้ำฝนที่ตกลงในถาด (ถ้ามี) กับปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในวันรุ่งขึ้น

2.3.2) การคำนวณหาค่าปริมาณการระเหยด้วยวิธีเพนแมน

ปริมาณการระเหยจากถาดยังสามารถคำนวณได้จากสูตรของเพนแมน [6] ซึ่งเป็นฟังก์ชันกับความเร็วลม และความชื้นในบรรยากาศ ค่าเฉลี่ยของฟังก์ชันดังกล่าวแสดงในตารางที่ 1 และค่าปริมาณการระเหยคำนวณได้จากสมการที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยของความเร็วลมและความดันไอน้ำ

เดือน	ความดันไอน้ำ อิมตัว (มิลลิเมตร/วัน)	ความดันไอน้ำ จริง (มิลลิเมตร/ วัน)	ความเร็วลมที่จุด ความสูง 2 ม.(ไมล์/ชม.)
มีนาคม	30.85	22.61	32.67
เมษายน	34.58	24.11	38.48
พฤษภาคม	35.23	25.87	32.59

$$ET_o = 0.35(e_a - e_d) \left(1 + \frac{v_2}{100}\right) \quad (1)$$

โดยที่

ET_o = ปริมาณการระเหย (มิลลิเมตร/วัน)

e_a = ความดันไอน้ำอิมตัว (มิลลิเมตรของปรอท)

e_d = ความดันไอน้ำจริง (มิลลิเมตรของปรอท)

v_2 = ความเร็วลมที่จุดความสูง 2 เมตรเหนือพื้นผิว (ไมล์/ชม.)

สามารถคำนวณได้จากสูตรหาปริมาณการระเหยของอากาศ คลาส เอ ดังนี้ [7]

$$ET_o = K_p E_{pan} \quad (2)$$

ET_o = ปริมาณการระเหย (มิลลิเมตร/วัน)

K_p = ค่าสัมประสิทธิ์ของการระเหยของอากาศคลาส เอ

E_{pan} = ปริมาณการระเหยของอากาศคลาส เอ (มิลลิเมตร/วัน)

ในประเทศไทย Penman ถือว่าเป็นสูตรที่มีผู้นิยมมากกว่า สูตรอื่น ซึ่งได้มีการศึกษาเปรียบเทียบจากการใช้สูตร Thornthwaite, Blaney-Criddle และMakkink [7]

3) ผลการศึกษา

ผลการวัดการระเหยจากถาดทองเหลืองคลาส เอ โดยตรง ซึ่งเก็บข้อมูลจากบริเวณสนามอุตุนิยมวิทยาของสำนักงานชลประทานที่ 8 โครงการอ่างเก็บน้ำเขื่อนลำตะคอง ต่อเนื่องกันเป็นเวลา 90 วัน ระหว่างเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม ดังนี้

3.1) ผลการศึกษาจากถาดวัดการระเหยทองเหลืองจำลอง

ปริมาณการระเหยจากถาดจำลองคลาส เอ แบบทองเหลือง ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณการระเหยจากถาดจำลองคลาส เอ แบบทองเหลือง

ค่าปริมาณการระเหย (มิลลิเมตร/วัน)			
เดือน	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
มีนาคม	5.85	3.00	6.90
เมษายน	6.02	2.95	8.82
พฤษภาคม	5.83	2.84	8.94

เดือนมีนาคมมีค่าต่ำสุด 3.00 สูงสุด 6.90 และมีค่าเฉลี่ย 5.85 มิลลิเมตร/วัน เดือนเมษายนมีค่าต่ำสุด 2.95 สูงสุด 8.82 และมีค่าเฉลี่ย 6.03 มิลลิเมตร/วัน และเดือนพฤษภาคมมีค่าต่ำสุด 2.84 สูงสุด 8.94 และมีค่าเฉลี่ย 5.81 มิลลิเมตร/วัน ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 6 จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าอัตราการระเหยของอ่างเก็บน้ำป่าสักชลสิทธิ์ [8] พบว่ามีค่าการระเหยเฉลี่ยในฤดูแล้ง 3.94 มิลลิเมตร/วัน และอ่างเก็บน้ำห้วยปรือมีค่าการสูญเสียประมาณ 4.314 มิลลิเมตรต่อวัน [9] ซึ่งจากการเก็บข้อมูลพบว่าในการเก็บข้อมูลบางวันมีปริมาณฝนที่ตกลงมาเช่นเดือนเมษายนส่งผลให้ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์สูงค่าการระเหยจึงต่ำ นอกจากนี้ความเร็วลมก็มีผลต่อค่าการระเหยในช่วงเวลาที่บันทึกในแต่ละวันด้วยเช่นกัน และค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการวัดการระเหยของถาดทองเหลือง (E_m) และถาดวัดการระเหยแบบคลาส เอ (E_{pan}) มีค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือนเท่ากับ 1.26 1.14 และ 1.05 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 7(ก) จากผลการศึกษาพบว่าค่าที่ได้จากถาดจำลองทองเหลือง (E_m) มีค่ามากกว่าถาดวัดการระเหยแบบคลาส เอ (E_{pan}) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการผลการศึกษาการวัดการระเหยของสถานีตรวจอากาศเกษตรกำแพงแสนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.21 [4] ซึ่งจากอัตราส่วน E_m / E_{pan} แสดงให้เห็นว่าค่าการระเหยจากถาดทองเหลืองจำลอง (E_m) มีค่าใกล้เคียงกับค่าการระเหยที่เก็บข้อมูลจากถาดวัดการระเหยแบบคลาส เอ (E_{pan}) และสอดคล้องกับรูปแบบการ Linear Regression มีค่า $R^2 = 0.726$ จากสมการพบว่าปริมาณการระเหยจากถาดวัดแบบคลาส เอ (Class A Pan) และปริมาณการระเหยจากถาดวัดทองเหลืองจำลองมีค่าไปในทิศทางเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 7(ข)-(ค) จากผลการศึกษาดังกล่าวสามารถนำค่าที่ได้จากถาดจำลองทองเหลือง (E_m) มาใช้เพื่อเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลค่าการระเหยในพื้นที่ศึกษาควบคู่ไปกับเครื่องมือที่มีอยู่เดิมได้เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุมและเกิดประโยชน์สูงสุดต่อการนำมาใช้งานต่อไป

3.2) ผลการหาปริมาณการระเหยด้วยวิธีเพนแมน

ปริมาณการระเหยด้วยวิธีเพนแมนมีค่าน้อยกว่าค่าการระเหยที่ได้จากถาดวัดการระเหยจำลอง เดือนมีนาคม มีค่าต่ำสุด 2.49 สูงสุด 5.52 และมีค่าเฉลี่ย 3.85 มิลลิเมตร/วัน เดือนเมษายน มีค่าต่ำสุด 3.33 สูงสุด 8.02 และมีค่าเฉลี่ย 5.17 มิลลิเมตร/วัน และเดือนพฤษภาคม ค่าต่ำสุด 2.12 สูงสุด 5.28 และมีค่าเฉลี่ย 3.85 มิลลิเมตร/วัน ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 8 จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าค่าการระเหยจากสมการเพนแมนมีค่าเฉลี่ย 4.17 มิลลิเมตร/วัน (แสดงค่าเฉลี่ยตลอดปี พ.ศ. - เม.ย. 2547) [10]

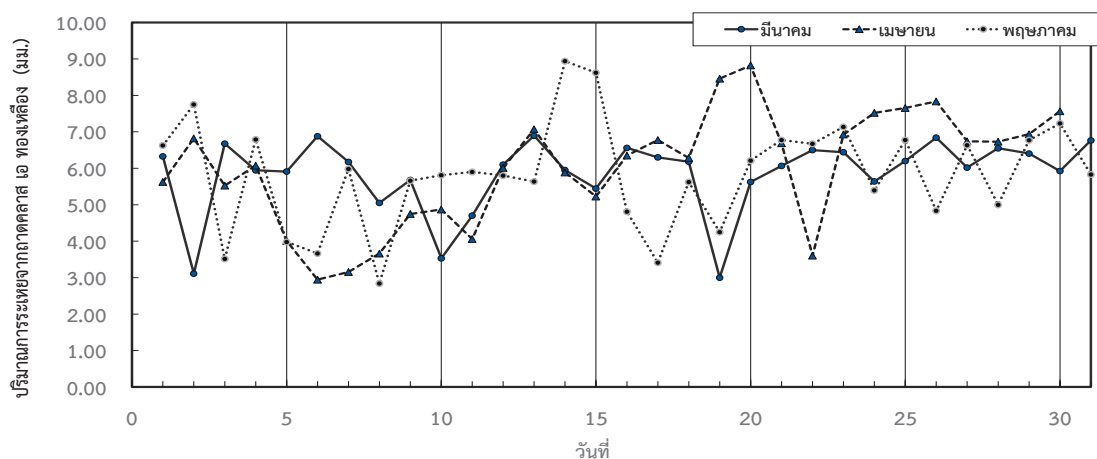
3.3) สัมประสิทธิ์การระเหยของถาดทองเหลือง (K_p)

ผลการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ของถาดทองเหลือง (K_p) เฉลี่ย ตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม เท่ากับ 0.76 ดังแสดงในตารางที่ 3

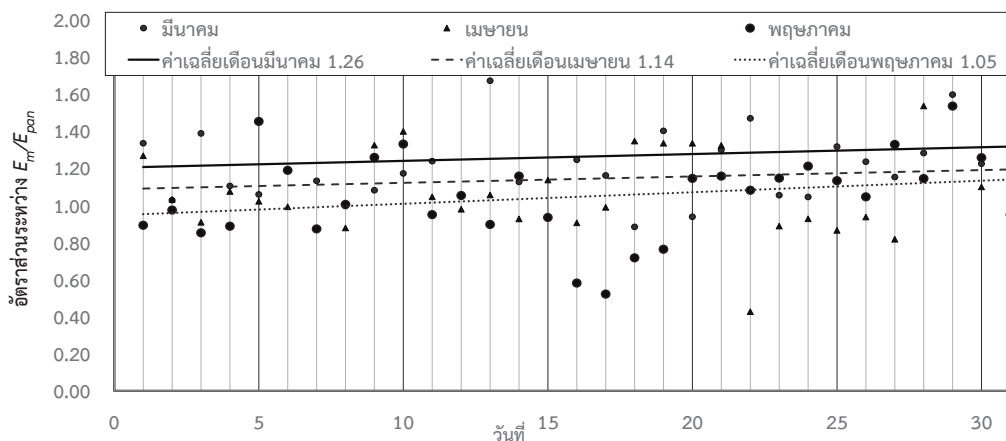
ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์ของถาดทองเหลือง

เดือน	สัมประสิทธิ์การระเหยของถาดทองเหลือง (K_p)
มีนาคม	0.69
เมษายน	0.88
พฤษภาคม	0.71
เฉลี่ย	0.76

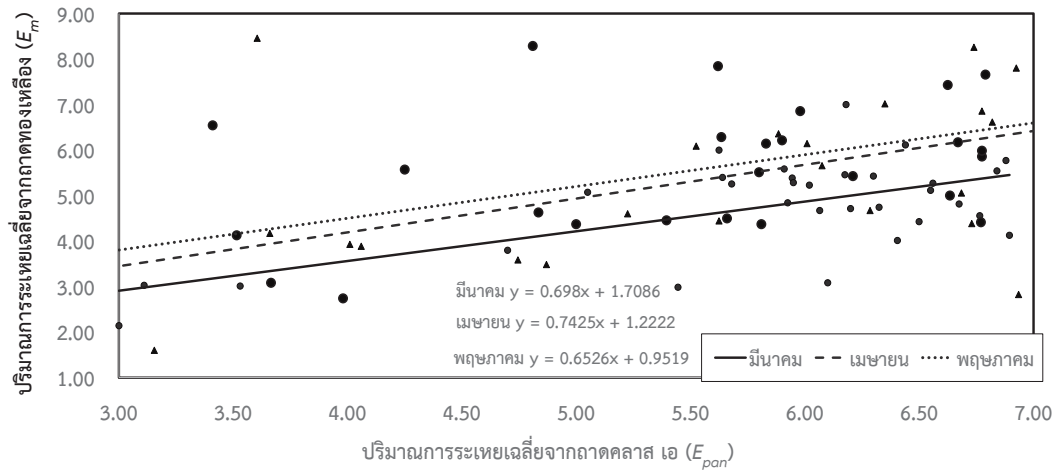
ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ของถาดคลาส เอ ของอ่างเก็บน้ำมีค่าประมาณ 0.70 – 0.80 [1] มีความสอดคล้องกับผลการศึกษาที่ผ่านมาของวรารุช (2539) [7] มีค่า $K_p = 0.84$ ซึ่งใกล้เคียงกับวิบูลย์ (2526) [11] ที่แนะนำไว้ $K_p = 0.85$ และผลการศึกษาของสุประพล (2542) [12] $K_p = 0.84$



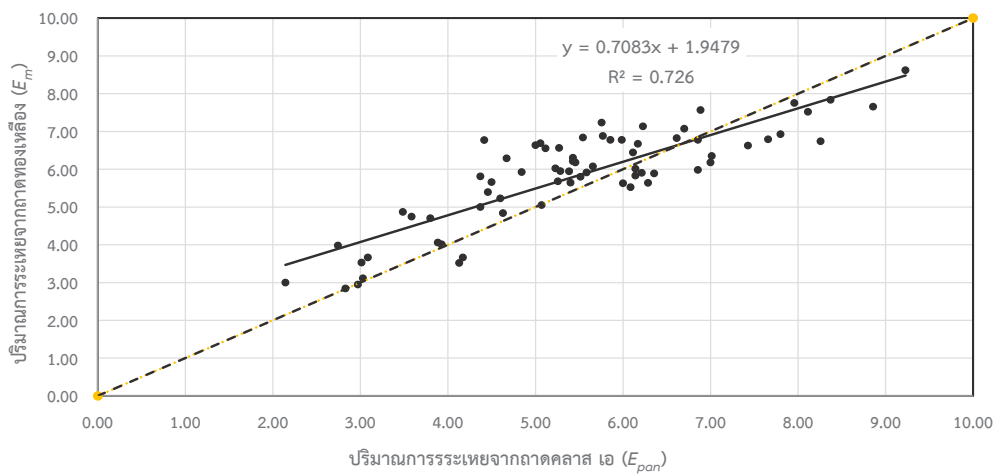
รูปที่ 6 ปริมาณการระเหยจากถาดจำลองคลาส เอ แบบทองเหลือง



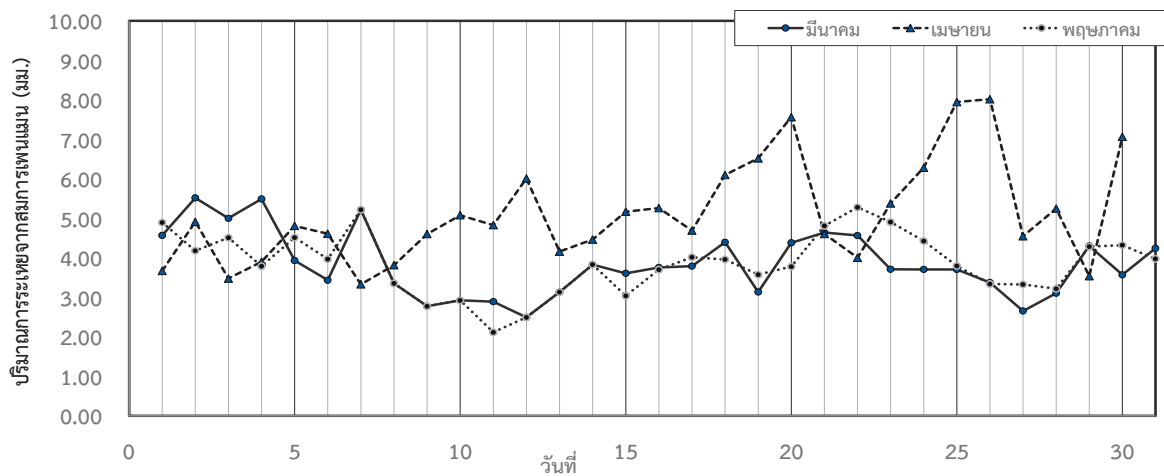
รูปที่ 7(n) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการระเหยของถาดทองเหลือง (E_m) และถาดวัดการระเหยคลาส เอ (E_{pan})



รูปที่ 7(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการระเหยของถาดทองเหลือง (E_m) และถาดวัดการระเหยคลาสน เอ (E_{pan})



รูปที่ 7(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการระเหยของถาดทองเหลือง (E_m) และถาดวัดการระเหยคลาสน เอ (E_{pan})



รูปที่ 8 ค่าการระเหยจากสมการเพนแมน (Penman Equation)

4) สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า

4.1) ผลการศึกษาจากถาดวัดการระเหยของเหล็องจำลอง

จากการเก็บข้อมูลการระเหยต่อเนื่องในสถานีเดียวกันพบว่า ค่าที่วัดได้จากถาดวัดการระเหยชนิดทองเหล็องขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตรจะมีค่ามากกว่าถาดวัดการระเหยคลาส เอ (Class A Pan) ประมาณร้อยละ 15 ซึ่งสอดคล้องกับโดยทั่วไป แล้วปริมาณการระเหยจากถาดวัดการระเหยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร จะมีค่ามากกว่าค่าที่วัดได้จากการระเหยขนาดใหญ่ [4] และเดือนที่มีการระเหยเฉลี่ยมากที่สุดคือ เดือนเมษายนมีค่า 6.03 มิลลิเมตร/วัน

4.2) ผลการหาปริมาณการระเหยด้วยวิธีเพนแมน

พบว่าค่าการระเหยที่คำนวณจากสมการเพนแมน (Penman Equation) มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าค่าที่วัดได้จากถาดวัด 30 เซนติเมตร ประมาณร้อยละ 30 เดือนที่มีการระเหยเฉลี่ยมากที่สุดคือเดือนเมษายนมีค่า 5.17 มิลลิเมตร/วัน ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อค่าการระเหยจากสมการเพนแมน คืออุณหภูมิของอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ความเร็วลมเหนือผิวดินหรือที่ระดับ 2.00 เมตร และจำนวนชั่วโมงแสงแดด [6]

4.3) สัมประสิทธิ์การระเหยของถาดทองเหล็อง K_p

พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การระเหยของถาดทองเหล็องเฉลี่ยของพื้นที่ศึกษา $K_p = 0.76$ มีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน ($K_p = 0.70 - 0.80$) และสอดคล้องกับงานศึกษาที่ผ่านมาวิบูลย์ [11] ที่แนะนำไว้ $K_p = 0.85$ และผลการศึกษาของสุประพล [12] $K_p = 0.84$ ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานและจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการใช้ถาดจำลองแบบทองเหล็องให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ออกแบบ ทำให้สามารถนำมาใช้เพื่อเก็บข้อมูลเพิ่มในพื้นที่ศึกษาในบริเวณที่มีพื้นที่จำกัด เนื่องจากถาดขนาดเล็กลงทำให้ใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อยลงงบประมาณน้อยลงและง่ายต่อการบำรุงรักษาอีกด้วย ทำให้ได้ข้อมูลที่มากขึ้นสามารถนำมาใช้ร่วมกับถาดวัดการระเหยคลาส เอ (Class A Pan) ที่มีอยู่เดิมในพื้นที่ศึกษาเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลที่ครอบคลุมในพื้นที่ศึกษาและนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

5) ข้อเสนอแนะ

5.1) การทดลองใช้ค่าเฉลี่ยและเปรียบเทียบจากแบบจำลองถาดทองเหล็องคลาส เอ ทั้งสองและการคำนวณการระเหยจากทฤษฎีของเพนแมน เป็นการเก็บข้อมูลในช่วงฤดูร้อน (เดือนมีนาคม – เดือนพฤษภาคม) เท่านั้น หากมีการศึกษาเพิ่มเติมควรเก็บข้อมูลตลอดปีต่อเนื่องเพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยตลอดทั้งปีของการศึกษาเพื่อจะนำมาใช้ประโยชน์กับพื้นที่ศึกษาได้อย่างต่อเนื่องทั้งนี้จากทฤษฎีของเพนแมนการคำนวณค่าการระเหยซึ่งมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณทั้งความเร็วลม อุณหภูมิของบรรยากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ จึงควรคำนึงถึงคือตำแหน่งที่ติดตั้ง เนื่องจากมีผลต่อทิศทางลมซึ่งส่งผลต่อการคำนวณค่าอัตราการระเหย

5.2) ข้อจำกัดของการศึกษาในวันที่มีสภาพอากาศแปรปรวน พายุฝนตกหนักมาก ลมปั่นป่วน ทำให้การวัดค่าทำได้ค่อนข้างลำบาก ในบางครั้งเวลาในการเก็บข้อมูลต่างๆอาจคลาดเคลื่อนบ้าง หรือไม่สามารถวัดการระเหยจากแบบจำลองถาดวัดการระเหยนี้ได้เมื่อฝนตกหนัก เนื่องจากแบบจำลองถาดคลาส เอ มีความจุจำกัด การแก้ปัญหากรณีในฤดูฝนมีฝนตกหนักมากเพื่อป้องกันปัญหาเรื่องการล้นของน้ำออกมานอกถาด จะทำให้วัดการระเหยไม่ได้ ดังนั้นจะต้องทำการลดระดับน้ำในถาดลงได้ตามความเหมาะสม

5.3) ข้อดีของถาดจำลองที่มีขนาดเล็กกว่าโดยย่อสัดส่วนจากถาดมาตรฐานลงมาประมาณ 4 เท่า ความสูงขนาดลดลง 50 มิลลิเมตร แต่มีความหนาแน่นมากกว่า 4 เท่า ดังนั้นจากลักษณะทางกายภาพของถาดจำลองนั้นจึงสะดวกในการติดตั้งและใช้งานง่ายกว่า ทำจากวัสดุหล่อขึ้นรูปไร้รอยพับต่อจึงไม่มีรอยร้าวเกิดขึ้น มีความหนาและแข็งแรงจึงมีความทนทานเพื่อการใช้งานและทนต่อการเสีรูปได้ดี ส่วนข้อด้อย คือ ถาดจำลองทำจากวัสดุทองเหล็องมีราคาสูง มีขนาดเล็กจึงบรรจุน้ำได้น้อยกว่าประมาณ 20 เท่าของขนาดมาตรฐาน เมื่อมีฝนตกในปริมาณมาก ดังนั้นจะต้องทำการลดระดับน้ำในถาดลงตามความเหมาะสมอาจส่งผลต่อความแม่นยำและความถูกต้องของข้อมูล

กิตติกรรมประกาศ

งานศึกษาครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ส่วนปฏิบัติการอุทกวิทยา สำนักงานชลประทานที่ 8 สถานีโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมา เอื้อเฟื้อสถานที่ทำการศึกษา และสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย

REFERENCES

- [1] W. Boonyatharokul, *Irrigation Principles*, Bangkok, Thailand: Kasetsart University, Faculty of Engineering, Department of Irrigation Engineering (in Thai), 1983.
- [2] A. Rittima. (2018). *Hydrology* (in Thai) [Online]. Available: <https://www.gooshared.com/d/NzM2Ny00>
- [3] Northern Meteorological Center, "Meteorological Instruments," (in Thai). CMMET.TMD.go.th. <http://www.cmmet.tmd.go.th/instrument/instruments.php> (accessed Apr. 1, 2021).
- [4] Lam Ta Khong Operation and Maintenance Project, "*Lam Ta Khong operation and maintenance project*," (in Thai), 2021. [Online]. Available: <http://lamtakhong-omp.rid.go.th/Lamtakhong/index.php>
- [5] S. Duangdee, "*The study of evaporation measurement by 30-cm. diameter zinc pan*," (in Thai), M. Eng. thesis, Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom, Thailand, 1988.
- [6] H. L. Penman, "Natural evaporation from open water, bare soil and grass," *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical & Engineering Sciences*, vol. 193, no. 1032, pp. 120–145, 1948.
- [7] V. Vudhivanich, "Calculation of ETo of Thailand by Penman - Monteith method," (in Thai), *Engineering Journal Kasetsart*, vol. 10, no. 29, pp. 91–105, 1996.
- [8] A. Rittima, K. Saleekij, K. Samarnwongrak, P. Sritamma, I. Cheeranoravanich, and M. Udomthara, "The study on evaporation losses from medium and small reservoirs in Thailand," (in Thai), *Research and Development Journal*, vol. 24, no.1, 2013.
- [9] K. Saktrakul, "*Study of water losses from Huai Pru Reservoir Nakhon Nayok Province*," (in Thai), M. Eng. thesis, Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom, Thailand, 2002.
- [10] M. E. Jensen, A. Dotan, and R. Sanford, "Penman-monteith estimates of reservoir evaporation," in *World Water and Environmental Resources Congress 2005*, Anchorage, AK, USA, 2005, pp. 1-24, doi: 10.1061/40792(173)548.
- [11] W. Boonyatharokul, "Estimation of potential evapotranspiration in Thailand by using formulas based on climatological data," (in Thai), *Agriculture and Natural Resources*, vol. 9, no. 1. pp. 26–34, Jun 1975.
- [12] S. Wattasirichai, "Forecasting evaporation rate from Class A Pan and analysis of reservoir evaporation," (in Thai), M. Eng. thesis, Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom, Thailand, 1999.