

การศึกษาดัชนีการชะล้างพังทลายของผืนพื้นที่สูงจากความสัมพันธ์

ค่าพลังงานจลน์ฝนที่วัดจากขนาดเม็ดฝนในถาดแป้ง

The study of the rainfall erosivity index of high land from rain kinetic energy
relationship measured by the size of raindrop in dough tray

นางสุธารา ยินดีรส

Mrs. Sutara Yindeerod

สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 6 กรมพัฒนาที่ดิน กรุงเทพฯ 10900

Land Development Office Region 6, Land Development Department, Bangkok 10900

บทคัดย่อ

ดัชนีการชะล้างพังทลายของผืนเป็นค่าปัจจัยที่สำคัญต่อการศึกษาในสมการการสูญเสียดินสากล และเป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยด้านอื่นๆ โดยใช้ข้อมูลขนาดของเม็ดฝน ซึ่งต้องใช้เทคนิคการวัดขนาดเม็ดฝนและกระบวนการวิเคราะห์ที่ซับซ้อน จึงยังไม่มีข้อมูลและการศึกษาด้านนี้ในประเทศไทยมากนัก จึงเสนอแนวทางในการศึกษาค่าดัชนีการชะล้างพังทลายของผืนด้วยวิธีการที่สามารถทำได้ง่าย โดยการหาค่าพลังงานจลน์ฝนจากการวัดขนาดหยดฝนในถาดแป้ง นำมาหาขนาดเม็ดฝนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และใช้แนวทางการวิเคราะห์ด้วยสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณและสหสัมพันธ์ในการวิจัยเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องและค่าพลังงานจลน์ และนำมาหาค่าดัชนีการชะล้างพังทลายของผืนในสมการดัชนี EI30 มีรูปแบบสมการในการพยากรณ์ค่าพลังงานจลน์ดังนี้
$$\log(\bar{Y}_i) = 5.632 + 0.2596 X_1 - 0.4788 X_2 + 0.3229 X_3 + 0.0587 X_5 + 0.001 X_6 - 0.0036 X_7 + 0.0312 X_8 + 3.26E-08 X_9 - 0.2248 X_{11} - 0.2594 X_{12} - 0.1523 X_{13}$$
 โดยค่าพลังงานจลน์ที่หาได้มีค่าเท่ากับ 5,171,066 จูลต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง และค่าความเข้มฝนสูงสุดในช่วง 30 นาที มีค่าเท่ากับ 52.13 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ดังนั้นค่าดัชนีการชะล้างพังทลายของผืนที่ได้มีค่าเท่ากับ 3,550.90 ตันต่อเฮกแตร์ เมื่อนำค่าดัชนีการชะล้างพังทลายของผืนตามสมการอ้างอิงมูและคณะ (2543) ที่ใช้ความสัมพันธ์ดัชนี EI30 และดัชนี $KE > 1$ พบว่าค่าดัชนีการชะล้างพังทลายที่หาได้จากค่าพลังงานจลน์ฝนจากการวัดขนาดเม็ดแป้งมีค่าสูงกว่าค่าดัชนีการชะล้างพังทลายของผืนจากความสัมพันธ์ดัชนี EI30 และดัชนี $KE > 1$ ที่ 15 เท่า และ 19 เท่า สอดคล้องกับแนวทางศึกษา Wischmeier and Smith (1965) ที่พบว่าข้อมูลไม่เหมาะสมกับพื้นที่ในเขตโซนร้อนซึ่งมีปริมาณฝนตกหนัก เมื่อนำดัชนีการชะล้างพังทลายของผืนที่ระดับความเข้มฝนมาศึกษาเปรียบเทียบดัชนีการชะล้างพังทลายของผืน พบว่าระดับความเข้มฝนเล็กน้อย และที่ระดับความเข้มฝนปานกลางมีค่าใกล้เคียงกับค่าสมการอ้างอิงมูและคณะ (2543) มีค่าดัชนีการชะล้าง

พังทลายของฝนเท่ากับ 678.04 ตันต่อเฮกแตร์ และ 796.09 ตันต่อเฮกแตร์ ในขณะที่ระดับความชื้นผืนดิน และระดับฝนตกหนักมากมีค่าสูงกว่าค่าสมการอ้างอิงมูและคณะมาก

ABSTRACT

Rainfall erosivity index is the important factor to study in the universal soil loss equation. Moreover, it is the factor which correlates with the other factors. Since using raindrop size requires sophisticated raindrop measurement techniques and analytical processes, there is not much information and study in this field in Thailand. Therefore, the guideline for studying the rainfall erosivity index by a simple method is present. Determining the rain kinetic energy by measuring the size of raindrop in dough tray. The size of the raindrop is measured by a computer program and the statistical analysis by using multiple regression and correlation in the research to study the relationship of the variables and kinetic energy. EI30 index equation is used to calculate the rainfall erosivity index. The EI30 index equation for the kinetic energy prediction has the following equations: $\log(\bar{Y}_i) = 5.632 + 0.2596 X_1 - 0.4788 X_2 + 0.3229 X_3 + 0.0587 X_5 + 0.001 X_6 - 0.0036 X_7 + 0.0312 X_8 + 3.26E-08 X_9 - 0.2248 X_{11} - 0.2594 X_{12} - 0.1523 X_{13}$ The kinetic energy is $5,171,066 \text{ J m}^2 \text{ hr}^{-1}$ and the maximum of the rainfall intensity during the 30-minute period is 52.13 mm hr^{-1} . Therefore, the rainfall erosivity index is $3,550.90 \text{ tons ha}^{-1}$. According to the rainfall erosivity index from Manu et al. (2000) reference equation which using the relationship of EI30 and $KE > 1$ indices, the erosivity index which comes from the rain kinetic energy and the grain size of flour measurement is higher than the rainfall erosivity index from the relationship of EI30 index and $KE > 1$ index at 15 times and 19 times. The study corresponded to the study guideline of Wischmeier and Smith (1965), the data is not suitable for tropical areas with heavy rainfall. The rainfall erosivity index at the rainfall intensity were compared the rainfall erosivity index, it was found that the rainfall intensity of the slightly and moderately close to the value of Manu et al. (2000) reference equation. The rainfall erosivity index is $678.04 \text{ tons ha}^{-1}$ and $796.09 \text{ tons ha}^{-1}$ while intensity of the heavy rain and the level of very heavy rainfall are much higher than the reference equation of Manu et al. (2000).

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อค่าพลังงานจลน์ฝนที่วัดจากขนาดเม็ดฝนในสภาพแห้ง
2. เพื่อคาดคะเนค่าพลังงานจลน์ฝนที่วัดจากขนาดเม็ดฝนในสภาพแห้ง
3. เพื่อหาค่าดัชนีการชะล้างพังทลายของฝนพื้นที่สูงจากความสัมพันธ์ค่าพลังงานจลน์ฝนที่วัดจากขนาดเม็ดฝนในสภาพแห้ง

การตรวจเอกสาร

กระจายขนาดหยดฝน (raindrop size distribution ; DSD)

การกระจายของหยดฝน คือ การกระจายของจำนวนเม็ดฝนตามเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) ภายใต้กระบวนการที่อธิบายถึงการก่อตัวของหยดฝน ประกอบด้วย การควบแน่นของไอน้ำ การสะสมของหยดขนาดเล็กบนหยดขนาดใหญ่ การชนกันระหว่างขนาดของเม็ดฝน การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง และอุณหภูมิตลอดลม หยดที่มีความแตกต่างกันมาก และการกระจายของเส้นผ่าศูนย์กลางมีค่าตั้งแต่ไมโครเมตรไปจนถึงมิลลิเมตร (วิกิพีเดีย, 2565)

การศึกษาการกระจายหยดฝน

การศึกษาการวัดการกระจายหยดฝนเริ่มมีการศึกษาในช่วงพ.ศ. 2443-2503 เพื่ออธิบายขนาดและความเร็วของหยดน้ำฝน ซึ่งเทคนิคที่ใช้งานในยุคแรกเป็นการวัดด้วยมือได้ถูกแทนที่ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา (Gopinath et. al., 2015) วิธีการวัดการกระจายของหยดฝนมีดังนี้

1. เทคนิคการวัดหยดฝนด้วยมือ

1.1 วิธีการย้อม (Stain Method) เป็นเทคนิคที่ใช้ในยุคแรกโดยใช้กระดาษที่ผ่านกระบวนการทางเคมีเพื่อวัดขนาดของเม็ดฝนในช่วงสั้นๆ โดนปล่อยให้ฝนตกลงบนแผ่นกระดาษ ดูดซับที่ปกคลุมด้วยสีย้อมที่ละลายน้ำได้ ต่อมามีการพัฒนากระดาษดูดซับขึ้นมาหลายชนิด

1.2 วิธีวัดหยดฝนในสภาพแห้ง (Flour Pellet Method) พัฒนาขึ้นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2447 โดย Bentley ถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาการกระจายขนาดละอองของฝนในสหรัฐอเมริกา จากการศึกษาได้ใช้วิธีการวัดเม็ดแห้งในรูปแบบต่าง ๆ กันจนวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝนได้สำเร็จ ปัจจุบันความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีสำหรับการวัดเม็ดแห้งได้รับการพัฒนาโดย Arnaz และคณะ ซึ่งใช้การวิเคราะห์ภาพถ่ายแบบดิจิทัลเพื่อกำหนดขนาดหยดฝน นิยมใช้วิธีการนี้ศึกษาอยู่ปัจจุบัน ได้แก่ การพังทลายของดิน และการศึกษาวิจัยคุณภาพน้ำฝน

1.3 วิธีวัดขนาดหยดน้ำฝนที่ตกในน้ำมัน (Oil Immersion Method) พัฒนาขึ้นโดย Fuchs และ Petrijanoff โดยจะเก็บขนาดเม็ดฝนที่ตกในรางแก้วซึ่งมีส่วนผสมของเหลวที่มีความหนืดเล็กน้อย

1.4 วิธีการถ่ายภาพ (Photographic Method) ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการวัดขนาดและความเร็วของหยดน้ำฝน

2. เทคนิคการวัดปริมาณน้ำฝนอัตโนมัติ ได้แก่ เครื่องวัดแรงกระแทก (Impact Disdrometers) Acoustic Disdrometers Displacement Disdrometers และเทคโนโลยีออปติคัล Optical Disdrometers

ค่าพลังงานจลน์ฝน

ค่าพลังงานจลน์ฝนที่ใช้ในการศึกษานี้อ้างอิงจากแนวทางการศึกษา (Neil L. 2004) ได้ศึกษาการกระจายของขนาดหยดฝนและพลังงานจลน์ โดยศึกษาความเชื่อมโยงอัตราการตกของฝน (Rainfall Rate : R) กับการไหลของพลังงานจลน์ (Kinetic energy flux : E) ที่ส่งผลต่อการพังทลายของดิน โดยพัฒนาความสัมพันธ์ทางทฤษฎีระหว่างอัตราการตกของฝนกับการไหลของพลังงานจลน์ที่อิงจากการกระจายแบบแกมมาของขนาดเม็ดฝนที่มีความสัมพันธ์ไม่ชัดเจน เมื่อมีการตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของการกระจายเม็ดฝนตามอัตราการตกของฝน การศึกษาชี้ให้เห็นว่ามีรูปแบบเอกซ์โปเนนเชียลเมื่อนำไปหาค่าการไหลของพลังงานจลน์มีค่าสูง นอกจากนี้ยังพบว่าการปัจจัยที่มีผลต่อความเร็วของการเคลื่อนไหวในแนวนอนของพลังงานจลน์จะช่วยกำหนดความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างพลังงานจลน์และความเข้มของฝนแต่ยังไม่สามารถสรุปรูปแบบที่จำกัดความเหมาะสมที่สุดความเร็วของการเคลื่อนไหวในแนวนอนของพลังงานจลน์

สมการที่นำมาใช้ศึกษาพลังงานจลน์ฝนจากการกระจายหยดฝนมีรูปแบบสมการจาก Marshall และ Palmer (1984) อ้างอิงจาก Neil L. (2004) เนื่องจากมีตัวอย่างอ้างอิงขนาดเม็ดฝนจากการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีวัดเม็ดแข็งหรือกระดาดหิมะ รวมถึงการศึกษาด้วยเครื่องวัดระยะวิดีโอ (Video disdrometers) ที่สามารถเพิ่มปริมาณตัวอย่างของการกระจายขนาดเม็ดฝน และเห็นว่าการกระจายของขนาดเม็ดฝนมีรูปแบบของการกระจายแบบอื่น

พลังงานจลน์ของการกระจายเม็ดฝนที่ตกลงในแนวตั้ง

Neil L. (2004) ได้ศึกษาพบว่าพลังงานของฝนจะขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายของขนาดเม็ดฝน โดยขนาดของเม็ดฝนที่ใหญ่จะมีทั้งมวลและความเร็วปลายในแนวตั้งที่มากกว่า ดังนั้นการกระจายของขนาดเม็ดฝนมีความสัมพันธ์กับอัตราการตกของฝนและพลังงานจลน์ ซึ่งโดยปกติแล้วการศึกษาพลังงานของฝนเป็นการศึกษาจากแบบจำลองที่มีการตกในแนวตั้ง ผลของการศึกษาจะอยู่ในรูปการกระจายแบบแกมมา โดยรูปแบบการศึกษาที่ได้รับการยอมรับจะเป็นรูปแบบการศึกษา Marshall และ Palmer (1984)

การศึกษาเกี่ยวกับพลังงานจลน์ฝนที่นำไปใช้กับการศึกษาการชะล้างพังทลายของดินใช้การศึกษาพลังงานฝนที่เกิดในแนวตั้ง มีรูปสมการเอ็กโพเนนเชียลเทียบการกระจายของหยดฝนของ Marshall และ Palmer (1984) มีรูปแบบดังนี้

$$E = 3.78^3 \frac{\pi \rho}{6} N_0 \Gamma(6 + \mu) / \Lambda^{(\mu + 6)} \quad (10)$$

เมื่อ E คือ พลังงานจลน์ของฝน มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อตารางเมตร (watt/m²) ρ คือ ความถ่วงจำเพาะของน้ำ N_0 คือ จำนวนเม็ดฝนต่อ 1 ตารางเมตรต่อวินาที Γ คือ ค่าแกมมาฟังก์ชัน μ คือ ค่าแสดงรูปร่างของการกระจายแบบแกมมา Λ คือ ค่าพารามิเตอร์ที่สัมพันธ์กับค่ามัธยฐานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดฝน

การคำนวณค่าดัชนีการพังทลายดินโดยน้ำฝน (rainfall erosivity index)

A Mishra. (2022) ได้ระบุว่าค่าปัจจัยการชะล้างพังทลายของฝนเกี่ยวข้องกับพลังงานจลน์ของน้ำฝน มีวิธีการที่ใช้กันกันอย่างแพร่หลายในการคำนวณการกัดเซาะของปริมาณน้ำฝน มี 2 วิธีรายละเอียดดังนี้

1. ดัชนี EI30 (EI30 Index) เป็นวิธีการศึกษาโดย Wischmeier (1965) ซึ่งพบว่าผลคูณของพลังงานจลน์ของพายุและความเข้มของฝนสูงสุด 30 นาที ให้การประมาณการสูญเสียดินได้ดีที่สุด โดยค่าความเข้มเฉลี่ยสูงสุดในช่วงระยะเวลา 30 นาทีขณะเกิดฝน

2. ดัชนี KE>25 (KE > 25 Index) เป็นวิธีการที่เสนอโดย Hudson ที่คำนวณการพังทลายของปริมาณน้ำฝนเพื่อให้ในเขตพายุโซนร้อน วิธีนี้ขึ้นอยู่กับแนวคิดที่ว่า การกัดกร่อนจะขึ้นค่าความเข้มของฝนที่กำหนด โดยจากการทดลองพบว่าความเข้มของฝนน้อยกว่ากว่า 25 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงไม่สามารถทำให้ดินเกิดการพังทลายได้มากนัก ดังนั้นวิธีนี้จึงนำค่าความเข้มของฝนซึ่งมากกว่า 25 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงมาคำนวณ ด้วยวิธีการเดียวกับการคำนวณดัชนี EI30

อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการ

อุปกรณ์

1. ถาดพลาสติก แป้ง 2. แก้วขนาดเล็ก/แก้วพลาสติก 3. ไม้บรรทัดเหล็ก 4. นาฬิกา 5. โปรแกรม ImageJ โปรแกรมสถิติ 6. คอมพิวเตอร์

วิธีการดำเนินงาน

1. การเก็บขนาดเม็ดฝนจากถาดแป้ง นำถาดมาใส่แป้งมันให้มีความหนาประมาณ 1-2 เซนติเมตร ปาดให้ผิวหน้าของถาดแป้งเรียบเสมอ เมื่อฝนตกนำถาดแป้งไปวางรองรับน้ำฝน วัดระยะเวลาการรองน้ำฝนโดยให้เกิดรอยของเม็ดฝนบนถาดแป้งกระจายเสมอ และเก็บปริมาณความลึกของน้ำฝน เพื่อหาความเข้มฝน (Intensity)

2. การวัดขนาดเม็ดฝน ด้วยโปรแกรม ImageJ ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้ที่เว็บไซต์ <https://imagej.nih.gov/ij/download.html>

3. การหาค่าพลังงานจลน์ฝน โดยอ้างอิงสมการการศึกษาพลังงานจลน์ฝน

$$E = 3.78^3 \frac{\pi \rho}{6} N_0 \frac{\Gamma(6 + \mu)}{\Lambda(\mu+6)}$$

เมื่อ E คือ พลังงานจลน์ของฝน มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อตารางเมตร (watt/m²) ρ คือ ความถ่วงจำเพาะของน้ำ N_0 คือ จำนวนเม็ดฝนต่อ 1 ตารางเมตรต่อวินาที Γ คือ ค่าแกมมาฟังก์ชัน μ คือ ค่าแสดงรูปร่างของการกระจายแบบแกมมา A คือ ค่าพารามิเตอร์ที่สัมพันธ์กับค่ามัธยฐาน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดฝน

4. การวิเคราะห์ทางสถิติ ด้วยการตรวจสอบชนิดข้อมูลด้วยการแจกแจงความน่าจะเป็นที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ทำการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์จากข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบล็อกปกติ ให้อยู่ในรูปค่าพารามิเตอร์แบบเดียวกับการแจกแจงแบบล็อกปกติ แล้วนำมาคำนวณหาค่าพลังงานจลน์ใหม่ วิเคราะห์สถิติทดสอบในการหาทำนายค่าพลังงานจลน์ที่ได้ และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าพลังงานจลน์ฝน โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ กำหนดขอบเขตประชากร ขอบเขตตัวอย่าง ขอบเขตตัวแปร และระเบียบสถิติ

5. หาค่าความเข้มข้นสูงสุดในช่วงเวลา 30 นาทีจากการรวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากเครื่องโทรมาตรน้ำฝนอัตโนมัติ ในปี พ.ศ. 2563 – พ.ศ. 2565 นำมารวบรวมช่วงของปริมาณฝนที่ตกในทุกช่วงระยะ 30 นาที นำมาเขียนในรูปแบบกราฟ สรุปลค่าปริมาณความเข้มข้นสูงสุดในช่วงเวลา 30 นาที ของฝนในปี พ.ศ. 2563 พ.ศ. 2564 และพ.ศ. 2565 นำมาหาค่าเฉลี่ยเป็นค่าปริมาณความเข้มข้นสูงสุดในช่วงเวลา 30 นาที

6. การหาค่าปัจจัยการชะล้างพังทลายของฝน โดยอ้างอิงจากค่าดัชนี EI_{30} ซึ่งค่าพลังงานจลน์ฝนเป็นค่าที่ได้จากการพยากรณ์จากข้อ 4 นำคูณกับค่าปริมาณความเข้มข้นสูงสุดในช่วงเวลา 30 นาที

7. ค่าดัชนีการชะล้างพังทลายของฝนจากการแทนค่าสมการที่ใช้ในประเทศไทย และเปรียบเทียบค่าดัชนีการชะล้างพังทลายของฝนที่หาได้จากค่าพลังงานจลน์ฝนที่วัดได้จากขนาดเม็ดแป้ง และค่าดัชนีการชะล้างพังทลายของฝนอ้างอิงจากมณูและคณะจากความสัมพันธ์ดัชนี EI_{30} และดัชนี $KE > 1$

8. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของผลการศึกษาและจัดทำรายงาน

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลการศึกษาขนาดของเม็ดฝน

ผลการวัดขนาดเม็ดฝนจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 373 ตัวอย่าง เป็นค่าที่สามารถวิเคราะห์ได้ (Laws and Parson, 1943) กล่าวว่าการเก็บเม็ดฝนด้วยแป้งจำนวนประมาณ 200 เป็นจำนวนทั่วไปที่มีการจัดเก็บในระหว่างการทดลอง ผลการจัดเก็บข้อมูลเม็ดฝนพบว่าขนาดเม็ดฝนที่วัด

ได้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 1.8683 มิลลิเมตร ค่ามัธยฐานของขนาดหยดฝนที่วัดได้มีค่าเฉลี่ย 1.6079 ค่าแสดงรูปร่างของการกระจายแบบแกมมามีค่าเฉลี่ย 0.3123 ค่าแสดงมาตราส่วนที่วัดได้มีค่าเฉลี่ย 8.848 ค่าเฉลี่ยความเข้มฝนที่วัดได้ทั้งหมด 69.262 มีความลึกฝนเฉลี่ย 69.262 มิลลิเมตร และมีค่าเฉลี่ยจำนวนเม็ดฝนต่อหน่วยพื้นที่ 999,625 เม็ดต่อตารางเมตร

ผลการศึกษาเชิงสถิติ

ในการศึกษาครั้งนี้ได้สร้างสมการพยากรณ์ (ตัวแบบ) เพื่อประมาณค่าพลังงานจลน์ฝนที่ได้จากการวัดขนาดหยดฝนในภาคแบ่งจากตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ด้วยการใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ ประกอบด้วยตัวแปร ตัวแปรตาม คือ $Y =$ ค่าพลังงานจลน์ฝน ตัวแปรอิสระ ประกอบด้วยตัวแปรทั้งหมด 15 ตัว

การสร้างตัวแบบพยากรณ์ค่าพลังงานจลน์ฝน

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ เพื่อใช้ในการพยากรณ์ค่าพลังงานจลน์ฝนมีวิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระด้วยวิธี Stepwise Regression ในการคัดเลือกตัวแปรแสดงผลการคัดเลือกตัวแปรและค่าประมาณพารามิเตอร์ พบว่าตัวแปรที่ถูกคัดเลือกเข้าสู่สมการทำนายประกอบด้วยตัวแปรอิสระ 11 ตัว ผลการคัดเลือกตัวแปรและค่าประมาณพารามิเตอร์ พบว่า สมการทำนายหรือตัวแบบที่ได้จากการคำนวณมีนัยสำคัญในการทำนายค่าพลังงานจลน์ โดยมีค่าพี (P value) เท่ากับ $< 2.2e-16$ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่องศาเสรี (Degrees of freedom : df) เท่ากับ 11 และ 360 ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 ตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กับค่าพลังงานจลน์ฝน คิดเป็นร้อยละ 61.89 และ $R^2_{adj} = 0.6074$ $MSE = 0.1554$ ได้แบบจำลองมีรูปแบบสมการดังนี้

$$\text{Log}(\hat{Y}_i) = 5.632 + 0.2596 X_1 - 0.4788 X_2 + 0.3229 X_3 + 0.0587 X_5 + 0.001 X_6 - 0.0036 X_7 + 0.0312 X_8 + 3.26E-08 X_9 - 0.2248 X_{11} - 0.2594 X_{12} - 0.1523 X_{13}$$

การตรวจสอบรูปแบบการแจกแจงตัวแปรตาม

ตารางที่ 1 แสดงค่า AIC สำหรับใช้ตรวจสอบรูปแบบการแจกแจงของค่าพลังงานจลน์ฝนถูกแปลงค่าโดยใช้ลอการิทึม

ข้อมูล (Data)	รูปแบบการแจกแจง (Distributions)					
	Cauchy	Exponetial	Gamma	Lognormal	Normal	Weibull
ค่าพลังงานจลน์ ฝนถูกแปลงค่า โดยใช้ลอการิทึม	1415.967	2747.559	1408.442	1455.115	1350.376	1372.963

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์

นำปัจจัยตัวแปรทั้งหมด 15 ปัจจัย มาหาความสัมพันธ์ปัจจัยแต่ละคู่ด้วยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson Correlation) ผลการศึกษาพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระที่เลือกใช้มีค่าระหว่าง -0.6 ถึง 0.69 ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยระยะเวลาในการเก็บขนาดเม็ดแป้งมีความสัมพันธ์กับค่าพลังงานจลน์ในระดับปานกลาง มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ -0.55 ในทิศทางตรงข้าม ตัวแปรอื่นมีความสัมพันธ์กันเองในระดับต่ำ

การหาค่าความเข้มข้นสูงสุดในช่วงเวลา 30 นาทีและลักษณะการกระจายตัวของฝน

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นสูงสุดในช่วง 30 นาที ปี 2563-2565

ปี	ความเข้มข้นสูงสุดในช่วง 30 นาที				
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	ค่าสูงสุด
2563	16.8	55.6	36.4	31.6	55.6
2564	43.2	44.8	42.8	40	44.8
2565	56	24.4	72.8	45.6	56
เฉลี่ย	38.66	41.6	50.66	39.06	52.13

ที่มา: สถานีตรวจวัดน้ำฝนที่ 19 สำนักชลประทานที่ 1 ตำบลวัดเกต อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

การหาค่าพลังงานจลน์ฝน

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยค่าพลังงานจลน์ที่พยากรณ์ได้จากสมการตามความเข้มข้น

ความเข้มข้น	เล็กน้อย	ปานกลาง	หนัก	หนักมาก	รวมเฉลี่ย
ค่าพลังงานจลน์ฝน (J/h)	987,414	1,159,390	150,962,804	8,243,904	5,171,066

ตารางที่ 3 ค่าปัจจัยการชะล้างพังทลายของฝนแยกตามความหนักเบาของฝน

ความเข้มข้น	เล็กน้อย	ปานกลาง	หนัก	หนักมาก	เฉลี่ย
ดัชนีการชะล้างพังทลายของฝน (พืดต้นต่อเฮกเตอร์)	302.43	355.08	46,237.90	2,525.00	1,583.81
ดัชนีการชะล้างพังทลายของฝน (ต้นต่อเฮกเตอร์)	678.04	796.09	103,665.37	5,661.04	3,550.90

ตารางที่ 4 เปรียบค่าดัชนีการชะล้างพังทลายของฝนที่หาได้จากค่าพลังงานจลน์ฝนจากการวัดขนาดเม็ด
 แป้งกับค่าดัชนีการชะล้างพังทลายของฝนที่อ้างอิงสมการมนูและคณะจากการใช้ความสัมพันธ์ดัชนี EI30
 และดัชนี

ดัชนี	ค่าพลังงานจลน์ฝน					สมการ	สมการ
	ฝน เล็กน้อย	ฝนปาน กลาง	ฝนหนัก	ฝนหนัก มาก	ฝนรวม เฉลี่ย	อ้างอิงมนู และคณะ ใช้ความ สัมพันธ์ ดัชนี EI30	อ้างอิงมนู และคณะ ใช้ความ สัมพันธ์ ดัชนี KE1
ดัชนีการชะล้าง พังทลายของฝน (ต้นต่อเฮกเตอร์)	678.04	796.09	103,665.37	5,661.04	3,550.90	668.56	186.59
R ²	0.10	0.27	0.06	0.01			

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาดัชนีการชะล้างพังทลายของฝนในพื้นที่สูงจากความสัมพันธ์ค่าพลังงานจลน์ฝนที่วัด
 ได้จากถาดแป้ง สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. จากการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณและสหสัมพันธ์ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อค่าพลังงานจลน์ฝนที่วัดจากขนาดเม็ดฝนในถาดแป้งมีตัวแปรที่ใช้ศึกษา 13 ตัวแปร ได้รูปแบบสมการดังนี้ $\text{Log}(\bar{Y}_i) = 5.632 + 0.2596 X_1 - 0.4788 X_2 + 0.3229 X_3 + 0.0587 X_5 + 0.001 X_6 - 0.0036 X_7 + 0.0312 X_8 + 3.26E-08 X_9 - 0.2248 X_{11} - 0.2594 X_{12} - 0.1523 X_{13}$ ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับค่าพลังงานจลน์ฝนมากที่สุด ได้แก่ ปัจจัยเวลาในการจัดเก็บข้อมูล ส่วนปัจจัยอื่นๆ มีความสัมพันธ์ต่อค่าพลังงานจลน์ฝนต่ำ

2. การหาค่าพลังงานจลน์จากสมการการกระจายหยดฝนในแนวตั้ง พบว่าสามารถให้รูปแบบของสมการในแบบปกติ โดยตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กับค่าพลังงานจลน์ฝนคิดเป็นร้อยละ 61.89 และค่า $R^2_{\text{adj}} = 0.6074$ ค่า $\text{MSE} = 0.1554$ มีค่าพลังงานจลน์เฉลี่ยเท่ากับ 5,171,066 จูลต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง สามารถหาค่าพลังงานจลน์ฝนตามระดับความเข้มฝนได้ดังนี้ ระดับความเข้มฝนเล็กน้อยมีค่าพลังงานจลน์ฝนเท่ากับ 987,414 จูลต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ระดับความเข้มฝนปานกลางมีค่าพลังงานจลน์ฝนเท่ากับ 1,159,390 จูลต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ระดับความเข้มฝนหนักมีค่าพลังงานจลน์ฝนเท่ากับ 150,962,804 จูลต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง และระดับความเข้มฝนหนักมากมีค่าพลังงานจลน์ฝนเท่ากับ 3,171,266 จูลต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง

3. ค่าความชื้นฝนสูงสุดในช่วง 30 นาทีปี 2563 – 2565 มีค่าเท่ากับ 52.13 มิลลิเมตรต่อ ชั่วโมง นำมาหาค่าดัชนีการชะล้างพังทลายของฝนมีค่าเท่ากับ 3,550.90 ต้นต่อเฮกเตอร์ สามารถหาค่าดัชนีการชะล้างพังทลายของฝนตามระดับความชื้นฝนได้ดังนี้ ระดับความชื้นฝนเล็กน้อยมีค่าดัชนีการชะล้างพังทลายของฝนเท่ากับ 678.04 ต้นต่อเฮกเตอร์ ระดับความชื้นฝนปานกลางมีค่าดัชนีการชะล้างพังทลายของฝนเท่ากับ 796.04 ต้นต่อเฮกเตอร์ ระดับความชื้นฝนหนักมีค่าดัชนีการชะล้างพังทลายของฝนเท่ากับ 103,665.37 ต้นต่อเฮกเตอร์ และระดับความชื้นฝนหนักมากมีค่าดัชนีการชะล้างพังทลายของฝนเท่ากับ 5,661.04 ต้นต่อเฮกเตอร์

4. เมื่อนำค่าดัชนีการชะล้างพังทลายของฝนตามสมการอ้างอิงมนูและคณะ (2527) ที่ใช้ความสัมพันธ์ดัชนี EI30 และดัชนี KE1 พบว่าค่าดัชนีการชะล้างพังทลายที่ได้จากค่าพลังงานจลน์ฝนจากการวัดขนาดเม็ดแบ้งมีค่าสูงกว่าค่าดัชนีการชะล้างพังทลายของฝนจากความสัมพันธ์ดัชนี EI30 มีค่า 15 เท่า โดยดัชนีการชะล้างพังทลายของฝนที่ระดับความชื้นฝนเล็กน้อย และที่ระดับความชื้นฝนปานกลางมีค่าใกล้เคียงกับค่าสมการอ้างอิงมนูและคณะจากความสัมพันธ์ดัชนี EI30 มีค่าเท่ากับ 678.04 ต้นต่อเฮกเตอร์ และ 796.09 ต้นต่อเฮกเตอร์ ในขณะที่ระดับความชื้นฝนหนักและระดับฝนตกหนักมากมีค่าสูงกว่าค่าสมการอ้างอิงมนูและคณะมาก

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2524. การชะล้างพังทลายของดินในประเทศไทย (Soil Erosion in Thailand).

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ. กรมพัฒนาที่ดิน. 2524. การชะล้างพังทลายของดินในประเทศไทย (Soil Erosion in Thailand). กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

วิกิพีเดีย. 2565. การกระจายขนาดน้ำฝน. https://hmong.in.th/wiki/Raindrop_size_distribution
สืบค้นวันที่ 9/1/65

A Mishra. 2022. Soil and Water Conservation Engineering.

<http://ecoursesonline.iasri.res.in/mod/page/view.php?id=2125> สืบค้นวันที่
7/4/65

George Huffman. 2011. The Shape of a rain. Nasa official.

<https://gpm.nasa.gov/resources/students-and-educators/the-shape-of-a-raindrop> สืบค้นวันที่ 10/1/66