

นิพนธ์ต้นฉบับ

การจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำในพื้นที่ซึ่งยังไม่ได้รับการจำแนก โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการวิเคราะห์ภูมิลักษณะ จากแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ต่างกัน

Watershed Classification in an Unclassified Area to Analyze Landform Using Geographic Information System and Various Digital Elevation Models

ศิริชัย ดั่งเงิน^{1,2*}Sirichai Duangngoen^{1,2*}วันชัย อรุณประภารัตน์¹Wanchai Arunpraparut¹ปิยพงษ์ ทองดินอก¹Piyapong Tongdeenok¹¹คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

²กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, Chatuchak,

Bangkok 10900, Thailand

* Corresponding Author, E-mail: sirichai.dung@gmail.com

รับต้นฉบับ 5 มีนาคม 2564

รับแก้ไข 11 พฤษภาคม 2564

รับลงพิมพ์ 14 พฤษภาคม 2564

ABSTRACT

The objective of this study was to classify some parts of watershed areas in Huai Khayung, Lam Dom Yai, and Lam Dom Noi that were unclassified. The classification was done according to a Cabinet Resolution for the Mun-Chee watershed, classified using the digital elevation model data from TERRA satellite data (ASTER GDEM) and L7017, L7018 topographic series maps constructed by the Royal Thai Survey Department. The results were compared with the watershed classification done using some classified cabinet resolutions area.

When comparing the accuracy and consistency of watershed classification at the same locations, the results indicated that the watershed classification using digital elevation model from the L7018 map data was the most accurate, followed by the classification done using the digital elevation model from the L7017 map data and the watershed classification using the digital elevation model using ASTER GDEM with an accuracy of 85.01%, 83.47%, and 61.66%, respectively. The consistency among the L7017, L7018 topographic series map, and ASTER GDEM methodologies was moderate (Kappa=0.60), moderate (Kappa=0.56), and fair (Kappa=0.29), respectively. We

conclude that using a digital elevation model and topographic map data, which contains near-real time topographic altitude data, is more accurate and consistent than the digital elevation model using ASTER GDEM. Landform data production of Missouri Resource Assessment Partnership (MORAP) could be applied suitably in this study area.

Keywords : Watershed classification, Digital elevation model

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำในพื้นที่บางส่วนของลุ่มน้ำห้วยขยุง ลุ่มน้ำลำโดมใหญ่ และลุ่มน้ำลำโดมน้อยที่ยังไม่ได้รับการจำแนก โดยใช้วิธีการตามมติคณะรัฐมนตรีเรื่องการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำมูลและชีด้วยข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขจากข้อมูลจากดาวเทียม TERRA (ASTER GDEM) และข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศลำดับชุด L7017 และ L7018 ของกรมแผนที่ทหาร แล้วเปรียบเทียบผลการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำกับชั้นคุณภาพลุ่มน้ำตามมติคณะรัฐมนตรีในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยขยุง ลุ่มน้ำลำโดมใหญ่ และลุ่มน้ำลำโดมที่ได้มีการจำแนกไว้บางส่วน

ผลการศึกษาพบว่า เมื่อเปรียบเทียบความถูกต้องและระดับความสอดคล้อง โดยวิเคราะห์ข้อมูล ณ ตำแหน่งเดียวกัน การจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำโดยใช้แบบจำลองความสูงเชิงเลขจากข้อมูลจากแผนที่ L7018 มีความถูกต้องมากที่สุด รองลงมาคือการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำโดยใช้แบบจำลองความสูงเชิงเลขจากข้อมูลจากแผนที่ L7017 และการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำโดยใช้แบบจำลองความสูงเชิงเลขจาก ASTER GDEM โดยมีความถูกต้องร้อยละ 85.01, 83.47 และ 61.66 ของพื้นที่ตามลำดับ และมีความสอดคล้องอยู่ในระดับปานกลาง ($Kappa=0.60$) ระดับปานกลาง ($Kappa=0.56$) และระดับพอใช้ ($Kappa=0.29$) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการใช้แบบจำลองความสูงเชิงเลขจากข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศซึ่งมีข้อมูลความสูงใกล้เคียงภูมิประเทศจริงมีความความถูกต้องและสอดคล้องมากกว่าแบบจำลองความสูงเชิงตัวเลขจาก ASTER GDEM โดยวิธีการสร้างข้อมูลภูมิลักษณะของสถาบัน Missouri Resource Assessment Partnership สามารถนำมาประยุกต์กับพื้นที่ศึกษาได้อย่างเหมาะสม

คำสำคัญ : การจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ แบบจำลองความสูงเชิงเลข

คำนำ

การจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ เป็นการแบ่งเขตพื้นที่ลุ่มน้ำตามคุณภาพของที่ดินต่อสมรรถนะการพังทลาย และความเปราะบางของสิ่งแวดล้อม เพื่อกำหนดมาตรการการใช้ประโยชน์ที่ดินและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติในแต่ละชั้นคุณภาพลุ่มน้ำให้สอดคล้องกับหลักการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (Chankaeo, 1996) และนำไปประยุกต์ในการวางแผนบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติภายใน

พื้นที่ลุ่มน้ำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยยังคงรักษาไว้ซึ่งพื้นที่ต้นน้ำลำธารให้มีปริมาณและคุณภาพ ที่เหมาะสม เพื่อประโยชน์ของประเทศและประชาชนในการใช้อุปโภคบริโภค

ในการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำได้ใช้ข้อมูลทางกายภาพ อาทิ ความลาดชัน (slope) ความสูง (elevation) ภูมิลักษณะ (landform) ลักษณะทางธรณีวิทยา (geology) และลักษณะดิน (soil) ซึ่งปัจจัยดังกล่าวส่งผลต่อกระบวนการทางอุทกวิทยาและยาก

ต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะ และสมการมาตรฐานในการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ โดยผลการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำมีความละเอียดขนาด 1 ตารางกิโลเมตร ซึ่งในพื้นที่ที่มีขนาด 1 ตารางกิโลเมตรจะประกอบไปด้วยลักษณะภูมิประเทศที่หลากหลายส่งผลให้มีชั้นคุณภาพลุ่มน้ำมากกว่า 1 ชนิด จึงมีการปรับขอบเขตชั้นคุณภาพลุ่มน้ำให้สอดคล้องกับสภาพภูมิประเทศด้วยมือ (manual approach) โดยใช้ความรู้ทางด้านธรณีสัณฐานและหลักภูมิศาสตร์กายภาพในการพิจารณาปรับขอบเขตชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ อันเป็นข้อจำกัดของเทคโนโลยีในอดีต ซึ่งการประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ โดยใช้ข้อมูลลักษณะภูมิประเทศในรูปแบบข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข (digital elevation model:DEM) ซึ่งมีการเผยแพร่โดยทั่วไปจากดาวเทียม TERRA (ASTER GDEM) และข้อมูลจากแผนที่ภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหารมีความละเอียดและความถูกต้องใกล้เคียงกับสภาพพื้นที่จริงมากยิ่งขึ้น สามารถนำมาสร้างข้อมูลภูมิลักษณะ โดยการวิเคราะห์ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สามารถใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial data) และข้อมูลคุณลักษณะ (attribute data) มาวิเคราะห์ร่วมกันโดยการดำเนินการแบบตรรกะหรือการคำนวณในการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของข้อมูลหรือค่าของกริดที่มีอยู่ได้อย่างรวดเร็วและความถูกต้องของผลลัพธ์ยิ่งขึ้น (Jirakajohnkool, 2017) เน้นการลดข้อจำกัดในการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำในอดีตที่ผ่านมาได้

ในการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำมูลและชีระหว่างปี พ.ศ. 2528-2530 (Thangtham, 2017) เนื่องจากปัญหาความมั่นคงระหว่างประเทศ ส่งผลให้กรมแผนที่ทหารไม่สามารถส่งมอบแผนที่ภูมิประเทศในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยขยุง ลุ่มน้ำลำโดมใหญ่ และลุ่มน้ำลำโดมน้อยบางส่วน เพื่อเป็นใช้เป็นข้อมูลในการจำแนก

ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ จนถึงปัจจุบันยังไม่ปรากฏการจำแนกแบ่งเขตชั้นคุณภาพลุ่มน้ำในบริเวณดังกล่าวแต่อย่างใด ดังนั้น จึงทำการศึกษาการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยขยุง ลุ่มน้ำลำโดมใหญ่ และลุ่มน้ำลำโดมน้อย ซึ่งยังมีพื้นที่ที่ไม่ได้รับการจำแนกด้วย DEM จากแหล่งที่มาที่แตกต่างกัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยขยุง ลุ่มน้ำลำโดมใหญ่ และลุ่มน้ำลำโดมน้อยโดยใช้ DEM จากข้อมูลจากดาวเทียม TERRA และข้อมูลจากแผนที่ภูมิประเทศ L7017 ซึ่งผลิตจากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ โดยเริ่มเผยแพร่ พ.ศ. 2515 และข้อมูลจากแผนที่ภูมิประเทศ L7018 ซึ่งผลิตจากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศร่วมกับ DEM จาก Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) ซึ่งจัดเก็บข้อมูลของพื้นผิวโลกโดยใช้ระบบคลื่นเรดาร์ โดยเริ่มเผยแพร่ พ.ศ. 2540 และเพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำด้วย DEM จากแหล่งที่มาที่แตกต่างกัน

อุปกรณ์และวิธีการ

สถานที่ทำการศึกษา

ลุ่มน้ำห้วยขยุง ลุ่มน้ำลำโดมใหญ่ และลุ่มน้ำลำโดมน้อย อยู่ในพื้นที่จังหวัดศรีสะเกษและจังหวัดอุบลราชธานี มีพื้นที่ทั้งหมด 8,819.39 ตารางกิโลเมตร พบว่ามีพื้นที่ที่ไม่มีการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำประมาณ 1,892.22 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 21.45 ของพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด ดังแสดงใน Figure 1

วิธีการ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ โดยมีขั้นตอนการศึกษาโดยรวม ซึ่งประกอบด้วย 1) การรวบรวมข้อมูล 2) การจัดเตรียมข้อมูล 3) การ

วิเคราะห์ข้อมูล 4) การเกลี่ยข้อมูล 5) การเปลี่ยนรูปแบบข้อมูล 6) การเปรียบเทียบผล 7) การวิเคราะห์ความสอดคล้อง โดยมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การรวบรวมข้อมูล DEM จากดาวเทียม TERRA ข้อมูล DEM จากข้อมูลเส้นชั้นความสูงและจุดระดับความสูงจากแผนที่ภูมิประเทศลำดับชุด L7017 และ L7018 ของกรมแผนที่ทหาร ข้อมูลลักษณะทางธรณีวิทยา จากแผนที่ธรณีวิทยา ของกรมทรัพยากรธรณี ข้อมูลลักษณะดินจากแผนที่ชุดดินผลิต พ.ศ. 2552 ของกรมพัฒนาที่ดิน และข้อมูลชั้นคุณภาพลุ่มน้ำจากแผนที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยขยุง ลุ่มน้ำลำโดมใหญ่ และลุ่มน้ำลำโดมน้อยที่ได้จำแนกไว้บางส่วน ของสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

2. การจัดเตรียมข้อมูลความสูง ความลาดชัน ภูมิลักษณะ ลักษณะทางธรณีวิทยา และลักษณะดินให้อยู่ในประเภทแรสเตอร์ (raster) ขนาดกริด 30x30 เมตร ซึ่งเป็นขนาดกริดของข้อมูล ASTER GDEM เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำซึ่งสร้างจากข้อมูล DEM จากแหล่งที่มาที่แตกต่างกันด้วยขนาดกริดที่เท่ากัน โดยมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1 ข้อมูลความสูง โดยการวิเคราะห์ข้อมูลจาก ASTER GDEM และข้อมูล DEM จากข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศลำดับชุด L7017 และ L7018 ด้วยโปรแกรมทางด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยใช้ฟังก์ชัน Raster Calculator โดยการหาค่าความสูงด้วย 10 ตามขั้นตอนการเตรียมข้อมูลในการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำด้วยสมการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำมูลและชี ซึ่งต้องการลดค่าความสูงลง เพื่อสะดวกในการคำนวณ อนึ่ง ในการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำมูลและชีระหว่างปี พ.ศ. 2528-2530 นั้น ใช้ข้อมูลความสูงจาก

แผนที่ L7017 ซึ่งปัจจุบันกรมแผนที่ทหารจัดทำแผนที่ชุด L7018 มาทดแทนแล้ว การศึกษานี้จึงใช้ข้อมูลความสูงจากแผนที่ทั้งสองชุดเพื่อเปรียบเทียบกัน

2.2 ข้อมูลความลาดชัน โดยการวิเคราะห์ข้อมูลจาก DEM ด้วยโปรแกรมทางด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์โดยใช้ฟังก์ชัน Slope โดยกำหนดให้ค่าความลาดชันอยู่ในรูปแบบร้อยละของพื้นที่

2.3 ข้อมูลภูมิลักษณะโดยการนำข้อมูล DEM มาวิเคราะห์หาภูมิลักษณะโดยใช้โปรแกรมทางด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ด้วยวิธีการจำแนกภูมิลักษณะของสถาบัน Missouri Resource Assessment Partnership (MoRAP) (2002) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{Landform} = \text{RSlope} + \text{Relief} \quad (1)$$

โดย Landform คือ ค่าแทนภูมิลักษณะ

RSlope คือ ช่วงชั้นความลาดชันของพื้นที่

Relief คือ ช่วงชั้นความสูง

โดยการจำแนกภูมิลักษณะของสถาบัน Missouri Resource Assessment Partnership ได้จำแนกภูมิลักษณะด้วยความลาดชัน โดยแบ่งออกเป็นช่วงชั้นร้อยละความลาดชันของพื้นร้อยละ 0-8 และความลาดชันมากกว่าร้อยละ 8 และจำแนกภูมิลักษณะด้วยความสูง โดยแบ่งออกเป็นช่วงชั้นความสูง 0-15 เมตร, 15-30 เมตร, 30-90 เมตร, 90-150 เมตร, 150-300 เมตร, 300-900 เมตร และมากกว่า 900 เมตร แล้วจึงนำข้อมูลช่วงชั้นความสูงและข้อมูลช่วงชั้นความลาดชันมารวมกันด้วยฟังก์ชัน Raster Calculator แต่เนื่องจากพื้นที่ศึกษาไม่ปรากฏพื้นที่ที่มีช่วงชั้นความสูงมากกว่า 900 เมตร จึงมีภูมิลักษณะของพื้นที่ 12 รูปแบบ คือ ภูมิลักษณะรูปแบบที่ราบต่ำ (flat plains), ที่ราบ (smooth plains), ที่ราบความสูงไม่

สม่ำเสมอ (irregular plains), ที่ราบกับเนินเขาต่ำ (plains with low hills), ที่ราบกับเนินเขา (plains with hills), ที่ราบกับภูเขาต่ำ (plains with low mountains), ที่ราบขรุขระมีความสูง 0–15 เมตร (rough plains), ที่ราบขรุขระความสูง 15–30 เมตร (rugged plains), บริเวณพื้นที่ระหว่างที่ราบกับเนินเขาต่ำ (breaks), เนินเขาต่ำ (low hills), เนินเขา (hills) และภูเขาต่ำ

(low mountains) จากนั้นทำการจัดกลุ่มข้อมูล (reclassify) โดยการใช้การประเมินค่าตัวแปรตามผลการศึกษาตัวแปรภูมิลักษณะของ Wooldridge (1984) โดยได้ค่าตัวแปรภูมิลักษณะ 21, 19, 18, 17, 15, 14, 13, 12, 11, 10, 8 และ 4 คะแนน ตามลำดับ มีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังแสดงใน Figure 2

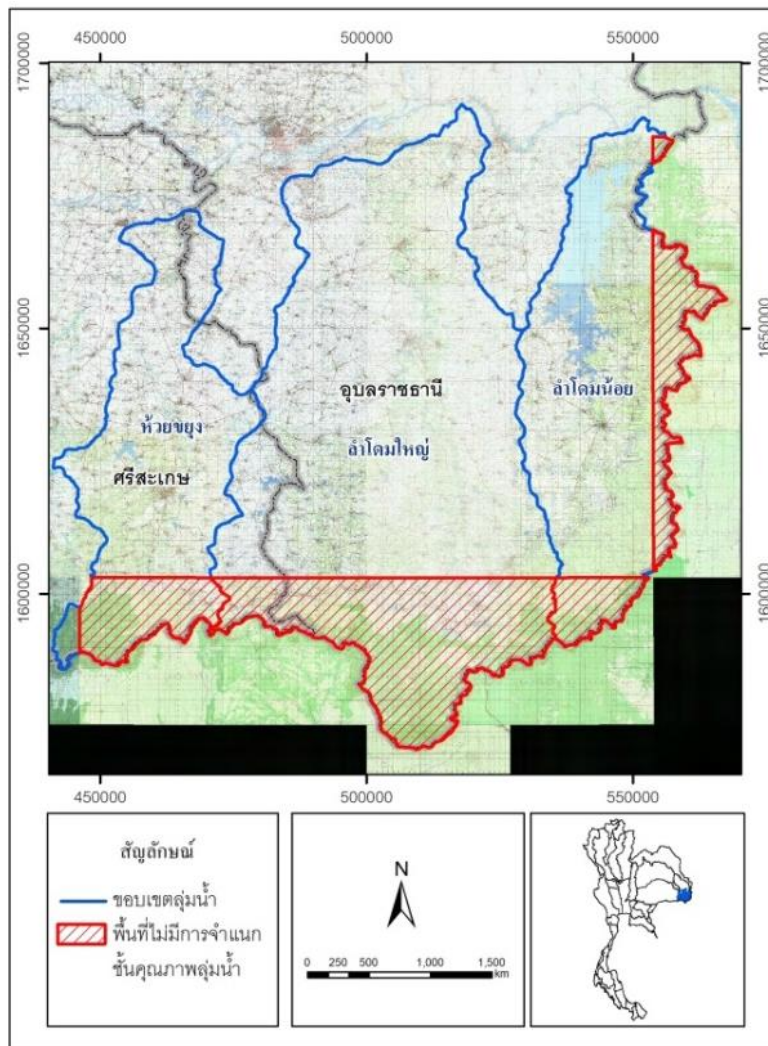


Figure 1 Unclassified watershed areas.

2.4 ข้อมูลลักษณะทางธรณีวิทยา โดยการนำข้อมูลจากแผนที่ธรณีวิทยา มากำหนดค่าตัวแปรตามประเภทของหิน ตามผลการศึกษาค่าตัวแปรลักษณะทางธรณีวิทยาตามอัตราส่วนการกระจายตามประเภทของชนิดหิน (dispersion ratio) ของ Wooldridge (1984) จากนั้นทำการเปลี่ยนรูปแบบข้อมูลธรณีวิทยาให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลประเภทแรสเตอร์ ด้วยฟังก์ชัน Polygon to Raster

2.5 ข้อมูลลักษณะดิน โดยการนำข้อมูลจากแผนที่ชุดดินผลิต พ.ศ. 2552 ของกรมพัฒนาที่ดิน มากำหนดค่าตัวแปรตามชนิดของดิน ตามผลการศึกษาที่กำหนดค่าตัวแปรลักษณะดินตามชนิดดิน โดยใช้อัตราส่วนของ ความลึก:ความอุดมสมบูรณ์:สมรรถนะการพังทลาย คือ 1:3:2 ของ Department of Conservation (1988) จากนั้นทำการเปลี่ยนรูปแบบข้อมูลดินให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลประเภทแรสเตอร์ ด้วยฟังก์ชัน Polygon to Raster

3. การวิเคราะห์ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำด้วยโปรแกรมทางด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์โดยใช้สมการมาตรฐานในการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำมูลและชี ดังนี้

$$\begin{aligned} WSC = & 1.071 - 0.019(\text{slope}) + 0.001(\text{elevation}) \\ & + 0.190(\text{landform}) + 0.049(\text{geology}) - \\ & 0.013(\text{soil}) \end{aligned} \quad (2)$$

WSC คือ ค่าดัชนีชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ

slope คือ ความลาดชัน

elevation คือ ความสูง

landform คือ ภูมิลักษณะ

geology คือ ลักษณะทางธรณีวิทยา

soil คือ ลักษณะดิน

ซึ่งค่าดัชนีชั้นคุณภาพลุ่มน้ำสามารถจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำตามเกณฑ์การจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำมูลและชี

ได้ ดังนี้

ลุ่มน้ำชั้นที่ 1 มีค่า WSC น้อยกว่า 1.55

ลุ่มน้ำชั้นที่ 2 มีค่า WSC 1.55-2.55

ลุ่มน้ำชั้นที่ 3 มีค่า WSC 2.55-3.55

ลุ่มน้ำชั้นที่ 4 มีค่า WSC 3.55-4.75

ลุ่มน้ำชั้นที่ 5 มีค่า WSC มากกว่า 4.75

แล้วจำแนกพื้นที่ซึ่งมีระดับความสูงตั้งแต่ 500 เมตรขึ้นไป เป็นลุ่มน้ำชั้น 1 ตามวิธีการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำพื้นที่ลุ่มน้ำมูลและชี เนื่องจากพื้นที่ลุ่มน้ำมูลและชีมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบสูง หากไม่กำหนดพื้นที่ที่ความสูงตั้งแต่ 500 เมตรขึ้นไป เป็นลุ่มน้ำชั้น 1 ผลการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำจะไม่สอดคล้องข้อเท็จจริงในพื้นที่

4. การเปลี่ยนข้อมูลผลการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำโดยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ พบว่ามีพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำขนาดเล็กแทรกตัวในกลุ่มชั้นคุณภาพลุ่มน้ำอื่นกระจายตัวอยู่เป็นจำนวนมาก จึงใช้ฟังก์ชัน Focal Statistic ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ด้วยรูปแบบ Majority ทำการวิเคราะห์ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำของแต่ละกริดใหม่ โดยวิเคราะห์ข้อมูลชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่อยู่โดยรอบแต่ละกริดเพื่อหาชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่มีความโดดเด่นตามขนาดพื้นที่ที่กำหนด เพื่อลดการแทรกตัวพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำขนาดเล็กในกลุ่มชั้นคุณภาพลุ่มน้ำอื่น

5. การเปลี่ยนรูปแบบข้อมูลชั้นคุณภาพลุ่มน้ำประเภทแรสเตอร์ เป็นข้อมูลประเภทเวกเตอร์ (vector) ซึ่งในการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลในรูปแบบข้อมูลประเภทแรสเตอร์ ซึ่งมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมต่อเนื่องกัน ทำให้บริเวณรอยต่อระหว่างพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำมีลักษณะเป็นขั้นบันได ซึ่งไม่สอดคล้องกับสภาพข้อเท็จจริงในพื้นที่ และยากต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานจึงเปลี่ยนรูปแบบข้อมูลชั้น

คุณภาพลุ่มน้ำประเภทแรสเตอร์เป็นข้อมูลประเภทเวกเตอร์และใช้ฟังก์ชัน Smooth Polygon เพื่อลดเหลี่ยมและมุมของข้อมูลประเภทเวกเตอร์

6. การวิเคราะห์ความถูกต้อง (accuracy) ของการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ โดยเปรียบเทียบกับชั้นคุณภาพลุ่มน้ำตามมติคณะรัฐมนตรีในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยขยุง ลุ่มน้ำลำโดมใหญ่ และลุ่มน้ำลำโดมน้อยซึ่งได้มีการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำไว้บางส่วนตาม Figure 3 ณ ตำแหน่งเดียวกันทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยมีขั้นตอนตาม Figure 4

7. การวิเคราะห์ความสอดคล้อง (kappa index) ระหว่างการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และชั้นคุณภาพลุ่มน้ำตามมติคณะรัฐมนตรีซึ่งได้กำหนดไว้บางส่วน เพื่อเปรียบเทียบความสอดคล้องเชิงปริมาณระหว่างข้อมูลสองชุด โดยใช้วิธีการหาค่า Kappa Index จากสมการ

ของ Cohen (1960) โดยผลลัพธ์ของการหาค่า Kappa Index มีค่าตั้งแต่ -1 ถึง 1 ซึ่งหากค่า Kappa Index เข้าใกล้ 1 มาก หมายความว่า ข้อมูลมีความสอดคล้องมากตามขึ้นค่า Kappa Index (Office Of Natural Resources and Environmental Policy and Planning, 2009) โดยสมการที่ใช้มีรายละเอียด ดังนี้

$$\bar{K} = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r Y_i Z_i}{N^2 - \sum_{i=1}^n Y_i Z_i} \quad (3)$$

$\bar{K}$ คือ ค่า Kappa Index

r คือ จำนวนแถว (row) และแนว (column)

ในเมตริกซ์ความคลาดเคลื่อน (error matrix)

N คือ จำนวนค่าสังเกตทั้งหมด

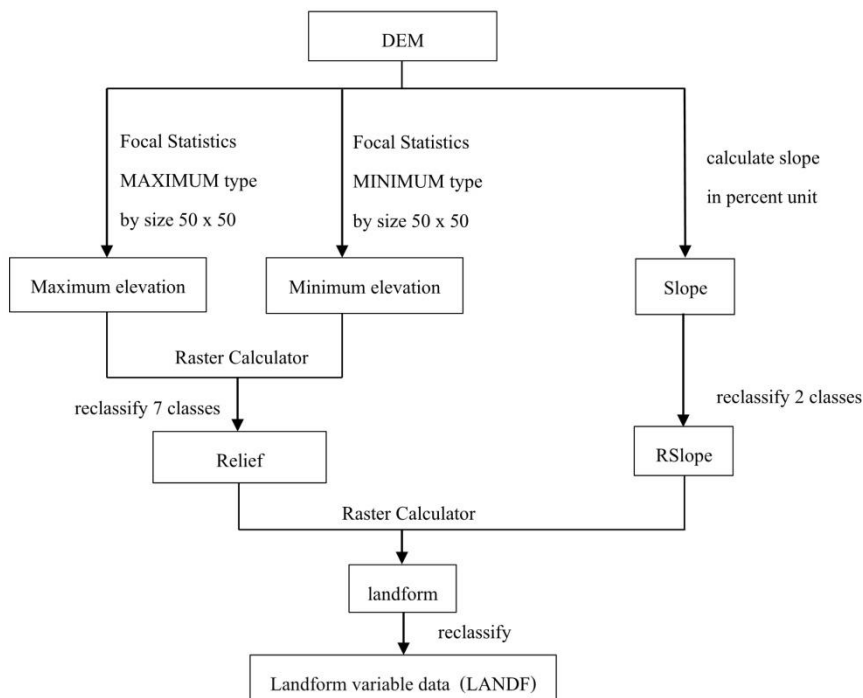


Figure 2 Flowchart to create the landform variable layer from MoRAP (2002).

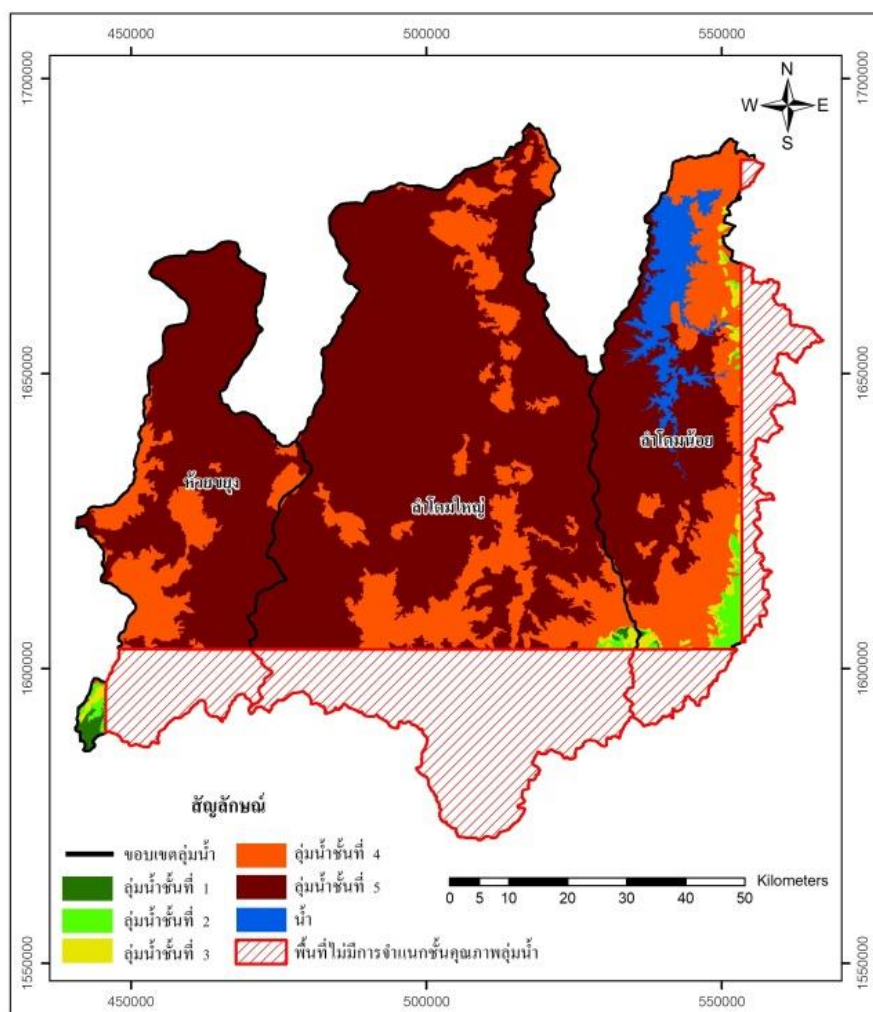


Figure 3 Classification of some parts in the watershed areas.

X_{ij} คือ ค่าสังเกตในแถว (row i) และแนว (column j)
 Y_i คือ ผลรวมค่าสังเกตทั้งหมดของแถว (row i)
 Z_j คือ ผลรวมค่าสังเกตทั้งหมดของแนว (column j)
 โดยค่า Kappa Index สามารถจำแนกเป็นระดับ
 ความสอดคล้องได้ ดังนี้

น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0 ความสอดคล้องระดับ
 น้อยมาก (less than chance agreement)

0.01-0.20 ความสอดคล้องระดับน้อย
 (slight agreement)

0.21-0.40 ความสอดคล้องระดับพอใช้ (fair
 agreement)

0.41-0.60 ความสอดคล้องระดับปานกลาง
 (moderate agreement)

0.61-0.80 ความสอดคล้องระดับมาก
 (substantial agreement)

0.81-0.99 ความสอดคล้องระดับมากที่สุด
 (almost perfect agreement)

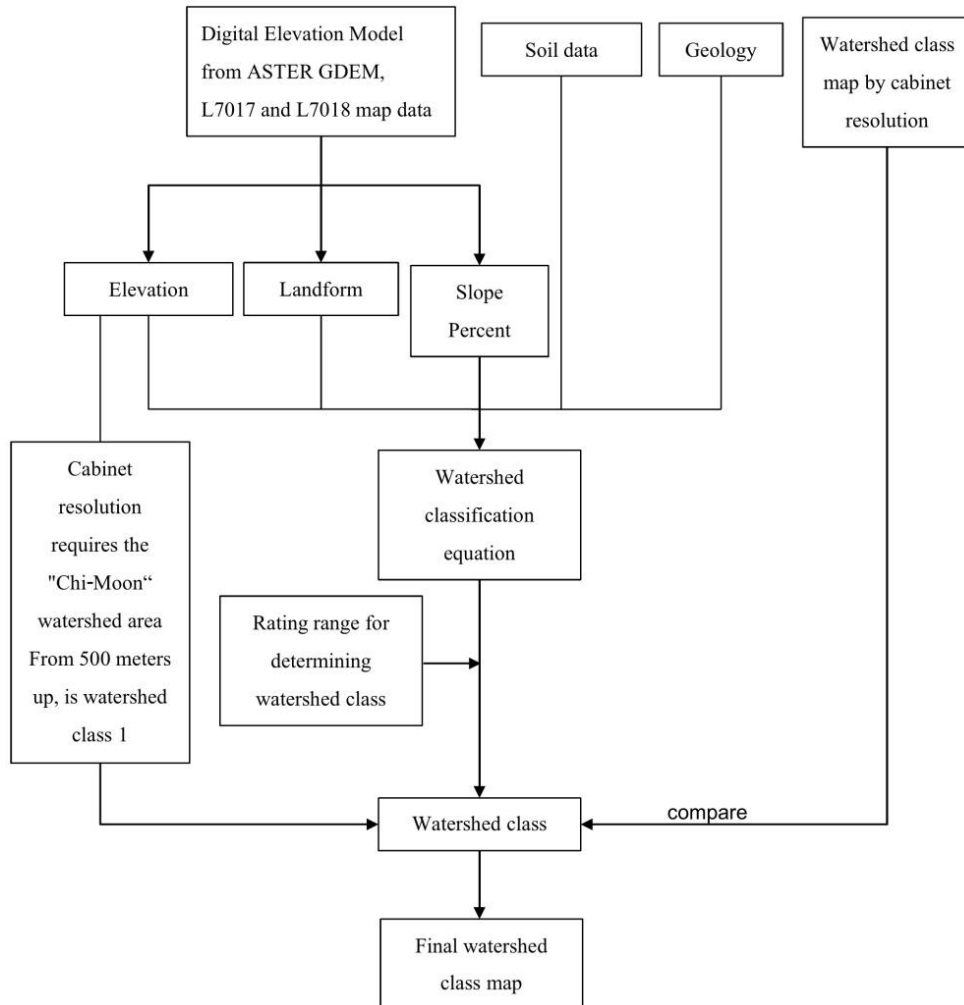


Figure 4 Flowchart for comparing the quality of watershed classification.

ผลและวิจารณ์

1. ผลการจัดเตรียมตัวแปร

1. ตัวแปรความสูง จากข้อมูล ASTER GDEM และ DEM จากข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศลำดับชุด L7017 และ L7018 ของกรมแผนที่ทหาร มีค่าตัวแปรความสูงมากที่สุดที่ 75, 76.02 และ 75.51 คะแนน ตามลำดับ และค่าต่ำสุดที่ 6, 9.80 และ 9.65 คะแนน ตามลำดับ โดยค่าตัวแปรความสูง 11-20

คะแนน มีสัดส่วนในพื้นที่ลุ่มน้ำมากที่สุด โดยมีสัดส่วนร้อยละ 81.20, 82.26 และ 81.83 ของพื้นที่ลุ่มน้ำตามลำดับ เนื่องจากสภาพภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นที่ราบสูง สอดคล้องกับ Hydro-Informatics Institute (Public Organization) (2012) ซึ่งได้ศึกษาลักษณะภูมิประเทศของกลุ่มน้ำมูลไว้ โดยพบว่าทางตอนล่างของกลุ่มน้ำมูลมีสภาพภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นที่ราบสูงมีความสูงของพื้นที่โดยเฉลี่ย 200 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง

2. ข้อมูลตัวแปรความลาดชัน จากข้อมูล ASTER GDEM และ DEM จากข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศลำดับชุด L7017 และ L7018 ของกรมแผนที่ทหารมีค่าตัวแปรความลาดชันสูงสุดที่ร้อยละ 163.98, 76.02 และ 75.51 ของพื้นที่ และค่าต่ำสุดที่ร้อยละ 0 ของพื้นที่ โดยตัวแปรความลาดชันร้อยละ 0-10 มีสัดส่วนในพื้นที่ลุ่มน้ำมากที่สุด โดยมีสัดส่วนร้อยละ 88.17, 90.18 และ 90.78 ของพื้นที่ลุ่มน้ำเนื่องจากลักษณะภูมิประเทศในเขตจังหวัดศรีสะเกษสภาพภูมิประเทศเป็นที่ราบสลับเนินเขา และในเขตจังหวัดอุบลราชธานีเป็นที่ราบลุ่มสลับลูกคลื่นลอนลาดถึงลูกคลื่นลอนชัน

3. ตัวแปรภูมิลักษณะ จากข้อมูล ASTER GDEM และ DEM จากข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศลำดับชุด L7017 และ L7018 ของกรมแผนที่ทหาร มีค่าตัวแปรภูมิลักษณะสูงสุด คือ 21 คะแนน และมีค่าตัวแปรต่ำสุด คือ 4 คะแนน โดยตัวแปรภูมิลักษณะจาก ASTER GDEM มีค่าตัวแปรภูมิลักษณะมากที่สุดคือ 19 คะแนน รองลงมาคือ 18 และ 8 คะแนน โดยมีสัดส่วนพื้นที่ร้อยละ 49.50, 28.82 และ 7.71 ตามลำดับ สำหรับตัวแปรภูมิลักษณะของ DEM จากข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศลำดับชุด L7017 มีค่าตัวแปรภูมิลักษณะมากที่สุดคือ 21 คะแนน รองลงมาคือ 19 และ 8 คะแนน โดยมีสัดส่วนพื้นที่ร้อยละ 65.05, 11.88 และ 7.43 ตามลำดับ และตัวแปรภูมิลักษณะของ DEM จากข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศลำดับชุด L7018 มีค่าตัวแปรภูมิลักษณะมากที่สุดคือ 21 คะแนน รองลงมาคือ 19 และ 8 คะแนน โดยมีสัดส่วนพื้นที่ร้อยละ 64.170, 12.984 และ 6.950 ตามลำดับ

4. ตัวแปรลักษณะทางธรณีวิทยา พบว่าพื้นที่ศึกษาประกอบไปด้วยชนิดหิน 4 ชนิด ตามแผนที่ธรณีวิทยา ได้แก่ Basalt and Gabbro, Upper Cretaceous Sediment, Quaternary Terraces และ Jurassic Triassic มีค่าตัวแปร 1.53, 1.60, 1.74

และ 2.51 คะแนน ตามลำดับ โดยมีสัดส่วนพื้นที่ร้อยละ 5.29, 84.40, 2.13 และ 8.18 ของพื้นที่ศึกษาตามลำดับ

5. ตัวแปรลักษณะดิน พบว่า พื้นที่ศึกษาประกอบไปด้วยกลุ่มดิน จำนวน 20 กลุ่ม ตามแผนที่ชุดดิน ซึ่งนำมากำหนดเป็นค่าตัวแปรได้จำนวน 5 กลุ่ม ตัวแปร ได้แก่ 0.83, 1.11, 1.66, 2.22, 2.68 และ 3.04 คะแนน ตามลำดับ โดยมีสัดส่วนพื้นที่ ร้อยละ 39.74, 0.48, 5.41, 39.31, 1.01 และ 14.05 ของพื้นที่ศึกษาตามลำดับ

2. ผลการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ

จากการศึกษาพบว่า การจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยขยุง ลุ่มน้ำลำโดมใหญ่ และลุ่มน้ำลำโดมน้อย โดยข้อมูล ASTER GDEM มีสัดส่วนพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำชั้นที่ 1 ถึง 5 ร้อยละ 3.87, 5.51, 4.09, 50.18 และ 36.35 ของพื้นที่ลุ่มน้ำตามลำดับ ในขณะที่การจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำโดย DEM จากข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศลำดับชุด L7017 มีสัดส่วนพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำชั้นที่ 1 ถึง 5 ร้อยละ 3.69, 6.04, 4.19, 20.73 และ 65.35 ของพื้นที่ลุ่มน้ำตามลำดับ และการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำโดย DEM จากข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศลำดับชุด L7018 มีสัดส่วนพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำชั้นที่ 1 ถึง 5 ร้อยละ 3.91, 5.52, 3.85, 21.88 และ 64.84 ของพื้นที่ลุ่มน้ำตามลำดับ โดยพบว่าการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ได้จาก ASTER GDEM มีสัดส่วนพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำชั้นที่ 4 มากที่สุด รองลงมา คือ ชั้นที่ 5 แตกต่างไปจากการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำโดย DEM ที่สร้างจากข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ L7017 และ L7018 ซึ่งมีสัดส่วนพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำชั้นที่ 5 มากที่สุด รองลงมาคือชั้นที่ 4 เนื่องจาก ASTER GDEM มีแหล่งที่มาของข้อมูลที่แตกต่างไปจาก DEM จากข้อมูล

แผนที่ภูมิประเทศลำดับชุด L7017 และ L7018 ของกรมแผนที่ทหาร ส่งผลให้มีข้อมูลความสูงแตกต่างกันไปจาก DEM จากข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ ซึ่งข้อมูล DEM เป็นข้อมูลที่ใช้ในการสร้างข้อมูลตัวแปรความสูง ความลาดชัน และภูมิลักษณะ ในการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ จึงส่งผลให้สัดส่วนพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำในแต่ละชั้นแตกต่างกัน ดังแสดงใน Table 1 และ Figure 5

เมื่อวิเคราะห์ความถูกต้องและความสอดคล้องของการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำกับชั้นคุณภาพลุ่มน้ำตามมติคณะรัฐมนตรีที่ได้มีการจำแนกไว้บางส่วนตาม Figure 3 ที่ตำแหน่งเดียวกัน พบว่าการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำจาก ASTER GDEM มีความถูกต้องร้อยละ 61.66 ของพื้นที่และมีความสอดคล้องระดับพอใช้ ($Kappa=0.29$) ในขณะที่การจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำโดย DEM จากข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศลำดับชุด L7017 มีความถูกต้องร้อยละ 83.47 และมีความสอดคล้องระดับปานกลาง ($Kappa=0.56$) และการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำโดย DEM จากข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศลำดับชุด L7018 มีความถูกต้องร้อยละ 84.76 ของพื้นที่ตามลำดับ และมีความสอดคล้องระดับปานกลาง ($Kappa=0.60$) ตามลำดับ ซึ่งการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำจาก

ASTER GDEM มีค่าความถูกต้อง และค่าความสอดคล้องต่ำกว่า DEM จากข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ สอดคล้องกับ Waisurasinha *et.al.* (2010) ที่ได้ทำการศึกษาการประเมินคุณภาพของ DEM ที่ให้บริการในประเทศไทย ซึ่งพบว่าข้อมูล ASTER GDEM มีค่า RMS Error สูงที่สุดซึ่งบ่งชี้ถึงความถูกต้องทางดิ่งต่ำที่สุด Srisoontorn (2007) ศึกษาการประมาณค่าความสูงเฉลี่ยของหุบเขาจาก DEM พบว่า ASTER GDEM เป็นข้อมูลที่ถูกต้องในระดับโลก จึงมีความคลาดเคลื่อนจากความสูงของพื้นผิวโลกจริงมากกว่า DEM จากข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ ซึ่งเป็นการจัดทำข้อมูลในระดับประเทศ และ Sawangjan and Tantasirin (2019) ได้ศึกษาผลของแหล่งที่มาของ DEM ต่อความถูกต้องของการแยกโครงข่ายการระบายน้ำอัตโนมัติด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ทางอุทกวิทยาพบว่า ASTER GDEM ให้ค่าความถูกต้องต่ำสุด ประกอบกับการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำในอดีตได้ใช้ข้อมูลจากแผนที่ภูมิประเทศลำดับชุด L7017 เป็นข้อมูลหลักในการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ ดังนั้น การจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำจากข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศจึงมีความถูกต้องและความสอดคล้องมากกว่าการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำจาก ASTER GDEM ดังแสดงใน Table 2

Table 1 Watershed classification using the geographic information system.

Digital Elevation Model	ratio of watershed class (percent of watershed area)					Total
	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5	
Aster GDEM	3.87	5.51	4.09	50.18	36.35	100
map L7017	3.69	6.04	4.19	20.73	65.35	100
map L7018	3.91	5.52	3.85	21.88	64.84	100

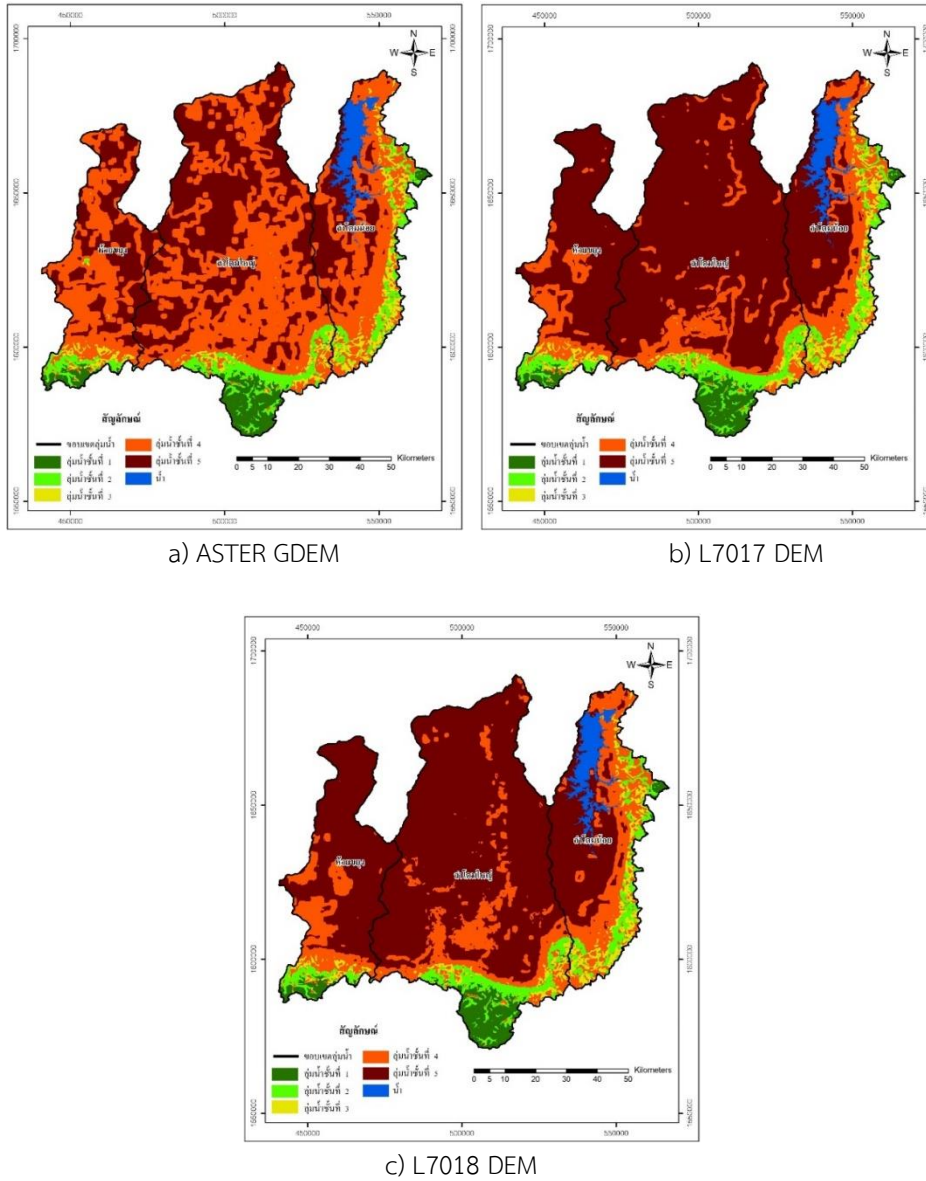


Figure 5 Watershed classification map using the digital elevation model from different sources.

Table 2 Consistency of watershed classes derived from different DEMs and watershed classes according to the cabinet resolution.

Digital Elevation Model	Consistency with the watershed class as of the cabinet resolution (square kilometer)						Accuracy	Kappa Index
	Watershed class	1	2	3	4	5		
ASTER GDEM	1	14.38	0.39	0.06	0	0	61.66	0.29
	2	10.65	42.95	22.15	6.47	1.60		
	3	0.51	23.04	30.17	25.50	3.86		
	4	0.05	8.58	19.13	1,337.05	2,174.56		
	5	0	0	0	269.04	2,702.52		
L7017 map	1	14.61	0.27	0.01	0	0	83.47	0.56
	2	10.61	49.41	25.62	4.33	0		
	3	0.20	17.57	31.14	16.94	0		
	4	0.18	7.72	14.74	903.46	294.60		
	5	0	0	0	713.32	4,587.95		
L7018 map	1	14.68	0.31	0.08	0	0	85.01	0.60
	2	10.35	49.42	25.62	4.96	0		
	3	0.40	16.78	28.30	18.72	0		
	4	0.17	8.46	17.51	973.22	258.33		
	5	0	0	0	641.11	4,624.22		

สรุป

จากการศึกษาการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยขยง ลุ่มน้ำลำโดมใหญ่ และลุ่มน้ำลำโดมน้อย พบว่าการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำโดยใช้ ASTER GDEM แตกต่างไปจากชั้นคุณภาพลุ่มน้ำจาก DEM จากข้อมูลจากข้อมูลจากแผนที่ภูมิประเทศ โดยสัดส่วนพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำชั้นที่ 4 และ 5 ของชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ได้ DEM จากข้อมูล ASTER GDEM มีพื้นที่ร้อยละ 50.18 และ 36.35 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ

ตามลำดับ ในขณะที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ได้จาก DEM จากข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ L7017 มีสัดส่วนพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำชั้นที่ 4 และ 5 มีพื้นที่ร้อยละ 20.73 และ 65.35 ของพื้นที่ลุ่มน้ำตามลำดับ และชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ได้จาก DEM จากข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ L7018 มีสัดส่วนพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำชั้นที่ 4 และ 5 มีพื้นที่ร้อยละ 21.88 และ 64.84 ของพื้นที่ลุ่มน้ำตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ความถูกต้องและความสอดคล้องของการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำโดย

เปรียบเทียบกับชั้นคุณภาพลุ่มน้ำตามมติคณะรัฐมนตรีที่ได้มีการจำแนกไว้บางส่วน พบว่า การจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำโดยใช้ DEM จากข้อมูลจากแผนที่ภูมิประเทศ L7018 มีความถูกต้องมากที่สุด รองลงมาคือ การจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำโดยใช้ DEM จากข้อมูลจากแผนที่ภูมิประเทศ L7017 และการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำโดยใช้ข้อมูล ASTER GDEM มีความถูกต้องร้อยละ 85.01, 83.47 และ 61.66 ของพื้นที่ตามลำดับ และมีความสอดคล้องระดับปานกลาง ($Kappa=0.60$) ระดับปานกลาง ($Kappa=0.56$) และระดับพอใช้ ($Kappa=0.29$) ตามลำดับ

วิธีการสร้างข้อมูลภูมิลักษณะของสถาบัน Missouri Resource Assessment Partnership มีความเหมาะสมกับพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยขย่ง ลุ่มน้ำลำโดมใหญ่ และลุ่มน้ำลำโดมน้อย ซึ่งมีสภาพภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นที่ราบสูง

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะจากงานวิจัย

1. การจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำโดยใช้ DEM จากข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหารให้ค่าความถูกต้องและระดับความสอดคล้องมากกว่าจากข้อมูล ASTER GDEM เมื่อเปรียบเทียบกับชั้นคุณภาพลุ่มน้ำตามมติคณะรัฐมนตรีที่ได้มีการจำแนกไว้บางส่วน เนื่องจาก DEM จากข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหารมีข้อมูลความสูงของภูมิประเทศใกล้เคียงกับความสูงในภูมิประเทศจริง ดังนั้นจึงควรใช้ DEM จากข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหารในการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ

2. การจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำโดยใช้ DEM จากข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศลำดับชุด L7017 และ L7018 ให้ค่าความถูกต้องและระดับความสอดคล้องเมื่อเปรียบเทียบกับชั้นคุณภาพลุ่มน้ำตามมติ

คณะรัฐมนตรีใกล้เคียงกัน ดังนั้น จึงสามารถเลือกใช้ DEM จากข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศในการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำทดแทนกันได้ตามความเหมาะสม

ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป

1. DEM เป็นข้อมูลสำคัญในการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำโดยเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ข้อมูลความลาดชัน ความสูง และภูมิลักษณะ ดังนั้น จึงควรศึกษาการใช้ข้อมูล DEM จากแหล่งที่มาอื่น ๆ ที่มีความละเอียดสูงและมีค่าความสูงใกล้เคียงกับความสูงในภูมิประเทศจริงยิ่งขึ้นในการจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ เช่น DEM จากอากาศยานไร้คนขับ

2. การสร้างข้อมูลภูมิลักษณะ โดยใช้รูปแบบการจำแนกภูมิลักษณะของสถาบัน Missouri Resource Assessment Partnership เป็นการจำแนกภูมิลักษณะอย่างกว้าง และมีความซับซ้อนของภูมิลักษณะน้อย ดังนั้น การจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำซึ่งมีภูมิลักษณะที่มีความซับซ้อนสูง จึงควรศึกษารูปแบบการจำแนกภูมิลักษณะรูปแบบอื่น ในการจัดทำข้อมูลตัวแปรภูมิลักษณะเพิ่มเติม เพื่อหารูปแบบการจำแนกภูมิลักษณะที่สอดคล้องกับภูมิลักษณะในพื้นที่นั้น

REFERENCES

- Chankaeo, K. 1996. *Principles of Watershed Management*. Department of Conservation, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Cohen, J. 1960. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement* 20: 37-40.
- Hydro-Informatics Institute (Public Organization). 2012. *Implementation of Data Collection and Analysis of Data on the 25 River Basin Data Warehouse*

- System Development Project and the Flood and Drought Model of the Mun Watershed.** asdecon corporation co. ltd, Bangkok. (in Thai)
- Jirakajohnkool, S. 2017. **Learn Geographic Information System with a Program ArcGIS Desktop 10.5.** Faculty of Science and Technology Thammasat University, Pathum Thani. (in Thai)
- Department of Conservation. 1988. **Watershed Classification for Environmental Conservation of Thailand.** Department of Conservation, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Missouri Resource Assessment Partnership (MoRAP). 2002. **Landform Modeling.** Available source: <https://morap.missouri.edu/index.php/landform-modeling/>, September 9, 2018.
- Office Of Natural Resources and Environmental Policy and Planning. 2009. **Project to Provide Detailed Technical Information for Improving the Watershed Classification of the Northern.** Office Of Natural Resources and Environmental Policy and Planning, Bangkok. (in Thai)
- Sawangjan, C. and C. Tantasirin. 2019. Effect of digital elevation model sources on accuracy of automated drainage network extraction based on hydrological spatial analysis methods. **Thai Journal of Forestry** 38(1): 122-132. (in Thai)
- Thangtham, N. 2017. **Watershed Classification of Thailand and Watershed Class with EIA.** Master of Science Program in Forest Resource and Environmental Administration, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Srisoontorn, W. 2007. **Estimation of the Average Height of Forest Stand Using Digital Elevation Model in Khlong Lan National Park, Kamphaeng Phet province.** M.S. thesis, Kasetsart University. (in Thai)
- Waisurasingha, C., S. Polpoon and J. Thongtheang. 2010. Assessment of the quality of digital elevation model availing for Thailand. **Journal of Remote Sensing and GIS Association of Thailand** 11(3): 21-30. (in Thai)
- Wooldridge, D. D. 1984. **A Method for Watershed Classification in Thailand.** Paper present in the ASEAN-US watershed project removing seminar on watershed management and research. Kosa hotel, Khon Kaen.
-