

ความสัมพันธ์และประสิทธิภาพในการทำนายค่า E_{Ce} จากค่า EC 1:5 ด้วยเครื่องมือราคาประหยัดในการประเมินความเค็มของดิน

Relationship and Predictive Performance of Low-Cost EC 1:5 Measurements for Estimating E_{Ce} in Soil Salinity Assessment

ชีวตา พลวัฒน์¹, จุฑามาศ ไกรเพิ่ม^{2,3}, สุทธิศักดิ์ สุทธิพันธุ์^{2,3}, อธิการ บุญหวาน^{2,3}, รัตนชาติ ช่วยบุตดา^{2,3}, จิราวุฒิ เวียงวงษ์งาม^{2,3}, นฤมล จันทร์จิราวุฒิกุล^{2,3}, พรชัย อุปพันธ์พงษ์ชัย^{2,3}, ณัฐพร ประคองเก็บ^{2,3,*} และโรเบิร์ต เจ จิลส์⁴
Chiwata Ponlawat¹, Juthamard Kaiphoem^{2,3}, Suttisak Suttipan^{2,3}, Atikarn Boonwan^{2,3}, Rattanachart Chuaybudda^{2,3}, Jirawut Wiangwongngam^{2,3}, Naruekamon Janjirawuttikul^{2,3}, Pornchai Uppapanpongchai^{2,3}, Nattaporn Prakongkep^{2,3,*} and Robert J. Gilkes⁴

Received date: 6 ก.พ. 69 Revised date: 20 พ.ค. 69 Accepted date: 27 พ.ค. 69

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2026.270666>

บทคัดย่อ

วิธีมาตรฐานในการประเมินความเค็มของดิน คือ การวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารสกัดดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (E_{Ce}) ซึ่งมีความยุ่งยาก หากมีวิธีการวัดค่า EC ที่สะดวก และสามารถจำแนกระดับความเค็มของดินได้จะเป็นทางเลือกสำหรับเกษตรกรในการติดตามคุณภาพดินเค็ม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบวิธีการวัดค่า EC ระหว่างวิธี E_{Ce} กับวิธี EC 1:5 จากห้องปฏิบัติการ (EC 1:5 Lab) เครื่องวัด EC แบบพกพาราคาประหยัด (EC 1:5 pen-type) และชุดตรวจสอบ EC ภาคนาม (EC test kit) ศึกษาดินที่มีผลกระทบจากเกลือในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย จำนวน 32 บริเวณ รวม 194 ตัวอย่าง ผลการศึกษาพบว่า ค่า EC 1:5 Lab และ EC 1:5 pen-type สามารถทำนาย E_{Ce} ด้วยสมการถดถอยเชิงเส้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (R²) เท่ากับ 0.82 และ 0.83 ตามลำดับ สำหรับ ค่า EC 1:5 pen-type สามารถทำนาย E_{Ce} ด้วยสมการถดถอยเชิงเส้น ความแม่นยำของการทำนายอยู่ในระดับสูงในช่วงดินเค็มน้อยถึงปานกลาง (E_{Ce} <4 dS/m) มีค่า Residual ใกล้ศูนย์ (-1.93 ถึง 5.87 dS/m) และลดลงเมื่อความเค็มของดินสูงขึ้น (E_{Ce} >4 dS/m) มีค่า residual ระหว่าง -4.47 ถึง 6.26 dS/m โดยในดินเค็มสูงพบการประเมินต่ำกว่าค่าจริง แนะนำให้ทำการสอบเทียบเครื่องวัด EC แบบพกพาราคาประหยัดด้วยสารละลายมาตรฐานก่อนการใช้งานทุกครั้ง สำหรับ EC test kit ให้ผลเป็นข้อมูลเชิงกลุ่มที่ไม่ต่อเนื่องจึงไม่เหมาะสำหรับการทำนายค่า E_{Ce} เชิงปริมาณ แต่สามารถใช้เป็นเครื่องมือภาคสนามเพื่อจำแนกดินเค็มเบื้องต้นในระดับที่ยอมรับได้ ความถูกต้องในการจำแนกระดับความเค็มของดินเท่ากับ 88.14% เมื่อเทียบกับค่า E_{Ce} จากห้องปฏิบัติการ

คำสำคัญ: ความเค็มของดิน การประเมินความเค็มของดิน การคัดกรองความเค็มภาคสนาม

Abstract

The standard method for evaluating soil salinity is the determination of electrical conductivity (EC) of the saturated soil paste extract (E_{Ce}) which requires considerable technical expertise. Simpler EC measurement methods that can effectively classify soil salinity levels would be highly beneficial for routine monitoring. This study aimed to compare the analytical performance of the standard E_{Ce} method with alternative methods, including EC 1:5 measured in the laboratory (EC 1:5 Lab), EC 1:5 measured using an inexpensive pen-type EC meter (EC 1:5 pen-type) and a field soil EC test kit (EC test kit). A study was conducted on saline-affected soils at 32 locations in northeastern Thailand, with a total of 194 samples collected. The results demonstrated strong linear relationship between E_{Ce} and both EC 1:5 Lab and EC 1:5 pen-type measurements, with coefficients of determination (R²) 0.82 and 0.83, respectively. The results revealed that EC 1:5 measured using an EC pen-type meter could be used to predict E_{Ce} using a linear regression equation. Model performance was more reliable in low to moderate salinity ranges (E_{Ce} <4 dS/m; Residual values -1.93 to 5.87 dS/m), whereas prediction uncertainty increased at higher E_{Ce} levels (E_{Ce} >4 dS/m; Residual values -4.47 to 6.26 dS/m) indicating a tendency of the model to underestimate E_{Ce} at higher salinity levels. Calibration is recommended for the inexpensive pen-type EC meter prior to use to enhance measurement accuracy. As the EC test kit provides

¹ สาขาวิชานวัตกรรมเกษตรและการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110

² กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ 10900

³ ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการวิจัยดินแห่งภูมิภาคเอเชีย กรุงเทพฯ 10900

⁴ สาขาเกษตรศาสตร์และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยออสเตรเลียนตะวันตก (M087) เพิร์ธ ออสเตรเลีย 6009

¹ Agricultural Innovation and Management Division, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkhla 90110

² Land Development Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok 10900

³ Center of Excellence for Soil Research in Asia, Bangkok 10900

⁴ School of Agriculture and Environment, The University of Western Australia (M087), Australia 6009

* Corresponding author: nattaporn@ladd.go.th

semi-quantitative discrete interval data, it is not suitable for quantitative prediction of E_{ce}. However, the EC test kit is capable of screening saline soil at the field level. The soil salinity classification accuracy was 88.14% when compared to the laboratory-determined E_{ce} values.

Keywords: soil salinity, soil salinity assessment, field salinity screening.

คำนำ

ความเค็มของดินเป็นปัญหาทางการเกษตรที่สำคัญซึ่งส่งผลกระทบต่อการผลิตพืชผลทั่วโลก และส่งผลกระทบต่อเสียมโทรมของดิน (Phuong et al., 2020) พื้นที่เพาะปลูกประมาณร้อยละ 20 ของโลกได้รับผลกระทบจากความเค็ม (Food and Agriculture Organization of United Nations and The Intergovernmental Technical Panel on Soils, 2015; Shahid et al., 2018) สำหรับประเทศไทย พบว่าพื้นที่ประมาณร้อยละ 17 ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้รับผลกระทบจากความเค็ม (Sahunalu, 2003) มีสาเหตุหลักจากเกลือหินใต้ดิน และมีแนวโน้มขยายตัวเพิ่มขึ้นในอนาคต (Yang et al., 2022) การตรวจติดตาม และประเมินความเค็มของดินอย่างต่อเนื่อง และสม่ำเสมอจึงมีความสำคัญต่อการสนับสนุนต่อการจัดการดินที่เสื่อมโทรม และการผลิตอาหารที่ยั่งยืน (Kargas et al., 2022)

ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ หมายถึง ดินที่มีการสะสมของเกลือละลายหรือไอออนของเกลือในอย่างน้อยหนึ่งชั้นดินในปริมาณที่สูงกว่าเกณฑ์ความเป็นพิษ ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นของเกลือที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช (Egorov et al., 1977) ตามคู่มือการเกษตรของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (United States Department of Agriculture: USDA) ดินที่มีผลกระทบจากเกลือมีลักษณะเฉพาะคือ มีค่า E_{ce} > 4 dS/m (United States Department of Agriculture, 1954) อย่างไรก็ตาม พืชเศรษฐกิจหลายชนิด เช่น ไม้ผล ผัก และไม้ประดับ เริ่มได้รับผลกระทบจากความเค็มในช่วง E_{ce} 2-4 dS/m Richards (1954) เสนอความสัมพันธ์ระหว่างค่าความออสโมติกของสารสกัดจากดิน (E_{ce}) และการตอบสนองของพืช โดยที่ค่า E_{ce} มากกว่า 2 dS/m เป็นเกณฑ์ที่จะขัดขวางการเจริญเติบโตของพืชส่วนใหญ่ ในขณะที่ค่า E_{ce} มากกว่า 16 dS/m จะมีเพียงพืชที่ทนต่อเกลือเท่านั้นที่สามารถอยู่รอดได้ ต่อมา FAO ปรับปรุงเกณฑ์การจำแนกระดับความเค็มของดิน โดยกำหนดให้ดินที่ไม่มีผลกระทบจากเกลือ (Non-saline) มีค่า E_{ce} < 2 dS/m

วิธีมาตรฐานที่ใช้เป็นตัวชี้วัดความเค็มของดิน คือ การวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้า (EC) ของสารสกัดดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (E_{ce}) (Kruse et al., 1990) อย่างไรก็ตาม วิธีดังกล่าวใช้เวลาการวิเคราะห์นาน และต้องใช้แรงงานสูง ทำให้ผู้วิเคราะห์มักเลือกการวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้า ของสารสกัดจากดินต่อน้ำในอัตราส่วนต่าง ๆ (เช่น ดิน:น้ำ 1:2.5, 1:5, 1:10) และนำค่าที่ได้ไปคำนวณ หรือแปลงค่าในภายหลัง วิธีที่นิยมมาก คือ การวัด EC จากสารสกัดดินต่อน้ำในอัตราส่วน 1:5 (Park et al., 2024) และนิยมใช้ในการกำหนดความเค็มของดินในออสเตรเลีย จีน และเอเชียกลาง วิธีการเหล่านี้ปฏิบัติได้ง่ายกว่า เนื่องจากปริมาณน้ำที่ใช้ซึ่งที่ต้องการเวลาในการเตรียม และการสกัดที่น้อยกว่า และมีต้นทุนต่ำกว่าวิธี E_{ce} (Rayment and Higginson, 1992; Shirokova et al., 2000; Wang et al., 2011; Kargas et al., 2022) ถึงแม้ว่า ห้องปฏิบัติการหลายแห่งนิยมวิเคราะห์ความเค็มของดินด้วย EC 1:5 เนื่องจากเป็นวิธีที่เตรียมได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว ประหยัดเวลา และค่าใช้จ่าย (Khorsandi and Yazdi, 2007) แต่ข้อดีของผลของความเค็มต่อการเจริญเติบโตของพืชส่วนใหญ่ยังคงอ้างอิงกับค่า E_{ce} ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการแปลงค่า EC 1:5 เป็น E_{ce} เพื่อใช้ในการประเมินการตอบสนองของพืชอย่างเหมาะสม (He et al., 2013) หากมีวิธีการวิเคราะห์ที่ง่าย สะดวก รวดเร็ว และมีต้นทุนต่ำ และสามารถให้ผลการประเมินได้ใกล้เคียงกับวิธีมาตรฐานจะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรในการติดตามคุณภาพดินเค็มในภาคสนาม

กรมพัฒนาที่ดินสนับสนุนการตรวจสอบดินเพื่อการเกษตรเชิงรุกทั้งในท้องปฏิบัติการ ผ่านระบบ e-Service (Land Development Department, 2026) และการใช้ชุดตรวจสอบดินภาคสนาม (LDD test kit) โดยหมอดินอาสาทั่วประเทศ เพื่อเพิ่มการเข้าถึงการบริการ และลดต้นทุนการจัดการดิน อย่างไรก็ตาม ยังมีเกษตรกรบางส่วนที่มีความต้องการตรวจสอบดินเบื้องต้นด้วยตัวเอง ชุดตรวจสอบดินภาคสนาม (EC test kit) อาศัยหลักการสกัดดินด้วยน้ำในอัตราส่วน 1:5 นำสารสกัดที่ได้ไปทำปฏิกิริยากับซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO₃) (สารละลายไทเทรต) เพื่อทำปฏิกิริยากับไอออนคลอไรด์ (Cl⁻) ในสารสกัดจากดิน ใช้โพแทสเซียมโครเมตเป็นอินดิเคเตอร์ เมื่อคลอไรด์ในสารสกัดดินหมด ซิลเวอร์ไนเตรตจะทำปฏิกิริยากับอินดิเคเตอร์โครเมต เกิดเป็นตะกอนสีน้ำตาลแดงซึ่งเป็นจุดยุติ (End point) หรือพัฒนามาจากวิธีวัดสีจากการใช้ปฏิกิริยาเคมีของซิลเวอร์ไนเตรต และโบรโมไทมอลบลู (Bromothymol blue) เพื่อทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีที่สอดคล้องกับระดับความเค็มของดิน (Best, 1929; Hajrasulih et al., 1991; Akpan et al., 2002)

วิธีมาตรฐานในการประเมินความเค็มของดิน (E_{ce}) นั้นแม่นยำ แต่ใช้เวลานาน ใช้แรงงานมาก และมีค่าใช้จ่ายสูง วิธี EC 1:5 (อัตราส่วนดินต่อน้ำ) นั้นถูกกว่าและง่ายกว่า แต่ควรมีการตรวจสอบความถูกต้อง แบบจำลองที่มีอยู่มักแสดงประสิทธิภาพการทำนายที่แปรผัน อีกทั้งยังขาดแบบจำลองที่น่าเชื่อถือและเฉพาะเจาะจงเพื่อประมาณค่า E_{ce} จากการวัด EC 1:5 ได้อย่างแม่นยำ การวัดค่า EC 1:5 ด้วยวิธีการต่างๆ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับ E_{ce} และสามารถใช้ในการคาดการณ์ E_{ce} ได้อย่างน่าเชื่อถือในระดับความเค็มต่างๆ โดยใช้แบบจำลองการสอบเทียบที่เหมาะสม ดังนั้น งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบวิธีการวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินระหว่างวิธี E_{ce} กับวิธี EC 1:5 จากห้องปฏิบัติการ (EC 1:5 Lab), เครื่องวัด EC แบบพกพา ราคาประหยัด (EC 1:5 pen-type) และชุดตรวจสอบ EC ภาคสนาม (EC test kit) เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสมกับศักยภาพ และข้อจำกัดของผู้ใช้งานในการติดตามการเปลี่ยนแปลงความเค็มของดิน ในการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้

รวมตัวแปรเนื้อดินในการวิเคราะห์ เนื่องจากมุ่งเน้นการพัฒนาแนวทางที่เรียบง่ายและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในภาคสนาม โดยเฉพาะสำหรับเกษตรกรที่มักไม่มีข้อมูลสมบัติดิน เช่น เนื้อดิน เพื่อให้วิธีการนี้สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องอาศัยข้อมูลเพิ่มเติม

วิธีการศึกษา

การเก็บตัวอย่างดิน

การเก็บตัวอย่างดินตามชั้นดินทางพันธุกรรม (ชั้น A, B และ C) (Genetic Soil Sampling) หรือ หลักอนุกรมวิธานดิน (Soil Taxonomy) พิจารณาและแยกเก็บตามชั้นดิน (Soil Horizon) ที่สะท้อนกระบวนการเกิดและพัฒนาการของดิน (Pedogenesis) โดยใช้ระเบียบวิธีมาตรฐานในการอธิบายลักษณะหน้าตัดดิน (Soil Science Division Staff, 2017) จาก 32 บริเวณ รวมทั้งสิ้น 194 ตัวอย่าง (Figure 1) โดยมีวัตถุประสงค์กำเนิดของดินประกอบด้วย ตะกอนน้ำหรือตะกอนน้ำพาท้องถิ่น หินตะกอนเนื้อหยาบที่มีการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไม่ไกลนัก ตัวอย่างดินถูกฝังให้แห้งในที่ร่ม บดให้ละเอียด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร จากนั้นเก็บรักษาตัวอย่างในขวดพลาสติกปิดฝาสนิทจนกว่าจะนำไปวิเคราะห์ (Soil Science Division Staff, 2017)

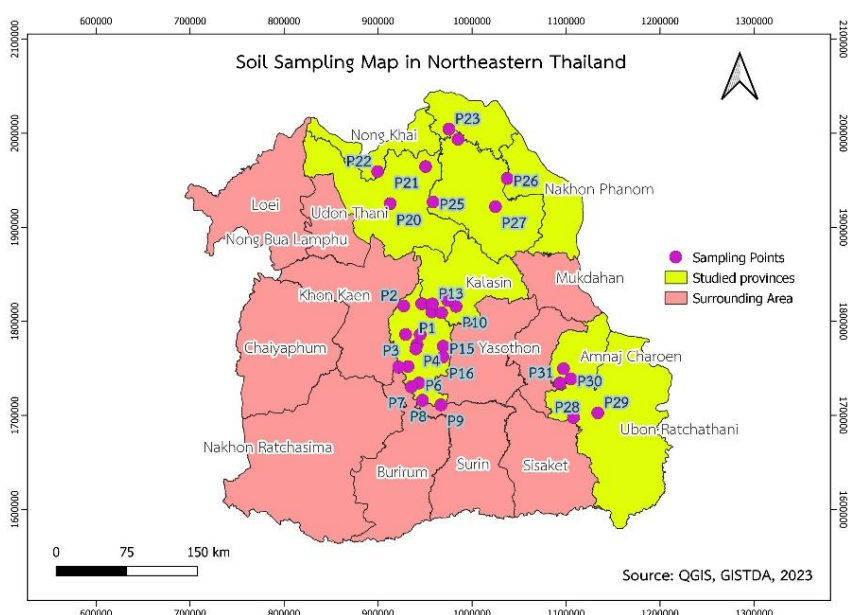


Figure 1 Soil sampling map in Northeastern Thailand (Geo-Informatics and Space Technology Development Agency, 2023).

การวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารสกัดดินอิมัตด้วยน้ำ (ECe)

ชั่งตัวอย่างดินจำนวน 400 กรัม ใส่ในบีกเกอร์พลาสติกขนาด 600 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นและกวนด้วยไม้พายยางจนดินอิมัตด้วยน้ำ จากนั้นพักตัวอย่างไว้เป็นเวลา 16 ชั่วโมง ก่อนแยกสารละลายออกจากตัวอย่างด้วยปั๊มสุญญากาศ เก็บสารละลายที่ได้ในขวดพลาสติก และนำไปวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้า ด้วย EC meter (United States Department of Agriculture, 1954) การวัดค่าการนำไฟฟ้าดำเนินการด้วยเครื่องวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้า (EC) โดยใช้เครื่องวัดแบบตั้งโต๊ะ (Lab 955, SI Analytics GmbH, Mainz, Germany) โดยทำการสอบเทียบเครื่องมือด้วยสารละลายมาตรฐาน KCl ที่มีค่าสภาพการนำไฟฟ้า 0.084, 0.147 และ 1.413 dS/m ที่อุณหภูมิ 25°C ก่อนการใช้งาน (United States Department of Agriculture, 1954)

การวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารสกัดดิน: น้ำ 1:5 จากห้องปฏิบัติการ (EC 1:5 Lab)

ชั่งตัวอย่างดินจำนวน 10 กรัม ใส่ในหลอดทดลองพลาสติกแบบมีฝาปิดขนาด 80 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาณ 50 มิลลิลิตร ปิดฝาให้สนิท จากนั้นเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที และพักตัวอย่างไว้เป็นเวลา 30 นาที (Food and Agriculture Organization of United Nations, 2021) การวัดสภาพการนำไฟฟ้าดำเนินการด้วยเครื่องวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้า (EC) โดยทำการสอบเทียบเครื่องมือด้วยสารละลายมาตรฐาน KCl ที่มีค่าสภาพการนำไฟฟ้า 0.084, 0.147 และ 1.413 dS/m ที่อุณหภูมิ 25°C ก่อนการใช้งาน (Food and Agriculture Organization of United Nations, 2021)

การวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารสกัดดิน: น้ำ 1:5 เครื่องวัด EC แบบพกพาราคาประหยัด (EC 1:5 pen-type)

ตวงตัวอย่างดินด้วยช้อนตวงปริมาตร 5 มิลลิลิตร (น้ำหนักดินประมาณ 6-7 กรัม) จำนวน 1 ช้อน ใส่ในภาชนะพลาสติก เติมน้ำกลั่นด้วยช้อนตวงปริมาตร 5 มิลลิลิตร จำนวน 5 ช้อน คนให้เข้ากัน จากนั้นแกว่งด้วยมือเป็นเวลา 10 นาที และพักตัวอย่างไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนนำไปวัดสภาพการนำไฟฟ้าด้วยเครื่องวัด EC แบบพกพาราคาประหยัด ชนิดมัลติพารามิเตอร์ 5-in-1 (วัด

ค่า pH, TDS, EC, อุณหภูมิ และความเค็ม) ซึ่งไม่ระบุยี่ห้อและรุ่น โดยมีช่วงการวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้าครอบคลุม 0–10,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 10.01–19.99 mS/cm และ 20.1–400 mS/cm ก่อนการใช้งานเครื่องวัด EC แบบพกพาราคาประหยัด ทำการสอบเทียบเครื่องมือด้วยสารละลายมาตรฐาน KCl ที่มีค่าการนำไฟฟ้า 1.413 dS/m ที่อุณหภูมิ 25°C (Queensland Government, 2018; Food and Agriculture Organization of United Nations, 2020)

การวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินด้วยชุดตรวจสอบ EC ภาคนาม (EC test kit)

ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยชุดตรวจสอบ EC ภาคนาม (EC test kit) ดำเนินการตามคู่มือของสำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน โดยสังเกตการเปลี่ยนสีของสารละลายจากใสเป็นสีน้ำตาลแดง สรุปขั้นตอนโดยย่อ ดังนี้ ตักดินใส่ขวดสกัดจำนวน 2 ข้อน เติมน้ำยา SS01 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร (การสกัดแบบ 1:5) ปิดฝาและแกว่งเบา ๆ จากนั้นกรองสารละลายลงในขวดกรองดิน ดูดสารละลายปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดทดสอบ เติมน้ำยา SS01 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร และหยดน้ำยา SS02 จำนวน 3 หยด ปิดฝาและแกว่งเบา ๆ เติมน้ำยา SS03 ตามลำดับและสังเกตการเปลี่ยนสีของสารละลาย โดยเปรียบเทียบกับแผ่นเทียบสีเพื่อจำแนกระดับความเค็มของดิน หากเติมน้ำยา SS03 ครบ 5 ครั้งแล้วยังไม่เกิดการเปลี่ยนสี ให้แปลผลตาม Table 1 (Land Development Department, 2025) ทั้งนี้ผลการวัดที่ได้เป็นข้อมูลเชิงกลุ่ม ใช้ค่าของขอบบนของกลุ่ม (Upper bound) เป็นค่าตัวแทนของแต่ละกลุ่มเพื่อให้สอดคล้องกับเกณฑ์การเปลี่ยนระดับความเค็มของดิน

Table 1 Salinity classification scale for the EC test kit (Land Development Department, 2025)

Number of drops	EC 1:5 (dS/m)	Salinity class
1	< 0.07	Non-saline
2	0.07 – 0.15	Very Slightly Saline
3	0.15 – 0.34	Slightly saline
4	0.34 – 0.63	Moderately saline
5	0.63 – 0.93	Strongly saline
No color change after 5 drops	> 0.93	Extremely saline

การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติประกอบด้วยสถิติเชิงพรรณนา การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้สถิติแบบ paired t-test เนื่องจากข้อมูลได้มาจากตัวอย่างดินเดียวกันทำให้ข้อมูลทั้งสองชุดมีความสัมพันธ์กัน และการตรวจสอบการกระจายตัวของส่วนตกค้าง โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel (Microsoft Corporation, 2024)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การจำแนกตัวอย่างที่ศึกษาด้วยค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารสกัดดินอิมตัวด้วยน้ำ (ECe)

วิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น พบว่า ค่าเฉลี่ย ECe เท่ากับ 2.12 dS/m ในขณะที่วิธีการวิเคราะห์ EC 1:5 Lab EC 1:5 pen-type และ EC test kit มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน (0.25–0.28 dS/m) (Table 2) แบ่งกลุ่มตัวอย่างดินตามระดับความเค็มโดยใช้ค่า ECe เป็นตัวชี้วัด พบว่า ตัวอย่างเป็นดินไม่เค็ม (Non-saline) 140 ตัวอย่าง ดินเค็มน้อย (Slightly saline) 18 ตัวอย่าง ดินเค็มปานกลาง (Moderately saline) 29 ตัวอย่าง ดินเค็มมาก (Strongly saline) 6 ตัวอย่าง และดินเค็มจัด (Extremely saline) 1 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้น 194 ตัวอย่าง (Figure 2)

Table 2 Descriptive statistics of different EC measurement methods (n = 194, dS/m)

Method	Minimum	Maximum	Mean	S.D.
ECe	0.07	17.91	2.12	3.02
EC 1:5 Lab	0.01	1.69	0.25	0.36
EC 1:5 pen-type	0.01	1.65	0.28	0.39
EC test kit	0.07	1.23	0.25	0.31

การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารสกัดดินอิมตัวด้วยน้ำ (ECe) และ EC 1:5 ห้องปฏิบัติการ (EC 1:5 Lab)

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ ECe และ EC 1:5 Lab พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.001 ถึงแม้ว่าการประเมินความเค็มของดินจากการวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารสกัดดินต่อน้ำในอัตราส่วน 1:5 (EC 1:5) เป็นวิธีที่ง่าย แต่

เนื่องจาก ECe เป็นค่าชี้วัดที่ดีกว่าในการแสดงถึงอิทธิพลของความเค็มของดินต่อการเจริญเติบโตของพืชจึงจำเป็นต้องแปลงค่า EC 1:5 เป็น ECe (Shirokova et al., 2000; He et al., 2013; FAO, 2018)

การประเมินความเค็มของดินโดยทั่วไปใช้ฟังก์ชันเชิงเส้นสามารถใช้ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (EC) ของสารสกัดที่เจือจางในการประเมินค่าความเค็มตามวิธีมาตรฐานของดิน (Smagin et al., 2024) โดยมีรายงานความสัมพันธ์เชิงเส้นที่แข็งแกร่งระหว่าง ECe และ EC 1:5 (Ozcan et al., 2006; Sonmez et al., 2008; Khorsandi and Yazdi, 2011; Aboukila and Norton, 2017) ค่าสัมประสิทธิ์ที่ปรากฏในความสัมพันธ์นี้ไม่ได้มีเพียงค่าเดียว แต่แตกต่างกันไปตามแต่ละพื้นที่ (Kargas et al., 2022) เปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์ EC 1:5 ใช้ปริมาณน้ำมากกว่าวิธี ECe สารละลายที่เจือจางกว่า ทำให้ค่า EC 1:5 ต่ำกว่าค่า ECe หากค่า ECe ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือมีช่วงค่าที่กว้าง ค่า EC 1:5 จะมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับ ค่า ECe การใช้ค่า EC 1:5 ในการทำนายค่า ECe จึงเหมาะสมที่สุด (Sonmez et al., 2008; Chi and Wang, 2010; He et al., 2012; Leksungnoen et al., 2018; Gozukara et al., 2022; Rukadi et al., 2025)

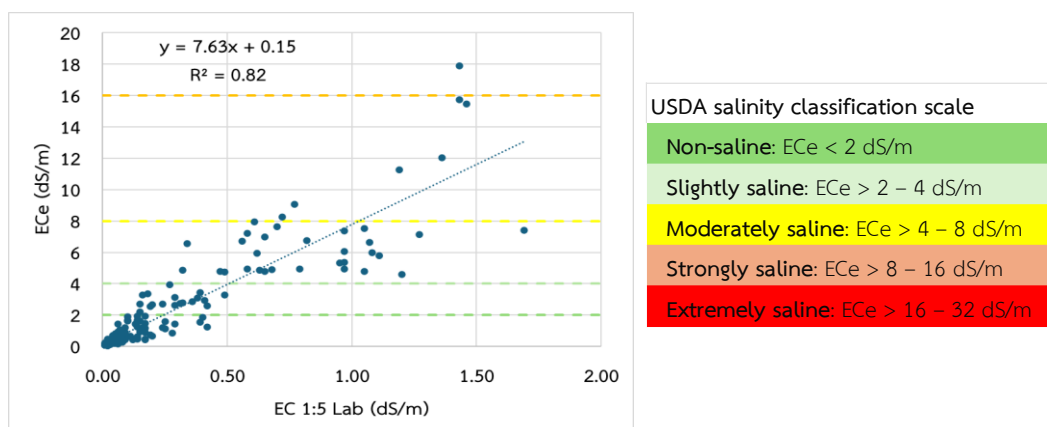


Figure 2 Linear regression between EC 1:5 Lab and ECe with the USDA salinity classification scale (n = 194) (USDA, 1954).

การทำนายผลการวิเคราะห์ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารสกัดดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (ECe) ด้วย EC 1:5 ห้องปฏิบัติการ (EC 1:5 Lab)

การเปรียบเทียบค่า EC 1:5 Lab กับค่า ECe พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ดี โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.82 สมการถดถอยเชิงเส้น $y = 7.63x + 0.15$ ($y = mx + c$) ค่าความชัน (Slope) เท่ากับ 7.63 สมการถดถอยเชิงเส้นนี้ถูกนำมาใช้ในการทำนายค่า ECe จากค่า EC 1:5 Lab ซึ่งค่าความชัน (m) ที่ได้จากการศึกษานี้มีค่าใกล้เคียงกับช่วงความชันที่รายงานโดยงานวิจัยก่อนหน้า ($7.36 \leq m \leq 8.22$) (Sonmez et al., 2008; Smagin et al., 2024) และมีความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างวิธีการ ECe และ EC 1:5 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง (Kargas et al., 2022) จากความสัมพันธ์นี้ทำให้สามารถใช้ค่า EC 1:5 ในการทำนายค่า ECe (Leksungnoen et al., 2018)

ผลการทำนายค่า ECe (Predicted ECe) จากสมการถดถอยแสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องที่ดีเยี่ยมกับค่า ECe ที่วัดได้จริง (Measured ECe) โดยมีค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation coefficient) เท่ากับ 0.90 สะท้อนถึงความแข็งแกร่งและทิศทางของความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่า Measured ECe และ Predicted ECe นอกจากนี้ การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างค่าที่วัดได้และค่าที่ทำนายได้ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ความแตกต่างเฉลี่ย = 0.004 dS/m, การทดสอบ t แบบจับคู่ $p = 0.97$, $r = 0.90$, $n = 194$) ดังแสดงใน (Table 3)

Table 3 Paired t-test comparing the means of measured and predicted Ece

EC (dS/m)	n	Mean	Variance	t	df	p-value
Measured ECe	194	2.028	9.010			
Predicted ECe	194	2.024	7.363			
Paired comparison				0.04	193	0.97

Not significant at the 0.05 level

เมื่อทำการตรวจสอบคุณภาพของโมเดลการถดถอย (Regression) โดยวิธี Residual plot ทำการพล็อต Residuals (Measured Ece-Predicted ECe) บนแกน y เทียบกับค่าที่ทำนายได้ (Predicted ECe (dS/m)) บนแกน x เพื่อดูความสุ่มของค่าความคลาดเคลื่อน พบว่า จุดทุกจุดกระจายอยู่บนและล่างเส้นศูนย์ แสดงให้เห็นว่า ผลลัพธ์นี้ไม่มีความเอนเอียงเชิงระบบ

(Systematic bias) (Figure 3a) ในการทำนาย สอดคล้องกับการทดสอบ t แบบจับคู่ ($p = 0.97$) แสดงว่า แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น (A linear regression model) เหมาะสมที่สุด และมีความแม่นยำสูงมากที่ค่า E_{ce} ต่ำถึงปานกลาง เนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนจะกระจุกตัวอย่างหนาแน่นใกล้ศูนย์ในช่วงประมาณ 0–3 dS/m เมื่อ E_{ce} มีค่าที่สูงขึ้น ค่า Residual กระจายตัวมากขึ้น และมีค่าความคลาดเคลื่อนมากขึ้นทั้งด้านบวกและลบ ($\pm 4-7$ dS/m) แสดงให้เห็นว่า ความไม่แน่นอนในการทำนายจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเค็มสูงขึ้น (He et al., 2013) ในขณะที่ บางตัวอย่างที่มีค่าใกล้เคียง 10–13 dS/m แสดงค่าความคลาดเคลื่อนสูง ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากเนื้อดินที่ต่างกัน และจำนวนตัวอย่างที่มีค่า E_{ce} สูงที่ใช้ในการศึกษานี้มีไม่มากนัก (Sonmez et al., 2008) สอดคล้องกับผลการทดลองของ Kargas et al. (2022) ที่บ่งชี้ว่า การทำนายค่า E_{ce} จะมีความแม่นยำเมื่อค่า E_{ce} น้อยกว่า 3 dS/m เมื่อทำ Histogram of residuals พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนแสดงให้เห็นการกระจายแบบปกติ มีค่าเฉลี่ยอยู่ใกล้ศูนย์ สนับสนุนข้อสมมติฐานของการถดถอยเชิงเส้น และการทดสอบทางสถิติแบบจับคู่ (Paired Samples t -Test) (Figure 3b) อย่างไรก็ตาม แบบจำลองยังมีข้อจำกัดเมื่อช่วงค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินมีความกว้างมาก โดยแบบจำลองสามารถแปลงค่า EC 1:5 เป็นค่า E_{ce} ได้อย่างน่าเชื่อถือเฉพาะในช่วงค่า EC ประมาณ 0–35 dS/m (Leksungnoen et al., 2018) หากค่า EC สูงมาก ไอออนบางชนิดทำปฏิกิริยากันทำให้ความสัมพันธ์ระหว่าง EC กับปริมาณเกลือทั้งหมดไม่เป็นเส้นตรง อัตราส่วนของค่า EC ในสารละลายและสารสกัดจึงค่อยๆ ลดลงเมื่อความเค็มของดินเพิ่มขึ้น ทำให้ไม่สามารถใช้หลักการเจือจางแล้วคูณกลับได้ (Smagin et al., 2024) หากใช้มาตรฐานของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา และ โมเดลการถดถอย (Regression) $y = 7.63x + 0.15$ สามารถกำหนดระดับความเค็มของดินด้วย EC 1: 5 Lab ได้ดังนี้ ดินไม่เค็ม (Non-saline) < 0.24 dS/m ดินเค็มน้อย (Slightly saline) 0.24-0.50 dS/m ดินเค็มปานกลาง (Moderately saline) 0.50-1.03 dS/m ดินเค็มมาก (Strongly saline) 1.03-2.08 dS/m และดินเค็มจัด (Extremely saline) > 2.08 dS/m (Table 4) (United States Department of Agriculture, 1954; Visconti et al., 2010)

การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ EC 1:5 ห้องปฏิบัติการ (EC 1:5 Lab) และ EC จากเครื่องวัดแบบพกพา (EC 1:5 pen-type)

ค่า EC 1:5 pen-type สามารถใช้ในการอธิบายความแปรปรวนของ EC 1:5 Lab ได้สูงมากถึง 94.3% ($R^2 = 0.943$) (Figure 4) สมการ Linear regression ระหว่าง EC 1:5 pen-type และ EC 1:5 Lab คือ $y = 0.888x - 0.001$ ค่า Slope คือ 0.888 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 และค่า intercept มีค่าประมาณ 0 เกือบจะไม่มีอคติ (Bias) Figure 4 แสดงให้เห็นว่า EC 1:5 pen-type มีค่าใกล้เคียงกับ EC 1:5 Lab แต่มีแนวโน้มต่ำกว่าเล็กน้อย อาจเนื่องจากการขึ้นตอนการวิเคราะห์ EC 1:5 pen-type ผู้วิจัยใช้วิธีการตวงตัวอย่างดินและน้ำในสัดส่วน 1: 5 (v/v) ทำให้สัดส่วนของดินและน้ำแตกต่างกันเล็กน้อยส่งผลให้ค่าความชื้นไม่เท่ากับ 1 (Sonmez et al., 2008) เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ EC 1:5 Lab และ EC 1:5 pen-type ด้วยวิธีการทดสอบ t แบบจับคู่ พบว่า ค่าทั้งสองมีความแตกต่างเฉลี่ย คือ 0.032 dS/m และมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.001 ทั้งนี้ ค่า EC ที่วัดได้จากเครื่องวัด EC แบบพกพาที่แม่นยำมาก ที่ระดับ EC < 10 dS/m และแม่นยำสูงมาก ที่ระดับ EC < 2 dS/m (Arnold et al., 2005) ซึ่งเพียงพอต่อการใช้จำแนกดินเค็มจัด (Extremely saline) ด้วย EC 1:5 (> 2.08 dS/m) (USDA, 1954; Visconti et al., 2010) ทั้งนี้ ค่า EC 1:5 pen-type ที่วัดในภาคสนามสามารถใช้แทน ค่า EC 1:5 Lab ได้ (Queensland Government, 2018)

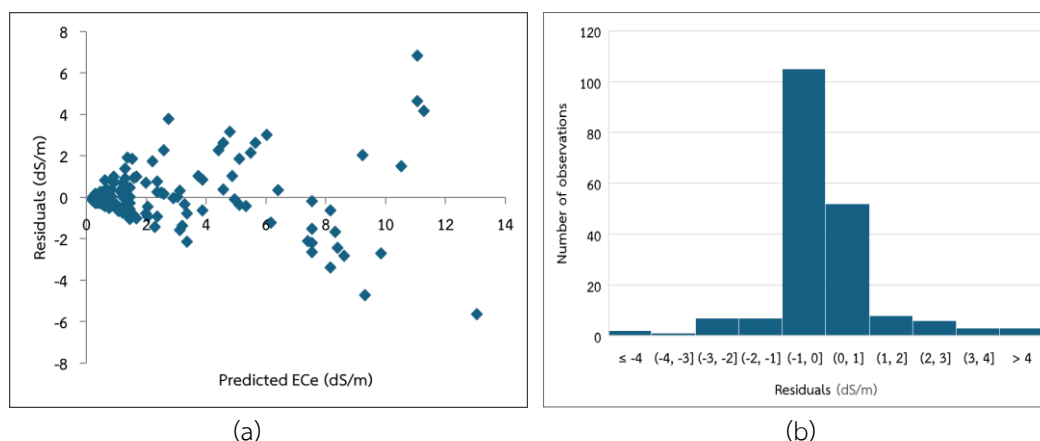
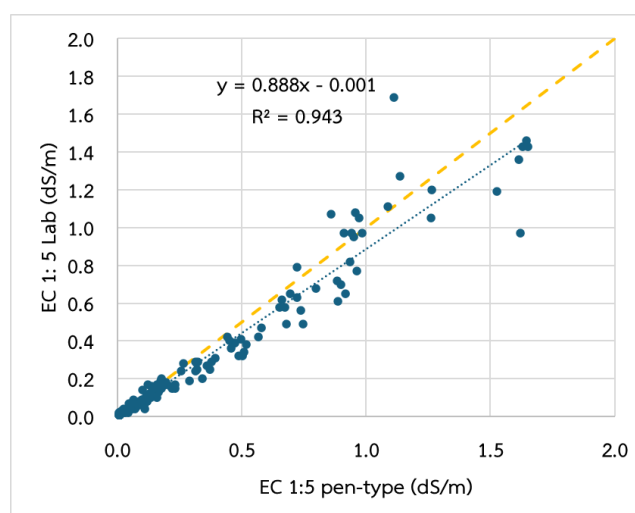
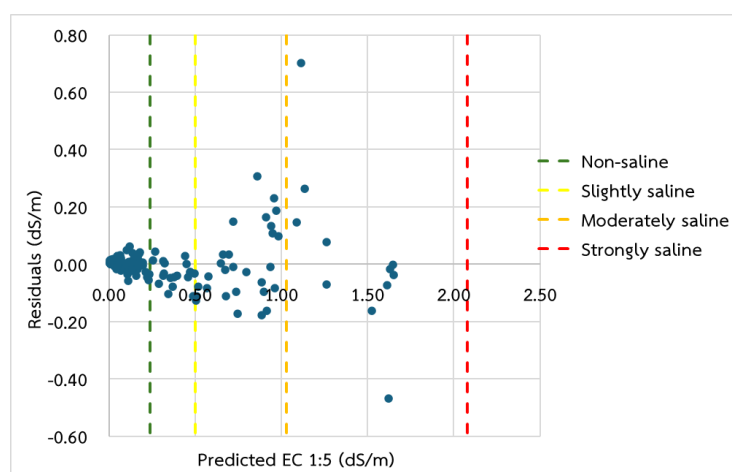


Figure 3 Residual plot of predicted E_{ce} values (a) and histogram of residuals (b) ($n = 194$).

Table 4 Soil salinity classification based on EC 1:5 Laboratory measurements

Salinity class	EC 1:5 Lab (dS/m)
Non-saline	< 0.24
Slightly saline	0.24 – 0.50
Moderately saline	0.50 – 1.03
Strongly saline	1.03 – 2.08
Extremely saline	> 2.08

**Figure 4** Linear regression between EC 1:5 pen-type and EC 1:5 laboratory measurements (n = 194). The orange dashed line represents the 1:1 line (slope = 1)**Figure 5** Residuals of predicted EC 1:5 values potted against predicted EC 1:5 values. Vertical dashed lines indicate soil salinity classification based on EC 1:5 laboratory measurements (n = 194).

การตรวจสอบส่วนตกค้าง (Residual Analysis) แสดงให้เห็นว่า ข้อผิดพลาดของการทำนาย (Prediction errors) มีน้อยมากในดินที่ไม่เค็ม และดินที่มีความเค็มต่ำ สังเกตจากค่าความคลาดเคลื่อนใกล้ค่าศูนย์มาก การกระจายตัวแคบมากในช่วง <0.24 dS/m และค่า Residuals มีการกระจายเล็กน้อยในช่วง 0.24-0.50 dS/m ในขณะที่พบความแปรปรวนมากขึ้นในช่วงที่มีความเค็มปานกลางถึงสูง (>0.50 dS/m) โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ระดับความเค็มสูงกว่า 1.03 dS/m (Figure 5) เนื่องจากเมื่อความเค็มของดินเพิ่มมากขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่าง E_c และ EC 1:5 ไม่เป็นเส้นตรง (non-linear) (Leksungnoen et al., 2018)

การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารสกัดดินอิมัตัวด้วยน้ำ (ECe) และ EC จากเครื่องวัดแบบพกพา (EC 1:5 pen-type)

ค่า EC 1:5 pen-type สามารถใช้ในการอธิบายความแปรปรวนของ ECe ได้ถึง 83% ($R^2 = 0.83$) (Figure 6) สมการ Linear regression ระหว่าง EC 1:5 pen-type และ ECe คือ $y = 7.04x + 0.17$ ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับ สมการ Linear regression ระหว่าง EC 1:5 Lab และ ECe ($y = 7.63x + 0.15$, $R^2 = 0.82$) คือ ที่ค่า Slope ประมาณ 7 และมีค่า Intercept ประมาณ 0.15 (Figure 2 และ Figure 6) สอดคล้องการทดลองของ Kargas et al. (2022) และ Kumar et al. (2023) ที่พบว่า ค่า ECe มากกว่าค่า EC 1:5 ประมาณ 7 เท่า ซึ่งอยู่ในช่วงเดียวกันกับวิจัยอื่นที่เสนอความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง ECe และ EC1:5 ตั้งแต่ 5.05 ถึง 11.7 (Ozcan et al., 2006; Sonmez et al., 2008; Chi and Wang, 2010; Aboukila and Norton, 2017). เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ ECe และ EC 1:5 pen-type ด้วยวิธีการทดสอบ t แบบจับคู่ พบว่า ค่าทั้งสองมีค่าความแตกต่างเฉลี่ย คือ 1.846 dS/m และมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.001

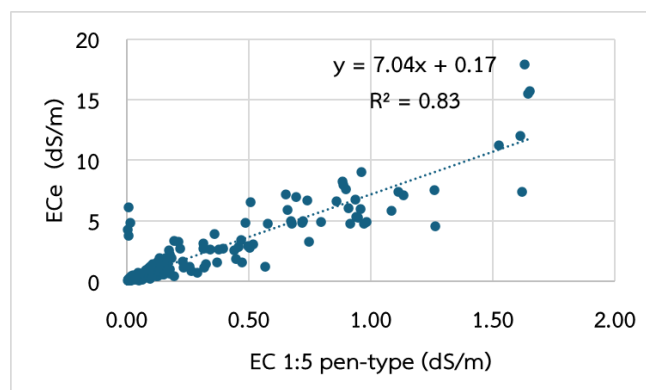


Figure 6 Linear regression between EC 1: 5 pen-type and ECe measurements (n = 194).

การทำนายผลการวิเคราะห์ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารสกัดดินอิมัตัวด้วยน้ำ (ECe) ด้วย EC จากเครื่องวัดแบบพกพา (EC 1:5 pen-type)

ทำนายค่า ECe จากค่า EC 1:5 pen-type ด้วยสมการการถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) $y = 7.04x + 0.17$ พบว่า ค่าเฉลี่ยของ ECe ที่ทำนายได้ (Predicted ECe) คือ 2.126 dS/m และค่า ECe ที่วัดได้จากห้องปฏิบัติการ (Measured ECe) คือ 2.124 dS/m ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันมาก ค่าความแตกต่างเฉลี่ยต่ำมาก (0.002 dS/m) ผลการทดสอบ Paired t-test พบว่า ค่าเฉลี่ยของ Measured ECe และ Predicted ECe ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 6)

Table 5 Paired t-test comparing the means of measured and predicted Ece

EC (dS/m)	n	Mean	Variance	t	df	p-value
Measured ECe	194	2.124	9.093			
Predicted ECe	194	2.126	7.506			
Paired comparison				-0.029	193	0.98

Not significant at the 0.05 level

ตรวจสอบคุณภาพของโมเดลการถดถอย (Regression) โดยใช้กราฟ Residual plot ซึ่งคำนวณจากค่าความแตกต่างของค่าที่วัดได้และค่าที่ทำนายได้ (Measured Ece-Predicted ECe) แสดงบนแกน y เปรียบเทียบกับค่าที่ทำนายได้ (Predicted ECe, dS/m) บนแกน x เพื่อประเมินรูปแบบการกระจายของค่าความคลาดเคลื่อน ผลการวิเคราะห์พบว่า แบบจำลองมีความสม่ำเสมอของพฤติกรรม (Model behavior) ในช่วงที่ค่า EC ต่ำ Residuals มีการกระจายต่ำและมีค่าใกล้ศูนย์ (ค่า Residual ระหว่าง -1.93 ถึง 5.87 dS/m) ในขณะที่เมื่อค่า ECe อยู่ในระดับปานกลาง ค่า Residuals เริ่มมีการกระจายเพิ่มขึ้น และเมื่อค่า ECe สูง Residuals มีการกระจายมากขึ้นอย่างชัดเจน (ค่า Residual ระหว่าง -4.47 ถึง 6.26 dS/m) แสดงให้เห็นว่า ความไม่แน่นอนของการทำนายเพิ่มขึ้นตามระดับความเค็มของดินที่เพิ่มขึ้น แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือมากในช่วง ECe ต่ำถึงปานกลาง (<4 dS/m) (Figure 7) ซึ่งค่า ECe < 4 dS/m เหมาะสมที่ใช้เป็นจุดแบ่งดินที่มีผลกระทบจากเกลือออกจากดินที่ไม่มีผลกระทบจากเกลือ (Spiteri and Sacco, 2024) มีพฤติกรรมของแบบจำลองเหมือนกับแบบจำลองของ Leksungnoen, et al. (2018) ที่ทำงานได้ดีมากสำหรับค่า ECe ต่ำ (<5 dS/m) และเกิดข้อผิดพลาดในการทำนายเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญสำหรับดินที่มีระดับค่า ECe >35 dS/m

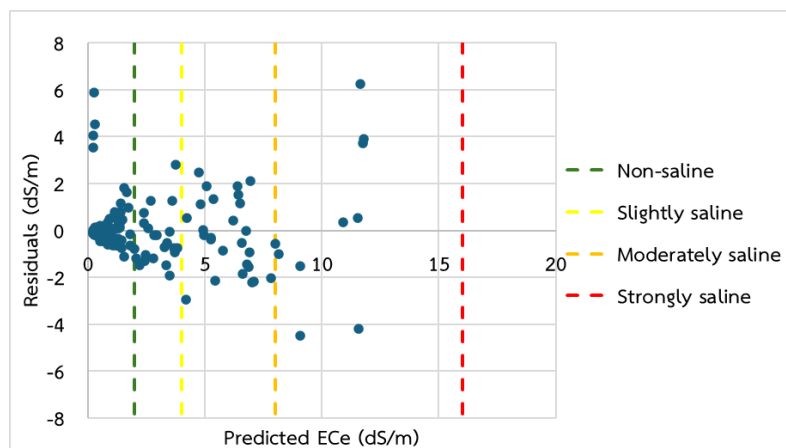


Figure 7 Residuals of predicted ECe values plotted against predicted ECe values. Vertical dashed lines indicate soil salinity classification based on ECe measurements (n = 194).

การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารสกัดดินอิมิตัวด้วยน้ำ (ECe) และ ชุดตรวจสอบ EC ภาคสนาม (EC test kit)

การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าของสารสกัดดินอิมิตัวด้วยน้ำ (ECe) และค่าที่ได้จากชุดตรวจสอบ EC ภาคสนาม (EC test kit) พบว่า ชุดตรวจสอบดินภาคสนามให้ผลการวัดเป็นข้อมูลเชิงกลุ่มที่ไม่ต่อเนื่อง (Discrete intervals) จึงเลือกใช้ค่าของขอบบนของกลุ่ม (Upper bound) เป็นค่าตัวแทนของแต่ละกลุ่มเพื่อให้สอดคล้องกับเกณฑ์การเปลี่ยนระดับความเค็มของดิน อย่างไรก็ตาม ช่วงค่าดังกล่าวความละเอียดต่ำ และเกิดผลกระทบจากเพดานข้อมูล (Ceiling effect) ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้ในการทำนายค่า ECe เชิงปริมาณได้อย่างแม่นยำ

จากเกณฑ์การจำแนกระดับความเค็มโดยใช้ชุดทดสอบ EC ภาคสนาม (EC test kit) (Table 1) และตามนิยามขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization of United Nations, 2018) ซึ่งกำหนดให้ดินเค็มปานกลางเป็นดินที่มีปริมาณเกลือที่ละลายน้ำได้สะสมอยู่ในระดับที่สูงเพียงพอที่จะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชหลายชนิด ผู้วิจัยจึงใช้ค่าขอบบนของช่วงดินเค็มปานกลางจากเกณฑ์ของ EC test kit ซึ่งเท่ากับ 0.63 dS/m และค่าขอบบน ECe ของดินเค็มปานกลางตามนิยามขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization of United Nations, 2018) คือ 8 dS/m เป็นค่าตัดแบ่งข้อมูล เมื่อเปรียบเทียบค่า ECe กับค่าขอบบนของช่วงจาก EC test kit พบว่า EC test kit สามารถใช้ในการจัดกลุ่มดินเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ดินที่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชน้อย (<0.63 dS/m) และ กลุ่มที่ 2 ดินที่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชมาก (≥0.63 dS/m) (Figure 8)

เมื่อเทียบการจำแนกระดับความเค็มของดินด้วย EC test kit กับค่า ECe ที่วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ พบว่า EC test kit ให้ผลการจำแนกแตกต่างจากค่า ECe จำนวน 23 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 194 ตัวอย่าง คิดเป็นความถูกต้องในการจำแนกระดับความเค็มของดินเท่ากับ 88.14% แม้ว่าข้อมูลที่ได้จาก EC test kit จะเป็นข้อมูลเชิงลำดับ (Ordinal categories) แต่ยังสามารถแยกกลุ่มดินเค็มต่ำและปานกลางได้ในระดับที่ยอมรับได้ ดังนั้น EC test kit จึงเหมาะสมสำหรับใช้เป็นเครื่องมือภาคสนามเพื่อจำแนก และคัดกรองดินเค็มเบื้องต้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Akpan et al., 2002)

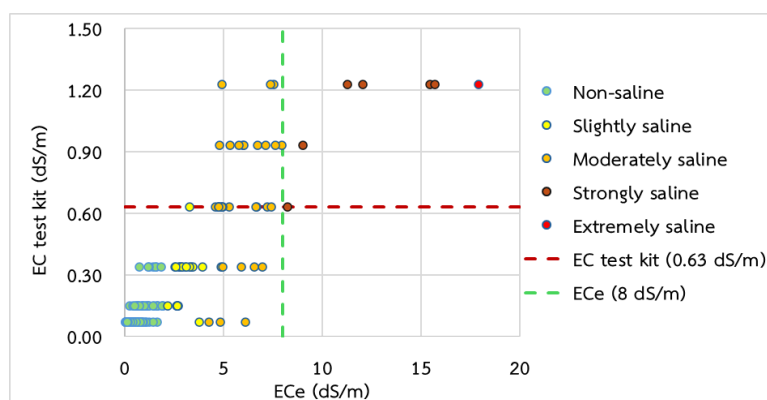


Figure 8 Binary plot of ECe versus EC test kit showing salinity classification based on ECe measurement.

สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า ค่า EC 1:5 ทั้งจากห้องปฏิบัติการและเครื่องวัดแบบพกพามีความสัมพันธ์กับค่า E_{Ce} และสามารถใช้ในการทำนายค่า E_{Ce} ได้ โดยให้ผลที่สอดคล้องกัน โดยเฉพาะในช่วงดินที่มีความเค็มต่ำถึงปานกลาง อย่างไรก็ตาม ความแม่นยำของการทำนายลดลงในดินที่มีความเค็มสูง เครื่องวัด EC แบบพกพาอาจประหยัดค่าใช้จ่ายและสามารถใช้เป็นทางเลือกในการติดตามความเค็มของดินได้ หากมีการสอบเทียบเครื่องมืออย่างเหมาะสม ขณะที่ EC 1:5 จากห้องปฏิบัติการมีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานที่ต้องการความน่าเชื่อถือสูงและการวิเคราะห์ตัวอย่างจำนวนมาก

สำหรับ EC test kit เหมาะสำหรับการคัดกรองดินเค็มในเบื้องต้น แต่ไม่เหมาะสำหรับการทำนายค่า E_{Ce} เพียงปริมาณ ทั้งนี้ การใช้ค่า EC 1:5 เพื่อทำนายค่า E_{Ce} ควรพิจารณาข้อจำกัดของช่วงความเค็ม และใช้เป็นแนวทางในการประเมินความเค็มของดินร่วมกับวิธีมาตรฐาน แม้ว่าจะสามารถใช้ค่า EC 1:5 Lab และ EC 1:5 pen-type ในการทำนายค่า E_{Ce} ได้ แต่ค่าที่ได้จากการทำนายไม่ใช่ค่า E_{Ce} ที่แท้จริง วิธีการดังกล่าวจึงเป็นเพียงทางเลือกของผู้ใช้งานในการเลือกใช้เครื่องมือในการติดตามคุณภาพดินเค็มเพื่อจำแนกความเค็มของดินเท่านั้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากโครงการความร่วมมือด้านวิชาการ ระหว่างสถาบัน IRD และกรมพัฒนาที่ดิน ปีงบประมาณ 2568 และงานวิจัยของศูนย์ความเป็นเลิศด้านการวิจัยดินแห่งภูมิภาคเอเชีย (Center of Excellence on Soil Research in Asia: CESRA)

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

วางแผนการเก็บตัวอย่าง และเก็บตัวอย่างดิน: พรชัย อุปพันธพงศ์ชัย, นฤมล จันทร์จิราวุฒิกุล. วิเคราะห์ตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการ: ชิวตา พลวัฒน์, สุทธิศักดิ์ สุทธิพันธุ์, อธิการ บุญหวาน. ควบคุมการวิเคราะห์ดิน และการปฏิบัติการวิจัย: จุฑามาศ ไกรเพ็ญ, รัตนาชาติ ช่วยบุตดา. จัดเก็บข้อมูล: จิราวุฒิ เวียงวงษ์งาม. ออกแบบและวางแผนการศึกษา แปลผล วิเคราะห์ข้อมูล และเขียนบทความ: ณัฐพร ประคองเก็บ, โรเบิร์ต เจ จิลล์ส.

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความเรื่องนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

เอกสารอ้างอิง

- Aboukila, E. F., & Norton, J. B. (2017). Estimation of saturated soil paste salinity from soil water extracts. *Soil Science*, 182(3), 107-113. <https://doi.org/10.1097/SS.0000000000000197>.
- Akpan, U. E., Okon, A. A., & Ituen, E. E. (2002). Measurement of salinity and electrical conductivity of some soil samples of Uruan local government area of Akwa, Iboim state, Nigeria. *Global Journal of Pure and Applied Science*, 8(3), 399-403. <https://doi.org/10.4314/gjpas.v8i3.16024>.
- Arnold, S. L., Doran, J. W., Schepers, J. S., Wienhold, B. J., Ginting D., Amos, B., & Gomes, S. (2005). Portable probes to measure electrical conductivity and soil quality in the field. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36(15-16), 2271-2287. <https://doi.org/10.1080/00103620500196689>.
- Best, R. J. (1929). A rapid electrometric method for determining the chloride content of soils. *Journal of Agricultural Science*, 19(3), 533-540. <https://doi.org/10.1017/S0021859600011771>.
- Chi, C. M., & Wang, Z. C. (2010). Characterizing salt-affected soils of Songnen plain using saturated paste and 1:5 soil-to-water extraction methods. *Arid Land Research and Management*, 24(1), 1-11. <https://doi.org/10.1080/15324980903439362>.
- Egorov, V. V., Fridland, V. M., Ivanova, E. N., & Rozov, N. N. (1977). *Classification and Diagnostics of Soils of the USSR*. CRC Press.
- Food and Agriculture Organization of United Nations and The Intergovernmental Technical Panel on Soils. (2015). *Status of the World's Soil Resources (SWSR)-Main Report*. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils.
- Food and Agriculture Organization of United Nations. (2018). *Handbook for Saline Soil Management*. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Lomonosov Moscow State University.

- Food and Agriculture Organization of United Nations. (2020). **Soil Testing Methods Manual Doctors Global Programme–A Farmer-to-Farmer Training Programme**. Food and Agriculture Organization of United Nations.
- Food and Agriculture Organization of United Nations. (2021). **Standard Operating Procedure for Soil Electrical Conductivity, Soil/ Water 1:5**. Food and Agriculture Organization of United Nations.
- Geo-Informatics and Space Technology Development Agency. (2023). **Thailand Province Boundaries**. Retrieved from: <https://opendata.gistda.or.th/>. (in Thai).
- Gozukara, G., Altunbas, S., Dengiz, O., & Adak, A. (2022). Assessing the effect of soil to water ratios and sampling strategies on the prediction of EC and pH using pXRF and Vis-NIR spectra. **Computer and Electronics in Agriculture**, 203(1), 107459. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107459>.
- Hajrasuliha, S., Cassel, D. K., & Rezainejad, Y. (1991). Estimation of chloride ion concentration in saline soils from measurement of electrical conductivity of saturated soil extracts. **Geoderma**, 49(1-2), 117-127. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(91\)90095-B](https://doi.org/10.1016/0016-7061(91)90095-B).
- He, Y., DeSutter, T., Hopkins, D., Jia, X., & Wysocki, D. A. (2013). Predicting ECe of the saturated paste extract from value of EC 1:5. **Canadian Journal of Soil Science**, 93(5), 585-594. <https://doi.org/10.4141/cjss2012-080>.
- He, Y., DeSutter, T., Prunty, L., Hopkins, D., Jia, X., & Wysocki, D. A. (2012). Evaluation of 1:5 soil to water extracts electrical conductivity methods. **Geoderma**, 185-186(1), 12-17. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.03.022>.
- Kargas, G., Londra, P., & Sotirakoglou, K. (2022). The effect of soil texture on the conversion factor of 1:5 soil/water extract electrical conductivity (EC 1:5) to soil saturated paste extract electrical conductivity (ECe). **Water**, 14(4), 642. <https://doi.org/10.3390/w14040642>.
- Khorsandi, F., & Yazdi, F. A. (2007). Gypsum and texture effects on the estimation of saturated paste electrical conductivity by two extraction methods. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, 38(7), 1105-1117. <https://doi.org/10.1080/00103620701278120>.
- Khorsandi, F., & Yazdi, F. A. (2011). Estimation of saturated paste extracts' electrical conductivity from 1:5 soil/water suspension and gypsum. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 42(3), 315-321. <https://doi.org/10.1080/00103624.2011.538885>.
- Kruse, E. G., Willardso, L., & Ayars, J. (1990). On-farm irrigation and drainage practices. In **Agricultural Salinity Assessment and Management**, pp. 349-371. American Society of Civil Engineers.
- Kumar, P., Sarangi, A., & Singh, D. K. (2023). Comparative evaluation of methods for estimation of soil salinity. **Journal of AgriSearch**, 10(1), 18-23.
- Land Development Department. (2025). **Do It Yourself (DIY) Soil Tests**. Retrieved from: https://worldsoilday.ddd.go.th/Data/3_poster/th/poster_TH4_6364b4f591412.pdf. (in Thai).
- Land Development Department. (2026). **e-Service LDD: Online service**. Retrieved from: <https://www.ddd.go.th/eservice/index.html>. (in Thai).
- Leksungnoen, N., Andriyas, T., & Andriyas, S. (2018). ECe prediction from EC1:5 in inland salt-affected soils collected from Khorat and Sakon Nakhon basins, Thailand. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, 49(21), 2627-2637. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85055336401&doi=10.1080%2f00103624.2018.1524900&partnerID=40&md5=ddfaf99663dd39e98c4506c0221f69cc>
- Microsoft Corporation. (2024). **Microsoft 365 Family**. Retrieved from: <https://www.microsoft.com/th-th/windows-365>. (in Thai).
- Ozcan, H., Ekinci, H., Yigini, Y., & Yuksel, O. (2006). Comparison of four soil salinity extraction methods. In **Proceedings of the 18th International Soil Metting on "Soil Sustaining Life on Earth, Managing Soil and Technology"**, pp. 697-703. Soil Science Society of Turkey.
- Park, S. W., Baek, N., Shin, E. S., & Choi, W. J. (2024). Advances in the ECe prediction for EC 1:5. **Korean Journal of Soil Science and Fertilizer**, 57(1), 73-78. <https://doi.org/10.7745/KJSSF.2024.57.1.073>.
- Phuong, N. T. K., Khoi, C. M., Ritz, K., Linh, T. B., Minh, D. D., Duc, T. A., Sinh, N. V., Linh, T. T., & Toyota, K. (2020). Influence of rice husk biochar and compost amendments on salt contents and hydraulic properties of soil and rice yield in salt-affected fields. **Agronomy**, 10(8), 1101. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081101>.
- Queensland Government. (2018). **Measuring Salinity**. Retrieved from: <https://www.publications.qld.gov.au/dataset/science-notes-soils/resource/6205ff5f-92b6-444b-95b7-f195fe4a64d6>.
- Rayment, G. E., & Higginson, F. R. (1992). Australian soil and land survey handbook. **Australian Laboratory Handbook of Soil and Water Chemical Methods**. Inkata Press.

- Richards, L. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. **Soil Science**, 78(2), 154.
<https://doi.org/10.1097/00010694-195408000-00012>.
- Rukadi, K., Phontusang, P., & Sriprachote, A. (2025). Soil ECe prediction from different EC water ratios and sample sizes in salt-affected soils. **EnvironmentAsia**, 18(2), 121-130. <https://doi.org/10.14456/ea.2025.42>.
- Sahunalu, P. (2003). Rehabilitation of salt affected lands in Northeast Thailand. **Tropics**, 13(1), 39-51.
<https://doi.org/10.3759/tropics.13.39>.
- Shahid, S. A., Zaman, M., & Heng, L. (2018). Soil salinity: Historical perspectives and a world overview of the problem. In **Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques**, pp. 43-53. Springer International Publishing.
- Shirokova, Y., Forkutsa, I., & Sharafutdinova, N. (2000). Use of electrical conductivity instead of soluble salts for soil salinity monitoring in Central Asia. **Irrigation and Drainage Systems**, 14(3), 199-205. <https://doi.org/10.1023/A:1026560204665>.
- Smagin, A., Kacimov, A., & Sadovnikova, N. (2024). EC conversion for 1:5 extracts and standard saturated soil-water pastes in the assessment of arid land salinization: Classical methodologies revisited. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, 23(4), 277-288. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2023.12.005>.
- Soil Science Division Staff. (2017). **Soil Survey Manual: USDA Handbook No. 18**. Government Printing Office.
- Sonmez, J. S., Buyuktas, D., Okturen, F., & Citak, S. (2008). Assessment of different soil to water ratios (1:1, 1:2:5, 1:5) in soil salinity studies. **Geoderma**, 144(1), 361-369. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.12.005>.
- United States Department of Agriculture. (1954). **Diagnoses and Improvement of Saline and Alkali Soils: Agriculture Handbook No. 60**. United States Department of Agriculture.
- Visconti, F., de Paz, J. M., & Rubio, J. L. (2010). What information does the electrical conductivity of soil water extracts of 1 to 5 ratio (w/v) provide for soil salinity assessment of agricultural irrigated lands? **Geoderma**, 154(3-4), 387-397.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.11.012>.
- Wang, Y., Wang, Z. X., Lian, X. J., Xiao, H., Wang, L. Y., & He, H. D. (2011). Measurement of soil electrical conductivity and relationship between soluble salt content and electrical conductivity in Tianjin coastal area. **Tianjin Agricultural Science**, 17(2), 18-21. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.383125.669804>.
- Yang, Y., Ye, R., Srisutham, M., Nontasri, T., Sritumboon, S., Maki, M., Yoshida, K., Oki, K., & Homm, K. (2022). Rice production in farmer fields in soil salinity classified areas in Khon Kaen, Northeast Thailand. **Sustainability**, 14(16), 9873.
<https://doi.org/10.3390/su14169873>.