

ข้อมูลธรณีเทคนิคของแอ่งเมืองเชียงใหม่ด้วยวิธีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สำหรับการวิเคราะห์การเหลวตัวของดิน

Geotechnical Database of Chiang Mai Basin Using GIS Approach for Soil Liquefaction Analysis

ธนพร ลิทธิกรวิช^{1*} วีรยุทธ โกมลวิลาศ² วีรเดช ธนพลังกร³ และ สุเชษฐ์ ลิขิตเลอสรอง⁴

¹ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพมหานคร

^{2,3,4}ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคและธรณีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพมหานคร

*Corresponding author; E-mail address: 6470172921@student.chula.ac.th

บทคัดย่อ

แอ่งเมืองเชียงใหม่ซึ่งเป็นสถานที่ตั้งของตัวเมืองเชียงใหม่เป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวอยู่ใกล้กับแนวรอยเลื่อนมีพลัง ซึ่งแผ่นดินไหวอาจส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์การเหลวตัวของดินได้ เนื่องจากชั้นดินของแอ่งเมืองเชียงใหม่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นดินเหนียวตะกอนทราย ที่เกิดจากการทับถมกันของดินเหนียว ดินทราย และตะกอนตามการพัดพาของน้ำ งานวิจัยนี้จึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคประกอบไปด้วย ข้อมูลหลุมเจาะสำรวจดิน ข้อมูลระดับน้ำใต้ดิน ข้อมูลค่าอัตราเร่งสูงสุดของพื้นดิน ข้อมูลค่าความเร็วคลื่นเฉือนของดิน และแผนที่ธรณีวิทยาแสดงชั้นตะกอน จากนั้นทำการนำข้อมูลเข้าสู่วิธีการประมาณค่าที่ประกอบไปด้วยวิธีการระยะทางผกผัน วิธีการเพื่อนบ้านใกล้สุด วิธีการเพื่อนบ้านธรรมชาติ และวิธีการครiging โดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนรากกำลังสองเฉลี่ยในการตรวจสอบความแม่นยำของวิธีการประมาณค่า และระบบฐานข้อมูลที่สร้างขึ้นจะต้องพิจารณาให้สอดคล้องกับลักษณะทางธรณีวิทยาของแอ่งเมืองเชียงใหม่ ซึ่งผลของการศึกษาสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์เพื่อจัดทำแผนที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดการเหลวตัวของดินต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: แอ่งเมืองเชียงใหม่, ข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์, วิธีการประมาณค่า, การเหลวตัวของดิน

Abstract

Chiang Mai basin where the Chiang Mai city located on is susceptible to seismic activity due to its proximity to an active fault zone. One potential consequence of an earthquake in this area is soil liquefaction. This is because the topsoil in Chiang Mai basin is mostly composed of alluvium, which is a mixture of clay, sand, and silt deposited by rivers. This study gathered geotechnical data of Chiang Mai basin including boring-log, water table levels, peak ground acceleration, shear

wave velocity, and geological maps. Interpolation methods such as inverse distance weighting, nearest-neighbor, natural neighbor, and kriging were implemented to create a GIS database for soil liquefaction analysis. The accuracy of the interpolation methods was evaluated using the root mean square error. The GIS database was also compared to the actual geology of the Chiang Mai basin. The results of this study can be used to prepare a soil liquefaction hazard map in the future.

Keywords: Chiang Mai basin, GIS database, Interpolation method, Liquefaction

1. คำนำ

การเหลวตัวของดิน (Soil liquefaction) คือ ปรากฏการณ์ที่ดินสูญเสียหน่วยแรงประสิทธิผลจากการเพิ่มขึ้นของแรงดันน้ำส่วนเกินในมวลดินแบบทันทีทันใดเนื่องจากแผ่นดินไหว โดยสามารถพบได้ในพื้นที่ที่มีชั้นดินทรายหลวมอยู่ในระดับตื้นและอิ่มตัวด้วยน้ำ

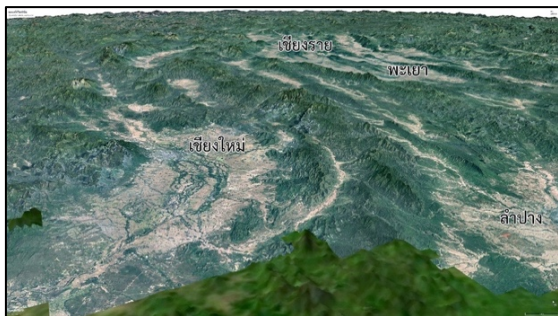
ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงต่อการเกิดปรากฏการณ์การเหลวตัวของดินจำเป็นต้องใช้ข้อมูลหลายด้านประกอบกันในการพิจารณา เช่น ข้อมูลผลหลุมเจาะสำรวจดิน ข้อมูลระดับน้ำใต้ดิน ข้อมูลค่าอัตราเร่งสูงสุดพื้นดิน ข้อมูลค่าความเร็วคลื่นเฉือน และแผนที่ธรณีวิทยาแสดงชั้นตะกอน เป็นต้น ดังนั้นหากต้องการจัดทำแผนที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดการเหลวตัวของดิน จะต้องทำการสำรวจข้อมูลดังกล่าวในบริเวณพื้นที่ศึกษาเป็นจำนวนมาก ทำให้ต้องใช้งบประมาณและระยะเวลาในการดำเนินการสูง ซึ่งอาจเป็นไปได้ยากในทางปฏิบัติหากต้องการสำรวจข้อมูลทุกตำแหน่งในพื้นที่ศึกษานอกจากนั้นการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อจัดทำแผนที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดการเหลวตัวของดินมีความจำเป็นที่จะต้องทำการจัดเก็บข้อมูลจำนวนมากให้อยู่ในระบบที่มีประสิทธิภาพและครอบคลุมพื้นที่ศึกษา เพื่อให้สะดวกต่อการวิเคราะห์ข้อมูล

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการประมาณค่า ได้แก่ วิธีหน่วยน้ำหนัก ระยะทางผกผัน วิธีข้อมูลข้างเคียง วิธีข้อมูลธรรมชาติ และวิธีคริกิง เพื่อใช้ในการประมาณค่าของข้อมูลทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคในบริเวณที่ไม่มีกรเก็บข้อมูลหรือไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ เพื่อให้ได้ข้อมูลครอบคลุมทั่วพื้นที่ศึกษา และแสดงผลในรูปแบบฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อให้สะดวกต่อการนำไปใช้ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงต่อการเกิดเหลวของดิน โดยได้เลือกแอ่งเมืองเชียงใหม่เป็นพื้นที่ศึกษาเนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีผู้อยู่อาศัยเป็นจำนวนมากและตั้งอยู่ใกล้แนวรอยเลื่อนมีพลัง นอกจากนี้ชั้นดินของแอ่งเมืองเชียงใหม่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นดินเหนียวตะกอนทราย ที่เกิดจากการทับถมกันของดินเหนียว ดินทราย และตะกอนตามการพัดพาของน้ำ ซึ่งเป็นลักษณะทางธรณีวิทยาที่อาจมีความเสี่ยงต่อการเกิดเหลวของดิน โดยคณะผู้วิจัยได้ทำการสำรวจข้อมูลหลุมเจาะสำรวจดิน ข้อมูลระดับน้ำใต้ดิน ข้อมูลค่าอัตราเร่งสูงสุดของพื้นดิน ข้อมูลค่าความเร็วคลื่นเฉือนของดิน และแผนที่ธรณีวิทยาแสดงชั้นตะกอน จากนั้นทำการนำข้อมูลเข้าสู่วิธีการประมาณค่า โดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนรากกำลังสองเฉลี่ยในการตรวจสอบความแม่นยำของวิธีการประมาณค่า ร่วมกับการตรวจสอบความสอดคล้องกันของระบบฐานข้อมูลที่สร้างขึ้นกับลักษณะทางธรณีวิทยาของแอ่งเมืองเชียงใหม่ ซึ่งผลของการศึกษาจะสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์เพื่อจัดทำแผนที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดการเหลวตัวของดินของแอ่งเมืองเชียงใหม่ได้ต่อไปในอนาคต

2. หลักการ แนวคิด ทฤษฎีและการศึกษาที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะของภูมิประเทศของแอ่งเมืองเชียงใหม่

จังหวัดเชียงใหม่มีลักษณะเป็นภูเขาสลับกับที่ราบ มีแนวสันเขาเรียงตัวตลอดตามแนวชายแดนระหว่างประเทศไทยและสาธารณรัฐเมียนมา ด้วยลักษณะภูมิประเทศดังกล่าวในช่วงของฤดูน้ำหลาก ตะกอนหรือเศษซากผุพังจากเทือกเขาจะถูกพัดพาและลงมาตกตะกอนสะสมในพื้นที่ราบ โดยแอ่งเมืองเชียงใหม่มีลักษณะคล้ายถ้วยขนาดใหญ่ ที่มีการลดระดับจากขอบแอ่งไปสู่ใจกลางแอ่ง ดังแสดงในรูปที่ 1

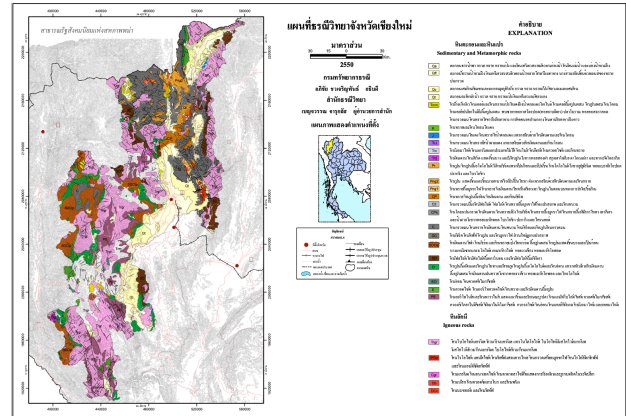


รูปที่ 1 ภาพถ่ายดาวเทียมจาก Google Earth แสดงภูมิประเทศจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย พะเยา และลำปาง

2.2 ธรณีวิทยาบริเวณจังหวัดเชียงใหม่

ธรณีวิทยาบริเวณจังหวัดเชียงใหม่มีหลักฐานการกระจายตัวของหินอัคนีอยู่เป็นจำนวนมากโดยมีการแทรกตัวขึ้นมาหลายช่วงตามเวลาธรณีกาล จึง

ทำให้แผ่นดินในพื้นที่ราบยกตัวกลายเป็นเทือกเขาสูง และมีการเปลี่ยนแปลงธรณีสัณฐานบางพื้นที่ให้แยกออกจากกันจนทำให้เกิดเป็นแอ่ง โดยมีการพุ่งของดินต่าง ๆ จากเทือกเขาสูงที่ถูกพัดพาลงมาสะสมในพื้นที่แอ่ง กลุ่มลักษณะธรณีประกอบไปด้วยกลุ่มหินตะกอน ตะกอนธารน้ำ กรวด ทราย แป้ง และดินเหนียวสะสมตามร่องน้ำ คันดินแม่น้ำ และแอ่งน้ำท่วมถึง ซึ่งจัดเป็นกลุ่มที่เป็นวัสดุธรณีที่สามารถเกิดปรากฏการณ์การเหลวตัวของดินได้ โดยแผนที่ธรณีวิทยาบริเวณจังหวัดเชียงใหม่แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดเชียงใหม่ [1]

2.3 ปรากฏการณ์การเหลวตัวของดิน

การเกิดการเหลวตัวของดินเกิดขึ้นได้เมื่อดินทรายที่อิ่มตัวด้วยน้ำได้รับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว การลดลงของกำลังรับแรงเฉือนของดินส่งผลให้ดินทรายมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นและปริมาตรของดินลดลง ทำให้ขนาดของช่องว่างในดินทรายมีขนาดเล็กลง ส่งผลให้แรงดันน้ำส่วนเกินเพิ่มขึ้นอย่างกะทันหัน และเนื่องจากช่องว่างที่มีขนาดเล็กทำให้แรงดันน้ำส่วนเกินไม่สามารถระบายออกได้ทัน เมื่อแรงดันน้ำส่วนเกินมีค่ามากกว่าหน่วยแรงรวมที่กดทับอยู่ ณ ความลึกใด ๆ จะส่งผลให้ดินทรายสูญเสียหน่วยแรงประสิทธิผล ทำให้ดินทรายเกิดการสูญเสียกำลังรับน้ำหนักไปตลอดช่วงเวลาที่ยังแรงดันน้ำส่วนเกินไม่สามารถระบายออกได้ทัน ทำให้ดินทรายอยู่ในสภาวะกึ่งเหลว ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 การเกิดเหลวของดินทราย [2]

2.4 การประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดปรากฏการณ์การเกิดเหลว

การประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดปรากฏการณ์การเกิดเหลวสามารถใช้แบบจำลองของ Seed and Idriss [3] ในการคำนวณอัตราส่วนความเค้นวัฏจักร (Cyclic Stress Ratio, CSR) ซึ่งประกอบไปด้วย หน่วยแรงรวม หน่วยแรงประสิทธิภาพของดิน อัตราแรงสูงสุดในแนวราบ และระดับความลึกที่พิจารณา โดยหากพิจารณาในกรณีวิกฤติ คือ อัตราแรงบนพื้นผิวมีค่ามาก และระดับน้ำใต้ดินในขณะที่เกิดแผ่นดินไหวสูง จะทำให้หน่วยแรงประสิทธิภาพของดินมีค่าต่ำและส่งผลให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดการเหลวตัวของดิน อีกทั้งปรากฏการณ์การเกิดเหลวจะมีความเสี่ยงมากสำหรับชั้นดินในระดับตื้นที่เป็นดินทรายหรือดินตะกอนที่อิ่มตัวด้วยน้ำ

ส่วนความต้านทานของการเกิดวัฏจักรความเค้น (Cyclic Resistance Ratio, CRR) สามารถคำนวณได้จากแบบจำลองของ Boulanger and Idriss [4] และ Youd and Idriss [5] โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อความต้านทานของการเกิดวัฏจักรความเค้นประกอบไปด้วย สัดส่วนของเม็ดละเอียดที่ปะปนในดินทราย ค่าความแข็งของดินซึ่งพิจารณาได้จากจำนวนการตอกมาตรฐาน (SPT) และหน่วยแรงประสิทธิภาพของดินทราย ซึ่งจากแบบจำลองความต้านทานของการเกิดวัฏจักรความเค้น สามารถสรุปได้ว่าดินทรายที่มีค่าการตอกมาตรฐานสูงและมีสัดส่วนของเม็ดดินละเอียดสูง จะทำให้ดินทรายมีความสามารถในการต้านวัฏจักรการความเค้นได้สูง หรือมีความเสี่ยงที่จะเกิดปรากฏการณ์การเกิดเหลวตัวของดินต่ำ

2.5 วิธีการประมาณค่า

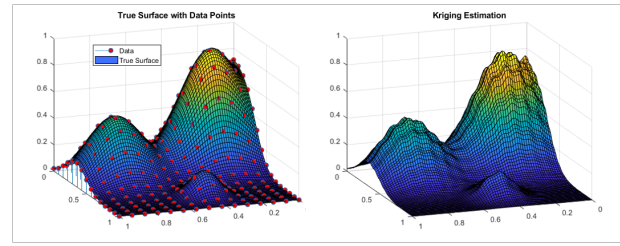
การสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลทางวิศวกรรมธรณีเทคนิค อาจไม่สามารถทำได้ทั่วทั้งพื้นที่ศึกษา การประมาณค่าจึงเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการสร้างข้อมูลเชิงพื้นที่ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลในพื้นที่ที่ไม่มีการเก็บข้อมูลหรือไม่สามารถเข้าไปเก็บข้อมูลได้ วิธีการประมาณค่าในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย

2.5.1 การประมาณค่าโดยวิธีการคริกิง (Kriging)

วิธีการคริกิงเป็นวิธีการประมาณค่าขั้นสูงสำหรับการสร้างพื้นผิวแบบจำลองในทางธรณีสถิติ โดยพิจารณาพฤติกรรมของพื้นที่บริเวณรอบข้างและนำข้อมูลจุดที่มีนัยสำคัญต่อการสร้างพื้นผิวมาใช้ในการสร้างพื้นผิว ซึ่งส่งผลให้การประมาณค่าด้วยวิธีนี้มีความสามารถในการสร้างพื้นผิวให้มีค่าที่แม่นยำกว่าวิธีอื่น ๆ เนื่องจากใช้ความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างจุดในการหาความสัมพันธ์แบบอัตโนมัติผ่านความสัมพันธ์ดังแสดงในสมการที่ (14)

$$Z = \sum_{i=1}^n \lambda_i z_i \quad (14)$$

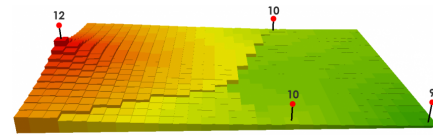
โดยที่ Z คือ ค่าที่ได้จากการประมาณ λ_i คือ หน่วยน้ำหนักสามารถหาด้วยกระบวนการวิธีกำลังสองน้อยสุด (Least Squares Method) เพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อน (error) ของข้อมูลน้อยที่สุด และ z_i คือ ข้อมูลจุดที่ได้จากการเก็บข้อมูล การประมาณพื้นผิวแบบจำลองด้วยวิธีการคริกิงให้ผลการประมาณค่าที่ใกล้เคียงกับพื้นผิวจริงมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 เปรียบเทียบระหว่างพื้นผิวจริง (ซ้าย) และพื้นผิวที่ถูกประมาณค่าด้วยวิธีการคริกิง (ขวา) [6]

2.5.2 การประมาณค่าโดยวิธีการระยะทางผกผัน

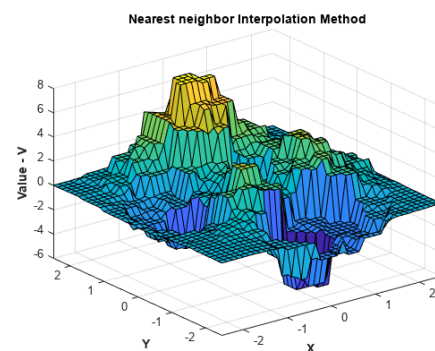
การประมาณค่าโดยวิธีการระยะทางผกผันเป็นการประมาณค่าของจุดข้อมูลที่ต้องการทราบ โดยอ้างอิงข้อมูลจากจุดที่ใกล้เคียงเป็นหลัก โดยจุดข้อมูลที่อยู่ใกล้จะส่งอิทธิพลมาก แต่เมื่อไกลออกไปจุดข้อมูลจะส่งอิทธิพลน้อยลงตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 การประมาณค่าพื้นผิวด้วยวิธีการระยะทางผกผัน [7]

2.5.3 การประมาณค่าโดยวิธีการเพื่อนบ้านใกล้สุด

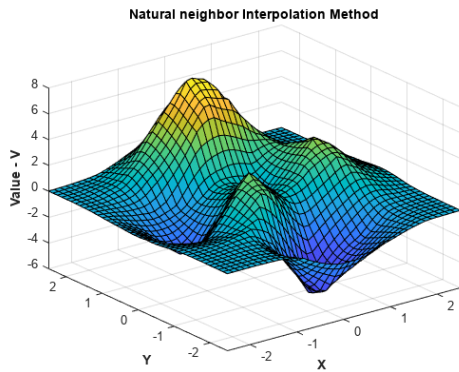
การประมาณค่าข้อมูลโดยวิธีการเพื่อนบ้านใกล้สุดจะทำการแบ่งเซลล์ที่เรียกว่า Voronoi ที่ล้อมรอบจุดข้อมูลที่เก็บมา จากนั้นจะทำการสร้างพื้นผิวโดยการให้พื้นที่ในเซลล์ Voronoi มีค่าเท่ากับข้อมูลที่ได้ทำการเก็บข้อมูลมา วิธีการนี้เหมาะสมสำหรับข้อมูลที่มีปริมาณจำนวนมาก และครอบคลุมพื้นที่ศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การประมาณค่าพื้นผิวโดยวิธีการเพื่อนบ้านใกล้สุด [8]

2.5.4 การประมาณค่าโดยวิธีการเพื่อนบ้านธรรมชาติ

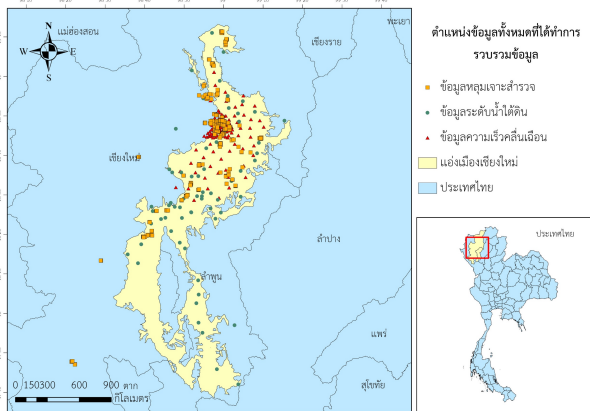
การประมาณค่าโดยวิธีการเพื่อนบ้านธรรมชาติ มีลักษณะการวิเคราะห์คล้ายกับวิธีการเพื่อนบ้านใกล้สุด แต่จะมีการพิจารณาถึงหน่วยน้ำหนักของเซลล์ Voronoi รอบข้าง ทำให้พื้นผิวมีความราบเรียบมากกว่าวิธีการเพื่อนบ้านใกล้สุด ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 วิธีการประมาณค่าโดยวิธีการเพื่อนบ้านธรรมชาติ [8]

3. การรวบรวมข้อมูลเพื่อสร้างฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

การรวบรวมข้อมูลเพื่อสร้างฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ประกอบไปด้วย ข้อมูลระดับน้ำใต้ดิน ข้อมูลหลุมเจาะสำรวจ ข้อมูลอัตราเร่งสูงสุดบนพื้นดินในแนวราบ และข้อมูลค่าความเร็วคลื่นเฉือนของดิน โดยตำแหน่งที่ทำการเก็บข้อมูลดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แผนที่แสดงตำแหน่งในการเก็บข้อมูลในเชียงใหม่

3.1 ข้อมูลระดับน้ำใต้ดิน

ข้อมูลระดับน้ำใต้ดินได้จากการรวบรวมข้อมูลบ่อสังเกตการณ์ระดับน้ำใต้ดินของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ในจังหวัดเชียงใหม่ และจังหวัดลำพูน ที่อยู่ในพื้นที่เชียงใหม่ตั้งแต่ปีพ.ศ.2553 - พ.ศ.2566 โดยทำการเก็บข้อมูลระดับน้ำใต้ดิน 3 ระดับคือ ระดับน้ำใต้ดินสูงสุด ระดับน้ำใต้ดินเฉลี่ย และระดับน้ำใต้ดินต่ำสุด รวมไปถึง ชื่อและพิกัดของบ่อสังเกตการณ์ โดยได้ทำการรวบรวมข้อมูลบ่อสังเกตการณ์ทั้งสิ้น 72 ตำแหน่ง

3.2 ข้อมูลหลุมเจาะสำรวจ

ข้อมูลหลุมเจาะสำรวจดินได้ทำการรวบรวมมาตั้งแต่อดีตจนถึง พ.ศ.2566 โดยกรมโยธาธิการและผังเมือง และข้อมูลเพิ่มเติมจากหน่วยงาน

อื่น ๆ โดยข้อมูลหลุมเจาะสำรวจดินประกอบไปด้วย ชนิดของดิน หน่วยน้ำหนักของดิน ปริมาณความชื้นในมวลดิน ชีตจำกัดเหลว การคละขนาดของเม็ดดิน ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดิน และค่าตอกทะลวงแบบมาตรฐาน (SPT) สำหรับการหาตำแหน่งของหลุมเจาะ ได้ทำการอ้างอิงพิกัดละติจูดลองจิจูดจาก Google map โดยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลหลุมเจาะสำรวจมาทั้งสิ้น 361 หลุมเจาะ ในจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดลำพูน ที่อยู่ในพื้นที่แอ่งเมืองเชียงใหม่

3.3 ข้อมูลอัตราเร่งสูงสุดบนพื้นผิวในแนวราบ

Ornthammarath et al. [9] ได้ศึกษาและสร้างแบบจำลองการสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งรวมถึงในประเทศไทยที่มีจังหวัดเชียงใหม่อยู่ในเขตพื้นที่ศึกษา โดยปรกติค่าความเร่งสูงสุดบนพื้นผิวในแนวราบมีค่าอยู่ในช่วง 0.8 - 18% ของค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลกแตกต่างกันไปตามลักษณะของธรณีวิทยา งานวิจัยนี้ได้ทำการรวบรวมข้อมูลอัตราเร่งพื้นผิวสูงสุดและพิกัดจากผลการศึกษาของ Ornthammarath et al. [9] เพื่อใช้ในการสร้างฐานข้อมูล

3.4 ข้อมูลค่าความเร็วคลื่นเฉือน

งานวิจัยนี้ใช้วิธีการไมโครทิมเมอร์ (Microtremor) ในการสำรวจหาค่าความเร็วคลื่นเฉือนของดินเฉลี่ยที่ระดับความลึก 30 เมตรแรกจากผิวดิน (VS30) เพื่อทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดิน โดยทำการรวบรวมข้อมูลค่าความเร็วคลื่นเฉือนตั้งแต่ปีพ.ศ.2564 - พ.ศ.2566 เก็บข้อมูลทั้งสิ้น 117 ตำแหน่งในพื้นที่ศึกษา

4. ผลการศึกษา

4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลหลุมเจาะสำรวจในพื้นที่แอ่งเมืองเชียงใหม่

ข้อมูลหลุมเจาะที่ได้ทำการรวบรวมมานั้น สามารถนำมาวิเคราะห์สรุปเป็นข้อมูลทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงต่อการเกิดเหลวของดินได้ 5 ข้อมูล ได้แก่ ข้อมูลชนิดของดิน ข้อมูลค่าการตอกมาตรฐาน หน่วยน้ำหนักอิมตัว ชีตจำกัดเหลว และปริมาณความชื้นในมวลดิน ซึ่งหลุมเจาะสำรวจที่ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลมีความลึกของหลุมเจาะสำรวจตั้งแต่ 5 เมตร ถึง 40 เมตร โดยหลุมเจาะที่มีความลึกไม่มากเป็นหลุมเจาะสำรวจที่มีชั้นดินแข็งหรือชั้นหินอยู่ในระดับตื้น ในการวิเคราะห์ข้อมูลหลุมเจาะสำรวจพิจารณาเฉพาะระดับชั้นที่เป็นกลุ่มดินและกรวด เนื่องจากมีความเสี่ยงในการเกิดปรากฏการณ์การเกิดเหลว ดังนั้นหลุมเจาะสำรวจในระดับชั้นหินจึงไม่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ โดยสามารถสรุปข้อมูลจากหลุมเจาะสำรวจได้ดังต่อไปนี้

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ชนิดของดิน

ข้อมูลชนิดของดินจากหลุมเจาะสำรวจที่ได้ทำการจำแนกประเภทของดินด้วยระบบ Unified Soil Classification System (USCS) สามารถนำมาสรุปได้ 5 กลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยในการวิเคราะห์ชนิดของดินตามความลึกได้กำหนดให้แบ่งชั้นดินออกเป็น 4 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 รายละเอียดของการจัดกลุ่มของดินที่จำแนกด้วยระบบ USCS

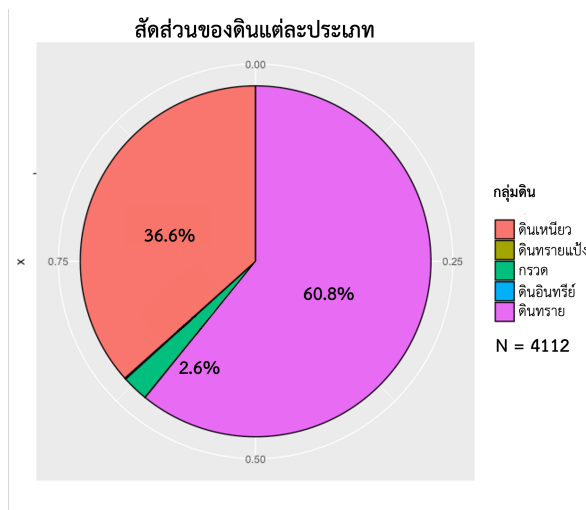
กลุ่มดิน (Group)	ชนิดดินตามระบบ USCS
ดินเหนียว	CL, CH, CL-ML
ดินทราย	SC, SP-SC, SM, SP-SM, SW-SM, SP, SW, SC-SM
กรวด	GW, GW-GM, GM, GC, GP-GM, GP, GC-GM
ดินทรายแป้ง	ML, MH
ดินอินทรีย์	Pt, OH, OL

ตารางที่ 2 รายละเอียดการแบ่งระดับของชั้นดิน

กลุ่มระดับความลึก (Layer)	ช่วงระดับความลึก
(0,10]	0 เมตร – 10 เมตร
(10,20]	10 เมตร – 20 เมตร
(20,30]	20 เมตร – 30 เมตร
(30,40]	30 เมตร – 40 เมตร

สำหรับการทดสอบสมมติฐาน กำหนดให้เป็นการทดสอบแบบ Type I error (ความน่าจะเป็นที่จะปฏิเสธสมมติฐานหลักเมื่อสมมติฐานหลักเป็นจริง) เท่านั้น ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($\alpha = 0.05$)

จากข้อมูลหลุมเจาะที่ได้ทำการรวบรวมข้อมูล เมื่อพิจารณาถึงสัดส่วนของกลุ่มดินแสดงได้ดังรูปที่ 9 พบว่ากลุ่มดินทรายมีสัดส่วนสูงสุดคิดเป็น 60.8% ของดินทั้งหมดจากฐานข้อมูลหลุมเจาะ และกลุ่มดินเหนียวมีสัดส่วนรองลงมาคิดเป็นสัดส่วน 36.6% และที่เหลืออีก 2.6% เป็นสัดส่วนรวมระหว่างกลุ่มของกรวด ดินทรายแป้ง และดินอินทรีย์ จึงสามารถสรุปได้ว่าชั้นดินของอ่างเมืองเชียงใหม่ในระดับความลึก 40 เมตรจากผิวดิน มีดินทรายและดินเหนียวเป็นองค์ประกอบหลัก

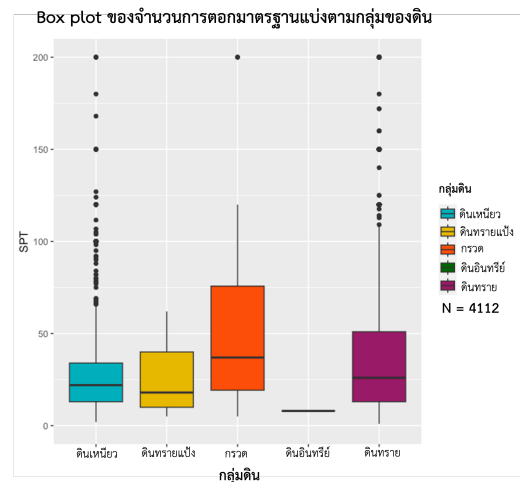


รูปที่ 9 สัดส่วนของกลุ่มดินของอ่างเมืองเชียงใหม่ในระดับความลึก 40 เมตร

4.1.2 ผลการวิเคราะห์ค่าการตอกมาตรฐาน (SPT)

การวิเคราะห์ค่าการตอกมาตรฐาน แบ่งตามกลุ่มของดิน 5 กลุ่ม แสดงได้ดังรูปที่ 10 โดยดินในแต่ละกลุ่มให้ผลทางสถิติของค่าการตอกมาตรฐานที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่กลุ่มของดินอาจส่งผลกระทบต่อค่าการตอกมาตรฐาน ดังนั้นจึงใช้การทดสอบ One-way ANOVA เนื่องจากกลุ่มของดินที่เป็นตัวแปรในการทดสอบจัดว่าเป็นตัวแปรประเภท

ไม่ต่อเนื่อง (Discrete variable) โดยสามารถตั้งสมมติฐานการทดสอบได้ออกเป็น 2 สมมติฐานดังนี้



รูปที่ 10 Box plot ของค่าการตอกมาตรฐาน เมื่อพิจารณาแยกตามกลุ่มดิน

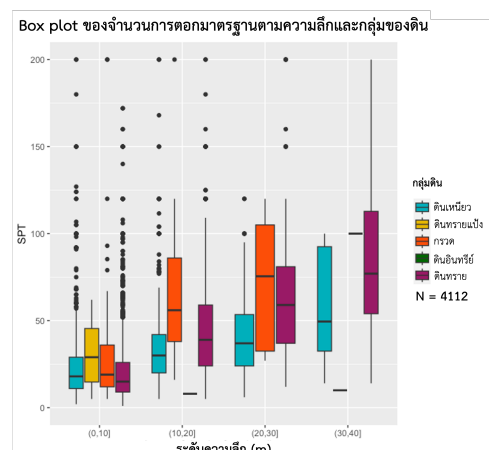
H_0 : สมมติฐานหลัก คือ ค่าเฉลี่ยของ SPT ในแต่ละกลุ่มดินไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

H_a : สมมติฐานทางเลือก คือ ค่าเฉลี่ยของ SPT ในแต่ละกลุ่มดินมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบ ANOVA ของค่าการตอกมาตรฐาน แยกตามกลุ่มดิน

แหล่ง (Source)	df	Sum sq	Mean sq	F-value	P-value
กลุ่มดิน	4	196942	49235	24	$<2 \times 10^{-16}$
จำนวนที่เหลือ	3832	7861340	2051		

จากตารางที่ 3 พบว่าค่าสถิติการทดสอบของตัวแปรกลุ่มดิน ให้ค่า P-value ที่น้อยกว่า 0.05 ทำให้ผลการทดสอบ คือ ปฏิเสธสมมติฐานหลักเป็นหลักฐานที่สำคัญในการสนับสนุนว่ากลุ่มของดินมีผลต่อค่าจำนวนการตอกมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อพิจารณา ค่าการตอกมาตรฐานตามระดับความลึก แสดงได้ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 Box plot ของค่า SPT เทียบกับระดับความลึกเมื่อแยกตามกลุ่ม

จากรูปที่ 11 พบว่าแนวโน้มของค่าการตอกมาตรฐานของดินชนิดเดียวกันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น ทั้งในกลุ่มดินเหนียว ดินทราย และกรวด ดังนั้นจึงใช้การทดสอบ Two-way ANOVA เพื่อทดสอบสมมุติฐาน โดยพิจารณาทั้ง 2 ปัจจัยร่วมกันที่อาจส่งผลต่อค่าการตอกมาตรฐาน ได้แก่ ระดับความลึกของชั้นดิน และกลุ่มของดิน

H_0 : สมมุติฐานหลัก คือ ความลึกและ/หรือกลุ่มของดินไม่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของค่าการตอกมาตรฐาน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

H_a : สมมุติฐานทางเลือก คือ ความลึกและ/หรือกลุ่มของดินส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของค่าการตอกมาตรฐาน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบ Two-way ANOVA ของค่าการตอกมาตรฐาน โดยพิจารณาผลของกลุ่มดิน และระดับความลึก

แหล่ง (Source)	df	Sum sq	Mean sq	F-value	P-value
กลุ่มดิน	4	196942	49235	26.769	<2x10 ⁻¹⁶
ระดับความลึก	3	748902	249634	135.722	<2x10 ⁻¹⁶
จำนวนที่เหลือ	3832	7031667	1839		

จากตารางที่ 4 พบว่าค่าสถิติการทดสอบของตัวแปรไม่ต่อเนื่องสองตัว คือ ตัวแปรกลุ่มของดิน และตัวแปรกลุ่มของระดับความลึก ให้ค่าทดสอบทางสถิติ P-value น้อยกว่า 0.05 ซึ่งตัวแปรกลุ่มดินยังคงระดับนัยสำคัญไว้เช่นเดิม (Significant) แสดงให้เห็นว่าค่าการตอกมาตรฐานในแต่ละกลุ่มดินมีความแตกต่างกัน สำหรับตัวแปรไม่ต่อเนื่องระดับชั้นของดิน ยังคงมีระดับนัยสำคัญที่แสดงให้เห็นว่าหากเป็นดินชนิดเดียวกัน แต่เมื่อแบ่งดินให้อยู่ที่ความลึกแตกต่างกัน ค่าเฉลี่ยของค่าการตอกมาตรฐานมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.1.3 ผลการวิเคราะห์ค่าการตอกมาตรฐาน หน่วยน้ำหนักกึ่งตัวขีดจำกัดเหลว และปริมาณความชื้นในมวลดิน

ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลหลุมเจาะทางสถิติได้เลือกใช้วิธีการ Two-way ANOVA โดยมีตัวแปรที่สนใจอยู่ 2 ตัว คือ กลุ่มของดิน และระดับชั้นความลึก ซึ่งเป็นตัวแปรประเภทไม่ต่อเนื่อง (Discrete variable) เพื่อพิจารณาว่าปัจจัยใดส่งผลกระทบต่อตัวแปรตามที่กำลังสนใจอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยผลการทดสอบสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 รายละเอียดของคุณสมบัติทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคที่ตัวแปรแบบไม่ต่อเนื่องส่งผลกระทบต่อ

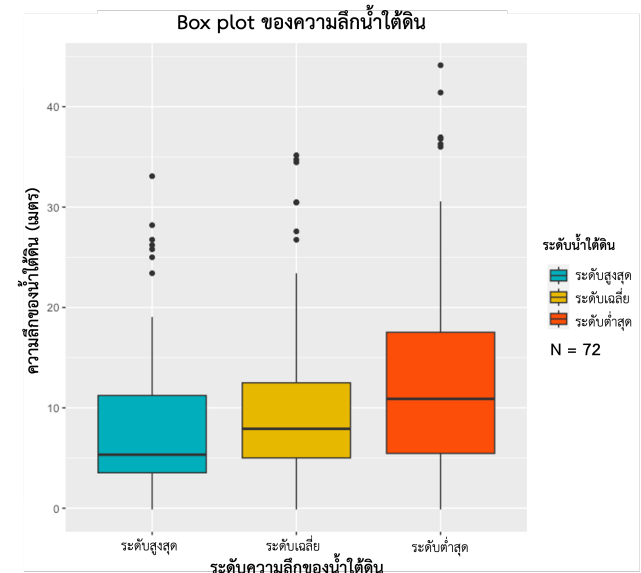
ข้อมูลที่พิจารณา	ตัวแปรแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete variable)	
	กลุ่มดิน (Group)	ระดับความลึก (Layer)
ค่าการตอกมาตรฐาน (SPT)	✓	✓
หน่วยน้ำหนักกึ่งตัวขีดจำกัดเหลว (LL)	✓	✗
ขีดจำกัดพลาสติก (PL)	✓	✗
ดัชนีพลาสติก (PI)	✓	✓
ปริมาณความชื้นในดิน	✓	✓

จากตารางที่ 5 พบว่าขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit, LL) และขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit, PL) มีคุณสมบัติแปรเปลี่ยนไปตามกลุ่มของดิน

เพียงอย่างเดียวโดยไม่ขึ้นกับระดับความลึก แต่สำหรับดัชนีพลาสติก (PI) สามารถพิจารณาได้จากผลต่างระหว่าง LL และ PL ซึ่งควรจะให้ผลลัพธ์คุณสมบัติไม่ขึ้นตามความลึกเช่นเดียวกันกับ LL และ PL แต่เนื่องจากเป็นการทดสอบสมมุติฐานแบบ Type I error ที่มีความน่าจะเป็นในการปฏิเสธสมมุติฐานหลักที่ค่า PI ไม่มีคุณสมบัติแปรเปลี่ยนไปตามความลึกเมื่อสมมุติฐานหลักเป็นจริงมากกว่า 5% ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จึงทำให้สรุปผลการทดสอบคือ PI มีคุณสมบัติที่แปรเปลี่ยนไปตามความลึกถ้าหากมีการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมในอนาคตอาจให้ผลการทดสอบ PI ที่คุณสมบัติไม่ขึ้นกับระดับความลึก สำหรับคุณสมบัติอื่น ๆ ได้แก่ ค่าการตอกมาตรฐาน หน่วยน้ำหนักกึ่งตัวขีดจำกัดเหลว และปริมาณความชื้นในดิน เป็นคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไปตามกลุ่มของดินและระดับความลึกของดิน โดยเป็นการทดสอบที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.1.4 ผลการวิเคราะห์ระดับน้ำใต้ดิน

สถิติเชิงพรรณนาของระดับน้ำใต้ดิน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 Boxplot ของระดับน้ำใต้ดิน

สำหรับการพิจารณาระดับน้ำใต้ดิน สามารถใช้การทดสอบ One-way ANOVA ในการทดสอบเพื่อพิจารณาว่าค่าเฉลี่ยของระดับน้ำในแต่ละระดับมีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบ One-way ANOVA สำหรับระดับน้ำใต้ดิน

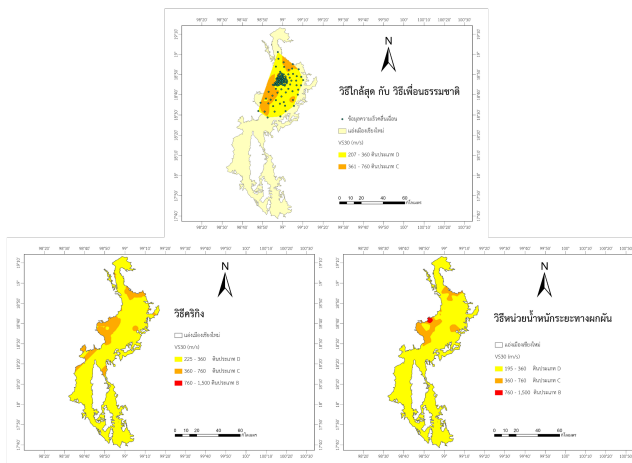
แหล่ง (Source)	df	Sum sq	Mean sq	F-value	P-value
ระดับน้ำใต้ดิน	2	781	390.6	5.103	0.0069
จำนวนที่เหลือ	213	16305	76.5		

จากตารางที่ 6 ผลการทดสอบของระดับน้ำ (Level) ให้ค่า P-value เท่ากับ 0.0069 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 สามารถสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของน้ำในแต่ละระดับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ หรือกล่าวได้ว่า ค่าเฉลี่ยของระดับ

น้ำใต้ดินสูงสุด ค่าเฉลี่ยของระดับน้ำใต้ดินเฉลี่ย และค่าเฉลี่ยของระดับน้ำใต้ดินต่ำสุด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.2 การประมาณค่าข้อมูลจากข้อมูลที่รวบรวมในแอ่งเมืองเชียงใหม่

งานวิจัยนี้ใช้วิธีการประมาณค่า 4 วิธี ได้แก่ การประมาณค่าด้วยวิธีระยะทางผกผัน การประมาณค่าด้วยวิธีการกริกิง การประมาณค่าด้วยวิธีการเพื่อนบ้านใกล้สุด และการประมาณค่าด้วยวิธีการเพื่อนบ้านธรรมชาติ



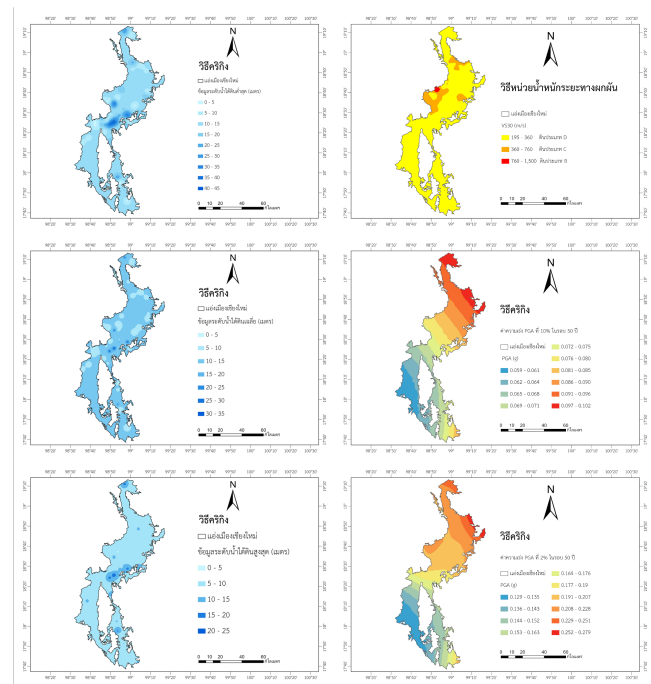
รูปที่ 13 ผลการประมาณค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ระดับ 30 เมตรจากผิวดิน

รูปที่ 13 แสดงให้เห็นว่าการประมาณค่าด้วยวิธีระยะทางผกผัน และวิธีการกริกิงมีความเหมาะสมกับข้อมูลค่าความเร็วคลื่นเฉือน เนื่องจากวิธีการดังกล่าวสามารถทำการประมาณข้อมูลครอบคลุมทั่วแอ่งเมืองเชียงใหม่ได้ แม้ว่าไม่ได้มีการเก็บข้อมูลทั่วทั้งพื้นที่แอ่งเมืองเชียงใหม่ก็ตาม แต่สำหรับวิธีการเพื่อนบ้านธรรมชาติและเพื่อนบ้านใกล้สุด การประมาณค่าข้อมูลจะสามารถทำได้ถึงแค่ขอบเขตของตำแหน่งที่มีการเก็บข้อมูลเท่านั้น ไม่สามารถประมาณค่าข้อมูลนอกพื้นที่ที่ไม่มีข้อมูลได้ ทำให้วิธีการในการประมาณค่าที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ คือ วิธีการกริกิง และวิธีการระยะทางผกผันเพียง 2 วิธีเท่านั้น

4.2.1 การเลือกแบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณค่าพื้นผิว 2 มิติ

งานวิจัยนี้ได้ทำการรวบรวมข้อมูล ได้แก่ ข้อมูลระดับน้ำใต้ดิน ข้อมูลค่าความเร็วคลื่นเฉือน และข้อมูลค่าความเร่งพื้นผิวสูงสุด ซึ่งสามารถนำมาจัดทำฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์แบบ 2 มิติได้ เนื่องจากข้อมูลดังกล่าวไม่เปลี่ยนแปลงไปตามระดับความลึก โดยข้อมูลที่ได้ทำการรวบรวมดังกล่าวจะต้องผ่านวิธีการประมาณค่าด้วยวิธีการระยะทางผกผันหรือวิธีการกริกิงก่อน จึงจะนำข้อมูลเข้าไปสร้างฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อให้ได้ข้อมูลครอบคลุมพื้นที่ศึกษา จากนั้นได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของการประมาณค่าด้วยวิธีการพิจารณาการากที่สองเฉลี่ยของค่าความผิดพลาด (Root Mean Square Error, RMSE) ที่ต่ำที่สุดของแต่ละข้อมูล โดยเปรียบเทียบเทียบกับข้อมูลเดิม ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีการประมาณค่าที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดสำหรับแต่ละข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 14 และตารางที่ 7 ดังนั้นจะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ของการศึกษา ได้แก่ ฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ของข้อมูลระดับน้ำใต้ดิน ข้อมูลค่า

ความเร็วคลื่นเฉือน และข้อมูลค่าความเร่งพื้นผิวสูงสุด ครอบคลุมพื้นที่ทั่วแอ่งเมืองเชียงใหม่ ซึ่งสะดวกต่อการนำไปใช้ในกาวิเคราะห์การไหวตัวของดินในแอ่งเมืองเชียงใหม่



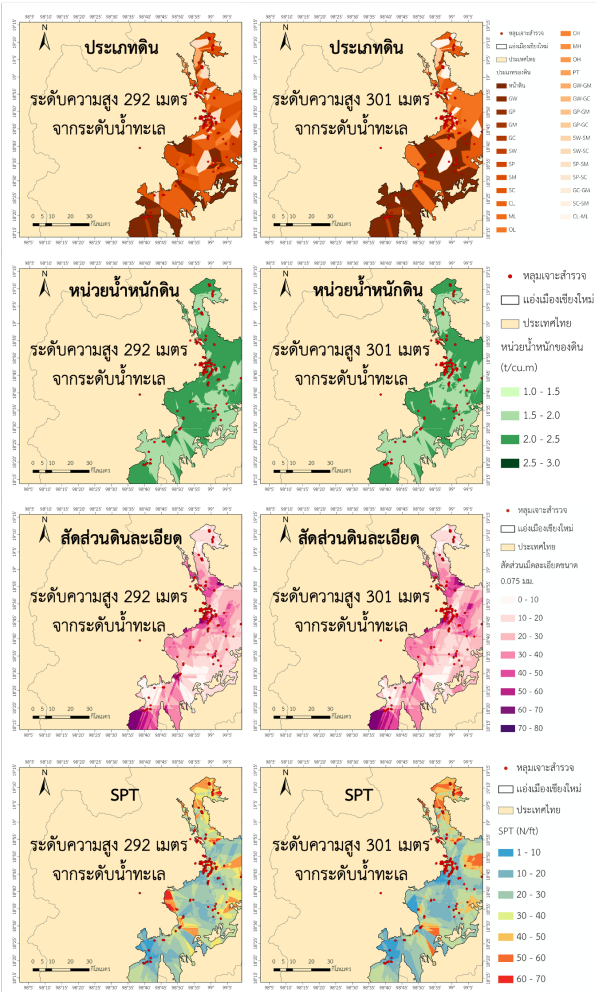
รูปที่ 14 ผลการประมาณค่าข้อมูลด้วยวิธีการกริกิงและระยะทางผกผัน

ตารางที่ 7 รายละเอียดของวิธีการประมาณค่าที่เลือกใช้สำหรับแต่ละฐานข้อมูลที่ทำให้เกิดค่า RMSE ต่ำสุด

ฐานข้อมูล	วิธีการที่เลือกใช้ในการประมาณค่าข้อมูล
ระดับน้ำใต้ดินต่ำสุด	วิธีการกริกิง
ระดับน้ำใต้ดินเฉลี่ย	วิธีการกริกิง
ระดับน้ำใต้ดินสูงสุด	วิธีการกริกิง
ความเร็วคลื่นเฉือน	วิธีการระยะทางผกผัน
ความเร่งพื้นผิวสูงสุดที่ 2% ในรอบ 50 ปี	วิธีการกริกิง
ความเร่งพื้นผิวสูงสุด 10% ในรอบ 50 ปี	วิธีการกริกิง

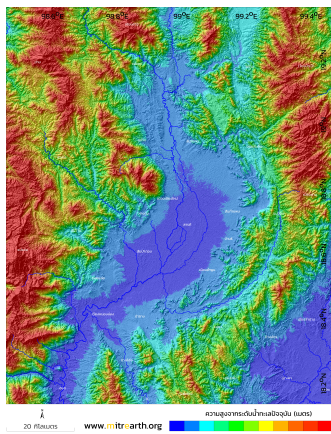
4.2.2 การสร้างฐานข้อมูลลักษณะชั้นดินของแอ่งเมืองเชียงใหม่

การสร้างฐานข้อมูลลักษณะชั้นดินของแอ่งเมืองเชียงใหม่ สร้างจากชุดข้อมูลหลุมเจาะทั้งหมด 361 หลุม โดยทำการประมาณค่าด้วยวิธีการกริกิง ซึ่งลักษณะของข้อมูลที่ได้จะอยู่ในรูปแบบ 3 มิติ ที่สามารถเลือกพิจารณาผลที่แต่ละระดับความลึกของข้อมูลได้ โดยฐานข้อมูลแบบ 3 มิติที่ได้จากการวิเคราะห์ ประกอบไปด้วย ประเภทดิน หน่วยงานนักดิน สัดส่วนเม็ดละเอียด และค่าการตอกมาตรฐาน ซึ่งสามารถแสดงข้อมูลแบบภาพตัดขวาง ระดับความลึกใด ๆ ในลักษณะแบบ 2 มิติ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปรากฏการณ์เกิดไหวของดินได้ ดังแสดงในรูปที่ 15



รูปที่ 15 ภาพตัดขวางของแบบจำลอง 3 มิติ ณ ระดับความสูงใด ๆ

จากรูปที่ 15 ได้แสดงถึงภาพตัดขวางของแบบจำลอง 3 มิติที่ระดับความสูง 292 เมตร และ 301 เมตรเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง เนื่องจากต้องการแสดงให้เห็นถึงลักษณะทางกายภาพของแอ่งเมืองเชียงใหม่หลังจากผ่านวิธีการประมาณคริกแบบ 3 มิติ ซึ่งแอ่งเมืองเชียงใหม่เป็นพื้นที่ที่มีระดับความสูงเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 300 เมตรเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง ดังแสดงในรูปที่ 16

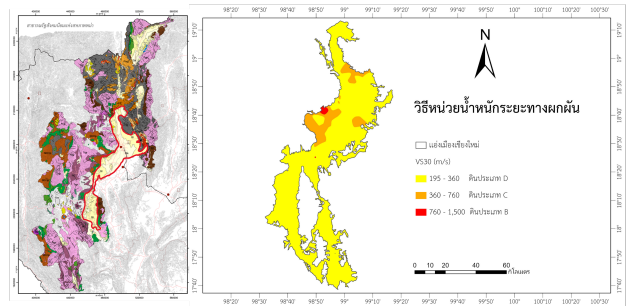


รูปที่ 16 ระดับความสูงของแอ่งเมืองเชียงใหม่ [10]

4.3 ผลลัพธ์จากการประมาณค่าเทียบกับแผนที่ธรณีแอ่งเมืองเชียงใหม่

การตรวจสอบฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่ได้จากการประมาณค่าด้วยวิธีการต่าง ๆ จำเป็นที่จะต้องมีการตรวจสอบความสอดคล้องกับข้อมูลทางธรณีวิทยาของแอ่งเมืองเชียงใหม่ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้นำแผนที่ธรณีวิทยาของจังหวัดเชียงใหม่มาเปรียบเทียบกับแผนที่ความเร็วคลื่นเฉือน แผนที่ประเภทของดิน และแผนที่จำนวนการตอกมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

4.3.1 การประมาณแผนที่ความเร็วคลื่นเฉือนเทียบกับธรณีวิทยาของแอ่งเมืองเชียงใหม่



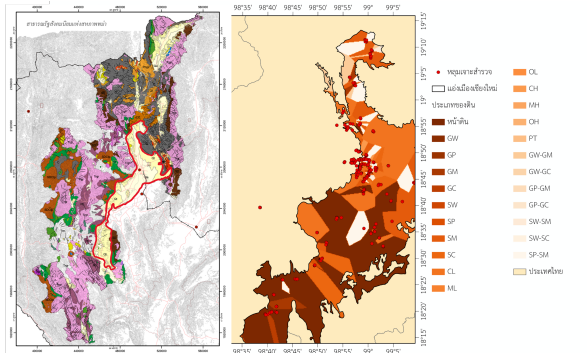
รูปที่ 17 แผนที่ธรณีแอ่งเมืองเชียงใหม่ภายในจังหวัดเชียงใหม่ (ซ้าย) และแผนที่ความเร็วคลื่นเฉือน (ขวา)

จากรูปที่ 17 แอ่งเมืองเชียงใหม่ในแผนที่ธรณีวิทยาส่วนใหญ่เป็นดินประเภท Qa และ Qt ซึ่งจัดเป็นดินกลุ่มพวกตะกอนทรายและดินเหนียวกระจายทั่วแอ่งเมืองเชียงใหม่ ซึ่งสอดคล้องกับแผนที่ความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ระดับ 30 เมตรแรกจากผิวดินที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 195 – 360 เมตรต่อวินาที ซึ่งเมื่อจำแนกดินตามระบบ NEHRP สามารถจัดให้เป็นดินชนิด D โดยเป็นดินจำพวกตะกอน ซึ่งมีความเสี่ยงต่อการขยายแรงสั่นสะเทือนได้มากหากเกิดแผ่นดินไหว ส่งผลให้แอ่งเมืองเชียงใหม่เมื่อพิจารณาจากประเภทของดินมีความเสี่ยงต่อการเกิดปรากฏการณ์การเกิดเหลวได้สูง และบริเวณทางด้านตะวันตกของแอ่งเมืองเชียงใหม่ในแผนที่ธรณีวิทยามีการกระจายตัวของหินทราย และหินกรวด ซึ่งสอดคล้องกับแผนที่ความเร็วคลื่นเฉือนที่จำแนกดินเป็นชนิด B และ C ตามระบบ NEHRP ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแผนที่ความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ระดับ 30 เมตรแรกจากผิวดินกับแผนที่ธรณีวิทยาของแอ่งเมืองเชียงใหม่มีความสอดคล้องกัน

นอกจากนี้แผนที่ความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ย 30 เมตรแรกจากผิวดินที่ได้จากการสำรวจด้วยไมโครทิมเมอร์ สามารถเปรียบเทียบกับค่าการตอกมาตรฐานที่ได้จากหลุมเจาะสำรวจ โดยการนำค่าการตอกมาตรฐาน 30 เมตรแรกจากผิวดินมาหาค่าเฉลี่ย จากนั้นทำการแปลงค่าเฉลี่ยการตอกมาตรฐานเป็นค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ย 30 เมตรแรกจากผิวดินด้วยสมการเชิงประพจน์ที่นำเสนอโดย Jhinkwan and Jain [11] อย่างไรก็ตามค่าการตอกมาตรฐานควรจะมีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 30 เมตร ซึ่งในปัจจุบันข้อมูลหลุมเจาะสำรวจที่ได้ทำการเก็บรวบรวมในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่และลำพูน มีหลุมเจาะสำรวจจำนวนมากที่มีระดับความลึกไม่ถึง 30 เมตร เนื่องจากพบชั้นดินแข็งหรือชั้นหินที่ไม่สามารถเจาะสำรวจได้ ทำ

ให้ไม่สามารถเปรียบเทียบค่าการตอกมาตรฐานกับแผนที่ความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ระดับ 30 เมตรแรกจากผิวดิน

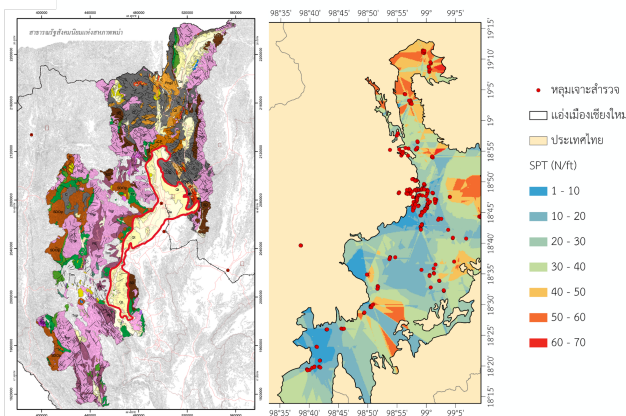
4.3.2 การประมาณแผนที่ประเภทดินเทียบกับธรณีวิทยาของแอ่งเมืองเชียงใหม่



รูปที่ 18 แผนที่ธรณีแอ่งเมืองเชียงใหม่ภายในจังหวัดเชียงใหม่ (ซ้าย) และแผนที่ประเภทของดิน (ขวา)

รูปที่ 18 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างประเภทของดินของแผนที่ธรณีวิทยาของแอ่งเมืองเชียงใหม่และแผนที่จากแบบจำลองประเภทดินซึ่งพบว่าจากแบบจำลองให้ผลของดินอยู่ในประเภทของดินทรายและดินเหนียว (SC และ CL) เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมีความสอดคล้องกับประเภทดินที่ระบุไว้ในแผนที่ธรณีวิทยาของแอ่งเมืองเชียงใหม่ที่เป็นดินตะกอนจำพวกดินทรายและดินเหนียวเป็นส่วนใหญ่ (Qa และ Qt ตามลำดับ)

4.3.3 การประมาณแผนที่ค่าการตอกมาตรฐานเทียบกับธรณีวิทยาของแอ่งเมืองเชียงใหม่



รูปที่ 19 แผนที่ธรณีแอ่งเมืองเชียงใหม่ภายในจังหวัดเชียงใหม่ (ซ้าย) และแผนที่จำนวนการตอกมาตรฐาน (ขวา)

รูปที่ 19 แสดงผลของการประมาณค่าการตอกมาตรฐานที่ระดับตื้นพบว่าชั้นดินในระดับตื้นของแอ่งเมืองเชียงใหม่ส่วนมากมีการตอกมาตรฐานน้อยกว่า 40 ครั้งต่อฟุต เนื่องจากบริเวณแอ่งเมืองเชียงใหม่ที่ระดับตื้นดินส่วนใหญ่เป็นดินจำพวกตะกอนดินเหนียวและดินทราย ซึ่งสอดคล้องกับประเภทดินที่ปรากฏในแผนที่ธรณีวิทยาที่เป็นดินจำพวก

ตะกอนดินเหนียวและดินทราย ในส่วนบริเวณทางด้านตะวันตกของแอ่งเมืองเชียงใหม่ในแผนที่ธรณีวิทยามีการกระจายตัวของหินทราย และหินกรวด พบว่าค่าการตอกมาตรฐานที่ได้จากการประมาณค่ามีค่าค่อนข้างสูงซึ่งมีความสอดคล้องกัน

5. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคประกอบไปด้วย ข้อมูลหลุมเจาะสำรวจดิน ข้อมูลระดับน้ำใต้ดิน ข้อมูลค่าอัตราเร่งสูงสุดของพื้นดิน ข้อมูลค่าความเร็วคลื่นเฉือนของดิน และแผนที่ธรณีวิทยาแสดงชั้นตะกอน จากนั้นทำการนำข้อมูลเข้าสู่วิธีการประมาณค่า โดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนรากกำลังสองเฉลี่ยในการตรวจสอบความแม่นยำของวิธีการประมาณค่าร่วมกับการเปรียบเทียบกับข้อมูลทางธรณีวิทยาของแอ่งเมืองเชียงใหม่

จากผลการศึกษาพบว่า การประมาณค่าด้วยวิธีการคริกและวิธีระยะทางผกผัน สามารถนำผลการประมาณค่ามาสร้างเป็นฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ของแอ่งเมืองเชียงใหม่เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การเกิดเหตุได้ โดยสรุปได้ว่าแอ่งเมืองเชียงใหม่เป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดปรากฏการณ์เหลวตัวของดินได้ เนื่องจากตั้งอยู่บนแนวรอยเลื่อนมีพลังและลักษณะทางธรณีวิทยาของแอ่งเมืองเชียงใหม่จากผลการศึกษาพบว่าชั้นดินที่ระดับตื้นมีองค์ประกอบเป็นกลุ่มดินทรายมากเป็นอันดับหนึ่ง คิดเป็นสัดส่วน 60.8% และเป็นกลุ่มดินเหนียวในอันดับต่อมาคิดเป็นสัดส่วน 36.6% ซึ่งปรากฏการณ์การเกิดเหตุมักเกิดในดินที่อิ่มตัวไปด้วยน้ำสอดคล้องกับฐานข้อมูลระดับน้ำใต้ดินที่มีระดับน้ำใต้ดินสูง โดยเฉพาะพื้นที่บริเวณกลางแอ่งเมืองเชียงใหม่มีค่าตอกมาตรฐาน หน่วยน้ำหนักดิน และสัดส่วนดินเม็ดละเอียดต่ำ ซึ่งเป็นปัจจัยที่เสี่ยงต่อการเกิดเหตุของดิน

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่ได้จากการประมาณค่าที่นำเสนอในงานวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับข้อมูลทางธรณีวิทยาของแอ่งเมืองเชียงใหม่ได้เป็นอย่างดีและเพียงพอต่อการวิเคราะห์การเกิดเหตุของดิน ทำให้ผู้ที่สนใจสามารถนำฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ดังกล่าวไปใช้ในการวิเคราะห์เพื่อจัดทำแผนที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดเหตุของดินได้ต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานวิจัยแห่งชาติสำหรับคำแนะนำและการสนับสนุนเงินทุนวิจัยของโครงการ และขอขอบคุณศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคและธรณีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยสำหรับคำแนะนำและเทคนิคการทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, ก.พ. (2550). แผนที่ดินไหว, 13 ธันวาคม 2549 อำเภอแรมริม จังหวัดเชียงใหม่ 5.1 ริกเตอร์.

- [2] Lecture, Donald., William., Marcuson., Hynes, Mary and Franklin, A. (2007). Seismic Design and Analysis of Embankment Dams: The State of Practice. *ResearchGate*.
- [3] Seed, H. B and Idriss, I. M. (1971). Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations division*, 97(9), pp.1249-1273.
- [4] Boulanger, R. W., and Idriss, I. M. (2012). Probabilistic standard penetration test-based liquefaction-triggering procedure. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 138 (10): 1185-95
- [5] Youd, T. and Idriss, I. M. (2001). Liquefaction resistance of soils summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshop on evaluation of liquefaction resistance of soils, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127(4), pp.297-313.
- [6] Sadow, Joe. (2018). Spatial interpolation. *An introduction to Kriging*.
- [7] GISGeography. (2022). Inverse Distance Weighting (IDW) Interpolation.
- [8] MathWorks. (2022). Interpolation Scattered Data.
- [9] Ornthammarath, T., Warnitchai, P., Chan, C.-H., Wang, Y., Shi, X., Nguyen, P. H., Kosuwan, S., and Thant, M. (2020). Probabilistic seismic hazard assessments for Northern Southeast Asia (Indochina): Smooth seismic approach. *Earthquake Spectra*, 36(1), pp.69-90.
- [10] มิตรเอิร์ธ, วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรม (2566). แอ่งเชียงใหม่ (Chiang Mai Basin).
- [11] Jhinkwan, Himanshu., Jain, P., (2016). Prediction of Shear Wave Velocity Using SPT-N Value. *ResearchGate*.