



โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ธรณีวิทยาโครงสร้างของจังหวัดนครสวรรค์

โดย

นายฐาปนพงศ์ ลีวเกษมศานต์

เลขประจำตัวนิสิต 5832706923

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงการทางวิชาการที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงการทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด

The abstract and full text of senior projects in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)

are the senior project authors' files submitted through the faculty.

ธรณีวิทยาโครงสร้าง จังหวัดนครสวรรค์

นายธำปณพงษ์ ลีวเกษมศานต์

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2561

STRUCTURAL GEOLOGY OF NAKHON SAWAN PROVINCE

Mr. Thapanaphong Lewgasaemsant

A Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
For the Degree of Bachelor of Science Program in Geology
Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University
Academic Year 2018

หัวข้องานวิจัย: ธรณีวิทยาโครงสร้างจังหวัดนครสวรรค์
นิสิตผู้ทำการวิจัย: นายฐาปนพงศ์ ลีวเกษมคานต์
ภาควิชา: ธรณีวิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษา: อาจารย์ ดร.สุคนธ์เมธ จิตรมหันตกุล
ปีการศึกษา: 2561

วันที่ส่ง 13/5/2562

วันที่อนุมัติ 13/5/2562

สุคนธ์เมธ

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ
(อาจารย์ ดร.สุคนธ์เมธ จิตรมหันตกุล)

Project Title: STRUCTURAL GEOLOGY OF NAKHON SAWAN PROVINCE

By: Mr. Thapanaphong Lewgasaemsant

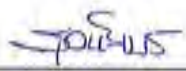
Field of Study: Geology

Project Advisor: Dr. Sukonmeth Jitmahantakul

Academic Year: 2018

Submitted date 13/5/2019

Approval date 13/5/2019



Project advisor

(Sukonmeth Jitmahantakul, Ph.D.)

นายฐาปนพงศ์ ลีเวชมคานต์ : ธรณีวิทยาโครงสร้างจังหวัดนครสวรรค์ (STRUCTURAL GEOLOGY OF NAKHON SAWAN PROVINCE) อ.ที่ปรึกษาโครงการ : อาจารย์ ดร.สุคนธ์เมธ จิตรมหันตกุล 75 หน้า

บทคัดย่อ

จังหวัดนครสวรรค์ ตั้งอยู่บนที่ราบลุ่มภาคกลางตอนบนของประเทศไทย มีความสูงเฉลี่ยประมาณ 20-30 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง จากแผนที่ภูมิประเทศและแบบจำลองความสูงเชิงเลข พบแนวการวางตัวภูเขาโดด (monadnock) ทิศทางเหนือ-ใต้ถึงตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ ขณะเดียวกัน บริเวณด้านตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษา เป็นลักษณะเนินขนาดใหญ่ รูปร่างคล้ายวงรีภายในพบแนวหินปูนของหมวดหินตากฟ้าของกลุ่มหินสระบุรีที่ต่อเนื่องมาจากลานเขาขวาง และบริเวณเขาหลวงตะวันตกของอำเภอเมืองนครสวรรค์ ที่พบธรณีวิทยาโครงสร้าง โครงสร้างเกยทับซ้อนกัน ซึ่งลักษณะพื้นฐานที่กล่าวมาข้างต้นคาดว่าเป็นผลจากเลื่อนตัวของเขตรอยเลื่อนแม่ปิงทำให้เกิดการยกตัวสูงขึ้นของพื้นที่ศึกษาและส่งต่อลักษณะธรณีสัณฐานของพื้นที่ศึกษา

จากการศึกษาแนวเส้น ผลการวิเคราะห์แนวเส้นพบทิศทางหลักของแนวเส้นสอดคล้องกับแนวภูเขาที่วางตัวอยู่ในพื้นที่ศึกษาและสัมพันธ์อยู่กับเขตรอยเลื่อนแม่ปิงที่พาดผ่านพื้นที่ศึกษาด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ การศึกษาภาคสนาม หินโผล่ในพื้นที่ศึกษาพบหลักฐานการเลื่อนตัวจากรอยเลื่อน รอยครูด ที่นำมาวิเคราะห์หาความเค้นหลักผ่านโปรแกรมวินเทินเซอร์ แสดงทิศทางความเค้นหลักของพื้นที่ศึกษาภาคสนามเป็นแรงอัดในทิศเหนือ-ใต้ ซึ่งแนวแรงของความเค้นหลักสัมพันธ์กับเหตุการณ์ธรณีวิทยาแปรสัณฐานของการชนกันภายในของแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนเหนือและแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนใต้ และการเลื่อนตัวแบบซ้ายเข้าของเขตรอยเลื่อนแม่ปิงทำให้เกิดการยกตัวของโครงสร้างแบบโครงสร้างดอกไม้บวก ที่ทำให้เกิดลักษณะปรากฏของแนวเขาในทิศเหนือ-ใต้ถึงตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้

สภาพภูมิประเทศและลักษณะธรณีสัณฐานของจังหวัดนครสวรรค์ในปัจจุบัน คาดว่าส่วนที่เหลืออยู่เป็นส่วนของแกนกลางโครงสร้างหลัก อันเป็นผลจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงสภาพเนื่องจากความเค้นและผลจากกระบวนการผุพังและพัดพา ซึ่งเกิดขึ้นตั้งแต่ยุคเพอร์เมียนจนถึงปัจจุบัน

ภาควิชา.....ธรณีวิทยา.....ลายมือชื่อนิสิต
สาขาวิชา.....ธรณีวิทยา.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก.....
ปีการศึกษา.....2561.....

5832706923: MAJOR GEOLOGY

KEYWORDS: STRUCTURAL / NAKHON SAWAN / DUPLEX / EVOLUTION

THAPANAPHONG LEWGASAEMSANT: STRUCTURAL GEOLOGY OF NAKHON SAWAN PROVINCE. ADVISOR: DR. SUKONMETH JITMAHANTAKUL, Ph.D., pp.75

ABSTRACT

Nakhon Sawan Province is located on the upper central plains of Thailand that has an average height 20-30 meters above mean sea level. Topographic map and Digital Elevation Model (DEM) show North-South to Northwest-Southeast trending monadnock. Meanwhile, the Southeast region of the study area is represented by a ridge which has oval shape. Permian Tak Fa Limestone which is extended from Khao Khwang Platform is distributed in the ridge area. On Khao Luang west of Amphoe Muang Nakhon Sawan shows a feature which is called Chainat duplex. All of the evidences above are considered as indicators of the movement of Mae Ping Fault zone which controls structural geology and geomorphology of the study area.

The Results of lineament analysis show correlated trend with mountains in the area and are relate to Mae Ping Fault zone. Moreover, faults and slickensides are found in field observation and principal stress are analyzed by using Win-tensor software. The principal stress is a compression stress in North-South direction which is related to intra-Indochina collision. Left-lateral movement of the Mae Ping Fault zone develops positive flower structure which evidently show as North-South to Northwest-Southeast trending ridge.

The remaining topography and geomorphology of Nakhon Sawan Province is a core of the main structure which is a result of the principle stress, erosion and transportation process since Permian to the present day.

Department :.....Geology.....Student's Signature.....
Field of Study :.....Geology.....Advisor's Signature.....
Academic Year :.....2018.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบคุณภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนทางด้านงบประมาณและค่าใช้จ่าย อุปกรณ์ออกภาคสนามตลอดในการศึกษาครั้งนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.สุคนธ์เมธ จิตรมหันตกุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้เสียสละเวลามาช่วยเหลือในการสำรวจภาคสนาม และให้คำปรึกษาในทุก ๆ ด้าน ทั้งการใช้โปรแกรม การออกแบบการนำเสนอ การทำรูปเล่ม ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้งานวิจัยครั้งนี้ออกมาสมบูรณ์ รวมไปถึงการให้คำปรึกษาด้านการเรียนและด้านอื่นๆ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้ ทั้งในด้านวิชาการ กระบวนการความคิด ด้านการออกภาคสนาม ด้านคุณธรรม และด้านการใช้ชีวิต และขอขอบคุณพี่ๆบุคลากรภายในภาควิชาที่คอยช่วยเหลือต่าง ๆ ที่มีส่วนช่วยเหลือให้ผมสามารถผ่านพ้นตลอด 4 ปีได้อย่างมีความสุข

ขอขอบคุณทีมโปรเจค นายแดน ปิ่นเฉลียว นางสาวปารมี พจปรีชา นายศุภณัฐ แสนสิริพงษ์ ที่ได้ช่วยเหลือตลอดงานวิจัยนี้และเป็นผู้ช่วยในการออกภาคสนาม นอกจากนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ จีโอรุ่น 59 ที่คอยให้กำลังใจ คอยสนับสนุนตลอดการทำงานวิจัยครั้งนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูปภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	4
1.3 พื้นที่ศึกษา	4
บทที่ 2 ธรณีวิทยาทั่วไป	5
2.1 ธรณีวิทยาแปรสัณฐาน	5
2.2 ธรณีวิทยาโครงสร้าง	7
2.3 ธรณีวิทยาจังหวัดนครสวรรค์	9
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	14
3.1 การศึกษาข้อมูลพื้นฐานและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	14
3.2 การวิเคราะห์แนวเส้นและธรณีสัณฐานด้วยข้อมูลจากสำรวจระยะไกล	15
3.3 การสำรวจภาคสนาม	15
3.4 วิเคราะห์ข้อมูลธรณีโครงสร้างและทิศทางความเค้นหลัก	15
3.5 การเขียนรายงานอภิปรายและสรุปผลการศึกษา	16
บทที่ 4 โครงสร้างแนวเส้นและธรณีสัณฐานจากข้อมูลการสำรวจระยะไกล	17
4.1 หลักการวิเคราะห์แนวเส้น	17
4.2 ผลการวิเคราะห์แนวเส้น	18
4.2.1 ผลการวิเคราะห์แนวเส้นพื้นที่ 1	20
4.2.2 ผลการวิเคราะห์แนวเส้นพื้นที่ 2	23
4.2.3 ผลการวิเคราะห์แนวเส้นพื้นที่ 3	26

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 4 โครงสร้างแนวเส้นและกรณีศึกษาจากข้อมูลการสำรวจระยะไกล (ต่อ)	
4.2.4 ผลการวิเคราะห์แนวเส้นพื้นที่ 4	29
4.2.5 ผลการวิเคราะห์แนวเส้นพื้นที่ 5	32
4.3 กรณีศึกษาจากการสำรวจระยะไกล	36
บทที่ 5 การสำรวจภาคสนาม	42
5.1 กลุ่มจุดศึกษาที่ 1	42
● จุดศึกษาที่ 1.1 เขมืองศิลาลานทอง	44
● จุดศึกษาที่ 1.2 เขมืองเขาลูกโกลน	48
5.2 กลุ่มจุดศึกษาที่ 2	54
● จุดศึกษาที่ 2.1 อ่างเก็บน้ำเขาใหญ่	55
● จุดศึกษาที่ 2.2 เขแม่เหล็ก	58
5.3 กลุ่มจุดศึกษาที่ 3	59
บทที่ 6 อภิปรายและสรุปผล	61
6.1 แบบจำลองแผนที่กรณีศึกษาและโครงสร้างใต้พื้นผิว	61
6.2 หลักฐานของรอยครูด 2 แนวตัดกัน	61
6.3 แบบจำลองวิวัฒนาการของโครงสร้าง	61
6.4 สรุปผลการศึกษา	68
เอกสารอ้างอิง	69
ภาคผนวก	73

สารบัญรูปภาพ

		หน้า
รูปที่ 1.1	แผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม บริเวณพื้นที่ศึกษาและแสดงเส้นขอบเขตจังหวัดนครสวรรค์	2
รูปที่ 1.2	แผนที่แบบจำลองความสูงเชิงเลขบริเวณพื้นที่ศึกษาและแสดงขอบเขตจังหวัดนครสวรรค์	3
รูปที่ 2.1	แบบจำลองวิวัฒนาการของการแปรสัณฐานในช่วงยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนปลายถึงมหายุคซีโนโซอิก	6
รูปที่ 2.2	สภาพการแปรสภาพสัณฐานของประเทศไทย	10
รูปที่ 2.3	แสดงช่วงเวลาของเหตุการณ์ธรณีแปรสัณฐานสำคัญต่าง ๆ และการเกิดหินอัคนีของประเทศไทย	11
รูปที่ 2.4	แสดงการเกิดธรณีวิทยาโครงสร้างของพื้นที่นครสวรรค์และโครงสร้างเกยทับชั้นนาทสัมพันธ์กับธรณีแปรสัณฐานสำคัญต่าง ๆ ของประเทศไทยในแต่ละช่วงเวลา	12
รูปที่ 2.5	แผนที่แสดงขอบเขตของสัณฐาน	13
รูปที่ 2.6	แสดงทิศทางการเคลื่อนหลักสัมพันธ์กับระบบรอยเลื่อนแต่ละประเภท	8
รูปที่ 4.1	แผนที่แสดงตำแหน่งหินโผล่และการแบ่งเขตสำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างแนวเส้นบริเวณจังหวัดนครสวรรค์	19
รูปที่ 4.2	แผนที่แสดงแนวเส้นตรงของพื้นที่และแผนภาพรูปตัดอกกู่หลายแสดงทิศทางของแนวเส้นหลักบริเวณที่ 1	21
รูปที่ 4.3	แผนที่แสดงความหนาแน่นแนวเส้นของพื้นที่บริเวณที่ 1	22
รูปที่ 4.4	แผนที่แสดงแนวเส้นตรงของพื้นที่และแผนภาพรูปตัดอกกู่หลายแสดงทิศทางของแนวเส้นหลักบริเวณที่ 2	24
รูปที่ 4.5	แผนที่แสดงความหนาแน่นแนวเส้นของพื้นที่บริเวณที่ 2	25
รูปที่ 4.6	แผนที่แสดงแนวเส้นตรงของพื้นที่และแผนภาพรูปตัดอกกู่หลายแสดงทิศทางของแนวเส้นหลักบริเวณที่ 3	27
รูปที่ 4.7	แผนที่แสดงความหนาแน่นแนวเส้นของพื้นที่บริเวณที่ 3	28
รูปที่ 4.8	แผนที่แสดงแนวเส้นตรงของพื้นที่และแผนภาพรูปตัดอกกู่หลายแสดงทิศทางของแนวเส้นหลักบริเวณที่ 4	30
รูปที่ 4.9	แผนที่แสดงความหนาแน่นแนวเส้นของพื้นที่บริเวณที่ 4	31
รูปที่ 4.10	แผนที่แสดงแนวเส้นตรงของพื้นที่และแผนภาพรูปตัดอกกู่หลายแสดงทิศทางของแนวเส้นหลักบริเวณที่ 5	33
รูปที่ 4.11	แผนที่แสดงความหนาแน่นแนวเส้นของพื้นที่บริเวณที่ 5	34

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 4.12	แผนที่แสดงแนวเส้น โครงสร้างแนวเส้นจากการวิเคราะห์ของพื้นที่ทั้ง 5 บริเวณและกลุ่มรอยเลื่อนแม่ปิงที่พาดผ่านพื้นที่ทั้ง 5 บริเวณ	37
รูปที่ 4.13	แผนที่แบบจำลองระดับความสูงเชิงเลขของพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์	38
รูปที่ 4.14	แผนที่แสดงแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลขที่แสดงความสูงต่ำเชิง ที่มีการปรับค่าในแกนความสูงของจังหวัดนครสวรรค์	39
รูปที่ 4.15	แผนที่แสดงกัมมันตรังสีทางอากาศที่ซ้อนบนแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลขที่แสดงความสูงต่ำเชิง ที่มีการปรับค่าในแกนความสูงทางด้านตะวันตกของจังหวัดนครสวรรค์	40
รูปที่ 4.16	แผนที่แสดงธรณีสัณฐานของจังหวัดนครสวรรค์	41
รูปที่ 5.1	แสดงจุดศึกษาการสำรวจภาคสนาม	43
รูปที่ 5.2	ภาพหินโผล่เหมือนศิลาลานทองจากอากาศยานไร้คนขับ	44
รูปที่ 5.3	แสดงจุดที่พบ หลักฐานการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนและระนาบรอยเลื่อนจุด A และจุด B	45
รูปที่ 5.4	แสดงระนาบรอยเลื่อนและรอยครูดที่มีการเคลื่อนตัวแบบปกติ และแสดงค่าเฉลี่ยของการวางตัวของระนาบรอยเลื่อนและรอยครูดภาพ 5.3A	46
รูปที่ 5.5	แสดงระนาบรอยเลื่อนและรอยครูดที่มีการเคลื่อนตัวแบบเฉียง (บน) และแสดงค่าเฉลี่ยของการวางตัวของระนาบรอยเลื่อนและรอยครูดภาพ 5.3B	47
รูปที่ 5.6	สเตอริโอเน็ตแสดงความเค้นหลักของแรงอัดในทิศเหนือ – ใต้	48
รูปที่ 5.7	ภาพหินโผล่เหมือนเขาลูกโกลนจากอากาศยานไร้คนขับ แสดงธรณีวิทยาโครงสร้างของรอยเลื่อนย่อนและหินอัคนีแทรกซอน	49
รูปที่ 5.8	ภาพหินโผล่แสดงรอยเลื่อนแนวระดับแบบซ้ายเข้า รอยเลื่อนแบบย่อนที่ขนานกับระนาบของชั้นหินปูนในพื้นที่ (และแสดงการวางตัวของระนาบรอยเลื่อนและรอยครูด	50
รูปที่ 5.9	ภาพหินโผล่แสดงรอยเลื่อนย่อนที่วางตัวในทิศตะวันออก – ตะวันตก (บน) และระนาบรอยเลื่อนย่อนพบรอยครูดที่เกิดขึ้น	51
รูปที่ 5.10	ภาพหินโผล่แสดงรอยเลื่อนย่อนที่วางตัวในทิศทางตะวันออกเฉียงใต้ – ตะวันตกเฉียงเหนือ และมีผนังเพดานเคลื่อนตัวไปทางทิศเหนือและหินอัคนีแทรกซอน	52
รูปที่ 5.11	จุดหินโผล่ที่พบรอยครูด 2 แนวตัดกัน	53
รูปที่ 5.12	สเตอริโอเน็ตแสดงความเค้นหลักของแรงอัดในทิศ 030/2	54
รูปที่ 5.13	แผนที่ภาพถ่ายเทียมแสดงจุดศึกษาอ่างเก็บน้ำเขาใหญ่	55

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 5.14	สเตอริโอเน็ตแสดงความเค้นหลักของแรงอัดในทิส 356/17	55
รูปที่ 5.15	จุดหินโผล่ที่พบพระนาบรอยเลื่อนแบบปกติ (บน) และค่าการวางตัวของพระนาบรอยเลื่อน ค่าการวางตัวของ รอยครูด	56
รูปที่ 5.16	แสดงหินโผล่ที่ในจุดศึกษาอ่างเก็บน้ำเขาใหญ่ที่พบพระนาบรอยเลื่อนแบบปกติและรอยครูด 2 แนว และค่าการวางตัวของกลุ่มรอยครูดแนวที่หนึ่ง และรอยครูดและค่าการวางตัวของแนวที่สอง	57
รูปที่ 5.17	แสดงลักษณะภูมิประเทศแบบตาสต์ของหินปูนและมีหินแอนดีไซต์อยู่ด้านล่างและแสดงหินโผล่ที่พบรอยสัมผัสระหว่างหินอ่อนกับหินแอนดีไซต์	58
รูปที่ 5.18	แสดงหินโผล่ที่มีชั้นตะกอนน้ำพาอยู่ส่วนบน และหินแกรนิตที่มีการผุพังสูงใน ส่วนล่าง	59
รูปที่ 5.19	แสดงชั้นตะกอนกึ่งเหลี่ยมถึงมนส่วนบนและหินแกรนิตที่มีการผุพังสูงใน ส่วนล่าง	60
รูปที่ 5.20	แสดงชั้นตะกอนกึ่งเหลี่ยมถึงมนส่วนบนและหินแกรนิตที่มีความผุพังสูงและมีรอยแตกไม่ เป็นระบบจำนวนมากใน ส่วนล่าง	60
รูปที่ 6.1	แบบจำลองแสดงแผนที่ธรณีสัณฐานของพื้นที่ศึกษาด้านตะวันออก แสดงภาคตัดขวาง โครงสร้างใต้พื้นผิวของจังหวัดนครสวรรค์และการแปลความเขตรอยเลื่อนแม่ปิง	64
รูปที่ 6.2	แผนที่การสภาพการแปรธรณีสัณฐานในช่วง 260 – 210 ล้านปี	65
รูปที่ 6.3	แบบจำลองวิวัฒนาการธรณีวิทยาโครงสร้างของด้านตะวันออกของพื้นที่ศึกษาศึกษา การชนกันภายในของแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนช่วงปลายยุคเพอร์เมียนถึงกลางยุคไทรแอสซิก	66
รูปที่ 6.4	แบบจำลองวิวัฒนาการธรณีวิทยาโครงสร้างของด้านตะวันออกของพื้นที่ศึกษา การเกิด โครงสร้างดอกไม้บัวจากรอยเลื่อนแนวระดับแบบซ้ายเข้าจากแรงอัด	67

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 4.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Geomatica	18
ตาราง 4.2 แสดงทิศทางหลักของแนวเส้นได้จากการวิเคราะห์แนวเส้นของแต่ละพื้นที่	35

บทที่ 1

บทนำ

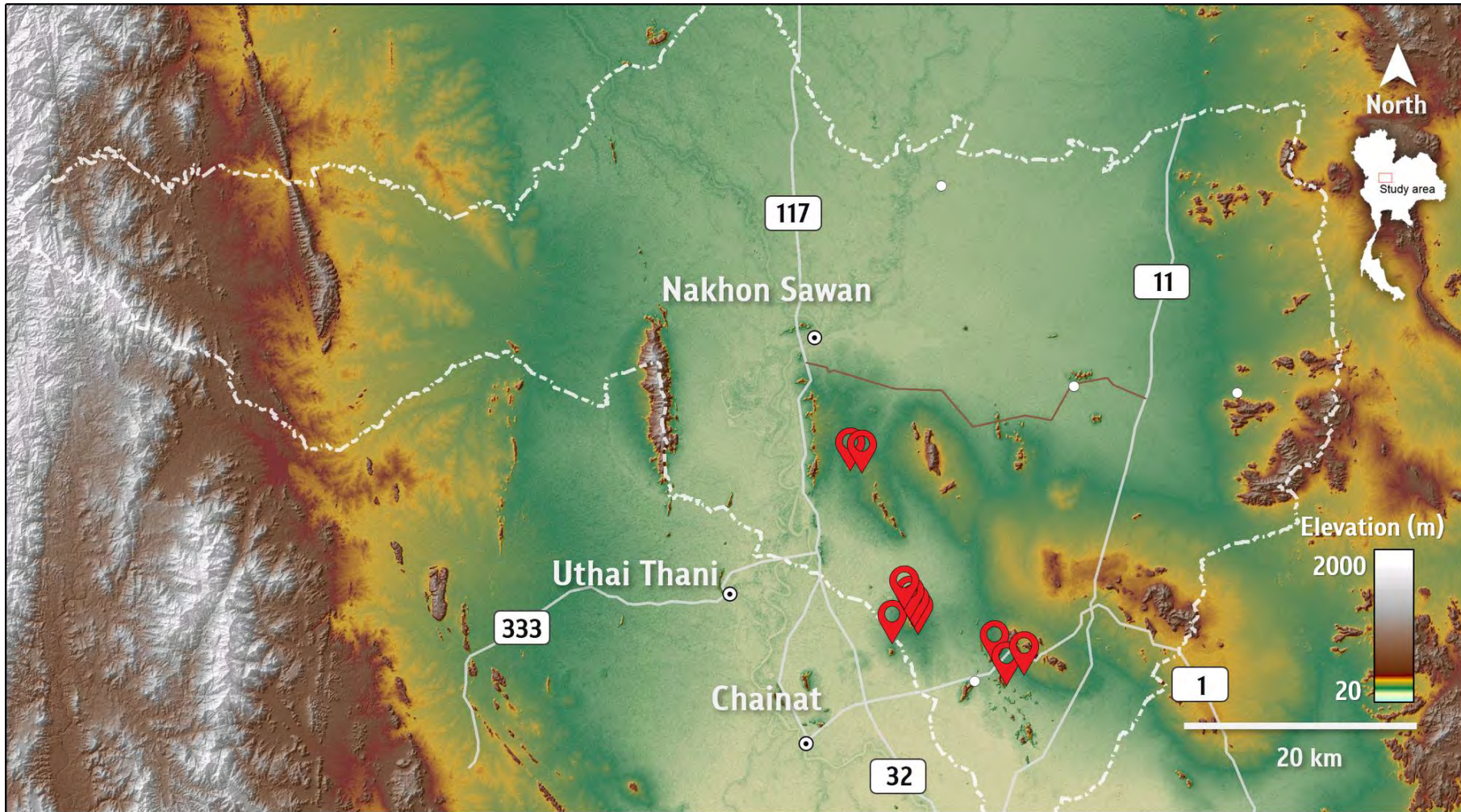
1.1 ที่มาและความสำคัญ

จังหวัดนครสวรรค์ (รูปที่ 1.1) ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ราบลุ่มภาคกลางตอนบน (Upper Central Plain, Sinsakul 1992) มีความสูงเฉลี่ยประมาณ 20-30 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง พื้นที่ด้านเหนือมีแม่น้ำสำคัญไหลผ่าน ได้แก่ แม่น้ำปิง และแม่น้ำน่าน โดยแม่น้ำทั้งสองไหลมารวมกันเป็นแม่น้ำเจ้าพระยาบริเวณตำบลปากน้ำโพ อำเภอเมืองนครสวรรค์ จากแผนที่ภูมิประเทศ ระบุว่าจังหวัดนครสวรรค์ (5040 III) ลำดับชุด L7018 กรมแผนที่ทหาร และข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขพบว่าบริเวณด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ของตำบลปากน้ำโพมีลักษณะเป็นเนินขนาดใหญ่ (รูปที่ 1.2) รูปร่างคล้ายวงรี ที่มีแกนการวางตัวในตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ มีความกว้างประมาณ 40 กิโลเมตร และยาวประมาณ 80 กิโลเมตร ครอบคลุมอำเภอเมืองนครสวรรค์ อำเภอพยุหะคีรี อำเภอตากาลี อำเภอตากฟ้า อำเภอท่าตะโก และอำเภอไพศาลี ภายในมีแนวภูเขาหินปูนของหมวดหินตากฟ้า (Tak Fa Formation) ของกลุ่มหินสระบุรี ที่ต่อเนื่องมาจากหินปูนลานเขาขวาง (Khao Khwang Platform, Ueno et al., 2012) การวางตัวเป็นแนวเหนือ-ใต้ของภูเขาหินปูนในพื้นที่เนินที่วางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนตัวของของรอยเลื่อนแม่ปิงแบบเหลื่อมขวา และเกิดเป็นโครงสร้างที่เรียกว่า “โครงสร้างเกยทับซ้อนนาท” (Chainat Duplex, Smith et al., 2007) การผูกרוןของภูเขาและการสะสมตัวของตะกอนเชิงเขา อาจมีผลต่อวิวัฒนาการของแม่น้ำน่านและแม่น้ำเจ้าพระยาที่ไหลผ่านจังหวัดนครสวรรค์ในปัจจุบัน

ดังนั้น เพื่ออธิบายการเกิดและหาความสัมพันธ์ทางธรณีวิทยาโครงสร้างของพื้นที่เนินในจังหวัดนครสวรรค์กับรอยเลื่อนแม่ปิง การศึกษาในครั้งนี้จะจัดทำแผนที่ธรณีสัณฐานและภาพจำลองแสดงโครงสร้างใต้ผิวดินของจังหวัดนครสวรรค์ โดยใช้ข้อมูลแผนที่กัมมันตรังสีทางอากาศ ข้อมูลการสำรวจวัดค่าสนามแม่เหล็ก ข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ร่วมกับผลการวิเคราะห์ข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้างจากภาคสนาม จากนั้นจะทำการอภิปรายผลการศึกษากับงานที่เคยมีการศึกษามาก่อนในพื้นที่จังหวัดชัยนาท เช่น Smith et al. (2007) Prasongtham and Kanjanapayont (2014) และในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา เช่น Ridd and Morley (2014)



รูปที่ 1.1 แผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม บริเวณพื้นที่ศึกษาและแสดงเส้นขอบเขตจังหวัดนครสวรรค์ (เส้นประสีขาว) ตัวเลขคือหมายเลขทางหลวง พื้นที่สีฟ้าเป็นบริเวณที่น้ำท่วม ณ เวลาที่ถ่ายภาพ (Google earth, 1 ธันวาคม 2557)



รูปที่ 1.2 แผนที่แบบจำลองความสูงเชิงเลขบริเวณพื้นที่ศึกษาแสดงลักษณะภูมิประเทศในเขตจังหวัดนครสวรรค์ (เส้นประสีขาว) พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบและมีภูเขาโดดๆที่มีแกนยาววางตัวในแนวเหนือ-ใต้ ภูเขากระจายตัวในพื้นที่ด้านตะวันออกเฉียงใต้เป็นส่วนใหญ่และมีความสูงโดยรวมเป็นเนินรูปร่างที่วางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ เครื่องหมายสีแดงแสดงตำแหน่งจุดศึกษาที่ออกภาคสนาม (ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขจาก JAXA/METI ALOS PALSAR Hi-Res terrain corrected, 2010)

1.2 วัตถุประสงค์

- เพื่อจัดทำแผนที่ธรณีสัณฐานและภาพจำลองแสดงโครงสร้างใต้ผิวดินของจังหวัดนครสวรรค์
- เพื่อสร้างแบบจำลองโมโนทัศน์ของวิวัฒนาการทางโครงสร้างธรณีวิทยาของจังหวัดนครสวรรค์

1.3 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาของการศึกษานี้ ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์โดยฝั่งด้านตะวันตกของจังหวัดเน้นศึกษาลักษณะธรณีสัณฐานจากข้อมูลแผนที่กัมมันตรังสีทางอากาศ (radiometric ternary map) ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model : DEM) แบบจำลองความสูงเชิงเลขที่แสดงความสูงต่ำเชิงเงา (hillshade) บริเวณตอนกลางและตะวันออกของจังหวัดนครสวรรค์เน้นศึกษาธรณีวิทยาโครงสร้างและธรณีสัณฐานที่เกิดจากทางน้ำด้วยข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่แสดงถึงความสูงต่ำเชิงเงา แผนที่ค่าสนามแม่เหล็ก (magnetic map) แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดนครสวรรค์ 1:250000 ปี พ.ศ. 2550 แผนที่เขตรอยเลื่อนแม่ปิง ประกอบกับข้อมูลการสำรวจภาคสนาม โดยการสำรวจภาคสนามในฝั่งด้านตะวันออกของจังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งมีการเก็บข้อมูลทางธรณีวิทยา ธรณีวิทยาโครงสร้าง ซึ่งจุดศึกษาภาคสนามนั้นครอบคลุมอำเภอพยุหะคีรี อำเภอตากลี อำเภอตากฟ้าของจังหวัดนครสวรรค์ (รูปที่ 1.2

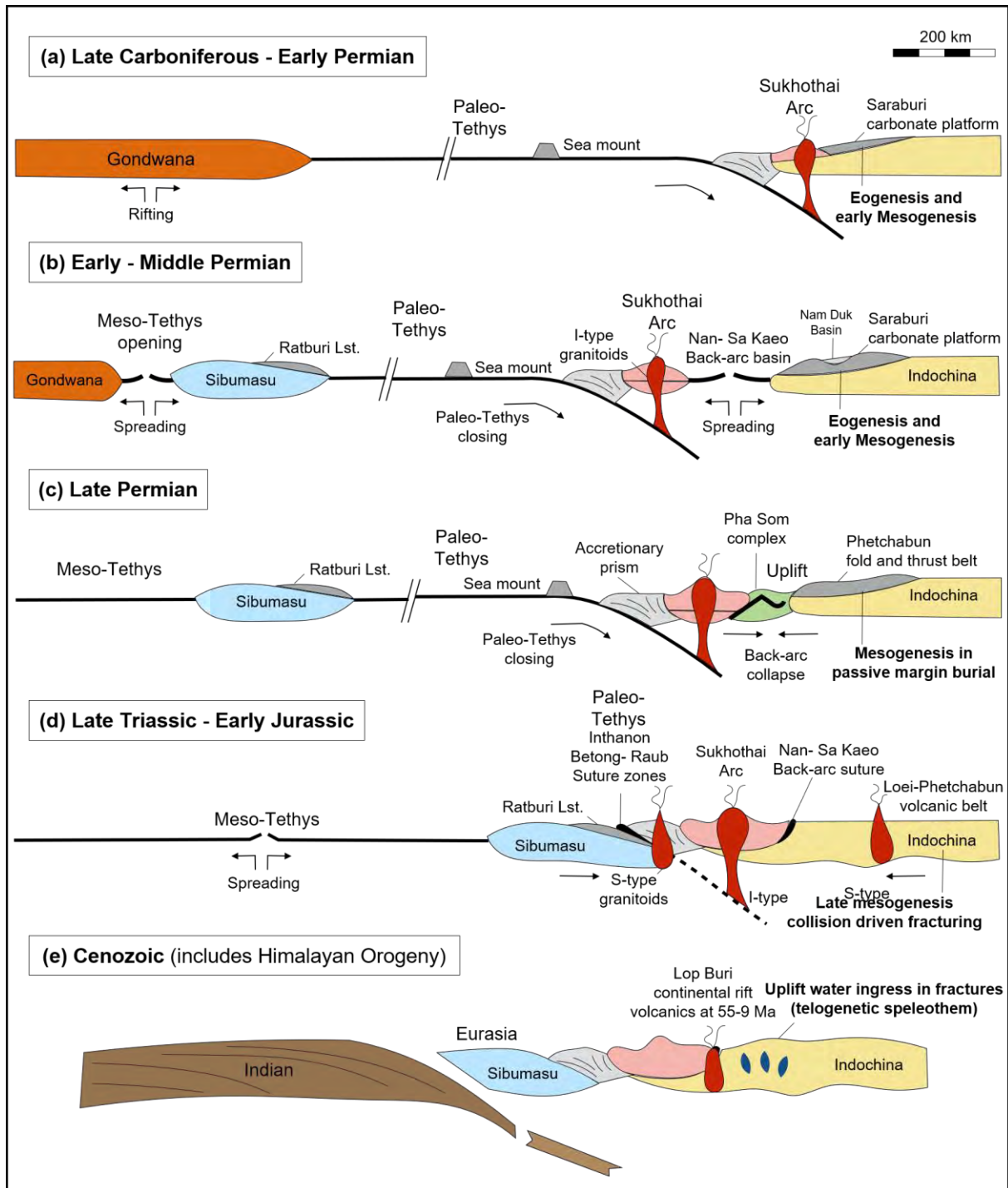
บทที่ 2

ธรณีวิทยาทั่วไป

บทนี้รวบรวมข้อมูลพื้นฐานทางธรณีวิทยาที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ศึกษาทั้งในระดับภูมิภาคและระดับท้องถิ่น ประกอบด้วยข้อมูลธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทย ธรณีวิทยาโครงสร้าง และธรณีวิทยาของจังหวัดนครสวรรค์ เพื่อเป็นข้อมูลใช้สำหรับการอภิปรายผลการศึกษาในบทที่ 6 ต่อไป

2.1 ธรณีวิทยาแปรสัณฐาน

Barber et al. (2005, 2009) ได้สรุปวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยในช่วงก่อนยุคเทอร์เชียรี (Tertiary) ดังต่อไปนี้ ช่วงยุคแคมเบรียน-ออร์โดวิเชียน (Cambrian – Ordovician) แผ่นเปลือกโลกอินโดจีน (Indochina terrane) และแผ่นเปลือกโลกไซบูมาสุ (Sibumasu terrane) เป็นส่วนหนึ่งของมหาทวีปคอนดวานา (Gondwana) ต่อมาแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนแยกตัวออกจากมหาทวีปคอนดวานาในช่วงปลายยุคดีโวเนียน (Late Devonian) ทำให้เกิดทะเลโบราณพาลีโอเทธิส (Paleo-Tethys) ต่อมาเกิดการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกภาคพื้นมหาสมุทรลงไปได้แผ่นเปลือกโลกอินโดจีนบริเวณด้านทิศตะวันตกในปัจจุบัน ผลจากการมุดตัวก่อให้เกิดแนวภูเขาไฟตามขอบด้านตะวันตกของแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนที่เรียกว่า แนวสุโขทัย (Sukhothai arc; รูปที่ 2.1a) และก่อให้เกิดการเปิดออกของแอ่งโค้งด้านหลังน่าน (Nan Back-arc basin; รูปที่ 2.1b) ต่อมาแผ่นเปลือกโลกไซบูมาสุได้แยกตัวออกจากมหาทวีปคอนดวานาในช่วงต้นยุคเพอร์เมียน (Early Permian) เกิดเป็นทะเลโบราณมีโซเทธิส (Meso-Tethys) ช่วงเวลาก่อนจะเกิดการชนกันของแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนและแผ่นเปลือกโลกไซบูมาสุ นั้น แผ่นเปลือกโลกอินโดจีนมีตำแหน่งอยู่ในละติจูดต่ำใกล้เส้นศูนย์สูตรเมื่อเทียบกับปัจจุบัน ในขณะที่แผ่นเปลือกโลกไซบูมาสุอยู่ที่ละติจูดประมาณ 20-30 องศาได้ ซึ่งขณะนั้นหินปูนอายุเพอร์เมียนของกลุ่มหินสระบุรีมีการสะสมตัวบริเวณขอบด้านตะวันตกของแผ่นเปลือกโลกอินโดจีน ต่อมาในช่วงปลายยุคเพอร์เมียน-ยุคไทรแอสซิกตอนปลาย (รูปที่ 2.1c) แผ่นเปลือกโลกไซบูมาสุเริ่มมีการเคลื่อนที่ขึ้นมาทางเหนือ เนื่องจากการขยายตัวของธรณีมหาสมุทร (seafloor spreading) ของทะเลโบราณมีโซเทธิส จนเกิดการมุดตัวได้แนวสุโขทัย ทำให้ทะเลโบราณพาลีโอเทธิสตัวเกิดการสะสมตะกอนแบบพอกพูน (accretionary prism) และแอ่งหลังแนวภูเขาไฟน่านถูกปิดด้วยแรงบีบอัด



รูปที่ 2.1 แบบจำลองวิวัฒนาการของการแปรสัณฐานในช่วงยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนปลายถึงมหายุคซีโนโซอิก โดยจุดศึกษาของระหว่างขอบแผ่นอินโดจีนและเขตแนวภูเขาไฟสุโขทัย (Meerat., 2018)

ในช่วงยุคไทรแอสซิกตอนปลาย (รูปที่ 2.1d) แผ่นเปลือกโลกไซบูมาสู แนวภูเขาไฟสุโขทัย และแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนได้เชื่อมต่อกันเป็นแผ่นเดียวกัน ทำให้ทะเลโบราณพาลีโอเทธิสปิดตัวลง เกิดชั้นหินคดโค้ง รอยเลื่อนย้อนมุมต่ำและการเปลี่ยนแปลงลักษณะขึ้นหรือเรียกการก่อเทือกเขาอินโดจีนเนียน (Indosinian Orogeny; Sone & Methcalfe, 2008) ในมหายุคซีโนโซอิก (รูปที่ 2.1e) เกิดเหตุการณ์ก่อเทือกเขาหิมาลัย (Himalayan Orogeny) ซึ่งเกิดจากการชนกันของแผ่นเปลือกโลกอินเดีย (Indian plate) กับแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (Eurasian plate) ในแนวเหนือ-ใต้ การชนกันนี้ส่งผลทำให้เกิดการหมุนตัวของแผ่นเปลือกโลกบริเวณประเทศไทย ทำให้เกิดแอ่งตะกอนสะสมที่ค่อย ๆ เปิดออกจากทางใต้ขึ้นมาทางเหนือ และเกิดการเคลื่อนที่ของรอยเลื่อนต่าง ๆ ในประเทศไทย (รูปที่ 2.2) เช่น รอยเลื่อนในแนวระดับที่มีระนาบการเคลื่อนตัวในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ รอยเลื่อนแม่ปิง รอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ และแนวรอยเลื่อนในแนวระดับที่มีระนาบการเคลื่อนตัวในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ เช่น รอยเลื่อนระนอง รอยเลื่อนคลองมะรุ่ย เป็นต้น โดยสามารถสรุปช่วงที่เกิดการก่อเทือกเขาและการชนของแผ่นเปลือกโลกได้ดังรูป (รูปที่ 2.3)

2.2 ธรณีวิทยาโครงสร้าง

Metcalfe (2013) เสนอว่า การชนกันของแผ่นเปลือกโลกไซบูมาสูและแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนก่อเกิดเทือกเขาอินโดจีนเนียน ภายในเกิดโครงสร้างชั้นหินคดโค้ง รอยเลื่อนย้อนมุมต่ำและต่อมา Arboit et al. (2014) ที่ศึกษาโครงสร้างจากการชนของแผ่นเปลือกโลกทั้งสองระบุว่าแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนเกิดเป็นชั้นหินคดโค้งและรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำไม่ตัดฐานหินที่ความลึกประมาณ 0.7 – 1.5 กิโลเมตร จากการชนของแผ่นเปลือกอินเดียและแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย ส่งผลทำให้เกิดรอยเลื่อนแนวระดับในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ – ตะวันออกเฉียงใต้ เช่น เขตรอยเลื่อนแม่ปิง และเขตรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ (Three Pagoda fault zone) ในบริเวณภาคกลางของประเทศไทย โดยรอยเลื่อนแนวระดับเหล่านี้จากการศึกษา Smith et al. (2007) และ Morley et al. (2007) ได้แปลความของเขตรอยเลื่อนแม่ปิงที่พาดผ่านพื้นที่ตอนกลางของประเทศไทยที่ส่งผลทำให้เกิดโครงสร้างเกยทับซ้อนมาทจากเลื่อนตัวแบบซ้ายของรอยเลื่อนแม่ปิง และศึกษาอิทธิพลของการเลื่อนตัวของเขตรอยเลื่อนแม่ปิงแบบซ้ายเข้าจากการหาอายุการเย็นตัวของโปโอไทต์โดยใช้ ใช้ $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (Lacassin et al., 1997) และพบว่า การเลื่อนตัวแบบซ้ายเข้าหยุดการเลื่อนตัวในช่วง 30 – 33 ล้านปี และแนวการวางตัวของโครงสร้างเกยทับซ้อนมาทในทิศทางเหนือ-ใต้ เป็นผลจากการเลื่อนตัวผ่านกันของรอยเลื่อนแนวระดับในเขตรอยเลื่อนแม่ปิง ทำให้เกิดการอัด (transpression) ซึ่งส่งผลให้เกิดการยกตัวของภูมิประเทศเป็นแนวสันเขา นอกจากนี้บริเวณทางใต้ของรอยเลื่อนแม่ปิงหยุดการเลื่อนตัวแบบซ้ายเข้าในช่วงยุคโอลิซีนตอนปลายและไม่พบลักษณะการเลื่อนตัวแบบขวาเข้า (Morley et al., 2007) และจากการศึกษาของ Meerat (2018) ศึกษา

แร่แคลไซต์ภายในรอยแตกด้วยออกซิเจนไอโซโทป คาร์บอนไอโซโทปและทำให้บ่งชี้ถึงช่วงเวลาการเกิดธรณีวิทยาโครงสร้างชั้นหินคดโค้งและรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำในช่วงยุคเพอร์โม-ไทรแอสสิกของเขาลูกโกลนอำเภอตากาลี บริเวณด้านฝั่งตะวันออกของจังหวัดนครสวรรค์ และสามารถสรุปเป็นช่วงการเกิดธรณีวิทยาโครงสร้างสัมพันธ์กับเหตุการณ์ธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทย ดังรูปที่ 2.4

การศึกษาทิศทางความเค้นหลัก (principal stress) ในงานวิจัยนี้ มีจุดประสงค์อธิบายพฤติกรรมของรอยเลื่อนที่พบในภาคสนาม เพื่อหาความสัมพันธ์กับธรณีแปรสัณฐานในพื้นที่ศึกษา โดยใช้หลักการจำแนกชนิดรอยเลื่อนกับความเค้นหลักตาม Anderson (1905) ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ระบบดังนี้

- รอยเลื่อนปกติ จะมีค่าความเค้นตามแนวตั้งมากที่สุด (vertical stress : σ_1) ค่าความเค้นสูงสุดตามแนวนอน (maximum horizontal stress : σ_2) และค่าความเค้นต่ำสุดตามแนวนอน (minimum horizontal stress : σ_3) รองลงมาตามลำดับ
- รอยเลื่อนแนวระดับ จะมีค่าเค้นสูงสุดตามแนวนอนมากที่สุด (σ_1) ค่าความเค้นตามแนวตั้ง (σ_2) และค่าความเค้นต่ำสุดตามแนวนอน (σ_3) รองลงมาตามลำดับ
- รอยเลื่อนย้อน จะมีค่าความเค้นสูงสุดตามแนวนอน (σ_1) ค่าความเค้นต่ำสุดตามแนวนอน (σ_2) และค่าความเค้นตามแนวตั้ง (σ_3) รองลงมาตามลำดับ (รูปที่ 2.6)

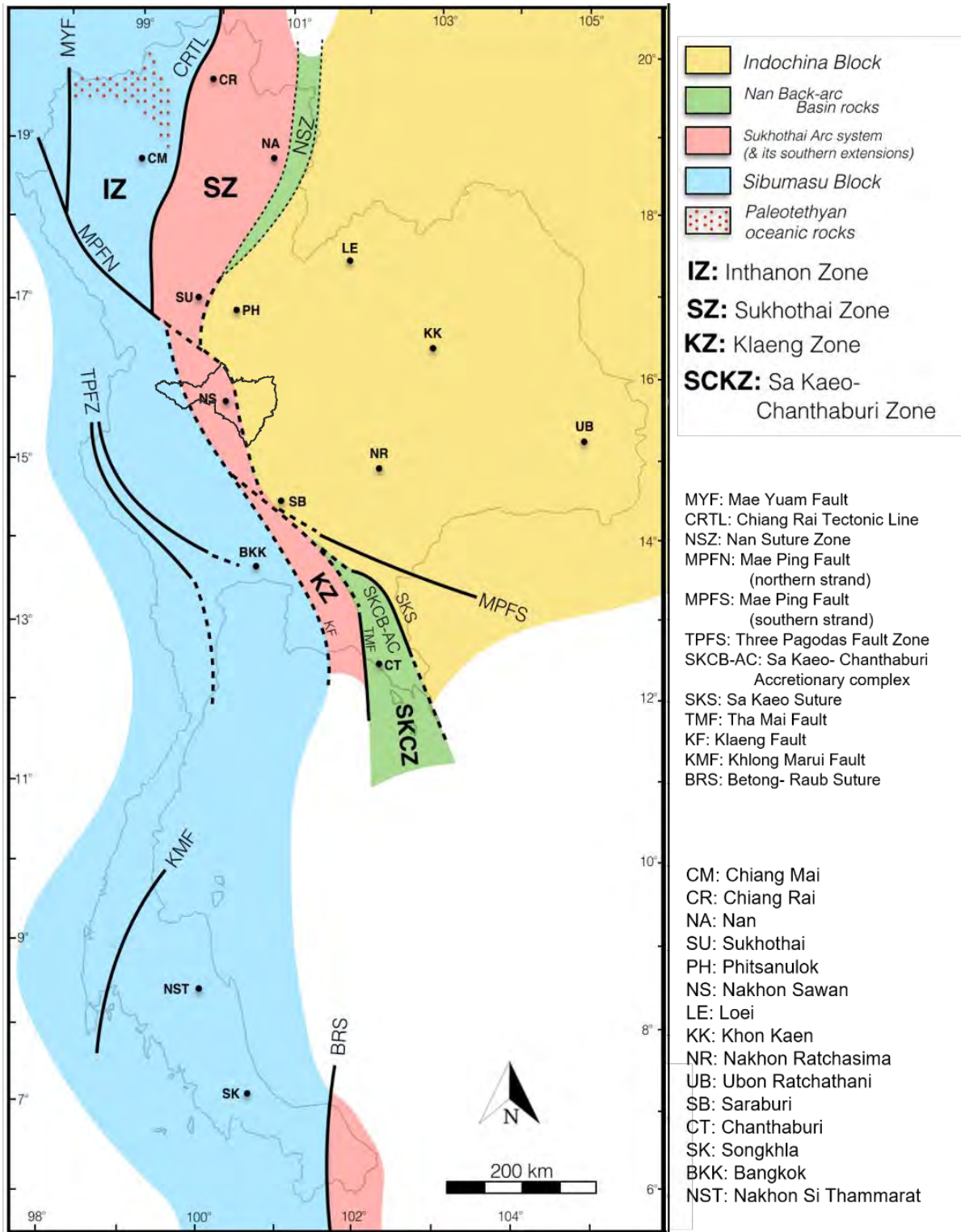


รูปที่ 2.6 แสดงทิศทางการเค้นหลักสัมพันธ์กับระบบรอยเลื่อนแต่ละประเภท

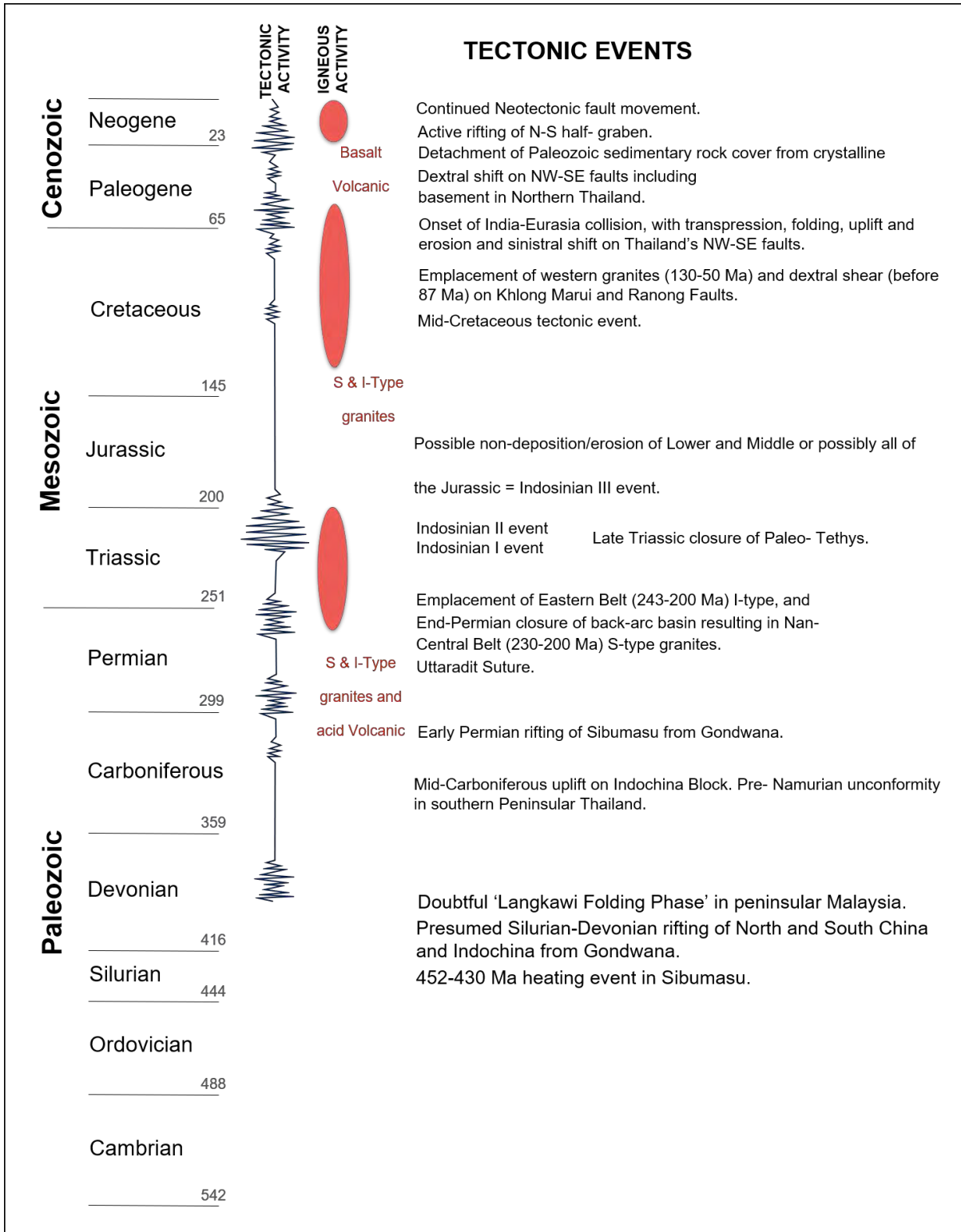
2.3 ธรณีวิทยาจังหวัดนครสวรรค์

พื้นที่ศึกษาจังหวัดนครสวรรค์ อยู่ในบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลาง (Sinsakul, 1992) พบแนวเขาเกิดขึ้นเป็นเขาโดด (monadnock) หลายแห่งทางตะวันออกและตอนกลางของจังหวัด อ้างอิงจากแผนที่ธรณีวิทยานครสวรรค์ มาตราส่วน 1:250,000 โดยกรมทรัพยากรธรณี ปี พ.ศ. 2550 จัดให้บริเวณหินที่ในบริเวณด้านตะวันออกของจังหวัดนครสวรรค์เป็นหินปูนเพอร์เมียนซับบอน และหินปูนเพอร์เมียนเขาขาด และหินภูเขาไฟยุคเพอร์เมียน-ไทรแอสซิก ตอนกลางของจังหวัดนครสวรรค์เป็นหินหินปูนเพอร์เมียนซับบอนและเขาขาด หินแปรยุคไซลูเรียน-ดีโวเนียน

จากแผนที่ธรณีวิทยาบริเวณภาคกลางของประเทศไทยโดย Ueno et al. (2012) ได้จัดให้หินปูนซับบอน และเขาขาดที่อยู่บนแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนเป็นหินปูนตากฟ้ากลุ่มหินสระบุรีที่อยู่บนลานเขาขวางโดยหินปูนหมวดหินตากฟ้า ประกอบด้วยหินปูนแทรกสลับด้วยหินปูนเนื้อดิน หินโคลน หินโดโลไมต์พบกระเปราของเชิร์ต และหินปูนที่มีซากดึกดำบรรพ์มาก และจากงานวิจัยของ Barr และ Charusiri (2011) จัดให้หินเพอร์โม-ไทรแอสซิกในพื้นที่ด้านตะวันออกเป็นหินภูเขาไฟไพศาลีของแนวภูเขาไฟเพชรบูรณ์ ประกอบด้วยหินภูเขาไฟ หินตะกอนภูเขาไฟ ชนิดกรดถึงชนิดปานกลาง (acidic to intermediate) และหินปูนเพอร์เมียนซับบอนและเขาขาดตอนกลางของจังหวัดเป็นหินปูนเขาปฐวีที่เทียบสัมพันธ์ได้กับหินปูนในแอ่งลำปาง-แพร่อายุไทรแอสซิกและหินเชิร์ตเพอร์เมียนเขาโกบ (Permian Chert Khao Gob) ซึ่งประกอบด้วยหินตะกอนเนื้อประสม ได้แก่ หินดินดาน หินทรายแป้ง หินทรายเนื้อละเอียดที่มีส่วนประกอบของซิลิกาและหินเชิร์ต จากการพบหลักฐานการศึกษาซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรีย (radiolaria) ในชั้นหินเชิร์ตบริเวณภาคกลางของประเทศไทย โดย Saesaengseerung et al. (2007) ซึ่งสามารถจำแนกเรดิโอลาเรียได้ 2 ชนิด คือ *Pseudoalbaillella lomentaria* มีช่วงอายุต้นยุคเพอร์เมียน และชนิด *Follicucullus scholasticus* มีช่วงอายุกระจายตัวอยู่ในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนกลางถึงช่วงต้นยุคเพอร์เมียนตอนปลาย โดยหินเชิร์ตเขาโกบ สามารถเทียบเคียงได้กับหินเชิร์ตขานู (Khanu chert) และจัดหินเพอร์โม-ไทรแอสซิกของพื้นที่ตอนกลางเป็นหินภูเขาไฟนครสวรรค์ที่เป็นชนิดกรดถึงชนิดปานกลาง และหินแกรนิตที่พบในพื้นที่ด้านตะวันตกของจังหวัดนครสวรรค์เป็นส่วนใหญ่จัดเป็นชนิดเอส (Cobbing, 2011) (รูปที่ 2.5)

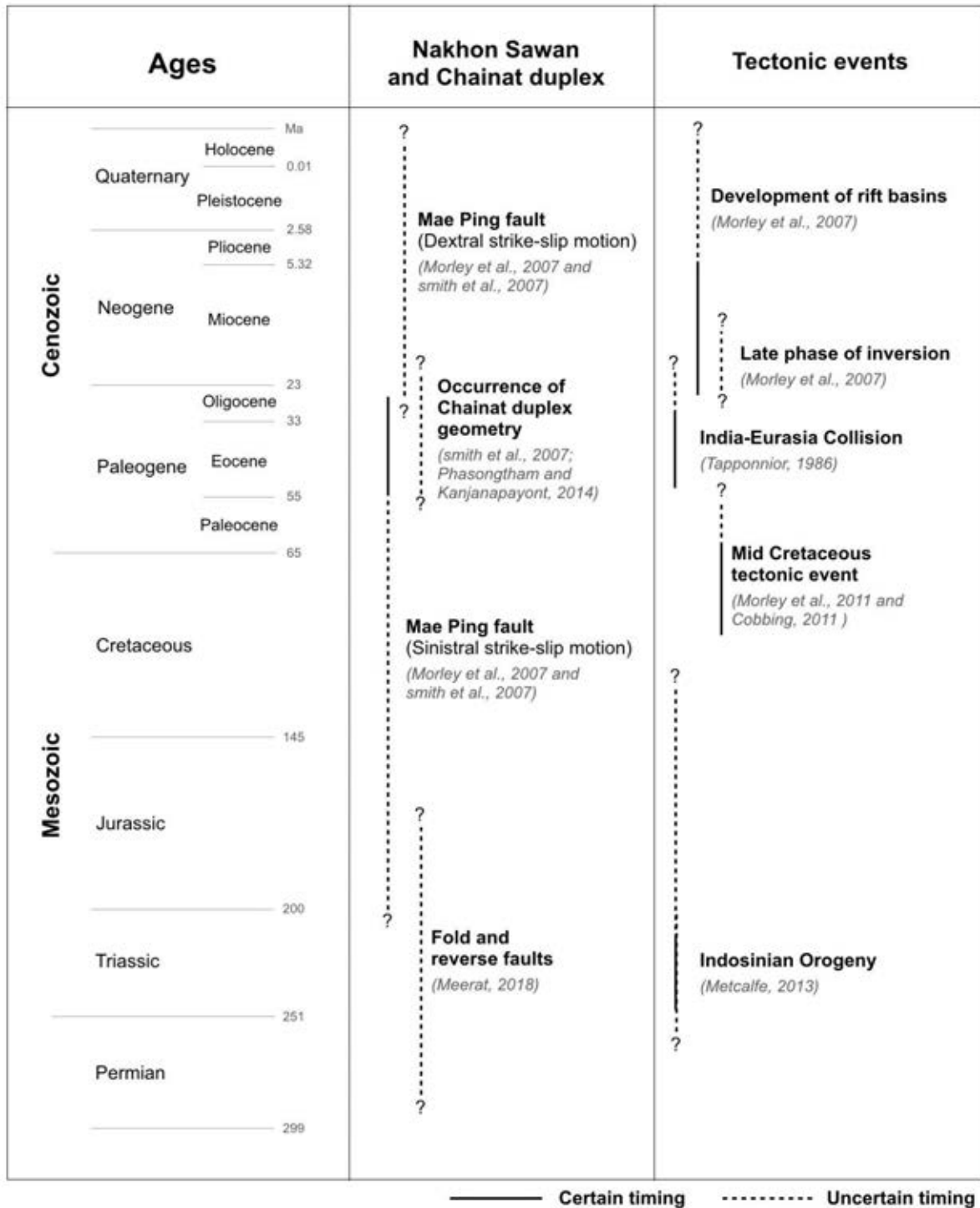


รูปที่ 2.2 สภาพการแปรสภาพสัณฐานของประเทศไทย ประกอบด้วยแผ่นเปลือกโลกอินโดจีน (สีเหลือง) แผ่นเปลือกโลกไซบุมาสู (สีฟ้า) เขตแนวภูเขาไฟอินทนนท์ เขตแนวภูเขาไฟสุโขทัย (สีแดง) และแนวหลังภูเขาไฟน่าน (สีเขียว) ตำแหน่งที่มีการออกภาคสนาม (เครื่องหมายสีแดง) และขอบเขตจังหวัดนครสวรรค์ (ตัดแปลงจาก Ueno & Chareontitirat, 2011)

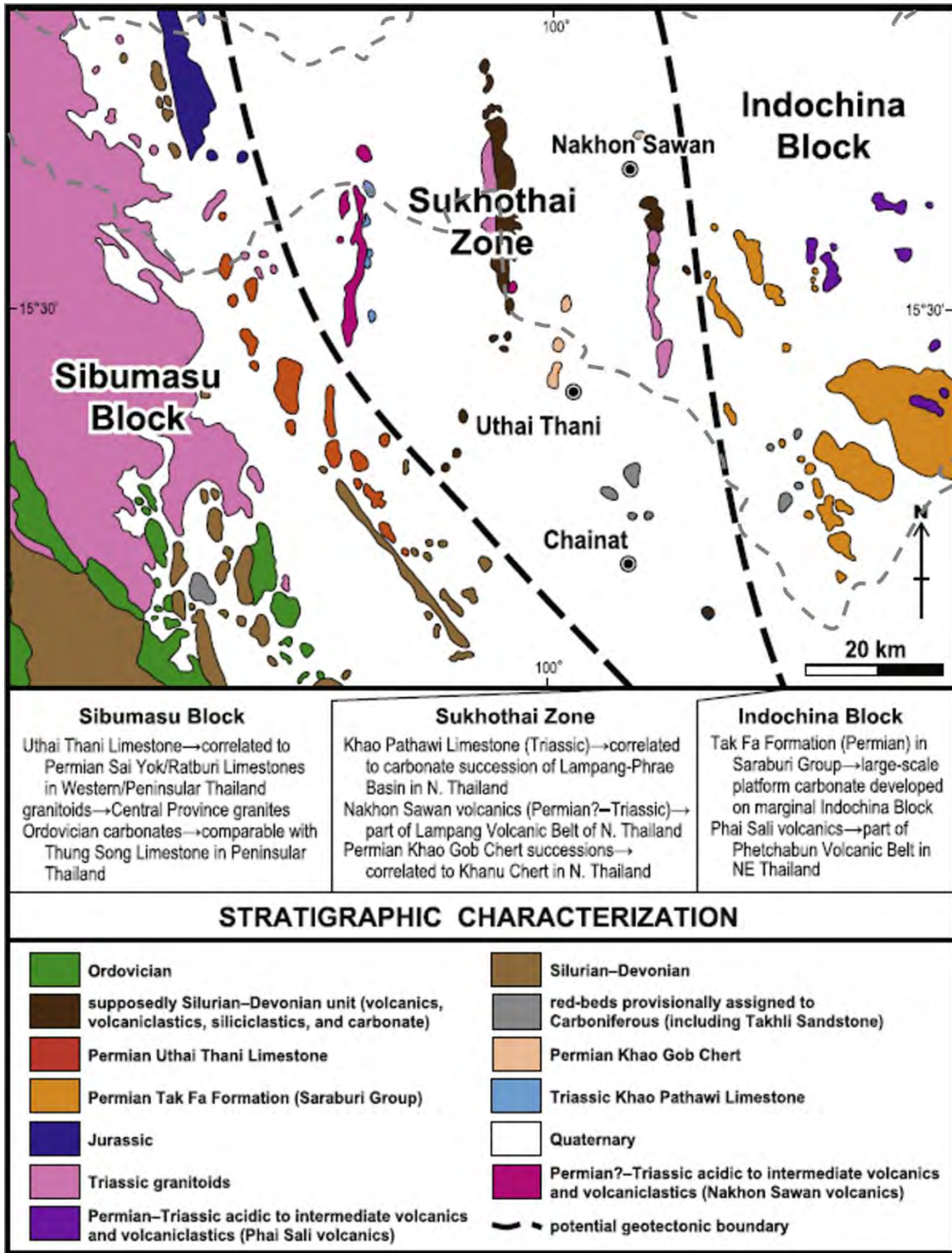


รูปที่ 2.3 แสดงช่วงเวลาของเหตุการณ์ธรณีแปรสัณฐานสำคัญต่าง ๆ และการเกิดหินอัคนีของประเทศไทย

(ดัดแปลงจาก Ridd et al., 2011)



รูปที่ 2.4 แสดงการเกิดธรณีวิทยาโครงสร้างของพื้นที่นครสวรรค์และโครงสร้างเกยทับซ้อนนาท สัมพันธ์กับธรณีแปรสัณฐานสำคัญต่าง ๆ ของประเทศไทยในแต่ละช่วงเวลา (ดัดแปลงจาก Phasongtham & Kanjanapayont, 2014)



รูปที่ 2.5 แผนที่แสดงขอบเขตของสัณฐาน (เส้นประดำ) ประกอบด้วยแผ่นเปลือกโลกอินโดจีน เขตแนวภูเขาไฟสุโขทัย และแผ่นเปลือกโลกไซบูมาสุ และการกระจายตัวของหินตอนกลางของประเทศไทย (Ueno et al., 2012)

และขอบเขตจังหวัดนครสวรรค์ (เส้นประสีเทา)

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษางานวิจัยครั้งนี้แบ่งระเบียบวิธีวิจัยออกเป็น 6 ขั้นตอน ได้แก่ การศึกษาข้อมูลพื้นฐานและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง การวิเคราะห์แนวเส้นและธรณีสัณฐานด้วยข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล การสำรวจข้อมูลธรณีวิทยาและธรณีวิทยาโครงสร้างในภาคสนาม วิเคราะห์ข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้างและทิศทางความเค้นหลัก การเขียนรายงานอภิปรายผลและสรุปผลการศึกษา โดยมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนดังนี้

3.1 การศึกษาข้อมูลพื้นฐานและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ข้อมูลพื้นฐานทางธรณีวิทยารวบรวมจากภาพถ่ายดาวเทียม ข้อมูลแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลขแผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดนครสวรรค์มาตราส่วน 1:250,000 ปี พ.ศ. 2550 และแผนที่ธรณีวิทยาตอนกลางของประเทศไทย (Ueno et al., 2012)

งานวิจัยที่เคยมีการศึกษาไว้แล้วในบริเวณพื้นที่ศึกษาหรือบริเวณใกล้เคียงในหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับธรณีวิทยาโครงสร้างของพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วย Smith et al. (2007) เป็นข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้างและช่วงเวลาการเปลี่ยนแปลงลักษณะของโครงสร้างเกยทับซ้อน Morley et al. (2007) เป็นข้อมูลวิวัฒนาการของทางโครงสร้างที่เกิดขึ้นจากเขตรอยเลื่อนแม่ปิง และ Prasangtham & Kanjanapayont (2014) การเปลี่ยนแปลงลักษณะของโครงสร้างเกยทับซ้อน และ Meerat (2018) เป็นข้อมูลไอโซโทปของแร่แคลไซต์ ซึ่งข้อมูลการวิจัยที่กล่าวอ้างมานั้นสามารถช่วยแสดงถึงช่วงเวลาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างในพื้นที่ศึกษาให้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

ข้อมูลธรณีฟิสิกส์ของพื้นที่ศึกษาประกอบด้วย การสำรวจวัดค่าสนามแม่เหล็ก (magnetic survey) จาก Co-ordinating Committee for Coastal and Offshore Geoscience Programmed in East and Southeast Asia (CCOP) ปี 2002 และแผนที่กัมมันตรังสีทางอากาศ (radiometric ternary) จากกรมทรัพยากรธรณี ฝ่ายธรณีเทคนิค ปี 2004

3.2 การวิเคราะห์แนวเส้นและธรณีสัณฐานด้วยข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล

การวิเคราะห์แนวเส้นนั้น จะทำการศึกษากับข้อมูลแนวเส้น โครงสร้างแนวเส้น ของลักษณะที่เป็นเส้นตรง กิ่งตรง หรือโค้ง ทางธรณีวิทยา อาทิเช่น รอยเลื่อน (fault) รอยแตก (fracture) ที่สามารถสังเกตได้จากภาพถ่ายทางอากาศ และ ข้อมูลแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model : DEM) เพื่อที่จะได้ทิศทางการวางตัวของแนวเส้นหรือโครงสร้างแนวเส้น ซึ่งทำด้วยหลักการการวิเคราะห์แนวเส้นด้วยข้อมูลความสูงต่ำเชิงเงา

แผนที่แนวเส้นหรือโครงสร้างแนวเส้นของพื้นที่ศึกษาจัดทำขึ้นโดยใช้โปรแกรม Geomatica ซึ่งนำเทคนิควิเคราะห์แนวเส้น และหลักการคิดมาจากงานวิจัยของ Kocal et al. 2004 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์แนวเส้นจากข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขความละเอียด 12.5 เมตร (ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขจาก JAXA/METI ALOS PALSAR Hi-Res terrain corrected, 2010) โดยผลการศึกษาโครงสร้างแนวเส้นจะนำไปประกอบการศึกษาชั้นภาคสนามต่อไป ผลที่ได้แสดงในบท 4

ข้อมูลการสำรวจระยะไกลทำกับศึกษาร่วมกับข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดนครสวรรค์ มาตราส่วน 1:250,000 ปี พ.ศ. 2550 รวมถึงแผนที่กัมมันตรังสีทางอากาศ ซึ่งสามารถสะท้อนให้ของลักษณะของชนิดหินหรือตะกอนที่มีค่าของธาตุกัมมันตรังสีที่อยู่ และสามารถมองเห็นถึงรูปร่างลักษณะของธรณีสัณฐานแบบต่าง ๆ ให้เห็นได้ชัดเจนขึ้น

3.3 การสำรวจข้อมูลภาคสนาม

การสำรวจภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลทางธรณีวิทยาและธรณีวิทยาโครงสร้างที่พบในหินโผล่ประกอบด้วย ค่าการวางตัวของชั้นหิน (bedding) ชนิดหิน ลักษณะของธรณีสัณฐาน โครงสร้างของรนาบรอยเลื่อน (fault plane) รอยครูด (slickenside) ทิศทางการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน (sense of movement) ทิศทางการวางตัวของสายแร่ตามรอยแตกในหิน จากนั้นทำการถ่ายรูปเก็บไว้เป็นหลักฐาน ข้อมูลค่าการวางตัวที่ได้ทั้งหมดจะถูกนำมาวิเคราะห์ทางธรณีวิทยาโครงสร้างและทิศทางการเคลื่อนตัวในขั้นตอนต่อไป

3.4 วิเคราะห์ข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้างและทิศทางการเคลื่อนตัว

วิเคราะห์ข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้างจากข้อมูลภาคสนาม เช่น รอยเลื่อน รอยครูด ทิศทางการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนและการวางตัวของชั้นหิน มากำหนดจุดลงบนสเตอริโอกราฟิก (stereographic projection) และแผนภาพรูปดอกกุหลาบ ซึ่งค่าของรอยเลื่อน รอยครูด และทิศทางการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนจะทำการกำหนดลงบนสเตอริโอกราฟิกด้วยโปรแกรมวินเทนเซอร์ (Win-Tensor) ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์เพื่อหาทิศทางการ

เค้นหลัก (principal stress) ที่ถูกพัฒนาโดย Dr.Damien Delvaux จาก Royal Museum for Central Africa, Tervuren ประเทศเบลเยียม (Delvaux & Sperner, 2003) และค่าการวางตัวชั้นหินนำมากำหนดลงบนโปรแกรม Statect และผลที่ได้จากการวิเคราะห์เพื่อบอกถึงทิศทางของแรงหลักเข้ามากระทำต่อพื้นที่โครงสร้างขนาดใหญ่ (regional structure) ที่ควบคุมพื้นที่ศึกษา เพื่อสร้างเป็นแบบจำลองมโนทัศน์ (conceptual model) ของโครงสร้างทางธรณีวิทยาของพื้นที่

3.5 การเขียนรายงานอภิปรายและสรุปผลการศึกษา

ในส่วนการอภิปรายผลจะประกอบไปด้วย 3 หัวข้อหลักประกอบด้วย แบบจำลองแผนที่ธรณีฐานและโครงสร้างใต้พื้นผิว ซึ่งจะอภิปรายผลร่วมกับงานวิจัยของ Smith et al. (2007) Morley et al. (2007) Ueno et al. (2012) Barr & Charusiri (2011) Arboit et al. (2014) Ueno & Charoentitirat (2011) Cobbing (2011) แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดนครสวรรค์มาตราส่วน 1:250,000 ปีพ.ศ. 2550 และแผนที่ข้อมูลสำรวจค่าสนามแม่เหล็กจาก CCOP (2002) ซึ่งอภิปรายในเรื่องลักษณะของภูมิภาค ลักษณะธรณีฐาน ชนิดหิน และธรณีวิทยาโครงสร้างใต้ผิวดิน หลักฐานของรอยครูด 2 แนวตัดกัน จะอภิปรายผลร่วมกับงานวิจัยของ Meerat (2018) และแบบจำลองวิวัฒนาการของโครงสร้างของช่วงที่เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะของหินของช่วงเหตุการณ์สำคัญ 2 ช่วง ซึ่งจะอภิปรายผลร่วมกับงานวิจัยของ Arboit et al. (2014) Meerat (2018) Smith et al. (2007) Morley et al. (2007) และPrasongtham & Kanjanapayont (2014) ที่ได้ทำการศึกษาวิจัยในบริเวณพื้นที่ศึกษา และบริเวณใกล้เคียง

และการสรุปผลการศึกษาได้จากข้อมูลภาคสนาม ลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะธรณีฐาน และธรณีวิทยาโครงสร้างท ซึ่งมีความสัมพันธ์หรือสามารถเชื่อมโยงกับงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องได้ และจัดทำทำออกมาในรูปแบบเล่มรายงาน

บทที่ 4

โครงสร้างแนวเส้นและธรณีสัณฐานจากข้อมูลการสำรวจระยะไกล

ภายในบทนี้กล่าวถึงการใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล (remote sensing) และจัดทำข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System) เพื่อทำการศึกษาลักษณะภูมิประเทศ รูปร่าง และแนวเส้น (lineament) โครงสร้างแนวเส้น (linear structure) โดยการวิเคราะห์แนวเส้นจะทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Geomatica ซึ่งเป็นส่วนของการศึกษาในขั้นก่อนออกภาคสนาม ประกอบไปด้วย 3 ส่วน หลักการวิเคราะห์แนวเส้น (lineament analysis) ผลที่ได้จากการวิเคราะห์แนวเส้น และธรณีสัณฐานจากการสำรวจระยะไกล โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 หลักการวิเคราะห์แนวเส้น

การวิเคราะห์แนวเส้นนั้นจะทำการศึกษากับข้อมูลแนวเส้น โครงสร้างแนวเส้น ของลักษณะที่เป็นเส้นตรง กิ่งตรง หรือโค้ง ทางธรณีวิทยา อาทิเช่น รอยเลื่อน (fault) รอยแตก (fracture) ที่สามารถสังเกตได้จากภาพถ่ายทางอากาศ และ ข้อมูลแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model : DEM) เพื่อที่จะได้ทิศทางแนวเส้นหรือโครงสร้างแนวเส้น

หลักการวิเคราะห์แนวเส้นนั้นมาจากข้อมูลความสูงต่ำเชิงเงาด้วยโปรแกรม Geomatica จะทำการคำนวณจุดภาพ (pixel) ด้วยสมการเกาส์เซียน (Gaussian filter) จากนั้นจุดภาพแต่ละจุดจะถูกกำหนดค่าใหม่ขึ้นมา โดยของแต่ละค่าใหม่ของจุดภาพที่ถูกกำหนดนั้น จะถูกคัดกรองอีกครั้งด้วยค่าของพารามิเตอร์ GTHR (edge gradient threshold) ที่กำหนดไว้เป็นมาตรฐานและท้ายที่สุดเส้นตรงจะเกิดจากจุดค่าแต่ละจุดที่ผ่านขั้นต่ำของพารามิเตอร์ LTHR (curve length threshold) ที่กำหนดไว้จึงจะสามารถลากแนวเส้นขึ้นมาได้ โดยข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์แนวเส้นนั้นได้มาจากข้อมูลความสูงต่ำเชิงเงา ตามทิศทางมุมของแสง (azimuth) ดังนี้ 45 90 135 225 270 315 องศา เพื่อที่จะครอบคลุมแนวเส้นในบางแนวที่ไม่ไหลขึ้นมาให้เห็นกับทิศทางของแสงอาทิตย์บางมุม โดยค่าตัวพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ในการศึกษาครั้งนี้เป็นดังตาราง 4.1 (Kocal et al., 2004)

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลขที่มีความละเอียด 12.5 เมตร จาก Alaska Satellite Facility เป็นข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Advanced Land Observing Satellite (ALOS) ปี 2010

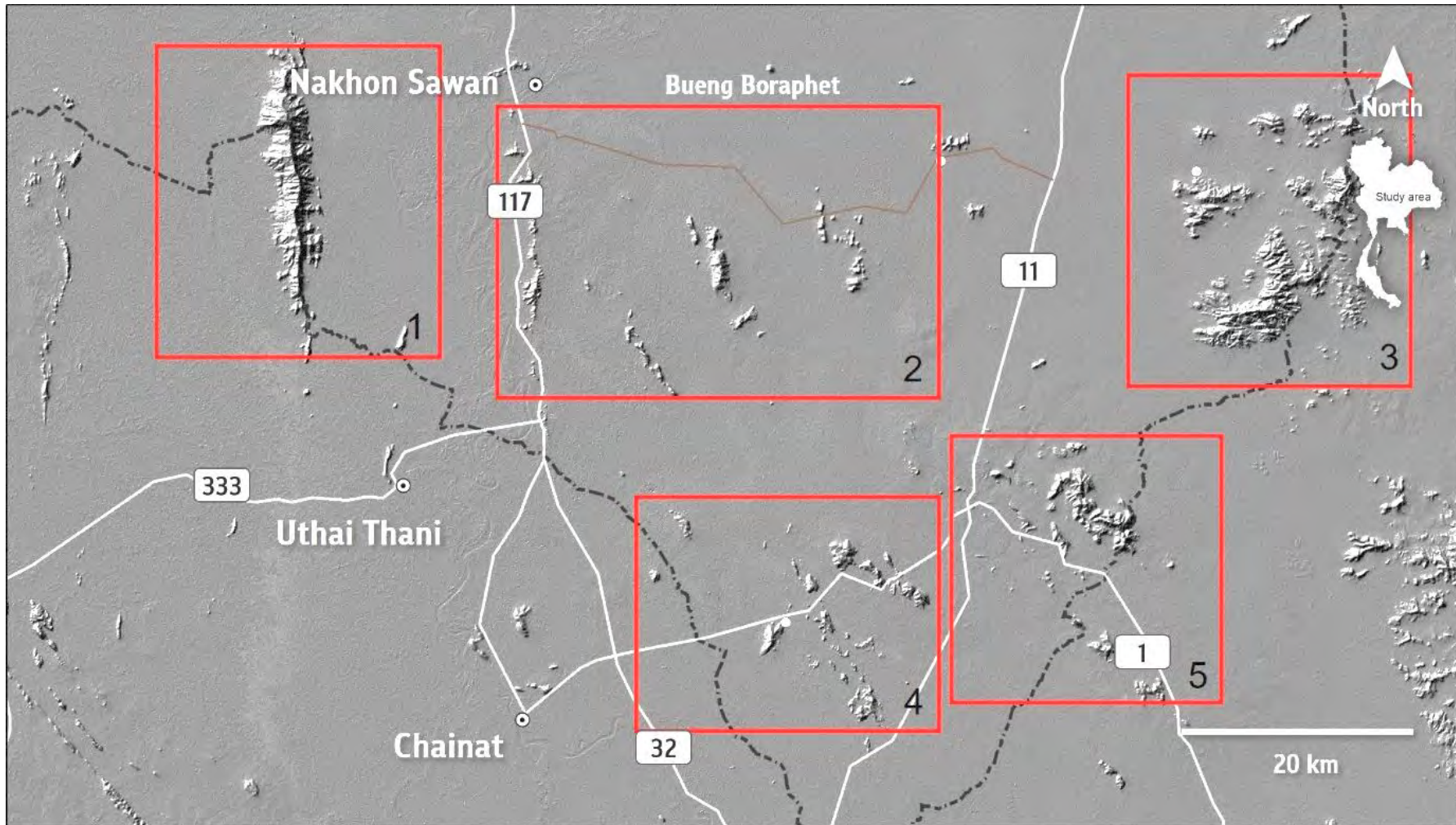
ตาราง 4.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Geomatica (Kocal et al., 2004)

พารามิเตอร์	ค่า	หน่วย
Filter Radius	10	pixel
Edge Gradient Threshold	50	-
Curve Length Threshold	30	pixel
Line Fitting Error Threshold	3	pixel
Angular Difference Threshold	20	degree
Linking Distance Threshold	1	pixel

4.2 ผลการวิเคราะห์แนวเส้น

ผลการวิเคราะห์แนวเส้นที่ได้ในส่วนนี้ มาจากข้อมูลแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลขที่แสดงความสูงต่ำเชิงเงา (hillshade) ในบริเวณพื้นที่ศึกษาที่แสดงไว้ดังรูปที่ 4.1 ประกอบไปด้วยพื้นที่ 5 บริเวณครอบคลุมในส่วนพื้นที่ภายในจังหวัดที่คาดว่าจะแสดงลักษณะของแนวเส้นหรือโครงสร้างแนวเส้นปรากฏให้เห็น นำไปคำนวณผ่านโปรแกรม Geomatica โดยผลของการศึกษาแต่ละพื้นที่ที่จะประกอบไปด้วย แผนที่ที่แสดงแนวเส้นหรือโครงสร้างแนวเส้นในแต่ละทิศทางมุมของแสง แผนที่ที่แสดงความหนาแน่นของแนวเส้น (lineament density map) โครงสร้างแนวเส้นในแต่ละพื้นที่ และแผนภาพรูปดอกกุหลาบ (rose diagram) โดยผลที่ได้จากในแต่ละพื้นที่มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

โดยแนวเส้นที่ต้องวิเคราะห์ที่ได้คาดว่าเป็นแนวเส้นตรงหรือโครงสร้างที่เส้นตรง ที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน รอยแตกแบบปิด รอยแตกแบบเปิด หรือรอยแตกแบบเฉือนจากแรงอัดหรือแรงดึงที่กระทำต่อหิน โดยขนาดของแนวเส้นระยะต่ำสุดที่สามารถวัดได้คือ 375 เมตร เนื่องจากระยะขั้นต่ำที่เหมาะสมกับหินโผล่ที่มีพื้นที่กว้างและลดข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากซอฟต์แวร์ด้วย

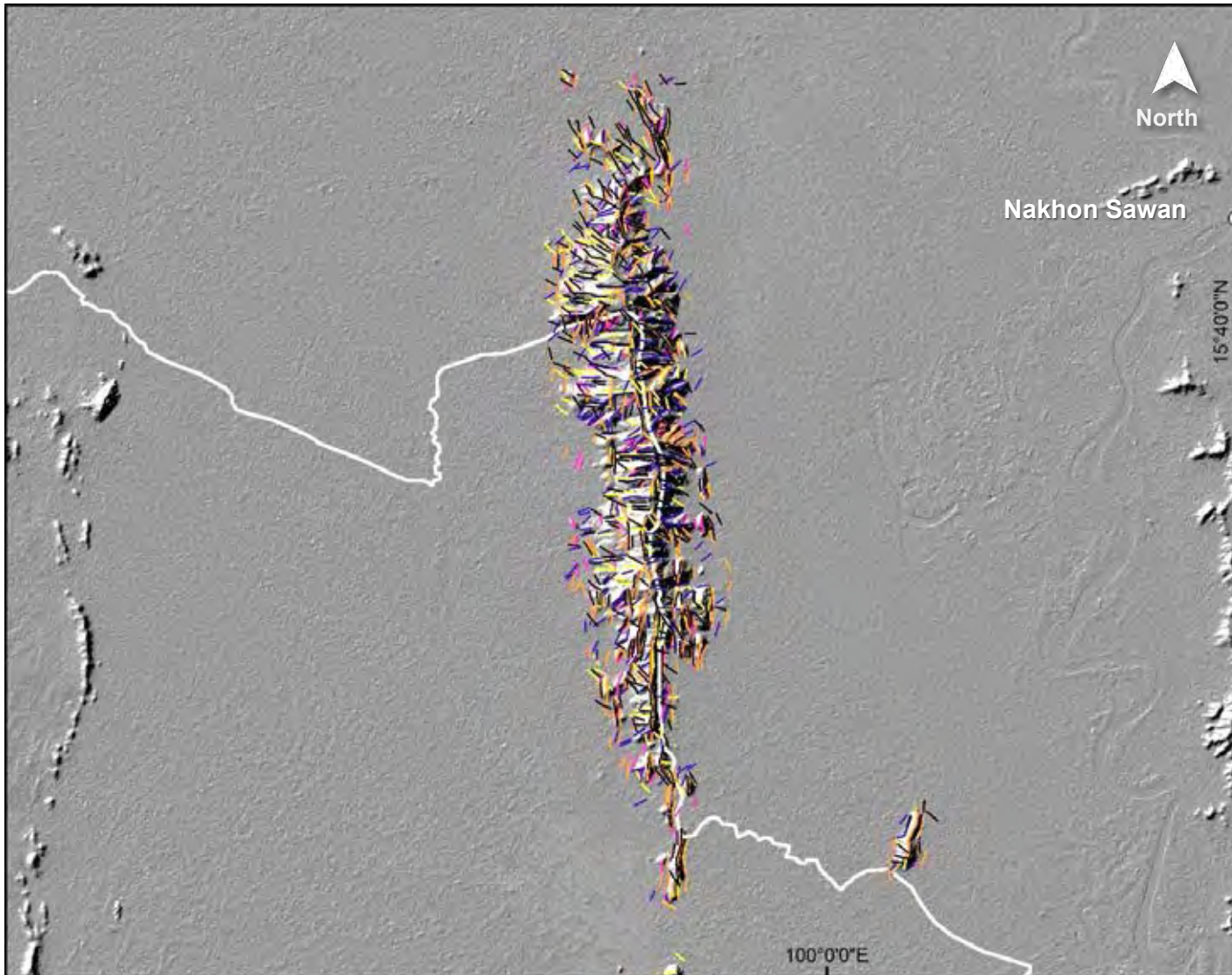


รูปที่ 4.1 แผนที่แสดงตำแหน่งหินโผล่และการแบ่งเขตสำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างแนวเส้น (กรอบสีแดง) บริเวณจังหวัดนครสวรรค์ โดยพื้นที่ที่ 1 ครอบคลุมภูเขาหลวง อำเภอเมืองนครสวรรค์ พื้นที่ที่ 2 ครอบคลุมภูเขาทะเล เขาพระ เขาโยง เขาตะแบง อำเภอพยุหะคีรี พื้นที่ที่ 3 ครอบคลุมภูเขาหมีน เขาปอ เขาสมอบท เขาชัน เขาโกรก ไทร เขาโลมนาง เขาสอยดาว อำเภอไพศาลี พื้นที่ที่ 4 ครอบคลุมภูเขาตาคลี เขาซอนเตือ เขาขวาง เขาชายธง เขาลูกโกลน เขารอยเสือ อำเภอตาคลี และพื้นที่ที่ 5 ครอบคลุมภูเขาพุซงโค เขาคอก เขาพุลำไย เขาตะบองนาค เขาน้ำวัง เขาอีหลัก เขาหลักชัย เขากา เขาระเจียว เขาระทิง อำเภอตากฟ้า

4.2.1 ผลการวิเคราะห์แนวเส้นพื้นที่ 1 บริเวณเขาหลวง อำเภอเมืองนครสวรรค์

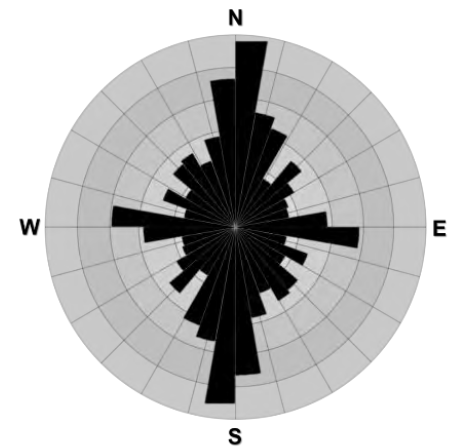
แผนที่แนวเส้นในพื้นที่บริเวณเขาหลวง อำเภอเมืองนครสวรรค์ (รูปที่ 4.2) ประกอบด้วยข้อมูลเส้นทั้งหมด 1,419 ข้อมูล มีการกระจายตัวตลอดตามแนวเขาหลวง ทิศทางการวางตัวของเส้นส่วนใหญ่อยู่ในแนวเหนือ-ใต้มีจำนวนแนวเส้นที่จากการวิเคราะห์ในแนวนนี้เป็นจำนวน 170 เส้นหรือคิดเป็น 12 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนข้อมูลเส้นที่วิเคราะห์ได้ทั้งหมด โดยมีช่วงการวางตัวของเส้นตั้งแต่ 0-10 องศา ซึ่งสอดคล้องกับแนวการวางตัวของเขาหลวง และมีทิศทางรองในแนวตะวันออก-ตะวันตกได้จำนวนแนวเส้นที่ได้จากการวิเคราะห์แนวนในแนวนนี้เป็นจำนวน 100 เส้นหรือคิดเป็น 7 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนข้อมูลแนวเส้นที่วิเคราะห์ได้ทั้งหมด โดยมีช่วงการวางตัวของเส้นตั้งแต่ 90-100 องศา

จากแผนที่แสดงความหนาแน่นของแนวเส้น (รูปที่ 4.3) พบว่าโครงสร้างแนวเส้นที่ได้จากการวิเคราะห์แนวเส้นของบริเวณเขาหลวง อำเภอเมืองนครสวรรค์ โดยมีการไล่ระดับความหนาแน่นจาก 1 ถึง 24.4 เส้นต่อตารางกิโลเมตร โดยจำนวนข้อมูลแนวเส้นน้อยแสดงสีฟ้าไปจนถึงสีแดงที่มีความหนาแน่นของจำนวนข้อมูลแนวเส้นมาก ซึ่งบริเวณที่แสดงความหนาแน่นของจำนวนแนวเส้นที่มากจะแสดงบริเวณตามสันเขา ร่องระหว่างสันเขา หรือขอบของแนวเขาที่แสดงลักษณะดังกล่าวที่ชัดเจน โดยแสดงเป็นพื้นที่ของสีแดงทางตอนใต้ และตอนกลางของเขาหลวง และความหนาแน่นของจำนวนแนวเส้นที่น้อย จะแสดงลักษณะที่ปรากฏเป็นพื้นราบ พื้นที่ระหว่างร่องเขา หรือหน้าผาของภูเขาโดยแสดงเป็นพื้นที่ของสีฟ้า

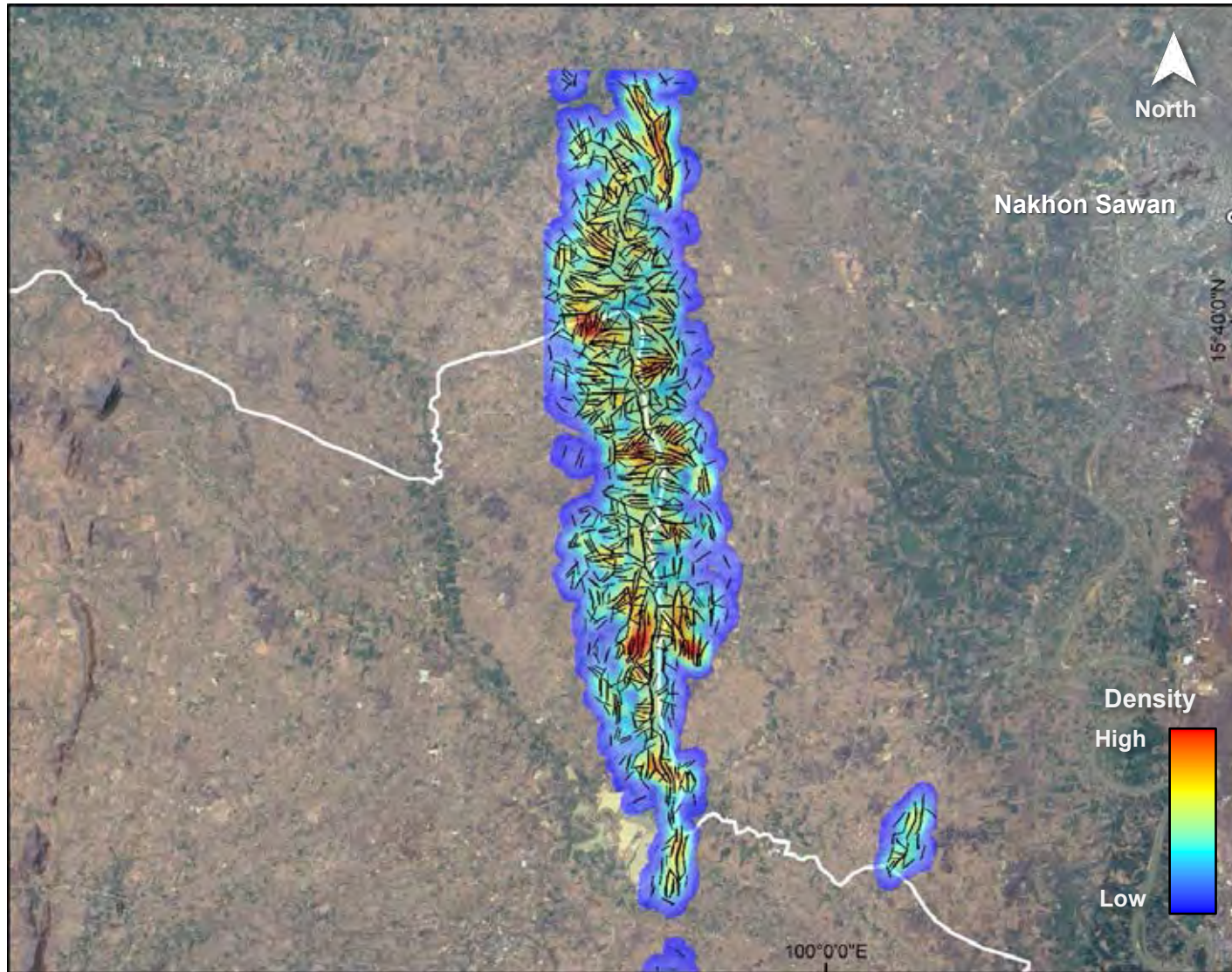


รูปที่ 4.2 (ซ้าย) แผนที่แสดงแนวเส้นตรงของพื้นที่บริเวณที่ 1 โดยเส้นสีดำ สีส้ม สีน้ำเงิน สีเหลือง สีชมพู สีแดง เป็นผลที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพที่มีทิศทางของแสงจากมุม 45 90 135 180 225 315 องศา ตามลำดับ โดยตำแหน่งของแผนที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.1

(ล่าง) แผนภาพรูปดอกกุหลาบแสดงทิศทางของแนวเส้นหลักในทิศทางเหนือ-ใต้ ของข้อมูลจำนวน 1,419 เส้น



Azimuth (degree) — 45 — 90 — 135 — 225 — 270 — 315

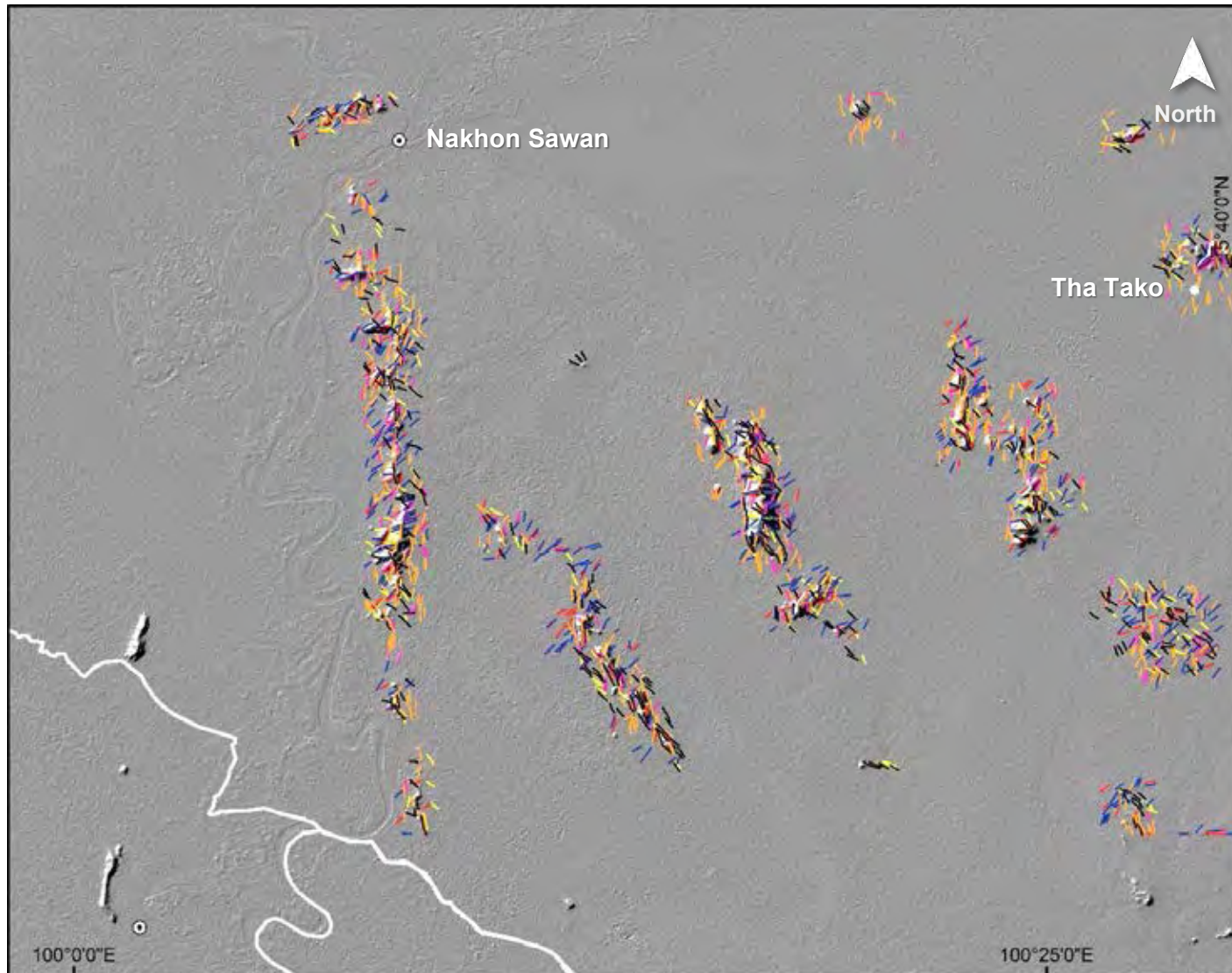


รูปที่ 4.3 แผนที่แสดงความหนาแน่นแนวเส้น (linearment density map) ของพื้นที่บริเวณที่ 1 ซ้อนทับกับภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ภาพสีผสมเท็จ Band 6 5 4 โดยสีฟ้าแสดงถึงจุดที่มีความหนาแน่นของจำนวนข้อมูลแนวเส้นน้อยและสีแดงแสดงถึงจุดที่มีความหนาแน่นของจำนวนข้อมูลแนวเส้นมาก ตำแหน่งของแผนที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.1

4.2.2 ผลการวิเคราะห์แนวเส้นพื้นที่ 2 บริเวณเขาทะเลเขาพระ เขาโยง เขาตะแบง อำเภอพยุหะคีรี และอำเภอท่าตะโก

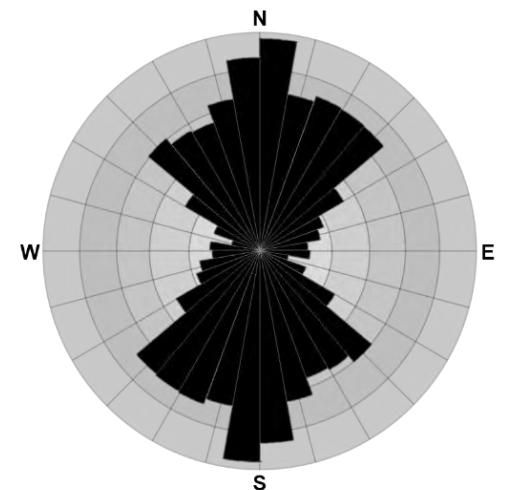
แผนที่แนวเส้นในพื้นที่บริเวณเขาทะเลเขาพระ เขาโยง เขาตะแบง อำเภอพยุหะคีรี อำเภอท่าตะโก (รูปที่ 4.4) ประกอบด้วยข้อมูลเส้นทั้งหมด 1,897 ข้อมูล มีการกระจายตัวตลอดตามแนวเขาหลวง ทิศทางการวางตัวของเส้นส่วนใหญ่อยู่ในแนวเหนือ-ใต้เป็นจำนวน 190 เส้นซึ่งคิดเป็น 10 เปอร์เซ็นต์ ของจำนวนข้อมูลแนวเส้นที่วิเคราะห์ได้ โดยมีช่วงการวางตัวของเส้นตั้งแต่ 0-10 องศา ซึ่งสอดคล้องกับแนวการวางตัวของเขาทะเลเขาโยง และมีทิศทางรองในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้คิดเป็นจำนวน 95 เส้นซึ่งคิดเป็น 5 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนข้อมูลแนวเส้นที่วิเคราะห์ โดยมีช่วงการวางตัวของเส้นตั้งแต่ 20-50 องศา

จากแผนที่แสดงความหนาแน่นของแนวเส้น (รูปที่ 4.5) พบว่าโครงสร้างแนวเส้นที่ได้จากการวิเคราะห์แนวเส้นของบริเวณเขาทะเลเขาพระ เขาโยง เขาตะแบง อำเภอพยุหะคีรี และอำเภอท่าตะโก โดยมีการไล่ระดับความหนาแน่นจาก 1 ถึง 9.8 เส้นต่อตารางกิโลเมตร โดยจำนวนข้อมูลแนวเส้นน้อยแสดงสีฟ้าไปจนถึงสีแดงที่มีความหนาแน่นของจำนวนข้อมูลแนวเส้นมาก ซึ่งบริเวณที่แสดงความหนาแน่นของจำนวนแนวเส้นที่มากจะแสดงบริเวณตามสันเขา ร่องระหว่างสันเขา หรือขอบของแนวเขาที่แสดงลักษณะดังกล่าวที่ชัดเจน โดยแสดงพื้นที่ของสีแดงและการกระจายตัวให้เห็นชัดเจนบริเวณเขาทะเลเขาตะแบงของบริเวณเขาโยง และบริเวณของกลุ่มเขาถ้ำแตก เขาถ้ำสิงห์ เขาถ้ำเพดานและเขาถ้ำค้อยที่วางตัวอยู่ระหว่างเขาทะเลเขาโยง และความหนาแน่นของจำนวนแนวเส้นที่มีน้อย จะแสดงลักษณะที่ปรากฏเป็นพื้นราบ หรือเนินเขาลูกเล็กที่ไม่แสดงแนวเส้นที่ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ซึ่งแสดงเป็นบริเวณพื้นที่ของสีฟ้า

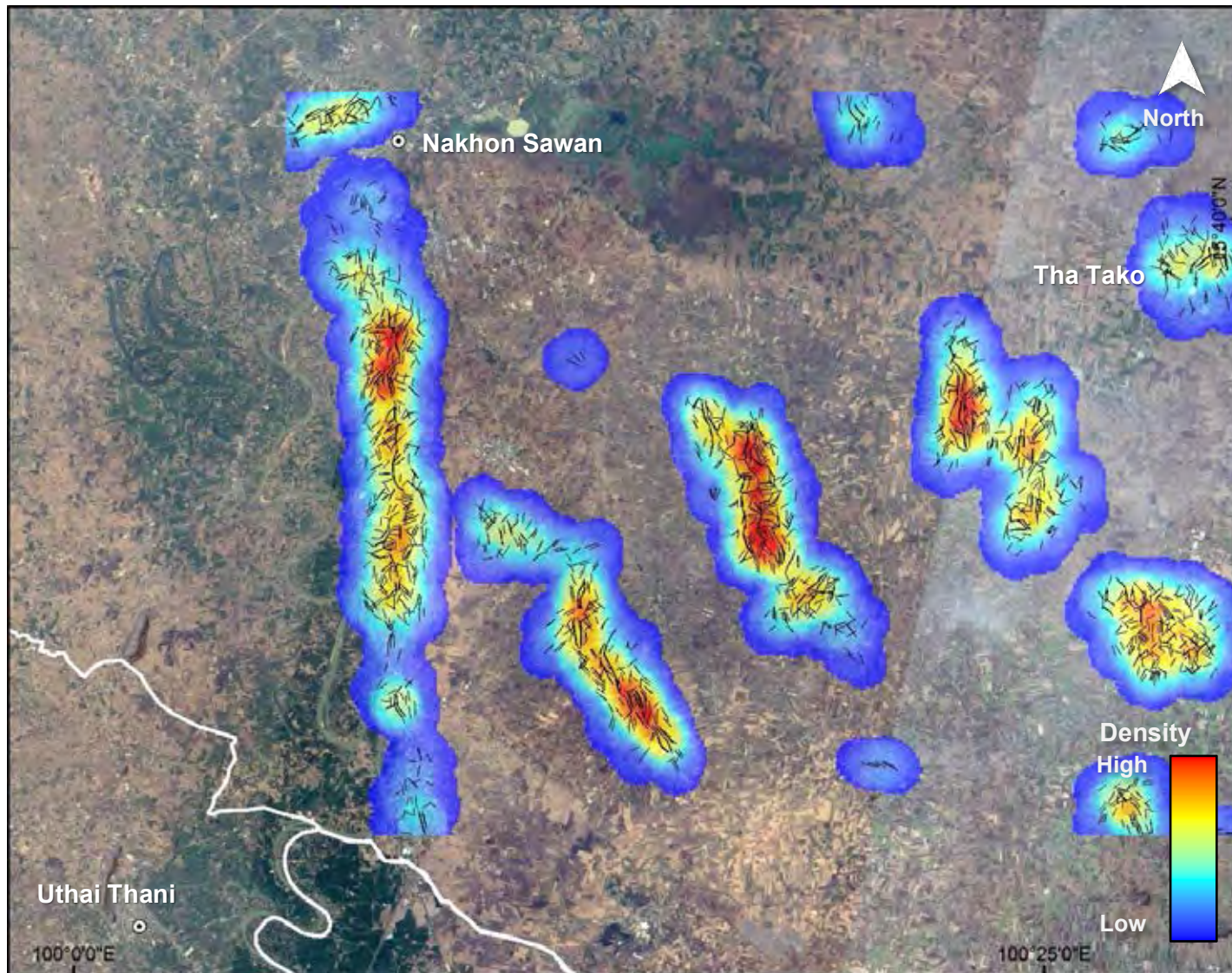


รูปที่ 4.4 (ซ้าย) แผนที่แสดงแนวเส้นตรงของพื้นที่บริเวณที่ 2 โดยเส้นสีดำ สีส้ม สีน้ำเงิน สีเหลือง สีชมพู สีแดง เป็นผลที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพที่มีทิศทางของแสงจากมุม 45 90 135 180 225 315 องศา ตามลำดับ โดยตำแหน่งของแผนที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.1

(ล่าง) แผนภาพรูปดอกกุหลาบแสดงทิศทางของแนวเส้นหลักในทิศทางเหนือ-ใต้ ของข้อมูลจำนวน 1,897 เส้น



Azimuth (degree) — 45 — 90 — 135 — 225 — 270 — 315

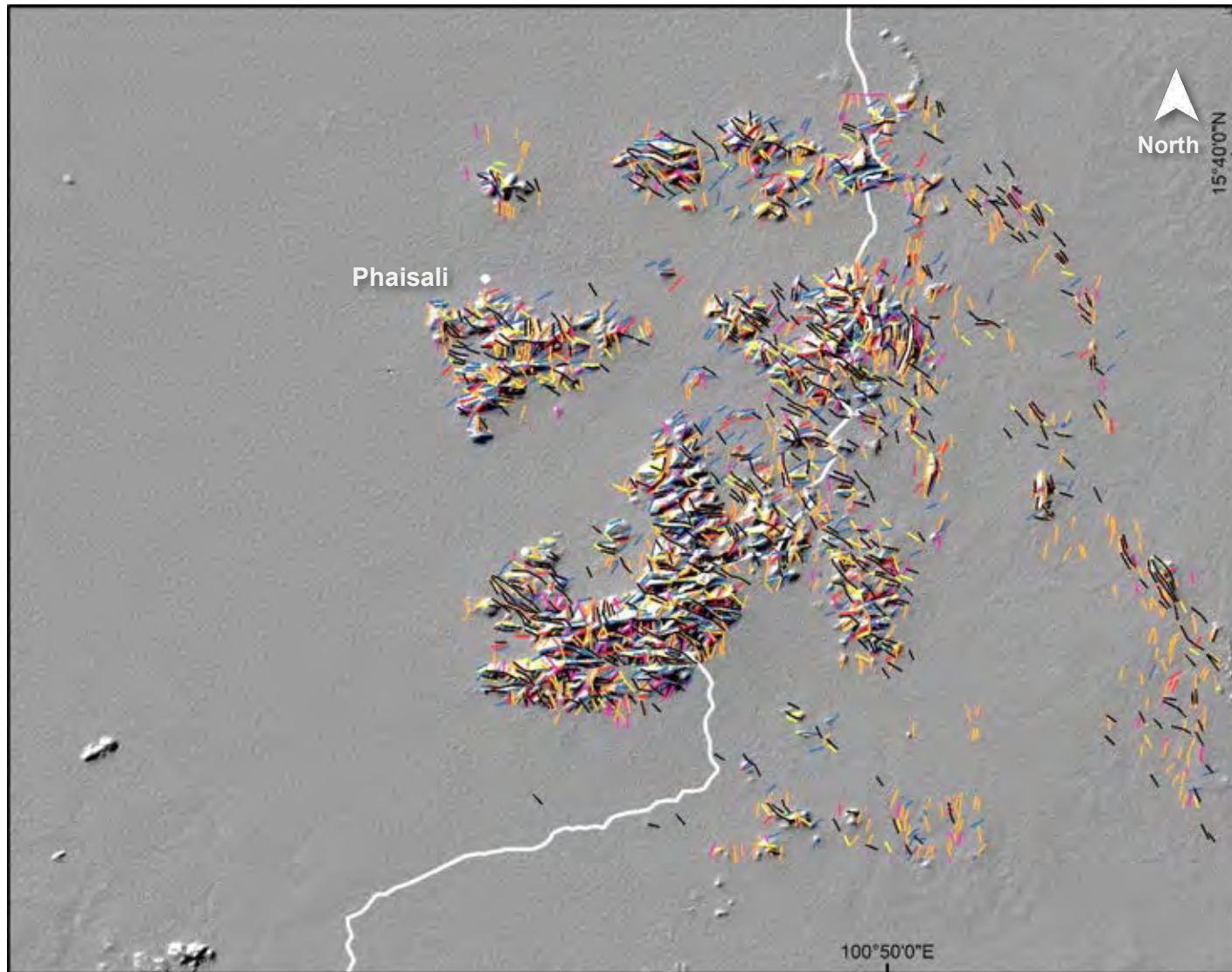


รูปที่ 4.5 แผนที่แสดงความหนาแน่นแนวเส้น (lineament density map) ของพื้นที่บริเวณที่ 2 ซ้อนทับกับภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ภาพสีผสมเท็จ Band 6 5 4 โดยสีฟ้าแสดงถึงจุดที่มีความหนาแน่นของจำนวนข้อมูลแนวเส้นน้อยและสีแดงแสดงถึงจุดที่มีความหนาแน่นของจำนวนข้อมูลแนวเส้นมาก ตำแหน่งของแผนที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.1

4.2.3 ผลการวิเคราะห์แนวเส้นพื้นที่ 3 บริเวณเขาหมื่น เขาปอ เขาสมอบท เขาชัน เขาโกรกไทร เขาโลมนาง เขาสอยดาว อำเภอไพศาลี

แผนที่แนวเส้นในพื้นที่บริเวณเขาหมื่น เขาปอ เขาสมอบท เขาชัน เขาโกรกไทร เขาโลมนาง เขาสอยดาว อำเภอไพศาลี (รูปที่ 4.6) ประกอบด้วยข้อมูลเส้นทั้งหมด 3,096 ข้อมูล มีการกระจายตัวตลอดตามแนว แต่มีความหลากหลายของทิศทาง แต่สามารถบอกถึงทิศทางแนวหลักของแนวเส้นในทิศทางเหนือ-ใต้ ทิศทางการวางตัวของเส้นเป็นจำนวน 243 เส้นซึ่งคิดเป็น 8 เปอร์เซ็นต์โดยมีช่วงการวางตัวของเส้นตั้งแต่ 0-10 องศา และมีทิศทางรองในแนวตะวันออก-ตะวันตกทิศทางการวางตัวของเส้นเป็นจำนวน 220 เส้นซึ่งคิดเป็น 7 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนข้อมูลแนวเส้นที่วิเคราะห์ โดยมีช่วงการวางตัวของเส้นตั้งแต่ 90-100 องศา

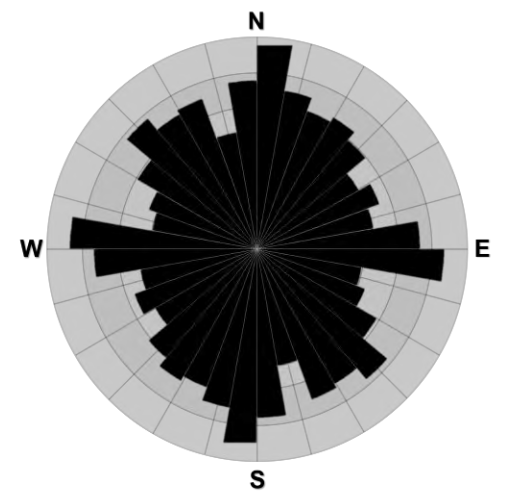
จากแผนที่แสดงความหนาแน่นของแนวเส้น (รูปที่ 4.7) พบว่าโครงสร้างแนวเส้นที่ได้จากการวิเคราะห์แนวเส้นของบริเวณเขาหมื่น เขาปอ เขาสมอบท เขาชัน เขาโกรกไทร เขาโลมนาง เขาสอยดาว อำเภอไพศาลี โดยมีการไล่ระดับความหนาแน่นจาก 1 ถึง 18.2 เส้นต่อตารางกิโลเมตร โดยจำนวนข้อมูลแนวเส้นน้อยแสดงสีฟ้าไปจนถึงสีแดงที่มีความหนาแน่นของจำนวนข้อมูลแนวเส้นมาก ซึ่งบริเวณที่แสดงความหนาแน่นของจำนวนแนวเส้นที่มากจะแสดงบริเวณตามสันเขา ร่องระหว่างสันเขา หรือขอบของแนวเขาที่แสดงลักษณะดังกล่าวที่ชัดเจน โดยแสดงเป็นพื้นที่ของสีแดงในพื้นที่นี้กระจายอยู่บริเวณจุดเขาสอยดาว เขาชัน ตามแนวเส้นที่เกิดขึ้นบนเขาที่สามารถสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน โดยมีทิศทางที่เห็นประมาณแนวตะวันออก-ตะวันตก และความหนาแน่นของจำนวนแนวเส้นที่มีน้อย จะแสดงลักษณะที่ปรากฏเป็นพื้นราบ ที่ราบระหว่างสันเขา หรือหน้าผาของภูเขา และภูเขาเนินลูกเล็กที่ไม่มีการแสดงลักษณะของแนวเส้นบนเขาโดยแสดงเป็นพื้นที่ของสีฟ้า

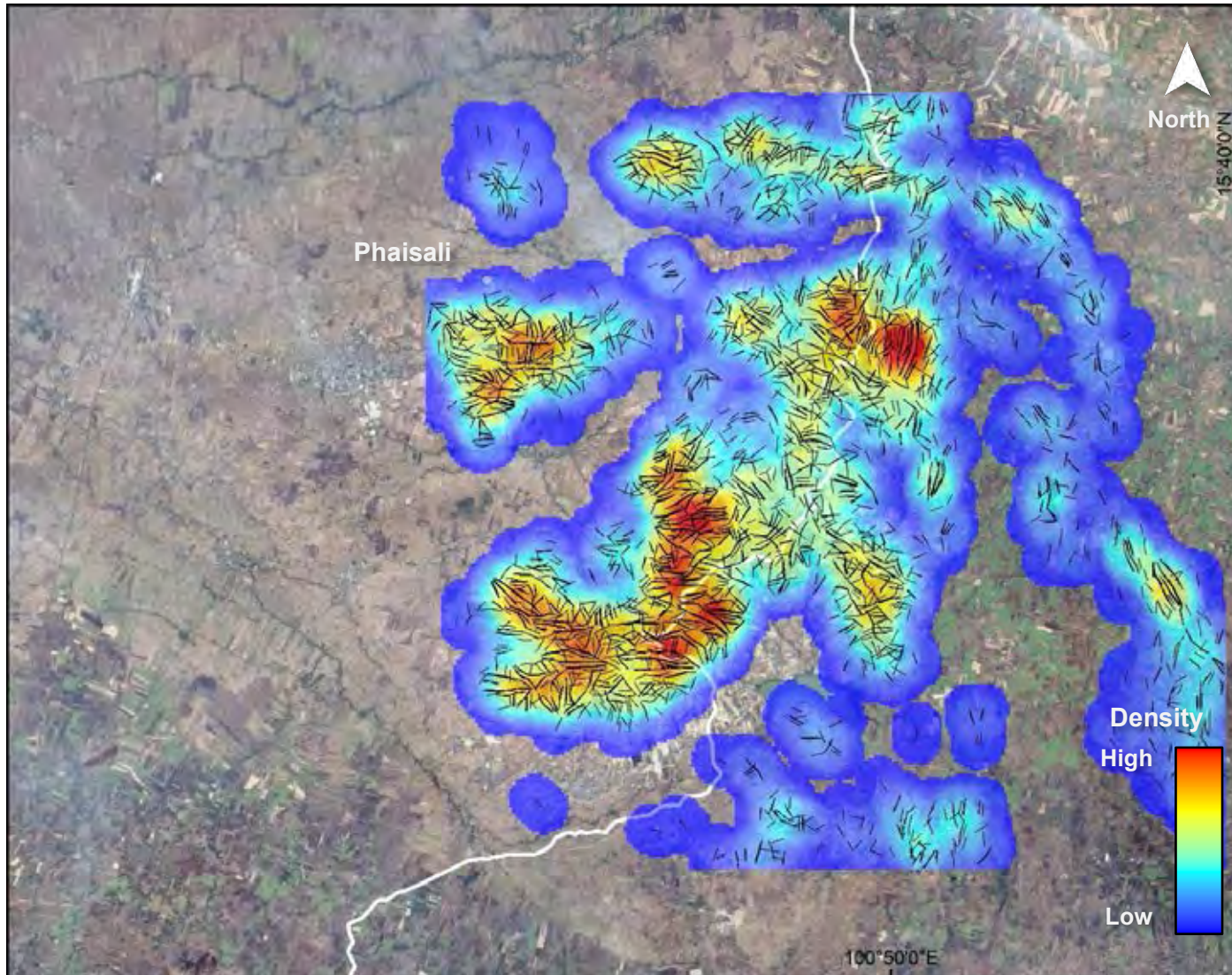


Azimuth (degree) — 45 — 90 — 135 — 225 — 270 — 315

รูปที่ 4.6 (ซ้าย) แผนที่แสดงแนวเส้นตรงของพื้นที่บริเวณที่ 3 โดยเส้นสีดำ สีส้ม สีน้ำเงิน สีเหลือง สีชมพู สีแดง เป็นผลที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพที่มีทิศทางของแสงจากมุม 45 90 135 180 225 315 องศา ตามลำดับ โดยตำแหน่งของแผนที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.1

(ล่าง) แผนภาพรูปดอกกุหลาบแสดงทิศทางของแนวเส้นหลักในทิศทางเหนือ-ใต้ ของข้อมูลจำนวน 3,096 เส้น



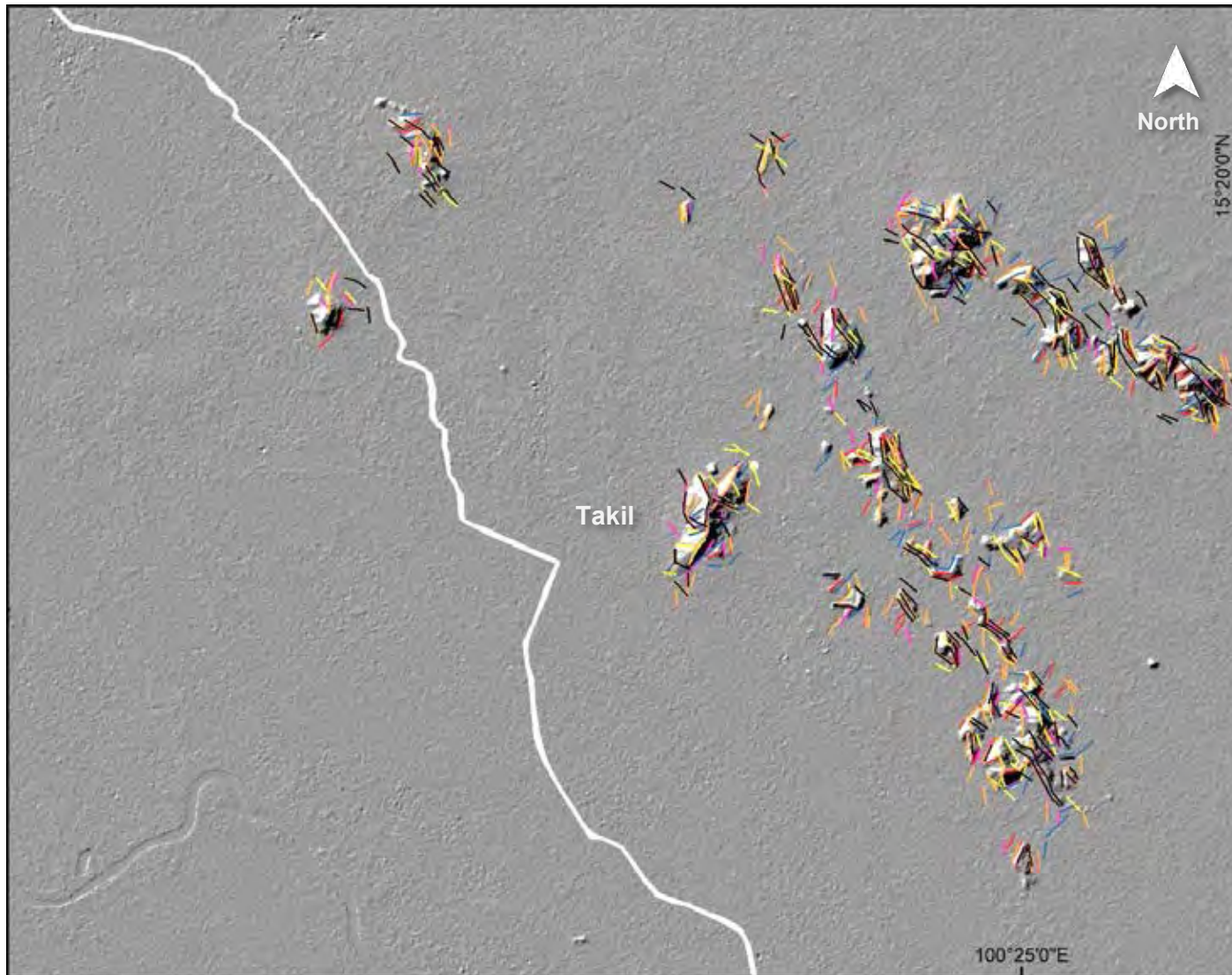


รูปที่ 4.7 แผนที่แสดงความหนาแน่น
แนวเส้น (linearment density map)
ของพื้นที่บริเวณที่ 3 ซ้อนทับกับ
ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ภาพสี
ผสมเท็จ Band 6 5 4 โดยสีฟ้าแสดง
ถึงจุดที่มีความหนาแน่นของจำนวน
ข้อมูลแนวเส้นน้อยและสีแดงแสดงถึงจุด
ที่มีความหนาแน่นของจำนวนข้อมูลแนว
เส้นมาก ตำแหน่งของแผนที่แสดงไว้ใน
รูปที่ 4.1

4.2.4 ผลการวิเคราะห์แนวเส้นพื้นที่ 4 บริเวณเขาดาคี เขาซอนเตือ เขาขวาง เขาชายธง เขาลูกโกลน เขารอยเสือ อำเภอเขาดาคี

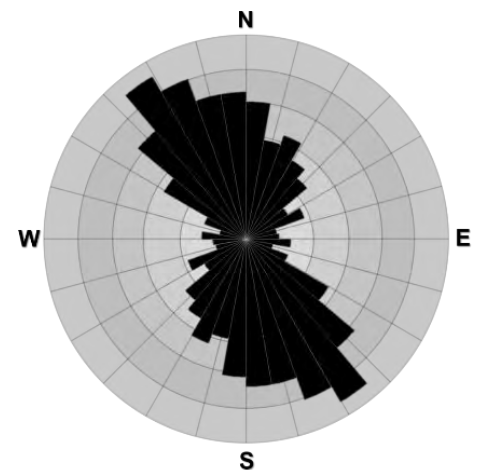
แผนที่แนวเส้นในพื้นที่บริเวณเขาดาคี เขาซอนเตือ เขาขวาง เขาชายธง เขาลูกโกลน เขารอยเสือ อำเภอเขาดาคี (รูปที่ 4.8) ประกอบด้วยข้อมูลเส้นทั้งหมด 877 ข้อมูล มีการกระจายตัวตลอดตามแนวเขาดาคี เขาซอนเตือ เขาขวาง และเขาลูกโกลนมีพบทิศทางหลักของแนวเส้นในทิศทางตะวันตกเฉียงเหนือ – ตะวันออกเฉียงใต้ จำนวนแนวเส้นที่จากการวิเคราะห์ในแนวนี้เป็นจำนวน 97 เส้นหรือคิดเป็น 11 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนข้อมูลเส้นที่วิเคราะห์ได้ทั้งหมด โดยมีช่วงการวางตัวของเส้นตั้งแต่ 320-330 องศา

จากแผนที่แสดงความหนาแน่นของแนวเส้น (รูปที่ 4.9) พบว่าโครงสร้างแนวเส้นที่ได้จากการวิเคราะห์แนวเส้นของบริเวณเขาดาคี เขาซอนเตือ เขาขวาง เขาชายธง เขาลูกโกลน เขารอยเสือ อำเภอเขาดาคีโดยมีการไล่ระดับความหนาแน่นจาก 1 ถึง 14.7 เส้นต่อตารางกิโลเมตร โดยจำนวนข้อมูลแนวเส้นน้อยแสดงสีฟ้าไปจนถึงสีแดงที่มีความหนาแน่นของจำนวนข้อมูลแนวเส้นมาก ซึ่งบริเวณที่แสดงความหนาแน่นของจำนวนแนวเส้นที่มากจะแสดงบริเวณตามสันเขา ร่องระหว่างสันเขา หรือขอบของแนวเขาที่แสดงลักษณะดังกล่าวที่ชัดเจน โดยแสดงเป็นพื้นที่ของสีแดงในพื้นที่นี้กระจายอยู่บริเวณจุดเขาดาคี เขาลูกโกลน เขารอยเสือ ตามแนวเส้นที่เกิดขึ้นบนเขา และความหนาแน่นของจำนวนแนวเส้นที่มีน้อย จะแสดงลักษณะที่ปรากฏเป็นพื้นราบ หรือหน้าผาของภูเขา และเนินเขาลูกเล็กที่ไม่มีการแสดงลักษณะของแนวเส้นบนเขาโดยแสดงเป็นพื้นที่ของสีฟ้า

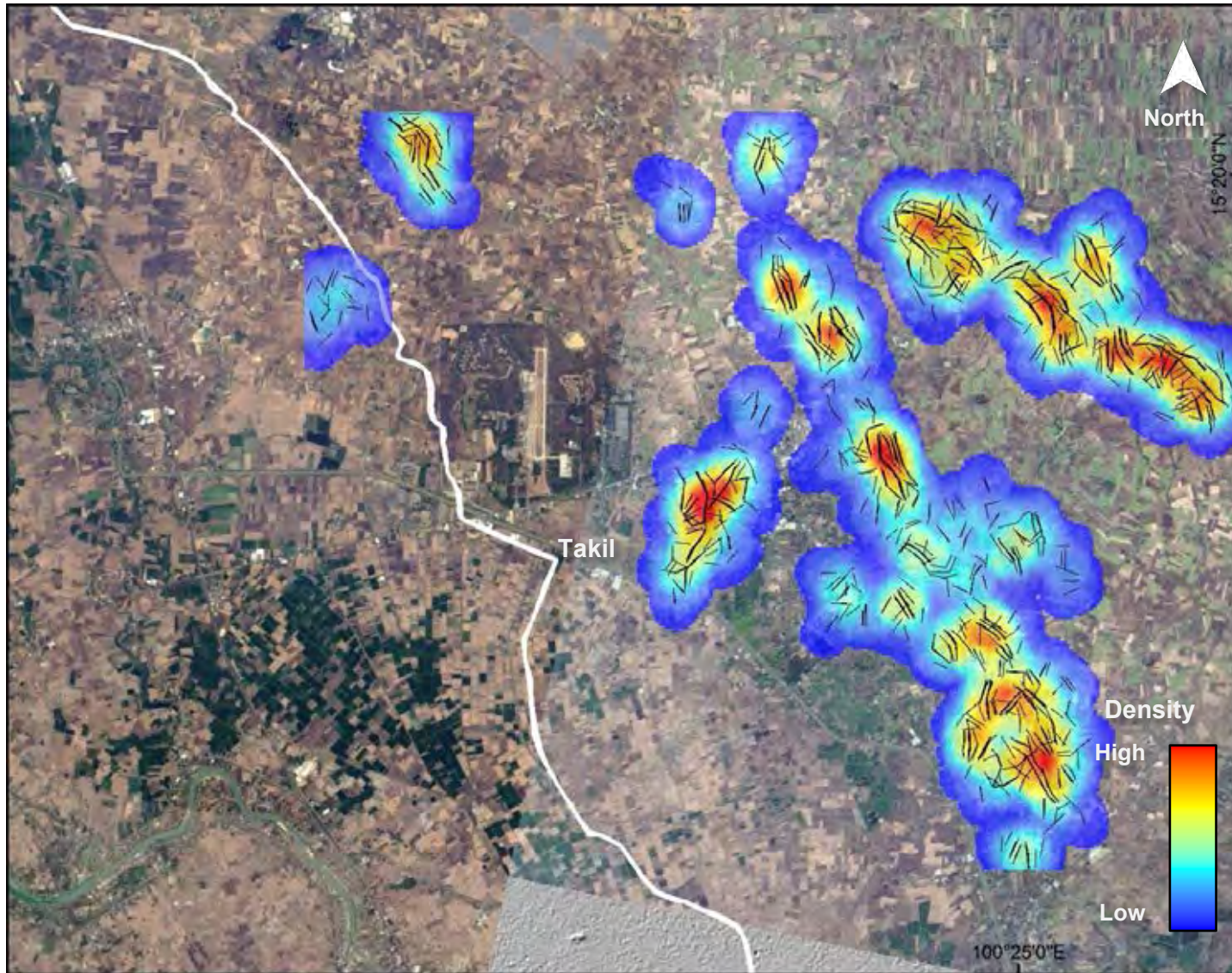


รูปที่ 4.8 (ซ้าย) แผนที่แสดงแนวเส้นตรงของพื้นที่บริเวณที่ 4 โดยเส้นสีดำ สีส้ม สีน้ำเงิน สีเหลือง สีชมพู สีแดง เป็นผลที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพที่มีทิศทางของแสงจากมุม 45 90 135 180 225 315 องศา ตามลำดับ โดยตำแหน่งของแผนที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.1

(ล่าง) แผนภาพรูปดอกกุหลาบแสดงทิศทางของแนวเส้นหลักในทิศทางเหนือ-ใต้ ของข้อมูลจำนวน 877 เส้น



Azimuth (degree) — 45 — 90 — 135 — 225 — 270 — 315

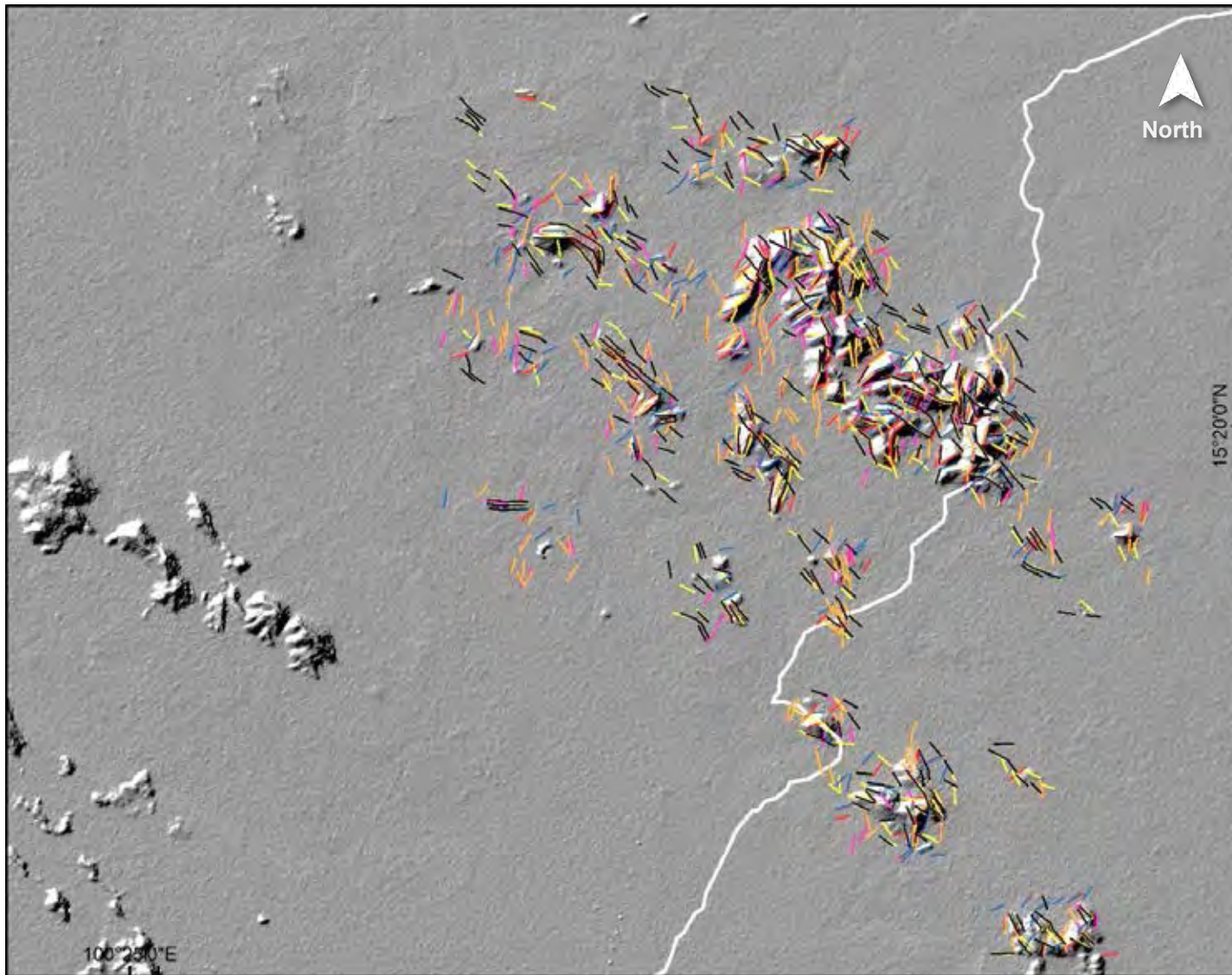


รูปที่ 4.9 แผนที่แสดงความหนาแน่นแนวเส้น (lineament density map) ของพื้นที่บริเวณที่ 4 ซ้อนทับกับภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ภาพสีผสมเท็จ Band 6 5 4 โดยสีฟ้าแสดงถึงจุดที่มีความหนาแน่นของจำนวนข้อมูลแนวเส้นน้อยและสีแดงแสดงถึงจุดที่มีความหนาแน่นของจำนวนข้อมูลแนวเส้นมาก ตำแหน่งของแผนที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.1

4.2.5 ผลการวิเคราะห์แนวเส้นพื้นที่ 5 บริเวณเขาพุซงโค เขาคอก เขาพุลาไย เขาตะบองนาค เขาน้ำว้าง เขาอีหลัก เขาหลักชัย เขากา เขาระเจียว เขาระทิง อำเภอดงพิก

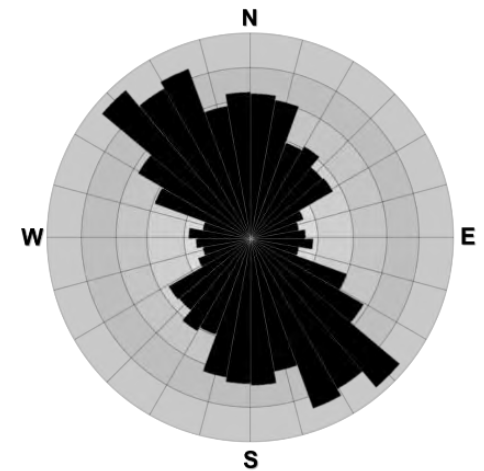
แผนที่แนวเส้นในพื้นที่บริเวณเขาพุซงโค เขาคอก เขาพุลาไย เขาตะบองนาค เขาน้ำว้าง เขาอีหลัก เขาหลักชัย เขากา เขาระเจียว เขาระทิง อำเภอดงพิก (รูปที่ 4.10) ประกอบด้วยข้อมูลเส้นทั้งหมด 1,361 ข้อมูล มีการกระจายตัวตลอดตามแนวเขาตาคลี เขาซอนเตือ เขาขวาง และเขาลูกโกสนมีทิศทางหลักของแนวเส้นในทิศทางตะวันตกเฉียงเหนือ – ตะวันออกเฉียงใต้ จำนวนแนวเส้นที่จากการวิเคราะห์ในแนวนี้นี้เป็นจำนวน 97 เส้นหรือคิดเป็น 11 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนข้อมูลเส้นที่วิเคราะห์ได้ทั้งหมด โดยมีช่วงการวางตัวของเส้นตั้งแต่ 320-330 องศา

จากแผนที่แสดงความหนาแน่นของแนวเส้น (รูปที่ 4.11) พบว่าโครงสร้างแนวเส้นที่ได้จากการวิเคราะห์แนวเส้นของบริเวณเขาพุซงโค เขาคอก เขาพุลาไย เขาตะบองนาค เขาน้ำว้าง เขาอีหลัก เขาหลักชัย เขากา เขาระเจียว เขาระทิง อำเภอดงพิก โดยมีการไล่ระดับความหนาแน่นจาก 1 ถึง 18.2 เส้นต่อตารางกิโลเมตร โดยจำนวนข้อมูลแนวเส้นน้อยแสดงสีฟ้าไปจนถึงสีแดงที่มีความหนาแน่นของจำนวนข้อมูลแนวเส้นมาก ซึ่งบริเวณที่แสดงความหนาแน่นของจำนวนแนวเส้นที่มากจะแสดงบริเวณตามสันเขา ร่องระหว่างสันเขา หรือขอบของแนวเขาที่แสดงลักษณะดังกล่าวที่ชัดเจนแต่ภายในพื้นที่ 5 ของสีแดงในพื้นที่นี้มีการกระจายอยู่น้อย และแสดงการกระจายตามแนวเส้นที่เกิดขึ้นบนเขาคอก และเขาพุซงโค และความหนาแน่นของจำนวนแนวเส้นที่น้อย จะแสดงลักษณะที่ปรากฏเป็นพื้นราบระหว่างร่องเขา หรือหน้าผาของภูเขา และเนินเขาสูงเล็กที่ไม่มีการแสดงลักษณะของแนวเส้นบนเขาโดยแสดงเป็นพื้นที่ของสีฟ้า

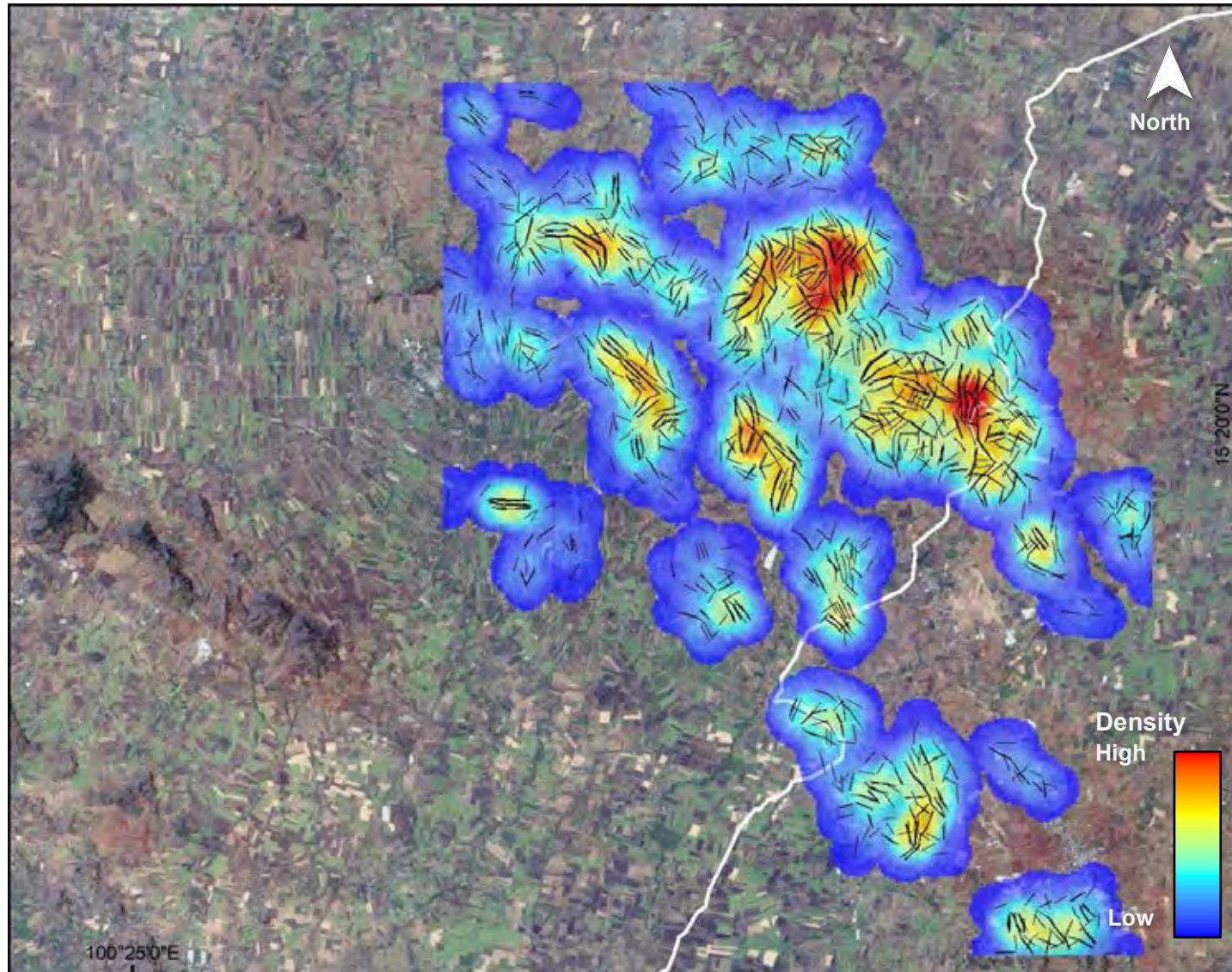


รูปที่ 4.10 (ซ้าย) แผนที่แสดงแนวเส้นตรงของพื้นที่บริเวณที่ 4 โดยเส้นสีดำ สีส้ม สีน้ำเงิน สีเหลือง สีชมพู สีแดง เป็นผลที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพที่มีทิศทางของแสงจากมุม 45 90 135 180 225 315 องศา ตามลำดับ โดยตำแหน่งของแผนที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.1

(ล่าง) แผนภาพรูปดอกกุหลาบแสดงทิศทางของแนวเส้นหลักในทิศทางเหนือ-ใต้ ของข้อมูลจำนวน 1,361 เส้น



Azimuth (degree) — 45 — 90 — 135 — 225 — 270 — 315



รูปที่ 4.11 แผนที่แสดงความหนาแน่นแนวเส้น (lineament density map) ของพื้นที่บริเวณที่ 4 ซ้อนทับกับภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ภาพสีผสมเท็จ Band 6 5 4 โดยสีฟ้าแสดงถึงจุดที่มีความหนาแน่นของจำนวนข้อมูลแนวเส้นน้อยและสีแดงแสดงถึงจุดที่มีความหนาแน่นของจำนวนข้อมูลแนวเส้นมาก ตำแหน่งของแผนที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.1

โดยข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์แนวเส้นของแต่ละพื้นที่ เมื่อมากำหนดจุดลงบนแผนภาพรูปดอกกุหลาบ เพื่อหาทิศทางหลักของแนวเส้นได้จากการวิเคราะห์แนวเส้น สามารถสรุปทิศทางหลักของแนวเส้นดังตารางที่ 4.2

ตาราง 4.2 แสดงทิศทางหลักของแนวเส้นได้จากการวิเคราะห์แนวเส้นของแต่ละพื้นที่

พื้นที่	จำนวนเส้น	ทิศทางหลักของแนวเส้น
1	1,419	เหนือ - ใต้
2	1,897	เหนือ - ใต้
3	3,096	เหนือ - ใต้ และ ตะวันออก - ตะวันตก
4	877	ตะวันตกเฉียงเหนือ - ตะวันออกเฉียงใต้
5	1,361	ตะวันตกเฉียงเหนือ - ตะวันออกเฉียงใต้

กล่าวโดยสรุปผลการศึกษาแนวเส้นที่ได้มา พื้นที่ 1 และ 2 พบแนวเส้นมีทิศทางหลักอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ พื้นที่ 3 พบแนวเส้นทิศทางหลักที่โดดเด่นใกล้เคียงกันในทิศทางเหนือ-ใต้ และ ตะวันออก-ตะวันตก พื้นที่ 4 และ 5 พบแนวเส้นมีทิศทางหลักอยู่ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ โดยแนวเส้นเหล่านี้มีแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงที่เป็นแนวโน้มของแนวเส้นที่ค่อยเปลี่ยนทิศทางจากเหนือ - ใต้ เป็นทิศทางตะวันออก - ตะวันตกจากฝั่งตะวันตกไปฝั่งตะวันออกของพื้นที่ศึกษา ซึ่งคาดว่าเป็นผลจากการมีอยู่ของกลุ่มรอยเลื่อนแม่ปิง (Mae Ping fault zone) ที่พาดผ่านพื้นที่ (Smith et al. 2007 และ Morley et al. 2007) ส่งผลทำให้แนวเส้นหรือโครงสร้างแนวเส้นที่เกิดขึ้นในพื้นที่ทั้ง 5 บริเวณออกมาในลักษณะดังกล่าว (รูปที่ 4.12) และคาดว่าแนวเส้นที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กับการธรณีแปรสัณฐานในช่วงยุคเพอร์เมียน-ไทรแอสสิก (Permian-Triassic period) ทำให้เกิดโครงสร้างแนวเหนือ - ใต้และลักษณะธรณีฐานที่เป็นสันเขา ที่สามารถสังเกตได้ในพื้นที่ที่ 1 และ 2 ซึ่งคาดเดาได้ว่า สามารถพบรอยแตกปิด (closed fracture) ในทิศทางที่ตั้งฉากกับแนวเหนือ - ใต้ และในพื้นที่ 3 คาดเดาได้ว่า สามารถพบรอยแตกเปิด (opened fracture) และในแนวเส้นทิศทางตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้นั้นสัมพันธ์กับการรอยเลื่อนแนวระดับแบบซ้ายเข้า (sinistral strike-slip fault) ของกลุ่มรอยเลื่อนแม่ปิง และคาดว่ารอยแตกที่พบเป็นแบบเฉือน (shear fracture) ทำให้คาดว่าธรณีวิทยา

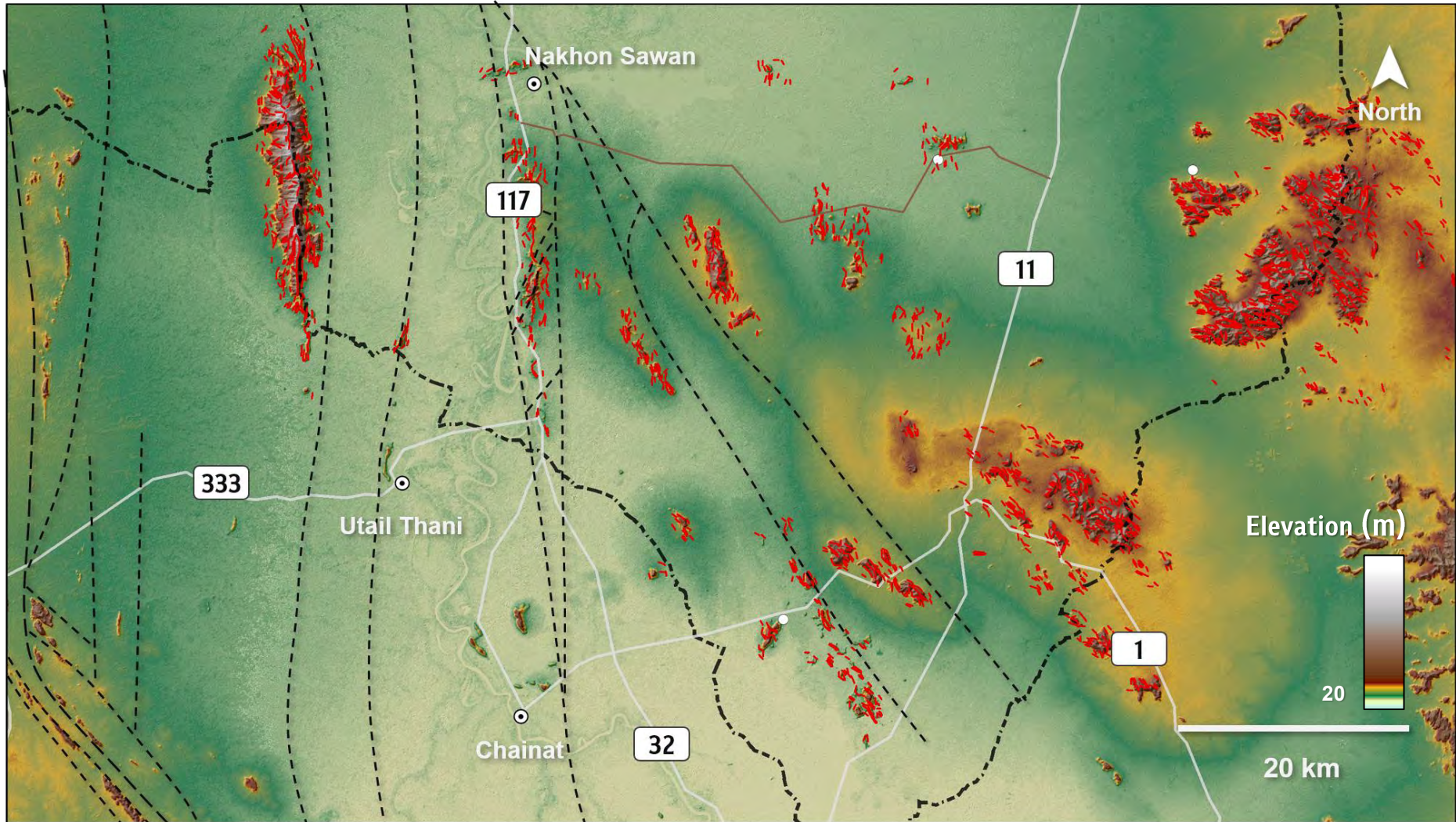
โครงสร้าง ลักษณะธรณีสัณฐานของพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นผลจากการแปรสัณฐานในช่วงนี้เป็นหลักแต่ด้วยการศึกษาส่วนนี้เป็นการศึกษาระยะไกลและขนาดใหญ่ อาจทำให้รายละเอียดขนาดเล็กที่ไม่สามารถเก็บได้จากการศึกษาก่อนออกภาคสนามนี้ขาดหายไป เหตุนี้จำเป็นต้องทำการศึกษาขั้นต่อไปในภาคสนาม

4.3 ธรณีสัณฐานจากการสำรวจระยะไกล

ส่วนธรณีสัณฐานจากการสำรวจระยะไกล ผลการศึกษาจากการปรับค่าช่วงสีที่แสดงค่าความสูงจากข้อมูลแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข และการปรับค่าในแกนความสูง (z factor) ให้มากขึ้นของข้อมูลแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลขที่แสดงค่าความสูงต่ำเชิงเงา เพื่อให้สามารถสังเกตเห็นได้ถึงลักษณะภูมิประเทศที่ได้ชัดเจนมากขึ้นจากแผนที่แสดงระดับความสูงเชิงเลข และแผนที่แสดงกัมมันตรังสีทางอากาศ (radiometric ternary map)

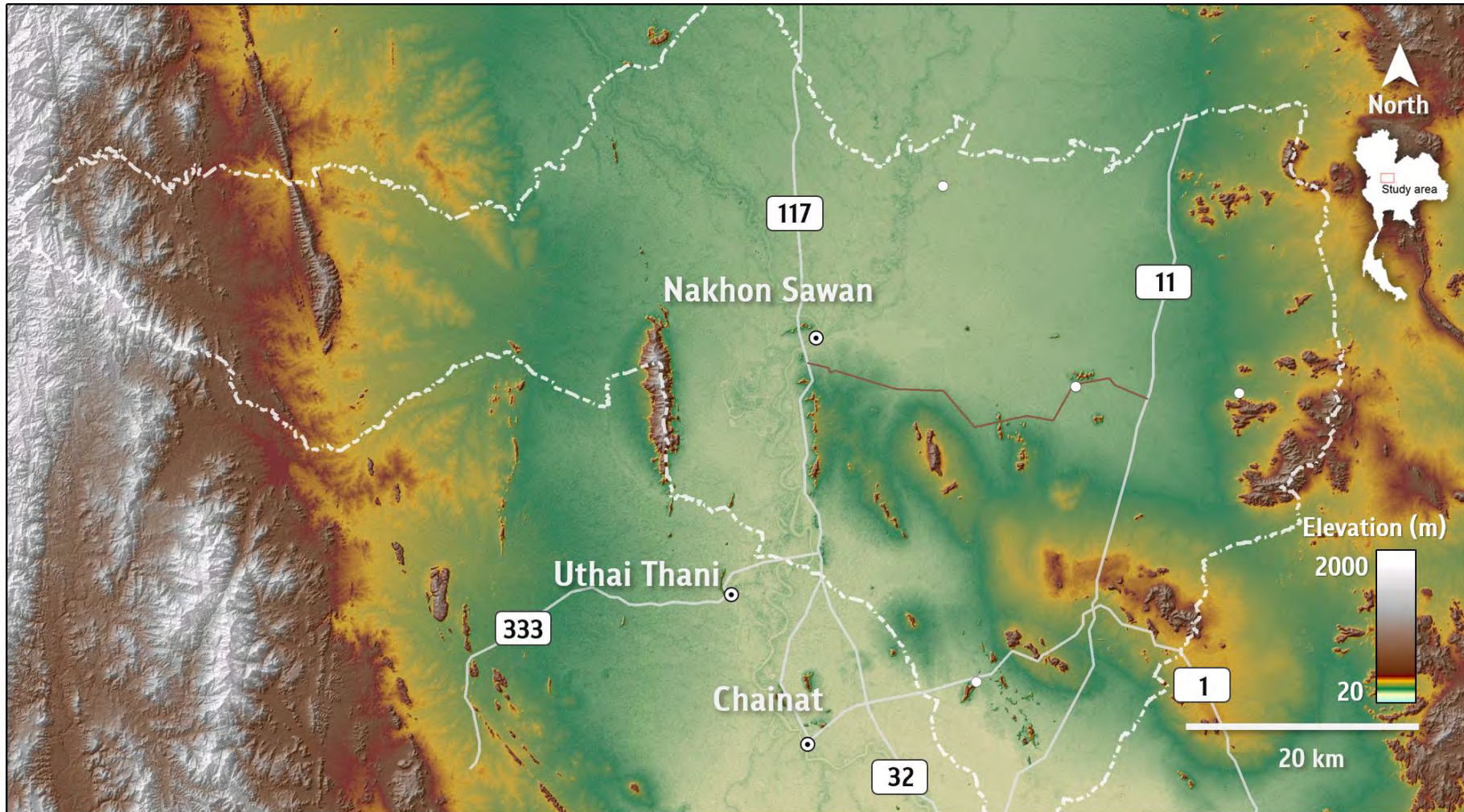
จากผลการศึกษาปรับค่าช่วงสีที่แสดงค่าความสูงของแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลขของพื้นที่ศึกษา (รูปที่ 4.13) พบว่า บริเวณพื้นที่ตอนกลาง และด้านตะวันออกเฉียงใต้ของจังหวัดนครสวรรค์ ที่มีแนวของสันเขาทางทิศทางเหนือ - ใต้ จนถึง ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ - ทิศตะวันออกเฉียงใต้ โดยรอบของแนวสันเขาดังกล่าวนั้น แสดงลักษณะรูปร่างทรงรีที่แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสีที่บ่งบอกถึงค่าของระดับความสูงกับพื้นที่ที่มีค่าของระดับความสูงต่ำ (สีเขียวอ่อน) และจากแผนที่แบบจำลองระดับความสูงเชิงเลขที่แสดงค่าความสูงต่ำเชิงเงาที่มีการปรับค่าในแกนความสูง (รูปที่ 4.14) ยิ่งทำให้เห็นว่าพื้นที่ตอนกลางและด้านตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่แสดงลักษณะสัณฐานที่ให้เห็นถึงขอบเขตขอบพื้นที่ที่ระดับความสูงแตกต่างจากพื้นที่ที่มีระดับความสูงต่ำชัดเจนมากขึ้น

อีกทั้งในตอนกลางของพื้นที่ยังแสดงการรอยกวัดแกว่งของแม่น้ำเจ้าพระยา (meandered scar) และเส้นทางน้ำในปัจจุบันของแม่น้ำเจ้าพระยา ฝั่งด้านตะวันตกของจังหวัดนครสวรรค์ที่ถัดไปจากเขาหลวง พบลักษณะธรณีสัณฐานวิทยาที่เป็นลักษณะตะกอนรูปพัด (alluvial fan) ที่พอจะบอกได้ถึงทิศทางการไหลของน้ำจากฝั่งด้านตะวันตกเข้าสู่ตอนกลางของพื้นที่ศึกษา ประกอบกับแผนที่ภาพแสดงกัมมันตรังสีทางอากาศที่แสดงการผสมกันของสี 3 สี สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน (รูปที่ 4.15) ที่โดยแต่ละสีสะท้อนค่ากัมมันตรังสีของแร่ธาตุต่างชนิดกันและยังบอกได้ถึงความเป็นหินต่างกันชนิดกัน โดยที่ สีแดงบ่งบอกถึงค่ากัมมันตรังสีของธาตุโพแทสเซียม (potassium) สีเขียวบ่งบอกถึงค่ากัมมันตรังสีของธาตุทอเรียม (thorium) และสีน้ำเงินบ่งบอกถึงค่ากัมมันตรังสีของธาตุยูเรเนียม (uranium) และด้วยรูปร่างของค่ากัมมันตรังสีแสดงนั้นมีลักษณะที่เป็นรูปร่างคล้ายกับตะกอนรูปพัด เช่นเดียวกัน (รูปที่ 4.16)

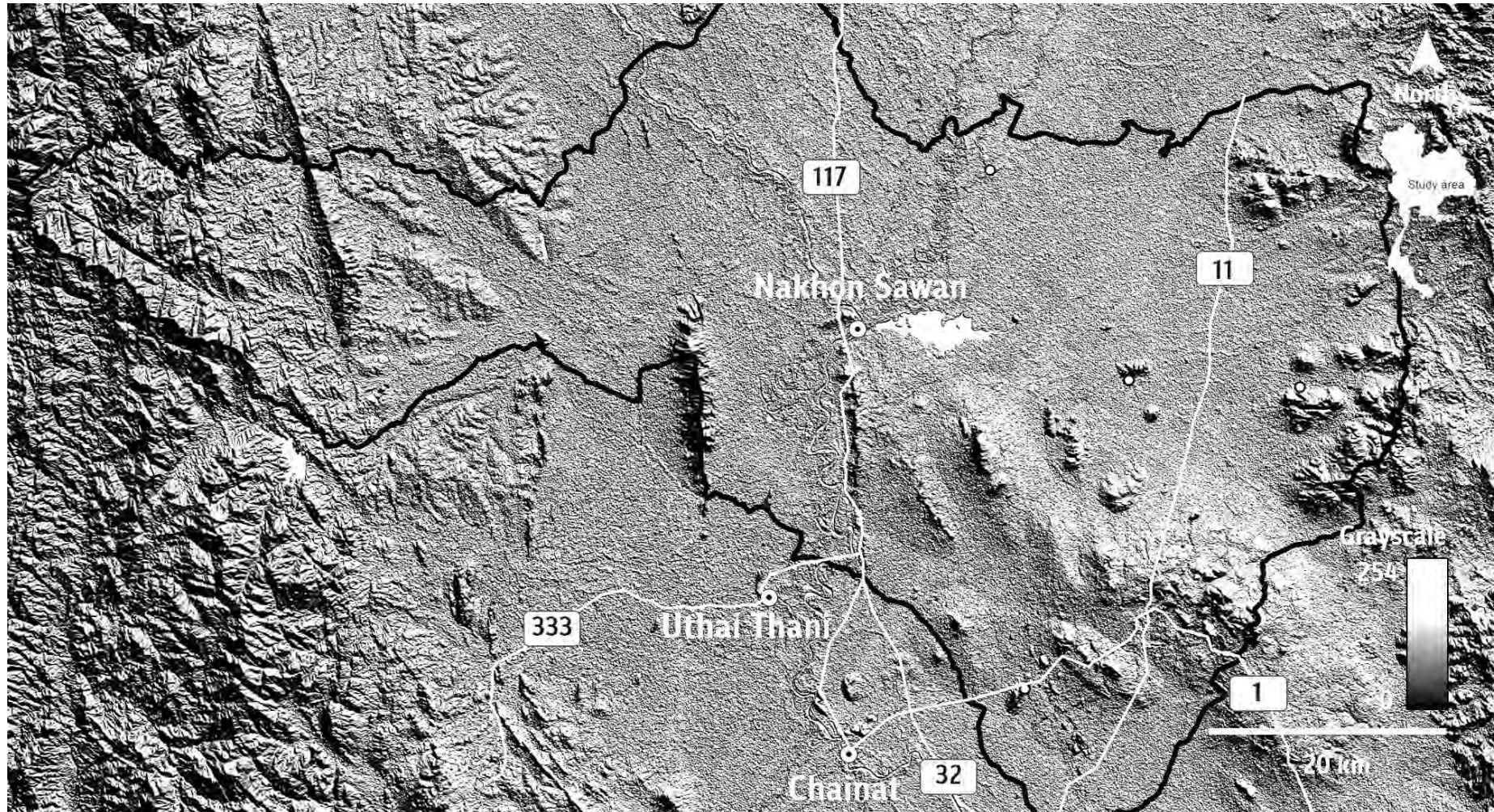


รูปที่ 4.12 แผนที่แสดงแนวเส้น โครงสร้างแนวเส้น (สีแดง) ที่ได้จากการวิเคราะห์ของพื้นที่ทั้ง 5 บริเวณและกลุ่มรอยเลื่อนแมงป่องที่พาดผ่านพื้นที่ทั้ง 5 บริเวณ (เส้นประ)

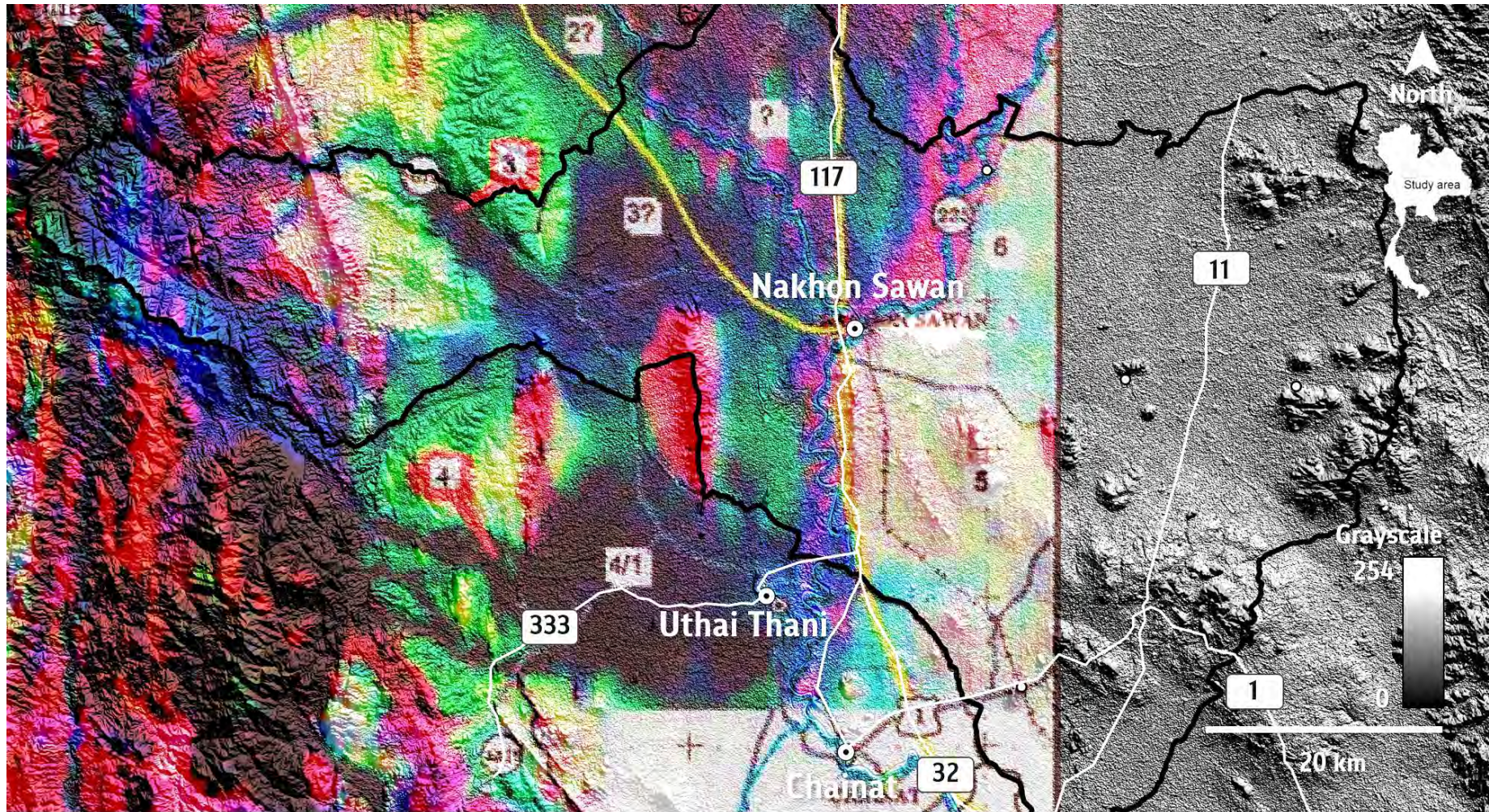
(ดัดแปลงจาก Smith et al. 2007)



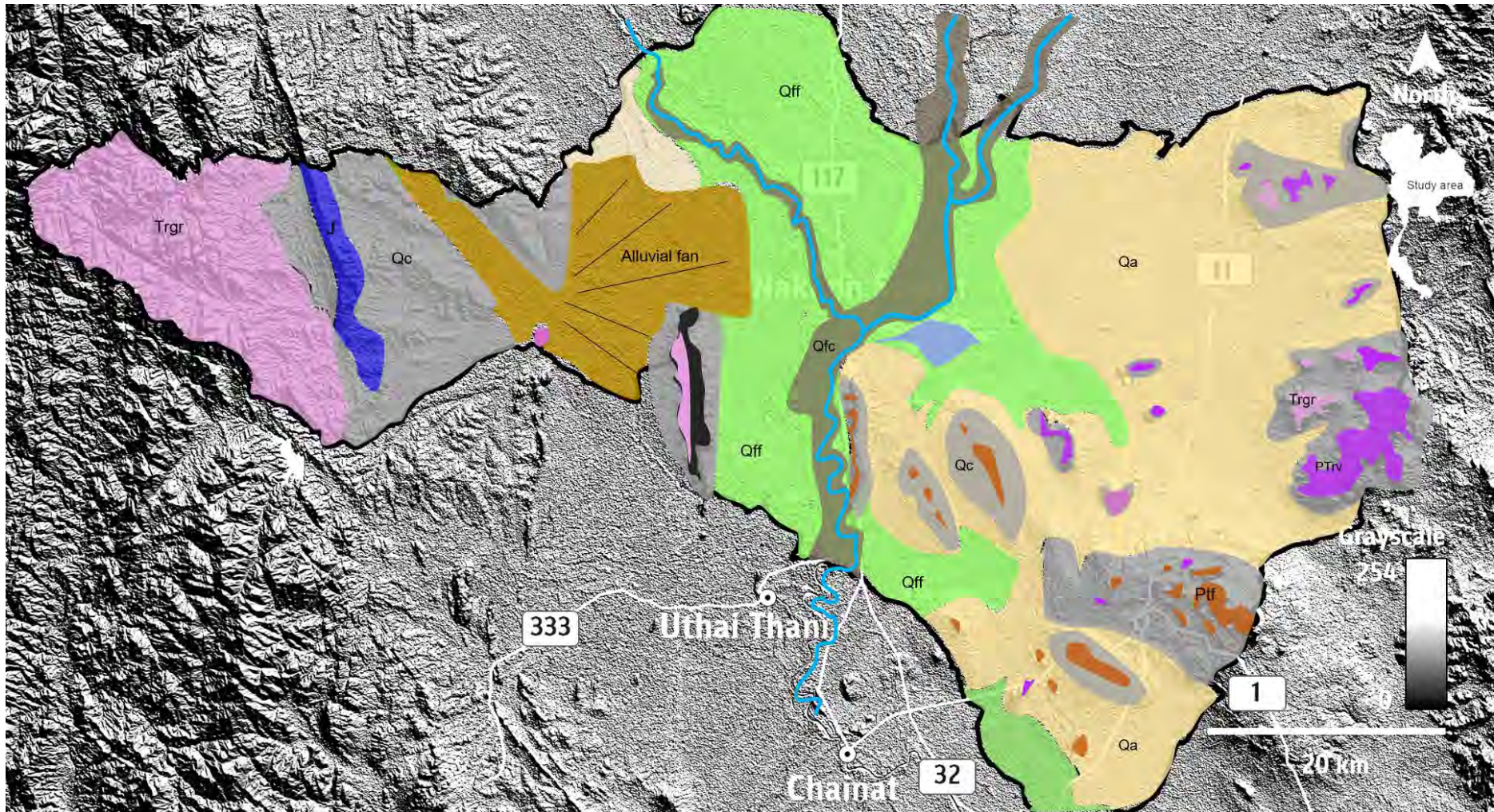
รูปที่ 4.13 แผนที่แบบจำลองระดับความสูงเชิงเลขของพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์ (สีประสีขาว) โดยจะแสดงที่ราบที่มีระดับความสูงต่ำ (สีเขียวอ่อน) และ ไล่ระดับไปจนถึงภูเขาสูงที่มีระดับความสูงสูง (สีขาว)



รูปที่ 4.14 แผนที่แสดงแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลขที่แสดงความสูงต่ำเชิง ที่มีการปรับค่าในแกนความสูงของจังหวัดนครสวรรค์ ที่ทำให้เห็นถึงลักษณะและ ขอบเขตของ สัณฐานในพื้นที่



รูปที่ 4.15 แผนที่แสดงกัมมันตรังสีทางอากาศที่ซ้อนบนแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลขที่แสดงความสูงต่ำเชิง ที่มีการปรับค่าในแกนความสูงทางด้านตะวันตกของจังหวัดนครสวรรค์ โดยสีแดง = ชาติโพแทสเซียม สีนํ้าเงิน = ชาติยูเรเนียม และสีเขียว = ชาติทอเรียม (กรมทรัพยากรธรณี, 2004)



รูปที่ 4.16 แผนที่แสดงธรณีสัณฐานของจังหวัดนครสวรรค์ ประกอบด้วยหินปูนตากฟ้า (สีส้ม) หินแกรนิต (สีชมพู) หินภูเขาไฟเพอร์โมไทรแอสสิก (สีม่วง) หินตะกอนเขาชนกัน (สีน้ำเงิน) หินไซลูเลียน-ดีโวเนียน (สีดำ) ตะกอนน้ำพา (สีเหลือง) ตะกอนรูปพัด (alluvial fan deposit) (สีน้ำตาล) ตะกอนร่องน้ำ (สีน้ำตาลเข้ม) ตะกอนเชิงเขา (สีเทา)

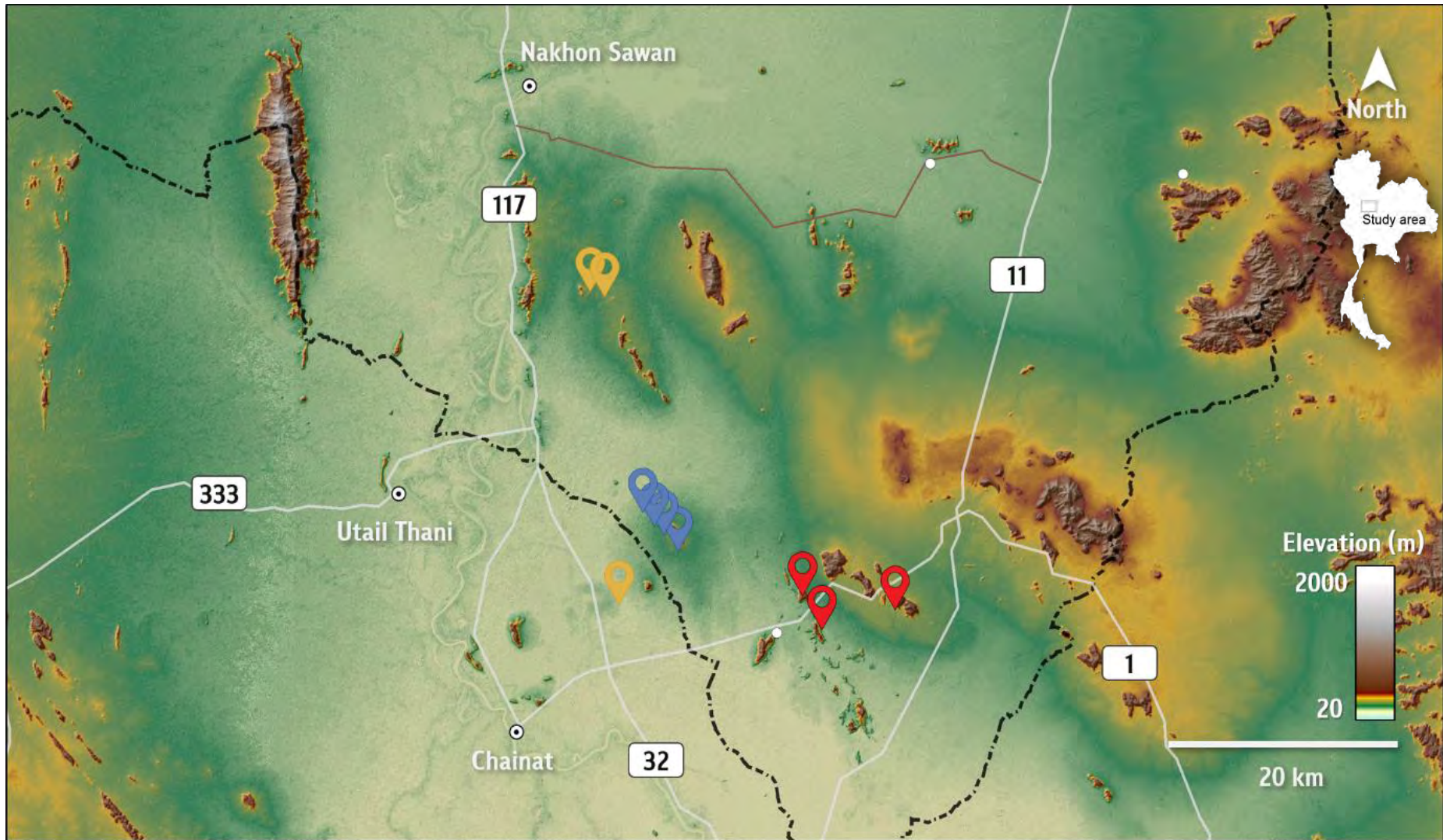
บทที่ 5

การสำรวจภาคสนาม

บทนี้ได้รวบรวมผลการศึกษาที่ได้จากการสำรวจภาคสนามในพื้นที่ฝั่งตะวันออกของจังหวัดนครสวรรค์ (รูปที่ 5.1) โดยในการอธิบายจะแบ่งหัวข้อตามกลุ่มจุดศึกษาตามลักษณะของภูมิประเทศ ธรณีสัณฐาน ชนิดหินที่พบ ออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ **กลุ่มที่ 1** แสดงลักษณะที่เป็นสันเขาของหินปูน **กลุ่มที่ 2** หินภูเขาไฟ หินตะกอนภูเขาไฟ และ **กลุ่มที่ 3** แสดงลักษณะภูมิประเทศแบบที่ราบที่พบบ่อขุด ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ได้ทำการเก็บข้อมูลแนวรอยแตก การวางตัวของชั้นหิน และรอยเลื่อน เนื้อหาของแต่ละกลุ่มจุดศึกษาจะประกอบไปด้วย รายละเอียดด้านธรณีวิทยา ธรณีวิทยาโครงสร้าง และผลการวิเคราะห์ทิศทางความเค้นหลัก เพื่อใช้ประกอบการอธิบายด้านธรณีสัณฐาน ธรณีวิทยาโครงสร้าง และวิวัฒนาการทางธรณีแปรสัณฐานในบทที่ 6 ต่อไป

5.1 กลุ่มจุดศึกษาที่ 1

จุดศึกษาในกลุ่มที่ 1 คือจุดศึกษาในกลุ่มสันเขาหินปูน มีทั้งหมด 2 ตำแหน่ง ได้แก่ จุดศึกษาที่ 1.1 เหมือนศิลาสถานทอง และจุดศึกษาที่ 1.2 เหมือนเขาลูกโกลน ซึ่งทั้งสองจุดศึกษาเป็นเมืองและเมืองเก่าที่มีการระเบิดภูเขา นำหินไปใช้ประโยชน์ ทำให้มีการระเบิดตัดผ่านชั้นหินในหลายทิศทาง ทำให้สามารถเก็บค่าการวางตัวของชั้นหิน และโครงสร้างทางธรณีวิทยาในพื้นที่ค่อนข้างชัดเจน ซึ่งจากการเทียบเคียงกับแผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดนครสวรรค์ มาตราส่วน 1:250,000 (กรมทรัพยากรธรณี, 2550) พบว่าทั้ง 2 จุดศึกษา ตั้งอยู่บนหมวดหินตากฟ้า มีการพบซากดึกดำบรรพ์จำพวกฟิวซิลินิด ปะการัง แบรคิโอพอด และไบรโอซัว ยุคเพอร์เมียนมากมาย หมวดหินตากฟ้านี้พอจะ เทียบเคียงได้กับหมวดหินหน่วยผาหวดในระวางจังหวัดลำปาง (Piyasin, 1972) ประกอบด้วยหินปูนสีเทาจนถึงสีเทาดำ เกิดเป็นชั้นบางไปจนถึงชั้นหนา มีหินเชิร์ตสีดำ ลักษณะเป็นก้อนหรือชั้นบางแทรก และมีหินดินดานสีเทาเกิดขึ้นเป็นชั้นแทรกสลับ (Nakornsri, 1981) ได้ให้อายุของหมวดหินตากฟ้าอยู่ในช่วง Artinskian-Kungurian จากซากดึกดำบรรพ์ที่พบ



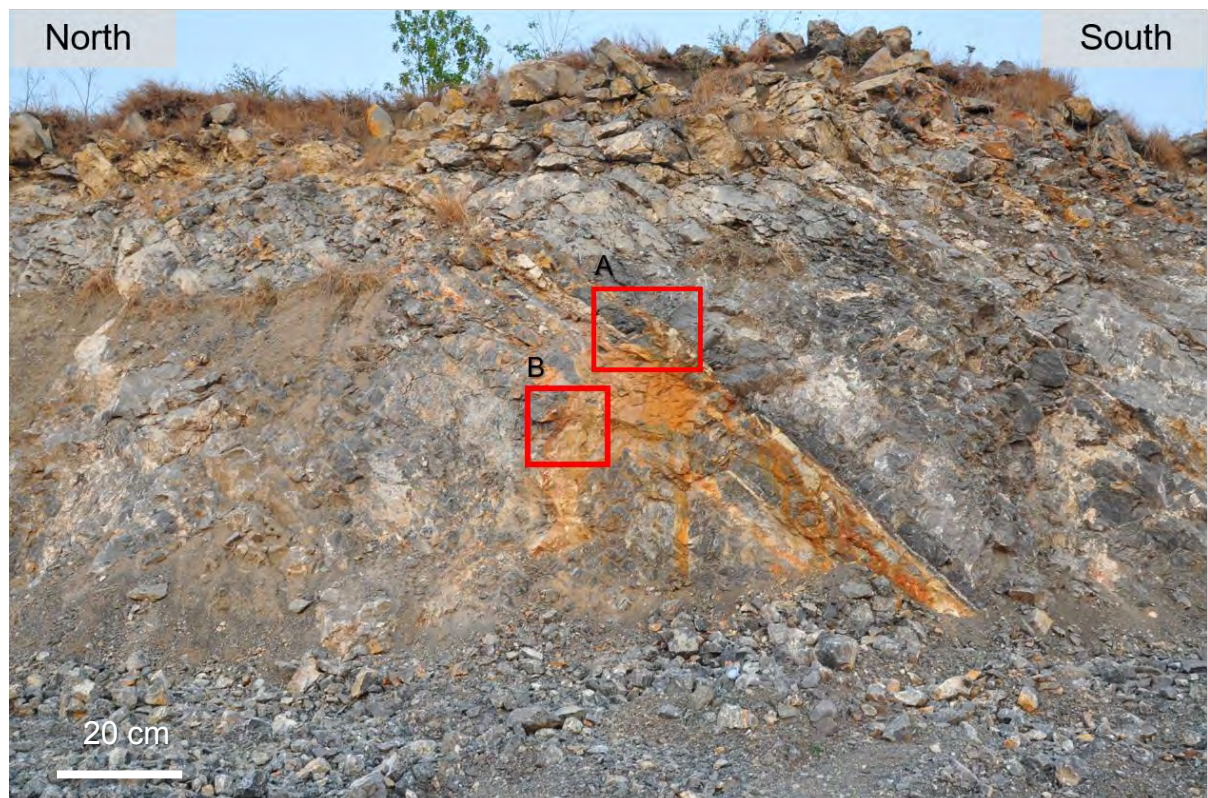
รูปที่ 5.1 แสดงจุดศึกษาการสำรวจภาคสนาม ประกอบด้วยจุดศึกษา 3 กลุ่มตามลักษณะภูมิประเทศ ธรณีสัณฐาน และชนิดหิน โดยสีแดงเป็นกลุ่มศึกษาที่ 1 สีน้ำเงินกลุ่มศึกษาที่ 2 และสีเหลืองเป็นกลุ่มศึกษาที่ 3

จุดศึกษาที่ 1.1 เหมืองศิลาลานทอง (รูปที่ 5.2; พิกัด UTM 654658 1689564)

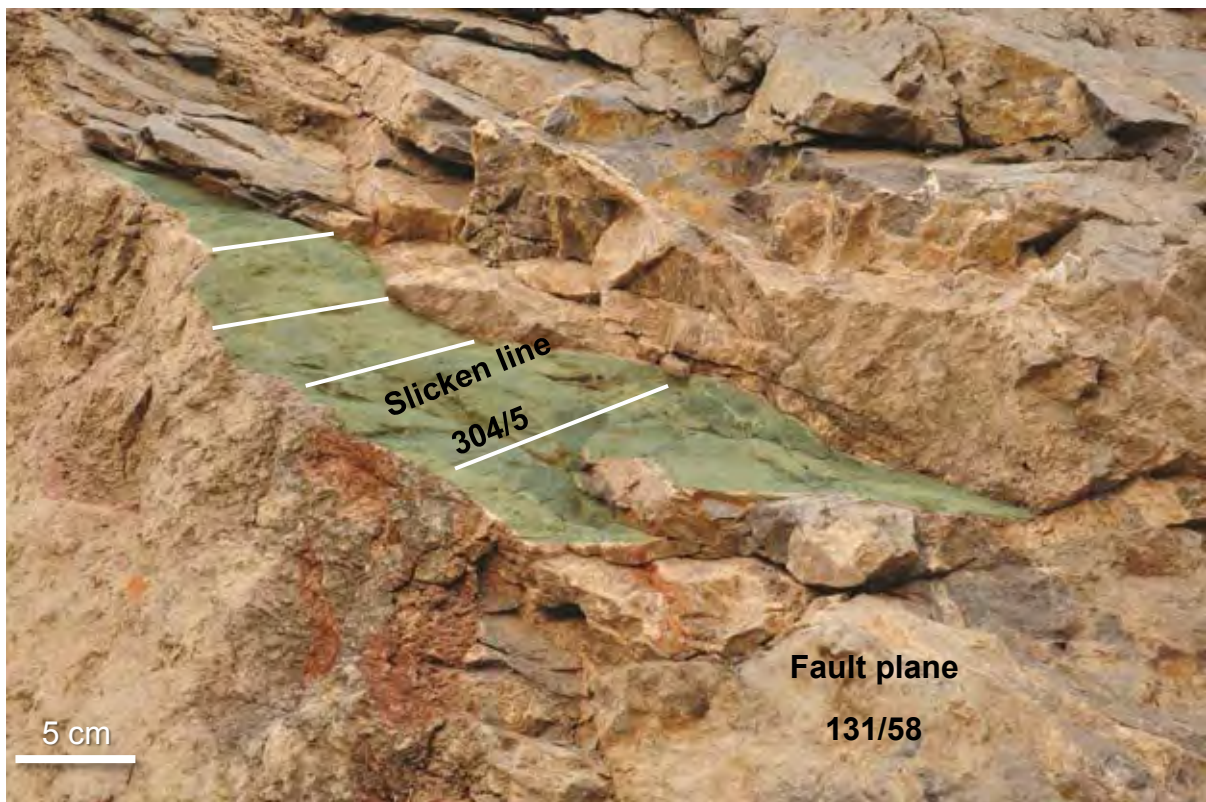
หน้าตัดหินเหมืองหินปูนศิลาลานทอง ตั้งอยู่ทางทิศใต้ของเขาเขียว ปัจจุบันดำเนินการโดยห้างหุ้นส่วนจำกัด ศิลาลานทอง ประทานบัตรที่ 32261/15924 มีลักษณะเป็นที่ราบลุ่ม มีระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 70-80 เมตร พื้นที่ทั้งหมดมีลักษณะ เป็นที่รกร้างว่างเปล่า ไม่มีการใช้ประโยชน์ใด ๆ ปกคลุมด้วยวัชพืชและต้นไม้ขนาดเล็ก ชั้นกระจายเบาบาง โดยลักษณะทางธรณีวิทยาพบหินปูนสีเทาถึงเทาดำ เป็นชั้นหนาถึงชั้นบาง พบซากดึกดำบรรพ์เล็กน้อย มีความหนาของชั้นหินปูนตั้งแต่ 10 ถึง 60 เซนติเมตร บางบริเวณพบหินดินดานสีเทา ชั้นบางแทรกสลับ มีแนวการวางตัวของชั้นหินในแนวตะวันออก-ตะวันตก มีทิศทางเอียงเท ไปทางใต้ประมาณ 82/46 S วางตัวต่อเนื่องกันตลอดหน้าตัดของเหมือง นอกจากนี้ยังพบหลักฐานการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยาโครงสร้าง คือ ธรณะรอยเลื่อนและรอยครูดแสดงการเลื่อนตัวแบบปกติ (normal fault) และแบบเฉียง (oblique fault) (รูปที่ 5.3, 5.4 และ 5.5) และจากการวิเคราะห์ข้อมูลภาคสนามของรอยเลื่อนและรอยครูด สามารถสรุปทิศทางของความเค้นหลักได้ในแนวเกือบเหนือ-ใต้ (รูปที่ 5.6)



รูปที่ 5.2 ภาพหินโผล่เหมืองศิลาลานทองจากมุมสูง แสดงการเอียงเทไปทางใต้ (เส้นประสีเหลือง)



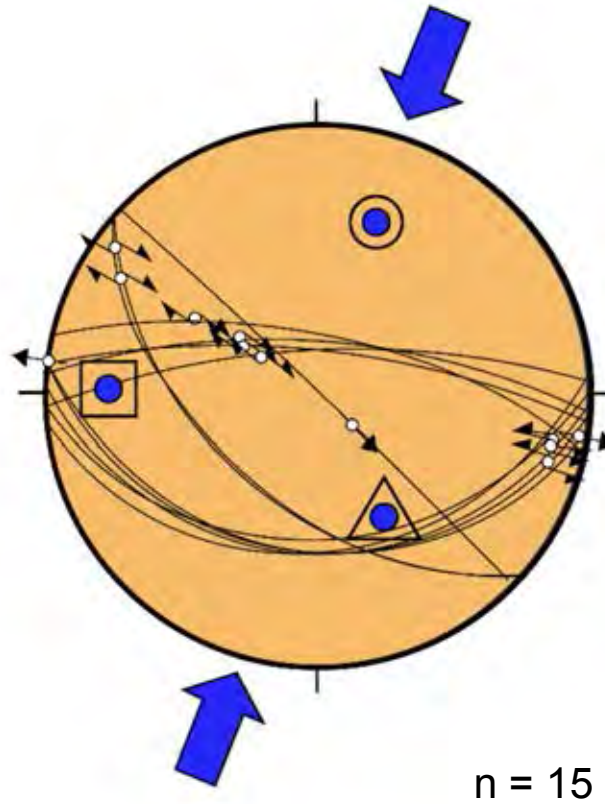
รูปที่ 5.3 แสดงชั้นหินวางตัวแนวตะวันออก-ตะวันตกเฉียงเหนือไปทางใต้ (บน) และ แสดงจุดที่พบ หลักฐานการ
 เลื่อนตัวของรอยเลื่อนและระนาบรอยเลื่อนจุด A และจุด B (กรอบสีแดง) (ล่าง)



รูปที่ 5.4 ภาพจุด A จากรูป 5.3 แสดงระนาบรอยเลื่อนและรอยครูดที่มีการเลื่อนตัวแบบปกติ (บน) และแสดงค่าเฉลี่ยของการวางตัวของระนาบรอยเลื่อนและรอยครูด (ล่าง)



รูปที่ 5.5 ภาพจุด B จากรูป 5.3 แสดงระนาบรอยเลื่อนและรอยครูดที่มีการเลื่อนตัวแบบเฉียง (บน) และแสดงค่าเฉลี่ยของการวางตัวของระนาบรอยเลื่อนและรอยครูด (ล่าง)



รูปที่ 5.6 สเตอริโอเน็ตแสดงความเค้นหลักของแรงอัดในทิศ 019/33

จุดศึกษาที่ 1.2 เหมืองเขาลูกโกลน (รูปที่ 5.7; พิกัด UTM 647750 1690755)

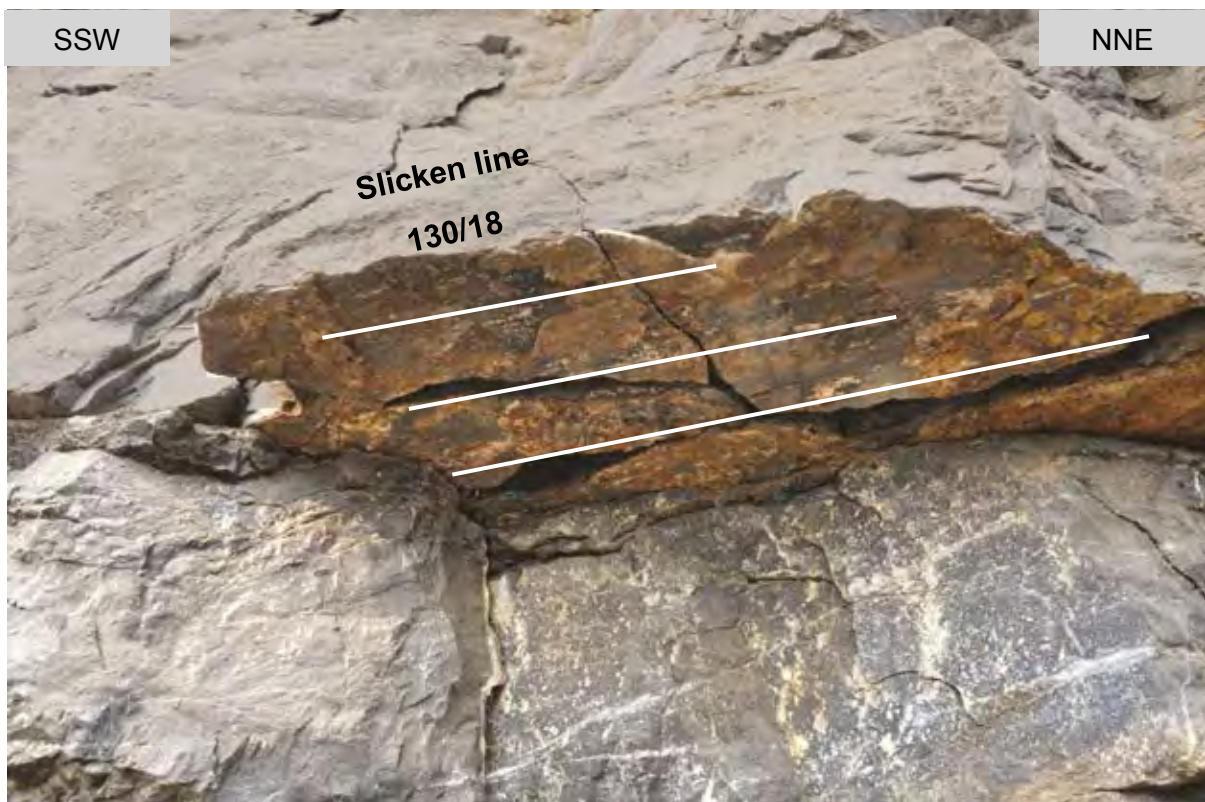
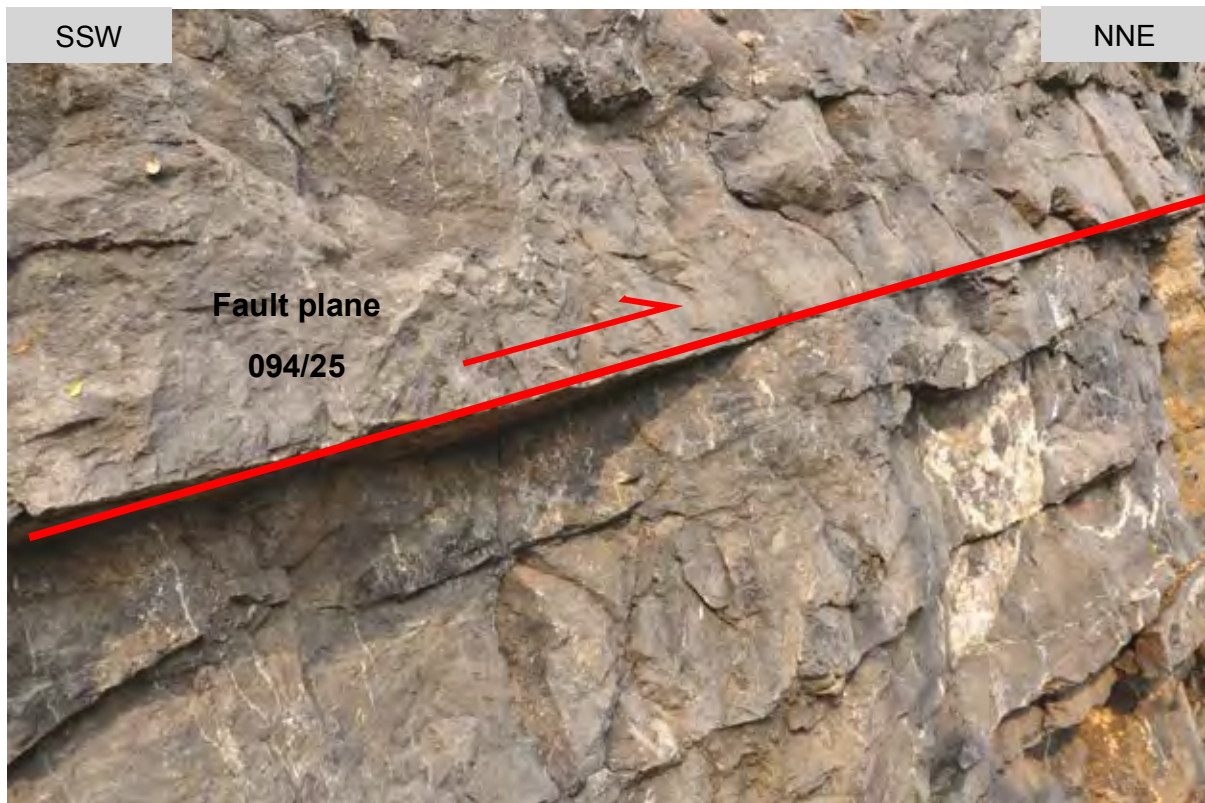
หน้าตัดหินที่ศึกษา ตั้งอยู่ทางดานทิศใต้ของเขาลูกโกลน ห่างจากตัวเมืองตากลีไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ประมาณ 3 กิโลเมตร เฉลี่ยประมาณ 30 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง มีลักษณะเป็นเหมืองหินรางแสดง ให้เห็นชั้นหินได้อย่างชัดเจนลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขาหินปูนสูงชันจากที่ราบ เขาลูกโกลน วางตัวอยู่บนหิน ยุคเพอร์เมียนของหมวดหินตากฟ้า (Nakornsri,1977) หินโผล่มีลักษณะเป็นหนาผาเกิดจากการทำเหมือง แสดงให้เห็นการแทรกสลับของ หินปูนชั้นบางถึงหนาปานกลางกับหินดินดานสีดำ บริเวณหน้าตัดหินมีความ ยาวประมาณ 100 เมตรสวนใหญ่เป็นหินปูนชั้นบางถึงหนาปานกลาง วางตัวทำมุมเอียงประมาณ 20-25 องศา ไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ มีโครงสร้างรอยเลื่อนย้อน (reverse fault) ที่วางตัวขนานไปกับชั้นหินและระนาบ ของรอยเลื่อนย้อนเลื่อนไปทางเหนือ พบรอยเลื่อนแนวระดับแบบซ้ายเข้า (รูปที่ 5.8 5.9 และ 5.10) นอกจากนี้ยังพบหลักฐานรอยครูด 2 แนวตัดกันบนระนาบรอยเลื่อนเดียวกัน (รูปที่ 5.11) และจากการ วิเคราะห์ข้อมูลภาคสนามของรอยเลื่อนและรอยครูด สามารถสรุปทิศทางของความเค้นหลักได้ในแนว ตะวันออกเฉียงเหนือค่อนไปทางเหนือ - ตะวันตกเฉียงใต้ค่อนไปทางใต้ (รูปที่ 5.12)



รูปที่ 5.7 ภาพหินโผล่เหมือนเขาลูกโกลนจากอากาศยานไร้คนขับ (Drone) (บน) และภาพแสดงธรณีวิทยาโครงสร้างของรอยเลื่อนย้อน (เส้นสีแดง) และหินอัคนีแทรกซอน (dike สีเขียว) (ล่าง)



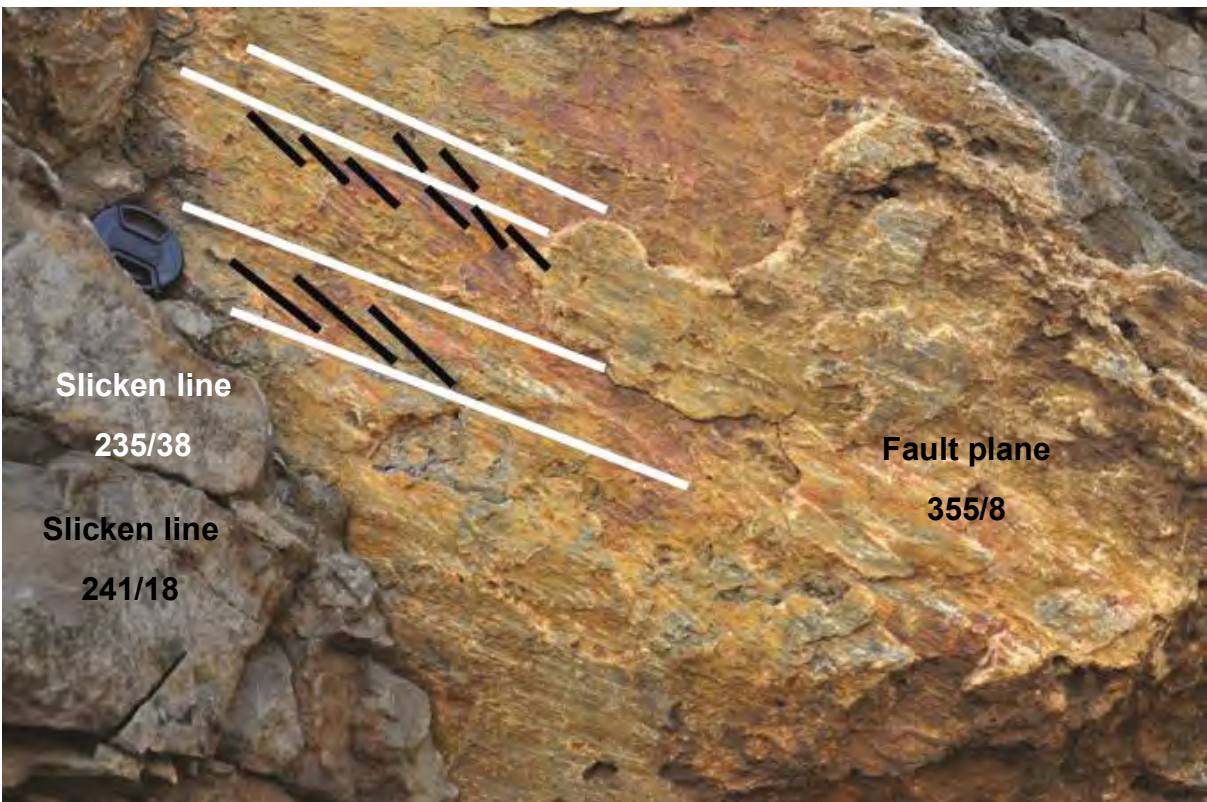
รูปที่ 5.8 ภาพหินโผล่แสดงรอยเลื่อนแนวระดับแบบซ้ายเข้า (เส้นประ) และรอยเลื่อนแบบย้อนที่ขนานกับระนาบของชั้นหินปูนในพื้นที่ (เส้นทึบ) (บน) และแสดงการวางตัวของระนาบรอยเลื่อนและรอยครูด (ล่าง)



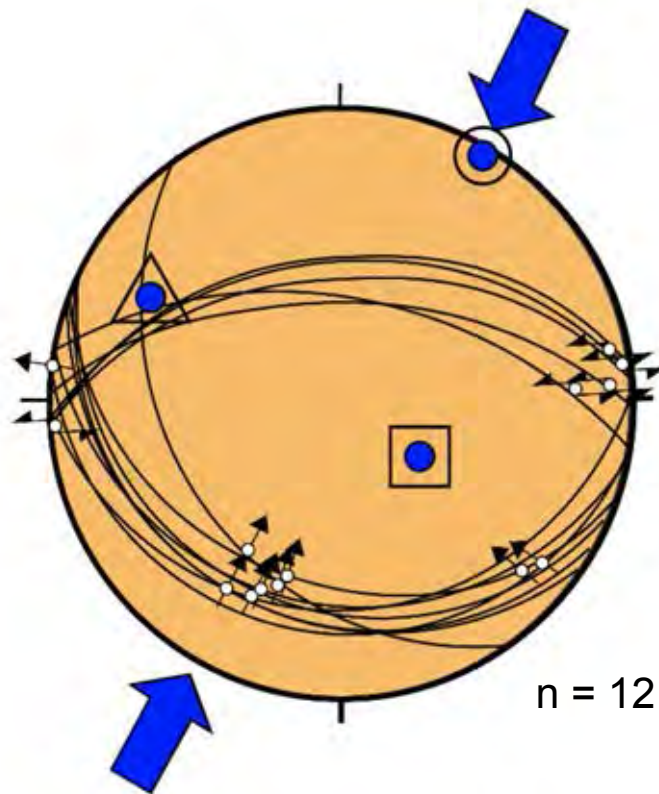
รูปที่ 5.9 ภาพหินโผล่แสดงรอยเลื่อนย้อนที่วางตัวในทิศตะวันออก - ตะวันตก (บน) และระนาบรอยเลื่อนย้อนพบรอยครูดที่เกิดขึ้น (ล่าง)



รูปที่ 5.10 ภาพหินโผล่แสดงรอยเลื่อนย้อนที่วางตัวในทิศทางตะวันออกเฉียงใต้ – ตะวันตกเฉียงเหนือ และมีผนังเพดานเลื่อนตัวไปทางทิศเหนือ (เส้นทึบ) และหินอัคนีแทรกซอน (สีเขียว)



รูปที่ 5.11 จุดหินโผล่ที่พบรอยครูด 2 แนวตัดกัน (บน) ระบายรอยเลื่อนที่แสดงรอยครูด 2 แนวและค่าการวางตัวของรอยครูดทั้ง 2 แนว (ล่าง)



รูปที่ 5.12 สเตอริโอเน็ตแสดงความเค้นหลักของแรงอัดในทิศ 030/2

5.2 กลุ่มจุดศึกษาที่ 2

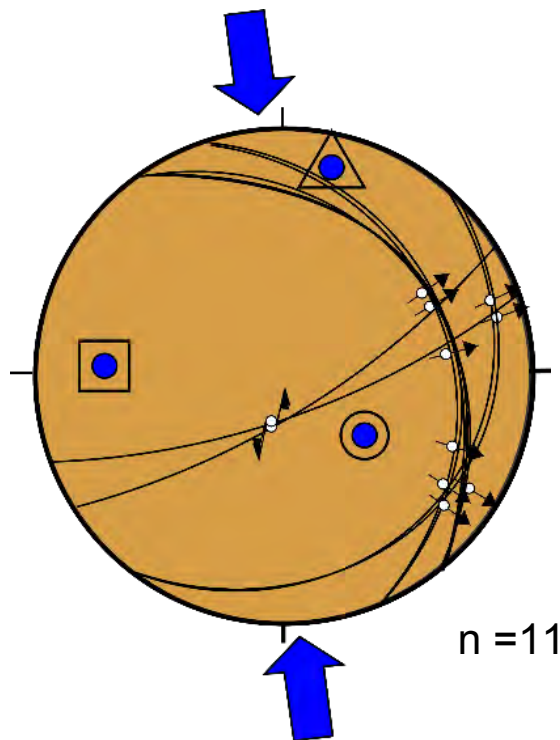
จุดศึกษาในกลุ่มที่ 2 คือจุดศึกษาในกลุ่มหินภูเขาไฟ หินตะกอนภูเขาไฟ มีทั้งหมด 2 ตำแหน่ง ได้แก่ จุดศึกษาที่ 2.1 อ่างเก็บน้ำเขาใหญ่ และจุดศึกษาที่ 2.2 เขาแม่เหล็ก ซึ่งทั้งสองจุดศึกษา พบหินหินภูเขาไฟพวกแอนดีไซต์ และหินกรวดเหลี่ยมภูเขาไฟเกิดร่วมอยู่ด้วย ส่วนใหญ่ปะปนกันจนไม่สามารถแยกออกเป็นหน่วยหินย่อยได้ โดยมีทั้งที่แสดงลักษณะโครงสร้างแสดงการไหล และที่เกิดเป็นชั้นไม่แสดงโครงสร้างการไหล ซึ่งพบในบริเวณที่เป็นหินทัฟฟ์ หินแอนดีไซต์นี้ปะทุขึ้นมาตามรอยแตกที่มีอยู่ดั้งเดิม (fissure eruption) ภายหลังจากการสะสมตัวของหมวดหินตากฟ้า (Barr and Charusiri, 2011) ซึ่งในภาคสนามพบหลักฐานแสดงการเลื่อนตัว และรอยสัมผัสกับหินปูนดั้งเดิม (contact metamorphism)

จุดศึกษาที่ 2.1 อ่างเก็บน้ำเขาใหญ่(รูปที่ 5.13; พิกัด UTM 635470 1695595)

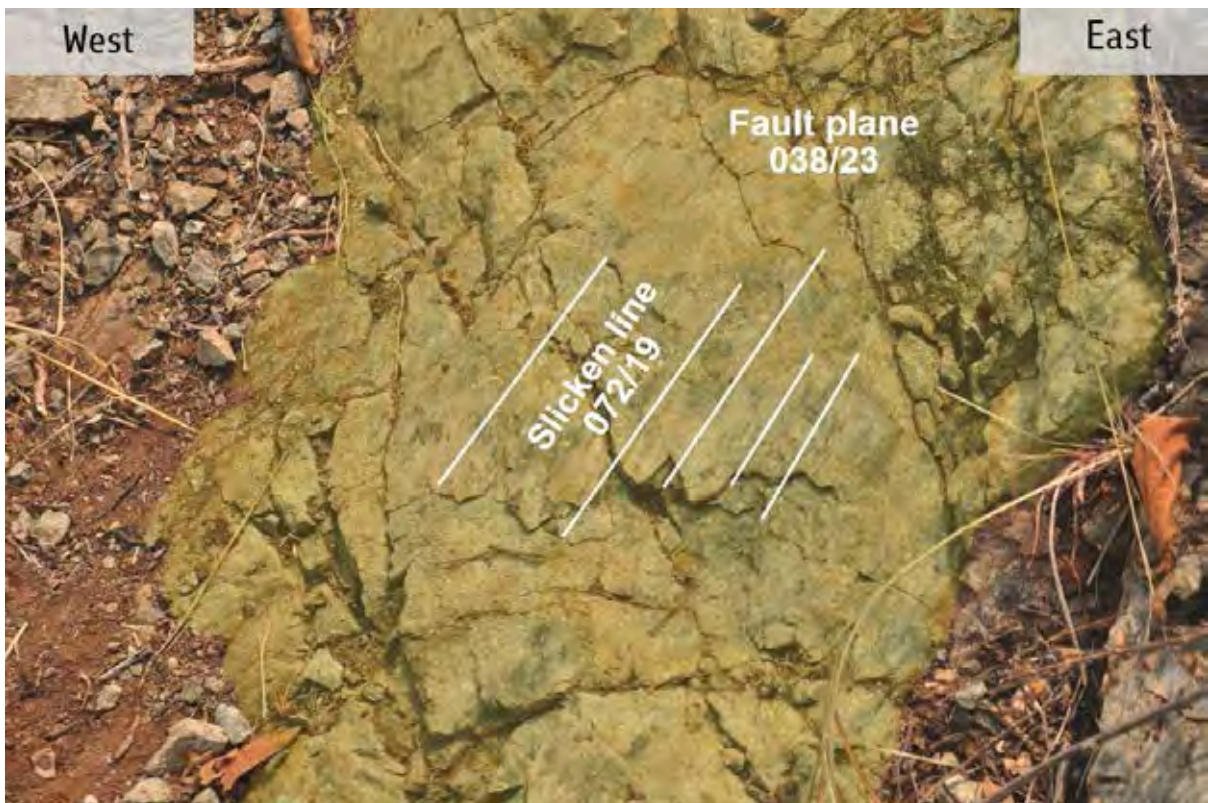
อ่างเก็บน้ำเขาใหญ่ลักษณะเป็นบ่อขุด พบหินแอนดีไซต์ หินตะกอนภูเขาไฟ (volcanic clastic)ไม่พบการวางตัวของชั้นหิน นอกจากนี้ยังพบหลักฐานที่แสดงถึงการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนแบบปกติ และระนาบรอยเลื่อนที่แสดงรอยครูดที่แนวรอยครูด 2 แนวตัดกันบนระนาบเดียวกัน ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์แนวความเค้นหลักได้แรงอัดในทิศทางเหนือ-ใต้ (รูปที่ 5.14 5.15 และ 5.16)



รูปที่ 5.13 แผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมแสดงจุดศึกษาอ่างเก็บน้ำเขาใหญ่ (Google earth. ภาพถ่ายเมื่อ 21 สิงหาคม 2560.)



รูปที่ 5.14 สเตอริโอเน็ตแสดงความเค้นหลักของแรงอัดในทิศ 356/17



รูปที่ 5.15 จุดหินโผล่ที่พบระนาบรอยเลื่อนแบบปกติ (บน) และค่าการวางตัวของระนาบรอยเลื่อน ค่าการวางตัวของรอยครูด (ล่าง)



รูปที่ 5.16 แสดงหินโผล่ที่ในจุดศึกษาอ่างเก็บน้ำเขาใหญ่ที่พบนารอยเลื่อนแบบปกติและรอยครูด 2 แนว (บน) และค่าการวางตัวของกลุ่มรอยครูดแนวที่หนึ่ง (A) และรอยครูดและค่าการวางตัวของแนวที่สอง (B)

จุดศึกษาที่ 2.2 เขแม่เหล็ก (รูปที่ 5.17a; พิกัด UTM 634948 1696929)

จุดศึกษาเขแม่เหล็กพบภูเขาหินปูนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศแบบคาสต์และพบหินแอนดีไซต์ที่อยู่ใต้ภูเขาหินปูนที่พบในบ่อขุดนอกจากนี้ใน บริเวณจุดศึกษายังพบรอยสัมผัสระหว่างหินอ่อนกับหินแอนดีไซต์ (รูปที่ 5.17b)



รูปที่ 5.17 (บน) แสดงลักษณะภูมิประเทศแบบคาสต์ของหินปูนและมีหินแอนดีไซต์อยู่ด้านล่าง (ล่าง)แสดงหินโผล่ที่พบรอยสัมผัสระหว่างหินอ่อนกับหินแอนดีไซต์

5.3 กลุ่มจุดศึกษาที่ 3 (รูปที่ 5.18; พิกัด UTM 629971 1691409)

จุดศึกษาในกลุ่มที่ 3 จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม ลักษณะเด่นของกลุ่มจุดศึกษานี้เป็นการที่ภูมิประเทศโดยทั่วไปเป็นพื้นที่ราบ ซึ่งพบส่วนบนถัดลงมาจากระดับผิวดิน พบชั้นตะกอนขนาดตั้งแต่ 5 เซนติเมตร จนถึง 20 เซนติเมตร มีการคัดขนาดที่ไม่ดี ลักษณะของเม็ดกรวดเป็นแบบกึ่งเหลี่ยมถึงกลม (subangular – rounded) มีความหนาประมาณ 20 - 80 เซนติเมตร และส่วนล่างพบหินแกรนิต ที่มีการผุพังสูงและพบรอยแตกจำนวนมากแต่ไม่เป็นระบบ ด้วยเหตุนี้จึงไม่สามารถเก็บข้อมูลมาวิเคราะห์ ธรณีวิทยาโครงสร้างออกมาได้ (รูปที่ 5.19 และ 5.20)



รูปที่ 5.18 แสดงหินโคลงที่มีชั้นตะกอนน้ำพาอยู่ส่วนบน (เหนือเส้นแดง) และหินแกรนิตที่มีการผุพังสูงในส่วนล่าง (ใต้เส้นแดง)



รูปที่ 5.19 แสดงชั้นตะกอนกึ่งเหลี่ยมถึงมนส่วนบนและหินแกรนิตที่มีการผุพังสูงใน ส่วนล่าง



รูปที่ 5.20 แสดงชั้นตะกอนกึ่งเหลี่ยมถึงมนส่วนบนและหินแกรนิตที่มีความผุพังสูงและมีรอยแตกไม่เป็นระบบจำนวนมากในส่วนล่าง

บทที่ 6

อภิปรายและสรุปผล

บทนี้กล่าวถึงการนำข้อมูลธรณีวิทยา ธรณีวิทยาโครงสร้าง ผลการวิเคราะห์แนวเส้น และผลการวิเคราะห์แนวแรงหลักจากธรณีวิทยาโครงสร้างที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม นำมารวบรวมและอภิปรายผลการศึกษาได้เป็น แบบจำลองแผนที่ธรณีสัณฐานและโครงสร้างใต้พื้นผิว หลักฐานของรอยครูด 2 แนวตัดกัน แบบจำลองวิวัฒนาการของธรณีวิทยาโครงสร้างในพื้นที่ และสรุปผลการศึกษา โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

6.1 แบบจำลองแผนที่ธรณีสัณฐานและโครงสร้างใต้พื้นผิว

จากหลักฐานข้อมูลการสำรวจภาคสนาม และธรณีวิทยาโครงสร้าง ผลการวิเคราะห์แนวเส้นที่กล่าวไว้ในบท 4 และ 5 ประกอบกับข้อมูลสำรวจวัดค่าสนามแม่เหล็ก (CCOP, 2002) แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดนครสวรรค์มาตราส่วน 1:250,000 (กรมทรัพยากรธรณี, 2550) ข้อมูลการแปลความและอธิบายถึงที่ราบลุ่มแม่น้ำภาคกลางตอนบนของประเทศไทยบริเวณเขตรอยเลื่อนแม่ปิง (Smith et al., 2007, Morley et al., 2007) ที่พาดผ่านพื้นที่ สามารถจัดทำแผนที่ธรณีสัณฐานของพื้นที่ศึกษาและสามารถแบ่งหน่วยย่อยตามลักษณะข้อมูลที่ได้พบได้เป็น 8 หน่วย คือ ตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึง (flood plain deposit) ตะกอนร่องน้ำ (channel deposit) ตะกอนน้ำพา (alluvial deposit) ตะกอนเชิงเขา (colluvial deposit) รอยทางน้ำกวัดแกว่ง (meandering scar) หินปูน หินภูเขาไฟเพอร์โม-ไทรแอสซิก (Permo-Triassic volcanic rock) หินแกรนิต (granite) (รูปที่ 6.1)

โครงสร้างใต้พื้นผิวที่แสดงภายใต้ภาคตัดขวางของพื้นที่ศึกษาจากการสำรวจข้อมูลภาคสนาม สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ueno et al. (2012) และ Barr & Charusiri (2011) บริเวณด้านตะวันออกของจังหวัดนครสวรรค์อยู่บน แผ่นเปลือกโลกอินโดจีนจะรองรับด้วยหินปูนหมวดหินตากฟ้า อายุเพอร์เมียน และหินภูเขาไฟไพศาลของแนวหินภูเขาไฟเพชรบูรณ์ อายุเพอร์โม-ไทรแอสซิก และธรณีวิทยาโครงสร้างที่พบรอยเลื่อนย้อนที่แสดงการเลื่อนตัวจากด้านใต้ไปทางด้านเหนือจากการสำรวจข้อมูลภาคสนามพบสอดคล้องกับงานวิจัยของ Arboit et al. (2014) ที่ทำการศึกษารวมทั้งธรณีวิทยาโครงสร้างของพื้นที่การชนของแผ่นเปลือกโลกไซบิวมาสุกับแผ่นเปลือกโลกอินโดจีน (Sibumasu-Indochina collision) บริเวณตอนกลางของประเทศไทย เกิดแนวชั้นคดโค้งและรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำ (fold and thrust belt) ที่เกิดแบบไม่ตัดฐานหิน (thin-skinned deformation) บนดีแทชเมนต์ (detachment) โดยเกิดที่ความลึกช่วง 0.7-1.5 กิโลเมตร (Ueno &

Charoentitirat, 2011) และแสดงการเลื่อนตัวทางไปทางเหนือ (northward propagation) บริเวณตอนกลางของจังหวัดนครสวรรค์อยู่บนเขตสัทธิธรรับด้วยหินชีรต์เขากบ อายุเพอร์เมียน และหินภูเขาไฟนครสวรรค์ของแนวหินภูเขาไฟลำปาง ธรณีวิทยาโครงสร้างของ และบริเวณด้านตะวันตกของจังหวัดนครสวรรค์หรือฝั่งตะวันตกของเขาหลวงจะรองรับด้วยหินแกรนิตชนิดเอส (S-type granite; Cobbing, 2011) และหินปูนอุทัยธานี (รูปที่ 6.1)

6.2 หลักฐานของรอยครูด 2 แนวตัดกัน

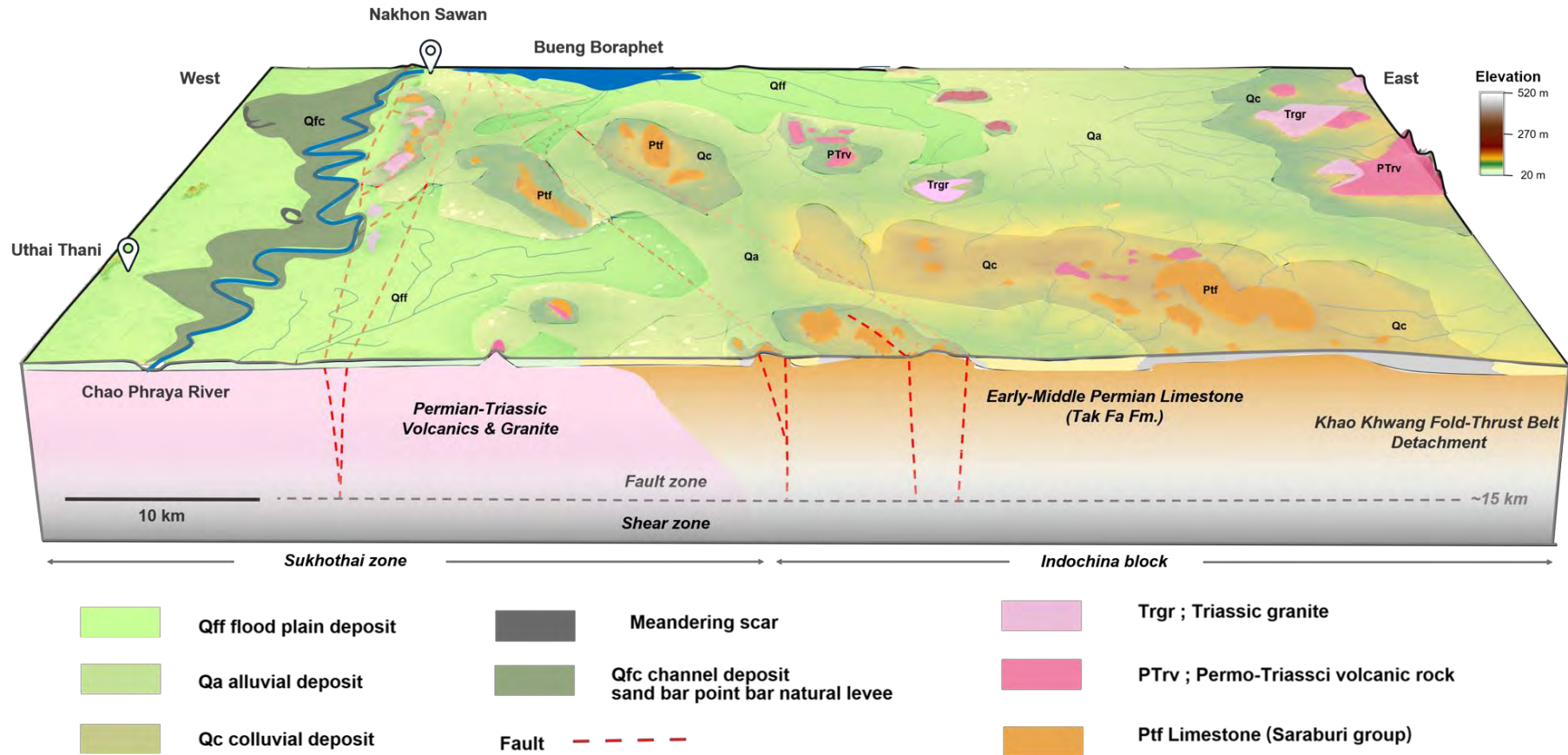
จากข้อมูลการสำรวจภาคสนาม พบหลักฐานรอยครูด 2 แนวตัดกันบนระนาบรอยเลื่อนเดียวกัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Meerat (2018) ที่ศึกษารอยแตกและวิวัฒนาการด้วยไอโซโทปในแร่แคลไซต์ในหินโผล่เหมือนหินปูนเขาลูกโกลนที่กล่าวไว้ในบท 5 ผลของออกซิเจน-18 ต่อกออกซิเจน-16 และ คาร์บอน-13 ต่อกคาร์บอน-12 บ่งชี้ว่ารอยครูด 2 แนวตัดกันในพื้นที่ศึกษาที่พบมีความสัมพันธ์กับการเหตุการณ์ธรณีแปรสัณฐานในช่วงเพอร์โม – ไทรแอสซิกทั้ง 2 แนว คาดว่าการที่พบลักษณะดังกล่าวเกิดจากการธรณีฐานที่เกิดขึ้นทำให้รอยเลื่อนพัฒนาเกิดรอยครูดแนวแรกเกิดขึ้นก่อนรอยเลื่อนดังกล่าวไม่สามารถพัฒนาต่อไปได้ เกิดการหยุดชะงัก แต่ด้วยผลแรงของเหตุการณ์การธรณีฐานยังดำเนินต่อไปบริเวณจุดอื่นในพื้นที่ศึกษาที่สามารถพัฒนาต่อไปได้ส่งผลทำให้ระนาบรอยเลื่อนเดิมนั้นพัฒนาอีกครั้ง (reactivate) และทำให้เกิดรอยครูดแนวที่ 2 เกิดซ้อนทับบนรอยครูดแนวแรก

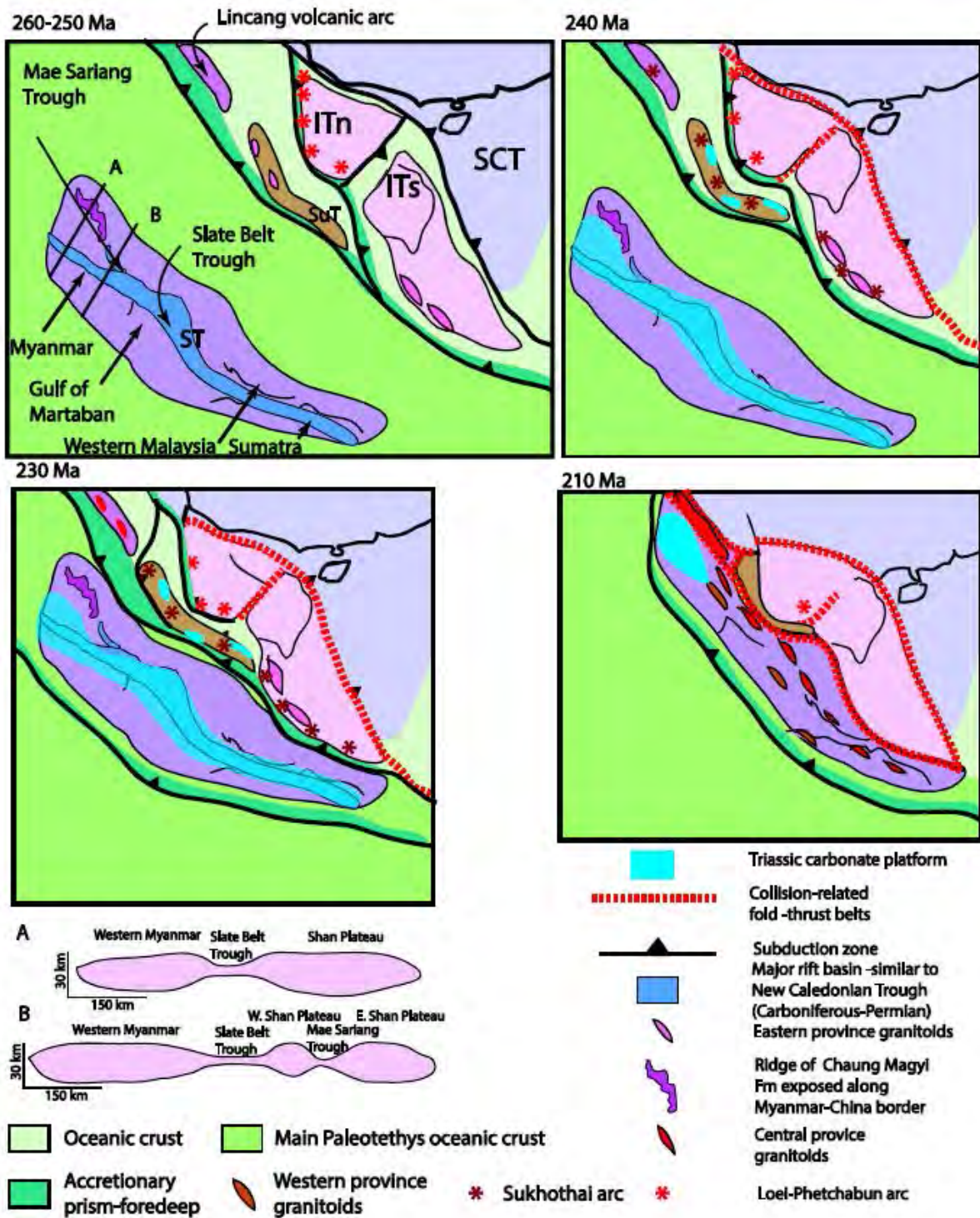
6.3 แบบจำลองวิวัฒนาการของโครงสร้าง

จากข้อมูลการสำรวจภาคสนาม ผลการวิเคราะห์แนวแรงหลักและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถอธิบายการวิวัฒนาการของโครงสร้างพื้นที่ศึกษาได้เป็น 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงยุคเพอร์เมียนตอนปลาย – ยุคไทรแอสซิกตอนกลาง (late Permian – middle Triassic) และช่วงสมัยอีโอซีน - สมัยโอลิโกซีน (Eocene – Oligocene) โดยช่วงยุคเพอร์เมียนตอนปลาย – ยุคไทรแอสซิกตอนกลาง จากหลักฐานและการวิเคราะห์ข้อมูลภาคสนาม พบทิศทางแนวหลักของแรงอัดวางตัวในทิศทางเหนือ - ใต้ และพบรอยเลื่อนย้อนยกขึ้นไปทางเหนือ สอดคล้องกับงานวิจัย Arboit et al. (2014) ที่ศึกษาธรณีวิทยาโครงสร้างภายในพื้นที่ พบว่าการชนของแผ่นเปลือกโลกไซบิวมาส์กับแผ่นเปลือกโลกอินโดจีน บริเวณตอนกลางของไทย มีทิศทางของแนวแรงหลักในทิศเหนือ – ใต้ ทำให้เกิดโครงสร้างชั้นหินคดโค้งและรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำแบบไม่ตัดฐานหินบนลานเขาขวาง และผลจากการศึกษาไอโซโทปของสายแร่แคลไซต์ ในรอยแตกของชั้นหินคดโค้งและรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำสัมพันธ์กับเหตุการณ์ทางธรณีแปรสัณฐานในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนปลาย – ยุคไทรแอสซิกตอนกลาง (Meerat,

2018) นอกจากนี้การพบทิศทางแรงอัดแนวหลักในทิศเหนือ - ใต้ ซึ่งไม่เป็นไปตามทิศทางแรงอัดของการชนกันของแผ่นเปลือกโลกไซบูมาสุกับแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนในทิศทางตะวันออก - ตะวันตก คาดว่าเป็นผลมาจากการธรณีแปรสัณฐานภายในแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนเหนือกับแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนใต้ในทิศทางเหนือ-ใต้ (Arboit et al., 2014) (รูปที่ 6.2 และ 6.3)

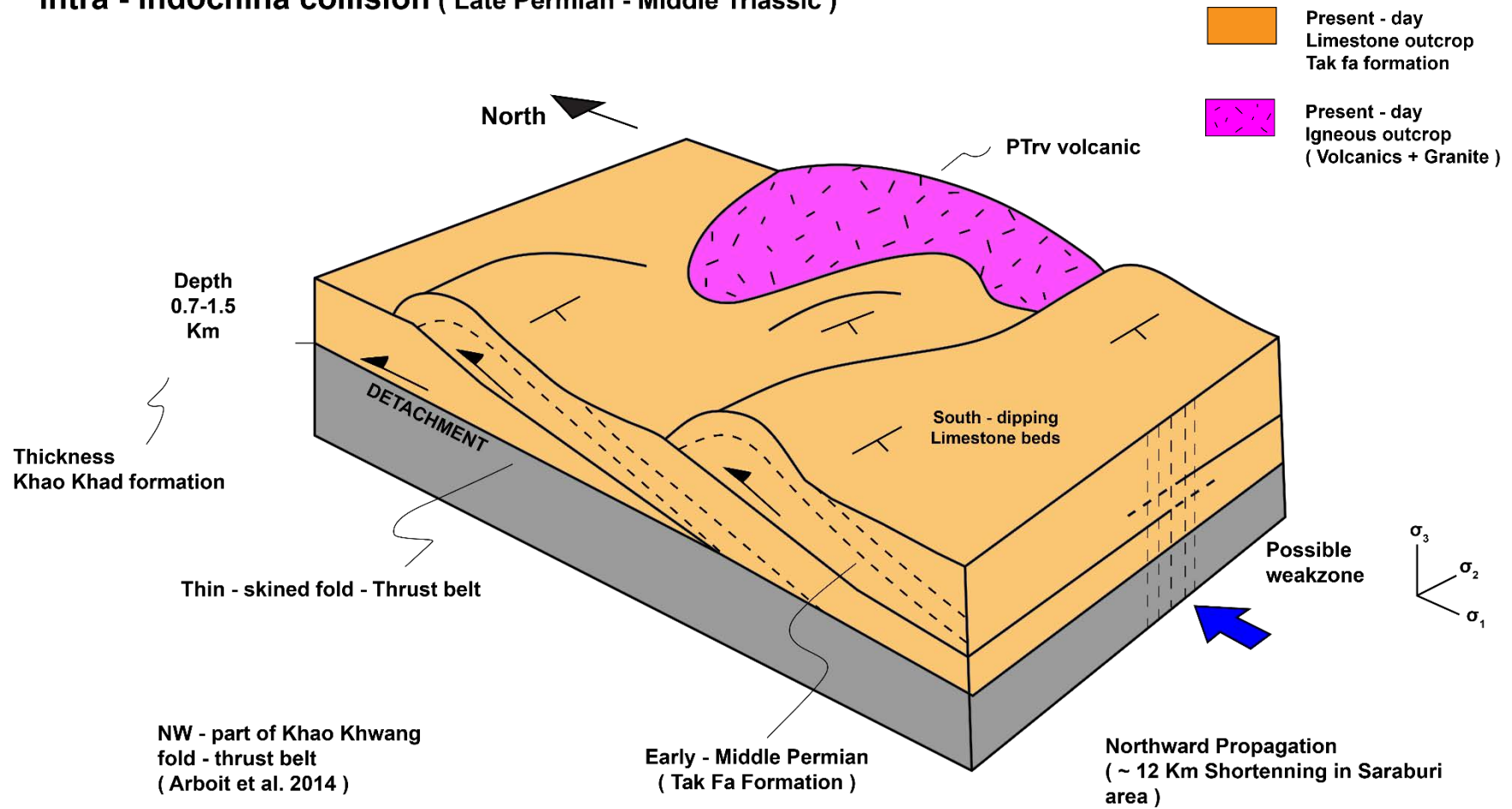
หลังจากการเกิดขึ้นหินคดโค้งและรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำในช่วงเวลาแรกและทิศทางของแรงอัดแนวเหนือ - ใต้ที่ทำให้เกิดรอยเลื่อนย้อนหยุดการพัฒนาในช่วงยุคไทรแอสซิกตอนปลาย ต่อมาในช่วงยุคครีเทเชียสตอนปลายขณะนั้นคาดว่าเขตรอยเลื่อนแม่ปิงเริ่มพัฒนาขึ้นแล้ว ซึ่งเป็นผลจากการชนกันของแผ่นเปลือกโลกไซบูมาสุกับแผ่นเปลือกโลกพม่าตะวันตก (Western Burma terrane) และต่อเนื่องมาช่วงสมัยอีโอซีน - สมัยอีโอลิโกซีน (Eocene–Oligocene) การชนกันของแผ่นเปลือกโลกอินเดียบัยูเรเชีย (India-Eurasia collision) ทำให้ทิศทางแรงอัดในแนวตะวันออก - ตะวันตกและค่อยมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางเป็นทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (Smith et al., 2007; Morley et al., 2007) ในช่วงเหตุการณ์ธรณีแปรสัณฐานสองครั้งหลัง เขตรอยเลื่อนแม่ปิงแสดงการเลื่อนตัวแบบซ้ำเข้าและเคลื่อนที่ผ่านและอัดกัน (transpression) ทำให้เกิดการยกตัวของโครงสร้างในลักษณะของโครงสร้างดอกไม้บวก (positive flower structure, Cunningham กับ Mann, 2007) (รูปที่ 6.4) ที่ทำให้เกิดลักษณะปรากฏเป็นแนวสันเขาเหนือ-ใต้ภายในโครงสร้างเกยทับซ้อนนาท (Chainat duplex) ที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Smith et al. (2007) Morley et al. (2007) และ Prasongtham & Kanjanapayont (2014) ที่ได้ศึกษาธรณีวิทยาโครงสร้างของสันเขาแนวเหนือ - ใต้ภายในโครงสร้างเกยทับซ้อนนาทและคาดว่าแนวสันเขาบริเวณด้านตะวันออกพื้นที่ศึกษาเป็นผลจากเกิดการธรณีวิทยาโครงสร้างในลักษณะเดียวกัน





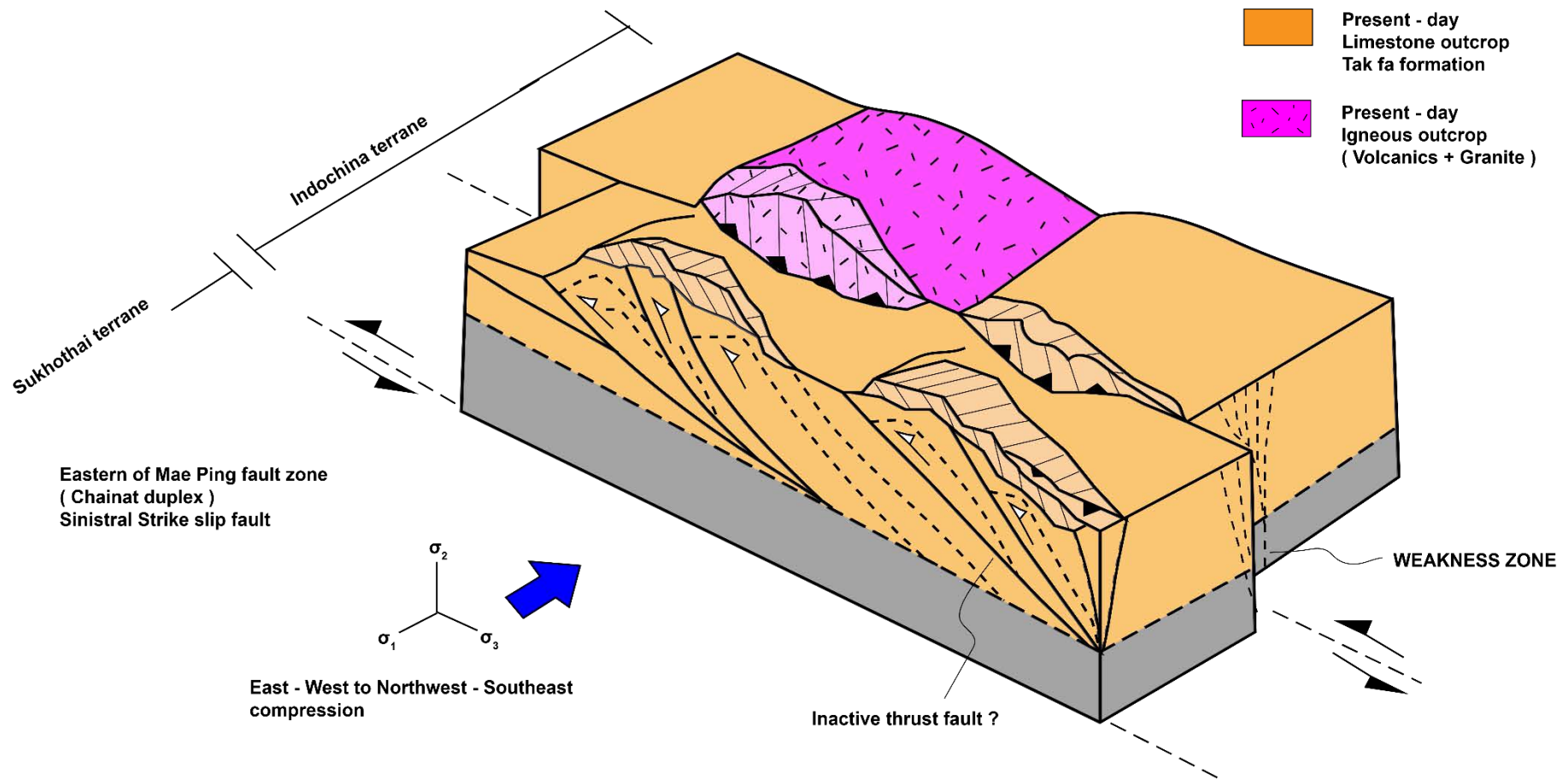
รูปที่ 6.2 แผนที่การสภาพการแปรธรณีฐานในช่วง 260 – 210 ล้านปีก่อนซึ่งประกอบไปด้วยแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนเหนือ แผ่นเปลือกโลกอินโดจีนใต้ เขตแนวภูเขาไฟสุโขทัย แผ่นเปลือกโลกไซบิวมาสุ (Morley, 2018)

Intra - Indochina collision (Late Permian - Middle Triassic)



รูปที่ 6.3 แบบจำลองวิวัฒนาการธรณีวิทยาโครงสร้างของด้านตะวันออกของพื้นที่ศึกษา การชนกันภายในของแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนช่วงปลายยุคเพอร์เมียนถึงกลางยุคไทรแอสซิก และชั้นหินคดโค้งและรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำแสดงการเกยไปทางเหนือ

Chainat duplex geometry (Eocene - Oligocene)



รูปที่ 6.4 แบบจำลองวิวัฒนาการธรณีวิทยาโครงสร้างของด้านตะวันออกของพื้นที่ศึกษา การเกิดโครงสร้างดอกไม้บวกจากรอยเลื่อนแนวระดับแบบซ้ายเข้าจากแรงอัดในแนวตะวันออก-ตะวันตกถึงตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้

6.4 สรุปผลการศึกษา

- แนวของสันเขาของจังหวัดนครสวรรค์ มีแนวการวางตัวที่ทิศตั้งแต่เหนือ-ใต้ ถึง ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้สอดคล้องกับผลทิศทางการวางตัวหลักของการวิเคราะห์แนวเส้นและสัมพันธ์กับแนวรอยเลื่อนของเขตรอยเลื่อนแม่ปิง
- ทิศทางแนวความเค้นหลักของพื้นที่ศึกษาที่ได้จากการออกภาคสนาม พบเป็นความเค้นหลักของแรงอัดในทิศเหนือ-ใต้ ซึ่งสัมพันธ์กับกระบวนการธรณีแปรสัณฐานช่วงยุคเพอร์โม-ไทรแอสซิกของการชนกันภายในแผ่นเปลือกอินโดจีนเหนือกับอินโดจีนใต้
- สภาพภูมิประเทศและลักษณะธรณีสัณฐานของจังหวัดนครสวรรค์ในปัจจุบัน เป็นผลจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความเค้นและผลจากกระบวนการผุพังและพัดพา ซึ่งเกิดขึ้นตั้งแต่ยุคเพอร์เมียนจนถึงปัจจุบัน
- สันเขาที่เกิดจากธรณีวิทยาโครงสร้างในพื้นที่ศึกษาเกิดการผุพังและสะสมตัวเป็นตะกอนเชิงเขา และคาดว่าส่วนที่เหลืออยู่เป็นส่วนแนวแกนของสันเขาที่เป็นแกนหลักของโครงสร้างที่ยังคงปรากฏอยู่และตะกอนบางส่วนจากการผุพังถูกพัดพาด้วยกระบวนการทางน้ำเกิดการสะสมตัวแบบตะกอนน้ำพาเป็นบริเวณกว้างในพื้นที่ที่มีบริเวณระดับความสูงต่ำ
- อย่างไรก็ตามจากการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาในระดับกว้าง และการสำรวจภาคสนามของหินโผล่สามารถเก็บของของธรณีวิทยาโครงสร้างแบบอื่นหรือการหาหลักฐานที่มาช่วยยืนยันถึงช่วงอายุของการเปลี่ยนแปลงลักษณะของพื้นที่ศึกษา เพื่อหาความสัมพันธ์กับธรณีแปรสัณฐานหลักของประเทศไทยในแต่ละเหตุการณ์และสามารถอธิบายถึงลำดับวิวัฒนาการของธรณีวิทยาโครงสร้างของพื้นที่ศึกษาได้อย่างถูกต้องแน่นอนมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Anderson, E. M., 1905, The dynamics of faulting, *Trans. Edin. Geol. Soc.*, 8, 387-402.
- Arboit, F., Collins, A. S., King, R., Morley, C. K., & Hansberry, R., 2014. Structure of the Sibumasu-Indochina collision, central Thailand: A section through the Khao Khwang Fold and thrust belt. *Journal of Asian Earth Sciences*, 95, pp. 182-191.
- Assavapatchara, S., Charusiri, P., Charoentitirat, T., Chutakositkanon, V., Hisada, K., and Ueno, K., 2006, On the lithostratigraphy of Permian rocks in Thailand: Implications for depositional environments and tectonic settings: *Journal of the geological society of Thailand*, no. 1, p. 27-48.
- Barber, A. J., Crow, M. J. & Milsom, J. S. (eds), 2005. *Sumatra: Geology, Resources and Tectonic Evolution*. Geological Society, London, Memoir, 31.
- Barber, A. J. & Crow, M. J., 2009. Structure of Sumatra and its implications for the tectonic assembly of Southeast Asia and the destruction of Paleotethys. *Island Arc*, 18, 3–20
- Barr, S.M., Charusiri, P., 2011. Volcanic rocks. In: Ridd, M.F., Barber, A.J., Crow, M.J. (Eds.), *The Geology of Thailand*. Geological Society, London, pp. 415–439.
- CCOP., 2002. Magnetic anomaly map of East Asia 1:4,000,000 – CD-ROM version (2nd edn). Co-ordinating Committee for Coastal and Offshore Geoscience Programmed in East and Southeast Asia (CCOP), Bangkok.
- Cobbing, E.J., 2011. Granitic rocks. In: Ridd, M.F., Barber, A.J., Crow, M.J. (Eds.), *The Geology of Thailand*. Geological Society, London, pp. 441–457.
- Cunningham, W. D., and P. Mann., 2007. *Tectonics of Strike-Slip Restraining and Releasing Bends*. Geological Society, London, Special Publications, vol. 290, no. 1, pp. 1–12.
- DEPARTMENT OF MINERAL RESOURCES (DMR), 2004. Discharge alluvial fan in Chao Phraya basin: An Exhibition of geophysical data. Geotechnics Division, Department of Mineral Resources, Bangkok

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Dew, R. E., King, R., Collins, A. S., Morley, C. K., Arboit, F., & Glorie, S., 2017. Stratigraphy of deformed Permian carbonate reefs in Saraburi Province, Thailand. *Journal of the Geological Society*, 175, no. 1, pp. 163-175.

Google earth. ภาพถ่ายเมื่อ 21 สิงหาคม 2560. เข้าถึงได้จาก
<https://www.google.com/earth/index.html> เข้าถึงเมื่อ 30 พฤษภาคม 2562

JAXA/METI ALOD PALSAR Hi-Res terrain corrected, 2010 เข้าถึงได้จาก
<<https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>> เข้าถึงเมื่อ 20 ธันวาคม 2561)

LACASSIN, R., HINTHONG, C. ET AL., 1997. Cenozoic diachronic extrusion and deformation of western Indochina: structure and $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ evidence from NW Thailand. *Journal of Geophysical Research*, 102, 10 013–10 037.

Meerat, T., 2018. Fracture analogue modeling and fluid evolution, central Thailand: A tectonically driven fluid system. Chulalongkorn University, Bangkok (MSc thesis).

Metcalf, I. 2013. Gondwana Dispersion and Asian Accretion: Tectonic and Palaeogeographic Evolution of Eastern Tethys. *Journal of Asian Earth Sciences*, vol. 66, pp. 1–33.,

Morley, C. K., M. Smith, A. Carter, P. Charusiri, and S. Chantraprasert., 2007. Evolution of Deformation Styles at a Major Restraining Bend, Constraints from Cooling Histories, Mae Ping Fault Zone, Western Thailand. *Geological Society, London, Special Publications* 290, no. 1.

Morley, C.K., 2018. Understanding Sibumasu in the context of ribbon continents. *Gondwana Research*, 64, pp. 184-215.

Nakornsri, N., 1977, Geological map of sheet Amphoe Ban Mi (ND 47-4), 1:250,000 scale: Geological Survey Division, Department of Mineral Resources.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Nakornsri, N., 1981, Geology and Mineral Resources of Amphoe Ban Mi (ND 47-4) : Geological Survey Report Number, 3, Department of Mineral Resources, Bangkok, Thailand, 36 p. (in Thai)
- Piyasin, S., 1972, Geology of Changwat Lampang Sheet (NE 47-7), scale 1:250,000: Department of Mineral Resources, Report of Investigation, no. 14, 98 p. (in Thai with English summary).
- Prasongtham, P. and Kanjanapayont, P., 2014. Deformation Styles of the Uthai Thani-Nakhon Sawan Ridge within the Chainat Duplex, Thailand, *Journal of Earth Science* 25, no. 5, pp. 854-860.
- Saesaengseering, D., Sashida, K., Sardud, A., Pooan, S. (2007). Discovery of Permian radiolarian faunas from the Nakhon Sawan and Uthai Thani areas, Central Thailand. In: Tantiwanit, W. (Ed.), Proceedings of the International Conference on Geology of Thailand (GEOTHAI '07): Towards Sustainable Development and Sufficiency Economy. Department of Mineral Resources, Bangkok, p. 72.
- Sinsakul, S., 1922. Evidence of Quarternary Sea Level Changes in the Coastal Areas of Thailand: A Review, *Journal of Southeast Asian Earth Sciences* 7, no. 1, pp. 23-37.
- Smith, M., Chantraprasert S., Morley C.K., and Cartwright, I., 2007. Structural Geometry and Timing of Deformation in the Chainat Duplex, Thailand, *Geological Society, London, Special Publications* 290, no. 1, pp. 305-323.
- Sone, M., and I. Metcalfe., 2008, Parallel Tethyan sutures in mainland Southeast Asia: New insights for Palaeo-Tethys closure and implications for the Indosinian Orogeny: ScienceDirect, p. 166-179.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Ueno, K., Charoentitirat, T., 2011. Carboniferous and Permian. In: Ridd, M.F., Barber, A.J., Crow, M.J. (Eds.), *The Geology of Thailand*. Geological Society, London, pp.71–136.
- Ueno, K., Miyahigashi, A., Kamata Y., Kato M., Charoentitirat, T., and Limruk, S., 2012. Geotectonic Implications of Permian and Triassic Carbonate Successions in the Central Plain of Thailand, *Journal of Asian Earth Sciences* 61, pp. 33-50.

ภาคผนวก

Latitude	Longitude	Fault plane		Fault slip	
		Strike	dip	Plunge azimuth	Plunge
15.2714	100.3828	264	77	346	64
15.2712	100.3829	279	70	332	68
15.2712	100.3829	275	72	330	70
15.2712	100.3829	265	68	353	69
15.2712	100.3829	279	76	324	68
15.2712	100.3829	231	65	328	62
15.2711	100.3829	265	69	343	63
15.2711	100.3830	300	52	110	16
15.2710	100.3829	277	68	345	64
15.2710	100.3829	300	64	17	69
15.2710	100.3829	294	73	344	67
15.2711	100.3829	246	68	341	64
15.2713	100.3826	142	67	129	21
15.2713	100.3826	155	69	122	18
15.2713	100.3826	136	64	87	23
15.2713	100.3826	137	70	116	29
15.2713	100.3827	359	42	95	35
15.2713	100.3827	359	42	98	36
15.2713	100.3827	303	67	93	40
15.2713	100.3827	278	63	108	38
15.2713	100.3827	312	48	97	41
15.2713	100.3827	308	51	4	43
15.2714	100.3827	267	62	54	52
15.2714	100.3828	280	68	304	45
15.2714	100.3828	274	65	304	36
15.2711	100.3822	327	82	112	36
15.2712	100.3823	323	90	112	41
15.2711	100.3823	338	87	105	35
15.2714	100.3822	293	89	111	25
15.2712	100.3822	271	48	353	62
15.2712	100.3823	273	50	19	50
15.2712	100.3823	275	49	6	54
15.2712	100.3823	262	58	358	56
15.2708	100.3809	120	57	137	30
15.2708	100.3809	118	57	139	29
15.2708	100.3809	110	56	152	31
15.2708	100.3809	118	55	145	38
15.2707	100.3809	131	65	140	39
15.2707	100.3809	147	64	142	41
15.2707	100.3809	134	64	138	35
15.2707	100.3809	139	67	141	34
15.2707	100.3810	117	59	144	35

Latitude	Longitude	Fault plane		Fault slip	
		Strike	dip	Plunge azimuth	Plunge
15.2707	100.3810	123	65	134	31
15.2707	100.3810	99	53	141	31
15.2709	100.3814	209	79	314	67
15.2708	100.3814	211	85	308	64
15.2778	100.4403	132	58	301	5
15.2778	100.4403	131	58	306	5
15.2773	100.4403	282	72	122	42
15.2773	100.4403	267	78	124	46
15.2773	100.4403	276	77	124	43
15.2773	100.4403	274	74	126	39
15.2773	100.4402	314	89	131	53
15.2774	100.4404	85	42	101	6
15.2774	100.4404	94	43	99	5
15.2773	100.4404	89	47	102	7
15.2774	100.4404	98	44	97	1
15.2773	100.4402	92	46	106	15
15.2890	100.3760	123	26	211	21
15.2890	100.3761	102	34	199	20
15.2890	100.3761	119	27	205	23
15.2890	100.3761	111	38	197	28
15.2890	100.3761	89	30	205	24
15.2890	100.3761	114	31	203	19
15.2890	100.3761	146	42	213	23
15.2890	100.3762	260	83	76	1
15.2890	100.3765	260	79	77	5
15.2890	100.3765	262	69	79	0
15.2877	100.3757	266	51	260	4
15.2877	100.3757	271	63	267	5
15.2877	100.3757	279	62	267	3
15.2877	100.3757	265	56	263	9
15.2877	100.3757	263	50	85	4
15.2877	100.3757	89	24	132	17
15.2877	100.3757	98	25	128	18
15.2877	100.3757	99	37	164	21
15.2877	100.3757	120	36	201	28
15.2877	100.3757	119	40	203	25
15.2881	100.3760	123	25	203	28
15.2881	100.3760	123	25	201	24
15.2881	100.3761	123	25	164	21
15.2881	100.3760	123	25	149	11
15.2881	100.3763	2	84	241	21
15.2881	100.3762	340	88	242	21
15.2881	100.3762	352	89	236	19
15.2881	100.3762	20	83	244	10
15.2881	100.3762	345	84	242	47
15.2881	100.3763	2	84	232	46

Latitude	Longitude	Fault plane		Fault slip	
		Strike	Dip	Plunge azimuth	Plunge
15.2881	100.3762	340	88	236	45
15.2881	100.3762	352	89	233	45
15.2881	100.3762	20	83	234	23
15.2881	100.3762	345	84	234	24
15.2882	100.3758	88	80	197	77
15.2882	100.3758	86	82	185	81
15.2882	100.3758	74	82	216	86
15.2882	100.3758	91	72	136	79
15.2882	100.3758	58	77	176	76
15.2882	100.3758	88	80	75	24
15.2882	100.3758	86	82	77	29
15.2882	100.3758	74	82	74	34
15.2882	100.3758	91	72	72	28
15.2882	100.3758	58	77	75	32
15.2883	100.3758	6	80	-	-
15.2883	100.3758	353	75	-	-
15.3340	100.2629	58	79	18	46
15.3340	100.2628	70	78	18	50
15.3334	100.2620	37	23	69	18
15.3334	100.2620	40	22	74	20
15.3335	100.2621	323	35	63	26
15.3335	100.2621	342	36	57	31
15.3335	100.2621	323	35	121	13
15.3335	100.2621	342	36	124	20
15.3335	100.2621	342	36	112	18
15.3336	100.2621	341	36	129	14
15.3336	100.2621	341	36	81	33
15.3455	100.2572	276	44	295	27
15.3455	100.2572	225	29	246	24
15.3455	100.2572	279	43	290	25
15.3455	100.2574	121	58	296	11
15.3459	100.2566	117	28	264	20
15.3459	100.2566	116	39	270	10