

นิพนธ์ต้นฉบับ

ความแตกต่างของการให้บริการทางนิเวศด้านการให้น้ำจากกิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ที่ต่างกัน
บริเวณลุ่มน้ำห้วยฮ่องไคร้ จังหวัดเชียงใหม่

อรกานต์ เกษรบัว^{1*} วินัส ต่วนเครือ² และ ยุทธพงษ์ ศิริมั่งคละ²

รับต้นฉบับ: 23 เมษายน 2564

ฉบับแก้ไข: 3 มิถุนายน 2564

รับลงพิมพ์: 7 มิถุนายน 2564

บทคัดย่อ

บริการของระบบนิเวศลุ่มน้ำด้านการให้น้ำ เป็นดัชนีที่สามารถบอกถึงผลของการฟื้นฟูระบบนิเวศด้วยกิจกรรมต่าง ๆ ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา และเปรียบเทียบบริการด้านการให้น้ำจากกิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ที่ต่างกันของลุ่มน้ำห้วยฮ่องไคร้ จังหวัดเชียงใหม่ ได้แก่ 1) กิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบน้ำฝน 2) กิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบฝายต้นน้ำ 3) กิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบชลประทาน และ 4) กิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบฝายต้นน้ำและอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก โดยวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า วันที่ปริมาณน้ำสะสมตามที่กำหนด (Flow date) และช่วงเวลาการไหลของน้ำในลำธาร (Flow interval) ระหว่างปี พ.ศ. 2554-2560 เป็นดัชนี ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี และรายฤดูกาล มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยปริมาณน้ำท่ารายปี และในช่วงน้ำหลากของกิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบน้ำฝนมีปริมาณมากที่สุด เท่ากับ 226.67, 224.86 มิลลิเมตร และในช่วงแล้งฝน กิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบฝายต้นน้ำและอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กมีปริมาณมากที่สุด เท่ากับ 11.52 มิลลิเมตร โดยวันที่เกิดปริมาณน้ำท่าสะสมร้อยละ 25, 50 และ 75 ในช่วงน้ำหลาก และร้อยละ 95 และ 99 ในช่วงแล้งฝน พบว่า กิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบฝายต้นน้ำและอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก มีวันที่ปริมาณน้ำสะสมมากที่สุดซึ่งแสดงว่าใช้เวลานานที่สุดในการสะสมน้ำท่า สอดคล้องกับช่วงเวลาการไหลของปริมาณน้ำท่าสะสมร้อยละ 25 และร้อยละ 50 ในช่วงน้ำหลาก และร้อยละ 5 และร้อยละ 1 สุดท้าย ในช่วงแล้งฝน ซึ่งพบว่า ระบบฝายต้นน้ำและอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กมีช่วงเวลาสั้นที่สุดแสดงว่าน้ำไหลในลำธารยาวนานที่สุดให้บริการดีที่สุดในทุกดัชนี ผลการศึกษาในครั้งนี้ สามารถใช้เป็นแนวทางในการเลือกกิจกรรมที่ใช้ในการฟื้นฟูพื้นที่ป่าเสื่อมโทรมที่ต้องการให้บริการด้านการให้น้ำเป็นดัชนีสำคัญ และเป็นฐานข้อมูลในการจัดการทรัพยากรน้ำ และแก้ไขปัญหาการเกิดอุทกภัยในช่วงฤดูฝน และการขาดแคลนน้ำในช่วงฤดูแล้งของลุ่มน้ำ

คำสำคัญ: บริการทางนิเวศ การให้น้ำ การฟื้นฟูป่าไม้

¹บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

²ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

*ผู้รับผิดชอบบทความ: E-mail: oragan.k@ku.th

ORIGINAL ARTICLE

**The Different of Hydrological Services from Forest Development Activities
at Huai Hong Khrai Watershed, Chiang Mai Province**

Oragan Kasonbua^{1*}, Venus Tuankruea² and Yutthaphong Kheereemangkla²

Received: 23 April 2021

Revised: 3 June 2021

Accepted: 7 June 2021

ABSTRACT

Hydrological services of watershed ecosystem are the one index which could be indicated effects of forest restoration in different activities from the past to present. This research aimed to clarify and compare the hydrological services of watershed ecosystem from different forest development activities of Huai Hong Khrai Watershed, Chiang Mai province. Four different development activity sites were selected; 1) rainwater forest development, 2) check dam forest development, 3) irrigation forest development and 4) reservoir and check dam forest development. The analysis indices of average runoff, flow date and flow interval were analyzed during 2011-2017.

The result showed that average annual runoff and wet-dry period runoff were non-significant ($p < 0.05$). These indices were highest at rainwater forest development site, however, during the dry period the runoff at reservoir and check dam forest development site had highest amount. Flow date at 25%, 50%, 75% were found in wet period, while, flow date at 95% and 99% were found in dry period. In addition, the highest value was found at reservoir and check dam forest development site. Indicating the reservoir and check dam forest development activity site had spent long time for runoff accumulation. In accordance with flow interval had the short period of last 5 % and 1 % runoff during lack of rainfall. Indicating that the reservoir and check dam forest development activity is good hydrological services. The results of this study can be used as a guideline for selecting forest restoration activities that require hydrological services as a key index. It can be a database for water resource management for solving flood in rainy season and lack of water in dry season problems.

Keyword: hydrological services, forest restoration

¹Graduate School, Kasetsart University, Bangkok 10900

² Department of Conservation, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok 10900

*Corresponding author: E-mail: oragan.k@ku.th

คำนำ

ระบบนิเวศป่าไม้มีบทบาทต่อปริมาณน้ำในลำธาร โดยป่าต้นน้ำที่สามารถให้น้ำต่อพื้นที่ตอนล่างได้ตลอดทั้งปีทั้งนั้น ต้องปกคลุมด้วยป่าที่มีความหลากหลายของพืชพรรณ และมีซากพืชปกคลุมอยู่ซึ่งทำให้ดินมีความสามารถในการดูดซับน้ำสูง แล้วค่อย ๆ ปล่อยสู่ลำธาร ทำให้มีน้ำไหลตลอดปี (Chunkao, 1996) ในช่วงเวลาที่ผ่านมาระบบนิเวศป่าไม้บริเวณภาคเหนือของประเทศไทย ถูกทำลายจนมีสภาพที่เสื่อมโทรมลง โครงสร้างของระบบนิเวศมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจากพื้นที่ป่าไม้ โดยเฉพาะพื้นที่ป่าต้นน้ำลำธารถูกทำลายและเปลี่ยนแปลงไปเป็นพื้นที่เกษตรกรรม และที่อยู่อาศัย ทำให้การทำงานของระบบนิเวศ และหน้าที่ของระบบนิเวศเปลี่ยนแปลงไปด้วย ส่งผลไปยังคุณภาพชีวิตของประชาชนที่พึ่งพาบริการจากระบบนิเวศลุ่มน้ำ ผลกระทบที่พบเห็นได้บ่อยครั้ง และมีความรุนแรงมากขึ้น เช่น การเกิดภัยแล้ง ไฟป่าในช่วงฤดูแล้ง อุทกภัย น้ำป่าไหลหลาก ดินถล่มในช่วงหน้าฝน เป็นต้น จากสภาพปัญหาดังกล่าว การอนุรักษ์และการฟื้นฟูระบบนิเวศที่มีความเสื่อมโทรม หรือป่าดั้งเดิมที่มีสภาพเสื่อมโทรม จึงเป็นแนวทางที่ถูกนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหา โดยมุ่งเน้นฟื้นฟูให้ระบบนิเวศดั้งเดิมกลับมาอีกครั้ง ทั้งในด้านของผลผลิต โครงสร้างป่า และความหลากหลายทางชีวภาพเป็นหลักนั้น อาจจะต้องมีการใช้ระบบวนวัฒนในหลากหลายรูปแบบ และดำเนินการร่วมกันหลายวิธีเพื่อเร่งรัดให้มีการทดแทน หรือสืบต่อพันธุ์ตามธรรมชาติ เช่น การทำแนวกันไฟ และการปลูกป่าเสริม เป็นต้น (Poomviset, 2015)

พื้นที่ลุ่มน้ำห้วยฮ่องไคร้ จังหวัดเชียงใหม่ มีการนำกิจกรรมต่าง ๆ มาใช้ในการพัฒนาและฟื้นฟูพื้นที่ป่าเสื่อมโทรม ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2528 จนได้รับการยอมรับและมีหน่วยงานต่าง ๆ นำไปใช้เป็นต้นแบบในการศึกษา พัฒนา และฟื้นฟูในพื้นที่ป่าเสื่อมโทรม มีกิจกรรมที่ใช้ในการพัฒนาป่าไม้ ได้แก่ 1) กิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบน้ำฝน 2) กิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบฝายต้นน้ำ 3) กิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบชลประทาน และ 4) กิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบฝายต้นน้ำและอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก เพื่อให้ระบบนิเวศสามารถกลับมาทำหน้าที่และให้บริการทางนิเวศได้อย่างสมดุลและเกิดประโยชน์สูงสุด โดยการให้บริการของระบบนิเวศเป็นประโยชน์ที่มนุษย์ได้จากระบบนิเวศที่เป็นต้นทุนทางธรรมชาติ เอื้ออำนวยต่อการดำรงชีวิตในรูปแบบต่าง ๆ เช่น น้ำสะอาดในการอุปโภค บริโภค ไม้ใช้สอย การควบคุมภูมิอากาศ การป้องกันน้ำท่วม การก่อให้เกิดคุณค่าทางจิตใจ และเป็นแหล่งธาตุอาหาร เป็นต้น ซึ่ง Millennium Ecosystem Assessment (2005) ได้แบ่งบริการของระบบนิเวศออกเป็น 4 ด้าน ได้แก่ บริการด้านการเป็นแหล่งผลิต (Provisioning services) บริการด้านการควบคุม (Regulating services) บริการด้านวัฒนธรรม (Cultural services) และ บริการด้านการสนับสนุน (Supporting services) ในด้านการเป็นแหล่งผลิต ระบบนิเวศป่าไม้ หรือป่าต้นน้ำนั้นว่ามีศักยภาพในการเอื้ออำนวยประโยชน์ต่อชุมชนหลากหลายประเภท โดยเฉพาะการเป็นแหล่งน้ำ (Everard and Waters, 2013) ทั้งนี้ในอดีตมีการศึกษาบริการด้านการให้น้ำ ทั้งในด้านปริมาณ และระยะเวลาการไหลของน้ำในลำธาร

แต่ยังขาดการศึกษาเชิงบูรณาการระหว่างกิจกรรมหรือรูปแบบการฟื้นฟูพื้นที่ป่าไม้ และลักษณะทางอุทกวิทยาอย่างเป็นระบบ ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบถึงสภาพภาพของการฟื้นฟูป่าต้นน้ำจากอดีตถึงปัจจุบันว่ามีความสำเร็จมากน้อยเพียงใดทางการบริการด้านการให้น้ำโดยการประเมินความแตกต่างของการฟื้นฟูป่าไม้ด้วยกิจกรรมที่แตกต่างกัน ทั้งในด้านปริมาณ และระยะเวลาการไหลของน้ำในลำธารเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการจัดการทรัพยากรน้ำและแก้ไขปัญหาการเกิดอุทกภัยในช่วงฤดูฝนและการขาดแคลนน้ำในช่วงฤดูแล้ง

อุปกรณ์และวิธีการ

1. พื้นที่ศึกษา

ลุ่มน้ำห้วยฮ่องไคร้ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ มีพื้นที่ 13.6 ตารางกิโลเมตร

ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 350-580 เมตร สภาพป่าโดยทั่วไปเป็นป่าเต็งรัง และป่าเบญจพรรณ ในการวิจัยครั้งนี้เลือกศึกษาในพื้นที่ลุ่มน้ำตัวแทนที่มีกิจกรรมการฟื้นฟูป่าไม้ที่ต่างกัน ได้แก่ 1) กิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบน้ำฝน (Rainwater) ขนาดพื้นที่ 0.09 ตารางกิโลเมตร 2) กิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบฝายต้นน้ำ (Check dam) ขนาดพื้นที่ 0.14 ตารางกิโลเมตร 3) กิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบชลประทาน (Irrigation) ซึ่งมีการปล่อยน้ำผ่านท่อน้ำจากสันเขา ผ่านคลองไส้ไก่ขนาดเล็ก ขนาดพื้นที่ 0.07 ตารางกิโลเมตร และ 4) กิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบฝายต้นน้ำและอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก (Reservoir and Check dam) ขนาดพื้นที่ 0.68 ตารางกิโลเมตร (Figure 1) (Huai Hong khrai Royal Development Study Center, 2018)

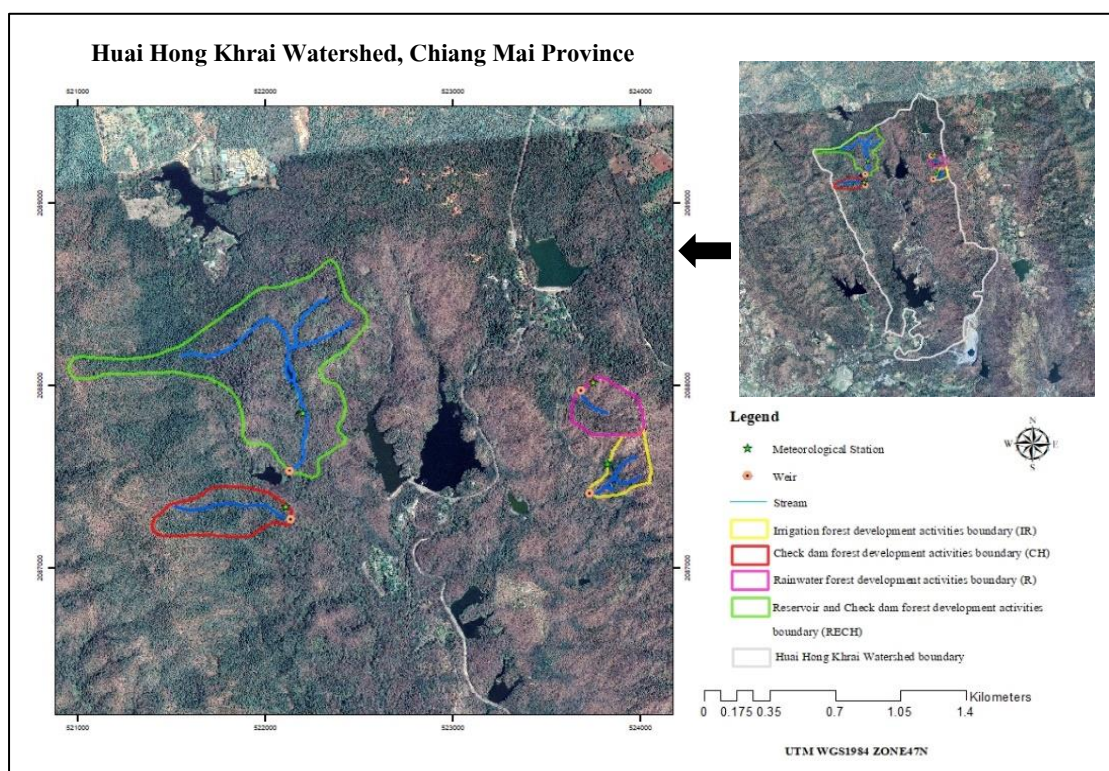


Figure 1 The location of study area at Huai Hong Khrai Watershed, Chiang Mai Province.

2. การเก็บข้อมูล

ทำการเก็บข้อมูลด้วยการรวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำฝน ระหว่างปี พ.ศ. 2554-2560 และข้อมูลปริมาณน้ำท่าราย 10 นาที ระหว่างปี พ.ศ. 2554-2561 จากสถานีตรวจวัดอากาศ และเขื่อนวัดน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีกิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ที่ต่างกันบริเวณศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยฮ่องไคร้อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเชียงใหม่

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ช่วงน้ำหลาก (Wet period) และช่วงแล้งฝน (Dry period) โดยใช้สมมูลน้ำตามวิธีการของ Chorley (1971) และมีข้อกำหนดสำหรับช่วงแล้งฝน คือ ปริมาณฝนตกรายเดือนไม่เกิน 40 มิลลิเมตร ช่วงเวลาที่ฝนตกแต่ละเดือน ไม่เกิน 5 วัน และช่วงเวลาที่เส้นน้ำฝนกับอุณหภูมิตรงกัน โดยกราฟของอุณหภูมิอยู่สูงกว่าเส้นกราฟปริมาณน้ำฝน

3.2 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน รายฤดูกาล รายปี และปริมาณน้ำท่า รายเดือน รายฤดูกาล และรายปี ระหว่างปี พ.ศ. 2554-2560 คำนวณโดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าราย 10 นาที จากเขื่อนวัดน้ำแบบ 120° V-Notch Weir และ Digital record

3.3 วันที่ปริมาณน้ำท่าสะสม (Flow date; FD) ร้อยละ 25, 50, 75, 95 และ 99 และช่วงเวลาการไหลของน้ำในลำธาร (Flow interval; FI) ร้อยละ 25, 50, 5 สุดท้าย และ 1 สุดท้าย ที่น้ำจำนวนที่กำหนดไหลผ่านจุดตรวจวัด โดยมีหลักการว่า หากลุ่มน้ำมีการควบคุมการหลากของน้ำท่าในลำธารให้ค่อย ๆ ไหล หรือมีการกักเก็บน้ำได้ดี จำนวนวันที่น้ำไหล (Flow date) ผ่านจุดตรวจวัด

ในช่วงต่าง ๆ จะมีระยะเวลายาวนาน และปริมาณน้ำในช่วงร้อยละ 5 และร้อยละ 1 สุดท้ายของน้ำท่าทั้งหมด จะมีระยะเวลาสั้นลง (Tangtham *et al.*, 1995) สำหรับการศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลน้ำเริ่มจากเดือนเมษายน 2554 ถึงเดือนมีนาคม 2561 โดยแบ่งข้อมูลตามช่วงเวลา คือ ช่วงน้ำหลาก (Wet period) และช่วงแล้งฝน (Dry period)

3.4 ทดสอบความแปรปรวนโดยใช้ One-way ANOVA และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำท่ารายฤดูกาล และรายปีของกิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ที่ต่างกัน 4 รูปแบบ คือ 1) ระบบน้ำฝน 2) ระบบฝายต้นน้ำ 3) ระบบชลประทาน และ 4) ระบบฝายต้นน้ำและอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก ด้วยวิธี Tukey's test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

ผลและวิจารณ์

1. ปริมาณน้ำฝน

ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยของพื้นที่ที่มีกิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบน้ำฝน ระบบฝายต้นน้ำ ระบบชลประทาน และระบบฝายต้นน้ำและอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก มีปริมาณ 1,327.15, 1,238.26, 1,339.59 และ 1,304.01 มิลลิเมตรตามลำดับ โดยปริมาณฝนมากในช่วงน้ำหลาก ในทุกพื้นที่ประมาณร้อยละ 91.43 ถึงร้อยละ 94.82 ปริมาณฝนสูงสุดในเดือนสิงหาคม ส่วนช่วงแล้งฝนมีปริมาณฝนน้อยมากในทุกพื้นที่อยู่ระหว่างร้อยละ 5.18 ถึง 8.57 ซึ่งพบน้อยที่สุดในเดือนกุมภาพันธ์

2. ปริมาณน้ำท่า

จากการวิเคราะห์ช่วงน้ำหลาก และช่วงแล้งฝน พบว่า ช่วงน้ำหลาก เริ่มตั้งแต่เดือน

พฤษภาคมถึงพฤศจิกายน ระยะเวลา 7 เดือน และช่วงแล้งฝน ตั้งแต่เดือนธันวาคมถึงเมษายน เป็นระยะเวลา 5 เดือน (Figure 2) พบว่า ปริมาณน้ำท่าของกิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ทั้ง 4 รูปแบบ มีรายละเอียด ดังนี้

กิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบน้ำฝน มีปริมาณน้ำท่ารายปีเท่ากับ 226.67 มิลลิเมตร ในช่วงน้ำหลาก มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย เท่ากับ 224.86 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 97.73 ของปริมาณน้ำท่ารายปี และช่วงแล้งฝน มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย เท่ากับ 1.81 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 2.27 ของปริมาณน้ำท่ารายปี

กิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบฝายต้นน้ำ มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี 129.65 มิลลิเมตร ในช่วงน้ำหลาก มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย เท่ากับ 129.55 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 99.89 ของปริมาณน้ำท่ารายปี และช่วงแล้งฝน มีปริมาณ

น้ำท่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.10 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 0.11 ของปริมาณน้ำท่ารายปี

กิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบชลประทาน มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี 182.80 มิลลิเมตร ในช่วงน้ำหลาก มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย เท่ากับ 181.90 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 98.73 ของปริมาณน้ำท่ารายปี และช่วงแล้งฝน มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.89 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 1.27 ของปริมาณน้ำท่ารายปี

กิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบฝายต้นน้ำและอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี 133.02 มิลลิเมตร ในช่วงน้ำหลาก มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย เท่ากับ 121.50 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 93.06 ของปริมาณน้ำท่ารายปี และช่วงแล้งฝน มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย เท่ากับ 11.52 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 6.94 ของปริมาณน้ำท่ารายปี (Table 1)

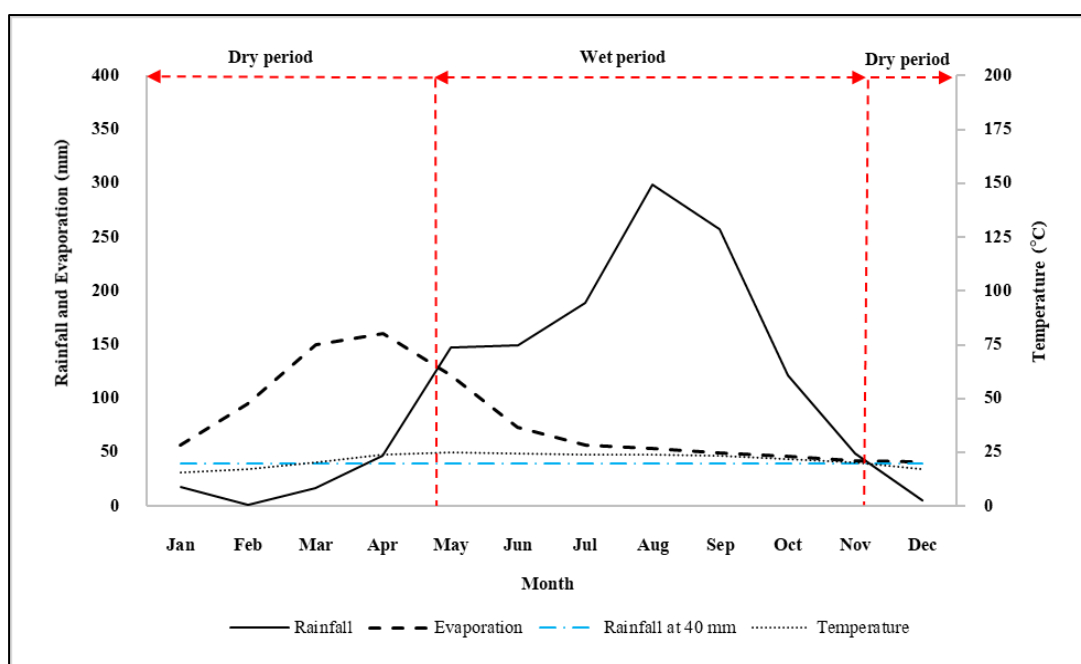


Figure 2 Wet and dry periods of the study area

Table 1 Average rainfall and runoff from different forest development activities during 2011 – 2017.

Month	R		CH		IR		RECH	
	Rainfall	Runoff	Rainfall	Runoff	Rainfall	Runoff	Rainfall	Runoff
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
January	9.44	0.00	19.51	0.00	21.41	0.00	20.57	0.10
February	1.16	0.00	1.03	0.00	2.67	0.00	2.54	0.00
March	8.66	0.00	14.09	0.00	25.30	0.00	19.11	0.00
April	42.62	0.00	42.51	0.00	57.36	0.02	45.77	0.00
May	152.04	0.64	137.63	6.12	153.33	8.73	147.36	3.18
June	171.56	1.45	126.23	0.41	152.79	4.88	146.41	1.59
July	190.63	15.21	176.62	2.82	198.06	5.57	190.86	2.73
August	308.27	62.00	293.43	38.38	292.39	38.59	302.83	27.98
September	258.59	58.38	261.55	39.03	252.26	54.20	257.17	30.31
October	120.63	75.78	125.30	29.49	123.01	62.08	116.80	32.34
November	56.70	11.40	36.52	13.30	53.01	7.86	49.49	23.37
December	6.86	1.81	3.84	0.10	8.00	0.87	5.10	11.42
Annual	1,327.15	226.67	1,238.26	129.65	1,339.59	182.80	1,304.01	133.02
% Runoff of annual rainfall	-	16.14	-	8.34	-	11.63	-	8.63
Wet period	1,258.41	224.86	1,157.28	129.55	1,224.84	181.90	1,210.91	121.50
% of annual	94.82	97.73	93.46	99.89	91.43	98.73	92.86	93.06
Dry period	68.74	1.81	80.98	0.10	114.74	0.89	93.10	11.52
% of annual	5.18	2.27	6.54	0.11	8.57	1.27	7.14	6.94

Remark: R = rainwater pattern, CH = check dam pattern, IR = irrigation pattern,

RECH = reservoir and check dam pattern.

กิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบน้ำฝน มีปริมาณน้ำท่ารายปีมากที่สุด รองลงมาคือ ระบบชลประทาน ระบบฝายต้นน้ำและอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก และระบบฝายต้นน้ำ ตามลำดับ ในช่วงน้ำหลากสอดคล้องกับปริมาณน้ำท่ารายปี แตกต่างกันที่ระบบฝายต้นน้ำมีปริมาณน้ำท่ามากกว่าระบบ

ฝายต้นน้ำและอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน ในช่วงแล้งฝนระบบฝายต้นน้ำและอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กมีปริมาณน้ำท่ามากที่สุด รองลงมาคือระบบน้ำฝน ระบบชลประทาน และระบบฝายต้นน้ำ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน ตามลำดับ โดยสัดส่วนปริมาณน้ำท่ารายปีต่อปริมาณน้ำฝนรายปี ระบบ

น้ำฝนมีสัดส่วนมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 16.14 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ ผลการศึกษา การให้น้ำในลำธารของป่าเต็งรัง (Watershed Conservation and Management Office, 2019) ในช่วงน้ำหลากมีสัดส่วนปริมาณน้ำท่าต่อน้ำท่ารายปีทุกกิจกรรมมากกว่าร้อยละ 90 และในช่วงแล้งฝนมีสัดส่วนปริมาณน้ำท่าต่อปริมาณน้ำท่ารายปีน้อยกว่าร้อยละ 10 มีค่าใกล้เคียงกับผลการศึกษาศักยภาพการให้น้ำท่าของป่าเต็งรัง จังหวัดสกลนคร (Onarsa *et al.*, 2014) จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำท่าในช่วงแล้งฝนค่อนข้างต่ำ เนื่องจากพื้นที่ของกลุ่มน้ำมีขนาดเล็ก และมีความลาดชันสูง ลักษณะดินเป็นเนื้อหยาบ ดินมีช่องว่างขนาดใหญ่ทำให้อุ้มน้ำได้น้อย เมื่อฝนตกลงมาจะไหลลงสู่ลำธารอย่างรวดเร็ว ในช่วงน้ำหลาก จึงส่งผลให้เมื่อถึงช่วงแล้งฝน ปริมาณน้ำในลำธารค่อนข้างน้อย

สัดส่วนปริมาณน้ำท่ารายปีต่อปริมาณน้ำฝนรายปีในช่วงฤดูน้ำหลาก และช่วงแล้งฝนของทั้ง 4 กิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ไม่ต่างกัน แต่พบว่าสัดส่วนของปริมาณน้ำท่าต่อปริมาณน้ำท่ารายปีในช่วงแล้งฝน พบว่า กิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบฝายต้นน้ำและอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กมีมากที่สุดประมาณร้อยละ 6.94 และระบบฝายต้นน้ำพบน้อยที่สุดประมาณร้อยละ 0.11 ซึ่งน้อยมากจนแทบจะไม่มีน้ำไหลในลำธาร และพบว่าทุกกิจกรรมจะมีน้ำไหลในลำธารเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมจนถึงเดือนธันวาคม

3. ช่วงเวลาและการไหลของน้ำท่า

นำข้อมูลปริมาณน้ำท่าสะสมมาหาความสัมพันธ์กับเวลาด้วยการสร้าง Sigmoid curve หรือ S-curve เพื่อหาวันที่ปริมาณน้ำท่า

สะสมที่กำหนด และช่วงเวลาการไหลของน้ำปริมาณที่กำหนดไหลผ่านจุดตรวจวัด โดยกลุ่มน้ำที่มีป่าปกคลุมจะช่วยควบคุมการไหลของน้ำให้ให้ค่อย ๆ ทอยไหลลงมา ทำให้วันที่น้ำไหล (Flow date) ในช่วงน้ำหลากจะเกิดขึ้นในวันเวลาที่ช้า และช่วงเวลาการไหล (Flow interval) ในช่วงแล้งฝน ปริมาณน้ำที่เหลือ 5% และ 1% สุดท้ายจะมีระยะเวลาสั้นลง (Tangtham *et al.*, 1995)

3.1 วันที่น้ำไหล (Flow date; FD)

ผลการศึกษาวันที่น้ำไหลหรือวันที่เกิดปริมาณน้ำท่าสะสมร้อยละ 25 (25%FD), 50 (50%FD) และ 75 (75%FD) พบว่า อยู่ในช่วงน้ำหลาก หรือมีน้ำในลำธารมาก และวันที่เกิดปริมาณน้ำท่าสะสมร้อยละ 95 (95%FD) และ 99 (99%FD) มักพบในช่วงแล้งฝน หรือมีน้ำในลำธารน้อย ซึ่งวันที่เกิดปริมาณน้ำท่าสะสมร้อยละ 25 และร้อยละ 50 ของทั้ง 4 กิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ไม่ต่างกัน แต่พบว่ากิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบฝายต้นน้ำเกิดขึ้นเร็วกว่า และกิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบฝายต้นน้ำและอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กจะเกิดขึ้นช้ากว่ากิจกรรมอื่น ๆ ทุกดัชนี โดยวันที่เกิดปริมาณน้ำท่าร้อยละ 75, 95 และ 99 กิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบฝายต้นน้ำและอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กจะเกิดขึ้นช้าแตกต่างจากกิจกรรมอื่น ๆ ประมาณ 15, 35 และ 40 วันตามลำดับ ซึ่งหมายความว่า การปลดปล่อยน้ำสู่ลำธารของระบบฝายต้นน้ำและอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กเป็นไปได้ช้ากว่ากิจกรรมอื่น ๆ เนื่องจากมีการชะลอน้ำจากฝายและอ่างเก็บน้ำ ตามด้วยกิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบน้ำฝน ระบบชลประทาน และระบบฝายต้นน้ำ ตามลำดับ

(Table 2) และเมื่อเปรียบเทียบกับรายงานของ Trephattanasuwan (2002) ที่ศึกษาศักยภาพการให้น้ำทำของป่าเต็งรัง จังหวัดสกลนคร พบว่าทุก

กิจกรรมเกิดขึ้นช้ากว่า โดยวันที่เกิดขึ้นช้าหมายถึงจะมีน้ำไหลในลำธารยาวนาน สอดคล้องกับหลักการจัดการลุ่มน้ำ

Table 2 Flow date analysis of each forest development activities during 2011 – 2017.

Flow date	Activity	Flow date (date)							
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	AVG.
25%FD	R	137	156	141	160	141	174	143	150
	CH	140	157	145	164	157	149	155	143
	IR	136	162	181	162	161	187	161	147
	RECH	144	153	173	188	158	168	162	151
50%FD	R	162	171	175	189	165	205	200	180
	CH	165	164	161	179	159	166	188	166
	IR	160	182	198	182	170	213	197	174
	RECH	180	158	195	217	180	192	191	184
75%FD	R	184	186	192	224	188	226	222	200
	CH	196	187	169	222	165	191	211	193
	IR	187	191	209	208	186	227	219	195
	RECH	219	187	205	238	198	223	217	216
95%FD	R	207	197	206	246	200	245	243	238
	CH	222	196	182	232	174	230	234	222
	IR	208	198	220	223	201	242	242	219
	RECH	260	242	216	269	213	245	242	255
99%FD	R	213	199	215	251	203	249	247	247
	CH	228	199	184	235	184	234	244	229
	IR	213	199	234	226	202	245	247	242
	RECH	272	258	219	276	216	249	247	271

Remark: R = rainwater pattern, CH = check dam pattern, IR = irrigation pattern,

RECH = reservoir and check dam pattern.

3.2 ช่วงเวลาการไหล (Flow interval; FI)
ช่วงเวลาการไหลของปริมาณน้ำท่าสะสมร้อยละ 25 (25%FI) และ 50 (50%FI) ที่ไหลผ่านจุดตรวจวัด พบในช่วงน้ำหลาก โดยกิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบฝายต้นน้ำและอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กมีช่วงเวลาการไหลนานที่สุด ซึ่งนาน

กว่ากิจกรรมอื่น ๆ ประมาณ 12-17 วัน โดยช่วงเวลาการไหลของน้ำท่าที่ยาวนานแสดงให้เห็นว่าในช่วงน้ำหลาก มีปริมาณน้ำไหลในลำธารมากกว่าจึงใช้เวลาในการไหลนานกว่า กิจกรรมอื่น ๆ ส่งผลให้ช่วงแล้งฝนมีช่วงเวลาการไหลของปริมาณน้ำท่าสะสมร้อยละ 5 (5%FI) และ

ร้อยละ 1 (1%FI) หรือปริมาณน้ำ 5% และ 1% สุดท้ายของปริมาณน้ำท่าสะสมของระบบฝายต้นน้ำและอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กมีช่วงเวลาการไหลสั้นที่สุด ซึ่งสั้นกว่ากิจกรรมอื่น ๆ ประมาณ 36-42 วัน โดยช่วงเวลาที่ใช้ในการไหลของน้ำท่าที่สั้น แสดงให้เห็นว่าในฤดูแล้งจะมีปริมาณน้ำในลำธารเหลืออยู่มากกว่า ปริมาณน้ำช่วงปลายฤดูจะหมดช้ากว่ากิจกรรมอื่น ๆ ในขณะที่ปริมาณน้ำท่าสะสมร้อยละ 5 (5%FI) ระบบชลประทานมีช่วงเวลา

การไหลยาวนานที่สุด และร้อยละ 1 (1%FI) ระบบฝายต้นน้ำมีช่วงเวลาการไหลยาวนานที่สุด ซึ่งช่วงเวลาในการไหลของน้ำท่าในช่วงแล้งฝนดังกล่าวที่ใช้เวลาในการไหลยาวนานกว่ากิจกรรมอื่น ๆ นั้น แสดงให้เห็นว่าในช่วงฤดูแล้งมีปริมาณน้ำในลำธารเหลืออยู่น้อยกว่า จึงทำให้ต้องใช้เวลาในการไหลนานกว่า ทำให้ปริมาณน้ำช่วงปลายฤดูหมดเร็วขึ้น เกิดสภาวะการขาดแคลนน้ำยาวนานทำให้เกิดผลกระทบด้านภัยแล้ง (Table 3)

Table 3 Flow interval analysis of each forest development activities during 2011 – 2017.

Flow interval	Activities	Flow interval (day)							
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	AVG.
25%FI	R	21	14	16	9	22	20	21	20
	CH	30	22	7	18	5	24	22	27
	IR	26	8	10	25	15	15	31	21
	RECH	38	28	9	20	17	30	25	32
50% FI	R	46	29	50	1	46	51	1	50
	CH	55	29	23	18	7	41	55	50
	IR	50	28	27	3	29	39	56	48
	RECH	74	33	31	49	39	54	54	65
5% FI	R	159	169	159	119	166	120	122	127
	CH	144	169	183	133	192	135	131	143
	IR	158	167	145	142	165	118	123	146
	RECH	106	123	149	96	153	120	123	110
1% FI	R	153	167	150	114	163	116	118	118
	CH	138	166	181	130	182	131	121	136
	IR	153	166	131	139	163	115	118	123
	RECH	94	107	146	89	150	116	118	94

Remark: R = rainwater pattern, CH = check dam pattern, IR = irrigation pattern,

RECH = reservoir and check dam pattern.

เมื่อพิจารณาจากรูปแบบ S-curve (Figure 3) เห็นได้ว่า กิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบน้ำฝน ระบบฝายต้นน้ำ และระบบ

ชลประทาน มีความชันมากกว่าระบบฝายต้นน้ำและอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก และปริมาณน้ำหมดไวกว่าเฉลี่ยประมาณ 50 วัน

4. การบริการทางนิเวศลุ่มน้ำด้านการให้น้ำ

ความแตกต่างด้านบริการของระบบนิเวศลุ่มน้ำโดยใช้ดัชนีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีและรายฤดูกาล วันที่ปริมาณน้ำสะสมตามที่กำหนด (Flow date) และช่วงเวลาการไหลของน้ำในลำธาร (Flow interval) จากกิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ที่

ต่างกันด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน One-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธี Tukey's test พบว่า บริการด้านการให้น้ำมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 4-6)

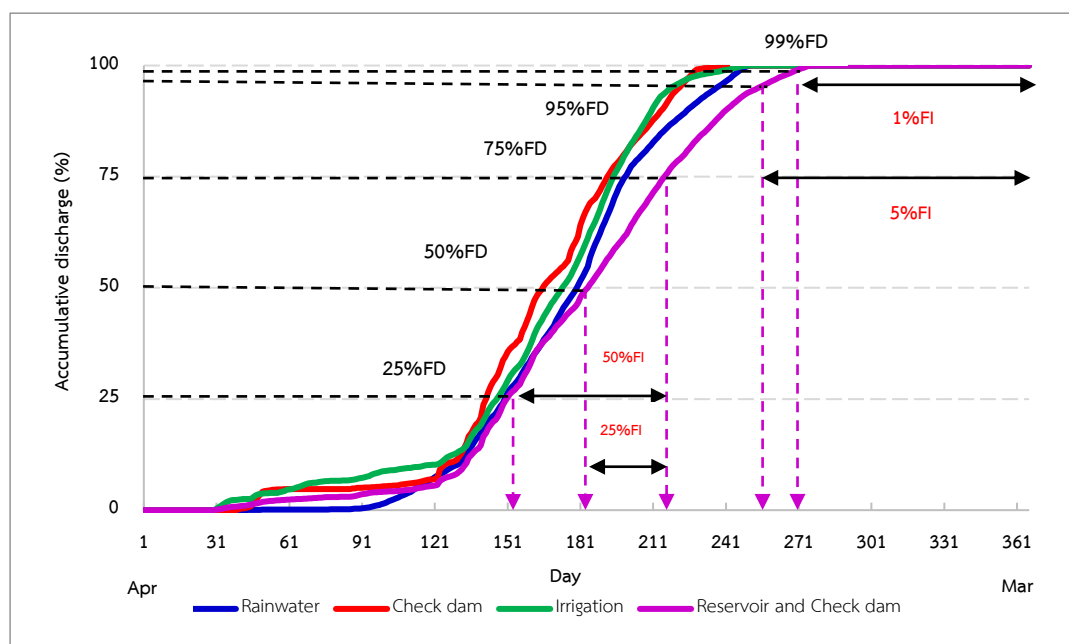


Figure 3 Percentage of accumulative discharge from each forest development activities during 2011–2017.

Table 4 Tukey's test at 5% probability level for average runoff from each forest development activities.

Activity	Runoff (mm)		
	Wet period	Dry period	Annual
R	ns 224.86 ±217.72	ns 1.81 ±2.61	ns 226.67 ±216.35
CH	ns 129.55 ±215.35	ns 0.10 ±0.26	ns 129.65 ±215.15
IR	ns 181.90 ±252.73	ns 0.89 ±2.27	ns 182.80 ±252.27
RECH	ns 121.50 ±163.28	ns 11.52 ±21.36	ns 133.02 ±184.12
P-value	0.786	0.193	0.817

Remark: R = rainwater pattern, CH = check dam pattern, IR = irrigation pattern,

RECH = reservoir and check dam pattern. value = mean±standard deviation, ns= non-significant

Table 5 Tukey's test at 5% probability level for average flow date from each forest development activities.

Activity	Flow date (date)				
	25%FD	50%FD	75%FD	95%FD	99%FD
R	150.29 ^{ns} ±13.49	181.00 ^{ns} ±17.10	203.14 ^{ns} ±19.69	220.57 ^{ns} ±22.81	225.29 ^{ns} ±22.87
CH	152.43 ^{ns} ±8.20	168.86 ^{ns} ±10.61	191.57 ^{ns} ±20.65	210.00 ^{ns} ±25.43	215.43 ^{ns} ±25.65
IR	164.29 ^{ns} ±16.47	186.00 ^{ns} ±18.06	203.86 ^{ns} ±16.21	219.14 ^{ns} ±18.08	223.71 ^{ns} ±19.59
RECH	163.71 ^{ns} ±14.34	187.57 ^{ns} ±17.99	212.43 ^{ns} ±17.03	241.00 ^{ns} ±20.70	248.14 ^{ns} ±23.55
P-value	0.129	0.155	0.239	0.084	0.076

Remark: R = rainwater pattern, CH = check dam pattern, IR = irrigation pattern,

RECH = reservoir and check dam pattern. value = mean±standard deviation, ns= non-significant

Table 6 Tukey's test at 5% probability level for average flow interval from each forest Development Activities.

Activity	Flow interval (Day)			
	25%FI	50% FI	5% FI	1% FI
R	17.57 ^{ns} ±4.79	32.00 ^{ns} ±22.39	144.86 ^{ns} ±23.23	140.14 ^{ns} ±23.32
CH	18.29 ^{ns} ±9.14	32.57 ^{ns} ±18.47	155.29 ^{ns} ±25.59	149.86 ^{ns} ±25.78
IR	18.57 ^{ns} ±8.77	33.14 ^{ns} ±17.46	145.43 ^{ns} ±19.47	140.71 ^{ns} ±20.66
RECH	23.86 ^{ns} ±9.48	47.71 ^{ns} ±14.96	124.29 ^{ns} ±20.78	117.14 ^{ns} ±23.61
P-value	0.478	0.340	0.096	0.085

Remark: R = rainwater pattern, CH = check dam pattern, IR = irrigation pattern,

RECH = reservoir and check dam pattern. value = mean±standard deviation, ns= non-significant

สรุป

ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยของพื้นที่ที่มีกิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบน้ำฝน ระบบฝายต้นน้ำ ระบบชลประทาน และระบบฝายต้นน้ำและอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก มีค่า 1,327.15, 1,238.26, 1,339.59 และ 1,304.01 มิลลิเมตรตามลำดับ โดยปริมาณฝนจะมีมากในช่วงน้ำหลาก ในทุกพื้นที่ที่ประมาณร้อยละ 91.43 ถึงร้อยละ 94.82 ซึ่งมากที่สุดในเดือนสิงหาคม และพบว่าในช่วงแล้งฝนมีร้อยละปริมาณน้ำฝนน้อยมากใน

ทุกพื้นที่ที่ประมาณร้อยละ 5.18 ถึงร้อยละ 8.57 ซึ่งพบน้อยที่สุดในเดือนกุมภาพันธ์

ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี และรายฤดูกาลมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีจากกิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบน้ำฝนมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือ ระบบชลประทาน ระบบฝายต้นน้ำและอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก และระบบฝายต้นน้ำ ในช่วงน้ำหลากสอดคล้องกับปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี แตกต่างที่ระบบฝายต้นน้ำมีปริมาณน้ำท่ามากกว่าระบบฝายต้นน้ำและ

อ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก ในช่วงแล้งฝนปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยจากกิจกรรมระบบฝายต้นน้ำและอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือ ระบบน้ำฝน ระบบชลประทาน และระบบฝายต้นน้ำ ในส่วนของความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่ารายปี ระบบน้ำฝนมีสัดส่วนมากที่สุด เท่ากับ 16.14 ในช่วงน้ำหลากมีสัดส่วนปริมาณน้ำท่าต่อปริมาณน้ำท่ารายปีทุกกิจกรรมมากกว่าร้อยละ 90 แต่ในช่วงแล้งฝนมีค่าต่ำมาก (น้อยกว่าร้อยละ 10)

วันที่เกิดปริมาณน้ำท่าสะสม (Flow date) ร้อยละ 25, 50 และ 75 พบในช่วงน้ำหลาก โดยกิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบฝายต้นน้ำและอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กเกิดขึ้นช้าที่สุด รองลงมาคือ ระบบน้ำฝน ระบบชลประทาน และระบบฝายต้นน้ำ วันที่เกิดปริมาณน้ำท่าสะสมร้อยละ 95 และ 99 มักพบในช่วงแล้งฝน โดยวันที่เกิดปริมาณน้ำท่าสะสมร้อยละ 95 ระบบฝายต้นน้ำและอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กเกิดขึ้นช้าที่สุด ตามด้วยระบบน้ำฝน ระบบฝายต้นน้ำ และระบบชลประทาน และร้อยละ 99 ระบบฝายต้นน้ำและอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กเกิดขึ้นช้าที่สุด รองลงมาคือระบบน้ำฝน ระบบชลประทาน และระบบฝายต้นน้ำ ซึ่งทุกดัชนีระบบฝายต้นน้ำและอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กเกิดขึ้นช้ากว่ากิจกรรมอื่น ๆ ประมาณ 8-42 วัน โดยดัชนีวันที่เกิดปริมาณน้ำท่าสะสมทั้ง 5 ดัชนีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การไหลของน้ำในลำธาร (Flow interval) ที่ปริมาณน้ำท่าสะสมร้อยละ 25 กิจกรรมการพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบฝายต้นน้ำและอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กมีช่วงเวลาการไหลนานที่สุด รองลงมาคือระบบฝายต้นน้ำ ระบบชลประทาน และระบบ

น้ำฝน ปริมาณน้ำท่าสะสมร้อยละ 50 กิจกรรมจากระบบฝายต้นน้ำและอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กมีช่วงเวลาการไหลนานที่สุด รองลงมาคือระบบฝายต้นน้ำ ระบบน้ำฝน และระบบชลประทาน ซึ่งในช่วงน้ำหลาก ระบบฝายต้นน้ำและอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กมีช่วงเวลาการไหลนานกว่ากิจกรรมอื่น ๆ ประมาณ 12-17 วัน และปริมาณน้ำท่าสะสมร้อยละ 5 สุดท้าย ระบบฝายต้นน้ำและอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กมีช่วงเวลาการไหลสั้นที่สุด ตามด้วยระบบน้ำฝน ระบบฝายต้นน้ำ และระบบชลประทาน และปริมาณน้ำท่าสะสมร้อยละ 1 สุดท้าย ระบบฝายต้นน้ำและอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กมีช่วงเวลาการไหลสั้นที่สุด ตามด้วยระบบน้ำฝน ระบบชลประทาน และระบบฝายต้นน้ำ ซึ่งในช่วงแล้งฝนระบบฝายต้นน้ำและอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กมีช่วงเวลาการไหลสั้นที่สุด ซึ่งสั้นกว่ากิจกรรมอื่น ๆ ประมาณ 36-42 วัน โดยดัชนีการไหลของน้ำในลำธารทั้ง 4 ดัชนีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยฮ่องไคร้อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านการเก็บรวบรวมข้อมูลในภาคสนาม นายณวันชัย กุลจิตรฐานนท์ หัวหน้าหน่วยงานวิจัยการจัดการลุ่มน้ำ ที่ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือในการทำงานครั้งนี้ผ่านไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

Chorley, R. J. 1971. **Introduction to Physical Hydrology**. Methuens Co, Ltd., London.

- Chunkao, K. 1996. **Principles of Watershed Management.** Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Everard, M. & R. Waters. 2013. **Ecosystem Services Assessment: How to do one in practice.** Institution of Environmental Sciences, London. Available Source:https://www.the-ies.org/sites/default/files/reports/ecosystem_services.pdf, (Accessed: May 27, 2021)
- Huai Hong Khrai Royal Development Study Center. 2018. **Watershed Management Research Annual Report: The study of hydrological characteristics of the Huai Hong Khrai watershed.** Chiang Mai. (in Thai)
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. **Ecosystems and Human-Well-Being: Synthesis.** Island, Washington, DC.
- Onarsa, S., A. Boonsane, S. Juntiwong, S. Kijkayan, J. Phuanda, C. Onarsa, K. Netbut & M. Puttawong. 2014. **Potential Streamflow of various Forest Types in Thailand.** Watershed Research, Watershed Conservation and Management Office, Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, Bangkok. (in Thai)
- Poomviset, P. 2015. **Ecological Characteristics of Forest Communities Restored by Different Processes at Lampang Province.** M.S. Thesis, Kasetsart University. (in Thai)
- Tangtham, N., S. Boonyawat & V. Udomchok. 1995. **Impacts of land-use development on water balance of Chao Phraya river basin.** Bangkok. Kasetsart University Research and Development Institute. (in Thai)
- Trephattanasuwan, P. 2002. **Streamflow Characteristics from Natural Forest, Phuphan Royal Development Study Center, Sakon Nakhon Province.** Watershed Research, Watershed Conservation and Management Office, Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, Bangkok. (in Thai)
- Watershed Conservation and Management Office. 2019. **Watershed The source of the water.** In Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation booklet 13(4). (in Thai)