

**การประมาณค่าเชิงพื้นที่ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวัน
โดยวิธี Thin Plate Smoothing Spline สำหรับลุ่มน้ำปิงตอนบน**
**The Spatial Interpolation of Daily Rainfall Using Thin Plate Smoothing Spline
for the Upper Ping River Basin**

วิษุวัตก์ แท้สมบัติ¹ นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์²

Wisuwat Taesombat¹ Nuchanart Sriwongsitanon²

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการประมาณค่าของข้อมูลน้ำฝนรายวันซึ่งมีการจัดเก็บข้อมูลในเชิงตำแหน่ง จำนวน 73 สถานี ซึ่งเป็นสถานีวัดน้ำฝนที่ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำปิงตอนบนและบริเวณข้างเคียงให้เป็นข้อมูลในเชิงพื้นที่ในรูปแบบข้อมูลต่อเนื่องหรือเป็นกริดในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยในการศึกษาได้ประยุกต์ใช้การประมาณค่าด้วยวิธี Thin Plate Smoothing Spline ด้วยโปรแกรม ANUSPLIN Version 4.3 ของประเทศออสเตรเลีย ซึ่งต้องใช้ข้อมูลระดับความสูงของพื้นที่ (DEM) มาร่วมวิเคราะห์ด้วย พร้อมทั้งได้เปรียบเทียบกับวิธีการประมาณค่าที่นิยมใช้ในประเทศไทย ได้แก่ วิธีรูปเหลี่ยมมีเอสเซน และวิธีเส้นชั้นน้ำฝน สำหรับข้อมูลระดับความสูงได้พิจารณาเลือกใช้ข้อมูลที่เคยเผยแพร่ออกสู่สาธารณะจำนวน 2 แหล่ง ได้แก่ SRTM ของ NASA ซึ่งมีความละเอียด 3 arc second หรือประมาณ 90 เมตร และ GLOBE ของ NOAA ซึ่งมีความละเอียด 30 arc second หรือประมาณ 1 กิโลเมตร มาประยุกต์ใช้ร่วมกับโปรแกรม ANUSPLIN โดยคัดเลือกข้อมูลฝนรายวันในช่วงเดือนสิงหาคม ปี พ.ศ. 2544 และช่วงเดือนกันยายน ปี พ.ศ. 2546 ผลการศึกษาพบว่า การประมาณค่าปริมาณฝนรายวันในเชิงพื้นที่ด้วยวิธี Thin Plate Smoothing Spline ให้ผลประมาณค่าได้ดีกว่าอีกสองวิธีดังกล่าว สำหรับลุ่มน้ำที่มีลักษณะภูมิประเทศแบบภูเขาสลับซับซ้อนดังเช่นลุ่มน้ำปิงตอนบน

Abstract

This study aims to evaluate the spatial interpolation techniques which be applied to generate 73 daily rainfall stations collected as point database and located in the Upper Ping River Basin and nearby area into the grid format of GIS platform. Thus three spatial interpolation techniques were selected in this study comprising the Thin Plate Smoothing spline, Thiessen Polygon and Isohyet techniques. In addition, Thin Plate Smoothing Spline technique is built in the ANUSPLIN Version 4.3 software and be spatially correlated with the Digital Elevation Model (DEM) in order to interpolate the point rainfall into grid format. Therefore, two sources of public domain DEM were selected namely NASA-SRTM with 3 arc second or 90 meters resolution and NOAA-GLOBE with 30 arc second or 1 kilometers resolution. The 2 historical rain storm events were selected during August 2001 and September 2003. The result shown that Thin Plate Smoothing Spline technique was suitable than the other techniques for the mountainous area such as the Upper Ping River Basin.

Keywords: Spatial Interpolation, Thin Plate Smoothing Spline, NASA-SRTM, NOAA-GLOBE, Upper Ping River Basin

¹ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม 73140 (fengwwt@ku.ac.th)

Irrigation Engineering Department, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Nakorn Pathom 73140

² ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (fengnns@ku.ac.th)

Water Resources Engineering Department, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900

คำนำ

การประมาณค่าของข้อมูลฝนซึ่งมีลักษณะข้อมูลแบบจุดให้เป็นข้อมูลในเชิงพื้นที่เพื่อนำไปเป็นข้อมูลด้านเข้าสำหรับการประเมินปริมาณน้ำท่าจากข้อมูลน้ำฝนด้วยแบบจำลองด้านอุทกวิทยานั้น ในปัจจุบันยังนิยมใช้วิธีรูปเหลี่ยมมีเอไซด์เซน (Thiessen Polygon) และวิธีเส้นชั้นน้ำฝน (Isohyet) ซึ่งทั้งสองวิธีดังกล่าวมีความเหมาะสมในการวิเคราะห์ในพื้นที่ที่ลักษณะเป็นที่ราบ แต่สำหรับลุ่มน้ำปิงตอนบนซึ่งมีพื้นที่ภูเขาสลับซับซ้อน การวิเคราะห์ฝนเชิงพื้นที่ด้วยวิธีดังกล่าว อาจจะทำให้การประเมินปริมาณน้ำท่ามีความผิดพลาดขึ้นได้ เนื่องจากการขาดข้อมูลฝนที่อยู่เป็นภูเขา เพราะสถานีวัดน้ำฝนส่วนใหญ่จะตั้งอยู่พื้นที่ค่อนข้างราบ

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการประมาณค่าของข้อมูลน้ำฝนรายวันซึ่งมีการจัดเก็บข้อมูลในเชิงตำแหน่ง จำนวน 73 สถานี ซึ่งเป็นสถานีวัดน้ำฝนที่ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำปิงตอนบน จำนวน 46 สถานี และบริเวณข้างเคียง จำนวน 27 สถานี โดยอยู่ในความรับผิดชอบของหลายหน่วยงาน ประกอบด้วย กรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ และกรมอุตุนิยมวิทยา ทั้งนี้เพื่อประมาณค่าให้เป็นข้อมูลในเชิงพื้นที่ในรูปแบบข้อมูลต่อเนื่องหรือเป็นกริดในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System, GIS) โดยในการศึกษาได้ประยุกต์ใช้การประมาณค่าด้วยวิธี Thin Plate Smoothing Spline ด้วยโปรแกรม ANUSPLIN Version 4.3 ของประเทศออสเตรเลีย ซึ่งต้องใช้ข้อมูลระดับความสูงของพื้นที่ (DEM) มาร่วมวิเคราะห์ด้วย พร้อมทั้งได้เปรียบเทียบกับการประมาณค่าในเชิงพื้นที่ที่นิยมใช้ในประเทศไทย ได้แก่ วิธีรูปเหลี่ยมมีเอไซด์เซน และวิธีเส้นชั้นน้ำฝน สำหรับข้อมูลระดับความสูงของพื้นที่ ได้พิจารณาเลือกใช้ข้อมูลที่เคยเผยแพร่ออกสู่สาธารณะ จำนวน 2 แหล่ง ได้แก่ NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) ซึ่งมีความละเอียด 3 arc second หรือประมาณ 90 เมตร และ NOAA Global Land One-km Base Elevation (GLOBE) ซึ่งมีความละเอียด 30 arc second หรือประมาณ 1 กิโลเมตร มาประยุกต์ใช้ร่วมกับโปรแกรม ANUSPLIN

เมธี เอกะสิงห์และคณะ (2542) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการประมาณค่าเชิงพื้นที่โดยวิธี Kriging และ Thin Plate Spline (TPS) เพื่อสร้างฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ภูมิอากาศเพื่อเชื่อมโยงกับแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชในจังหวัดเชียงใหม่และพิษณุโลก ผลการศึกษาพบว่า วิธีการ Thin Plate Spline จะให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยกว่าการประมาณค่าโดยวิธีการ Kriging

สำหรับการประมาณค่าด้วยวิธี Thin Plate Smoothing Spline นั้นสามารถแสดงในรูประบบสมการได้สมการที่ 1 โดยสมการนี้จะสมมติให้ข้อมูลน้ำฝนที่สถานีวัดน้ำต่าง ๆ แปรผันไปตามพิกัดภูมิศาสตร์ในระบบพิกัดแบบ Latitude และ Longitude และมีความสัมพันธ์กับระดับความสูงของพื้นที่ด้วย (Hutchinson, M.F., 1995a)

$$r(x_i, y_i, z_i) = z(x_i, y_i, z_i) + \varepsilon(x_i, y_i, z_i) \quad (1)$$

- เมื่อ
- r = ข้อมูลน้ำฝนแบบจุดที่สถานีวัดน้ำฝน
 - z = ค่า smoothing function ที่เหมาะสมที่สุดที่ประเมินได้จากข้อมูลฝนแบบจุด
 - ε = ค่าความผิดพลาดแบบไม่ต่อเนื่องที่สถานีวัดน้ำฝนแต่ละแห่ง
 - x_i = ค่า latitude ที่สถานีวัดน้ำฝนแต่ละแห่ง
 - y_i = ค่า longitude ที่สถานีวัดน้ำฝนแต่ละแห่ง

z_i = ค่าระดับความสูงที่สถานีวัดน้ำฝนแต่ละแห่ง

ค่าของ smoothing parameter ที่เหมาะสมจะหาได้จากการประมาณค่าที่น้อยที่สุดของ generalised cross validation (GCV) ซึ่งคำนวณได้จากข้อมูลฝนแบบจุดที่อยู่ในขอบเขตพื้นที่ศึกษา โดยค่า GCV นี้คือการประมาณค่าของความผิดพลาดของพื้นที่ผิว Spline ซึ่งคำนวณได้จากการทดลองนำข้อมูลฝนแบบจุดที่จุดใดจุดหนึ่งออกไป แล้วหาค่าผลรวมยกกำลังสองของค่าข้อมูลฝนที่จุดอื่น ๆ ที่เหลือในพื้นที่ผิว Spline (Hutchinson, M.F. et al., 1994) โดยจะนำออกในทุก ๆ จุดเพื่อหาค่าที่น้อยที่สุด

สำหรับข้อมูลฝนรายวันที่น่ามาวิเคราะห์ด้วยสามวิธีดังกล่าว ได้คัดเลือกในช่วงเดือนสิงหาคม ปี พ.ศ. 2544 และช่วงเดือนกันยายน ปี พ.ศ. 2546 ซึ่งเป็นช่วงที่มีฝนตกหนักมาใช้ในการศึกษาค้างนี้

อุปกรณ์และวิธีการ

การประมาณค่าในเชิงพื้นที่ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1. การคัดเลือกพื้นที่ศึกษา ได้แก่ ลุ่มน้ำปิงตอนบน ซึ่งครอบคลุมพื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพล มีพื้นที่ลุ่มน้ำ 25,370 ตารางกิโลเมตร สภาพภูมิประเทศของลุ่มน้ำปิงตอนบนเป็นเทือกเขาสลับซับซ้อนปกคลุมด้วยป่าไม้บริเวณตอนกลางลุ่มน้ำเป็นที่ตั้งของจังหวัดเชียงใหม่ และจังหวัดลำพูน ซึ่งมีความสำคัญทางเศรษฐกิจในภาคเหนือของประเทศไทย โดยจังหวัดทั้งสองประสบปัญหาอุทกภัยแทบทุกปีจากผลของลมมรสุมและพายุจร

ลุ่มน้ำปิงตอนบนประกอบด้วยลุ่มน้ำย่อยจำนวน 14 ลุ่มน้ำ ได้แก่ แม่น้ำปิงส่วนที่ 1, 2 และ 3 แม่แตง แม่จัด แม่ริม แม่กวง แม่แจ่ม แม่ขาน แม่กลาง แม่หาด แม่ลี และแม่ตื่น ดังแสดงในรูปที่ 1

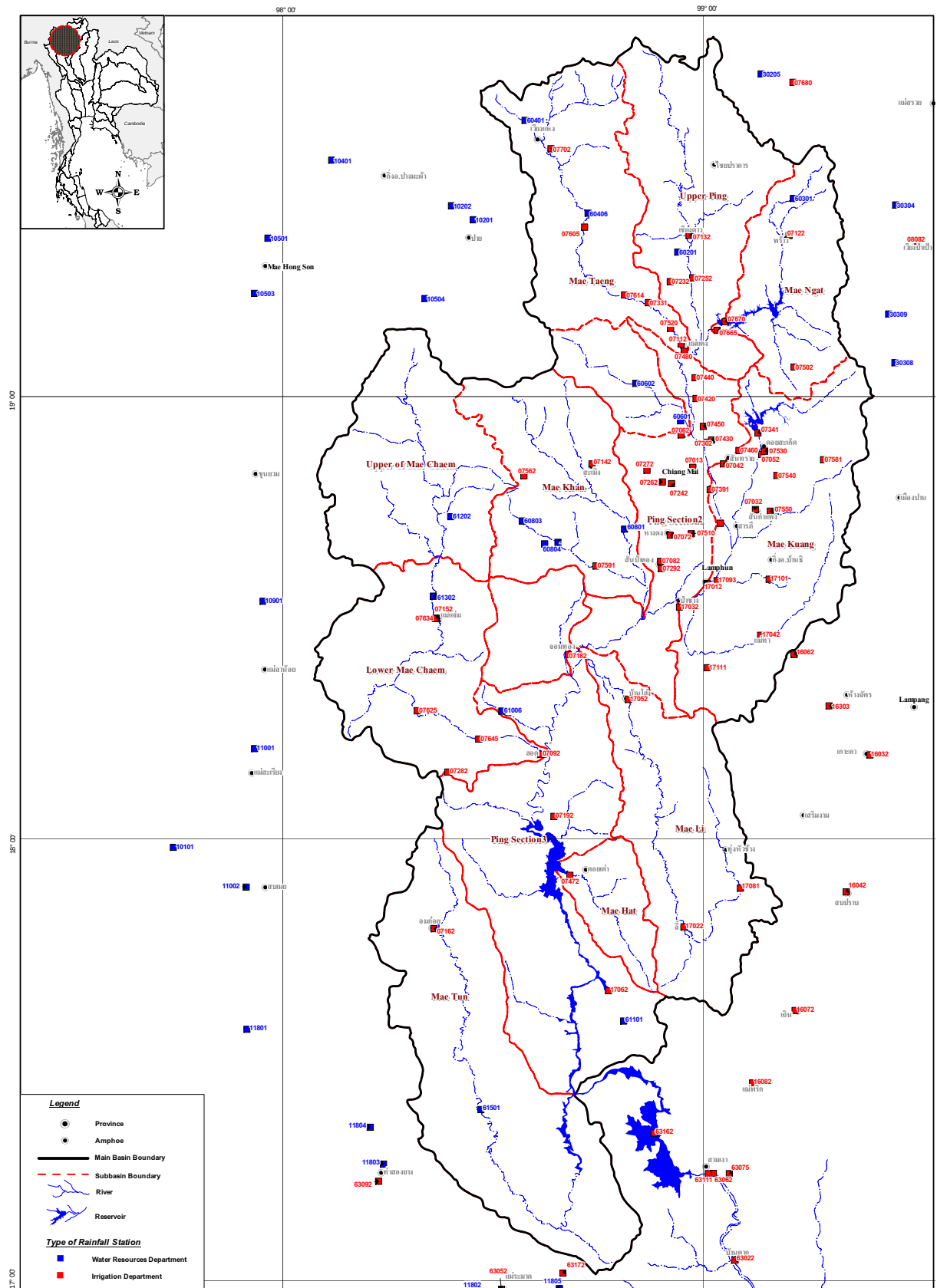
2. รวบรวมข้อมูลน้ำฝนรายวันซึ่งมีการจัดเก็บข้อมูลในเชิงตำแหน่งจำนวน 73 สถานี ซึ่งเป็นสถานีวัดน้ำฝนที่ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำปิงตอนบนจำนวน 46 สถานี และบริเวณข้างเคียงจำนวน 27 สถานี ซึ่งอยู่ในความรับผิดชอบของหลายหน่วยงานประกอบด้วย กรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ และกรมอุตุนิยมวิทยา ดังแสดงในรูปที่ 1 จากนั้นทำการคัดเลือกเหตุการณ์น้ำหลากที่เกิดขึ้นในลุ่มน้ำปิงตอนบนซึ่งพบว่า ช่วงเดือนสิงหาคม ปี พ.ศ. 2544 และช่วงเดือนกันยายน ปี พ.ศ. 2546 เป็นช่วงที่มีฝนตกหนักจึงเลือกมาใช้ในการศึกษาค้างนี้

3. ตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลปริมาณน้ำฝนด้วยวิธีกราฟทับทวี (Double Mass Curves)

4. จัดหาข้อมูลลักษณะภูมิประเทศในเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model, DEM) ที่เผยแพร่สู่สาธารณะ ซึ่งสามารถหาได้จากอินเทอร์เน็ตของหน่วยงาน National Aeronautics and Space Administration (NASA) และ National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) ซึ่งมีความละเอียด (Resolution) แตกต่างกันไป มาประยุกต์ร่วมกับโปรแกรม ANUSPLIN Version 4.3 ของประเทศออสเตรเลีย

5. การประมาณค่าของข้อมูลฝนซึ่งมีลักษณะข้อมูลแบบจุดให้เป็นข้อมูลในเชิงพื้นที่ในรูปแบบข้อมูลต่อเนื่องหรือเป็นกริดในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์โดยผ่านทางโปรแกรม ArcViewGIS Version 3.20 โดยประกอบด้วยวิธีการประเมินค่า 3 วิธี ได้แก่ วิธี Thin Plate Smoothing Spline, วิธีรูปเหลี่ยมสี่เหลี่ยม และวิธีเส้นชั้นน้ำฝน

6. ตรวจสอบผลการประมาณค่าทั้งสามวิธีและสรุปผลการศึกษา



รูปที่ 1 แผนที่แสดงพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

ผล

ผลการประมาณค่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายวันทั้งพื้นที่ด้วยวิธีการต่าง ๆ ในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนในช่วงเดือนสิงหาคม 2544 และเดือนกันยายน 2546 แสดงในรูปที่ 2 และรูปที่ 3 ตามลำดับ

นอกจากนี้ยังได้คัดเลือกวันที่มีฝนตกหนักมาแสดงเป็นแผนที่ของผลการประมาณค่าข้อมูลน้ำฝนรายวันทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนจำนวน 2 วัน ได้แก่ ข้อมูลฝนรายวันของวันที่ 2 สิงหาคม 2544 และวันที่ 9 กันยายน 2546 โดยรูปที่ 4 แสดงผลการประมาณค่าน้ำฝนรายวันของวันที่ 2 สิงหาคม 2544 โดยวิธี Thin Plate Smoothing Spline เลือกใช้ DEM 2 ประเภท โดยรูปย่อยที่ (1) ใช้ SRTM-DEM ของ NASA ส่วนรูปย่อยที่ (2) ใช้ GLOBE-DEM ของ NOAA สำหรับรูปย่อยที่ (3) ใช้วิธีเส้นชั้นน้ำฝนและรูปย่อยที่ (4) ใช้วิธีรูปเหลี่ยมมีเอสเซน

สำหรับรูปที่ 5 แสดงผลการประมาณค่าน้ำฝนรายวันของวันที่ 9 กันยายน 2544 ด้วยวิธีการประมาณค่าแบบเดียวกับรูปที่ 4

วิจารณ์

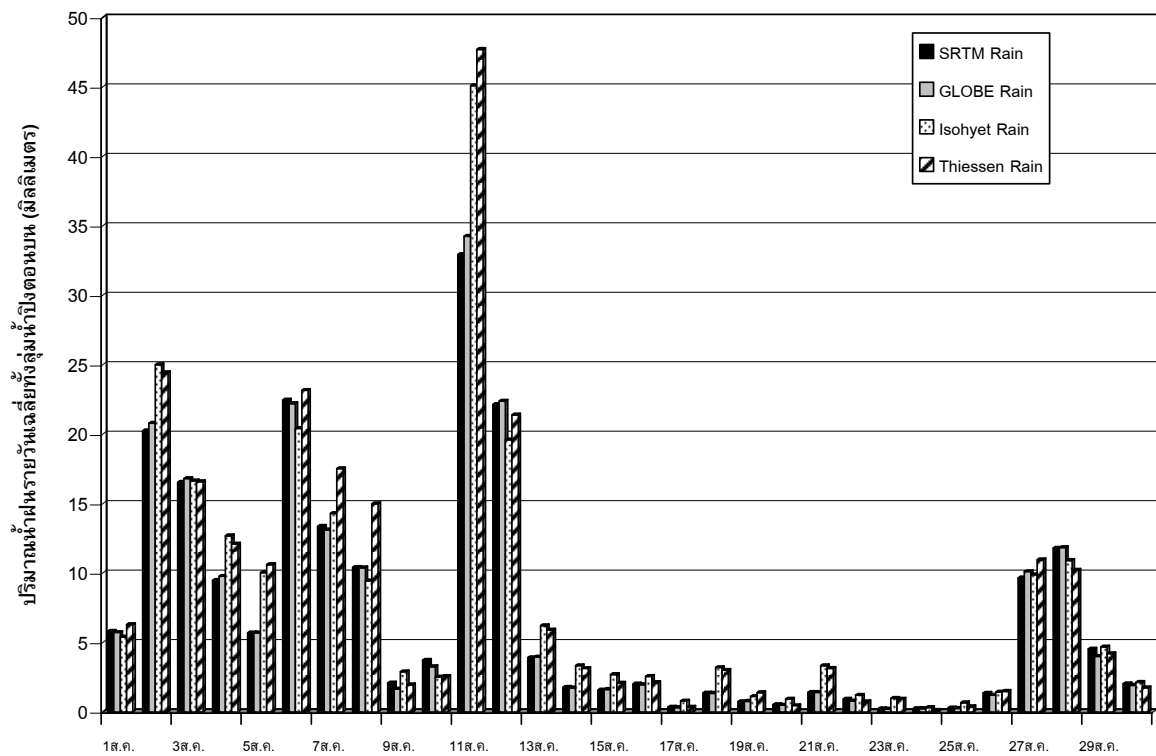
เมื่อพิจารณารูปที่ 2 ถึงรูปที่ 5 พบว่า ค่าฝนเชิงพื้นที่ที่ประมาณค่าได้เป็นตัวเลขทั้งลุ่มน้ำปิงตอนบนจากสามวิธีดังกล่าว จะมีค่าความแตกต่างกันไม่มากนัก แต่เมื่อพิจารณาการประมาณค่าฝนเชิงพื้นที่ในแต่ละลุ่มน้ำย่อยจากรูปที่ 4 และรูปที่ 5 จะมีความแตกต่างกันในเชิงพื้นที่ค่อนข้างมาก เนื่องจากสภาพภูมิประเทศของลุ่มน้ำปิงตอนบนเป็นภูเขาสลับซับซ้อน โดยวิธี Thin Plate Smoothing Spline จะให้ผลการประมาณค่าในเชิงพื้นที่ได้ดีกว่าอีกสองวิธีดังกล่าวเนื่องจากได้มีการนำตัวแปรของสภาพภูมิประเทศมาร่วมในพิจารณาเพื่อการประมาณค่าฝนในเชิงพื้นที่ด้วย อย่างไรก็ตามผู้วิจัยจะได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยจะนำข้อมูลการประเมินค่าฝนในเชิงพื้นที่ที่ได้จากวิธีดังกล่าวเพื่อนำเข้าสู่แบบจำลองอุทกวิทยาเพื่อเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าต่อไป

สรุป

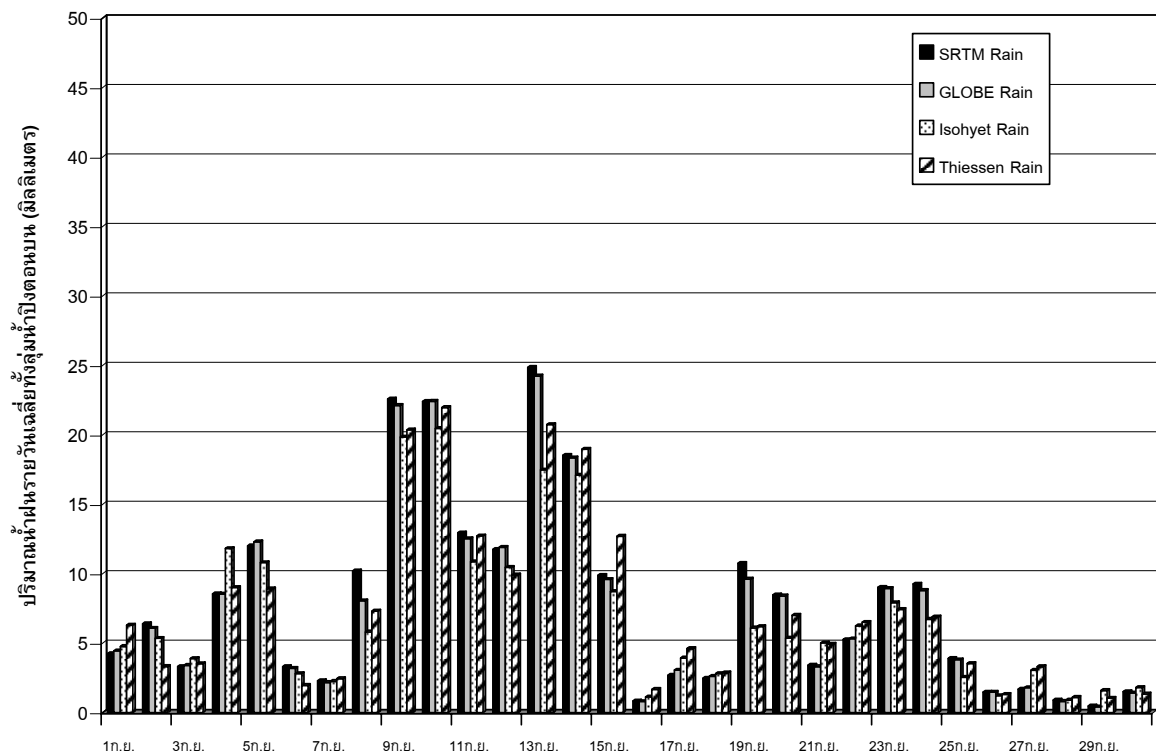
การประมาณค่าของข้อมูลฝนในเชิงพื้นที่นับว่าเป็นวิธีการที่สำคัญในการศึกษาด้านอุทกวิทยา เนื่องจากข้อมูลฝนถือเป็นข้อมูลด้านเข้าที่สำคัญของกระบวนการเกิดน้ำท่า ถ้ามีการประเมินค่าที่ถูกต้องมากเท่าไรก็ยิ่งจะทำให้ผลการประเมินน้ำท่าที่เกิดจากปริมาณน้ำฝนมีความถูกต้องใกล้เคียงกับสภาพธรรมชาติมากเท่านั้น ซึ่งในปัจจุบันการประเมินน้ำท่ายานิยมใช้แบบจำลองด้านอุทกวิทยามาช่วยในการคำนวณ ดังนั้น วิธีการประมาณค่าข้อมูลน้ำฝนด้วยวิธี Thin Plate Smoothing Spline ก็นับว่าเป็นวิธีการที่ดีวิธีการหนึ่งสำหรับลุ่มน้ำที่มีลักษณะของภูเขาสลับซับซ้อน

ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จึงได้ประยุกต์ใช้การประมาณค่าด้วยวิธี Thin Plate Smoothing Spline กับลุ่มน้ำที่มีลักษณะพื้นที่เป็นภูเขาสลับซับซ้อนอย่างเช่นลุ่มน้ำปิงตอนบน ทั้งนี้เพื่อลดปัญหาการประมาณค่าที่ผิดพลาดเนื่องจากการขาดสถานีวัดน้ำที่อยู่ในพื้นที่สูง ดังจะเห็นได้จากวิธี Thin Plate Smoothing Spline นั้นจะใช้ข้อมูลลักษณะภูมิประเทศมาช่วยในการประมาณค่าของข้อมูลฝนด้วย ซึ่งจะให้ผลการประมาณค่าในเชิงพื้นที่ได้ดีกว่าวิธีที่ใช้อยู่ปัจจุบันคือ วิธีรูปเหลี่ยมมีเอสเซน และวิธีเส้นชั้นน้ำฝน โดยในการศึกษาค้นคว้านี้ได้คัดเลือกแหล่งข้อมูลลักษณะภูมิประเทศในเชิงตัวเลข หรือ Digital Elevation Model (DEM) ที่เผยแพร่สู่สาธารณะและสามารถหาได้จากอินเทอร์เน็ตของหน่วยงาน NASA และ NOAA ซึ่งไม่เสียค่าใช้จ่ายในการจัดหา โดยมีความละเอียดที่แตกต่างกัน ผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับลักษณะงาน โดยถ้าต้องการใช้ให้ครอบคลุมพื้นที่กว้างมากๆ ก็อาจจะใช้ของ NOAA ซึ่งมีความละเอียด 1 กิโลเมตร ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาในการคำนวณลงได้มาก นอกจากนี้วิธี Thin Plate Smoothing Spline ยังเป็นทางเลือกใหม่สำหรับผู้ที่ต้องการนำไปใช้ในการประเมินค่า

ข้อมูลฝนเพื่อเป็นข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลองด้านอุทกวิทยา (Hydrological Model) หรือแบบจำลองสมดุลน้ำ (Water Balance Model) ต่อไปนี้



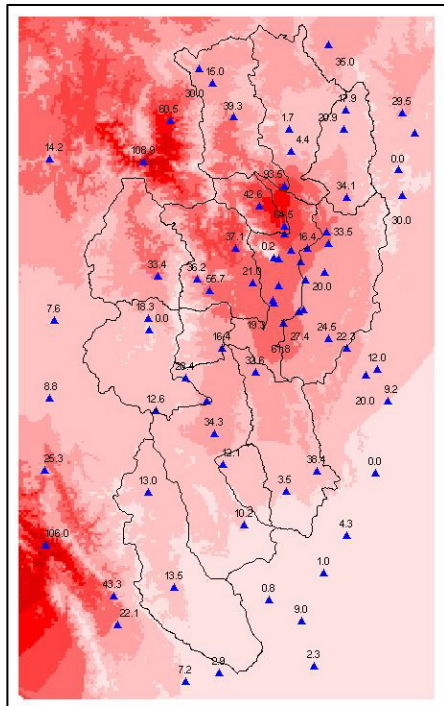
รูปที่ 2 กราฟแท่งแสดงปริมาณฝนเฉลี่ยรายวันทั้งลุ่มน้ำปึงตอนบนช่วงเดือนสิงหาคม 2544



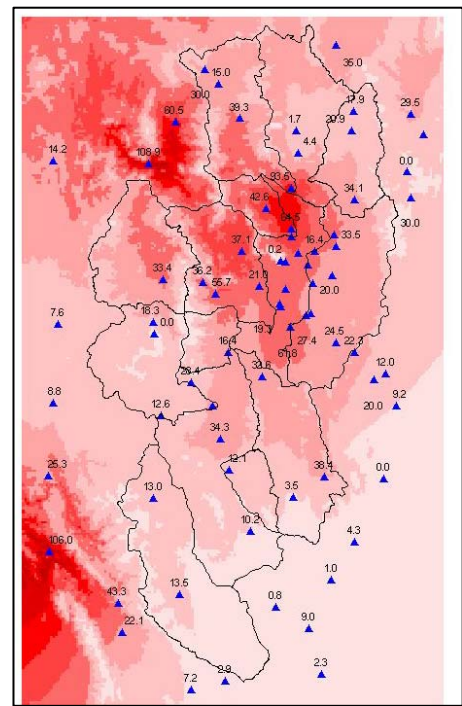
รูปที่ 3 กราฟแท่งแสดงปริมาณฝนเฉลี่ยรายวันทั้งลุ่มน้ำปึงตอนบนช่วงเดือนกันยายน 2546

หมายเหตุ: SRTM-Rain คือ วิธีการประมาณค่าแบบ Thin Plate Smoothing Spline ที่ใช้ SRTM-DEM

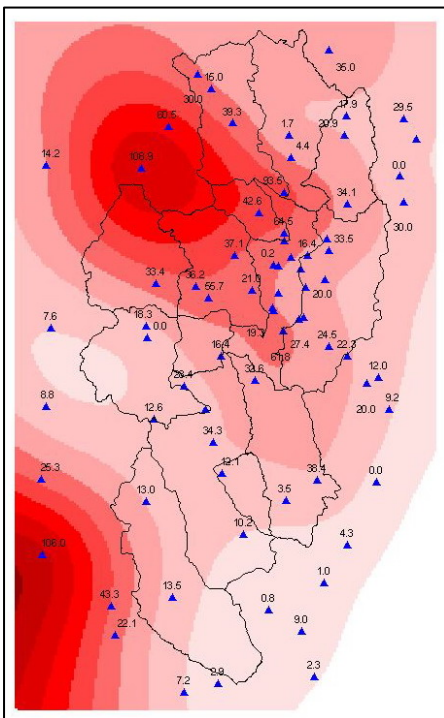
GLOBE-Rain คือ วิธีการประมาณค่าแบบ Thin Plate Smoothing Spline ที่ใช้ GLOBE-DEM



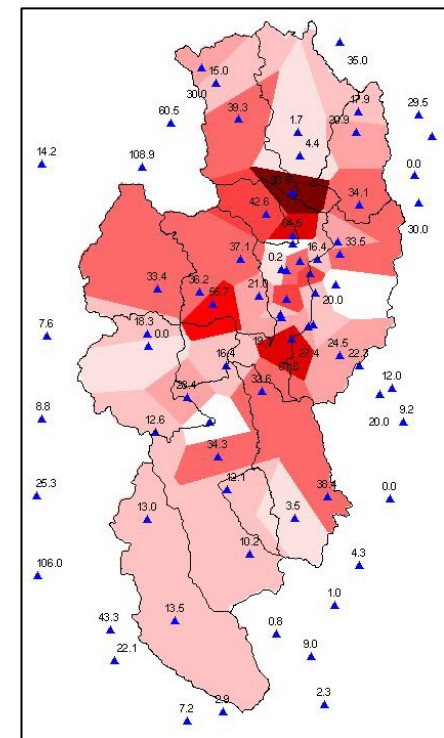
(1) ปริมาณฝนเชิงพื้นที่โดยใช้ SRTM-DEM



(2) ปริมาณฝนเชิงพื้นที่โดยใช้ GLOBE-DEM

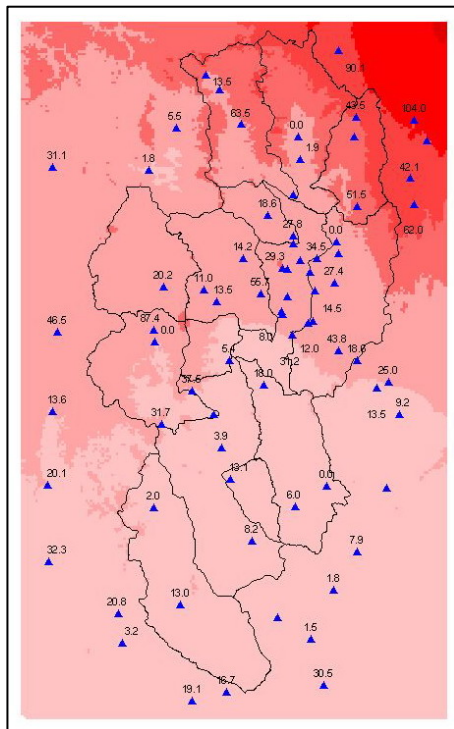


(3) ปริมาณฝนเชิงพื้นที่โดยใช้วิธีเส้นชั้นน้ำฝน

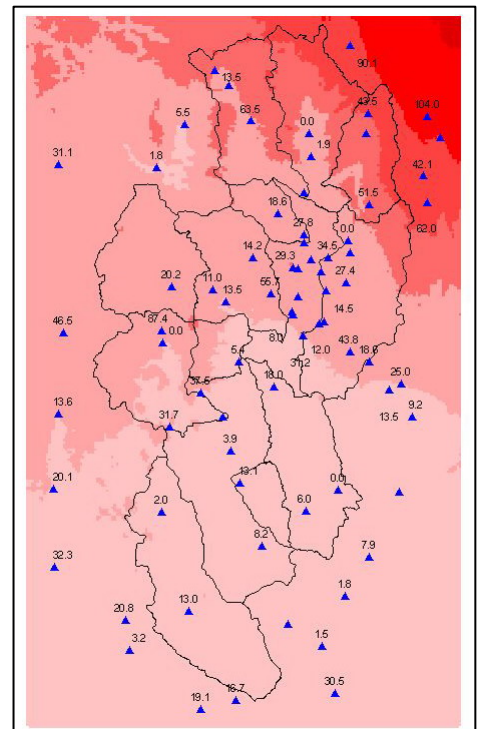


(4) ปริมาณฝนเชิงพื้นที่โดยใช้วิธีรูปเหลี่ยมทึบเอสเซน

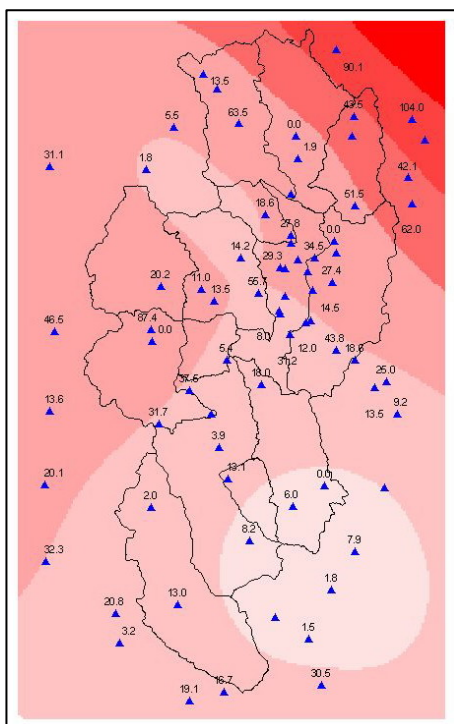
รูปที่ 4 แสดงการประมาณค่าข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ฝนรายวันสำหรับลุ่มน้ำปึงตอนบนของวันที่ 2 สิงหาคม 2544



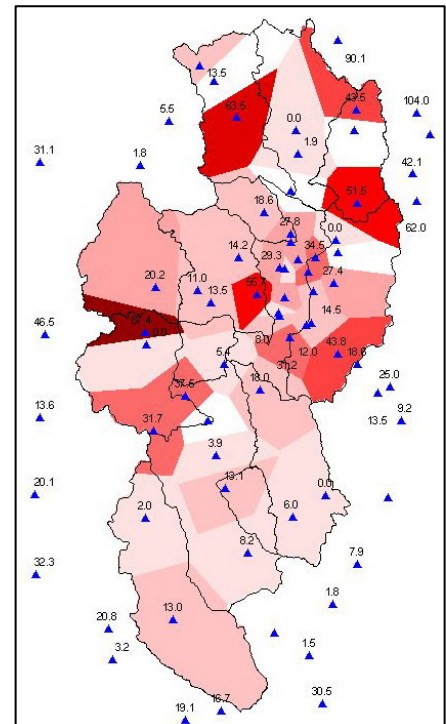
(1) ปริมาณฝนเชิงพื้นที่โดยใช้ SRTM-DEM



(2) ปริมาณฝนเชิงพื้นที่โดยใช้ GLOBE-DEM



(3) ปริมาณฝนเชิงพื้นที่โดยใช้วิธีเส้นชั้นน้ำฝน



(4) ปริมาณฝนเชิงพื้นที่โดยใช้วิธีรูปเหลี่ยมทึบเทียสเซน

รูปที่ 5 แสดงการประมาณค่าข้อมูลเชิงพื้นที่ฝนรายวันสำหรับลุ่มน้ำปิงตอนบนของวันที่ 9 กันยายน 2546

เอกสารอ้างอิง

- เมธี เอกะสิงห์ และจุไรพร แก้วทิพย์. 2542. การพัฒนาฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ภูมิอากาศในระบบสนับสนุนการตัดสินใจการผลิตข้าว. โครงการวิจัยระบบสนับสนุนการตัดสินใจการผลิตพืช : ข้าวในภาคเหนือ. ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 162 น.
- Fiedler, F.R., 2003. **Simple Practical Method for Determining Station Weights Using Thiessen Polygons and Isohyetal Maps.** Journal of Hydrologic Engineering, Vol.8, No.4, July 1, 2003, pp. 219-221.
- Hutchinson, M.F. and Gessler, P.E. 1994. **Splines-more than just a smooth interpolator.** Geoderma, Vol.62, pp. 45-67.
- Hutchinson, M.F. 1995a. **Interpolating mean rainfall using thin plate smoothing splines.** International Journal of Geographic Information Systems, Vol.9, pp. 385-403.
- Hutchinson, M.F. 1995b. **Stochastic space-time weather models from ground based data.** Agricultural and Forest Meteorology, Vol.73, pp. 237-264.
- Hutchinson, M.F. 2004. **ANUSPLIN Version 4.3 User Guide,** Centre for Resource and Environmental Studies, The Australian National University, Canberra, Australia. 54 p.
- Jarvis, A., Reuter, H.I., Nelson, A. and Guevara, E. 2006. **Hole-filled seamless SRTM data V3.** International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), USA. Available source <http://srtm.csi.cgiar.org>, May 2, 2007.
- National Geophysical Data Center (NGDC). 2007. **NOAA Satellite and Information Service,** USA. Available source <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/topo/globe.html>, May 2, 2007.