การแทรกค่าเชิงพื้นที่ของความลึกดินโดยใช้วิธีการและจำนวนจุดตัวอย่างที่แตกต่างกัน บริเวณลุ่มน้ำห้วยคอกม้า จังหวัดเชียงใหม่

ปรารถนา ชุมทอง[1*] และ ชัชชัย ตันตสิรินทร์[2]
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

** Corresponding Author: pradtana.chu@ku.th*
[1] นิสิตปริญญาโท ภาควิชาอนุรักษวิทยา คณะวนศาสตร์
[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาอนุรักษวิทยา คณะวนศาสตร์

ข้อมูลบทความ

ประวัติบทความ :
รับเพื่อพิจารณา : 6 มกราคม 2565
แก้ไข : 12 กรกฎาคม 2565
ตอบรับ : 18 กรกฎาคม 2565
DOI : 10.14456/kmuttrd.2022.17

คำสำคัญ :
การแทรกค่าเชิงพื้นที่ / ความลึกดิน / ลุ่มน้ำห้วยคอกม้า

บทคัดย่อ

ข้อมูลความลึกดินมีความสำคัญต่อแบบจำลองทางอุทกวิทยาและเตือนภัยดินถล่ม ซึ่งจำเป็นต้องใช้ข้อมูลที่มีการกระจายทั้งพื้นที่ แต่การวัดความลึกดินจะทราบค่าเฉพาะจุดที่วัดเท่านั้น การใช้การแทรกค่าเชิงพื้นที่จึงมีความจำเป็นในการทำให้ข้อมูลมีความต่อเนื่องกันทั้งผืน การศึกษานี้วัดความลึกที่ระดับดินชั้นบนและความลึกถึงชั้นหินดานทั้งหมด 103 จุด อย่างเป็นระบบครอบคลุมทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำขนาด 0.65 ตารางกิโลเมตรที่ปกคลุมด้วยป่าทั้งหมดด้วยเครื่องเจาะรูปกรวยชนิดกระแทก จากนั้นนำผลที่ได้มาแทรกค่าด้วยวิธี Inverse Distance Weighted (IDW), Kriging, Cokriging (COK), Local Polynomial (LP) และ Global Polynomial (GP) โดยใช้จำนวนจุดตัวอย่าง 86, 46 และ 22 จุด ในการแทรกค่าเชิงพื้นที่ เปรียบเทียบการกระจายเชิงพื้นที่และความคลาดเคลื่อนของการแทรกค่าเชิงพื้นที่ (spatial interpolation error, SIE) จากการใช้วิธีการและจำนวนจุดตัวอย่างที่ต่างกันโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) และทดสอบความแตกต่างของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน จากผลการศึกษา พบว่า ความลึกดินชั้นบนมีค่าระหว่าง 0.37-2.59 เมตร มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.94 และ 0.39 เมตร ตามลำดับ ส่วนความลึกถึงชั้นหินดานมีค่าระหว่าง 1.13-14.60 เมตร มีค่า $\bar{x}$ และ SD เท่ากับ 5.23 และ 3.34 เมตร ตามลำดับ ซึ่งความลึกถึงชั้นหินดานมีความแปรปรวนของข้อมูลสูงกว่าความลึกดินชั้นบน จากการเปรียบเทียบการใช้วิธีการแทรกค่าเชิงพื้นที่ที่แตกต่างกัน พบว่า การกระจายของความลึกดินทั้งสองชั้นจากวิธี IDW มีสอดคล้องกันสูง ($r > 0.9$) กับวิธีในกลุ่ม COK ค่า SIE ของความลึกดินชั้นบนจากวิธี IDW มีค่าน้อยที่สุด (RMSE เท่ากับ 0.1561 เมตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี COK(slp) ส่วนค่า SIE ของความลึกถึงชั้นหินดานมีค่าใกล้เคียงกัน (RMSE ระหว่าง 1.8187–1.9170 เมตร) และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงไม่สามารถสรุปได้ว่าวิธีการใดมีความคลาดเคลื่อนในการแทรกค่าข้อมูลเชิงพื้นที่น้อยที่สุด จากการเปรียบเทียบการใช้จำนวนจุดตัวอย่างที่แตกต่างกันของดินทั้งสองชั้น พบว่า การกระจายเชิงพื้นที่มีความสอดคล้องกันไม่สูง การลดจำนวนจุดตัวอย่างของดินชั้นบนทำให้ค่า SIE เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเฉพาะกรณีที่ลดจาก 86 เป็น 22 จุดเมื่อใช้วิธี IDW และ Kriging เท่านั้น การใช้จุดตัวอย่างจำนวน 86 จุด ของความลึกถึงชั้นหินดานมีค่า SIE น้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเฉพาะเมื่อใช้วิธี Kriging, COK (up) และ COK (slp+up)

Spatial Interpolation of Soil Depth Using Different Methods and Number of Sampling Points at KOG-MA Watershed, Chiang Mai Province

Pradtana Chumtong[1*], and Chatchai Tantasirin[2]
Kasetsart University, Ladyaow, Chatuchak, Bangkok 10900

** Corresponding Author: pradtana.chu@ku.th*
[1] Graduate Student, Departments of Conservation, Faculty of Forestry.
[2] Assistant Professor, Departments of Conservation, Faculty of Forestry.

Article Info

Article History:
Received: January 6, 2022
Revised: July 12, 2022
Accepted: July 18, 2022
DOI : 10.14456/kmuttrd.2022.17

Keywords : Spatial Interpolation / Soil Depth / KOG-MA Watershed

Abstract

Distributed soil depth information is essential data for applying hydrological and landslide models. Data from direct measurement can nevertheless be obtained merely at sampling locations. Spatial interpolation therefore becomes an important technique for generating distributed soil depth information from measured point data. This study systematically measured 103 points to a depth at topsoil and bedrock within a 0.65 km^2 forested watershed using a knocking cone penetrometer. Different spatial interpolation methods, including Inverse Distance Weighted (IDW), Kriging, Cokriging (COK), Local Polynomial (LP), and Global Polynomial (GP), and varying number of sampling points, i.e., 86, 46, and 22 points, were employed to generate distributed soil depth information. Comparison of spatial distribution and spatial interpolation error (SIE) obtained using different methods and number of sampling points was carried out based on the correlation coefficient (r), and root mean square error (RMSE). Analysis of variance was conducted to verify the differences of mean square error (MSE). The results revealed that the depths of topsoil ranged between 0.37-2.59 m, with an average ($\bar{x}$) and standard deviation (SD) of 0.94 and 0.39 m, respectively, while the depths to bedrock were 1.13-14.60 m, with $\bar{x}$ of 5.25 and SD of 3.34 m. These results indicated a higher variance of the depths to bedrock than those to the topsoil. Comparison of different spatial interpolation methods showed that the distribution of soil depths of both layers as obatianed from the IDW method was highly correlated ($r > 0.9$) to the COK method. SIE of the depths to topsoil as obtained using the IDW method was statistically the lowest (RMSE is 0.1561) only when compared with that obtained using the COK(slp) method. SIE of the depths to bedrock were similar (RMSE ranges from 1.8187 to 1.9170 m) and not statistically different. A comparison using the different number of sampling points of both soil layers illustrated that the correlation among spatial distributions wa not high. The decreasing number of sampling points of topsoil from 86 to 22 points increased SIE only when the IDW and Kriging methods were employed. Using 86 points of depths to bedrock statistically gave the lowest SIE only when the Kriging, COK (up), and COK (slp+up) methods were employed.

1. บทนำ

ความลึกดินเป็นสมบัติที่เกี่ยวข้องกับความหนาของดิน นับจากผิวหน้าดินลงไปจนถึงชั้นที่อาจเป็นชั้นวัตถุต้นกำเนิดดินหรือชั้นหินดาน (bedrock) ซึ่งความลึกดินแสดงถึงความสามารถในการเก็บกักน้ำในดินของพื้นที่นั้น ซึ่งนำไปใช้ในการวางแผนการจัดการลุ่มน้ำ เช่น การประเมินบริการทางนิเวศความสามารถในการเก็บกักน้ำของลุ่มน้ำ รวมถึงใช้ในแบบจำลองทางอุทกวิทยาเพื่อใช้ประเมินความเสี่ยงการเกิดดินถล่มซึ่งจำเป็นต้องใช้ข้อมูลที่มีความต่อเนื่องทั้งพื้นที่ (distributed) อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้มีเฉพาะตำแหน่งที่วัด ซึ่งไม่ต่อเนื่องทั้งพื้นที่ศึกษา การวัดความลึกดินให้กระจายทุกตำแหน่งของพื้นที่เป็นเรื่องยาก เนื่องจากข้อจำกัดในด้านต่าง ๆ เช่น ขนาดพื้นที่ เวลา เครื่องมือ กำลังคน รวมไปถึงเรื่องค่าใช้จ่าย ดังนั้น จึงกำหนดจุดเพื่อสุ่มตรวจวัดให้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาแล้วนำมาแทรกค่าเชิงพื้นที่ (spatial interpolation) ซึ่งเป็นวิธีประมาณค่าในบริเวณที่ไม่ได้ทำการวัดให้ข้อมูลมีความต่อเนื่องเป็นผืนเดียวกันทั้งพื้นที่มาใช้ในการแก้ปัญหาดังกล่าว การแทรกค่าเชิงพื้นที่มีหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีมีทฤษฎีในการประมาณค่าที่ต่างกัน ผลที่ได้มีความแตกต่างกันไปตามวิธีนั้น ๆ อย่างไรก็ตาม จากการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องยังไม่มีข้อสรุปว่าวิธีการใดเหมาะสมต่อการนำมาใช้ในการแทรกค่าเชิงพื้นที่ ตัวอย่าง เช่นการศึกษาของ Penizek และ Boruvka [1] พบว่า Cokriging เป็นวิธีที่ให้ผลที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีอื่น ส่วน Chan และคณะ [2] พบว่าวิธีความถดถอยโลจิสติกอเนกนาม (multinomial logistic regression) มีความความถูกต้องของการประมาณค่ามากกว่า นอกจากนั้น ยังไม่พบว่าในประเทศไทยมีการศึกษาวิธีการแทรกค่าเชิงพื้นที่ความลึกดินเลย มีเฉพาะเรื่องสมบัติดินเท่านั้นและมีจำนวนน้อย [3] การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลของวิธีและจำนวนจุดตัวอย่างที่ต่างกันต่อความคลาดเคลื่อนของการแทรกค่าเชิงพื้นที่ (spatial interpolation error) ของความลึกดิน และนำองค์ความรู้ที่ได้เป็นข้อเสนอแนะและแนวทางการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดความลึกดินและการแทรกค่าเชิงพื้นที่ต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 พื้นที่ศึกษา

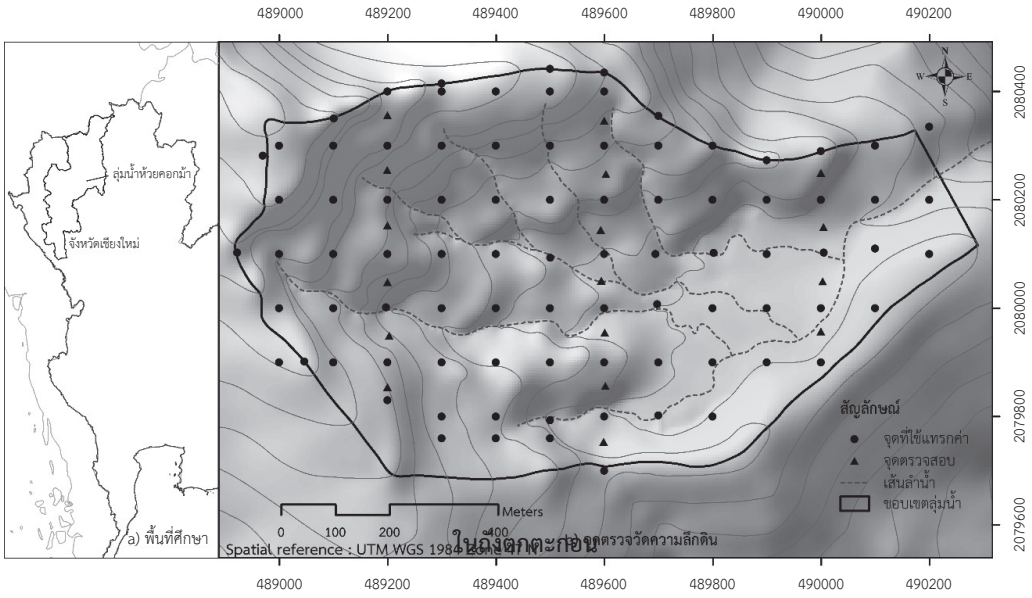
ลุ่มน้ำห้วยคอกม้า ตั้งอยู่ในเขตอุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ-ปุย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ (รูปที่ 1(a)) มีขนาดพื้นที่ประมาณ 0.65 ตารางกิโลเมตร มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 1,268 - 1,620 เมตร เฉลี่ยประมาณ 1,400 เมตร ความลาดชันเฉลี่ยประมาณ 46 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้นกำเนิดของห้วยแก้วและไหลลงสู่แม่น้ำปิง โดยพื้นที่ทั้งลุ่มน้ำทั้งลุ่มปกคลุมด้วยป่าดิบเขา มีลักษณะสภาพอากาศค่อนข้างเย็นตลอดทั้งปีอุณหภูมิเฉลี่ย 20 องศาเซลเซียส [4]

2.2 การกำหนดจุดวัดความลึกดิน

การศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่องความผันแปรเชิงพื้นที่ของความลึกดินและความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะภูมิประเทศ บริเวณลุ่มน้ำห้วยคอกม้าอุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ-ปุย จังหวัดเชียงใหม่ ได้รับทุนจากศูนย์วิจัยป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งสุ่มตัวอย่างจุดวัดแบบเป็นระบบ (systematic) แบ่งเป็น 13 ภาคตัดขวาง (cross section) ตั้งฉากกับเส้นลำน้ำสายหลัก แต่ละภาคตัดขวางห่างกัน 100 เมตร ในแต่ละภาคตัดขวางกำหนดจุดวัดห่างกัน 100 เมตร ครอบคลุมตั้งแต่ต้นจนถึงปลายลุ่มน้ำ (รูปที่ 1(b)) และกำหนดจุดวัดเพื่อนำมาใช้ตรวจสอบความถูกต้องของการแทรกค่าที่กึ่งกลางระหว่างระยะ 100 เมตร ในแนวที่ 3, 7 และ 11 (หมายเหตุ: จุดที่ไม่สามารถกำหนดระยะ 100 เมตรทางทิศใต้ของลุ่มน้ำได้เนื่องจากติดแนวรั้วพระตำหนักภูพิงคราช-นิเวศน์ ส่วนจุดที่เพิ่มเติมคือจุดบริเวณสันเขาที่เป็นขอบเขตลุ่มน้ำ)

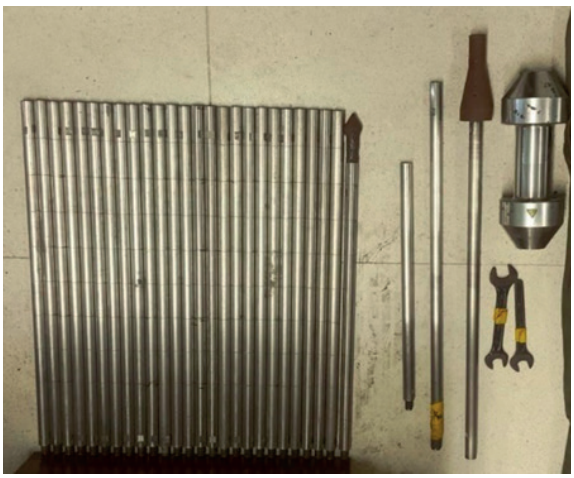
2.3 การวัดความลึกดิน

การวัดความลึกดินในการศึกษานี้ใช้เครื่องเจาะรูปกรวยชนิดกระแทก (knocking cone penetrometer) มีเส้นผ่านศูนย์กลางหัวเจาะ 25 มิลลิเมตร มุมหัวเจาะ 30 องศา แท่งเหล็กมีความยาวแท่งละ 50 เซนติเมตรและใช้ตุ้มเหล็กขนาด 5 กิโลกรัม (รูปที่ 2) [4] วัดความลึกโดยวางเครื่องมือตรงจุดที่ต้องการ ใช้ไม้วัดระดับน้ำกำหนดแท่งเหล็กให้อยู่ในแนวดิ่งจากนั้นปล่อยตุ้มเหล็กที่ระดับความสูง 50 เซนติเมตร วัดระยะที่เหลือของแท่งเหล็กเพื่อนำมาคำนวณค่าความต้านทานการเจาะของดิน (soil penetration resistant)



รูปที่ 1 ตำแหน่งพื้นที่ศึกษา (a) และจุดตรวจวัดความลึกดิน (b) บริเวณลุ่มน้ำห้วยคอกม้า อุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ-ปุย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

หน่วยเป็น จำนวนครั้ง/ระยะความลึก 10 เซนติเมตร (number of drops per 10 centimeter, Nd) หยุดตอกเมื่อค่า Nd ใกล้เคียง 100 ครั้ง/10 ซม.หรือจนกว่าตอกไม่ลงเนื่องจากเป็นชั้นหินแข็ง จำแนกความลึกดินที่วัดได้ออกเป็น 2 ระดับ คือ 1) ดินชั้นบน (topsoil) โดยเป็นชั้นดินที่มีค่า Nd น้อยกว่า 5 ครั้ง/10 ซม. และ 2) ความลึกจากผิวดินถึงชั้นหินดาน (bedrock) ซึ่ง Nd มีค่ามาก 100 ครั้ง/10 ซม. (หินแข็ง)



รูปที่ 2 เครื่องเจาะรูปกรวยชนิดกระแทกที่ใช้ในการวัดความลึกดิน

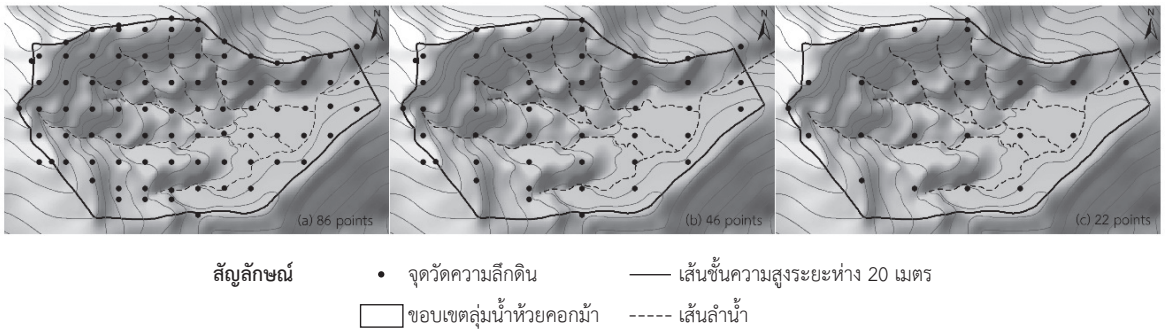
2.4 การแทรกค่าเชิงพื้นที่

การศึกษานี้แบ่งข้อมูลออกเป็น 3 ชุด ที่มีจำนวนจุดตัวอย่างของการวัดที่แตกต่างกันตามระยะห่างได้แก่ 100×100, 100×200 และ 200×200 เมตร มีจำนวนเท่ากับ 86, 46 และ 22 จุด ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 3 แทรกค่าเชิงพื้นที่ด้วยโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ 5 วิธี ได้แก่ Inverse Distance Weighted (IDW), Kriging, Cokriging (COK) ที่ใช้ความลาดชัน (slope, slp) และการไหลสะสมจากลาดเขาด้านบน (upslope flow accumulation, up) เป็นปัจจัยร่วม, Local Polynomial (LP) และ Global Polynomial (GP) [6-8]

2.5 การเปรียบเทียบผลการแทรกค่าเชิงพื้นที่

การเปรียบเทียบผลการแทรกค่าเชิงพื้นที่จากการใช้วิธีการและจำนวนจุดตัวอย่างที่ต่างกันดำเนินการ 2 ลักษณะ คือ 1) เปรียบเทียบการกระจายเชิงพื้นที่ (spatial distribution) ของความลึกดินที่ต่อเนื่องกันทั้งพื้นที่โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r)

ระหว่างชั้นข้อมูลที่เป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการแทรกค่า และ 2) เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของการแทรกค่าเชิงพื้นที่ (spatial interpolation error) โดยใช้ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (root mean square error, RMSE) และทดสอบนัยสำคัญทางสถิติโดยการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (mean square error, MSE) ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA)



รูปที่ 3 จุดตัวอย่างความลึกดินที่ใช้ในการแทรกค่าเชิงพื้นที่จำนวน 86 (a) 46 (b) และ 22 (c) จุด

3. ผลและวิจารณ์

3.1 ความลึกดินของจุดที่ตรวจวัด

ความลึกดินที่วัดทั้งหมด 103 จุด แสดงผลในรูปที่ 4 โดยความลึกดินชั้นบน มีค่าระหว่าง 0.37-2.59 เมตร เฉลี่ย ($\bar{x}$) เท่ากับ 0.94 เมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, SD) เท่ากับ 0.39 เมตร คิดเป็นค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficient of variation, CV) เท่ากับค่าร้อยละ 41.49 ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงชั้น 0.50-1.00 เมตร (รูปที่ 5) คิดเป็นร้อยละ 63.11 ของจำนวนตัวอย่างทั้งหมด และความลึกถึงชั้นหินดาน มีค่าระหว่าง 1.13-14.60 เมตร $\bar{x}$ เท่ากับ 5.23 เมตร SD เท่ากับ 3.43 เมตร คิดเป็นค่า CV เท่ากับร้อยละ 65.58 ค่าส่วนใหญ่อยู่ในช่วงชั้น 2.0-2.5 เมตร คิดเป็นร้อยละ 12.62 ของจำนวนตัวอย่างทั้งหมด จากค่า SD และ CV พบว่าความลึกถึงชั้นหินดานของพื้นที่ศึกษานี้มีความแปรปรวนสูงเมื่อเทียบกับดินชั้นบน

เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้กับที่รายงานในการวิจัยลุ่มน้ำห้วยคอกม้าเล่มที่ 1 ซึ่งมีค่าความลึกดินระหว่าง 0.20-1.55 เมตร เฉลี่ยเท่ากับ 1.50 เมตร [4] พบว่าผลที่ได้จากการศึกษานี้มีค่ามากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากมีวิธีการ จำนวน และการกระจายของจุดวัดที่แตกต่างกัน การศึกษาของ Chankaew และคณะ [4] ใช้วิธีการขุดหลุม ไม่ได้วัดลงลึกไปถึงชั้นหินดาน และมีจุดวัดจำนวน 12 จุด

จากการสังเกตความลึกดินที่ทำการวัด พบว่า โดยทั่วไปความลึกที่วัดได้มีความแตกต่างกันตามลักษณะภูมิประเทศ [2] โดยในบริเวณที่มีความลาดชันสูง เป็นสันเขา หรือใกล้ลำธาร ความลึกดินที่วัดได้มีค่าค่อนข้างน้อย (ตื้น) ส่วนบริเวณที่มีความลาดชันน้อย หรือเป็นที่ราบ ความลึกดินมีค่ามาก

3.2 การกระจายเชิงพื้นที่ของความลึกดิน

การกระจายเชิงพื้นที่ของความลึกดินชั้นบนและความลึกถึงชั้นหินดานที่ต่อเนื่องกันทั้งพื้นที่ที่ได้จากการแทรกค่าได้ผลดัง รูปที่ 6 และ 7 เมื่อเปรียบเทียบการกระจายเชิงพื้นที่ของค่าที่ได้ระหว่างวิธีการและจำนวนจุดตัวอย่างที่ต่างกันด้วยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ ได้ผลดังแสดงใน ตารางที่ 1 ถึง 3 มีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 ความลึกดินจากวิธีการแทรกค่าเชิงพื้นที่ที่ต่างกัน

ความลึกดินชั้นบนที่ได้จากการแทรกค่าเชิงพื้นที่ด้วยวิธีการที่ต่างกัน (เปรียบเทียบเฉพาะกรณีใช้จุดตัวอย่างจำนวน 86 จุด) ที่มีการกระจายเปลี่ยนแปลงสอดคล้องเป็นไปในทิศทางเดียวกันสูง (ค่า r สูงมากกว่า 0.9, ตารางที่ 1) มีดังนี้ 1) วิธี IDW กับวิธีในกลุ่ม COK (รูปที่ 6-a1 เทียบกับ

6-a3 ถึง 6-a5 มีค่า r ระหว่าง 0.9530–0.9654) 2) วิธีในกลุ่ม COK (รูปที่ 6-a3 ถึง 6-a5 เปรียบเทียบกัน มีค่า r ระหว่าง 0.9947–0.9998) และ 3) วิธี LP กับวิธี GP (รูปที่ 6-a6 ถึง 6-a7 เปรียบเทียบกัน มีค่า r เท่ากับ 0.9216)

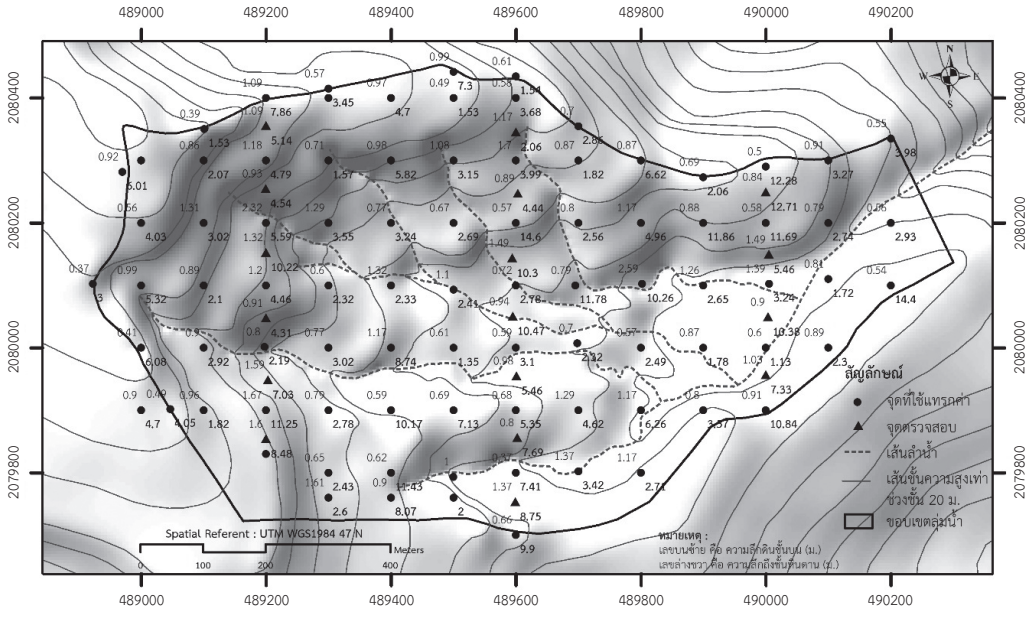
เมื่อเปรียบเทียบการกระจายเชิงพื้นที่ของความลึกดินถึงชั้นหินดานที่ได้จากวิธีการแทรกค่าที่ต่างกัน พบว่าผลการศึกษาเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับความลึกดินชั้นบน ยกเว้นวิธี IDW (รูปที่ 7a1) เทียบกับ COK(slp) (รูปที่ 7a3) ที่มีค่า r เกือบเท่ากับ 0.9 (0.8983)

3.2.2 ความลึกดินจากจำนวนจุดตัวอย่างที่ต่างกัน

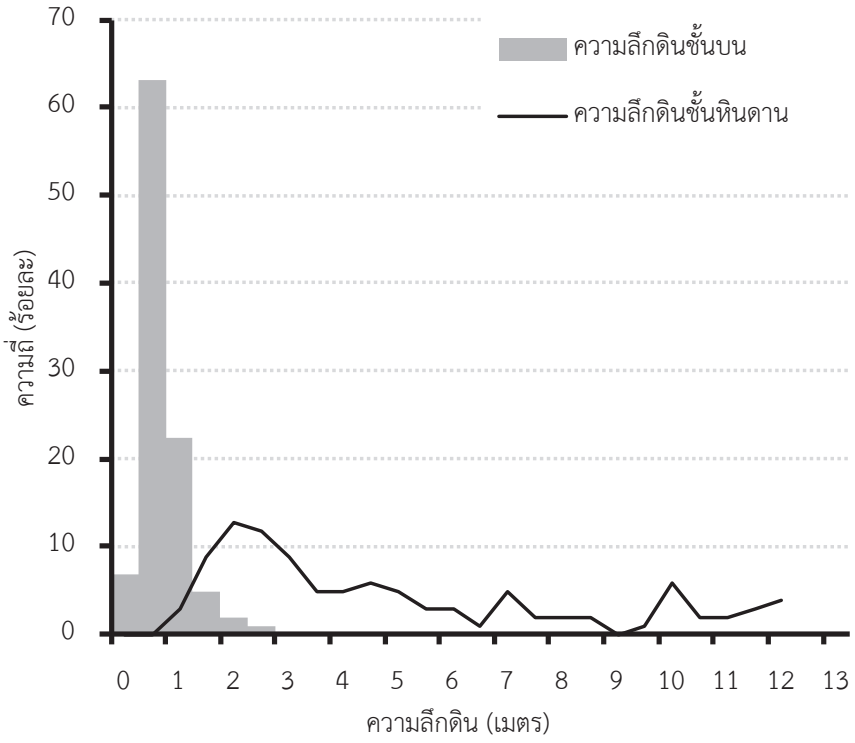
การเปรียบเทียบการกระจายความลึกดินที่ได้จากการแทรกค่าเชิงพื้นที่ที่ใช้จำนวนจุดตัวอย่างที่ต่างกัน (ตารางที่ 2) พบว่า ความลึกดินชั้นบนมีการกระจายเชิงพื้นที่ไปในทิศทางเดียวกันสูงเมื่อใช้จำนวนจุดตัวอย่าง 86 จุด กับ 46 จุด เฉพาะกรณีที่ใช้วิธี 1) วิธี COK (slp) (รูปที่ 6-a3 เทียบกับ 6-b3 ค่า r เท่ากับ 0.9632), 2) วิธี LP (รูปที่ 6-a6 เทียบกับ 6-b6 ค่า r เท่ากับ 0.9265) และ 3) วิธี GP (รูปที่ 6-a7 เทียบกับ 6-b7 ค่า r เท่ากับ 0.9308) ส่วนการใช้ข้อมูลจำนวน 22 จุด การกระจายเชิงพื้นที่ของค่าความลึกดินที่ได้ไม่สอดคล้องกับการใช้ข้อมูลจำนวน 86 และ 46 จุด ส่วนการเปรียบเทียบการใช้จำนวนจุดตัวอย่างที่ต่างกันของความลึกดินถึงชั้นหินดาน (ตารางที่ 3) พบว่า ไม่มีการกระจายเชิงพื้นที่ที่สอดคล้องเป็นไปในทางเดียวกัน

จากการศึกษาทั้ง 2 ประเด็นที่กล่าวในข้อ 3.2.1 และ 3.2.2 เมื่อพิจารณาการกระจายเชิงพื้นที่ของความลึกดินที่ได้จากวิธี LP (รูปที่ 6-a6 ถึง c6 และ รูปที่ 7-a6 ถึง c6) และ GP (รูปที่ 6-a7 ถึง c7 และ รูปที่ 7-a7 ถึง c7) พบว่า มีลักษณะการกระจายเชิงพื้นที่ของความลึกดินเปลี่ยนแปลงขึ้นลงไม่สอดคล้องกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด แต่เปลี่ยนแปลงลดหลั่นเป็นไปตามสมการเส้นโค้งโพลิโนเมียล [3, 9] ดังนั้นจึงไม่นำสองวิธีนี้มาพิจารณาเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของการแทรกค่าเชิงพื้นที่

จากที่กล่าวแล้ว สรุปได้ว่า การใช้วิธีการแทรกค่าที่แตกต่างกันมีผลต่อการกระจายเชิงพื้นที่ของความลึกดินที่เป็นไปในทิศทางเดียวกันเฉพาะ 1) วิธี IDW กับ วิธีในกลุ่ม COK และ 2) ระหว่างวิธีในกลุ่ม COK ส่วนการใช้จำนวนจุดตัวอย่างในการแทรกค่าที่แตกต่างกันส่งผลต่อการกระจายเชิงพื้นที่ของค่าความลึกดินที่ไม่สอดคล้องกัน ยกเว้นในกรณีของดินชั้นบนเมื่อใช้จำนวนจุดตัวอย่าง 86 และ 46 จุด เฉพาะวิธี COK (slp)



รูปที่ 4 ความลึกดินของจุดที่ตรวจวัด บริเวณลุ่มน้ำห้วยคอกม้า อุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ-ปุย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่



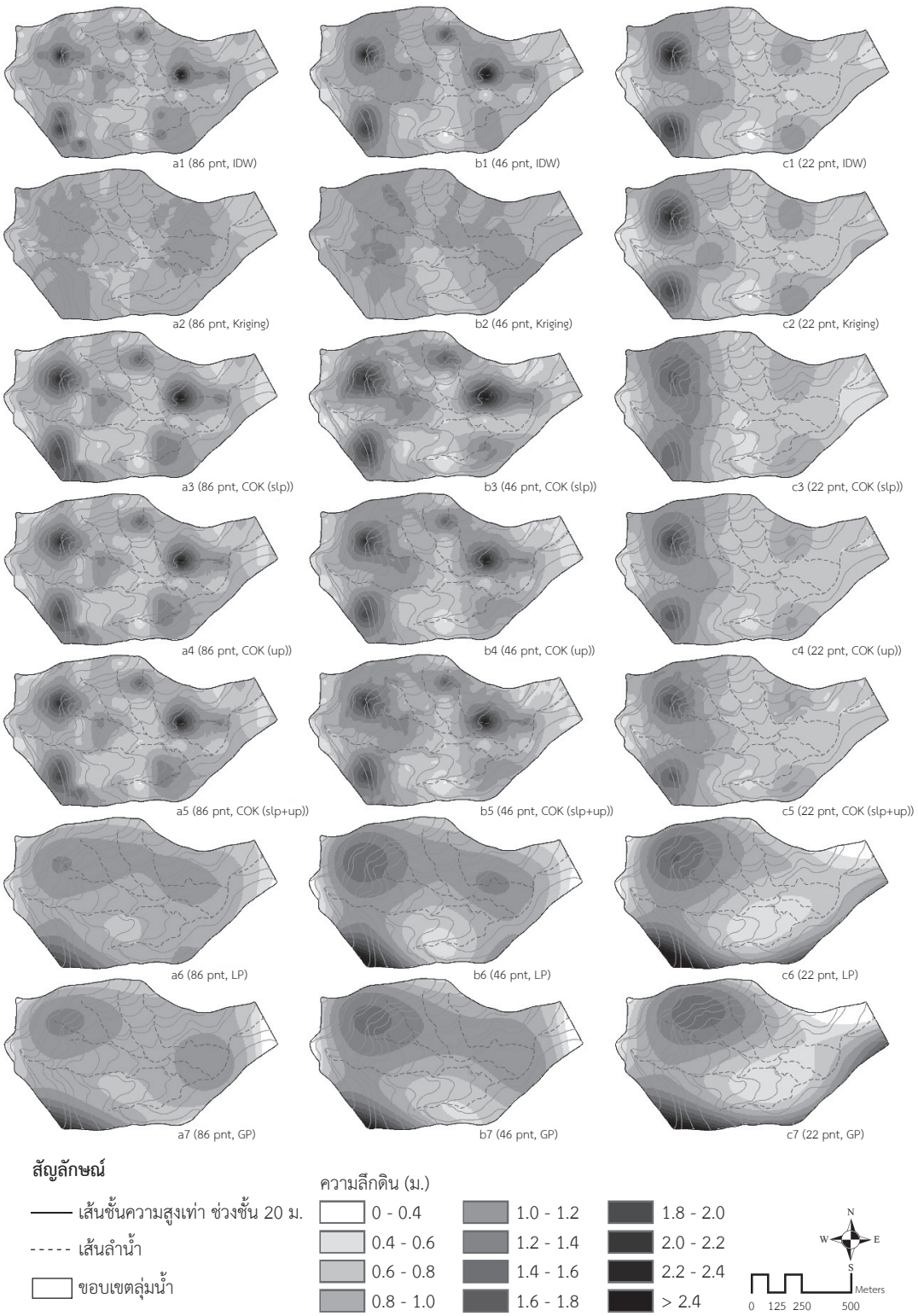
รูปที่ 5 การแจกแจงความถี่ของค่าความลึกดินชั้นบนและความลึกถึงชั้นหินดาน

3.3 ความคลาดเคลื่อนของการแทรกค่าเชิงพื้นที่

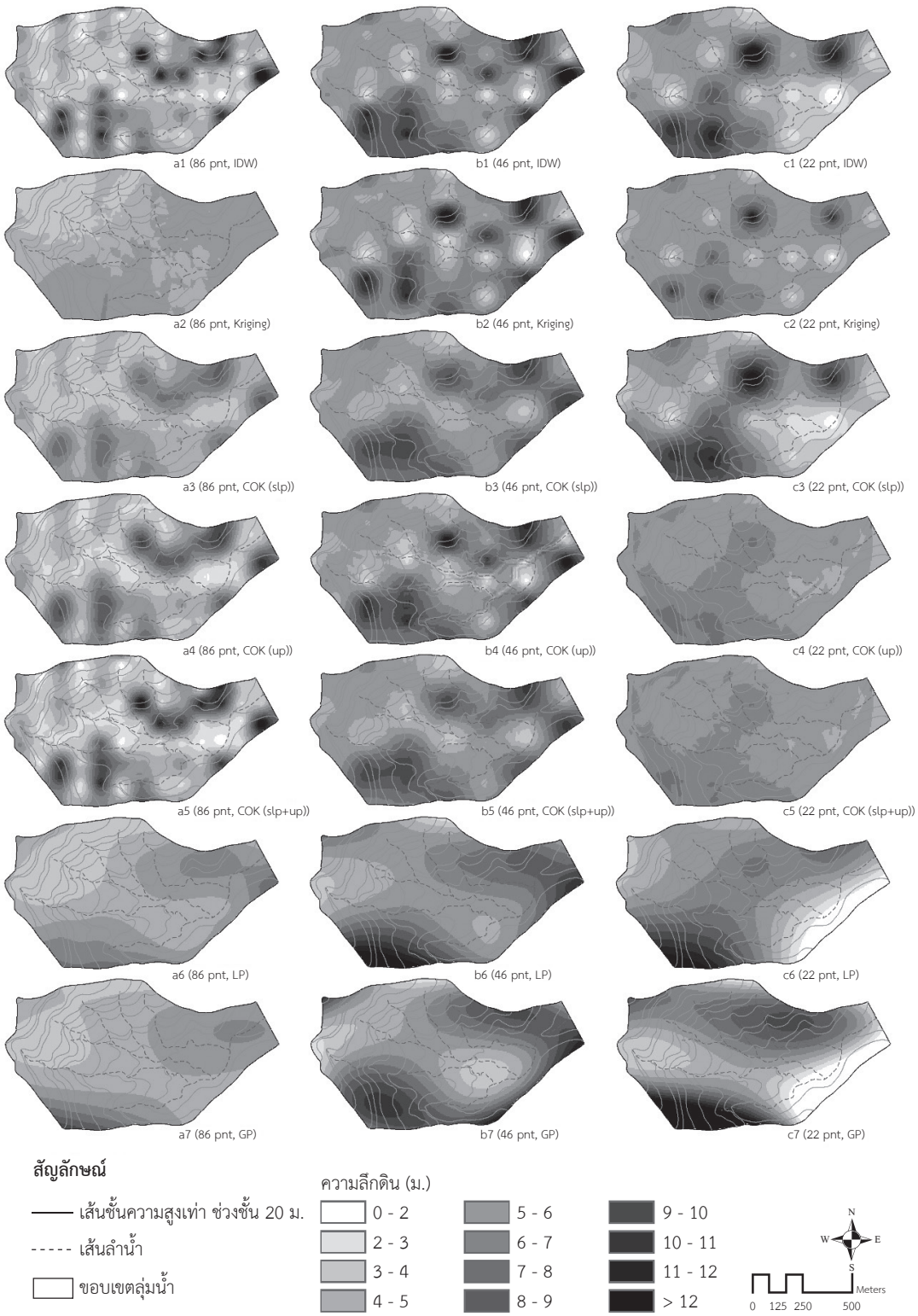
ความคลาดเคลื่อนของการแทรกค่าเชิงพื้นที่ (ผลต่างระหว่างความลึกที่ได้จากการตรวจวัดกับการแทรกค่าเชิงพื้นที่) ของความลึกดินชั้นบนและความลึกถึงชั้นหินดาน เปรียบเทียบระหว่างวิธีการแทรกค่าและจำนวนจุดตัวอย่างที่ต่างกันด้วยรากที่สองของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error, MSE) ด้วย ANOVA แสดงในตารางที่ 4-6 โดยทั่วไปพบว่า ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการแทรกค่าเชิงพื้นที่ของความลึกดินชั้นบนมีค่าน้อยกว่าดินชั้นล่างมาก และเมื่อเปรียบเทียบผลระหว่างการใช้วิธีการและจำนวนจุดตัวอย่างที่ต่างกัน ได้ผลดังนี้

3.3.1 ความคลาดเคลื่อนจากวิธีการที่ต่างกัน

ความคลาดเคลื่อนของการแทรกค่าเชิงพื้นที่ที่เกิดจากการใช้วิธีการที่แตกต่างกันในการศึกษานี้เปรียบเทียบเฉพาะกรณีที่ใช้จำนวนจุดตัวอย่างเท่ากับ 86 จุด แสดงดังตารางที่ 4 เมื่อพิจารณาความลึกดินชั้นบน พบว่าผลจากวิธี IDW มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด คิดเป็นค่า RMSE เท่ากับ 0.1561 เมตร อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบค่า MSE ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.0244 เมตร กับผลที่ได้จากวิธี Kriging, COK(slp), COK(up) และ COK(slp+up) ที่มีค่าเท่ากับ 0.0271, 0.0695, 0.0486 และ 0.0488 เมตรด้วยวิธี ANOVA พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเฉพาะกับวิธี COK(slp) ซึ่งเป็นวิธีการที่มีความคลาดเคลื่อนสูงที่สุดมีค่า RMSE เท่ากับ 0.2637 เมตร และผลที่ได้จากวิธี COK(slp) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความคลาดเคลื่อนจากวิธี Kriging ด้วยเช่นกัน จากที่กล่าวแล้วข้างต้นสรุปได้ว่า วิธี IDW มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด แต่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับวิธีแทรกค่าอื่น ๆ ยกเว้นวิธี COK(slp)



รูปที่ 6 การกระจายเชิงพื้นที่ของความลึกดินชั้นบนจากการแทรกค่าด้วยวิธีการและจำนวนจุดตัวอย่างที่ต่างกัน



รูปที่ 7 การกระจายเชิงพื้นที่ของความลึกถึงชั้นหินดานจากการแทรกค่าด้วยวิธีการและจำนวนจุดตัวอย่างที่ต่างกัน

ตารางที่ 1 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างชั้นข้อมูลความลึกดินที่ได้จากการใช้วิธีการแทรกค่าเชิงพื้นที่ที่ต่างกัน (จุดตัวอย่างจำนวน 86 จุด)

ระดับ	วิธีการ	วิธีการ						
		IDW	Kriging	COK (slp)	COK (up)	COK (slp+up)	LP	GP
ความลึกดินชั้นบน	IDW	1						
	Kriging	0.4991	1					
	COK (slp)	0.9530	0.5064	1				
	COK (up)	0.9654	0.5239	0.9948	1			
	COK (slp+up)	0.9653	0.5230	0.9947	0.9998	1		
	LP	0.6272	0.6621	0.7060	0.6807	0.6795	1	
	GP	0.4854	0.6069	0.5633	0.5405	0.5395	0.9216	1
ความลึกถึงชั้นหินดาน	IDW	1						
	Kriging	0.4533	1					
	COK (slp)	0.8983	0.6649	1				
	COK (up)	0.9251	0.4965	0.9729	1			
	COK (slp+up)	0.9699	0.4357	0.9355	0.9769	1		
	LP	0.5572	0.8687	0.7329	0.6136	0.5635	1	
	GP	0.3745	0.7926	0.5395	0.4170	0.3686	0.9128	1

เมื่อเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการแทรกค่าเชิงพื้นที่ด้วยวิธีการที่แตกต่างกันของความลึกถึงชั้นหินดานพบว่า ค่า MSE ของวิธีการต่าง ๆ ซึ่งมีค่าระหว่าง 3.3077–3.6748 เมตร คิดเป็นค่า RMSE ระหว่าง 1.8187–1.9170 เมตร มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งไม่สามารถสรุปได้ว่าวิธีการใดมีความคลาดเคลื่อนในการแทรกค่าข้อมูลเชิงพื้นที่น้อยที่สุด

การที่ไม่สามารถยืนยันทางสถิติได้ถึงความแตกต่างกันของความคลาดเคลื่อนของการแทรกค่าเชิงพื้นที่ด้วยวิธีการที่แตกต่างกันจากที่กล่าวแล้วข้างต้น มีสาเหตุจากค่าความคลาดเคลื่อนของแต่ละจุดที่นำมาใช้ตรวจสอบความถูกต้อง (จำนวน 17 จุด) มีความแตกต่างกันสูงทำให้ความแปรปรวน (variance) ของความคลาดเคลื่อนมีค่าสูงมาก ถ้ามีการเพิ่มจุดตรวจสอบอาจส่งผลให้ยืนยันความแตกต่างทางสถิติได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

3.3.2 ความคลาดเคลื่อนจากจำนวนจุดตัวอย่างที่ต่างกัน

ความคลาดเคลื่อนของการแทรกค่าเชิงพื้นที่ของดินชั้นบนเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้จำนวนจุดตัวอย่างที่ต่างกัน (ตารางที่ 5) พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนจุดตัวอย่างในการแทรกค่าลดลงจาก 86 จุด เป็น 46 จุด และ 22 จุด เฉพาะวิธี IDW และ Kriging โดยค่า RMSE มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.1561 และ 0.1646 เมตร ตามลำดับ อย่างไรก็ตามความคลาดเคลื่อนดังกล่าวแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้จำนวนจุดตัวอย่างเท่ากับ 46 จุด แต่เมื่อจำนวนจุดตัวอย่างลดลงเหลือ 22 จุด พบว่า ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการใช้วิธี IDW และ Kriging (0.2688 และ 0.2780 เมตร ตามลำดับ) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการใช้วิธีการแทรกค่าในกลุ่ม COK ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการใช้จำนวนจุดตัวอย่างที่ลดลงมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

สำหรับความคลาดเคลื่อนของการแทรกค่าเชิงพื้นที่ของความลึกถึงชั้นหินดาน (ตารางที่ 6) พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยที่สุดเมื่อใช้จำนวนจุดตัวอย่างเท่ากับ 86 จุด แต่ค่าดังกล่าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการใช้จุดตัวอย่างจำนวน 46 และ 22 จุด เฉพาะวิธี Kriging, COK (up) และ COK (slp+up) โดยค่า RMSE มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 1.8988, 1.8187 และ 1.9170 เมตร ตามลำดับ และเมื่อเปรียบความคลาดเคลื่อนระหว่างการใช้จำนวนจุดตัวอย่าง 46 กับ 22 จุด ของทุกวิธีการ

ตารางที่ 2 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลความลึกดินที่ได้จากการใช้จำนวนจุดตัวอย่างที่ต่างกันของความลึกดินชั้นบน

วิธีการ	จำนวนจุดตัวอย่าง	จำนวนจุดตัวอย่าง		
		86	46	22
IDW	86	1		
	46	0.8873	1	
	22	0.6376	0.7428	1
Kriging	86	1		
	46	0.5224	1	
	22	0.5527	0.3692	1
COK (slp)	86	1		
	46	0.9632	1	
	22	0.4201	0.4110	1
COK (up)	86	1		
	46	0.8811	1	
	22	0.6003	0.7104	1
COK (slp+up)	86	1		
	46	0.8717	1	
	22	0.5792	0.7006	1
LP	86	1		
	46	0.9265	1	
	22	0.7591	0.8031	1
GP	86	1		
	46	0.9308	1	
	22	0.5570	0.6024	1

ตารางที่ 3 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลความลึกดินที่ได้จากการใช้จำนวนจุดตัวอย่างที่ต่างกันของความลึกถึงชั้นหินดาน

วิธีการ	จำนวนจุดตัวอย่าง	จำนวนจุดตัวอย่าง		
		86	46	22
IDW	86	1		
	46	0.7775	1	
	22	0.4950	0.6896	1
Kriging	86	1		
	46	0.3943	1	
	22	0.2131	0.7064	1
COK (slp)	86	1		
	46	0.8212	1	
	22	0.4996	0.6751	1
COK (up)	86	1		
	46	0.8128	1	
	22	0.3020	0.4413	1
COK (slp+up)	86	1		
	46	0.7665	1	
	22	0.2433	0.3963	1
LP	86	1		
	46	0.8765	1	
	22	0.3567	0.5539	1
GP	86	1		
	46	0.6531	1	
	22	0.6438	0.4013	1

พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

จากผลการศึกษาที่กล่าวที่กล่าวในข้อ 3.2 และ 3.3 เมื่อพิจารณาร่วมกันในประเด็นการกระจายเชิงพื้นที่ของความลึกดินที่ต่อเนื่องทั้งพื้นที่และความคลาดเคลื่อนของการแทรกค่าเชิงพื้นที่ที่เกิดจากการใช้วิธีการและจำนวนจุดตัวอย่างที่ต่างกัน สรุปได้ว่า

การแทรกค่าเชิงพื้นที่ของความลึกดินบนด้วยวิธีการที่ต่างกันมีการกระจายเชิงพื้นที่จากวิธี IDW เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับวิธีในกลุ่ม COK แต่ผลจากวิธี COK มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่า ในขณะที่ความคลาดเคลื่อนจากวิธี IDW ใกล้เคียงกับวิธี Kriging สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Frolla และคณะ [10] อย่างไรก็ตามผลที่ได้จากวิธี IDW ของการศึกษานี้ มีการกระจายเชิงพื้นที่ของความลึกดินที่ค่อย ๆ ลดหลั่นเปลี่ยนแปลงทีละน้อย (gradual change) สอดคล้องกับข้อมูลที่ตรวจวัดมากกว่าผลที่ได้จากวิธีการ Kriging ที่มีลักษณะเปลี่ยนแปลงค่าแบบทันทีทันใด (abrupt change)

ตารางที่ 4 ความคลาดเคลื่อนของการแทรกค่าเชิงพื้นที่ที่เกิดจากการใช้วิธีการที่แตกต่างกัน (หน่วยเป็น เมตร)

ระดับ	วิธีการ	MSE	RMSE
ความลึกดินชั้นบน	IDW	0.0244	0.1561
	Kriging	0.0271	0.1646
	COK(slp)	0.0695	0.2637
	COK(up)	0.0486	0.2204
	COK(slp+up)	0.0488	0.2208
ความลึกถึงชั้นหินดาน	IDW	3.4124	1.8473
	Kriging	3.6056	1.8988
	COK(slp)	3.4798	1.8654
	COK(up)	3.3077	1.8187
	COK(slp+up)	3.6748	1.9170

ดังนั้นการใช้วิธี IDW ในการแทรกค่าเชิงพื้นที่ความลึกดินบนของพื้นที่ศึกษานี้เป็นวิธีที่มีความเหมาะสมมากกว่าวิธีการอื่นที่เลือกใช้ทดสอบในการศึกษานี้

ตารางที่ 5 ความคลาดเคลื่อนของการแทรกค่าเชิงพื้นที่ที่เกิดจากการใช้จำนวนจุดตัวอย่างในการแทรกค่าที่แตกต่างกันของความลึกดินชั้นบน (หน่วยเป็น เมตร)

วิธีการ	จำนวนจุดตัวอย่าง	MSE	RMSE
IDW	86	0.0244	0.1561
	46	0.0368	0.1919
	22	0.0722	0.2688
Kriging	86	0.0271	0.1646
	46	0.0432	0.2078
	22	0.0773	0.2780
COK (slp)	86	0.0695	0.2637
	46	0.0590	0.2428
	22	0.0828	0.2877
COK (up)	86	0.0486	0.2204
	46	0.0518	0.2277
	22	0.0781	0.2795
COK (slp+up)	86	0.0488	0.2208
	46	0.0509	0.2256
	22	0.0778	0.2790

ส่วนการเปรียบเทียบการกระจายเชิงพื้นที่ของความลึกถึงชั้นหินดานที่ได้จากวิธีการแทรกค่าที่ต่างกันมีผลการศึกษาที่ได้เช่นเดียวกันกับที่พบในดินชั้นบน คือ ผลจากวิธี IDW มีความสอดคล้องเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับวิธีในกลุ่ม COK แต่เมื่อเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนจากการใช้วิธีการที่ต่างกัน พบว่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นจึงยังไม่สามารถสรุปได้ว่าวิธีการที่เลือกใช้ทดสอบในการศึกษานี้ วิธีใดเป็นวิธีที่เหมาะสมมากกว่าวิธีอื่น

เมื่อพิจารณาความคลาดเคลื่อนของการแทรกค่าเชิงพื้นที่จากการใช้จำนวนจุดตัวอย่างที่แตกต่างกันจากผลการศึกษาที่กล่าวแล้ว อาจกล่าวได้ว่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนจุดที่ใช้ในการแทรกค่าลดลง ถึงแม้จะยังยืนยันไม่ได้ทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าการเพิ่มจำนวนหรือความหนาแน่นของจุดตัวอย่างที่มากขึ้นอาจทำให้ความความคลาดเคลื่อนที่ได้มีค่าลดลงทั้งสองชั้นความลึกดิน ดังนั้นการใช้จุดตัวอย่างที่มีจำนวนมากมีความเป็นไปได้ที่จะมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าการใช้จุดตัวอย่างที่มีจำนวนน้อย

เหตุที่ผลของการใช้วิธีการและจำนวนจุดที่แตกต่างกันในการแทรกค่าเชิงพื้นที่ที่มีต่อความคลาดเคลื่อนไม่สามารถยืนยันได้ทางสถิติว่าต่างกัน อาจมีสาเหตุจากความแปรปรวนของข้อมูลความลึกดินที่ได้จาการตรวจวัด จำนวนจุดตัวอย่างที่ใช้ในการแทรกค่าเชิงพื้นที่และจำนวนจุดที่ใช้ตรวจสอบความถูกต้อง โดยความแปรปรวนของข้อมูลความลึกดินที่ได้จากการตรวจวัดโดยเฉพาะความลึกถึงชั้นหินดานมีค่าสูง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญและมีผลต่อความคลาดเคลื่อนของวิธีการแทรกค่าเชิงพื้นที่ต่าง ๆ [11] ดังนั้นหากเพิ่มจำนวนจุดตรวจวัดมากขึ้นอาจมีผลให้ความแปรปรวนของข้อมูลลดลง นอกจากนั้นจำนวนจุดที่ใช้ตรวจสอบความความคลาดเคลื่อนของวิธีการแทรกค่าเชิงพื้นที่ (จำนวนจุดที่ใช้ในการแทรกค่าเท่ากับ 86 จุด) มีเพียง 17 จุด และมีความแปรปรวนของค่า RMSE สูง ซึ่งอาจน้อยเกินไปสำหรับการตรวจสอบความถูกต้อง ดังนั้นหากเพิ่มจำนวนจุดตัวอย่างที่ใช้ตรวจสอบความถูกต้องของการแทรกค่าเชิงพื้นที่ให้มีจำนวนมากยิ่งขึ้น อาจทำให้สามารถยืนยันความแตกต่างกันทางสถิติของวิธีการแทรกค่าได้ ส่วนการเปรียบเทียบการใช้จำนวนจุดตัวอย่างในการแทรกค่าที่ต่างกัน พบว่าการเพิ่มขึ้นของจำนวนจุดตัวอย่างมีความเป็นไปได้ที่ความคลาดเคลื่อนจะลดลง ดังนั้นหากเพิ่มจำนวนจุดวัดให้มากขึ้นอาจทำให้ความถูกต้องในการแทรกค่าเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Frolla และคณะ [10] ที่ได้กล่าวว่าการเพิ่มความหนาแน่นของจำนวนจุดตัวอย่างส่งผลต่อความถูกต้องที่เพิ่มขึ้น

4. สรุป

การศึกษาการแทรกค่าเชิงพื้นที่ของความลึกดินโดยใช้วิธีการและจำนวนจุดตัวอย่างที่แตกต่างกันบริเวณลุ่มน้ำห้วยคอกม้า จังหวัดเชียงใหม่ ดำเนินการโดยวัดความลึกดินทั้งหมด 103 จุด ด้วยเครื่องเจาะรูปกรวยแบบกระแทก (Knocking Cone Penetrometer) ที่ระดับความลึกดินชั้นบนและความลึกถึงชั้นหินดาน แล้วนำผลที่ได้มาแทรกค่าเชิงพื้นที่ (spatial interpolation) ด้วยโปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ทั้งหมด 5 วิธี ได้แก่วิธี Inverse Distance Weighing (IDW), Kriging, Cokriging (COK), Local Polynomial

(LP) และ Global Polynomial (GP) โดยใช้จำนวนจุดตัวอย่างที่แตกต่างกันได้แก่ 86, 46 และ 22 จุด เพื่อศึกษาผลของวิธีการและจำนวนจุดตัวอย่างที่ใช้ในการแทรกค่าเชิงพื้นที่ที่แตกต่างกันต่อการกระจายเชิงพื้นที่ (spatial distribution) ของความลึกดินที่ต่อเนื่องกันทั้งพื้นที่และความคลาดเคลื่อนของการแทรกค่าเชิงพื้นที่ สรุปผลได้ดังนี้

ตารางที่ 6 ความคลาดเคลื่อนของการแทรกค่าเชิงพื้นที่ที่เกิดจากการใช้จำนวนจุดตัวอย่างในการแทรกค่าที่แตกต่างกันของความลึกดินถึงชั้นหินดาน (หน่วยเป็น เมตร)

วิธีการ	จำนวนจุดตัวอย่าง	MSE	RMSE
IDW	86	3.4124	1.8473
	46	8.5772	2.9287
	22	6.7534	2.5987
Kriging	86	3.6056	1.8988
	46	8.3081	2.8824
	22	7.1862	2.6807
COK (slp)	86	3.4798	1.8654
	46	7.1125	2.6669
	22	7.3341	2.7082
COK (up)	86	3.3077	1.8187
	46	7.8061	2.7939
	22	7.4450	2.7286
COK (slp+up)	86	3.6748	1.9170
	46	7.4040	2.7210
	22	7.5446	2.7468

ความลึกดินชั้นบนมีค่าระหว่าง 0.37-2.59 เมตร เฉลี่ย ($\bar{x}$) เท่ากับ 0.94 เมตร มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 3.34 เมตร ความลึกถึงชั้นหินดานมีค่าระหว่าง 1.13-14.60 เมตร เท่ากับ 5.23 เมตร และ SD เท่ากับ 3.34 เมตร โดยพบว่าความลึกดินชั้นบนมีความแปรปรวน (variance) ของค่าความลึกดินที่ตรวจวัดได้น้อยกว่าความลึกถึงชั้นหินดาน มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficient of variance, CV) เท่ากับร้อยละ 41.49 และ 65.58 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบผลของการใช้วิธีการแทรกค่าเชิงพื้นที่ที่ต่างกันต่อการกระจายเชิงพื้นที่ของความลึกดินที่ต่อเนื่องกันพบว่า มีการเปลี่ยนแปลงสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันสูง (ค่า correlation coefficient (r) มากกว่า 0.9) เฉพาะระหว่างวิธี IDW กับวิธีในกลุ่ม COK ทั้งสองชั้นความลึก ส่วนความคลาดเคลื่อนของการแทรกค่าเชิงพื้นที่ของความลึกดินชั้นบน พบว่า ผลจากวิธี IDW มีค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (root mean square error, RMSE) น้อยที่สุดเท่ากับ 0.1561 เมตร และวิธีที่มีค่ามากที่สุดคือ COK(slp) มีค่า RMSE เท่ากับ 0.2637 เมตร แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเฉพาะเมื่อเทียบผลจากวิธี COK(slp) กับ IDW และ COK(slp) กับ Kriging เท่านั้น ส่วนความลึกถึงชั้นหินดานมีความคลาดเคลื่อนของการแทรกค่าเชิงพื้นที่ใกล้เคียงกัน ค่า RMSE อยู่ระหว่าง 1.8187–1.9170 เมตร และเมื่อเปรียบเทียบค่า MSE ระหว่างผลที่ได้จากวิธีการต่าง ๆ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งไม่สามารถสรุปได้ว่าวิธีการใดมีความคลาดเคลื่อนในการแทรกค่าข้อมูลเชิงพื้นที่น้อยที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบการใช้จำนวนจุดตัวอย่างในการแทรกค่าที่แตกต่างกันต่อการกระจายเชิงพื้นที่ของความลึกดินทั้งสองชั้น พบว่า การกระจายเชิงพื้นที่มีความสอดคล้องกันไม่สูง ยกเว้นกรณีของดินชั้นบนเมื่อเปรียบเทียบการใช้จำนวนจุดตัวอย่าง 86 กับ 46 จุด ที่ใช้วิธี COK (slp) เท่านั้นที่มีค่า r สูงกว่า 0.9 ส่วนความคลาดเคลื่อน ของการแทรกค่าเชิงพื้นที่ของความลึกดินชั้นบน พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้จำนวนจุดตัวอย่างน้อยลงเฉพาะวิธี IDW และ Kriging โดยมีค่า RMSE เท่ากับ 0.1561 และ 0.1646 เมตร ตามลำดับ แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้จำนวนจุดตัว 22 จุด เท่านั้น ส่วนความลึกถึงชั้นหินดาน ความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยที่สุดเมื่อใช้จำนวนจุดตัวอย่างเท่ากับ 86 จุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้จุดตัวอย่างจำนวน 46 และ 22 จุด เฉพาะวิธี Kriging, COK (up) และ COK (slp+up) โดยมีค่า RMSE เท่ากับ 1.8988, 1.8187 และ 1.9170 เมตร ตามลำดับ ส่วนความคลาดเคลื่อนของการใช้จำนวนจุดตัวอย่าง

46 และ 22 จุดของทุกวิธีการ มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อพิจารณาผลการศึกษาทั้งความผันแปรของข้อมูลและความคลาดเคลื่อนทางสถิติ พบว่าการใช้วิธี IDW มีผลต่อการกระจายเชิงพื้นที่ของความลึกดินลดหลั่นต่อเนื่องและสอดคล้องกับข้อมูลที่ตรวจวัดมากกว่าวิธีอื่น เป็นวิธีที่ง่ายไม่ซับซ้อนและมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่สูงเมื่อเทียบกับวิธีการอื่น ๆ ที่ใช้ในการศึกษานี้ อย่างไรก็ตาม เพื่อให้เกิดความชัดเจนของผลการศึกษามากยิ่งขึ้น หากมีการเพิ่มจำนวนและความหนาแน่นของจุดตัวอย่างที่ใช้ในการแทรกค่าและตรวจสอบความถูกต้อง อาจทำให้ผลการศึกษาที่สามารถยืนยันความแตกต่างกันทางสถิติได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

5. เอกสารอ้างอิง

1. Penizek, V. and Boruvka, L., 2006, "Soil Depth Prediction Supported by Primary Terrain Attributes a Comparison of Methods," *Plant Soil Environ*, 52 (9), pp. 424–430.

2. Chan, H.C., Chang, C.H., Chen, P.A. and Lee, J.T., 2019, "Using Multinomial Logistic Regression for Prediction of Soil Depth in an Area of Complex Topography in Taiwan," *Catena*, 176, pp. 419-429.

3. Yaotanee, K., 2006, Comparison of Spatial Interpolation Methods Using GIS for Estimating Bulk Density and Saturated Hydraulic Conductivity at Kog-Ma Watershed, Chiang Mai Province, Master of Science Thesis, Watershed and Environment Program, The Graduate School, Kasetsart University. 135 p. (In Thai)

4. Chankaew, K., Nganpongsai, C., Ruangparnich, N., Sukcharoen, S. and Thangtham, N., 1969, KOG-MA Wathershed Research vol.1: Mountain Watershed Management Research at Doi Suthep-Pui National Park, Mueang District, Chiang Mai Province, Department of Conservation, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok, 234 p. (In Thai)

5. Konagai, K., Johansson, J., Mayorca P., Uzuoka, R., Yamamoto, T., Miyajima, M., Pulido, N., Sassa, K., Fukuoka, H. and Duran, F., 2004, Las Colinas landslide: Rapid and long-Traveling Soil Flow by the January 13, 2001, El Salvador Earthquake, Geological Society of America, pp. 39-54.

6. Burrough, P.A. and McDonnell, R.A., 1998, Principles of Geographical Information System, Oxford University Press, Oxford, pp. 132-160.

7. Chen, H., Fan, L., Wu, W. and Liu, H. B., 2017, "Comparison of Spatial Interpolation Methods for Soil Moisture and its Application for Monitoring Drought," *Environmental Monitoring and Assessment*, 189 (10), 13 p.

8. Ding, Y., Wang, Y. and Miao, Q., 2011, "Research on the Spatial Interpolation Methods of Soil Moisture based on GIS," *The 2011 International Conference on Information Science and Technology*, March 26-28, 2011, Nanjing, Jiangsu, China, pp. 709-711.

9. ESRI, 2018, ArcGIS Pro : How Global Polynomial Interpolation Works [Online], Available: https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/geostatistical-analyst/how-global-polynomial-interpolation-works.htm. [20 December 2022]

10 .Frolla, F.D., Zilio, J.P. and Kruger, H., 2015, "Spatial Variability of Soil Depth. Interpolation Methods for the Southwest of Buenos Aires," *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 41 (3), pp. 309-316.

11 .Li, L. and Heap, A.D., 2011, "A Review of Comparative Studies of Spatial Interpolation Methods in Environmental Sciences: Performance and Impact Factors," *Ecological Informatics*, 6 (3-4), pp. 228-241. https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2010.12.003