

การฟื้นฟูรูปแบบทิศทางการไหลสำหรับแบบจำลองอุทกวิทยาด้วยการประมวลข้อมูลภูมิประเทศ

Reconstituting Flow Directional Pattern for Hydrological Modelling Based on Information Processing of Terrain Data

สุพัตรา พุฒินาวรัตน์¹ ประเมศวร์ ท่อแก้ว² คณิต ไช้มุกด์¹ และวีรพงษ์ พลนิกรกิจ¹

Received: December, 2014; Accepted: March, 2015

บทคัดย่อ

อุทกภัยเป็นหนึ่งในภัยธรรมชาติที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุดและก่อให้เกิดความเสียหายต่อทั้งชีวิตและทรัพย์สินเป็นประจำทุกปี สาเหตุหลักประการหนึ่ง คือ คุณลักษณะของลุ่มน้ำหรือพื้นที่รับน้ำ ซึ่งส่งผลต่อการระบายน้ำและนำไปสู่การเกิดอุทกภัย ดังนั้นการวิเคราะห์ลักษณะการระบายน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำจึงมีความสำคัญสำหรับการวางแผนเพื่อศึกษาพฤติกรรมการเกิดอุทกภัย วิธีการเก็บรวบรวมและการวิเคราะห์คุณลักษณะลุ่มน้ำและพื้นที่รับน้ำจากข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขเป็นวิธีการหนึ่งซึ่งได้รับความนิยมในการประยุกต์ใช้ด้านอุทกวิทยา บทความนี้นำเสนอวิธีการใหม่สำหรับการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์แบบหลายความละเอียด และเทคนิค D8 จากข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขและภาพถ่ายทางอากาศของจังหวัดปทุมธานีเปรียบเทียบกับ 3 เทคนิคที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ วิธี D8 วิธี D8 และ Stream burning และ วิธี D8 และ DSM จากการศึกษาพบว่าเทคนิคที่มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำจากข้อมูลแบบจำลองความสูงหลายความละเอียด (5 เมตร และ 15 เมตร) มากที่สุด คือ เทคนิค D8 และวิธีการวิเคราะห์การไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์แบบหลายความละเอียด

คำสำคัญ : สารสนเทศภูมิศาสตร์; ทิศทางการไหล; แบบจำลองความสูงภูมิประเทศเชิงเลข

¹ สำนักวิชาเทคโนโลยีสังคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา

² สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา

E-mail: phorkaew@sut.ac.th

Abstract

Flood is one of the most frequent natural disasters that cause major devastation. One of its primary causes is the characteristics of a river basin and watershed, affecting drainage capability and hence lead to inundation. The analysis of drainage basin area is therefore crucial for studying its behavior and preparing preventive measures. Deriving and analyzing river basin and watershed from Digital Elevation Model is one of most important step in various hydrological applications. This paper proposes a novel scheme for flow pattern analysis by using multi-resolution Gradient Vector Flow and D8 from aerial imaging of Pathumthani province. Its experimental results were compared against well established schemes, such as D8, D8 and Stream burning, including D8 and Digital Surface Model. The study revealed that recovering flow pattern from Digital Elevation Model (at the resolutions of 5 meters and 15 meters) with D8 and multi-resolution Gradient Vector Flow outperformed those in its class.

Keywords: GIS; Flow Direction; Digital Elevation Model

บทนำ

ภัยธรรมชาติมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี โดยเฉพาะอุทกภัยเกิดขึ้นบ่อยครั้งที่สุด คิดเป็น 41.4% ตามมาด้วย แผ่นดินไหวและพายุ (Asian Disaster Reduction Center, 2012) อุทกภัยแต่ละครั้งสร้างความเสียหายเป็นจำนวนมาก สาเหตุการเกิดอุทกภัยมีหลายปัจจัย (Supattra, P. et al., 2013) แต่ปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญ คือ คุณลักษณะของลุ่มน้ำ ซึ่งสามารถใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะการระบายน้ำในพื้นที่ได้ การวิเคราะห์ภูมิประเทศ (Terrain Analysis) เป็นองค์ประกอบสำคัญของการศึกษาทางด้านอุทกวิทยา ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ แบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model: DEM) เป็นข้อมูลที่ทำให้ทราบถึงลักษณะภูมิประเทศ เช่น แอ่ง (Basin) แม่น้ำ (River) แนวร่องน้ำ (Channel/Water Course) เป็นต้น รวมถึงใช้ในการวิเคราะห์ทางอุทกวิทยาเพื่อหาทิศทางการไหล (Flow Direction) การไหลสะสม (Flow Accumulation) และดัชนีการวิเคราะห์ภูมิประเทศ (Topographic Index: TI) นำไปสู่การหาพฤติกรรมการเกิดอุทกภัย เช่น ณ จุดใด ๆ ที่มีค่า TI มากบ่งบอกถึงแนวโน้มที่ดินจะถึงจุดอิ่มตัวด้วยน้ำก่อน และยังแสดงให้เห็นว่ามีโอกาสหรือความเป็นไปได้ของกริดนั้นจะเกิดการไหลของน้ำในลักษณะแบบบ่าหน้าดิน (Surface Flow) นอกจากนี้บริเวณที่มีค่า TI สูงมักเป็นกริดที่เป็นแนวเดียวกับแนวของแม่น้ำลำธารหรือบริเวณรอบแม่น้ำ (De Risi, R., 2013; Beven, K. J., 1997) ข้อจำกัดของการวิเคราะห์การไหลที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์มักจะเกิดความไม่ต่อเนื่องและเส้นทางน้ำขาดหายไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อนำไปใช้วิเคราะห์ในพื้นที่ที่มีลักษณะทางกายภาพเป็นพื้นที่ราบ (Flat Areas) (Kiss, Richard., 2004; Sedighi, A., 2008; Isared, K. and Ekasit, K., 2012)

อีกทั้งทิศทางการไหลที่ได้ถูกต้องน้อยลง กรณีที่ความละเอียดของแบบจำลองความสูงละเอียดต่ำ (Chen, F. and Xie, Z., 2008) ทำให้เมื่อนำข้อมูลทิศทางการไหลของน้ำไปใช้ในการคำนวณ การไหลสะสม และการวิเคราะห์ดัชนีภูมิประเทศ รวมถึงเมื่อนำไปใช้งานร่วมกับแบบจำลองทางอุทกวิทยาส่งผลต่อความถูกต้องในการจำลองอุทกภัย วิธีการแก้ไขข้อผิดพลาดที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน คือ นำแบบจำลองความสูงไปปรับระดับด้วยวิธีการสตรีมเบิร์นนิ่ง (Stream burning) (Maidment, D. R., 1996) กับแผนที่ขอบเขตแม่น้ำในรูปแบบเวกเตอร์ หลังจากนั้นจึงวิเคราะห์เพื่อหาทิศทางการไหลของน้ำจากแบบจำลองความสูงที่ปรับระดับแล้ว ซึ่งข้อจำกัดของวิธีการนี้ คือ ความถูกต้องขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความละเอียดของแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ใช้ ความถูกต้องของเวกเตอร์แมพ เป็นต้น (Kenny, F. and Matthews, B., 2005; Turcotte, R. et al., 2001) ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำเพื่อแก้ปัญหาทิศทางการไหลที่ได้จากการวิเคราะห์แบบเดิม ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง และเส้นทางน้ำขาดหายไปหรือคลาดเคลื่อน เนื่องจากความถูกต้องของเวกเตอร์แมพและความละเอียดของข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการใหม่ในการวิเคราะห์เพื่อหาทิศทางการไหล โดยใช้เทคนิค D8 ร่วมกับการประมวลผลภาพด้วยเทคนิคการไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์ (Gradient Vector Flow: GVF) เปรียบเทียบกับ 3 วิธีการที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ วิธี D8 วิธี D8 และ Stream burning รวมถึง วิธี D8 และ DSM

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

D8

เป็นวิธีที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายมากที่สุดสำหรับการวิเคราะห์ทิศทางการไหล (O'Callaghan, J. F. and Mark, D. M., 1984) นิยมนำไปใช้กับพื้นที่ขนาดเล็ก โดยในการวิเคราะห์พิจารณาจุดโดยรอบทั้ง 8 ทิศทาง ความลาดชันสูงสุดเกิดขึ้นในทิศทางใดกำหนดทิศทางนั้นเป็นทิศทางการไหล มีการนำอัลกอริทึม D8 มาใช้งานอย่างแพร่หลายทางด้านการวิเคราะห์ทางด้านอุทกวิทยา (O'Callaghan, J. F. and Mark, D. M., 1984; Quinn, P. F. B. J. et al., 1991; Costa-Cabral, M. C. and Burges, S. J., 1994) เช่น ใช้สำหรับแบบจำลองอุทกภัย (Flood Modeling) แบบจำลองปริมาณน้ำฝนน้ำท่า (rainfall-runoff modelling) (Tarboton, D. G., 1997; Nourani, V. et al., 2011; Isioye, O.A. et al., 2012; Eric K Forkuo., 2013) อย่างไรก็ตามอัลกอริทึม D8 ยังให้ผลลัพธ์ที่ไม่ถูกต้องหรือมีความขัดแย้งกับความเป็นจริงสำหรับการวิเคราะห์ทิศทางการไหลและหาขอบเขตลุ่มน้ำ โดยเฉพาะในพื้นที่ราบ (Kiss, Richard., 2004; Isared, K. and Ekasit, K., 2012)

วิธีการอื่นๆ

นอกจากวิธีการ D8 ยังมีวิธีการอื่น ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ทิศทางการไหล ได้แก่ MD8 (Ersine, R. H. et al., 2006; Seibert, J. and McGlynn, B. L., 2007; Chen, X. et al., 2013) D_{∞} (Tarboton, D. G., 1997; Tarboton, D. G., 2003) MD_{∞} (Seibert, J. and McGlynn, B. L., 2007) ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการวิเคราะห์การไหลแบบหลายทิศทาง ซึ่งแก้ไขข้อจำกัดของวิธี D8

ที่ไม่สามารถวิเคราะห์หลายทิศทางได้ แต่ทั้งนี้ยังประสบปัญหาสำหรับการใช้งานในบริเวณพื้นที่ราบ ผลลัพธ์ที่ได้ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง (Erskine, R. H. et al., 2006; Sameh W, A. M. and Broder J, M., 2011; Chen, X. et al., 2013)

Stream-burning

เนื่องจากการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้แบบจำลองความสูงเพียงอย่างเดียว ผลลัพธ์ที่ได้ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง (Getirana, A. C. et al., 2009; Zhang, H. and Huang, G., 2009; Luo, Y. et al., 2011; Isared, K. and Ekasit, K., 2012) และมีหลายงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่า การใช้เทคนิค Stream burning ทำให้ความถูกต้องในการวิเคราะห์ทิศทางการไหลเพิ่มขึ้น (Renssen, H. and Knoop, J. M., 2000; Callow, J. N. et al., 2007; Luo, Y. et al., 2011; Isared, K. and Ekasit, K., 2012) ดังนั้นจึงใช้เทคนิค Stream burning ในการปรับปรุงข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข โดยการปรับแก้ค่าระดับของแบบจำลองความสูงเชิงเลขด้วยข้อมูลเวกเตอร์ประเภทเส้น (Line) ของเส้นทางน้ำมาซ้อนทับข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข แล้วดำเนินการเปลี่ยนค่าระดับข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขใหม่ตามแนวเส้นทางน้ำ (Maidment, D. R., 1996) ซึ่งข้อจำกัดของวิธีการนี้ คือ ความถูกต้องขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความละเอียดของแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ใช้ ความถูกต้องของเวกเตอร์แมพ (Turcotte, R. et al., 2001; Kenny, F., and Matthews, B., 2005) นอกจากนี้ การใช้เทคนิคนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขอย่างถาวร ทำให้มีผลต่อความผิดพลาดในการคำนวณหรือวิเคราะห์หาค่าอื่น ๆ เช่น ค่าความชัน (Slope) และอาจนำไปสู่ค่าความสูงที่ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง

การไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์

งานวิจัยนี้นำการไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์มาใช้ในการวิเคราะห์ทิศทางการไหลไปยังเส้นขอบแม่น้ำ จากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ การไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์เป็นเทคนิคที่นำมาใช้ในด้าน การแบ่งส่วนภาพ ซึ่งปรับปรุงแนวคิดมาจากแอกทิฟคอนทัวร์แบบดั้งเดิม (Kass, M. et al., 1998) ข้อจำกัดคือ ไม่สามารถเกาะติดกับขอบที่ไม่ชัดเจนได้ ไม่ทนทานต่อสัญญาณรบกวน และมีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่จำกัด ทำให้ในการวางตำแหน่งเริ่มต้นของคอนทัวร์นั้น จำเป็นต้องวางใกล้กับวัตถุที่เราต้องการ จึงทำให้คอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่ไปยังวัตถุที่เราต้องการได้ และจากข้อจำกัดเหล่านี้ จึงมีการนำเสนอวิธีแอกทิฟคอนทัวร์ที่เรียกว่า การไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์ วิธีการนี้ใช้การแพร่ขยายบริเวณของแรงที่เข้าไปยังขอบของวัตถุ ในภาพออกไปโดยรอบ จึงทำให้คอนทัวร์มีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่กว้างมากขึ้น และมีความสามารถในการเคลื่อนที่เข้าไปยังส่วนที่มีลักษณะโค้งงอมาก ๆ ได้ดีขึ้น (Xu, C. and Prince, J. L., 1998) โดยสามารถคำนวณจากสมการ (1) (2) และ (3)

$$E = \iint \mu(\mu_x^2 + \mu_y^2 + \nu_x^2 + \nu_y^2) + |\nabla f|^2 |v - \nabla f|^2 dx dy \quad (1)$$

เมื่อ $v(x, y) = (u(x, y), v(x, y))$ คือ GVF Vector Field f คือ ขอบภาพ μ คือ พารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับอัตราส่วนระหว่างเทอมแรกและเทอมที่สอง ซึ่งเทอมแรกทำให้ข้อมูลเวกเตอร์มีความเรียบ ส่วนเทอมที่สอง คือ เทอมข้อมูลเวกเตอร์ ค่าของ μ ขึ้นอยู่กับปริมาณสัญญาณรบกวนในภาพ เช่น ถ้าสัญญาณรบกวนมีค่าสูง ค่าของ μ ควรสูงตามด้วย

$$\mu^2 \nabla^2 u - (u - f_x)(f_x^2 + f_y^2) = 0 \quad (2)$$

$$\mu^2 \nabla^2 v - (v - f_y)(f_x^2 + f_y^2) = 0 \quad (3)$$

เมื่อ ∇^2 ตัวดำเนินการลาปลาเซียน

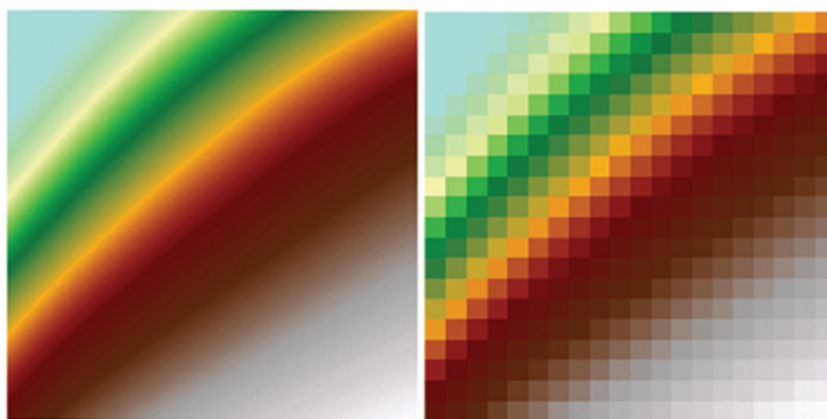
GVF มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในงานด้านการแบ่งส่วนภาพ (Tang, J., 2009; Wang, Y. et al., 2010; Liu, L., and Bovik, A. C., 2012; Liu, C. C. et al., 2012; Zhou, H. et al., 2013) นอกจากนี้ยังมีการนำไปใช้งานทางด้านการระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ได้แก่ ใช้ในการหาเส้นขอบต่าง ๆ จากภาพถ่ายดาวเทียม เช่น เส้นขอบแม่น้ำ เส้นขอบมหาสมุทร เส้นขอบถนน เป็นต้น (Marikhu, R. et al., 2007; Xiao, M. et al., 2008; Klinger, T. et al., 2010) ถึงแม้ว่า GVF สามารถแก้ไขปัญหที่เกิดจากวิธีการเดิมได้ แต่ผลลัพธ์ที่ได้ยังมีสัญญาณรบกวน (Goh, W. B., and Chan, K. Y., 2007) ดังนั้นควรใช้งาน Multi Resolution GVF เป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถใช้ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ โดย Multi Resolution GVF สามารถดำเนินการได้โดยการนำภาพต้นฉบับคอนโวลูชัน (Convolution) กับตัวกรองเกาส์เซียน (Ali, Z. et al., 2005) การใช้เกาส์เซียนพหุคูณกับภาพต้นฉบับ ภาพที่ได้จะมีความละเอียดที่แตกต่างกัน ซึ่งในความละเอียดต่ำภาพจะหยาบทำให้สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนหรือส่วนเกินออกไปได้

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เลือกใช้ 4 อัลกอริทึม ได้แก่ D8, D8 และ Stream burning, D8 และ DSM รวมถึง D8 และ GVF เพราะจากการทดลองเบื้องต้นโดยการนำแบบจำลองความสูงเชิงเลขของจังหวัดปทุมธานีไปวิเคราะห์โดยใช้อัลกอริทึม D8 MD8 D ∞ และ MD ∞ พบว่าทิศทางการไหลที่ได้ในแต่ละวิธี มีลักษณะการไหลอยู่ในลักษณะที่ไม่แตกต่างกัน และพบปัญหาคือ ทิศทางการไหลที่ได้ไม่สามารถระบุขอบเขตลุ่มน้ำหรือแม่น้ำ รวมถึงทิศทางการไหลไม่สอดคล้องกับบริเวณแนวลำน้ำ งานวิจัยนี้จึงศึกษาเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้ 4 อัลกอริทึมข้างต้น โดยมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ดังนี้

การเตรียมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขของจังหวัดปทุมธานี ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) ในรูปแบบแรสเตอร์ (Raster) ทดลองความละเอียด โดยใช้การประมาณค่าแบบไบลิเนียร์ (Bilinear Interpolation) ซึ่งมีวิธีการคำนวณโดยนำเอาค่าความสูงของจุดภาพเดิม 4 จุดที่อยู่รอบ ๆ ตำแหน่งของจุดภาพใหม่มา เพื่อใช้คำนวณหาค่าความสูงใหม่ เหตุผลที่ใช้วิธีการนี้เพราะข้อมูลที่ได้หลังการประมาณค่ามีความเรียบหรือมีความต่อเนื่องของข้อมูล ดังตัวอย่างในรูปที่ 1 นอกจากนี้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ (Aerial Photo) สำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค D8 และ GVF



รูปที่ 1 แบบจำลองความสูงภูมิประเทศเชิงเลขหลายความละเอียด

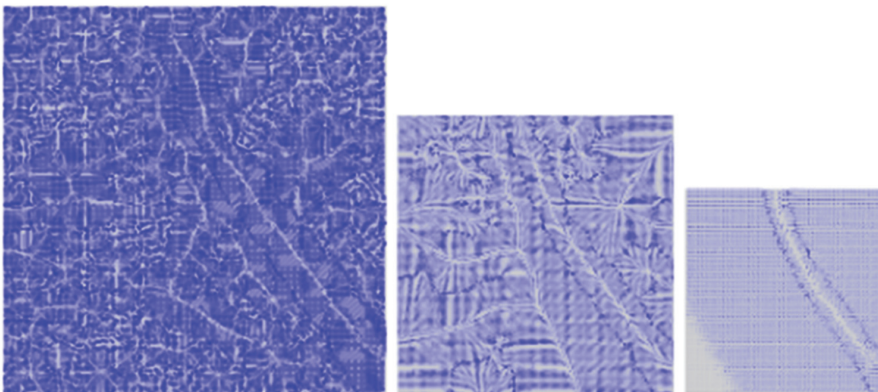
การวิเคราะห์ทิศทางการไหล

ขั้นตอนการทำงานในการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำทั้ง 4 อัลกอริทึม ได้แก่ D8, D8 และ Stream burning D8 และ DSM รวมถึง D8 และ GVF ประกอบด้วยขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนแรกคือการไหลของข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข หลังจากนั้นอ่านค่าข้อมูลเพื่อแสดงผล จากนั้นนำแบบจำลองความสูงไปคำนวณค่าของแต่ละแอ่งทรีบูตารีภูมิประเทศที่จำเป็นต้องใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ความลาดชัน ซึ่งในการคำนวณทิศทางการไหลคำนวณจากความลาดชันของเซลล์เพื่อนบ้าน โดยคำนวณความแตกต่างของข้อมูลความสูงหารด้วยระยะทางในแนวนอนสำหรับทิศทางการไหล ส่วนทิศทางในแนวทแยงมุมคำนวณความแตกต่างของข้อมูลความสูงหารด้วยระยะทางในแนวนอนคูณด้วยรากที่สองของเซลล์เพื่อนบ้านในแนวทแยงมุม ที่กล่าวมาเป็นขั้นตอนการวิเคราะห์ที่ทุกวิธีต้องผ่านกระบวนการดังกล่าว แต่ยังมีกระบวนการที่แตกต่างกันเพิ่มเติมใน 3 วิธี ได้แก่ D8 และ Stream burning, D8 และ DSM รวมถึง D8 และ GVF ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

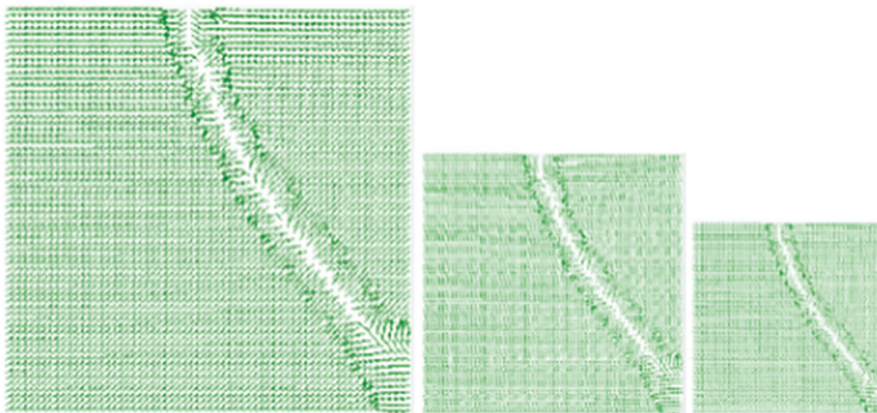
สำหรับวิธีการวิเคราะห์ด้วยอัลกอริทึม D8 และ Stream burning มีขั้นตอนเพิ่มเติม คือ นำแบบจำลองความสูงเชิงเลขไปปรับระดับความสูง โดยใช้ข้อมูลเวกเตอร์แม่ของแม่น้ำ ส่วนอัลกอริทึม D8 และ DSM ซึ่งใช้แบบจำลองความสูงชนิดแบบจำลองพื้นผิว (Digital Surface Model: DSM) ในการวิเคราะห์ ซึ่ง DSM จะรวมความสูงของวัตถุที่ปรากฏบนพื้นโลก รวมถึงความสูงของต้นไม้และ

สิ่งปลูกสร้างจึงจำเป็นต้องนำ DSM ไปผ่านกระบวนการทอนค่าความสูงพื้นผิวปกคลุมภูมิประเทศเป็นค่าความสูงพื้นผิวภูมิประเทศที่แท้จริง (Bare Earth Elevation) ก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยขั้นตอนที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

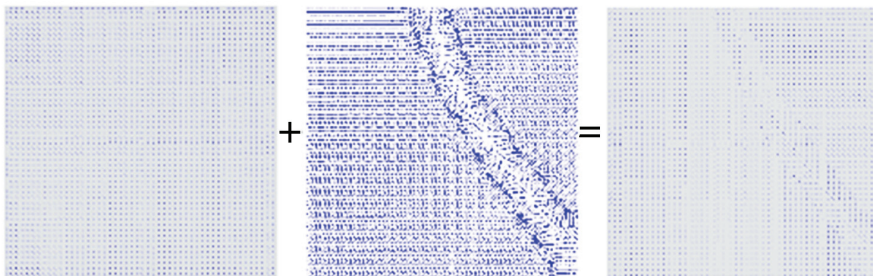
ส่วนวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลที่นำเสนอใช้อัลกอริทึม D8 และ GVF ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 การวิเคราะห์ทิศทางการไหลจากข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขโดยใช้เทคนิค D8 ซึ่งกระบวนการนี้เหมือนกับวิธีการวิเคราะห์อื่น ๆ ข้างต้น สำหรับขั้นตอนที่ 2 การหาทิศทางการไหลไปยังบริเวณแม่น้ำหรือลำน้ำจากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ ประกอบด้วยขั้นตอนย่อย ๆ 3 ขั้นตอน ได้แก่ การแปลงภาพเป็นภาพแบบหลายความละเอียด การหาเส้นขอบภาพ และการคำนวณการไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์ ในส่วนของการแปลงภาพเป็นหลายความละเอียดใช้วิธีเกาส์เซียนปริมาตรสำหรับการหาเส้นขอบภาพใช้วิธีเคนนี่ (Canny) โดยเริ่มต้นจากการปรับภาพให้เรียบด้วยตัวกรองเกาส์เซียน เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวน หลังจากนั้นคำนวณค่าขนาดและทิศทางของเกรเดียนต์ โดยใช้การหาอนุพันธ์อันดับหนึ่ง ในขั้นตอนถัดมาทำให้ได้ขอบที่บางลง และในขั้นตอนสุดท้ายระบุพิกเซลที่เป็นขอบเมื่อได้ภาพจากการหาเส้นขอบภาพ นำมาวิเคราะห์ด้วยการไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์เพื่อหาทิศทางการไหลไปยังเส้นขอบแม่น้ำ ซึ่งภาพที่ได้ในแต่ละระดับความละเอียดนั้นยังมีส่วนเกิน ดังรูปที่ 2 เนื่องจากภาพนั้นยังมีสัญญาณรบกวน ซึ่งทำให้เวกเตอร์ทิศทางการไหลที่เกิดความผิดพลาด วิธีการกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากภาพใช้วิธีวิเคราะห์ด้วยการไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์แบบหลายความละเอียด คือนำเส้นขอบแต่ละระดับมาวิเคราะห์ด้วยการไหลเวกเตอร์เกรเดียนต์ร่วมกับเวกเตอร์ที่ได้ในระดับก่อนหน้า โดยใช้ร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าแบบไบลิเนียร์ ซึ่งผลที่ได้ทำให้เวกเตอร์ทิศทางการไหลที่ได้มีความถูกต้องและสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนออกไปได้ ดังรูปที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ของ μ ที่ใช้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.05 - 0.1 ส่วนขั้นตอนที่ 3 การรวมเวกเตอร์ทิศทางการไหลที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี D8 และเวกเตอร์ทิศทางการไหลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย GVF ในการหาทิศทางการไหลไปยังขอบเขตแม่น้ำหรือลุ่มน้ำ ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 2 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ด้วย GVF



รูปที่ 3 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ด้วย Multi Resolution GVF



รูปที่ 4 การรวม D8 และ GVF

การวิเคราะห์ทิศทางการไหลสะสม

เมื่อได้ทิศทางการไหลจากขั้นตอนก่อนหน้านี้ สามารถคำนวณค่าการไหลสะสมได้ โดยกำหนดให้แต่ละกริดมีค่าเท่ากับ 0 และเมื่อข้อมูลข้างเคียงมีทิศทางการไหลไปยังกริดใด ให้บวกเพิ่มค่ากริดนั้นเพิ่มอีก 1 เช่น กริดหนึ่งมีทิศทางการไหลเข้า 3 กริด กริดนั้นจะมีค่าเท่ากับ 3 และเมื่อกริดที่ถูกเพิ่มค่านั้นไหลไปยังกริดใดให้บวกค่าของกริดนั้นไปยังกริดใหม่ด้วย เช่น กริดเดิมที่มีค่าเท่ากับ 3 ไหลไปยังกริดใหม่ กริดใหม่นั้นจะมีค่าเท่ากับ 4 เป็นต้น

การวิเคราะห์ดัชนีภูมิประเทศ

เมื่อได้ทิศทางการไหลสะสม สามารถคำนวณสัดส่วนระหว่างพื้นที่รับน้ำสะสมจากตอนบนกับค่าความลาดชันของพื้นที่ ณ จุดหนึ่ง ๆ โดยสามารถคำนวณจากสมการที่ (4)

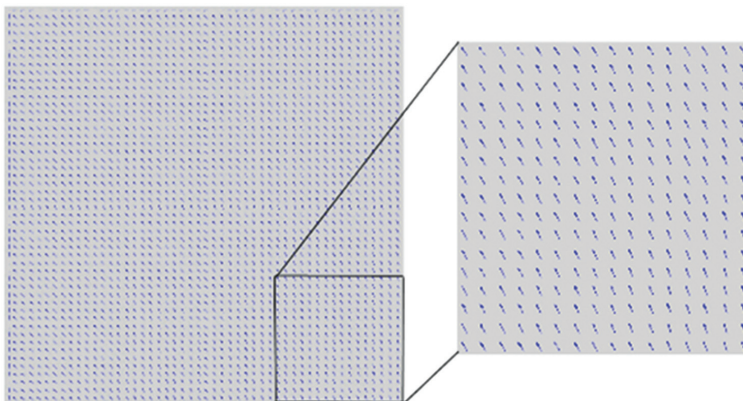
$$TI = \ln\left(\frac{a}{\tan \beta}\right) \quad (4)$$

เมื่อ TI	คือ	ค่าดัชนีภูมิประเทศ
a	คือ	พื้นที่สะสมจากตอนบนซึ่งน้ำได้ไหลผ่านมาจนถึงกริดที่กำลังพิจารณาต่อระยะทาง (Flow Accumulation)
$\tan \beta$	คือ	ความชัน

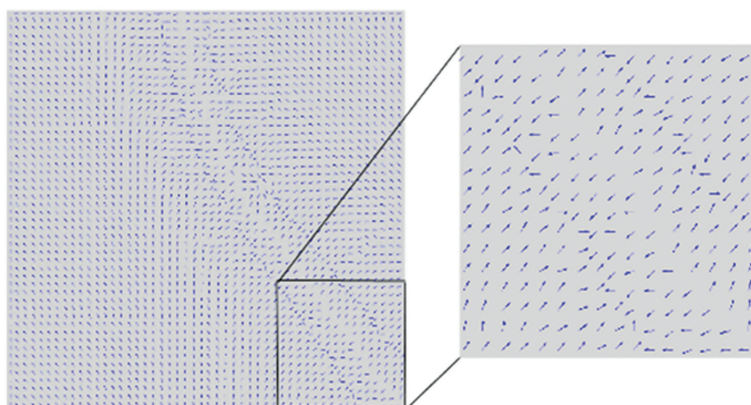
ค่าที่ได้จากการคำนวณเป็นตัวชี้วัดในการระบุว่าพื้นที่ใดมีความสามารถในการระบายน้ำได้ในลักษณะใด เช่น พื้นที่ที่มีค่า TI สูง บ่งบอกถึงแนวโน้มที่ดินจะถึงจุดอิ่มตัวด้วยน้ำก่อน พื้นที่นั้นจะมีน้ำสะสมมากแต่ระบายน้ำได้น้อย และมักเป็นกริดที่เป็นแนวเดียวกับแนวของแม่น้ำ ลำธาร หรือบริเวณใกล้ลำน้ำ ในทางกลับกันพื้นที่ที่มีค่า TI ต่ำพื้นที่นั้นจะมีน้ำสะสมน้อย และมีการเคลื่อนที่ไปยังบริเวณอื่นมาก

ผลการวิเคราะห์

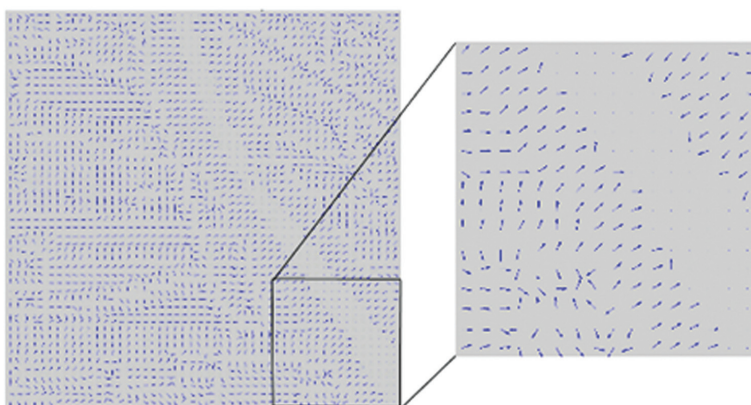
จากการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำโดยใช้อัลกอริทึม ได้แก่ D8, D8 และ Stream burning D8 และ DSM รวมถึง D8 และ GVF จากแบบจำลองความสูงเชิงเลขหลายความละเอียด (5 และ 15 เมตร) เมื่อพิจารณาทิศทางการไหลของน้ำที่ได้จากการวิเคราะห์จากทั้ง 4 อัลกอริทึม พบว่าทิศทางการไหลของน้ำที่ได้จากอัลกอริทึม D8 และ Stream burning รวมถึง D8 และ GVF มีทิศทางการไหลของน้ำที่ใกล้เคียงกัน คือ บริเวณพื้นที่ที่ใกล้แม่น้ำ ทิศทางการไหลวิ่งเข้าหาแม่น้ำแต่บริเวณอื่น ๆ ทิศทางการไหลขึ้นอยู่กับความสูงต่ำของพื้นที่จากข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข ทิศทางการไหลที่ได้จาก 2 วิธีดังกล่าวสามารถระบุขอบเขตบริเวณแม่น้ำได้ แสดงดังรูปที่ 6 และ 8 สำหรับทิศทางการไหลของน้ำที่ได้จากอัลกอริทึม D8 และ DSM สามารถระบุขอบเขตบริเวณแม่น้ำได้เช่นเดียวกัน แต่ทิศทางการไหลที่ได้เกิดความผิดพลาด คือ ทิศทางการไหลบางบริเวณวิ่งเข้าหาบริเวณที่เป็นอาคาร สิ่งก่อสร้าง เนื่องจากกระบวนการทอนค่าความสูงพื้นผิวปกคลุมภูมิประเทศ ให้เป็นค่าความสูงพื้นผิวภูมิประเทศมีความคลาดเคลื่อน ค่าความสูงในบางพื้นที่จึงไม่ถูกต้อง ทำให้กระทบต่อทิศทางการไหลที่ได้ แสดงดังรูปที่ 7 ส่วนทิศทางการไหลที่ได้จากอัลกอริทึม D8 ผลลัพธ์ที่ได้ไม่สามารถระบุขอบเขตบริเวณแม่น้ำได้ ดังรูปที่ 5



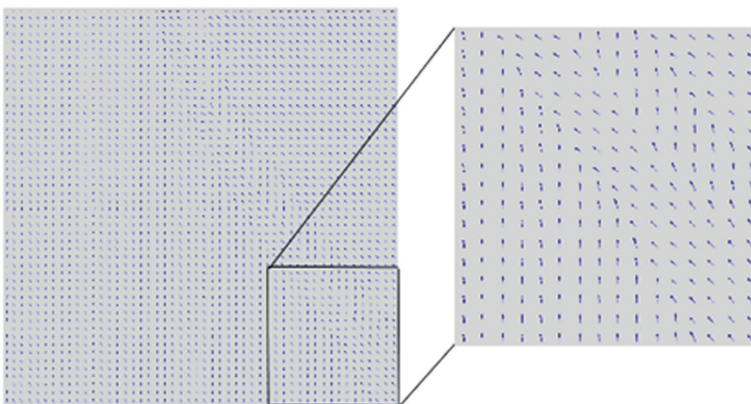
รูปที่ 5 ทิศทางการไหลวิธี D8



รูปที่ 6 ทิศทางการไหลวิธี D8 และ Stream burning

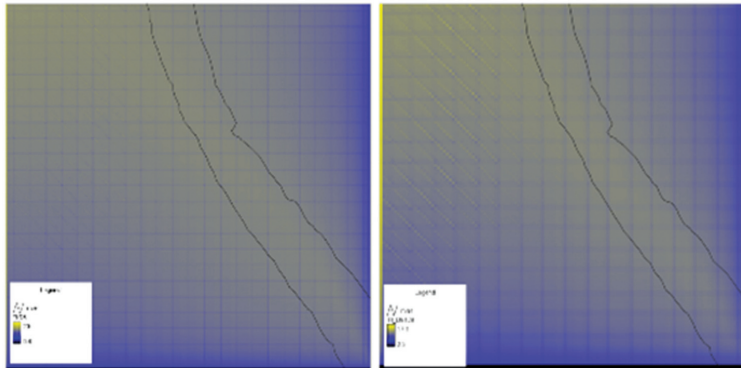


รูปที่ 7 ทิศทางการไหลวิธี D8 และ DSM

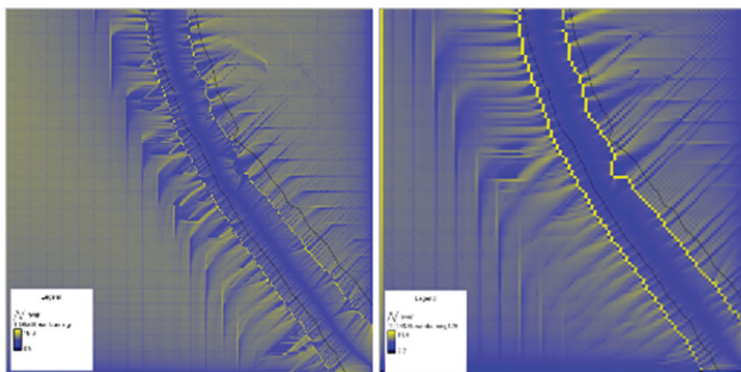


รูปที่ 8 ทิศทางการไหลวิธีการที่นำเสนอ

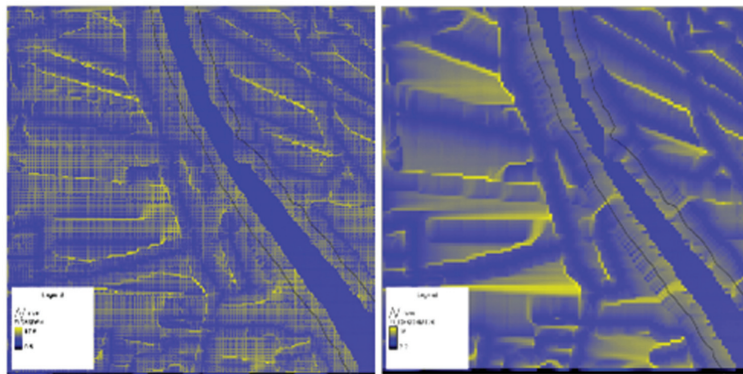
ส่วนผลการวิเคราะห์ดัชนีภูมิประเทศของทั้ง 4 วิธี พบว่าอัลกอริทึม D8 และ Stream burning รวมถึง D8 และ GVF ให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับความเป็นจริงคือบริเวณที่เป็นแนวลำน้ำค่า TI ที่ได้มีค่าสูง เห็นได้จากพิกเซลที่เป็นสีเหลือง ดังรูปที่ 10 และ 12 ซึ่งส่วนใหญ่จะปรากฏบริเวณแนวลำน้ำหรือลุ่มน้ำ แต่วิธี D8 และ Stream burning ยังมีข้อผิดพลาดในเรื่องความคลาดเคลื่อนของแนวลำน้ำเมื่อเปรียบเทียบกับลำน้ำที่ได้จากการดิจิทัล สำหรับอัลกอริทึม D8 และ DSM ค่า TI ที่ได้ยังปรากฏข้อผิดพลาดคือ บริเวณที่มีค่า TI สูง ไม่ใช่บริเวณแนวลำน้ำดังรูปที่ 11 แต่เป็นบริเวณอื่น ๆ เช่น อาคาร สิ่งก่อสร้าง ต้นไม้ เป็นต้น จากการตรวจสอบโดยเปรียบเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศในรูปที่ 13 พบว่ามีทั้งบริเวณที่เป็นอาคาร สิ่งก่อสร้าง และพื้นที่เกษตรกรรม และเมื่อตรวจสอบค่าความสูงจากแบบจำลองความสูงเชิงเลข เปรียบเทียบกับแบบจำลองความสูงแบบ DSM ในบริเวณดังกล่าว พบว่าค่าความสูงของ DSM ในบริเวณนั้นไม่ใช่ความค่าสูงภูมิประเทศที่แท้จริง เป็นผลให้เกิดความผิดพลาดตั้งแต่กระบวนการวิเคราะห์ทิศทางการไหล การไหลสะสมส่งผลให้ค่า TI ที่ได้ในบริเวณดังกล่าวสูงกว่าปกติ ส่วนวิธี D8 ปัญหาที่พบคือ ค่า TI ที่ได้ไม่สามารถบ่งบอกถึงขอบเขตลุ่มน้ำหรือลำน้ำได้ ดังรูปที่ 9



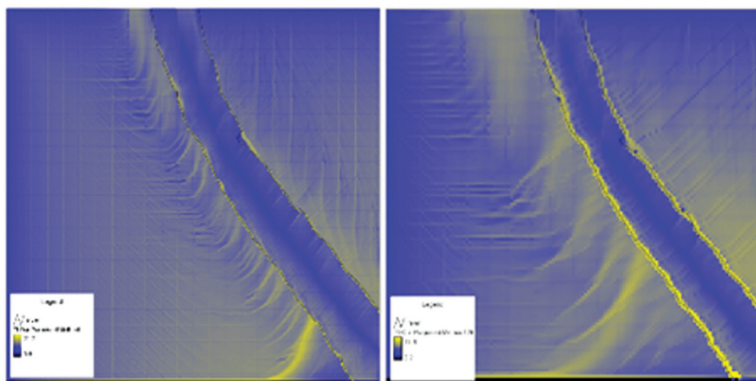
รูปที่ 9 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ค่า TI ความละเอียด 5 และ 15 เมตร โดยใช้ D8



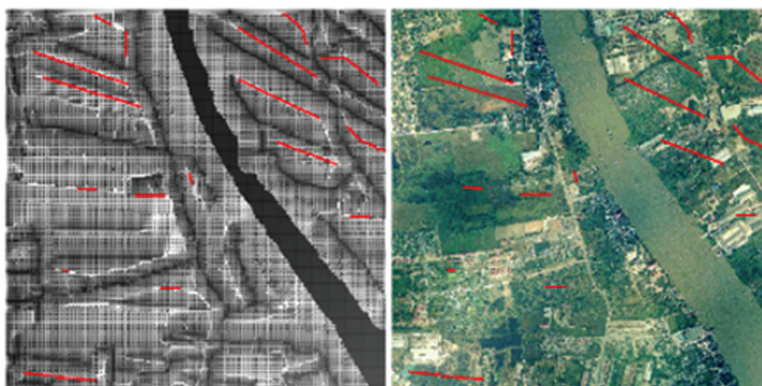
รูปที่ 10 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ค่า TI ความละเอียด 5 และ 15 เมตร โดยใช้ D8 และ Stream burning



รูปที่ 11 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ค่า TI ความละเอียด 5 และ 15 เมตร โดยใช้ D8 และ DSM



รูปที่ 12 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ค่า TI ความละเอียด 5 และ 15 เมตร โดยใช้ D8 และ GVF

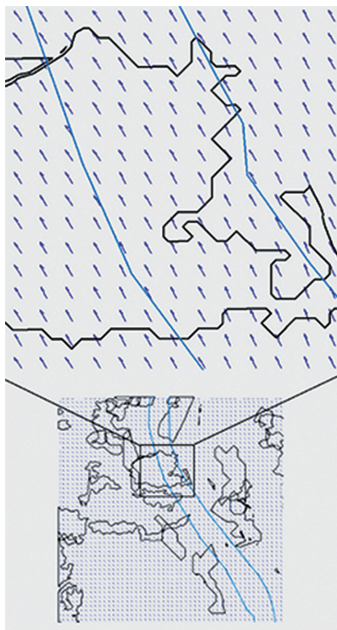


รูปที่ 13 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ค่า TI โดยใช้ D8 และ DSM เปรียบเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศ

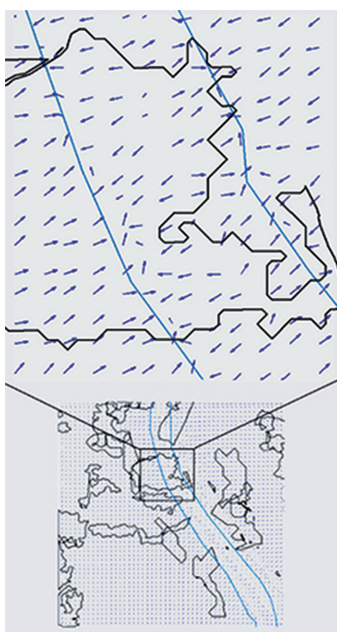
จากการวิเคราะห์ค่า TI โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ใน 2 ประเด็นหลัก ได้แก่ ผลของการใช้แบบจำลองความสูงที่หลายความละเอียด และผลของการใช้วิธีการวิเคราะห์ทิศทางการไหลที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 1 สำหรับค่าสถิติที่ได้จากการคำนวณ TI พบว่าทั้ง 4 วิธีค่าสถิติ ทุกตัวยกเว้นค่าต่ำสุดจะมีค่าลดลง เมื่อความละเอียดของแบบจำลองความสูงเชิงเลขมีความละเอียด น้อยลง ซึ่งค่าเฉลี่ยของ TI ที่ได้จากวิธี D8 ลดลงจาก 12.32 เป็น 10.91 คิดเป็น -11.44% ค่าสูงสุด ลดลงจาก 20.018 เป็น 17.111 คิดเป็น -14.52% เมื่อใช้ความละเอียดของแบบจำลองความสูง 5 และ 15 เมตร ค่าเฉลี่ยของ TI ที่ได้จากวิธี D8 และ DSM ลดลงจาก 9.68 เป็น 8.98 คิดเป็น -6.26% ค่าสูงสุดลดลงจาก 17.464 เป็น 15.027 คิดเป็น -13.95% เมื่อใช้ความละเอียดของแบบจำลองความสูง 5 และ 15 เมตร ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของ TI ที่ได้จากวิธี D8 และ Stream burning ลดลงจาก 11.23 เป็น 9.96 คิดเป็น -11.31% ค่าสูงสุดลดลงจาก 18.611 เป็น 16.515 คิดเป็น -11.26% เมื่อใช้ความละเอียดของแบบจำลองความสูง 5 และ 15 เมตร ส่วนค่าเฉลี่ยของ TI ที่ได้จากวิธี D8 และ GVF ลดลงจาก 11.90 เป็น 10.63 คิดเป็น -10.67% ค่าสูงสุดลดลงจาก 21.173 เป็น 17.795 คิดเป็น -15.95% เมื่อใช้ความละเอียดของแบบจำลองความสูง 5 และ 15 เมตร ส่วนค่าต่ำสุดที่ได้ในแต่ละวิธี มีค่าที่ใกล้เคียงกันมากโดยเพิ่มขึ้นจาก 0.85 เป็น 2.24 จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ความละเอียด ของแบบจำลองความสูงเชิงเลขมีผลอย่างมากต่อค่า TI ที่ได้ เมื่อพิจารณาในกรณีที่เปลี่ยนไปใช้แบบจำลอง ความสูงเชิงเลขที่ความละเอียดน้อยลง พบว่าค่า TI มีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ -6.26% ถึง -15.95% อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่า TI สูงสุดที่ได้จากทั้ง 4 วิธี พบว่าอัลกอริทึม D8 และ GVF ให้ค่า TI สูงสุด ทั้งความละเอียด 5 และ 15 เมตร ถึงแม้ว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่า TI ที่ได้จากแบบจำลองความสูง เชิงเลขที่ความละเอียด 5 และ 15 เมตร มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงสูงกว่าวิธีอื่น ๆ แต่เมื่อพิจารณา ในด้านความถูกต้องเมื่อตรวจสอบกับข้อมูลขอบเขตที่ดินด้วยวิธีการแมนนวลพบว่า มีความถูกต้อง และสอดคล้องมากที่สุด

ตารางที่ 1 สถิติเชิงพรรณนาของค่าดัชนีภูมิประเทศ

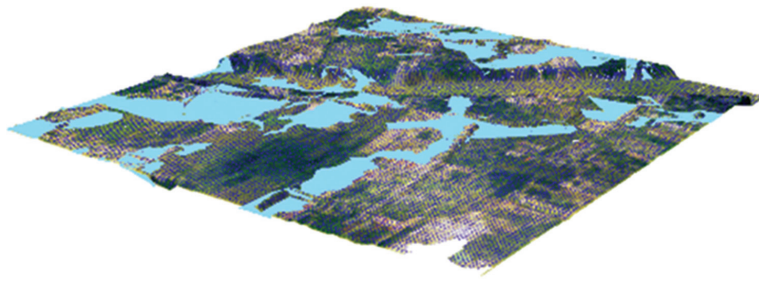
	ความละเอียด 5 เมตร				ความละเอียด 15 เมตร			
	D8	D8 และ DSM	D8 และ Stream burning	D8 และ GVF	D8	D8 และ DSM	D8 และ Stream burning	D8 และ GVF
Max	20.018	17.464	18.611	21.173	17.111	15.027	16.515	17.795
Min	0.845	0.845	0.85	0.848	2.241	2.241	2.247	2.244
Mean	12.32	9.68	11.23	11.90	10.91	8.98	9.96	10.63
Std.	1.15	1.85	1.36	1.49	1.51	1.53	1.54	1.78



รูปที่ 14 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้ D8 เปรียบเทียบกับพื้นที่การเกิดอุทกภัยในปี 2554



รูปที่ 15 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ทิศทางการไหลโดยใช้ D8 และ GVF เปรียบเทียบกับพื้นที่การเกิดอุทกภัยในปี 2554



รูปที่ 16 พื้นที่การเกิดอุทกภัยปี 2554

นอกจากนี้จากผลการเปรียบเทียบการวิเคราะห์ทิศทางการไหลกับสถานการณ์อุทกภัยที่เกิดขึ้นจริงในอดีต ปี พ.ศ. 2554 โดยวิธี D8 รวมถึง D8 และ GVF (รูปที่ 14 และ 15) โดยรูปหลายเหลี่ยมสีน้ำ แสดงพื้นที่เกิดอุทกภัย เส้นสีน้ำเงินแสดงขอบเขตลำน้ำ หัวลูกศรสีน้ำเงินแสดงทิศทางการไหล ผลการเปรียบเทียบพบว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการ D8 ทิศทางการไหลที่ได้ไม่สอดคล้องกับขอบเขตลุ่มน้ำ ทิศทางการไหลบริเวณแนวลำน้ำไม่สอดคล้องกับแนวลำน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาที่กล่าวมาแล้ว คือ วิธีการนี้ไม่สามารถระบุขอบเขตบริเวณแม่น้ำได้ ส่งผลกระทบต่อการหาการไหลสะสมและดัชนีภูมิประเทศ (รูปที่ 14) ส่วนทิศทางการไหลที่ได้จากวิธีการ D8 และ GVF ผลลัพธ์ที่ได้สอดคล้องกับแนวลำน้ำ ทิศทางการไหลบริเวณแนวลำน้ำ สามารถระบุขอบเขตลำน้ำได้ และสอดคล้องกับแนวลำน้ำ นอกจากนี้รูปที่ 16 แสดงให้เห็นถึงพื้นที่การเกิดอุทกภัย ซึ่งจากรูปแสดงให้เห็นว่าอุทกภัยเกิดขึ้นบริเวณแนวลำน้ำ ดังนั้นการระบุขอบเขตลำน้ำจึงมีความสำคัญสำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรมการเกิดอุทกภัยในพื้นที่ดังกล่าว

สรุปผลการดำเนินการ

จากการศึกษาเปรียบเทียบการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำจากแบบจำลองความสูงเชิงเลขหลายความละเอียดของจังหวัดปทุมธานี โดยใช้ 4 อัลกอริทึม ได้แก่ D8, D8 และ Stream burning, D8 และ DSM รวมถึง D8 และ GVF พบว่าอัลกอริทึมที่ให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับความเป็นจริงในพื้นที่มากที่สุด คือ D8 และ GVF ตามมาด้วย D8 และ Stream burning, D8 และ DSM และ D8 สำหรับข้อจำกัดของแต่ละวิธี ได้แก่ วิธี D8 ทิศทางการไหลและขอบเขตลุ่มน้ำที่ได้ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง ส่วนวิธี D8 และ DSM ความถูกต้องขึ้นอยู่กับกระบวนการทอนค่าความสูงพื้นผิวปกคลุมภูมิประเทศ ให้เป็นค่าความสูงพื้นผิวภูมิประเทศ ถ้ากระบวนการทอนค่าไม่ถูกต้องทิศทางการไหลที่ได้ อาจไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง สำหรับวิธี D8 และ Stream burning ต้องมีข้อมูลเวกเตอร์แผนที่ของแม่น้ำ ซึ่งต้องอาศัยกระบวนการดิจิทัลไซ์โดยวิธีการแมนนวล และการใช้เทคนิคนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขอย่างถาวร ทำให้มีผลต่อความผิดพลาดในการคำนวณหรือวิเคราะห์หาค่าอื่น ๆ เช่น ค่าความชัน รวมถึงเป็นการนำไปสู่ค่าความสูงที่เกินจริง นอกจากนี้ประเด็นที่ควรพิจารณาเพิ่มเติมในการนำเทคนิค D8 และ Stream burning ไปใช้ คือควรมีการประทับจำภาพ

(Image Registration) ระหว่างข้อมูลเวกเตอร์แมพกับภาพถ่ายทางอากาศก่อนนำไปวิเคราะห์ ส่วนวิธี D8 และ GVF ต้องมีข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศหรือภาพถ่ายดาวเทียม ระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผล นานกว่าการใช้แบบจำลองความสูงเชิงเลขเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ประเด็นที่ไม่ควรมองข้ามในการ นำแบบจำลองความสูงเชิงเลขไปใช้ คือ ความละเอียดของแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่นำไปใช้ในการ วิเคราะห์ เพราะความละเอียดมีผลต่อความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้ ถ้าความละเอียดที่นำไปใช้อยู่ ในระดับสูง ความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าความละเอียดในระดับต่ำกว่า แต่ผลลัพธ์ที่ตามมา คือ ถ้าความละเอียดสูงเวลาที่ใช้ในการประมวลผลก็มากตามไปด้วย อีกทั้งถ้าแบบจำลองความสูงที่ใช้เป็น แบบ DSM ต้องพิจารณาในเรื่องกระบวนการตัดทอนค่าความสูงพื้นผิวปกคลุมภูมิประเทศ ให้เป็น ค่าความสูงพื้นผิวภูมิประเทศ เพราะจะส่งผลต่อความถูกต้องของทิศทางการไหล การไหลสะสม และ การวิเคราะห์ดัชนีภูมิประเทศที่ได้

งานวิจัยนี้ศึกษาเพื่อเป็นแนวทางสำหรับการนำไปใช้ประยุกต์ใช้ในการจำลองอุทกภัย (Flood Simulation) สำหรับแนวทางในการนำไปใช้ ได้แก่ นำทิศทางการไหล การไหลสะสม และ การวิเคราะห์ดัชนีภูมิประเทศที่ได้ไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่า (Runoff Modeling) เช่น TOPMODEL ซึ่งเป็นองค์ประกอบหรือปัจจัยที่สำคัญสำหรับการ ใช้ในการ จำลองการเกิดอุทกภัย กระบวนการทำงานของแบบจำลองการพยากรณ์น้ำท่าจำเป็นต้องใช้ทิศทางการไหล การไหลสะสม และการวิเคราะห์ดัชนีภูมิประเทศเพื่อประเมินแนวโน้มที่ดินจะถึงจุดอิ่มตัวด้วยน้ำ และโอกาส หรือความเป็นไปได้ของการเกิดการไหลของน้ำในลักษณะแบบบ่าหน้าดิน ซึ่งมีผลต่อพฤติกรรมการเกิด อุทกภัย อย่างไรก็ตามในการประเมินความถูกต้องของทิศทางการไหลที่ได้จำเป็นต้องนำไปใช้กับสถานการณ์จริง สำหรับงานวิจัยนี้ตรวจสอบกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริงโดยเปรียบเทียบทิศทางการไหลที่ได้กับพื้นที่ อุทกภัยในปี พ.ศ. 2554 พบว่าทิศทางการไหลที่ได้สอดคล้องกับพื้นที่การเกิดอุทกภัย ส่วนการนำไปใช้จริง ร่วมกับแบบจำลองน้ำท่าในการจำลองการเกิดอุทกภัยต้องใช้แอททริบิวต์ที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ เช่น การใช้ ประโยชน์ที่ดิน สิ่งกีดขวางทางน้ำ เป็นต้น ซึ่งคณะผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษา (Supattra, P. et al., 2013; Supattra, P. et al., 2014) รวมถึงการหลอมรวมข้อมูล (Data Fusion) (Paramate, H. et al., 2015) เพื่อนำไปใช้ในการจำลองอุทกภัยในอนาคต โดยนำวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ไปใช้ร่วมกับการพยากรณ์ น้ำท่า การหลอมรวมข้อมูล และแอททริบิวต์ที่เกี่ยวข้อง เพื่อจำลองอุทกภัยโดยในรูปแบบแผนที่อุทกภัย (Flood Map) ทำให้สามารถวางแผนและเตรียมพร้อมล่วงหน้าเพื่อเตรียมรับสถานการณ์ที่จะเกิดขึ้น และ บรรเทาภัยในพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถนำเอาการวิเคราะห์ดัชนีภูมิประเทศ ไปใช้ในด้านอื่น ๆ เช่น แบบจำลองการชะล้างพังทลายของดิน (Erosion Modeling) แบบจำลอง การประเมินปริมาณตะกอน (Sediment Modeling) และแบบจำลองดินถล่ม (Landslide Modeling) เป็นต้น

References

- Ali, Z., Hussain, S. and Taj, I. A. (2005). Kernel based robust object tracking using model updates and Gaussian pyramids. In *Proceedings of the IEEE Symposium on Emerging Technologies ICES 2005*. pp. 144-150
- Asian Disaster Reduction Center. (2012). *Natural Disaster Data Book 2011*. (An Analytical Overview) : Asian Disaster Reduction Center.
- Beven, K. J. (1991). TOPMODEL: A Critique. In Beven, K. J. (Ed.), *Distributed Hydrological Modelling: Application of The TOPMODEL Concept*. John Wiley&Sons, New York. p. 348
- Callow, J. N., Van Niel, K. P. and Boggs, G. S. (2007). How does modifying a DEM to reflect known hydrology affect subsequent terrain analysis. *Journal of Hydrology*. 332(1). pp. 30-39
- Chen, F. and Xie, Z. (2008). A large-scale routing scheme for stream simulation and its application to river basins in China. In *Proceedings of Chinese PUB International Symposium*, Beijing. pp. 65-72
- Chen, X., Hu, J. and Hu, H. (2013). Multiple Flow Direction Algorithm Based Extending Neighborhood Terrain. *International Journal of Advancements in Computing Technology*. Vol. 5. No. 1. pp. 892-898
- Costa-Cabral, M. C. and Burges, S. J. (1994). Digital elevation model networks: A model of flow over hillslopes for computation of contributing and dispersal areas. *Water resources research*. Vol. 30. No. 6. pp. 1681-1692
- De Risi, R. (2013). A Probabilistic Bi-Scale framework for urban flood risk assessment. PHD thesis. Department of structures for engineering and architecture, University of Naples Federico II
- Eric K Forkuo. (2013). The use of digital elevation models for watershed and flood hazard mapping. *International Journal of Remote Sensing & Geoscience*. Vol. 2. Issue 2. pp. 56-65
- Erskine, R. H., Green, T. R., Ramirez, J. A. and MacDonald, L. H. (2006). Comparison of grid-based algorithms for computing upslope contributing area. *Water Resources Research*. Vol. 42. No. 9. pp. 1-9
- Getirana, A. C., Bonnet, M. P., Rotunno Filho, O. C. and Mansur, W. J. (2009). Improving hydrological information acquisition from DEM processing in floodplains. *Hydrological Processes - Hydrol Process*. Vol. 23. No. 3. pp. 502-514

- Goh, W. B. and Chan, K. Y. (2007). The multiresolution gradient vector field skeleton. *Pattern Recognition*. Vol. 40. Issue 4. pp. 1255-1269
- Isared, K. and Ekasit, K., (2012). Derivation flow direction and watershed in lowland from DEM. In *Proceeding in NCCE-17*. Udorn Thani. Thailand. pp. WRE010-1-WRE010-9
- Isioye, O. A., Enebeli, I., Alademomi, S. A. and E. Akomolafe. (2012). Terrain analysis in GIS and its significance to surface runoff analysis (A study of basawa community in Sabon Gari L.G.A. of Kaduna State, Nigeria). *International Journal of Advanced Scientific Engineering and Technological Research*. 20(1). pp. 72-92
- Kass, M., Witkin, A. and Terzopoulos, D. (1998). Snakes: Active contour models. *International Journal of Computer Vision*. Vol. 1. Issue 4. pp. 321-331
- Kenny, F. and Matthews, B. (2005). A methodology for aligning raster flow direction data with photogrammetrically mapped hydrology. *Computers & Geosciences*. Vol. 31. No. 6. pp. 768-779
- Kiss, Richard. (2004). Determination of drainage network in digital elevation models, utilities and limitations. *Journal of Hungarian geomathematics*. Vol. 2. No. 2. pp. 16-29
- Klinger, T., Heipke, C., Ott, N., Schenke, H. W. and Ziems, M. (2010). Automated extraction of the antarctic coastline using snakes. *Asprs/CaGIS 2010 Fall Specialty Conference*. Orlando, Florida. pp. 1-7
- Liu, C. C., Tsai, C. Y., Tsui, T. S. and Yu, S. S. (2012). An improved GVF snake based breast region extrapolation scheme for digital mammograms. *Expert Systems with Applications*. Vol. 39. Issue 4. pp. 4505-4510
- Liu, L. and Bovik, A. C. (2012). Active contours with neighborhood-extending and noise-smoothing gradient vector flow external force. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*. Vol. 2012. No. 1. pp. 1-6
- Luo, Y., Su, B., Yuan, J., Li, H. and Zhang, Q. (2011). GIS techniques for watershed delineation of SWAT model in plain polders. *Procedia Environmental Sciences*. Vol. 10. pp. 2050-2057
- Maidment, D. R. (1996). GIS and hydrological modeling: an assessment of progress. Presented at the *Third International Conference on GIS and Environmental Modeling*, 22-26 January, Santa Fe, New Mexico.
- Marikhu, R., Dailey, M. N., Makhanov, S. and Honda, K. (2007). A family of quadratic snakes for road extraction. In *Computer Vision-ACCV 2007*, Springer Berlin Heidelberg. pp. 85-94

- Nourani, V., Roughani, A. and Gebremichael, M. (2011). Topmodel capability for rainfall-runoff modeling of the Ammameh watershed at different time scales using different terrain algorithms. *Journal of Urban and Environmental Engineering*. Vol. 5. No. 1. pp. 1-14
- O'Callaghan, J. F. and Mark, D. M. (1984). The extraction of drainage networks from digital elevation data. *Computer vision, graphics, and image processing*. Vol. 28. No. 3. pp. 323-344
- Paramate, H., Supattra, P. and Khaimook, K. (2015). River boundary delineation from remotely sensed imagery based on SVM and relaxation labeling of water index and DSM. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. Vol. 71. No. 3. pp. 376-386
- Quinn, P. F. B. J., Beven, K., Chevallier, P. and Planchon, O. (1991). The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models. *Hydrological processes*. Vol. 5. No. 1. pp. 59-79
- Renssen, H. and Knoop, J. M. (2000). A global river routing network for use in hydrological modeling. *Journal of Hydrology*. Vol. 30. No. 3. pp. 230-243
- Sameh W, A. M. and Broder J, M. (2011). Automated Watershed Evaluation of Flat Terrain. *Journal of Water Resource and Protection*. Vol. 3. No. 12. pp. 892-903
- Sedighi, A. (2008). A linear regression model for predicting stream response time in Karst Watersheds using DEMs. *Doctoral dissertation, University of Florida*
- Seibert, J. and McGlynn, B. L. (2007). A new triangular multiple flow direction algorithm for computing upslope areas from gridded digital elevation models. *Water Resources Research*. Vol. 43. No. 4. pp. W04501
- Supattra, P., Sakhon K., Paramate, H. and Kanit K. (2013). Assessing deluge predictability and deterministic attributes of artificial learning systems, In *Proceedings 5th International Conference on Knowledge and Smart Technologies*. pp. 70-74
- Supattra, P., Paramate, H. and Khaimook, K. (2014). Configuring ANN for inundation areas identification based on relevant thematic layers. *ECTI Transactions on Computer and Information Technology*. Vol. 8. No. 1. pp. 55-66
- Tang, J. (2009). A multi-direction GVF snake for the segmentation of skin cancer images. *Pattern Recognition*. Vol. 42. No. 6. pp. 1172-1179
- Tarboton, D. G. (1997). A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. *Water resources research*. Vol. 33. No. 2. pp. 309-319

- Tarboton, D. G. (2003). Terrain analysis using digital elevation models in hydrology. In 23rd ESRI international users conference, San Diego, California. Vol. 14. pp. 1-14
- Turcotte, R., J.-P. Fortin, A.N. Rousseau, S. Massicotte, and J.-P. Villeneuve. (2001). Determination of the drainage structure of a watershed using a digital elevation model and a digital river and lake network. *Journal of Hydrology*. Vol. 240. pp. 225-242
- Wang, Y., Liu, L., Zhang, H., Cao, Z. and Lu, S. (2010). Image segmentation using active contours with normally biased GVF external force. *Signal Processing Letters, IEEE*. Vol. 17. No. 10. pp. 875-878
- Xu, C. and Prince, J. L. (1998). Snakes, shapes, and gradient vector flow, *IEEE Tran. Image Processing*. Vol. 7. No. 3. pp. 359-369
- Xiao, M., Jia, Y., He, Z. and Chen, Y. (2008). Edge detection of riverway in remote sensing images based on curvelet transform and GVF Snake. *Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences*, Shanghai, PR China. pp. 344-351
- Zhang, H. and Huang, G. (2009). Building channel networks for flat regions in digital elevation models. *Hydrological Processes*. Vol. 23. No. 20. pp. 2879-2887
- Zhou, H., Li, X., Schaefer, G., Celebi, M. E. and Miller, P. (2013). Mean shift based gradient vector flow for image segmentation. *Computer Vision and Image Understanding*. Vol. 117. No. 9. pp. 1004-1016