การพัฒนาแผนที่ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ โดยข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวจากดาวเทียมระบบ MODIS ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย

Development of Geothermal Potential Resources Map using Land Surface Temperature from MODIS in Northern Thailand

ฤทัยชนก สายน้ำทิพย์[1*] ปริชาติ เวชยนต์[1] และปิยพงษ์ เชนร้าย[2]
Rutaichanok Sainarmtip[1*] Parichat Wetchayont[1] and Piyaphong Chenrai[2]

Received: August 6, 2020; Revised: October 30, 2020; Accepted: November 2, 2020

บทคัดย่อ

พลังงานความร้อนใต้พิภพเป็นพลังงานความร้อนภายใต้โลกที่สามารถพัฒนาขึ้นมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งในหลายประเทศได้นำเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลมาประยุกต์ใช้ในการสำรวจแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพ โดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียมในช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนมาประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิว และวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลอื่น ๆ เพื่อประเมินพื้นที่ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพเบื้องต้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงนำข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิว (Land Surface Temperature; LST) จากดาวเทียมระบบ MODIS มาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลชนิดหิน และรอยเลื่อน เพื่อวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์การซ้อนทับข้อมูลแบบกำหนดค่าน้ำหนัก จากการวิเคราะห์ทางสถิติหาค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สันระหว่างตัวแปร พบว่าชนิดหินมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดินมากที่สุด (0.587) รองลงมาคือ ระยะห่างจากรอยเลื่อน (-0.410) และความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิว (-0.376) ตามลำดับ แผนที่ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ ศักยภาพสูง ศักยภาพปานกลาง และศักยภาพต่ำ คิดเป็นร้อยละ 12.29 36.32 และ 51.39 ตามลำดับ เมื่อสอบเทียบความถูกต้องระหว่างตำแหน่งและระดับอุณหภูมิของแหล่งน้ำพุร้อนที่ปรากฏในพื้นที่กับระดับศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพที่ได้จากการศึกษาพบว่ามีค่าความถูกต้องร้อยละ 53.3 อยู่ในระดับปานกลาง

คำสำคัญ : พลังงานความร้อนใต้พิภพ; อุณหภูมิพื้นผิว; การรับรู้จากระยะไกล; ดาวเทียมระบบ MODIS

[1] *คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานคร*
[2] *คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร*
[1] *Faculty of Social Sciences, Srinakharinwirot University, Bangkok*
[2] *Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok*
[*] *Corresponding Author E - mail Address: rutaichanok.sainarmtip@g.swu.ac.th*

Abstract

Geothermal energy is heat energy within the earth's interior that can be developed to produce electricity continuously. In many countries, remote sensing technology is applied to explore geothermal energy sources. Using the thermal infrared satellite data and associated with other data estimated and analyzed the land surface temperature for assessing the area of initial geothermal potential. In this study, Land Surface Temperature (LST) data from MODIS satellite is analyzed with rock and fault data, which are analyzed geothermal potential using the weighted overlay analysis technique in Northern Thailand. The results of the statistical analysis, the Pearson correlation between variables shown that the rock types was most closely related to the hot water temperature at the surface (0.587), distance from faults (-0.410), and land surface temperature anomaly (-0.376), respectively. The geothermal potential map was classified into 3 levels as follows high, moderate and low were 12.29, 36.32 and 51.39 %, respectively. The accuracy between the position and temperature level of the hot springs that appear in the area and the geothermal potential level obtained from the study found that 53.3 % accuracy, which classified as a moderate level.

Keywords: Geothermal Energy; Land Surface Temperature; Remote Sensing; MODIS

บทนำ

พลังงานความร้อนใต้พิภพ (Geothermal Energy) เป็นพลังงานความร้อนตามธรรมชาติที่เกิด กักเก็บ และสะสมตัวอยู่ใต้ผิวโลก ซึ่งถูกนำพา และถ่ายเทขึ้นมาสู่ผิวโลกผ่านรอยแตกหรือช่องว่างภายในหิน [1] และเป็นพลังงานหมุนเวียนชนิดหนึ่งที่สามารถพัฒนานำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง ช่วยลดปัญหามลพิษ หรือการปล่อยก๊าซเรือนกระจก แต่ด้วยขั้นตอนการสำรวจแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพประกอบไปด้วย หลายขั้นตอนที่ต้องใช้เวลาและจำนวนบุคลากรในการเข้าสำรวจค่อนข้างมาก และมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าใช้จ่ายในการเจาะสำรวจภาคสนาม ซึ่งถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญเพื่อประเมินศักยภาพของแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพ การรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing) จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการสำรวจแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพ ข้อดีของการรับรู้จากระยะไกลคือช่วยลดระยะเวลา จำนวนบุคลากรในการทำงาน ค่าใช้จ่าย อีกทั้งสามารถสำรวจในพื้นที่เป็นบริเวณกว้างและบริเวณที่เข้าถึงยาก ซึ่งในช่วงหลายสิบปีที่ผ่านมามีงานวิจัยในหลายประเทศ [2] – [6] ได้นำการรับรู้จากระยะไกล โดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียมในช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนมาประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิว (Land Surface Temperature; LST) และวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลอื่น ๆ เพื่อประเมินพื้นที่แหล่งศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพเบื้องต้น เป็นแนวทางในการตัดสินใจและวางแผนการเจาะสำรวจต่อไป

ดาวเทียมที่ถูกนำมาศึกษาอุณหภูมิพื้นผิวนั้น ได้แก่ ดาวเทียม Landsat 7 ETM+ ดาวเทียม Landsat 8 และดาวเทียม Terra ระบบ MODIS (MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer) เป็นต้น

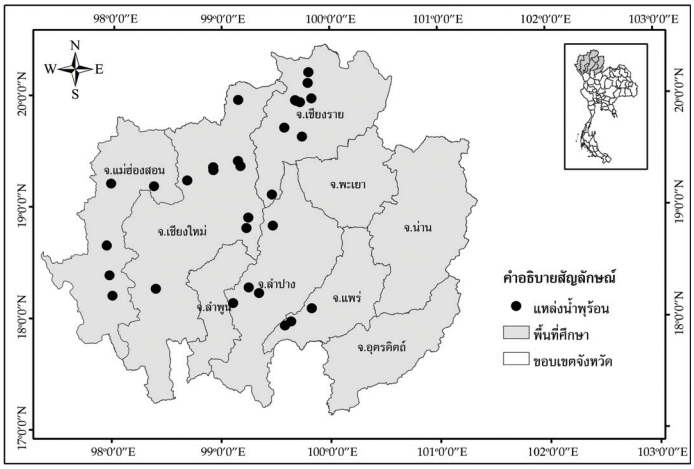
โดยดาวเทียมระบบ MODIS ได้รับความนิยมและยอมรับว่ามีความแม่นยำสูงในปัจจุบัน [2], [4] - [6] เนื่องจากมีความละเอียดเชิงพื้นที่สูง คือ 1 x 1 กิโลเมตร แต่เนื่องจากการรับรู้จากระยะไกล เป็นการตรวจวัดจากการสะท้อนแสงที่พื้นผิวโลก ซึ่งมีสิ่งปกคลุมผิวพื้นที่หลากหลาย บางพื้นที่ความร้อนจากใต้พิภพอาจไม่สามารถส่งมายังพื้นผิวได้โดยตรง อีกทั้งข้อจำกัดทางสภาพกายภาพของพื้นที่ เช่น สภาพภูมิประเทศที่เป็นเทือกเขาสลับซับซ้อน หรือมีชั้นหินหรือตะกอนปิดทับอยู่ด้านบน เป็นต้น ทำให้การใช้ข้อมูลเพียงชนิดเดียวไม่สามารถบ่งชี้การมีอยู่ของพลังงานความร้อนใต้พิภพได้ชัดเจน จึงจำเป็นต้องใช้ข้อมูลอื่นที่สัมพันธ์กับพลังงานความร้อนใต้พิภพ เช่น [5] ศึกษาอุณหภูมิพื้นผิวจากดาวเทียม Landsat 7 ETM+ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไต้หวัน พบค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์กับแนวรอยเลื่อน เมื่อนำแผนที่มาสอบเทียบกับตำแหน่งน้ำพุร้อนที่ปรากฏและตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจความร้อนใต้พิภพ พบว่าให้ค่าสัมพันธ์เชิงพื้นที่สูง เช่น เดียวกับ [6] ได้ศึกษาความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวจากดาวเทียม Landsat 8 ในประเทศเอธิโอเปีย พบค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวสัมพันธ์กับตำแหน่งน้ำพุร้อนหรือแก๊สพุร้อนในพื้นที่ และเมื่อนำผลลัพธ์มาพิจารณาร่วมกับแผนที่ธรณีวิทยาแล้วพบว่ามีความสัมพันธ์กันในระดับสูงกับแนวรอยเลื่อน

การวิเคราะห์และพัฒนาแผนที่ศักยภาพพลังงานใต้พิภพจากข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวร่วมกับข้อมูลกายภาพอื่นดังที่กล่าวมา พบว่ายังไม่มีการศึกษาในประเทศไทย ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงนำข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวจากดาวเทียมระบบ MODIS มาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลชนิดหิน และรอยเลื่อน เพื่อกำหนดเกณฑ์บ่งชี้ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย และพัฒนาแผนที่ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย เพื่อเป็นแนวทางการวางแผนการสำรวจภาคสนามต่อไป พร้อมทั้งสอบเทียบความถูกต้อง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. **พื้นที่ศึกษา**

พื้นที่ศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้คือ พื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย โดยการแบ่งเขตการปกครองตามราชบัณฑิตยสถาน ประกอบไปด้วย 9 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ น่าน พะเยา แพร่ แม่ฮ่องสอน ลำปาง ลำพูน และอุตรดิตถ์ (รูปที่ 1) จากข้อมูลการสำรวจแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศไทยโดยกรมทรัพยากรธรณี [7] พบว่า ประเทศไทยมีแหล่งน้ำพุร้อนกระจายอยู่ทั่วไปตามภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศ ซึ่งเป็นลักษณะปรากฏที่บ่งชี้การมีพลังงานความร้อนอยู่ลึกลงไปใต้ผิวดินกระจายอยู่ทั่วประเทศ โดยพบในบริเวณภาคเหนือมากที่สุด อีกทั้งยังเป็นที่ตั้งของโรงไฟฟ้าที่ใช้พลังงานความร้อนใต้พิภพเพียงแห่งเดียวคือ โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพฝาง จึงมีความเหมาะสมที่จะเป็นพื้นที่ศึกษาในครั้งนี้



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษาและแหล่งน้ำพุร้อน ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย

2. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูล 4 ประเภท ประกอบด้วย

2.1 ข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิว (Land Surface Temperature; LST) เป็นผลิตภัณฑ์ระดับ 3 เวอร์ชั่น 6 รหัสผลิตภัณฑ์ MOD11A1 ของดาวเทียม Terra ระบบ MODIS ซึ่งถูกคำนวณจากวิธีการที่ชื่อว่า Generalized-Split Window Algorithm (GSW) มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 1 x 1 กิโลเมตร และความละเอียดเชิงเวลารายวัน ซึ่งผ่านพื้นที่ศึกษาช่วงเวลา 10.00 - 11.00 น. (จากเว็บไซต์ https://lpdaacsvc.cr.usgs.gov/appeears/) ทำการดาวน์โหลดข้อมูลในช่วงเดือนมกราคมถึงธันวาคม ปี พ.ศ. 2561 โดยจะนำข้อมูลที่ทำการดาวน์โหลดทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ยได้เป็นข้อมูล LST เฉลี่ยรายปี (LST_{mean}) จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิว ($LST_{anomaly}$) ดังสมการที่ (1) [4]

$$LST_{anomaly} = LST - LST_{mean} \tag{1}$$

เมื่อ

LST คือ ค่าอุณหภูมิพื้นผิวที่ปรากฏตำแหน่งที่ $i = 1$ ถึง n

LST_{mean} คือ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิวในช่วงเดือนมกราคมถึงธันวาคม ปี พ.ศ. 2561

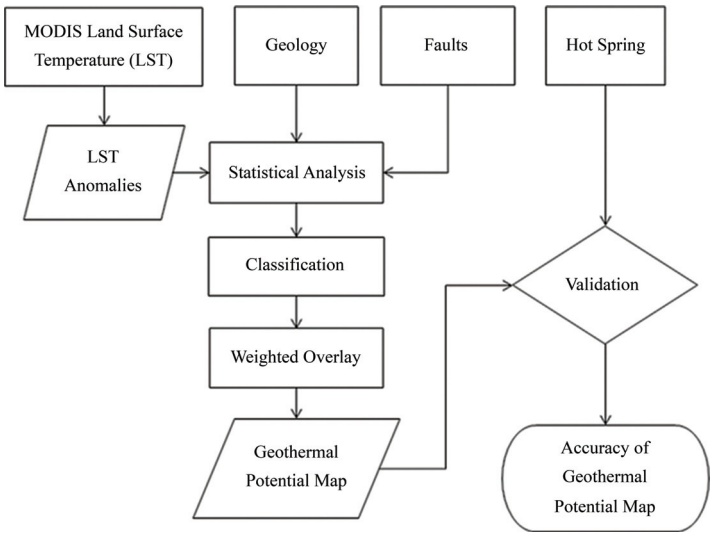
2.2 ข้อมูลธรณีวิทยาและธรณีวิทยาโครงสร้าง มาตราส่วน 1:250,000 ได้รับความอนุเคราะห์จากกรมทรัพยากรธรณี ซึ่งเป็นการประมวลผลข้อมูลจากการรวบรวมข้อมูลที่มีอยู่ การแปลความหมายภาพถ่ายทางอากาศและภาพดาวเทียม และการตรวจสอบในภาคสนามเมื่อปี พ.ศ. 2546

2.3 ข้อมูลกลุ่มรอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย เป็นข้อมูลการสำรวจโดยกรมทรัพยากรธรณี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 - 2555 กระจายตัวบริเวณภาคเหนือ ภาคตะวันออก และภาคใต้ จำนวน 14 กลุ่มรอยเลื่อน [8] ซึ่งมีรอยเลื่อนกระจายตัวบริเวณภาคเหนือจำนวน 11 กลุ่มรอยเลื่อน

2.4 ข้อมูลแหล่งน้ำพุร้อนเป็นข้อมูลที่บ่งชี้การมีพลังงานความร้อนใต้พิภพอยู่ลึกลงไปใต้ผิวดิน ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากกรมทรัพยากรธรณี ใช้สำหรับสอบเทียบความถูกต้องกับผลการวิจัย โดยทำการคัดเลือกแหล่งน้ำพุร้อนบริเวณภาคเหนือที่มีค่าอุณหภูมิน้ำร้อนบริเวณที่ผิวดิน 40 - 100 องศาเซลเซียส ได้จำนวนทั้งสิ้น 30 แหล่ง

3. การวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ

การวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้ โดยมีแผนภาพสรุปขั้นตอนการศึกษาในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภาพสรุปขั้นตอนการวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยโดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวจากดาวเทียมระบบ MODIS ร่วมกับชนิดหิน และรอยเลื่อน

3.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างตัวแปร (Statistical Analysis)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างตัวแปร เป็นการวิเคราะห์เพื่อต้องการทราบว่า ตัวแปรที่จะนำมาวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ ได้แก่ ความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิว ชนิดหิน และระยะห่างจากรอยเลื่อน มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดินของแหล่งน้ำพุร้อนหรือไม่ โดยค่าของชุดตัวแปรทั้งหมดเป็นค่า ณ ตำแหน่งพิกัดเดียวกับค่าอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดินจากแหล่งน้ำพุร้อนในพื้นที่ศึกษา ดังนั้น ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์จะประกอบไปด้วย (1) ค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวจำนวน 30 ค่าตัวแปร (2) ชนิดหินจำนวน 30 ค่าตัวแปร (3) ระยะห่างจากรอยเลื่อนจำนวน 30 ค่าตัวแปร และ (4) ค่าอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดินจากแหล่งน้ำพุร้อนจำนวน 30 ค่าตัวแปร นำข้อมูลทั้งหมดไปคำนวณทางสถิติหาค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson Correlation) เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร หลังจากนั้นจะนำค่าสหสัมพันธ์ที่ได้มาใช้เป็นค่าถ่วงน้ำหนัก

3.2 การกำหนดเกณฑ์ของตัวแปร (Classification)

นอกจากการหาความสัมพันธ์เพื่อใช้บ่งชี้ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพในการศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดเกณฑ์ของแต่ละตัวแปร และแบ่งระดับคะแนนเป็น 5 ระดับ มีรายละเอียดดังนี้

1) ความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิว ค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวเป็นค่าที่บ่งชี้อุณหภูมิพื้นผิวที่สูงหรือต่ำกว่าอุณหภูมิพื้นผิวบริเวณรอบข้าง จากงานวิจัยที่ศึกษาในต่างประเทศได้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิว 4 - 10 องศาเซลเซียส [2] มาเป็นเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มตัวแปร ซึ่งหมายความได้ว่าหากบริเวณใดมีอุณหภูมิพื้นผิวสูงผิดปกติระหว่าง 4 - 10 องศาเซลเซียส บริเวณนั้นบ่งชี้ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ จึงแบ่งระดับคะแนนดังนี้ อุณหภูมิพื้นผิวสูงผิดปกติน้อยกว่า 2 องศาเซลเซียส ให้ค่าคะแนนเท่ากับ 1 อุณหภูมิพื้นผิวสูงผิดปกติ 2 - 4 องศาเซลเซียส ให้ค่าคะแนนเท่ากับ 2 อุณหภูมิพื้นผิวสูงผิดปกติ 4 - 6 องศาเซลเซียส ให้ค่าคะแนนเท่ากับ 3 อุณหภูมิพื้นผิวสูงผิดปกติ 6 - 8 องศาเซลเซียส ให้ค่าคะแนนเท่ากับ 4 และอุณหภูมิพื้นผิวสูงผิดปกติมากกว่า 8 องศาเซลเซียส ให้ค่าคะแนนเท่ากับ 5

2) ชนิดหิน เนื่องจากลักษณะหน่วยหินทางธรณีวิทยาบริเวณภาคเหนือค่อนข้างซับซ้อนและประกอบด้วยหินยุคต่าง ๆ [9] ผู้ศึกษาจึงทำการแบ่งกลุ่มตามประเภทของชนิดหินได้เป็น 6 ประเภท และให้ค่าคะแนนตามความสัมพันธ์อุณหภูมิน้ำร้อนของแหล่งน้ำพุร้อนที่พบบริเวณหินแต่ละประเภทดังนี้ (1) ตะกอนที่ยังไม่แข็งตัวค่าคะแนนเท่ากับ 1 (2) หินแปร และหินตะกอนที่มีหินแปรปะปนอยู่ค่าคะแนนเท่ากับ 2 (3) หินตะกอนค่าคะแนนเท่ากับ 3 (4) หินอัคนีค่าคะแนนเท่ากับ 4 และ (5) หินแกรนิตค่าคะแนนเท่ากับ 5

3) ระยะห่างจากรอยเลื่อน โครงสร้างรอยเลื่อนเป็นช่องทางให้น้ำร้อนโผล่ขึ้นมาปรากฏบนพื้นผิวโลก ซึ่งหมายความว่าบริเวณที่อยู่ใกล้แนวรอยเลื่อนนั้นมีโอกาสเป็นพื้นที่ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ ในการศึกษาครั้งนี้ผู้ศึกษาได้ใช้เกณฑ์การแบ่งระยะห่างจากรอยเลื่อนตาม [10] โดยทำการสร้างแนวกันชน (Buffer) จากแนวรอยเลื่อนเป็นระยะทางทุก ๆ 400 เมตร และให้ค่าระดับคะแนนดังนี้ ระยะห่างจากรอยเลื่อนมากกว่า 1,600 เมตร ให้ค่าคะแนนเท่ากับ 1 ระยะห่างจากรอยเลื่อน 1,200 - 1,600 เมตร ให้ค่าคะแนนเท่ากับ 2 ระยะห่างจากรอยเลื่อน 800 - 1,200 เมตร ให้ค่าคะแนนเท่ากับ 3 ระยะห่างจากรอยเลื่อน 400 - 800 เมตร ให้ค่าคะแนนเท่ากับ 4 และระยะห่างจากรอยเลื่อน 0 - 400 เมตร ให้ค่าคะแนนเท่ากับ 5

3.3 การวิเคราะห์และสร้างแผนที่ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ

ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยการซ้อนทับข้อมูลแบบกำหนดค่าน้ำหนัก (Weighted Overlay) โดยนำ AHP Method [11] มาประยุกต์ใช้ ซึ่งในการวิเคราะห์ครั้งนี้จะใช้ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weighting) ที่ได้จากค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สันคูณกับระดับคะแนน (Rating) ของตัวแปรแต่ละประเภท ทำการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบ Raster จัดแบ่งชั้นข้อมูลใหม่ (Reclassify) ให้เป็นไปตามเกณฑ์และระดับคะแนนที่ได้กำหนดไว้ จากนั้นจึงนำตัวแปรที่ได้มาวิเคราะห์ผ่านฟังก์ชัน Map Algebra ด้วยเครื่องมือ Raster Calculator โดยใช้สมการที่ (2)

$$S = \sum_{i=1}^{n} \left(W_i \times R_i \right) \tag{2}$$

เมื่อ

S คือ ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

W_i คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของตัวแปรที่ $i = 1$ ถึง n

R_i คือ ค่าระดับคะแนนของตัวแปรที่ $i = 1$ ถึง n

นำผลลัพธ์ที่ได้มาแบ่งระดับศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพออกเป็น 3 ระดับ คือ ศักยภาพสูง ศักยภาพปานกลาง และศักยภาพต่ำ ด้วยการแบ่งช่วงชั้นแบบอันตรภาคชั้น (Class Interval) ดังสมการที่ (3)

$$\text{อันตรภาคชั้น} = \frac{\text{ค่าคะแนนสูงสุด - ค่าคะแนนต่ำสุด}}{\text{จำนวนหรือระดับช่วงชั้น}} \quad (3)$$

4. การสอบเทียบความถูกต้อง

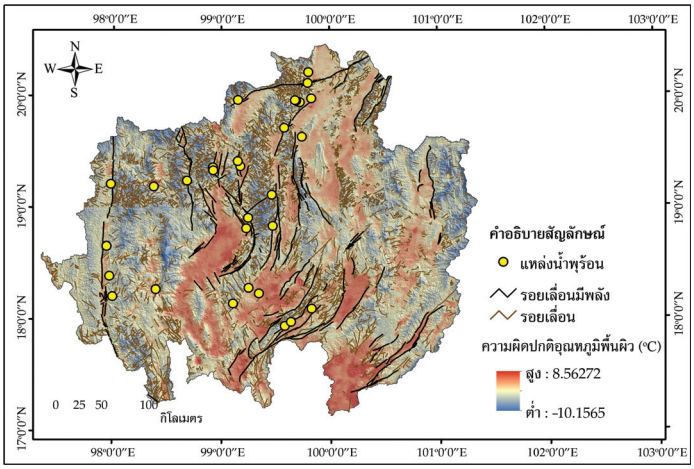
การสอบเทียบความถูกต้องใช้วิธีการซ้อนทับระหว่างข้อมูลแหล่งน้ำพุร้อนที่ปรากฏในพื้นที่กับแผนที่ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพที่ได้จากการศึกษา โดยพิจารณาจากอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดิน แหล่งน้ำพุร้อน แบ่งออกเป็น (1) แหล่งน้ำพุร้อนที่มีอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดินมากกว่า 80 องศาเซลเซียส บ่งบอกเป็นแหล่งน้ำพุร้อนศักยภาพสูง (2) แหล่งน้ำพุร้อนที่มีอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดิน 60 - 80 องศาเซลเซียส บ่งบอกเป็นแหล่งน้ำพุร้อนศักยภาพปานกลาง และ (3) แหล่งน้ำพุร้อนที่มีอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดิน 40 - 60 องศาเซลเซียส บ่งบอกเป็นแหล่งน้ำพุร้อนศักยภาพต่ำ [12] ร้อยละความถูกต้องของแผนที่หาได้จากสมการที่ (4)

$$\text{ร้อยละความถูกต้อง} = \frac{\text{ผลรวมจำนวนแหล่งน้ำพุร้อนที่ถูกต้องแต่ละระดับ} \times 100}{\text{จำนวนแหล่งน้ำพุร้อนทั้งหมด}} \quad (4)$$

ผลการวิจัย

1. ความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิว

ค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวเป็นค่าที่บ่งชี้อุณหภูมิพื้นผิวที่สูงหรือต่ำกว่าอุณหภูมิพื้นผิวบริเวณรอบข้าง เมื่อหาค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวในพื้นที่ภาคเหนือพบว่า มีค่าตั้งแต่ -10.16 ถึง 8.56 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 3 จะเห็นว่าค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวที่สูงจะกระจายตัวอยู่บริเวณที่เป็นแอ่งที่ราบลุ่ม ซึ่งเป็นพื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ลุ่ม รวมถึงพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง ในทางกลับกันค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวที่ต่ำจะพบบริเวณที่เป็นภูเขาที่มีป่าไม้ปกคลุม เมื่อเปรียบเทียบค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวกับตำแหน่งน้ำพุร้อนที่ปรากฏพบว่า ค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวแสดงทั้งค่าที่สูงและต่ำกว่าอุณหภูมิพื้นผิวบริเวณรอบข้าง คือ อยู่ระหว่าง -2.42 ถึง 4.64 องศาเซลเซียส สาเหตุที่มีการแสดงค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวต่ำเนื่องมาจากแหล่งน้ำพุร้อนในพื้นที่ภาคเหนือส่วนใหญ่จะพบบริเวณที่เป็นภูเขาที่มีต้นไม้ขึ้นปกคลุมมากกว่าบริเวณที่ราบ ทำให้ค่าอุณหภูมิพื้นผิวที่วัดได้นั้นไม่ใช่ค่าจากพื้นผิวดินโดยตรง และจะเห็นว่าแนวรอยเลื่อนโดยเฉพาะแนวรอยเลื่อนมีพลัง ซึ่งเป็นโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่สำคัญที่ให้น้ำร้อนไหลซึมขึ้นมาสู่ผิวดิน มีความสัมพันธ์กับความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวบริเวณใกล้ภูเขาและขอบแอ่งที่ราบลุ่ม ดังนั้น การวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพในพื้นที่ภาคเหนือด้วยการใช้ข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวเพียงอย่างเดียวอาจไม่ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง



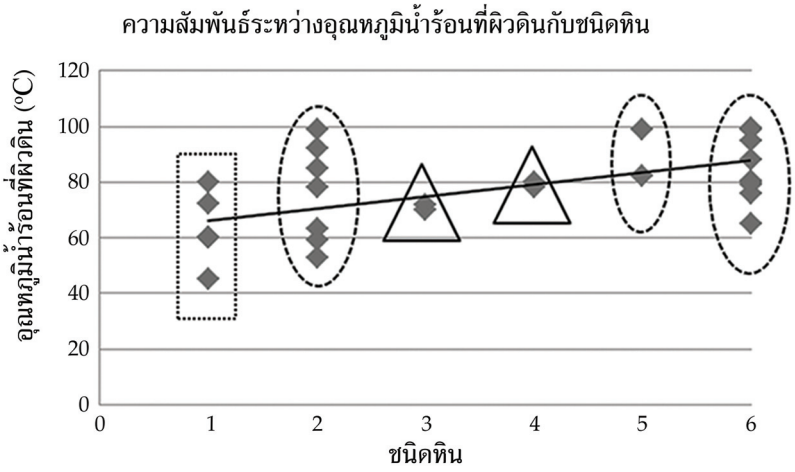
รูปที่ 3 แผนที่ความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย

2. ความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างตัวแปร

เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่จะนำมาวิเคราะห์ ได้แก่ ความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิว ชนิดหิน และระยะห่างจากรอยเลื่อนกับอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดินของแหล่งน้ำพุร้อน ด้วยวิธีการคำนวณทางสถิติหาค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson Correlation) จากผลการวิเคราะห์ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 พบว่าชนิดหินมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.587 ซึ่งมีค่าสูงที่สุด แสดงให้เห็นว่ามีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดินมากที่สุด (รูปที่ 4) และเมื่อพิจารณาแต่ละกลุ่มจะพบว่ามีความสัมพันธ์ที่ต่างกันคือ (กลุ่มที่ 1) ชนิดหินที่อยู่ในกรอบสี่เหลี่ยม คือ ตะกอนที่ยังไม่แข็งตัว น้ำพุร้อนมีอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดิน 45 – 80 องศาเซลเซียส ซึ่งส่วนใหญ่มีอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดินต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส (กลุ่มที่ 2) ชนิดหินที่อยู่ในกรอบสามเหลี่ยม คือ หินแปร และหินตะกอนที่มีหินแปรปะปนอยู่ น้ำพุร้อนมีอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดิน 70 – 80 องศาเซลเซียส และ (กลุ่มที่ 3) ชนิดหินที่อยู่ในกรอบวงรี คือ หินตะกอน หินอัคนี และหินแกรนิต น้ำพุร้อนมีอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดิน 53 – 99 องศาเซลเซียส ส่วนใหญ่มีอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดินสูงกว่า 80 องศาเซลเซียส ในขณะที่ความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิว และระยะห่างจากรอยเลื่อนมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ -0.376 และ -0.410 แสดงว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดินระดับต่ำ และเป็นความสัมพันธ์แบบผกผัน หมายความว่า ถ้าอุณหภูมิน้ำร้อนผิวดินเพิ่มสูงขึ้น ค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวจะลดต่ำลง และถ้าอุณหภูมิน้ำร้อนผิวดินเพิ่มสูงขึ้น ระยะห่างจากรอยเลื่อนจะลดลง หรือกล่าวอีกนัยคือ อุณหภูมิน้ำร้อนผิวดินจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อบริเวณนั้นอยู่ใกล้แนวรอยเลื่อนนั่นเอง ในการศึกษานี้ค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สันที่แสดงในตารางที่ 1 จะนำมาใช้เป็นค่าถ่วงน้ำหนัก (Weighting) ในการวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพต่อไป

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างตัวแปร

		อุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดิน (°C)	ชนิดหิน	ความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิว (°C)	ระยะห่างจากรอยเลื่อน (เมตร)
อุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดิน	ค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน	1	0.587	-0.376	-0.410
	จำนวนค่าตัวแปร	30	30	30	30



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดินกับชนิดหิน

3. ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ

การวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ ในการศึกษาครั้งนี้ดำเนินการศึกษาด้วย 3 ตัวแปร ได้แก่ ความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิว ชนิดหิน และระยะห่างจากรอยเลื่อน โดยนำตัวแปรเหล่านี้มาหาค่าความสัมพันธ์หรือค่าถ่วงน้ำหนักตัวแปร กำหนดเกณฑ์และระดับคะแนนของตัวแปร ผลลัพธ์ที่ได้มีรายละเอียดดังแสดงไว้ในตารางที่ 2 จัดแบ่งชั้นข้อมูลตัวแปรใหม่ให้เป็นไปตามเกณฑ์และระดับคะแนนที่ได้กำหนดไว้ แสดงดังรูปที่ 5 จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพด้วยการซ้อนทับข้อมูลผ่านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ แบ่งระดับศักยภาพเป็น 3 ระดับ คือ ศักยภาพสูง ศักยภาพปานกลาง และศักยภาพต่ำ แผนที่จากการวิเคราะห์ดังปรากฏในรูปที่ 6 พบว่า ภาคเหนือของประเทศไทยส่วนใหญ่มีพื้นที่ศักยภาพต่ำ แสดงว่าในพื้นที่ภาคเหนือมีความเป็นไปได้ที่จะมีแหล่งศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพต่ำซึ่งคิดเป็นร้อยละ 51.39 ของพื้นที่ทั้งหมด รองลงมาคือ พื้นที่ศักยภาพปานกลาง คิดเป็นร้อยละ 36.32 และพื้นที่ศักยภาพสูง คิดเป็นร้อยละ 12.29 รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3 จากการพิจารณาผลการวิเคราะห์ของแผนที่กับแต่ละตัวแปรที่นำมาใช้วิเคราะห์พบว่า ที่ระดับศักยภาพสูงมีพื้นที่เป็นหินแกรนิต บางส่วนเป็นหินตะกอนและหินอัคนี และมีแนวรอยเลื่อนปรากฏอยู่ ซึ่งสอดคล้องกับเกณฑ์และระดับคะแนนที่กำหนด แต่ในทางตรงกันข้ามพบว่า ที่ระดับศักยภาพสูงนี้มีค่าความผิดปกติ

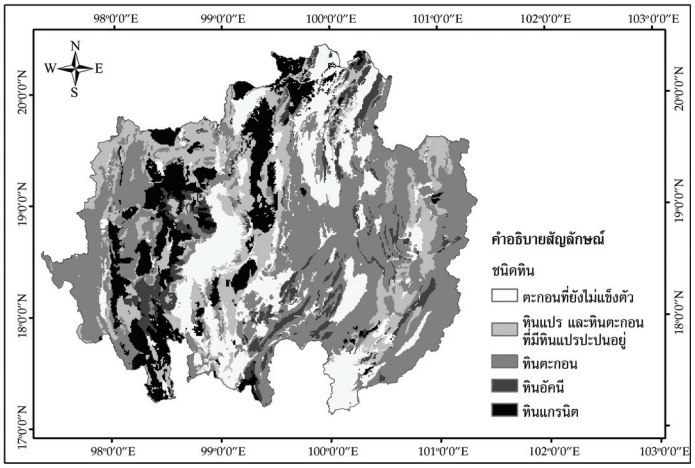
อุณหภูมิพื้นผิวต่ำ ซึ่งไม่เป็นไปตามเกณฑ์และระดับคะแนนที่กำหนด แสดงว่าแผนที่ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพในภาคเหนือของประเทศไทยนั้นสัมพันธ์กับชนิดหินและรอยเลื่อนมากกว่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิว

ตารางที่ 2 เกณฑ์และระดับคะแนนของตัวแปรที่ใช้วิเคราะห์ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ

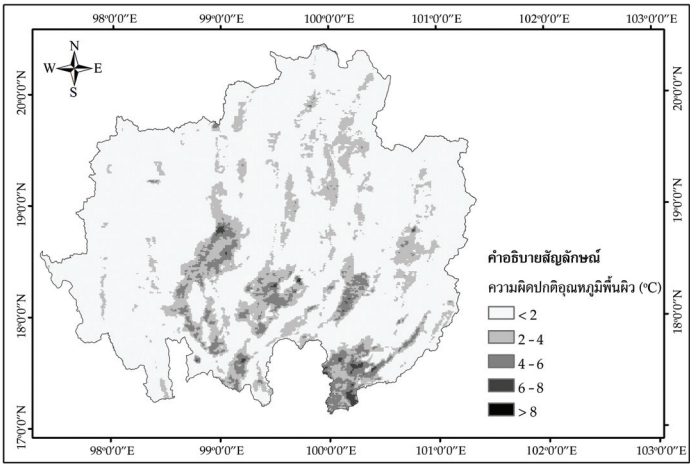
ตัวแปร	ประเภทตัวแปร	ค่าถ่วงน้ำหนัก	ระดับคะแนน
ชนิดหิน	ตะกอนที่ยังไม่แข็งตัว	0.587	1
	หินแปร และหินตะกอนที่มีหินแปรปะปนอยู่		2
	หินตะกอน		3
	หินอัคนี		4
	หินแกรนิต		5
ความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิว	< 2 องศาเซลเซียส	0.376	1
	2 - 4 องศาเซลเซียส		2
	4 - 6 องศาเซลเซียส		3
	6 - 8 องศาเซลเซียส		4
	> 8 องศาเซลเซียส		5
ระยะห่างจากรอยเลื่อน	> 1,600 เมตร	0.410	1
	1,200 - 1,600 เมตร		2
	800 - 1,200 เมตร		3
	400 - 800 เมตร		4
	0 - 400 เมตร		5

ตารางที่ 3 จำนวนพื้นที่แสดงศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย

ระดับศักยภาพ	พื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)	ร้อยละ
ศักยภาพสูง	11,783	12.29
ศักยภาพปานกลาง	34,824	36.32
ศักยภาพต่ำ	49,281	51.39
รวม	95,888	100.00

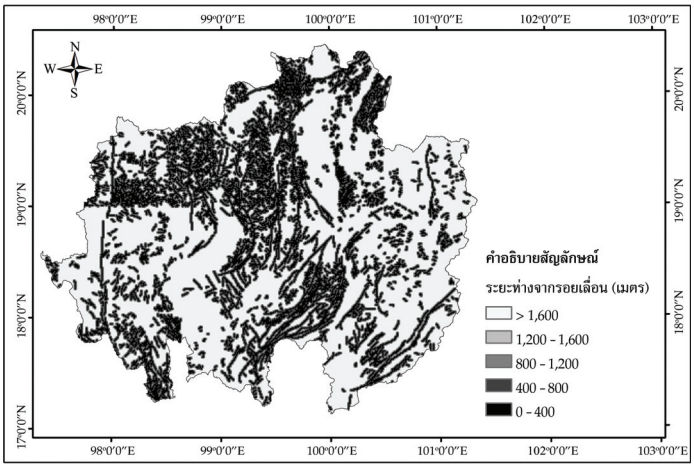


(ก) แผนที่ชนิดหิน



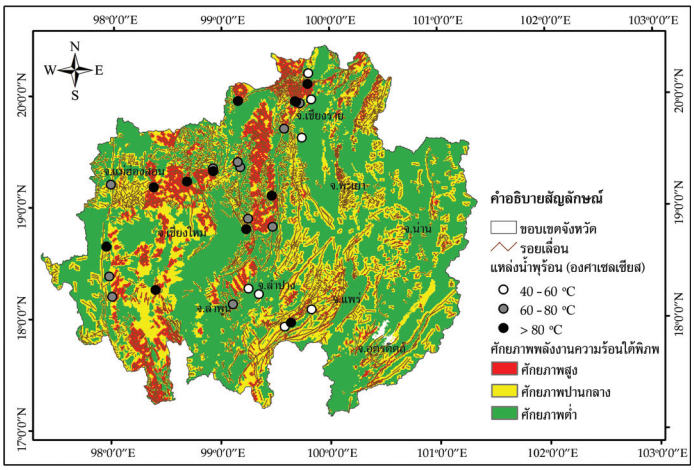
(ข) แผนที่ความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิว

รูปที่ 5 แผนที่ตัวแปรที่ได้กำหนดเกณฑ์ที่ใช้วิเคราะห์ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ



(ค) แผนที่ระยะห่างจากรอยเลื่อน

รูปที่ 5 แผนที่ตัวแปรที่ได้กำหนดเกณฑ์ที่ใช้วิเคราะห์ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ (ต่อ)



รูปที่ 6 แผนที่ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย

4. ผลการสอบเทียบความถูกต้อง

การสอบเทียบความถูกต้องแผนที่ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ ด้วยการจับคู่ข้อมูลตำแหน่งและระดับอุณหภูมิของแหล่งน้ำพุร้อนกับระดับศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพที่ได้จากการศึกษา ณ ตำแหน่งเดียวกัน ทั้งหมดจำนวน 30 คู่ ด้วยวิธีซ้อนทับข้อมูล จากตารางที่ 4 แสดงผลการศึกษา โดยแหล่งน้ำพุร้อนที่มีอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดินมากกว่า 80 องศาเซลเซียส เทียบเท่ากับระดับศักยภาพสูงจำนวน 11 แหล่ง พบว่ามีตำแหน่งปรากฏในแผนที่ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพในพื้นที่ที่มีระดับศักยภาพสูง 6 แหล่ง คิดเป็นความถูกต้องร้อยละ 54.5 ซึ่งอีก 5 แหล่งปรากฏอยู่บริเวณที่มีศักยภาพปานกลางแหล่งน้ำพุร้อนที่มีอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดิน 60 - 80 องศาเซลเซียส เทียบเท่ากับระดับศักยภาพปานกลาง จำนวนทั้งหมด 12 แหล่ง พบว่ามีตำแหน่งปรากฏในแผนที่บริเวณที่มีระดับศักยภาพ

ปานกลางตรงกัน 4 แหล่ง อีก 8 แหล่งปรากฏในบริเวณที่มีศักยภาพสูง 3 แหล่ง และบริเวณที่มีศักยภาพต่ำ 5 แหล่ง คิดเป็นความถูกต้องร้อยละ 33.3 และแหล่งน้ำพุร้อนที่มีอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดิน 40 - 60 องศาเซลเซียส เทียบเท่ากับระดับศักยภาพต่ำ จำนวนทั้งหมด 7 แหล่ง ปรากฏบนแผนที่ในบริเวณที่มีระดับศักยภาพต่ำตรงกันจำนวน 6 แหล่ง อีก 1 แหล่งปรากฏในบริเวณที่มีศักยภาพปานกลาง คิดเป็นความถูกต้องร้อยละ 85.7 โดยรวมจากจำนวนแหล่งน้ำพุร้อนทั้งหมด 30 แหล่ง ปรากฏตำแหน่งบนแผนที่ที่มีระดับศักยภาพตรงกันจำนวนทั้งสิ้นจำนวน 16 แหล่ง โดยมีค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวอยู่ระหว่าง -2.42 ถึง 4.64 องศาเซลเซียส ซึ่งต่างจากค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวที่นำมาเป็นเกณฑ์คือ 4 - 10 องศาเซลเซียส [2] แต่เมื่อพิจารณาความถูกต้องระหว่างแนวรอยเลื่อนกับแผนที่ที่ได้จากการศึกษา (รูปที่ 6) พบว่า แนวรอยเลื่อนวางตัวอยู่บนพื้นที่ศักยภาพสูงและพื้นที่ศักยภาพปานกลาง แสดงว่าบริเวณที่มีศักยภาพสูงและปานกลางจะมีความสัมพันธ์กับแนวรอยเลื่อนด้วย จากการคำนวณร้อยละความถูกต้องของแผนที่ตามสมการที่ (4) พบว่า แผนที่ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพบริเวณภาคเหนือของประเทศไทยที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ มีค่าความถูกต้องร้อยละ 53.3 แสดงว่าการวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพด้วยตัวแปร 3 ตัวแปร ได้แก่ ความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิว ชนิดหิน และระยะห่างจากรอยเลื่อน ให้ค่าความถูกต้องอยู่ในระดับปานกลาง

ตารางที่ 4 ผลลัพธ์การสอบเทียบความถูกต้องของแผนที่ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ

ระดับศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ	อุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดิน (°C)	จำนวนแหล่งน้ำพุร้อน	จำนวนแหล่งน้ำพุร้อนที่มีตำแหน่งตรงกับแผนที่ศักยภาพ
ศักยภาพสูง	> 80 °C	11	6
ศักยภาพปานกลาง	60 - 80 °C	12	4
ศักยภาพต่ำ	40 - 60 °C	7	6
	รวมทั้งสิ้น	30	16
	คิดเป็น %	100 %	53.3 %

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

เทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลถูกนำมาประยุกต์ใช้กับงานด้านต่าง ๆ รวมถึงการวิเคราะห์เพื่อหาพื้นที่ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ ซึ่งในงานศึกษาส่วนใหญ่จะใช้ข้อมูลจากดาวเทียมในช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนมาประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวหรือใช้ข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวที่ได้จากดาวเทียม เพื่อบ่งชี้แหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพ แต่เนื่องจากอุณหภูมิพื้นผิวเป็นค่าการสะท้อนแสงที่พื้นผิวโลก ซึ่งมีสิ่งปกคลุมผิวพื้นที่หลากหลาย หรือในบางพื้นที่ความร้อนจากใต้พิภพอาจอยู่ลึกจนไม่สามารถส่งผ่านความร้อนมายังพื้นผิวได้โดยตรง การศึกษาแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพด้วย อุณหภูมิพื้นผิวเพียงอย่างเดียว อาจส่งผลให้ผลการศึกษาเกิดความผิดพลาดได้ สำหรับการศึกษานี้มีการใช้ข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวจากดาวเทียมระบบ MODIS หาค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิว เพื่อนำมาวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพเมื่อเปรียบเทียบความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวกับแนวรอยเลื่อน ผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า

ความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวมีความสัมพันธ์กับแนวรอยเลื่อนบริเวณใกล้ภูเขาและขอบแอ่งที่ราบลุ่มมากกว่าบริเวณแอ่งที่ราบลุ่มซึ่งแสดงค่าความผิดปกติที่สูง และเมื่อพิจารณาความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวกับตำแหน่งน้ำพุร้อนพบว่า มีความสัมพันธ์กันค่อนข้างต่ำ กล่าวคือ ค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวบริเวณแหล่งน้ำพุร้อนมีทั้งค่าที่ต่ำและสูงกว่าบริเวณรอบข้าง ซึ่งไม่มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน ต่างจากการศึกษาของ Chan, H.-P., Chang, C.-P., and Dao, P. D. [5] และ Darge, Y. M., Hailu, B. T., Muluneh, A. A., and Kidane, T. [6] ที่พบว่าค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวมีความสัมพันธ์กับแนวรอยเลื่อนและตำแหน่งน้ำพุร้อนในพื้นที่ แผนที่ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยในครั้งนี้ใช้ค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวและข้อมูลทางกายภาพ ได้แก่ ชนิดหิน และรอยเลื่อน มาวิเคราะห์ผ่านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยการซ้อนทับข้อมูล มีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก และระดับคะแนน ให้กับตัวแปรทั้งสาม การให้ค่าถ่วงน้ำหนักทำได้หลายวิธี ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้ค่าความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างตัวแปรมากำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นข้อเท็จจริงของข้อมูลที่สัมพันธ์กัน ณ ตำแหน่งพิกัดเดียวกัน จากการศึกษาพบว่าตัวแปรที่มีความสำคัญมากที่สุดต่อศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพในพื้นที่ภาคเหนือคือ ชนิดหิน รองลงมาคือ ระยะห่างจากรอยเลื่อน และความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิว ซึ่งเป็นข้อยืนยันได้ว่าหากใช้ข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวเพียงอย่างเดียวอาจได้ผลลัพธ์ที่ไม่ถูกต้อง สำหรับการกำหนดเกณฑ์และระดับคะแนนของตัวแปรนั้น เนื่องจากยังไม่เคยมีงานวิจัยในประเทศไทย การศึกษานี้จึงอ้างอิงจากงานวิจัยต่างประเทศเป็นหลัก เมื่อทำการวิเคราะห์และสอบเทียบความถูกต้องของแผนที่ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย พบว่ามีค่าความถูกต้องร้อยละ 53.3 อยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งเมื่อพิจารณาตำแหน่งน้ำพุร้อนที่ปรากฏในแผนที่บริเวณที่มีระดับศักยภาพศักยภาพสูงทั้ง 6 แหล่ง พบว่ามีความใกล้เคียงกับแหล่งน้ำพุร้อนที่กรมทรัพยากรน้ำบาดาลคัดเลือก [13] ที่มีแนวโน้มว่าจะเป็นแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพที่เหมาะสมจำนวน 3 แหล่ง ได้แก่ น้ำพุร้อนเมืองแปง จังหวัดแม่ฮ่องสอน น้ำพุร้อนฝาง จังหวัดเชียงใหม่ และน้ำพุร้อนแม่จัน จังหวัดเชียงราย และสอดคล้องกับงานศึกษาจากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ [12] จำนวน 5 แหล่ง ได้แก่ น้ำพุร้อนยางผาเคียว น้ำพุร้อนแม่จัน จังหวัดเชียงราย น้ำพุร้อนสันกำแพง น้ำพุร้อนฝาง จังหวัดเชียงใหม่ และน้ำพุร้อนเมืองแปง จังหวัดแม่ฮ่องสอน สำหรับแนวทางการศึกษาต่อไปควรนำข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เข้ามาร่วมในการวิเคราะห์ รวมไปถึงข้อมูลการสำรวจทางด้านธรณีฟิสิกส์ ซึ่งเป็นการสำรวจโครงสร้างภายใต้โลก และควรมีการสำรวจภาคสนามเพื่อนำมาปรับปรุงเกณฑ์และระดับคะแนนของตัวแปรให้สัมพันธ์กับพื้นที่เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

References

[1] Department of Mineral Resources. (1986). **Exploration of Geothermal Resources in Northern Thailand**. Complete Report. (in Thai)

[2] Qin, Q., Zhang, N., Nan, P., and Chai, L. (2011). Geothermal Area Detection Using Landsat ETM+ Thermal Infrared Data and its Mechanistic Analysis - A Case Study in Tengchong, China. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. Vol. 13, Issue 4, pp. 552-559. DOI: 10.1016/j.jag.2011.02.005

[3] Zhang, N., Qin, Q., He, L., and Jiang, H. (2012). Remote Sensing and GIS based Geothermal Exploration in Southwest Tengchong, China. In **Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2012 IEEE International**. Munich, Germany. pp. 5364-5367. DOI: 10.1109/IGARSS.2012.6352395

[4] Tian, B., Wang, L., Kashiwaya, K., and Koike, K. (2015). Combination of Well- Logging Temperature and Thermal Remote Sensing for Characterization of Geothermal Resources in Hokkaido, Northern Japan. **Remote Sensing**. Vol. 7, Issue 3, pp. 2647-2667. DOI: 10.3390/rs70302647

[5] Chan, H.-P., Chang, C.-P., and Dao, P. D. (2017). Geothermal Anomaly Mapping Using Landsat ETM+ Data in Ilan Plain, Northeastern Taiwan. **Pure and Applied Geophysics**. Vol. 175, Issue 1, pp. 303-323. DOI: 10.1007/s00024-017-1690-z

[6] Darge, Y. M., Hailu, B. T., Muluneh, A. A., and Kidane, T. (2019). Detection of Geothermal Anomalies Using Landsat 8 TIRS Data in Tulu Moye Geothermal Prospect, Main Ethiopian Rift. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. Vol. 74, pp. 16-26. DOI: 10.1016/j.jag.2018.08.027

[7] Raksaskulwong, M. (2013). **Geothermal in Thailand: Alternative Energy**. Technical Report. Bangkok: Department of Mineral Resources. (in Thai)

[8] Department of Mineral Resources. (2012). **Earthquakes Thailand**. Prachinburi: Thurakan Charoen Kit Co., Ltd. (in Thai)

[9] Department of Mineral Resources. (2007). **Geology of Thailand (Second Edition)**. Bangkok: Dokbia Publishers. (in Thai)

[10] Mwaura, D. and Kada, M. (2017). Developing a Web-Based Spatial Decision Support System for Geothermal Exploration at the Olkaria Geothermal Field. **International Journal of Digital Earth**. Vol. 10, Issue 11, pp. 1118-1145. DOI: 10.1080/17538947.2017.1284909

[11] He, H., Hu, D., Sum, Q., Zhu, L., and Liu, Y. (2019). A Landslide Susceptibility Assessment Method Based on GIS Technology and AHP-Weighted Information Content Method: A Case Study of Southern Anhui, China. **International Journal of Geo-Information**. Vol. 8, Issue 6, pp. 1-23. DOI: 10.3390/ijgi8060266

[12] Chiang Mai University. (2006). **Potential Assessment of Hot Springs in Thailand**. Final Report. Access (4 October 2018). Available (http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/Content.pdf)

[13] Department of Groundwater Resources. (2020). **Groundwater and Geothermal Energy**. Access (9 October 2020). Available (http://www.dgr.go.th/th/download/23?page=31)