



การประเมินสภาพธรณีวิทยาแหล่งน้ำพุร้อนด้วยเทคนิคการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า

Geological Evaluation of Hot Springs by Electrical Resistivity Measurement Techniques

ณรงค์ชัย วิวัฒนาช่าง^{1*} ชนระบ วิชาลัย¹ และอรรวรรณ จันทสุทโธ¹

Received: September, 2017; Accepted: December, 2017

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอรูปแบบการสำรวจหาแหล่งน้ำพุร้อนด้วยเทคนิคการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 3 มิติ จากการวางขั้วไฟฟ้าแบบออฟเซตโพล - ไดโพล (Offset Pole-Dipole) ณ บ้านพุน้ำร้อน อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี โดยติดตั้งขั้ววัดกระแสไฟฟ้าและกำหนดจุดปล่อยกระแสไฟฟ้าครอบคลุมพื้นที่ขนาด 1.60×1.60 ตารางกิโลเมตร กำหนดให้แนวขั้วปล่อยกระแสไฟฟ้าและแนวขั้ววัดไฟฟ้ามีระยะห่างเท่ากับ 100 เมตร ภายในพื้นที่การสำรวจและระยะห่างของขั้วปล่อยกระแสไฟฟ้าภายนอกพื้นที่การสำรวจมีระยะห่างเท่ากับ 200 เมตร

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงสภาพธรณีวิทยาแบบ 3 มิติ ของพื้นที่ทำการสำรวจพบว่าจุดที่อยู่บริเวณแนวภูเขา มีค่าความต้านทานไฟฟ้าสูงกว่า 3,500 โอห์ม-เมตร ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของหินที่พบบนเนินเขา คือ หินจำพวกแกรนิต ควอตซ์และเฟลสปาร์ สำหรับตอนกลางของพื้นที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 30 - 500 โอห์ม-เมตร ซึ่งแสดงให้เห็นถึงตำแหน่งของน้ำใต้ดิน ดินตะกอน รอยเลื่อน และชั้นหินผุ

จากการศึกษาพบว่า ลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาซึ่งเป็นที่ตั้งของแหล่งน้ำพุร้อนแห่งนี้ มีลักษณะที่สอดคล้องกับแบบจำลองน้ำพุร้อนแบบที่ 2 ที่ถูกค้นพบในประเทศไทย กล่าวคือน้ำร้อนจะไหลขึ้นตามรอยเลื่อนผสมกับน้ำใต้ดินที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าและถูกกักเก็บไว้อยู่ในชั้นหิน ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นถึงลักษณะทางธรณีวิทยาและขนาดของบ่อน้ำพุร้อนในรูปแบบของภาพ 3 มิติ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสภาพทางธรณีวิทยาโดยรวมได้อย่างชัดเจนกว่าการสำรวจด้วยวิธีการปกติ

คำสำคัญ : น้ำพุร้อน; ความต้านทานไฟฟ้า; ขั้วไฟฟ้าแบบออฟเซตโพล-ไดโพล

¹ Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

* Corresponding Author E - mail Address: narongchaiwatt@gmail.com

Abstract

This research is to present the model to explore the hot spring by measuring the electrical resistivity of geological 3D model with offset Pole - Dipole array at Ban-Punamron, Dan-Chang district, Suphan-Buri province, Thailand. This survey was covered area of 1.60 x 1.60 square kilometer with current electrode and potential electrode, and the distance between them are 100 -m, inside survey area. The outside survey area has source line between them are 200 -m.

The result showed that the 3D geological structures of the survey area which found at mountains have high resistivity zones which more than 3,500 ohm•m as corresponding to granite, quartz and feldspar outcrop at that location. At middle of the survey area has resistivity of 30 - 500 ohm•m. They are represented to the position of groundwater, sludge, faults and weathered layer.

Study result indicate geological structure of this hot spring is identified as hot spring type 2 which classified based on general hot spring model that found in Thailand. The hot fluid uprise along faults, mixed with cool ground water and become equilibrium with host rock. However, these interpretation results indicated that the 3D modeling of hot-spring which are accurate and reflect geological conditions better than the traditional survey.

Keywords: Hot Spring; Electrical Resistivity; Offset Pole - Dipole Array

บทนำ

สืบเนื่องจากปัญหาวิกฤตพลังงานในปัจจุบันส่งผลให้หน่วยงานหลายภาคส่วนได้ให้ความสำคัญเกี่ยวกับการวิจัยพัฒนาในการนำพลังทดแทนมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิง [1] - [2] ซึ่งจะสามารถช่วยให้ประเทศเกิดความมั่นคงและความยั่งยืนด้านพลังงานมากยิ่งขึ้น ดังนั้นพลังงานความร้อนใต้พิภพ นับเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการรับมือกับการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคมที่รวดเร็วส่งผลให้มีการดำเนินการสำรวจหาแหล่งพลังงานใหม่ให้สอดคล้องตามนโยบายของภาครัฐจึงเกิดขึ้น

สุพรรณบุรีเป็นอีกจังหวัดหนึ่งในเขตภาคกลางที่มีน้ำพุร้อนเป็นแหล่งทรัพยากรธรรมชาติในปริมาณที่มากพอต่อการนำมาใช้ประโยชน์ได้ ปัจจุบันบ่อน้ำพุร้อนเหล่านี้ยังมิได้รับการพัฒนาอย่างจริงจังเพื่อการท่องเที่ยวหรือเกษตรอุตสาหกรรมแต่อย่างใด สาเหตุจากปริมาณน้ำพุร้อนตลอดทั้งปียังมีจำนวนไม่สม่ำเสมอและมากพอต่อการนำมาใช้ประโยชน์ จากการศึกษาข้อมูลในเบื้องต้นของแหล่งน้ำพุร้อนในประเทศไทยโดยข้อมูลของกรมทรัพยากรธรณี [3] พบว่าแหล่งน้ำพุร้อน อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี (SP1) มีอุณหภูมิประมาณ 38 องศาเซลเซียส ซึ่งในระดับช่วงอุณหภูมินี้มีขีดความสามารถนำไปพัฒนาเป็นแหล่งท่องเที่ยวในการอาบน้ำพุร้อนได้ แต่เนื่องจากปัจจุบันยังมีข้อมูลการสำรวจไม่เพียงพอต่อการวางแผนลงทุนของภาครัฐที่จะเปิดเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่มีศักยภาพ รวมทั้งแผนการนำไปใช้ประโยชน์ด้านการเกษตรหรือแหล่งพลังงานทดแทนได้

เมื่อปี ค.ศ. 2012 Badmus, B. et al. [4] ได้นำเสนอโครงสร้างทางธรณีวิทยา ณ Abeokuta Terrain of Southwestern Nigeria จากการสำรวจด้วยความต้านทานไฟฟ้า แบบ 1 2 และ 3 มิติ โดยแบ่งออกเป็น 7 แนวสำรวจแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square Grids) ใช้การวางขั้วไฟฟ้าแบบ Pole - Pole Array กับระยะทางขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 1 3 และ 5 เมตร ตามลำดับ ทำการวิเคราะห์และจำลองข้อมูลด้วยโปรแกรม RES3DINV [5] ผลการสำรวจแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างทางธรณีวิทยา เช่น บริเวณที่เป็นดิน หินลูกรวมถึงตำแหน่งของน้ำใต้ดิน ณ พิกัดความลึกการสำรวจเท่ากับ 39 เมตร

สำหรับประเทศไทย ในปี ค.ศ. 2007 Giao, P. H., et al. [6] ได้ทำการศึกษาแหล่งน้ำพุร้อน 2 แห่ง ซึ่งอยู่ในเขตพื้นที่ จังหวัดกาญจนบุรี ด้วยการสำรวจด้วยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติ พบว่าการสำรวจด้วยวิธีการวัดค่าความต้านทานแบบ 2 มิติ สามารถแสดงลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาของน้ำพุร้อนทั้งสองแห่งได้ ตลอดจนเป็นข้อมูลที่จำเป็นในการวางแผนพัฒนาแหล่งน้ำพุร้อน หลังจากนั้นได้มีการศึกษาแหล่งน้ำพุร้อนโป่งคำ จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อปี ค.ศ. 2010 โดย Neawsuparp, K., et al. [7] ได้ทำการสำรวจบ่อน้ำพุร้อนด้วยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติ โดยวางขั้วไฟฟ้าแบบ Dipole-Dipole การสำรวจด้วยคลื่นสั่นสะเทือนแบบหักเห (Refraction Seismic) และการสำรวจด้วยการวัดค่าสนามแม่เหล็กธรรมชาติ (Magnetic) แบบ 2 มิติ จากผลการศึกษาพบว่า การสำรวจด้วยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าตรวจพบ ค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำ อันเป็นตำแหน่งของแหล่งกำเนิดน้ำพุร้อนที่มีความลึก 80 เมตร ผลการสำรวจด้วยคลื่นสั่นสะเทือนพบชั้นหินฐานในระดับตื้นและแนวรอยเลื่อนใกล้กับตำแหน่งของบ่อน้ำพุร้อน ผลการสำรวจด้วยการวัดค่าสนามแม่เหล็กธรรมชาติ พบได้ถึงค่าความเป็นแม่เหล็ก (Magnetic Susceptibility) ต่ำเป็นแนว ซึ่งอาจเป็นแนวที่น้ำร้อนใต้ดินไหลผ่านขึ้นมาได้

การศึกษาแหล่งน้ำพุร้อน โดย Suanburi, D. ในปี ค.ศ. 2014 [8] ณ แหล่งน้ำพุร้อนโป่งช้าง อำเภอนองปรี จังหวัดกาญจนบุรี ด้วยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 3 มิติ ใช้รูปแบบการวางขั้วไฟฟ้าแบบ Offset Pole - Dipole ที่ระดับความลึก 250 เมตร ผลการสำรวจสามารถแสดงลักษณะทางธรณีวิทยาของแหล่งน้ำพุร้อนได้เป็นอย่างดี และในปี ค.ศ. 2016 Spencer, H. W., et al. [9] ได้ทำการสำรวจทางธรณีวิทยาและธรณีฟิสิกส์ ในปี พ.ศ. 2558 - 2559 ที่แหล่งน้ำพุร้อนฝาง อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าผลการสำรวจด้วยวิธีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 1 มิติ และวิธีการวัดค่ากระแสแม่เหล็กธรรมชาติ (Magnetotelluric) ตรวจพบค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำกว่า 60 โอห์ม-เมตร ในระดับความลึก 50 - 100 เมตร เท่านั้น ไม่สามารถตรวจพบความต้านทานไฟฟ้าต่ำในชั้นหินในระดับลึกที่เป็นแนวการไหลของน้ำที่เป็นต้นกำเนิดของบ่อน้ำพุร้อน

โดยปกติแล้วการสำรวจน้ำพุร้อนในประเทศไทย นอกจากการเจาะสำรวจโดยตรงแล้ว มักจะใช้วิธีการสำรวจโดยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าในดินแบบ 1 มิติ (Electrical Resistivity Sounding) โดยจะแสดงผลการสำรวจเป็นกราฟเชิงเส้น หรือการสำรวจแบบ 2 มิติ (Electrical Resistivity Imaging) ที่แสดงผลการสำรวจเป็นภาพตัดแสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าของชั้นดิน ซึ่งทั้งการสำรวจและวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 1 หรือ 2 มิติ นั้น มักจะใช้การวางขั้วไฟฟ้าแบบไดโพล - ไดโพล (Dipole - Dipole Array) โดยลักษณะการวางขั้วไฟฟ้าแบบดังกล่าว จะแสดงผลการสำรวจได้ดีในลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่มีการเปลี่ยนแปลงในแนวตั้งเท่านั้น [10] สำหรับวิธีการสำรวจทางธรณีวิทยาโดยใช้วิธีการวางขั้วไฟฟ้าแบบออฟเซตไดโพล - ไดโพล (Offset Pole - Dipole) จะสามารถแสดงผลลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งในแนวตั้งและในแนวราบได้ดี [11]

เนื่องด้วยขีดจำกัดทางด้านกำลังส่งของเครื่องมือสำรวจ พบว่าการสำรวจแหล่งน้ำพุร้อนในประเทศไทยมีความลึกในการสำรวจไม่เกิน 250 เมตร เท่านั้น ดังนั้นการสำรวจในระดับที่ลึกขึ้นจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาแหล่งน้ำพุร้อนที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นได้ การศึกษานี้เป็นการสำรวจเพื่อประเมินสภาพธรณีวิทยาแหล่งน้ำพุร้อนด้วยเทคนิคการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าใต้ดิน ณ บ้านน้ำพุร้อน อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี โดยการนำเสนอรูปแบบการสำรวจด้วยการจัดวางขั้วไฟฟ้าแบบ Offset Pole - Dipole ครอบคลุมพื้นที่ 2.56 ตารางกิโลเมตร (กว้าง 1.60 กิโลเมตร ยาว 1.60 กิโลเมตร) ทำการวิเคราะห์และจำลองข้อมูลด้วยโปรแกรม RES3DINV [12] โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 100 เมตร และระยะห่างของแนวขั้ววัดไฟฟ้า 200 เมตร พิกัดความลึกของการสำรวจประมาณ 50 เมตร สามารถแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างทางธรณีวิทยาของน้ำพุร้อนใต้ดินในรูปแบบของภาพ 3 มิติ ซึ่งแสดงให้เห็นภาพที่ชัดเจนกว่าการสำรวจแบบ 1 หรือ 2 มิติ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในเบื้องต้น

ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษาคือ การแสดงให้เห็นถึงลักษณะทางธรณีวิทยาและขนาดของบ่อน้ำพุร้อนในรูปแบบของภาพ 3 มิติ ซึ่งหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาพื้นที่บริเวณดังกล่าว สามารถอ้างอิงผลการศึกษานี้เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนการของบประมาณ การลงทุนจากภาครัฐหรือเอกชนที่จะตัดสินใจให้ทุนสนับสนุนโครงการ วัตถุประสงค์การปรับปรุงแหล่งน้ำพุร้อนนี้เป็นสถานที่ท่องเที่ยวแห่งใหม่ของจังหวัดสุพรรณบุรี ซึ่งจะส่งผลให้เกิดประโยชน์โดยรวมแก่ชุมชนและสังคมที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ได้อีกในอนาคต

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัย สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ขั้นตอน อธิบายได้ดังนี้

1. ศึกษารวบรวมข้อมูล

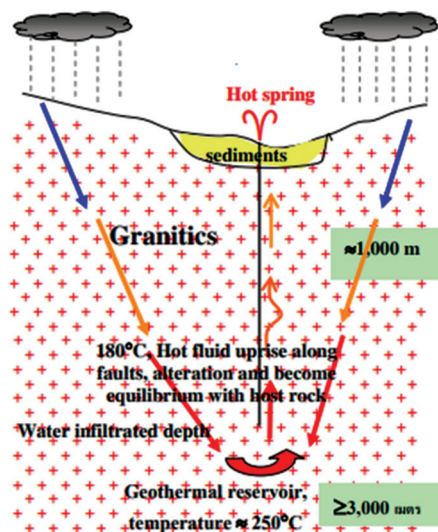
ผู้เขียนได้ทำการศึกษารวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ได้แก่ ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ ธรณีวิทยา ที่จำเป็นในการวางแผนการปฏิบัติการสำรวจภาคสนาม การจำลองผลการสำรวจและการวิเคราะห์ผลย้อนกลับเพื่อสร้างแบบจำลองทางธรณีวิทยาของพื้นที่ทำการสำรวจ ตลอดจนเป็นการวางแผนและป้องกันเมื่อเกิดปัญหาและผลกระทบต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ในภาคสนาม ขั้นตอนการศึกษารวบรวมข้อมูลนี้จะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งในสำนักงานและลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลในสถานที่ซึ่งทำการสำรวจศึกษาจริง

2. สร้างแบบจำลองเพื่อการสำรวจ

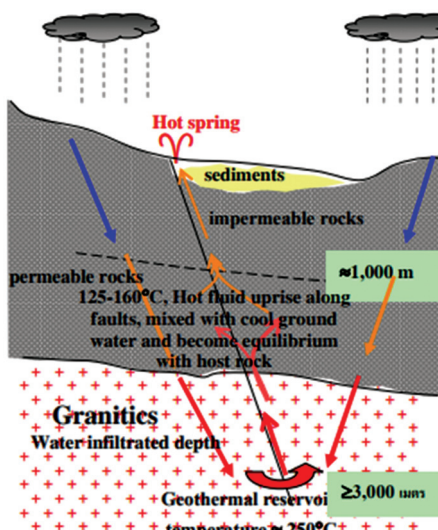
2.1 การจำลองผลการสำรวจ

วิธีการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์เป็นการศึกษาในความแตกต่างของคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุต่าง ๆ ใต้ดิน โดยการวัดค่าด้วยเทคนิคต่าง ๆ ที่บนผิวดิน การจำลองผลการสำรวจโดยทั่วไปจะทำการสร้างแบบจำลองทางธรณีวิทยาลายรูปแบบ แล้วทำการคำนวณหาค่าตัวแปรของแบบจำลองตามหลักทฤษฎีและผลที่ได้จากการจำลองผลการสำรวจนี้จะเป็นประโยชน์ในการออกแบบคุณลักษณะต่าง ๆ ในการสำรวจภาคสนามเพื่อให้ได้ผลการสำรวจที่ดีที่สุด [13] สำหรับการจำลองผลการสำรวจ (Forward Analysis) ที่ใช้วิธีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าโดยการจำลองผลการสำรวจจะต้องสร้างแบบจำลองทางธรณีวิทยาของพื้นที่ที่ต้องการศึกษาที่มีค่าตัวแปรเป็นค่าความต้านทานไฟฟ้าของดินและหินชนิดต่าง ๆ ตลอดจนรูปแบบการวางขั้วไฟฟ้า

เมื่อปี ค.ศ. 2008 Raksaskulwong, M. [14] ได้นำเสนอแบบจำลองทางธรณีวิทยา แสดงให้เห็นถึงประเภทของแหล่งกำเนิดความร้อนใต้พิภพและการไหลเวียนของน้ำพุร้อน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ 1 น้ำร้อนไหลขึ้นตามรอยเลื่อนของชั้นหิน (รูปที่ 1 (ก)) และประเภทที่ 2 น้ำบาดาลผสมกับน้ำร้อนและเกิดการปรับสภาพสมดุลย์ทางเคมี (รูปที่ 1 (ข)) การจำลองผลการสำรวจ (Simulation/Forward Analysis) ได้ทำการกำหนดค่าความต้านทานไฟฟ้าของแต่ละชนิดของวัสดุที่อยู่ในแบบจำลองของ Raksaskulwong, M. [14] โดยค่าตัวแปรความต้านทานไฟฟ้าของวัตถุทางธรณีวิทยา เพื่อใช้ในการจำลองผลการสำรวจแสดงไว้ในตารางที่ 1 [15]



(ก) แบบจำลองน้ำพุร้อน ประเภทที่ 1 กรณีน้ำร้อนไหลขึ้นตามรอยเลื่อนของชั้นหิน



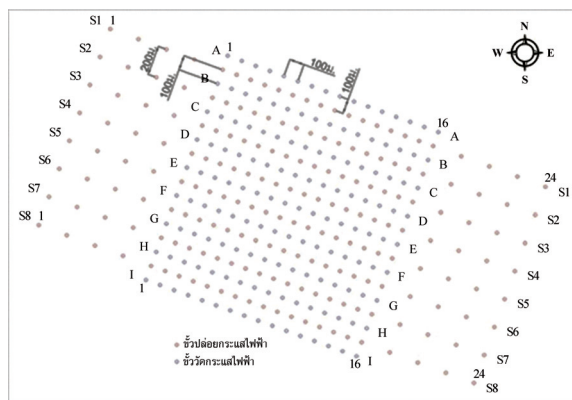
(ข) แบบจำลองน้ำพุร้อน ประเภทที่ 2 กรณีน้ำบาดาลผสมกับน้ำร้อนและเกิดการปรับสภาพสมดุลย์ทางเคมี
รูปที่ 1 แบบจำลองทางธรณีวิทยาของน้ำพุร้อนที่พบได้ในประเทศไทย [14]

ตารางที่ 1 ค่าตัวแปรความต้านทานไฟฟ้าของวัตถุทางธรณีวิทยาเพื่อใช้ในการจำลองผลการสำรวจ [15]

วัสดุ	ค่าความต้านทานไฟฟ้า ($\Omega.m$)
หินอัคนี	2,500
หินเนื้อดิน	1,500
ดิน/ตะกอนดิน	75
น้ำร้อน	10
รอยเลื่อน/หินผุ	500

2.2 การประมวลผลย้อนกลับ

การประมวลผลย้อนกลับหรือ Inverse Analysis เป็นการประมวลผลในทิศทางตรงข้ามกับการจำลองผลการสำรวจ โดยจะทำการคำนวณค่าคุณสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ ที่วัดได้ในภาคสนามให้ย้อนกลับมาเป็นแบบจำลองทางธรณีวิทยา ดังนั้นการศึกษาแบบจำลองเพื่อการสำรวจครั้งนี้จะทำการสร้างแบบจำลองที่ครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการศึกษาขนาด 1.60×1.60 ตารางกิโลเมตร โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 100 เมตร และระยะห่างของแนวขั้ววัดไฟฟ้า 200 เมตร ตามแผนผังของการติดตั้งขั้วไฟฟ้าในสนาม ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนผังของการติดตั้งขั้วไฟฟ้าในสนาม

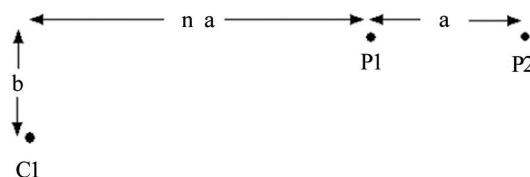
สำหรับรูปแบบการวางขั้วไฟฟ้าแบบ Offset Pole - Dipole ที่ออกแบบโดย White, R. et al. [11] เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพใช้ในการวัดค่าการสำรวจแบบ 3 มิติ (รูปที่ 3) โดย P1 และ P2 เป็นขั้ววัดไฟฟ้า C1 เป็นขั้วปล่อยกระแสไฟฟ้า โดยค่าความลึกในการสำรวจจะขึ้นอยู่กับระยะห่างของแท่งปล่อยและวัดกระแสไฟฟ้า (b และ na) ด้วยรูปแบบการวางขั้วไฟฟ้าแบบ Offset Pole - Dipole มีข้อดีหลายประการ อาทิเช่น ในระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่เท่ากัน การวางขั้วไฟฟ้าแบบนี้ให้สัญญาณที่ดีกว่าและให้ความลึกในการสำรวจสูงกว่ารูปแบบการวางขั้วแบบอื่น ๆ

3. สำรวจภาคสนาม

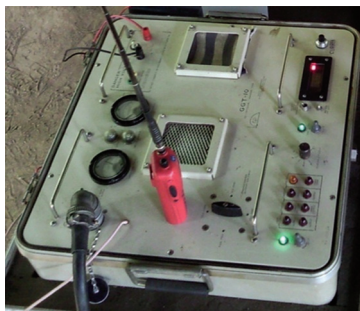
การสำรวจภาคสนาม ตามแผนผังของการติดตั้งขั้วไฟฟ้าในสนาม (รูปที่ 2) ประกอบด้วยจุดปล่อยกระแสไฟฟ้าทั้งหมด 8 แนว ซึ่งระยะห่างได้มีการปรับให้สะดวกในการสำรวจเพื่อหลีกเลี่ยงพื้นที่อุปสรรค โดยจุดปล่อยกระแสไฟฟ้าจะถูกต่อเข้ากับเครื่องส่งกระแสไฟฟ้า Zonge GTT-10 ดังรูปที่ 4 (ก)

และจุดวัดกระแสไฟฟ้า จำนวน 9 แนว ซึ่งจะวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าด้วยเครื่อง Resistivity Receiver (Scintrex IPR-12) ดังรูปที่ 4 (ข) ทั้งนี้แนวจุดปล่อยกระแสไฟฟ้ากำหนดให้ครอบคลุมพื้นที่การสำรวจ ขนาด 2.56 ตารางกิโลเมตร

การสำรวจเริ่มด้วยการปักหมุดกำหนดตำแหน่งของจุดปล่อยกระแสไฟฟ้าและจุดวัดกระแสไฟฟ้าด้วยเครื่องมือ RTK GPS แล้วดำเนินการติดตั้งขั้ววัดไฟฟ้า (Non-Polarized Electrode) และติดตั้งแท่งเหล็กที่เป็นขั้วปล่อยกระแสไฟฟ้าในสนาม อย่างไรก็ตาม เนื่องจากพื้นที่ในการสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลมีขนาดใหญ่และเป็นเขตชุมชน ทำให้เป็นอุปสรรคขวางกั้นแนวการสำรวจ ดังนั้นตำแหน่งจริงที่ทำการติดตั้งขั้วไฟฟ้า ได้มีการปรับเปลี่ยนตามความเหมาะสมในภาคสนาม โดยยึดหลักความปลอดภัยและความถูกต้องของข้อมูลเป็นอันดับแรก



รูปที่ 3 รูปแบบการวางขั้วไฟฟ้าในสนามแบบ Offset Pole-Dipole



(ก) เครื่องปล่อยกระแสไฟฟ้า Zonge GTT-10 (ข) เครื่องวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า Scintrex IPR-12

รูปที่ 4 อุปกรณ์วัดค่าความต้านทานไฟฟ้าในสนามทดสอบ

4. การประมวลผลการสำรวจ

ค่าความต่างศักย์และค่ากระแสไฟฟ้าตลอดจนค่าพิกัด GPS ที่ได้จากการเก็บข้อมูลในภาคสนาม จะถูกตรวจสอบอีกครั้งก่อนการประมวลผลการสำรวจ เมื่อทำการตรวจสอบข้อมูลต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว จะนำข้อมูลมาแปลงย้อนกลับหารูปลักษณะทางธรณีวิทยา (Invert Model) ในขั้นตอนนี้จะต้องเตรียมข้อมูลให้เป็นไปตามรูปแบบที่โปรแกรมประมวลผลได้กำหนดรูปแบบไว้ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าเสมือน (Apparent Resistivity) คำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ (1)

$$\rho = 2\pi aR \quad (1)$$

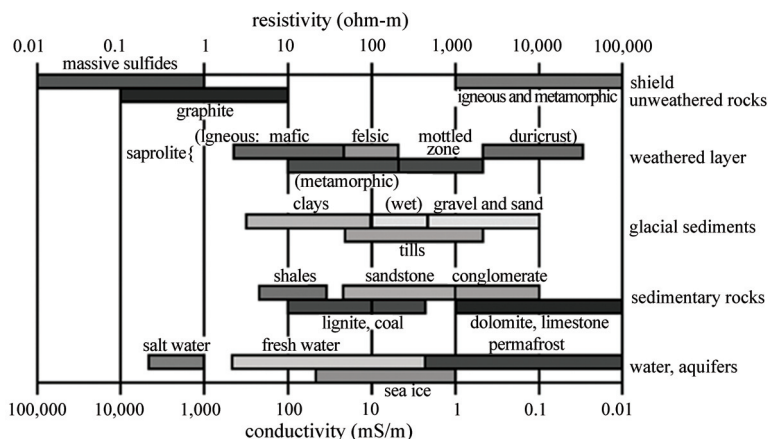
เมื่อ

- ρ คือ ความต้านทานไฟฟ้าเสมือน (Apparent Resistivity)
 a คือ ระยะห่างขั้วไฟฟ้า (Electrode Spacing)
 R คือ ค่าความต้านทาน (Resistance Value)

5. สร้างแบบจำลองค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 3 มิติ

ค่าที่ได้จากการสำรวจจะถูกนำมาประมวลผลด้วยโปรแกรม RES3DINV [5] เสร็จแล้วจะได้ค่าความต้านทานไฟฟ้าของตำแหน่งและระดับความลึกต่าง ๆ ที่สามารถนำไปแสดงผลด้วยโปรแกรมที่ใช้สร้างแบบจำลอง 3 มิติ เมื่อข้อมูลที่ได้รับการประมวลผลถูกแสดงในโปรแกรมสร้างแบบจำลองแล้ว ผลลัพธ์คือแบบจำลองของค่าความต้านทานไฟฟ้าเสมือน (Apparent Resistivity) แบบ 3 มิติ

จากแบบจำลองข้างต้น สามารถแปลความหมายผลการสำรวจจากรูป 3 มิติ โดยใช้หลักการแปลความหมายด้วยสีที่แสดงถึงค่าความต้านทานไฟฟ้า เช่นเดียวกับการสำรวจแบบ 2 มิติ [16] การแสดงผลด้วยสีที่มีความแตกต่างกันนั้นจะสามารถจำแนกสภาพทางธรณีวิทยาของจุดที่ทำการสำรวจได้โดยใช้คุณสมบัติความต้านทานไฟฟ้าที่แตกต่างกันของวัสดุทางธรณีวิทยาแต่ละชนิด กำหนดโดย Palacky, G. J. [15] ดังรูปที่ 5 ดังนั้น การสร้างแบบจำลองค่าความต้านทานไฟฟ้าในแต่ละช่วงของข้อมูลที่สอดคล้องกับค่าความต้านทานไฟฟ้าของกลุ่มวัสดุใต้ดิน จึงมีความสำคัญต่อการแปลผลข้อมูล



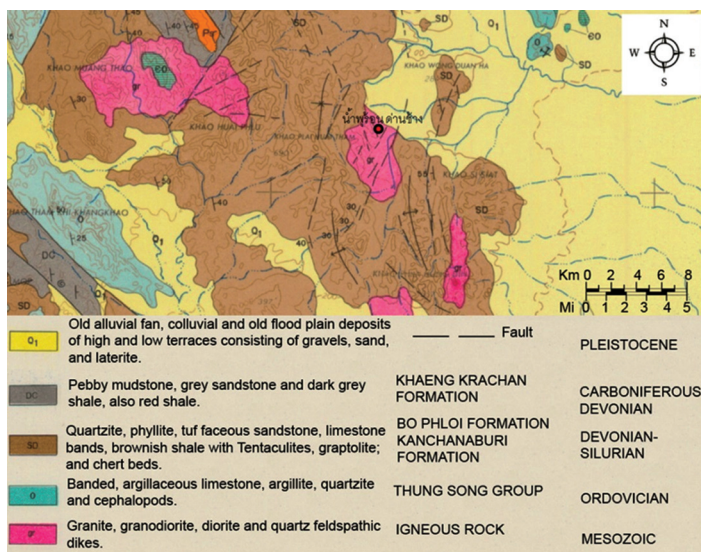
รูปที่ 5 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุทางธรณีวิทยา [15]

ผลการศึกษา

1. การศึกษารวบรวมข้อมูลและสำรวจจากสนามเบื้องต้น

จากการศึกษาข้อมูลพื้นฐานด้านการเกษตรของประชากรในพื้นที่พบว่า อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี ตั้งอยู่บนฝั่งตะวันตกของแม่น้ำท่าจีน ในส่วนที่เป็นพื้นที่ดอน แห้งแล้ง และพื้นที่ภูเขา ประชาชนในอำเภอด่านช้าง ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมและอาชีพที่เกี่ยวข้องกับการเกษตรด้านต่าง ๆ สำหรับลักษณะทางธรณีวิทยา น้ำพุร้อนแห่งนี้อยู่บนพนังของควอตซ์และเฟลสปาร์ ที่มีดินตะกอน

ปิดทับด้านบน อันเกิดจากการกัดเซาะผุพังของหินในบริเวณนั้นและสะสมตัวอยู่ในบริเวณเชิงเขาไม่ไกลจากตัวภูเขาซึ่งตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกของน้ำพุร้อนมากนัก จัดเป็นตะกอนยุคควอเทอร์นารีซึ่งประกอบไปด้วยทรายหยาบปนกรวดสลับกับทรายเป็นชั้นหนา การเรียกชื่อกลุ่มตะกอนเรียกตามลักษณะสัณฐานธรณีวิทยาที่สะสมตัว เช่น ตะกอนเศษหินเชิงเขา (Colluvium) บริเวณโดยรอบพื้นที่น้ำพุร้อนประกอบไปด้วย หินแกรนิต แกรโนไดโอไรต์ ไดโอไรต์ พนังแร่ควอทซ์และเฟลสปาร์ทิโอไคร์ ยุคเมโสโซอิก (Mesozoic) ที่สามารถพบได้ง่ายบริเวณเนินเขาทางด้านทิศตะวันตกและตะวันออกเฉียงใต้ของบ่อน้ำพุร้อน [17]



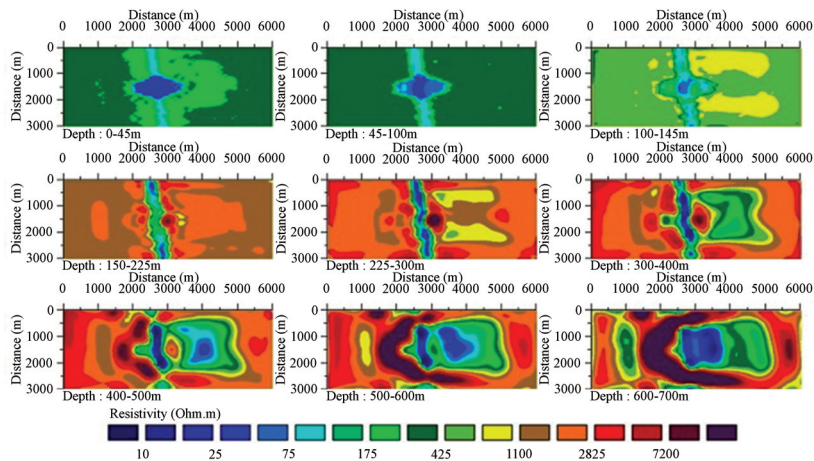
รูปที่ 6 แผนที่ธรณีวิทยาของแหล่งที่ตั้งน้ำพุร้อน อำเภอคำชะอี จังหวัดสุพรรณบุรี [17]

จากรูปที่ 6 แสดงแผนที่ทางธรณีวิทยาและตำแหน่งที่ตั้งของน้ำพุร้อน บ้านน้ำพุร้อน หมู่ 5 ตำบลคำชะอี อำเภอคำชะอี จังหวัดสุพรรณบุรี บนแผนที่ธรณีวิทยา จะพบว่าน้ำพุร้อนนั้นอยู่ในบริเวณที่เป็นหินแกรนิตและแนวสำรวจโดยส่วนใหญ่จะอยู่บนพื้นที่หินแกรนิต อีกทั้งยังมีแนวรอยเลื่อนบนพื้นที่การสำรวจจำนวน 4 ถึง 5 แนวรอยเลื่อน

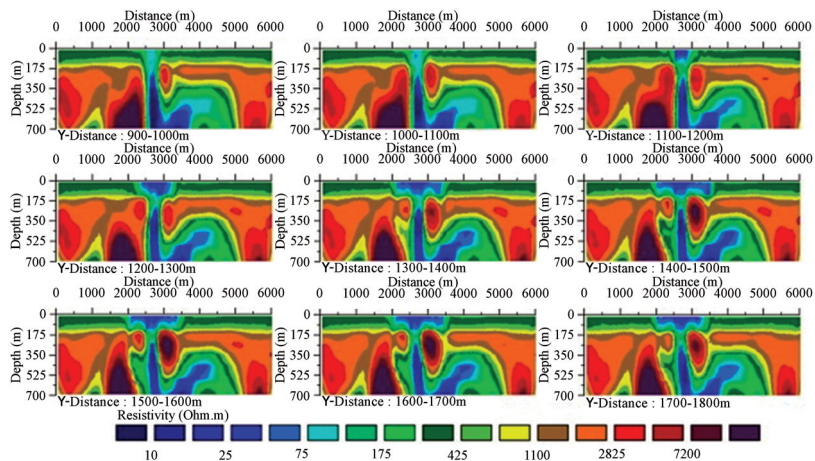
2. การจำลองการสำรวจ

ผลการจำลองแบบ 3 มิติ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 7 สามารถแสดงให้เห็นถึงภาพตัดแนวราบ (Horizontal Section) และแนวตั้ง (Vertical Section) ของบ่อน้ำพุร้อน ซึ่งแนวการไหลของน้ำพุร้อนจะมีค่าความต้านทานไฟฟ้า 10 - 25 โอห์ม-เมตร ตามที่ได้กำหนดไว้ในแบบจำลอง และค่าตัวแปรความต้านทานไฟฟ้าของวัตถุทางธรณีวิทยาเพื่อใช้ในการจำลองผลการสำรวจ ดังตารางที่ 1

การจำลองการสำรวจที่ได้จัดทำขึ้นนั้น สามารถทราบได้ถึงลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่เป็นไปได้ถึงแหล่งน้ำพุร้อนใต้ดินและการแสดงผลลัพธ์ที่เป็นประโยชน์ในขั้นตอนการวางแผนการสำรวจก่อนการสำรวจจริงในภาคสนาม

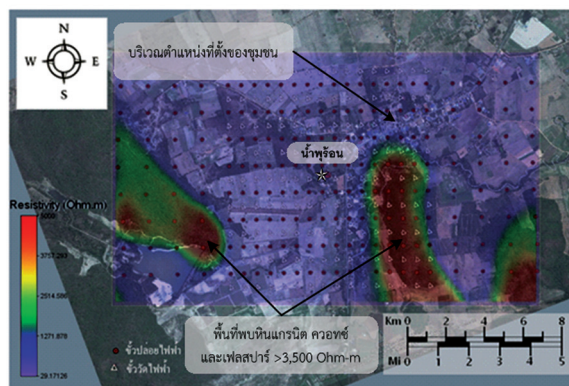


(ก) ภาพตัดแนวขวางของแบบจำลองน้ำพุร้อน



(ข) ภาพตัดแนวตั้งของแบบจำลองน้ำพุร้อน

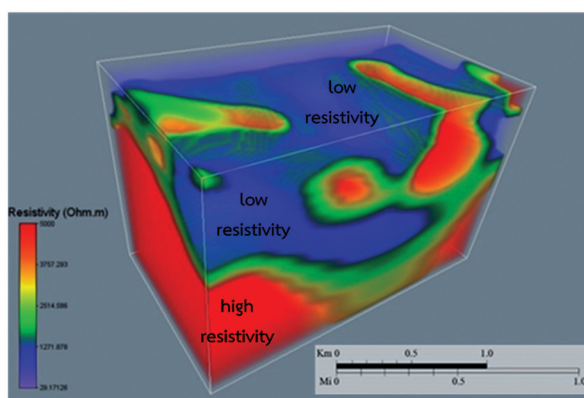
รูปที่ 7 ภาพตัดแนวขวางและแนวตั้ง แบบจำลองน้ำพุร้อน ประเภทที่ 2 จากภาพ 3 มิติ



รูปที่ 8 ผลการสำรวจความต้านทานไฟฟ้าประกอบกับภาพถ่ายดาวเทียม

อภิปรายผลการศึกษา

จากรูปที่ 8 แสดงผลการสำรวจความต้านทานไฟฟ้าประกอบกับภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งเป็นภาพเชิงซ้อนที่แสดงให้เห็นถึงตำแหน่งของชุมชนจากภาพถ่ายทางอากาศกับแผนที่ความต้านทานไฟฟ้าที่สำรวจได้ เมื่อเปรียบเทียบแผนที่ความต้านทานไฟฟ้ากับแผนที่ทางธรณีวิทยาจะพบว่าบริเวณพื้นที่เป็นเนินเขา คือ จุดที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าที่สูงมากกว่า 3,500 โอห์ม-เมตร (พิจารณาร่วมกับตารางที่ 1 และรูปที่ 6) แสดงให้เห็นถึงแนวหินแกรนิต พงันแร่ควอทซ์และเฟลสปาร์ [17] สำหรับตอนกลางของพื้นที่ พบค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ต่ำกว่า คือมีค่าอยู่ระหว่าง 30 - 500 โอห์ม-เมตร ซึ่งแสดงให้เห็นถึงแนวการไหลซึมของน้ำใต้ดินสู่ผิวดินในตำแหน่งที่ตั้งของบ่อน้ำพุร้อน อีกทั้งค่าความต้านทานไฟฟ้าง่ายยังสามารถแปลความหมายที่แสดงให้เห็นถึงตำแหน่งของดินตะกอนและรอยเลื่อนหรือชั้นหินผู้ได้อีกด้วย

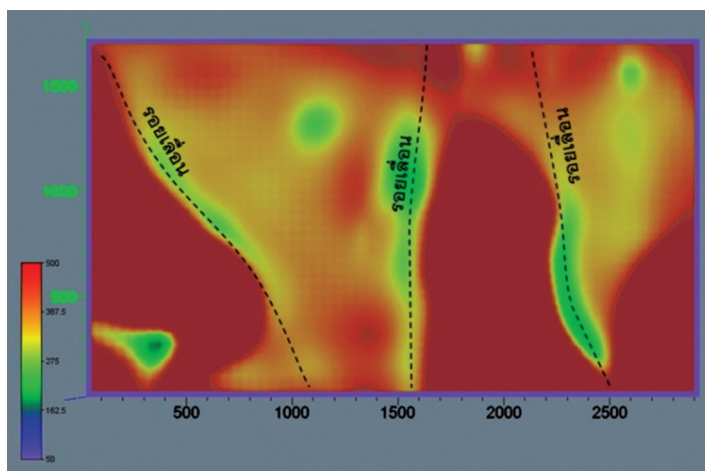


รูปที่ 9 แบบจำลองโครงสร้างทางธรณีวิทยาบ่อน้ำพุร้อนแบบ 3 มิติ

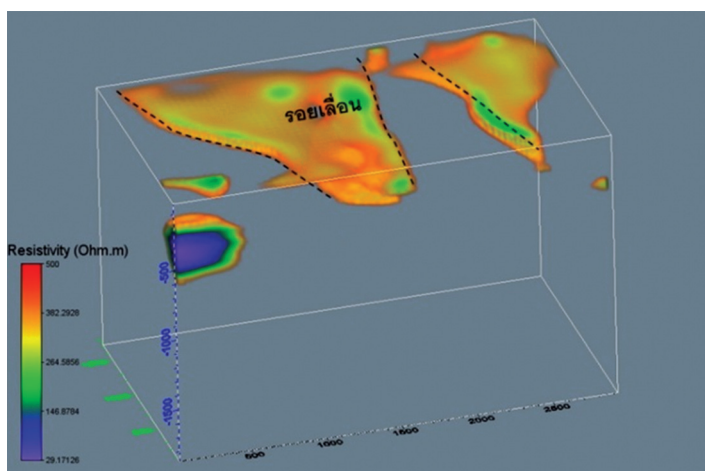
จากการแสดงผลค่าความต้านทานไฟฟ้าเสมือนในรูปแบบ 3 มิติ เพื่อสร้างแบบจำลองโครงสร้างทางธรณีวิทยา สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 9 ซึ่งเป็นรูปที่แสดงให้เห็นสภาพทางธรณีวิทยาได้ชัดเจนมากกว่าการแสดงผลแบบ 2 มิติ โดยพื้นที่สีน้ำเงิน คือบริเวณที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำ ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุที่ช่วยให้กระแสไฟฟ้าไหลเวียนได้ง่าย เช่น น้ำ เป็นต้น สำหรับพื้นที่สีแดง คือบริเวณที่มีความต้านทานไฟฟ้าสูง แสดงให้เห็นว่าเป็นตำแหน่งของหินหรือพงันแร่ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาเฉพาะในส่วนของการสำรวจที่มีความต้านทานไฟฟ้าไม่เกิน 500 โอห์ม-เมตร (ไม่แสดงผลตำแหน่งหิน) ณ ความลึก 50 เมตร สามารถแสดงให้เห็นถึงแนวรอยเลื่อนของชั้นหินเป็นแนว เหนือ - ใต้ พาดผ่านกลางพื้นที่สำรวจ น้ำพุร้อนจะแทรกอยู่ระหว่างแนวรอยเลื่อนของชั้นหินใต้ดิน ดังรูปที่ 10 และรูปที่ 11 ทั้งหมดนี้สอดคล้องกับแผนที่ธรณีวิทยาของแหล่งน้ำพุร้อน อำเภอคำชะอี จังหวัดสุพรรณบุรี ตามข้อมูลของกรมทรัพยากรธรณี [17] ดังแสดงในรูปที่ 6

รูปที่ 12 คือรูปตัดที่แสดงให้เห็นถึงลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาโดยรวมของบ่อน้ำพุร้อน เช่น มุมมองทิศตะวันตกเฉียงใต้ (W-S) และมุมมองทิศตะวันออกเฉียงใต้ (E-S) ซึ่งทำให้ผู้สนใจศึกษาสามารถเข้าใจและมองเห็นลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาได้ชัดเจนมากขึ้น

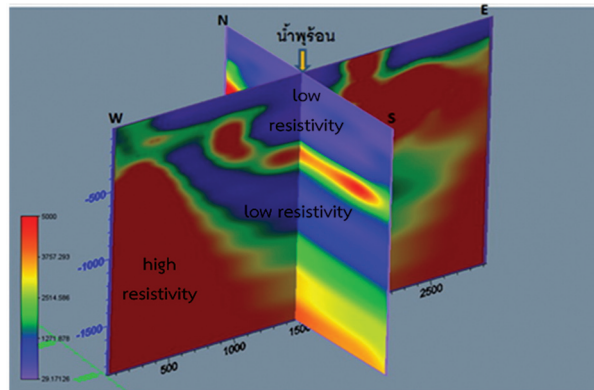
ทิศทางการไหลของน้ำพุร้อนแสดงให้เห็นได้จากรูปตัดในรูปที่ 13 จุดที่แสดงตำแหน่งของน้ำพุร้อนและรอยเลื่อนของชั้นหินใต้ดิน ซึ่งสมมติฐานได้ว่าลักษณะน้ำพุร้อนคานข้างเกิดขึ้นจากแหล่งความร้อนที่อยู่ลึกในระดับที่มากกว่า 2,000 เมตร โดยเกิดขึ้นจากน้ำใต้ดินจะไหลลงไปตามแนวรอยเลื่อนและรอยแตกของชั้นหิน เมื่อได้รับพลังงานความร้อนจากแหล่งพลังงานความร้อนด้านใต้แล้วน้ำร้อนจึงไหลย้อนกลับขึ้นมาตามแนวรอยเลื่อนและรอยแตกของชั้นหินเพื่อไหลเก็บกักสะสมในชั้นน้ำใต้ดินที่อยู่ในระดับความลึกประมาณ 1,250 เมตร แล้วค่อย ๆ ไหลซึมขึ้นมาบนผิวดิน



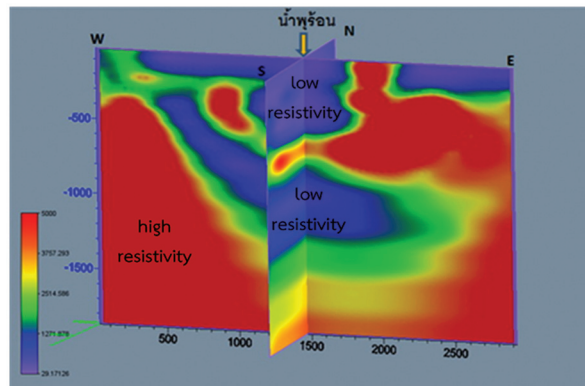
รูปที่ 10 รูปตัดที่ความลึก 50 เมตร จำกัการแสดงผลความต้านทานไฟฟ้าไม่เกิน 500 โอห์ม-เมตร



รูปที่ 11 แบบจำลองโครงสร้างทางธรณีวิทยา 3 มิติ จำกัการแสดงผลความต้านทานไฟฟ้าไม่เกิน 500 โอห์ม-เมตร

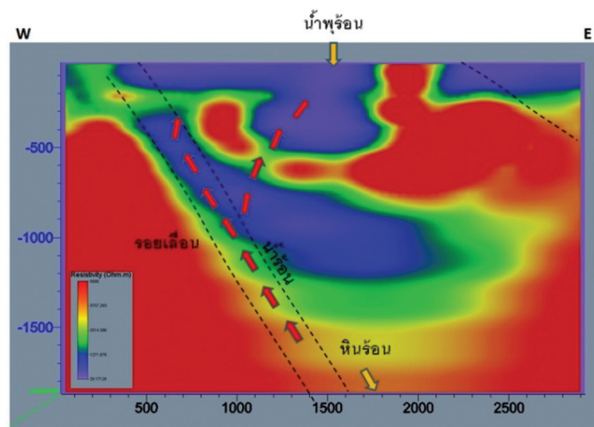


(ก) มุมมองทิศตะวันตกเฉียงใต้ (W - S)



(ข) มุมมองทิศตะวันออกเฉียงใต้ (E - S)

รูปที่ 12 รูปตัดแสดงลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาของน้ำพุร้อน



รูปที่ 13 รูปตัดแสดงทิศทางการไหลของน้ำพุร้อน

สรุปผลการศึกษา

ลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาของน้ำพุร้อน อำเภอด่านช้าง มีลักษณะสอดคล้องกับแบบจำลองน้ำพุร้อนประเภทที่ 2 ดังรูปที่ 1 (ข) โดยเกิดขึ้นจากน้ำฝนและน้ำผิวดิน ไหลลงสู่ใต้ดินผ่านรอยเลื่อน รอยแตก และรูพรุนของหิน จนถึงความลึกระดับหนึ่ง หลังจากได้รับการถ่ายเทความร้อนจากแหล่งพลังงานใต้พิภพ จนกลายเป็นน้ำร้อนแล้ว จากการกักตัวของชั้นหินหรือผนังแร่ น้ำร้อนดังกล่าวจะไหลกลับขึ้นสู่ผิวดิน ด้วยแรงดันสูง ไหลผ่านตามรอยเลื่อน รอยแตกของหิน เมื่อผสมกับน้ำใต้ดินซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า เกิดเป็นน้ำพุร้อนหรือบ่อน้ำอุ่น ดังนั้นอุณหภูมิของน้ำพุร้อนชนิดนี้จึงไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส แหล่งน้ำพุร้อนแห่งนี้มีศักยภาพที่สามารถพัฒนาไปใช้ในการท่องเที่ยวและการสร้างห้องอบแห้งเพื่อประโยชน์ในด้านการเกษตร ตลอดจนการพัฒนาเป็นแหล่งสันตนาการและการท่องเที่ยวได้ในอนาคต ทั้งนี้ การขออนุมัติงบประมาณจากทางราชการหรือการสนับสนุนเงินลงทุนจากภาคเอกชนเพื่อพัฒนาแหล่งทรัพยากรธรรมชาติให้เป็นสถานที่ท่องเที่ยวนั้น หน่วยงานที่รับผิดชอบจะต้องมีข้อมูลการสำรวจที่น่าเชื่อถือได้ การศึกษานี้เป็นข้อมูลทางวิชาการที่ช่วยสนับสนุนให้ผู้เกี่ยวข้องสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการจัดทำแผนงบประมาณได้

สำหรับปัญหาและข้อเสนอแนะนั้นพบว่า อุปสรรคของการสำรวจในพื้นที่กว้างมักเกิดปัญหากับประชาชนที่อยู่ในพื้นที่เสมอ เช่น การทำความเข้าใจกับประชาชนถึงวัตถุประสงค์ของการศึกษา การขออนุญาตเข้าไปในพื้นที่เขตพักอาศัย รวมทั้งพื้นที่ทำการเกษตรของประชาชนเพื่อวางสายนำสัญญาณ ตลอดจนการลดผลกระทบจากกิจกรรมการสำรวจต่อการใช้ชีวิตประจำวันของประชาชนในเขตพื้นที่ของการสำรวจ จากปัญหาที่กล่าวมาทั้งหมด ผู้ดำเนินการศึกษาได้ทำการแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการทำความเข้าใจและพูดคุยกับผู้นำชุมชน ตลอดจนการให้ข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ เมื่อมีข้อสงสัยและสอบถามจากประชาชนในพื้นที่จนกระทั่งสามารถทำงานได้สำเร็จครบถ้วนตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา

References

- [1] Pan-Aram, R. Wongwiset, P., Pimonsree, S., Zhang, M., and Pimonsree, S. (2010). Preliminary Assessment of Wind Energy Resource Over Thailand. **KMUTT Research and Development Journal**. Vol. 33, No. 2, pp. 75-88 (in Thai)
- [2] Raksaskulwong, M. (1999). Geothermal Energy Development and Utilization in Thailand; in NEDO (ed.). **Proceedings of Asia Geothermal Symposium**. New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO). Tokyo, Japan. pp. 70-86
- [3] Department of Mineral Resources of Thailand. (2011). **Hot Springs Resources**. Access (10 May 2017). Available (<http://www.dmr.go.th>)
- [4] Badmus, B., Akinyemi, O., Olowofela, J., and Folarin, G. (2012). 3D Electrical Resistivity Tomography Survey for the Basement of the Abeokuta Terrain of Southwestern Nigeria. **Journal of the Geological Society of India**. Vol. 80, Issue 6, pp. 845-854. DOI: 10.1007/s12594-012-0213-x

- [5] Loke, M. H. (2014). **RES3DINV Program**. Access (30 July 2017). Available (<http://www.geoelectrical.com>)
- [6] Giao, P. H., Putthapiban, P., and Vichalai, C. (2007). Geophysical Investigation of Hot Spring sites in Kanchanaburi with Reference to Local Tourism Development. **GEOTHAI'07 International Conference on Geology of Thailand: Towards Sustainable Development and Sufficiency Economy**. pp. 104-108
- [7] Neawsuparp, K. Soisa, T., and Charusiri, P. (2010). Physical Characteristic of Pong-Kum Hot Spring, Chiang Mai, Thailand, Using Ground Geophysical Investigation. **Proceedings World Geothermal Congress 2010 Bali, Indonesia, 25-29 April 2010**. pp. 1-5
- [8] Suanburi, D. (2014). The Application of 3D Resistivity Measurements to Study Subsurface Geological Structure of Pong - Chang Hot Spring Situated at Ban Pongchang, Nongprue District, Kanchanaburi. **Proceedings of DMR Conference 2014. 9-10 September 2014, Bangkok, Thailand**. (in Thai)
- [9] Spencer, H. W., Kaewsomwang, P., Suvagonda, F., and Warapan, S. (2016). Fang Hot Springs Geothermal Area, Chiangmai Province, Northern Thailand. **Proceedings of Geological and Geophysical Exploration in 2014-2015**. The 11th Asian Geothermal Symposium 18-20 November, 2016, Chiangmai, Thailand.
- [10] Loke, M. H. (2010). **Tutorial: 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys**. Access (23 July 2017). Available (<http://www.geoelectrical.com>).
- [11] White, R., Collins, S., Denne, R., Hee, R., and Brown, P. (2001). A New Survey Design for 3D IP Inversion Modelling at Copper Hill. **Exploration Geophysics**. Vol. 32, No. 3-4, pp. 152-155
- [12] Loke, M. H. (2001). **RES3DMOD V2.13f Program**. Access (30 July 2017). Available (<http://www.geoelectrical.com>).
- [13] Zhdanov, M. S. (2002). **Geophysical Inverse Theory and Regularization Problems**. (1st Edition). Elsevier. New York. pp. 628-630
- [14] Raksaskulwong, M. (2008). Thailand Geothermal Energy: Development History and Current status. **Proceedings of the 8th Asian Geothermal Symposium**. Department of Mineral Resources of Thailand. pp. 39-46
- [15] Palacky, G. J. (1987). Resistivity Characteristics of Geologic Targets, in Nabighian, M.N., ed., Electromagnetic methods in applied geophysics theory: Tulsa, Okla., **Society of Exploration Geophysicists**. Vol. 1, pp. 53-129
- [16] Wiwattanachang, N., Vichalai, C., and Jantasuto, O. (2016). Dam Stability Analysis by Electrical Resistivity Imaging and Natural Electric Potential Technique. **RMUTI Journal Science and Technology**. Vol. 10, No. 1, pp. 35-48. (in Thai)
- [17] Department of Mineral Resources of Thailand. (2007). **Geological Map Suphan-Buri Province**. Access (25 July 2017). Available (www.dmr.goq.th)