

การประเมินศักยภาพของผลิตภัณฑ์ PET ที่ได้จากดาวเทียมสำหรับการจำลองสภาพทางอุทกวิทยา Assessing the potential of satellite-based PET products in hydrological modelling

ณัฐกร ประเสริฐทองกร^{1, 2*}, และนุชนารถ ศรีวงศิตานนท์^{1, 2}

¹ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ,

²Remote Sensing Research Centre for Water Resources Development (SENSWAT)

ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ

คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย

*Nattakorn.pr@ku.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบศักยภาพของศักยภาพการคายระเหย (Potential Evapotranspiration, PET) ที่คำนวณโดยวิธี Penman-Monteith กับที่ได้จากข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลของผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a เพื่อใช้เป็นข้อมูลด้านเข้าในการประเมินน้ำท่าโดยแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD สำหรับลุ่มน้ำชี โดยการศึกษานี้ได้ทำการสอบเทียบ (2001-2010) และตรวจพิสูจน์ (2010-2014) แบบจำลองที่สถานี E.20A โดยแบบจำลองจะได้ผลการประเมินน้ำท่าที่สถานี E.20A รวมทั้งที่จุดออกของทั้ง 98 ลุ่มน้ำย่อย และที่สถานีวัดน้ำท่า ด้านเหนือน้ำของสถานีวัดน้ำท่า E.20A อีกจำนวน 9 สถานี ทั้งนี้ แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD เป็นแบบจำลองที่สามารถสอบเทียบได้โดยอัตโนมัติด้วยกระบวนการ MOSCEM-UA โดยใช้ 3 พารามิเตอร์ของ Kling-Gupta Efficiencies ซึ่งประกอบด้วย KGE_E , KGE_L และ KGE_F ซึ่งให้ความสำคัญกับอัตราการไหล อัตราการไหลต่ำ และสมมูลน้ำตามลำดับ รวมทั้งในการประเมินผลการดำเนินงานของแบบจำลองได้ใช้ค่า Nash-Sutcliffe's Efficiency (NSE) เป็นตัวแปรทางสถิติกลางที่ใช้ประเมินผลการดำเนินงานของแบบจำลอง จากนั้นนำค่าสถิติดังกล่าวมาคำนวณค่าเฉลี่ยโดยใช้ค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับค่าสถิติแต่ละตัวเท่ากับ 0.35, 0.2, 0.1 และ 0.35 ตามลำดับ จากผลการสอบเทียบแบบจำลองพบว่าค่าสถิติเฉลี่ยทั้ง 4 ตัวแปร สำหรับทั้ง 10 สถานี ที่ได้จากการใช้ข้อมูล PET โดยวิธี Penman-Monteith มีค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ 0.725 รองลงมาคือ GLEAM V3.5a เท่ากับ 0.688 และ MOD16A2GF เท่ากับ 0.638 ในขณะที่ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลองพบว่าค่าทางสถิติที่ได้เท่ากับ 0.614, 0.607 และ 0.592 ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเทคนิคการรับรู้จากระยะไกลมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นข้อมูลด้านเข้าเพื่อการประเมินน้ำท่า ถึงแม้ว่าจะให้ความถูกต้องในการประเมินน้ำท่าที่ต่ำกว่าเล็กน้อยแต่สามารถเข้าถึงข้อมูลได้โดยง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับ Penman-Monteith ซึ่งเป็นวิธีการดั้งเดิมที่ต้องการข้อมูลและเวลาในการวิเคราะห์เป็นอย่างมาก นอกจากนี้แล้วในการศึกษานี้ได้ทำการเปรียบเทียบความสอดคล้องกันของข้อมูล PET ที่ได้จากวิธี Penman-Monteith และที่ได้จาก MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a โดยใช้ข้อมูลระหว่างปี ค.ศ. 2001-2014 สำหรับทั้ง 98 ลุ่มน้ำย่อย ผลการศึกษาพบว่า ค่า PET ที่ได้จากวิธี Penman-Monteith และจาก GLEAM V3.5a มีแนวโน้มการขึ้นลงที่สอดคล้องในระดับหนึ่งโดยมีค่า R^2 และ KGE ในช่วงฤดูฝนเท่ากับ 0.44 และ 0.51 และฤดูแล้งเท่ากับ 0.53 และ 0.60 ตามลำดับ แต่มีปริมาณที่แตกต่างกันพอสมควร โดยพบว่า ค่า PET ของผลิตภัณฑ์ GLEAM V3.5a มีค่าต่ำกว่าประมาณ 20% ทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง ในขณะที่ PET ของผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF ไม่มีแนวโน้มที่สอดคล้องกับที่ได้จากวิธี Penman-Monteith โดยในช่วงฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าประมาณ 50% และในช่วงฤดูฝนสูงกว่าประมาณ 20%

คำสำคัญ: ศักยภาพคายระเหยของพืชอ้างอิง, Penman-Monteith, GLEAM V3.5a, MOD16A2GF,
KU-FLEX-TOPO-SD, การรับรู้จากระยะไกล, ลุ่มน้ำชี

Abstract

This study aims to compare the ability of the potential evapotranspiration (PET) calculated by Penman-Monteith and by remote sensing products comprising GLEAM V3.5 and MOD16A2GF to be used as the input data for runoff estimation using KU-FLEX-TOPO-SD model for the Chi River Basin (CRB). Model calibration (2001-2010) and validation (2010-2014) were carried out at E.20A. This model provided runoff estimates at gauging station E.20A as well as at the outlet of 98 sub-catchments within the CRB including at 9 stations upstream. KU-FLEX-TOPO-SD is an auto-calibration model using MOSCEM-UA algorithm and 3 objective functions of Kling-Gupta Efficiencies consisting of KGE_F , KGE_L and KGE_{FDC} which emphasize high flows, low flows, and water balance, respectively. Nash-Sutcliffe's Efficiency (NSE) was another statistical indicator to be used as an independent index to compare the model performance. All indicators were averaged using weighting factors of 0.35, 0.2, 0.1 and 0.35, respectively. The results of model calibration using average value of 4 indicators within 10 gauging stations showed that PET provided by Penman-Monteith offered the highest statistical value of 0.725 followed by GLEAM V3.5a (0.688) and MOD16A2GF (0.638). The results of model validation delivered the values of 0.614, 0.607 and 0.592, respectively. The research results show that the remote sensing products are suitable to be used as the input data for runoff estimates. Even though, they provided a little less accurate runoff estimates, they are very easy to access compared to the conventional Penman-Monteith which is the data-demanding and time-consuming procedure. Moreover, this study investigated the agreement of PET values acquired from Penman-Monteith, MOD16A2GF and GLEAM V3.5a during 2001 and 2014 covering 98 sub-catchments. PET values of Penman-Monteith and GLEAM V3.5a revealed some concordances with the R^2 and KGE values within the dry season of 0.44 and 0.51, and in wet seasons of 0.53 and 0.60, respectively. However, PET values delivered by GLEAM V3.5a are around 20% lower within the wet and dry seasons. PET values produced by MOD16A2GF are not corresponded to the values calculated by Penman-Monteith and are around 50% and 20% higher within the dry and wet seasons, respectively.

Keywords: Potential Evapotranspiration, Penman-Monteith, GLEAM V3.5a, MOD16A2GF,
KU-FLEX-TOPO-SD, Remote Sensing, Chi River Basin

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปริมาณน้ำท่าเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดในระบบอุทกวิทยา (Hydrologic Cycle) เนื่องจากเป็นตัวกำหนดปริมาณน้ำต้นทุนที่สามารถนำมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ เช่น การอุปโภคบริโภค เกษตรกรรม อุตสาหกรรม การท่องเที่ยว การผลิตกระแสไฟฟ้า การรักษาสมดุลของระบบนิเวศด้านท้ายน้ำ เป็นต้น นอกจากนั้นแล้ว ในกรณีที่ปริมาณน้ำท่ามีมากเกินไปจะทำให้เกิดปัญหาอุทกภัยหรือถ้ามีน้อยเกินไปจะทำให้เกิดปัญหาภัยแล้ง ดังนั้น การวัดน้ำท่ารวมทั้งการประเมินน้ำท่าจึงเป็นสิ่งที่สำคัญมากสำหรับการบริหารจัดการน้ำ ทั้งนี้ ปริมาณน้ำท่าสามารถประเมินได้จากผลต่างระหว่างปริมาณน้ำฝนกับการสูญเสียปริมาณฝนซึ่งมีชื่อเรียกว่า ฝนส่วนเกิน (Excess Rainfall) โดยการสูญเสียปริมาณฝนเกิดขึ้นจากกระบวนการต่อไปนี้คือ การระเหย (Evaporation) การคายน้ำ (Transpiration) การดักโดยพืชพรรณ (Interception) การซึมผ่านผิวดิน (Infiltration) และการเก็บกักตามหลุมบ่อ (Depression Storage) ทั้งนี้ การสูญเสียที่เกิดจากการคายน้ำรวมการระเหยซึ่งเรียกว่า การคายระเหย (Evapotranspiration) เป็นองค์ประกอบหลักของการสูญเสียปริมาณฝน จากการจัดทำบัญชีน้ำของประเทศไทย ภายใต้โครงการศึกษาความมั่นคงของกลุ่มน้ำอย่างยั่งยืนทั้ง 25 กลุ่มน้ำ (กรมทรัพยากรน้ำ, 2559) พบว่า ประเทศไทย ซึ่งมีพื้นที่เท่ากับ 514,050 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณฝนที่ตกในปีน้ำปานกลางประมาณ 1,548 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่งคิดเป็นปริมาตรน้ำฝนประมาณ 796,000 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยในจำนวนนี้จะแปรเปลี่ยนเป็นปริมาณน้ำท่าที่ผ่านการใช้น้ำแล้วไหลออกจากกลุ่มน้ำประมาณ 222,000 ล้านลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ปริมาณการสูญเสียที่เกิดจากการคายระเหยที่แท้จริง (Actual Evapotranspiration) มีมากถึงประมาณ 476,000 ล้านลูกบาศก์เมตร ซึ่งคิดเป็นประมาณ 60% ของปริมาณฝนที่ตกในปีน้ำปานกลาง ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การคายระเหยที่แท้จริงเป็นปริมาณการสูญเสียที่มากที่สุดในระบบอุทกวิทยา ดังนั้น การประเมินปริมาณการคายระเหยที่แท้จริงให้ได้ใกล้เคียงความเป็นจริงจึงเป็นสิ่งสำคัญมากต่อการประเมินน้ำท่าที่จะต้องนำไปบริหารจัดการให้เหมาะสมกับสถานการณ์ต่าง ๆ

อย่างไรก็ตาม การประเมินค่าการคายระเหยที่แท้จริงได้อย่างถูกต้องนั้นกระทำได้อย่างยาก โดยที่การประเมินค่าการคายระเหยที่นิยมใช้กันน้อยโดยทั่วไปคือการใช้ภาควัดการคายระเหย (Class A Pan Evaporation) ซึ่งไม่ใช่ค่าการคายระเหยที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละประเภทของการใช้ที่ดินในพื้นที่กลุ่มน้ำแต่เป็นเพียงศักยภาพการคายระเหยเท่านั้น ในขณะที่การวัดค่าการคายน้ำโดยตรงเป็นไปได้ยากกว่าการประเมินค่าการคายระเหยโดยใช้วิธีทางอ้อมมาก โดยวิธีการโดยตรงที่ใช้คือการใช้ไลซิมิเตอร์ (Lysimeter) ซึ่งมีข้อจำกัดคือเป็นการตรวจวัดในภาคสนามที่มีความยุ่งยากรวมทั้งเสียค่าใช้จ่ายมาก และใช้เวลานานในการเก็บข้อมูล ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงมีการประเมินค่าศักยภาพการคายระเหย (Potential Evapotranspiration, PET) ร่วมกันไปด้วยการวิเคราะห์จากข้อมูลอุตุนิยมวิทยา โดยวิธีที่ใช้คำนวณกันอย่างกว้างขวางคือ วิธี Penman-Monteith FAO-56 (PM-56) (Allen et al., 1998) เนื่องจากเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับและแนะนำให้ใช้โดย Food and Agriculture Organization (FAO) ทั้งนี้ Onnabi-Milani A. and Neyshabouri M. (2018) ได้ทำการตรวจวัดค่าการคายระเหยของพืชอ้างอิงบริเวณที่ราบ Tabriz โดยใช้ไลซิมิเตอร์และเปรียบเทียบกับการคำนวณโดยวิธี Penman-Monteith และ Hargreaves รวมทั้งการใช้ภาควัดการคายระเหย ผลการศึกษาพบว่าวิธีการ Penman-Monteith ให้ผลการประเมินค่าการคายระเหยของพืชอ้างอิงได้ใกล้เคียงกับการวัดโดยใช้ไลซิมิเตอร์มากที่สุด ในขณะที่ภาควัดการคายระเหยให้ผลการประเมินสูงสุดและวิธี Hargreaves ให้ผลการประเมินต่ำสุด ทั้งนี้ค่าศักยภาพการคายระเหยที่คำนวณได้จะเป็นตัวแทนของหญ้าอัลฟาฟา (Alfalfa) และเมื่อต้องการทราบค่าศักยภาพการคายระเหยสำหรับพืชชนิดอื่นสามารถกระทำได้โดยการหาผลคูณระหว่างค่าศักยภาพการคายระเหยกับค่าสัมประสิทธิ์

ของพืชแต่ละประเภท อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้คือค่าศักยภาพการคายระเหยของพืชแต่ละชนิดเท่านั้น มิใช่ค่าการคายระเหยที่แท้จริง (Actual Evapotranspiration, AET)

ในช่วงไม่กี่ทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการนำเทคนิคการรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing Technique) มาใช้อย่างแพร่หลายเพื่อประเมินปริมาณต่าง ๆ บนพื้นผิวโลกตลอดจนใต้ผิวโลก รวมทั้งองค์ประกอบต่าง ๆ ที่สำคัญ ของระบบอุทกวิทยา อาทิเช่น ข้อมูลฝน ปริมาณความชื้น รวมทั้งการคายระเหยที่เกิดขึ้นจริง อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่ได้ จากเทคนิคการรับรู้จากระยะไกลมีความแตกต่างจากข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดหรือข้อมูลที่แท้จริง ดังนั้น จำเป็นที่ จะต้องมีการปรับแก้ข้อมูลก่อนนำไปประยุกต์ใช้งาน

ด้วยเหตุผลดังกล่าว Sriwongsitanon et al. (2020) จึงได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของ ผลการประเมินการคายระเหยที่แท้จริง (AET) สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำในประเทศไทยด้วยผลิตภัณฑ์ AET ที่ได้รับการคัดเลือกซึ่งประกอบด้วย ALEXI, CMRSET, ETMonitor, GLEAM V3.3b, MOD16A2, SEBS V3 และ SSEBop โดยในการศึกษาดังกล่าวได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล AET ด้วยการวิเคราะห์สมการสมดุลน้ำ ($ET_{WB} = P - Q - \Delta S$) แบบรายปีที่สถานีวัดน้ำท่าจำนวน 172 สถานี ทั่วประเทศไทย ในระหว่างปี ค.ศ. 2003-2013 จากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องแบบรายเดือนด้วยการประเมินการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกักรายเดือน จากการกลับข้างสมดุลน้ำ ($\Delta S = P - Q - ET_{RS}$) โดยการแทนค่า ET_{RS} ที่ได้จากทั้ง 7 ผลิตภัณฑ์ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูล $TWSC_{GRACE}$ แบบรายเดือนต่อไป ผลการศึกษาพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ให้ความถูกต้องทั้งการวิเคราะห์แบบรายปี และรายเดือนมากที่สุด 4 ผลิตภัณฑ์ คือ CMRSET, ETMonitor, GLEAM V3.3b และ MOD16A2 จากนั้นจึงทำการ ตรวจสอบความสอดคล้องของผลิตภัณฑ์กับประเภทการใช้ที่ดินที่เก็บรวบรวมโดยกรมพัฒนาที่ดิน ผลการศึกษาพบว่า ผลิตภัณฑ์ MOD16A2 มีความสอดคล้องกับประเภทการใช้ที่ดินมากที่สุดรวมทั้งมีความละเอียดของข้อมูลเชิงพื้นที่ ที่ละเอียดมาก (500 เมตร) และสามารถเข้าถึงข้อมูลได้โดยง่าย ดังนั้น การศึกษานี้จึงแนะนำให้ผลิตภัณฑ์ MOD16A2 มาใช้ประกอบการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำสำหรับประเทศไทย

เพื่อเป็นการต่อยอดการศึกษาที่ดำเนินการโดย Sriwongsitanon et al. (2020) จึงเป็นที่มาของการศึกษานี้ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อการเปรียบเทียบความสามารถของข้อมูลศักยภาพการคายระเหยของพืชอ้างอิง (Potential Evapotranspiration, PET) ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith และที่ได้จาก MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a ที่ได้จากเทคนิคการรับรู้จากระยะไกล เพื่อใช้ประกอบการประเมินน้ำท่าด้วยแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD สำหรับลุ่มน้ำชี โดยในกรณีที่ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a สามารถนำมาใช้เพื่อการประเมินน้ำท่าสำหรับลุ่มน้ำชีได้ถูกต้องใกล้เคียงกับการใช้ค่า PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith แล้ว จะก่อให้เกิดประโยชน์มาก เนื่องจากการคำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith จำเป็นต้องใช้ข้อมูลภูมิอากาศรายวันจำนวนมากและจากหลาย สถานี นอกจากนี้ ในบางกรณีพบว่าข้อมูลของบางสถานีไม่สมบูรณ์และจำเป็นต้องนำข้อมูลจากสถานีใกล้เคียงมาใช้ ซึ่งอาจก่อให้เกิดความผิดพลาดต่อผลการประเมิน ในขณะที่ข้อมูลที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a สามารถดาวน์โหลดได้โดยง่าย

2. วัตถุประสงค์

เพื่อเปรียบเทียบศักยภาพของศักยภาพการคายระเหย (Potential Evapotranspiration, PET) ที่คำนวณโดยวิธี Penman-Monteith กับที่ได้จากข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลของผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a เพื่อใช้เป็นข้อมูลด้านเข้าในการประเมินน้ำท่าโดยแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD สำหรับลุ่มน้ำชี

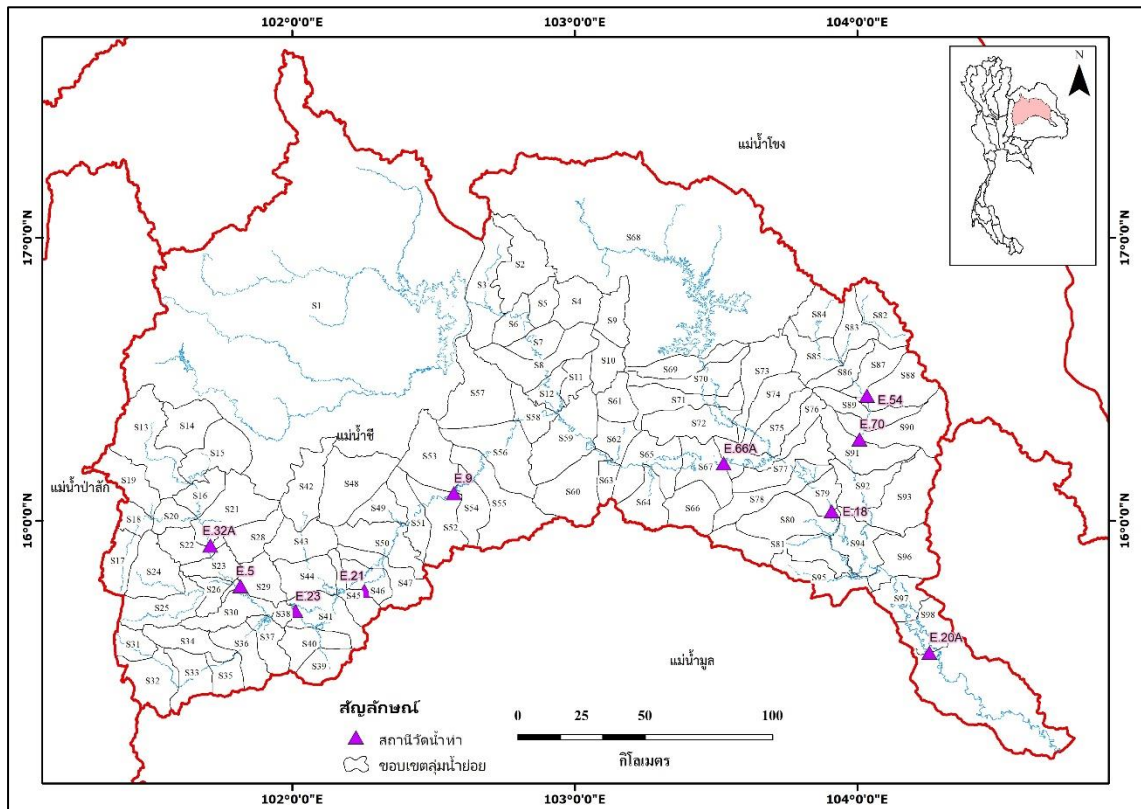
3. วิธีการวิจัย

การประเมินศักยภาพของผลิตภัณฑ์ PET ที่ได้จากดาวเทียมสำหรับการจำลองสภาพทางอุทกวิทยามีขั้นตอนการศึกษาโดยสรุปได้ดังนี้

3.1 รวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการศึกษา

3.1.1 ข้อมูลลักษณะภูมิประเทศของลุ่มน้ำชีที่ถูกแบ่งออกเป็น 98 ลุ่มน้ำย่อย ดังแสดงในภาพที่ 1 รวมทั้งผลการวัดขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำและความยาวของลำน้ำสายหลักในแต่ละลุ่มน้ำย่อย โดยข้อมูลดังกล่าวได้จัดทำขึ้นภายใต้การดำเนินงานของศูนย์วิจัยการรับรู้จากระยะไกลเพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ (Remote Sensing Research Centre for Water Resources Management, SENSWAT) (<https://senswat.eng.ku.ac.th>)

3.1.2 ข้อมูลความลึกฝนรายวันแบบกริดที่ครอบคลุมลุ่มน้ำชีในระหว่างปี ค.ศ. 2001-2014 ที่ผ่านการตรวจสอบความถูกต้องแล้วด้วยวิธี Automated quality control (QC) system ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดย Hamada et al. (2011) โดยจัดทำขึ้นภายใต้การดำเนินงานของศูนย์วิจัย SENSWAT โดยข้อมูลฝนแบบกริดที่สร้างขึ้นมีความละเอียดเชิงพื้นที่เท่ากับ 1 ตารางกิโลเมตร โดยใช้ข้อมูลฝนที่ตรวจไว้ที่สถานีวัดน้ำฝนจำนวน 1,779 สถานีทั่วประเทศที่ทำการเก็บข้อมูลโดยกรมชลประทานและกรมอุตุนิยมวิทยา และทำการเฉลี่ยเชิงพื้นที่ด้วยวิธี Inverse Distance Weighted IDW (De Silva et al., 2007) ทั้งนี้ ข้อมูลความลึกฝนรายปีระหว่างปี 2001-2014 สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าของลุ่มน้ำชีแสดงดังในตารางที่ 1 โดยข้อมูลฝนรายวันของแต่ละสถานีในลุ่มน้ำชีได้ถูกบันทึกไว้ในเว็บไซต์ <https://senswat.eng.ku.ac.th> ของศูนย์วิจัย SENSWAT



ภาพที่ 1 ตำแหน่งที่ตั้งสถานีวัดน้ำท่าและการแบ่งลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำชี

ตารางที่ 1 ความลึกฝนรายปีระหว่างปี 2001-2014 สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าของลุ่มน้ำชี

หน่วย: มิลลิเมตร

รหัสสถานี	E.32A	E.5	E.23	E.21	E.9	E.66A	E.18	E.54	E.70	E.20A
2001	1,138.92	1,093.59	1,031.95	1,045.75	1,051.31	1,249.95	1,329.21	1,995.25	1,938.91	1,393.27
2002	1,469.01	1,428.50	1,291.91	1,269.26	1,265.06	1,336.31	1,361.24	1,607.34	1,604.40	1,382.79
2003	958.19	952.33	939.04	925.94	922.30	1,004.53	1,058.93	1,391.49	1,323.82	1,087.61
2004	1,061.31	1,021.83	942.67	918.31	918.65	1,030.42	1,100.84	1,647.73	1,507.84	1,144.40
2005	1,209.20	1,186.25	1,098.33	1,086.19	1,081.74	1,075.56	1,131.54	1,720.66	1,690.84	1,176.92
2006	1,205.49	1,222.35	1,143.82	1,106.82	1,078.14	1,148.12	1,182.44	1,652.74	1,628.75	1,228.45
2007	1,036.83	1,086.89	1,098.77	1,146.71	1,164.16	1,230.43	1,262.28	1,271.14	1,231.84	1,266.43
2008	1,369.70	1,410.59	1,403.44	1,404.45	1,418.02	1,503.22	1,500.58	1,981.36	1,771.33	1,487.12
2009	1,318.09	1,305.00	1,222.97	1,247.52	1,275.70	1,232.75	1,305.49	1,409.12	1,752.30	1,356.77
2010	1,445.24	1,430.10	1,317.33	1,309.24	1,278.90	1,304.52	1,306.48	1,322.40	1,333.27	1,298.65
2011	1,487.80	1,457.83	1,292.87	1,253.64	1,255.32	1,312.45	1,345.36	1,872.05	2,063.23	1,452.02
2012	987.21	993.72	1,001.39	988.93	981.06	969.97	974.53	964.27	1,010.21	994.59
2013	1,163.69	1,176.20	1,132.95	1,137.80	1,114.49	1,040.38	1,049.14	1,197.70	1,319.94	1,102.42
2014	998.38	1,031.04	953.04	932.63	923.38	992.80	1,033.61	1,288.34	1,336.48	1,107.31
เฉลี่ยรายปี	1,203.50	1,199.73	1,133.61	1,126.66	1,123.44	1,173.67	1,210.12	1,522.97	1,536.65	1,248.48

3.1.3 ข้อมูลน้ำท่ารายวันที่สถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ ของลุ่มน้ำชี 10 สถานี ประกอบด้วยสถานี E.32A, E.5, E.23, E.21, E.9, E.66A, E.18, E.54, E.70 และ E.20A ดังแสดงในตารางที่ 2 ทั้งนี้ ข้อมูลน้ำท่ารายปีระหว่างปี 2001-2014 สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าของลุ่มน้ำชีในหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีแสดงดังในตารางที่ 3 โดยเป็นข้อมูลที่ได้รับรวบรวมข้อมูลไว้โดยกรมชลประทาน และถูกบันทึกไว้ไว้ในเว็บไซต์ <https://senswat.eng.ku.ac.th> ของศูนย์วิจัย SENSWAT โดยได้แสดงค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า (C) รายปีระหว่างปี 2001-2014 สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าของลุ่มน้ำชีในหน่วยมิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร แสดงดังในตารางที่ 4

ตารางที่ 2 ตำแหน่งที่ตั้ง ช่วงปีสถิติข้อมูลและขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำของสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำชีที่ใช้ในการศึกษา

รหัสสถานี	ชื่อสถานี	ตำแหน่งที่ตั้ง				ช่วงปีสถิติข้อมูล (ค.ศ.)		พื้นที่ลุ่มน้ำ (ตร. กม.)
		อำเภอ	จังหวัด	ละติจูด	ลองจิจูด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	
E.32A	บ้านหนองอ้อ	อ.บ้านเขว้า	จ.ชัยภูมิ	15.91	101.71	1967	ปัจจุบัน	2,906
E.5	บ้านโนนเปลือย	อ.บ้านเขว้า	จ.ชัยภูมิ	15.77	101.81	1958	ปัจจุบัน	4,207
E.23	บ้านค้าย	อ.เมือง	จ.ชัยภูมิ	15.68	102.01	1968	ปัจจุบัน	6,282
E.21	บ้านแก่งโก	อ.เมือง	จ.ชัยภูมิ	15.75	102.25	1968	ปัจจุบัน	8,777
E.9	บ้านโจด	อ.มัญจาคีรี	จ.ขอนแก่น	16.10	102.57	1967	ปัจจุบัน	10,878
E.66A	บ้านม่วงลาด	อ.จังหาร	จ.ร้อยเอ็ด	16.20	103.53	1983	ปัจจุบัน	31,879
E.18	บ้านท่าสะแบง	กิ่งอ.ทุ่งเขาหลวง	จ.ร้อยเอ็ด	16.03	103.91	1974	ปัจจุบัน	41,187
E.54	บ้านแก่งยาว	อ.ภูผินารายณ์	จ.กาฬสินธุ์	16.44	104.03	1969	ปัจจุบัน	1,548
E.70	บ้านกุดกว้าง	อ.โพนทอง	จ.ร้อยเอ็ด	16.29	104.00	1984	ปัจจุบัน	2,647
E.20A	บ้านฟ้าหยาด	อ.มหาชนะชัย	จ.ยโสธร	15.52	104.25	1974	ปัจจุบัน	47,800

ตารางที่ 3 ข้อมูลน้ำท่ารายปีระหว่างปี 2001-2014 สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าของลุ่มน้ำชี

หน่วย: ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

รหัสสถานี	E.32A	E.5	E.23	E.21	E.9	E.66A	E.18	E.54	E.70	E.20A
2001	11.83	14.30	11.83	19.15	27.77	212.24	428.02	38.24	69.84	554.94
2002	35.95	44.26	47.59	61.88	66.93	278.89	379.93	27.02	52.89	509.21
2003	19.21	24.27	18.22	20.77	17.86	148.45	193.36	16.83	31.12	271.22
2004	15.58	23.01	17.20	17.44	15.07	122.98	237.62	24.41	38.69	335.97
2005	19.11	24.85	20.72	27.11	25.34	63.52	146.26	30.05	44.10	242.09
2006	34.85	47.69	48.28	70.75	57.59	111.44	189.05	22.40	39.11	228.46
2007	22.36	31.73	26.74	60.86	60.33	197.29	288.94	21.41	36.01	350.64
2008	33.78	42.92	65.86	84.08	97.22	339.79	389.97	22.94	30.55	441.54
2009	44.81	43.24	49.47	77.14	73.67	158.65	196.53	13.09	27.41	289.03
2010	53.80	61.39	66.46	101.11	114.50	249.63	261.99	17.31	35.74	382.90
2011	66.98	63.86	72.28	93.10	101.85	331.89	421.13	37.41	67.72	572.45
2012	26.09	35.20	21.48	44.02	35.09	82.02	111.08	5.11	10.04	127.42
2013	28.05	42.42	52.22	59.75	69.37	113.13	126.69	17.56	31.93	182.11
2014	10.24	15.42	10.47	10.77	8.65	56.81	95.34	9.58	29.06	169.72
เฉลี่ยรายปี	30.19	36.75	37.77	53.42	55.09	176.19	247.57	21.67	38.87	332.69

ตารางที่ 4 สัมประสิทธิ์น้ำท่า (C) รายปีระหว่างปี 2001-2014 สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าของกลุ่มน้ำชี

หน่วย: มิลลิเมตร/มิลลิเมตร

สัมประสิทธิ์น้ำท่า	E.32A	E.5	E.23	E.21	E.9	E.66A	E.18	E.54	E.70	E.20A
2001	0.12	0.10	0.06	0.07	0.08	0.17	0.24	0.39	0.43	0.26
2002	0.26	0.23	0.18	0.17	0.15	0.20	0.21	0.35	0.40	0.24
2003	0.23	0.20	0.10	0.08	0.06	0.14	0.14	0.24	0.28	0.16
2004	0.19	0.19	0.10	0.07	0.05	0.12	0.16	0.30	0.30	0.19
2005	0.19	0.16	0.10	0.09	0.07	0.06	0.10	0.33	0.30	0.13
2006	0.33	0.31	0.22	0.23	0.15	0.09	0.12	0.27	0.28	0.12
2007	0.25	0.23	0.13	0.20	0.16	0.16	0.17	0.31	0.33	0.18
2008	0.27	0.23	0.24	0.22	0.20	0.21	0.19	0.24	0.21	0.19
2009	0.39	0.26	0.21	0.23	0.18	0.13	0.11	0.17	0.17	0.14
2010	0.40	0.32	0.26	0.28	0.26	0.19	0.15	0.24	0.30	0.19
2011	0.47	0.32	0.28	0.26	0.23	0.24	0.23	0.36	0.34	0.25
2012	0.29	0.26	0.11	0.16	0.11	0.09	0.10	0.11	0.14	0.09
2013	0.26	0.27	0.23	0.19	0.18	0.11	0.09	0.29	0.29	0.11
2014	0.12	0.13	0.06	0.05	0.03	0.06	0.07	0.15	0.26	0.11
เฉลี่ยรายปี	0.27	0.23	0.16	0.17	0.14	0.14	0.15	0.27	0.29	0.17

3.1.4 ข้อมูลศักยภาพการคายระเหยของพืชอ้างอิง (Potential Evapotranspiration, PET) ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith (สมการที่ (1)) ที่ครอบคลุมกลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำชีในระหว่างปี ค.ศ. 2001-2014 โดยเป็นข้อมูลที่คำนวณจากข้อมูลการตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาจำนวน 123 สถานี ทั่วประเทศ และทำการเฉลี่ยเชิงพื้นที่ด้วยวิธี Inverse Distance Weighted IDW (De Silva et al., 2007) ให้มีความละเอียดเชิงพื้นที่เท่ากับ 1 ตารางกิโลเมตร โดยข้อมูลดังกล่าวจัดทำขึ้นภายใต้การดำเนินงานของศูนย์วิจัย SENSAT

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(Rn-G) + \gamma \frac{900}{T_{mean} + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (1)$$

- โดยที่
- ET_o = ปริมาณใช้น้ำของพืชอ้างอิง (mm/day)
 - R_n = ปริมาณรังสีสุทธิทั้งหมดที่พืชได้รับ (MJ/m²/day)
 - G = ฟลักซ์ความร้อนของพื้นดิน (MJ/m²/day)
 - T_{mean} = อุณหภูมิของอากาศเฉลี่ย (°C)
 - Δ = ความชันของเส้นโค้งความดันไอ (kPa/°C)
 - γ = ค่าคงที่ของ Psychrometric (kPa/°C)
 - U₂ = ความเร็วลมที่ระดับ 2 เมตรจากพื้นดิน (m/s)
 - e_s = ความดันไออิ่มตัว (kPa)
 - e_a = ความดันไออิ่มตัวจริง (kPa)
 - 900 = ค่าคงที่ที่ใช้ในการแปลงหน่วย

3.1.5 ข้อมูลศักยภาพการคายระเหยของพืชอ้างอิง (PET) ที่ได้จากเทคนิคการรับรู้จากระยะไกลซึ่งประกอบด้วยข้อมูลที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a ที่ครอบคลุมลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำชีในระหว่างปี ค.ศ. 2001-2014 โดยรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 5 โดยผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF เป็นผลิตภัณฑ์การคายระเหย (Evapotranspiration, ET) ที่ได้รับการพัฒนาต่อจากผลิตภัณฑ์ MOD16A2 โดยการกำจัดข้อมูลที่มีคุณภาพไม่ดีออกไปจากข้อมูลราย 8 วันของ Leaf Area Index และ Fraction of Photosynthetically Active Radiation (LAI/FPAR) ที่นำมาใช้ประกอบการคำนวณ โดยทำการปรับปรุงตามข้อกำหนดในการควบคุมคุณภาพ (Quality Control, QC) (Hamada et al., 2011) สำหรับแต่ละพิกเซล โดยในกรณีที่ค่า LAI/FPAR ของพิกเซลใดไม่ผ่านเกณฑ์การควบคุมคุณภาพ ค่าดังกล่าวจะถูกแทนที่ (Gap filled) ด้วยค่าเฉลี่ยโดยการหาค่าในระหว่างแบบเส้นตรง ทั้งนี้การดำเนินงานดังกล่าวจะทำเมื่อสิ้นสุดเวลาในแต่ละปี นอกจากนั้นแล้ว ในการศึกษานี้ได้ทำการคำนวณค่ารายวันของผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF จากข้อมูลเบื้องต้นที่เป็นราย 8 วัน เพื่อใช้เป็นข้อมูลด้านเข้าให้กับแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD

ในส่วนของผลิตภัณฑ์ Global land Evaporation Amsterdam (GLEAM) เป็นชุดอัลกอริทึมที่ประเมินส่วนประกอบต่าง ๆ ของการคายระเหยบนดินแยกออกจากกัน ประกอบไปด้วยค่า transpiration, bare-soil evaporation, interception loss, open-water evaporation and sublimation. นอกจากนี้ GLEAM V3.5a ยังให้ค่าความชื้นในดินที่พื้นผิวและบริเวณรากอีกด้วยในผลิตภัณฑ์ GLEAM V3.5a นั้นใช้สมการของ Priestley และ Taylor ในการประเมินค่าการคายระเหยที่จะประเมินโดยใช้ปัจจัยหลักคือ การแผ่ของรังสีความร้อนสุทธิบริเวณพื้นผิวและอุณหภูมิของอากาศใกล้พื้นผิวของดิน โดยการคำนวณค่าการคายระเหยจากประเภทการใช้ที่ดินของพืชเดี่ยวและพืชสูงโดยการคำนวณย้อนกลับเพื่อหาค่าการคายระเหยที่แท้จริง (AET) โดยใช้ Evaporative stress factor บนพื้นฐานของคลื่นไมโครเวฟ ท้ายสุดแล้วจะสามารถคำนวณค่าการคายระเหยที่แท้จริงบนพื้นผิวน้ำ พื้นผิวน้ำแข็ง และพื้นผิวหิมะ เป็นไปตามสมการของ Priestley และ Taylor (Priestley and Taylor, 1972)

ตารางที่ 5 รายละเอียดของผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a

ET product	Spectral measurements used	Energy balance	Directly downloadable	Spatial resolution		Original temporal resolution	Data Availability (Water years)	AET	PET
				Deg	km				
GLEAM V3.5a	Red, NIR, PMW, AMW	2-layer Priestley & Taylor 3-layer	Yes	0.25	25	Daily	1980 - Present	✓	✓
MOD16A2GF	Red, NIR	Penman-Monteith	Yes	0.005	0.5	8 Days	2001 - Present	✓	✓

* Note: NIR = Near InfraRed; SWIR = Shortwave InfraRed; PMW = Passive Microwave; AMW = Active Microwave.

3.2 ศึกษาทฤษฎีและแนวทางการประยุกต์ใช้แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD เพื่อการประเมินน้ำท่า

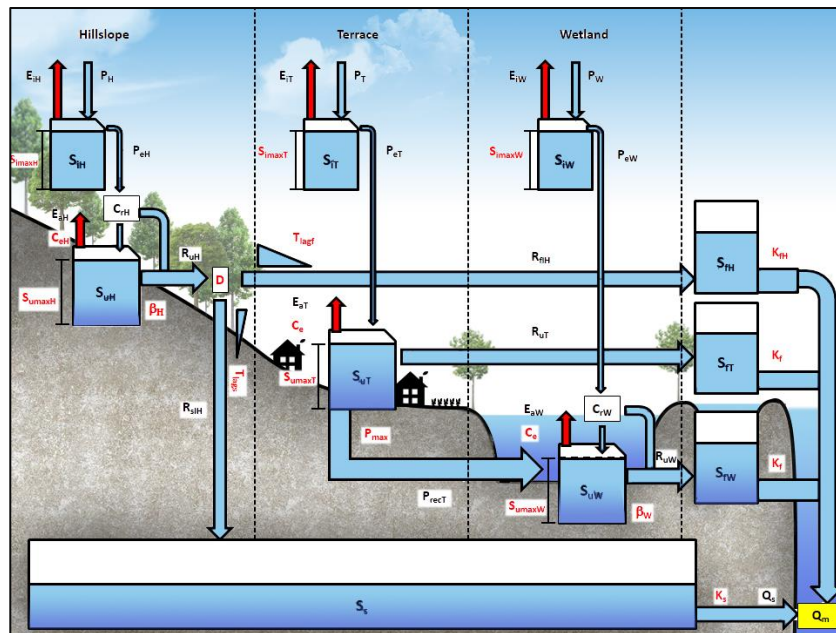
แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD เป็นแบบจำลองน้ำฝนน้ำท่า ประเภทกึ่งกระจายตัวที่มีพื้นฐานมาจากแบบจำลอง FLEX-TOPO ซึ่งเป็นแบบจำลองแบบลัมป์ โดยพัฒนาให้สามารถประเมินน้ำท่าของลุ่มน้ำย่อยด้านเหนือน้ำ โดยใช้การเคลื่อนตัวของน้ำท่าจากจุดออกผ่านทางน้ำจนถึงจุดออกของลุ่มน้ำย่อยด้านท้ายน้ำก่อนจะมารวมกับน้ำท่า

ที่เกิดขึ้นในกลุ่มน้ำย่อยด้ายท่ายน้ำ โดยที่วิธีการ Muskingum ถูกนำมาใช้ในการเคลื่อนตัวของน้ำท่าผ่านทางน้ำ เพื่อพัฒนาแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ให้เป็นแบบจำลองน้ำฝนน้ำท่าประเภทกึ่งกระจายตัว ดังนั้น ในที่นี้จึงได้แสดงทฤษฎีของแบบจำลอง FLEX-TOPO และ KU-FLEX-TO-SD ดังต่อไปนี้

3.2.1 แบบจำลอง FLEX-TOPO

FLEX-TOPO (Gao et al., 2014) เป็นแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า ประเภทลัมพ์ที่ได้รับการพัฒนามาจากแบบจำลอง FLEXL ที่ใช้ในการประเมินน้ำท่าจากข้อมูลน้ำฝน โดยแบบจำลอง FLEX-TOPO ได้เพิ่มเติมจากแนวคิดที่ว่า กระบวนการทางอุทกวิทยาที่เกิดขึ้นในแต่ละสภาพภูมิประเทศ (Landscape) จะมีกระบวนการที่ทำให้เกิดน้ำท่าที่แตกต่างกัน ดังนั้น แบบจำลอง FLEX-TOPO จึงมีการแบ่งลักษณะภูมิประเทศออกเป็นทั้งหมด 3 ประเภท คือ (1) พื้นที่ลาดเขา (Hillslope) (2) พื้นที่ลาดเอียง (Terrace) และ (3) พื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetland) ซึ่งลักษณะภูมิประเทศแต่ละประเภทนั้นได้ทำการแบ่งแยกประเภทโดยใช้ลักษณะทางกายภาพพื้นที่ซึ่งประกอบด้วย (1) ค่าความแตกต่างของระดับความสูงของพื้นที่กับระดับความสูงของตำแหน่งที่เป็นลำน้ำที่อยู่ใกล้สุด (Highest above nearest drainage, HAND) (Rennó et al., 2008) และ (2) ความลาดชันของพื้นที่ (Slope)

ในการจำแนกลักษณะภูมิประเทศทั้งหมด 3 ประเภท สามารถจำแนกได้ดังนี้ (1) พื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetland) คือ พื้นที่ที่มีค่า HAND น้อยกว่า 5 เมตร (2) พื้นที่ลาดเอียง (Terrace) คือพื้นที่ที่มีค่า HAND มากกว่าหรือเท่ากับ 5 เมตร และมีความลาดชันน้อยกว่า 0.1 เมตรต่อเมตร และ (3) พื้นที่ลาดชัน (Hillslope) คือพื้นที่ที่มีค่า HAND มากกว่า 5 เมตร และมีความลาดชันมากกว่าหรือเท่ากับ 0.1 เมตรต่อเมตร โดยจากที่กล่าวมาข้างต้นลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกันย่อมส่งผลให้แต่ละพื้นที่มีกระบวนการในการเกิดน้ำท่าที่แตกต่างกัน โดยได้แสดงกระบวนการเกิดน้ำท่าของแต่ละลักษณะภูมิประเทศในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 โครงสร้างของแบบจำลอง FLEX-TOPO

ที่มา : ศรีณภัทร์ เอี่ยมอำไพ (2563), การพัฒนาแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD เพื่อการประเมินปริมาณน้ำท่าด้วยกระบวนการน้ำฝน-น้ำท่า แบบกึ่งกระจายตัว

3.2.2 การพัฒนาแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD

ศูนย์วิจัย SENSWAT ได้พัฒนาแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ซึ่งเป็นแบบจำลองแบบกึ่งกระจายตัวที่มีพื้นฐานจากแบบจำลอง FLEX-TOPO ดังนั้น พื้นที่ลุ่มน้ำจะต้องถูกแบ่งเป็นลุ่มน้ำย่อย ซึ่งปริมาณน้ำจะถูกประเมินในแต่ละลุ่มน้ำย่อย โดยใช้หลักการของ FLEX-TOPO จากความลึกฝนส่วนเกินของแต่ละลุ่มน้ำย่อย ความลึกฝนส่วนเกินในแต่ละลุ่มน้ำย่อยจะเคลื่อนตัวไปยังจุดออกของแต่ละลุ่มน้ำย่อย โดยใช้พารามิเตอร์การหน่วงเวลา T_{lagF} และ T_{lagS} โดยที่ T_{lagF} คือพารามิเตอร์การหน่วงเวลาในชั้นน้ำท่าที่มีการตอบสนองเร็ว และ T_{lagS} คือพารามิเตอร์การหน่วงเวลาในชั้นน้ำท่าที่มีการตอบสนองช้า ซึ่งมีหน่วยเป็นชั่วโมง ทั้งนี้ T_{lagF} และ T_{lagS} สามารถประเมินได้จากสมการที่ (2) และ (3) โดยที่ T_{lag} คือพารามิเตอร์ที่เป็นตัวแทนของสถานีวัดน้ำท่าทำการสอบเทียบ, $T_{lag-sub}$ คือพารามิเตอร์สำหรับแต่ละลุ่มน้ำย่อย, A คือพื้นที่ลุ่มน้ำของสถานีวัดน้ำท่าทำการสอบเทียบแบบจำลอง และ A_{sub} คือพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยของสถานีวัดน้ำท่าทำการสอบเทียบ

$$T_{lagF-sub} = T_{lagF} \sqrt{A_{sub}/A} \quad (2)$$

$$T_{lagS-sub} = T_{lagS} \sqrt{A_{sub}/A} \quad (3)$$

โดยปริมาณน้ำท่า ($S_{chnl-sub}$) ที่เกิดจากลุ่มน้ำย่อยด้านเหนือน้ำจะเคลื่อนที่จากจุดออกของลุ่มน้ำย่อยด้านเหนือน้ำไปยังจุดออกของสถานีด้านท้ายน้ำโดยวิธีการ Muskingum ก่อนที่จะไปรวมกับน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่าด้านท้ายน้ำซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (4) และ (5)

$$S_{chnl-sub} = \alpha_{sub} (XQ_{up} + (1-x)Q_{down}) \quad (4)$$

$$\alpha_{sub} = \alpha L_{sub} \quad (5)$$

โดยที่ Q_{up} คือ ปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำย่อยด้านเหนือน้ำ, Q_{down} คือปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำย่อยด้านท้ายน้ำ, α คือพารามิเตอร์ที่ใช้ในการหน่วงเวลา, X คือแฟคเตอร์ถ่วงน้ำหนัก และ L คือระยะทางระหว่างจุดออกของลุ่มน้ำย่อยด้านเหนือน้ำถึงจุดออกของลุ่มน้ำย่อยด้านท้ายน้ำ

3.2.3 การสอบเทียบแบบจำลองแบบอัตโนมัติด้วยโปรแกรม MOSCEM

โปรแกรม MOSCEM (Multi Objective Shuffle Complex Evolution Metropolis) ได้รับการพัฒนาขึ้นโดย Vrugt et al. (2003) เพื่อใช้ในการสอบเทียบแบบจำลองทางอุทกวิทยาแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective Function) โดยได้เริ่มจากการสุ่มประชากรชุดแรกจากวิธี Latin Hyper Cube เพื่อสร้างประชากรชุดเริ่มต้นที่มีการกระจายตัวอย่างทั่วทั้งมิติ และเริ่มทำการคำนวณฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับประชากรทุกตัวที่สุ่มมา จากนั้นจะจัดลำดับของประชากรแบบหลายวัตถุประสงค์ด้วยกระบวนการ Pareto Ranking แล้วจึงนำไปผ่านกระบวนการสุ่มเข้าโดยใช้อัลกอริทึม Markov Chain Monte Carlo Sample เพื่อให้ได้ประชากรชุดถัดไป สำหรับผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหาโดย MOSCEM จะเป็นชุดคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ที่เรียกว่า Pareto Front ซึ่งก็คือ ชุดพารามิเตอร์ที่มีค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์อยู่ในลำดับที่ 1 กล่าวคือ Pareto Front เป็นชุดพารามิเตอร์ที่มีค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ไม่แพ้พารามิเตอร์ชุดอื่น ๆ ซึ่งในกรณีการแก้ปัญหาแบบ Minimize จะไม่มีพารามิเตอร์ชุดไหนที่มีค่าฟังก์ชัน

วัตถุประสงค์ที่น้อยกว่าค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ Pareto Front ทั้งนี้ แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ได้มีการนำโปรแกรม MOSCEM มาประยุกต์เพื่อหาค่าชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลองโดยอัตโนมัติ โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ Kling-Gupta Efficiencies (KGE) จำนวน 3 ตัวแปร คือ KGE_E , KGE_L และ KGE_F ดังแสดงในสมการที่ (6) – (9) โดยที่ KGE_E คือ การประเมิน KGE ระหว่างผลลัพธ์จากแบบจำลองและข้อมูลตรวจวัดโดยพิจารณาจากข้อมูลอัตราการไหล KGE_L คือ การประเมิน KGE ระหว่างผลลัพธ์จากแบบจำลองและข้อมูลตรวจวัด โดยพิจารณาจากลอการิทึมของอัตราการไหล เพื่อให้ความสำคัญกับอัตราการไหลในช่วงหน้าแล้งหรือช่วงเวลาที่มียอัตราการไหลต่ำ (Low Flow) และ KGE_F คือ การประเมิน KGE ระหว่างผลลัพธ์จากแบบจำลองและข้อมูลตรวจวัดโดยพิจารณาจากโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลา (Flow Duration Curve) เพื่อให้ความสำคัญกับสมดุลน้ำ (Water Balance) โดยที่ปริมาตรที่ทุกช่วงเวลาต้องมีปริมาณที่ไม่ต่างกันมาก

$$KGE = 1 - ED \quad (6)$$

$$ED = \sqrt{(r - 1)^2 + (\alpha - 1)^2 + (\beta - 1)^2} \quad (7)$$

$$\alpha = S_Y/S_X \quad (8)$$

$$\beta = \bar{Y}/\bar{X} \quad (9)$$

โดยที่	\bar{X}	=	ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด
	\bar{Y}	=	ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง
	S_X	=	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด
	S_Y	=	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง
	r	=	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

3.3 เตรียมข้อมูลสำหรับแต่ละลุ่มน้ำย่อยจำนวน 98 ลุ่มน้ำย่อย ที่ครอบคลุมลุ่มน้ำชีในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา

ในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD เพื่อหาค่าชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลองนั้นจำเป็นต้องใช้ข้อมูลขนาดลุ่มน้ำย่อยและความยาวลำน้ำในแต่ละลุ่มน้ำย่อย รวมทั้งค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของข้อมูลอนุกรมเวลาแบบรายวันของข้อมูลฝน ข้อมูลน้ำท่า และข้อมูลศักยภาพการคายระเหยของพืชอ้างอิง (PET) ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith รวมทั้งที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a

3.4 สอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith และการศึกษาความไวของช่วงเวลาสถิติข้อมูลที่มีต่อผลการประเมินน้ำท่าในลุ่มน้ำชี

ก่อนที่จะทำการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A โดยใช้ข้อมูลศักยภาพการคายระเหยของพืชอ้างอิง (PET) ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith รวมทั้งที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a นั้น ในการศึกษาครั้งนี้ได้ดำเนินการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith เพียงผลิตภัณฑ์เดียวเนื่องจากเป็นข้อมูลที่ได้รับ

การยอมรับโดยองค์การ Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) เพื่อนำมาศึกษาความไวของช่วงเวลาสถิติข้อมูลที่มีต่อผลการประเมินน้ำท่าในลุ่มน้ำชี โดยกระบวนการ Sliding Windows Cross Validation ซึ่งเริ่มต้นด้วยการใช้ข้อมูลระหว่างปี ค.ศ. 2001-2010 เพื่อการสอบเทียบแบบจำลอง และใช้ข้อมูลระหว่างปี ค.ศ. 2011-2014 เพื่อการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง และทำการ Moving ช่วงเวลาช่วงละ 1 ปี จากนั้นจึงนำผลการประเมินน้ำท่าตามช่วงเวลาต่าง ๆ มาทำการตรวจสอบความถูกต้องของผลการประเมินน้ำท่าโดยแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด ทั้งนี้ แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD นอกจากจะได้ผลการประเมินน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A ที่ทำการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองแล้ว ยังได้ผลพลอยได้ของการประเมินน้ำท่าที่ท้ายน้ำของทั้ง 98 ลุ่มน้ำย่อย และที่สถานีวัดน้ำท่าด้านเหนือของสถานี E.20A อีกจำนวน 9 สถานี ซึ่งสามารถนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดเพื่อประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองที่มีการใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith โดยในการศึกษานี้ได้พิจารณาใช้ค่า Nash-Sutcliffe's Efficiency (NSE) (Nash and Sutcliffe, 1970) ดังแสดงในสมการที่ (10) มาเป็นตัวแปรทางสถิติกลางที่ใช้ประเมินผลการดำเนินงานโดยแบบจำลอง นอกเหนือจากการใช้ค่า KGE_E , KGE_L และ KGE_F ที่ใช้ในการกระบวนการ Optimization โดยโปรแกรม MOSCEM ดังกล่าวข้างต้น

$$NSE = 1 - \frac{\sum_i^N (Y_i - X_i)^2}{\sum_i^N (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (10)$$

โดยที่	X_i	=	ผลการคำนวณจากแบบจำลอง
	Y_i	=	ข้อมูลการตรวจวัด
	\bar{Y}	=	ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด
	N	=	จำนวนข้อมูล
	i	=	แสดงถึงลำดับของอนุกรมข้อมูล

3.5 สอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD สำหรับลุ่มน้ำชีโดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith และที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a

การศึกษาในส่วนนี้เป็นการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A ในระหว่างปี ค.ศ. 2001-2010 และการตรวจพิสูจน์แบบจำลองกระทำในระหว่าง ปี ค.ศ. 2011-2014 โดยใช้ข้อมูล PET 3 ประเภท คือ PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith รวมทั้งที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a โดยได้ตั้งสมมุติฐานว่า ถ้าข้อมูล PET ประเภทใดที่สามารถสร้างความถูกต้องให้กับผลการประเมินน้ำท่าในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ ในลุ่มน้ำชีได้ แสดงว่าข้อมูล PET ประเภทนั้นมีความน่าเชื่อถือที่จะใช้เพื่อประกอบการประเมินน้ำท่าได้โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง โดยการเปรียบเทียบความถูกต้องของผลการประเมินน้ำท่าได้ดำเนินการทั้งที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A ซึ่งทำการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองรวมทั้งที่ 9 สถานีวัดน้ำท่า ที่เป็นผลพลอยได้จากการดำเนินงานของแบบจำลอง ทั้งนี้จะใช้ค่าตัวแปรทางสถิติทั้ง 4 ตัวแปร คือ NSE, KGE_E , KGE_L และ KGE_F

3.6 เปรียบเทียบความสอดคล้องกันของข้อมูลศักยภาพการคายระเหยที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith และที่ได้จากผลิตภัณฑ์ศักยภาพการคายระเหยของพืชอ้างอิง MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a






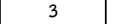






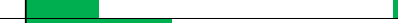








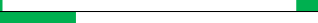





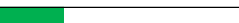


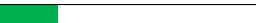




เนื่องจากข้อมูลศักยภาพการคายระเหยที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith และที่ได้จากผลิตภัณฑ์ศักยภาพการคายระเหยของพืชอ้างอิง MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a มีความแตกต่างกันและมีผลทำให้การประเมินน้ำท่าโดยแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD มีความแตกต่างกันไปด้วย ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า PET ทั้ง 3 ประเภท โดยพิจารณาใช้ค่าตัวแปรทางสถิติทั้ง 4 ตัวแปร คือ NSE , KGE_E , KGE_L และ KGE_F เช่นกันในการเปรียบเทียบความสัมพันธ์

4. ผลการศึกษา

4.1 ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith และการศึกษาความไวของช่วงเวลาสถิติข้อมูลที่มีต่อผลการประเมินน้ำท่า

การศึกษาคความไวของช่วงเวลาสถิติข้อมูลที่มีผลต่อความถูกต้องของการประเมินน้ำท่าโดยแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ที่ สถานีวัดน้ำท่า E.20A โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith โดยกระบวนการ Sliding Windows Cross Validation สำหรับการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ทำให้มีกรณีศึกษาทั้งสิ้น 14 กรณี ดังแสดงในภาพที่ 3 จากนั้นจึงนำผลการประเมินน้ำท่าในแต่ละกรณีมาตรวจสอบความถูกต้องของผลการประเมินน้ำท่าโดยแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดทั้งที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A ที่ทำการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองรวมทั้งที่สถานีวัดน้ำท่าด้านเหนือหน้าของสถานี E.20A อีกจำนวน 9 สถานี ซึ่งประกอบด้วยสถานีวัดน้ำท่า E.32A, E.5, E.23, E.21, E.9, E.66A, E.18, E.54 และ E.70 โดยผลเปรียบเทียบค่าทางสถิติเฉลี่ยจาก 10 สถานี จำนวน 14 กรณี ที่เป็นผลจากการสอบเทียบและการตรวจพิสูจน์แบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A แสดงดังในตารางที่ 6 โดยในตารางดังกล่าวได้ทำการหาค่าเฉลี่ยของค่าตัวแปรทางสถิติทั้ง 4 ตัวแปร คือ NSE , KGE_E , KGE_L และ KGE_F ทั้งในช่วงการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองโดยกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับแต่ละค่าตัวแปรทางสถิติคือ 0.35, 0.35, 0.2 และ 0.1 ตามลำดับ ตามความสำคัญของแต่ละตัวแปร ทั้งนี้เนื่องจากค่า NSE และ KGE_E เป็นตัวแปรทางสถิติที่แสดงภาพรวมของผลการประเมินน้ำท่าที่ให้ความสำคัญกับอัตราการไหลทั้งหมด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอัตราการไหลสูง ๆ ซึ่งจัดว่ามีความสำคัญสูงสุด จึงสมควรให้ค่าถ่วงน้ำหนักมากที่สุดและควรมีค่าเท่ากัน จึงถูกกำหนดให้ค่าการถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.35 ในขณะที่ค่า KGE_L เป็นค่าที่ให้ความสำคัญกับอัตราการไหลในช่วงหน้าแล้งหรือช่วงเวลาที่อัตราการไหลต่ำ (Low Flow) จึงได้ค่าการถ่วงน้ำหนักที่ลดลงมาคือ 0.2 ในขณะที่ค่า KGE_F เป็นค่าที่แสดงโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลา (Flow Duration Curve) ซึ่งมีความสำคัญน้อยที่สุดและผลการประเมินน้ำท่าในส่วนนี้จะไม่แตกต่างกันมากนักในการจำลองแบบแต่ละประเภทจึงถูกกำหนดให้ค่าการถ่วงน้ำหนักที่น้อยที่สุดคือ 0.1 จากนั้นทำการเฉลี่ยค่าดังกล่าวในช่วงการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง จากนั้นทำการจัดลำดับของค่าสถิติเฉลี่ยจากมากไปหาน้อย จากตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ากรณีที่ให้ค่าทางสถิติเฉลี่ยสูงสุด 3 ลำดับแรก คือกรณีที่ 5 (2005-2014) กรณีที่ 7 (2007-2001) และ กรณีที่ 2 (2002-2012) ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.711, 0.695 และ 0.693 ตามลำดับ ในขณะที่ค่าสถิติเฉลี่ยต่ำสุด 3 ลำดับแรก คือกรณีที่ 12 (2012-2007) กรณีที่ 14 (2014-2009) และ กรณีที่ 11 (2011-2006) ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.511, 0.616 และ 0.621 ตามลำดับ ทั้งนี้ค่าทางสถิติเฉลี่ยสำหรับทั้ง 14 กรณี เท่ากับ 0.655 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.063

ทั้งนี้ จากการพิจารณาถึงสาเหตุที่ทำให้ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์มีความแตกต่างกันในแต่ละกรณีโดยพบว่าค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าเฉลี่ยในช่วงการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองน่าจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับความต้องการของผลการประเมินน้ำท่าในแต่ละกรณี ดังนั้น ในตารางดังกล่าวจึงได้แสดงค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าเฉลี่ยในช่วงการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองสำหรับแต่ละกรณีโดยจะเห็นได้ว่า กรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าเฉลี่ยในช่วงการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองมีความแตกต่างกันมากจะส่งผลให้ผลการประเมินน้ำท่ามีความผิดพลาดมากตามไปด้วย ทั้งนี้ ในกรณีที่ 12, 14 และ 11 ที่ให้ค่าเฉลี่ยของค่าทางสถิติต่ำสุด 3 ลำดับแรก พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าในแต่ละกรณีในช่วงการสอบเทียบเท่ากับ 0.18, 0.19 และ 0.19 ตามลำดับ และในช่วงการตรวจพิสูจน์เท่ากับ 0.25, 0.23 และ 0.23 ตามลำดับ ในขณะที่ในกรณีที่ 5, 7 และ 2 ที่ให้ค่าเฉลี่ยของค่าทางสถิติสูงสุด 3 ลำดับแรก พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าในแต่ละกรณีในช่วงการสอบเทียบเท่ากับ 0.20, 0.21 และ 0.20 ตามลำดับ และในช่วงการตรวจพิสูจน์เท่ากับ 0.19, 0.16 และ 0.18 ตามลำดับ ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าของข้อมูลในช่วงการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองมีอิทธิพลอย่างมากต่อความต้องการของผลการประเมินน้ำท่าโดยแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD

กรณีศึกษา	ช่วงปีสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD (Water Year)															
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014		
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																

ภาพที่ 3 ช่วงเวลาในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบค่าทางสถิติเฉลี่ยจาก 10 สถานี จำนวน 14 กรณี ที่เป็นผลจากการสอบเทียบและการตรวจพิสูจน์แบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith

กรณีศึกษา	การสอบเทียบแบบจำลอง					การตรวจพิสูจน์แบบจำลอง					เฉลี่ย	สัมประสิทธิ์น้ำท่า	
	NSE	KGE _F	KGE _L	KGE _F	ค่าเฉลี่ย	NSE	KGE _F	KGE _L	KGE _F	ค่าเฉลี่ย		สอบเทียบ	ตรวจพิสูจน์
5	0.69	0.68	0.67	0.74	0.69	0.79	0.72	0.65	0.74	0.731	0.711	0.20	0.19
7	0.67	0.69	0.68	0.76	0.687	0.71	0.68	0.71	0.73	0.702	0.695	0.21	0.16
2	0.71	0.74	0.72	0.80	0.732	0.67	0.64	0.63	0.69	0.653	0.693	0.20	0.18
9	0.73	0.78	0.63	0.83	0.737	0.54	0.70	0.65	0.80	0.646	0.692	0.21	0.17
3	0.69	0.69	0.66	0.75	0.69	0.74	0.63	0.64	0.65	0.673	0.682	0.20	0.19
8	0.69	0.70	0.63	0.75	0.691	0.69	0.62	0.66	0.67	0.658	0.675	0.21	0.18
1	0.69	0.73	0.70	0.80	0.716	0.65	0.63	0.57	0.68	0.629	0.673	0.21	0.17
13	0.67	0.72	0.71	0.78	0.707	0.65	0.62	0.64	0.64	0.636	0.672	0.20	0.19
10	0.75	0.76	0.67	0.80	0.739	0.45	0.64	0.67	0.72	0.588	0.664	0.20	0.20
6	0.61	0.59	0.66	0.66	0.619	0.68	0.65	0.64	0.71	0.667	0.643	0.19	0.21
4	0.63	0.61	0.61	0.68	0.622	0.71	0.61	0.59	0.63	0.642	0.632	0.19	0.22
11	0.71	0.75	0.70	0.79	0.728	0.34	0.57	0.65	0.64	0.513	0.621	0.18	0.25
14	0.61	0.61	0.69	0.67	0.633	0.65	0.58	0.55	0.60	0.599	0.616	0.19	0.23
12	0.60	0.58	0.64	0.63	0.605	0.30	0.43	0.58	0.46	0.416	0.511	0.19	0.23
เฉลี่ย	0.67	0.69	0.67	0.75	0.685	0.61	0.62	0.63	0.67	0.625	0.655	0.198	0.198
SD	0.05	0.07	0.03	0.06	0.047	0.15	0.07	0.04	0.08	0.080	0.063	0.011	0.027

4.2 การเปรียบเทียบความถูกต้องของผลการประเมินน้ำท่าระหว่างการใช้อัตรา PET จาก Penman-Monteith และที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a

การเปรียบเทียบศักยภาพของศักยภาพการคายระเหย (PET) ที่คำนวณโดยวิธี Penman-Monteith กับที่ได้จากข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลของผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a เพื่อใช้เป็นข้อมูลด้านเข้าในการประเมินน้ำท่าโดยแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD สำหรับลุ่มน้ำชี ดำเนินการโดยการสอบเทียบ (2001-2010) และตรวจพิสูจน์แบบจำลอง (2011-2014) ที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A ซึ่งนอกจากจะได้ผลการประเมินน้ำท่าที่สถานี E.20A แล้ว จะได้ผลการประเมินน้ำท่าที่เป็นผลพลอยได้ในทั้ง 98 ลุ่มน้ำย่อย รวมทั้งที่สถานีวัดน้ำท่าด้านเหนือของสถานีวัดน้ำท่า E.20A อีกจำนวน 9 สถานี ดังนั้น จึงได้แสดงค่าทางสถิติ 4 ตัวแปร คือ NSE, KGE_F, KGE_L และ KGE_F ที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างกราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD จากการใช้อัตรา PET ทั้ง 3 ประเภท กับกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดสำหรับช่วงการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองดังแสดงใน **ตารางที่ 9** และ **ตารางที่ 10** ตามลำดับ โดยในตารางดังกล่าวได้คำนวณค่าเฉลี่ยของตัวแปรทางสถิติทั้ง 4 ตัวแปร ด้วยสัดส่วนเท่ากับ 0.35, 0.35, 0.2 และ 0.1 ตามลำดับ ซึ่งจาก **ตารางที่ 9** พบว่าการสอบเทียบแบบจำลองโดยใช้ข้อมูล PET โดยวิธี Penman-Monteith ให้ค่าเฉลี่ยของทั้ง 10 สถานี สูงสุด คือ 0.725 รองลงมาคือ GLEAM V3.5a และ MOD16A2GF ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.701 และ 0.638 ตามลำดับ ในขณะที่ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลองที่แสดงใน **ตารางที่ 10** พบว่าค่าทางสถิติที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองโดยใช้ข้อมูล PET โดยวิธี Penman-Monteith และผลิตภัณฑ์ GLEAM V3.5a มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันคือ 0.614 และ 0.616 ตามลำดับ ในขณะที่ MOD16A2GF ให้ค่าเฉลี่ยต่ำกว่าเล็กน้อยคือ 0.592 จากผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองโดยรวมสามารถ

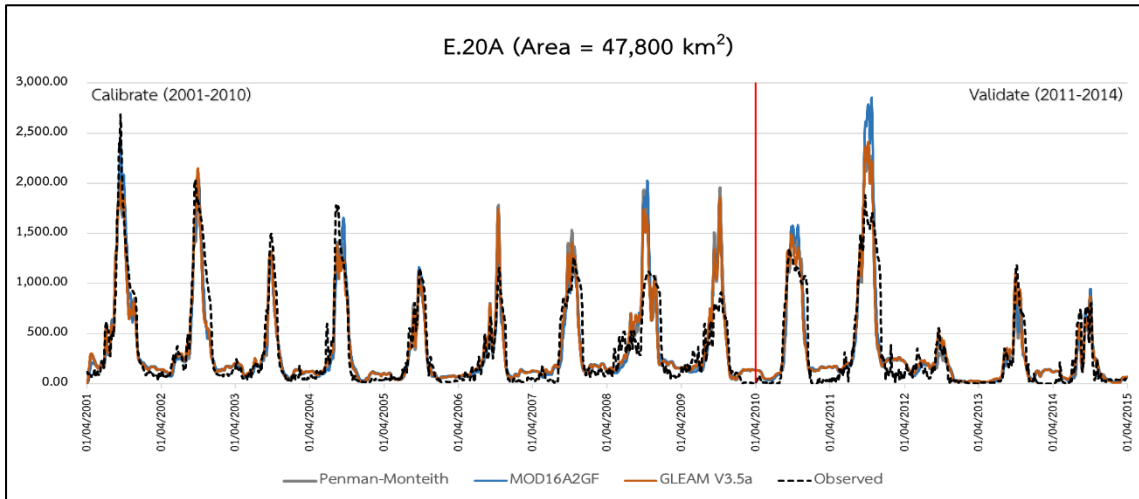
สรุปได้ว่า ถึงแม้ว่าข้อมูล PET โดยวิธี Penman-Monteith จะให้ค่าทางสถิติที่สูงกว่าการใช้ค่า PET จากผลิตภัณฑ์ GLEAM V3.5a และ MOD16A2GF ตามลำดับ แต่นับว่าเป็นความแตกต่างที่ไม่มากนัก ทำให้ข้อมูล PET ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a มีความเหมาะสมที่สามารถนำไปประกอบการประเมินน้ำท่า โดยแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดและกราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ที่สถานี E.20A โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณโดยวิธี Penman-Monteith กับที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a แสดงดังในภาพที่ 4 โดยในภาพดังกล่าวได้แสดงการเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าทั้งสเกลธรรมดา (ก) เพื่อแสดงให้เห็นความแตกต่างในภาพรวม โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับปริมาณการไหลสูง ๆ และสเกล Semi-log (ข) เพื่อแสดงให้เห็นความแตกต่างที่ชัดเจนในส่วนของการไหลต่ำ ๆ รวมทั้งได้แสดงกราฟกราฟน้ำท่าสะสม (Mass Curve) (ค) เพื่อแสดงให้เห็นสมมูลน้ำที่ชัดเจนเพื่อประกอบการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองที่มีการใช้ข้อมูล PET ที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบค่าทางสถิติที่เป็นผลจากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ที่สถานี E.20A

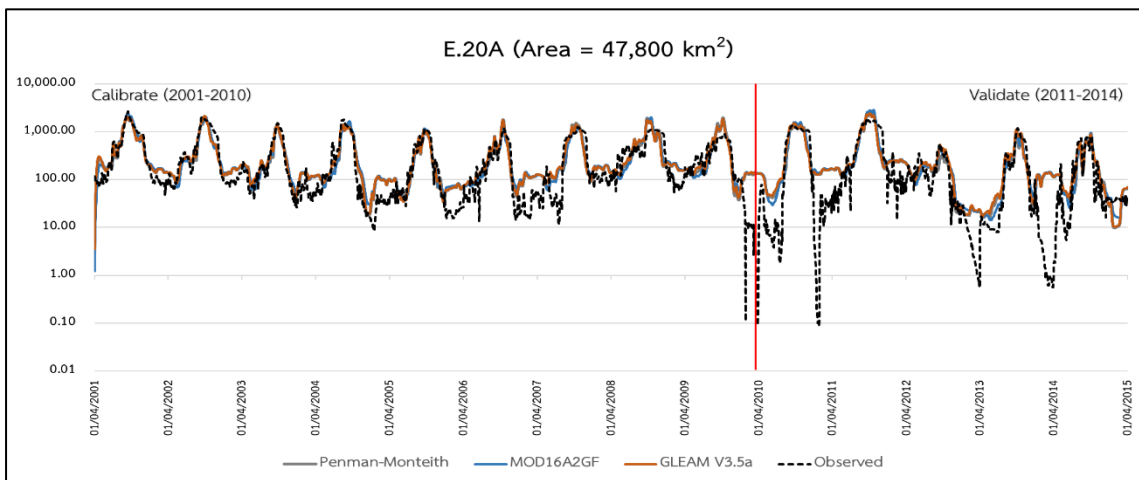
รหัสสถานี	พื้นที่รับน้ำ	Penman-Monteith					MOD16A2GF					GLEAM3.5a					เฉลี่ย
		NSE	KGE _E	KGE _L	KGE _F	เฉลี่ย	NSE	KGE _E	KGE _L	KGE _F	เฉลี่ย	NSE	KGE _E	KGE _L	KGE _F	เฉลี่ย	
E.32A	2,906	0.70	0.62	0.58	0.65	<u>0.643</u>	0.56	0.30	0.62	0.32	<u>0.457</u>	0.59	0.38	0.58	0.40	<u>0.496</u>	0.532
E.5	4,207	0.77	0.82	0.64	0.87	<u>0.772</u>	0.69	0.47	0.79	0.48	<u>0.612</u>	0.74	0.65	0.69	0.67	<u>0.692</u>	0.692
E.23	6,282	0.74	0.85	0.70	0.95	<u>0.792</u>	0.76	0.58	0.82	0.59	<u>0.692</u>	0.71	0.79	0.75	0.85	<u>0.760</u>	0.748
E.21	8,777	0.70	0.73	0.69	0.78	<u>0.717</u>	0.67	0.44	0.73	0.45	<u>0.580</u>	0.67	0.64	0.73	0.69	<u>0.674</u>	0.657
E.9	10,878	0.66	0.81	0.64	0.94	<u>0.737</u>	0.73	0.59	0.54	0.61	<u>0.631</u>	0.62	0.76	0.61	0.87	<u>0.692</u>	0.687
E.66A	31,879	0.71	0.85	0.64	0.97	<u>0.771</u>	0.75	0.84	0.63	0.91	<u>0.774</u>	0.72	0.86	0.64	0.97	<u>0.778</u>	0.774
E.18	41,187	0.70	0.81	0.60	0.87	<u>0.736</u>	0.74	0.85	0.59	0.92	<u>0.767</u>	0.73	0.82	0.60	0.87	<u>0.750</u>	0.751
E.54	1,548	0.39	0.69	0.73	0.95	<u>0.619</u>	0.21	0.56	0.88	0.72	<u>0.518</u>	0.47	0.67	0.83	0.86	<u>0.651</u>	0.596
E.70	2,647	0.49	0.75	0.71	0.92	<u>0.668</u>	0.31	0.58	0.85	0.67	<u>0.549</u>	0.57	0.76	0.82	0.91	<u>0.721</u>	0.646
E.20A	47,800	0.78	0.88	0.58	0.97	<u>0.794</u>	0.79	0.89	0.58	0.96	<u>0.800</u>	0.8	0.88	0.58	0.94	<u>0.798</u>	0.797
เฉลี่ย		0.66	0.78	0.65	0.89	<u>0.725</u>	0.62	0.61	0.70	0.66	<u>0.638</u>	0.66	0.72	0.68	0.80	<u>0.701</u>	0.688

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบค่าทางสถิติที่เป็นผลจากการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ที่สถานี E.20A

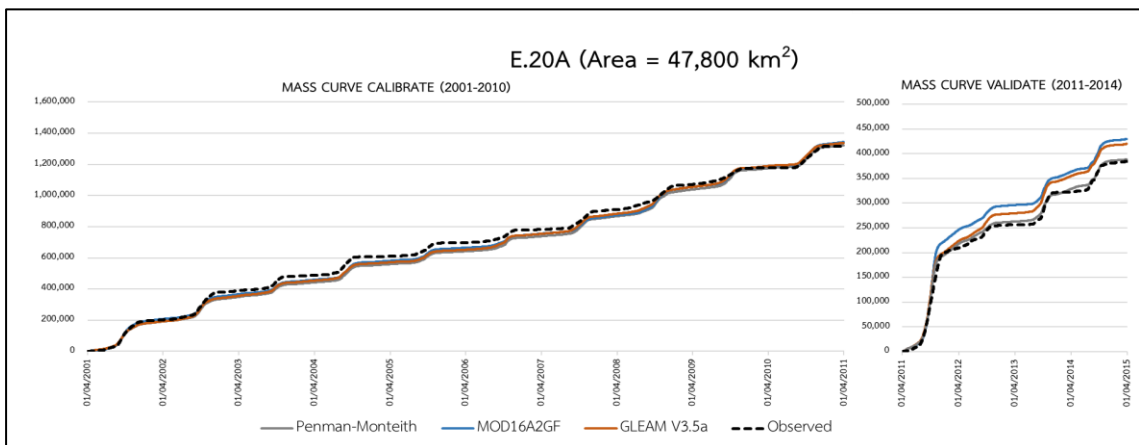
รหัสสถานี	พื้นที่รับน้ำ	Penman-Monteith					MOD16A2GF					GLEAM3.5a					เฉลี่ย
		NSE	KGE _E	KGE _L	KGE _F	เฉลี่ย	NSE	KGE _E	KGE _L	KGE _F	เฉลี่ย	NSE	KGE _E	KGE _L	KGE _F	เฉลี่ย	
E.32A	2,906	0.65	0.43	0.59	0.44	<u>0.540</u>	0.53	0.21	0.63	0.22	<u>0.407</u>	0.55	0.27	0.6	0.28	<u>0.435</u>	0.461
E.5	4,207	0.7	0.55	0.47	0.57	<u>0.589</u>	0.61	0.32	0.66	0.33	<u>0.491</u>	0.65	0.42	0.51	0.43	<u>0.520</u>	0.533
E.23	6,282	0.67	0.58	0.64	0.61	<u>0.627</u>	0.64	0.42	0.76	0.43	<u>0.566</u>	0.64	0.56	0.71	0.59	<u>0.621</u>	0.605
E.21	8,777	0.62	0.53	0.4	0.58	<u>0.541</u>	0.63	0.39	0.64	0.4	<u>0.525</u>	0.59	0.54	0.55	0.6	<u>0.566</u>	0.544
E.9	10,878	0.58	0.51	0.47	0.56	<u>0.532</u>	0.62	0.43	0.49	0.45	<u>0.511</u>	0.54	0.55	0.45	0.63	<u>0.535</u>	0.526
E.66A	31,879	0.71	0.65	0.52	0.67	<u>0.647</u>	0.78	0.74	0.54	0.76	<u>0.716</u>	0.74	0.7	0.54	0.73	<u>0.685</u>	0.683
E.18	41,187	0.67	0.75	0.53	0.82	<u>0.685</u>	0.7	0.83	0.55	0.88	<u>0.734</u>	0.7	0.76	0.55	0.82	<u>0.703</u>	0.707
E.54	1,548	0.36	0.68	0.55	0.83	<u>0.557</u>	0.32	0.68	0.45	0.85	<u>0.525</u>	0.47	0.74	0.54	0.89	<u>0.621</u>	0.568
E.70	2,647	0.69	0.84	0.47	0.95	<u>0.725</u>	0.56	0.74	0.88	0.83	<u>0.714</u>	0.72	0.84	0.62	0.94	<u>0.764</u>	0.734
E.20A	47,800	0.71	0.77	0.49	0.82	<u>0.698</u>	0.7	0.84	0.51	0.9	<u>0.731</u>	0.73	0.79	0.5	0.84	<u>0.716</u>	0.715
เฉลี่ย		0.64	0.63	0.51	0.69	<u>0.614</u>	0.61	0.56	0.61	0.61	<u>0.592</u>	0.63	0.62	0.56	0.675	<u>0.616</u>	0.607



(ก) กราฟน้ำท่าสเกลธรรมดาของสถานี E.20A



(ข) กราฟน้ำท่าสเกล Semi-log ของสถานี E.20A



(ค) กราฟน้ำท่าสะสม (Mass Curve) ของสถานี E.20A

ภาพที่ 4 การเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดและกราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ที่สถานี E.20A โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณโดยวิธี Penman-Monteith, MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a

4.3 เปรียบเทียบความสอดคล้องกันของข้อมูล PET ของวิธี Penman-Monteith และที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a

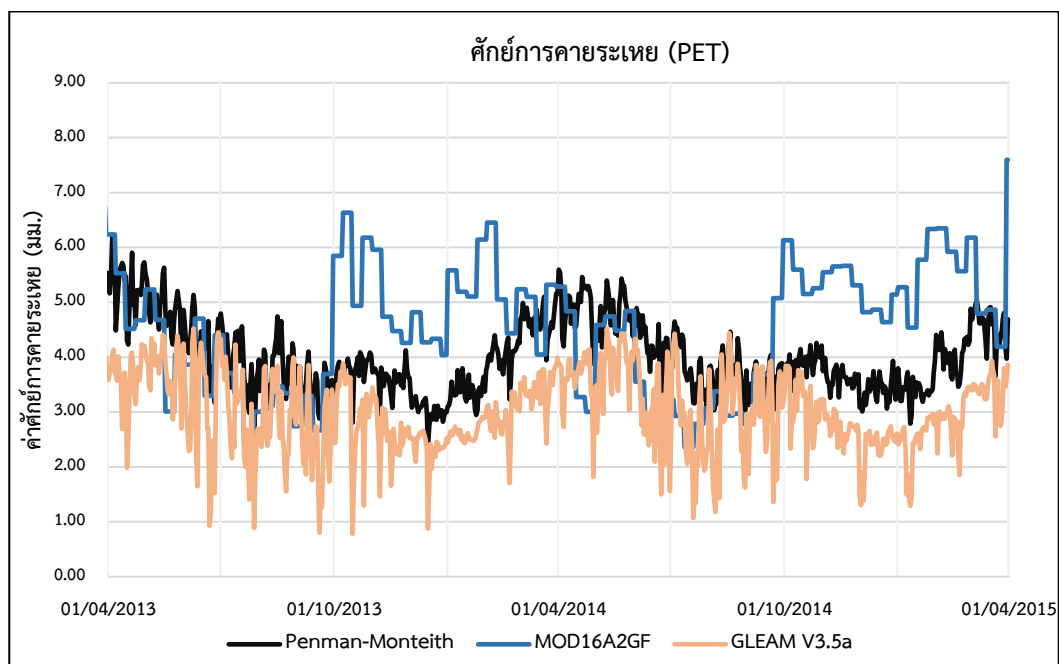
ผลการเปรียบเทียบศักยภาพการคายระเหยเฉลี่ยรายฤดูกาลและรายปีระหว่างปี 2001-2014 สำหรับแต่ละสถานี วัดน้ำท่าจำนวน 10 สถานี ของลุ่มน้ำชีที่ได้จากวิธี Penman-Monteith และจากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a แสดงดังตารางที่ 11 จากตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ค่า PET ของทั้ง 3 ประเภท มีค่าเฉลี่ยรายปี เท่ากับ 1,433.66, 1,748.37 และ 1,114.99 มิลลิเมตร ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยรายฤดูฝน (เม.ย.-ต.ค.) เท่ากับ 866.97, 914.53 และ 686.00 มิลลิเมตร ตามลำดับ และ ค่าเฉลี่ยรายฤดูแล้ง (พ.ย.-มี.ค.) เท่ากับ 566.69, 833.84 และ 428.99 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยสัดส่วนระหว่างค่า PET ที่ได้จาก MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a ต่อ Penman-Monteith แบบรายปีเท่ากับ 1.22 และ 0.78 ตามลำดับ แบบรายฤดูฝนเท่ากับ 1.05 และ 0.79 ตามลำดับ และแบบรายฤดูแล้งเท่ากับ 1.47 และ 0.76 ตามลำดับ ทั้งนี้ได้แสดงตัวอย่างค่าศักยภาพการคายระเหยที่คำนวณโดยวิธี Penman-Monteith และจากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a ระหว่างปี ค.ศ. 2013-2014 ไว้ในภาพที่ 5 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า PET ของผลิตภัณฑ์ GLEAM V3.5a มีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากวิธี Penman-Monteith โดยสัดส่วนใกล้เคียงกันทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง ในขณะที่ PET ของผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF มีค่ามากกว่า ค่าที่ได้จากวิธี Penman-Monteith โดยสัดส่วนในช่วงฤดูแล้ง (1.47) มีความแตกต่างกับ Penman-Monteith มากกว่าความแตกต่างในช่วงฤดูฝน (1.22) นอกจากนั้นแล้ว เมื่อพิจารณาภาพรวมของค่า PET ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF มีค่า PET ที่ได้จากวิธี Penman-Monteith และจากผลิตภัณฑ์ GLEAM V3.5a อย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในช่วงฤดูแล้ง (พ.ย.-มี.ค.) โดยมีข้อสังเกตคือพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณที่แตกต่างกัน โดย PET ที่ได้จากวิธี Penman-Monteith เป็นค่าที่คำนวณโดยใช้ข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศเท่านั้น ในขณะที่ค่า PET ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF มีการคำนวณโดยใช้สมการ Penman-Monteith เช่นกันแต่มีการใช้ข้อมูลที่ได้จาก Reanalysis data รวมทั้งมีการนำข้อมูลของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการรับรู้จากระยะไกลอื่น ๆ มาใช้ประกอบการคำนวณด้วย อาทิเช่น ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของพืชพรรณ (Vegetation property dynamics) ข้อมูลสัดส่วนการสะท้อนกลับจากวัตถุบนพื้นโลก (Albedo) ข้อมูลสิ่งปกคลุม (Land cover) เป็นต้น (ที่มา <https://lpdaac.usgs.gov/products/mod16a2gfv006>) ในขณะที่ค่า PET ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ GLEAM V3.5a มีการคำนวณโดยใช้สมการ Priestley-Taylor ที่ใช้พื้นฐานของข้อมูลรังสีสุทธิจากพื้นผิวโลก (Surface net radiation) และข้อมูลอุณหภูมิอากาศบริเวณใกล้พื้นผิวโลก (Near-surface air temperature) (ที่มา <https://www.gleam.eu>) ดังนั้นจึงทำให้ผลการคำนวณค่า PET ของทุกผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกัน

นอกจากนั้นแล้วได้วิเคราะห์ค่าทางสถิติที่แสดงความสอดคล้องกันของข้อมูลศักยภาพการคายระเหยที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith และที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a ดังแสดงในตารางที่ 12 จากตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ค่า PET ที่ได้จาก Penman-Monteith มีความสอดคล้องกับค่าที่ได้จาก GLEAM V3.5a มากกว่าค่าที่ได้จาก MOD16A2GF โดยค่า R^2 , KGE และ RMSE ระหว่าง 2 ประเภทมีค่าเท่ากับ 0.44, 0.51 และ 1.13 มิลลิเมตร ในช่วงฤดูฝน และเท่ากับ 0.53, 0.60 และ 1.10 มิลลิเมตร ในช่วงฤดูแล้ง แต่สำหรับค่า NSE มีค่าเท่ากับ -1.90 และ -2.55 ตามลำดับ แสดงว่าค่า PET ที่ได้จากข้อมูลทั้ง 2 ประเภท มีแนวโน้ม (Trend) ที่สอดคล้องกันในระดับหนึ่ง (พิจารณาจากค่า R^2 และ KGE อยู่ในระดับพอใช้) แต่มีปริมาณที่แตกต่างกันจึงทำให้ NSE มีค่าต่ำ ในขณะที่ค่า PET ที่ได้จาก MOD16A2GF มีความสอดคล้องกันน้อยมากกับค่าที่ได้จาก Penman-Monteith โดยค่า R^2 , NSE, KGE และ RMSE ระหว่าง 2 ประเภท มีค่าเท่ากับ 0.20, -1.99, -0.04 และ 1.16 มิลลิเมตร ในช่วงฤดู

ฝน และเท่ากับ 0.12, -9.78, 0.09 และ 1.89 มิลลิเมตร ในช่วงฤดูแล้ง นอกจากนั้นแล้ว ค่า PET ที่ได้จาก MOD16A2GF มีความสอดคล้องกันน้อยมากกับค่าที่ได้จาก GLEAM V3.5a โดยค่า R², NSE, KGE และ RMSE ระหว่าง 2 ประเภท มีค่าเท่ากับ 0.10, -0.68, 0.2 และ 1.16 มิลลิเมตร ในช่วงฤดูฝน และเท่ากับ 0.15, -10.54, 0.13 และ 2.82 มิลลิเมตร ในช่วงฤดูแล้ง

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบศักยภาพการคายระเหยเฉลี่ยรายฤดูกาลและรายปีระหว่างปี 2001-2014 สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าของกลุ่มน้ำชีที่ได้จากวิธี Penman-Monteith และจากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a

รหัสสถานี	รายปี			ฤดูฝน			ฤดูแล้ง		
	Penman Monteith	MOD16A2GF	GLEAM V3.5a	Penman Monteith	MOD16A2GF	GLEAM V3.5a	Penman Monteith	MOD16A2GF	GLEAM V3.5a
E.32A	1,421.39	1,817.64	1,168.63	859.18	960.48	720.86	562.20	857.17	447.77
E.5	1,424.61	1,813.50	1,149.77	861.30	957.87	705.95	563.31	855.63	443.82
E.23	1,433.77	1,787.54	1,131.54	866.10	937.05	693.77	567.68	850.49	437.77
E.21	1,432.15	1,775.65	1,121.64	865.05	928.06	687.83	567.10	847.59	433.81
E.9	1,436.72	1,767.48	1,113.54	867.71	919.17	683.35	569.00	848.31	430.19
E.66A	1,449.18	1,746.74	1,105.81	874.20	902.38	680.98	574.98	844.36	424.83
E.18	1,426.02	1,721.58	1,097.72	860.45	891.97	677.09	565.57	829.62	420.63
E.54	1,453.39	1,671.10	1,086.11	882.82	879.50	669.73	570.57	791.60	416.38
E.70	1,443.31	1,656.88	1,081.48	878.50	869.16	666.40	564.82	787.72	415.09
E.20A	1,416.06	1,725.60	1,093.64	854.38	899.67	674.08	561.68	825.93	419.56
เฉลี่ย	1,433.66	1,748.37	1,114.99	866.97	914.53	686.00	566.69	833.84	428.99



ภาพที่ 5 ค่าศักยภาพการคายระเหยที่คำนวณโดยวิธี Penman-Monteith และจากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a ระหว่างปี ค.ศ. 2013-2014

ตารางที่ 10 ค่าทางสถิติที่แสดงความสอดคล้องกันของข้อมูลศักยภาพการคายระเหยรายวันที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith และที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a

ความสัมพันธ์ศักยภาพการคายระเหย	รายปี				ฤดูฝน				ฤดูแล้ง			
	R ²	NSE	KGE	RMSE (มม.)	R ²	NSE	KGE	RMSE (มม.)	R ²	NSE	KGE	RMSE (มม.)
Penman Monteith - MOD16A2GF	0.05	-4.41	-0.26	1.51	0.20	-1.99	-0.04	1.16	0.12	-9.78	0.09	1.89
Penman Monteith - GLEAM V3.5a	0.48	-1.94	0.57	1.12	0.44	-1.90	0.51	1.13	0.53	-2.55	0.60	1.10
MOD16A2GF - GLEAM V3.5a	0.02	-1.96	-0.02	2.19	0.10	-0.68	0.20	1.60	0.15	-10.54	0.13	2.82

5. การอภิปรายและสรุปผลการวิจัย

งานศึกษาเรื่อง “การประเมินศักยภาพของผลิตภัณฑ์ PET ที่ได้จากดาวเทียมในการจำลองแบบทางอุทกวิทยา” สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังต่อไปนี้

1. จากการศึกษาความไวของช่วงเวลาสถิติข้อมูลที่มีต่อผลการประเมินน้ำท่าในลุ่มน้ำชีที่ดำเนินการโดยการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith จำนวน 14 กรณี โดยกระบวนการ Sliding Windows Cross Validation ทั้งในช่วงการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าของข้อมูลในช่วงการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองมีอิทธิพลอย่างมากต่อความถูกต้องของผลการประเมินน้ำท่าโดยแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD กล่าวคือ ในกรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าของข้อมูลที่ใช้ในการตรวจพิสูจน์มีความแตกต่างมากจากช่วงเวลาที่ใช้ทำการสอบเทียบแล้วจะส่งผลกระทบต่อความถูกต้องของการประเมินน้ำท่าที่มีความผิดพลาดมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง กล่าวคือ ในกรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์ของน้ำท่าที่มีค่าสูงหรือต่ำจากค่าโดยเฉลี่ยมาก แสดงว่าช่วงเวลานั้นประสบปัญหาอุทกภัยหรือภัยแล้งซึ่งจะมีกระบวนการเกิดน้ำท่าที่แตกต่างออกไปจากปีปกติ ด้วยสาเหตุดังกล่าว ในกรณีที่ต้องการเพิ่มความถูกต้องให้กับผลการประเมินน้ำท่าทั้งในช่วงการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองจึงควรเลือกข้อมูลน้ำท่าในช่วงการสอบเทียบให้ครอบคลุมทั้งปีน้ำน้อย น้ำปานกลาง และน้ำมาก เพื่อให้ได้ชุดพารามิเตอร์ที่เป็นตัวแทนที่ดีและสามารถนำไปใช้เพื่อการประเมินน้ำท่าที่มีความถูกต้องได้มากขึ้น

2. จากการเปรียบเทียบศักยภาพของศักยภาพการคายระเหย (PET) ที่คำนวณโดยวิธี Penman-Monteith กับที่ได้จากข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลของผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a เพื่อใช้เป็นข้อมูลด้านเข้าในการประเมินน้ำท่าโดยแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD สำหรับลุ่มน้ำชี พบว่า ข้อมูล PET ที่คำนวณโดยวิธี Penman-Monteith ให้ผลการประเมินน้ำท่าที่ถูกต้องมากกว่าในกรณีที่ใช้ค่า PET จากผลิตภัณฑ์ GLEAM V3.5a และ MOD16A2GF ตามลำดับ แต่เป็นความแตกต่างที่ไม่มากนัก ทำให้ข้อมูล PET ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ GLEAM V3.5a และ MOD16A2GF มีความเหมาะสมที่จะนำไปประกอบการประเมินน้ำท่าโดยแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

3. จากการเปรียบเทียบความสอดคล้องกันของข้อมูลศักยภาพการคายระเหยที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith และที่ได้จากผลิตภัณฑ์ศักยภาพการคายระเหยของพีชอ้างอิง MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a โดยการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างปี ค.ศ. 2001-2014 สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าจำนวน 10 สถานี ของลุ่มน้ำชี พบว่า

ค่า PET ของผลิตภัณฑ์ GLEAM V3.5a มีค่าต่ำกว่าประมาณ 20% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากวิธี Penman-Monteith ทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง ในขณะที่ PET ของผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากวิธี Penman-Monteith โดยในช่วงฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าประมาณ 50% และในช่วงฤดูฝนสูงกว่าประมาณ 20%

นอกจากนั้นแล้ว ผลการศึกษาพบว่า ข้อมูลศักยภาพการคายระเหยรายวันที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith และที่ได้จาก GLEAM V3.5a มีแนวโน้ม (Trend) ที่สอดคล้องในระดับหนึ่งโดยมีค่า R^2 และ KGE ในช่วงฤดูฝนเท่ากับ 0.44 และ 0.51 และฤดูแล้งเท่ากับ 0.53 และ 0.60 ตามลำดับ แต่มีปริมาณที่แตกต่างกันพอสมควรทำให้ได้ค่า RMSE และ NSE ในช่วงฤดูฝนเท่ากับ 1.13 มิลลิเมตร และ -1.90 และในช่วงฤดูแล้งเท่ากับ 1.10 มิลลิเมตร และ -2.55 ตามลำดับ ในขณะที่ค่า PET ที่ได้จาก MOD16A2GF มีความสอดคล้องกันน้อยมากกับค่าที่ได้จาก Penman-Monteith และ GLEAM V3.5a ทำให้ค่าทางสถิติทั้ง 4 ตัวแปร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

6. บรรณานุกรม

Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, M. Smith, 1998. Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements (FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 56.). FAO, Rome, Italy. 300 p.

De Silva, R.P., Dayawansa, N.D.K., Ratnasiri, M.D., 2007. A comparison of methods used in estimating missing rainfall data. *Journal of Agricultural Sciences – Sri Lanka*, 3(2): 101–108.

Gao, H., Hrachowitz, M., Fenicia, F., Gharari, S., Savenije, H.H.G., 2014. Testing the realism of a topography-driven model (FLEX-Topo) in the nested catchments of the Upper Heihe, China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(5): 1895-1915.

Hamada, A., Arakawa, O., Yatagai, A., 2011. An automated quality control method for daily rain-gauge data. *Global Environ. Res*, 15(2): 183-192.

Nash, J.E., Sutcliffe, J.V., 1970. River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles. *Journal of hydrology*, 10(3): 282-290.

Onnabi-Milani A. and Neyshabouri M., 2018, Comparison of Some Empirical Estimating Methods of Reference Evapotranspiration in Tabriz Plain Using Lysimeter and Proposing a Model for its Determination from Climatic Data. *Water and Soil Science*, 28(1):41–54

Priestley, C.H.B., and R.J. Taylor., 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Review* 100: 81-82.

Rennó, C.D. et al., 2008. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. *Remote Sensing of Environment*, 112(9): 3469-3481.

Sriwongsitanon, N. et al., 2020. Validation of seven global remotely sensed ET products across Thailand using water balance measurements and land use classifications. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 30: 100709.

Sriwongsitanon, N., Jandang, W., Suwawong, T., and Savenije, H. H. G., 2021. Using NDII patterns to constrain semi-distributed rainfall-runoff models in tropical nested catchments, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* [preprint], <https://doi.org/10.5194/hess-2021-598>, in review.

The Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC). (2022). Retrieved May 28, 2022, from <https://lpdaac.usgs.gov/products/mod16a2gfv006>

The Global Land Evaporation Amsterdam Model (GLEAM). (2022), Retrieved May 28, 2022, from <https://www.gleam.eu/>

Vrugt, J.A., Gupta, H.V., Bastidas, L.A., Bouten, W., Sorooshian, S., 2003. Effective and efficient algorithm for multiobjective optimization of hydrologic models. *Water resources research*, 39(8).

นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์ และคณะ (2564), ศูนย์วิจัยการรับรู้จากระยะไกลเพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ (Remote Sensing Research Centre for Water Resources Management : SENSWAT), จาก <https://senswat.eng.ku.ac.th>

นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์ และคณะ (2559), โครงการศึกษาความมั่นคงของกลุ่มน้ำอย่างยั่งยืนทั้ง 25 กลุ่มน้ำ, กรมทรัพยากรน้ำ.

ศรัณภัสร์ เอี่ยมอำไพ (2563). การพัฒนาแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD เพื่อการประเมินปริมาณน้ำท่า ด้วยกระบวนการน้ำฝน-น้ำท่า แบบกึ่งกระจายตัว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
