



รายงานการวิจัย

การศึกษาและจัดทำแผนที่แสดงระดับความเสี่ยงจากการทรุดตัวของแผ่นดินในเขตพื้นที่ผลิตเกลือสินเธาว์ของจังหวัดนครราชสีมา โดยใช้ข้อมูลจากระบบเรดาร์แบบช่องเปิดเสมือนและธรณีฟิสิกส์
(Study and the Land Subsidence Risk Level Mapping in the Rock Salt Production Area of Nakhon Ratchasima Province by Using Synthetic Aperture Radar and Geophysical Data)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รายงานการวิจัย

การศึกษาและจัดทำแผนที่แสดงระดับความเสี่ยงจากการทรุดตัวของแผ่นดินในเขตพื้นที่ผลิตเกลือสินเธาว์ของจังหวัดนครราชสีมา โดยใช้ข้อมูลจากระบบเรดาร์แบบช่องเปิดเสมือนและธรณีฟิสิกส์
(Study and the Land Subsidence Risk Level Mapping in the Rock Salt Production Area of Nakhon Ratchasima Province by Using Synthetic Aperture Radar and Geophysical Data)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อัมพรรค วรรณโกมล

สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี

สำนักวิศวกรรมศาสตร์

ผู้ร่วมวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิตา ธีระกุลสถิต

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2556-2557

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่ผู้เดียว

สิงหาคม 2561

ก

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556-2557 ซึ่งงานวิจัยสามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีก็ด้วยความช่วยเหลือจากเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการและคณาจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งผู้วิจัยต้องขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ผู้วิจัย

สิงหาคม 2561



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์หลักในการประเมินความเสี่ยงของการทรุดตัวของแผ่นดินด้วยการใช้การทำแผนที่แสดงความเสี่ยงของการทรุดตัวของแผ่นดินที่ครอบคลุมบริเวณพื้นที่ผลิตเกลือของจังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย มาใช้เป็นกรณีศึกษา แผนที่แสดงความเสี่ยงในการทรุดตัวของแผ่นดินที่สร้างขึ้นในการศึกษาครั้งนี้เป็นผลมาจากการวิเคราะห์การประเมินการทรุดตัวของแผ่นดินโดยใช้วิธีการตัดสินใจแบบหลายคุณลักษณะ (MADM) และการรวมแบบถ่วงน้ำหนักอย่างง่าย (SAW) ปัจจัย 8 ประการที่เกี่ยวข้องกับเกิดการทรุดตัวของแผ่นดินที่ใช้ในการประเมินการทรุดตัวของแผ่นดินในการศึกษาครั้งนี้คือ ระดับความสูงของผิวของชั้นเกลือหินที่อยู่ใต้ดินชั้นบนสุด ความหนาของชั้นหินปิดทับชั้นเกลือหิน ความหนาของหมวดหินภูทอก ความหนาของตะกอนยุคควอเทอร์นารี ระดับน้ำใต้ดิน แหล่งน้ำที่ผิวดิน ระดับความสูงของภูมิประเทศ และโครงสร้างทางธรณีเชิงเส้นของพื้นที่ศึกษา โดยเกณฑ์ในการให้ค่าการถ่วงน้ำหนักให้กับแต่ละปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้ถูกกำหนดขึ้นโดยผู้ประเมินบนพื้นฐานที่มาจากความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลการทรุดตัวของแผ่นดินที่ปรากฏขึ้นจริงกับปัจจัยที่ถูกเลือกมาทั้ง 8 ข้อ จากผลของการศึกษาได้กำหนดให้ค่าความถ่วงน้ำหนักสูงสุด คือ ความหนาของชั้นหินปิดทับ และตามด้วยค่าความถ่วงน้ำหนักเรียงจากมากไปน้อยได้แก่ ค่าระดับความสูงของภูมิประเทศ ค่าระดับความสูงของผิวของชั้นเกลือหินที่อยู่ใต้ดินชั้นบนสุด ค่าความหนาของชั้นหินภูทอก ค่าระดับน้ำใต้ดิน แหล่งน้ำที่ผิวดิน โครงสร้างทางธรณีเชิงเส้นและค่าความหนาของตะกอนยุคควอเทอร์นารี ตามลำดับ แผนที่แสดงการกระจายตัวของความเสี่ยงต่อการเกิดการทรุดตัวของแผ่นดินที่สร้างขึ้นได้ถูกตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้หลักฐานและตำแหน่งของการทรุดตัวของแผ่นดินที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่ศึกษาในอดีต ผลที่ได้พบว่าแผนที่แสดงการกระจายตัวของความเสี่ยงในการเกิดการทรุดตัวของแผ่นดินที่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาที่สร้างขึ้นนี้แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการทรุดตัวของแผ่นดินในระดับสูงมาก คิดเป็นพื้นที่ประมาณร้อยละ 13.45 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมดและกระจายตัวอยู่ในบริเวณพื้นที่ทางด้านตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษา ในพื้นที่อำเภอโนนสูง และบางส่วนของพื้นที่ทางเหนือของอำเภอเมือง พื้นที่ความเสี่ยงต่อการเกิดการทรุดตัวของแผ่นดินในระดับสูงนั้นครอบคลุมพื้นที่ประมาณร้อยละ 28.66 ของพื้นที่ทั้งหมดของพื้นที่ศึกษาและส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่ในบริเวณพื้นที่ทางด้านตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษา ในพื้นที่อำเภอโนนไทย และบางส่วนของพื้นที่ทางเหนือของอำเภอเมือง พื้นที่ความเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินทรุดระดับปานกลาง คิดเป็นพื้นที่ประมาณร้อยละ 39.66 ของพื้นที่ศึกษาและกระจายตัวอยู่ในบริเวณพื้นที่ตอนกลางของพื้นที่ศึกษา ในพื้นที่ของอำเภอคง ขามสะแกแสง พระทองคำ ด่านขุนทด และอำเภอสูงเนิน เขตพื้นที่ความเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินทรุดในระดับต่ำและต่ำมากปรากฏอยู่ในพื้นที่ทางด้านตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษา

Abstract

The main objective of this research is to evaluate the land subsidence risk by mapping the land subsidence risk area covering the salt production areas in the vicinity of Nakhon Ratchasima province, Thailand, as a case study. The generated land subsidence risk map of this study was the result of land subsidence assessment analysis using Multiple Attribute Decision Making (MADM) method and Simple Additive Weighting (SAW) technique. Eight factors related to the land subsidence susceptibility used for land subsidence evaluation in this study were the elevation of the underground uppermost rock salt surface, the thickness of overlaying layer of rock salt, the thickness of Phu Tok Formation, the thickness of Quaternary sediments, level of groundwater, surface waterbody, the elevation of the surface topography, and lineament structures of the study area. Weighting factors criteria for each of related factors were assigned by assessor on the basis of the interrelation between the existing land subsidence areas data and eight selected related factors. Based on results of the study, the highest weight factor was assigned to the thickness of overlaying layer of rock salt and descending followed by the elevation of the surface topography, the elevation of the underground uppermost rock salt surface, the thickness of Phu Tok Formation, level of groundwater, surface waterbody, lineament structures, and the thickness of Quaternary sediments, respectively. The generated land subsidence risk distribution map was validated by evidences and locations of the existing land subsidence areas within the study area in the past. As a result, the generated land subsidence risk distribution map covering the study area shows that the very high land subsidence risk region covers about 13.45% of the entire study area and it is distributed in the southeastern part of the study area in Non Sung and some of the northern part of Muang district. The high land subsidence risk region covers about 28.66% of the entire study area and it is mostly distributed in the southeastern part of the study area in Non Thai and some of the northern part of Muang district. The moderate land subsidence risk area accounts about 39.66% of the study area and it is mostly distributed in the central part of the study area covering Khong, Kham Sa Kae Saeng, Pra Tong Kham, Dan Khun Thot, and Sung Noen district. The low and the very low land subsidence risk zone appear in the northwestern part of the study area.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของการวิจัย.....	3
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	5
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	7
1.7 ผลสำเร็จและความคุ้มค่าของการวิจัยที่ได้รับจากการวิจัย.....	7
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม	9
2.1 เกลือหินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.....	9
2.2 กระบวนการและปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่ทำให้เกิดการทรุดตัวของแผ่นดิน.....	17
2.3 กระบวนการเกิดหลุมยุบ ปัจจัยที่ทำให้เกิดหลุมยุบ ข้อสังเกตก่อนเกิดหลุมยุบ.....	17
2.4 การเกิดหลุมยุบบนที่ราบสูงโคราช.....	19
2.5 ปัจจัยที่ทำให้เกิดหลุมยุบบริเวณที่ราบสูงโคราช.....	20
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	21
3.1 การรวบรวมข้อมูลและการเตรียมข้อมูล.....	21
3.1.1 กรอบแนวคิดของ Spatial MCDA.....	23
3.1.2 วิธีการถ่วงน้ำหนักแบบง่าย (Simple Additive Weighting, SAW).....	24
3.2 วิธีการศึกษา.....	25
3.3 ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษา.....	33
3.3.1 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมระบบเรดาร์แบบช่องเปิดเสมือนสังเคราะห์.....	33
	(Synthetic Aperture Radar, SAR)

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.2 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Pleiades และ SPOT5.....	34
3.4 การสำรวจธรณีฟิสิกส์ด้วยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะในแนวตั้ง.....	35
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	39
4.1 การประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการทรุดตัวของแผ่นดิน.....	39
4.1.1 ผลการวิเคราะห์การศึกษาหาปัจจัยที่มีผลต่อการทรุดตัว ของแผ่นดินในพื้นที่ศึกษา.....	40
4.1.2 ผลการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะในแนวตั้ง ในพื้นที่ศึกษา.....	66
4.2 ผลการวิเคราะห์และจำแนกพื้นที่ตามระดับความเสี่ยงต่อการทรุดตัวของแผ่นดิน.....	75
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	81
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	81
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	82
บรรณานุกรม.....	84
ประวัติผู้วิจัย.....	88

ฉ
สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ข้อมูลแสดงตำแหน่ง ระดับความสูงปากหลุม และความลึกของหลุมเจาะสำรวจแร่.....	27
โพแทชและเกลือหิน จำนวน 38 หลุม ในบริเวณพื้นที่ศึกษา	
3.2 ข้อมูลระดับความสูงของผิวของชั้นเกลือหินที่อยู่ใต้ดินชั้นบนสุด และความหนาของชั้น.....	29
หินปิดทับชั้นเกลือหิน	
3.3 ข้อมูลความหนาของชั้นหินอุทก (Tpt) และความหนาของตะกอนยุคควอเทอร์นารี (Qa).....	31
3.4 ตำแหน่งจุดสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะในแนวตั้ง จำนวน 19 จุดสำรวจ.....	37
ในพื้นที่ศึกษา	
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงค่ามาตรฐาน (Ranging) อันดับความสำคัญ (Ranking) และ.....	40
ระดับความเสี่ยงต่อการเกิดการทรุดตัวของแผ่นดินที่เกิดจากแต่ละปัจจัย	
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงค่าระดับคะแนนมาตรฐานและระดับความเสี่ยงต่อการเกิด.....	41
การทรุดตัวของแผ่นดินที่ใช้กับปัจจัยแหล่งน้ำผิวดินและโครงสร้างทางธรณีวิทยาเชิงเส้น	
4.3 การกำหนดเกณฑ์การจัดอันดับของระดับความสูงของผิวของชั้นเกลือหินที่อยู่ใต้ดิน.....	42
ชั้นบนสุด	
4.4 การกำหนดเกณฑ์การจัดอันดับของความหนาของชั้นหินปิดทับชั้นเกลือหิน.....	45
4.5 การกำหนดเกณฑ์การจัดอันดับของความหนาของหมวดหินอุทก.....	48
4.6 การกำหนดเกณฑ์การจัดอันดับของความหนาของตะกอนยุคควอเทอร์นารี.....	51
4.7 การกำหนดเกณฑ์การจัดอันดับของระดับน้ำใต้ดิน.....	54
4.8 การกำหนดเกณฑ์การจัดอันดับของระดับความสูงของภูมิประเทศ.....	57
4.9 การกำหนดเกณฑ์การจัดอันดับของแหล่งน้ำผิวดิน.....	60
4.10 การกำหนดเกณฑ์การจัดอันดับของโครงสร้างทางธรณีเชิงเส้น.....	61
4.11 ผลการสำรวจและแปลความหมายข้อมูลการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า.....	67
จำเพาะในแนวตั้งในพื้นที่ศึกษา	
4.12 ข้อมูลความหนาของชั้นหินปิดทับชั้นเกลือหินจากการวัดความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ.....	71
ในแนวตั้งในบริเวณพื้นที่ศึกษา	
4.13 การกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักมาตรฐานของแต่ละปัจจัย เพื่อกำหนดพื้นที่.....	76
ที่มีความเสี่ยงต่อการทรุดตัวของแผ่นดินในพื้นที่ศึกษา	
4.14 ผลการจำแนกปริมาณของพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดทรุดตัวของแผ่นดิน.....	79
ตามค่าระดับความเสี่ยงภัยในพื้นที่ศึกษา	

ช
สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 พื้นที่ศึกษาการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยจากการทรุดตัวของแผ่นดินในเขตพื้นที่ผลิตเกลือสินเธาว์ของจังหวัดนครราชสีมา	4
2.1 แอ่งสะสมตะกอนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (แอ่งโคราช และแอ่งสกลนคร)	9
2.2 ลำดับการวางตัวของชั้นหินกลุ่มหินโคราช	10
2.3 ลำดับชั้นหินมาตรฐานหมวดหินมหาสารคาม	12
2.4 รูปแบบโครงสร้างของเกลือหินที่เป็นไปได้ในบริเวณที่ราบสูงโคราช	14
2.5 ภาพตัดขวางแสดงลำดับชั้นหินในพื้นที่แอ่งโคราช และแอ่งสกลนคร	15
2.6 ภาพถ่ายดาวเทียมแสดงลักษณะพื้นที่ที่มีความสัมพันธ์กับหมวดหินมหาสารคามบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย	16
3.1 กรอบแนวความคิดของการศึกษา	26
3.2 การจัดวางการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะแบบแนวตั้ง (Vertical Electrical Sounding, VES) โดยรูปแบบของการจัดวางขั้วไฟฟ้าแบบชลัมเบอร์เจอร์ (Schlumberger Configuration)	36
3.3 แผนที่แสดงตำแหน่งจุดสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าในแนวตั้ง (VES) จำนวน 19 จุดสำรวจ (PT1 – PT19) ในพื้นที่บ้านโพนไพล ตำบลพังเทียม อำเภอพระทองคำ จังหวัดนครราชสีมา	38
4.1 แผนที่แสดงค่าระดับความสูงของผิวของชั้นเกลือหินที่อยู่ใต้ดินชั้นบนสุดจากระดับน้ำทะเลปานกลางในพื้นที่ศึกษา	43
4.2 แผนที่แสดงค่าคะแนนมาตรฐานที่ได้จากค่าระดับความสูงของผิวของชั้นเกลือหินที่อยู่ใต้ดินชั้นบนสุดในพื้นที่ศึกษา	44
4.3 แผนที่แสดงค่าความหนาของชั้นหินปิดทับชั้นเกลือหินในพื้นที่ศึกษา	46
4.4 แผนที่แสดงค่าคะแนนมาตรฐานที่ได้จากค่าความหนาของชั้นหินปิดทับชั้นเกลือหินในพื้นที่ศึกษา	47
4.5 แผนที่แสดงค่าความหนาของชั้นหินอุกในในพื้นที่ศึกษา	49
4.6 แผนที่แสดงค่าคะแนนมาตรฐานที่ได้จากค่าความหนาของชั้นหินอุกในในพื้นที่ศึกษา	50
4.7 แผนที่แสดงค่าความหนาของตะกอนยุคควอเทอร์นารีในพื้นที่ศึกษา	52
4.8 แผนที่แสดงค่าคะแนนมาตรฐานที่ได้จากค่าความหนาของตะกอนยุคควอเทอร์นารีในพื้นที่ศึกษา	53

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 แผนที่แสดงค่าระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา.....	55
4.10 แผนที่แสดงค่าคะแนนมาตรฐานที่ได้จากค่าระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา.....	56
4.11 แผนที่แสดงค่าระดับความสูงของภูมิประเทศในพื้นที่ศึกษา.....	58
4.12 แผนที่แสดงค่าคะแนนมาตรฐานที่ได้จากค่าระดับความสูงของภูมิประเทศ.....	59
ในพื้นที่ศึกษา	
4.13 แผนที่แสดงการกระจายตัวของแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา.....	62
4.14 แผนที่แสดงค่าคะแนนมาตรฐานที่ได้จากค่าการจัดอันดับของแหล่งน้ำผิวดิน.....	63
ในพื้นที่ศึกษา	
4.15 แผนที่แสดงการกระจายตัวของโครงสร้างทางธรณีเชิงเส้นในพื้นที่ศึกษา.....	64
4.16 แผนที่แสดงค่าคะแนนมาตรฐานที่ได้จากค่าการจัดอันดับของโครงสร้าง.....	65
ทางธรณีเชิงเส้นในพื้นที่ศึกษา	
4.17 ภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาแสดงการวางตัวของเกลือหินและระดับความลึก.....	73
ในพื้นที่บ้านโนนไพล ตำบลพังเทียม อำเภอพระทองคำ จังหวัดนครราชสีมา	
4.18 แผนที่แสดงการวางตัวและระดับความลึกของชั้นเกลือหินชั้นบนสุดในบริเวณ.....	74
พื้นที่ที่ทำการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะในแนวตั้ง ในเขตพื้นที่บ้านโนนไพล ตำบลพังเทียม อำเภอพระทองคำ จังหวัดนครราชสีมา	
4.19 แผนที่แสดงการกระจายตัวของความเสี่ยงในการเกิดการทรุดตัวของแผ่นดิน.....	77
ในรูปแบบดิจิทัลที่ได้จากการซ้อนทับค่าคะแนนถ่วงน้ำหนักของแต่ละปัจจัย	
ในแต่ละพิกัดกริดภูมิศาสตร์ในพื้นที่ศึกษา	
4.20 แผนที่แสดงการกระจายตัวของความเสี่ยงในการเกิดการทรุดตัวของแผ่นดิน.....	78
ในรูปแบบค่าคะแนนมาตรฐานครอบคลุมพื้นที่ศึกษา	

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

การทำอุตสาหกรรมเกลือสินเธาว์ ในพื้นที่บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เริ่มต้นทำเมื่อปี พ.ศ. 2512 ที่บริเวณอ่างเก็บน้ำหนองบ่อ อำเภอบ่อระบือ จังหวัดมหาสารคาม และในระหว่างปี พ.ศ. 2514-2522 ได้มีการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างมากไปยังจังหวัดอื่น ๆ จนทำให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมในเรื่องการแพร่กระจายของดินเค็ม ทำให้พื้นที่การประกอบอาชีพเกษตรกรรมเสียหายเป็นจำนวนมาก รวมทั้งมีการร้องเรียนจากผู้ที่ได้รับผลกระทบมากขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะเดียวกันทางราชการได้มีการดำเนินการแก้ไขปัญหามาโดยตลอด จนในที่สุดเพื่อเป็นการควบคุมพื้นที่การทำอุตสาหกรรมเกลือสินเธาว์ไม่ให้ขยายตัวมากขึ้น คณะรัฐมนตรีจึงได้มีมติ เมื่อวันที่ 9 กรกฎาคม พ.ศ. 2534 กำหนดพื้นที่ที่อนุญาตให้ทำอุตสาหกรรมเกลือสินเธาว์ได้และกำหนดมาตรการควบคุมการทำเกลือจากน้ำเกลือใต้ดิน ตลอดจนมอบหมายให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กรมโรงงานอุตสาหกรรม กรมทรัพยากรธรณี กรมชลประทาน กรมอนามัย กรมพัฒนาที่ดิน สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ และกระทรวงมหาดไทย มีหน้าที่ติดตามตรวจสอบ และเฝ้าระวังผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากกิจการทำเกลือดังกล่าว ซึ่งหากมีการฝ่าฝืนจนก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่รุนแรง กระทรวงอุตสาหกรรมมีสิทธิเพิกถอนการอนุญาต และนายกรัฐมนตรีสามารถใช้อำนาจตามความในมาตรา 20 แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2518 สั่งระงับการผลิตเกลือในพื้นที่ดังกล่าวได้ทันที

เนื่องจากในปัจจุบันปัญหาจากการผลิตเกลือสินเธาว์มีแนวโน้มรุนแรงขึ้น และบางพื้นที่อยู่ในภาวะวิกฤตจากการเกิดแผ่นดินทรุดและการแพร่กระจายของดินเค็มอย่างกว้างขวาง จึงมีความจำเป็นต้องทบทวนการกำหนดเขตพื้นที่ใหม่และระบุพื้นที่อนุญาตให้ชัดเจน กระทรวงอุตสาหกรรม โดยกรมทรัพยากรธรณีได้มีหนังสือที่ อก. 0213 (3)/2307 ลงวันที่ 19 สิงหาคม พ.ศ. 2545 แจ้งเลขาธิการคณะรัฐมนตรี ขอให้ทบทวนมติคณะรัฐมนตรีเมื่อวันที่ 9 กรกฎาคม พ.ศ. 2534 เรื่องการกำหนดพื้นที่และกำหนดมาตรการควบคุมกิจการการทำเกลือจากน้ำเกลือใต้ดิน ซึ่งล่าสมัยและไม่สอดคล้องกับสถานการณ์ของประเทศไทยในปัจจุบัน รัฐบาลโดยคณะกรรมการกถำเรื่องเสนอคณะรัฐมนตรีคณะที่ 3 จึงได้มีมติเมื่อวันที่ 19 มีนาคม พ.ศ. 2546 ให้กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมพิจารณาร่วมกับกระทรวงอุตสาหกรรม สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ และกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยแต่งตั้งคณะทำงานเพื่อแก้ไขปัญหาและมีกรอบระยะเวลาการทำงานที่ชัดเจน รวมทั้งกำหนดและเปลี่ยนแปลง

พื้นที่ที่อนุญาตให้สูบหรือนำน้ำเกลือขึ้นมาจากใต้ดินเพื่อทำเกลือ และกำหนดเขตพื้นที่วิกฤตที่ห้ามสูบหรือนำน้ำเกลือขึ้นมาจากใต้ดิน

ถึงแม้ว่าอุตสาหกรรมการผลิตเกลือสินเธาว์จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรประเภทอื่นในหลายๆ ด้าน เช่น ด้านทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ ทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทางชีวภาพ คุณค่าการใช้ประโยชน์ของมนุษย์ และคุณค่าต่อคุณภาพชีวิต แต่เกลือสินเธาว์ก็ยังคงเป็นทรัพยากรสำคัญประเภทหนึ่ง ที่มีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิต การอุปโภค บริโภค ของประชาชน และใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงเกิดขึ้นเพื่อศึกษาปัจจัยและประเมินพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติจากการทรุดตัวของแผ่นดินในพื้นที่ที่ทำการศึกษา และเพื่อจัดทำระบบฐานข้อมูลและสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่สามารถนำไปใช้ในการบริหารจัดการ และติดตามประเมินผลเพื่อป้องกันผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในระยะยาวที่มีสาเหตุมาจากการทรุดตัวของแผ่นดินในพื้นที่ที่ทำการศึกษาซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งในบริเวณพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อชีวิตความเป็นอยู่ของประชาชนรอบ ๆ บริเวณพื้นที่ที่มีความเสี่ยงในการเกิดแผ่นดินทรุดรวมไปถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในบริเวณพื้นที่เสี่ยงดังกล่าวอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยมุ่งเน้นไปที่การศึกษาและประเมินพื้นที่ความเสี่ยงจากการทรุดตัวของแผ่นดินในเขตพื้นที่ผลิตเกลือสินเธาว์ของจังหวัดนครราชสีมา โดยวัตถุประสงค์ของการวิจัยประกอบด้วย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาปัจจัย และประเมินพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติจากการทรุดตัวของแผ่นดินในพื้นที่ที่ทำการศึกษา
- 1.2.2 เพื่อจัดทำระบบฐานข้อมูลและสารสนเทศภูมิศาสตร์ ที่สามารถนำไปใช้ในการบริหารจัดการ และติดตามประเมินผลเพื่อป้องกันผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในระยะยาวที่มีสาเหตุมาจากการทรุดตัวของแผ่นดินในพื้นที่ที่ทำการศึกษา

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

โครงการศึกษาและประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยจากการทรุดตัวของแผ่นดินในเขตพื้นที่ผลิตเกลือสินเธาว์ของจังหวัดนครราชสีมา ประกอบด้วย

- 1.3.1 พื้นที่ที่ทำการศึกษาดังอยู่ในบริเวณเขตพื้นที่ผลิตเกลือสินเธาว์ของจังหวัดนครราชสีมา และพื้นที่โดยรอบ ระหว่าง พิกัด 151000 ตะวันออก /1716000 เหนือ ถึง พิกัด20500 ตะวันออก /1661000 เหนือ ระบบ zone 48 N (WGS 1984 datum) or ระหว่าง 15°00' ถึง 15°30' เหนือ และ 101°45' ถึง 102°15' ตะวันออก ครอบคลุมอำเภอด่านขุนทด อำเภอพระทองคำ อำเภอขามสะแกแสง อำเภอขาม

ทะเลสาบ อำเภอสองแคว อำเภอเฉลิมพระเกียรติ อำเภอเมืองนครราชสีมา อำเภอคง และอำเภอบ้านเหลื่อม (รูปที่ 1.1)

- 1.3.2 งานที่ทำการศึกษารวบรวมไปด้วยการศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยาเบื้องต้น งานศึกษาข้อมูลหลุมเจาะสำรวจแร่โพแทชและเกลือหิน งานศึกษาข้อมูลบ่อนบาดาล และงานศึกษาข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในพื้นที่ที่ทำการศึกษา เพื่อนำมาเป็นข้อมูลในการจัดทำแผนที่แสดงระดับความเสี่ยงภัยต่อการเกิดการทรุดตัวของแผ่นดินในพื้นที่ศึกษา

1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของการวิจัย

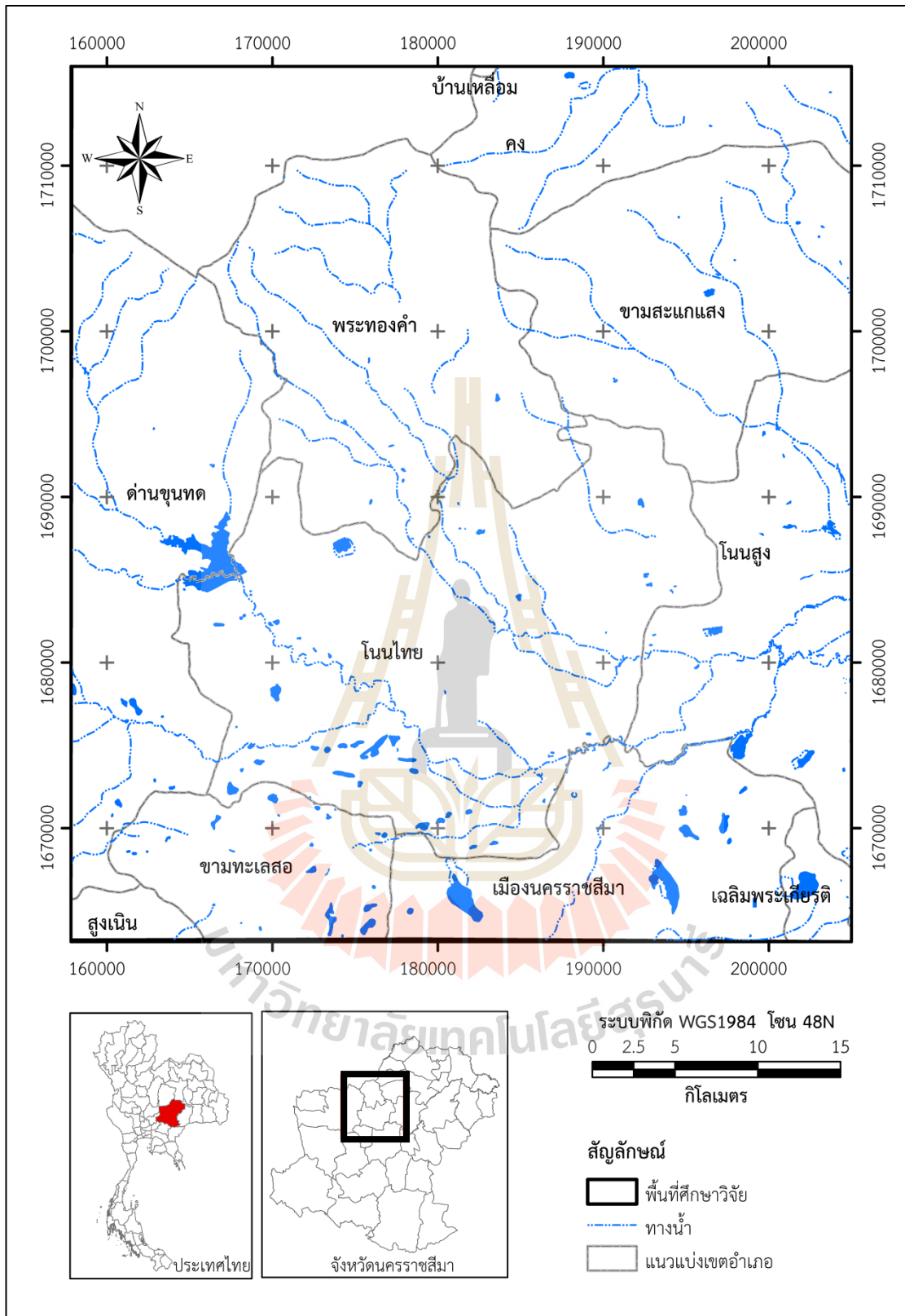
ปัญหาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการผลิตเกลือสินเธาว์ โดยจากการพิจารณาข้อมูลผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการทำเกลือจากน้ำเกลือใต้ดินของหน่วยงานสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม สามารถสรุปได้ 4 ด้าน คือ 1) ทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ 2) ทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทางชีวภาพ 3) คุณค่าการใช้ประโยชน์ของมนุษย์ และ 4) คุณค่าต่อคุณภาพชีวิต โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ ได้แก่ การเกิดปัญหาแผ่นดินทรุด โดยในช่วงปี พ.ศ. 2538 – 2545 โดยเป็นผลจากการสูบน้ำเกลือจากใต้ดินเป็นปริมาณมาก ก่อให้เกิดแผ่นดินทรุดในหลายพื้นที่ ซึ่งการสูบน้ำเกลือขึ้นมาจากใต้ดินทำให้มีการละลายของเกลือหิน เกิดเป็นโพรงใต้ดินขึ้นเมื่อโพรงดังกล่าวเสถียรหมด ที่อาจเกิดจากน้ำหนักกดทับ หรือโพรงขยายใหญ่ขึ้นทำให้เกิดการพัง ยุบตัวของหินและดินที่ปิดทับโพรงอยู่ การทรุดตัวของพื้นดินหากเกิดในบริเวณแหล่งชุมชนหรือถนนหลวง อาจสร้างความเสียหายเป็นอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สิน และสร้างความตื่นตระหนกตกใจแก่ชุมชนได้

2) ทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทางชีวภาพ ได้แก่ ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ของแหล่งประมงน้ำจืด โดยการปล่อยน้ำเค็มที่เกิดจากการผลิตเกลือลงแหล่งน้ำธรรมชาติ จะทำให้สัตว์น้ำจืดที่ไม่สามารถทนความเค็มตายได้ มีผลให้จำนวนสัตว์น้ำลดลง

3) คุณค่าการใช้ประโยชน์ของมนุษย์ ได้แก่

- ผลกระทบต่อการเกษตรกรรม การปล่อยน้ำเค็มหรือน้ำเสียลงลำห้วยหรือคลองธรรมชาติทำให้ความเค็มในแหล่งน้ำนั้นเพิ่มขึ้น หากเพิ่มขึ้นมากเกินไปเกษตรกรจะไม่สามารถใช้น้ำนั้นในการทำเกษตรได้ เพราะจะทำให้พืชตายหรือผลผลิตลดลง นอกจากนี้หากมีการใช้น้ำที่มีความเค็มสูงติดต่อกันเป็นเวลานานก็จะทำให้เกิดการสะสมความเค็มของพื้นที่เกษตรกรรมได้ และจะทำให้พื้นที่นั้นไม่สามารถทำเกษตรกรรมได้ในที่สุด



รูปที่ 1.1 พื้นที่ศึกษาการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยจากการทรุดตัวของแผ่นดินในเขตพื้นที่ผลิตเกลือสินเธาว์ของจังหวัดนครราชสีมา

- ผลกระทบต่อแหล่งน้ำสำหรับการชลประทาน ตัวอย่างของผลกระทบที่เกิดขึ้น เช่น อ่างเก็บน้ำท่ามะนาว อ่างเก็บน้ำบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี พบว่ามีการทำนาเกลือบริเวณเหนืออ่างเก็บน้ำเป็นจำนวนมาก เมื่อถึงฤดูฝนน้ำในอ่างเก็บน้ำสูงขึ้นทำให้ท่วมบริเวณนาเกลือ และชะล้างเกลือลงสู่อ่างเก็บน้ำทำให้ไม่สามารถใช้น้ำเพื่อการชลประทานได้

- ผลกระทบต่อแหล่งน้ำสำหรับการผลิตน้ำประปา ตัวอย่างของผลกระทบที่เกิดขึ้น เช่น อ่างเก็บน้ำบ้านม่วง จังหวัดสกลนคร ใช้น้ำจากลำห้วยซางเพื่อผลิตน้ำประปาใช้ในเขตอำเภอดังกล่าว ช่วงที่มีการผลิตเกลือโดยเฉพาะหน้าแล้งน้ำมีความเค็มและกร่อย ใช้น้ำประปาไม่ได้ทำให้ชาวบ้านเดือดร้อนมาก

4) คุณค่าต่อคุณภาพชีวิต ได้แก่

- เกิดผลกระทบทางสังคมในเรื่องความขัดแย้ง การผลิตเกลือสินเธาว์ที่เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมทำให้เกิดการต่อต้านจากชุมชนใกล้เคียง และถูกมองในฐานะเป็นผู้สร้างปัญหาแก่สิ่งแวดล้อม เกิดความขัดแย้งนำไปสู่ปัญหาทางสังคม ส่วนทางผู้ผลิตบางส่วนก็จะมองชุมชนใกล้เคียงหรือภาครัฐว่าคอยขัดขวางการประกอบกิจการของตนเอง เป็นปัญหาต่อทางราชการที่จะเข้าไปดูแลควบคุม ผู้ประกอบการและยังมีการพิพาทกับชาวบ้านและเกษตรกรในบริเวณใกล้เคียง โดยเฉพาะช่วงที่เกลือราคาดีจะมีการลักลอบขยายพื้นที่ทำเกลือและระยะเวลาสูบน้ำเกลือมากขึ้น

- ปัญหาทัศนียภาพ การทำเกลือสินเธาว์โดยเฉพาะวิธีต้ม ส่วนมากจะทำใกล้ทางหลวงแผ่นดินเนื่องจากการทำเกลือดังกล่าวใช้เทคโนโลยีพื้นบ้านจึงมีการสร้างโรงเรือนอย่างง่าย ๆ โดยใช้โครงกรงเป็นไม้ไผ่และมุงหลังคาด้วยแฝก การก่อสร้างเป็นไปอย่างไม่มีระเบียบทำให้มีปัญหาด้านทัศนียภาพต่อผู้พบเห็น และปัจจุบันมีการใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเมื่อเผาไหม้หมดแล้วก็จะกองทิ้งในบริเวณโรงเรือนนั้นไม่มีที่เก็บฝังให้มิดชิดจึงดูสกปรกไม่น่ามองและถ้าบริเวณทำเกลือดังกล่าวอยู่ใกล้ชุมชน ละอองเถ้าถ่านจากแกลบอาจถูกลมพัดเข้าไปทำความรำคาญให้กับประชาชนในหมู่บ้านนั้น ๆ เป็นปัญหาอีกประการหนึ่งด้วย

อย่างไรก็ตามสำหรับโครงการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเฉพาะปัญหาด้านทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทางกายภาพเป็นหลัก

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอน โดยมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การค้นคว้า และศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทำการค้นคว้าและศึกษาวารสาร รายงาน และสิ่งตีพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับ

- ข้อมูลด้านธรณีวิทยา ธรณีวิทยาโครงสร้าง และลักษณะสภาพภูมิประเทศ
- ข้อมูลปัญหาแผ่นดินทรุดที่เกิดขึ้นทั้งในและต่างประเทศ

- ข้อมูลการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติ
- ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับความหนา ระดับความลึก และการแผ่กระจายตัวของชั้นหิน และชั้นเกลือหินในบริเวณพื้นที่ที่ทำการศึกษาและพื้นที่ใกล้เคียงโดยรอบ

ขั้นตอนที่ 2 การรวบรวมข้อมูลและการเตรียมข้อมูล

- รวบรวมข้อมูลและกำหนดปัจจัยที่นำมาใช้ในการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยฯ
- รวบรวมข้อมูลของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดทรุดตัวของแผ่นดิน
- นำข้อมูลจากระบบเรดาร์แบบช่องเปิดเสมือน (Synthetic Aperture Radar, SAR) ที่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษามาจัดเตรียมเพื่อนำไปใช้ในการจัดทำแผนที่ภูมิประเทศขั้นละเอียด
- ข้อมูลต่าง ๆ ที่รวบรวมมาจะได้รับการจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล (Database) และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS)
- จัดทำข้อมูลต่าง ๆ ให้อยู่ในระบบฐานข้อมูล และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อเป็นแผนที่พื้นฐาน โดยใช้ซอฟต์แวร์ ArcMap หรือโปรแกรมอื่น ๆ ที่ใช้การแปลงข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

ขั้นตอนที่ 3 การเก็บข้อมูลภาคสนาม

การปฏิบัติงานและการเก็บข้อมูลภาคสนามในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วย 1) การสำรวจธรณีวิทยาภาคสนาม และ 2) การสำรวจธรณีฟิสิกส์

การสำรวจธรณีวิทยาภาคสนามเป็นการเก็บข้อมูลสนามด้านธรณีวิทยา และข้อมูลการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ และทรัพยากรธรรมชาติ เพื่อใช้เป็นข้อมูลเสริมในการแปลความหมายของข้อมูลการสำรวจธรณีฟิสิกส์และการแปลความหมายจากภาพถ่ายจากดาวเทียม

การเก็บข้อมูลทางด้านธรณีฟิสิกส์ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้การสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะในแนวตั้ง (Vertical Electrical Sounding, VES) ในบริเวณจุดที่ใกล้เคียงกับพื้นที่ผลิตเกลือสินเธาว์ในพื้นที่ศึกษาเพื่อทำการตรวจสอบสภาพธรณีวิทยาใต้ผิวดิน การลำดับชั้นหินและการวางตัวของชั้นหินที่ละลายน้ำได้ (ชั้นเกลือหิน) ในบริเวณพื้นที่ผลิตเกลือสินเธาว์ที่ทำการศึกษา

ขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบการตัดสินใจแบบพิจารณาหลายเกณฑ์ (Multi-Criteria Decision Making, MCDM) ซึ่งเป็นเทคนิคการตัดสินใจที่ก้าวหน้าเป็นอย่างมากในการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยฯ พื้นฐานของ MCDM สามารถนำมาคิดวิเคราะห์เกี่ยวกับกระบวนการรวมกัน และการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของข้อมูลนำเข้าเชิงพื้นที่ (Input) ไปสู่ผลของการตัดสินใจ (Output) โดยวิธีการ MCDM เป็นความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลนำเข้า (Input) และผลของการตัดสินใจ (Output) เกี่ยวกับการใช้ประโยชน์ข้อมูลภูมิศาสตร์ การตัดสินใจของผู้ดำเนินการ และการจัดการของข้อมูล (Massam, 1988)

ขั้นตอนที่ 5 การแปลความหมาย

ผลที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนามได้ถูกนำมาทำการวิเคราะห์และแปลความหมายเข้ากับแผนที่ระดับความสูงและภาพที่ได้จากข้อมูลการประมวลผลและแปลความหมายจากสัญญาณคลื่นเรดาร์ ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมและข้อมูลเชิงพื้นที่อื่น ๆ เพื่อนำมาสร้างแผนที่แสดงค่าระดับความเสี่ยงภัยจากการทรุดตัวของแผ่นดินในพื้นที่ศึกษา

ข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้จากการศึกษาจะถูกนำมาจัดทำให้อยู่ในระบบฐานข้อมูล (Database) และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เพื่อเป็นแผนที่พื้นฐาน (Base map) โดยใช้ซอฟต์แวร์ ArcView ArcMap และ Arc Info อีกครั้งหนึ่ง

ขั้นตอนที่ 5 การสรุปผลและเขียนรายงาน

ผลการศึกษาที่ได้ทั้งหมดจะนำมาสรุปและนำเสนอในรายงานฉบับสมบูรณ์ เพื่อส่งมอบเมื่อเสร็จสิ้นโครงการวิจัย

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

- 1.6.1 ทราบสาเหตุหรือปัจจัยที่สนับสนุนต่อการเกิดการทรุดตัวของแผ่นดินในบริเวณพื้นที่ศึกษา
- 1.6.2 สามารถกำหนดขอบเขตพื้นที่และระดับความเสี่ยงภัยในบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการทรุดตัวของแผ่นดินในบริเวณพื้นที่ศึกษาได้

1.7 ผลสำเร็จและความคุ้มค่าของการวิจัยที่ได้รับจากการวิจัย

ประโยชน์ที่ได้รับจากผลการวิจัยที่เสนอนี้มีหลายด้าน ซึ่งสามารถสรุปเป็นหัวข้อได้ดังต่อไปนี้

ด้านเทคโนโลยีการสำรวจ งานด้านการทรุดตัวของแผ่นดิน เนื่องจากเทคโนโลยี และการใช้งานภาพถ่ายดาวเทียมนั้นมีการประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลาย และการนำข้อมูลภาพไปใช้งานด้านต่าง ๆ มากมาย โดยการศึกษาวิจัยนี้ได้มุ่งเน้น งานด้านการบริหาร การจัดการทรัพยากรธรรมชาติ คือ เกลือสินเธาว์ และงานด้านธรณีพิบัติภัย คือ การทรุดตัวของแผ่นดิน รวมทั้งการใช้งานร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ข้อมูลภาพจึงเป็นแหล่งข้อมูลที่มีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการตรวจสอบได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล รวมทั้งการคาดการณ์และประเมินความสูญเสียต่อการเกิดธรณีพิบัติภัย

ด้านวิศวกรรม งานด้านโครงสร้าง วางแผน และการวางผังเมือง เนื่องจากการทรุดตัวของแผ่นดินจะมีความสัมพันธ์เบื้องต้นกับมวลเกลือหินที่หายไป ดังนั้นการทรุดตัวจึงมีโอกาสเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องได้ หรือแม้กระทั่งการขยายพื้นที่ของการทรุดตัวของแผ่นดิน แต่อัตราการทรุดตัวจะแตกต่างกันไป ดังนั้นในงานออกแบบโครงสร้างทางวิศวกรรม วางแผน และการวางผังเมือง มีความจำเป็นอย่างยิ่ง

ที่จะต้องทราบถึงโอกาสหรือความเสี่ยงของการเกิดธรณีพิบัติภัยนี้ ซึ่งจะมีผลกระทบอย่างยิ่งต่อการดำเนินชีวิตของประชากรที่อาศัยอยู่ในบริเวณพื้นที่นั้น ๆ

ด้านการพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ของประเทศ เนื่องจากการประเมินลักษณะทางกายภาพทางธรณีจากข้อมูลภาคสนาม ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลด้านธรณีวิทยาและธรณีฟิสิกส์นั้นได้ถูกนำมาประมวลผลและวิเคราะห์เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานและสนับสนุนในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งเป็นวิธีการหรือเทคนิคที่มีรวดเร็วและถูกต้องแม่นยำ โดยองค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้จึงมีความสำคัญอย่างมากต่อการพัฒนาแหล่งผลิตทรัพยากรแร่เกลือสินเธาว์ และด้านโครงสร้าง วางแผน และการวางผังเมือง ซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญต่อการจัดการและวางแผนการพัฒนาประเทศไทยให้มีการพัฒนาที่ยั่งยืนต่อไป

หน่วยงานที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

ผลจากการวิจัยในครั้งนี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อหน่วยงานทั้งภาครัฐ และเอกชน รวมไปถึงสถาบันการศึกษาที่เปิดสอนทางด้านความรู้จากกระยะไกล ธรณีวิทยา ธรณีฟิสิกส์ วิศวกรรมธรณี และวิศวกรรมโยธา ทั้งนี้สถาบันการศึกษาเหล่านี้ สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้ นำไปศึกษาต่อ และใช้ประโยชน์ในการศึกษาและวิจัยในระดับการศึกษาชั้นสูง หรืองานวิจัยอื่น ๆ ต่อไป

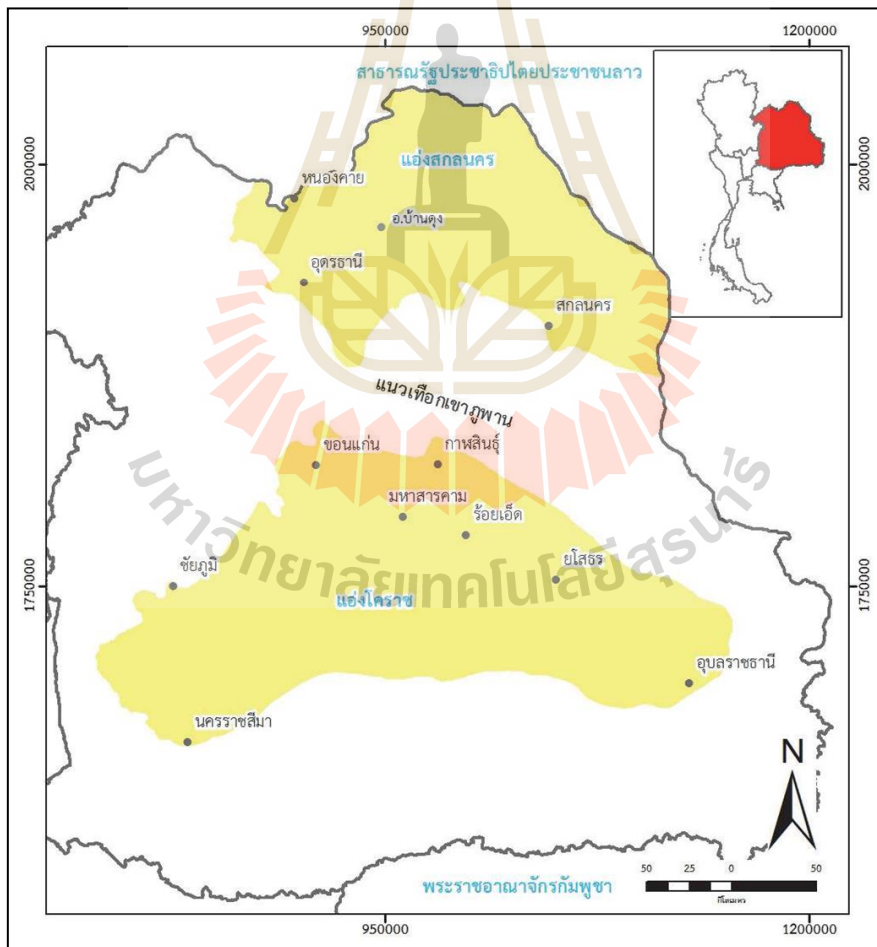
หน่วยงานของรัฐประกอบไปด้วยหน่วยงานที่ทำงานเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม การก่อสร้าง สาธารณูปโภคขั้นพื้นฐาน และอุตสาหกรรมเกลือสินเธาว์ หน่วยงานเหล่านี้ อาทิ เช่น องค์การบริหารส่วนท้องถิ่น สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กรมอนามัย กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กรมทรัพยากรธรณี กรมพัฒนาที่ดิน กรมชลประทาน สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ กรมโยธาธิการและผังเมือง กรมโรงงานอุตสาหกรรม และกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ เป็นต้น และในหน่วยงานทางภาคเอกชนประกอบด้วยผู้ประกอบการอุตสาหกรรมเกลือสินเธาว์ อุตสาหกรรมก่อสร้าง อุตสาหกรรมการสำรวจและผลิตน้ำบาดาล เป็นต้น

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 เกลือหินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

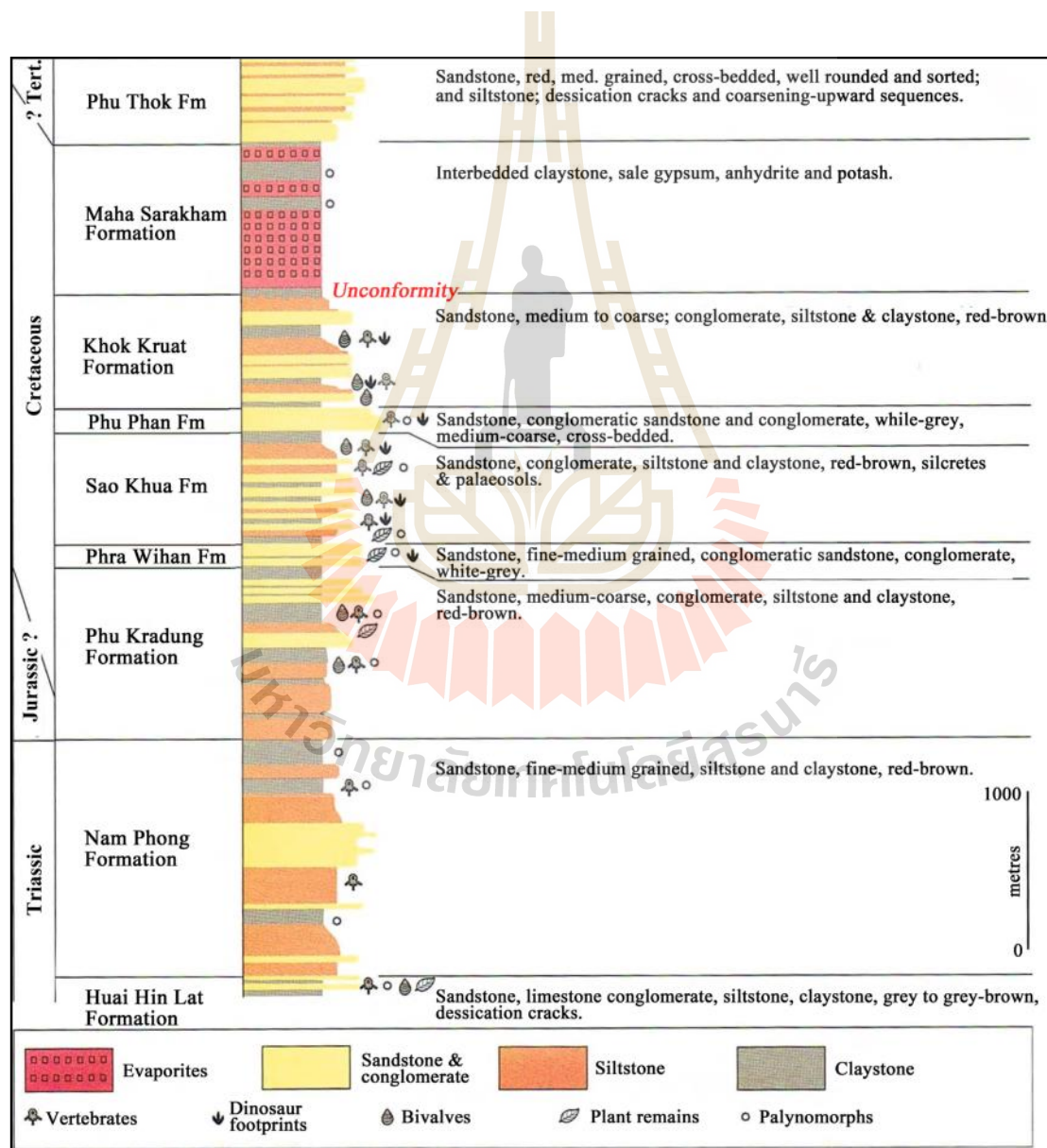
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีขนาดพื้นที่ประมาณ 1 ใน 3 ของพื้นที่ประเทศไทย ลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบสูง ทิศเหนือและทิศตะวันออกเฉียงติดแม่น้ำโขง ทิศตะวันตกเป็นเทือกเขาเพชรบูรณ์ และเทือกเขาตงพญาเย็น ทิศใต้เป็นเทือกเขาสันกำแพงและเทือกเขาพนมดงรัก มีลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่เป็นแอ่ง (Basin) และขอบแอ่งซึ่งเป็นภูเขาสูง (Mountain range) พื้นที่ที่เป็นแอ่งนี้แบ่งออกได้เป็น 2 แอ่งใหญ่ๆ (รูปที่ 2.1) ได้แก่ แอ่งโคราช โดยมีแม่น้ำที่สำคัญในบริเวณนี้คือ แม่น้ำมูล แม่น้ำชี และแม่น้ำพอง ซึ่งจะไหลรวมกันไปลงที่แม่น้ำโขงทางตะวันออกเฉียงใต้ของภาค และแอ่งสกลนคร ซึ่งมีแม่น้ำที่สำคัญคือ แม่น้ำสงคราม และแม่น้ำลำหลวง โดยทั้งสองแอ่งนี้แยกออกจากกันโดยมีเทือกเขาภูพานกั้นไว้



รูปที่ 2.1 แอ่งสะสมตะกอนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (แอ่งโคราช และแอ่งสกลนคร)

(คัดลอกและดัดแปลงจาก Suwanich, 2007)

ภาคอีสานทั้ง 17 จังหวัด (ยกเว้นเพียงจังหวัดเลย) ล้วนตั้งอยู่บนที่ราบสูงโคราช (Khorat Plateau) โดยในอาณาบริเวณของที่ราบสูงโคราชทั้งหมดนี้ จะพบหินตะกอน เนื้อหินสีน้ำตาลแดง ซึ่งสะสมตัวบนพื้นทวีปในช่วงมหายุคมีโซโซอิก (Mesozoic) ตั้งแต่ 250 - 65 ล้านปีมาแล้ว และจากการสำรวจทางธรณีวิทยาได้เรียกหินตะกอนเหล่านี้ว่า “กลุ่มหินโคราช” (Khorat Group) อันประกอบด้วยหมวดหินย่อย 6 หมวดหิน เรียงลำดับจากล่างสุดจนถึงบนสุด (รูปที่ 2.2) ได้แก่ หมวดหินน้ำพอง หมวดหินภูกระดึง หมวดหินพระวิหาร หมวดหินเสาขัว หมวดหินภูพาน หมวดหินโคกกรวด และมีหมวดหินมหาสารคาม และหมวดหินภูทอกปิดทับอยู่ด้านบนของกลุ่มหินโคราช (Tabakh et al., 1999; Meesook, 2011)



รูปที่ 2.2 ลำดับการวางตัวของชั้นหินกลุ่มหินโคราช (คัดลอกจาก Meesook, 2011)

หมวดหินมหาสารคามพบแผ่กระจายตัวอยู่ในบริเวณที่ราบตอนเหนือของที่ราบสูงโคราช ซึ่งเรียกว่า “แอ่งสกลนคร” และที่ราบตอนใต้ซึ่งเรียกว่า “แอ่งโคราช” ลักษณะประกอบด้วยชั้นเกลือหิน 3 ชั้น โดยระหว่างชั้นเกลือหินจะถูกแทรกสลับด้วยชั้นหินโคลน สีน้ำตาลแดง ชั้นเกลือหินทั้งหมดนี้แม้จะเป็นสาเหตุของการเกิดปัญหาดินเค็มและน้ำเค็มบนที่ราบสูงโคราช แต่อีกด้านหนึ่งก็จัดเป็นแหล่งวัตถุดิบสำคัญในการผลิตเกลือสินเธาว์ของภาคอีสาน และยังมีแร่โพแทชซึ่งมีคุณค่าทางเศรษฐกิจสูงเกิดร่วมอยู่ด้วย พื้นที่ส่วนใหญ่ของทั้งสองแอ่งนี้เป็นแหล่งสะสมตัวของเกลือหิน (Rock salt) ความหนาเฉลี่ยประมาณ 100 เมตร และอยู่ลึกจากผิวดินตั้งแต่ 40 ถึงมากกว่า 300 เมตร ชั้นหินเกลือตามสภาพทางธรณีวิทยาของหมวดหินมหาสารคามซึ่งมีอายุอยู่ในยุคครีเตเชียสตอนปลาย ประกอบด้วยเกลือหลายชนิด เช่น แร่เฮไลต์ (NaCl) แร่ซิลไวต์ (KCl) คาร์เนลไลต์ ($KMgCl_2 \cdot 6H_2O$) แพทซ์ไฮโดรต์ ($CaCl_2 \cdot 2MgCl_2 \cdot 12H_2O$) แอนไฮไดรต์ ($CaSO_4$) หินปูน ($CaCO_3$) เป็นต้น บริเวณที่พบชั้นเกลือหินอยู่ต้น มักจะพบเป็นโครงสร้างรูปโดม (Dome) หรือรูปประทุน (Anticline) ที่เกิดจากชั้นเกลือหินแทรกขึ้นมาในบริเวณที่หินปิดทับบางและมีรอยแตกมากนั้นเป็นบริเวณที่มีการแพร่กระจายของน้ำเค็ม ทำให้ชั้นน้ำบาดาลเค็มจัด และต่อมากลายเป็นแหล่งผลิตเกลือสินเธาว์ที่สำคัญของประเทศ เช่น อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี อำเภอพิมาย อำเภอโนนสูง อำเภอโนนไทย จังหวัดนครราชสีมา อำเภอบ้านม่วง จังหวัดสกลนคร เป็นต้น (Utha-aroon, 1993; Tabakh et al., 1998; Satarugsa et al., 2005; Meesook, 2011)

Suwanich (2007) ได้ทำการสรุปธรณีวิทยาของชั้นเกลือหินของหมวดหินมหาสารคามที่สมบูรณ์จากชั้นบนลงล่าง (รูปที่ 2.3) ไว้ดังนี้

1) หินเนื้อประสมชั้นบน (Upper Clastic Unit) หรือดินเหนียวชั้นกลาง ส่วนใหญ่เป็นดินเหนียว หินดินเหนียวหรือหินโคลน หินดินดาน หินทราย และหินทรายแป้ง มีความหนาประมาณ 58-794 เมตร

2) แอนไฮไดรต์หรือยิปซัม (Anhydrite or gypsum) มักพบเป็นชั้นบาง ๆ สีขาวถึงสีขาวเทา เกิดปิดอยู่บนชั้นเกลือหินซึ่งบางหลุม บางบริเวณอาจไม่พบ เกิดได้ทั้งแบบปฐมภูมิ คือ เกิดสะสมจากน้ำทะเลโดยตรง และเกิดแบบทุติยภูมิ คือ เกิดขึ้นภายหลัง เนื่องจากชั้นเกลือละลายออกไป เหลือเกลือซัลเฟต ซึ่งละลายน้ำได้ยากกว่าคงอยู่ มีความหนาประมาณ 0-5 เมตร

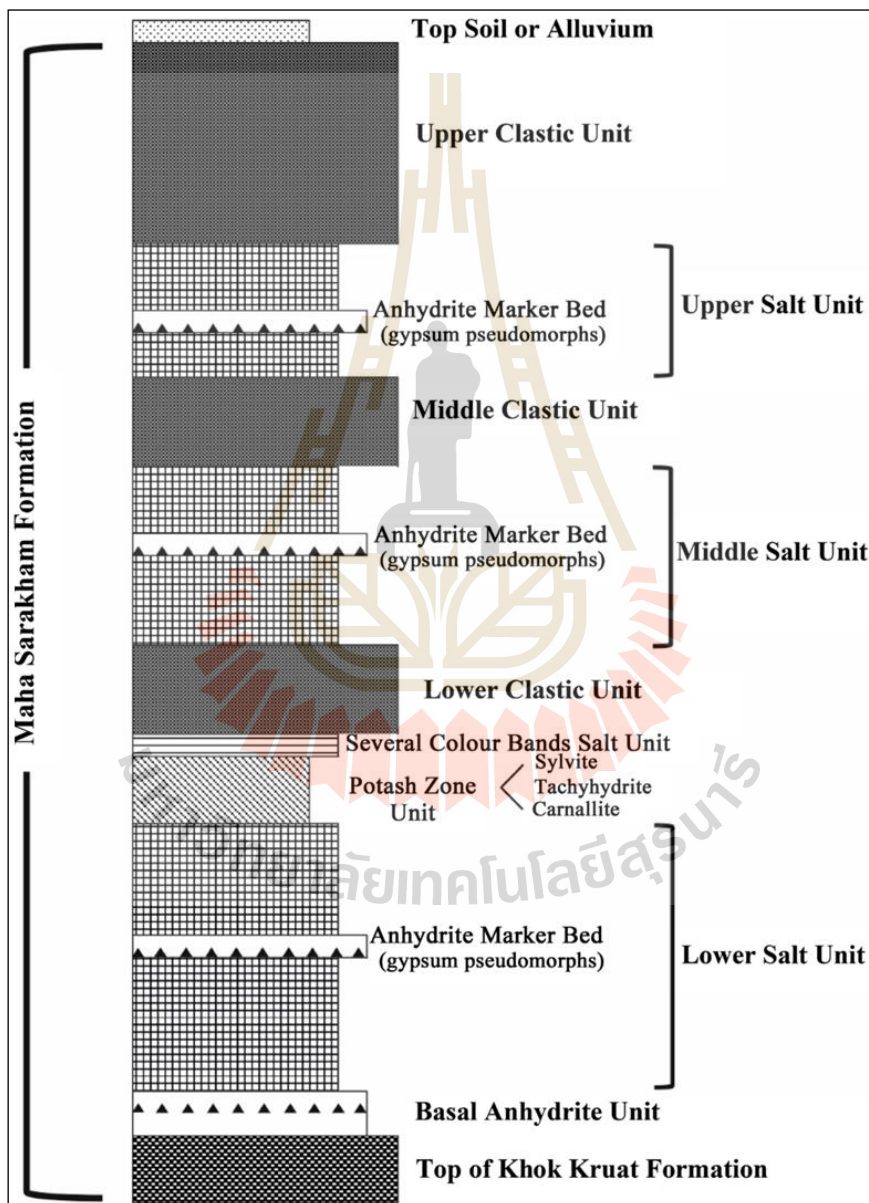
3) เกลือหินชั้นบน (Upper Salt Unit) มักเป็นเกลือสีสกปรก มีตะกอนคาร์บอนเกิดปนอยู่มาก มีสีน้ำตาลอ่อนจนถึงสีดำ บางครั้งปนกับดินเหนียวกลายเป็นสีส้ม มีความหนาประมาณ 3-65 เมตร

4) หินเนื้อประสมชั้นกลาง (Middle Clastic Unit) หรือดินเหนียวชั้นกลาง ส่วนใหญ่เป็นดินเหนียวสีน้ำตาลแดง ค่อนข้างอ่อนมียิปซัมสีขาวใสแทรกโดยทั่วไป มีความหนาประมาณ 8-66 เมตร

5) แอนไฮไดรต์หรือยิปซัม (Anhydrite or gypsum) มักพบเป็นชั้นบาง ๆ สีขาวถึงสีขาวเทา มีความหนาประมาณ 0-2 เมตร

6) เกลือหินชั้นกลาง (Middle Salt Unit) ลักษณะคล้ายคลึงกับเกลือหินชั้นบน เป็นเกลือสกปรกสีน้ำตาลอ่อนถึงสีควันดำ แต่จะมีความหนาแน่นมากกว่าเกลือชั้นบนโดยเฉลี่ย ตอนล่างสุดอาจพบแร่โพแทชบางชนิด เช่น พวกรคาร์เนลไลต์หรือซิลไวต์ เกิดประปราย มีความหนาประมาณ 1-171 เมตร

7) หินเนื้อประสมชั้นล่าง (Lower Clastic Unit) หรือดินเหนียวชั้นล่าง ลักษณะคล้ายกับคลาสติกชั้นกลาง แต่มีสายแร่เกลือและสายแร่คาร์เนลไลต์เกิดปนอยู่มาก มีความหนาประมาณ 2-395 เมตร



รูปที่ 2.3 ลำดับชั้นหินมาตรฐานหมวดหินมหาสารคาม (คัดลอกและดัดแปลงจาก Suwanich, 2007)

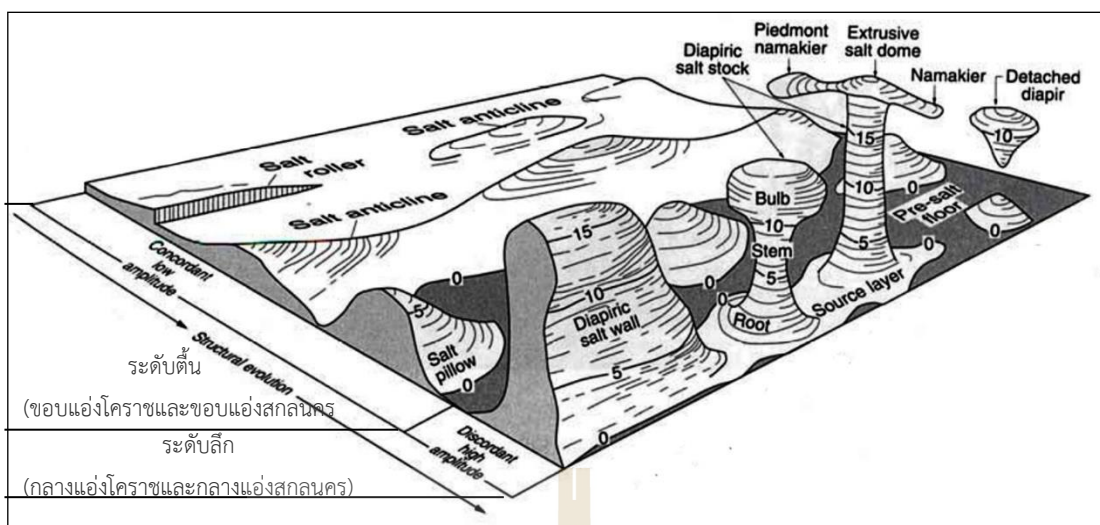
8) เกลือหินหลากสี (Colored salt) เป็นชั้นบาง ๆ ของเกลือหินที่เกิดอยู่เหนือชั้นโพแทชเป็นแถบสีบาง ๆ ของสีแดง สีส้ม สีน้ำตาล สีเทา และสีขาวใส ชั้นนี้จะค่อยๆ เปลี่ยนเข้าสู่ชั้นโพแทชข้างล่าง มีความหนาประมาณ 0-7 เมตร

9) ชั้นโพแทช (Potash) โพแทชที่พบอยู่ในหินชุดมหาสารคามมี 2 ชนิด คือ ซิลไวต์ (Sylvite) ซึ่งเกิดแบบทุติยภูมิโดยเปลี่ยนแปลงมาจากคาร์แนลไลต์ ลักษณะมีสีขาวและส้มอ่อน และคาร์แนลไลต์ ซึ่งมีการเกิดแบบปฐมภูมิ ที่ตกตะกอนจากน้ำทะเลโดยตรงมีสีส้ม สีแดง และสีชมพู แต่ในชั้นโพแทชนี้พบว่ามีแร่แมกนีเซียมอีกชนิดหนึ่งเกิดร่วมด้วย คือ แทชซีไฮโดรต์ (Tachyhydrite) เป็นแร่ที่ละลายน้ำได้ง่ายมาก มักมีสีส้ม ส้มเหลือง และสีเหลือง มีความหนาประมาณ 0-244 เมตร

10) เกลือหินชั้นล่าง (Lower Salt Unit) เป็นชั้นเกลือที่มีความหนา แพร่กระจายอย่างกว้างขวาง และมีอิทธิพลมากที่สุดในชั้นหินชุดมหาสารคาม มีลักษณะการไหลในแนวตั้งและแนวดิ่ง แผ่กระจายทั่วบนที่ราบสูงโคราชมากที่สุด และก่อให้เกิดสภาพดินเค็มมากที่สุด สามารถก่อตัวเป็นรูปโดมเกลือที่ใกล้กับผิวดินมากที่สุดจนบางบริเวณมีความหนามากกว่า 1 กิโลเมตร เกลือส่วนใหญ่จะสะอาดกว่าเกลือชั้นบนและชั้นกลาง จากข้อมูลการวัดคลื่นไหวสะเทือนพบว่าในบางบริเวณเกลือหินชั้นล่างซึ่งแสดงลักษณะเป็นชั้นนั้นมีความหนาประมาณ 0-244 เมตร

11) ชั้นแอนไฮโดรต์ชั้นฐาน (Basal anhydrite) เป็นชั้นหินที่อยู่ล่างสุดของหินชุดมหาสารคาม โดยรองรับเกลือหินชั้นล่างไว้ก่อนเข้าสู่หินชุดโคกกรวด แอนไฮโดรต์ชั้นนี้เป็นเกลือซัลเฟต แข็ง มีสีขาวถึงสีเทา ที่เกิดจากการสะสมจากน้ำทะเลโดยตรง มีความหนาโดยเฉลี่ย 1-2 เมตร

จากผลการเจาะสำรวจโดยโครงการสำรวจแร่โพแทชของกรมทรัพยากรธรณี (Suwanich, 1982, 1986; Suwanich and Rattanajaruraks, 1982; Japakasetr, 1985; Japakasetr and Suwanich, 1990; Suwanich, 2007, 2010) ทำให้ทราบถึงข้อมูลลักษณะธรณีวิทยาของชั้นเกลือหิน และพบโครงสร้างที่เรียกว่าเนินเกลือรูปหมอน (Salt pillow) โดมเกลือ (Salt dome) ตลอดจนรูปแบบของการวางตัวของชั้นเกลือหินแต่ละชั้น โดยเกลือหินชั้นล่างสุดเท่านั้นที่จะแสดงโครงสร้างรูปหมอน และโครงสร้างแบบโดมเกลือได้ ส่วนเกลือหินชั้นบนสุดจะกระจายตัวอยู่เป็นบางบริเวณไม่ต่อเนื่องกัน และเนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะของเกลือหิน 2 อย่าง คือ 1) ละลายน้ำได้ง่าย และ 2) สามารถมีคุณสมบัติเป็นพลาสติกไหลได้เมื่อได้รับแรงกดดันที่สูง (Warren, 1989 and 1999) จากคุณสมบัติพิเศษเหล่านี้เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดลักษณะภูมิประเทศเฉพาะตัว ซึ่งสังเกตได้ไม่ยากนัก รูปแบบโครงสร้างของเกลือหินในบริเวณที่ราบสูงโคราชที่เป็นไปได้อาจมีลักษณะดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.4



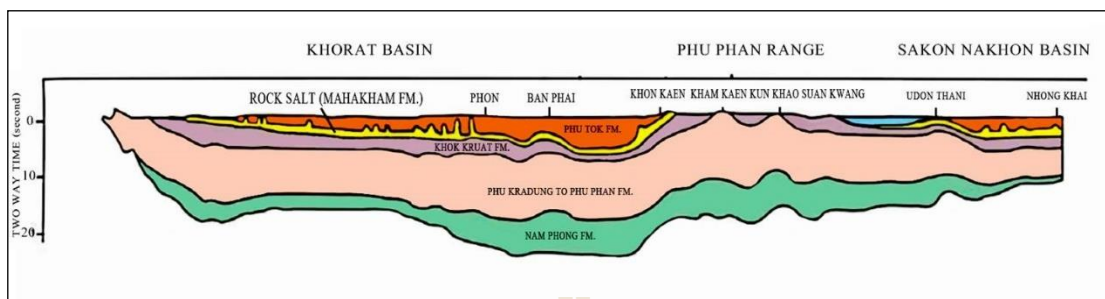
รูปที่ 2.4 รูปแบบโครงสร้างของเกลือหินที่เป็นไปได้ในบริเวณที่ราบสูงโคราช

(คัดลอกและดัดแปลงจาก Hatcher, 1995)

บริเวณขอบแอ่งทั้งในแอ่งโคราชและแอ่งสกลนครชั้นเกลือหินจะเอียงตัวขึ้นมาใกล้ผิวดินแต่จะถูกปิดทับด้วยชั้นตะกอนทางน้ำปัจจุบัน ซึ่งมีความหนาหนาเฉลี่ยประมาณ 80-100 เมตร โดยบริเวณแนวขอบแอ่งโคราชจะขนานไปตามลำน้ำมูลและลำน้ำชี ส่วนแนวขอบแอ่งสกลนครไม่มีลำน้ำหลักไหลขนานแนว แต่ก็พบลักษณะร่องแนวที่ราบขนานไปตามแนวเทือกเขาภูพานทางขอบแอ่งด้านใต้ ร่องแนวที่ราบนี้กว้างเฉลี่ยประมาณ 5-8 กิโลเมตร เมื่อเจาะสำรวจตามที่ราบในแนวร่องนี้จะพบชั้นตะกอนทรายละเอียด มีการเอียงเทเล็กน้อยและหนามากกว่า 100 เมตร และน้ำบาดาลที่พบก็มีค่าความเค็มสูงมาก ส่วนบริเวณขอบแอ่งสกลนครด้านเหนือพบอยู่ที่เชิงเขาภูควายเงิน ในเขตประเทศลาว มีลักษณะเดียวกับที่พบตามเชิงเขาของเทือกเขาภูพานในประเทศไทย บริเวณขอบแอ่งทั้งสองนี้จะไม่พบโดมเกลือเนื่องจากน้ำหนักกดทับจากชั้นตะกอนที่ปิดทับอยู่ด้านบนมีน้อย แต่ชั้นเกลือหินจะแสดงลักษณะแบบรูปหมอน เนื่องจากเกลือหินบางส่วนจะไหลเปลี่ยนรูปร่างไปจากลักษณะเดิม

ส่วนบริเวณกลางแอ่งทั้งสอง ชั้นเกลือหินได้รับแรงกดดันสูงจากน้ำหนักของชั้นหินทราย หินทรายแป้ง และชั้นหินโคลนของหมวดหินภูทอก ซึ่งเป็นหมวดหินที่ปิดทับอยู่ด้านบนหมวดหินมหาสารคาม ชั้นหินของหมวดหินภูทอกกลางแอ่งโคราชพบหนามากกว่า 700 เมตร และที่กลางแอ่งสกลนครพบหนามากกว่า 560 เมตร น้ำหนักของหมวดหินภูทอกที่ปิดทับอยู่ทำให้ชั้นเกลือหินเกิดสภาพเป็นพลาสติกและไหลได้ จึงเกิดลักษณะของโดมเกลือขึ้น ทั้งนี้โดมเกลือจะแทรกขึ้นมาตามแนวแตกที่ปรากฏอยู่ในเนื้อหินของหมวดหินภูทอก โดยส่วนใหญ่โดมเกลือจะมีรูปร่างแคบและยาว ขนานไปตามแนวรอยแตกที่ปรากฏอยู่ในชั้นหินภูทอกนั้น ความกว้างของโดมเกลือเฉลี่ยประมาณ 2-4 กิโลเมตร และมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 4-8 กิโลเมตร ความสูงของโดมเกลือที่พบขนาดสูงที่สุด คือ โดมเกลือที่อยู่ในเขตตัวอำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม ซึ่งมีความสูงมากกว่า 1 กิโลเมตร การเกิดโดมเกลือและ

ความสัมพันธ์ระหว่างชั้นเกลือหินของหมวดหินมหาสารคามกับหมวดหินภูทอกที่ปิดทับอยู่ด้านบน และหมวดหินโคกกรวดที่รองรับอยู่ด้านล่าง ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ภาพตัดขวางแสดงลำดับชั้นหินในพื้นที่แอ่งโคราช และแอ่งสกลนคร (คัดลอกและดัดแปลงจาก Sattayarak and Polachan, 1990)

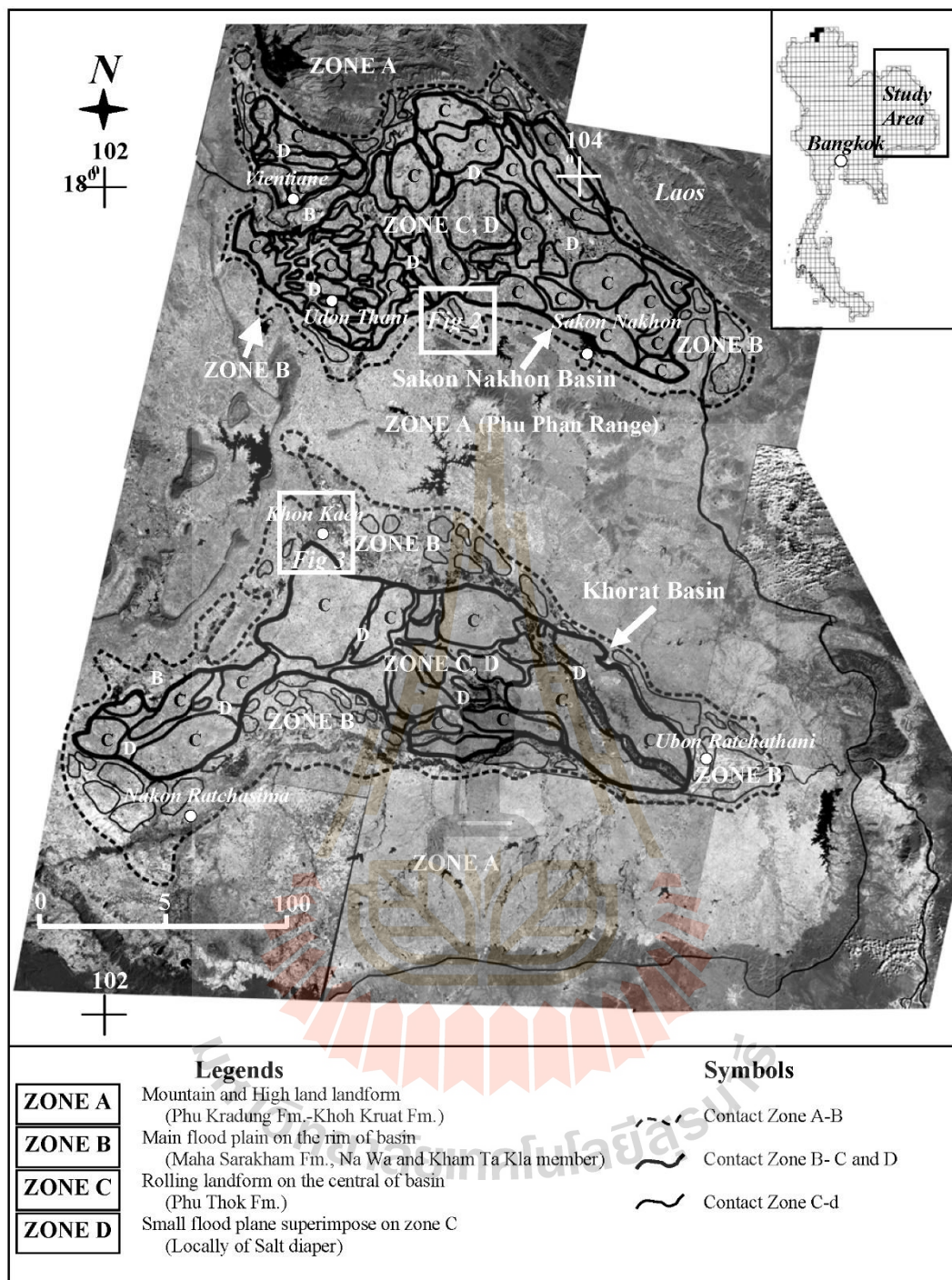
Monjai (2007) ได้ศึกษาภาพถ่ายดาวเทียมที่ครอบคลุมทั้งพื้นที่ภาคอีสาน สามารถแบ่งลักษณะของภูมิประเทศได้เป็น 4 โซน (รูปที่ 2.6) คือ

1) Zone A เป็นโซนของเทือกเขา ที่ราบเชิงเขา ซึ่งเป็นหินแข็งของกลุ่มหินโคราช ตั้งแต่หมวดหินห้วยหินลาดจนถึงหมวดหินโคกกรวด

2) Zone B เป็นโซนของที่ราบลุ่มน้ำสายหลัก โซนนี้เป็นพื้นที่บริเวณขอบแอ่ง พบชั้นเกลือหินของหมวดหินมหาสารคามกระจายตัวอยู่ใต้ดิน และถูกปิดทับด้วยชั้นตะกอนดินทราย และกรวดของทางน้ำปัจจุบัน

3) Zone C เป็นโซนของพื้นที่เนินลอนลาดบริเวณกลางแอ่ง เกิดจากชั้นหินทราย หินทรายแป้งของหมวดหินภูทอกแผ่กระจายตัวครอบคลุมอยู่

4) Zone D เป็นโซนของที่ราบลุ่มน้ำซึ่งกระจายตัวอยู่ในพื้นที่กลางแอ่งทั้งสอง โซนนี้เกิดจากการแทรกดันตัวขึ้นมาของชั้นเกลือหินจนเกิดลักษณะของโดมเกลือ โดยสาเหตุที่บริเวณโดมเกลือแสดงลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบลุ่ม เนื่องจากเกลือหินละลายน้ำได้ง่าย ทำให้พื้นที่ที่มีชั้นเกลือหินปรากฏใกล้ผิวดินจะมีลักษณะต่ำกว่าพื้นที่โดยรอบ กลายเป็นบริเวณที่มีทางน้ำไหลผ่าน และมีการสะสมตัวของตะกอนทางน้ำปิดทับอยู่ด้านบนของชั้นเกลือหิน



รูปที่ 2.6 ภาพถ่ายดาวเทียมแสดงลักษณะพื้นที่ที่มีความสัมพันธ์กับหมวดหินมหาสารคามบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (คัดลอกและดัดแปลงจาก Monjai, 2007)

2.2 กระบวนการและปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่ทำให้เกิดการทรุดตัวของแผ่นดิน

การเกิดแผ่นดินทรุด (Land subsidence) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นที่ระดับใกล้ผิวดิน และที่พื้นผิวดิน โดยจัดเป็นระยะสุดท้ายของกระบวนการเคลื่อนที่ภายใต้ผิวดินของชั้นดินและหินต่างๆ โดยที่บางครั้งหลักฐานของการเกิดกระบวนการทรุดตัวดังกล่าวอาจจะอยู่ในพื้นที่ไกลออกไปจากจุดที่มีกระบวนการเคลื่อนที่ของมวลดินหรือหินอยู่ก็ได้ กระบวนการที่ทำให้เกิดการทรุดตัวอาจจะมาจากหลายกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่และลดลงของมวลดินหรือหินที่อยู่ด้านล่างของบริเวณที่จะเกิดการทรุดตัว เช่น การละลาย การกัดเซาะภายใต้ผิวดิน การไหลหรือเคลื่อนที่ของวัสดุที่ละลายน้ำได้ในลักษณะไปทางด้านข้าง การอัดตัวของหินและดิน หรืออาจเกิดจากการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกก็ได้ นอกจากนี้การเกิดการทรุดตัวของดินจะมีความรุนแรงหรือเกิดได้รวดเร็วขึ้นเมื่อมีแรงกระตุ้นหรือได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมทางด้านวิศวกรรมของมนุษย์ เช่น การขุดเจาะเพื่อการทำเหมือง การชลประทาน บ่อน้ำบาดาล หรืออาจเกิดจากน้ำหนักที่กดทับด้านบนเพิ่มมากขึ้น เช่น จากเขื่อน ฝาย อ่างเก็บน้ำ เป็นต้น (Allen, 1969)

หินหรือแร่บางชนิดที่สามารถละลายน้ำได้ เช่น เกลือ (Salt) ยิปซัม (Gypsum) หินปูน (Carbonate rocks) เมื่ออยู่ใต้ผิวดินจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับการทรุดตัวของผิวดินในระดับของความรุนแรงที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลาย และคุณสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ ของหินหรือแร่แต่ละชนิด โดยเฉพาะเกลือหินที่พบมากในหน่วยหินมหาสารคามในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยที่การละลายและเคลื่อนตัวของเกลือหินเหล่านี้จะมีความสัมพันธ์กับระบบน้ำบาดาลทั้งกับระดับความลึก การแผ่กระจายตัวของชั้นน้ำและทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำบาดาลโดยตรง โดยที่หลักฐานอย่างหนึ่งซึ่งบอกได้ถึงกระบวนการทรุดตัวของแผ่นดินจะดูได้จากการที่มีการยุบตัวของระดับแผ่นดินจากบริเวณรอบด้านแล้วเกิดเป็นทะเลสาบหรือพื้นที่ลุ่มน้ำและมีคราบเกลือปรากฏอยู่ตามขอบๆ ของพื้นที่ทะเลสาบหรือพื้นที่ลุ่มน้ำดังกล่าว

2.3 กระบวนการเกิดหลุมยุบ ปัจจัยที่ทำให้เกิดหลุมยุบ ข้อสังเกตก่อนเกิดหลุมยุบ

หลุมยุบ (Sinkhole) เป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติอย่างหนึ่งที่ดินยุบตัวลงเป็นหลุมลึก และมีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1-200 เมตร ลึกตั้งแต่ 1 ถึงมากกว่า 20 เมตร เมื่อแรกเกิดปากหลุมมีลักษณะเกือบกลมและมีน้ำขังอยู่ก้นหลุม ภายหลังจากกัดเซาะดินก้นหลุมกว้างขึ้น ลักษณะคล้ายลูกน้ำเต้า ทำให้ปากหลุมพังลงมาจนเหมือนกับว่าขนาดของหลุมยุบกว้างขึ้น โดยปรกติหลุมยุบจะเกิดในบริเวณที่ราบใกล้กับภูเขาที่เป็นหินปูน เนื่องจากหินปูนมีคุณสมบัติละลายน้ำ ที่มีสภาพเป็นกรดอ่อนได้ประกอบด้วยภูเขาหินปูนมีรอยเลื่อนและรอยแตกมากมาย ดังจะสังเกตเห็นได้ว่าภูเขาหินปูนมีหน้าผาชัน หน้าผาเป็นรอยเลื่อนและรอยแตกในหินปูนนั่นเอง บริเวณใดที่รอยแตกของหินปูนตัดกันจะเป็น บริเวณที่ทำให้เกิดโพรงได้ง่าย โพรงหินปูนถ้าอยู่พื้นผิวดินก็คือถ้ำ ถ้าไม่โผล่เรียกว่าโพรงหินปูนใต้ดิน ซึ่งจำแนกเป็น 2

ระดับ คือ โพรงหินปูนใต้ดินระดับลึก (ลึกจากผิวดินมากกว่า 50 เมตร) และโพรงหินปูนใต้ดินระดับตื้น (ลึกจากผิวดินไม่เกิน 50 เมตร) ส่วนใหญ่หลุมยุบจะเกิดในบริเวณที่มีโพรงหินปูนใต้ดินระดับตื้น

โดยทั่วไปธรณีสัณฐานวิทยา (Geomorphology) ของภูมิประเทศแบบคาสต์ (Karst topography) มีลักษณะเป็นหลุมเป็นแอ่งที่เกิดจากน้ำระบายลงใต้ดินและละลายเอาหินที่ละลายน้ำได้ในบริเวณนั้นออกไปและเหลือแต่ภูมิประเทศเป็นแอ่ง เนิน ภูเขา หุบเขา และร่องน้ำที่มีลักษณะเฉพาะแตกต่างจากภูมิประเทศโดยทั่วไป เกิดขึ้นกับหินที่มีคุณลักษณะละลายน้ำได้ดี เช่น หินปูน หินเกลือ ยิปซัม เป็นต้น

ธรณีสัณฐานแบบคาสต์ของเกลือหิน (Rock salt) มักปรากฏเฉพาะลักษณะภูมิประเทศที่มีลักษณะแบบเป็นหลุมหรือเป็นแอ่ง เนื่องจากละลายน้ำได้รวดเร็ว การเกิดหลุมยุบในบริเวณที่รองรับด้วยเกลือหินนั้นแตกต่างจากการเกิดหลุมยุบในบริเวณหินปูน (Limestone) โดยการเกิดเริ่มจากน้ำได้ซึมลงไปตามรอยแตกแล้วละลายเกลือที่อยู่ในบริเวณนั้นออกไป ทำให้หินที่ปิดทับด้านบนเกลือหินในบริเวณนั้นสูญเสียความแข็งแรงและยุบตัวลง หรือเกิดในบริเวณที่ชั้นเกลือหินอยู่ตื้น น้ำใต้ดินได้ละลายเกลือหินบริเวณนั้น ดินหินที่ปิดทับอยู่จะค่อยๆ หดตัวลงตามอัตราการละลายหินเกลือของน้ำใต้ดินเกิดเป็นพื้นที่เป็นแอ่ง (Depression area) หรือหลุมยุบ (Sinkhole) โดยกระบวนการตามธรรมชาติแล้วนั้นการเกิดหลุมยุบในบริเวณที่รองรับด้วยเกลือโดยทางธรรมชาตินั้นมักจะไม่มี การถล่มของชั้นดินชั้นหินที่ปิดทับด้านบนชั้นเกลือหินเนื่องจากขณะที่น้ำได้ละลายเกลือออกไปก็มักจะมีตะกอนมาแทนที่อยู่เสมอ ทำให้ไม่มีโอกาสเกิดช่องว่างหรือโพรงระหว่างเกลือกับชั้นหินที่ปิดทับ แต่สำหรับการทำเหมืองเกลือโดยวิธีการละลายเกลือและดูดเอาเกลือที่เข้มข้นขึ้นมาจะมีผลทำให้เกิดโพรงเกลือในชั้นเกลือหนาเมื่อนั่งบางลง โครงสร้างโพรงเกลือไม่แข็งแรงก็จะเกิดการยุบถล่มลงไป ธรณีสัณฐานของเกลือหินแตกต่างกับธรณีสัณฐานของหินปูนเนื่องจากเกลือหินนั้นละลายน้ำได้ง่ายกว่ามากเป็นผลให้การพัฒนาภูมิประเทศแบบคาสต์และหลุมยุบนั้นพัฒนาขึ้นได้ง่ายกว่าด้วยเช่นกัน (Allen, 1969; Seni et al., 1983; Husky, 2003)

Allen (1969) เชื่อว่าจะต้องมีเงื่อนไข 3 ประการที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับกระบวนการของการกัดเซาะและพัดพาเอาเกลือหินละลายออกไปจากที่เดิมภายใต้ผิวดินดังกล่าว ได้แก่

- 1) ชั้นวัสดุ ซึ่งอาจเป็นดินหรือแร่ที่สามารถถูกละลายและกัดเซาะออกไปได้นั้นต้องมีชั้นหินที่แข็งแรงและคงทนพอสมควรวางตัวอยู่ด้านบน อย่างน้อยก็พอที่จะสร้างตัวขึ้นเป็นหลังคา (Roof) ชั่วคราวของช่องทางเดินของน้ำใต้ดินได้
- 2) น้ำใต้ดินต้องมีมากพอที่จะพัดพาเอาตะกอนของวัสดุนั้น ๆ เคลื่อนที่ไปได้
- 3) ที่ปลายทางของทางน้ำใต้ดินนี้ต้องมีทางให้วัสดุหรือตะกอน มีช่องทางออกไปด้านนอกได้

น้ำหนักที่กดทับอยู่ด้านบนของดินหรือหินก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งของการเกิดการหดตัวของดินได้ เนื่องจากเมื่อมีการละลายของเกลือหินหรือวัสดุที่ละลายน้ำได้ออกไปทำให้เกิดช่องว่างขึ้นภายในชั้นดิน

ทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักในบริเวณนั้นมีค่าน้อยลง เมื่อมีน้ำหนักกดทับมากขึ้นอาจเนื่องมาจากสิ่งก่อสร้างที่อยู่ด้านบน เช่น อาคารขนาดใหญ่ อ่างเก็บน้ำ เขื่อน ฯลฯ ก็จะทำให้ชั้นดินด้านล่างไม่สามารถรองรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นนี้ได้ก็จะพังทลายลงมา (อดิชาติ, 2543; กัมปนาท และ วิไลวรรณ, 2553)

2.4 การเกิดหลุมยุบบนที่ราบสูงโคราช

หลุมยุบที่พบบนพื้นที่ที่ราบสูงโคราช นั้นเชื่อว่ามีสาเหตุที่สัมพันธ์โดยตรงกับชั้นเกลือหินของหมวดหินมหาสารคาม ดังนั้นบริเวณที่มีโอกาสเกิดปรากฏการณ์หลุมยุบ คือ บริเวณพื้นที่ Zone B (ขอบแอ่ง) และ Zone D (โดมเกลือ) เท่านั้น (รูปที่ 2.6) ทั้งนี้หลุมยุบที่พบเกิดจากสาเหตุสำคัญ 2 ประการ (Monjai, 2007) ได้แก่

1) การละลายของชั้นเกลือหิน โดยระบบการไหลของน้ำใต้ดินตามธรรมชาติ ทำให้เกิดโพรงช่องว่างใต้ดินในบริเวณที่เกลือหินถูกละลายไป ผลของการเกิดหลุมยุบในลักษณะนี้จะแสดงลักษณะของหนองบึงธรรมชาติขนาดต่าง ๆ ตั้งแต่ขนาดเล็กไม่กี่ไร่ไปจนถึงขนาดใหญ่เป็นตารางกิโลเมตร สามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจนจากภาพถ่ายทางอากาศหรือภาพถ่ายดาวเทียม

2) การเกิดหลุมยุบแบบที่มีความสัมพันธ์กับการสูบน้ำบาดาลเค็มขึ้นมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ โดยในพื้นที่ซึ่งมีการสูบน้ำบาดาลเค็มขึ้นมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตเกลือสินเธาว์ จะพบว่าหลุมยุบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1 เมตร จนถึงขนาดใหญ่สุดที่มีการสำรวจไว้ คือ ประมาณ 20 เมตร (ที่บ้านบ่อแดง อำเภอบ้านม่วง จังหวัดสกลนคร) ตำแหน่งที่เกิดหลุมยุบส่วนใหญ่จะเกิดบริเวณขอบรอยต่อของพื้นที่ลุ่ม ซึ่งเป็นบริเวณที่เป็นโดมเกลือ หรือเป็นที่ราบลุ่มน้ำที่อยู่ริมขอบแอ่งกับพื้นที่เนินซึ่งเป็นหินแข็งที่อยู่รอบ ๆ

แต่กระบวนการของความสัมพันธ์ระหว่างการสูบน้ำบาดาลเค็มขึ้นมาใช้กับการเกิดการทรุดตัวของพื้นดินจนเกิดเป็นหลุมยุบยังไม่สามารถอธิบายได้อย่างชัดเจนนัก แม้ว่าจะมีความพยายามศึกษาถึงความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้จากหลายหน่วยงาน โดยปัจจัยที่เป็นอุปสรรคสำคัญของการศึกษากระบวนการเกิดหลุมยุบ ซึ่งทำให้ยังไม่ได้ผลสรุปที่ชัดเจน ได้แก่ 1) ข้อจำกัดในการตรวจวัดปริมาณน้ำเค็มที่ถูกสูบขึ้นมาว่ามีปริมาณที่แท้จริงเท่าใด 2) การขาดความต่อเนื่องของการตรวจวัดความเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำบาดาล ซึ่งต้องมีการตรวจวัดอย่างต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 3 ปี เพื่อให้ทราบถึงรูปแบบที่ชัดเจนของการเปลี่ยนแปลง และ 3) ปัจจัยสำคัญสุดท้าย คือ การเจาะสำรวจชั้นดิน-ชั้นหิน เพื่อยืนยันผลการตรวจวัดด้านต่าง ๆ ยังมีน้อย

2.5 ปัจจัยที่ทำให้เกิดหลุมยุบบริเวณที่ราบสูงโคราช

จากผลการศึกษาของงานวิจัยหลาย ๆ งานวิจัยที่ผ่านมา (อดิชาติ, 2543; กัมปนาท และวิไลวรรณ, 2553; กัมปนาท, 2559) สามารถสรุปปัจจัยและสาเหตุที่อาจจะทำให้เกิดหลุมยุบในบริเวณที่ราบสูงโคราชว่าอาจจะเกิดจากปัจจัยที่สำคัญ ๆ ต่าง ๆ ดังนี้

- เกิดรอยแตกในชั้นหินของหมวดหินภูทอกหรือชั้นวัสดุที่ปิดทับอยู่ด้านบนชั้นเกลือหิน
- รอยแตกเกิดลึกตัดผ่านลงไปถึงชั้นเกลือหินของหมวดหินมหาสารคาม
- น้ำหนักของชั้นหินของหมวดหินภูทอกหรือชั้นวัสดุปิดทับก่อให้เกิดแรงกดดันต่อชั้นเกลือหิน และทำให้เกลือหินมีคุณสมบัติเป็นพลาสติกไหลได้
- เกลือหินชั้นล่างถูกแรงกดดันจนเกิดการไหลเปลี่ยนรูปร่าง แสดงโครงสร้างแบบโดมเกลือแทรกตัดชั้นหินที่ปิดทับอยู่ด้านบน
- เกิดในบริเวณที่มีหินเกลือรองรับอยู่ในระดับตื้น
- มีโพรงหรือถ้ำอยู่ใต้พื้นผิวดินในบริเวณที่เกิดหลุมยุบ
- มีตะกอนดินปิดทับบาง (ไม่เกิน 50 เมตร) ที่อยู่เหนือโพรงและไม่สามารถคงตัวอยู่ได้
- มีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดินผ่านบริเวณที่มีเกลือหินอยู่
- มีการก่อสร้างอาคารบนพื้นดินที่มีโพรงหินใต้ดินระดับตื้น
- มีการเจาะบ่อบาดาลผ่านเพดานโพรงหินใต้ดินระดับตื้น ทำให้แรงดันน้ำและอากาศ ภายในโพรงถ้ำเปลี่ยนแปลง

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอีกหลายชิ้น (ปริญญา นุตาลัย และ วันชัย โสภณสกุลรัตน์, 2533; เพียงตา สาทรักษ์, 2547) ที่ชี้ให้เห็นว่าการเกิดหลุมยุบในบริเวณที่ราบสูงโคราช นั้นเกิดจากกระบวนการผลิตเกลือสินเธาว์โดยกระบวนการสูบน้ำเกลือขึ้นมาต้มหรือตาก เช่นที่บริเวณบ้านวัง อำเภอนนไทย จังหวัดนครราชสีมา หรือที่บ้านโนนแสง อำเภอบ้านม่วง จังหวัดสกลนคร ซึ่งเป็นพื้นที่ที่อยู่ในบริเวณที่มีการผลิตเกลือสินเธาว์โดยกระบวนการสูบน้ำเกลือใต้ดินขึ้นมาทำการต้มหรือตากในนาตาก การสูบน้ำเกลือขึ้นมาเพื่อทำการผลิตเกลือนั้นจะเป็นส่วนที่ช่วยเร่งให้เกิดการละลายของเกลือหินใต้ดินให้เกิดการเป็นโพรงเกลือหินมากขึ้นและเร็วขึ้นมากกว่าที่เกิดจากกระบวนการทางอุทกธรณีตามธรรมชาติอันเนื่องมาจากสมดุลของน้ำเค็มใต้ดินในบริเวณที่ถูกสูบขึ้นมาทำการผลิตเกลือนั้นเปลี่ยนแปลงไป

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 การรวบรวมข้อมูลและการเตรียมข้อมูล

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการกำหนดปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดการทรุดตัวของแผ่นดินในบริเวณพื้นที่ศึกษาไว้ทั้งสิ้น 8 ปัจจัย ได้แก่ 1. ค่าระดับความสูงของผิวของชั้นเกลือหินที่อยู่ใต้ดินชั้นบนสุด 2. ความหนาของชั้นหินปิดทับชั้นเกลือหิน 3. ความหนาของชั้นหินภูเขาหิน 4. ความหนาของตะกอนยุคควอเทอร์นารี 5. ค่าระดับน้ำใต้ดิน 6. แหล่งน้ำผิวดิน 7. ค่าระดับความสูงของภูมิประเทศ และ 8. โครงสร้างทางธรณีเชิงเส้น เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลต่อการเกิดแผ่นดินทรุดมากที่สุด และมีการเก็บรวบรวมข้อมูลอย่างต่อเนื่อง ข้อมูลของปัจจัยทั้ง 8 ประการที่ได้กำหนดและเลือกไว้ได้ถูกทำการรวบรวม จัดเก็บอย่างเป็นระบบ และจัดเตรียมไว้ใช้ในการวิเคราะห์ในลำดับขั้นตอนถัดไป

ค่าระดับความสูงของผิวชั้นเกลือหินที่อยู่ใต้ดินชั้นบนสุดนั้นจะเป็นตัวกำหนดโอกาสในการถูกทำให้เกิดการละลายของชั้นเกลือหิน ทั้งนี้มีสมมุติฐานว่าระดับความสูงของผิวชั้นเกลือหินยิ่งมีระดับความสูงมากก็จะมีโอกาสให้น้ำใต้ดินได้ไหลผ่านและสัมผัสและมีโอกาสที่จะเกิดการละลายน้ำใต้ดินดีกว่าผิวชั้นเกลือหินที่มีระดับความสูงน้อยกว่า

ความหนาของชั้นหินปิดทับชั้นเกลือหิน โดยปัจจัยนี้ได้ถูกนำมาพิจารณาในเรื่องของเสถียรภาพการพังทลายของชั้นหินที่ปิดทับชั้นเกลือหิน โดยมีสมมุติฐานว่าความหนาของชั้นหินที่ปิดทับยังมีความหนามากก็จะมีผลเสถียรภาพการป้องกันการเกิดการทรุดตัวของแผ่นดินได้สูงกว่าชั้นหินที่ปิดทับบางหรือมีความหนาที่น้อยกว่า

นอกจากความหนาของชั้นหินปิดทับแล้วยังมีอีกปัจจัยหนึ่งที่ถูกนำมาพิจารณาร่วมไปพร้อมกันด้วย คือ ชนิดหรือประเภทของชั้นหินปิดทับ ซึ่งในพื้นที่ศึกษาพบว่าชั้นหินปิดทับชั้นเกลือหินในพื้นที่ศึกษานั้นประกอบไปด้วยหินของหมวดหินภูเขาหินและชั้นของตะกอนอายุควอเทอร์นารี ทั้งนี้ในการศึกษาครั้งนี้ได้มีข้อสมมุติฐานว่าถ้าชั้นหินปิดทับมีความหนามากและเป็นชั้นหินของหมวดหินภูเขาหินที่มีความแข็งแรงก็จะมีเสถียรภาพการป้องกันการเกิดการทรุดตัวของแผ่นดินได้ดี และในทางตรงกันข้ามถ้าชั้นหินปิดทับนั้นบางและเป็นตะกอนยุคควอเทอร์นารีก็จะมีผลเสถียรภาพการป้องกันการเกิดการทรุดตัวของแผ่นดินได้น้อยลง

ค่าระดับน้ำใต้ดินถูกนำมาพิจารณาในแง่ของอัตราและปริมาณการละลายของชั้นเกลือหินในแต่ละบริเวณ โดยกำหนดให้ทางทิศทางการไหลของน้ำบาดาล (บริเวณที่มีระดับน้ำบาดาลอยู่ลึก) มีความสามารถในการละลายชั้นเกลือหินได้ดีกว่าในบริเวณปลายทิศทางการไหลของน้ำบาดาล (บริเวณที่มีระดับน้ำบาดาลอยู่ตื้น) เนื่องจากค่าความอิ่มตัวของสารละลายในน้ำที่บริเวณปลายน้ำนั้นจะมีความ

เข้มข้นของสารละลายในน้ำสูงกว่าจึงทำให้เกิดการละลายได้น้อยกว่าในบริเวณต้นทิศทางการไหลของน้ำบาดาล

การพิจารณาเรื่องระดับความสูงต่ำของพื้นผิวภูมิประเทศนั้นจะมีความสัมพันธ์กับการไหลผ่านของน้ำผิวดินโดยตรง เนื่องจากมีสมมุติฐานว่าน้ำผิวดินจะไหลจากพื้นที่ที่มีระดับความสูงมากจะไหลผ่านไปสะสมตัวในพื้นที่ที่มีระดับความต่ำกว่าหรือในบริเวณที่เป็นแหล่งน้ำผิวดิน ซึ่งก็จะทำให้มีการเพิ่มโอกาสของการทำละลายของชั้นเกลือหินมากขึ้นไปด้วย

แหล่งน้ำผิวดินถูกนำมาพิจารณาให้เป็นปัจจัยที่สำคัญเนื่องจากแหล่งน้ำที่ปรากฏบนพื้นผิวจะทำหน้าที่กักเก็บน้ำไว้บนผิวดิน และน้ำที่ถูกกักเก็บไว้สามารถไหลซึมลงสู่ใต้พื้นผิวดินได้ ซึ่งอาจจะส่งผลให้มีปริมาณน้ำใต้ดินเพิ่มขึ้นในบริเวณที่มีแหล่งน้ำผิวดินนั้นอยู่และส่งผลให้มีการเพิ่มโอกาสของการทำให้เกิดการละลายของชั้นเกลือหินที่รองรับอยู่ด้านล่างมากขึ้นไปด้วยเช่นกัน

การพิจารณาโครงสร้างทางธรณีเชิงเส้นในการศึกษานี้ ได้ให้ความสำคัญกับโครงสร้างเชิงเส้นที่คาดว่าจะเป็นรอยแตกของหินปิดทับชั้นเกลือหินที่ปรากฏให้เห็นบนพื้นผิว โดยมีสมมุติฐานให้รอยแตกเหล่านั้นเป็นรอยแตกที่ลึกและอาจเป็นช่องทางที่จะทำให้น้ำผิวดินนั้นสามารถไหลผ่านผิวดินลงไปจนถึงชั้นเกลือหินและเป็นการเพิ่มโอกาสของการทำให้เกิดการละลายของชั้นเกลือหินที่รองรับอยู่ด้านล่างในบริเวณที่รอยแตกของหินเหล่านั้นปรากฏอยู่มากขึ้นไปด้วย

ข้อมูลเชิงพื้นที่ของแต่ละปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ แผนที่แสดงระดับความสูงของผิวของชั้นเกลือหินที่อยู่ใต้ดินชั้นบนสุด แผนที่แสดงความหนาของชั้นหินปิดทับชั้นเกลือหิน แผนที่แสดงความหนาของชั้นหินอุทกอก แผนที่แสดงความหนาของตะกอนยุคควอเทอร์นารี แผนที่แสดงระดับน้ำใต้ดิน แผนที่แสดงแหล่งน้ำผิวดิน แผนที่แสดงระดับความสูงของภูมิประเทศ และแผนที่แสดงโครงสร้างทางธรณีเชิงเส้น เป็นข้อมูลที่เป็นปัจจัยในการวิเคราะห์การทรุดตัวของแผ่นดินซึ่งต้องจัดรูปแบบของข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน โดยทำการแปลงข้อมูลปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดการทรุดตัวของแผ่นดินเหล่านี้ให้เป็นข้อมูลในแบบแรสเตอร์ (raster) ที่มีความละเอียดข้อมูลเท่ากับ 5X5 เมตร โดยกำหนดข้อมูลแต่ละปัจจัยเป็นชั้นข้อมูลปัจจัยย่อยตามอิทธิพลต่อการเกิดการทรุดตัวของแผ่นดิน นำเข้าข้อมูลด้วยโปรแกรม ArcGIS จากนั้นแบ่งชั้นข้อมูลของปัจจัยทั้งหมดที่จัดเตรียมไว้และทำการตรวจสอบความถูกต้องและแก้ไขปรับปรุงให้อยู่ในรูปแบบและมาตรฐานเดียวกัน โดยใช้พิกัดอ้างอิง WGS 1984 UTM Zone 48N

3.1.1 กรอบแนวคิดของ Spatial MCDA

การตัดสินใจเชิงพื้นที่หลายปัจจัย (Spatial Multi-Criteria Decision Making, SMCDA) ที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้เป็นการประมวลผล (Process) ที่ทำการรวบรวมและเปลี่ยนรูปแบบข้อมูลทางภูมิศาสตร์ไปเป็นผลที่ได้จากการตัดสินใจ ส่วนกระบวนการ (Procedure) ที่ใช้ในการตัดสินใจนั้นได้มาจากความสัมพันธ์ระหว่างแผนที่นำเข้ากับแผนที่แสดงผล โดยเป็นกระบวนการในการจัดการข้อมูลทางภูมิศาสตร์ที่มีอยู่ ร่วมกับวิจารณ์ญาณและความพึงพอใจของผู้ทำการตัดสินใจ และนำมาจัดทำกฎที่ใช้ในการตัดสินใจ (Decision Rules)

การให้ค่าน้ำหนักหลักเกณฑ์ (Criterion weighting) นั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ค่าน้ำหนักหลักเกณฑ์ (Objective หรือ Attribute) เป็นการเน้นความสำคัญของแต่ละหลักเกณฑ์ที่มีความสัมพันธ์กับหลักเกณฑ์อื่น ๆ โดยจะขึ้นอยู่กับค่าความพึงพอใจและวิจารณ์ญาณของผู้ตัดสินใจ ถ้าค่าน้ำหนักมากแสดงว่าหลักเกณฑ์นั้นมีความสำคัญมากเมื่อเทียบกับหลักเกณฑ์อื่น ๆ วิธีการที่ได้รับความนิยมในการประมาณค่าน้ำหนักหลักเกณฑ์นั้น ประกอบด้วย วิธีการจัดลำดับ (Ranking) วิธีการจัดระดับ (Rating) วิธีเปรียบเทียบเป็นคู่ (Pairwise comparison) และการวิเคราะห์แบบได้อย่างเสียอย่าง (Trade-off analysis) แต่ในการวิจัยนี้ได้ใช้การให้ค่าน้ำหนักหลักเกณฑ์แบบวิธีการจัดลำดับ (Ranking) มาใช้ในการศึกษาเนื่องจากมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายปัจจัยและแต่ละปัจจัยนั้นมีความสำคัญต่อการเกิดแผ่นดินไหวที่ต่างกัน

ปัญหาที่เกิดขึ้นในการตัดสินใจจะเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์และวิจารณ์ญาณของผู้ตัดสินใจ ดังนั้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของค่าสำคัญของหลักเกณฑ์ที่ต้องการนั้นจะได้มาจากกำหนดค่าน้ำหนักของแต่ละหลักเกณฑ์โดยการประมาณค่าน้ำหนัก (Estimating weights) ขั้นตอนที่สำคัญของการได้มาซึ่งค่าน้ำหนัก คือ การตัดสินใจค่าน้ำหนักจากข้อมูลและวิจารณ์ญาณของผู้ตัดสินใจ ซึ่งค่าน้ำหนักคือ ค่าที่กำหนดขึ้นเพื่อนำไปใช้ในการประเมินหลักเกณฑ์ที่แสดงถึงระดับความสำคัญที่สัมพันธ์กับหลักเกณฑ์อื่น ๆ ภายใต้การพิจารณา

การกำหนดค่าน้ำหนักของความสำคัญเพื่อประเมินหลักเกณฑ์จะถูกกำหนดไว้สำหรับ 1) การเปลี่ยนแปลงลำดับของตัวแปรสำหรับแต่ละการประเมินหลักเกณฑ์ 2) ระดับความแตกต่างของความสำคัญที่เกี่ยวข้องกับลำดับตัวแปร มักมีความเข้าใจผิดในการแปลความหมายของค่าน้ำหนักของความสำคัญของการประเมินหลักเกณฑ์ โดยค่าน้ำหนักนั้นจะไม่ขึ้นอยู่กับลำดับของค่าหลักเกณฑ์ นั่นคือ ความแตกต่างระหว่างค่าน้อยสุดและค่ามากที่สุดที่จะให้กับหลักเกณฑ์ การให้ค่าน้ำหนักหลักเกณฑ์สามารถทำได้โดยการเพิ่มหรือลดลำดับ หลักโดยทั่วไปคือการเข้าใจถึงประโยชน์ของการเปลี่ยนแปลงจากระดับที่มากที่สุดไปยังระดับที่น้อยที่สุดของแต่ละผลลัพธ์ที่ได้จากแต่ละหลักเกณฑ์ (Criterion Outcome) ที่สัมพันธ์กันกับประโยชน์ของการเปลี่ยนแปลงจากระดับแย่มากที่สุดไปยังระดับที่ดีที่สุดสำหรับหลักเกณฑ์อื่นภายใต้การพิจารณา ซึ่งค่าน้ำหนักที่ผ่านการทำให้เป็นบรรทัดฐาน (Normalized) แล้วเมื่อรวมกันแล้วจะมีค่าเท่ากับ 1

3.1.2 วิธีการถ่วงน้ำหนักแบบง่าย (Simple Additive Weighting, SAW)

วิธีการถ่วงน้ำหนักแบบง่ายเป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันมากและเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องมือสำหรับการตัดสินใจเชิงพื้นที่แบบหลายปัจจัย (SMCDA) เทคนิคดังกล่าวอ้างอิงจากวิธีการรวมน้ำหนักเชิงเส้นตรง (Weight Linear Combination : WLC) หรือวิธีการให้ค่าคะแนน (Scoring methods) วิธีการดังกล่าวมีแนวความคิดบนพื้นฐานค่าน้ำหนักแบบเฉลี่ย ผู้ตัดสินใจจะทำการประเมินค่าน้ำหนักของความสำเร็จที่สัมพันธ์ที่ละปัจจัย คะแนนรวมทั้งหมดของแต่ละทางเลือกสามารถคำนวณได้จากผลคูณค่าน้ำหนักสำหรับแต่ละปัจจัยกับค่าคะแนนแต่ละลำดับของปัจจัยในแต่ละทางเลือก แล้วรวมคะแนนที่ได้จากคำนวณจากทุกปัจจัย ทางเลือกที่มีคะแนนสูงสุดเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ซึ่งจะถูกละเลือกในการคำนวณแบบวิธีการถ่วงน้ำหนักแบบง่าย โดยสามารถประเมินการตัดสินใจในแต่ละทางเลือกได้ดังต่อไปนี้

$$A_i = \sum_j W_j X_{ij} \quad (3.1)$$

เมื่อ A_i = คะแนนสำหรับแต่ละทางเลือก
 X_{ij} = คะแนนของทางเลือกที่ i^{th} ปัจจัยที่ j^{th}
 W_j = ค่าน้ำหนักมาตรฐาน โดยผลรวมของค่าน้ำหนักมาตรฐานต้องเท่ากับ 1

วิธีการถ่วงน้ำหนักแบบง่ายสามารถใช้ในกระบวนการศึกษาและวิเคราะห์ทางด้านภูมิศาสตร์สารสนเทศ (GIS) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยวิธีการซ้อนทับข้อมูล (Overlay) โดยเทคนิคซ้อนทับข้อมูลนั้นสามารถนำมาประเมินชั้นข้อมูลแผนที่ (Input map) รวมทั้งการตัดสินใจ เพื่อให้ได้ผลของชั้นข้อมูลแผนที่ผลลัพธ์ (Output map) ซึ่งวิธีการนี้สามารถใช้ได้ทั้งข้อมูลแบบราสเตอร์และเวกเตอร์

วิธีการถ่วงน้ำหนักแบบง่าย มีลำดับการวิเคราะห์บนพื้นฐาน GIS ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.1

1. กำหนดเกณฑ์ที่จะประเมิน (Map layer) และกำหนดทางเลือกที่เป็นไปได้
2. ทำเกณฑ์ให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน
3. ให้ค่าน้ำหนักแต่ละเกณฑ์
4. สร้างค่าน้ำหนักให้เป็นมาตรฐาน โดยการคูณค่าน้ำหนักมาตรฐานเข้าไป
5. ได้ค่าคะแนนรวมทั้งหมดสำหรับแต่ละทางเลือก โดยวิธีการซ้อนทับข้อมูล
6. จัดลำดับคะแนนของแต่ละทางเลือก ทางเลือกที่มีคะแนนมากที่สุดนั้นจะเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด

3.2 วิธีการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้มีลำดับขั้นตอนดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.1 และมีรายละเอียดดังนี้

1. ทำการเตรียมข้อมูลของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์

เป็นขั้นตอนในการเตรียมข้อมูลของปัจจัยต่าง ๆ ที่ถูกกำหนดให้มีความสำคัญต่อการเกิดการทรุดตัวของของแผ่นดิน ประกอบด้วย

ปัจจัยที่ 1 ระดับความสูงของผิวของชั้นเกลือหินที่อยู่ใต้ดินชั้นบนสุด

ปัจจัยที่ 2 ความหนาของชั้นหินปิดทับชั้นเกลือหิน

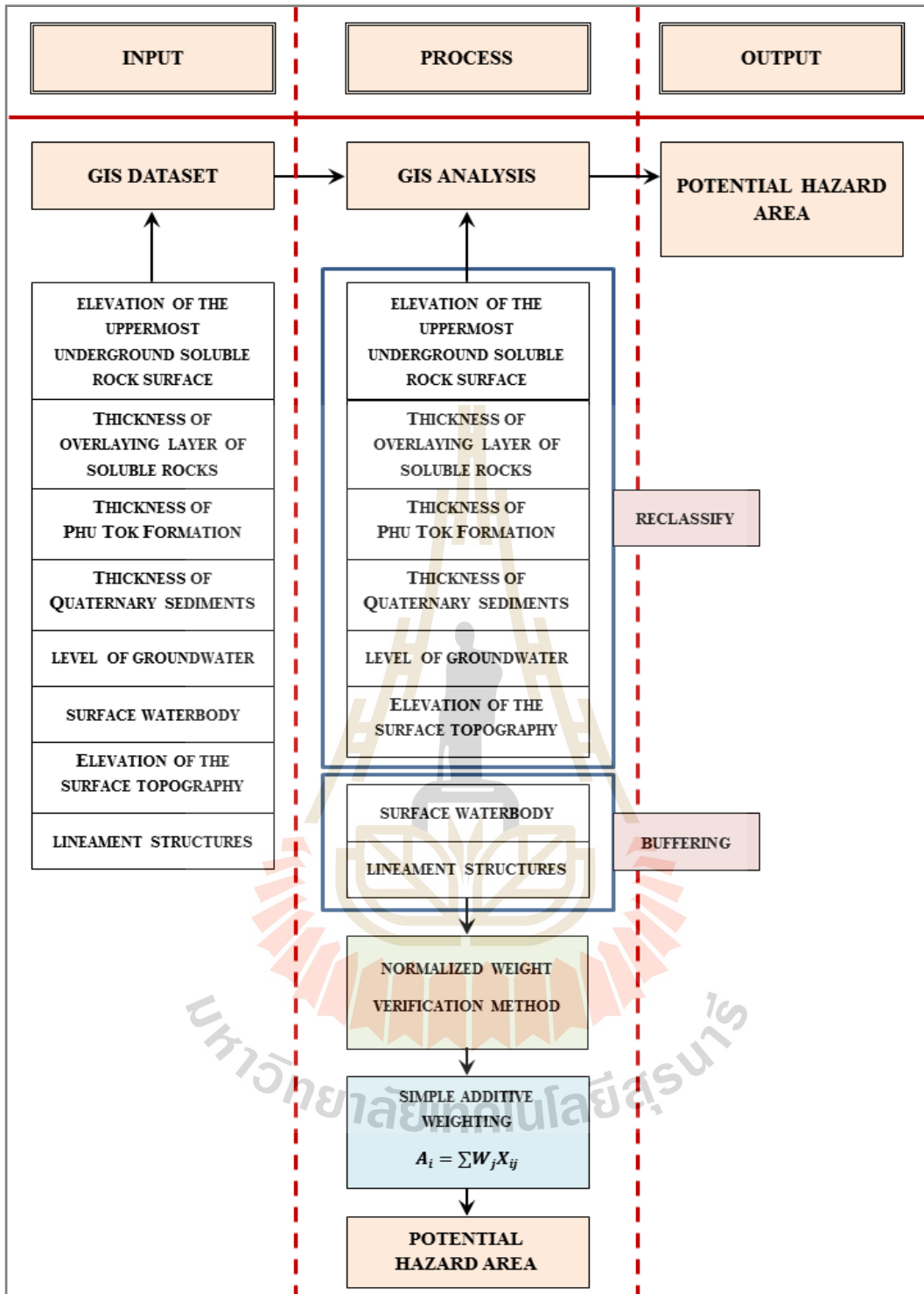
ปัจจัยที่ 3 ความหนาของชั้นหินอุทก

ปัจจัยที่ 4 ความหนาของตะกอนยุคควอเทอร์นารี

ข้อมูลทั้ง 4 ปัจจัยแรกนี้ได้ทำการรวบรวมข้อมูลจากข้อมูลหลุมเจาะสำรวจแร่โพแทช และเกลือหินที่มีตำแหน่งที่ตั้งกระจายตัวอยู่ในบริเวณพื้นที่ศึกษาฯ จำนวน 38 หลุม (Japakasetr and Suwanich, 1990) โดยตำแหน่งพิกัดภูมิศาสตร์ตามระบบพิกัด UTM Zone 48 ค่าระดับความสูงปากหลุม และความลึกของหลุมเจาะฯ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.1 ประกอบกับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ด้วยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะในแนวตั้ง (Vertical Electrical Sounding) ที่จัดทำขึ้นเพิ่มเติมในการศึกษาครั้งนี้

โดยข้อมูลของระดับความสูงของผิวของชั้นเกลือหินที่อยู่ใต้ดินชั้นบนสุด ความหนาของชั้นหินปิดทับชั้นเกลือหินที่ได้มาจากข้อมูลหลุมเจาะสำรวจแร่โพแทชและเกลือหินที่มีตำแหน่งที่ตั้งกระจายตัวอยู่ในบริเวณพื้นที่ศึกษาฯ จำนวน 38 หลุม มีรายละเอียดแสดงตามตารางที่ 3.2 ทั้งนี้พบว่าค่าระดับความสูงของผิวของชั้นเกลือหินที่อยู่ใต้ดินชั้นบนสุดมีค่าอยู่ระหว่าง -48.26 – 172.81 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง และความหนาของชั้นหินปิดทับชั้นเกลือหิน มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 37.19 – 345.537 เมตร

ข้อมูลความหนาของชั้นหินอุทก และความหนาของตะกอนยุคควอเทอร์นารี มีรายละเอียดดังแสดงตามตารางที่ 3.3 โดยค่าความหนาของชั้นหินอุทก มีค่าอยู่ระหว่าง 26.52 – 209.06 เมตร และความหนาของตะกอนยุคควอเทอร์นารี มีค่าอยู่ระหว่าง 2.00 – 103.25 เมตร



รูปที่ 3.1 กรอบแนวความคิดของการศึกษา

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลแสดงตำแหน่ง ระดับความสูงปากหลุม และความลึกของหลุมเจาะสำรวจแร่
โพแทชและเกลือหิน จำนวน 38 หลุม ในบริเวณพื้นที่ศึกษา

หมายเลข หลุมเจาะ	ตำแหน่ง UTM Zone 48		ระดับความสูงปากหลุม (เมตร)	ความลึกเจาะ (เมตร)
	ตะวันออก	เหนือ		
K014	179000	1663300	190	262.74
K016	185000	1683600	175	370.33
K017	205300	1679500	170	306.32
K019	200200	1668600	170	219.45
K020	205600	1675200	170	254.50
K021	204400	1679200	170	306.32
K022	207100	1679900	165	306.32
K023	222900	1690700	160	295.04
K024	208700	1680600	160	303.28
K025	195900	1676900	167	291.08
K026	214200	1682600	160	299.92
K027	185800	1663500	165	196.60
K028	200500	1664300	170	175.26
K029	157800	1677900	200	227.08
K030	203700	1685300	165	358.14
K031	181800	1692200	200	406.91
K032	174400	1708300	175	120.40
K034	227300	1685800	160	245.36
K035	245800	1720300	160	213.36
K074	231200	1734900	190	349.00
K075	223300	1726100	175	667.00
K076	168900	1709600	175	565.00
K077	196600	1707100	175	499.00
K078	220400	1716800	180	670.00
K080	192200	1712900	210	521.82

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลแสดงตำแหน่ง ระดับความสูงปากหลุม และความลึกของหลุมเจาะสำรวจแร่
โพแทชและเกลือหิน จำนวน 38 หลุม ในบริเวณพื้นที่ศึกษา (ต่อ)

หมายเลข หลุมเจาะ	ตำแหน่ง UTM Zone 48		ระดับความสูงปากหลุม (เมตร)	ความลึกเจาะ (เมตร)
	ตะวันออก	เหนือ		
K082	192800	1712800	210	117.04
K084	191200	1712300	215	378.00
K094	192400	1713100	210	157.50
K096	192300	1712500	210	355.50
K097	192200	1713100	210	85.00
K098	192300	1712700	210	416.00
K100	192200	1712800	210	404.50
K101	201200	1668200	170	196.64
K102	201700	1669400	170	224.00
K103	200500	1670000	170	182.90
K104	203400	1669400	170	222.81
K105	202700	1671400	170	217.93
K106	202900	1670500	170	204.52

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลระดับความสูงของผิวของชั้นเกลือหินที่อยู่ใต้ดินชั้นบนสุด และความหนาของชั้นหินปิดทับชั้นเกลือหิน

หมายเลข หลุมเจาะ	ระดับความสูงของผิวของชั้นเกลือหินที่อยู่ ใต้ดินชั้นบนสุด	ความหนาของชั้นหินปิดทับ ชั้นเกลือหิน
K014	72.96	117.04
K016	103.68	71.32
K017	121.54	48.46
K019	84.66	85.34
K020	103.25	66.75
K021	125.50	44.50
K022	127.21	37.79
K023	100.26	59.74
K024	106.66	53.34
K025	127.38	39.62
K026	93.86	66.14
K027	110.14	54.86
K028	89.41	80.59
K029	117.20	82.80
K030	99.16	65.84
K031	102.46	97.54
K032	54.6	120.4
K034	73.13	86.87
K035	-53.36	213.36
K074	-159	349
K075	-47.00	222
K076	-39.06	214.06
K077	77.46	97.54

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลระดับความสูงของผิวของชั้นเกลือหินที่อยู่ใต้ดินชั้นบนสุด และความหนาของชั้นหินปิดทับชั้นเกลือหิน (ต่อ)

หมายเลข หลุมเจาะ	ระดับความสูงของผิวของชั้นเกลือหินที่อยู่ ใต้ดินชั้นบนสุด	ความหนาของชั้นหินปิดทับ ชั้นเกลือหิน
K078	-16.97	196.97
K080	172.81	37.19
K082	147.52	62.48
K084	108.70	106.30
K094	159.60	50.40
K096	-48.26	258.26
K097	164.00	46.00
K098	110.50	99.50
K100	124.20	85.80
K101	101.30	68.70
K102	127.25	42.75
K103	118.73	51.27
K104	73.28	96.72
K105	88.16	81.84
K106	83.34	86.66

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลความหนาของชั้นหินอุทก (Tpt) และความหนาของตะกอนยุคควอเทอร์นารี (Qa)

หมายเลขหลุมเจาะ	ชั้นหินที่ปิดทับ	ความหนาของชั้นหินแต่ละชนิด
K014	Tpt	108.81
K016	Qa	71.32
K017	Tpt	44.23
K019	Tpt	33.22
K020	Qa	66.75
K021	Qa	44.50
K022	Qa	37.79
K023	Tpt	39.62
K024	Tpt	50.29
K025	Tpt	33.52
K026	Tpt	20.42
K027	Qa	54.86
K028	Tpt	48.59
K029	Tpt	76.70
K030	Tpt	53.34
K031	Tpt	91.44
K032	Tpt	115.83
K034	Qa	3.05
K035	Qa	37.49
K074	Tpt	347
K075	Tpt	219
K076	Tpt	209.06
K077	Qa	3.00
K078	Tpt	190.97
K080	Qa	12.19
K082	Qa	30.48

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลความหนาของชั้นหินอุทก (Tpt) และความหนาของตะกอนยุคควอเทอร์นารี (Qa)
(ต่อ)

หมายเลขหลุมเจาะ	ชั้นหินที่ปิดทับ	ความหนาของชั้นหินแต่ละชนิด
K084	Qa	103.25
K094	Qa	28.65
K096	Qa	2.00
K097	Qa	35.00
K098	Tpt	94.5
K100	Tpt	73.8
K101	Qa	54.86
K102	Tpt	33.61
K103	Tpt	39.08
K104	Tpt	33.83
K105	Tpt	26.52
K106	Tpt	68.37

ปัจจัยที่ 5 ระดับน้ำใต้ดิน ข้อมูลปัจจัยนี้ ได้ทำการรวบรวมข้อมูลจาก ข้อมูลหลุมเจาะสำรวจน้ำบาดาล จำนวน 1,449 หลุม ที่กระจายตัวอยู่ในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา

ปัจจัยที่ 6 ระดับความสูงของภูมิประเทศ ข้อมูลในชุดนี้ได้จัดทำขึ้นใหม่โดยใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมชนิดระบบเรดาร์ช่องเปิดสังเคราะห์ (Synthetic Aperture Radar, SAR) ที่ครอบคลุมในบริเวณพื้นที่ที่ทำการศึกษา

ปัจจัยที่ 7 แหล่งน้ำผิวดิน ได้ถูกสร้างแนวกันชน (buffer) ขึ้นรอบ ๆ บริเวณแหล่งน้ำผิวดินซึ่งทำได้โดยการทำขอบเขตกันชนด้วยระยะห่างเป็นระยะ 500 เมตร 1,000 เมตร และมากกว่า 1,000 เมตร ให้กับแหล่งน้ำที่ปรากฏบนพื้นผิวดินภูมิประเทศ ทั้งนี้ข้อมูลแหล่งน้ำที่ปรากฏนี้ ได้จากการแปลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Pleiades และ SPOT5

ปัจจัยที่ 8 โครงสร้างทางธรณีเชิงเส้น ได้ถูกสร้างแนวกันชน (buffer) ขึ้นรอบ ๆ บริเวณที่เป็นโครงสร้างทางธรณีเชิงเส้นซึ่งทำได้โดยการทำขอบเขตกันชนด้วยระยะห่างเป็นระยะ 500 เมตร 1,000 เมตร และมากกว่า 1,000 เมตร จากเส้นแนวโครงสร้างทางธรณีวิทยา ทั้งนี้ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินได้จากการแปลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Pleiades และ SPOT5 เช่นเดียวกับข้อมูลแหล่งน้ำผิวดิน

2. ทำการวิเคราะห์หาค่าความถ่วงน้ำหนักของแต่ละปัจจัยซึ่งทำได้โดยอ้างอิงจากข้อมูลของตำแหน่งพิกัดภูมิศาสตร์ที่มีการเกิดหลุมยุบจริงในอดีต

3. ทำการซ้อนทับข้อมูล (Overlay) ปัจจัยต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาพื้นที่ที่มีความเสี่ยงภัย ทั้ง 8 ปัจจัยเข้าด้วยกันในตำแหน่งพิกัดภูมิศาสตร์ในตำแหน่งเดียวกัน

4. ทำการวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจในการกำหนดตำแหน่งพื้นที่เสี่ยงภัยในแต่ละตำแหน่งพิกัดภูมิศาสตร์โดยวิธีการถ่วงน้ำหนักแบบง่าย (Simple Additive Weighting, SAW)

5. นำค่าคะแนนที่ได้จากการวิเคราะห์ในขั้นตอนที่ 4 มาจัดแบ่งกลุ่มใหม่เพื่อตัดสินใจกำหนดระดับค่าความเสี่ยงภัยของพื้นที่เสี่ยงภัยฯ และจัดทำแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าระดับความเสี่ยงภัยต่อการเกิดการทรุดตัวของแผ่นดินครอบคลุมพื้นที่ที่ทำการศึกษาฯ

3.3 ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษา

3.3.1 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมระบบเรดาร์แบบช่องเปิดเสมือนสังเคราะห์

(Synthetic Aperture Radar, SAR)

ระบบเรดาร์แบบช่องเปิดเสมือนสังเคราะห์ (Synthetic Aperture Radar, SAR) เป็นเทคนิคสมัยใหม่ที่นิยมใช้งานกันมากสำหรับภาพในระบบเรดาร์ การประมวลผลข้อมูลอาศัยการเคลื่อนที่ของตัวยานที่เรียกว่า Doppler Effect สร้างเป็นจานสมมติขึ้นมา ทำให้ได้รายละเอียดของข้อมูลสูงแม้จะบินในระดับที่สูงจากพื้นโลกมาก ๆ ก็ตาม SAR ระบบบันทึกข้อมูลแบบ Active ซึ่งทำการบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นความถี่ระหว่าง 300 MHz – 300 GHz หลักการพื้นฐานการทำงานของ SAR เริ่มจากการสร้างสัญญาณพัลส์เดียวของคลื่นเรดาร์ที่มีความกว้างของสัญญาณแคบมาก ๆ จากนั้นทำการส่งพัลส์เรดาร์ดังกล่าวออกไป พร้อมกับรับคลื่นเรดาร์ที่สะท้อนกลับเมื่อคลื่นเรดาร์เดินทางไปกระทบกับวัตถุ เมื่อรับสัญญาณเสร็จสิ้นแล้วทำการประมวลผลและสร้างภาพ โดยจุดภาพที่ได้จากการบันทึกนั้นคือค่าแอมพลิจูดและเฟส โดยค่าทั้งสองนั้นเกิดจากผลรวมแบบเวกเตอร์ของการกระเจิง (Backscattering) ที่เกิดจากวัตถุต่าง ๆ ที่คลื่นไปมีปฏิสัมพันธ์ด้วย

ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมประเภท SAR ซึ่งใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือภาพถ่ายจากดาวเทียม RADARSAT-2 ซึ่งได้ถูกนำมาใช้ในการจัดทำแผนที่ภูมิประเทศชั้นละเอียดของพื้นที่ศึกษานั้นมีรายละเอียดของข้อมูลฯ ดังนี้

1. เป็นข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม RADARSAT-2 พิกัดอยู่ในช่วงระหว่าง longitude 101° 45' ถึง 102° 15' ตะวันออก และ latitude 15° 00' ถึง 15° 30' เหนือ หรือระหว่างพิกัด 151000 ถึง 205000 ตะวันออก กับ 1661000 ถึง 1716000 เหนือ ในระบบพิกัด UTM โซน 48 ครอบคลุมพื้นที่ตำบลบ้านวัง ค้างพลู สำโรง และตำบลบัลลังก์ อำเภอโนนไทย ตำบลหนองสรวง อำเภอขามทะเลสอ และตำบลพังเทียม อำเภอพระทองคำ จังหวัดนครราชสีมา

2. ข้อมูลแบบ SAR (Synthetic Aperture Radar) อยู่ในรูปแบบไฟล์ GeoTiff
3. ความละเอียดของภาพ 8 เมตร (Fine mode)
4. บันทึกข้อมูลช่วงเดือนมีนาคม ถึง เมษายน 2557

การสร้างแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ โดยการประยุกต์ใช้ข้อมูลของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม RADARSAT-2 มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทำการแปลงรูปแบบเพิ่มข้อมูลฯ ในพื้นที่ศึกษา ให้เป็นแฟ้มข้อมูลประเภท GeoTiff รวมทั้งทำการแปลงระบบพิกัดภูมิศาสตร์ให้เป็นระบบ UTM WGS84 ซึ่งเป็นระบบพิกัดที่ใช้ในประเทศไทย
2. ประยุกต์ใช้โปรแกรม ERDAS IMAGINE 9.1 เพื่อแปลงข้อมูลประเภท GeoTiff ของพื้นที่ศึกษา ให้เป็นแฟ้มข้อมูลประเภทภาพ (Image, IMG)
3. นำข้อมูลฯ ที่ผ่านการปรับแปลงแล้วมาทำการสร้างแผนที่แสดงระดับความสูงของภูมิประเทศ (Topographic map) ครอบคลุมบริเวณพื้นที่ที่ทำการศึกษา

3.3.2 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Pleiades และ SPOT5

ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Pleiades และ SPOT5 ได้ถูกนำมาใช้ในการศึกษาแหล่งน้ำผิวดิน และโครงสร้างทางธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษา โดยรายละเอียดของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมฯ มีดังนี้

- ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Pleiades เป็นชนิด Pansharpened ขนาดความละเอียด 0.5 เมตร จำนวน 1 ภาพ บันทึกข้อมูลวันที่ 11 กรกฎาคม 2558
- ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม SPOT-5 เป็นชนิด Pansharpened ขนาดความละเอียด 5 เมตร จำนวน 4 ภาพ ประกอบด้วย
 - ภาพที่ 1 ภาพข้อมูล 264/319 บันทึกข้อมูลวันที่ วันที่ 16 มีนาคม 2550
 - ภาพที่ 2 ภาพข้อมูล 264/320 บันทึกข้อมูลวันที่ วันที่ 16 มีนาคม 2550
 - ภาพที่ 3 ภาพข้อมูล 265/319 บันทึกข้อมูลวันที่ วันที่ 3 กรกฎาคม 2550
 - ภาพที่ 4 ภาพข้อมูล 265/320 บันทึกข้อมูลวันที่ วันที่ 28 กันยายน 2551

3.4 การสำรวจธรณีฟิสิกส์ด้วยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะในแนวตั้ง

การสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะในแนวตั้ง (Vertical Electrical Sounding, VES) เป็นการวัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดจากการปล่อยกระแสไฟฟ้าลงไปในพื้นผิวดินด้วยตัวกำเนิดกระแสไฟฟ้าตรง หรือใช้กระแสไฟฟ้าสลับที่มีความถี่ต่ำปล่อยลงไปในพื้นผิวอย่างช้า ๆ คล้ายกระแสไฟฟ้าตรง สิ่งที่มีผลต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของความต่างศักย์และทางเดินของกระแสไฟฟ้าคือ คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่รองรับ

ความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity) เป็นคุณสมบัติของหินและแร่ที่ขึ้นกับปัจจัยหลายประการ โดยปกติการนำไฟฟ้าในชั้นหินทุกชนิดจะเกิดจากการเคลื่อนที่ของไอออนอิสระในสารละลายเกลือแร่ที่แทรกอยู่ตามช่องว่างเล็ก ๆ ระหว่างชั้นดิน ชั้นหิน เนื่องจากแร่ประกอบหินหลัก เช่น แร่ควอตซ์ (Quartz) เฟลด์สปาร์ (Feldspar) และไมกา (Mica) เป็นฉนวนไฟฟ้า ด้วยเหตุนี้ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของชั้นดิน ชั้นหินใดๆ จึงขึ้นอยู่กับความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของสารละลายเกลือแร่ที่แทรกอยู่ตามช่องว่างระหว่างเม็ดดิน เม็ดหิน ดังนั้นกระแสไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดจึงสามารถไหลตามสารละลายเกลือแร่ผ่านชั้นดิน ชั้นหินเหล่านั้นลงไปได้ แต่กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านชั้นดิน ชั้นหิน ต่างชนิดกันได้ดีไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารละลาย ความเข้มข้น และปริมาณของสารละลายที่ซึมแทรกอยู่ในชั้นดิน ชั้นหิน

จากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้สามารถตรวจวัดสภาพธรณีวิทยาใต้พื้นผิวที่ตำแหน่งใด ๆ ได้โดยการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของชั้นดิน ชั้นหินที่ระดับความลึกต่าง ๆ ซึ่งเรียกว่าการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะในแนวตั้งได้โดยวิธีการสำรวจทำได้โดยการปล่อยกระแสไฟฟ้าลงไปในดินผ่านขั้วกระแสไฟฟ้าสองขั้ว (Current electrodes, A-B) การไหลของกระแสไฟฟ้าจะทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้นในดิน หรือหิน ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะแปรเปลี่ยนไปตามค่าของกระแสไฟฟ้าที่ปล่อยลงไปในดิน และความต้านทานไฟฟ้าของชั้นดิน ชั้นหินที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน และจะทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ปลายขั้วศักย์ไฟฟ้าสองขั้ว (Potential electrodes, M-N) ซึ่งสามารถตรวจวัดได้โดยที่ความลึกของเส้นทางที่กระแสไฟฟ้าไหล ผ่านชั้นดิน ชั้นหินจะแปรผันตามระยะระหว่างขั้วกระแสไฟฟ้าทั้งสองข้าง (A-B) ในการสำรวจนั้น จากปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ชกนำลงไปและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นและวัดได้ที่ระยะขั้วไฟฟ้าต่าง ๆ จะสามารถนำมาคำนวณค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะปรากฏ (Apparent resistivity) ของชั้นดิน ชั้นหินได้ การจัดรูปแบบของขั้วกระแส และขั้วศักย์ ในการสำรวจความต้านทานไฟฟ้าของชั้นดิน ชั้นหินนั้นมีหลายแบบ แต่ในการสำรวจนี้ได้เลือกใช้รูปแบบของการจัดวางขั้วไฟฟ้าแบบชรัมเบอร์เจอร์ (Schlumberger configuration)

งานสำรวจธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะแบบแนวตั้ง (Vertical Electrical Sounding, VES) โดยใช้รูปแบบของการจัดวางขั้วไฟฟ้าแบบชรัมเบอร์เจอร์ (Schlumberger

configuration) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.2 และค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะปรากฏ (ρ_a) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.2

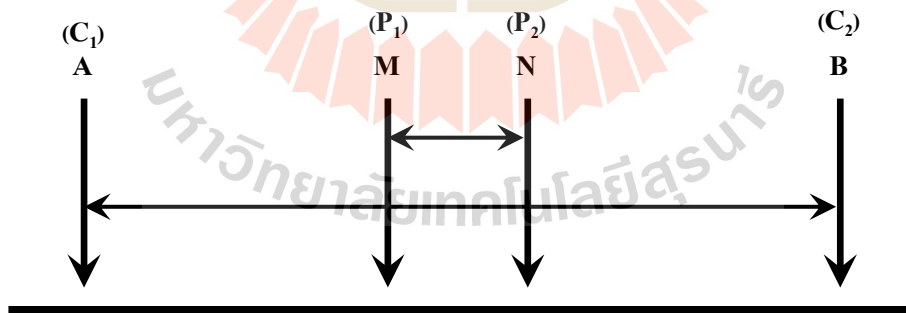
$$\rho_a = K \left(\frac{\Delta V}{I} \right) \quad (3.2)$$

- โดย ρ_a = ความต้านทานไฟฟ้าปรากฏ (โอห์ม-เมตร)
 K = ค่าคงที่ของระยะห่างของการจัดวางขั้วอิเล็กโทรด (Geometric factor) แบบชลัมเบอร์เจอร์ (Schlumberger Configuration)
 V = ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่อ่านได้ (โวลต์)
 I = ค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ปล่อยลงไปในกรซักน้ำ (แอมแปร์)

เมื่อค่าคงที่ของระยะห่างของการวางขั้วอิเล็กโทรดแบบชลัมเบอร์เจอร์ คือ

$$K = \frac{\pi}{MN} \left[\frac{(AB)^2}{4} - \frac{(MN)^2}{4} \right] \quad (3.3)$$

- โดย AB = ระยะระหว่างขั้วการปล่อยกระแสไฟฟ้า (Current electrodes, C_1 - C_2) (เมตร)
MN = ระยะระหว่างขั้ววัดความต่างศักย์ไฟฟ้า (Potential electrodes, P_1 - P_2) (เมตร)



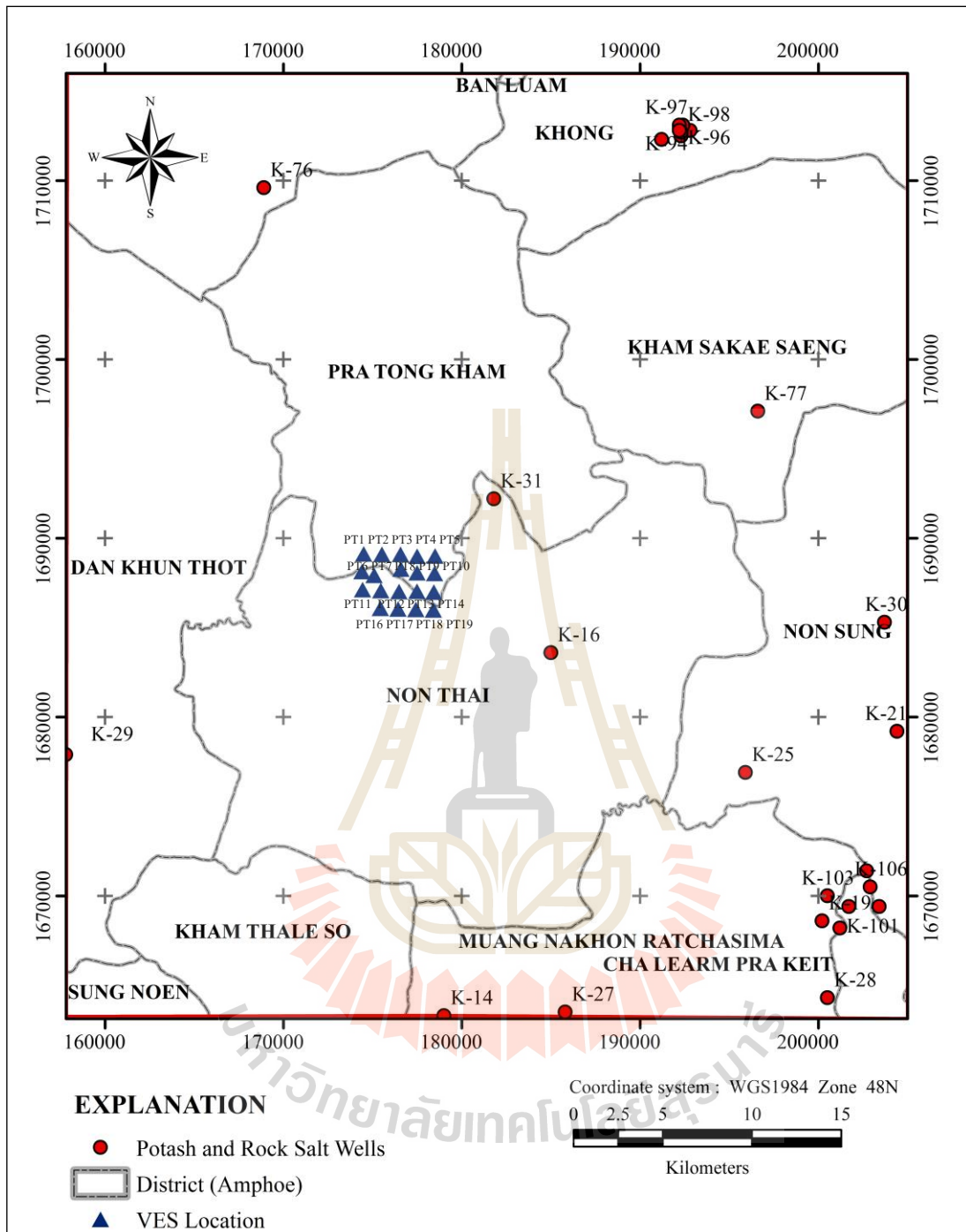
รูปที่ 3.2 การจัดวางการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะแบบแนวตั้ง (Vertical Electrical Sounding, VES) โดยรูปแบบของการจัดวางขั้วไฟฟ้าแบบชลัมเบอร์เจอร์ (Schlumberger Configuration)

โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้วางตำแหน่งจุดสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะในแนวตั้งไว้ในพื้นที่ศึกษาโดยเฉพาะในบริเวณที่อยู่ใกล้ๆ กับพื้นที่ผลิตเกลือสินเธาว์ ซึ่งตั้งอยู่ในบริเวณพื้นที่ บ้าน

โพนไพล ตำบลพังเทียม อำเภอพระทองคำ ของจังหวัดนครราชสีมา ดังแสดงรายละเอียดของตำแหน่งของจุดสำรวจฯ จำนวน 19 จุดสำรวจ (PT1 – PT19) ไว้ในตารางที่ 3.4 และในรูปที่ 3.3

ตารางที่ 3.4 ตำแหน่งจุดสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะในแนวตั้ง จำนวน 19 จุดสำรวจ ในพื้นที่ศึกษา

จุดสำรวจ	ตำแหน่งพิกัด UTM Zone 48		จุดสำรวจ	ตำแหน่งพิกัด UTM Zone 48	
	ตะวันออก	เหนือ		ตะวันออก	เหนือ
PT01	819121	1689213	PT11	819042	1687051
PT02	820115	1689079	PT12	820071	1687042
PT03	821044	1689091	PT13	821092	1686967
PT04	822052	1688954	PT14	822011	1687054
PT05	823047	1689061	PT15	823023	1687042
PT06	818971	1688077	PT16	820051	1686072
PT07	819675	1687901	PT17	821038	1686046
PT08	821142	1688272	PT18	822047	1686051
PT09	822062	1688021	PT19	823021	1686047
PT10	823076	1688079			



รูปที่ 3.3 แผนที่แสดงตำแหน่งจุดสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าในแนวตั้ง (VES) จำนวน 19 จุดสำรวจ (PT1 – PT19) ในพื้นที่บ้านโนนไพล ตำบลพังเทียม อำเภอพระทองคำ จังหวัดนครราชสีมา

บทที่ 4

ผลการศึกษา

จากการศึกษาและประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยจากการทรุดตัวของแผ่นดินในเขตพื้นที่ผลิตเกลือสินเธาว์ของจังหวัดนครราชสีมา มีผลการศึกษาดังนี้

4.1 การประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการทรุดตัวของแผ่นดิน

การประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยจากการทรุดตัวของแผ่นดินโดยการนำค่าลำดับความสำคัญของรายละเอียดปัจจัยย่อยที่ได้ทำการแทรกค่าคะแนนลงในตารางข้อมูลเชิงคุณลักษณะ (Attribute data) ของแต่ละพิกัดกริดภูมิศาสตร์ ทำการคูณค่าลำดับความสำคัญกับค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัย จะได้ผลรวมของคะแนนแต่ละปัจจัยในแต่ละพิกัดกริดภูมิศาสตร์ จากนั้นนำผลรวมของคะแนนแต่ละปัจจัยนำมาซ้อนทับ (Overlay) ด้วยวิธีรวมค่าน้ำหนัก (Weight sum) ก็จะได้ผลลัพธ์เป็นแผนที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดการทรุดตัวของแผ่นดินซึ่งมีค่าผลรวมของคะแนนทั้งหมดในแต่ละพิกัดกริดภูมิศาสตร์ จากนั้นทำการจัดชั้นข้อมูลใหม่ (Reclassify) ตามค่าระดับพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดการทรุดตัวของแผ่นดิน

การวิเคราะห์ความเสี่ยงภัยต่อการเกิดการทรุดตัวของแผ่นดินเชิงพื้นที่โดยใช้ค่าดัชนีปัจจัยร่วมซึ่งสามารถกำหนดได้จากผลรวมของค่าน้ำหนักคูณกับคะแนนปัจจัยหลัก นำผลรวมของคะแนนค่าความสำคัญของปัจจัยร่วมมาแบ่งช่วงตามระดับพื้นที่ประเมินต่อการเกิดการทรุดตัวของแผ่นดิน โดยนำคะแนนสูงสุดและต่ำสุดที่เป็นไปได้มาจัดชั้นข้อมูลใหม่ ให้ความกว้างของอันตรภาคชั้นที่เท่ากัน 5 ระดับ คือ พื้นที่เสี่ยงภัยระดับสูงมาก พื้นที่เสี่ยงภัยระดับสูง พื้นที่เสี่ยงภัยระดับปานกลาง พื้นที่เสี่ยงภัยระดับต่ำ และพื้นที่เสี่ยงภัยระดับต่ำมาก แสดงดังสมการที่ 4.1

$$S = (W1R1) + (W2R2) + (W3R3) + \dots + (WnRn) \quad (4.1)$$

เมื่อ S = ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

W = น้ำหนักของปัจจัยหลัก

R = คะแนนตามลำดับความสำคัญของรายละเอียดปัจจัยย่อย

n = จำนวนปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์

4.1.1 ผลการวิเคราะห์การศึกษาหาปัจจัยที่มีผลต่อการหลุดตัวของแผ่นดินในพื้นที่ศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ประเมินและกำหนดว่าปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดการหลุดตัวของแผ่นดิน มีด้วยกันทั้งหมด 8 ปัจจัย คือ 1. ระดับความสูงของผิวของชั้นเกลือหินที่อยู่ใต้ดินชั้นบนสุด 2. ความหนาของชั้นหินปิดทับชั้นเกลือหิน 3. ความหนาของชั้นหินอุทก 4. ความหนาของตะกอนยุคควอเทอร์นารี 5. ระดับน้ำใต้ดิน 6. ระดับความสูงของภูมิประเทศ 7. แหล่งน้ำผิวดิน และ 8. โครงสร้างทางธรณีเชิงเส้น

ข้อมูลของแต่ละปัจจัยได้ถูกนำมาทำให้เป็นค่ามาตรฐาน (Standard number) โดยผ่านกระบวนการปรับแก้ค่าให้เป็นค่าบรรทัดฐาน (Normalized data) ซึ่งจะมีช่วงของค่ามาตรฐานอยู่ในช่วงระหว่าง 0.0 – 1.0 และได้ถูกจัดแบ่งออกเป็น 5 อันดับ ตามช่วงค่ามาตรฐานช่วงละ 0.2 ทั้งนี้ได้กำหนดให้ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงค่ามาตรฐาน (Ranging) อันดับความสำคัญ (Ranking) และระดับความเสี่ยงต่อการเกิดการหลุดตัวของแผ่นดินที่เกิดจากแต่ละปัจจัยนั้น ๆ เป็นไปตามตารางที่ 4.1 ยกเว้นในปัจจัยที่เป็นแหล่งน้ำผิวดินและโครงสร้างทางธรณีวิทยาเชิงเส้นที่ได้มีการจัดแบ่งช่วงค่าคะแนนมาตรฐานออกเป็นเพียง 3 อันดับ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงค่ามาตรฐาน (Ranging) อันดับความสำคัญ (Ranking) และระดับความเสี่ยงต่อการเกิดการหลุดตัวของแผ่นดินที่เกิดจากแต่ละปัจจัย

ช่วงค่ามาตรฐาน (Ranging)	อันดับความสำคัญ (Ranking)	ระดับความเสี่ยง
0.0 - 0.2	1	ระดับต่ำมาก
0.2 - 0.4	2	ระดับต่ำ
0.4 - 0.6	3	ระดับปานกลาง
0.6 - 0.8	4	ระดับสูง
0.8 - 1.0	5	ระดับสูงมาก

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับคะแนนมาตรฐาน (Ranging) และระดับความเสี่ยงต่อการเกิดการทรุดตัวของแผ่นดินที่ใช้กับปัจจัยแหล่งน้ำผิวดินและโครงสร้างทางธรณีวิทยาเชิงเส้น

ค่าระยะห่างระหว่างแต่ละแหล่งน้ำ/ ค่าระยะห่างแต่ละโครงสร้างทาง ธรณีวิทยาเชิงเส้น (เมตร)	ระดับคะแนนมาตรฐาน	ระดับความเสี่ยง
มากกว่า 1,000 เมตร	0	ไม่เกิดความเสี่ยง
500 – 1,000	0.5	ระดับต่ำ
น้อยกว่า 500	1.0	ระดับสูง

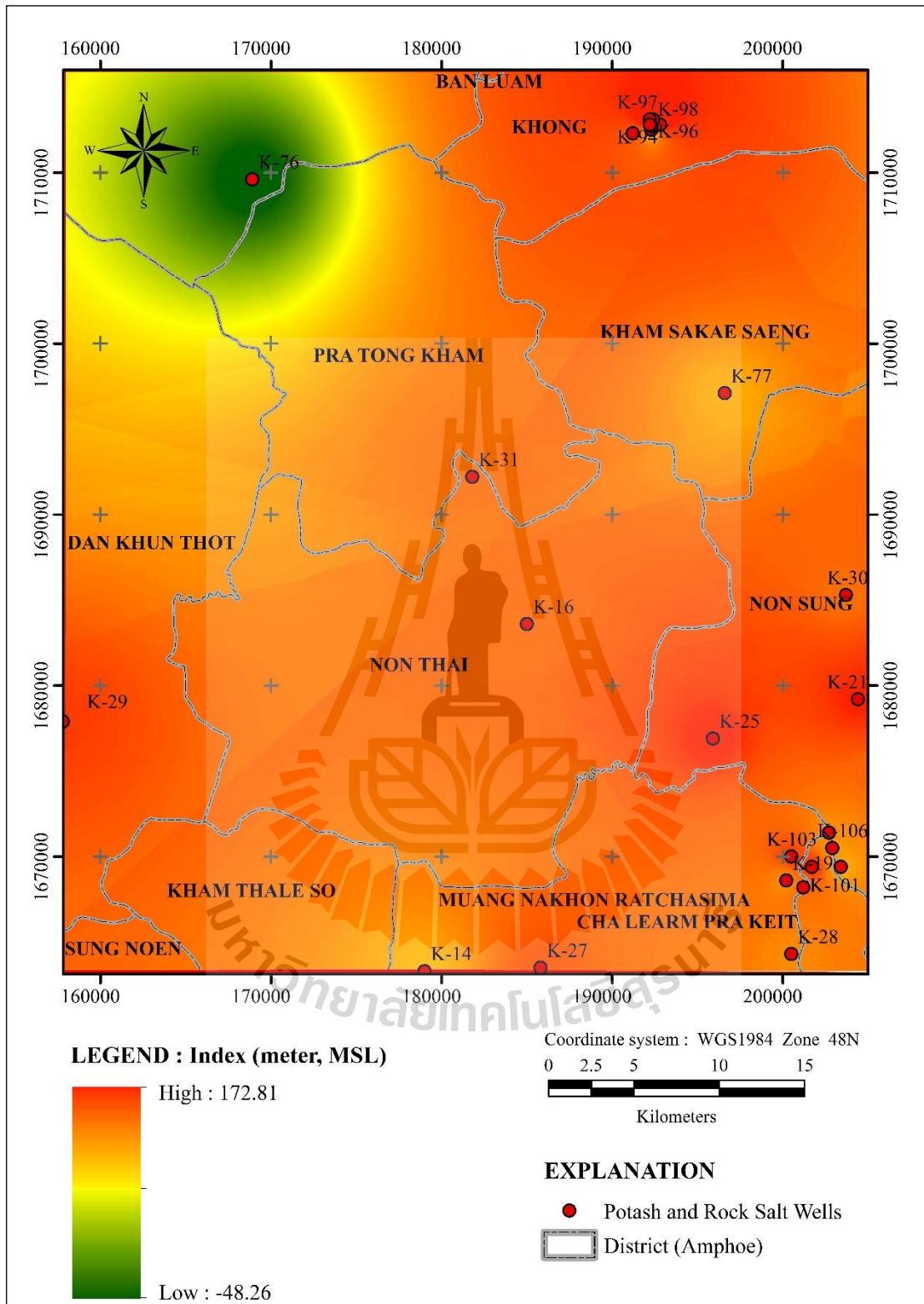
โดยผลการวิเคราะห์การศึกษาหาปัจจัยที่มีผลต่อการทรุดตัวของแผ่นดินในพื้นที่ศึกษา ทั้ง 8 ปัจจัยนั้นสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ระดับความสูงของผิวของชั้นเกลือหินที่อยู่ใต้ดินชั้นบนสุด

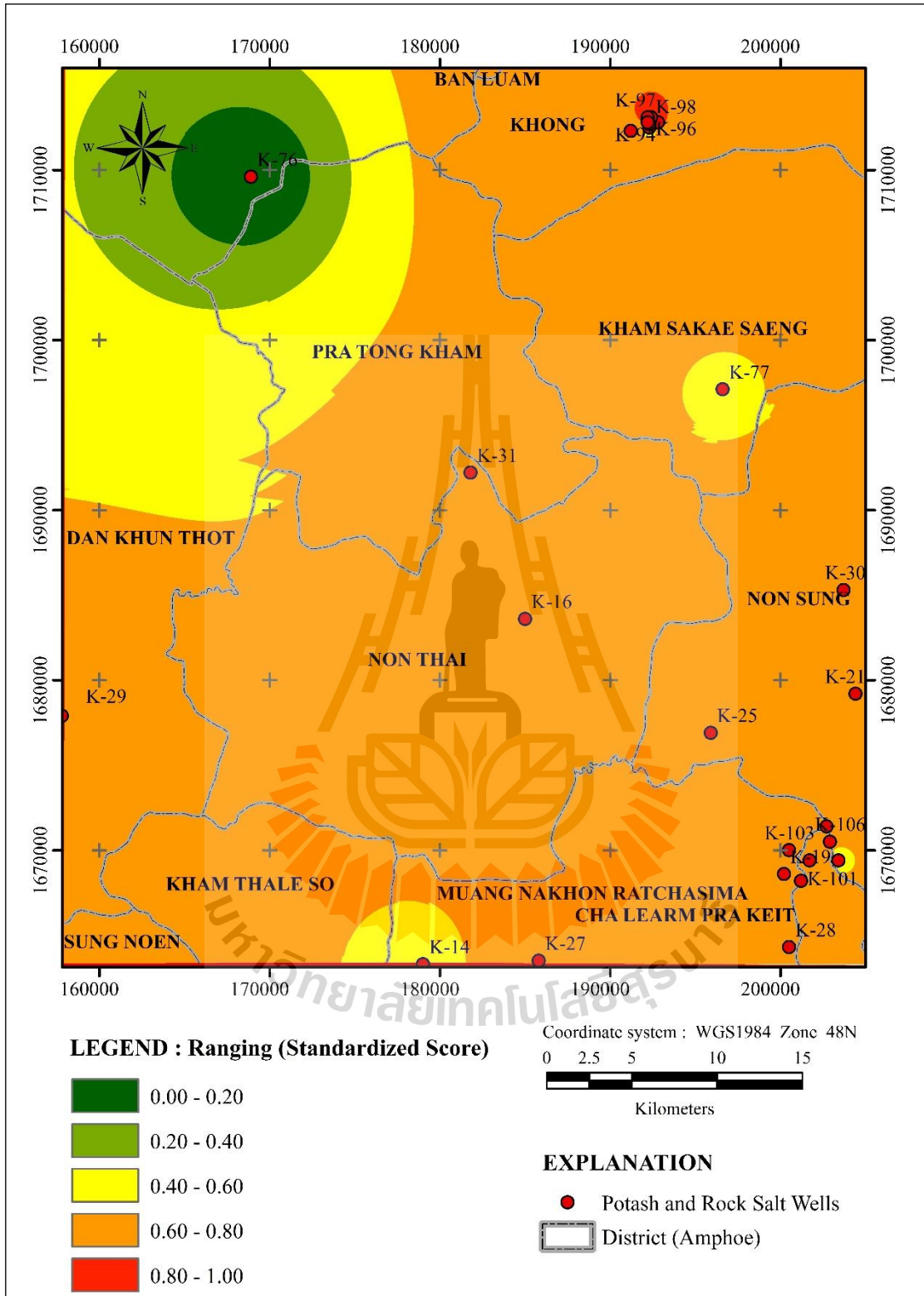
จากการศึกษาข้อมูลหลุมเจาะสำรวจแร่โพแทชและเกลือหินในพื้นที่ศึกษา จำนวน 38 หลุม พบว่ามีค่าระดับความสูงของผิวของชั้นเกลือหินที่อยู่ใต้ดินชั้นบนสุดมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง -48.26 ถึง 172.81 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง และสามารถนำมาสร้างแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าระดับความสูงของผิวของชั้นเกลือหินที่อยู่ใต้ดินชั้นบนสุดในพื้นที่ศึกษาได้ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.1 ปัจจัยนี้เมื่อได้ผ่านการทำให้เป็นมาตรฐาน (standardize) และถูกจัดแบ่งออกเป็น 5 อันดับ ตามค่าระดับคะแนนได้ดังแสดงไว้ตารางที่ 4.3 โดยค่าระดับความสูงของผิวของชั้นเกลือหินที่อยู่ใต้ดินชั้นบนสุดเมื่อได้ถูกแปลงเป็นค่ามาตรฐานในแต่ละพิภคกริทธิศาสตร์แล้วสามารถนำมาสร้างเป็นแผนที่แสดงค่าคะแนนมาตรฐานที่ได้จากค่าระดับความสูงของผิวของชั้นเกลือหินที่อยู่ใต้ดินชั้นบนสุดในพื้นที่ศึกษาดังแสดงในรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.3 การกำหนดเกณฑ์การจัดอันดับของระดับความสูงของผิวของชั้นเกลือหินที่อยู่ใต้ดิน
ชั้นบนสุด

ปัจจัย	ค่าระดับความสูง (เมตร)	ช่วงค่ามาตรฐาน (Ranging)	อันดับ ความสำคัญ (Ranking)	ระดับความเสี่ยง
ระดับความสูง ของผิวของชั้น เกลือหินที่อยู่ใต้ ดินชั้นบนสุด	-42.26 – 0.75	0.0 - 0.2	1	ระดับต่ำมาก
	0.75 – 43.77	0.2 - 0.4	2	ระดับต่ำ
	43.77 – 86.78	0.4 - 0.6	3	ระดับปานกลาง
	86.78 – 129.80	0.6 - 0.8	4	ระดับสูง
	129.80 – 172.81	0.8 - 1.0	5	ระดับสูงมาก



รูปที่ 4.1 แผนที่แสดงค่าระดับความสูงของผิวของชั้นเกลือหินที่อยู่ใต้ดินชั้นบนสุดจากระดับน้ำทะเลปานกลางในพื้นที่ศึกษา



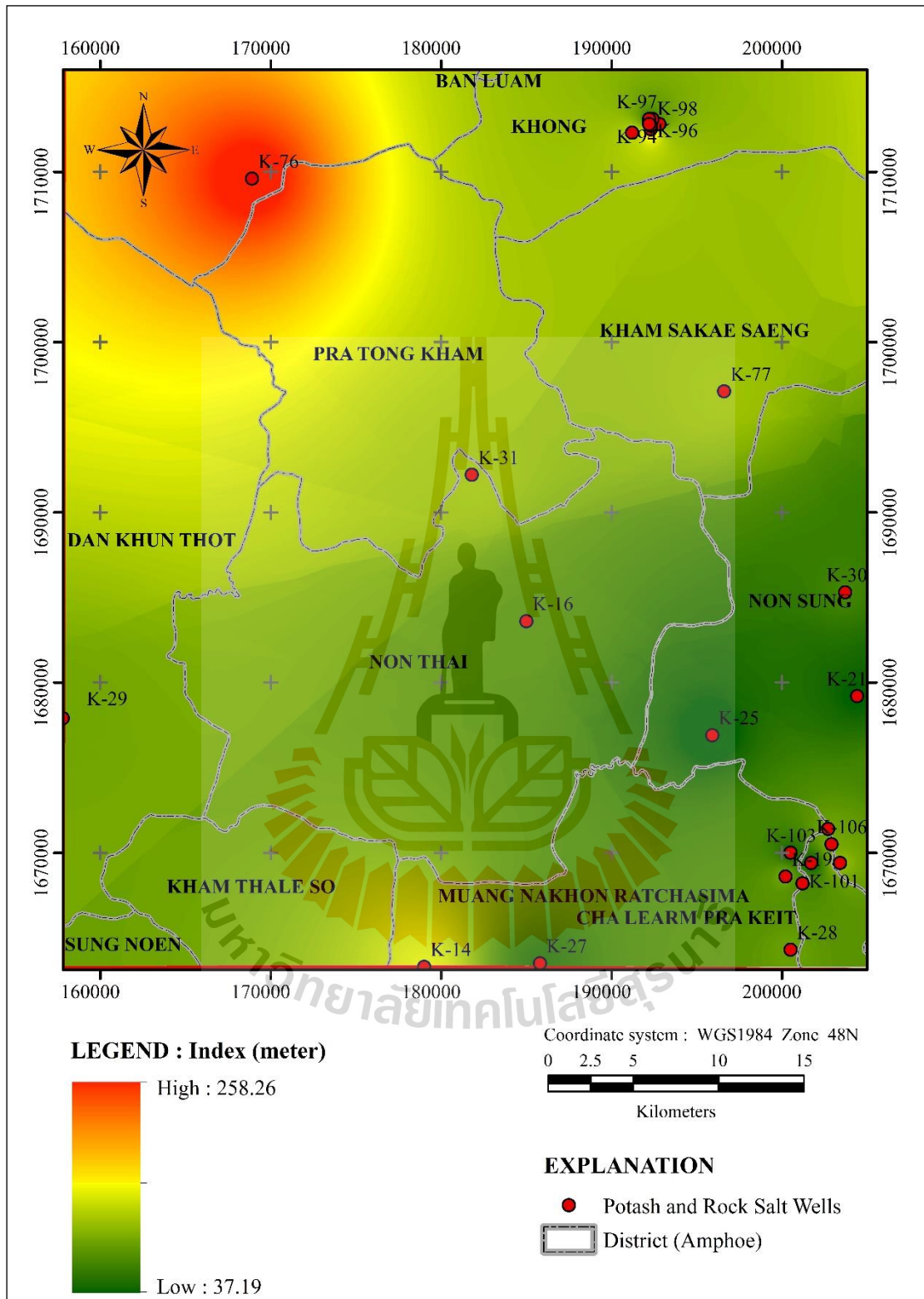
รูปที่ 4.2 แผนที่แสดงค่าคะแนนมาตรฐานที่ได้จากค่าระดับความสูงของผิวของชั้นเกลือหิน
 ที่อยู่ใต้ดินชั้นบนสุดในพื้นที่ศึกษา

2. ความหนาของชั้นหินปิดทับชั้นเกลือหิน

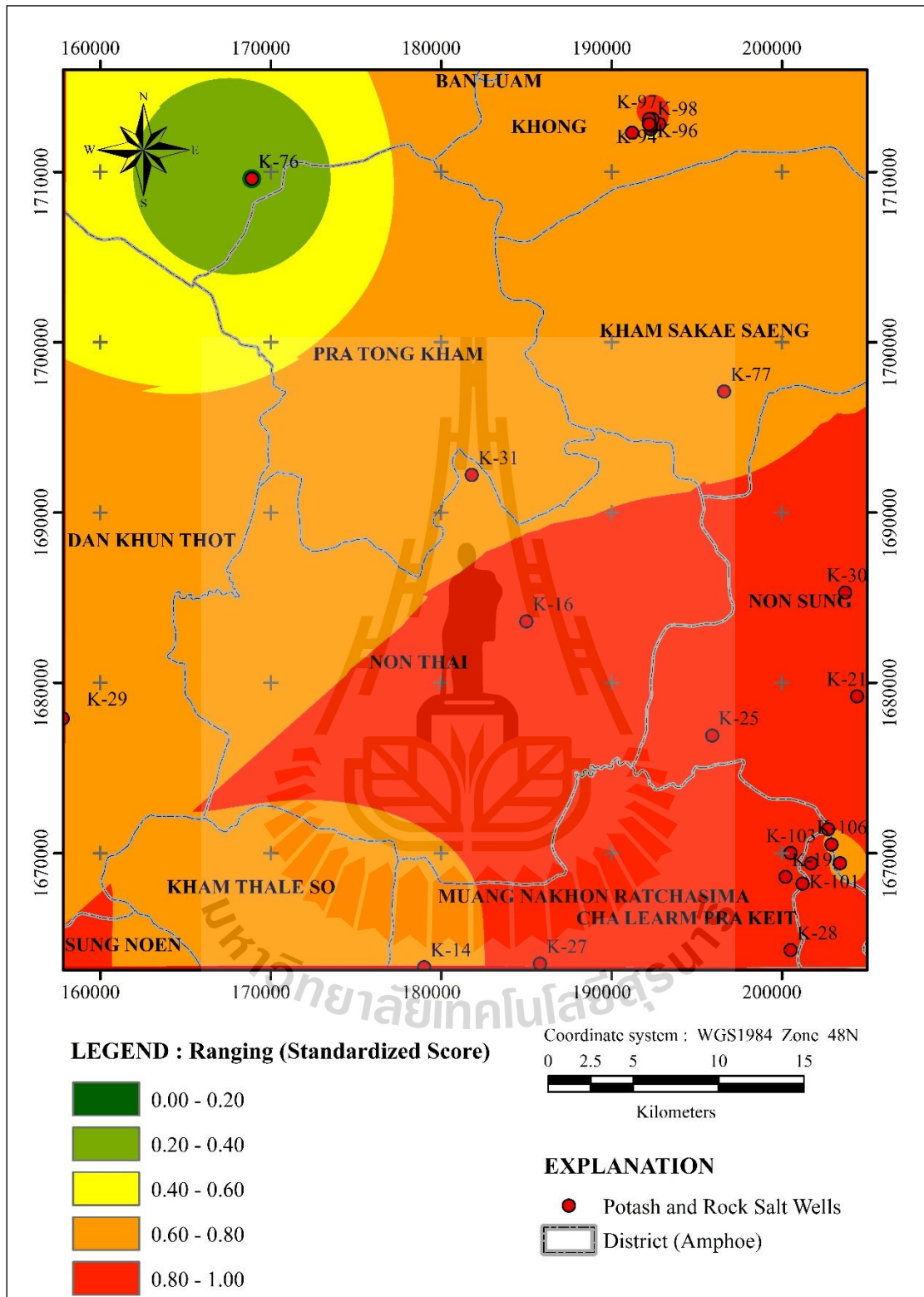
จากการศึกษาข้อมูลหลุมเจาะสำรวจแร่โพแทชและเกลือหินในพื้นที่ศึกษา จำนวน 38 หลุม พบว่าค่าความหนาของชั้นหินปิดทับชั้นเกลือหินในพื้นที่ศึกษามีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 37.19 ถึง 245.537 เมตร และสามารถนำมาสร้างแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความหนาของชั้นหินปิดทับชั้นเกลือหินในพื้นที่ศึกษาได้ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.3 ปัจจุบันนี้เมื่อได้ผ่านการทำค่าให้เป็นมาตรฐานและถูกจัดแบ่งออกเป็น 5 อันดับ ตามค่าระดับคะแนนได้ดังแสดงไว้ตารางที่ 4.4 โดยค่าความหนาของชั้นหินปิดทับชั้นเกลือหินเมื่อได้ถูกแปลงเป็นค่ามาตรฐานในแต่ละพิภคกริดภูมิศาสตร์แล้วสามารถนำมาสร้างเป็นแผนที่แสดงค่าคะแนนมาตรฐานที่ได้จากค่าความหนาของชั้นหินปิดทับชั้นเกลือหินในพื้นที่ศึกษาได้ดังแสดงในรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การกำหนดเกณฑ์การจัดอันดับของความหนาของชั้นหินปิดทับชั้นเกลือหิน

ปัจจัย	ค่าความหนา (เมตร)	ช่วงค่า มาตรฐาน (Ranging)	อันดับ ความสำคัญ (Ranking)	ระดับความเสี่ยง
ความหนาของ ชั้นหินปิดทับชั้น เกลือหิน	203.868 - 245.537	0.0 - 0.2	1	ระดับต่ำมาก
	162.198 - 203.868	0.2 - 0.4	2	ระดับต่ำ
	120.529 - 162.198	0.4 - 0.6	3	ระดับปานกลาง
	78.859 - 120.529	0.6 - 0.8	4	ระดับสูง
	37.190 - 78.859	0.8 - 1.0	5	ระดับสูงมาก



รูปที่ 4.3 แผนที่แสดงค่าความหนาของชั้นหินปิดทับชั้นเกลือหินในพื้นที่ศึกษา



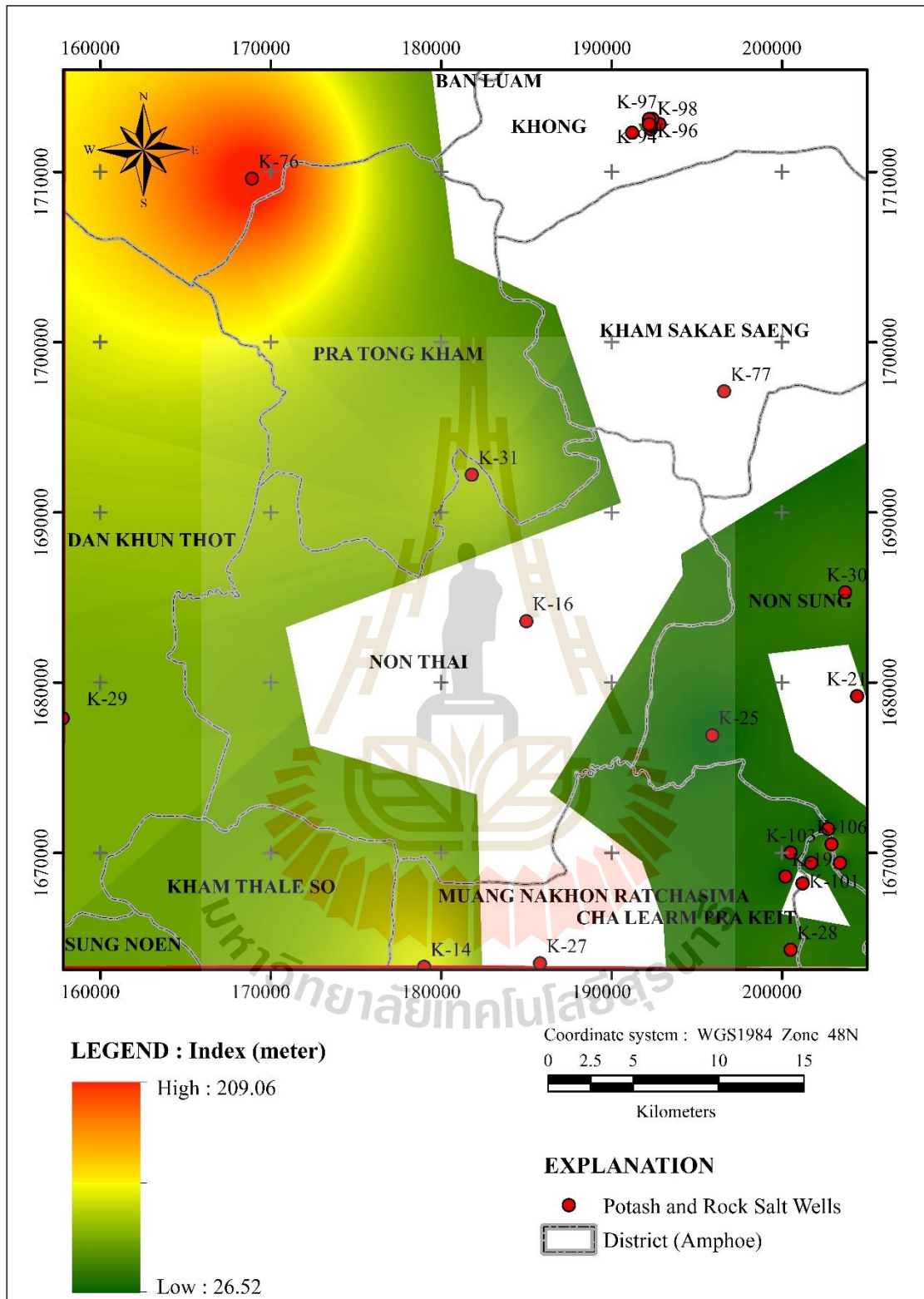
รูปที่ 4.4 แผนที่แสดงค่าคะแนนมาตรฐานที่ได้จากค่าความหนาของชั้นหินปิดทับชั้นเกลือหินในพื้นที่ศึกษา

3. ความหนาของหมวดหินภูทอก

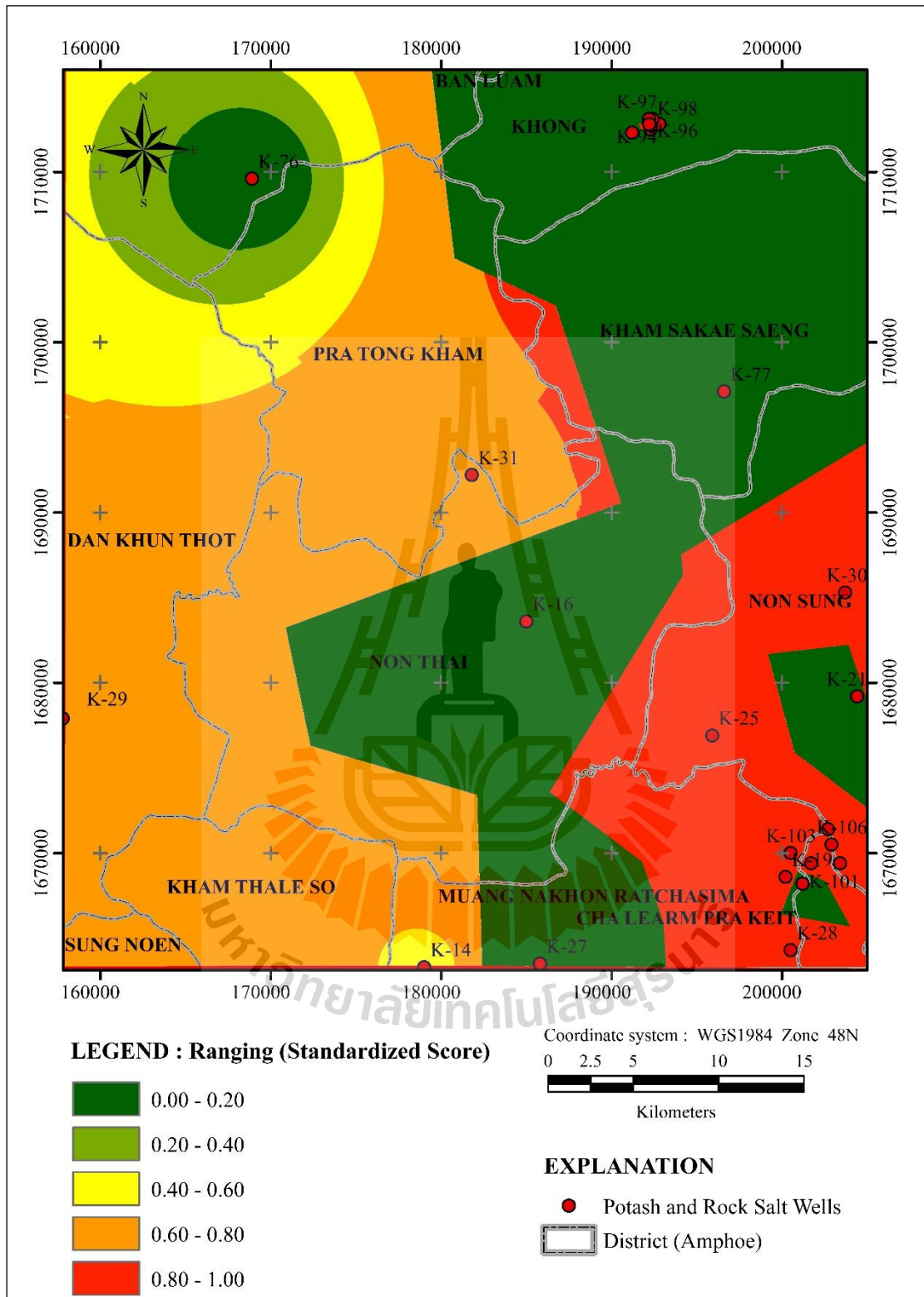
จากการศึกษาข้อมูลหลุมเจาะสำรวจแร่โพแทชและเกลือหินในพื้นที่ศึกษา จำนวน 38 หลุม พบว่าค่าความหนาของหมวดหินภูทอกในพื้นที่ศึกษานั้นมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 26.52 ถึง 209.06 เมตร และสามารถนำมาสร้างแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความหนาของหมวดหินภูทอกในพื้นที่ศึกษาได้ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.5 ปัจจุบันเมื่อได้ผ่านการทำให้เป็นมาตรฐานและถูกจัดแบ่งออกเป็น 5 อันดับ ตามค่าระดับคะแนนได้ดังแสดงไว้ตารางที่ 4.5 โดยค่าความหนาของหมวดหินภูทอกเมื่อได้ถูกแปลงเป็นค่ามาตรฐานในแต่ละพิภคกริดภูมิศาสตร์แล้วสามารถนำมาสร้างเป็นแผนที่แสดงค่าคะแนนมาตรฐานที่ได้จากค่าความหนาของหมวดหินภูทอกในพื้นที่ศึกษาได้ดังแสดงในรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 การกำหนดเกณฑ์การจัดอันดับของความหนาของหมวดหินภูทอก

ปัจจัย	ค่าความหนา (เมตร)	ช่วงค่ามาตรฐาน (Ranging)	อันดับ ความสำคัญ (Ranking)	ระดับความเสี่ยง
ความหนาของ ชั้นหินภูทอก	172.55 - 209.06	0.0 - 0.2	1	ระดับต่ำมาก
	136.04 - 172.55	0.2 - 0.4	2	ระดับต่ำ
	99.54 - 136.04	0.4 - 0.6	3	ระดับปานกลาง
	63.03 - 99.54	0.6 - 0.8	4	ระดับสูง
	26.52 - 63.03	0.8 - 1.0	5	ระดับสูงมาก



รูปที่ 4.5 แผนที่แสดงค่าความหนาของชั้นหินงอกในพื้นที่ศึกษา



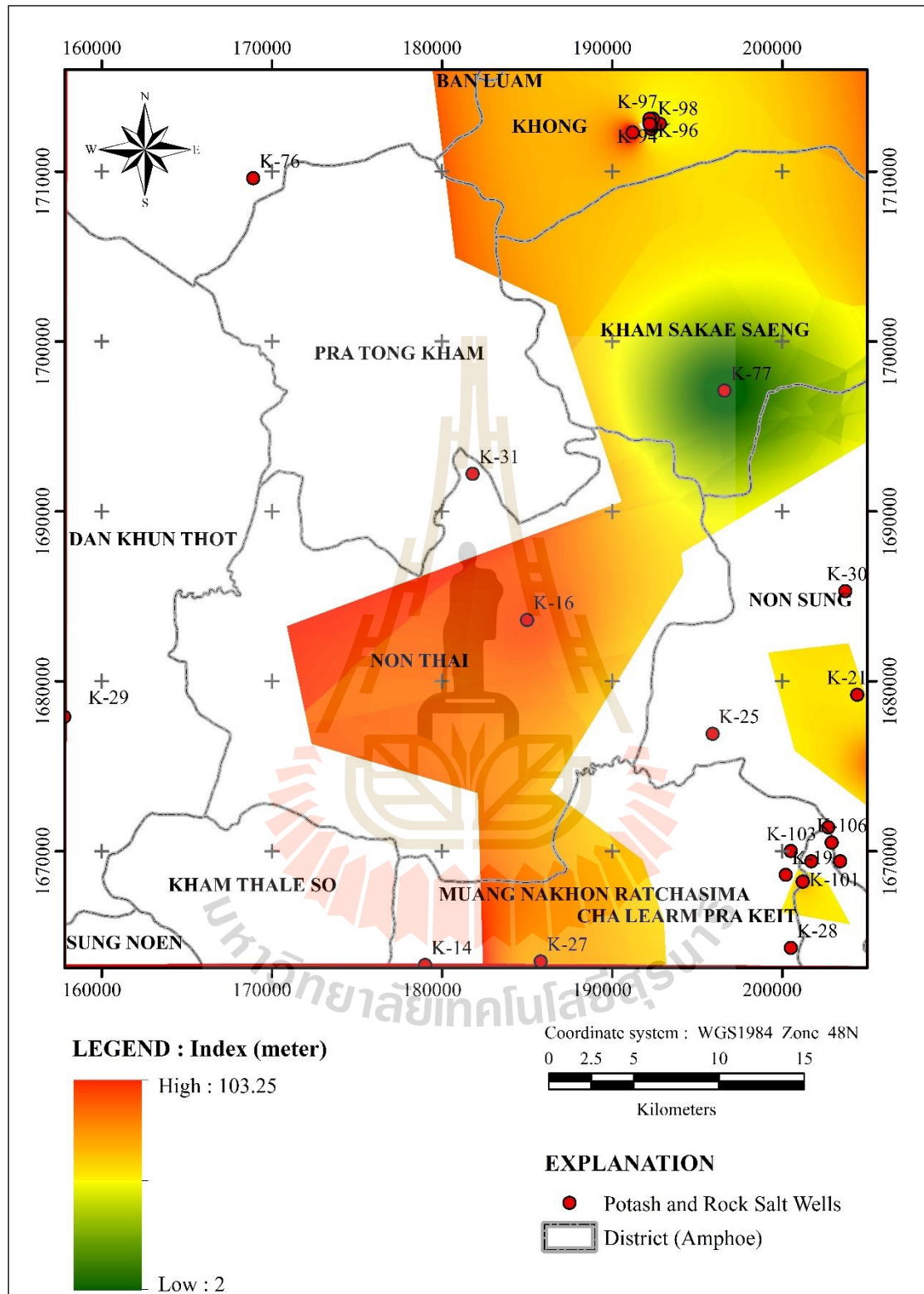
รูปที่ 4.6 แผนที่แสดงค่าคะแนนมาตรฐานที่ได้จากค่าความหนาของชั้นหินเกลือในพื้นที่ศึกษา

4. ความหนาของตะกอนยุคควอเทอร์นารี

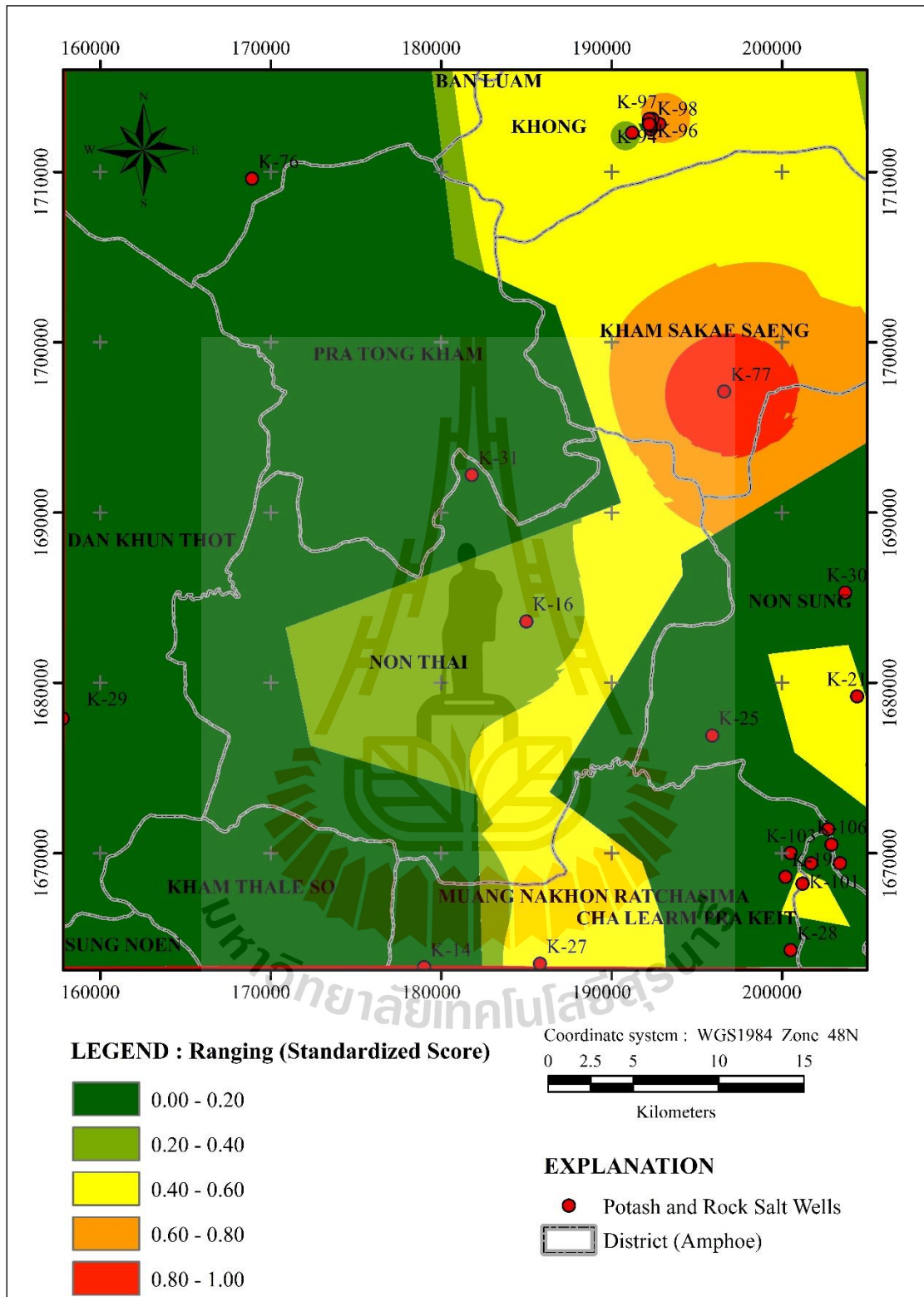
จากการศึกษาข้อมูลหลุมเจาะสำรวจแร่โพแทชและเกลือหินในพื้นที่ศึกษา จำนวน 38 หลุม พบว่าค่าความหนาของตะกอนยุคควอเทอร์นารีนั้นมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 2.00 ถึง 103.25 เมตร และสามารถนำมาสร้างแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความหนาของตะกอนยุคควอเทอร์นารีในพื้นที่ศึกษาได้ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.7 ปัจจุบันเมื่อได้ผ่านการทำให้เป็นมาตรฐานและถูกจัดแบ่งออกเป็น 5 อันดับ ตามค่าระดับคะแนนได้ดังแสดงไว้ตารางที่ 4.6 โดยค่าความหนาของตะกอนยุคควอเทอร์นารีเมื่อได้ถูกแปลงเป็นค่ามาตรฐานในแต่ละพิภคธรณีวิทยาแล้วสามารถนำมาสร้างเป็นแผนที่แสดงค่าคะแนนมาตรฐานที่ได้จากค่าความหนาของตะกอนยุคควอเทอร์นารีในพื้นที่ศึกษาได้ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.6 การกำหนดเกณฑ์การจัดอันดับของความหนาของตะกอนยุคควอเทอร์นารี

ปัจจัย	ค่าความหนา (เมตร)	ช่วงค่ามาตรฐาน (Ranging)	อันดับ ความสำคัญ (Ranking)	ระดับความเสี่ยง
ความหนาของ ตะกอนยุคควอ เทอร์นารี	83.00 - 103.25	0.0 - 0.2	1	ระดับต่ำมาก
	62.75 - 83.00	0.2 - 0.4	2	ระดับต่ำ
	42.50 - 62.75	0.4 - 0.6	3	ระดับปานกลาง
	22.25 - 42.50	0.6 - 0.8	4	ระดับสูง
	2.00 - 22.25	0.8 - 1.0	5	ระดับสูงมาก



รูปที่ 4.7 แผนที่แสดงความหนาของตะกอนยุคควอเทอร์นารีในพื้นที่ศึกษา



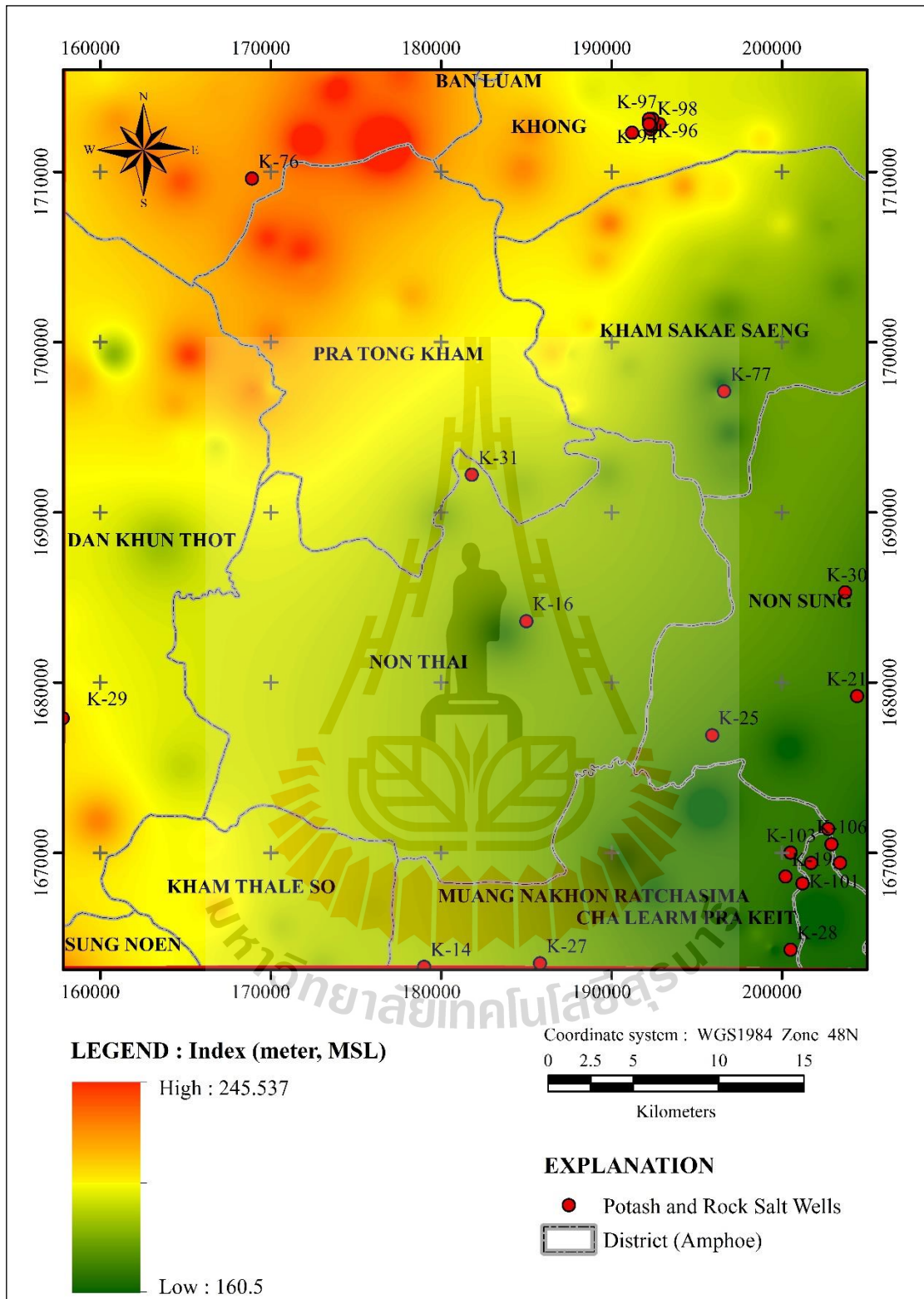
รูปที่ 4.8 แผนที่แสดงค่าคะแนนมาตรฐานที่ได้จากค่าความหนาของตะกอนยูคควอเทอร์นารีในพื้นที่ศึกษา

5. ระดับน้ำใต้ดิน

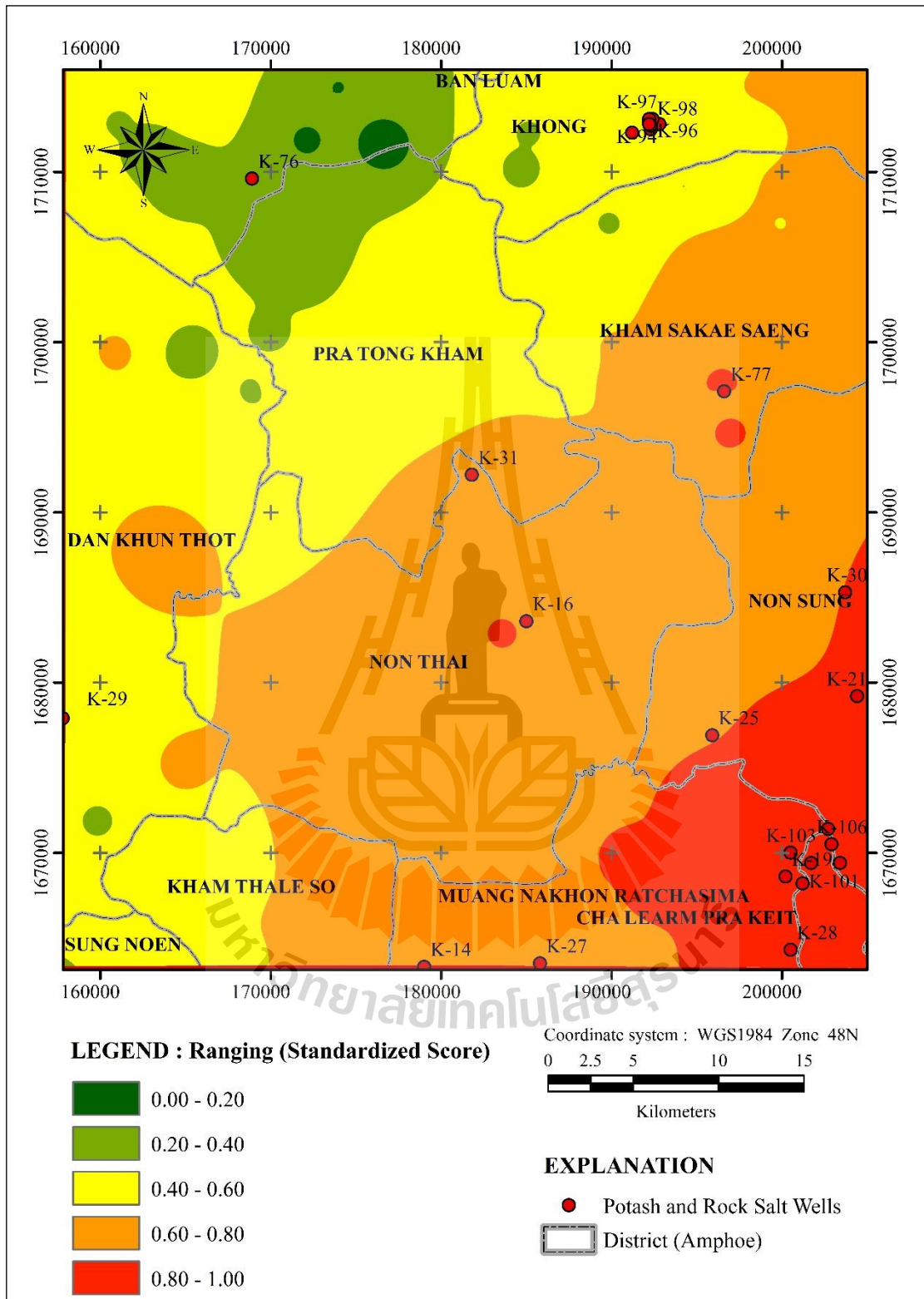
การศึกษาข้อมูลหลุมเจาะสำรวจน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาพบว่ามีค่าระดับน้ำใต้ดินอยู่ในช่วงระหว่าง 160.50 ถึง 245.537 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง และสามารถนำมาสร้างแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาได้ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.9 ปัจจุบันนี้เมื่อได้ผ่านการทำค่าให้เป็นมาตรฐานและถูกจัดแบ่งออกเป็น 5 อันดับ ตามค่าระดับคะแนนได้ดังแสดงไว้ตารางที่ 4.7 โดยค่าระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาเมื่อได้ถูกแปลงเป็นค่ามาตรฐานในแต่ละพิภคกริณีศาสตร์แล้วสามารถนำมาสร้างเป็นแผนที่แสดงค่าคะแนนมาตรฐานที่ได้จากค่าระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาได้ดังแสดงในรูปที่ 4.10

ตารางที่ 4.7 การกำหนดเกณฑ์การจัดอันดับของระดับน้ำใต้ดิน

ปัจจัย	ค่าระดับความสูง (เมตร)	ช่วงค่า มาตรฐาน (Ranging)	อันดับ ความสำคัญ (Ranking)	ระดับความเสี่ยง
ระดับน้ำใต้ดิน	228.530 – 245.537	0.0 - 0.2	1	ระดับต่ำมาก
	211.522 – 228.530	0.2 - 0.4	2	ระดับต่ำ
	194.515 – 211.522	0.4 - 0.6	3	ระดับปานกลาง
	177.507 – 194.515	0.6 - 0.8	4	ระดับสูง
	160.500 – 177.507	0.8 - 1.0	5	ระดับสูงมาก



รูปที่ 4.9 แผนที่แสดงค่าระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา



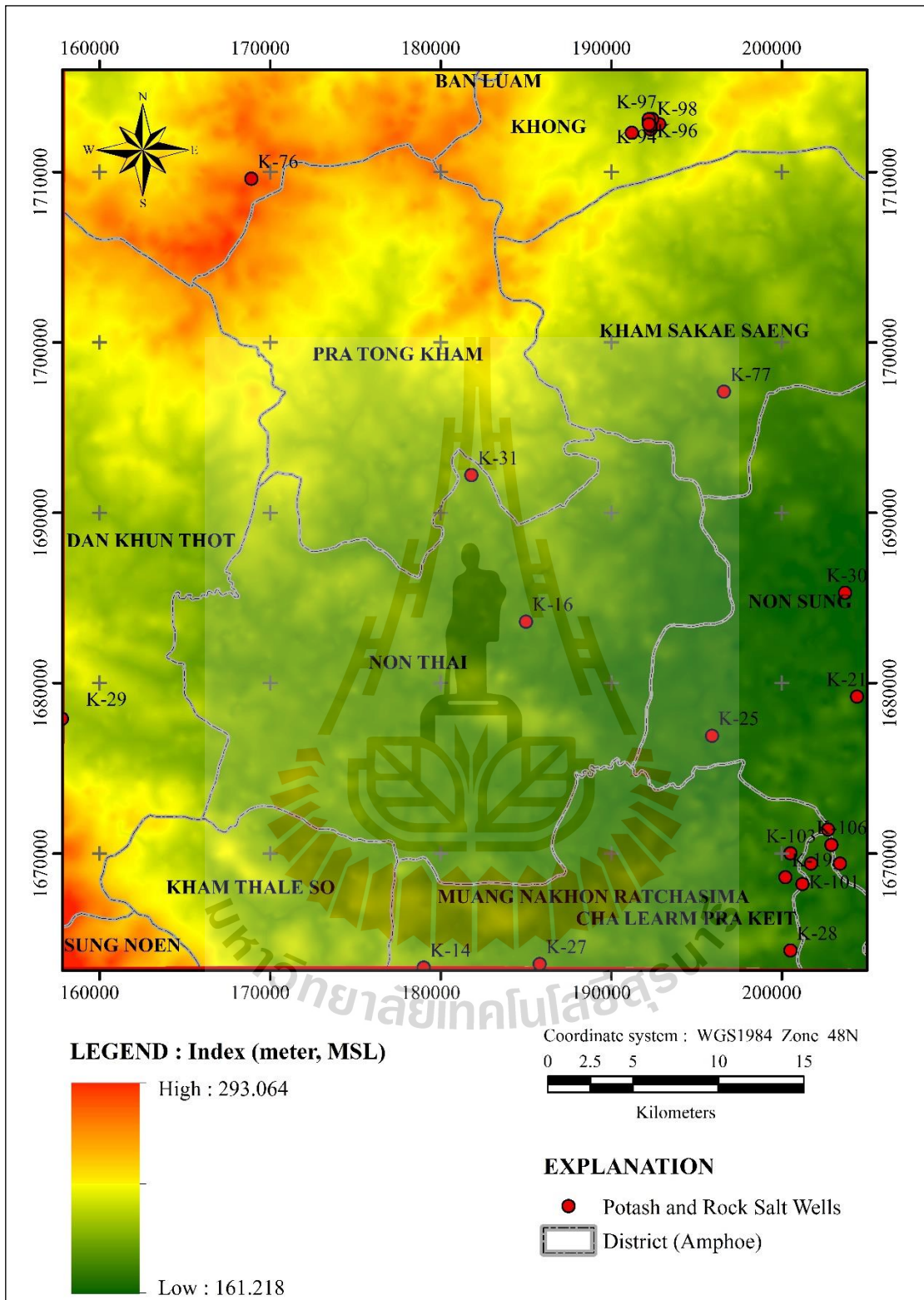
รูปที่ 4.10 แผนที่แสดงค่าคะแนนมาตรฐานที่ได้จากค่าระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา

6. ระดับความสูงของภูมิประเทศ

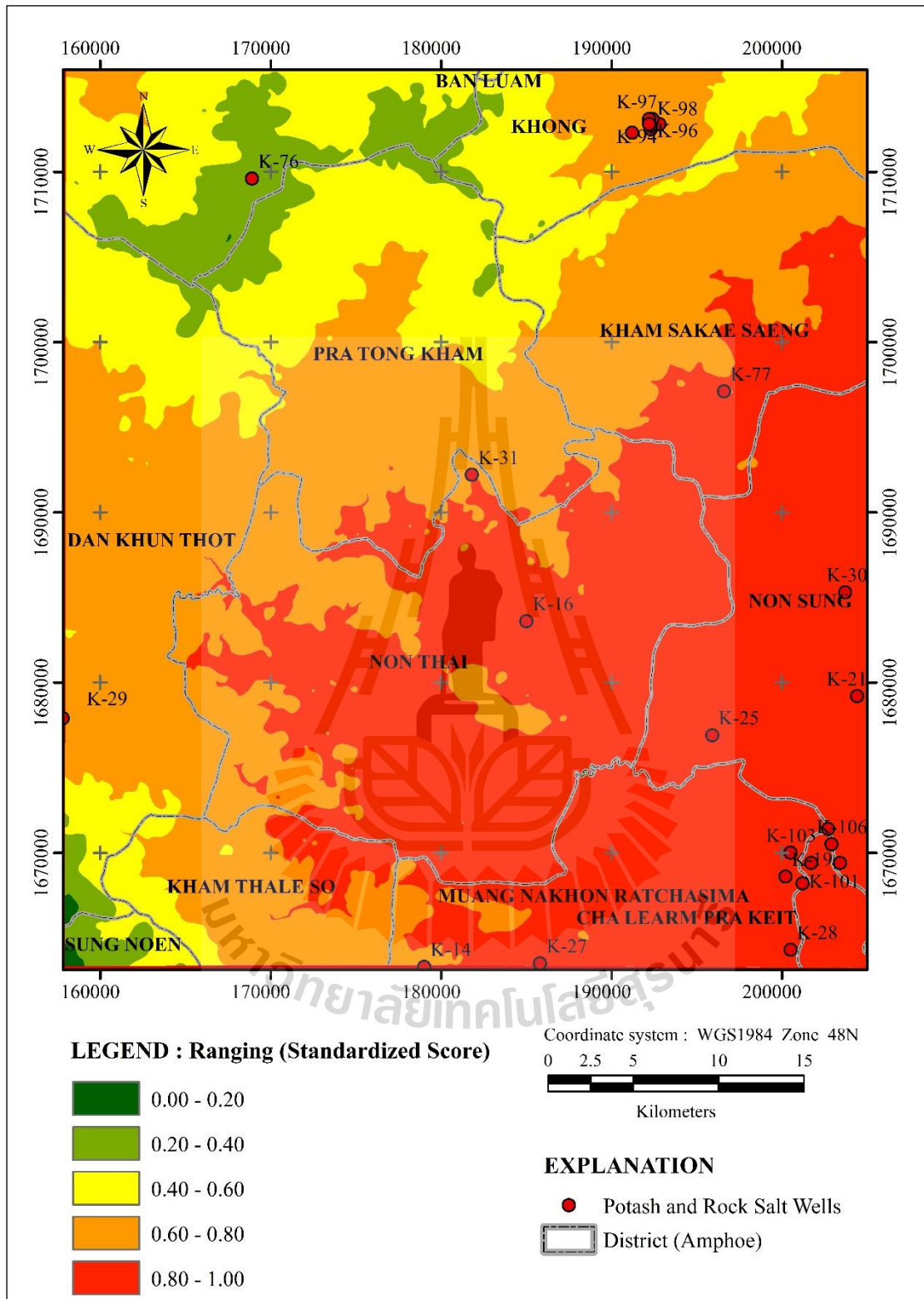
จากการศึกษาพบว่าในพื้นที่ศึกษามีค่าระดับความสูงของภูมิประเทศอยู่ในช่วงระหว่าง 161.22 ถึง 293.06 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง และสามารถนำมาสร้างแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าระดับความสูงของภูมิประเทศในพื้นที่ศึกษาได้ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.11 ปัจจุบันนี้เมื่อได้ผ่านการทำค่าให้เป็นมาตรฐานและถูกจัดแบ่งออกเป็น 5 อันดับ ตามค่าระดับคะแนนได้ดังแสดงไว้ตารางที่ 4.8 โดยค่าระดับความสูงของภูมิประเทศในพื้นที่ศึกษาเมื่อได้ถูกแปลงเป็นค่ามาตรฐานในแต่ละพิภักัดกริด ภูมิศาสตร์แล้วสามารถนำมาสร้างเป็นแผนที่แสดงค่าคะแนนมาตรฐานที่ได้จากค่าระดับความสูงของภูมิประเทศในพื้นที่ศึกษาได้ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.12

ตารางที่ 4.8 การกำหนดเกณฑ์การจัดอันดับของระดับความสูงของภูมิประเทศ

ปัจจัย	ค่าระดับความสูง (เมตร)	ช่วงค่ามาตรฐาน (Ranging)	อันดับ ความสำคัญ (Ranking)	ระดับความเสี่ยง
ระดับความสูง ของภูมิประเทศ	293.06 – 266.69	0.0 - 0.2	1	ระดับต่ำมาก
	240.32 - 213.96	0.2 - 0.4	2	ระดับต่ำ
	213.96 – 240.32	0.4 - 0.6	3	ระดับปานกลาง
	187.59 – 213.96	0.6 - 0.8	4	ระดับสูง
	161.22 – 187.59	0.8 - 1.0	5	ระดับสูงมาก



รูปที่ 4.11 แผนที่แสดงค่าระดับความสูงของภูมิประเทศในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 4.12 แผนที่แสดงค่าคะแนนมาตรฐานที่ได้จากค่าระดับความสูงของภูมิประเทศในพื้นที่ศึกษา

7. แหล่งน้ำผิวดิน

ปัจจัยแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษานี้ ประกอบด้วยทั้งแหล่งน้ำตามธรรมชาติ และที่มนุษย์สร้างขึ้น ดังแสดงการกระจายตัวของแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษาไว้ในรูปที่ 4.13 โดยได้จัดทำแนวกันชน (Buffer zone) ที่ระยะห่างเป็น 500 1,000 และมากกว่า 1,000 เมตร ออกมาจากแต่ละแหล่งน้ำผิวดิน เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการทำค่าให้เป็นมาตรฐาน ปัจจัยนี้เมื่อได้ผ่านการทำค่าให้เป็นมาตรฐาน และถูกจัดแบ่งออกเป็น 3 อันดับ ตามค่าระดับคะแนนได้ดังแสดงไว้ตารางที่ 4.9 โดยปัจจัยนี้เมื่อได้ถูกแปลงเป็นค่ามาตรฐานในแต่ละพิภคกริดภูมิศาสตร์แล้วสามารถนำมาสร้างเป็นแผนที่แสดงค่าคะแนนมาตรฐานที่ได้จากปัจจัยนี้ในพื้นที่ศึกษาได้ดังแสดงในรูปที่ 4.14

ตารางที่ 4.9 การกำหนดเกณฑ์การจัดอันดับของแหล่งน้ำผิวดิน

ปัจจัย	ค่าระยะห่างระหว่างแต่ละแหล่งน้ำ (เมตร)	ระดับคะแนนมาตรฐาน	ระดับความเสี่ยง
แหล่งน้ำผิวดิน	มากกว่า 1,000 เมตร	0	ไม่เกิดความเสี่ยง
	500 – 1,000	0.5	ระดับต่ำ
	น้อยกว่า 500	1.0	ระดับสูง

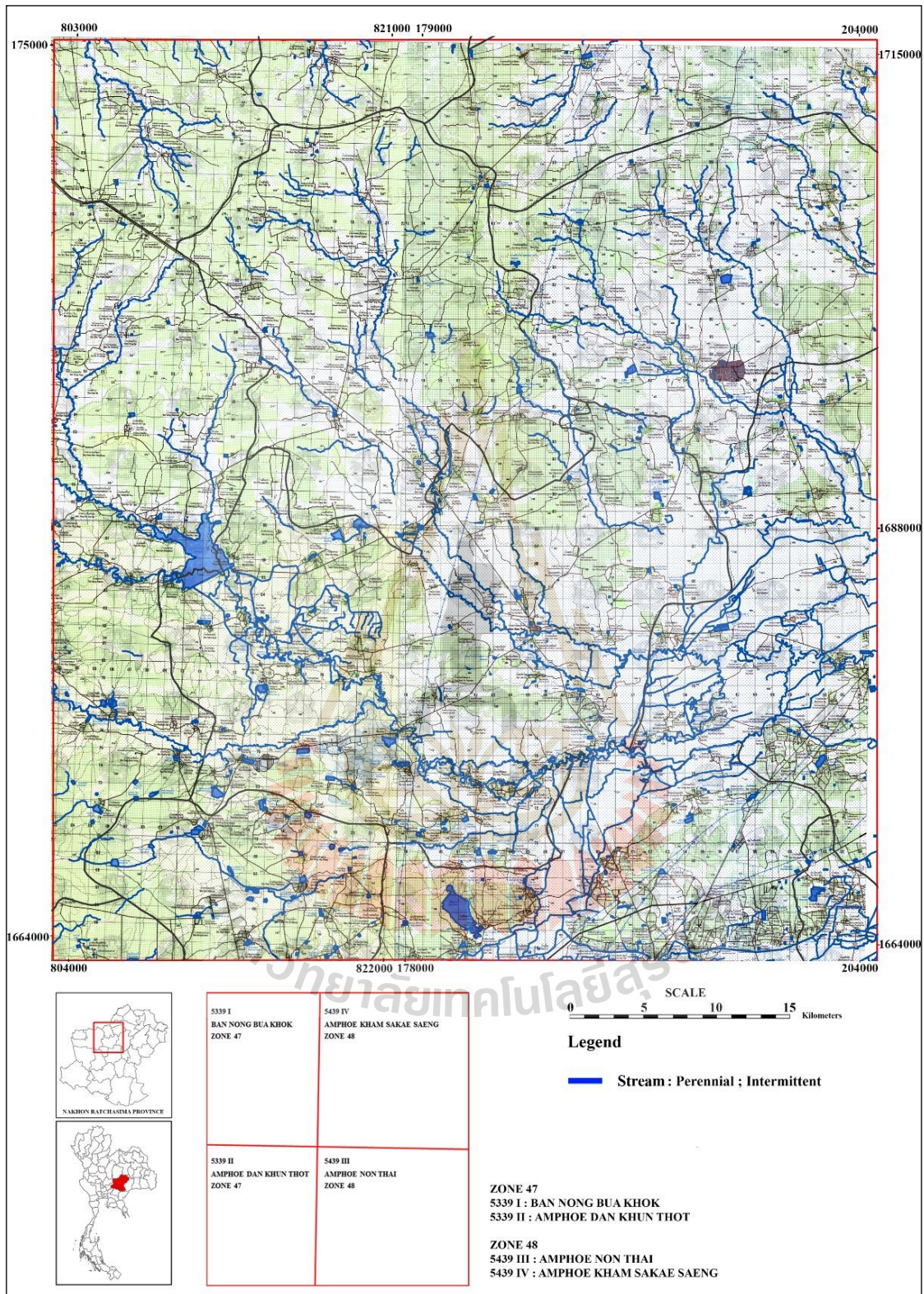
8. โครงสร้างทางธรณีเชิงเส้น

ปัจจัยโครงสร้างทางธรณีเชิงเส้นในพื้นที่ศึกษานี้ ได้ทำการศึกษาลักษณะปรากฏจากข้อมูลพื้นฐานจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม SPOT5 และ Pleiades ดังแสดงการกระจายตัวของโครงสร้างทางธรณีเชิงเส้นในพื้นที่ศึกษาไว้ในรูปที่ 4.15 โดยได้จัดทำแนวกันชน (Buffer zone) ที่ระยะห่างเป็น 500 1,000 และมากกว่า 1,000 เมตร จากแต่ละโครงสร้างฯ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการทำค่าให้เป็นมาตรฐาน ปัจจัยนี้เมื่อได้ผ่านการทำค่าให้เป็นมาตรฐานและถูกจัดแบ่งออกเป็น 3 อันดับ ตามค่าระดับคะแนนได้ดังแสดงไว้ตารางที่ 4.10 โดยปัจจัยนี้เมื่อได้ถูกแปลงเป็นค่ามาตรฐานในแต่ละพิภคกริดภูมิศาสตร์แล้วสามารถนำมาสร้างเป็นแผนที่แสดงค่าคะแนนมาตรฐานที่ได้จากปัจจัยนี้ในพื้นที่ศึกษาได้ดังแสดงในรูปที่ 4.16

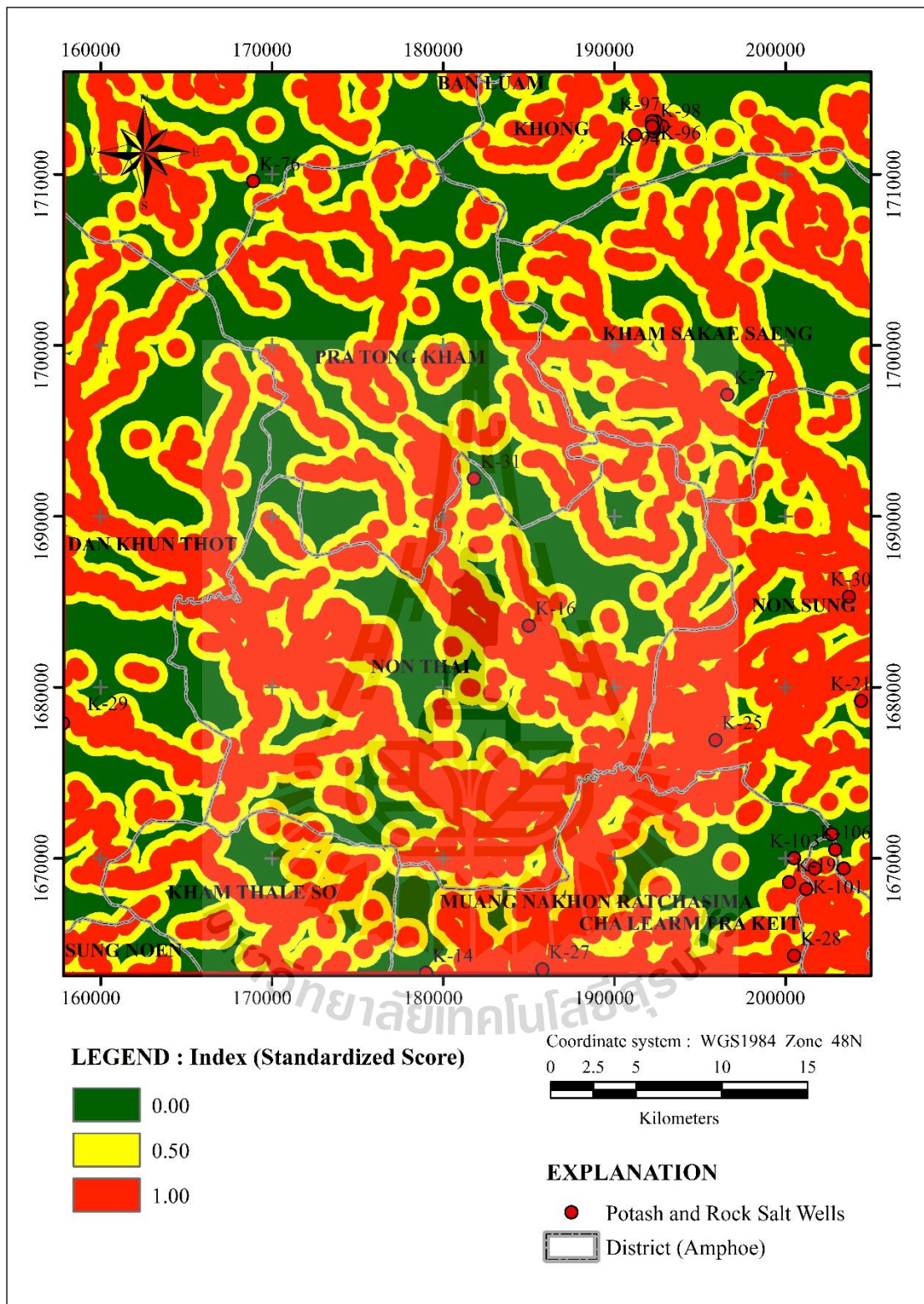
ตารางที่ 4.10 การกำหนดเกณฑ์การจัดอันดับของโครงสร้างทางธรณีเชิงเส้น

ปัจจัย	ค่าระยะห่างระหว่าง แต่ละเส้น (เมตร)	ระดับคะแนน มาตรฐาน	ระดับความเสี่ยง
โครงสร้างทางธรณี เชิงเส้น	มากกว่า 1,000 เมตร	0	ไม่เกิดความเสี่ยง
	500 – 1,000	0.5	ระดับต่ำ
	น้อยกว่า 500	1.0	ระดับสูง

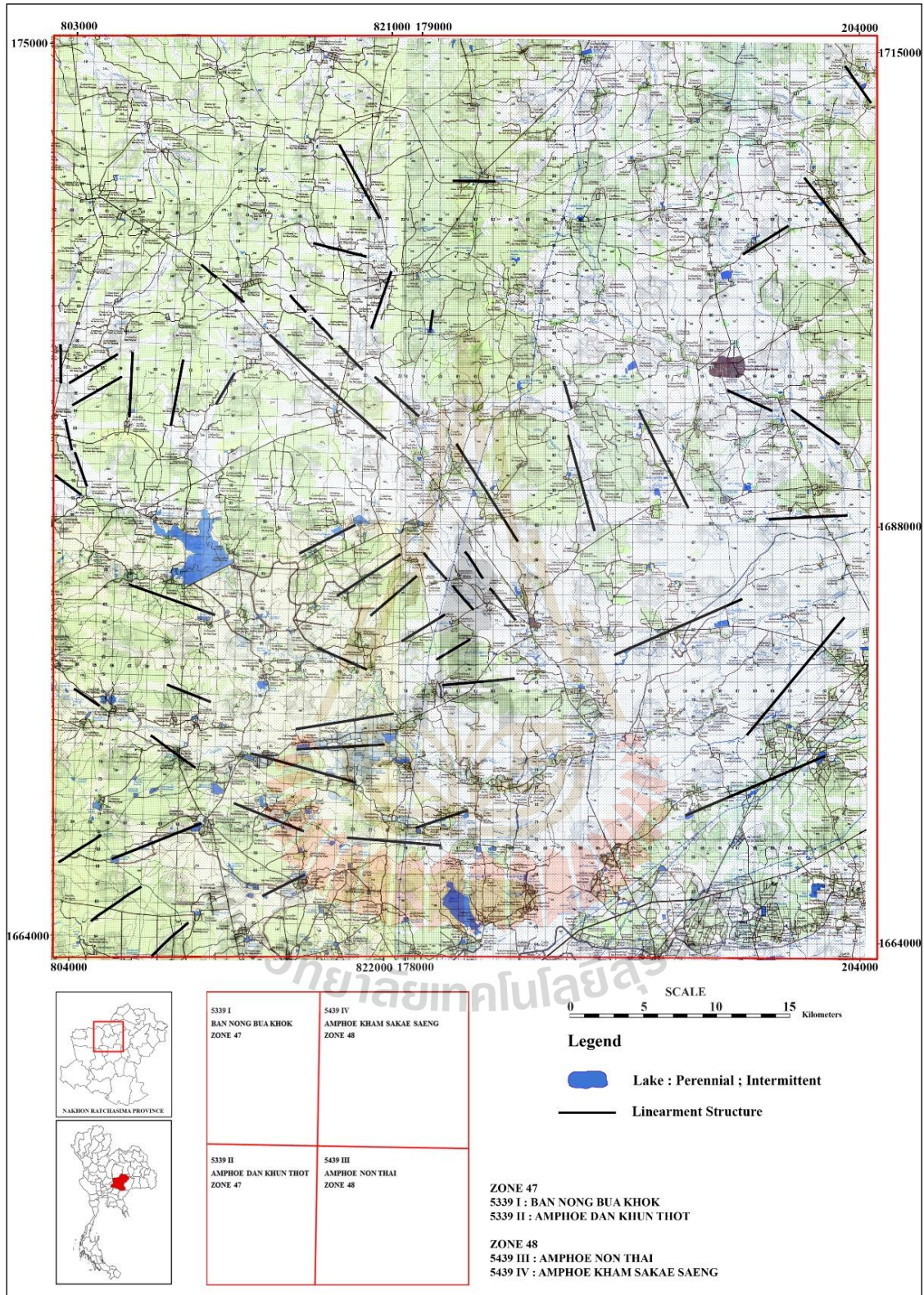




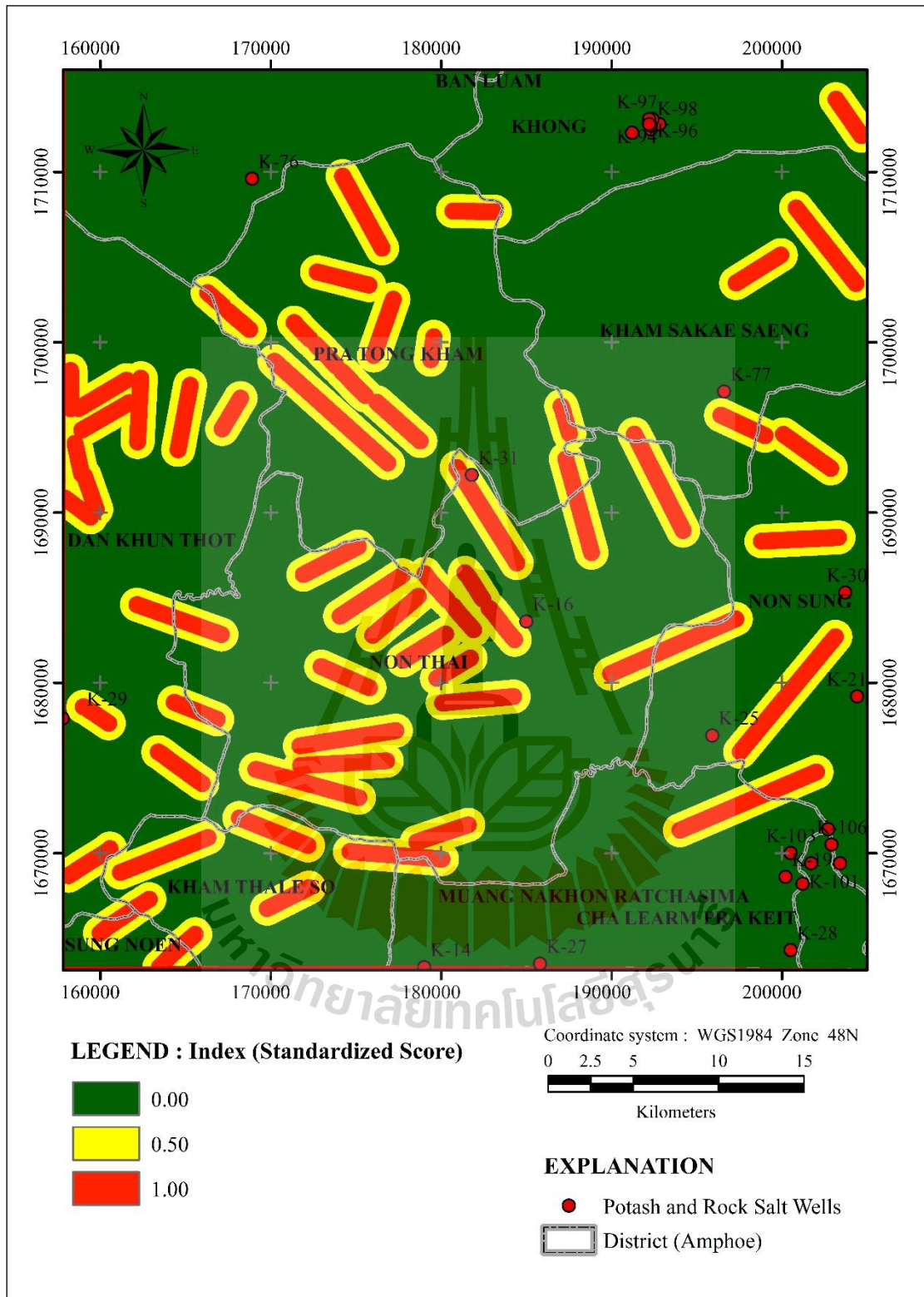
รูปที่ 4.13 แผนที่แสดงการกระตัวของแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 4.14 แผนที่แสดงค่าคะแนนมาตรฐานที่ได้จากค่าการจัดอันดับของแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 4.15 แผนที่แสดงการกระจายตัวของโครงสร้างทางธรณีเชิงเส้นในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 4.16 แผนที่แสดงค่าคะแนนมาตรฐานที่ได้จากค่าการจัดอันดับของโครงสร้างทางธรณีเชิงเส้นในพื้นที่ศึกษา

4.1.2 ผลการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะในแนวตั้งในพื้นที่ศึกษา

ผลการสำรวจและเก็บข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะในแนวตั้ง ในบริเวณพื้นที่บ้านโพนไพล ตำบลพังเทียม อำเภอพระทองคำ จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการผลิตเกลือสินเธาว์โดยการละลายเกลือใต้ดินด้วยน้ำจืดและสูบขึ้นมาตากในนาตากในพื้นที่ศึกษา โดยผลการสำรวจค่าความต้านทานไฟฟ้าในแนวตั้ง จำนวน 19 จุดสำรวจ ดังแสดงตำแหน่งของแต่ละจุดสำรวจไว้แล้วในรูปที่ 3.3

ผลการประมวลผลการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่ตรวจวัดได้ในภาคสนามเมื่อผ่านการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม IPI2Win แล้วสามารถสรุปผลการประมวลผลและแปลความหมายของแต่ละจุดสำรวจดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.11

โดยผลการประมวลผลและแปลความหมายพบว่าชั้นหินที่ปิดทับชั้นหินที่ละลายน้ำได้ (เกลือหิน) ในพื้นที่ที่ทำการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะในแนวตั้งนั้นประกอบด้วยชั้นดิน/หินเรียงลำดับจากผิวดินลงไปจนถึงชั้นหินที่ละลายน้ำได้ (เกลือหิน) เป็นไปดังนี้

- ชั้นดินปิดทับ (Top soil)/ชั้นดินเหนียวปนทราย (Sandy clay)
- ชั้นหินทรายแป้ง (Siltstone)
- ชั้นหินโคลน (Claystone)
- ชั้นเกลือหิน (Rocksalt)

และจากผลการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะในแนวตั้งที่ได้จากจุดสำรวจจำนวน 19 จุดสำรวจนี้พบว่าความหนาของชั้นหินปิดทับชั้นหินที่ละลายน้ำได้ (เกลือหิน) ในบริเวณตำแหน่งที่ทำการสำรวจแต่ละจุดสำรวจเป็นไปดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.11 ผลการสำรวจและแปลความหมายข้อมูลการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะใน
แนวตั้งในพื้นที่ศึกษา

จุดสำรวจ	ช่วงความลึก (เมตร)	ความหนา (เมตร)	ค่าความต้านทาน ไฟฟ้าจำเพาะ (โอห์ม-เมตร)	ชนิดหิน
PT1	0-1.76	1.758	0.61-1.8	Topsoil / Sandy clay
	1.76-2.59	0.829	41.6	Siltstone
	2.59-94.7	92.1	4.2	Claystone
	> 94.7		42.2	Rock salt
PT2	0-2.12	2.122	3.73-119	Topsoil / Sandy clay
	2.12-40.3	38.2	1.66	Siltstone
	40.3-80.9	40.6	1.72	Claystone
	> 80.9		10.8	Rock salt
PT3	0-2.86	2.86	2.31-36.1	Topsoil / Sandy clay
	2.86-55.2	52.3	8.01	Siltstone
	55.2-102	47.2	1.23	Claystone
	> 102		19.1	Rock salt
PT4	0-11.1	11.141	2.45-3.08	Topsoil / Sandy clay
	11.1-91.7	80.6	1.95	Siltstone
	91.7-165	72.9	0.808	Claystone
	> 165		5.17	Rock salt
PT5	0-5.1	5.096	2.6-82.5	Topsoil / Sandy clay
	5.1-55.6	50.5	1.17	Siltstone
	55.6-143	87.9	6.22	Claystone
	> 143		3.54	Rock salt

ตารางที่ 4.11 ผลการสำรวจและแปลความหมายข้อมูลการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะใน
แนวตั้งในพื้นที่ศึกษา (ต่อ)

จุดสำรวจ	ช่วงความลึก (เมตร)	ความหนา (เมตร)	ค่าความต้านทาน ไฟฟ้าจำเพาะ (โอห์ม-เมตร)	ชนิดหิน
PT6	0-7.43	7.431	2.22-33.0	Topsoil / Sandy clay
	7.43-42.5	35.1	1.27	Siltstone
	42.5-152	109	14.8	Claystone
	> 152		190	Rock salt
PT7	0-11.6	11.62	3.48-4.42	Topsoil / Sandy clay
	11.6-55.9	44.3	9.93	Siltstone
	55.9-95.2	39.3	1.34	Claystone
	> 95.2		12.1	Rock salt
PT8	0-4.11	4.108	1.77-17.0	Topsoil / Sandy clay
	4.11-7.99	3.88	22.4	Siltstone
	7.99-102	94	3.01	Claystone
	> 102		8.08	Rock salt
PT9	0-2.87	2.87	0.89-5.67	Topsoil / Sandy clay
	2.87-61.3	58.4	8.4	Siltstone
	61.3-118	56.6	1.12	Claystone
	> 118		502	Rock salt
PT10	0-5.78	5.785	1.95-7.26	Topsoil / Sandy clay
	5.78-32.3	26.5	3.77	Siltstone
	32.3-146	114	4.35	Claystone
	> 146		11.2	Rock salt

ตารางที่ 4.11 ผลการสำรวจและแปลความหมายข้อมูลการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะในแนวตั้งในพื้นที่ศึกษา (ต่อ)

จุดสำรวจ	ช่วงความลึก (เมตร)	ความหนา (เมตร)	ค่าความต้านทาน ไฟฟ้าจำเพาะ (โอห์ม-เมตร)	ชนิดหิน
PT11	0-12.6	12.65	3.94-103	Topsoil / Sandy clay
	12.6-48.4	35.8	4.92	Siltstone
	48.4-110	61.7	39.2	Claystone
	> 110		418	Rock salt
PT12	0-21.1	21.101	1.56-60.9	Topsoil / Sandy clay
	21.1-48.3	27.2	15.6	Siltstone
	48.3-182	134	3.55	Claystone
	> 182		195	Rock salt
PT13	0-12	12.031	3.76-18.5	Topsoil / Sandy clay
	12-26	14	22.4	Siltstone
	26-188	162	3.87	Claystone
	> 188		21.3	Rock salt
PT14	0-6.12	6.118	3.38-7.72	Topsoil / Sandy clay
	6.12-20.1	14	91.7	Siltstone
	201-280	260	6.53	Claystone
	> 280		81.6	Rock salt
PT15	0-4.39	4.392	1.95-188.0	Topsoil / Sandy clay
	4.39-18.8	14.4	4.85	Siltstone
	18.8-124	105	88.2	Claystone
	> 124		146	Rock salt

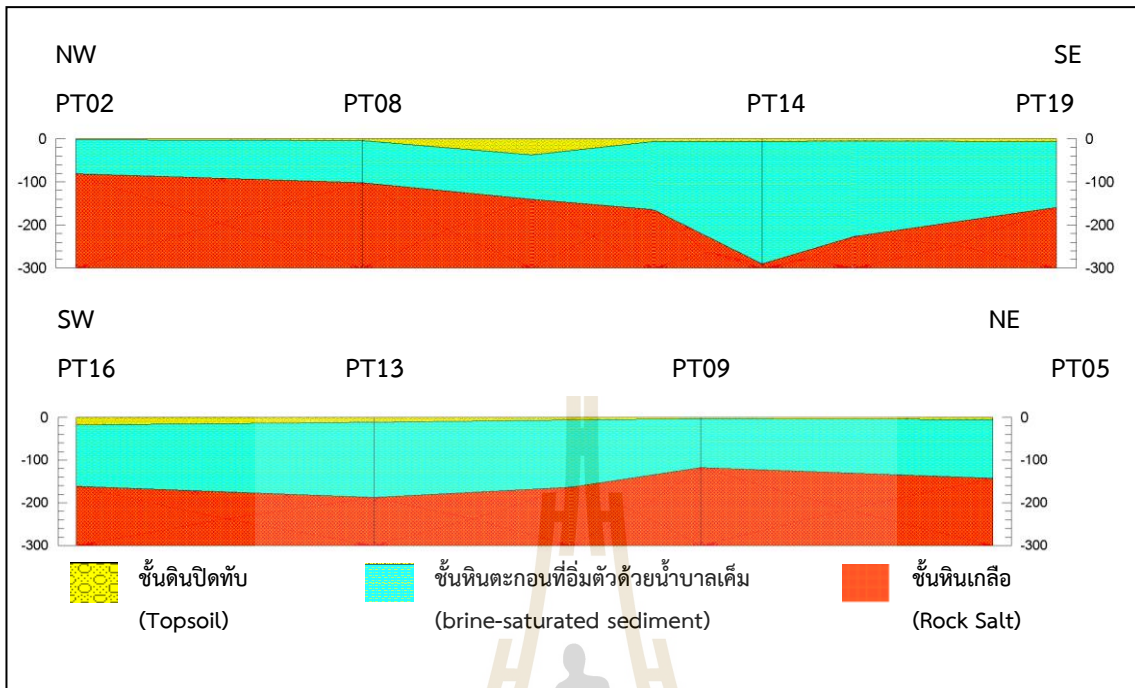
ตารางที่ 4.11 ผลการสำรวจและแปลความหมายข้อมูลการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะใน
แนวตั้งในพื้นที่ศึกษา (ต่อ)

จุดสำรวจ	ช่วงความลึก (เมตร)	ความหนา (เมตร)	ค่าความต้านทาน ไฟฟ้าจำเพาะ (โอห์ม-เมตร)	ชนิดหิน
PT16	0-17.9	17.88	1.71-134	Topsoil / Sandy clay
	17.9-48.5	30.6	1.25	Siltstone
	48.5-162	114	29.6	Claystone
	> 162		63.7	Rock salt
PT17	0-6.93	6.93	0.935-35.3	Topsoil / Sandy clay
	6.93-26.5	19.6	6.3	Siltstone
	26.5-133	106	1.65	Claystone
	> 133		40.3	Rock salt
PT18	0-3.22	3.22	2.07-229	Topsoil / Sandy clay
	3.22-7.65	4.43	2.46	Siltstone
	7.65-165	157	202	Claystone
	> 165		792	Rock salt
PT19	0-5.87	5.873	2.13-84.2	Topsoil / Sandy clay
	5.87-14.3	8.39	7.97	Siltstone
	14.3-159	145	3.1	Claystone
	> 159		524	Rock salt

ตารางที่ 4.12 ข้อมูลความหนาของชั้นหินปิดทับชั้นเกลือหินจากการวัดความต้านทานไฟฟ้า
จำเพาะในแนวตั้งในบริเวณพื้นที่ศึกษา

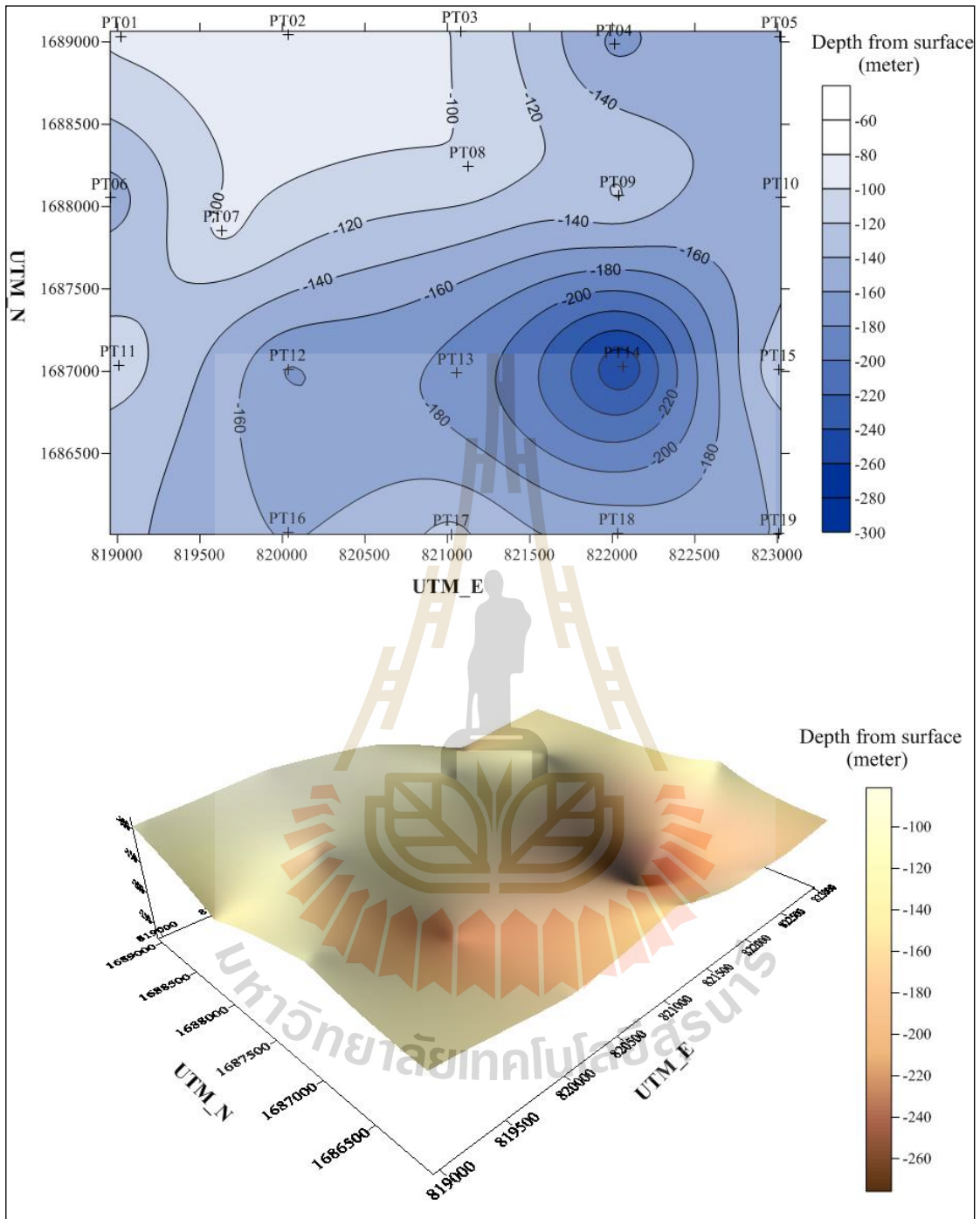
จุดสำรวจ	ความหนาของชั้นหินปิดทับชั้นเกลือหิน (เมตร)
PT01	94.7
PT02	80.9
PT03	102
PT04	165
PT05	143
PT06	152
PT07	95.2
PT08	102
PT09	118
PT10	146
PT11	110
PT12	182
PT13	188
PT14	280
PT15	124
PT16	162
PT17	133
PT18	165
PT19	159

หากทำการพิจารณาความลึกของชั้นเกลือหินจากผิวดินจากภาคตัดขวางตามแนวที่ 1 ตามแนวการวางตัวของจุดสำรวจ PT02, PT08, PT14, PT19 ซึ่งมีทิศทางการวางตัวอยู่ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ - ตะวันออกเฉียงใต้ และแนวที่ 2 ตามแนวการวางตัวของจุดสำรวจ PT16, PT13, PT09, PT05 ซึ่งมีแนวการวางตัวอยู่ในทิศตะวันออกเฉียงใต้ - ตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งทั้ง 2 แนวนี้ตั้งฉากกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.18 แสดงให้เห็นว่าชั้นเกลือหินมีการเอียงเทลงไปในทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทั้งนี้ในการสร้างภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาตามที่แสดงในรูปที่ 4.17 นั้นได้รวมเอาชั้นของชั้นดินปิดทับ (Top soil) และชั้นของชั้นดินเหนียวปนทราย (Sandy clay) เข้าไว้เป็นชั้นเดียวกันและเรียกรวมกันว่าเป็นชั้นดินปิดทับ (Top soil) เนื่องจากมีความหนาไม่มากเมื่อเทียบกับชั้นหินอื่น ๆ และยังสามารถรวมเอาชั้นหินทรายแป้ง (Siltstone) และชั้นหินโคลน (Claystone) เข้าไว้เป็นหน่วยเดียวกันและเรียกชื่อว่าเป็นชั้นหินตะกอนที่อิ่มตัวด้วยน้ำบาดลเค็ม (Brine-saturated sediment) เนื่องจากพบข้อมูลจากการสำรวจธรณีวิทยาในภาคสนามและบ่อน้ำบาดลในพื้นที่ศึกษาว่าชั้นหินทั้งสองชั้นนี้มักมีน้ำบาดลเค็มแทรกตัวอยู่ด้วย เมื่อนำข้อมูลจากทุกจุดสำรวจมาประมวลผลสามารถสร้างแผนที่แสดงการวางตัวของเกลือหินชั้นบนสุดใต้ผิวดินได้ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.18 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชั้นเกลือหินโดยภาพรวมนั้นอยู่ที่ระดับต้นทางตอนเหนือของพื้นที่สำรวจฯ โดยมีการวางตัวอยู่ที่ระดับความลึกประมาณ 80 เมตร จากระดับผิวดิน และมีการวางตัวเอียงเทลงไปในทางทิศตะวันออกเฉียงใต้หรือทิศใต้ของพื้นที่ และพบว่าความหนาของชั้นหินปิดทับชั้นหินที่ละลายน้ำได้หรือชั้นเกลือหินนั้นมีความหนาอยู่ในช่วงประมาณ 80.9-280 เมตร โดยทั่วไปชั้นเกลือหินที่อยู่ระดับใกล้ผิวดินที่สุดนี้มีลักษณะเป็นรูปประทุนคว่ำ หรือเป็นโดมเตี้ย ๆ สลับกับแอ่งตื้น ๆ และมีผิวน้ำที่ไม่เรียบ



รูปที่ 4.17 ภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาแสดงการวางตัวของเกลือหินและระดับความลึกในพื้นที่บ้านโนนไพล ตำบลพังเทียม อำเภोधงคำ จังหวัดนครราชสีมา





รูปที่ 4.18 แผนที่แสดงการวางตัวและระดับความลึกของชั้นเกลือหินชั้นบนสุดในบริเวณพื้นที่ทำการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะในแนวตั้ง ในเขตพื้นที่บ้านโนนไพล ตำบลพังเทียม อำเภอพระทองคำ จังหวัดนครราชสีมา

4.2 ผลการวิเคราะห์และจำแนกพื้นที่ตามระดับความเสี่ยงต่อการทรุดตัวของแผ่นดิน

ในการให้น้ำหนักความสำคัญของปัจจัยแต่ละปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อการเกิดการทรุดตัวของแผ่นดินในบริเวณพื้นที่ที่ทำการศึกษาในครั้งนี้นั้นได้ใช้วิธีการถ่วงน้ำหนักแบบง่าย (Simple Additive Weighting, SAW) ให้กับแต่ละปัจจัย โดยเกณฑ์ในการให้ค่าการถ่วงน้ำหนักให้กับแต่ละปัจจัยได้ถูกกำหนดขึ้นโดยผู้ประเมินบนพื้นฐานที่มาจากความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลการทรุดตัวของแผ่นดินที่ปรากฏขึ้นจริงกับปัจจัยที่ถูกเลือกมาทั้ง 8 ข้อ ซึ่งมีเงื่อนไขว่าผลรวมของค่าน้ำหนักมาตรฐานของทุกปัจจัยนั้นต้องเท่ากับ 1 ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้ให้น้ำหนักมาตรฐานต่อปัจจัยต่าง ๆ รวมถึงช่วงของค่ามาตรฐาน (Ranging) และอันดับความสำคัญ (Ranking) ดังแสดงสรุปไว้ในตารางที่ 4.13

ค่าคะแนนที่ผ่านการถ่วงน้ำหนักแบบง่ายของแต่ละปัจจัยในแต่ละพิภคกริดภูมิศาสตร์ในพื้นที่ศึกษาได้ถูกนำมาทำการซ้อนทับกันด้วยวิธีการใช้เทคนิคการซ้อนทับ (Overlay) ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นค่าที่ปรากฏอยู่ที่แต่ละพิภคกริดภูมิศาสตร์ในรูปแบบของตัวเลขดิจิทัล (Digital number format) ซึ่งพบว่ามีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.220433 ถึง 3.46703 ซึ่งค่าคะแนนในรูปแบบตัวเลขดิจิทัลนี้สามารถนำมาจัดทำแผนที่แสดงการกระจายตัวได้ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.19 โดยค่าคะแนนในรูปแบบตัวเลขดิจิทัลในแต่ละพิภคกริดภูมิศาสตร์นี้จะถูกนำไปผ่านการทำค่าให้เป็นมาตรฐานอีกครั้งหนึ่งและแบ่งออกเป็น 5 ช่วงค่ามาตรฐาน ตามเกณฑ์ดังนี้

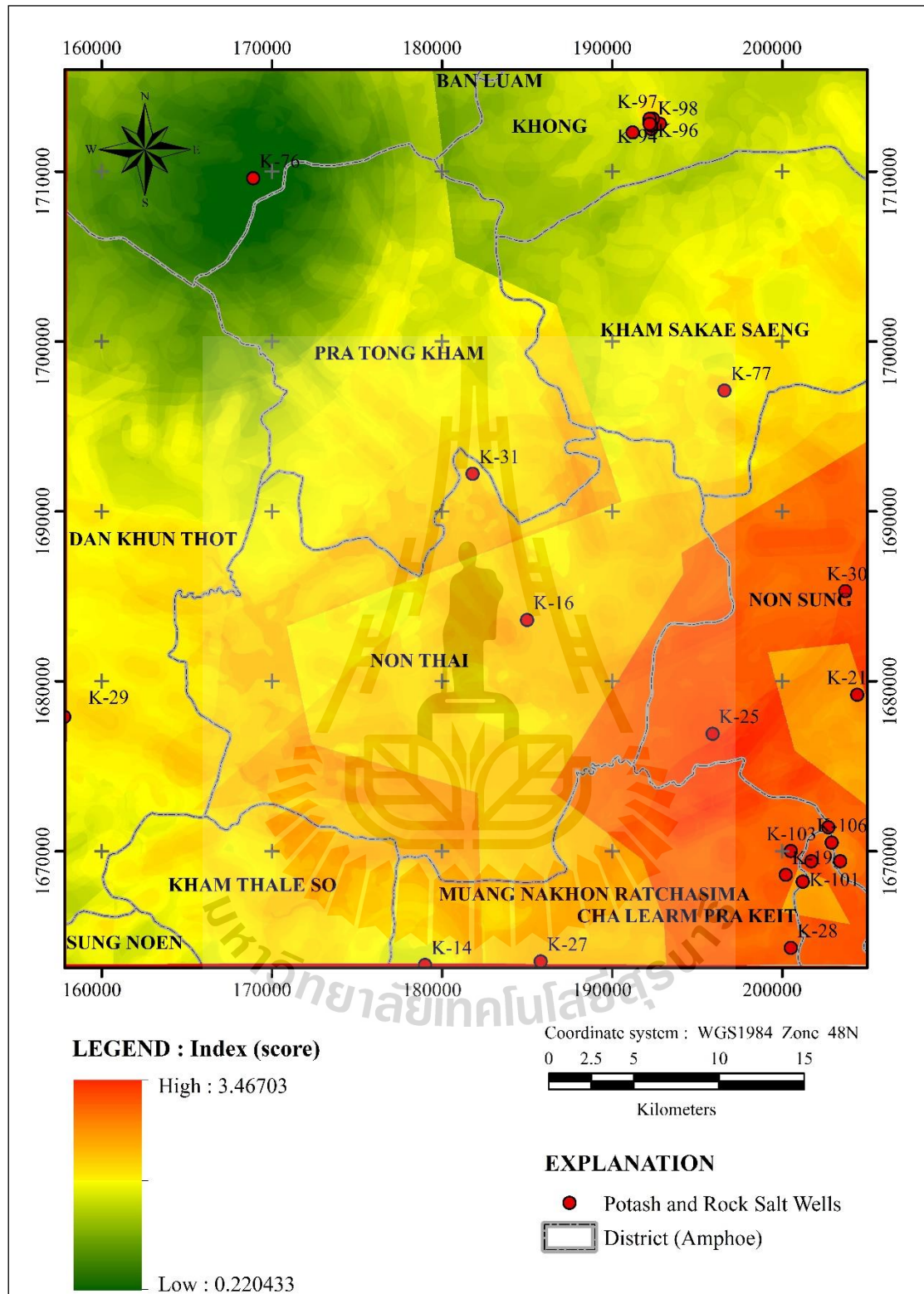
- ช่วงค่ามาตรฐาน 0.0-0.2 จะมีค่าระดับความเสี่ยงระดับต่ำมาก
- ช่วงค่ามาตรฐาน 0.2-0.4 จะมีค่าระดับความเสี่ยงระดับต่ำ
- ช่วงค่ามาตรฐาน 0.4-0.6 จะมีค่าระดับความเสี่ยงระดับปานกลาง
- ช่วงค่ามาตรฐาน 0.6-0.8 จะมีค่าระดับความเสี่ยงระดับสูง
- ช่วงค่ามาตรฐาน 0.8-1.0 จะมีค่าระดับความเสี่ยงระดับสูงมาก

จากนั้นค่าคะแนนมาตรฐานที่แต่ละพิภคกริดภูมิศาสตร์จะถูกนำไปสร้างแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าคะแนนมาตรฐาน (Standard score) ที่แสดงถึงค่าระดับความเสี่ยงภัยต่อการเกิดแผ่นดินทรุดในพื้นที่ศึกษาดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.20

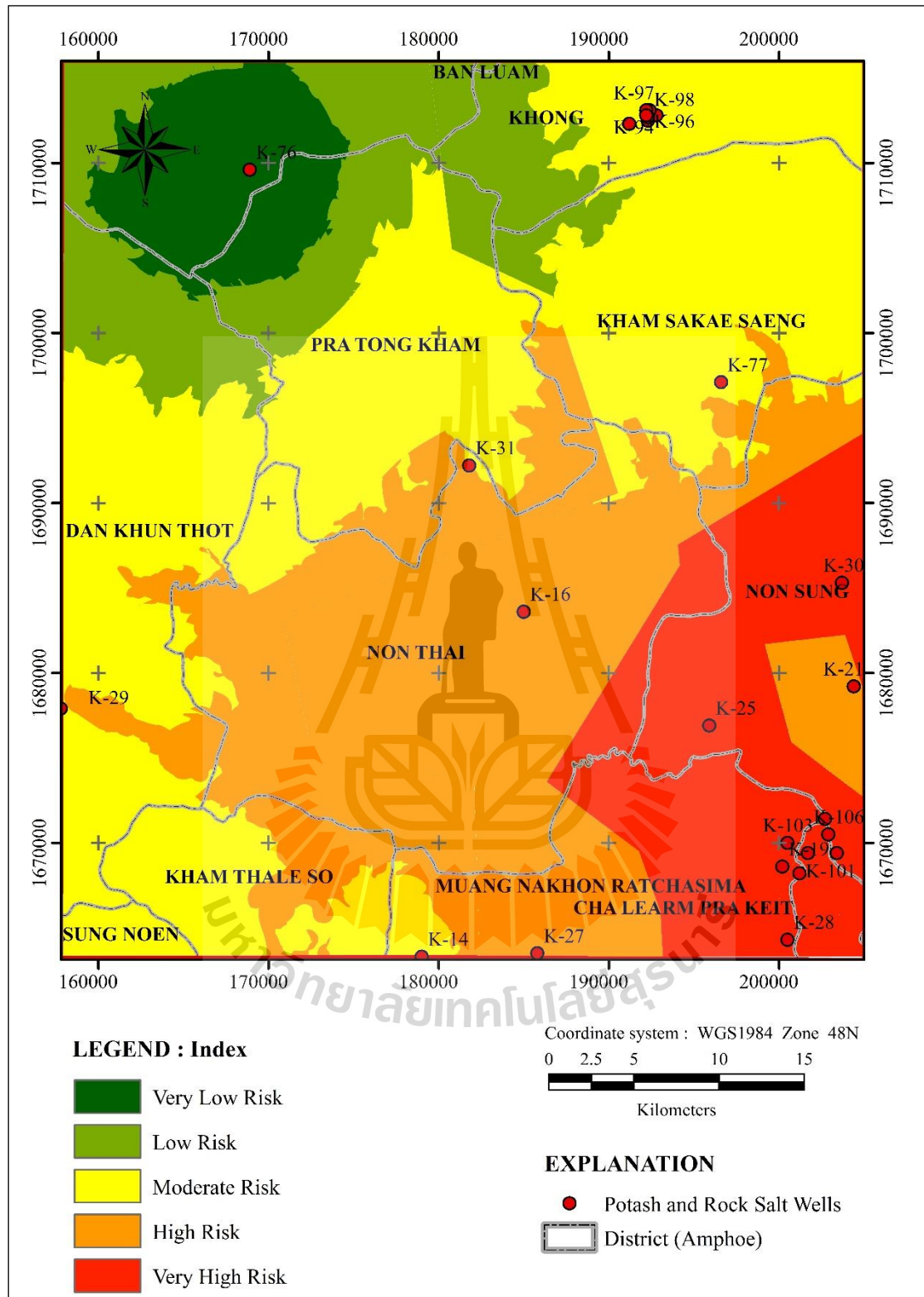
การตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่ที่แสดงถึงค่าระดับความเสี่ยงภัยต่อการเกิดแผ่นดินทรุดในพื้นที่ศึกษาที่ได้สร้างขึ้นนั้นกระทำได้โดยใช้เทคนิคการซ้อนทับ (overlay) ระหว่างข้อมูลแผนที่ตำแหน่งการเกิดการทรุดตัวของแผ่นดินที่เกิดขึ้นจริงในอดีตในพื้นที่ศึกษามาซ้อนทับกับข้อมูลแผนที่ที่ได้จากการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการทรุดตัวของแผ่นดินที่ได้สร้างขึ้นเพื่อเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของพื้นที่ที่ซ้อนทับกัน การประเมินค่าความน่าเชื่อถือและความแม่นยำ โดยการสอบเทียบความถูกต้องของการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยนี้ได้ใช้เทคนิคใช้ค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) โดยใช้ผลจากการวิเคราะห์เพื่อประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยด้วยวิธีดัชนีปัจจัยร่วมเปรียบเทียบกับข้อมูลการเกิดการทรุดตัวของแผ่นดินจริงในอดีต

ตารางที่ 4.13 การกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักมาตรฐานของแต่ละปัจจัย เพื่อกำหนดพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการทรุดตัวของแผ่นดินในพื้นที่ศึกษา

ปัจจัย	ค่าถ่วงน้ำหนัก	ช่วงค่ามาตรฐาน	อันดับความสำคัญ
ระดับความสูงของผิวของชั้นเกลือหินที่อยู่ใต้ดินชั้นบนสุด	0.14	0.0 - 0.2	1
		0.2 - 0.4	2
		0.4 - 0.6	3
		0.6 - 0.8	4
		0.8 - 1.0	5
ความหนาของชั้นหินปิดทับชั้นเกลือหิน	0.17	0.0 - 0.2	1
		0.2 - 0.4	2
		0.4 - 0.6	3
		0.6 - 0.8	4
		0.8 - 1.0	5
ความหนาของชั้นหินอุทก	0.14	0.0 - 0.2	1
		0.2 - 0.4	2
		0.4 - 0.6	3
		0.6 - 0.8	4
		0.8 - 1.0	5
ความหนาของตะกอนยุคควอเทอร์นารี	0.01	0.0 - 0.2	1
		0.2 - 0.4	2
		0.4 - 0.6	3
		0.6 - 0.8	4
		0.8 - 1.0	5
ระดับน้ำใต้ดิน	0.14	0.0 - 0.2	1
		0.2 - 0.4	2
		0.4 - 0.6	3
		0.6 - 0.8	4
		0.8 - 1.0	5
ระดับความสูงของภูมิประเทศ	0.16	0.0 - 0.2	1
		0.2 - 0.4	2
		0.4 - 0.6	3
		0.6 - 0.8	4
		0.8 - 1.0	5
แหล่งน้ำผิวดิน	0.11	0	1
		0.5	2
		1	3
โครงสร้างทางธรณีเชิงเส้น	0.11	0	1
		0.5	2
		1	3



รูปที่ 4.19 แผนที่แสดงการกระจายตัวของความเสี่ยงในการเกิดการทรุดตัวของแผ่นดินในรูปแบบดิจิทัลที่ได้จากการซ้อนทับค่าคะแนนถ่วงน้ำหนักของแต่ละปัจจัยในแต่ละพิกัดกริดภูมิศาสตร์ในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 4.20 แผนที่แสดงการกระจายตัวของความเสี่ยงในการเกิดการทรุดตัวของแผ่นดินในรูปแบบค่าคะแนนมาตรฐานครอบคลุมพื้นที่ศึกษา

ผลการประเมินปริมาณของพื้นที่เสี่ยงภัยจากการทรุดตัวของแผ่นดินในเขตพื้นที่ทำการศึกษาซึ่งครอบคลุมพื้นที่ที่มีการผลิตเกลือสินเธาว์ของจังหวัดนครราชสีมา โดยพิจารณาจากแผนที่แสดงการกระจายตัวของความเสี่ยงในการเกิดการทรุดตัวของแผ่นดินในรูปแบบของค่าคะแนนมาตรฐานซึ่งสามารถนำมาบ่งชี้ค่าระดับความเสี่ยงภัยซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ระดับ สามารถสรุปได้ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ผลการจำแนกปริมาณของพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดทรุดตัวของแผ่นดินตามค่าระดับความเสี่ยงภัยในพื้นที่ศึกษา

ระดับความเสี่ยงภัย	พื้นที่ (ร้อยละ)
ระดับต่ำมาก	5.9
ระดับต่ำ	12.29
ระดับปานกลาง	39.55
ระดับสูง	28.66
ระดับสูงมาก	13.45

จากการพิจารณาการกระจายตัวของค่าระดับความเสี่ยงภัยฯ ที่ได้จากแผนที่แสดงค่าระดับความเสี่ยงภัยที่สร้างขึ้นพบว่าพื้นที่ที่มีความเสี่ยงภัยจากการทรุดตัวของแผ่นดินระดับสูงมากพบที่ตั้งอยู่ในบริเวณพื้นที่ทางด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ในพื้นที่ศึกษา คิดเป็นร้อยละ 13.45 ในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณขอบทางด้านทิศตะวันตกของอำเภอโนนสูง และบางส่วนอยู่ในบริเวณพื้นที่ทางด้านเหนือและทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของเขตอำเภอเมืองนครราชสีมา และพื้นที่ขอบทางด้านทิศตะวันตกของเขตอำเภอเฉลิมพระเกียรติ

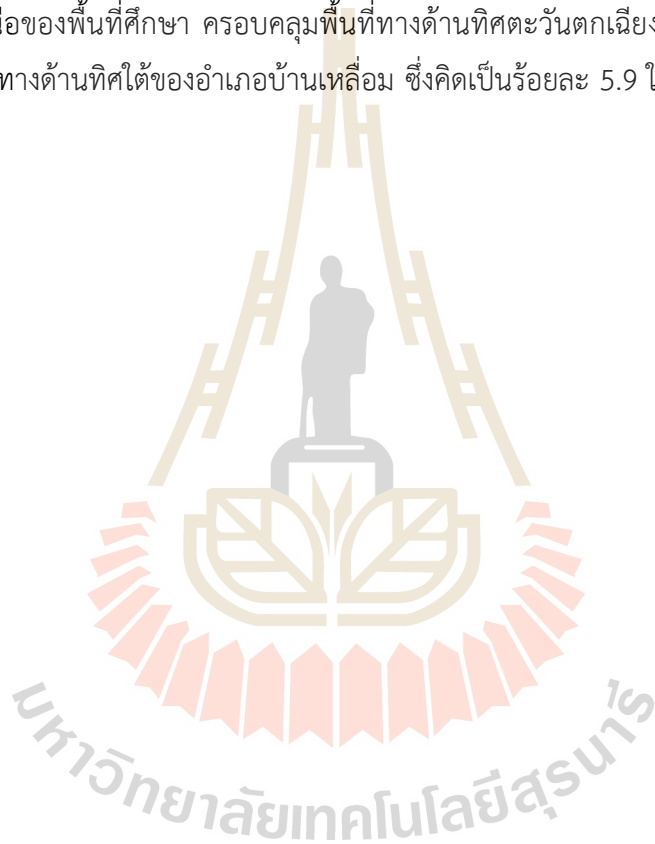
พื้นที่ที่มีความเสี่ยงภัยจากการทรุดตัวของแผ่นดินระดับสูง คิดเป็นร้อยละ 28.66 ในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด พบว่าส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในบริเวณตอนกลางในพื้นที่ศึกษา ครอบคลุมพื้นที่เกือบทั้งหมดของอำเภอโนนไทย และบางส่วนอยู่ในเขตพื้นที่ทางด้านทิศตะวันตกของอำเภอเมืองนครราชสีมา ตอนกลางของอำเภอโนนสูง และทางตอนเหนือของอำเภอขามทะเลสอ

พื้นที่ที่มีความเสี่ยงภัยจากการทรุดตัวของแผ่นดินระดับปานกลางวางตัวอยู่ในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ในพื้นที่ศึกษา คิดเป็นร้อยละ 39.55 ในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด ครอบคลุมพื้นที่ทางตอนใต้ของอำเภอกอง พื้นที่ของอำเภอขามสะแกแสงเกือบทั้งหมด ตอนกลางของ

อำเภอพระทองคำ พื้นที่ทางตะวันออกของอำเภอด่านขุนทด พื้นที่ทางตะวันตกของอำเภอขามทะเลสอ และบางส่วนของตอนเหนือของอำเภอสูงเนิน

พื้นที่ที่มีความเสี่ยงภัยจากการทรุดตัวของแผ่นดินระดับต่ำนั้นพบว่าตั้งอยู่ในบริเวณทิศตะวันตกเฉียงเหนือในพื้นที่ศึกษา ครอบคลุมพื้นที่ทางตอนเหนือของอำเภอด่านขุนทด พื้นที่ทางฝั่งตะวันตกเฉียงเหนือของอำเภอพระทองคำ และบางส่วนในพื้นที่ทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ของอำเภอคง ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 12.29 ในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด

ส่วนพื้นที่ที่มีความเสี่ยงภัยจากการทรุดตัวของแผ่นดินระดับต่ำมากนั้นพบว่าตั้งอยู่ในบริเวณทิศตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษา ครอบคลุมพื้นที่ทางด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือของอำเภอพระทองคำ และบางส่วนของด้านทิศใต้ของอำเภอบ้านเหลื่อม ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 5.9 ในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด



บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

ในการศึกษาและประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยจากการทรุดตัวของแผ่นดินในเขตพื้นที่ผลิตเกลือสินเธาว์ของจังหวัดนครราชสีมา ในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัย และทำการประเมินพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติจากการทรุดตัวของแผ่นดินในพื้นที่ที่ทำการศึกษา โดยในการศึกษานี้ได้กำหนดให้ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดการทรุดตัวของแผ่นดิน มีด้วยกันทั้งหมด 8 ปัจจัย ประกอบด้วย 1. ระดับความสูงของผิวของชั้นเกลือหินที่อยู่ใต้ดินชั้นบนสุด 2. ความหนาของชั้นหินปิดทับชั้นเกลือหิน 3. ความหนาของชั้นหินอุก 4. ความหนาของตะกอนยุคควอเทอร์นารี 5. ระดับน้ำใต้ดิน 6. ระดับความสูงของภูมิประเทศ 7. แหล่งน้ำผิวดิน และ 8. โครงสร้างทางธรณีเชิงเส้น โดยใช้เทคนิควิธีวิเคราะห์ดัชนีปัจจัยร่วม พบว่าค่าความถ่วงน้ำหนักของปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดการทรุดตัวของแผ่นดินระดับสูง คือ ความหนาของชั้นหินปิดทับชั้นเกลือหิน ระดับความสูงของภูมิประเทศ ระดับปานกลาง คือ ระดับความสูงของผิวของชั้นเกลือหินที่อยู่ใต้ดินชั้นบนสุด ความหนาของหมวดหินอุก ระดับน้ำใต้ดิน และระดับต่ำ คือ แหล่งน้ำผิวดิน โครงสร้างทางธรณีเชิงเส้น และความหนาของตะกอนยุคควอเทอร์นารี ตามลำดับ โดยข้อมูลเชิงพื้นที่ในแต่ละพิกัดกริดภูมิศาสตร์ของแต่ละปัจจัยได้ถูกนำมาถ่วงน้ำหนักแบบง่ายและแปลงให้อยู่ในรูปแบบตัวเลขดิจิทัล (Digital number format) และถูกนำมาซ้อนทับกันด้วยเทคนิคการซ้อนทับ ก่อนจะถูกนำมาแปลงให้เป็นค่าคะแนนมาตรฐาน (Standard score) จากนั้นค่าคะแนนมาตรฐานได้ถูกนำมาจัดทำแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าระดับความเสี่ยงภัยต่อการเกิดการทรุดตัวของแผ่นดินครอบคลุมบริเวณพื้นที่ที่ทำการศึกษาและถูกตรวจสอบความถูกต้องโดยการนำผลการประเมินค่าระดับความเสี่ยงภัยไปซ้อนทับเข้ากับตำแหน่งที่เคยเกิดการทรุดตัวของแผ่นดินขึ้นจริงในอดีตในบริเวณพื้นที่ที่ทำการศึกษา

โดยจากการพิจารณาการกระจายตัวของค่าระดับความเสี่ยงภัยฯ ที่ได้จากแผนที่แสดงค่าระดับความเสี่ยงภัยที่สร้างขึ้นพบว่าพื้นที่ที่มีความเสี่ยงภัยจากการทรุดตัวของแผ่นดินระดับสูงมาก คิดเป็นร้อยละ 13.45 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด และพบว่าตั้งอยู่ในบริเวณพื้นที่ทางด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ในพื้นที่ศึกษา ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณขอบทางด้านทิศตะวันตกของอำเภอโนนสูง และบางส่วนอยู่ในบริเวณพื้นที่ทางด้านเหนือและทางทิศตะวันออกเฉียงของเขตอำเภอเมืองนครราชสีมา และพื้นที่ขอบทางด้านทิศตะวันตกของเขตอำเภอเฉลิมพระเกียรติ

พื้นที่ที่มีความเสี่ยงภัยจากการทรุดตัวของแผ่นดินระดับสูง คิดเป็นร้อยละ 28.66 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด และพบว่าส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในบริเวณตอนกลางในพื้นที่ศึกษา ครอบคลุมพื้นที่เกือบทั้งหมด

ของอำเภอโนนไทย และบางส่วนอยู่ในเขตพื้นที่ทางด้านทิศตะวันตกของอำเภอเมืองนครราชสีมา ตอนกลางของอำเภอโนนสูง และทางตอนเหนือของอำเภอขามทะเลสอ

พื้นที่ที่มีความเสี่ยงภัยจากการทรุดตัวของแผ่นดินระดับปานกลาง คิดเป็นร้อยละ 39.55 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด และพบว่ามีการวางตัวอยู่ในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ในพื้นที่ศึกษา ครอบคลุมพื้นที่ทางตอนใต้ของอำเภอกง พื้นที่ของอำเภอขามสะแกแสงเกือบทั้งหมด ตอนกลางของอำเภอพระทองคำ พื้นที่ทางตะวันออกของอำเภอด่านขุนทด พื้นที่ทางตะวันตกของอำเภอขามทะเลสอ และบางส่วนทางตอนเหนือของอำเภอสูงเนิน

พื้นที่ที่มีความเสี่ยงภัยจากการทรุดตัวของแผ่นดินระดับต่ำนั้นคิดเป็นร้อยละ 12.29 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด และพบว่าตั้งอยู่ในบริเวณทิศตะวันตกเฉียงเหนือในพื้นที่ศึกษา ครอบคลุมพื้นที่ทางตอนเหนือของอำเภอด่านขุนทด พื้นที่ทางฝั่งตะวันตกเฉียงเหนือของอำเภอพระทองคำ และบางส่วนในพื้นที่ทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ของอำเภอกง

ส่วนพื้นที่ที่มีความเสี่ยงภัยจากการทรุดตัวของแผ่นดินระดับต่ำมาก คิดเป็นร้อยละ 5.9 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมดนั้น และพบว่าตั้งอยู่ในบริเวณทิศตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษา ครอบคลุมพื้นที่ทางด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือของอำเภอพระทองคำ และบางส่วนทางด้านทิศใต้ของอำเภอบ้านเหลื่อม

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยนี้ ต้องมีเครื่องมือ เทคนิค หรือวิธีการที่ใช้ในการประเมิน การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์เป็นเทคนิคหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์การประเมิน โดย การศึกษาวิธีการประเมินที่นิยมใช้โดยทั่วไปมี 3 วิธีการ คือ การรวมแบบถ่วงน้ำหนักอย่างง่าย (SAW) กระบวนการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น (AHP) และเทคนิคเรียงลำดับตามอุดมคติ (TOPSIS) ซึ่งในการศึกษานี้ได้เลือกใช้วิธีการแบบ SAW เนื่องจากเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อนเมื่อเทียบกับวิธีอื่น และมี ลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์ที่น้อยที่สุด โดยผู้ทำการวิเคราะห์เป็นผู้กำหนดค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละปัจจัย ที่ใช้ในการประเมินตามข้อมูลที่มีและพิจารณาของของผู้ประเมิน และคะแนนรวมที่ได้จากการคำนวณ จากผลคูณของค่าถ่วงน้ำหนักและค่าคะแนนของแต่ละปัจจัยจะถูกนำมาเรียงลำดับ โดยระดับคะแนน สูงที่ได้จะแสดงพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูง ทั้งนี้ถ้าผู้ทำการวิเคราะห์ประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยมีอคติจะก่อให้เกิด ความไม่น่าเชื่อถือของผลการประเมินที่ได้ ดังนั้นการประเมินด้วยวิธีการนี้จึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นของ การประเมิน หรือเหมาะสำหรับการวิจัยอย่างหยาบเพื่อทำให้เกิดความเข้าใจหลักการ และปัจจัยที่มี ผลต่อการประเมินเบื้องต้น

การตรวจสอบความถูกต้องระหว่างการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยจากการทรุดตัวของแผ่นดินกับ พื้นที่ที่เคยเกิดการทรุดตัวในอดีต จากการศึกษาพบว่ามีเพียง 3 เหตุการณ์ที่สามารถทำการอ้างอิงได้

การเกิดการทรุดตัวของแผ่นดินในพื้นที่จริงนั้นเป็นเหตุการณ์ที่ค่อนข้างซับซ้อน มีความต่อเนื่องกันของปัจจัย และแต่ละปัจจัยมีส่วนช่วยสนับสนุนให้เกิดขึ้น รวมทั้งยังมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องอีกหลายปัจจัยทั้งที่มีผลทั้งทางตรง และทางอ้อมที่ควรนำมาวิเคราะห์เพิ่มเติม เช่น อัตราการละลายของเกลือ เป็นต้น

อัตราการทรุดตัวของพื้นผิวภูมิประเทศที่ปกคลุมอยู่เหนือบริเวณพื้นที่ที่มีหินเกลืออยู่ด้านล่าง อาจเพิ่มอัตราการทรุดตัวเร็วขึ้นมากกว่าอัตราการทรุดตัวโดยธรรมชาติ โดยขึ้นอยู่กับปัจจัย คือ การเปลี่ยนแปลงรูปแบบของน้ำใต้ดิน และการไหลของน้ำใต้ดินซึ่งเกิดจากการสูบน้ำเกลือใต้ดินในพื้นที่ผลิตเกลือสินเธาว์ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับการเอาชนะป้องกันตามธรรมชาติของน้ำเกลือซึ่งอยู่เหนือผิวบนสุดของชั้นเกลือหินออกไป ซึ่งโดยปกติชั้นน้ำเกลือนี้จะไม่มีความหนาไม่เพียงกี่เมตร แต่เมื่อมีการสูบน้ำเกลือขึ้นไปพื้นผิวดินเพื่อทำอุตสาหกรรมผลิตเกลือสินเธาว์น้ำจืดก็จะไหลเข้ามาแทนที่และจะเกิดปฏิกิริยาการละลายของชั้นหินเกลืออย่างต่อเนื่องและเพิ่มมากขึ้นได้

อย่างไรก็ตามการทรุดตัวของแผ่นดินที่เกิดจากการสูบน้ำเกลือใต้ดินขึ้นมานั้นอาจเป็นการเกิดเฉพาะพื้นที่ และอยู่เหนือบริเวณพื้นที่ที่มีการสูบน้ำเกลือขึ้นมา และรูปร่างหรือขนาดของพื้นที่ที่มีการทรุดตัวบนพื้นผิวที่ปรากฏนั้นจะสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับรูปแบบการละลายของเกลือที่รองรับอยู่ด้านล่าง และการพังหรือถล่มลงของชั้นหินที่ปิดทับอยู่ด้านบนของเกลือที่ละลายออกไปโดยตรง ดังนั้นกิจกรรมการทำเหมืองเกลือแบบละลายหรือทำการสูบน้ำเกลือขึ้นมานั้นอาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำเกลือใต้ดินและปริมาณการละลายของเกลือหินขึ้นได้ ซึ่งเป็นปัจจัยที่ควรนำมาพิจารณาถึงอย่างมากในการวิจัยต่อไปในอนาคต



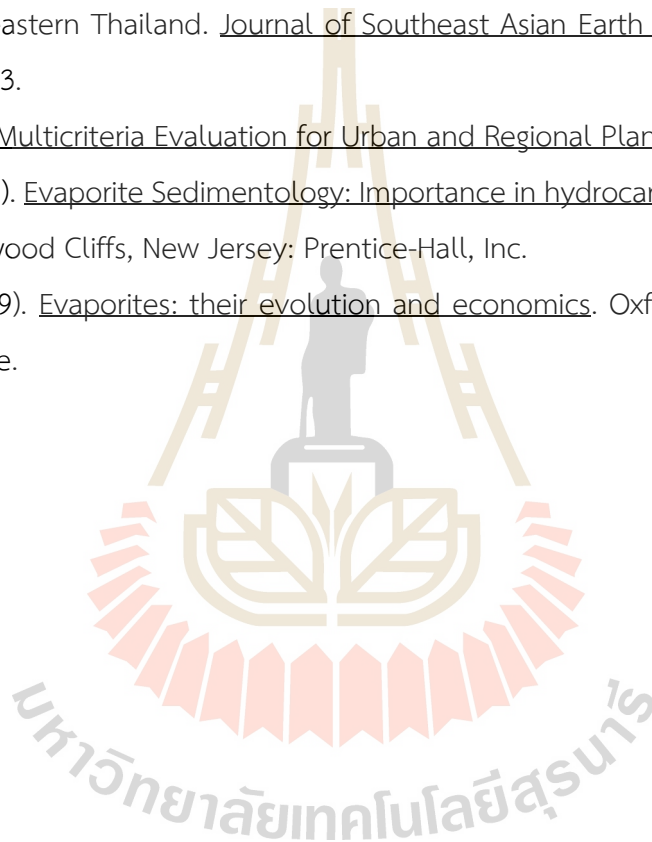
บรรณานุกรม

- กัมปนาท แหลมพุลทรัพย์ (2559). การตรวจสอบหลุมยุบด้วยวิธีวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า บ้าน
ทองกลาง ตำบลพังเทียม อำเภอพระทองคำ จังหวัดนครราชสีมา. กรุงเทพฯ: สำนัก
เทคโนโลยีธรณี กรมทรัพยากรธรณี
- กัมปนาท แหลมพุลทรัพย์ และวิไลวรรณ เวชกามา (2553). การกำหนดขอบเขตพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการ
เกิดหลุมยุบจากการสูบน้ำเกลือใต้ดิน บ้านโคกมงคล ตำบลสำโรง อำเภอนนไทย จังหวัด
นครราชสีมา. กรุงเทพฯ: สำนักเทคโนโลยีธรณี กรมทรัพยากรธรณี.
- ณัฐพล จันทรแก้ว, ณัฐวัฒน์ โพธิ์ขาว และศศิพร ผลพฤษภา (2557). การประยุกต์ภูมิสารสนเทศเพื่อหา
พื้นที่ศักยภาพในการอพยพและเส้นทางลำเลียงเคลื่อนย้าย : กรณีศึกษาการเกิดอุทกภัย
จังหวัดปทุมธานี. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 22(4): หน้า 447-461
- ปริญญญา นุตาลัย และ วันชัย โสภณสกุลรัตน์ (2533). สภาพปัญหา และมาตรการการแก้ไขปัญหาการ
ทำนาเกลือในภาคอีสาน. คณะกรรมการสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม, สภาผู้แทนราษฎร
อาคาร ปี รัฐสภา, 1 สิงหาคม.
- เพียงตา สาตร์รักษ์, วินิจ ยังมี, สุรชัย สมผดุง และรุ่งเรือง เลิศศิริวรกุล (2547). รายงานการวิจัยการ
ประเมินวิธีการสำรวจโดยการประยุกต์ทางธรณีฟิสิกส์เพื่อตรวจสอบโพรงเกลือและชั้น
เกลือหินใต้ผิวดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวดเร็ว และประหยัดค่าใช้จ่าย . ภาควิชา
เทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น: 231 หน้า
- ภาณุวัฒน์ เขียวสลับ และ ปิยพงษ์ ทองดินนอก (2558). การประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มโดยการ
ประยุกต์ใช้เทคนิควิธีดัชนีปัจจัยร่วมและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่
สรอย จังหวัดแพร่. ในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 53
(หน้า 1264-1271). กรุงเทพฯ.
- อดิชาติ สุรินทร์คำ (2543). สาเหตุของแผ่นดินทรุด บริเวณตำบลบ้านวัง อำเภอนนไทย จังหวัด
นครราชสีมา. กรุงเทพฯ: กองเศรษฐธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี.
- อภิรดี สรวีสูตร (2559). การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ : เปรียบเทียบแนวคิดและวิธีการระหว่าง
SAW AHP และ TOPSIS. วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์. 8(2): หน้า 180-
192.
- Allen, A. S. (1969). Geological settings of subsidence. Reviews in Engineering Geology.
Geological Society of America Vol II.
- Department of Mineral Resource (2006). Geological map of Thailand scale 1:50,000, map
sheet 5339 I, 5339 II, 5439 IV, and 5439 III. [Shape file]. Bangkok: DMR.
- Gupta, R. P. (1991). Remote Sensing Geology. Springer-Verlag: Berlin ;New York.

- Hatcher, R. D. (1995). Structural Geology: Principles, Concepts and Problems (2nd ed.). New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Japakasetr, T. (1985). Review on Rock Salt and Potash Exploration in Northeast of Thailand. In Conference on Geology and Minerals Resources Development of the Northeast, Thailand (GEMRDNET). Khon Kaen, Thailand: Khon Kaen University: p.135-147.
- Japakasetr, T., and Suwanich, P. (1990). Potash and Rock Salt in Thailand: Appendix A Core log of K-Holes. Nonmetallic Minerals Bulletin No.2. Economic Geology Division, Department of Mineral Resources, Bangkok, Thailand.
- Japakasetr, T. and Workman, R. D. (1981). Evaporite Deposition of Northeast Thailand. In Michel T. Halbouty (ed.). Energy resources of Pacific region. U.S.A.: The American Association of Petroleum Geologists: p. 178-179.
- Khundee, S., Kuehn, F., and Margane, A. (2002). Remote Sensing Khorat Plateau : Technical Report No.38. Environment Geology for Regional Planning. Department of Mineral Resources, Bangkok, Thailand.
- Kirkwood, C. W. (1997). Strategic Decision Making: Multiobjective Decision Analysis with Spreadsheets. Belmont, CA: Duxbury Press.
- Kusky, T. M. (2003). Geological Hazard. London: Greenwood Press.
- Malzewski, J. (1999). GIS and Multicriteria decision analysis. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Massam, B. H. (1988). Multi-criteria decision making (MCDM) techniques in planning. Progress in Planning. 30(1): p. 1–84.
- Meesook, A. (2011). Cretaceous. The Geology of Thailand. London: The Geological Society: p.169-184.
- Monjai, D. (2007). Landform Associated with the Mahasarakham Formation, the Phu Thok Formation and Salt Diapir in the Khorat Plateau, Northeastern Thailand. In Proceedings of the International Conference on GEOTHAI'2007 Geology of Thailand :Towards Sustainable Development and Sufficiency Economy. Bangkok, Thailand: Department of Mineral Resources, Ministry of Natural Resources and Environments: p.145-150.

- Royal Thai Survey Department (1991). Topographic map scale 1:50,000: map sheets 5339I, 5339II, 5439III and 5439IV [Shape file]. Bangkok: Thailand.
- Satarugsa, P., Youngmee, W., and Meesawat, S., (2005). New Regional Boundary of Maha Sarakham Formation in the Northeastern Thailand: Results from 2D Seismic Mapping. In Proceedings of the International Conference on Geology, Geotechnology and Mineral Resources of INDOCHINA. Khon Kaen, Thailand: Khon Kaen University: p.212-220.
- Sattayarak, N., and Polachan, S. (1990). Rock Salt beneath the Khorat Plateau. In Proceedings on Mineral Management. Bangkok, Thailand: Department of Mineral Resources: p.1-14.
- Seni, S. J., and Jackson, M. P. A. (1983). Evolution of salt structures, East Texas Diapir Province, Part I: Sedimentary record of halokinesis. AAPG Bulletin. 67(8): p.1219-1244.
- Suwanich, P. (1983). Potash and Rock Salt in Thailand. In Conference on Geology and Mineral Resources of Thailand. Bangkok, Thailand: Department of Mineral Resources, Ministry of Natural Resources and Environments: p.244-252.
- Suwanich, P. (1986). Potash and rock salt in Thailand. Nonmetallic Minerals Bulletin No. 2. Economic Geology Division, Department of Mineral Resources, Bangkok, Thailand.
- Suwanich, P. (2007). Potash-Evaporite Deposits in Thailand .In Proceedings of the International Conference on GEOTHAI'2007 Geology of Thailand :Towards Sustainable Development and Sufficiency Economy. Bangkok, Thailand: Department of Mineral Resources, Ministry of Natural Resources and Environments: p.252-262.
- Suwanich, P. (2010). Geology and Geological Structure of Potash and Rock Salt Deposits in Chalerm Phrakiat District, Nakhon Ratchasima Province in Northeastern Thailand. Kasetsart Journal (Natural Science). 44: p. 1058-1068.
- Suwanich, P., and Rattanajaruraks, P. (1982). Sequences of rock salt and potash in Thailand. Nonmetallic Minerals Bulletin No. 1. Economic Geology Division, Department of Mineral Resources, Bangkok, Thailand.

- Tabakh, M. E., Schreiber, B. C., Utha-Aroon, C., Coshell, L., and Warren, J. K. (1998). Diagenetic Origin of Basal Anhydrite in the Cretaceous Maha Sarakham Salt: Khorat Plateau, NE Thailand. Sedimentology. 45(3): p. 579-594.
- Tabakh, M. E., Utha-Aroon, C., and Schreiber, B. C. (1999). Sedimentology of the Cretaceous Maha Sarakham Evaporates in the Khorat Plateau of Northeastern Thailand. Sedimentary Geology. 123(1-2): p. 31-62.
- Utha-aroon, C. (1993). Continental Origin of the Maha Sarakham Evaporates, Northeastern Thailand. Journal of Southeast Asian Earth Sciences. 8(1-4): p. 193-203.
- Voogd, H. (1983). Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning. London: Pion
- Warren, J. K. (1989). Evaporite Sedimentology: Importance in hydrocarbon accumulation. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Warren, J. K. (1999). Evaporites: their evolution and economics. Oxford, U.K: Blackwell Science.



ประวัติผู้วิจัย

นายอัมพรรค์ วรรณโกมล เกิดเมื่อวันที่ 30 กันยายน 2515 ที่จังหวัดชลบุรี สำเร็จการศึกษาชั้นปริญญาตรี สาขาธรณีวิทยา จากภาควิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ชั้นปริญญาโท สาขาวิศวกรรมปิโตรเลียม จากภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และชั้นปริญญาเอก สาขาธรณีวิทยา จากภาควิชาธรณีวิทยา มหาวิทยาลัย Free University ประเทศสหพันธ์รัฐเยอรมัน ปัจจุบันเป็นอาจารย์ ตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ในสาขาวิชาวิศวกรรมปิโตรเลียม ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

