

การประเมินความแม่นยำการประมาณการระเหยด้วยวิธี Multiple Linear Regression และสมการลดรูปแบบง่ายของ Penman

The Comparative Accuracy Evaluation of Water Evaporation using Multiple Linear Regression and Simplified Penman's Equation.

จิรเดช เสธฐกัมพู¹ และ วชรภูมิ เบญจโอฬาร^{1,*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สุรนารี เมือง นครราชสีมา 30000

Jiradet Settakumpoo¹ and Vacharapoom Benjaoran^{1,*}

¹School of Civil Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Suranaree, Mueang, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand

*Corresponding Author E-mail: vacharapoom@sut.ac.th

Received: May 10, 2022; Revised: Sep 07, 2022; Accepted: Sep 09, 2022

บทคัดย่อ

การประมาณค่าการระเหยที่แม่นยำนั้นทำได้ยากเนื่องจากปฏิสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างพื้นดิน บรรยากาศ และผิวน้ำ ซึ่งมีนักวิจัยได้พัฒนาสมการประมาณการระเหยให้ง่ายขึ้น โดยอ้างอิงสมการของ Penman และยังมีการพัฒนาแบบจำลองการถดถอยเชิงสถิติของข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาสำหรับการประมาณการระเหย เพื่อให้ได้สมการที่ง่ายและไม่ซับซ้อน ซึ่งงานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองด้วยการวิเคราะห์แบบการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression, MLR) โดยใช้ข้อมูลย้อนหลัง 15 ปี ของจังหวัดนครราชสีมา ประกอบด้วยอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดและต่ำสุด ความเร็วลม ชั่วโมงแสงอาทิตย์และค่าการระเหย โดยแบ่งเป็น 6 แบบจำลอง ผลการวิเคราะห์ MLR แบบจำลองที่ 1 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมากที่สุด 83.6% (ข้อมูล 4 ตัวแปร, ย้อนหลัง 5 ปี) ซึ่งพบว่าความเร็วลมเฉลี่ยมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงและมีอิทธิพลต่อการระเหยมากที่สุด รองลงมาคือ อุณหภูมิเฉลี่ย ชั่วโมงแสงอาทิตย์และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย และได้ประเมินความแม่นยำด้วยวิธีค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยสัมบูรณ์ (MAD) ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยกำลังสอง (MSE) และค่าเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนเฉลี่ยสัมบูรณ์ (MAPE) ของสมการแบบจำลองด้วยวิธี MLR และสมการลดรูปแบบง่ายของ Penman (Simplified Penman's Equation, SPE) ในการประมาณการระเหย โดยใช้ข้อมูลการระเหยล่าสุด 10 เดือนเป็นตัวแทนค่าการระเหยจริงในพื้นที่ ซึ่งพบว่าแบบจำลองที่ 2 (ข้อมูล 4 ตัวแปร, ย้อนหลัง 10 ปี) มีค่าคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด (MAD = 0.41, MSE = 0.29, MAPE = 7.9) ดังนั้น การเลือกสมการเหมาะสมสำหรับประมาณการระเหยควรพิจารณาทั้งความแม่นยำและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

คำสำคัญ: การระเหย, สมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ, สมการลดรูปแบบง่ายของ Penman, การประเมินความแม่นยำ

Abstract

Accurately estimation of water evaporation is very difficult due to the complex relation between land, atmosphere and water surface conditions. Therefore, many researchers have improved the Penman's prediction equation and develop the statistically regression model of meteorology data that giving simple and non-complex water evaporation equation. This research uses data from the last 15 years of Nakhon Ratchasima Province consisting of the maximum and minimum temperatures, maximum and minimum

relative humidity, wind speed, sunshine hours and evaporation values. The collected data was categorized into 6 models and then analyzed by Multiple Linear Regression (MLR) method. The MLR analysis result shown Model 1 had the highest Coefficient of Determination of 83.6% (4 variables, 5 years data set), which presented the water evaporation are consecutively related to wind speed, mean temperature, sunshine hours and average relative humidity. Additionally, model's error calculation using the Absolute Mean Deviation (MAD), Mean Square Error (MSE) and Mean Absolute Percent Error (MAPE) were performed for inspective comparison of the MLR models and the Simplified Penman's Equation (SPE). Ten months of most recent evaporation data were used and resulted that MLR Model 2 (4 variables, 10 years data set) had the least errors as $MAD = 0.41$, $MSE = 0.29$, and $MAPE = 7.9$. Therefore, the appropriate equation for predicting the water evaporation should consider both the errors and the Coefficient of Determination.

Keywords: Evaporation, Multiple Linear Regression, Simplified Penman's Equation, Accuracy Evaluation

1. บทนำ

การระเหยเป็นองค์ประกอบหลักของวัฏจักรน้ำทางอุทกวิทยาและเป็นกระบวนการที่สำคัญของการสูญเสียน้ำจากแหล่งน้ำขนาดกลางและขนาดเล็ก ทำให้มีการคิดวิธีประมาณการระเหยอย่างแพร่หลายสำหรับการใช้งานทางด้านอุทกวิทยา ซึ่งการใช้งานทางวิศวกรรมจำเป็นต้องมีการประมาณที่ให้ค่าใกล้เคียง เพื่อใช้ในการวางแผนการจัดการทรัพยากรน้ำและการชลประทาน การตรวจวัดการระเหยของแหล่งน้ำโดยตรงในทางปฏิบัติเป็นไปได้ค่อนข้างยากและซับซ้อน วิธีการประมาณค่าการระเหยด้วยข้อมูลอุตุนิยมนิยมใช้เป็นวิธีที่นิยมกันมากในงานทางอุทกวิทยาและการชลประทาน วิธีการดังกล่าวแตกต่างกันตามข้อมูลอุตุนิยมนิยมที่ไปจนถึงหลักการสำหรับการวิเคราะห์ เช่น วิธีงบประมาณ (Water budget method) วิธีงบประมาณพลังงาน (Energy budget method) วิธีการอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamic method) และวิธีผสม (Combination method) วิธีมาตรฐานเหล่านี้เกิดขึ้นจากการประมาณค่าการระเหยจากแหล่งน้ำเปิดภายใต้ตำแหน่งและตัวแปรทางอุทกวิทยาที่แตกต่างกัน

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression, MLR) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ทางสถิติที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย ซึ่งรวมทั้งการวิจัยทางอุตุนิยมนิยมสำหรับการประมาณการระเหยของแหล่งน้ำแบบต่าง ๆ ด้วยการใช้ข้อมูลภูมิอากาศที่วัดได้มาพัฒนาเป็นสมการอย่างง่าย หรือการใช้เทคนิคนี้ในงานวิจัยสาขาอื่น ๆ อีกมากมาย เช่น การประมาณค่าการคายระเหยของพืช (Crop Evapotranspiration, ET_c) [1] การพัฒนาตัวแบบการถดถอยเพื่อประมาณค่า

สัมประสิทธิ์การคายระเหยจากตัวแปรสภาพอากาศและเปรียบเทียบค่าการคายระเหยของพืช (ET_c) [2] นอกจากนี้ยังใช้เทคนิค MLR เพื่อพัฒนาแบบจำลองสำหรับการประมาณการระเหยของผิวน้ำในแต่ละวันจากตัวแปรสภาพอากาศ [3]

งานวิจัยที่ผ่านมา [4–7] ได้พัฒนาสมการ (Simplified Penman's Equation, SPE) จากข้อมูลตัวแปรสภาพอากาศ ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย ความเร็วลมเฉลี่ย อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย และค่าชั่วโมงแสงอาทิตย์ ซึ่งในสมการดังกล่าวมีค่ารังสีดวงอาทิตย์ (Solar Radiation, R_s) และค่ารังสีดวงอาทิตย์จากภายนอก (Extraterrestrial Radiation, R_A) ที่ไม่สามารถวัดค่าโดยตรงได้ แต่ต้องคำนวณจากชั่วโมงแสงอาทิตย์ พิกัดของแหล่งที่ตั้ง และเดือนที่ต้องการทราบ ทำให้เกิดความยุ่งยากและซับซ้อนในการคำนวณ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเสนอการใช้ MLR เพื่อสร้างแบบจำลองในการหาสมการอย่างง่าย โดยใช้ข้อมูลตัวแปรสภาพอากาศย้อนหลัง 15 ปี จากสถานีอุตุนิยมนิคมวิทยานครราชสีมา อ.ปากช่อง ประกอบด้วยข้อมูล 6 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิอากาศสูงสุดต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดต่ำสุด ความเร็วลมเฉลี่ย และค่าชั่วโมงแสงอาทิตย์ จากนั้นจึงตรวจสอบความแม่นยำของสมการของแบบจำลองที่ได้กับข้อมูลสภาพอากาศจริงของปี 2564 ด้วยวิธีค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยสัมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation, MAD) ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Square Error, MSE) และค่าเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนเฉลี่ยสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error, MAPE) อีกทั้งยังเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนกับสมการ SPE

2. งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การหาค่าการระเหยมี 5 วิธี [8] ได้แก่ 1. วิธีการใช้ถาดวัดการระเหยเป็นวิธีที่มีเครื่องมือวัดการระเหยที่นิยมมากที่สุดในปัจจุบัน 2. วิธีบ่งน้ำเป็นวิธีการอ้างอิงบนหลักการว่าน้ำจะไม่มีการสูญหาย แต่จะมีการเปลี่ยนสถานะและเปลี่ยนตำแหน่งที่อยู่ วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายแต่ทำได้มีความน่าเชื่อถือน้อย เนื่องจากในทางปฏิบัติมีความผิดพลาดจากการประเมินปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำไหลเข้า-ออกของอ่าง อัตราการรั่วซึม ปริมาตรเก็บกัก 3. วิธีงบประมาณเป็นวิธีที่คล้ายกับวิธีบ่งน้ำคือ การอ้างอิงกับสมการความต่อเนื่องของพลังงาน วิธีนี้มีข้อเสียคือ ทำการวัดหรือคำนวณได้ยากและต้องใช้เครื่องมือที่ทันสมัย 4. วิธีการอากาศพลศาสตร์เป็นวิธีที่พัฒนามาจากสมการแบบ turbulent-transport ซึ่งมีพื้นฐานแนวคิดจาก 2 วิธีด้วยกันคือ การผสมแบบไม่ต่อเนื่องและการผสมแบบต่อเนื่อง จนได้สมการของ Dalton มีความเร็วลม สัมประสิทธิ์ความเร็วลมและความดันไอเป็นตัวแปรหลัก โดยค่าความเร็วลมสามารถวัดได้ส่วนตัวแปรที่เหลือต้องคำนวณหาจากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความดันไอ ซึ่งเป็นความยุ่งยาก

สุดท้ายวิธีที่ 5 ซึ่งเป็นหลักการที่งานวิจัยนี้ใช้อ้างอิงคือ วิธีผสมเป็นการผสมผสานระหว่างวิธีงบประมาณและวิธีอากาศพลศาสตร์ โดยใช้สมการหลักของ Penman ในการประมาณค่าการระเหย ต่อมานักวิจัย [4-6] พยายามพัฒนาสมการประมาณการระเหยของ Penman โดยการลดจำนวนของตัวแปรบางตัวแปร เพื่อให้สมการสามารถใช้งานได้ง่ายขึ้น และใช้จำนวนตัวแปรทางอุณหภูมิต่ำลง โดยมีนักวิจัย [7] ได้พัฒนาสมการ SPE ตามสมการที่ (1) และเสนอสมการดังกล่าวด้วยการตัดตัวแปรความเร็วลมเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน แต่ยังมีตัวแปรที่ซับซ้อน ได้แก่ R_s , R_A ที่ต้องคำนวณจากสมการความสัมพันธ์ของชั่วโมงแสงอาทิตย์ พิกัดของแหล่งที่ตั้ง และเดือนที่ต้องการทราบ เพื่อให้ง่ายในการประมาณการระเหยจึงทำการสร้างแบบจำลองด้วยความสัมพันธ์ระหว่างการระเหยกับตัวแปรทางอุณหภูมิต่ำลง ที่ผ่านมามีนักวิจัย [9] ใช้ข้อมูลทางอุณหภูมิต่ำลงได้แก่ อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดและต่ำสุด ความเร็วลม และชั่วโมง

แสงอาทิตย์ สร้างแบบจำลองทางสถิติด้วยวิธี MLR, Principal Components Regression (PCR) และ Partial Least-Squares (PLS) เพื่อทำการประเมินความคลาดเคลื่อนของการประมาณการระเหยในแต่ละวิธีและตำแหน่งของพื้นที่ที่แตกต่างกัน ปรากฏว่าแบบจำลองจากวิธี MLR มีความแม่นยำในการประมาณมากที่สุด นอกจากนั้นยังมีการเสนอแบบจำลองอีกจำนวนมากสำหรับการประมาณการระเหย

2.1 สมการลดรูปแบบง่ายของ Penman

สมการ Simplified Penman's Equation (SPE) [7] เป็นสมการสำหรับประมาณการระเหยซึ่งเป็นวิธีผสมที่รวมระหว่างวิธีงบประมาณกับวิธีอากาศพลศาสตร์ โดยมีตัวแปรทางอุณหภูมิต่ำลงหลายตัวแปรที่เกี่ยวข้อง และค่าของตัวแปรเหล่านี้จะถูกติดตามและบันทึกที่สถานีกรมอุณหภูมิต่ำลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสามารถนำค่าที่บันทึกได้ไปคำนวณประมาณการระเหยของถาดได้ตามสมการที่ (1)

$$E_{SPE} = E_{radS} - E_{radL} + E_{aero} \quad (1)$$

$$E_{radS} = 0.051(1 - \alpha)R_s\sqrt{T} + 9.5 \quad (1a)$$

$$E_{radL} = 2.4 \left(\frac{R_s}{R_A}\right)^2 \quad (1b)$$

$$E_{aero} = 0.048(T + 20) \left(1 - \frac{RH}{100}\right) (0.5 + 0.536u) \quad (1c)$$

โดยที่

E_{SPE} คือ การระเหยจากถาดที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการที่ (1) (ตัวแทนการระเหยจากแหล่งน้ำใกล้เคียง) (mm/day)

E_{radS} คือ การระเหยจากรังสีคลื่นสั้นสุทธิ (Evaporation by net short wave radiation, mm/day)

E_{radL} การระเหยจากรังสีคลื่นยาวสุทธิ (Evaporation by net long wave radiation, mm/day)

E_{aero} คือ การระเหยจากอากาศพลศาสตร์ (Evaporation by aerodynamic, mm/day)

α คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (มีค่าเท่ากับ 0.08 สำหรับทางน้ำเปิด)

R_s คือ ค่ารังสีดวงอาทิตย์จากการวัดหรือประมาณ ($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{d}$)

R_A คือ ค่ารังสีดวงอาทิตย์จากภายนอกคำนวณได้จากพิกัดของแหล่งที่ตั้ง ($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{d}$)

RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (%)

u คือ ความเร็วลม (m/s)

T คือ อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย ($^{\circ}C$)

จากสมการที่ (1) ในการประมาณการระเหยจากถาด คลาส A มีตัวแปรที่สำคัญ 5 ตัวแปร ซึ่งข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาที่ใช้โดยมี 3 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย และความเร็วลม ส่วนของค่า R_s และ R_A ได้มาจากการคำนวณตำแหน่งที่ตั้ง ชั่วโมงแสงอาทิตย์ และลำดับที่ของเดือน โดยเริ่มคำนวณจากค่าเวลากลางวันตามสมการที่ (2) ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าลำดับที่ของเดือนและตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่ทดสอบ จากนั้นนำค่าเวลากลางวันกับตำแหน่งที่ตั้งไปหาค่า R_A ตามสมการที่ (3)–(4) และนำค่า R_A แทนในสมการที่ (5) เพื่อหาค่า R_s ตามลำดับ

$$N = 40 \sin(0.53i - 1.65) + 12 \quad (2)$$

$$R_A = 3N \sin(0.131N - 0.950) \quad (3)$$

for $|\phi| > \frac{23.5\pi}{180}$

$$R_A = 18N^{0.2} \sin(0.131N - 0.200) \quad (4)$$

for $|\phi| < \frac{23.5\pi}{180}$

$$R_s = R_A \left(0.5 + 0.25 \frac{n}{N} \right) \quad (5)$$

เมื่อ

ϕ คือ ตำแหน่งที่ตั้ง (Latitude of the site, Radians)

i คือ เดือนที่ (Rank of the month, the first month is January)

N คือ เวลากลางวัน (Daylight hours, ชั่วโมง)

n คือ ชั่วโมงแสงอาทิตย์ (Sunshine hours, ชั่วโมง)

จากสมการที่ (2)–(5) จะเห็นได้ว่าเป็นสมการที่มีความซับซ้อนในการใช้งานและไม่สะดวกในการประมาณการระเหยซึ่งควรมีการวิจัยเพื่อพัฒนารูปแบบสมการที่ง่ายขึ้นและยังสามารถประมาณค่าได้แม่นยำตามสมควรแก่การใช้งาน

2.2 วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression, MLR)

การวิเคราะห์การถดถอยเป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (Independent Variable) กับตัวแปรตาม (Dependent Variable) ซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linearity) โดยมีตัวแปรอิสระมากกว่าหนึ่งตัวและตัวแปรตามหนึ่งตัว [10] ตามสมการที่ (6)

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k + \epsilon \quad (6)$$

เมื่อ

k คือ จำนวนตัวแปรอิสระในสมการถดถอย

x_i คือ ค่าตัวแปรอิสระแต่ละตัว (โดยที่ $i = 1, 2, \dots, k$)

b_0 คือ ค่าคงที่ (Constant) ของสมการถดถอย

b_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient) (โดยที่ $i = 1, 2, \dots, k$) ซึ่ง b_i จะแสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า x_i ต่อค่า Y

ϵ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่า x และค่า Y

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณจะหาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยเพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม และจะได้สมการถดถอยเพื่อใช้ในการพยากรณ์ค่าตัวแปรตาม โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) จะเป็นดัชนีชี้วัดระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม ซึ่งค่า R^2 จะอยู่ในช่วง $[0, 1]$ และใช้การแปลความหมายของระดับความสัมพันธ์ตามช่วงของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ [11] ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความหมายของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่บ่งชี้ระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (%)	ความหมาย
82–100	มีความสัมพันธ์สูงมาก
50–81	มีความสัมพันธ์สูง
26–49	มีความสัมพันธ์ปานกลาง
10–25	มีความสัมพันธ์กันต่ำ
0–9	ไม่มีความสัมพันธ์ต่ำมาก

การวิเคราะห์การถดถอยในกรณีที่มีตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียวอาจไม่เพียงพอสำหรับการจำลองความสัมพันธ์กับตัวแปรตามได้อย่างแม่นยำ การใช้ตัวแปรอิสระหลายตัวจึงช่วยให้จำลองความสัมพันธ์กับตัวแปรตามได้แม่นยำมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามถ้าหากมีจำนวนตัวแปรอิสระในสมการมากเกินไปอาจทำให้เกิดความผิดพลาดกลับสูงขึ้น ดังนั้น การคัดเลือกตัวแปรอิสระเพื่อให้ได้เฉพาะตัวแปรที่

มีอิทธิพลแท้จริงและนำไปสู่สมการถดถอยที่เหมาะสม มีวิธีการที่นิยมใช้ 3 วิธี ได้แก่

2.2.1. Forward selection

เป็นวิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสู่สมการทีละตัวแปร โดยตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามมากที่สุด จะถูกคัดเลือกเข้าก่อน จากนั้นตรวจสอบว่าตัวแปรอิสระนั้นสามารถประมาณตัวแปรตามได้อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ถ้าใช่จะคัดเลือกตัวแปรอิสระลำดับต่อมา ถ้าไม่ใช่จะตัดตัวแปรนั้นออกไปและทำเช่นนี้ไปจนไม่มีตัวแปรอิสระใดเข้าไปในสมการได้อีกจึงหยุดการคัดเลือกและถือว่าสมการนั้นเป็นสมการที่เหมาะสม

2.2.2. Backward elimination

เป็นวิธีการที่เริ่มต้นด้วยการสร้างสมการแรกที่ใช้ตัวแปรอิสระทั้งหมด ขึ้นก่อนแล้วจึงคัดเลือกตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามน้อยที่สุดออกจากสมการทีละตัวแปร และทำการตรวจสอบตัวแปรที่เหลืออยู่ร่วมกันสามารถประมาณตัวแปรตามได้อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ถ้าไม่ได้จะคัดเลือกตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามน้อยในลำดับต่อมาและทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนไม่มีตัวแปรอิสระที่ถูกคัดออกอีก สมการที่ได้สามารถประมาณตัวแปรได้อย่างมีนัยสำคัญถือว่าสิ้นสุด

2.2.3. Stepwise

เป็นวิธีที่ผสมระหว่าง Forward selection กับ Backward elimination โดยการนำตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามมากที่สุดเข้าเป็นสมการแรก จากนั้นทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติ ถ้าไม่มีนัยสำคัญจะถือว่าสิ้นสุดการคัดเลือก แต่ถ้าพบว่ามีความสำคัญจะทำการคัดเลือกตัวแปรอิสระที่มีลำดับความสัมพันธ์รองลงมาเข้าสู่สมการ ซึ่งในการนำตัวแปรอิสระตัวใหม่เข้าสู่สมการจะมีการตรวจสอบตัวแปรอิสระที่อยู่ในสมการก่อนหน้านี้ว่าทุกตัวยังควรอยู่ในสมการหรือไม่ ถ้าไม่ควรอยู่จะทำการคัดออกก่อน แล้วค่อยคัดเลือกตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์ลำดับถัดไปเข้าสู่สมการและถ้าไม่มีนัยสำคัญจะถูกคัดออกไป จะทำการคัดเลือกแบบนี้ไปจนกว่าไม่มีตัวแปรอิสระใดถูกนำเข้าหรือคัดออกถือว่าสิ้นสุดการคัดเลือก สมการที่ได้เป็นสมการที่เหมาะสมและที่ใช้ในการประมาณ

2.3 การประเมินความแม่นยำของแบบจำลอง

การตรวจสอบความแม่นยำของสมการหลังจากการสร้างแบบจำลองแล้วเสร็จ โดยใช้หลักการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าการประมาณด้วยสมการ ซึ่งค่าจริงที่จะใช้นี้ควรเป็นค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดจริงหรือค่าที่ต้องการอ้างอิงเปรียบเทียบจากการประมาณ หากมีความแตกต่างมากหมายความว่าสมการที่ใช้ประมาณนั้นมีความแม่นยำต่ำ ทำให้ต้องมีการพัฒนาปรับแก้สมการต่อไป ซึ่งดัชนีชี้วัดความคลาดเคลื่อนของการประมาณมีหลายตัว ได้แก่

ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยสัมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation, MAD)

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |A_t - F_t| \quad (7)$$

ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Square Error, MSE)

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2 \quad (8)$$

ค่าเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนเฉลี่ยสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error, MAPE)

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|A_t - F_t|}{A_t} \quad (9)$$

เมื่อ

t คือ เวลา

A_t คือ ค่าจริงที่เวลา t

F_t คือ ค่าในการประมาณที่เวลา t

n คือ ค่าจำนวนของเวลา

3. วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยานครราชสีมา (กลุ่มงานอากาศเกษตรปากช่อง) อ.ปากช่อง ช้อนหลัง 15 ปี ในช่วงปี พ.ศ. 2559-2563 ซึ่งสถานีมีเครื่องมือมาตรฐานภาคพื้นดินสำหรับการเก็บข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ถาดวัดระเหย เทอร์โมมิเตอร์แบบแอลกอฮอล์และกระเปาะเปียก เครื่องมือบันทึกชั่วโมงแสงแดด เครื่องวัดความเร็วลมแบบถ้วย เครื่องมือวัดความชื้นสัมพัทธ์ และเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท โดยการ

อ่านจะดำเนินการวันละครั้ง เวลา 08:00–8:30 น. ตามเวลาประเทศไทย และทำการบันทึกข้อมูล ซึ่งข้อมูลจะได้รับการตรวจสอบคุณภาพก่อนส่งมอบให้กับผู้ใช้ สำหรับชุดข้อมูลที่ใช้ในการศึกษานี้ประกอบด้วยค่ารายวันของอุณหภูมิอากาศสูงสุด ($T_{\max}$, °C) อุณหภูมิอากาศต่ำสุด ($T_{\min}$, °C) ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด ($RH_{\max}$, %) ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด ($RH_{\min}$, %) ชั่วโมงแสงแดดจริง (n, ชั่วโมง), ความเร็วลมเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ที่ความสูง 2 เมตร (u, m/s) และค่าการระเหยจริงที่วัดได้จากถาดวัดการระเหย (เป็นค่าระดับน้ำในถาดที่ลดลงไปจากการระเหย) (Em, mm)

3.1 การจัดการข้อมูล

ข้อมูลดิบที่ได้จากสถานี เป็นแบบรายวันและมีจำนวนมาก จึงทำการปรับข้อมูลเหล่านี้เป็นข้อมูลรายสัปดาห์ เพื่อลดจำนวนข้อมูลนำเข้าและความผันผวนของข้อมูลลง โดยกำหนดให้ข้อมูลรายวันในแต่ละรอบหนึ่งเดือนปฏิทินแบ่งออกเป็น 4 สัปดาห์ และใช้ค่าเฉลี่ย (average) ของข้อมูลรายวันในแต่ละสัปดาห์เหล่านั้นเป็นตัวแทน จำนวนชุดข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

การปรับเปลี่ยนข้อมูลรายวัน $T_{\max}$ และ $T_{\min}$ โดยการนำค่าทั้ง 2 มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้เป็นค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน (T) และค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายวัน (RH) เป็นการนำค่าข้อมูลรายวัน $RH_{\max}$ และ $RH_{\min}$ มาหาค่าเฉลี่ย จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดมาปรับเปลี่ยนจากรายวันให้เป็นรายสัปดาห์ ดังแสดงตัวอย่างข้อมูลในตารางที่ 2 โดยสัปดาห์ที่ 1–3 เป็นการนำข้อมูลของวันที่ 1–7, 8–14 และ 15–21 ของแต่ละเดือนมาหาค่าเฉลี่ยตามลำดับ ส่วนสัปดาห์ที่ 4 เป็นการนำข้อมูลวันที่ 22–วันสุดท้ายของเดือนมาเฉลี่ย ทำให้ได้จำนวนข้อมูล 48 สัปดาห์ต่อปี หรือรวมจำนวนชุดข้อมูลทั้งสิ้นสูงสุด 48 ชุด

ตารางที่ 2 ตัวอย่างข้อมูลรายสัปดาห์เดือนมกราคม 2563

Month-Weekly	Jan-1	Jan-2	Jan-3	Jan-4
$T_{\min}$ (°C)	20.3	20.6	19.6	19.7
$T_{\max}$ (°C)	32.0	33.6	33.5	32.9
$RH_{\min}$ (%)	39.0	37.0	34.4	37.0
$RH_{\max}$ (%)	78.1	77.3	84.6	85.8
n (ชั่วโมง)	8.1	7.5	7.6	8.0

ตารางที่ 2 ตัวอย่างข้อมูลรายสัปดาห์เดือนมกราคม 2563 (ต่อ)

Month-Weekly	Jan-1	Jan-2	Jan-3	Jan-4
u (m/s)	2.9	2.1	1.7	2.4
Em (mm./day)	6.6	5.7	6.0	6.9

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ใช้ในการประเมินความแม่นยำของแบบจำลอง จะใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยารายวันในแต่ละวันปรับเป็นข้อมูลรายสัปดาห์ด้วยวิธีหาค่าเฉลี่ยตามที่กล่าวข้างต้น โดยจะใช้ข้อมูลระหว่างเดือนมกราคม–เดือนตุลาคม 2564 (รวม 10 เดือน หรือ 40 สัปดาห์) เนื่องจากเป็นข้อมูลล่าสุดของปีปัจจุบันที่ทำการวิจัย คิดเป็นจำนวนชุดข้อมูลทั้งสิ้นสูงสุด 40 ชุด

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี MLR

งานวิจัยนี้ทดลองสร้างแบบจำลอง MLR หลายแบบแตกต่างกันตามจำนวนตัวแปรอิสระและจำนวนข้อมูลตามระยะเวลาย้อนหลัง ซึ่งสมมติฐานว่าอาจส่งผลต่อความถูกต้องของการประมาณการระเหย ดังนี้ แบบจำลองที่ใช้ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาที่ถูกแปลงเป็นรายสัปดาห์แล้วจำนวน 4 ตัวแปร ได้แก่ T, RH, n, และ u และแบบจำลองที่ใช้ 6 ตัวแปร ได้แก่ $T_{\min}$, $T_{\max}$, $RH_{\min}$, $RH_{\max}$, n, และ u นอกจากนี้ยังแบ่งกลุ่มตามจำนวนข้อมูลย้อนหลังสำหรับการสร้างแบบจำลองต่าง ๆ เป็น 15, 10, และ 5 ปี ได้แบบจำลองจำนวนรวม 6 แบบจำลองตามตารางที่ 3 และตัวแปรตามที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองคือ Em ในช่วงเวลาเดียวกันและถูกแปลงเป็นรายสัปดาห์แล้วเช่นกัน

ตารางที่ 3 สรุปจำนวนแบบจำลองภายใต้ข้อกำหนดต่าง ๆ

แบบจำลองที่ i	จำนวนตัวแปรอิสระทางอุตุนิยมวิทยา		จำนวนปีย้อนหลัง (ปี)		
	4 ตัวแปร	6 ตัวแปร	5	10	15
1	✓		✓		
2	✓			✓	
3	✓				✓
4		✓	✓		
5		✓		✓	
6		✓			✓

ซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ MLR คือ โปรแกรม Minitab โดยใช้วิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระแบบ Stepwise เพื่อให้ได้ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ของโปรแกรมเป็นสมการประมาณการระยะของแต่ละแบบจำลองทั้ง 6 เหล่านี้

3.3 การประเมินความแม่นยำ

การประเมินแม่นยำเพื่อหาแบบจำลองที่ดีที่สุด (คลาดเคลื่อนน้อยที่สุด) จะใช้ข้อมูลอุตุนิยมหาวิทยาลัยสุโขทัยเป็นทั้งค่าตัวแปรอิสระและค่าตัวแปรตาม เพื่อคำนวณค่าประมาณการระยะของสมการแบบจำลองทั้ง 6 สมการ และของสมการ SPE ในการประเมินค่าดัชนี MAD, MSE, และ MAPE (ดังสมการที่ (7)–(9)) จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยการระยะที่วัดได้จากถาดวัดการระยะ (E_m) ในช่วงเวลาเดียวกันเป็นค่าการระยะจริง (A_p) ในการคำนวณค่าดัชนีต่างๆ

4. ผลการทดลอง

ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ผลการวิเคราะห์และการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามของแบบจำลองทั้ง 6 แบบ และส่วนที่ 2 คือ ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการประมาณค่าการระยะระหว่างของสมการที่ได้จากการวิจัยนี้กับสมการ SPE และค่าการระยะจริงที่วัดจากถาดที่สถานี ผลการทดลองส่วนที่ 1 จากการวิเคราะห์สร้างแบบจำลองด้วยวิธี MLR ทั้ง 6 แบบจำลอง แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สมการประมาณการระยะของแบบจำลองด้วยวิธี MLR จากโปรแกรม Minitab

แบบจำลองที่ i	สมการประมาณการระยะจากถาดของแบบจำลอง*	R ² (%)
1	$E1 = -3.24 + 0.412T - 0.0681RH + 0.184n + 0.674u$	83.6
2	$E2 = 0.446 + 0.346T - 0.0813RH + 0.126n + 0.447u$	78.5
3	$E3 = 0.645 + 0.333T - 0.0771RH + 0.145n + 0.405u$	74.1

ตารางที่ 4 สมการประมาณการระยะของแบบจำลองด้วยวิธี MLR จากโปรแกรม Minitab (ต่อ)

แบบจำลองที่ i	สมการประมาณการระยะจากถาดของแบบจำลอง*	R ² (%)
4	$E4 = -8.43 + 0.437T_{\max} - 0.0340RH_{\max} + 0.138n + 0.973u$	82.7
5	$E5 = -0.0100 + 0.170T_{\min} + 0.188T_{\max} - 0.0499RH_{\max} - 0.0324RH_{\min} + 0.145n + 0.505u$	76.2
6	$E6 = 0.830 + 0.118T_{\min} + 0.230T_{\max} - 0.0794RH_{\max} + 0.200n + 0.394u$	72.2

หมายเหตุ *Ei คือ ค่าการระยะที่ได้จากสมการของแบบจำลองที่ i

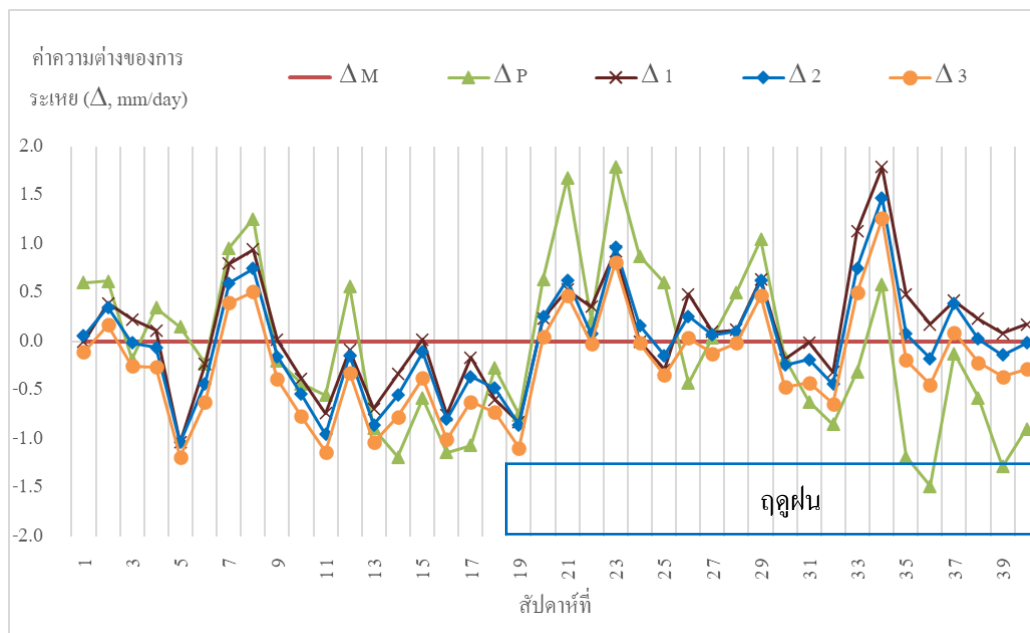
ค่า E_i ในตารางที่ 4 คือ ค่าการระยะ (ค่าการลดลงของระดับน้ำในถาด หน่วยเป็น mm/day) โดยคำนวณได้จากสมการของแบบจำลองที่ i ของทั้ง 6 แบบจำลอง จากการพิจารณาพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของแบบจำลองที่ 1 และ 4 มีค่ามากกว่า 82 % แสดงว่าตัวแปรอิสระอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ชั่วโมงแสงอาทิตย์ และความเร็วลมมีความสัมพันธ์กับการระยะสูงมาก ส่วนแบบจำลองที่ 2, 3, 5 และ 6 มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระทางอุตุนิยมหาวิทยาลัยสุโขทัยกับการระยะสูง และยังพบว่าจำนวนปีที่มีค่า R^2 มากกว่าจำนวนปีที่มาก และจำนวนตัวแปรที่มีค่า R^2 มากกว่าจำนวนตัวแปรที่มาก ดังนั้นในการวิเคราะห์เพื่อสร้างแบบจำลองควรเลือกชุดข้อมูลที่เหมาะสม มีจำนวนตัวแปรครอบคลุมและสัมพันธ์กัน

จากตารางที่ 4 ยังพบว่า ตัวแปร $T_{\min}$ และ $RH_{\min}$ ของแบบจำลองที่ 4 ถูกคัดออกจากสมการผลลัพธ์ แสดงให้เห็นว่าตัวแปรทั้งสองนี้ไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับสมการประมาณการระยะของแบบจำลองที่ 4 (กำหนดค่าระดับนัยสำคัญของการวิเคราะห์นี้เท่ากับ 0.05 ซึ่งหากค่า P-Value ของค่าตัวแปรใดมากกว่าค่าระดับนัยสำคัญนี้ ตัวแปรนั้นจะถูกคัดออกจากสมการผลลัพธ์) และด้วยเหตุผลเช่นเดียวกัน ตัวแปร $RH_{\min}$ ของแบบจำลองที่ 6 ก็ถูกคัดออกจากสมการผลลัพธ์

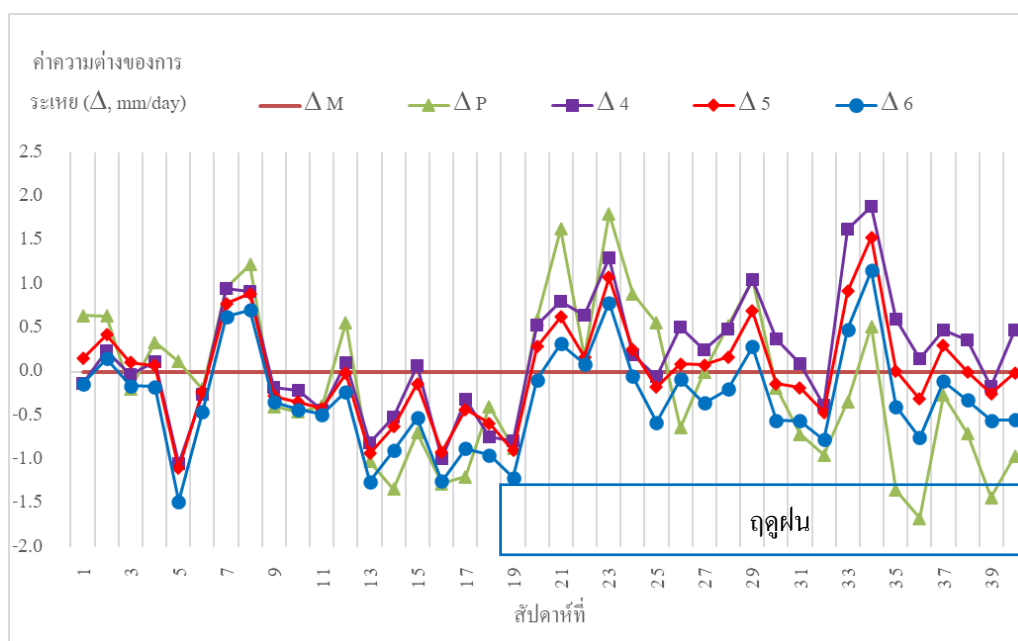
นอกจากนี้ผลลัพธ์ในตารางที่ 4 ยังแสดงความสัมพันธ์และอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ กับการระเหย โดยค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรจะหมายถึงขนาดของอิทธิพลของตัวแปรนั้นต่อการระเหย และค่าบวกหรือลบของสัมประสิทธิ์นี้จะหมายถึงประเภทของความสัมพันธ์แบบแปรผันตรง หรือแบบแปรผกผัน ตามลำดับ ซึ่งจากตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร n มีขนาดมากที่สุดและ เป็นค่าบวกในทุกแบบจำลอง แสดงให้เห็นว่าความเร็วลม (u) มีความสัมพันธ์

แบบแปรผันตรงและมีอิทธิพลต่อการระเหยมากที่สุด รองลงมาได้แก่ T_a และ RH ตามลำดับ โดยที่ T_a มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรง และ RH มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับการระเหย

ผลการทดลองส่วนที่ 2 แสดงด้วยเส้นกราฟเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าการระเหยจากสมการแบบจำลองทั้ง 6 และจาก SPE ดังรูปที่ 1 และ 2



รูปที่ 1 กราฟเปรียบเทียบความต่างของค่าการระเหยจากแบบจำลองที่ 1, 2, 3 และจาก SPE



รูปที่ 2 กราฟเปรียบเทียบความต่างของค่าการระเหยจากแบบจำลองที่ 4, 5, 6 และจาก SPE

กราฟเส้นในรูปที่ 1 และ 2 แสดงค่าความต่างของค่าการระเหยจากสมการที่แตกต่างกัน ในเชิงที่เปรียบเทียบกับ ค่า E_m ตามระยะเวลารายสัปดาห์รวม 40 สัปดาห์ ดังนี้

กราฟเส้น Δ_m คือ ความต่างระหว่าง E_m กับ E_m (เท่ากับ $E_m - E_m = 0$) ซึ่งใช้ E_m เป็นค่าฐานของการเปรียบเทียบนี้

กราฟเส้น Δ_i คือ ค่าความต่างระหว่าง E_i กับ E_m (เท่ากับ $E_i - E_m$), เมื่อ i คือ 1 ถึง 6 และ

กราฟเส้น Δ_{SPE} คือ ค่าความต่างระหว่าง E_{SPE} กับ E_m (เท่ากับ $E_{SPE} - E_m$)

ลักษณะของกราฟเส้นต่าง ๆ ในรูปที่ 1 และ 2 มีรูปร่างคล้ายกัน แสดงว่าทุกสมการการประมาณการระเหยมีแนวโน้มไปทางเดียวกัน แต่เส้นกราฟ Δ_{SPE} มีขนาดค่าความต่างมากกว่า Δ_i ของแบบจำลองทั้ง 6 แบบ และ ในช่วงสัปดาห์ที่ 19 – 40 (ช่วงกลางเดือนพฤษภาคม – กลางเดือนตุลาคม ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนตามประกาศของกรมอุตุนิยมวิทยา) เส้นกราฟต่าง ๆ แสดงความผันผวนของค่าความต่างนี้มากกว่า ในช่วงสัปดาห์ที่ 1 – 18 (ช่วงฤดูแล้ง) แสดงว่าช่วงฤดูฝนจะมีความคลาดเคลื่อนของการประมาณการระเหยสูงกว่าช่วงฤดูแล้งได้ นอกจากนี้ในระหว่างสัปดาห์ที่ 30-40 ค่า Δ_{SPE} มีค่าติดลบมาก หมายถึงว่า ค่า E_{SPE} ต่ำกว่าค่า E_m ซึ่งอาจทำให้เกิดการวางแผนการใช้น้ำมากเกินไปปริมาณน้ำที่คงเหลือจริงได้ ซึ่งทำให้เกิดปัญหาในการบริหารจัดการน้ำ

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการประมาณค่าการระเหยระหว่างของสมการที่ได้จากการวิจัยนี้กับสมการลดรูปแบบง่ายของ Penman และค่าการระเหยจริงที่วัดจากสถานีด้วยดัชนี MAD, MSE และ MAPE แสดงตามตารางที่ 5 พบว่าค่า MAD, MSE และ MAPE ของแบบจำลองทั้ง 6 สมการ ให้ค่าคลาดเคลื่อนที่ใกล้เคียงกันและน้อยกว่าของ SPE โดยที่แบบจำลองที่ 2 (4 ตัวแปร ช้อนหลัง 10 ปี) ให้ค่าคลาดเคลื่อนทั้ง 3 ดัชนีน้อยที่สุด และยังเป็นแบบจำลองที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงเป็นลำดับที่ 3 อีกด้วย

ตารางที่ 5 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนด้วยวิธี MAD, MSE และ MAPE

สมการประมาณการระเหย	MAD	MSE	MAPE (%)
แบบจำลองที่ 1	0.43	0.33	8.3

ตารางที่ 5 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนด้วยวิธี MAD, MSE และ MAPE (ต่อ)

สมการประมาณการระเหย	MAD	MSE	MAPE (%)
แบบจำลองที่ 2	0.41	0.29	7.9
แบบจำลองที่ 3	0.47	0.34	9.7
แบบจำลองที่ 4	0.53	0.47	10.5
แบบจำลองที่ 5	0.43	0.32	8.3
แบบจำลองที่ 6	0.54	0.42	11.4
SPE สมการที่ (1)	0.70	0.68	14.7

5. สรุป

การวิจัยนี้นำไปสู่ข้อสรุป 2 ประเด็นคือ รูปแบบความสัมพันธ์และอิทธิพลระหว่างตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยากับการระเหย และการประเมินความแม่นยำของสมการ SPE และสมการของแบบจำลองด้วยวิธี MLR (โดยการคัดเลือกตัวแปรอิสระแบบ Stepwise ซึ่งใช้การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab) โดยแบบจำลองที่ 1 (4 ตัวแปร, ข้อมูลย้อนหลัง 5 ปี) มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมากที่สุด 83.6% และมีสมการประมาณการระเหย คือ $[E_1 = -3.24 + 0.412 T - 0.0681 RH + 0.184 n + 0.674 u]$ หมายความว่าตัวแปรอิสระ u , T , n และ RH มีความสัมพันธ์มากกับค่าการระเหย โดยที่ u มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงและมีอิทธิพลกับการระเหยมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าความเร็วลมเพิ่มขึ้นส่งผลให้การระเหยมีค่าเพิ่มขึ้น ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์รองลงมา ได้แก่ T และ n ตามลำดับ ส่วน RH มีความสัมพันธ์แบบผกผันต่อการระเหย หรือหมายความว่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่ามากขึ้นส่งผลให้การระเหยมีค่าน้อยลง และค่า RH ยังมีอิทธิพลต่อการระเหยน้อยที่สุด ซึ่งเป็นไปตามหลักการและทฤษฎี

ส่วนการประเมินความแม่นยำของค่าการระเหย โดยใช้ข้อมูลการวัดการระเหยจากสถานีวัดการระเหย ซึ่งเป็นตัวแทนการระเหยที่เกิดขึ้นจริง เปรียบเทียบกับสมการ SPE และสมการจากแบบจำลองด้วยวิธี MLR ซึ่งผลจากตารางที่ 5 สมการจากแบบจำลองด้วยวิธี MLR ทั้ง 6 แบบจำลองมีค่าคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าคลาดเคลื่อนของสมการประมาณการระเหยลดรูปแบบง่ายของ Penman ทั้ง 3 วิธี

โดยเฉพาะแบบจำลองที่ 2 (4 ตัวแปร, ย้อนหลัง 10 ปี) มีค่าคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด เนื่องจากการวิเคราะห์วิธี MLR เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลตัวแปรด้านอุตุนิยมวิทยากับค่าการระเหยเชิงสถิติในพื้นที่ แต่ตัวแปรทางด้านอุตุนิยมวิทยาในสมการประมาณการระเหยลดรูปแบบง่ายของ Penman มาจากวิธีการประมาณค่าในเชิงความสัมพันธ์ของตัวแปร ซึ่งอาจมีความคลาดเคลื่อนในการประมาณ

การพิจารณาสมการของแบบจำลองที่จะนำไปใช้ประมาณการระเหยในพื้นที่ ควรพิจารณาถึงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจและค่าความคลาดเคลื่อนโดยที่พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่มีค่ามากเพื่อเป็นการแสดงถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระทางอุตุนิยมวิทยากับค่าการระเหย และมีค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้และเหมาะสมในการใช้งาน ดังนั้น สมการที่ได้จากแบบจำลองที่ 2 (4 ตัวแปร, ข้อมูลย้อนหลัง 10 ปี) คือ $E_2 = 0.446 + 0.346T - 0.0813RH + 0.126n + 0.447u$ ที่มีความแม่นยำใกล้เคียงกับค่า E_m มากที่สุด และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมากที่สุดเป็นอันดับสามคือ 78.5% จึงเหมาะสมสำหรับใช้ประมาณการระเหยบริเวณพื้นที่ทดสอบได้

อย่างไรก็ตามข้อสรุปของงานวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัดเกี่ยวกับจำนวนชุดข้อมูลทดสอบประเมินความแม่นยำของแบบจำลอง มีเพียง 10 เดือน หรือจำนวน 40 ชุดข้อมูลรายสัปดาห์ ซึ่งเป็นข้อมูลของปีล่าสุด (ณ เวลาที่ทำวิจัย) คิดเป็นจำนวน 8.3% ของจำนวนข้อมูลที่ใช้สร้างแบบจำลองที่ 2 ที่ดีที่สุด แต่ยังไม่ครอบคลุมทุกฤดูกาลครบเต็มทั้งปี ทำให้ไม่สามารถประเมินความแม่นยำเป็นฤดูกาลได้ และจะต้องทำการวิจัยต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

บทความฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนพัฒนาบุคลากร มหาวิทยาลัยนครพนม

เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Doorenbos, and W. O. Pruitt, "Guidelines for predicting crop water requirements," in *FAO*

Irrigation and Drainage Paper No. 24, Rome, Italy: FAO, 1977, ch.1, pp.1–65.

- [2] R. L. Snyder, M. Orang, S. Matyac and M.E. Grismer, "Simplified estimation of reference evapotranspiration from pan evaporation data in California," *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, vol. 131, no. 3, pp. 249–253, 2005, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9437(2005)131:3(249).
- [3] J. M. Bruton, R. W. McClendon and G. Hoogenboom, "Estimating daily pan evaporation with artificial neural networks," *Transactions of the ASAE*, vol. 43, no.2, pp.491–496, 2000, doi: 10.13031/2013.2730.
- [4] W. J. Shuttleworth, "Evaporation," in *Handbook of Hydrology*, D.R. Maidment, Ed., New York, NY, USA: McGraw-Hill, 1993, ch. 4, pp. 4.1–4.53.
- [5] R. G. Allen, L. S. Pereira, D. Raes, M. Smith, "Crop Evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements," in *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56*, Rome, Italy: FAO, 1998, ch.2, pp. 15–79.
- [6] M. E. Jensen, R. D. Burman and R. G. Allen, "Evaporation from Water Surfaces," "in *Evapotranspiration and irrigation water requirements*, 2nd ed., Reston, VA, USA: American Society of Civil Engineers, 2016, ch. 6, pp. 99–137.
- [7] J. D. Valiantzas, "Simplified versions for the Penman evaporation equation using routine weather data," *Journal of Hydrology*, vol. 331, no. 3–4, pp. 690–702, 2006, doi: 10.1016/j.jhydrol.2006.06.012.
- [8] K. Leewatjanakul, *HYDROLOGY*, 3rd ed. PathumThani, Thailand: SPEC, 2009.
- [9] G. M. Kovoor and L. Nandagiri, "Developing regression models for predicting pan evaporation from climatic data—a comparison of multiple least-squares, principal components, and partial least-squares approaches," *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, vol. 133,

-
- no. 5, pp.444–454, 2007, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133:5(444).
- [10] C. Theeraviriya, *Analyzing statistical data with Minitab*, 1st ed. Bangkok, Thailand: simplify, 2020.
- [11] D. E. Hinkle, W. William, and G. J. Stephen, *Applied Statistics for the Behavior Sciences*, 4th ed. New York, NY, USA: Houghton Mifflin, 1998.