

การศึกษาความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของค่าการนำไฟฟ้าในพื้นที่ดิน ภายใต้อิทธิพลของเกลือในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ: ระยะห่างที่เหมาะสมระหว่างจุดเก็บตัวอย่างดิน

Study on Spatial Variability of the Electrical Conductivity in Salt-Affected Soils in Northeast Thailand: Optimal Distance Between the Sampling Points

พรทิพย์ โพนตุแสง¹, เรืองศักดิ์ กตเวทิน^{1,2*}, เกริก ปันหน่งเพชร¹ และ สุนันtha กิ่งไพบูลย์³

Porntip Phontusang¹, Roengsak Katawatin^{1,2*}, Krirk Pannangetch¹
and Sununtha Kingpaiboon³

บทคัดย่อ: ข้อมูลเกี่ยวกับความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของค่าการนำไฟฟ้าของดิน มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการวางแผน และการจัดการพื้นที่ดินภายใต้อิทธิพลของเกลือ การศึกษาหาความแปรปรวนดังกล่าวนี้จะให้ผลที่ถูกต้องดีเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ หนึ่งในนั้นคือระยะห่างในการเก็บตัวอย่างดิน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาระยะห่างที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างดินเพื่อวัดค่าการนำไฟฟ้าในพื้นที่ดินภายใต้อิทธิพลของเกลือที่มีระดับความรุนแรงแตกต่างกัน พื้นที่ศึกษา อยู่ในตำบลเมืองเพีย อำเภอบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น เป็นพื้นที่ซึ่งได้รับอิทธิพลของเกลือ 3 ระดับ คือระดับสูงมาก (class 1) ระดับสูง (class 2) และ ระดับปานกลาง (class 3) แต่ละระดับเลือกพื้นที่ศึกษา 2 แห่ง รวมเป็นพื้นที่ทั้งสิ้น 6 แห่ง ทำการเก็บตัวอย่างดินแต่ละแห่ง โดยใช้วิธีเก็บตัวอย่างแบบสุ่มในกริดขนาด 5x5 ตร.ม. ในพื้นที่ขนาด 50x50 ตร.ม. วิเคราะห์ค่า การนำไฟฟ้าของสารละลายที่สกัดจากดินอิมตัวด้วยน้ำ ในห้องปฏิบัติการ และวิเคราะห์ ธรณีสถิติโดยใช้เซมิแวกเรียแกรม เพื่อศึกษาความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของค่าคุณสมบัติทางเคมีดังกล่าวซึ่งจะนำไปใช้กำหนดระยะห่างที่เหมาะสมสำหรับการเก็บ ตัวอย่างดินต่อไป ผลการศึกษาพบว่า ดินภายใต้อิทธิพลของเกลือมีความแปรปรวนสูงมากในพื้นที่ทุกระดับความรุนแรง และความแปรปรวนนี้ยังอาจแตกต่างกันแม้ในพื้นที่ซึ่งจัดอยู่ใน class เดียวกัน ดังนั้นระยะห่างที่เหมาะสมสำหรับการเก็บตัวอย่าง ดินในพื้นที่เหล่านี้จึงค่อนข้างแคบและอาจแตกต่างกันไปบ้าง พื้นที่ class 1 มีความเป็นไปได้ตั้งแต่ 3 เมตรจนถึง 25 เมตร class 2 มีความเป็นไปได้ 13 เมตรจนถึง 18 เมตร และ class 3 มีความเป็นไปได้ตั้งแต่ 4 เมตรจนถึง 15 เมตร

คำสำคัญ: ค่าการนำไฟฟ้า, ดินภายใต้อิทธิพลของเกลือ, สหสัมพันธ์เชิงพื้นที่, เซมิแวกเรียแกรม

ABSTRACT: Information on the spatial variation of electrical conductivity (EC) is required in order to be able to implement appropriate control measures to the salt-affected areas. Accurate result of the spatial variation study depends on several factors. One of these is the spacing between the sampling points. The objective of this study was

¹ ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Department of Plant Science and Agricultural Resources, Khon Kaen University

² ศูนย์วิจัยน้ำบาดาล มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Ground Water Research Center, Khon Kaen University

³ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Department of Agricultural Engineering, Khon Kaen University

* Corresponding author: roekat@kku.ac.th

to investigate spatial correlation to define the optimal distance for soil sampling in areas of different degrees of salt effect. The study area was in Muang Phia subdistrict, Ban Phai district, Khon Kean province. Attention was paid to areas of 3 different classes of salt-affected soils. This included (1) very highly affected (class 1), highly affected (class 2) and moderately affected (class 3). For each class, 2 sites were selected, totally 6 study sites were taken into consideration. In each site, soil samples were collected according to the stratified systematic sampling method in every 5 m² in area of the 50 x 50 m² grid. The samples were then analyzed for electrical conductivity of the saturation extract (ECe) in the laboratory. Semivariogram were employed to define the spatial correlation of this chemical property and the optimal distance between the soil sampling points. The results revealed high variation of the ECe in every study site, The variations were significantly different between classes, and even between different sites within the same class. Consequently, the optimal distances between sampling points were relatively short and varying. The possible distance were 3- 25 m., 13-18 m, and 4-15 m., for areas of classes 1, 2, and 3, respectively.

Keywords: electrical conductivity, salt-affected soils, spatial correlation, semivariogram

บทนำ

ดินภายใต้อิทธิพลของเกลือเป็นสาเหตุหนึ่งของ การสูญเสียผลผลิตทางการเกษตรและการเสื่อมสภาพ ของดิน (Gokalp et al., 2010) ในประเทศไทยดินนี้พบ ได้ทั้งบนบกและบริเวณริมทะเล ดินภายใต้อิทธิพลของ เกลือที่พบบนบก มีมากที่สุดในการออกเฉียงเหนือ คือประมาณ 17.8% ของพื้นที่ทั้งหมดของภาค (สมศรี, 2539)

ในปัจจุบันแผนที่ดินภายใต้อิทธิพลของเกลือถูก จัดทำขึ้นโดยใช้ปริมาณคราบเกลือที่ปรากฏในฤดูแล้ง เป็นเกณฑ์ในการจำแนกระดับความรุนแรง (สมศักดิ์, 2548) ยังขาดข้อมูลอื่นที่สำคัญต่อการวางแผนและ การจัดการ เช่น ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity, EC) สัดส่วนการดูดซับโซเดียม (sodium adsorption ratio, SAR) และ ชนิดของดินภายใต้อิทธิพลของเกลือ (ดินเค็ม ดินโซดิก หรือ ดินเค็มโซดิก) การศึกษาหา แนวทางวางแผนจัดการที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ดินนี้ จึงจำเป็นต้องทราบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคราบ เกลือกับคุณสมบัติทางเคมีข้างต้นที่มีความถูกต้องสูง เช่น ข้อมูลในรูปความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของคุณสมบัติ ทางเคมีต่างๆที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ซึ่งมีปริมาณคราบ เกลือระดับต่างๆ (Pozdnyakova and Zhang, 1999; Katawatin and Sukchan, 2012)

โดยทั่วไปแล้วการศึกษาความแปรปรวนของ คุณสมบัติทางเคมีของดิน ในพื้นที่ใดๆ จะใช้สถิติ พื้นฐานในการอธิบายแนวโน้มเข้าสู่ศูนย์กลาง และการกระจายหรือความแปรปรวน อย่างไรก็ตามการ

อธิบายลักษณะความแปรปรวนด้วยสถิติพื้นฐานยังไม่ สามารถอธิบายได้ครอบคลุมสำหรับการใช้ประโยชน์ อย่างสมบูรณ์ เนื่องจาก ทฤษฎีพื้นฐานทางสถิติ ได้ กำหนดว่า ตัวแปรที่ไม่ทราบค่า (unknown population) จะต้องถูกเก็บตัวอย่างมาแบบสุ่ม (random sampling) และมีความเป็นอิสระต่อกัน แต่สำหรับตัวแปรซึ่งเป็น สิ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่นคุณสมบัติต่างๆของดิน ค่าของตัวแปรเกิดแบบมีความต่อเนื่องสัมพันธ์กัน มีทิศทางและระยะทางเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย สาเหตุนี้ การใช้สถิติพื้นฐานในการอธิบายความแปรปรวนของ คุณสมบัติทางเคมีของดินภายใต้อิทธิพลของเกลือจึง ไม่เพียงพอ ดังนั้นในการศึกษารูปแบบ และความ แปรปรวนของดินจำเป็นต้องใช้เทคนิคทางสถิติมา ช่วยเสริมในการวิเคราะห์เพื่อให้การอธิบายลักษณะ ความแปรปรวนมีความสมบูรณ์มากขึ้น (พันธลพ, 2540; Singer and Munn, 1996)

การใช้ธรณีสถิติ สามารถแสดงลักษณะของความ แปรปรวนเชิงพื้นที่ (spatial variation) ด้วยการสร้าง เซมิแวกโรแกรม (semivariogram) ซึ่งแสดงให้เห็นถึง ความสัมพันธ์ของข้อมูลในระยะทางและทิศทางต่างๆ (Phillips, 1986; Robertson, 1987) และยังสามารถ นำข้อมูลค่าความแปรปรวนนุกเก็ต (nugget) ค่าความ แปรปรวนคงที่ (sill) และระยะอิทธิพล (range) จาก เซมิแวกโรแกรมโมเดลที่สอดคล้องกับข้อมูลมากที่สุด ไปใช้พิจารณาสำหรับการประเมินค่าในช่วง (interpolation) ด้วยวิธีการคริกกิง (kriging) (IT Department, 2001) ซึ่งเป็นการประเมินค่าเชิงเส้นที่มีอคติน้อยที่สุด

(unbias estimator) (Issaks and Srivastava, 1989; Webster and Oliver, 2001; Yang et al., 2011) เพื่อแสดงการกระจายตัวเชิงพื้นที่ต่อไปได้อีกด้วย

ในการศึกษาความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (spatial correlation) โดยใช้เซมิแวริโอแกรมจะให้ผลดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการเช่น วิธีการเก็บตัวอย่าง (Campbell, 1996; Atkinson and Nicolas, 2000; Stephen, 2009) จำนวนตัวอย่าง และระยะห่างที่เหมาะสม (Journel and Huijbregts, 1978) การศึกษานี้ดำเนินการเพื่อสืบหาระยะห่างในการเก็บตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับอธิบายความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของค่าการนำไฟฟ้าซึ่งอาจจะแตกต่างกันไป ในพื้นที่ดินภายใต้อิทธิพลของเกลือระดับความรุนแรงต่างๆ

เซมิแวริโอแกรม

เซมิแวริโอแกรมคือ วิธีวัดค่าความเปลี่ยนแปลงหรือสหสัมพันธ์เชิงพื้นที่ออกมาในรูปแบบของข้อมูลเชิงปริมาณ โดยคำนวณจากค่าความแปรปรวนของตัวแปรในแต่ละระยะทางและทิศทางใดๆ เซมิแวริโอแกรมจะอยู่ในรูปของกราฟแสดงความแปรปรวนต่อระยะทางและทิศทาง (Figure 1) และในการอธิบายเซมิแวริโอแกรม จะใช้สัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ (Clark, 2001) ดังสมการนี้

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n [g(x) - g(x+h)]^2$$

โดยที่ $\gamma(h)$ คือ ฟังก์ชันเซมิแวริโอแกรม

$g(x)$ คือ ค่าของตัวแปรที่ตำแหน่ง x

$g(x+h)$ คือ ค่าของตัวแปรที่ตำแหน่งของข้อมูลตัวที่สองซึ่งอยู่ห่างจากข้อมูล x เป็นระยะและทิศทางที่กำหนดด้วยเวกเตอร์ h

n คือ จำนวนคู่ของตัวอย่างทั้งหมด

จากการพิจารณาเซมิแวริโอแกรม สามารถเลือกใช้โมเดลที่มีความเหมาะสมกับข้อมูลมากที่สุด โดยสร้างเส้น เซมิแวริโอแกรมโมเดล (semivariogram model) ให้สอดคล้องกับข้อมูลความแปรปรวนในระยะ

ทางและทิศทางต่างๆ ระหว่างกันของจุดข้อมูลตัวอย่าง เซมิแวริโอแกรม (semivariogram sample) ซึ่งโมเดลที่ใช้ในการศึกษาธรณีสถิติมีโดยทั่วไปหลายแบบ เช่น linear model, spherical model, exponential model, gaussian model และ power model เป็นต้น (Kitanidis, 1997) Webster and Oliver (2001) และ Burrough and McDonnell (1998) รายงานว่าหากโมเดลแต่ละแบบข้างต้นสอดคล้องกับข้อมูลตัวอย่างได้ดีใกล้เคียงกัน แนะนำให้ใช้ spherical model เนื่องจากเป็นโมเดลที่แสดงค่า sill และ range ได้อย่างชัดเจน

เซมิแวริโอแกรมโมเดลจะสอดคล้องกับข้อมูลตัวอย่างหรือไม่พิจารณาจากค่า nugget, sill และ range ใน กราฟเซมิแวริโอแกรม โดยที่ ค่า nugget จะอธิบายถึงความผิดพลาดจากการเก็บตัวอย่างที่มีระยะห่างเกินไป หรือ ความผิดพลาดที่เกิดจากการวิเคราะห์ ค่าความแปรปรวน sill อธิบายถึง ความแปรปรวนของระยะทางที่ตัวแปรไม่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลข้างเคียงอีกต่อไป และ range อธิบายถึงระยะทางที่ข้อมูลเริ่มมีความเป็นอิสระต่อกัน (Figure 1) (Sumner, 1999; Webster and Oliver, 2001) ซึ่ง Sumner (1999) เสนอว่า ระยะห่างที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่าง ควรมีระยะ $\frac{1}{4}$ ถึง $\frac{1}{2}$ ของระยะ range ซึ่งเป็นจุดที่ไม่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลข้างเคียงอีกต่อไป ในขณะที่ IT Department (2001) เสนอว่าระยะห่างที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างควรพิจารณาจาก $\frac{1}{4}$ ของระยะ range

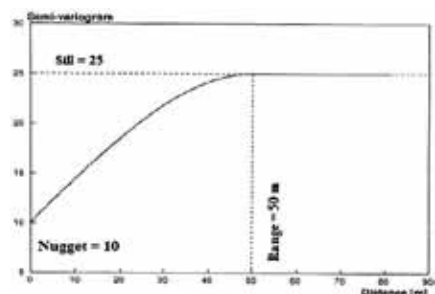


Figure 1 Semivariogram showing nugget, sill, and range. (Stein, 1999)

Goodness of fit (R^2)

Goodness of fit คือ สถิติที่ใช้วัดความสอดคล้องของข้อมูลในการอธิบายความผันแปรของข้อมูล ใช้สัญลักษณ์ R^2 ค่า R^2 ซึ่งหมายถึงค่า goodness of fit ต่างจากค่า R^2 ที่ได้จากการนำค่าสหสัมพันธ์มา ยกกำลังสองหรือที่เรียกว่า สัมประสิทธิ์การอธิบาย (coefficient of determination) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้บ่งชี้ว่า ความแปรปรวนในตัวแปรหนึ่งสามารถอธิบายหรือทำนายด้วยตัวแปรอื่นๆ ได้ดีเพียงใด (Graphpad software, 2012)

สำหรับสถิติที่อธิบายความสอดคล้องของเซมิแวรีโอแกรมโมเดลที่ใช้ กับจุดข้อมูลตัวอย่างเซมิแวรีโอแกรม คือค่า goodness of fit (R^2) ซึ่งควรมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 หากค่า R^2 เท่ากับ 1 หมายถึงโมเดลนี้มีความสอดคล้องกับข้อมูลมากที่สุด สมการที่ใช้ในการคำนวณ goodness of fit สำหรับเซมิแวรีโอแกรม (IT Department, 2001) คือ

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(\hat{\gamma}(hi) - \gamma(hi))^2}{\sum(\hat{\gamma}(hi) - \sum \hat{\gamma}(hi)/N)^2}$$

โดยที่ $\hat{\gamma}(hi)$ คือ ค่าของ semivariogram model ในแต่ละ distance class

$\gamma(hi)$ คือ ค่าของ semivariogram sample ที่คำนวณได้ในแต่ละ distance class

N คือ จำนวนตัวอย่างทั้งหมดในแต่ละ distance class

จากสมการข้างต้นค่าตัวตั้ง $\sum(\hat{\gamma}(hi) - \gamma(hi))^2$ คือ ความแตกต่างระหว่างค่าจุดข้อมูลตัวอย่างเซมิแวรีโอแกรมและ เซมิแวรีโอแกรมโมเดลเรียกว่า ผลรวมกำลังสองของความผิดพลาด (the sum of squares due to error, SSE) ส่วน $\sum(\hat{\gamma}(hi) - \sum \hat{\gamma}(hi)/N)^2$

คือ ความแตกต่างระหว่างค่าจุดข้อมูลตัวอย่างเซมิแวรีโอแกรมและเส้นค่าเฉลี่ยของความแปรปรวนลากขนานกับแกน X (horizontal line) เรียกว่า ผลรวมกำลังสองทั้งหมด (total sum of squares, SST)

ในการคำนวณ goodness of fit จากสมการข้างต้น ค่า R^2 มีโอกาสที่จะติดลบได้ สำหรับในกรณีที่ SSE มีค่ามากกว่า SST เนื่องจากข้อมูลจุดข้อมูลตัวอย่างเซมิแวรีโอแกรมมีผลรวมระยะห่างจากเส้น เซมิแวรีโอแกรมโมเดลมากกว่า ระยะห่างจากเส้น horizontal line ซึ่งจะทำให้ค่า SSE สูงกว่า ค่า SST เมื่อนำค่า SSE/SST มาลบออกจาก 1 แล้วจึงทำให้ค่าติดลบ ในกรณีนี้ค่า R^2 ไม่สามารถแปลความหมายได้ เนื่องจากโมเดลไม่สอดคล้องกับข้อมูลตัวอย่าง หรืออาจเนื่องจากการใช้โมเดลผิดพลาด วิธีแก้ไขคือควรสร้างเส้นโมเดลใหม่โดยเลือกใช้โมเดลให้ถูกประเภท (Graphpad software, 2012)

วิธีการศึกษา

พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาอยู่ในตำบลเมืองเพีย อำเภอบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น ละติจูดที่ $16^{\circ}01' - 16^{\circ}11'N$ และลองจิจูดที่ $102^{\circ}37' - 102^{\circ}42' E$ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (Figure 2) ซึ่งครอบคลุมทุกชั้นจำแนก (class) ที่แบ่งตามปริมาณคราบเกลือที่ผิวดินและระดับความรุนแรงของผลกระทบจากเกลือ (พิชัย, 2538) สำหรับการศึกษาครั้งนี้จำกัดเฉพาะในพื้นที่ 3 classes คือ class 1 ได้รับผลกระทบจากเกลือมากที่สุด พบคราบเกลือ >50% ของพื้นที่ class 2 ผลกระทบจากเกลือมาก พบคราบเกลือ 10-50% ของพื้นที่ และ class 3 ผลกระทบจากคราบเกลือปานกลาง พบคราบเกลือ 1-10% ของพื้นที่

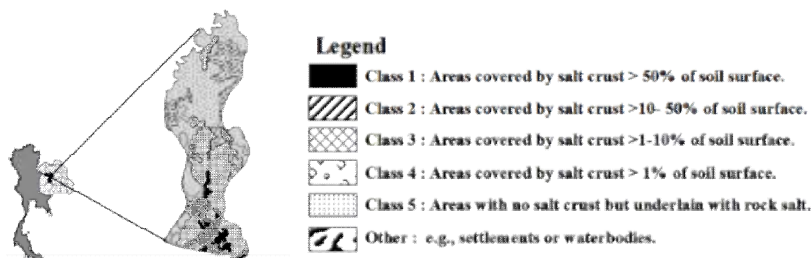


Figure 2 Study area in Muang Phia subdistrict, Ban Phai district, Khon Kaen province.

การเก็บตัวอย่างดิน

จากการตรวจเอกสารของนักวิจัยหลายท่านพบว่าวิธีการเก็บตัวอย่างและจำนวนตัวอย่างที่เหมาะสมมีความสำคัญมากสำหรับการศึกษาสหสัมพันธ์เชิงพื้นที่โดยใช้เซมิแวกเรียแกรม ซึ่งวิธีการเก็บตัวอย่างที่นิยมใช้มีหลากหลายวิธี แต่ที่นิยมใช้ในการศึกษาความแปรปรวนเชิงพื้นที่ได้แก่ การเก็บตัวอย่างแบบกริด (systematic sampling) (Delmelle and Goovaerts, 2009) และการเก็บตัวอย่างแบบสุ่มในกริด (stratified systematic sampling) ซึ่งเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการเก็บตัวอย่างสำหรับศึกษาการกระจายตัวตามขอบเขตทางภูมิศาสตร์ (Campbell, 1996) Stephen (2009) กล่าวว่า ทั้งสองวิธีการนี้มีประสิทธิภาพมากกว่าการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีการอื่นๆ นอกจากนี้ Journel and Huijbregts (1978) เสนอว่าจำนวนตัวอย่างที่

เหมาะสมสำหรับการใช้เซมิแวกเรียแกรมควรจะ ≥ 30 ตัวอย่างขึ้นไป และสำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 5 (2538) รายงานว่าค่าความเค็มมีความแปรปรวนสูง ซึ่งค่าความเค็มที่วัดได้จากการเก็บตัวอย่างห่างกัน 10 เมตร ค่าความเค็มอาจแตกต่างกันถึง 5 เท่า ดังนั้นระยะห่างในการเก็บตัวอย่างจึงค่อนข้างแคบ จากเหตุผลข้างต้น การศึกษานี้จึงทำการคัดเลือกพื้นที่ตัวแทน 2 พื้นที่ในแต่ละระดับความรุนแรง รวมเป็นพื้นที่เก็บตัวอย่างทั้งหมด 6 พื้นที่ ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินระดับ 0-30 ซม. แบบสุ่มในกริด (stratified systematic sampling) ในพื้นที่ 5 X 5 ตร.ม. ในตารางกริด 50 X 50 ตร.ม. (Figure 3) จำนวน 100 ตัวอย่างในแต่ละพื้นที่ รวมจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 600 ตัวอย่าง นำตัวอย่างดินที่เก็บได้มาวิเคราะห์ค่า ECe ตามวิธีของ United States Salinity Laboratory Staff (1954)

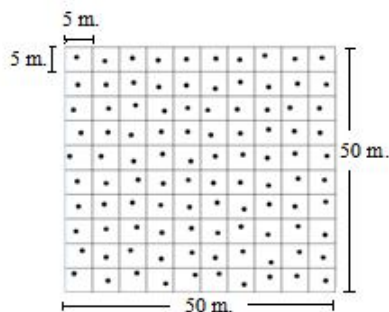


Figure 3 Stratified systematic sampling in 5x5 m² in area of 50x50 m² grid.

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์เชิงพื้นที่โดยใช้เซมิแวกเรียแกรม

เบื้องต้นทำการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าว่ามีการกระจายตัวเป็นปกติหรือไม่ โดยใช้วิธีการพิจารณาค่าความเบ้ (skewness) ซึ่งควรอยู่ในช่วง -1 ถึง 1 หากข้อมูลไม่มีการกระจายตัวแบบปกติให้ทำการแปลงค่าด้วย log ฐาน 10 และสร้างเส้นเซมิแวกเรียแกรมโมเดลเพื่อให้สอดคล้องกับจุดข้อมูลตัวอย่างเซมิแวกเรียแกรมโดยเลือกโมเดลแบบต่างๆ

เช่น spherical, exponential และ gaussian ฯลฯ สำหรับการศึกษาใช้วิธีการคัดเลือกเซมิแวกเรียแกรมโมเดลด้วยสายตา แล้วพิจารณาจากค่า Goodness of fit (R^2) เพื่อให้ได้เซมิแวกเรียแกรมโมเดลที่สอดคล้องกับข้อมูลมากที่สุด จากนั้นใช้ค่าความแปรปรวน nugget, sill, และ range ที่ได้ในการอธิบายสหสัมพันธ์เชิงพื้นที่และระยะห่างที่เหมาะสมสำหรับเก็บตัวอย่าง ตามคำแนะนำของ IT Department (2001) ซึ่งเท่ากับ $\frac{1}{4}$ ของค่า range

ผลการศึกษา

เมื่อพิจารณาค่า Goodness of fit (R^2) ของโมเดลที่มีความเหมาะสมที่สุดแล้วพบว่าทุกพื้นที่ในแต่ละ class ใช้โมเดล spherical (Figure 4) ได้ค่า Goodness of fit (R^2) อยู่ระหว่าง 0.6-1.0 ซึ่งเป็นค่าในระดับที่ยอมรับได้ (IT Department, 2001)

เซมิแวกเรียแกรมของค่า ECe แต่ละพื้นที่ จะมีค่า nugget, sill, และ range แตกต่างกันไปเนื่องมาจากความแปรปรวนของค่า ECe ที่แตกต่างกัน จาก Table 1 และ Figure 4 พบว่า class 1 มีค่า nugget หรือ ความแปรปรวนในระยะทางที่สั้นที่สุดมีค่าตั้งแต่ 400 ถึง 4000 ส่วนค่า sill หรือ ความแปรปรวนสูงสุดที่ข้อมูลเริ่มหมดความสัมพันธ์มีค่าตั้งแต่ 1950 ถึง 14000 และค่า range หรือระยะอิทธิพลที่ข้อมูลของค่าการนำไฟฟ้าเริ่มหมดความสัมพันธ์ มีค่าตั้งแต่ 13 เมตร จนถึง 100 เมตร (Figure 4) ดังนั้น หากยึดตามคำแนะนำของ IT Department (2001) ที่ว่าระยะห่างที่เหมาะสมสำหรับเก็บตัวอย่าง คือ $\frac{1}{4}$ ของค่า range แล้วระยะห่างที่เหมาะสมสำหรับการเก็บตัวอย่างในพื้นที่ class 1 มีความเป็นไปได้ตั้งแต่ 3 เมตร จนถึง 25 เมตร

สำหรับ class 2 ความแปรปรวนในระยะทางที่สั้นที่สุด (nugget) มีค่าตั้งแต่ 8 ถึง 50 ความแปรปรวนสูงสุดที่ระยะทางที่ข้อมูลเริ่มหมดความสัมพันธ์ (sill) มีค่าตั้งแต่ 40 ถึง 95 และระยะอิทธิพลที่ข้อมูลของค่าการนำไฟฟ้าเริ่มหมดความสัมพันธ์ (range) มีค่าตั้งแต่ 50 เมตร จนถึง 70 เมตร ดังนั้น ระยะห่างที่เหมาะสมสำหรับการเก็บตัวอย่างในพื้นที่ของ class 2 มีความเป็นไปได้ตั้งแต่ 13 เมตร จนถึง 18 เมตร

ส่วน class 3 ความแปรปรวนในระยะทางที่สั้นที่สุด (nugget) มีค่าตั้งแต่ 0.045 ถึง 0.44 ความแปรปรวนสูงสุดที่ระยะทางที่ข้อมูลเริ่มหมดความสัมพันธ์ (sill) มีค่าตั้งแต่ 0.095 ถึง 0.73 และระยะอิทธิพลที่ข้อมูลของค่าการนำไฟฟ้าเริ่มหมดความสัมพันธ์ (range) คือ 15 เมตร จนถึง 60 เมตร ดังนั้น ระยะห่างที่เหมาะสมสำหรับการเก็บตัวอย่างของ class 3 มีความเป็นไปได้ตั้งแต่ 4 เมตร จนถึง 15 เมตร

สรุปและวิจารณ์

ระยะห่างที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างที่พบเป็นเพียงกรณีศึกษาในพื้นที่ตำบลเมืองเพีย อำเภอบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่นเท่านั้น ซึ่งจากการศึกษาของ Phontusang et al. (2012) พบว่าในพื้นที่เดียวกันนี้มีค่าความแปรปรวนของค่าการนำไฟฟ้าสูงมากในพื้นที่ทั้ง 3 class และมีความแตกต่างในพื้นที่ภายใน class เดียวกันด้วย ดังนั้นจึงมีผลทำให้ระยะห่างในการเก็บตัวอย่างค่อนข้างสั้น แต่ในระยะห่างช่วงสั้นๆ นี้ยังมีความแปรปรวนอยู่ในทุก class ซึ่งจากการศึกษานี้พบว่า class 1 เป็นไปได้ตั้งแต่ 3 เมตรจนถึง 25 เมตร class 2 เป็นไปได้ตั้งแต่ 13 เมตรจนถึง 18 เมตร และ class 3 เป็นไปได้ตั้งแต่ 4 เมตรจนถึง 15 เมตร แต่อย่างไรก็ตามการศึกษานี้รายละเอียดเชิงลึก เช่น ทิศทางของความแปรปรวนของค่าคุณสมบัติเคมีต่างๆ หรือปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้เกิดความแปรปรวนยังต้องการรายละเอียดเพิ่มเติมต่อไปอีก

สำหรับการพิจารณาระยะห่างที่เหมาะสมสำหรับการเก็บตัวอย่างเพื่อทำแผนที่แสดงการกระจายตัวเชิงพื้นที่ในพื้นที่อื่นๆ นั้น เพื่อให้ได้ระยะห่างในการเก็บตัวอย่างที่แน่นอน ควรพิจารณาค่าระดับของค่าการนำไฟฟ้าในพื้นที่นั้นๆ รวมด้วยเนื่องจาก หากพื้นที่นั้นมีระดับของค่าการนำไฟฟ้ามีความแตกต่างกันมาก ระยะห่างในการเก็บตัวอย่างควรพิจารณาระยะที่ใกล้ที่สุด ในทางกลับกันหากในพื้นที่นั้นๆ ระดับของค่าการนำไฟฟ้าไม่มีความแตกต่างกันมาก การเก็บตัวอย่างในระยะที่ใกล้ก็ไม่สมควรถูกพิจารณา เป็นต้น และสำหรับกรณีการศึกษาความแปรปรวนเชิงพื้นที่ในพื้นที่ขนาดเล็กกว่าระยะห่างที่เหมาะสมที่พบในการศึกษานี้ ระยะห่างในการเก็บตัวอย่างมีความเพียงพอแล้ว แต่จำเป็นต้องคำนึงถึงจำนวนตัวอย่างที่มากพอสำหรับการศึกษาความแปรปรวนซึ่ง Journel and Huijbregts (1978) เสนอว่าจำนวนตัวอย่างต้องมากกว่า 30 ตัวอย่างขึ้นไป

อย่างไรก็ตามในการกำหนดระยะห่างสำหรับการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้งควรมีการนำข้อมูลระดับของค่า

การนำไฟฟ้า วัตถุประสงค์ของการศึกษา มาประกอบ การพิจารณาด้วย ตัวอย่างเช่น ในกรณีที่ต้องการศึกษา ความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของดินที่มีค่าความเค็มตั้งแต่ ดินปกติ ($EC_e < 2 \text{ dS m}^{-1}$) จนถึงดินเค็มจัดมาก ($EC_e > 16 \text{ dS m}^{-1}$) ในแต่ละระดับความรุนแรงเท่านั้น ซึ่งใน พื้นที่ที่มี $EC_e > 16 \text{ dS m}^{-1}$ ขึ้นไปจัดเป็นดินเค็มจัดมาก

ทั้งหมด หากพื้นที่มีค่า EC_e สูงมากกว่า 16 dS m^{-1} ทั้งสิ้น แม้ในบรรดาค่าเหล่านั้นจะมีความแปรปรวนสูง มากก็อาจไม่จำเป็นต้องเก็บตัวอย่างระยะใกล้มากนัก แต่ถ้าต้องการศึกษาความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของระดับ ค่า EC_e สูงๆ ที่มีอยู่ในพื้นที่ด้วย จึงควรมีการเก็บ ตัวอย่างระยะใกล้

Table 1 Properties of the best fitted semivariogram models of EC_e from different study sites.

class	site	model	nugget	sill	range	R^2
1	1.1	spherical	4000	14000	100	0.9
	1.2	spherical	400	1950	13	0.6
2	2.1	spherical	8	40	50	0.6
	2.2	spherical	50	95	70	1.0
3	3.1	spherical	0.045	0.095	60	0.6
	3.2	spherical	0.44	0.73	15	0.7

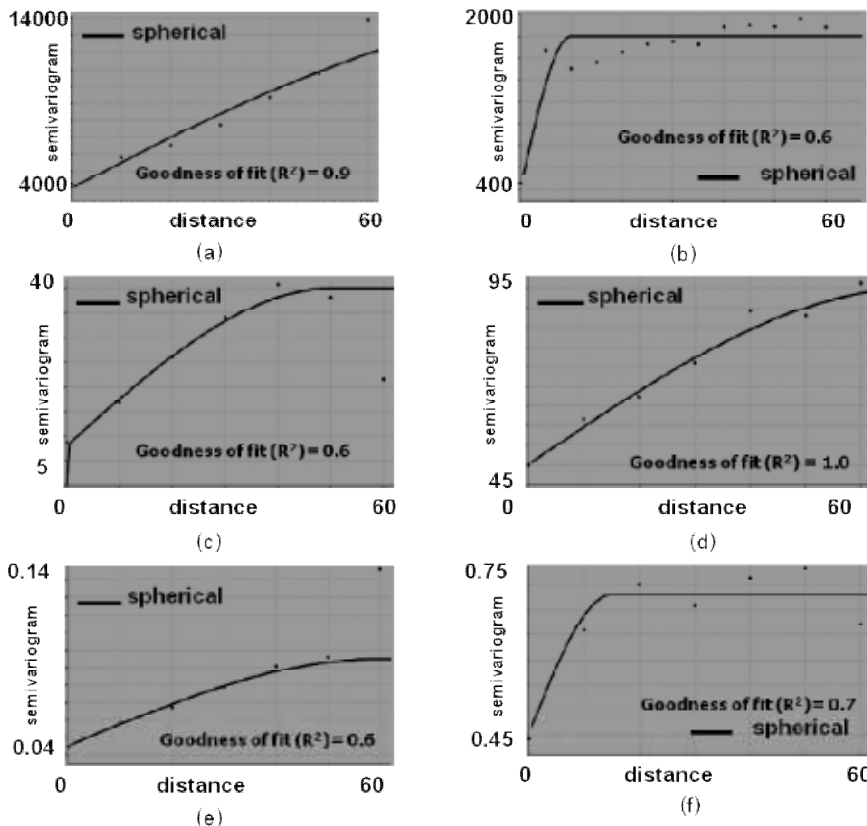


Figure 4 Semivariogram models of EC_e for each study site. Letters (a) to (f) represented location 1.1, 2.1, 2.2, 3.1 and 3.2, respectively.

● semivariogram sample — semivariogram model

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัย นี้ได้รับการสนับสนุนจาก โครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและการพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ ของสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และ ศูนย์วิจัยน้ำบาดาล มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

- พันธ์พล หัตถโกศล. 2540. ธรณีสถิติ. ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- พิชัย วิชัยดิษฐ์. 2538. รายงานการสำรวจและศึกษาพื้นที่ดินภายใต้อิทธิพลของเกลือในจังหวัด ขอนแก่น. กองสำรวจและจำแนกดิน. กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ.
- สมศรี อรุณินท์. 2539. ดินเค็มในประเทศไทย. กรมพัฒนาที่ดิน. กรุงเทพฯ.
- สมศักดิ์ สุขจันทร์. 2548. ดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ: การสำรวจและทำแผนที่จากคราบเกลือ. ส่วนมาตรฐานการสำรวจจำแนกดินและที่ดิน สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 5. 2538. ดินมีปัญหต่อการเกษตรในเขตสำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 5. สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 5. กรมพัฒนาที่ดิน. กรุงเทพฯ.
- Atkinson, M.A., and J.T. Nicolas. 2000. Spatial scale problems and geostatistical solution : a review. *Professional Geographer*. 52 (4): 607-623.
- Burrough, P. and McDonnell, R., 1998. *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press, Oxford.
- Campbell, J.B. 1996. *Introduction to Remote Sensing*. The Guilford Press, New York.
- Chien, Y.J., D.Y. Lee, H.Y. Guo, and K.H. Huang. 1997. Geostatistical analysis of soil properties of mid-west Taiwan soils. *Soil Sci*. 162 : 291-297.
- Clark, I. 2001. *Practical Geostatistics*. Geostokos Limited, Aloa Bussiness Centre, Aloa.
- Delmelle, E.M., and P. Goovaerts. 2009. Second-phase sampling designs for non-stationary spatial variables. *Geoderma*. 153 :205-216.
- Gokalp, Z., M. Basaran, O. Uzun, and Y. Serin. 2010. Spatial analysis of some physical soil properties in a saline and alkaline grassland soil of Kayseri, Turkey. *African Journal of Agricultural Research*. 5: 1127-1137.
- Graphpad software. 2012. R square. http://www.graphpad.com/guides/prism/6/curve-fitting/index.htm?reg_diagnostics_tab_7_2.htm. Accessed 31 Dec. 2011.
- Issaks, E.H and R.M. Srivastava. 1989. *Applied Geostatistics*. Oxford university press, Inc, New York.
- IT Department. 2001. ILWIS 3.0 Academic User's Guide. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC): Enschede.
- Journel, A.G. and C.J. Huijbregts. 1978. *Mining Geostatistics*. Academic Press, London.
- Katawatin, R., and S. Sukchan, 2012. Mapping Soil Salinity and Soil Erosion in Thailand with Emphasis on Computer-Assisted Techniques. *Pedologist* : 343-354.
- Kitanidis, P.K. 1997. *Introduction to Geostatistics: Applications to Hydrogeology*. Cambridge University Press, New York.
- Phillips, J.D. 1986. Measuring complexity of environmental gradient. *Vagitation* 64 : 95-102.
- Phontusang P., R. Katawatin, K. Pannangpetch, and S. Kingpaibool. 2012. Spatial variability of some important chemical properties of salt-affected soils in Northeast Thailand. The 4th KKU International Engineering Conference 2012 (KKU-IENC 2012) "Driving together towards ASEAN Economic Community". 10-12 May 2012. Khon Kaen University, Khon Kaen.
- Pozdnyakova, L. and R. Zhang .1999. Geostatistical analyses of soil salinity in a large field. *Precision Agriculture* 1:153-165.
- Robertson, G.P. 1987. Geostatistics in ecology: interpolating with known variance. *Ecology* 68 (3): 744-748.
- Singer, M.J., and D.N. Munns. 1996. *Soils: An Introduction*, 3rd Edition. Prentice Hall, New Jersey.
- Stein, A. 1999. *Introduction to Geostatistics: Environmental science*. Wageningen University, Wageningen.
- Stephan, P. 2009. Relative of Efficiency of Sampling Technique for Archeological Survey. P. 143. In : K.V. Flannery. *The Early Mesoamerican Village*. Academic press, CA.
- Sumner, M.E. 1999. *Handbook of Soil Science*. CRC press. Boca Raton, New York . Soil. Agriculture Handbook no. 60.
- Webster, R. and M.A. Oliver. 2001. *Geostatistics for Environmental Scientists*. John Wiley & Son Ltd., West Sussex.
- Yang, F., G. Zhang, X. Yin, and L. Zhijun. 2011. Field-scale spatial variation of saline-sodic soil and its relation with environmental factors in Western Songnen Plain of China. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 8: 374-387.