

ขอบเขต และวิวัฒนาการของเกลือหินใต้ผิวดินในหมวดหินมหาสารคามในพื้นที่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

Boundary and Evolution of Rock Salt in the Maha Sarakham Formation in the Northeast, Thailand

เพ็ญงดา สาตริกซ์ (Peangta Satarugsa)¹

สุวิจักขณ์ มีสวัสดิ์ (Suvijuk Meesawat)²

วินิจ ย้งมี (Winit Youngme)³

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์และแปลความจากข้อมูลธรณีวิทยาและธรณีฟิสิกส์ พบสภาพใต้ผิวดินและขอบเขตของเกลือหินในหมวดหินมหาสารคามในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือแตกต่างจากที่มีการศึกษามาแล้วซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการจัดการทรัพยากรแร่เกลือหิน และลดการแพร่กระจายของดินเค็ม-น้ำเค็ม ข้อมูลที่ใช้สำหรับแปลความได้แก่ คลื่นสั้นสะท้อนแบบสะท้อนในการสำรวจปิโตรเลียมในพื้นที่ที่มีการยกเล็กสัมปทานไปแล้วจำนวน 59 แนวสำรวจ ในบริเวณแอ่งโคราชและแอ่งสกลนคร ข้อมูลหลุมเจาะสำรวจเทียบเคียงกับแนวสำรวจคลื่นสั้นสะท้อน รวมทั้งการจัดลำดับอายุของหมวดหิน และสำรวจธรณีฟิสิกส์เพื่อเป็นต้นแบบในการสำรวจเพื่อหารูปร่างแบบ 3 มิติ ของโดมเกลือใต้ผิวดิน ผลการศึกษาพบว่า (1) ขอบเขตของพื้นที่ที่มีเกลือหินอยู่ใต้ผิวดินบริเวณแอ่งโคราชและแอ่งสกลนครครอบคลุม 45,944 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 28 ของพื้นที่ทั้งภาค (2) พื้นที่ที่มีเกลือหินใต้ผิวดินครอบคลุมพื้นที่ปกครอง 16 จังหวัด โดยแต่ละจังหวัดมีพื้นที่ที่มากน้อยแตกต่างกันไป จังหวัดที่มีเกลือหินมากกว่าร้อยละ 50 ได้แก่ หนองคายมีร้อยละ 86 มหาสารคามมีร้อยละ 85 นครพนมมีร้อยละ 79 ร้อยเอ็ดมีร้อยละ 66 สกลนครมีร้อยละ 58 ยโสธรมีร้อยละ 53 ส่วนจังหวัดที่ไม่มีเกลือหินใต้ผิวดินได้แก่ หนองบัวลำภู มุกดาหาร และเลย (3) การทำการประยุกต์การสำรวจแบบบูรณาการด้วยวิธีวัดความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะและคลื่นสั้นสะท้อนสามารถหารูปร่างของโดมเกลือแบบ 3 มิติได้อย่างรวดเร็วและประหยัด และ (4) การตกสะสมของเกลือหินในหมวดหินมหาสารคามอยู่ในช่วง 91-113 ล้านปี โดยฐานล่างของหมวดหินมหาสารคามวางตัวแบบไม่ต่อเนื่องกับหมวดหินในกลุ่มหินโคราชและผิวนของหมวดหินมหาสารคามสัมผัสแบบต่อเนื่องกับหมวดหินภูทอก ผิวนของหมวดหินมหาสารคามและหมวดหินภูทอกวางตัวแบบไม่ต่อเนื่องกับหมวดหินอายุเทอร์เชียรีในกรณีที่มีหินเทอร์เชียรีตกสะสมและตะกอนดินอายุปัจจุบัน จากผลที่ได้พอจะสรุปวิวัฒนาการของหมวดหินมหาสารคาม โดยเริ่มจากการชนกันของแผ่นโลกสองแผ่นเมื่อประมาณ 113 ล้านปี แรงอัดจากการชนทำให้เกิดการยกตัวสูงขึ้นของเทือกเขาเลย-เพชรบูรณ์ซึ่งเคยเป็นบริเวณขอบแผ่นโลกเดิมมาก่อน ผลจากน้ำหนักกดของเทือกเขาทำให้เกิดเป็นแอ่งโค้งขึ้นมา ต่อมามีการรุกของน้ำทะเลเข้ามายังแอ่งที่โค้งขึ้นและเกิดการตกสะสมของเกลือหิน โปแทช และหินดินเหนียว ของหมวดหินมหาสารคามภายในแอ่ง การรุกของน้ำทะเลเกิดต่อเนื่องประมาณ 3 ช่วง จากนั้นสภาพแวดล้อมเปลี่ยนไป แอ่งที่เคยมีน้ำทะเลตื้นเขิน ถูกปิดด้วยตะกอนที่พัดพามากับลมเป็นส่วนใหญ่ ตะกอนมีการเชื่อมประสานเป็นหินแข็งปิดทับชั้นเกลือหิน ต่อมาเมื่อเกิดการชนกันของแผ่นโลกอินเดีย-ออสเตรเลียและแผ่นโลกยูเรเชีย เกลือหินและหินที่ปิดทับ ถูกแรงกระทำ และเกิดการคดโค้งใน ทำให้ในบางพื้นที่เป็นพื้นที่ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แยกแอ่งเดิมออกเป็น 2 แอ่งย่อย คือ แอ่งโคราชและแอ่งสกลนคร ค้นโดยเทือกเขา

¹รองศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

²ผู้ช่วยนักวิจัย โครงการศึกษาวิจัย ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

³อาจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ภูพาน ชั้นเกลือหินเมื่อถูกแรงกระทำจึงมีการคดโค้ง และปูดเป็นรูปโดม เกลือหินบริเวณเทือกเขาภูพานจะเคลื่อนไหลมาสู่ใจกลางแอ่ง และเกลือหินในที่อยู่นั้นที่สูงจะถูกทำลายออกไป ปัจจุบันจึงไม่พบเกลือหินในพื้นที่ที่เป็นเทือกเขา พบแต่หินที่อยู่ฐานล่างของหมวดหินมหาสารคาม การปูดของเกลือหิน ทำให้เกลือหินใต้ผิวดินในบริเวณแอ่งโคราชและแอ่งสกลนครมีความลึกไม่แน่นอน ไม่สามารถใช้การศึกษาโดยการเทียบความสัมพันธ์ ดังเช่นหมวดหินอื่น ๆ ได้ และจากผลของการศึกษาพบว่าแผนที่ธรณีวิทยามาตราส่วนที่ใช้ในปัจจุบัน (1:1,000,000) ที่ขอบเขตของหมวดหินมหาสารคาม และหมวดหินภูทอกมีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างมาก ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในการวางแผนจัดการเกี่ยวกับการพัฒนาทรัพยากรเกลือและแก้ปัญหาการแพร่กระจายของดินเค็ม-น้ำเค็ม

Abstract

Analysis of geological and geophysical data in the areas of the Khorat and the Sakon Nakhon basins, Northeast Thailand has provided a new evidence of subsurface geology and evolution of the rock salt and claystone in the Maha Sarakham Formation. Results from the analysis of 59 industry seismic lines, borehole data, geochronology, and semi 3D geophysical surveys show the following. (1) Rock salt underlying below the ground surface in the two basins cover areas of 45,944 km² or about 28% of the Northeast total area. (2) The rock salt in the Maha Sarakham Formation is found in 16 provincial administrations. Each province has different area underlain by the rock salt. This can be ranked from 6 largest percentage as follows: Nongkai (86%), Maha Sarakham (85%), Nakhon Phanom (79%), Roi Et (66%), Sakon Nakhon (58%), Yasothorn (53%). Nong Bua Lumpoo, Mukdaharn, and Loei provinces do not have subsurface rock salt deposit. (3) Integrated seismic and resistivity surveys can be used to map 3D of the salt dome. (4) During Abian-Cenomanian (91-113 million years) the Maha Sarakham and the Phutok formations were deposited in an inland salt lake. The bottom of the Maha Sarakham Formation overlain unconformity on the Khorat Group whereas at the top of it formed a depositional contact with the Phutok Formation. The Phutok Formation was overlain unconformity by the Tertiary rock or the Quaternary soils. Thus evolution of the Maha Sarakham Formation can be described as follows. The inland salt lake was first created by a collision of the Western Burma plate and Chan Thai plate during Cretaceous time. Thereafter, there was seawater invasion into the lake and later the formation of evaporates and clay were deposited. There were three cycles of invasion resulting in three cycle of rock salt layers and claystone. The evaporite deposits were ended because the lake had been filled with wind blown silt and sand particles. At the beginning of the Paleocene to early Eocene (60-65 million year), the Khorat and Sakon Nakhon basins and the Phu Phan fold belt were created by folding mechanism in consequence of the collision of the Indian Plate and the Eurasian Plate. The evaporites in which covered the Phu Phan areas were transported into the Khorat and the Sakon Nakhon basins, because of plasticity properties of the rock salt. These interpretations suggest that the Northeastern Thailand stratigraphic units and geologic map need revision in order to prevent misleading geologic map where the Maha Sarakham Formation and the Phu Tok Formation were outlined.

คำสำคัญ: หมวดหินมหาสารคาม, เกลือหิน, การสำรวจธรณีฟิสิกส์

Keywords: Maha Sarakham Formation, Rock salt, Geophysical survey

บทนำ

สภาพพื้นผิวของพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีลักษณะเป็นทั้งภูเขาและที่ราบรูปแอ่ง สำหรับพื้นที่รูปแอ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 แอ่ง ได้แก่ แอ่งโคราชและแอ่งสกลนคร (รูปที่ 1 และ 2) สภาพใต้ผิวดินของแอ่งทั้งสองรองรับด้วยหมวดหินมหาสารคามที่มีชั้นเกลือหินกับชั้นหินดินเหนียวแทรกสลับ จากรายงานฝ่ายเศรษฐกิจแร่ กรมทรัพยากรธรณี คาดว่ามีปริมาณสำรองของเกลือหินที่ปรากฏอยู่ใต้ผิวดินภายในแอ่งโคราชและแอ่งสกลนคร มีอย่างมากมายมหาศาล (ปกครอง, 2538) กล่าวได้ว่าเป็นแหล่งเกลือหินขนาดใหญ่ของโลก สามารถนำมาผลิตเป็น “เกลือ” เพื่อการบริโภค และผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันทั่วไปที่ต้องใช้วัตถุดิบจากเกลือได้มากมายหลายประเภท ซึ่งจากรายงานประโยชน์ของเกลือจากสถาบันเกลือได้ประมาณการใช้ประโยชน์จากเกลือได้ถึง 14,000 วิธี (Salt Institute, 2004)

ในทางตรงกันข้ามการที่มีเกลือหินอยู่ใต้ผิวดินของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้เกิดปัญหาดินเค็ม-น้ำเค็ม และการแพร่กระจายของดินเค็ม-น้ำเค็มเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ (ศูนย์วิจัยน้ำบาดาล มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2543) ซึ่งดินเค็ม-น้ำเค็มเป็นอุปสรรคต่อการเกษตรกรรมอันเป็นอาชีพหลักของคนส่วนใหญ่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดังนั้นการที่มีแหล่งแร่เกลือหินจึงให้ทั้งประโยชน์และโทษ

อย่างไรก็ตามความเข้าใจสภาพทางธรณีวิทยาใต้ผิวดินของพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือในบริเวณแอ่งโคราชและแอ่งสกลนครสามารถที่จะลดการแพร่กระจายดินเค็ม-น้ำเค็มไม่ให้มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นซึ่งข้อมูลที่ต้องการคือศักยภาพของการมีเกลือหินใต้ผิวดินมากน้อยเพียงใด ในบริเวณพื้นที่ใดบ้าง ความลึกของเกลือหินใต้ผิวดินมากน้อยเพียงใด เพื่อจะได้เป็นฐานความรู้ในการจัดการสิ่งแวดล้อม หรือการพัฒนาการใช้พื้นที่อย่างเหมาะสม ไม่ว่าจะเป็นพัฒนาด้าน การชลประทาน การเกษตรกรรม อุทกธรณีวิทยา การนำเอาแร่เกลือหินขึ้นมาใช้เพื่อการอุตสาหกรรม หรือแม้แต่ว่า

ก่อสร้างขนาดใหญ่ เช่น อ่างเก็บน้ำและเขื่อน การศึกษาธรณีวิทยาของหมวดหินมหาสารคามในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในอดีตจวบจนปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาในรายละเอียด วิวัฒนาการของหมวดหินนี้ยังเป็นที่ยังงัดกันมากและยังไม่สามารถหาข้อสรุปได้ ทั้งนี้เพราะการศึกษาส่วนใหญ่ในอดีตเป็นเพียงการศึกษาในบริเวณที่มีการไหลของหมวดหินมหาสารคามให้เห็นบนผิวดิน ซึ่งพบค่อนข้างน้อย หมวดหินมหาสารคามส่วนใหญ่ถูกดินตะกอนปิดทับ

ปัจจุบันได้มีการประยุกต์สำรวจใต้ผิวดินด้วยวิธีทางธรณีฟิสิกส์ ที่สามารถทำได้รวดเร็วและประหยัด ทำให้ทราบรูปร่าง การวางตัวของชั้นหิน และธรณีวิทยาโครงสร้างที่ชัดเจน โดยเฉพาะข้อมูลจากการสำรวจธรณีฟิสิกส์ด้วยคลื่นสั้นสะท้อนแบบสะท้อน ที่นำมาประยุกต์สำรวจหาแหล่งปิโตรเลียมจากบริษัทที่ยกเลิกสัมปทานไปแล้ว อีกทั้งพื้นที่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยพบว่าเกลือหินของหมวดหินมหาสารคามมีการเคลื่อนไหลเป็นรูปโดม ปูดขึ้นสู่ผิวดิน กระจุกกระจายอยู่ภายในแอ่งโคราชและแอ่งสกลนคร รูปร่างของโดมเกลือมีขนาดและความลึกแตกต่างกันไปไม่แน่นอน ดังตัวอย่างผลการศึกษาของ สมเกียรติ (2530) หรือ เนรศ และทรงภพ (2540) และทำให้ทราบว่าต่อไปอีกว่าการที่จะศึกษาการวางตัว ลักษณะ รูปร่างโดมเกลือ จะต้องทำการศึกษาสภาพใต้ผิวดินแบบ 3 มิติ ข้อมูลที่นำไปสู่การจัดการทรัพยากรเกลือ ดินเค็ม-น้ำเค็ม ได้อย่างเหมาะสมและต่อเนื่อง

บทความวิจัยนี้นำเสนอผลสรุปของการศึกษาของโครงการวิจัยเรื่อง โครงสร้างและวิวัฒนาการของหมวดหินมหาสารคาม โดย วินิจ และคณะ (2546) และโครงการวิจัยเรื่อง การประยุกต์สำรวจธรณีฟิสิกส์เพื่อศึกษาธรณีวิทยาใต้ผิวดินและการประเมินเพื่อคาดการณ์ภัยพิบัติทางธรรมชาติที่จะเกิดจากการยุบตัวของโพรงเกลือใต้ผิวดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดย เพียงตา และคณะ (2547) วัตถุประสงค์ของบทความวิจัยคือ (1) นำเสนอผลการแปลความเพื่อหาขอบเขตของพื้นที่ที่มีเกลือหินใต้ผิวดินรองรับในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เฉพาะบริเวณแอ่งโคราชและแอ่งสกลนคร

จากข้อมูลคลื่นสั้นสะเทือนแบบสะท้อน จำนวน 59 แนวสำรวจ ที่บริษัทสำรวจและผลิตปิโตรเลียมได้ยกเลิกการสัมปทานพื้นที่บริเวณนั้นๆ ไปแล้ว (2) จัดลำดับความรุนแรงของจังหวัดที่มีพื้นที่รองรับด้วยเกลือหิน (3) ทำการทดลองประยุกต์สำรวจธรณีฟิสิกส์ในพื้นที่กรณีศึกษา เพื่อเป็นต้นแบบในศึกษาการวางตัว ลักษณะรูปร่างของโดมเกลือ แบบ 3 มิติ ที่ประหยัดและรวดเร็วสามารถนำวิธีการศึกษาไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่อื่น ๆ ภายในแอ่งโคราชและแอ่งสกลนครต่อไปในอนาคต และ (4) อธิบายการเกิดและวิวัฒนาการของเกลือหินในหมวดหินมหาสารคาม

วิธีการศึกษา

วิธีการศึกษาประกอบด้วย (1) เลือกแนวสำรวจของข้อมูลคลื่นสั้นสะเทือนแบบสะท้อนบริเวณพื้นที่แอ่งโคราชและแอ่งสกลนคร โดยกำหนดให้แต่ละแนวสำรวจมีจุดตัดร่วมกับแนวสำรวจอย่างน้อยหนึ่งแนว เพื่อสามารถเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างจุดตัด หรือใกล้หลุมเจาะสำรวจ (รูปที่ 1) (2) เลือกข้อมูลหลุมเจาะสำรวจที่ใกล้เคียงกับแนวสำรวจด้วยคลื่นสั้นสะเทือนเพื่อเทียบเคียงลำดับชั้นหิน (3) แปลความหมายหาความลึกของฐานล่างหมวดหินมหาสารคาม และความลึกของผิวนูนสุดของชั้นเกลือหินที่ไม่ใช่ส่วนที่เป็นโดมเกลือ (4) ทำแผนที่แสดงรูปร่างฐานล่างหมวดหินมหาสารคามและแผนที่แสดงผิวนูนของเกลือหินในส่วนที่ไม่ใช่โดมเกลือ (5) เลือกพื้นที่กรณีศึกษาบริเวณที่คาดว่าเป็นโดมเกลือ และทำการสำรวจด้วยวิธีทางธรณีฟิสิกส์ด้วยคลื่นสั้นสะเทือนแบบสะท้อนและแบบหักเห และวัดความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (ข้อตกลงพื้นฐาน และรูปแบบของการสำรวจ อธิบายไว้ใน เพียงตา และคณะ 2544) เพื่อให้ได้ข้อมูลการวางตัวของเกลือหินรูปโดมแบบ 3 มิติ (6) วิเคราะห์ และแปลความข้อมูลที่ศึกษาในข้อ 5 พร้อมเปรียบเทียบผลการแปลความข้อมูลหลุมเจาะทดสอบที่ได้เจาะขึ้นภายหลัง และ (7) ศึกษาข้อมูลทุติยภูมิ ได้แก่ แผนที่ธรณีวิทยามาตราส่วน 1:1,000,000

ปี 2542 แผนที่แสดงขอบเขตของแผ่นโลกปัจจุบัน ข้อมูลลำดับการตกตะกอนของหมวดหินมหาสารคาม ข้อมูลการหาอายุของหมวดหินมหาสารคาม และหมวดหินข้างเคียง โดย Racey et al. (1996) และข้อมูลปฐมภูมิที่ได้จากการสำรวจและแปลความใต้ผิวดิน และการศึกษาเพิ่มเติมในภาคสนาม เพื่อหาคำอธิบายภาพธรณีวิทยาไพศาล (regional geology) ของวิวัฒนาการของเกลือหินใต้ผิวดินจากอดีตถึงปัจจุบัน

ผลการศึกษา

1. ผลการศึกษาขอบเขตของพื้นที่ที่มีเกลือหินใต้ผิวดิน

จากการวิเคราะห์ข้อมูลภาพตัดขวางของคลื่นสั้นสะเทือนแบบสะท้อนในบริเวณแอ่งโคราชและแอ่งสกลนคร จำนวน 59 แนวสำรวจ พบโครงสร้างแบบโดมเกลือ กระจายทั่วทั้งสองแอ่ง โดยในแอ่งโคราชพบการกระจายของโดมเกลือมากกว่าบริเวณแอ่งสกลนคร ขนาดความกว้างที่ปรากฏในภาพตัดขวางแตกต่างกัน ตั้งแต่ 100 เมตรถึงหลายกิโลเมตร และการปูดของโดมเกลือมีทั้งแบบรูปเตี้ยที่อยู่ห่างๆ กัน และแบบเป็นกระจุกติดๆ กัน และพบลักษณะการวางตัวฐานล่างของหมวดหินมหาสารคาม (รูปที่ 2) ขอบเขตของพื้นที่ที่มีเกลือหินอยู่ใต้ผิวดินในบริเวณแอ่งโคราชประมาณ 25,621 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 34 ของพื้นที่แอ่งที่เป็นที่ราบ ซึ่งมีพื้นที่น้อยกว่าจากที่มีการประเมินในรายงานฝ่ายเศรษฐกิจแร่ กรมทรัพยากรธรณี ที่ประเมินได้ 33,000 ตารางกิโลเมตร และในบริเวณแอ่งสกลนครมีขอบเขตของพื้นที่ที่มีเกลือหินอยู่ใต้ผิวดินประมาณ 20,323 ตารางกิโลเมตร ประเมินได้พื้นที่มากกว่าที่มีการประเมินไว้ในรายงานฝ่ายเศรษฐกิจแร่ กรมทรัพยากรธรณี ที่ประเมินได้ 17,000 ตารางกิโลเมตร (ปกรณ์, 2538) ความลึกมากสุดของฐานล่างหมวดหินมหาสารคามประมาณ 1.3 กิโลเมตร อยู่ในบริเวณแอ่งโคราช ในพื้นที่ของจังหวัดมหาสารคาม (รูปที่ 2) และฐานล่างหมวดหินมหาสารคามบริเวณแอ่งสกลนครพบตื้นกว่าแอ่งโคราช (รูปที่ 2)

2. ผลการจัดลำดับของจังหวัดที่มีเกลือหินใต้ผิวดิน

ผลการศึกษาหาขอบเขตของแอ่งโคราชและแอ่งสกลนครที่มีเกลือหินใต้ผิวดิน แสดงในรูปที่ 2 และ 3 โดยแบ่งเป็นพื้นที่ของจังหวัดแต่ละจังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีเกลือหินอยู่ใต้ผิวดินแสดงในตารางที่ 1 จังหวัดที่ไม่มีเกลือหินรองรับใต้ผิวดิน ได้แก่ จังหวัดหนองบัวลำภู มุกดาหาร และ เลย ส่วนจังหวัดที่มีเกลือหินใต้ผิวดินรองรับมากที่สุด คือ จังหวัดหนองคาย ซึ่งมีถึงร้อยละ 86 ของพื้นที่จังหวัด รองลงมาคือจังหวัดมหาสารคาม ซึ่งมีร้อยละ 85 ของพื้นที่จังหวัด จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่า การที่พื้นที่ของจังหวัดที่มีเกลือหินอยู่ใต้ผิวดิน ในลักษณะของภูมิภาคแตกต่างกัน การปรับปรุง แก้ไขเกี่ยวกับปัญหาเรื่องดินเค็ม-น้ำเค็ม ย่อมแตกต่างกัน เช่น บริเวณพื้นที่ขอบแอ่งที่เป็นบริเวณที่ลาดชันการปรับปรุงแก้ไขปัญหาดินเค็มย่อมทำได้ง่าย การแก้ปัญหาดินเค็ม-น้ำเค็มในพื้นที่ขอบแอ่งเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าบริเวณพื้นที่กลางแอ่งและเป็นทีลุ่ม แต่พื้นที่ขอบแอ่ง (รูปที่ 2) มีโอกาสที่จะประสบปัญหาเกี่ยวกับการทรุดและยุบตัวของแผ่นดิน อันเป็นภัยพิบัติที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้ในพื้นที่ที่มีเกลือหินใต้ผิวดิน บริเวณพื้นที่ที่ไม่มีเกลือหินรองรับใต้ผิวดิน แต่มีสภาพดินเค็ม-น้ำเค็ม ปรากฏที่ผิวดิน จะสามารถทำการปรับปรุงแก้ไขได้ง่ายที่สุด ความยากง่ายของการปรับปรุงแก้ไข ปัญหาดินเค็ม-น้ำเค็ม สรุปในตารางที่ 1

3. ผลการศึกษาเพื่อหาต้นแบบวิธีการศึกษาเพื่อให้ได้รูปร่างของโดมเกลือใต้ผิวดินแบบ 3 มิติ

การศึกษาเพื่อหารูปร่าง 3 มิติของโดมเกลือในพื้นที่กรณีศึกษาบ้านโนนแสง บ้านบ่อแดง และพื้นที่ใกล้เคียง ที่ได้จากข้อมูลการสำรวจด้วยคลื่นสั้นสะท้อนแบบหักเหและแบบสะท้อน และการสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ที่เป็นการสำรวจแบบบูรณาการ (integrated geophysical surveys) (รูปที่ 3) พบแกนการปูดของโดมเกลือ 2 แนว แสดงถึงทิศทางของแรงที่มากกระทำไม่คงที่ สภาพผิวพื้นดินบริเวณที่มีโดมเกลือพบเป็นบริเวณที่ราบลุ่ม (รูปที่ 4) มีลำห้วยตัดผ่านสภาพของแขนงของลำห้วย หรือร่องน้ำไม่สัมพันธ์กับรูปร่างของโดมเกลือที่อยู่ใต้ผิวดิน

รูปที่ 5 แสดงตัวอย่างของภาพตัดขวางจากข้อมูลการสำรวจด้วย เปรียบเทียบข้อมูลที่สำรวจด้วยคลื่นสั้นสะท้อนแบบหักเหและแบบสะท้อน และการสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ส่วนรูปที่ 6 แสดงตัวอย่างของภาพตัดขวางจากข้อมูลการสำรวจด้วย เปรียบเทียบข้อมูลที่สำรวจด้วยคลื่นสั้นสะท้อนแบบหักเหและแบบสะท้อน และการสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ พร้อมข้อมูลหลุมเจาะจำนวน 2 หลุม ที่ได้ทำการเจาะสำรวจภายหลังจากที่ทำการประยุกต์ด้วยวิธีทางธรณีฟิสิกส์ไปแล้ว เพื่อตรวจสอบการแปลความหมาย และช่วยยืนยันผล ให้เกิดความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น ซึ่งพบว่า การแปลความหมายสอดคล้องกับข้อมูลของหลุมเจาะสำรวจ ณ ตำแหน่งที่เจาะสำรวจ

4. วิวัฒนาการของเกลือหินในหมวดหินมหาสารคาม

ลำดับการสะสมตัวหรือวิวัฒนาการของหมวดหินมหาสารคาม เริ่มจากการชนกันของแผ่นโลกพม่า ตะวันตกกับแผ่นโลกฉานไทยที่ได้เชื่อมกับแผ่นโลกอินโดจีน ในช่วงยุคครีเตเชียสตอนปลาย ประมาณ 113 ล้านปี ผลของแรงอัดจากการชน ทำให้เกิดการยกตัวสูงขึ้นของเทือกเขาเลย-เพชรบูรณ์บริเวณขอบแผ่นโลกฉานไทยและแผ่นโลกอินโดจีน ผลจากน้ำหนักกดของเทือกเขาทำให้เกิดเป็นแอ่งในบริเวณที่ไม่มีน้ำหนักกด ต่อมามีการรุกของน้ำทะเลเข้ามายังแอ่งที่อยู่ในแผ่นดิน เกิดการตกสะสมของเกลือหินโพแทช และหินดินเหนียว ของหมวดหินมหาสารคาม ลำดับการตกตะกอนของหมวดหินมหาสารคามมี 3 ช่วง เป็นการจบสิ้นลำดับการตกตะกอนของหมวดหินมหาสารคาม จากนั้นสภาพแวดล้อมเปลี่ยนไป แอ่งที่เคยมีน้ำทะเลตื้นเขิน ถูกปิดด้วยตะกอนที่พัดพามากับลมเป็นส่วนใหญ่ ขนาดของตะกอนมีขนาดใหญ่ขึ้นจากตะกอนขนาดทราย แบ่งเป็นตะกอนขนาดทรายละเอียดถึงหยาบ ตกสะสมอยู่ภายในแอ่งและมีการเชื่อมประสานเป็นหินแข็ง ปิดทับชั้นเกลือหิน หินที่ปิดทับชั้นเกลือหิน คือ หมวดหินภูทอก ซึ่งหมวดหินภูทอกหยุดการตกสะสมเมื่อเกิดการชนกันของแผ่นโลกอินเดียและแผ่นโลกยูเรเชีย ที่ทำให้เกิดเทือกเขาหิมาลัย เมื่อประมาณ 60-65 ล้านปี หมวดหินมหาสารคามและหมวดหินภูทอกรวมทั้ง

หมวดหินที่รองรับอยู่ส่วนล่างทั้งหมดถูกแรงกระทำเกิดการคดโค้ง ในส่วนของพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือปัจจุบัน

จากผลของการคดโค้งทำให้แยกแ่งเกลือออกเป็น 2 แ่งรูปกระโถนหยายคือแ่งโคราชและแ่งสกลนคร โครงสร้างรูปกระโถนคือเทือกเขาภูพาน (รูปที่ 1) แต่เนื่องจากชั้นเกลือหินเป็นชั้นหินที่ง่ายต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะ (deformation) เพราะมีลักษณะเป็นแบบพลาสติก ดังนั้นในขณะที่เกิดการคดโค้งเป็นรูปกระโถนของเทือกเขาภูพาน และรูปกระโถนหยายของแ่งโคราชและแ่งสกลนคร ชั้นเกลือหินบริเวณเทือกเขาภูพานได้เคลื่อนไหลมาตามความลาดของการคดโค้งมาอยู่กลางแ่ง และปูดขึ้นเป็นรูปโดมเกลือ (ดังภาพตัวอย่างในรูปที่ 3 หรือ รูปที่ 4) การปูดเกิดจากแรงที่ทำให้เกิดการคดโค้งทั้งภูมิภาคจากผลของการปูดของเกลือหิน ทำให้ความลึกของเกลือหินในแ่งโคราชและแ่งสกลนครพบในลักษณะที่ไม่แน่นอน ไม่สามารถทำนายหรืออาศัยการศึกษาแบบเทียบความสัมพันธ์ (correlation) ได้ รูปร่างของโดมเกลือมีรูปร่างไม่แน่นอน (รูปที่ 4) ชั้นเกลือหินภายในแ่งโคราชและแ่งสกลนครจึงไม่ได้มีการวางตัวในแนวราบอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกับการตกสะสมในครั้งแรกเกลือหินในพื้นที่ของแ่งโคราชและแ่งสกลนครจึงพบได้ในระดับต้นและลึกแตกต่างกันไป ส่งผลให้พื้นที่บางพื้นที่ภายในแ่งโคราชและแ่งสกลนครมีสภาพเป็นดินเค็ม กระจายกระจายไป และปัจจุบันยังไม่สามารถทำนายรูปแบบการกระจายของดินเค็มที่สามารถตรวจสอบ (verify) ได้อย่างเหมาะสม แม่นยำ

อภิปรายผลและเสนอแนะ

1. การศึกษาใต้ผิวดินเพื่อหาการวางตัวของเกลือหินใต้ผิวดิน

เนื่องสภาพของเกลือหินใต้ผิวดินในพื้นที่แ่งโคราชและแ่งสกลนครวางตัวแบบชั้นหินขรุขระ ปูดเป็นรูปโดม (รูปที่ 3) หรือขาดหายไปไม่ต่อเนื่อง

ดังนั้นในการสำรวจใต้ผิวดินเพื่อหาการวางตัว หากทำใช้วิธีเทียบความสัมพันธ์ (correlation) เพื่อคาดคะเนความลึก และการวางตัวของเกลือหินใต้ผิวดิน เช่นเดียวกับหมวดหินอื่น ๆ ที่อยู่ใต้หมวดหินมหาสารคาม นั้นไม่สามารถทำได้ภาพที่ถูกต้อง และคำอธิบายที่กล่าวมานี้ได้ตอบข้อสงสัยที่ว่า “ทำไมภาพตัดขวางแสดงการวางตัวของเกลือหินใต้ผิวดิน ที่สร้างโดยอาศัยการเทียบความสัมพันธ์ (correlation) ด้วยข้อมูลหลุมเจาะเพียง 2 หรือ 3 หรือ หลาย ๆ หลุม มีความคลาดเคลื่อนสูง หรือเมื่อมีการเจาะหลุมทดสอบ (verify) พบว่าผลการแปลความไม่สอดคล้องตามความลึกที่คาดคะเนไว้” ดังนั้นหากต้องการความถูกต้องแม่นยำในการหาความลึกและการวางตัวของเกลือหินใต้ผิวดิน ควรประยุกต์ใช้การสำรวจด้วยวิธีทางธรณีฟิสิกส์ เพื่อให้ได้ภาพ 3 มิติ ดังตัวอย่างในรูปที่ 4 ซึ่งการสำรวจธรณีฟิสิกส์เป็นวิธีที่สามารถทำได้รวดเร็วและที่สำคัญคือประหยัดค่าใช้จ่ายค่อนข้างมาก

2. การเปิดเผยข้อมูลและใช้ข้อมูลร่วมกัน

การศึกษาของคณะผู้วิจัย พบอุปสรรคเกี่ยวกับการรวบรวมและขอศึกษาข้อมูลแก่ค่อนข้างมาก อีกทั้งข้อมูลการศึกษาธรณีวิทยาของภาคตะวันออกเฉียงเหนือค่อนข้างกระจัดกระจาย เพราะมีการศึกษาจากหลายหน่วยงาน ซึ่งการศึกษามากมาย หน่วยงานนับว่าเป็นสิ่งที่ดี แต่ปรากฏว่าเป็นการศึกษาแบบซ้ำซ้อน เหมือนกับไม่มีการแลกเปลี่ยนข้อมูลซึ่งกันและกัน ดังนั้นในอนาคตควรมีศูนย์รวมรวบรวมข้อมูลการศึกษาธรณีวิทยาของภาคตะวันออกเฉียงเหนือหรือของประเทศ เพื่อให้ผู้ที่สนใจได้เข้าไปทำการศึกษาข้อมูลเท่าที่ได้มีการทำการสำรวจมาแล้ว ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลของนักวิจัย ข้อมูลขององค์กรอิสระ ข้อมูลของบริษัทสำรวจแหล่งแร่หรือปิโตรเลียมที่ได้ยกเลิกพื้นที่สัมปทานหรือกิจการไปแล้ว หรือข้อมูลของหน่วยงานราชการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้เพื่อจะได้ให้ผู้ที่เกี่ยวข้องได้ศึกษา วิเคราะห์ แบบต่อยอด ไม่ซ้ำมาเริ่มทำการสำรวจเพื่อให้ได้ข้อมูลใต้ผิวดินซ้ำเติมในพื้นที่เดิม ๆ อยู่เรื่อยไปดังเช่นปัจจุบัน

สรุป

การศึกษาขอบเขต และวิวัฒนาการของเกลือหินในหมวดหินมหาสารคาม จากการแปลความข้อมูลคลื่นสั้นสะท้อนแบบสะท้อนในการสำรวจปิโตรเลียมจำนวน 59 แนวสำรวจของแอ่งโคราชและแอ่งสกลนคร ศึกษาข้อมูลหลุมเจาะสำรวจเทียบเคียงกับแนวสำรวจคลื่นสั้นสะท้อน ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับอายุของหมวดหินจากผลการศึกษาที่ได้มีการศึกษามาแล้ว และทำการสำรวจเพื่อหารูปร่างแบบ 3 มิติ ด้วยการวัดคลื่นสั้นสะท้อนแบบหักเหและแบบสะท้อนและวัดความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะในพื้นที่กรณีศึกษาบ้านโนนแสง บ้านบ่อแดงและพื้นที่ใกล้เคียง อำเภอบ้านม่วง จังหวัดสกลนคร พบว่า

(1) ขอบเขตของพื้นที่ที่มีเกลือหินอยู่ใต้ผิวดินบริเวณแอ่งโคราช โคราชประมาณ 25,621 ตารางกิโลเมตร และแอ่งสกลนครประมาณ 20,323 ตารางกิโลเมตร รวมพื้นที่ทั้งหมดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีเกลือหินใต้ผิวดิน 45,944 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 28 ของทั้งภาค

(2) จังหวัดที่มี เกลือหินใต้ผิวดินเรียงจากมากไปหาน้อยมีลำดับดังต่อไปนี้ มหาสารคาม (86%) หนองคาย (85%) นครพนม (79%) ร้อยเอ็ด (66%) สกลนคร (58%) ยโสธร (53%) อุดรธานี (38%) นครราชสีมา (28%) ขอนแก่น (27%) อำนาจเจริญ (19%) ชัยภูมิ (9%) กาฬสินธุ์ (9%) บุรีรัมย์ (7%) สุรินทร์ (6%) อุบลราชธานี (6%) และ ศรีสะเกษ (4%) ส่วนจังหวัดที่ไม่มีพื้นที่ที่มีเกลือหินอยู่ใต้ผิวดินได้แก่ จังหวัดหนองบัวลำภู มุกดาหาร และเลย จังหวัดที่อยู่ตามขอบแอ่งโคราชและแอ่งสกลนคร การแก้ปัญหาดินเค็ม-น้ำเค็ม จะสามารถทำได้ง่ายกว่าจังหวัดที่มีพื้นที่อยู่กลางแอ่ง

(3) การสำรวจหารูปร่างของโดมเกลือแบบ 3 มิติ ควรใช้วิธีวัดคลื่นสั้นสะท้อนแบบหักเห และ/หรือแบบสะท้อน และ/หรือ การวัดความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะหรือใช้ร่วมกัน การสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะทำได้รวดเร็วกว่าการสำรวจด้วยคลื่นสั้นสะท้อน

(4) วิวัฒนาการของหมวดหินมหาสารคาม เริ่มจากผลของการชนกันของแผ่นสองแผ่นประมาณ 113 ล้านปีมาแล้ว ผลจากการชนกันเกิดการคดโค้งเป็นแอ่ง และมีการรุกของน้ำทะเลเข้ามายังแอ่ง พร้อมเกิดการตกสะสมของชั้นเกลือหิน โพแทช และหินดินเหนียว จากนั้นสภาพแวดล้อมเปลี่ยนไป แอ่งเกิดการตั้งเขินและถูกปิดด้วยตะกอนที่ส่วนใหญ่พัดพามากับลม เป็นส่วนใหญ่ ตะกอนที่ถูกปิดทับต่อมามีการเชื่อมประสานเป็นหินแข็ง จากนั้นเมื่อมีการชนกันของแผ่นโลกในช่วงประมาณ 60-65 ล้านปี แอ่งถูกแรงกระทำทำให้เกิดการคดโค้ง พื้นที่ในส่วนที่เป็นภาคตะวันออกเฉียงเหนือปัจจุบัน เกิดการโค้งขึ้นและโค้งลงแยกพื้นที่ของแอ่งโค้งลงหรือรูปกระทะหงาย 2 แอ่ง คือแอ่งโคราชและแอ่งสกลนคร และรูปกระทะคว่ำคือเทือกเขาภูพาน ชั้นเกลือหิน เมื่อถูกแรงกระทำมีการคดโค้ง และการปูดเป็นรูปโดมสูงๆ ต่ำๆ กระจายตัวอยู่ภายในแอ่ง ส่วนใหญ่กระจุกตัวอยู่กลางแอ่ง หมวดหินมหาสารคามที่เคยครอบคลุมเทือกเขาภูพานผุกร่อนออกไป แต่มวลเกลือหินบริเวณเทือกเขาภูพานส่วนใหญ่เคลื่อนไหลลงมาอยู่กลางแอ่งในช่วงที่เกิดขบวนการคดโค้ง ผลจากการปูดของเกลือหินจากการถูกแรงกระทำทำให้เกิดการคดโค้งทั่วทั้งภูมิภาคทำให้พบความลึกของเกลือหินใต้ผิวดินในบริเวณแอ่งโคราชและแอ่งสกลนครไม่แน่นอน ไม่สามารถใช้การศึกษาโดยการเทียบความสัมพันธ์ (correlation) ดังเช่นหมวดหินอื่น ๆ

(5) แผนที่ธรณีวิทยาของกรมทรัพยากรธรณีฉบับปัจจุบัน มาตราส่วน 1: 1,000,000 ควรปรับขอบเขตของหมวดหินมหาสารคามใหม่ เพื่อให้สอดคล้องกับข้อมูลใหม่ที่สามารถบ่งบอกขอบเขตของหมวดหินมหาสารคาม

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาในครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยขอนแก่น ปีงบประมาณ พ.ศ. 2546 และ 2547 เรื่อง โครงสร้างและวิวัฒนาการของหมวดหินมหาสารคาม และโครงการวิจัยเรื่อง การประยุกต์

สำรวจธรณีฟิสิกส์เพื่อศึกษาธรณีวิทยาใต้ผิวดินและการประเมินเพื่อคาดการณ์ภัยพิบัติทางธรรมชาติที่จะเกิดจากการยุบตัวของโพรงเกลือใต้ผิวดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่อยู่ในชุดโครงการวิจัยเรื่อง การจัดการทรัพยากรเกลือ ดินเค็ม น้ำเค็ม ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คณะผู้ศึกษาขอขอบพระคุณ ผู้อำนวยการกองเชื้อเพลิงธรรมชาติ กรมทรัพยากร กระทรวงอุตสาหกรรม (เดิม) ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลการสำรวจวัดคลื่นสั่นสะเทือนแบบสะท้อนในพื้นที่ที่ยกเลิกสัมปทานไปแล้วบางส่วน ขอขอบพระคุณ คุณนเรศ สัตยารักษ์ ที่ให้คำแนะนำ และข้อคิด เกี่ยวกับสภาพธรณีวิทยาของพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

เอกสารอ้างอิง

กรมทรัพยากรธรณี. 2542. แผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย มาตราส่วน 1:1,000,000. กรุงเทพฯ: กรมทรัพยากรธรณี.

นเรศ สัตยารักษ์ และทรงภพ พลจันทร์. 2540. เกลือหินใต้ที่ราบสูงโคราช. เอกสารการประชุมทางวิชาการประจำปี. กรมทรัพยากรธรณี. หน้า 1-13.

ปกรณ์ สุวานิช. 2538. ความเป็นไปได้ในการผลิตแร่โปแตชในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. ใน เอกสารประกอบการประชุมการพัฒนาเทคโนโลยีในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. ขอนแก่น: คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย ขอนแก่น. 253-287.

เพียงตา สาตย์, สุทนต์ ทองมี, พูนจิตร ไชยทองศรี และ ชัญชนา คำชา. 2544. การประยุกต์วิธีการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์เพื่อศึกษาหาความลึกของโพรงเกลือและชั้นเกลือหินในบริเวณบ้านโนนแสวง อำเภอบ้านม่วง จังหวัดสกลนคร. วารสารวิจัย มข. (1): 63-74.

เพียงตา สาตย์, วินิจ ยังมี, สุรัชย์ สมผดุง, และรุ่งเรือง เลิศศิริวรกุล. 2547. รายงานการวิจัยเรื่อง การประยุกต์สำรวจธรณีฟิสิกส์เพื่อศึกษาธรณีวิทยาใต้ผิวดินและการประเมินเพื่อคาดการณ์ภัยพิบัติทางธรรมชาติที่จะเกิดจากการยุบตัวของโพรงเกลือใต้ผิวดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. ขอนแก่น: ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ศูนย์วิจัยน้ำบาดาล มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2543. รายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 5 การศึกษา Hydrogeological model เพื่อคาดการณ์การกระจายดินเค็มในระยะยาว โครงการโขงชี มูล. ขอนแก่น: ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วินิจ ยังมี, เพียงตา สาตย์, สุรัชย์ สมผดุง, ธีรัฐภูมิ มีสวัสดิ์ และ วัชรภรณ์ ทองแมน. 2546. รายงานการวิจัยเรื่อง โครงสร้างและวิวัฒนาการของหมวดหินมหาสารคาม: ผลจากการศึกษาด้วยคลื่นสั่นสะเทือนและวิธีวัดความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ขอนแก่น: ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย ขอนแก่น.

สมเกียรติ จันทร์มหา. 2530. หน้าตาโดมเกลือใต้ที่ราบสูงโคราช: เอกสารการประชุมทางวิชาการ. กรมทรัพยากรธรณี. หน้า 301-317.

Racey, A. Love, M. A., Canham, A. C., Goodall, J. G. S., Polachan, A. and Jones, P. D. 1996. Stratigraphy and reservoir potential of the Mesozoic Khorat Group, Northeastern Thailand, Part I: Stratigraphy and sedimentary evolution. *Journal of Petroleum Geology*. 19: 5-40.

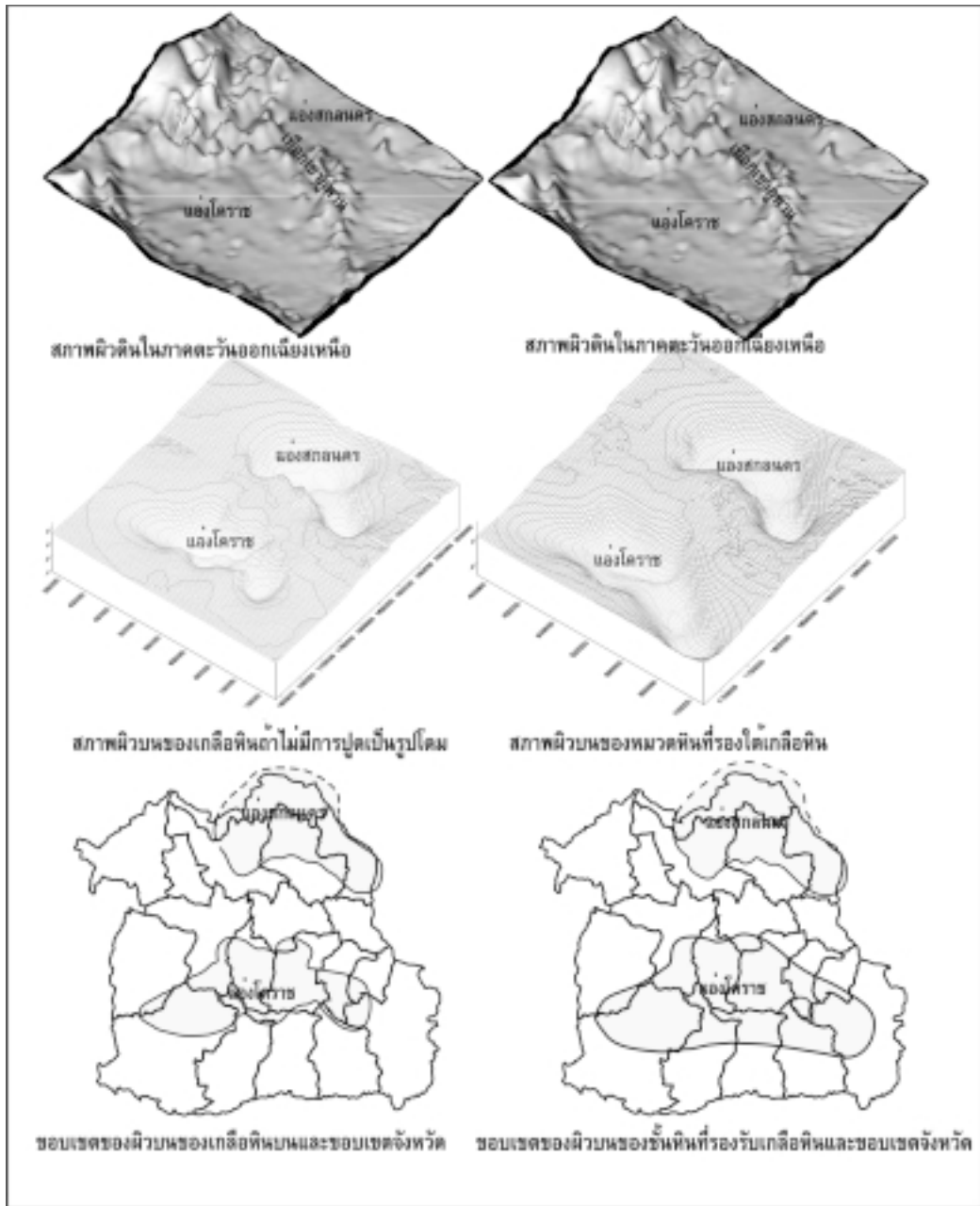
Salt Institute homepage. Cited 16 September 2004. Available from URL:<http://www.saltinstitute.org>.

ตารางที่ 1 พื้นที่จังหวัดที่มีเกลือหินอยู่ใต้ผิวดิน มีการผลิตเกลือสินเธาว์ และสภาพปัญหาดินเค็ม-น้ำเค็ม

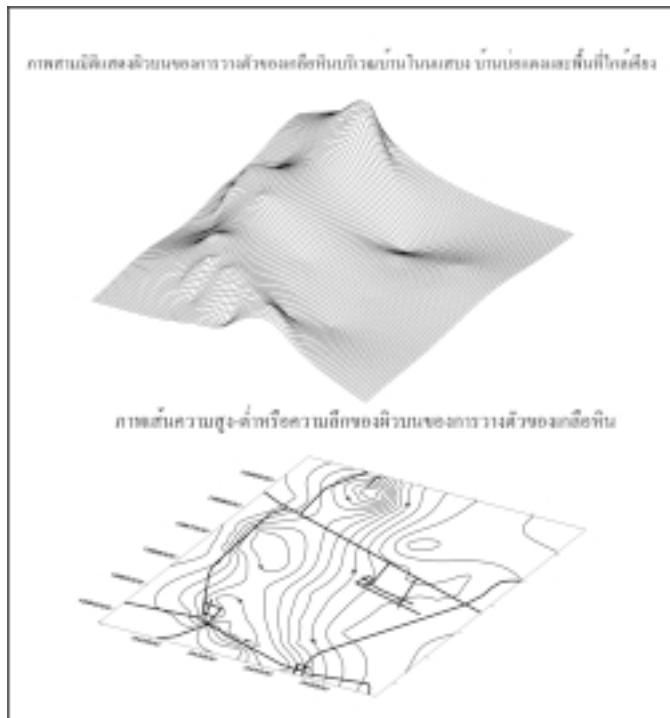
จังหวัด	พื้นที่จังหวัด ตร.กม.	พื้นที่เกลือหินใต้ผิวดิน ตร.กม. (ร้อยละ)	การผลิตเกลือ แบบนาตาก	สภาพปัญหาดินเค็ม- น้ำเค็ม
1 หนองคาย	7,222	6,201(86)	มี	แก้ไขได้ยากมาก
2 มหาสารคาม	5,602	4,771(85)	มี	แก้ไขได้ยากมาก
3 นครพนม	5,449	4,312(79)	มี	แก้ไขได้ยากมาก
4 ร้อยเอ็ด	7,802	5,157(66)	มี	แก้ไขได้ยากมาก
5 สกลนคร	9,525	5,563(58)	มี	แก้ไขได้ยากมาก
6 ยโสธร	4,092	2,175(53)	ไม่มี	แก้ไขได้ยากมาก
7 อุรธานี	11,063	4,247(38)	มี	แก้ไขได้ยากมาก
8 นครราชสีมา	20,720	5,711(28)	มี	แก้ไขได้ยาก
9 ขอนแก่น	10,609	2,894(27)	ไม่มี	แก้ไขได้ยาก
10 อ่างนาจเจริญ	3,240	609(19)	ไม่มี	แก้ไขได้ยาก
11 ชัยภูมิ	12,690	1,200(9)	ไม่มี	แก้ไขได้ง่าย
12 กาฬสินธุ์	6,897	596(9)	ไม่มี	แก้ไขได้ง่าย
13 บุรีรัมย์	10,075	750(7)	ไม่มี	แก้ไขได้ง่าย
14 สุรินทร์	8,804	511(6)	ไม่มี	แก้ไขได้ง่าย
15 อุบลราชธานี	15,478	871(6)	ไม่มี	แก้ไขได้ง่าย
16 ศรีสะเกษ	88,640	3,762(4)	ไม่มี	แก้ไขได้ง่าย
17 เลย	10,588	0 (0)	ไม่มี	มีปัญหาน้อยมาก แก้ไขได้ง่าย
18 มุกดาหาร	4,161	0 (0)	ไม่มี	มีปัญหาน้อยมาก แก้ไขได้ง่าย
19 หนองบัวลำภู	4,135	0 (0)	ไม่มี	มีปัญหาน้อยมาก แก้ไขได้ง่าย
รวมพื้นที่	167,020	45,944 (28)		-



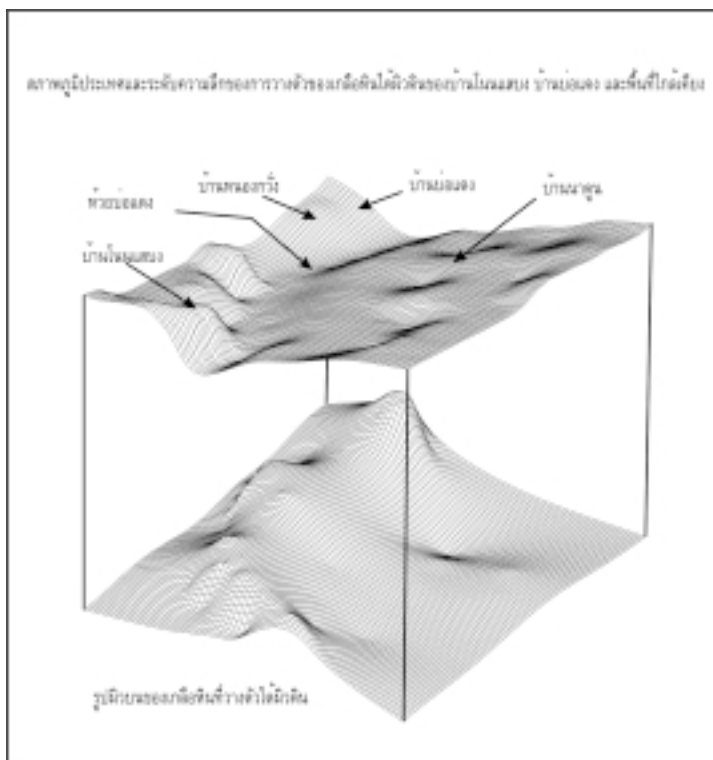
รูปที่ 1 แผนที่แสดงตำแหน่งของแนวสำรวจคลื่นสั้นสะท้อนที่ใช้ในการวิเคราะห์หากการวางตัวของเกลือหิน และขอบเขตของพื้นที่จังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ



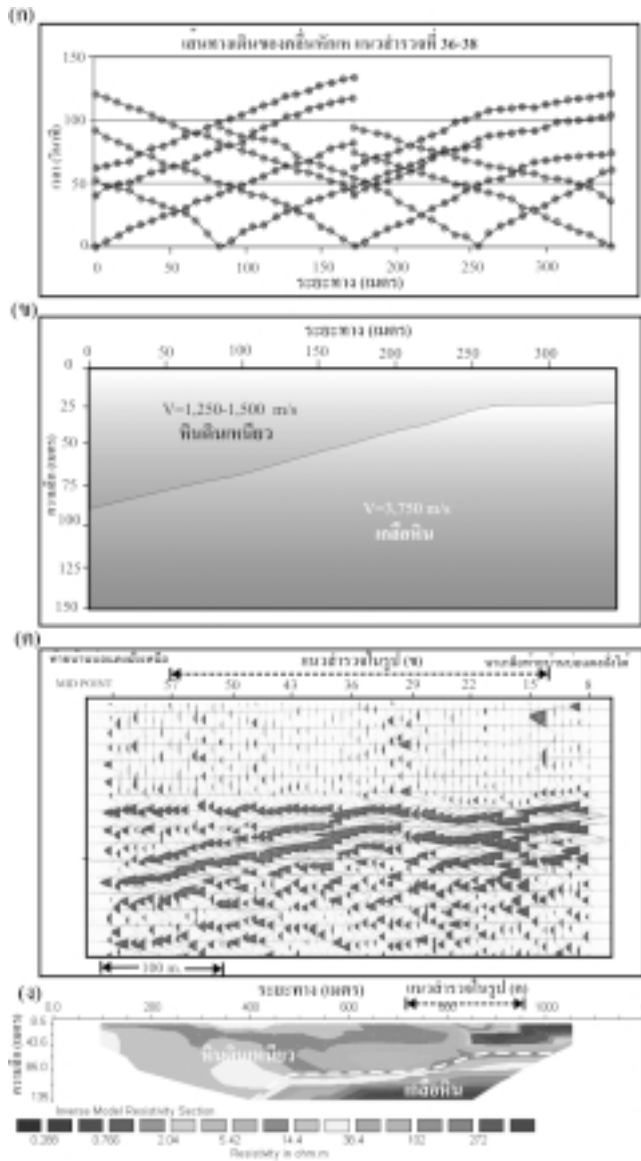
รูปที่ 2 ภาพบนแสดงภาพ 3 มิติของความสูงต่ำของภูมิประเทศในพื้นที่ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาพกลางซ้ายมือแสดงความลึกของผิวบนของเกลื่อนหิน ภาพกลางขวามือแสดงฐานล่างของหมวดหินมหาสารคามหรือผิวบนของชั้นหินที่รองรับหมวดหินมหาสารคามในบริเวณแอ่งโคราช และแอ่งสกลนคร ที่ได้จากการแปลความหมายคลื่นสั่นสะเทือนแบบสะท้อน ภาพล่างซ้ายมือแสดงขอบเขตพื้นที่ของจังหวัดและขอบเขตผิวบนเกลื่อนหินซึ่งเจดสีทับ ภาพล่างขวามือแสดงขอบเขตพื้นที่จังหวัดและขอบเขตของฐานล่างเกลื่อนหิน
หมายเหตุ: บริเวณขอบของแอ่งสกลนครที่เกินเข้าไปในพื้นที่ประเทศลาว คณะผู้วิจัยไม่มีข้อมูลในส่วนนี้ ดังนั้นขอบเขตของแอ่งสกลนครในส่วนที่อยู่ในประเทศลาวอาจจะไม่ถูกต้อง



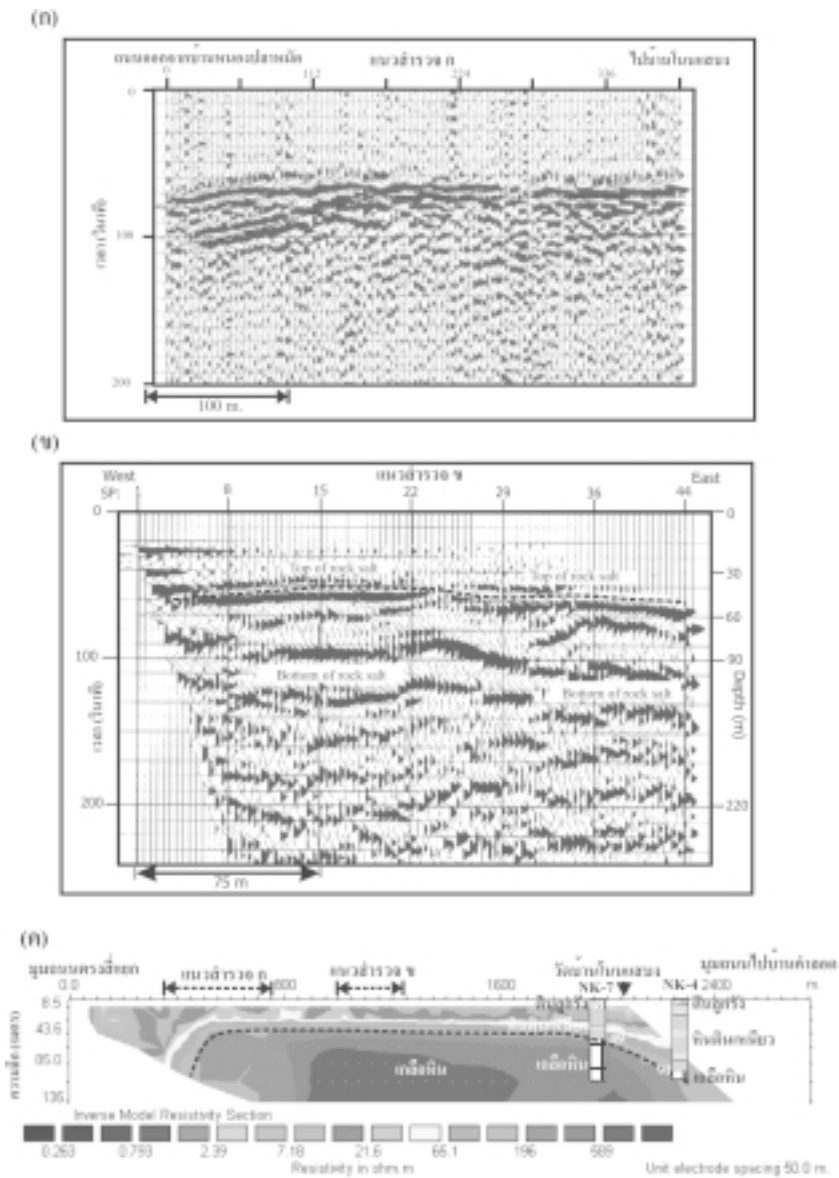
รูปที่ 3 แผนที่แสดงความลึกของผิวบนของการวางตัวของเกลือหินใต้ผิวดินในพื้นที่บ้านโนนแสง บ้านบ่อแดง และพื้นที่ใกล้เคียง และภาพ 3 มิติ ที่สร้างจากเส้นความลึกของผิวบนของเกลือหินใต้ผิวดิน



รูปที่ 4 ภาพ 3 มิติ แสดงลักษณะภูมิประเทศและรูปร่างของโดมเกลือใต้ผิวดินบริเวณพื้นที่บ้านโนนแสงและบ้านบ่อแดง



รูปที่ 5 ภาพเปรียบเทียบผลการสำรวจด้วยคลื่นสั้นสะท้อนแบบหักเหและแบบสะท้อน และการสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่สำรวจแนวเดียวกัน (ก) ผลการสำรวจด้วยคลื่นสั้นสะท้อนแบบหักเห (ข) ผลการแปลความหมายใต้ผิวดินจากข้อมูลในภาพ ก (ค) ผลการสำรวจแบบสะท้อนที่แสดงด้วย common offset gather ที่ระยะ 60 เมตร (ง) ผลการสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ



รูปที่ 6 ภาพผลการสำรวจด้วยคลื่นสั้นสะท้อนสะท้อน การสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ และข้อมูลหลุมเจาะสำรวจ (ก) ผลการสำรวจแบบสะท้อนที่แสดงด้วย common offset gather ที่ระยะ 60 เมตร (ข) ผลการสำรวจแบบสะท้อนแสดงด้วย stack section ที่มีจุดสะท้อนรวม 12 ครั้ง เมตร (ค) ผลการสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ