# การประยุกต์วิธีการหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดิน เพื่อค้นหาแหล่งน้ำบาดาล

# APPLICATION OF THE ELECTRICAL RESISTIVITY DETERMINATION OF GROUND LAYER FOR THE GROUNDWATER SOURCES PREDICTION

ธนวัฒน์ รังสูงเนิน*

Thanawat Rangsungnoen

โปรแกรมวิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

Physics and General Science Program, Faculty of Science and Technology,

NakhonRatchasima Rajabhat University

*corresponding author e-mail: kruneng.kk@gmail.com

(Received: 3 March 2020; Revised: 24 June 2020; Accepted: 9 July 2020)

**บทคัดย่อ**

การศึกษาวิจัยการประยุกต์วิธีการหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินเพื่อหาแหล่งน้ำบาดาล มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการสำรวจและประเมินศักยภาพของจุดสำรวจ สำหรับการพัฒนาเป็นแหล่งน้ำบาดาลสำหรับชุมชน โดยการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ จากการนำวิธีการหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินมาทำการวัดและวิเคราะห์จุดสำรวจในพื้นที่หมู่บ้านโสกจานพัฒนา ตำบลมะเกลือเก่า อำเภอสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา จากนั้นนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับข้อมูลของบ่อน้ำบาดาลในพื้นที่ใกล้เคียง ผลจากข้อมูลทางกายภาพปรากฏว่าข้อมูลบริเวณจุดสำรวจ จำนวน 7 จุด พบว่า เป็นชั้นหินอุ้มน้ำซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลทางธรณีวิทยาเป็นชั้นหินชุดหมวดหินโคกกรวด นอกจากนี้ยังได้สำรวจทางธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีการหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ หยั่งลึก พบจุดที่มีแนวโน้มและมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นบ่อน้ำบาดาลได้ จำนวน 2 จุด คือ จุด A1 และ A3 โดยมีแนวโน้มที่จะพบน้ำบาดาลที่ระดับความลึก 34.65 และ 39.74 เมตร ตามลำดับ ส่วนจุดสำรวจ A5 มีแนวโน้มพบน้ำบาดาลที่ระดับความลึก 62.5 เมตร ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าบริเวณที่สำรวจมีโอกาสและแนวโน้มในการพบน้ำบาดาลในชั้นหินอุ้มน้ำชุดหินโคกกรวด มีปริมาณน้ำ 2 – 20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ที่ระดับความลึกระหว่าง 30 – 90 เมตร ซึ่งน้ำคุณภาพดี

**คำสำคัญ**: สภาพต้านทานไฟฟ้า แหล่งน้ำบาดาล การสำรวจทางธรณีฟิสิกส์

**Abstract**

The research on application of the electrical resistivity determination of ground layer for the groundwater sources prediction was conducted to survey, and assesses the potential of the exploration points on developing groundwater sources for the community. A geophysical exploration via electrical resistivity method was employed to measure and analyze the soil layers at the survey points at Sokchan Pattana village, Makluea Kao subdistrict, Sung Noen district, Nakhon Ratchasima Province. Experimental survey data were compared to the data of the groundwater wells at the nearby area. For the physical aspect, the result was shown that the data at the survey area of 7 points were aquifers that consistent with the geological data set of rocks Khok Kruat Formation. Geophysics aspect via exploration of a vertical electrical resistivity method, there were 2 points that seem to have potential of development for groundwater wells as: points A1 and A3. They could have groundwater at the depths of 34.65 and 39.74 meters, respectively. Whereas, the survey point A5 was likely to find groundwater at the depth of 62.5 meters. It can be concluded that the surveyed areas have opportunity and trend to find groundwater in aquifers of Khok Kruat Formation. The amount of water was at 2-20 cubic meters per hour at the depths between 30 and 90 meters with a good quality of water.

**Keywords:** Electrical resistivity, Groundwater sources, Exploration geophysics

## บทนำ

น้ำ นับว่าเป็นทรัพยากรที่สำคัญที่สุดต่อการดำรงชีวิต โลกของเรามีน้ำอยู่ประมาณ 3 ส่วน หรือ 75% ของพื้นผิวโลก (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2562) และน้ำจืดมีความสำคัญอย่างยิ่งกับพืชและสัตว์บนโลกรวมทั้งมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นทั้งในด้านอุปโภคและบริโภค ปัจจุบันทรัพยากรน้ำจืดมีปริมาณที่ลดน้อยลง เนื่องจากสภาวะอากาศที่เป็นผลมาจากปรากฏการณ์โลกร้อน ปรากฏการณ์เอลนิโญ ส่งผลให้ปริมาณน้ำฝนแต่ละปีไม่เพียงพอต่อการอุปโภคและบริโภค โดยภาคตะวันออกเฉียงเหนือหรือภาคอีสานของประเทศไทยได้รับผลกระทบจากปรากฏการณ์นี้ (ทองเปลว, 2562) ดังจะเห็นได้จากปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในรอบปีมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานหรือเกิดภาวะฝนแล้งอันเป็นภัยธรรมชาติรูปแบบหนึ่ง ส่งผลกระทบต่อวิถีชีวิตและการประกอบอาชีพของประชาชนในพื้นที่ ดังนั้นวิธีการแก้ไขปัญหาประการหนึ่ง คือ การสำรวจหาแหล่งน้ำทดแทนเพื่อป้องกันปัญหาการขาดแคลนน้ำ ซึ่งมีวิธีการโดยทั่วไปสองวิธี คือ การสำรวจบนผิวดินและ

การสำรวจใต้ผิวดิน (การประปาส่วนภูมิภาค, 2554) ซึ่งหมู่บ้านโสกจานพัฒนานับว่าเป็นหมู่บ้านแห่งหนึ่ง ซึ่งกำลังเผชิญกับปัญหาการขาดแคลนทรัพยากรน้ำ เนื่องจากหมู่บ้านมีสภาพทางธรณีวิทยาเป็นป่าไม้โปร่งสลับกับพื้นที่ทำการเกษตร ส่วนใหญ่ชาวบ้านในหมู่บ้านโสกจานพัฒนาประกอบอาชีพเกษตรกร ได้อาศัยน้ำในการอุปโภคบริโภคจากน้ำฝนเป็นหลัก ในแต่ละปีปริมาณน้ำฝนที่วัดได้แตกต่างกัน บางปีมีปริมาณน้ำฝนน้อยจนทำให้ไม่เพียงพอต่อการอุปโภคและบริโภค โดยเฉพาะในฤดูแล้ง

การแก้ไขปัญหาการขาดแคลนน้ำมีหลายระดับ การแก้ไขปัญหาระยะยาวประการหนึ่ง คือ การสำรวจหาแหล่งน้ำบาดาล โดยการสำรวจแหล่งน้ำบาดาลมีวิธีการที่หลากหลาย (กิตติชัย, 2526) วิธีการหนึ่ง คือ การสำรวจและพัฒนาแหล่งน้ำบาดาล อย่างไรก็ตามในปัจจุบันมีวิธีการสำรวจที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เป็นการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ในระดับผิวดิน คือ วิธีการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดิน (Electrical resistivity method) (Yoon, G.L. & Park, J.B., 2001) และวิธีการใช้คลื่นไหวสะเทือน (Seismic method) โดยทั้งสองวิธีนี้มีความแตกต่างในด้านความแม่นยำ แต่ทั้งสองวิธีนั้นเสริมความถูกต้องซึ่งกันและกัน

การสำรวจแหล่งน้ำบาดาลด้วยวิธีทางธรณีฟิสิกส์ เป็นงานพื้นฐานที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับงานวิชาการน้ำบาดาลด้านต่างๆ ได้แก่ การสำรวจเพื่อกำหนดตำแหน่งจุดเจาะบ่อน้ำบาดาล การสำรวจเพื่อจัดทำแผนที่อุทกธรณีวิทยาและแผนที่น้ำบาดาล เป็นต้น วิธีการสำรวจวัดค่าทางฟิสิกส์เพื่อหาค่าคุณสมบัติทางกายภาพของชั้นดินและชั้นหิน คุณภาพน้ำ ปริมาณน้ำ ความลึก และความหนาของชั้นน้ำ (ปรียาพร, 2555) การสำรวจน้ำบาดาลด้วยวิธีวัดความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (Electrical resistivity) เป็นการตรวจวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่มีความต้านทานแตกต่างกัน นำมาแปลความหมายสภาพโครงสร้างทางธรณีวิทยา ชนิดของหิน ขนาดของช่องว่างอนุภาคของดิน ความชื้น และคุณภาพของน้ำ เป็นต้น (เพียงตา และสาคร, 2554) โดยหลักการตรวจวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของกรวด ตะกอน หรือทราย ที่นักธรณีวิทยาทราบว่ามีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นของชั้นตะกอนนั้นๆ โดยเฉพาะชั้นหินอุ้มน้ำจะมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำ ประมาณมีค่าต่ำกว่า 150 โอห์มเมตร (สมยศ, 2538) โดยค่าความต้านทานไฟฟ้าของวัตถุใดๆ เรียกว่าค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (Resistivity: $\rho$ ) จะเป็นส่วนกลับกับค่าความนำไฟฟ้า

ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของวัตถุใดๆ หมายถึง ความต้านทานไฟฟ้า (R) ของวัตถุนั้นต่อหน่วยความยาว (L) เมื่อวัตถุนั้นมีพื้นที่หน้าตัดหนึ่งตารางหน่วย (A) เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตามความยาว ดังสมการที่ 1

$$\rho = \frac{RA}{L} \quad (1)$$

ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของชั้นหินจะแตกต่างกันจะขึ้นอยู่กับชนิดของหิน ความหนาแน่น ความพรุน ขนาดและรูปร่างของช่องว่าง ปริมาณและคุณภาพของน้ำ และอุณหภูมิ โดยปริมาณที่ทำให้ทราบเป็นผลมาจากการใช้เครื่องมือวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า ซึ่งเป็นวิธีการวัดในแนวดิ่งหรือความลึกของชั้นดิน-หิน (ศุภกร และคณะ, 2549) แต่เนื่องจากหินมีช่องว่าง ซึ่งมีน้ำและสารละลายกักเก็บอยู่ ลักษณะเช่นนี้อาจเป็นเพียงบางส่วนหรือมีการอิ่มตัวทั้งหมด น้ำหรือสารละลายเหล่านี้จึงเป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าให้สามารถไหลผ่านในชั้นดิน-หินได้ ดังนั้นความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะซึ่งเป็นส่วนกลับของการนำไฟฟ้าจำเพาะจึงขึ้นอยู่กับตัวแปรหรือปัจจัยที่สำคัญ 2 ประการ คือ ประการแรก การนำไฟฟ้าของน้ำหรือสารละลายที่แทรกอยู่ ขึ้นอยู่กับปริมาณแร่ธาตุที่ละลายอยู่หรือขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำ ประการที่สอง ปริมาณของสารละลายที่แทรกอยู่ในช่องว่างจะขึ้นอยู่กับค่าความพรุนตลอดจนสภาวะที่หินนั้นอยู่ (เพียงตา และคณะ, 2545) อย่างไรก็ตามหากสภาพใต้ดินบริเวณที่สำรวจไม่มีความแตกต่างของคุณสมบัติทางกายภาพด้านไฟฟ้าก็ไม่สามารถประยุกต์การสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าได้

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีการหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดิน เนื่องจากเป็นวิธีการสำรวจที่เหมาะสมและสอดคล้องกับข้อมูลทางฟิสิกส์ของบ่อบาดาลใกล้เคียง ข้อดีของการเลือกใช้วิธีการหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินนี้ คือ ข้อมูลที่ต้องการไม่มีความจำเป็นต้องใช้ข้อมูลในระดับที่ลึกจากผิวดินมาก ดังนั้นการเลือกใช้วิธีการนี้จึงเหมาะต่อการนำมาประยุกต์ใช้ในการสำรวจจุดที่เหมาะต่อการพัฒนาเป็นบ่อน้ำบาดาลในกับชุมชน แตกต่างจากการเลือกวัดสำรวจธรณีฟิสิกส์ใต้ผิวดินที่มีความจำเป็นต้องขุดหลุมเจาะเพื่อวัดค่าสภาพทางไฟฟ้าใต้ผิวดิน ซึ่งมีราคาแพงและต้องใช้ระยะเวลานาน ด้วยเหตุผลและปัจจัยดังกล่าวข้างต้น ทำให้ความสามารถในการพบปริมาณและคุณภาพของน้ำแต่ละแหล่งมีความแตกต่างกัน หากชั้นดินบริเวณใดที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ามาก แสดงว่าชั้นดินบริเวณนั้นมีอัตราการอุ้มน้ำของดินมีค่าต่ำหรือชั้นดินบริเวณใดมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าน้อย แสดงว่าดินในบริเวณนั้นมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551) อย่างไรก็ตามจากการศึกษาข้อมูลทางธรณีวิทยาเบื้องต้นของหมู่บ้านโลกจานพัฒนา พบว่า มีสภาพทางธรณีวิทยาเป็นหินทราย หินทรายแป้งสีน้ำตาลแกมแดง มีหินกรวดมนเนื้อปูนแทรก (กรมทรัพยากรธรณี, 2553) ซึ่งข้อมูลจากรายงานการสำรวจของสำนักธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณีรายงานว่าเป็นชั้นดินในหมวดหินโคกกรวดมีระดับความลึกแปรเปลี่ยนอยู่ระหว่าง 437-700 เมตร โดยประมาณ (กรมทรัพยากรธรณี, 2554) การสำรวจธรณีฟิสิกส์โดยใช้วิธีการหาความต้านทานไฟฟ้าแบบหยั่งลึกในชั้นดิน – หินทราย จึงมีความเหมาะสมระดับร้อยละ 80 (Bian, 2019) เมื่อไปเปรียบเทียบกับบ่อน้ำบาดาลที่อยู่ห่างออกไปในพื้นที่ใกล้เคียงรัศมี 10 กิโลเมตร ซึ่งสำรวจและพัฒนาโดยกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ทำให้ผู้วิจัยเล็งเห็นว่าในพื้นที่หมู่บ้านโสกจานอาจมีแหล่งน้ำบาดาลในระดับใกล้เคียงกัน ดังนั้นการสำรวจหาแหล่ง

น้ำบาดาลโดยการเลือกใช้วิธีการหาค่าสภาพต้านไฟฟ้าของชั้นดิน เพื่อชี้จุดที่เหมาะสมในการขุดเจาะบ่อบาดาลเป็นแนวทางการแก้ปัญหาให้กับชาวบ้านและเกษตรกรวิธีหนึ่งสำหรับการนำน้ำบาดาลมาใช้ประโยชน์ในฤดูแล้ง เพื่อการอุปโภคและบริโภค รวมทั้งการใช้ในการเกษตรซึ่งเป็นอาชีพหลักของชาวบ้าน

## วิธีดำเนินการวิจัย

**1. การกำหนดพื้นที่สำรวจ**

พื้นที่ที่ทำการศึกษา คือ หมู่บ้านโสกจานพัฒนา ตำบลมะเกลือเก่า อำเภอสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา อยู่บริเวณที่สูงตอนกลางของจังหวัด มีความสูงจากระดับน้ำทะเล 200–250 เมตร ลักษณะพื้นที่เป็นที่ราบสลับลูกคลื่นลอนตื้น ทางทิศใต้เป็นที่ลาดไล่ระดับมาจากแนวเทือกเขาวะภูแก้ว ห่างจากเทือกเขาวะภูแก้วประมาณ 20 กิโลเมตร โดยบริเวณใกล้เคียงเป็นแนวเขาเตี้ย คือ เขาสามสิบส่าง อยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ ห่างจากพื้นที่ศึกษาประมาณ 3 กิโลเมตร พื้นดินชั้นบนเป็นดินทราย มีหินทราย หินทรายแป้ง สีน้ำตาลแกมแดง และสีน้ำตาลแกมม่วง พบหินกรวดมนเนื้อปูนแทรก ลักษณะหินทรายชุดนี้จัดอยู่ในหมวดหินโคกกรวด (กรมทรัพยากรธรณี, 2553) พื้นที่ทางทิศตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันตกของหมู่บ้าน ซึ่งเป็นพื้นที่เกษตรกรรมของชาวบ้านอาศัยน้ำฝนจากธรรมชาติ เนื่องจากไม่มีแหล่งน้ำกักเก็บ สำหรับลักษณะอุทกวิทยาทั่วไป พื้นที่ที่ศึกษาห่างไกลจากแหล่งน้ำธรรมชาติ มีเพียงบ่อน้ำที่ชาวบ้านขุดเอง ปริมาณน้ำฝนในแต่ละปีโดยเฉลี่ยของพื้นที่ศึกษาในช่วงเดือนมีนาคม – พฤษภาคม ในคาบรอบ 30 ปี อยู่ในช่วง 35–120 มิลลิเมตร (ปรเมศร์และเทวินทร์, 2557) ซึ่งงานวิจัยนี้ทำการศึกษาโดยมีระยะเวลาที่ดำเนินการเก็บข้อมูลในพื้นที่สำรวจ คือ ระหว่างเดือนมีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2561 สำหรับพื้นที่ในการสำรวจสำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกจุดสำรวจ จำนวน 8 จุด รวมจุดเปรียบเทียบ (Keywell) กำหนดให้เป็นจุด Keywell และ A1 – A7 ดังภาพที่ 1

**ภาพที่ 1** แผนผังแสดงจุดสำรวจเพื่อหาตำแหน่งน้ำบาดาลบริเวณบ้านโสกจานพัฒนา ตำบลมะเกลือเก่า อำเภอสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา

**2. วิธีการหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดิน**

การสำรวจหาแหล่งน้ำบาดาลในการวิจัยครั้งนี้ เป็นการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ โดยการปล่อยกระแสไฟฟ้าลงในดินด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอย่างช้าๆ และทำการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ สำหรับขั้นตอนในการวิจัย มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

**2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจ**

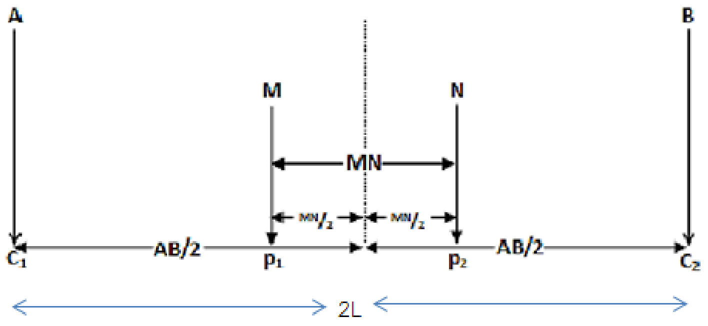
เครื่องมือวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบหยั่งลึก เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท OYO รุ่น McOHM / Mark-2 Model 2115A ผลิตในประเทศญี่ปุ่น และอุปกรณ์ในการหาตำแหน่งพิกัดภูมิศาสตร์ด้วยดาวเทียม (Golbal Positioning System: GPS) รุ่น eTrex Lagend ของบริษัท GERMIN รวมทั้งซอฟแวร์ (Software) ที่ใช้ในการประมวลผล คือ โปรแกรม IPI2WIN

**2.2 วิธีการสำรวจแหล่งน้ำบาดาล**

วางแผนการสำรวจเพื่อดำเนินการค้นหาแหล่งน้ำบาดาล โดยกำหนดจุดสำรวจทั้งหมด 7 จุด จุดเปรียบเทียบ จำนวน 1 จุด ซึ่งเป็นบ่อน้ำขุดเองของชาวบ้านห่างจากแนวจุดสำรวจไปทางทิศใต้ประมาณ 1 กิโลเมตร รวมทั้งนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลทางฟิสิกส์ของบ่อน้ำบาดาลในพื้นที่หมู่บ้านใกล้เคียง จำนวน 2 บ่อ ซึ่งดำเนินการขุดเจาะโดยกรมทรัพยากรน้ำบาดาล คือ บ่อน้ำบาดาลบ้านหนองไม้ตาย (รหัสบ่อน้ำ TS486) และบ่อน้ำบาดาลบ้านหนองม่วง ตำบลมะเกลือเก่า อำเภอสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา (รหัสบ่อน้ำ TS364) ซึ่งวิธีการวัดจะมีหลักขั้วไฟฟ้า 4 ขั้ว เชื่อมต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว จะทำหน้าที่เป็นขั้วจ่ายกระแสไฟฟ้า (Current electrodes) และอีก 2 ขั้ว จะทำหน้าที่เป็นขั้ววัดความต่างศักย์ไฟฟ้า (Potential electrodes) ขั้วไฟฟ้าทั้งสี่ขั้วจะนำไปปักลงพื้นดินในบริเวณที่ต้องการสำรวจ โดยลักษณะการวางหลักขั้วสำหรับงานวิจัยนี้ คือ วิธีการวางหลักขั้วแบบชลัมเบอร์เจร์ (Schlumberger configuration) ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ารุ่น OYO เชื่อมต่อกับแท่งหมุดโลหะ ซึ่งเป็นแท่งเหล็กที่ใช้ฝังลงพื้นดินเพื่อทำการนำกระแสไฟฟ้าลงสู่ใต้ดิน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ความยาว 70 เซนติเมตร จะใช้ทั้งหมด 4 แท่ง โดยจุดกึ่งกลางระหว่างขั้ว AB และ MN จะไม่มีการเคลื่อนย้าย ซึ่งเป็นการวางแนววัดเป็นรูปเส้นตรง (Linear array) วิธีการวางหลักขั้วจะกำหนดให้ระยะ L ระหว่างขั้วไฟฟ้า มีค่ามากๆ เมื่อเปรียบเทียบกับระยะ b ซึ่งเป็นระยะระหว่างขั้วความต่างศักย์ไฟฟ้า โดยระยะห่างน้อยที่สุดของ L ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 5 เท่าของระยะ b ($L \geq 5b$) กำหนดระยะห่างของขั้วไฟฟ้า AB/2 ให้ห่างกันโดยมีระยะ 1 1.5 2 3 5 7 10 15 20 25 30 35 40 45 50 60 70 80 90 100 110 125 135 150 160 175 185 และ 200 เมตร ตามลำดับ โดยจะทำการวัดที่ระยะต่างๆ เหมือนกันทุกจุด โดยทำการวัดซ้ำจำนวน 10 ครั้ง ในแต่ละจุด ดังภาพที่ 2 เมื่อทำการวางหลักขั้วไฟฟ้าแล้วจึงดำเนินการปล่อยความต่างศักย์ไฟฟ้า ขนาด 12 โวลต์ กระแสไฟฟ้าตรง ขนาด 10 แอมแปร์ ที่มีความถี่ต่ำลงดินอย่างช้าๆ (เพียงตา และคณะ,

2549) และทำการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะปรากฏ $(\rho_a)$ ดังสมการที่ 2

$$\rho_a = \frac{\pi\left(\frac{L}{2}\right)^2 - \left(\frac{b}{2}\right)^2}{b} \cdot \frac{V}{I} \qquad (2)$$




**ภาพที่ 2** วิธีการวางหลักแบบชลัมเบอร์เจร์ **ที่มา:** Victor, Chukwudi & Austin (2014)

### 2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อประเมินศักยภาพจุดสำรวจ

นำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมาทำการเขียนลงในกระดาษกราฟ (Log-log scale) เบื้องต้น และนำข้อมูลมาแปลผล โดยการคำนวณจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ผลการคำนวณข้อมูลจะถูกนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้าปรากฏกับระยะห่างขั้วไฟฟ้า จากนั้นแปลความหมายด้วยวิธีการที่เส้นโค้งบางส่วนเทียบลงรอยกันมากที่สุด (ดนุพล และคณะ, 2553) และทำการจำลองหาค่าความลึกของชั้นน้ำบาดาลด้วยโปรแกรม IPI2WIN (อัฆพรรค์, 2555) และนำกราฟในแต่ละจุดมาเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการสำรวจ ณ จุดเปรียบเทียบ เพื่อวิเคราะห์ถึงระดับความลึกที่ได้จากการคำนวณและแปลความหมายที่บ่งบอกถึงแนวโน้มที่จะพบน้ำบาดาล. ในชั้นดิน – หิน ดังตารางที่ 1 เพื่อประเมินศักยภาพของจุดที่ทำการสำรวจว่าจุดใดมีศักยภาพเพียงพอสำหรับการพัฒนาเป็นแหล่งน้ำบาดาล

**ตารางที่ 1** ช่วงปริมาณความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของดิน – หิน

| Material | | Resistivity (Ωm) |
|---|---|---|
| Rocks | Granite | $5 \times 10^3 - 10^6$ |
| | Basalt | $50 - 10^5$ |
| | Jointed, fractured & flow top basalt | 1 -100 |
| | Fresh granite | $5 \times 10^2 - 5 \times 10^4$ |
| | Weathered or altered granite | 1 -100 |

**ตารางที่ 1** (ต่อ)

| Material | | Resistivity (Ωm) |
|---|---|---|
| | Limestone | $10 - 10^{4}$ |
| | Argillite | $10 - 10^{3}$ |
| | Sandstone | $1 - 10^{3}$ |
| | Graphitic schist | $10^{-3} - 50$ |
| Soils | Gravel | $10^{2} - 10^{4}$ |
| | Alluvium | $1 - 10^{3}$ |
| | Clay | 1 –100 |
| Ores | Hematite | $10^{-1} - 5 \times 10^{2}$ |
| | Chalcopyrite | $10^{-4} - 1$ |
| | Graphite | $10^{-4} - 5 \times 10^{-2}$ |
| | Pyrrhotote | $10^{-5} - 5 \times 10^{-3}$ |

**ที่มา:** Nwankwo, Olasehinde & Osundele (2013)

## ผลการวิจัย

### 1. ผลการหาค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของชั้นดิน – หิน

จากผลการสำรวจชั้นดินของแต่ละจุดสำรวจ (A1-A7 และ Keywell) สามารถแสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของชั้นดิน – หิน ดังตารางที่ 2 เมื่อพิจารณาพบว่า ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่ได้จากการวัดในแต่ละจุด สะท้อนให้เห็นว่าในระดับความลึกดังกล่าวมีโอกาสที่จะพบกับแหล่งน้ำบาดาล อย่างไรก็ตามเมื่อนำตัวเลขไปเปรียบเทียบกับข้อมูลผลการสำรวจในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงพบความสอดคล้องของตัวเลขข้อมูลและความแตกต่างในระดับเล็กน้อยซึ่งไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าบริเวณพื้นที่จุดสำรวจที่ A1 และ A3 เป็นจุดสำรวจที่คาดว่ามีน้ำบาดาลที่ระดับความลึก 34.65 และ 39.74 เมตร ตามลำดับ มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำที่ 1.43 และ 2.28 โอห์ม

**ตารางที่ 2** ผลการวิเคราะห์ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของชั้นดิน-หิน

| จุดสำรวจที่ | ลำดับของชั้นดิน-หิน | ความหนา (เมตร) | ความลึก (เมตร) | ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (โอห์ม-เมตร) | ลักษณะของชั้นดิน-หิน |
|---|---|---|---|---|---|
| A1 | 1 | 1.02 | 1.02 | 45.80 | ตะกอนดินร่วนปนทราย |
| | 2 | 1.42 | 2.44 | 14.60 | ตะกอนดินทราย |
| | 3 | 9.81 | 12.25 | 4.84 | หินทราย |
| | 4 | 22.40 | 34.65 | 1.43 | หินทรายอุ้มน้ำ |
| | 5 | N/A | N/A | N/A | N/A |

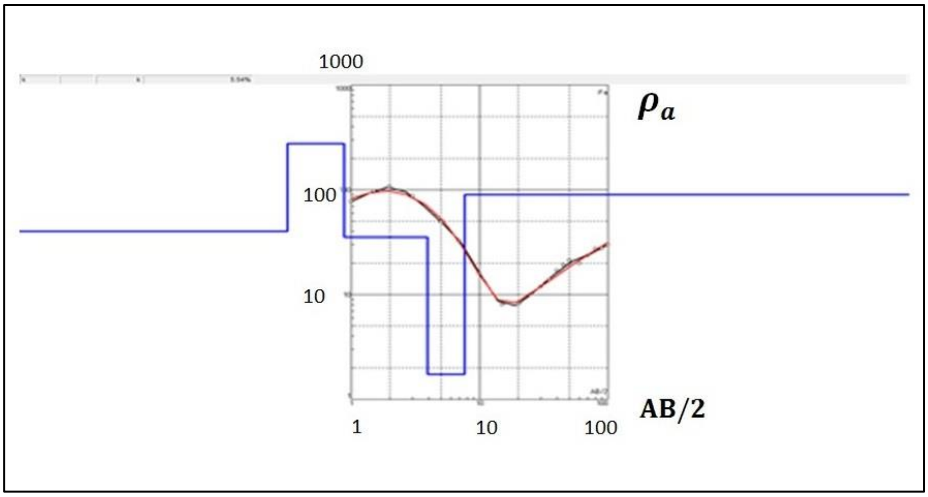
**ตารางที่ 2** (ต่อ)

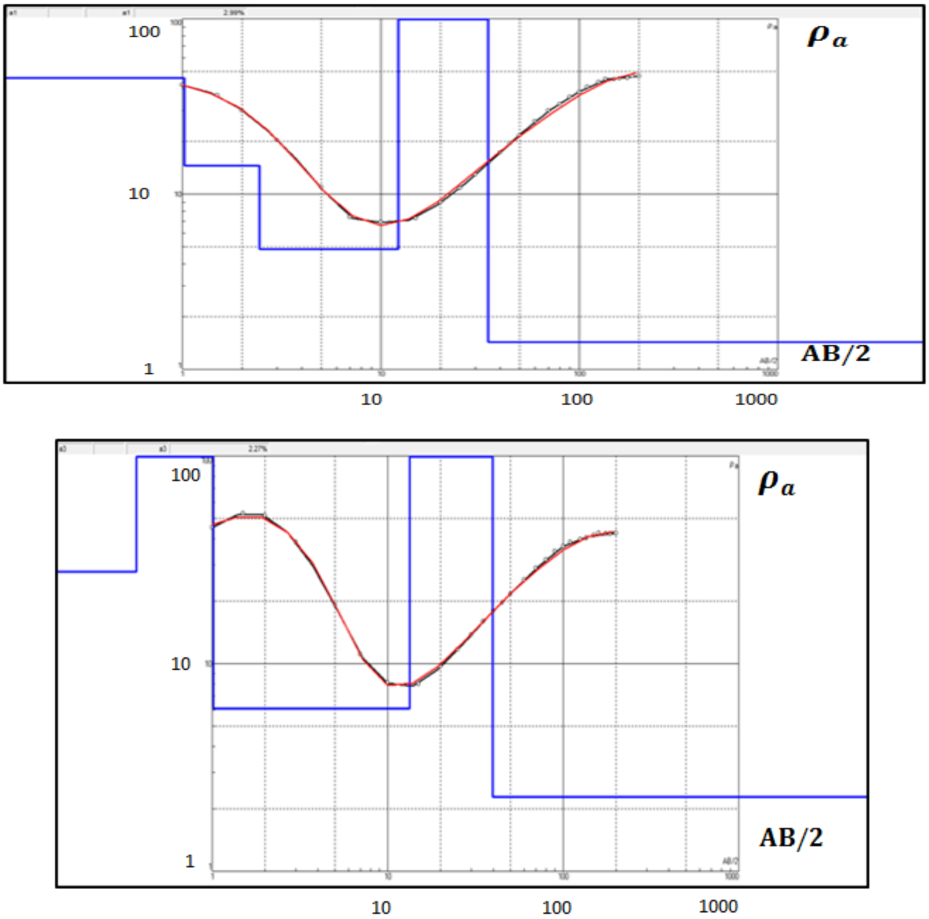
| จุดสำรวจที่ | ลำดับของชั้นดิน–หิน | ความหนา (เมตร) | ความลึก (เมตร) | ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (โอห์ม-เมตร) | ลักษณะของชั้นดิน–หิน |
|---|---|---|---|---|---|
| A2 | 1 | 0.32 | 0.32 | 15.20 | ตะกอนดินร่วนปนทราย |
| | 2 | 0.38 | 0.70 | 70.60 | หินทราย |
| | 3 | 3.13 | 3.83 | 11.20 | หินทรายผุพัง |
| | 4 | 5.17 | 9.00 | 2.83 | หินทรายอุ้มน้ำ |
| | 5 | 5.72 | 14.72 | 1736.00 | หินกรวด |
| A3 | 1 | 0.37 | 0.37 | 27.80 | ตะกอนดินร่วนปนทราย |
| | 2 | 0.67 | 1.04 | 129.00 | หินกรวด |
| | 3 | 12.30 | 13.34 | 6.06 | หินทรายผุพัง |
| | 4 | 26.40 | 39.74 | 2.28 | หินทรายอุ้มน้ำ |
| A4 | 1 | 0.54 | 0.54 | 22.2 | ตะกอนดินร่วนปนทราย |
| | 2 | 0.63 | 1.17 | 186.00 | หินกรวด |
| | 3 | 1.72 | 2.89 | 3.72 | หินทรายผุพัง |
| | 4 | 22.10 | 24.99 | 119.00 | หินกรวด |
| | 5 | N/A | N/A | N/A | N/A |
| A5 | 1 | 0.79 | 0.79 | 100.90 | หินกรวด |
| | 2 | 1.31 | 2.10 | 22.50 | หินทรายหรือดินเหนียว |
| | 3 | 3.36 | 5.46 | 6.42 | หินทรายหรือดินเหนียว |
| | 4 | 18.43 | 23.89 | 10.99 | หินทรายผุพัง |
| | 5 | 38.47 | 62.36 | 3.62 | หินทรายอุ้มน้ำ |
| A6 | 1 | 0.17 | 0.17 | 5046.00 | หินกรวด |
| | 2 | 1.23 | 1.40 | 69.39 | หินทรายผุพัง |
| | 3 | 1.33 | 2.73 | 3.05 | หินทรายผุพัง |
| | 4 | 12.42 | 15.15 | 6.80 | หินทรายผุพัง |
| | 5 | 29.19 | 44.34 | 44.58 | หินทรายอุ้มน้ำ |
| A7 | 1 | 0.39 | 0.39 | 20.30 | หินกรวด |
| | 2 | 0.89 | 1.28 | 401.00 | หินกรวด |
| | 3 | 2.53 | 3.81 | 2.81 | หินทรายผุพัง |
| | 4 | >2.53 | >3.81 | 91.20 | หินกรวด |
| | 5 | N/A | N/A | N/A | N/A |
| keywell | 1 | 0.32 | 0.32 | 40.20 | ตะกอนดินร่วนปน |
| | 2 | 0.56 | 3.58 | 278.00 | ทรายหินกรวด |
| | 3 | 3.03 | 6.61 | 35.40 | หินทรายผุพังอุ้มน้ำ |
| | 4 | 3.69 | 10.30 | 89.80 | หินกรวด |
| | 5 | N/A | N/A | N/A | N/A |

**หมายเหตุ** ข้อมูลในตารางที่ 2 เป็นค่าเฉลี่ยจากการเก็บข้อมูล จำนวน 100 ครั้ง ในแต่ละจุด

**2. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการประเมินศักยภาพของจุดสำรวจ**

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อประเมินสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินโดยนำข้อมูลจากการสำรวจเมื่อนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้าปรากฏกับระยะห่างขั้วไฟฟ้า ดังภาพที่ 3 ซึ่งทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จุดเปรียบเทียบ (Keywell) และจุดสำรวจ A1 และ A3 เมื่อทำการแปลความหมายของชั้นดิน–หินที่ได้จากผลการสำรวจชั้นดิน–หิน ในแนวดิ่งของแต่ละจุดสำรวจทำให้ทราบว่าชั้นดิน–หิน ประกอบด้วย ชั้นหน้าดินเป็นดินร่วนปนทราย บางจุดเป็นชั้นหินกรวดและเป็นหินทราย หินทรายอุ้มน้ำในระดับลึกลงไป ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของชั้นหินชุดหมวดหินโคกกรวด ค่าต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของชั้นดิน-หิน มีการเปลี่ยนแปลงไปตามระดับความลึก โดยระดับความลึกที่ปรากฏค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าจำเพาะระดับต่ำที่ระดับความลึกมากกว่า 10 เมตร แปลความหมายได้ว่าเป็นชั้นหินทรายผุพังที่มีรอยแตกหรือรอยแยก ซึ่งอาจมีการกักเก็บน้ำไว้ในระดับความลึกนั้น โดยจุดสำรวจ A1 กับ A3 ปรากฏค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำที่ระดับ 1.43 และ 2.28 โอห์ม–เมตร ตามลำดับ มีความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของระดับความลึกเฉลี่ยเท่ากับ 44 และ 37 โอห์ม – เมตร ที่ระดับความลึก 34.65 และ 39.74 เมตร ตามลำดับ สอดคล้องกับข้อมูลทางธรณีวิทยากับบ่อบาดาลในพื้นที่หมู่บ้านใกล้เคียง จำนวน 2 บ่อ ที่ อัฆพรรค์ (2555) ได้ทำการสำรวจไว้ อย่างไรก็ตามจุด A5 ที่ปรากฏค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำที่สุดในจุดนั้นที่ระดับ 3.62 โอห์ม–เมตร มีแนวโน้มที่จะพบแหล่งน้ำบาดาลที่ระดับความลึก 62.36 เมตร ซึ่งสามารถทำการพัฒนาและขุดเจาะเป็นบ่อบาดาลได้เช่นเดียวกัน แต่มีระดับความลึกจากผิวดินมากซึ่งเป็นข้อมูลปกติของชั้นดินอุ้มน้ำในหมวดหินโคกกรวดในเขตตะวันตกของจังหวัดนครราชสีมา ดังภาพที่ 3






**ภาพที่ 3** กราฟแสดงการวิเคราะห์สภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินในจุดเปรียบเทียบ (Keywell) และจุดสำรวจ A1 และ A3

## อภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยทำให้ทราบว่าที่ระดับความลึกจากพื้นผิวดินลงไปจนถึงไม่เกิน 70 เมตร เป็นชั้นดิน–หิน อุ้มน้ำในชุดหมวดหินโคกกรวด โดยค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่มีค่าต่ำกว่า 30 โอห์มเมตร อาจเป็นลักษณะของดินเหนียวหรือดินทรายแป้งที่มีเนื้อละเอียด อิ่มตัวด้วยน้ำส่วนชนิดของดินที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะระหว่าง 30–100 โอห์มเมตร จะเป็นชั้นดินหรือหินทรายเนื้อละเอียดที่อิ่มตัวด้วยน้ำ บางระดับความลึกของจุดสำรวจ เช่น จุดสำรวจที่ A4–A7 มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูงมากกว่า 100 โอห์มเมตร เป็นค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของหินกรวด จากวิธีการเก็บข้อมูลพิจารณาได้ว่าชั้นดิน – หิน อุ้มน้ำมีความไม่ต่อเนื่องของชั้นดิน – หิน และสภาพทางอุทก

ธรณีวิทยาไม่ตรงกันในแต่ละจุดสำรวจ เนื่องจากเป็นวิธีการวัดในแนวดิ่ง ซึ่งสามารถดำเนินการวัดในรูปแบบ 2 มิติ เพิ่มเติมในโอกาสต่อไป จะทำให้ทราบมิติของแหล่งน้ำบาดาลได้ชัดเจนมากขึ้นทั้งขนาดความกว้างและระดับชั้นความลึก

อย่างไรก็ตามการสำรวจในระดับความลึกมากกว่านั้นคาดว่าอาจจะเป็นชั้นหินปูน สอดคล้องกับข้อมูลสภาพธรณีวิทยาที่กรมทรัพยากรธรณีที่เคยดำเนินการสำรวจไว้และไม่ปรากฏแหล่งหินเกลือในพื้นที่ที่ดำเนินการสำรวจ (กรมทรัพยากรธรณี, 2553) จากผลการวิจัยพบว่า ชั้นดิน–หิน เป็นหินทรายหินดินดาน หินทรายแป้งในหมวดหินโคกกรวด ซึ่งน้ำบาดาลส่วนใหญ่อาจพบในบริเวณรอยแตกรอยแยก รอยเลื่อนหรือรอยต่อของชั้นดิน–หิน เมื่อดำเนินการนำข้อมูลไปเปรียบเทียบกับข้อมูลบ่อบาดาลในพื้นที่หมู่บ้านใกล้เคียง โดยเป็นข้อมูลที่ได้จากการวิจัยและสำรวจของกรมทรัพยากรน้ำบาดาลมีความสอดคล้องกัน สามารถให้ปริมาณน้ำได้ประมาณ 2–20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยคุณภาพน้ำเป็นน้ำจืดและมีคุณภาพดี (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551) ซึ่งสามารถใช้ในการอุปโภคและบริโภคได้  อย่างไรก็ตามลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาของพื้นที่อำเภอสูงเนิน จะประกอบไปด้วยหินทราย หินดินดานและหินทรายแป้ง โอกาสในการพบแหล่งน้ำบาดาลจะพบตามรอยแตกรอยแยก รอยเลื่อนหรือรอยต่อระหว่างชั้นหิน โดยในบางพื้นที่ของอำเภอสูงเนิน เช่น ตำบลกุดจิกตำบลโค้งยาง ตำบลเสมา เป็นต้น จากการสำรวจโดยกรมทรัพยากรธรณีพบชั้นหินเกลือ ทำให้คุณภาพน้ำบาดาลในบริเวณพื้นที่ตำบลดังกล่าวข้างต้น น้ำบาดาลมีความกร่อย เค็ม ความกระด้างสูง (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551) ซึ่งในพื้นที่ที่ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจและประเมินศักยภาพแหล่งน้ำบาดาล คือ ตำบลมะเกลือเก่า ไม่พบชั้นหินเกลือ อาจอธิบายได้ว่าในบริเวณตำบลมะเกลือเก่า อำเภอสูงเนิน มีสภาพภูมิประเทศเป็นที่ลอนเนิน ลาดเอียงจากแนวภูเขาด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้และทิศใต้ จึงไม่ปรากฏแหล่งหินเกลือ (กรมทรัพยากรธรณี, 2553) ทำให้น้ำบาดาลในบริเวณที่สำรวจเหมาะกับการนำมาใช้อุปโภคและบริโภค

อย่างไรก็ตามการพัฒนาต่อยอดงานวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืนควรดำเนินการสำรวจและวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของชั้นดิน ชั้นหิน ความพรุนของอนุภาคดิน อัตราการซึมผ่านของน้ำใต้ดิน รวมทั้งข้อมูลทางอุทกวิทยาเพื่อจะได้ทำความเข้าใจและทราบขอบเขตบริเวณของแหล่งน้ำบาดาลในพื้นที่ที่สำรวจนี้อย่างชัดเจนต่อไป

## สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาวิเคราะห์ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินเพื่อค้นหาแหล่งน้ำบาดาล พบว่าบริเวณพื้นที่จุดสำรวจที่ A1 และ A3 คาดว่ามีน้ำบาดาลที่ระดับความลึก 34.7 และ 39.8 เมตรตามลำดับ โดยมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำที่ 1.43 และ 2.28 โอห์ม มีความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของระดับความลึกเฉลี่ยเท่ากับ 44 และ 37 โอห์ม – เมตร อยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของชุมชน

สามารถประเมินศักยภาพได้ว่าที่ระดับความลึกดังกล่าว เหมาะสมสำหรับการพัฒนาและขุดเจาะเป็นแหล่งน้ำบาดาล จากผลงานวิจัยชิ้นนี้ทำให้ประชาชนในพื้นที่สามารถใช้ประโยชน์จากการพัฒนาแหล่งน้ำบาดาลนี้ ทั้งในด้านการเกษตร ด้านอุปโภคบริโภค ซึ่งสามารถบรรเทาผลกระทบการขาดแคลนน้ำในฤดูแล้งได้

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิฆเนศ ทรงธรรม ที่กรุณาให้คำแนะนำต่างๆ ขอบคุณเจ้าหน้าที่สำรวจและวิจัยจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาลที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล และขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ที่สนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

การประปาส่วนภูมิภาค. (2554). **การสำรวจน้ำบาดาลด้วยวิธีวัดความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ.** กรุงเทพฯ: การประปาส่วนภูมิภาค.

กิตติชัย วัฒนานิกร. (2526). **การสำรวจธรณีฟิสิกส์สำหรับนักธรณีวิทยาและวิศวกร.** เชียงใหม่: ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. (2551). **โครงการสำรวจธรณีฟิสิกส์หมู่บ้านภัยแล้งทั่วประเทศ.** กรุงเทพฯ: เอทอปเทคโนโลยี.

กรมทรัพยากรธรณี. (2553). **การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีจังหวัดนครราชสีมา.** กรุงเทพฯ: จันวาณิชย์ซีเคียวริตี้พริ้นติ้ง.

กรมทรัพยากรธรณี. (2554). **ลำดับชั้นหินของกลุ่มหินโคราช บริเวณขอบตะวันตกของที่ราบสูงโคราช.** กรุงเทพฯ: กรมทรัพยากรธรณี.

ดนุพล ตันนโยภาส และคณะ. (2553). การสำรวจความต้านทานไฟฟ้าธรณีในพื้นที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วิทยาเขตหาดใหญ่. **ในการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ครั้งที่ 8 (น. 870 – 875).** สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ทองเปลว กองจันทร์. (2562). **ปรากฏการณ์เอลนีโญและลานีนาในประเทศไทย.** สืบค้นเมื่อ 21 ตุลาคม 2562, จาก http://kmcenter.rid.go.th/kchydhome/km_hydro/article&id=1.php

ปรียาพร โกษา. (2555). **การประเมินศักยภาพแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำบาดาลเพื่อการผลิตประปาชุมชน.** นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ปรเมศร์ อมาตยกุล, และเทวินทร์ โจมทา. (2557). **อุตุนิยมวิทยาน่ารู้เพื่อการเกษตรจังหวัดนครราชสีมา.** กรุงเทพฯ: กรมอุตุนิยมวิทยา.

เพียงตา สาตรักษ์, อภิชาต บุตรพิเศษ, ประดิษฐ์ นูแล, และถนัด สร้อยชา. (2545). การตรวจหาโพรงและชั้นเกลือหินใต้ผิวดินด้วยวิธีวัดความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ. **วารสารวิจัย มข., 7**(2), 22-32.

เพียงตา สาตรารักษ์, วินิจ ยังมี และสุวิจักขณ์ มีสวัสดิ์. (2549). ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของชั้นน้ำบาดาลเค็ม และโพรงใต้ผิวดินในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. **วารสารวิจัย มข.**, **11**(1), 4-16.

เพียงตา สาตรักษ์, และสาคร แสงชมภู. (2554). **การประยุกต์สำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติ เพื่อตรวจลักษณะภายในทำนบดินของอ่างเก็บน้ำเพื่อชลประทาน.** ขอนแก่น: ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2562). **ทรัพยากรน้ำ.** สืบค้นเมื่อ 21 ตุลาคม 2562, จาก https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet6/envi2/subwater/subwater.htm

ศุภกร กตาธิการกุล, ภรพนา บัวเพชร์, และฉัตร ผลนาค. (2549). การศึกษาขอบเขตน้ำพุร้อน อำเภอนบพิตำ จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยระเบียบวิธีการตรวจสภาพต้านทานไฟฟ้าทางแนวดิ่ง. **วารสารวิทยาศาสตร์ทักษิณ, 3**(2), 54-66.

สมยศ วิชชุวลัญช์. (2538). **รายงานการสำรวจชั้นน้ำใต้ดินด้วยวิธีวัดสภาพต้านทานทางไฟฟ้า ณ พื้นที่โครงการบริษัท หาดทิพย์ จำกัด ตำบลกำแพงเพชร อำเภอรัตภูมิ จังหวัดสงขลา.** สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

อัฆพรรค์ วรรณโกมล. (2555). การทำแผนที่น้ำบาดาลด้วยวิธีการสำรวจทางไฟฟ้าในบริเวณพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา **(รายงานการวิจัย).** นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

Bian H., Liu S., Chu Y., & Cai G. (2019). Estimation of Oil-Contaminated Soils' Mechanical Characteristics Using Electrical Resistivity. In Zhan L., Chen Y., & Bouazza A. (Eds), **Proceedings of the 8th International Congress on Environmental Geotechnics Volume 1** (pp. 645-652). Singapore: Springer.

Nwankwo, L.I., Olasehinde, P.I. & Osundele,O.E. (2013). Application of electrical resistivity survey for groundwater investigation in a Basement rock region: A case study of Akobo – Ibadan, Nigeria. **Ethiopian Journal of Environmental Stydies and Management, 6**(2), 124–134.

Yoon, G.L. & Park, J.B. (2001). Sensitivity of Leachate and Fine Contents on Electrical Resistivity Variations of Sandy soils. **Journal of Hazardous Materials, 84**(2-3), 147-161.

Victor O. Umeh, Chukwudi C. Ezeh & Austin C. Okpnkwo. (2014). Groundwater Exploration of Lokpaukwu, Abia State Southeastern Nigeria, Using Electrical Resistivity Method. **International Research Journal of Geology and Mining (IRJGM), 4**(3), 76–83.