



โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

การวิเคราะห์สันเขาในประเทศไทย

โดย

นางสาวกมลวรรณ ทองดี

เลขประจำตัวนิสิต 6032701223

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์สันเขาในประเทศไทย

นางสาวกมลวรรณ ทองดี

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563

MOUNTAIN RIDGE ANALYSIS IN THAILAND

MISS KAMOLWAN THONGDEE

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 2020

หัวข้อโครงการ

การวิเคราะห์สันเขาในประเทศไทย

โดย

นางสาวกมลวรรณ ทองดี

สาขาวิชา

ธรณีวิทยา

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการหลัก

ศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้

วันที่ส่ง.....14. พฤษภาคม 2564....

วันที่อนุมัติ.....7. พฤษภาคม 2564....



.....
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการหลัก
(ศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้)

Project Title MOUNTAIN RIDGE ANALYSIS IN THAILAND
By Miss Kamolwan Thongdee
Field of Study Geology
Project Advisor Professor Santi Pailoplee, Ph. D.

Submitted date..... 14 May 2021.....

Approval date..... 7 May 2021.....


.....

Project Advisor
(Professor Santi Pailoplee, Ph. D.)

กมลวรรณ ทองดี : การวิเคราะห์สันเขาในประเทศไทย. (MOUNTAIN RIDGE ANALYSIS IN THAILAND) อ.ที่ปรึกษาโครงการหลัก : ศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้, 45 หน้า.

บทคัดย่อ

สันเขาเป็นลักษณะทางธรณีสัณฐานที่เกิดขึ้นจากการแปรสัณฐานร่วมกับกระบวนการผุพังอย่างหนึ่ง โดยสันเขาเหล่านี้มีรูปร่างที่ไม่เป็นระเบียบ ซึ่งค่าหนึ่งที่สามารถนำมาใช้อธิบายความไม่เป็นระเบียบนี้ได้ คือ ค่ามิติแฟร็กทัล การศึกษานี้จึงสนใจการคำนวณหาค่ามิติแฟร็กทัลของแนวเส้นสันเขาในประเทศไทย โดยการแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็นช่องเล็กที่มีขนาดเท่า ๆ กัน ซึ่งมิติแฟร็กทัลที่ใช้ในการวิเคราะห์ในการศึกษานี้มี 2 วิธี คือ การวิเคราะห์แฟร็กทัลด้วยวิธีบอกซ์เคาน์ติ้งและวิเคราะห์ค่ามิติสหสัมพันธ์ นำมาประกอบกับข้อมูลความหนาแน่นของเส้นสันเขาและแนวโน้มการวางตัวของเส้นสันเขาผ่านแผนภาพกุหลาบ เพื่อนำไปใช้ในประกอบกับข้อมูลธรณีสัณฐานเพื่ออธิบายขอบเขตของธรณีแปรสัณฐานที่แตกต่างกัน

ผลการวิเคราะห์พบว่าทิศทางหลักของแนวเส้นสันเขาอยู่ในแนวทิศตะวันออก-ตะวันตก อย่างไรก็ตามแนวทิศทางสันเขาในแนวนี้จะเป็นแนวเส้นสันเขารองที่แตกแขนงออกมาจากเส้นสันเขาหลักที่มีการวางตัวไปในทิศทางเดียวกับแนวเทือกเขาของแต่ละเทือกเขา การเกิดของแนวเทือกเขาหลัก ๆ ของประเทศไทยสอดคล้องกับเหตุการณ์แปรสัณฐาน 3 เหตุการณ์ คือ การก่อเกิดเทือกเขาอินโดจีนเนียนและการชนของแผ่นเปลือกโลกพม่าตะวันตกเข้ากับแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย ซึ่งเหตุการณ์ทั้ง 2 มีแรงที่กระทำหลักอยู่ในแนวตะวันออก-ตะวันตก จะทำให้เกิดแนวสันเขาที่อยู่ในแนวเหนือ-ใต้และอีกเหตุการณ์หนึ่ง คือ การก่อเกิดเทือกเขาหิมาลัย ซึ่งเป็นแรงกระทำในแนวเหนือ-ใต้ ทำให้แนวเทือกเขาที่เกิดขึ้นอยู่ในแนวตะวันออก-ตะวันตก

ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์แฟร็กทัลมีค่าตั้งแต่ 0.20 ถึง 2.97 และพบว่าแผนที่กระจายเชิงพื้นที่ที่มีการแสดงผลไปตามแนวลองติจูด ซึ่งไม่มีความสัมพันธ์กับการวางตัวของเส้นสันเขาในพื้นที่ได้และจากการวิเคราะห์ค่าแฟร็กทัลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีบอกซ์เคาน์ติ้งที่ค่าตั้งแต่ 0.40 ถึง 1.69 พบว่าบริเวณที่มีค่าแฟร็กทัลสูงเป็นบริเวณที่มีความหนาแน่นของเส้นสันเขาสูง สอดคล้องกับบริเวณที่มีการเกิดกระบวนการแปรสัณฐานและบริเวณที่มีค่าแฟร็กทัลต่ำเป็นบริเวณที่มีความหนาแน่นของเส้นสันเขาต่ำ สอดคล้องกับบริเวณที่ราบที่มีการสะสมของตะกอน

ภาควิชา	ธรณีวิทยา	ลายมือชื่อนิสิต	กมลวรรณ ทองดี
สาขาวิชา	ธรณีวิทยา	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก.....	Santi
ปีการศึกษา	2563		

6032701223 : MAJOR GEOLOGY

KEYWORDS : MOUNTAIN RIDGE / FRACTAL ANALYSIS / BOX-COUNTING / CORRELATION

KAMOLWAN THONGDEE: MOUNTAIN RIDGE ANALYSIS IN THAILAND. ADVISOR:
PROFESSOR SANTI PAILOPLEE, Ph. D. 45 pp.

ABSTRACT

Mountain ridge is a geological feature on the Earth's surface, that is formed by tectonic events and weathering or erosion process. These mountain ridge lines exhibit irregular geometry that could be described as fractal dimensions. There were two methods of fractal dimensions used in this study: fractal analysis by box-counting dimension and correlation dimension. Association with a density and orientation of the ridge to describe the boundaries of the tectonic events.

The analysis results show that the main orientations of the ridge line are in the East-West trend. However, this trend is a secondary ridge that branches out from the main ridge line. The formation of the mountain range in Thailand corresponds to three tectonic events: Indosinian orogeny and the collision of the Western Burma tectonic plate into the Eurasian tectonic plate. Both events are East-West compression forces that created the North-South ridge line. Including another event is the Himalayan orogeny which is North-South compression forces that created the East-West ridge line

The value of the correlation dimension ranges from 0.20 to 2.97 in 15x15 km² grid size. The spatial map of correlation map shows values along the longitude. Which couldn't explain the relationship with ridge line data. The value of fractal dimension ranges from 0.40 to 1.69 in 15x15 km² grid size. Area with high fractal values associated with high-density ridge line that corresponds to the area where the tectonic process has occurred. While area with low fractal values related to the low-density ridge line that corresponds to the plain area with sediment accumulation.

Department : Geology

Field of Study : Geology

Academic Year : 2020

Student's Signature..... กมลวรรณ ทองดี.....

Advisor's Signature..... Santi Pailoplee.....

กิตติกรรมประกาศ (ACKNOWLEDGEMENT)

โครงการเรื่องการวิเคราะห์แนวสันเขาในประเทศไทยฉบับนี้ สามารถดำเนินการจนประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้จัดทำขอขอบคุณภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนทางด้านงบประมาณและค่าใช้จ่ายในการศึกษาครั้งนี้

ขอขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ เนื่องจากสนับสนุนเป็นอย่างดีได้รับความอนุเคราะห์และให้คำปรึกษาและคำแนะนำในทุก ๆ ด้าน ทั้งด้านวิชาการ การใช้โปรแกรม การออกแบบการนำเสนอและการทำรูปเล่ม รวมถึงการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณนางสาวกัญญกร ประเสริฐวิริยะที่ให้ข้อมูลอันเป็นประโยชน์สำหรับการทำโครงการสุดท้ายขอขอบคุณเพื่อน ๆ Geo รุ่น 61 ทุกคนที่ช่วยเป็นกำลังใจให้การจัดทำโครงการในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นางสาวกมลวรรณ ทองดี

ผู้จัดทำ

สารบัญ (LIST OF CONTENT)

	หน้า
บทคัดย่อ	ค
ABSTRACT	ง
กิตติกรรมประกาศ (ACKNOWLEDGEMENT)	จ
สารบัญ (LIST OF CONTENT)	ฉ
สารบัญรูปภาพ (LIST OF FIGURE)	ฅ
สารบัญตาราง (LIST OF TABLE)	ฎ
บทที่ 1 บทนำ (INTRODUCTION)	1
1.1. ที่มาและความสำคัญ (Theme And Background)	1
1.2. พื้นที่ศึกษา (Study Area)	3
1.3. จุดประสงค์ (Objective)	3
1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ (Benefit)	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (THEORY AND PREVIOUS WORK)	5
2.1. การก่อเทือกเขา (Orogeny)	5
2.2. ลักษณะภูมิประเทศและลักษณะทางธรณีวิทยาของประเทศไทย (Topography and Geology of Thailand)	6
2.3. วิวัฒนาการทางธรณีวิทยาแปรสัณฐาน (Tectonic Evolution)	8
2.4. การวิเคราะห์แผนภาพกุหลาบ (Rose Diagram Analysis)	12
2.5. การวิเคราะห์แฟร็กทัล (Fractal Analysis)	12
2.5.1. แฟร็กทัล (Fractal)	12
2.5.2. มิติแฟร็กทัล (Fractal Dimension)	13
2.5.3. มิติบ็อกซ์เคาน์ติง (Box-counting Dimension, D_b)	15
2.5.4. มิติสหสัมพันธ์ (Correlation Dimension, D_c)	15
2.6. Kriging	17
2.7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Previous Work)	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย (METHODOLOGY)	19
3.1. ศึกษาและรวบรวมเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)	20
3.2. การจัดเตรียมข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ (Data Preparation)	20
3.3. การวิเคราะห์แนวเส้นสันเขา (Mountain Ridge Line Analysis)	20
3.4. การวิเคราะห์ความหนาแน่น (Density Analysis)	22
3.5. การวิเคราะห์แผนภาพกุหลาบ (Rose Diagram Analysis)	22
3.6. การวิเคราะห์แฟร็กทัล (Fractal Analysis)	22
3.6.1. การเตรียมข้อมูลในการวิเคราะห์ (Data Preparation)	22
3.6.2. การดำเนินงานการวิเคราะห์แฟร็กทัล (Fractal Analysis Processing)	23
บทที่ 4 ผลการวิจัย (RESULT)	24
4.1. ผลจากการวิเคราะห์ความหนาแน่นของเส้นสันเขา (Result of Density Analysis)	24
4.2. ผลจากการวิเคราะห์แผนภาพกุหลาบ (Result of Rose Diagram Analysis)	27
4.2.1. แนวเส้นสันเขาในพื้นที่ศึกษา (Ridge Line in Study Area)	27
4.2.2. การแบ่งเส้นสันเขาตามแนวเทือกเขา (Ridge Line Divided by Mountain Range)	29
4.3. ผลจากการวิเคราะห์แฟร็กทัล (Result of Fractal Analysis)	33
4.3.1. วิเคราะห์มิติสหสัมพันธ์ (Correlation Dimension Analysis)	33
4.3.2. วิเคราะห์มิติบ็อกซ์เคาน์ติง (Box-counting Dimension Analysis)	37
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผล (DISCUSSION AND CONCLUSION)	40
5.1. อภิปรายผลการวิจัย (Discussion)	40
5.1.1. ผลจากการวิเคราะห์แผนภาพกุหลาบ (Result of Rose Diagram Analysis)	40
5.1.2. ผลจากการวิเคราะห์มิติสหสัมพันธ์ (Result of Correlation Dimension Analysis)	41
5.1.3. ผลจากการวิเคราะห์มิติบ็อกซ์เคาน์ติง (Result of Box-counting Dimension Analysis)	41

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2. สรุปผลการวิจัย (Conclusion)	42
5.3. ข้อเสนอแนะ (Recommendation)	43
บรรณานุกรม (REFERENCE)	44

สารบัญรูปภาพ (LIST OF FIGURE)

	หน้า
รูป 1.1. แผนที่แสดงขอบเขตพื้นที่ศึกษาบริเวณประเทศไทย	4
รูป 2.1. แผนที่แสดงแนวเทือกเขาบริเวณประเทศไทย	7
รูป 2.2. แบบจำลองวิวัฒนาการของการแปรสัณฐานในช่วงยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนปลายถึงมายุคซีโนโซอิก โดยจุดศึกษาระหว่างขอบแผ่นอินโดจีนและเขตแนวภูเขาไฟสุโขทัย (Meerat, 2018)	10
รูป 2.3. แสดงการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกอีระเวดีและไซบูมาสุ บริเวณตะวันตกของทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ก) ยุคครีเทเชียสตอนต้นถึงข) ยุคครีเทเชียสตอนปลายถึง ค) ปัจจุบัน (Ridd, 2016)	11
รูป 2.4. แพร่กัทล์ที่พบได้ในธรรมชาติ ก) เกล็ดหิมะ ข) ไบเฟิร์น ค) ชายฝั่งทะเล ง) เทือกเขา	12
รูป 2.5. ตัวอย่างแพร่กัทล์ที่สร้างขึ้นจากรูปเรขาคณิต ก) เกล็ดหิมะคือค) สามเหลี่ยมเชียร์พินสกี ค) เซตม็องแดลโบร ง) จูเลียเซต	13
รูป 2.6. แสดงตัวอย่างวิธีการหาค่ามิติแฟร็กทัล ก) รูปเรขาคณิตแบบยูคลิดจะได้มิติเป็นจำนวนเต็ม ข) สามเหลี่ยมเชียร์พินสกี จะได้มิติที่ไม่เป็นจำนวนเต็ม	14
รูป 2.7. แผนภาพแสดงการทำซ้ำ 5 ครั้งของการหาค่ามิติแฟร็กทัลด้วยวิธีบอกซ์เคาน์ติ้ง	16
รูป 2.8. ตัวอย่างค่ามิติสหสัมพันธ์ ก) จุดสุ่มบนวงกลมแสดงลักษณะเป็นแนวเส้นโดยมีค่ามิติสหสัมพันธ์คือ 1.01 ข) จุดสุ่มบนทรงกลมแสดงลักษณะเป็นพื้นที่โดยมีค่ามิติสหสัมพันธ์คือ 2.00 ค) จุดสุ่มภายในวงกลมแสดงลักษณะเป็นปริมาตร โดยมีค่ามิติสหสัมพันธ์คือ 2.62 (Wang and Shan, 2009)	17
รูป 3.1. แผนภาพลำดับแสดงวิธีดำเนินงานวิจัย	19
รูป 3.2. แผนที่แสดงเส้นสั้นเขาในพื้นที่ศึกษา	21
รูป 4.1. แผนที่เส้นชั้นความสูงแสดงความหนาแน่นของเส้นสั้นเขาในพื้นที่ศึกษา	26
รูป 4.2. ก) แผนที่แสดงเส้นสั้นเขาบริเวณประเทศไทยที่ได้จากการวิเคราะห์ ข) แผนภาพภูทาบแสดงแนวทิศทางการวางตัวของเส้นสั้นเขาในพื้นที่ศึกษา	28
รูป 4.3. แผนที่แสดงเส้นสั้นเขาในพื้นที่ศึกษาที่แบ่งตามขอบเขตของแนวเทือกเขา	30
รูป 4.4. แผนภาพภูทาบของแนวเส้นสั้นเขาที่แบ่งตามแนวเทือกเขา	31

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูป 4.5. แสดงการกระจายตัวของค่ามิติสหสัมพันธ์ (D_c) ในพื้นที่ศึกษา: พื้นที่ศึกษาย่อยขนาด 15x15 ตารางกิโลเมตร	36
รูป 4.6. แสดงการกระจายตัวของค่ามิติแฟร็กทัล (D_b) ในพื้นที่ศึกษา: พื้นที่ศึกษาย่อยขนาด 15x15 ตารางกิโลเมตร	39

สารบัญตาราง (LIST OF TABLE)

	หน้า
ตาราง 4.1. แสดงแนวทิศทางและจำนวนเส้นสั้นเขาในพื้นที่ศึกษา	27
ตาราง 4.2. แสดงแนวทิศทางและจำนวนเส้นสั้นเขาของแต่ละแนวเทือกเขาในพื้นที่ศึกษา	32
ตาราง 4.3. แสดงแนวทิศทางหลักของเส้นสั้นเขาของแต่ละแนวเทือกเขา	33

บทที่ 1

บทนำ (INTRODUCTION)

1.1. ที่มาและความสำคัญ (Theme And Background)

การวิเคราะห์ศึกษาทางธรณีวิทยา ธรณีแปรสัณฐาน (tectonic) และธรณีวิทยาโครงสร้างในพื้นที่ขนาดกว้าง (regional scale) สามารถศึกษาได้จากลักษณะธรณีสัณฐาน (morphology) ของพื้นผิวในพื้นที่นั้น ๆ ซึ่งลักษณะทางธรณีสัณฐานที่เกิดขึ้นจากการแปรสัณฐานร่วมกับการเปลี่ยนแปลงทางธรรมชาติ ทั้งจากการผุพัง การกัดกร่อน การกัดเซาะของคลื่นลมและกระแสน้ำรวมไปถึงการเคลื่อนที่ของธารน้ำแข็ง ส่งผลให้เกิดลักษณะภูมิประเทศที่เป็นแนวเส้นที่สามารถตรวจวัดได้ด้วยอย่างเช่น แนวเส้นตรง (lineament) หุบเขา (valley) หรือแนวสันเขา (ridge) ปัจจุบันจากการศึกษาทางวิจัยในอดีตพบว่าการนำข้อมูลลักษณะนี้มาวิเคราะห์ในเชิงสถิติ เชิงพื้นที่และแปลความไปในทางธรณีวิทยาต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น ธรณีแปรสัณฐาน ธรณีวิทยาโครงสร้าง หรือแม้กระทั่งธรณีพิบัติภัย ดังที่กล่าวไปข้างต้น ตัวอย่างเช่น

Masoud and Koike (2011) ได้วิจัยเกี่ยวกับธรณีวิทยาแปรสัณฐานจากการวิเคราะห์แนวเส้นตรงในบริเวณคาบสมุทร Sinai ในประเทศอียิปต์ โดยใช้ระบบการตรวจสอบอัตโนมัติจากแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model) ที่มีความละเอียด 90 เมตร มาประกอบกับข้อมูล Gravity grid เพื่อนำมาวิเคราะห์แนวโน้มของธรณีแปรสัณฐานที่ควบคุมวิวัฒนาการของธรณีวิทยาในพื้นที่ ซึ่งแนวทางที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ การแรเงาแบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM shading), การตรวจจับแนวเส้น (segment tracing), การจัดกลุ่ม, การวิเคราะห์ทางสถิติของการกระจาย, แนวโน้มการวางตัวของแนวเส้นและลักษณะของระนาบรอยเลื่อน โดยในการวิเคราะห์เชิงสถิติจะวิเคราะห์จำนวน, ความยาวเฉลี่ย, ความหนาแน่นและแนวการวางตัว เพื่อนำมาใช้อนุมานความรุนแรงของการเคลื่อนที่ของเปลือกโลก พบว่าแนวเส้นตรงที่อยู่ในแนว NW และ NE มี...เท่ากันในยุคพรีแคมเบรียน และแนว NW ...ตั้งแต่ยุคคาร์บอนิเฟอรัสไปจนถึงโฮโลซีน นอกจากนี้พบว่าแนวเส้นตรงส่วนใหญ่วางตัวค่อนข้างอยู่ในแนวตั้งโดยเฉลี่ยประมาณ 65% โดยมี 22% ที่เป็นรอยเลื่อนย้อนกลับและ 13% เป็นรอยเลื่อนปกติ และจากการวิเคราะห์เชิงสถิติจากแนวเส้นตรงที่ตรวจจับได้ประกอบกับข้อมูลทางธรณีวิทยาพบการเคลื่อนที่ของเปลือกโลกที่โดดเด่น 5 เหตุการณ์ ได้แก่ การบีบอัดในยุคพรีแคมเบรียนก่อนที่จะมีขยายในตอนท้าย, การบีบอัดในยุคครีเทเชียส, การบีบอัดในยุคอีโอซีน, การขยายในยุคไมโอซีน และการบีบอัดในยุคโฮโลซีน นอกจากนี้พบว่าแนวเส้นตรงที่ตรวจจับได้และความรุนแรงของคาบของลักษณะธรณีแปรสัณฐานมีความสอดคล้องกับข้อมูลที่นำมาใช้ในการอ้างอิงเกี่ยวกับโครงสร้างทางธรณีวิทยา, โครงร่างธรณีพลศาสตร์ (geodynamic framework)

Prabhakaran and Raj (2018) ได้วิเคราะห์แนวเส้นของธรณีแปรสัณฐาน บริเวณเนินเขา Pachamalai ในประเทศอินเดีย จากข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่สร้างจากข้อมูลดาวเทียม CARTOSAT-1 เพื่อนำมาวิเคราะห์จำนวน, ความยาว, ความหนาแน่นและการกระจายตัวเชิงพื้นที่ โดยใช้โปรแกรม ArcGIS นำประกอบกับข้อมูลแนวการวางตัวที่วิเคราะห์จากโปรแกรม Rockworks พบว่าแนวเส้นตรงที่ได้ประมาณร้อยละ 90 มีขนาดสั้นถึงสั้นมากและมีความยาวรวมของเส้น 680 ตารางกิโลเมตร และมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0 – 3.4 กิโลเมตรต่อตารางกิโลเมตร โดยการวางตัวของแนวเส้นที่หลากหลายของเนินเขาสะท้อนให้เห็นว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะ (deformation) หลายเหตุการณ์ที่ส่งผลกระทบต่อภูมิภาคนี้ตลอดธรณีกาล และมีแนวเส้นประมาณร้อยละ 30 ที่มีความหนาแน่นสูงถึงสูงมากแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะ, การแตกหัก, การเฉือนและการซึมผ่าน (permeability) ของหินในระดับสูงนอกเหนือจากความสามารถในการกักเก็บน้ำของดินและผลผลิตของน้ำใต้ดิน (groundwater yield) ที่สูงขึ้น โดยพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของแนวเส้นตรงสูงจะไม่เหมาะสมสำหรับสร้างเขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำเนื่องจากมีความเป็นไปได้ที่น้ำจะรั่วไหลลงสู่ใต้ผิวดิน

Kusak et al. (2016) ได้วิเคราะห์แนวหุบเขา บริเวณลุ่มแม่น้ำ Jemma ในประเทศเอธิโอเปีย ซึ่งเป็นตัวอย่างบริเวณที่ดีของภูมิภาคที่เป็นที่ราบสูงที่เกิดจากการยกตัวของเปลือกโลก (uplift) และการเกิดภูเขาไฟ (volcanism) เป็นช่วง ๆ เพื่อประเมินอิทธิพลของ neotectonics ต่อวิวัฒนาการของเครือข่ายแม่น้ำและหุบเขา โดยการเปรียบเทียบแนวเส้นของธรณีแปรสัณฐาน รูปร่างของเครือข่ายหุบเขา ทิศทางของแม่น้ำ และความรุนแรงของการกักเก็บน้ำใน 6 ภูมิภาคย่อย โดยอิทธิพลของธรณีแปรสัณฐานบนเครือข่ายของหุบเขา คือ ต่ำในบริเวณหุบเขาที่ลึกและกว้างกว่า และบนที่ราบสูงจะปกคลุมไปด้วยลาวายุคเทอร์เชียรี ในขณะที่ส่วนบนของหุบเขาที่อายุน้อยกว่าจะสูง นอกจากนี้เครือข่ายของหุบเขากับแนวเส้นของธรณีแปรสัณฐานแตกต่างกันไปในแต่ละภูมิภาคย่อย ทิศทางของการกักเก็บน้ำตามแนวเขตแปรสัณฐาน (NE-SW) ทำให้เกิดการกักเก็บน้ำย้อนกลับไปถึงพื้นที่ห่างไกลทางตะวันออกได้ การประเมินเครือข่ายแม่น้ำมีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นทั้งจากการไหลของลาวาของภูเขาไฟและการแปรสัณฐาน ในขณะที่วิวัฒนาการของเครือข่ายแม่น้ำโดยทั่วไปมีผลมากกว่ากระบวนการกักเก็บน้ำและความมลาดชันในระยะยาว

อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ธรณีวิทยาเป็นเครื่องมือในการศึกษาของธรณีวิทยา โครงสร้างอย่างหนึ่งที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อบ่งบอกความเชื่อมโยงทั้งทางตรงและทางอ้อมระหว่างรูปร่างของพื้นผิวโลกในปัจจุบันกับโครงสร้างของเปลือกโลก นอกจากนี้การวิเคราะห์ลักษณะทางธรณีวิทยาของลักษณะภูมิประเทศโดยเฉพาะแนวเส้นตรงได้กลายเป็นเครื่องมือพื้นฐานในการวิเคราะห์เปลือกโลก โดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายที่รับรู้จากระยะไกลอื่น ๆ โดยในการศึกษาเปลือกโลกส่วนใหญ่จะใช้ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข ดังตัวอย่างข้างต้น และจากการศึกษางานวิจัยในอดีตพบว่าในประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาการแปลความด้านแนวสันเขา ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาแนว

สันเขาในเชิงสถิติและในเชิงพื้นที่ ซึ่งผลที่ได้จะแปลความในแง่ของทิศทางการวางตัว ความหนาแน่น และมิติแฟร็กทัล (fractal dimension) จากนั้นแสดงผลออกมาในด้านขอบเขตของธรณีแปรสัณฐาน หรือธรณีวิทยาโครงสร้างที่เกิดขึ้นในประเทศนี้

1.2. พื้นที่ศึกษา (Study Area)

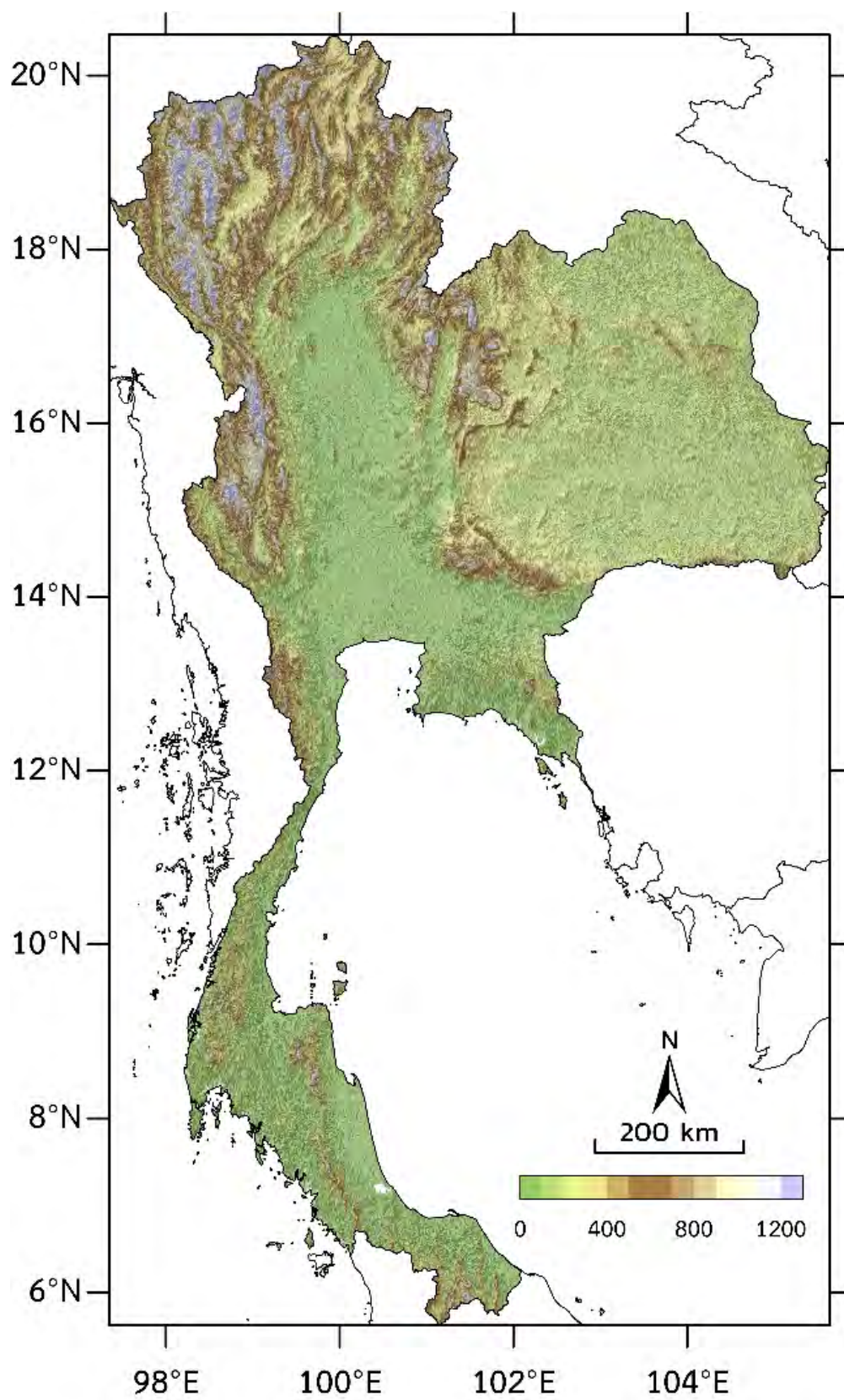
พื้นที่ศึกษา คือ ประเทศไทย ซึ่งตั้งอยู่ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ตำแหน่งที่ละติจูด 5 องศา 37 ลิปดาเหนือ ถึง 20 องศา 28 ลิปดาเหนือ ลองจิจูดที่ 97 องศา 21 ลิปดาตะวันออก ถึง 105 องศา 37 ลิปดาตะวันออก (รูป 1.1.) ทิศเหนือ ติดกับประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว และประเทศเมียนมาร์ ทิศตะวันตก ติดกับประเทศเมียนมาร์และทะเลอันดามัน ทิศตะวันออก ติดกับประเทศกัมพูชาและประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ทิศใต้ ติดกับประเทศมาเลเซียและอ่าวไทย

1.3. จุดประสงค์ (Objective)

เพื่อศึกษารูปแบบของแนวสันเขา เพื่อประเมินลักษณะเฉพาะในทางธรณีวิทยาและธรณีแปรสัณฐานในประเทศไทย

1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ (Benefit)

สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในประกอบกับข้อมูลธรณีสัมฐานเพื่ออธิบายขอบเขตของธรณีแปรสัณฐานที่แตกต่างกันได้



รูป 1.1. แผนที่แสดงขอบเขตพื้นที่ศึกษาบริเวณประเทศไทย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (THEORY AND PREVIOUS WORK)

2.1. การก่อเทือกเขา (Orogeny)

ภูเขาหรือเทือกเขา (mountain) หมายถึง ลักษณะภูมิประเทศที่มีระดับความสูงมากกว่าพื้นที่โดยรอบตั้งแต่ 600 เมตรขึ้นไป เป็นพื้นที่ซึ่งมีความลาดชันสูง โดยการกำเนิดแนวเทือกเขาขนาดใหญ่เป็นผลจากแรงดัน ในขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างของแผ่นเปลือกโลก เช่น การเคลื่อนที่เข้าปะทะกันของแผ่นเปลือกโลก หรือ การมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก ซึ่งเหตุการณ์เหล่านี้ได้ก่อให้เกิดความเค้น (stress) ขึ้นตามแนวรอยต่อระหว่างเปลือกโลกทั้งสอง ส่งผลให้เกิดมวลหินบริเวณนั้นถูกแปรสภาพและยกตัวสูงขึ้นเป็นแนวยาว เรียกว่า แคนเทือกเขา (orogenic belt) โดยกระบวนการแปรสัณฐานที่นำไปสู่การก่อแนวเทือกเขา ก็คือการที่แผ่นเปลือกโลกสองแผ่นเคลื่อนที่เข้าหากัน (convergent plate boundaries) ซึ่งสามารถแบ่งตามชนิดของแผ่นเปลือกโลกที่เคลื่อนที่เข้าหากันได้เป็น 3 กรณี (รัตนภรณ์ พองเงิน, 2554) ดังนี้

1) แผ่นเปลือกโลกภาคพื้นทวีปกับแผ่นเปลือกโลกภาคพื้นทวีป การเคลื่อนที่เข้าหากันของแผ่นเปลือกโลกชนิดนี้ทำให้เกิดการชนกันอย่างรุนแรง เนื่องจากแผ่นเปลือกโลกภาคพื้นทวีปต่างก็มีความหนาและมีความหนาแน่นเท่า ๆ กัน อีกทั้งยังคงมีความหนาแน่นน้อยกว่าชั้นแมนเทิลทั้งคู่จึงไม่เกิดการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก อย่างไรก็ตาม บางครั้งอาจมีการมุดตัวเล็กน้อยหรือธรณีภาคส่วนที่หนากว้างแตกแยกตัวออกจากเปลือกโลกและมุดลงข้างใต้ก็ได้

เศษชิ้นส่วนของเปลือกโลกหรือตะกอนตามขอบทวีปอาจถูกครูดให้มาอยู่ในเขตการชนกัน (collision zone) ก่อให้เกิดการเปลี่ยนสภาพอย่างรุนแรงแบบเมลานจ์ของหิน (highly deformed melange of rock) การบีบอัดอย่างรุนแรงยังสามารถทำให้เกิดการคดโค้งและการเลื่อนของหินในแผ่นเปลือกโลกทั้งสองได้ ขอบเขตการเปลี่ยนสภาพนี้อาจมากถึงหลายร้อยกิโลเมตรภายในแผ่นเปลือกโลก ซึ่งแสดงลักษณะภูมิประเทศเป็นแนวเทือกเขาสูงบนผิวโลก เช่น เทือกเขาหิมาลัย เทือกเขาทางด้านตะวันตกของประเทศไทย

2) แผ่นเปลือกโลกภาคพื้นทวีปกับแผ่นเปลือกโลกภาคพื้นมหาสมุทร ทำให้เกิดการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกภาคพื้นมหาสมุทรลงใต้แผ่นเปลือกโลกภาคพื้นทวีป (subduction) เนื่องจากแผ่นเปลือกโลกภาคพื้นมหาสมุทรมีความหนาน้อย แต่มีความหนาแน่นสูงกว่าแผ่นเปลือกโลกภาคพื้นทวีป

ขณะที่แผ่นเปลือกโลกภาคพื้นมหาสมุทรมุดตัวลงเรื่อย ๆ แผ่นเปลือกโลกส่วนที่มุดลึกลงไปถึงชั้นฐานธรณีภาค (asthenosphere) จะอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น จนกระทั่งส่วนประกอบที่เป็นของเหลวและสารระเหยต่าง ๆ เช่น น้ำหรือคาร์บอนไดออกไซด์ถูกความร้อนทำให้ระเหยกลายเป็นไอลอยขึ้นสู่ด้านบน ซึ่งสารไอร้อนเหล่านี้จะไปบวกรวมสมดุลของชั้นฐานธรณีภาคบริเวณนั้นด้วย ทำให้

เกิดภาวะไม่เสถียรจนเกิดการหลอมเป็นบางส่วน (partial melting) กลายเป็นหินหลอมซึ่งจะก่อตัวในรูปกระเปาะหินหนืด (magma-chamber) ที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าวัสดุแวดล้อมจึงค่อย ๆ ลอยตัวสู่ด้านบนช้า ๆ หากกระเปาะหินหนืดลอยขึ้นมาถึงพื้นผิวโลกโดยไม่มีการแข็งตัวก็จะเกิดการปะทุออกมาในลักษณะของการระเบิดของภูเขาไฟ (volcanic eruption) ซึ่งผลจากการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกชนิดนี้ก่อให้เกิดลักษณะภูมิประเทศสูงเป็นแนวเทือกเขาตามขอบแผ่นทวีป เช่น เทือกเขาแอนดีสทางตะวันตกของทวีปอเมริกาใต้

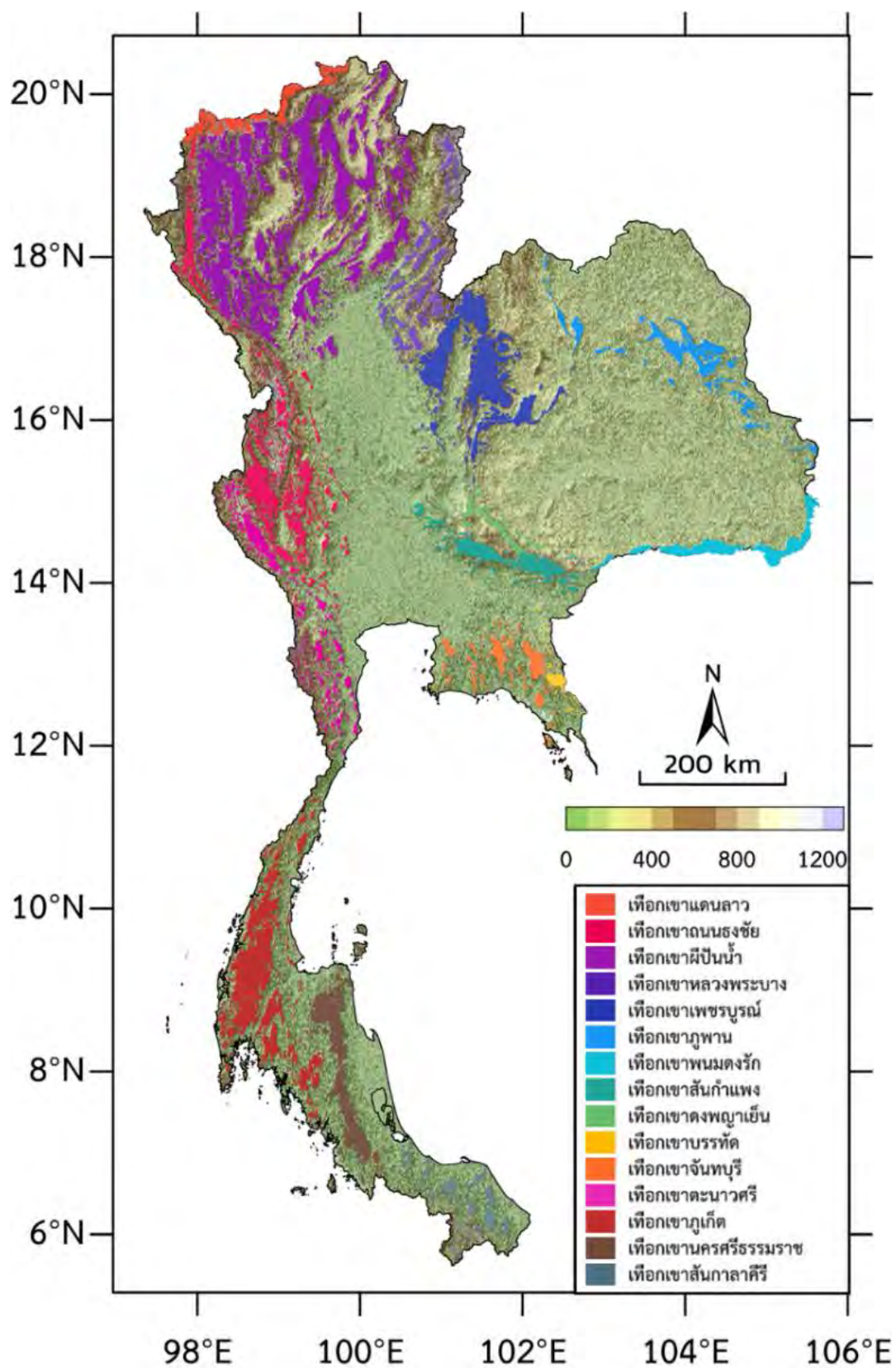
3) แผ่นเปลือกโลกภาคพื้นมหาสมุทรกับแผ่นเปลือกโลกภาคพื้นมหาสมุทร โดยปกติแล้วจะเป็นแผ่นเปลือกโลกที่มีอายุน้อยกว่าจะมุดตัวลงใต้แผ่นเปลือกโลกภาคพื้นมหาสมุทรรายุน้อยเนื่องจากความหนาแน่นที่สูงกว่า จากนั้นกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดจะคล้ายคลึงกับกรณีของการชนกันระหว่างแผ่นเปลือกโลกภาคพื้นทวีปกับแผ่นเปลือกโลกภาคพื้นมหาสมุทรที่กล่าวไว้ในหัวข้อก่อนหน้านี้ ผลของการชนกันระหว่างแผ่นเปลือกโลกภาคพื้นมหาสมุทรสองแผ่นทำให้เกิดแนวหมู่เกาะภูเขาไฟกลางมหาสมุทร เช่น หมู่เกาะแคริบเบียนตะวันออก (Eastern Caribbean islands)

2.2. ลักษณะภูมิประเทศและลักษณะทางธรณีวิทยาของประเทศไทย (Topography and Geology of Thailand)

ลักษณะภูมิประเทศของไทยแบ่งออกเป็น 6 ภาคตามคณะกรรมการภูมิศาสตร์แห่งชาติสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ซึ่งแต่ละภูมิภาคมีลักษณะการวางตัวของแนวเทือกเขา (รูป 2.1.) และลักษณะทางธรณีวิทยา ดังนี้

1) ภาคเหนือ มีลักษณะทางภูมิประเทศที่เป็นภูเขาสูงสลับแนวเทือกเขาและที่ราบสูงเชิงเขาซึ่งมีการทอดตัวแนวเหนือ-ใต้ ขอบเขตทางทิศตะวันออกจรดประเทศลาว โดยมีเทือกเขาหลวงพระบางกั้นพรมแดน ทางด้านทิศเหนือและทิศตะวันตกของบริเวณนี้จรดเขตประเทศพม่า โดยมีเทือกเขาแดนลาวและเทือกเขาถนนธงชัยกั้นพรมแดน สำหรับตอนกลางประกอบด้วยเทือกเขามีลักษณะซับซ้อนเป็นสันยาวต่อเนื่องกัน ส่วนใหญ่วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ เทือกเขาในบริเวณนี้โดยทั่วไปจะเรียกว่าเทือกเขาผีปันน้ำ เทือกเขาเหล่านี้มีหินแกรนิตเป็นแกนอยู่ภายใน จึงเห็นหินแกรนิตที่เกิดขึ้นในยุคไทรแอสสิกของมหายุคมีโซโซอิกโผล่ขึ้นมาบนผิวดินอยู่ทั่วไป

2) ภาคกลาง มีพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำและที่ราบลุ่มดินตะกอน ซึ่งเกิดจากดินตะกอนที่แม่น้ำพัดพามาทับถม แต่ตามลักษณะภูมิประเทศนั้นภาคกลางมีเทือกเขาสูงที่สำคัญอยู่หลายเทือกเขา ส่วนใหญ่จะเป็นแนวของเทือกเขาสูงที่กั้นภาคกลางออกจากภูมิภาคข้างเคียง ประกอบด้วยเทือกเขาเพชรบูรณ์ เทือกเขาตองพญาเย็น เป็นขอบที่ราบสูงโคราชทางทิศตะวันตก



รูป 2.1. แผนที่แสดงแนวเทือกเขาบริเวณประเทศไทย

3) ภาคตะวันออก ทางตอนกลางของภาคตะวันออกมีลักษณะเป็นเทือกเขาและภูเขาสูงสลับกับที่ราบและพื้นที่ลอนลาด วางตัวอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ เทือกเขาสูง ได้แก่ เทือกเขาจันทบุรี โดยมีเทือกเขาบรรทัด เป็นแนวพรมแดนทางด้านตะวันออกระหว่างประเทศไทยและกัมพูชา

4) ภาคตะวันตก ประกอบด้วยเทือกเขาสูงสลับซับซ้อนที่ยาวต่อเนื่องลงมาทางใต้ของเทือกเขาถนนธงชัยในภาคเหนือ ซึ่งเป็นเทือกเขาทางด้านตะวันตกที่กั้นพรมแดนระหว่างประเทศไทยกับประเทศพม่า มีหินแกรนิตในยุคครีเตเชียสเป็นแกนกลาง และมีหินปูนกลุ่มหินราชบุรียุคเพอร์เมียน และหินปูนกลุ่มทุ่งสงยุคออร์โดวิเชียนวางตัวปิดทับหินแกรนิตที่เกิดในยุคครีเตเชียส เทือกเขาเหล่านี้ส่วนใหญ่วางตัวในแนวเหนือ-ใต้ แล้วบิดโค้งจากแนวเดิมมาวางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และประกอบด้วยเทือกเขาตะนาวศรี ซึ่งเป็นแนวพรมแดนระหว่างประเทศไทยกับประเทศพม่า ถูกปกคลุมด้วยหินทราย หินโคลน หินดินดานยุคคาร์บอนิเฟอรัสและเพอร์เมียนวางตัวปิดทับหินแกรนิตในยุคครีเตเชียส

5) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยทั่วไปสามารถจำแนกพื้นที่ได้เป็น 2 ประเภทหลัก ๆ คือ ที่ราบสูงและที่ราบลุ่มแม่น้ำ โดยมีเทือกเขาที่สำคัญมากมาย ได้แก่ เทือกเขาภูพาน เทือกเขาสันกำแพง และเทือกเขาพนมดงรัก ซึ่งที่ราบสูงโคราชถูกแบ่งออกด้วยเทือกเขาภูพานที่เกิดจากโครงสร้างชั้นหินโค้งรูปประทุนลูกฟูก (anticlinorium) ที่มีแกนวางตัวอยู่ในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้

6) ภาคใต้ พื้นที่ภาคใต้นั้นประกอบไปด้วยเทือกเขาสูงใหญ่มากมาย เนื่องมาจากการมีแนวเทือกภูเขาไฟและเทือกเขาหินเก่าตั้งอยู่ประปรายเป็นแนวยาว มีเทือกเขาที่สำคัญหลายแห่งที่มีระดับความสูงมาก เนื่องจากเป็นแนวรอยเลื่อนที่ลากพาดผ่านมาจากแนวเทือกเขาหิมาลัย โดยมีเทือกเขาที่สำคัญ ได้แก่ เทือกเขาภูเก็ต เทือกเขานครศรีธรรมราชหรือเทือกเขาบรรทัด และเทือกเขาสันกาลาศีรี

ภาคใต้มีหินแกรนิตและกลุ่มหินแกรนิตมาก เช่น เทือกเขาภูเก็ตมีหินแกรนิตรุ่นใหม่ ในยุคครีเตเชียสถูกปิดทับด้วยหินตะกอนยุคคาร์บอนิเฟอรัสและเพอร์เมียน การเคลื่อนไหวของเปลือกโลก ทำให้เกิดแนวเทือกเขาขึ้นในคาบสมุทรมุข เป็นกระดูกสันหลังของคาบสมุทรมุข ได้แก่ เทือกเขาตะนาวศรี เทือกเขาภูเก็ต เทือกเขานครศรีธรรมราชและเทือกเขาสันกาลาศีรี

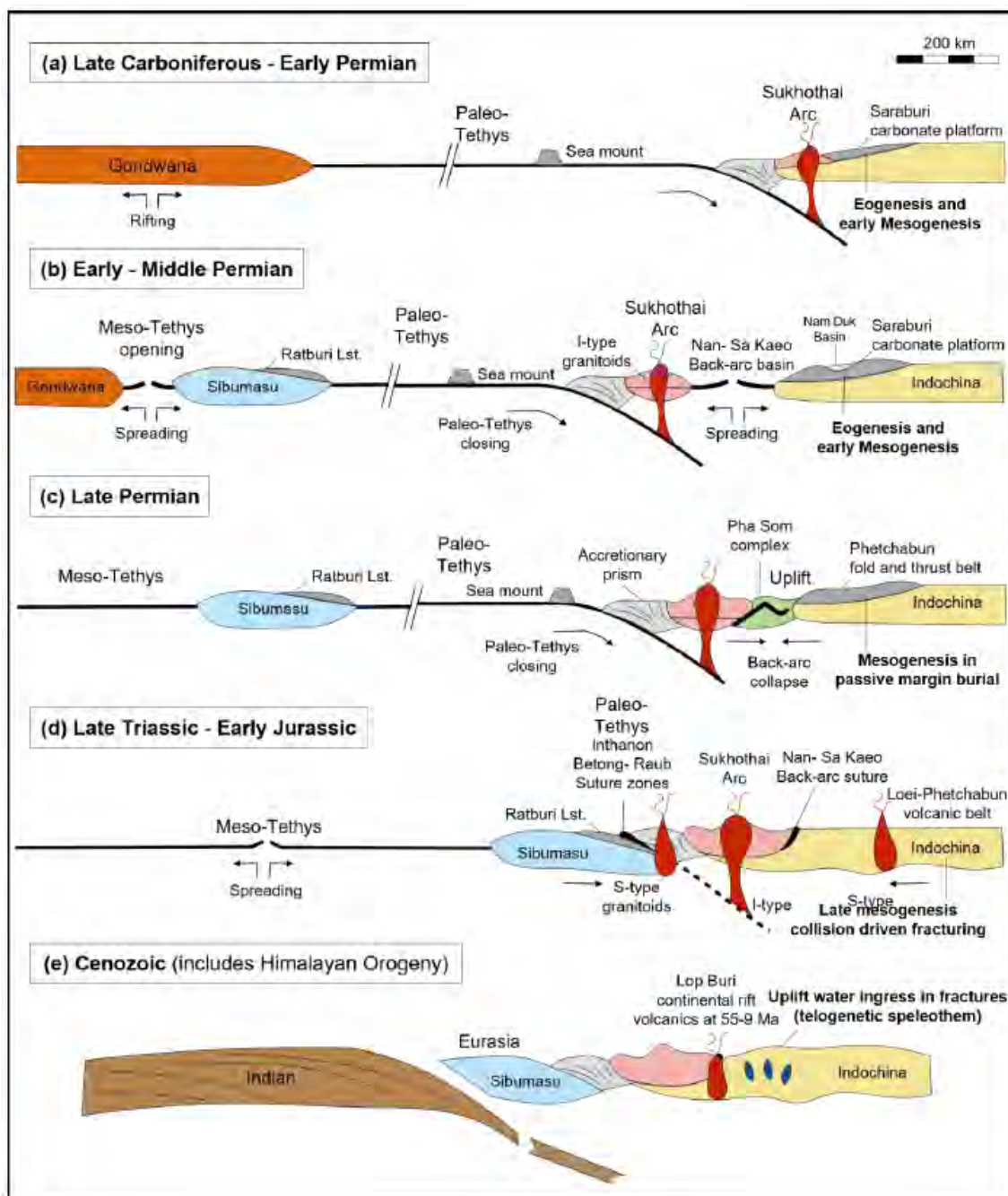
2.3. วิวัฒนาการทางธรณีวิทยาแปรสัณฐาน (Tectonic Evolution)

ประเทศไทยประกอบไปด้วยแผ่นเปลือกโลกทวีปจำนวน 2 แผ่น ได้แก่ แผ่นเปลือกโลกชาน-ไทย (Shan-Thai Terrain) หรือไซเบอมาสุ (Sibumasu Terrain) และ แผ่นเปลือกโลกอินโดจีน (Indochina Terrain) โดยวิวัฒนาการทางธรณีวิทยาแปรสัณฐานของประเทศไทย (รูป 2.2.) สรุปลงโดย กรมทรัพยากรธรณี (2550) ได้ดังนี้ ในช่วงยุคแคมเบรียน (Cambrian) ถึงออร์โดวิเชียน (Ordovician) แผ่นเปลือกโลกชาน-ไทย อยู่ติดกับขอบด้านตะวันตกของหินฐานทวีปออสเตรเลีย (Australian shield) ซึ่งอยู่ทางซีกโลกใต้และยังติดกับแผ่นดินกอนด์วานา (Gondwana) ทางด้านตะวันตก ต่อมาในช่วงมหายุคพาลีโอ

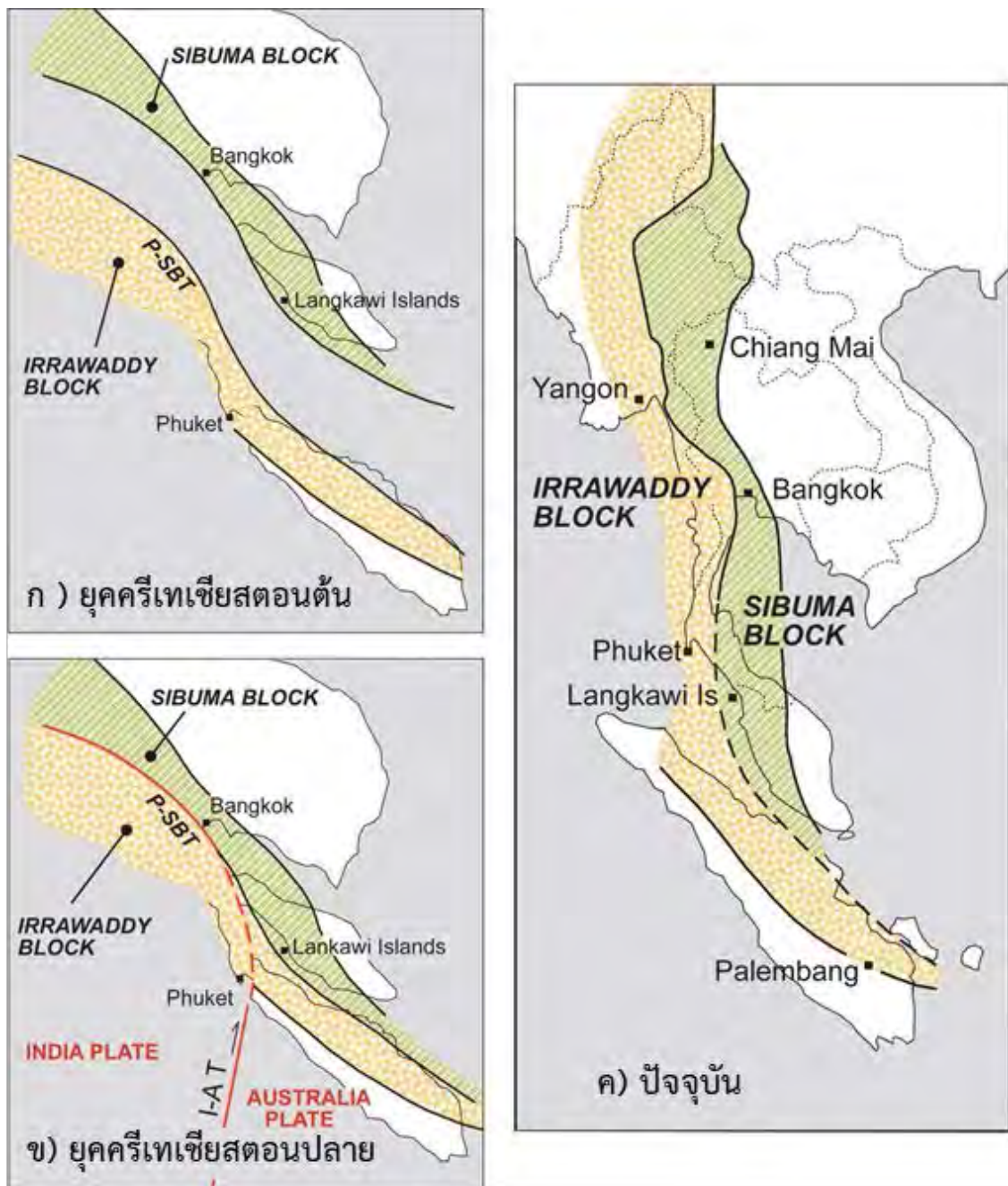
โซอิก (Paleozoic) แผ่นเปลือกโลกอินโดจีนแยกตัวจากแผ่นดินกอนด์วานาในช่วงยุคดีโวเนียน (Devonian) ทำให้เกิดทะเลโบราณพาลีโอเทธิส (Paleo-Tethys) ต่อมาเกิดการมุดตัวของเปลือกโลกใต้พื้นสมุทรเข้าไปในแผ่นเปลือกโลกอินโดจีน และในระยะเวลาใกล้เคียงกัน เกิดการดันตัวขึ้นมาจากหินหนืดบริเวณศูนย์กลางรอยแยก (spreading center) ระหว่างแผ่นเปลือกโลกชาน-ไทยกับแผ่นเปลือกโลกอินโดจีน ทำให้เกิดแนวหินภูเขาไฟปะชอลต์ ซึ่งผลของการแยกตัว ทำให้เปลือกโลกใต้พื้นสมุทรมุดตัวไปทางตะวันตก ในบริเวณขอบตะวันออกของแผ่นเปลือกโลกชาน-ไทย ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับการเกิดแนวโค้งหินภูเขาไฟเชียงราย (Chiang Rai volcanic arc) และเกิดร่องทรุดในแอ่งส่วนโค้งด้านหลังเชียงใหม่ (Chiang Mai Back-Arc Basin Rift) ต่อมาในยุคเพอร์เมียนตอนต้น (Early Permian) แผ่นเปลือกโลกชาน-ไทยได้เคลื่อนตัวแยกออกจากแผ่นดินกอนด์วานา ทำให้เกิดทะเลโบราณมีโซเทธิส (Meso-Tethys) ในขณะที่ทะเลโบราณพาลีโอเทธิส ได้เริ่มปิดตัวตามแนวยาวขอบทวีปด้านเหนือ ทำให้แผ่นเปลือกโลกชาน-ไทยเคลื่อนที่เร็วขึ้นและเกิดการมุดตัวของเปลือกโลกใต้พื้นสมุทรทางขอบด้านตะวันออก ในช่วงยุคเพอร์เมียน (Permian) แผ่นเปลือกโลกชาน-ไทยได้เคลื่อนที่ขึ้นไปทางเหนือและหมุนตัวตามเข็มนาฬิกาอย่างช้า ๆ จนกระทั่งยุคเพอร์เมียนตอนปลาย (Late Permian) แผ่นเปลือกโลกชาน-ไทยและแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนจะอยู่ใกล้กับขอบของทวีปจีนตอนใต้ เริ่มเกิดสันยาวใต้ท้องสมุทร (spreading ridge) ระหว่างแผ่นเปลือกโลกชาน-ไทยและแผ่นเปลือกโลกอินโดจีน พร้อมกับเกิดการมุดตัวของเปลือกโลกใต้พื้นสมุทรทั้งสองข้าง โดยข้างหนึ่งเอียงเทไปทางตะวันตกมุดเข้าไปใต้แผ่นเปลือกโลกชาน-ไทย และอีกข้างหนึ่งเอียงเทไปทางทิศตะวันออกมุดเข้าไปใต้แผ่นเปลือกโลกอินโดจีน เป็นผลให้แผ่นเปลือกโลกชาน-ไทย และแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนเคลื่อนตัว เข้าหากันอย่างรวดเร็ว และสัมผัสกันครั้งแรกในยุคเพอร์เมียนตอนปลายและเชื่อมกันอย่างสมบูรณ์

หลังจากการปะทะกันของแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนกับชาน-ไทย หรือเรียกว่าการก่อเกิดเทือกเขาอินโดไซเนียน (Indosinian orogeny) จะทำให้ตะกอนทะเลยกตัวสูงขึ้นไปอยู่รวมกันในแนวเทือกเขาเพชรบูรณ์-เลย พร้อมกับการแทรกดันของหินภูเขาไฟที่ทอดตัวเป็นแนวยาวตามขอบของที่ราบสูงโคราช ในภาคอีสาน เวลาต่อมาเมื่อแรงบีบอัดจากกระบวนการดังกล่าวลดลง ก็ได้เกิดการคลายตัวของแผ่นทวีป ทำให้เกิดแอ่งสะสมตะกอนที่เรียกกันทางด้านธรณีวิทยาว่า “แอ่งโคราช” และเกิดมีการสะสมตะกอนภาคพื้นทวีปสีแดง แผ่กระจายกว้างทั่วภาคอีสานตลอดช่วงมหายุคมีโซโซอิกตั้งแต่ปลายไทรแอสสิกจนถึงยุคครีเทเชียส (Late Triassic - Cretaceous) ต่อมาเกิดการชนกันของของแผ่นเปลือกโลกพม่าตะวันตก (Western Burma plate) กับแผ่นเปลือกโลกชาน-ไทย (เดิม) ช่วงยุคครีเทเชียสตอนปลาย (Late Cretaceous) ถึงเทอร์เชียรีตอนต้น (Early Tertiary) ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดหินแกรนิตในช่วงครีเทเชียสบริเวณชายแดนไทย-พม่า (รูป 2.3.) ในช่วงมหายุคซีโนโซอิก (Cenozoic) เกิดเหตุการณ์ก่อเทือกเขาหิมาลัย (Himalayan orogeny) ซึ่งเกิดจากการชนกันของแผ่นเปลือกโลกแผ่นอินเดีย-ออสเตรเลีย (Indo-Australian Plate) หรือแผ่นเปลือกโลกอินเดีย (Indian plate) และแผ่น

เปลือกโลกยูเรเชีย (Eurasian plate) ส่งผลให้เกิดการหมุนตัวของแผ่นเปลือกโลกบริเวณประเทศไทย ไปตามเข็มนาฬิกา เกิดการดันตัวสูงขึ้นของแนวเทือกเขาเพชรบูรณ์ เกิดการยกตัวของเทือกเขาภูพานและเทือกเขาพนมดงรักตามบริเวณกลางแอ่งโคราช และทำให้เกิดแอ่งตะกอนสะสมที่ค่อย ๆ เปิดออกจากทางใต้ขึ้นมาทางเหนือ



รูป 2.2. แบบจำลองวิวัฒนาการของการแปรสัณฐานในช่วงยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนปลายถึงมหายุคซีโนโซอิก โดยจุดศึกษาระหว่างขอบแผ่นอินโดจีนและเขตแนวภูเขาไฟสุโขทัย (Meerat, 2018)



รูป 2.3. แสดงการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกอิระวดีและไซบูมาสุ บริเวณตะวันตกของทวีปเอเชีย ตะวันออกเฉียงใต้ ก) ยุคครีเทเชียสตอนต้นถึง ข) ยุคครีเทเชียสตอนปลายถึง ค) ปัจจุบัน (Ridd, 2016)

2.4. การวิเคราะห์แผนภาพกุหลาบ (Rose Diagram Analysis)

แผนภาพกุหลาบ (rose diagram) เป็นฮิสโทแกรมในรูปแบบวงกลมที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ความถี่ของข้อมูลเวกเตอร์ที่แสดงถึงมุมจากจุดกำเนิดในรูปแบบ azimuth ซึ่งแสดงถึงองศาของวงกลมหรือเข็มทิศที่ชี้ไปในทิศเหนือ, ทิศตะวันออก, ทิศใต้ และทิศตะวันตก โดยในพื้นที่แต่ละส่วนของวงกลมจะเป็นสัดส่วนกับความถี่หรือความหนาแน่นของข้อมูล (Nemec, 1988) แผนภาพกุหลาบมีประโยชน์ในงานภาคสนามภูมิศาสตร์เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลที่มีค่าปริมาณและทิศทาง โดยทั่วไปจะใช้เพื่อแสดงทิศทางความแรงและความถี่ของข้อมูล ตัวอย่างเช่น การวางตัวของแนวรอยเลื่อน เป็นต้น

2.5. การวิเคราะห์แฟร็กทัล (Fractal Analysis)

2.5.1. แฟร็กทัล (Fractal)

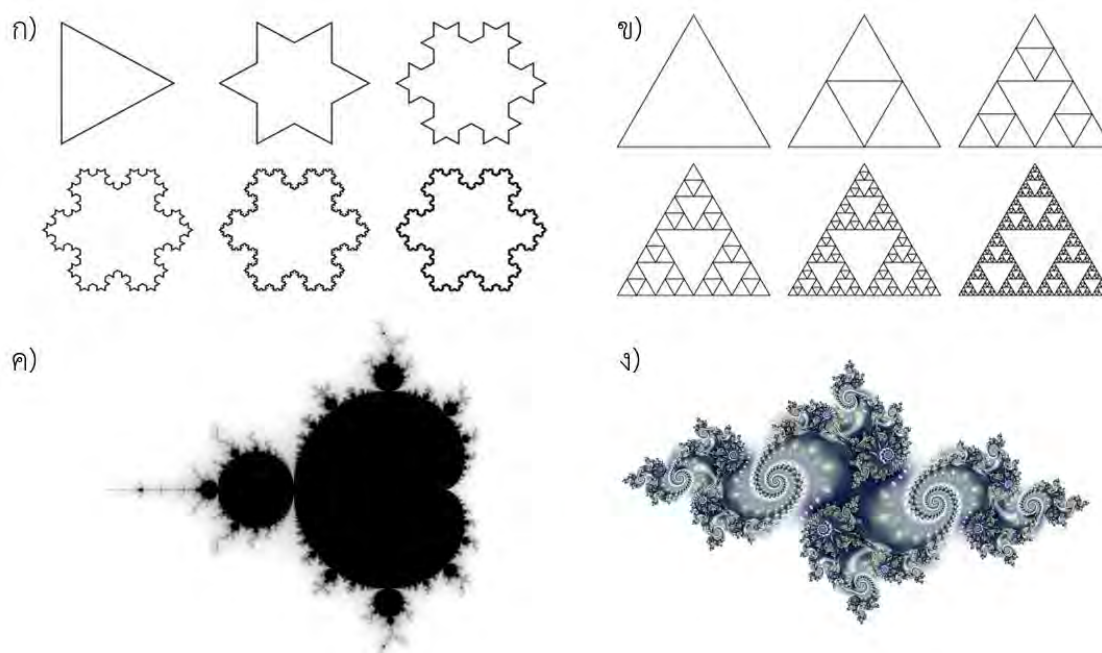
นักคณิตศาสตร์ชื่อ Benoit Mandelbrot เป็นผู้ให้กำเนิดวิชา เรขาคณิตแบบแฟร็กทัล (fractal geometry) ในราว ค.ศ. 1975 ดังนั้นวิชานี้จึงมีอายุประมาณ 40 ปี ซึ่งนับว่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับคณิตศาสตร์แขนงอื่น เช่น เรขาคณิตที่มีกำเนิดมานับพันปี Mandelbrot (1982) กล่าวว่า ก้อนเมฆไม่ใช่ทรงกลม ภูเขาไม่ใช่รูปกรวย ชายฝั่งไม่ใช่วงกลม เปลือกไม้ไม่ได้ราบเรียบ หรือสายฟ้าแลบไม่ได้ปรากฏเป็นเส้นตรง

แฟร็กทัล มาจากคำว่า Fractus ซึ่งเป็นคำในภาษาละติน แปลว่า แตกหรือเศษส่วน โดยแฟร็กทัลเป็นวัตถุทางเรขาคณิตที่มีคุณสมบัติเหมือนกันในตัวเอง (self-similar pattern) ในระดับที่ต่างกัน ซึ่งหมายความว่า ดูเหมือนกันหมดไม่ว่าจะดูที่ระดับความละเอียด (scale) ใดก็ตาม โดยจากการสังเกตและศึกษาวิจัยในอดีต นักวิทยาศาสตร์พบความเป็นแฟร็กทัลมากที่สุดกับวัตถุต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติ เช่น ก้อนเมฆ เกล็ดหิมะ ใบไม้ ชายฝั่งทะเล เทือกเขา เป็นต้น (รูป 2.4.) ซึ่งหากมองโดยทั่วไปวัตถุเหล่านี้อาจจะไม่แสดงความเหมือนกันในตัวเอง แต่หากมองเข้าไปในระดับความละเอียดสูง นักวิทยาศาสตร์พบว่าในบางครั้งวัตถุในธรรมชาติดังกล่าวจะเกิดจากรูปแบบย่อยที่ซ้ำซ้อนกัน (สันติ ภัยหลบลี, 2562)



รูป 2.4. แฟร็กทัลที่พบได้ในธรรมชาติ ก) เกล็ดหิมะ ข) ใบเฟิร์น ค) ชายฝั่งทะเล ง) เทือกเขา

นอกจากแฟร็กทัลที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติแล้ว มนุษย์ยังสามารถสร้างแฟร็กทัลได้จากรูปเรขาคณิตได้ เช่น สร้างจากส่วนของเส้นตรง รูปสามเหลี่ยมหรือรูปลูกบาศก์ โดยใช้กระบวนการง่าย ๆ กับรูปเรขาคณิตเหล่านี้ซ้ำ ๆ กันเป็นจำนวนครั้งไม่จำกัด ก็จะได้แฟร็กทัลที่มีรูปแบบที่ซับซ้อนและน่าสนใจ เช่น เกล็ดหิมะคีอค (Koch snowflake) และสามเหลี่ยมเซียร์พินสกี (Sierpinski triangle) รวมถึงแฟร็กทัลที่สร้างจากฟังก์ชันคณิตศาสตร์ เช่น เซตม็องแดลโบร (Mandelbrot set) ซึ่งเป็นเซตของจุดระนาบเชิงซ้อนที่เรียงตัวกันเป็นแฟร็กทัล และจูเลียเซต (Julia set) ซึ่งเป็นเซตในการวิเคราะห์ระบบพลวัตเชิงซ้อน ที่เกิดจากฟังก์ชัน $f(z) = z^2 + c$ ที่มีการวนซ้ำฟังก์ชัน f ไปเรื่อย ๆ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2561) (รูป 2.5.)



รูป 2.5. ตัวอย่างแฟร็กทัลที่สร้างขึ้นจากรูปเรขาคณิต ก) เกล็ดหิมะคีอค ข) สามเหลี่ยมเซียร์พินสกี
 ค) เซตม็องแดลโบร ง) จูเลียเซต

2.5.2. มิติแฟร็กทัล (Fractal Dimension)

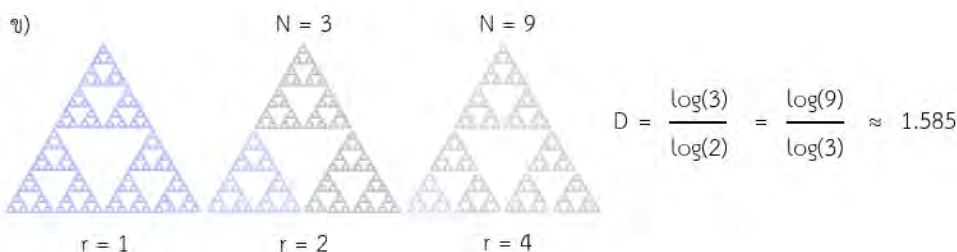
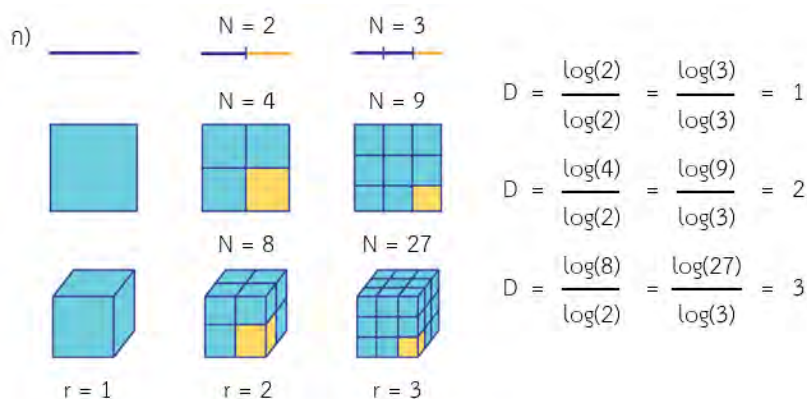
รูปแบบของแฟร็กทัลสามารถอธิบายได้ว่าเป็นมิติแฟร็กทัลหรือมิติ Hausdorff ซึ่งกล่าวเป็นครั้งแรกโดย Felix Hausdorff ในปี ค.ศ. 1918 เนื่องจากแฟร็กทัลเป็นรูปทรงเรขาคณิตที่รายละเอียดไม่มีการเปลี่ยนแปลงแม้สังเกตในระดับที่ต่างกัน (Mandelbrot, 1982)

โดยมิติแฟร็กทัลใช้ในการอธิบายถึงรูปทรงหรือรูปร่างที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยเรขาคณิตบริสุทธิ์ตามระบบยุคลิดที่เป็นรูปทรงเรขาคณิตอย่างง่ายที่มีมิติเป็นจำนวนเต็มได้ ซึ่งได้แก่ มิติของจุด

คือ 0, มิติของเส้นตรง คือ 1, มิติของระนาบสี่เหลี่ยม คือ 2 และมิติของลูกบาศก์ คือ 3 อย่างไรก็ตาม มิติของแฟร็กทัลช่วยในการวัดวัตถุแฟร็กทัลที่ซับซ้อนและเป็นค่าที่ไม่ใช่จำนวนเต็มได้ ตัวอย่างเช่น สามเหลี่ยมเซียร์พินสกี เป็นรูปทรงเศษส่วนบนระนาบ 2 มิติที่ประกอบด้วยส่วนของเส้น 1 มิติ ดังนั้นขนาดแฟร็กทัลของรูปนี้จึงอยู่ระหว่าง 1 ถึง 2 ซึ่งมีค่า $\log_2 3 \approx 1.585$

วิธีที่ใช้ในการคำนวณไม่ว่าจะเป็นมิติของวัตถุที่เป็นแฟร็กทัลหรือมิติของรูปทรงธรรมดา ๆ คือ การปรับขนาดรูปร่างให้มีขนาดเล็กลง หากนำวัตถุมาลดขนาดเชิงเส้นลง $1/r$ ในแต่ละทิศทางเชิงพื้นที่ ในการวัดความยาวของเส้น พื้นที่ของรูปร่าง หรือปริมาตรของรูปทรงจะได้จำนวนเพิ่มขึ้นเป็น $N = r^D$ เท่าจากเดิม เช่น การหามิติของรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่เป็น 2 มิติ หากพิจารณารูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่เดิมมีความยาวแต่ละด้านเป็น 1 มาลดขนาดให้แต่ละด้านมีความยาวเป็น $1/2$ ของความยาวเดิม ($r = 2$) จะต้องใช้สี่เหลี่ยมจัตุรัสใหม่จำนวน 4 ชิ้น ($N = 2^2$) ในการประกอบกันเพื่อให้ได้เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีขนาดเท่าเดิม โดยสามารถหาค่ามิติได้จากสมการ (1) และแสดงตัวอย่าง (รูป 2.5. ก) นอกจากนี้ยังสามารถใช้วิธีการนี้ในการคำนวณหามิติแฟร็กทัลได้เช่นเดียวกัน แสดงตัวอย่างในการหามิติของสามเหลี่ยมเซียร์พินสกี (รูป 2.6. ข)

$$D = \frac{\log(N(r))}{\log(r)} \tag{สมการ (1)}$$



รูป 2.6. แสดงตัวอย่างวิธีการหาค่ามิติแฟร็กทัล ก) รูปเรขาคณิตแบบยูคลิดจะได้มิติเป็นจำนวนเต็ม ข) สามเหลี่ยมเซียร์พินสกี จะได้มิติที่ไม่เป็นจำนวนเต็ม

ค่ามิติแฟร็กทัลในสองมิติ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง 2 โดยค่านี้จะมีค่ามากกว่าความยาวของเส้นตรงใน 1 มิติ และมีค่าไม่ถึง 2 ซึ่งเป็นค่าของระนาบที่มี 2 มิติ โดยค่านี้จะเพิ่มมากขึ้น เมื่อขอบโดยรอบของสิ่งนั้นมีความไร้ระเบียบหรือหยักมากขึ้น และค่ามิติแฟร็กทัลของสิ่งที่มีสามมิติจะมีค่าระหว่าง 2 ถึง 3 โดยบริเวณที่มีค่าใกล้เคียงกับ 3 แสดงว่ามีความขรุขระของพื้นผิวมากกว่าบริเวณที่มีค่าใกล้เคียง 2 ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า ค่ามิติแฟร็กทัลเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความไร้ระเบียบและความซับซ้อนของเรขาคณิตในสิ่งนั้นและจะมีค่าไม่เกินค่าของตัวเลขภายใต้ระบบยุคคิดของมิตินั้น ๆ ที่ต้องการวัด

2.5.3. มิติบ็อกซ์เคาน์ติง (Box-counting Dimension, D_b)

ในการคำนวณขนาดของแฟร็กทัลจะเหมาะสำหรับวัตถุแฟร็กทัลเชิงเรขาคณิตเท่านั้น เนื่องจากสามารถแบ่งออกเป็นส่วนประกอบหรือปรับขนาดให้เล็กลงได้อย่างง่าย แต่ในการใช้วิธีดังกล่าวเป็นเรื่องยากในการใช้คำนวณวัตถุแฟร็กทัลที่มีความซับซ้อนจึงมีการใช้วิธีบ็อกซ์เคาน์ติง ซึ่งมีมิติคือ มิติบ็อกซ์เคาน์ติง (Box-counting dimension) หรือมิติ Minkowski-Bouligand มาใช้แทนวิธีการเดิม โดยชุดข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์อาจเป็นจุด (เช่น จุดเหนือศูนย์เกิดแผ่นดินไหว) เส้น (เช่น เส้นรอยเลื่อน) หรือรูปทรงมิติที่สูงกว่า (เช่น พื้นผิวรอยเลื่อน) และมี “กล่อง” สังเกตการณ์ที่มักเป็นช่องสี่เหลี่ยมที่ครอบคลุมชุดข้อมูล 2 มิติหรือลูกบาศก์ที่ครอบคลุมชุดข้อมูล 3 มิติ ในการประมาณค่า D_b ชุดข้อมูลจะเป็นการวนซ้ำโดยใช้ขนาดกล่องที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (2)

$$D_b = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\log(N(r))}{\log(1/r)} \quad \text{สมการ (2)}$$

โดยที่ $N(r)$ คือจำนวนกล่องที่มีข้อมูลอย่างน้อยหนึ่งกล่อง และ r คือความยาวของกล่อง โดยกราฟระหว่าง $\log(N(r))$ กับ $\log(1/r)$ จะใช้เพื่อหาค่า D_b โดยที่มีลิมิต r เข้าใกล้ศูนย์ กราฟที่ได้ในทางทฤษฎีควรพล็อตเป็นเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับมิติแฟร็กทัล แสดงตัวอย่างวิธีการวิเคราะห์ (รูป 2.7.)

2.5.4. มิติสหสัมพันธ์ (Correlation Dimension, D_c)

เป็นค่าประมาณของมิติแฟร็กทัลซึ่งวัดความน่าจะเป็นระหว่างจุด 2 จุดที่เลือกแบบสุ่ม เพื่อตรวจสอบว่าความน่าจะเป็นนี้จะเปลี่ยนไปอย่างไรเมื่อระยะทางระหว่างจุดเพิ่มขึ้น มีการใช้อย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบไดนามิกที่ไม่ใช่เชิงเส้น (nonlinear systems) ประโยชน์ของการคำนวณมิติสหสัมพันธ์ สำหรับการวิเคราะห์ด้านวิทยาศาสตร์คือการจำแนกพฤติกรรมแบบไดนามิกที่แตกต่างกันด้วยตัวเลขเพียงตัวเดียวหรือการประเมินการกระจายของจุด สมการ (3)

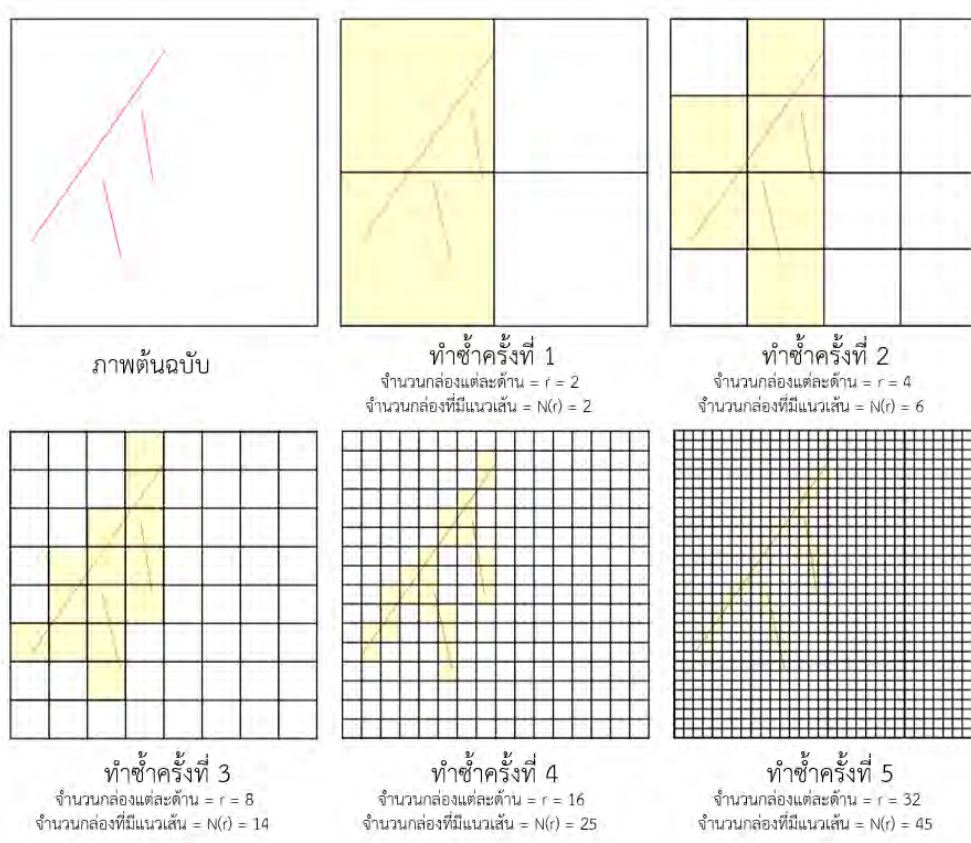
$$C(r) = \frac{2N(R < r)}{N(N-1)} \quad \text{สมการ (3)}$$

โดย $C(r)$ คือ ข้อมูลอินทิกรัลสหสัมพันธ์ (correlation integral) หรือฟังก์ชันสหสัมพันธ์ (correlation function), N คือ จำนวนจุดที่ใช้วิเคราะห์, $N(R < r)$ คือ จำนวนจุดที่มีระยะห่าง $R < r$ และ R คือ ระยะห่างระหว่างจุด หากการกระจายของจุดมีโครงสร้างแฟร็กทัล สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้เป็นดังสมการ (4)

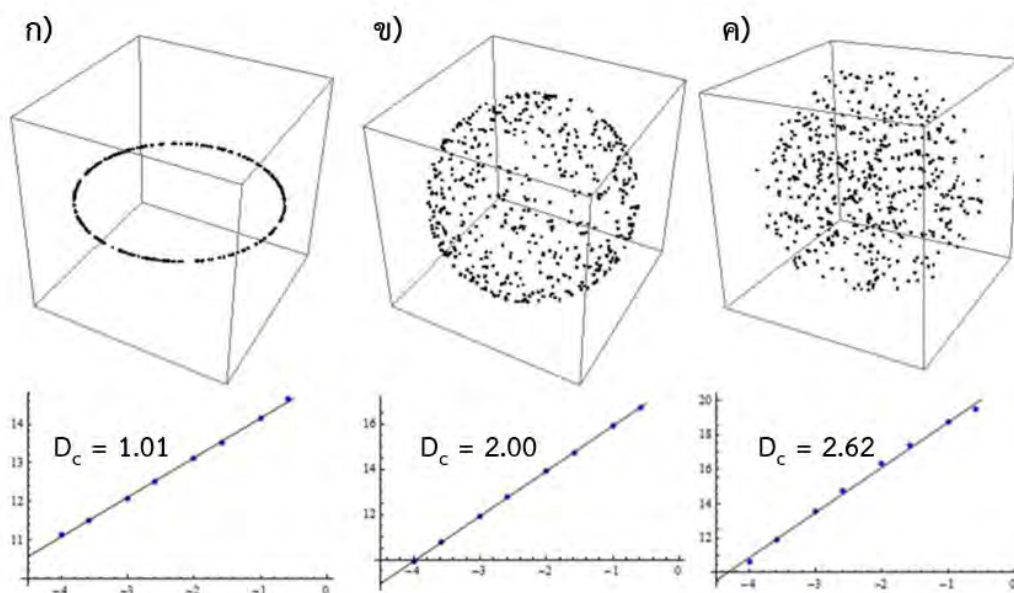
$$C(r) \approx r^D \quad \text{สมการ (4)}$$

$$D_c = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\log(C(r))}{\log(r)} \quad \text{สมการ (5)}$$

หากสร้างกราฟความสัมพันธ์ดังสมการ (5) ความชันของกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าว หมายถึง มิติสหสัมพันธ์ (D_c) โดยค่ามิติมีค่าอยู่ในช่วง 0 - 1 แสดงถึงจุดมีการกระจายตัวเป็นแนวเส้น หากมีค่าอยู่ในช่วง 1 - 2 แสดงถึงจุดมีการกระจายตัวเป็นระนาบ และค่าอยู่ในช่วง 2 - 3 แสดงถึงจุดมีการกระจายตัวเป็นปริมาตร ตัวอย่างวิธีการวิเคราะห์ค่ามิติสหสัมพันธ์ (รูป 2.8.)



รูป 2.7. แผนภาพแสดงการทำซ้ำ 5 ครั้งของการหาค่ามิติแฟร็กทัลด้วยวิธีบอกซ์เคาน์ตั้ง



รูป 2.8. ตัวอย่างค่ามิติสหสัมพันธ์ ก) จุดสุ่มบนวงกลมแสดงลักษณะเป็นแนวเส้น โดยมีค่ามิติสหสัมพันธ์คือ 1.01 ข) จุดสุ่มบนทรงกลมแสดงลักษณะเป็นพื้นที่ โดยมีค่ามิติสหสัมพันธ์คือ 2.00 ค) จุดสุ่มภายในวงกลมแสดงลักษณะเป็นปริมาตร โดยมีค่ามิติสหสัมพันธ์คือ 2.62 (Wang and Shan, 2009)

2.6. Kriging

Kriging เป็นวิธีการแทรก (interpolation) อย่างหนึ่ง ซึ่งเป็นการทำนายค่าให้กับเซลล์ในราสเตอร์จากข้อมูลจุดตัวอย่างที่มีอยู่อย่างจำกัด ทำให้สามารถทำนายค่าที่ไม่ทราบจากจุดใด ๆ ทางภูมิศาสตร์ได้ โดย Kriging จะเป็นการสันนิษฐานจากระยะทางหรือทิศทางระหว่างจุดตัวอย่างแต่ละจุด ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ที่สามารถนำมาใช้ในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นบนพื้นผิว วิธีการนี้จะทำการเลือกสมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมกับจุดตัวอย่างที่เลือกไว้ ภายในรัศมีที่กำหนดเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ในแต่ละพื้นที่ออกมา Kriging ทำงานหลายขั้นตอนโดยผสมผสานการสำรวจวิเคราะห์ค่าทางสถิติของข้อมูล เช่น ค่าสหสัมพันธ์ (correlation) การสร้างพื้นผิวและยังมีส่วนเสริมให้สามารถตรวจดูความแปรปรวนของพื้นผิวได้อีกด้วย ดังนั้น เมื่อใช้ Kriging จะได้ผลลัพธ์ที่มาจากกระบวนการวิเคราะห์ที่แน่นอนและมีความถูกต้องสูง วิธีการนี้มักนิยมใช้ในกรณีที่ต้องการทราบความสัมพันธ์ของระยะทาง หรือทิศทางที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล โดยมากมักจะใช้ทางปฐพีวิทยาและธรณีวิทยา

2.7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Previous Work)

จากการศึกษางานวิจัยในอดีตพบว่ามีการใช้วิเคราะห์ลักษณะแนวเส้นทางธรณีวิทยามากมาย เช่น แนวเส้นตรง (Masoud and Koike, 2011) หุบเขา (Kusak et al., 2016) และแนวสันเขา (Prabhakaran and Raj, 2018) นอกจากนี้ในการวิเคราะห์แนวเส้นดังกล่าว มีพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ เช่น ความหนาแน่น แนวการวางตัวหรือแม้กระทั่งแฟร็กทัล มาใช้ในการอธิบายการแปรสัณฐานรวมถึงธรณีวิทยาในสาขาอื่น ๆ อยู่พอสมควร แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับแนวสันเขาที่มุ่งเน้นไปที่พื้นที่ประเทศไทยมากนัก

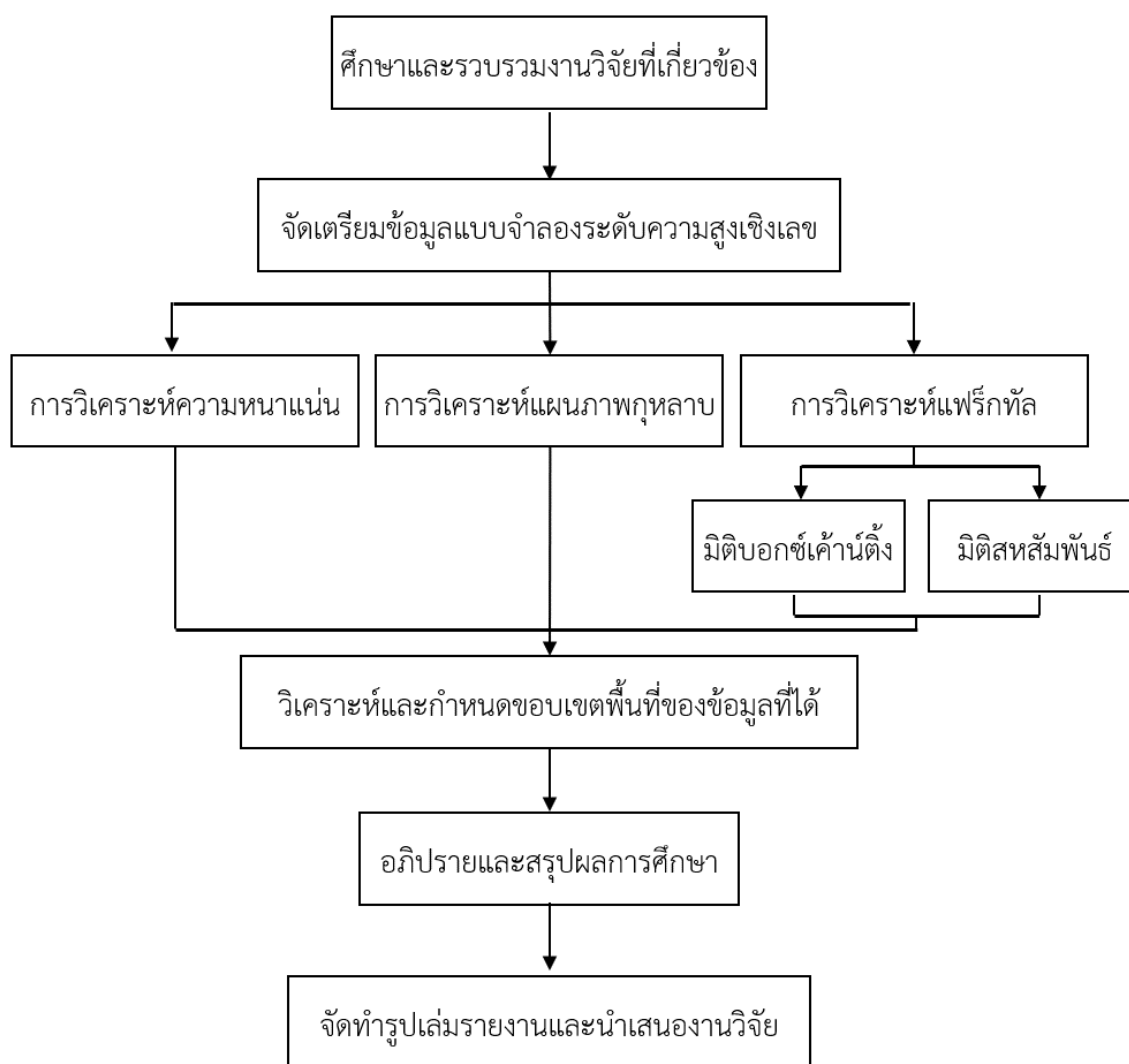
Nkono et al. (2013) วิเคราะห์ความซับซ้อนของการกระจายเชิงพื้นที่ของแนวเส้นตรง ที่ได้จากข้อมูลภูมิประเทศแบบสำรวจระยะไกล (remote sensing) และข้อมูลจากดาวเทียม Landsat บริเวณประเทศแอฟริกาแถบเส้นศูนย์สูตร ประกอบกับข้อมูลทางธรณีฟิสิกส์ พบว่าบริเวณที่มีค่ามิติแฟร็กทัลสูงจะเป็นบริเวณที่มีการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกและเป็นพื้นที่ที่มีกิจกรรมของภูเขาไฟ ในขณะที่พื้นที่ที่มีค่าแฟร็กทัลน้อยกว่า เป็นบริเวณที่ไม่มีการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก และฐานหินเก่า (old basement) จะแสดงให้เห็นถึงการหลงเหลืออยู่ของเหตุการณ์การเปลี่ยนแปลงลักษณะ (deformation) เก่า ๆ

Nur et al. (2017) ได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบของแนวเส้นและอันตรายทางวิทยาของแผ่นดินไหวที่อาจเกิดขึ้นในบริเวณทางตะวันออกเฉียงใต้ของชาวตะวันตกของประเทศอินโดนีเซีย โดยใช้การสำรวจระยะไกลและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (geographic information system) มาใช้ในการวิเคราะห์แนวโน้มของแนวเส้นตรงและค่าแฟร็กทัล พบว่าพื้นที่ศึกษามีแนวเส้นตรงส่วนใหญ่อยู่ในแนวเหนือ-ใต้ และมีค่าแฟร็กทัลของพื้นที่ศึกษาอยู่ในช่วง 1.089 ถึง 1.209 โดยส่วนที่หนึ่งมีค่า 1.1, ส่วนที่สองมีค่า 1.089, ส่วนที่สามมีค่า 1.207 และส่วนที่สี่มีค่า 1.209 ตามลำดับ ซึ่งในบริเวณที่มีความหนาแน่นของแนวเส้นตรงสูงค่าแฟร็กทัลจะสูง ในขณะที่บริเวณที่มีความหนาแน่นของแนวเส้นตรงต่ำจะมีค่าแฟร็กทัลต่ำ และพื้นที่ที่มีค่าแฟร็กทัลสูงมักจะมีควมถี่ในการเกิดแผ่นดินไหวสูง เช่น ส่วนที่สาม อย่างไรก็ตามจากการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) พบว่าความถี่แผ่นดินไหวกับค่ามิติแฟร็กทัลมีความสัมพันธ์กันต่ำ

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย (METHODOLOGY)

เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ต้องการศึกษาแนวเส้นสันเขาและจากแนวทางการศึกษาของงานวิจัยในอดีต ดังที่กล่าวไปข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมีระเบียบวิธีวิจัยเป็นลำดับขั้นตอนได้ 6 ขั้นตอน (รูป 3.1.) ได้แก่ การศึกษาและรวบรวมเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง การจัดเตรียมข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ การดำเนินงานวิจัย การวิเคราะห์และกำหนดขอบเขตพื้นที่ของข้อมูลที่ได้ อภิปรายและสรุปผลการศึกษา การจัดทำรูปเล่มรายงานและนำเสนองานวิจัย โดยมีรายละเอียดขั้นตอนดังต่อไปนี้



รูป 3.1. แผนภาพลำดับแสดงวิธีดำเนินงานวิจัย

3.1. ศึกษาและรวบรวมเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

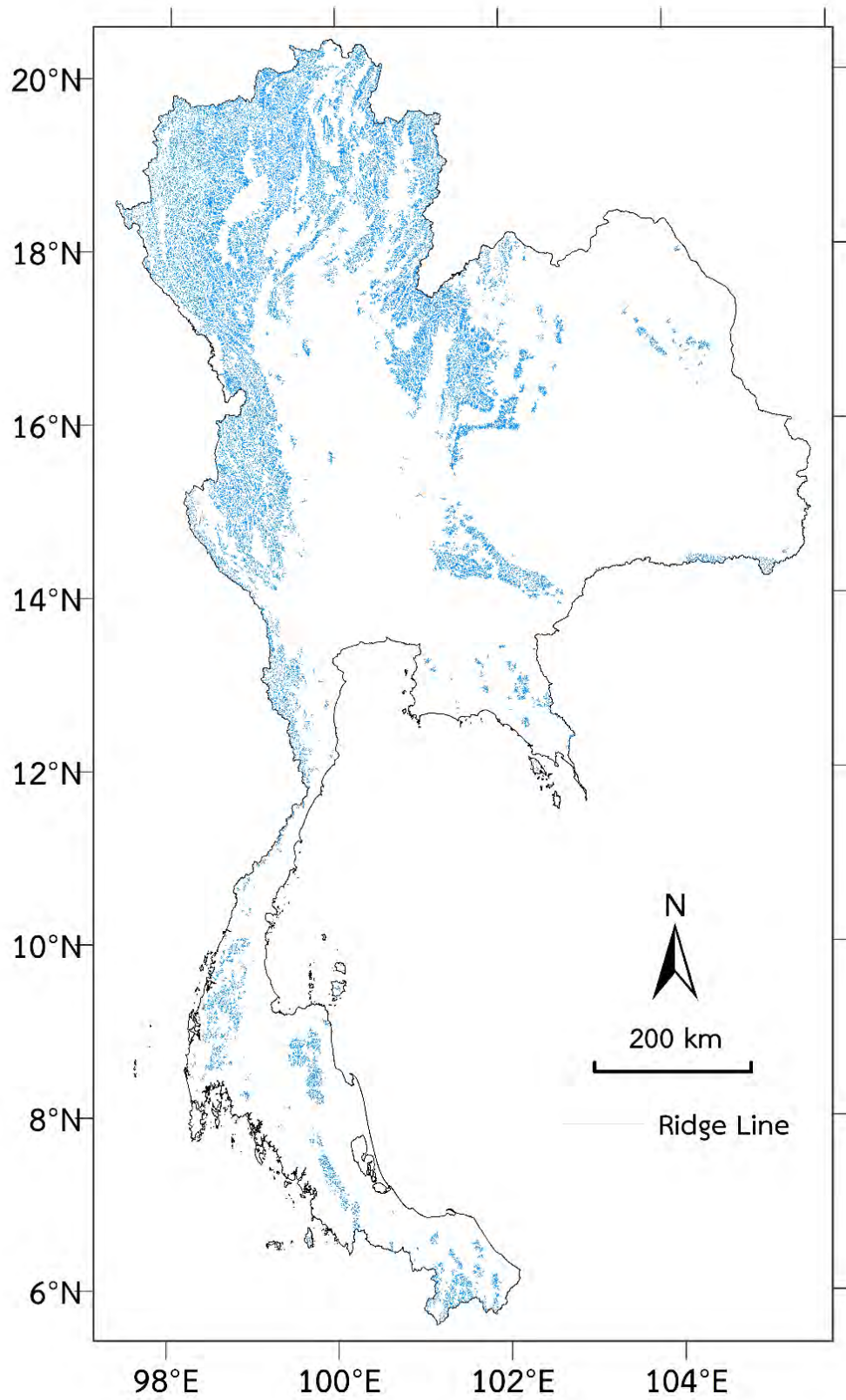
จากศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ศึกษา รวมถึงศึกษาวิธีการวิเคราะห์แฟร็กทัลโดยการใช้วิธีบอกซ์เคาน์ติ้งและมีติสสัมพันธ์ ทำให้ทราบถึงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์แนวสันเขาในพื้นที่ โดยพารามิเตอร์ที่นำมาวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้มีทั้งหมด 3 พารามิเตอร์ ได้แก่ ความหนาแน่นของสันเขา การวางตัวของสันเขาซึ่งดูได้จากข้อมูลแผนภาพภูทาบ และความไม่เป็นระเบียบหรือความซับซ้อนผ่านแฟร็กทัล โดยข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ แบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ได้จากโครงการสำรวจภูมิประเทศด้วยเรดาร์บนกระสวยอวกาศ (shuttle radar topographic mission) หรือ SRTM DEM นอกจากนี้จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องมีโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์มากมาย ทั้งนี้โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้มี 5 โปรแกรม ได้แก่ Global Mapper 20, Grapher 8, Surfer 16, ArcMap 10.5 และ MATLAB R2020b

3.2. การเตรียมข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ (Data Preparation)

ในจัดเตรียมแบบจำลองความสูงเชิงเลข งานนี้ได้มีการสืบค้นข้อมูลความสูงเชิงเลขพบว่าในพื้นที่ศึกษาภูมิแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่มีหลายความละเอียด ได้แก่ 30 เมตรและ 90 เมตร ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับศักยภาพในการทำงานและความละเอียดของข้อมูล เนื่องจากเป็นการวิเคราะห์ในพื้นที่ขนาดกว้าง ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ข้อมูลที่มีความละเอียด 90 เมตร

3.3. การวิเคราะห์แนวสันสันเขา (Mountain Ridge Line Analysis)

เส้นสันเขาในพื้นที่ศึกษานี้ได้จากข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข โดยใช้เครื่องมือ Find Ridge Line ในโปรแกรม Global Mapper 20 โดยการทำงานของโปรแกรมในการคำนวณแนวสันสันเขาจะขึ้นอยู่กับอัลกอริทึมการสร้างลุ่มน้ำ (watershed) ซึ่งสันเขาจะถูกกำหนดโดยขนาดของเกณฑ์เส้นสันเขา (ridge line threshold) ที่ลาดลงจากสันเขานั้น ในงานวิจัยนี้จะกำหนดให้เกณฑ์เส้นสันเขาให้มีขนาดพิทเซลในการวิเคราะห์ 1 ตารางกิโลเมตร ซึ่งโปรแกรมจะทำการคำนวณเส้นสันเขาทุก 1 ตารางกิโลเมตร ทำให้เส้นสันเขาที่ได้มีความละเอียดมาก คือ ได้ทั้งเส้นสันเขาที่มีขนาดยาวและเส้นสันเขาที่มีขนาดสั้น นอกจากนี้จะกำหนดให้วิเคราะห์เฉพาะแนวสันเขาที่มีความสูงมากกว่า 600 เมตร (อ้างอิงจากความสูงของแนวเทือกเขาจากบทที่ 2) โดยผลจากการวิเคราะห์แนวสันสันเขาในพื้นที่ศึกษา (รูป 3.2.) จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ในพารามิเตอร์อื่น ๆ ต่อไป



รูป 3.2. แผนที่แสดงเส้นสันเขาในพื้นที่ศึกษา

3.4. การวิเคราะห์ความหนาแน่น (Density Analysis)

ในการวิเคราะห์ความหนาแน่นได้จากการนำเส้นสั้นเขาที่ได้จากการวิเคราะห์แนวเส้นสั้นเขา โดยใช้โปรแกรม ArcMap 10.5 เริ่มจากการหาจุดกึ่งกลางของเส้นสั้นเขาแต่ละเส้น ด้วยเครื่องมือ Feature Vertices To Points ใน Data Management เพื่อให้ได้จุดตัวแทนของแต่ละเส้นสั้นเขาออกมา จากนั้นใช้เครื่องมือ Point Density ใน Spatial Analysis เพื่อการหาความหนาแน่นของจุด โดยกำหนดให้เซลล์ในการวิเคราะห์ มีขนาด 15x15 ตารางกิโลเมตร ซึ่งผลลัพธ์จะนำเสนอในรูปแบบแผนที่เส้นชั้นความสูง (contour map)

3.5. การวิเคราะห์แผนภาพกุหลาบ (Rose Diagram Analysis)

ในการหาแนวทิศทางการวางตัวของเส้นแนวสั้นเขาแต่ละเส้น ได้จากการใช้เครื่องมือ COGO ในโปรแกรม ArcMap 10.5 โดยทิศทางการวางตัวที่ได้จะออกมาในรูปแบบ azimuth หลังจากนั้นนำเส้นสั้นเขาที่ได้ มาเลือกเฉพาะเส้นที่อยู่ในขอบเขตของแนวเทือกเขานั้น ๆ โดยแบ่งออกเป็นทั้งหมด 15 แนวเทือกเขา ได้แก่ เทือกเขาแดนลาว เทือกเขาถนนธงชัย เทือกเขาผีปันน้ำ เทือกเขาหลวงพระบาง เทือกเขาเพชรบูรณ์ เทือกเขาภูพาน เทือกเขาพนมดงรัก เทือกเขาสันกำแพง เทือกเขาแดงพญาเย็น เทือกเขาบรรทัด เทือกเขาจันทบุรี เทือกเขาตะนาวศรี เทือกเขาภูเก้า เทือกเขานครศรีธรรมราช และ เทือกเขาสันกาลาศีรี จากนั้นนำไปวิเคราะห์แผนภาพกุหลาบเพื่อดูทิศทางการวางตัวของเส้นสั้นเขาในโปรแกรม Grapher 8 ต่อไป

3.6. การวิเคราะห์แฟร็กทัล (Fractal Analysis)

3.6.1. การเตรียมข้อมูลในการวิเคราะห์ (Data Preparation)

เนื่องจากข้อมูลเส้นสั้นเขาที่ได้มีรูปแบบเป็นข้อมูลเวกเตอร์ (vector) แบบ polyline ในขณะที่รูปแบบที่โปรแกรมวิเคราะห์แฟร็กทัลต้องการเป็นข้อมูลจุด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีกระบวนการในการแปลงและแก้ไข ซึ่งส่วนใหญ่จะดำเนินการในโปรแกรม ArcMap 10.5 รายละเอียดแต่ละขั้นตอนมีดังต่อไปนี้

- 1) สร้างตารางแบ่งเป็นพื้นที่ศึกษาย่อย โดยในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงและการกระจายของมิติแฟร็กทัลของพื้นที่ศึกษาจำเป็นต้องมีตารางที่แบ่งเท่า ๆ กัน ซึ่งในการศึกษานี้ได้สร้างพื้นที่ในการวิเคราะห์ตารางที่มีขนาด 15x15 ตารางกิโลเมตร แต่ละตารางจะมีจุดตัวแทนซึ่งอยู่ตรงกลาง 1 จุด สร้างโดยการนำ Shapefile ของพื้นที่ศึกษา คือ ประเทศไทยมาแปลงเป็นข้อมูลราสเตอร์ (raster) โดยกำหนดค่าความละเอียดขึ้นกับขนาดของพื้นที่ตาราง จากนั้นทำการแปลงข้อมูลราสเตอร์กลับมาเป็นข้อมูลจุดที่เป็นตัวแทนในการวิเคราะห์ ซึ่งสุดท้ายจะได้ออกมาเป็นจุดตัวแทนของพื้นที่ศึกษา

จากนั้นนำจุดที่ได้ไปหาค่าพิกัดของแต่ละจุด โดยข้อมูลที่ได้จะนำไปใช้ในโปรแกรม MATLAB R2020b เพื่อใช้ในการวิเคราะห์แฟร็กทัลต่อไป

2) แปลงเส้นแนวสันเขาให้เป็นข้อมูลจุด โดยจุดที่ใช้เป็นตัวแทนจะเป็นจุดที่อยู่กึ่งกลางของเส้นสันเขา (จากข้อ 3.4.) จากนั้นนำจุดที่ได้ไปหาค่าพิกัดของแต่ละจุด ซึ่งแต่ละพื้นที่จะถูกวิเคราะห์โดยอัลกอริธึมการคำนวณมิติแฟร็กทัลใน MATLAB R2020b ทีละรายการ

3.6.2. การดำเนินการวิเคราะห์แฟร็กทัล (Fractal Analysis Processing)

หลังจากเตรียมข้อมูลแล้วจะนำมาวิเคราะห์โดยอัลกอริธึมการคำนวณมิติแฟร็กทัล โดยสคริปต์ MATLAB ที่ใช้ในโปรเจกต์นี้ได้รับการแก้ไขจาก Kantapisit (2020) โดยมีจุดประสงค์เพื่ออ่านข้อมูลหลาย ๆ ข้อมูลและเก็บค่าการคำนวณหลังจากดำเนินการโปรแกรมไว้ ซึ่งข้อมูลที่นำเข้าจะเป็นข้อมูลตัวแทนจุดของเส้นสันเขาและข้อมูลจุดของพื้นที่ศึกษา จะได้ค่ามิติแฟร็กทัลและค่ามิติสหสัมพันธ์ของเส้นสันเขาในพื้นที่ ซึ่งค่าที่ได้จะนำไปทำเป็นแผนที่แสดงการกระจายของค่าเชิงพื้นที่ในโปรแกรม Surfer 16 โดยใช้เครื่องมือ Grid data และกำหนดให้ข้อมูลมีการประมาณค่าแบบ Kriging จะได้ออกมาเป็นแผนที่แสดงค่าแฟร็กทัลในพื้นที่ศึกษา

บทที่ 4

ผลการวิจัย (RESULT)

4.1. ผลจากการวิเคราะห์ความหนาแน่นของเส้นสั้นเขา (Result of Density Analysis)

จากแผนที่เส้นชั้นความสูงของความหนาแน่นของเส้นสั้นเขา (รูป 4.1.) พบว่าข้อมูลของจุดตัวแทนเส้นสั้นเขาที่ได้มีค่าอยู่ในช่วง 0 - 5,420 จุดต่อพื้นที่ 15x15 ตารางกิโลเมตร โดยมีการแบ่งชั้นข้อมูลที่ได้เป็น 5 ลำดับชั้นแบบแบ่งเท่า (equal interval) จากการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ของแผนที่แสดงความหนาแน่นของแนวเส้นสั้นเขาสามารถจำแนกได้ออกเป็นพื้นที่ ได้ดังนี้

บริเวณพื้นที่สีเขียวเข้ม แสดงถึงบริเวณที่มีความหนาแน่นของจำนวนข้อมูลแนวสั้นเขาน้อย มีจำนวนจุดตัวแทนเส้นสั้นเขา 0 - 1,084 จุดต่อพื้นที่ 15x15 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นพื้นที่ประมาณร้อยละ 60.26 ของพื้นที่ทั้งหมด ครอบคลุมพื้นที่มากที่สุดในแผนที่ ซึ่งไม่พบในบริเวณภาคเหนือของพื้นที่ แต่จะพบบริเวณภาคอื่น ๆ เกือบทั้งพื้นที่ โดยพบในบริเวณภาคกลาง เช่น จังหวัดลพบุรี จังหวัดพิจิตร และจังหวัดนครปฐม เป็นต้น บริเวณภาคตะวันออก เช่น จังหวัดระยอง จังหวัดชลบุรีและจังหวัดฉะเชิงเทรา เป็นต้น บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น จังหวัดกาฬสินธุ์ จังหวัดนครพนมและจังหวัดร้อยเอ็ด เป็นต้น รวมถึงภาคใต้ในบางพื้นที่ เช่น จังหวัดกระบี่และจังหวัดชุมพร เป็นต้น

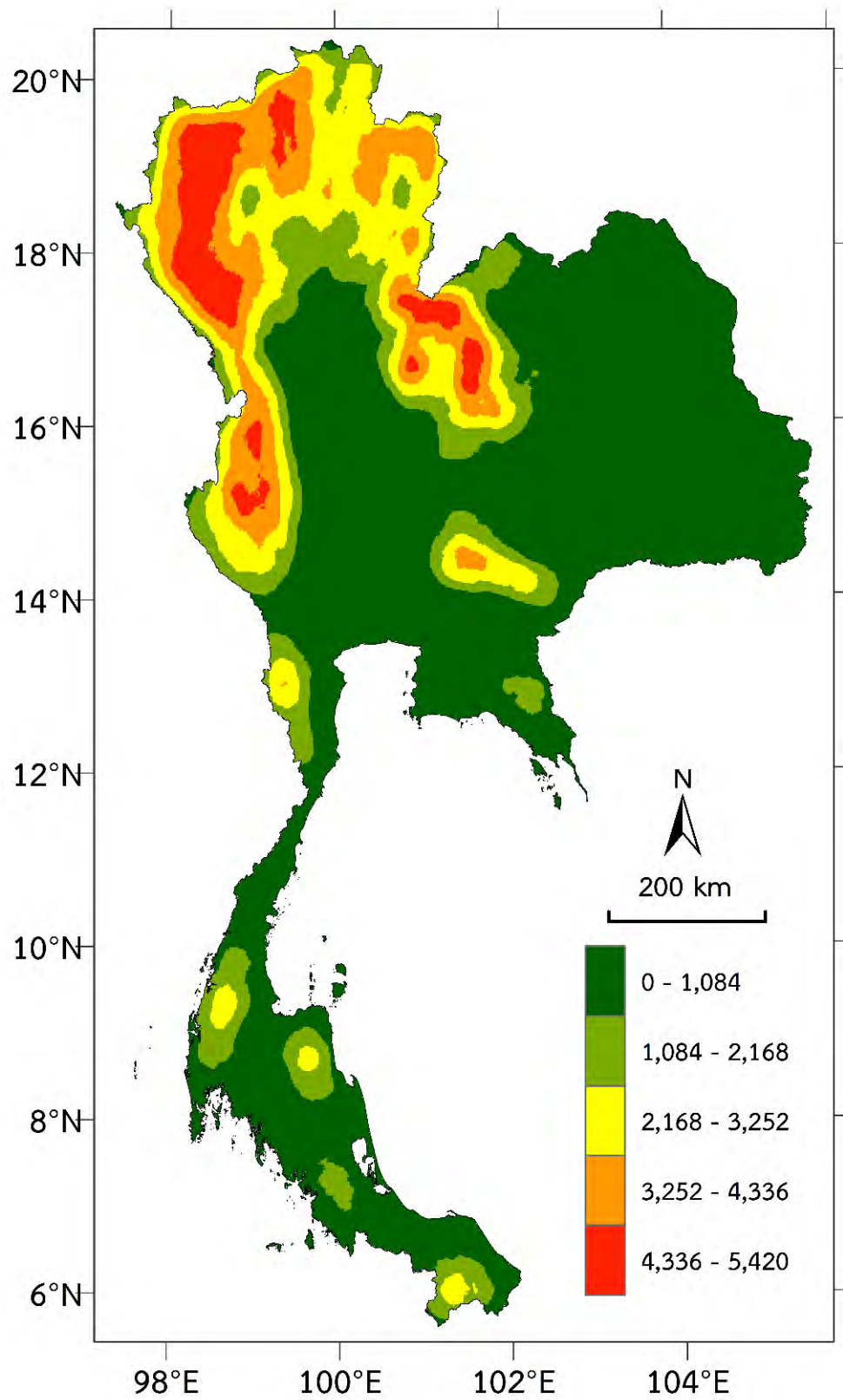
บริเวณพื้นที่สีเขียวอ่อน แสดงถึงบริเวณที่มีความหนาแน่นของจำนวนจุดแนวเส้นสั้นเขาค่อนข้างน้อย มีจำนวนจุดตัวแทนเส้นสั้นเขา 1,084 - 2,168 จุดต่อพื้นที่ 15x15 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นพื้นที่ประมาณร้อยละ 12.85 ของพื้นที่ทั้งหมด พบกระจายทั่วทั้งแผนที่ โดยบริเวณภาคเหนือมีการกระจายตัวเป็นแถบลากยาวมายังบริเวณภาคตะวันตกกินพื้นที่ตั้งแต่จังหวัดแพร่ จังหวัดกำแพงเพชรไปจนถึงจังหวัดกาญจนบุรี และเป็นหย่อม ๆ บริเวณจังหวัดเพชรบุรี ในพื้นที่ภาคตะวันออกพื้นที่ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดจันทบุรี และบริเวณภาคใต้มีการกระจายของข้อมูลเป็นหย่อม ๆ เป็นจำนวนมาก เช่น แถบจังหวัดนราธิวาส จังหวัดพัทลุงและจังหวัดตรัง เป็นต้น

บริเวณพื้นที่สีเหลือง แสดงถึงบริเวณที่มีความหนาแน่นของจำนวนจุดแนวเส้นสั้นเขาปานกลาง มีจำนวนจุดตัวแทนเส้นสั้นเขา 2,168 - 3,252 จุดต่อพื้นที่ 15x15 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นพื้นที่ประมาณร้อยละ 12.99 ของพื้นที่ทั้งหมด กระจายตัวเป็นบริเวณกว้างมากโดยเฉพาะบริเวณภาคเหนือ เช่น บริเวณจังหวัดน่าน จังหวัดพะเยาและจังหวัดลำปาง จากนั้นลากยาวลงมาเป็นแถบในบริเวณภาคตะวันตกแถบจังหวัดตาก จังหวัดกาญจนบุรี และพบเป็นพื้นที่เล็ก ๆ ในแถบจังหวัดเพชรบุรี รวมถึงมีการกระจายตัวเป็นหย่อม ๆ บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือในจังหวัดเพชรบูรณ์ จังหวัดชัยภูมิ และครอบคลุมพื้นที่เล็ก ๆ แถบจังหวัดนครนายก และในภาคใต้มีการกระจายตัวพบเป็นบางพื้นที่ เช่น บริเวณจังหวัดนครศรีธรรมราช จังหวัดยะลาและจังหวัดสุราษฎร์ธานี เป็นต้น

บริเวณพื้นที่สีส้ม แสดงถึงบริเวณที่มีความหนาแน่นของจำนวนจุดแนวเส้นสันเขาค่อนข้างมาก มีจำนวนจุดตัวแทนเส้นสันเขา 3,252 – 4,336 จุดต่อพื้นที่ 15x15 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นพื้นที่ประมาณร้อยละ 9.32 ของพื้นที่ทั้งหมด พบบริเวณภาคเหนือแถบจังหวัดน่าน และกระจายเป็นแถบกว้างที่ลากยาวมาตั้งแต่บริเวณจังหวัดเชียงใหม่ตอนบน จังหวัดแม่ฮ่องสอนและจังหวัดตาก ไปจนถึงจังหวัดกาญจนบุรีที่อยู่ในภาคตะวันตก รวมถึงกระจายเป็นหย่อม ๆ แถบจังหวัดเพชรบุรีด้วย นอกจากนี้ยังพบบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ จังหวัดเพชรบูรณ์ จังหวัดชัยภูมิและจังหวัดนครราชสีมา ตอนล่าง

บริเวณพื้นที่สีแดง แสดงถึงบริเวณที่มีความหนาแน่นของจำนวนจุดแนวเส้นสันเขามาก มีจำนวนจุดตัวแทนเส้นสันเขา 4,336 – 5,420 จุดต่อพื้นที่ 15x15 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นพื้นที่ประมาณร้อยละ 4.58 ของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งครอบคลุมพื้นที่น้อยที่สุดในแผนที่ พบบริเวณตอนเหนือของประเทศไทยเป็นส่วนใหญ่ เช่น จังหวัดเชียงรายและจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นจังหวัดที่ครอบคลุมพื้นที่สีแดงมากที่สุด ลากยาวมาด้านตะวันตกบริเวณจังหวัดตากและจังหวัดกาญจนบุรี รวมถึงกระจายอยู่บริเวณด้านตะวันออกเฉียงเหนือเป็นบางส่วนในบริเวณจังหวัดเลย จังหวัดเพชรบูรณ์และจังหวัดชัยภูมิ และไม่พบในบริเวณภาคกลางและภาคใต้ของพื้นที่ศึกษาเลย

ทั้งนี้ ในการหาความหนาแน่นของเส้นสันเขาในพื้นที่จะใช้ในการแปลผลร่วมกับข้อมูลการกระจายเชิงพื้นที่ของข้อมูลค่ามิติบอกซ์เคาน์ติ้งและมิติสหสัมพันธ์เพื่อนำไปแปลความต่อไปในบทที่ 5 ต่อไป



รูป 4.1. แผนที่เส้นชั้นความสูงแสดงความหนาแน่นของเส้นสั้นเขาในพื้นที่ศึกษา

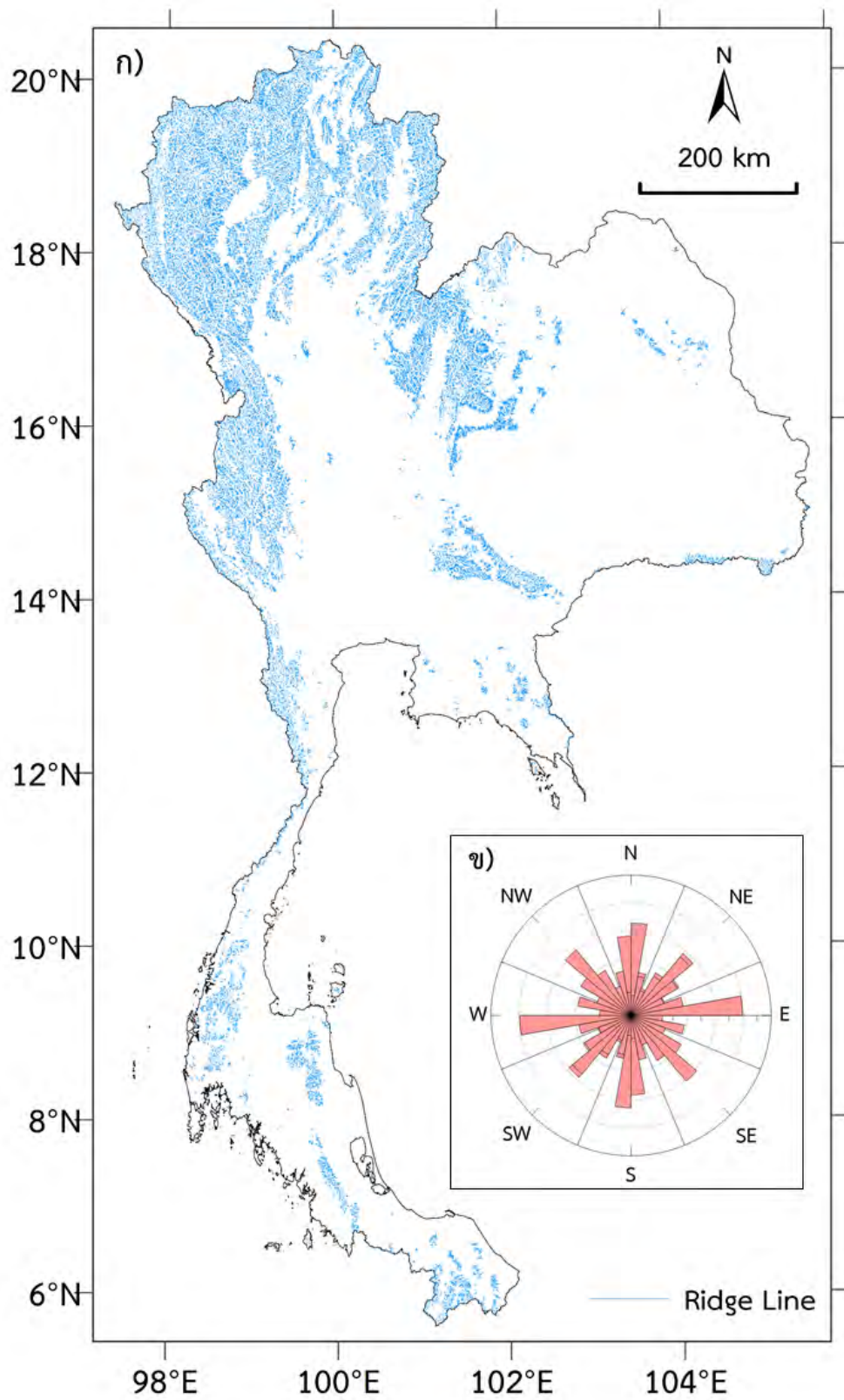
4.2. ผลจากการวิเคราะห์แผนภาพกุหลาบ (Result of Rose Diagram Analysis)

4.2.1. แนวเส้นสันเขาในพื้นที่ศึกษา (Ridge Line in Study Area)

แผนที่แสดงเส้นสันเขาที่ได้จากการวิเคราะห์ในโปรแกรม Global Mapper 20 และการวางตัวของแนวเส้นสันเขาแสดงโดยแผนภาพกุหลาบ (รูป 4.2.) พบว่าเส้นสันเขาส่วนใหญ่ในพื้นที่ศึกษามีแนวโน้มส่วนใหญ่อยู่ในแนวตะวันออก-ตะวันตก ซึ่งมีจำนวนเส้นทั้งหมด 159,034 เส้น และรองลงมาคือทิศตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือ ซึ่งมีจำนวนเส้นทั้งหมด 128,072 เส้น แสดงผลลัพธ์ของแนวทิศทางการวางตัวของเส้นสันเขาหลักในพื้นที่ศึกษาดังตาราง 4.1. อย่างไรก็ตามพบว่าแนวโน้มของเส้นสันเขารองในแนวเหนือ-ใต้ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือ ค่อนข้างมีค่าที่ใกล้เคียงกัน คือ 123,040 เส้น 123,190 เส้น และ 128,072 เส้น ตามลำดับ นอกจากนี้จากการสังเกตพบว่าการกระจายของแนวโน้มส่วนใหญ่ในแผนภาพกุหลาบไม่ได้มีการกระจายไปทั่วทุกทิศทุกทางแบบสุ่มที่จะทำให้ไม่สามารถหาแนวโน้มการวางตัวหลักของแนวเส้นสันเขาในพื้นที่ศึกษาได้ โดยพบว่าการกระจายของแนวเส้นสันเขาที่ได้จากแผนภาพกุหลาบมีการกระจายไปในทิศทางที่ค่อนข้างเด่นชัดไปในแนวหลัก 4 แนว ได้แก่ แนวเหนือ-ใต้ แนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ แนวตะวันออก-ตะวันตก และแนวตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือเท่านั้น ซึ่งคาดว่าจะเกิดอันเนื่องมาจากกระบวนการแปรสัณฐานในพื้นที่ โดยจะอภิปรายต่อไปในบท 5

ตาราง 4.1. แสดงแนวทิศทางและจำนวนเส้นสันเขาในพื้นที่ศึกษา

แนวทิศทางหลัก	จำนวนเส้น
N-S	123,040
NE-SW	123,190
E-W	159,034
NW-SE	128,072



รูป 4.2. ก) แผนที่แสดงเส้นสันเขaberivมประเทศไทยที่ได้จากการวิเคราะห์ ข) แผนภาพกุหลาบแสดงแนวทิศทางการวางตัวของเส้นสันเขาในพื้นที่ศึกษา

4.2.2. การแบ่งเส้นสันเขาตามแนวเทือกเขา (Ridge Line Divided by Mountain Range)

เส้นสันเขาที่แบ่งตามแนวเทือกเขาในประเทศไทย (รูป 4.3.) เมื่อนำไปวิเคราะห์แผนภาพกุหลาบ ได้ผลลัพธ์ออกมา (รูป 4.4.) และแสดงแนวทิศทางและจำนวนของเส้นสันเขาในตาราง 4.2. จากนั้นนำมาหาแนวโน้มหลักของเส้นสันเขาแสดงผลดังตาราง 4.3. ซึ่งพบว่าเทือกเขาส่วนใหญ่มีแนวโน้มหลักอยู่ในแนวตะวันออก – ตะวันตกเป็นส่วนใหญ่ เช่น เทือกเขาแดนลาว เทือกเขาฝิปปันน้ำและเทือกเขาตะนาวศรี เป็นต้น และรองลงมา คือ แนวเหนือ – ใต้ เช่น เทือกเขาพนมดงรักและเทือกเขาสันกำแพง เป็นต้น โดยจากการสังเกตสามารถแบ่งผลลัพธ์ที่ได้ออกเป็น 4 แบบ ได้แก่

เส้นสันเขาในแต่ละเทือกเขามีแนวโน้มหลักอยู่ในแนวทิศทางใดทิศทางหนึ่งอย่างเด่นชัด แต่แนวทิศทางที่เหลือมีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ได้แก่ เส้นสันเขาที่มีแนวโน้มหลักวางตัวอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ ได้แก่ เทือกเขาพนมดงรัก และเส้นสันเขาที่มีแนวโน้มหลักวางตัวอยู่ในแนวตะวันออก-ตะวันตก ได้แก่ เทือกเขาฝิปปันน้ำ เทือกเขาจันทบุรี เทือกเขาตะนาวศรี และเทือกเขาสันกาลาศรี

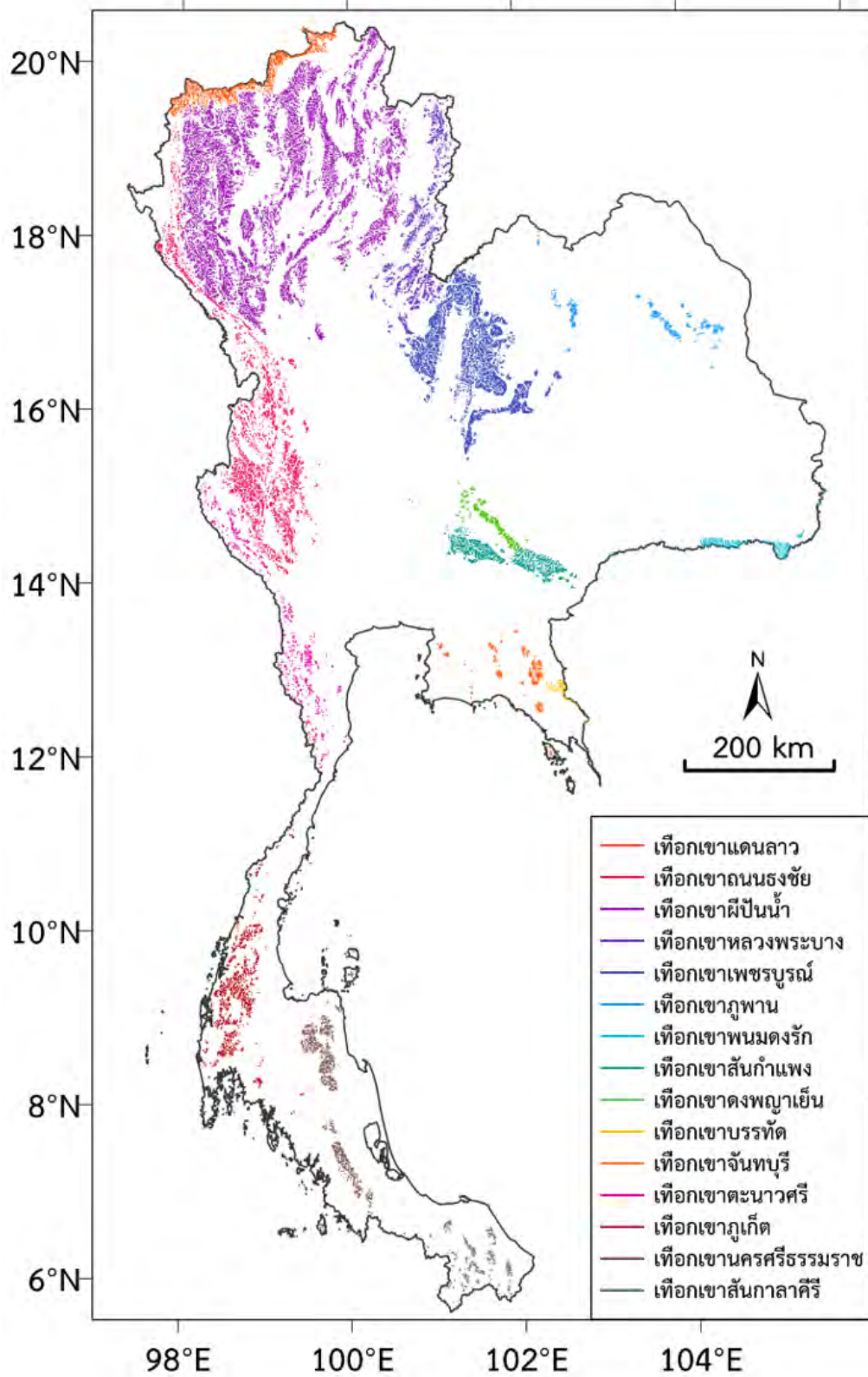
เส้นสันเขาในแต่ละเทือกเขามีแนวโน้มหลักอยู่ 2 ทิศทาง ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน ได้แก่ เทือกเขาตงพญาเย็น ที่มีเส้นสันเขาที่มีแนวโน้มหลักวางตัวอยู่ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้และแนวตะวันออก-ตะวันตก

เส้นสันเขาในแต่ละเทือกเขามีแนวโน้มหลักอยู่ 3 ทิศทาง ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน ได้แก่

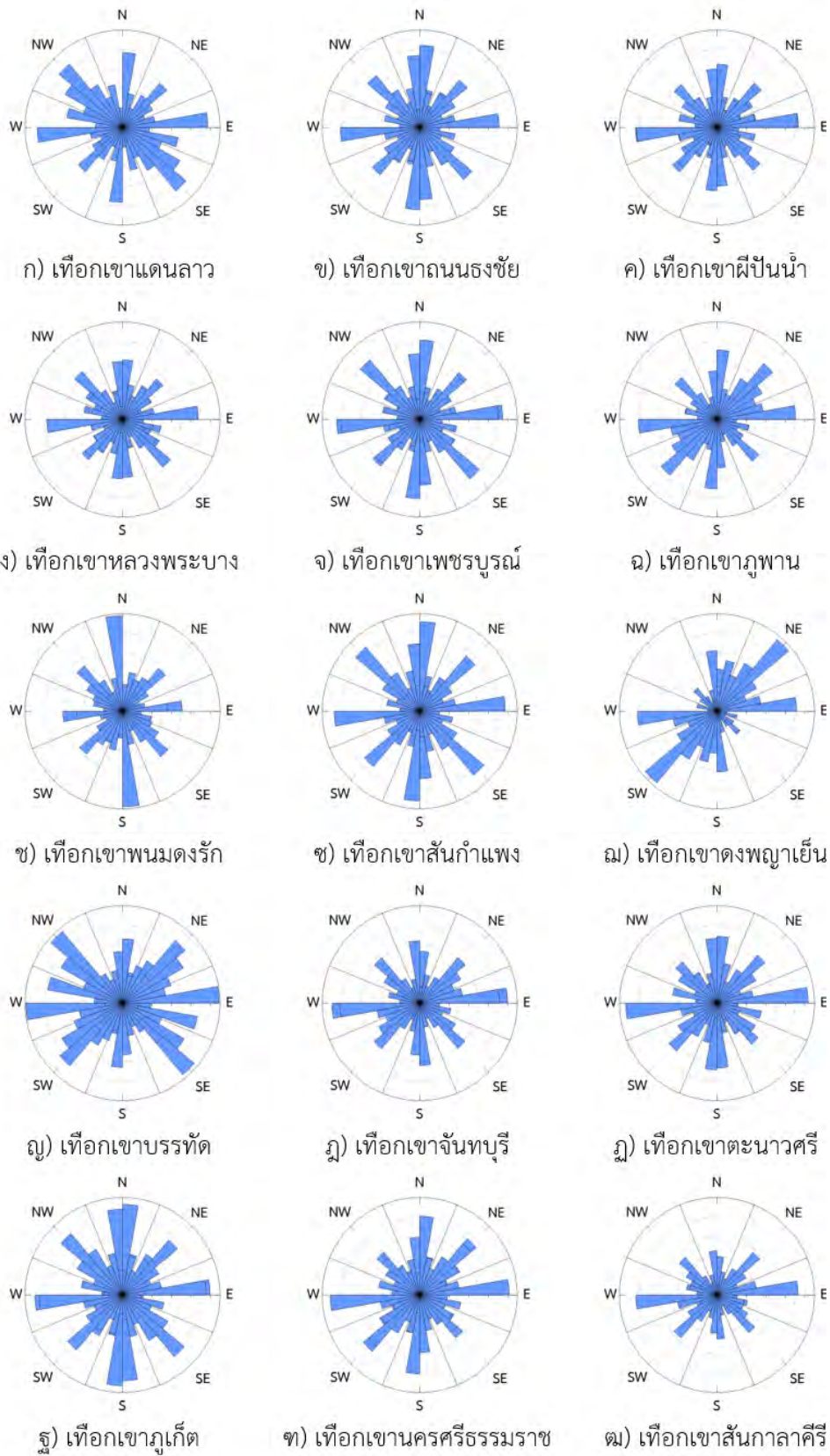
- เทือกเขาแดนลาว มีแนวโน้มของเส้นสันเขาอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ ตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือและตะวันออก-ตะวันตก
- เทือกเขาภูพานและเทือกเขานครศรีธรรมราช มีแนวโน้มของเส้นสันเขาอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้และตะวันออก-ตะวันตก
- เทือกเขาบรรทัด มีแนวโน้มของเส้นสันเขาอยู่ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ตะวันออก-ตะวันตกและตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือ

เส้นสันเขาในแต่ละเทือกเขามีแนวโน้มหลักกระจายไปทุกทิศทาง ได้แก่ เทือกเขาถนนธงชัย เทือกเขาหลวงพระบาง เทือกเขาเพชรบูรณ์ เทือกเขาสันกำแพง และเทือกเขาภูเก็ต

อย่างไรก็ตามจากการสังเกตแผนภาพกุหลาบของแต่ละเทือกเขาพบว่าแนวเส้นสันเขามีการกระจายที่เป็นแบบแผนเช่นเดียวกับแผนภาพกุหลาบของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด คือ มีการกระจายเฉพาะในแนวทิศทางหลัก 4 แนว คือ แนวเหนือ-ใต้ แนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ แนวตะวันออก-ตะวันตก และแนวตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือเท่านั้น ไม่ได้มีการกระจายในทุกทิศทางแบบสุ่ม โดยจะอภิปรายต่อไปในบท 5



รูป 4.3. แผนที่แสดงเส้นส้นเขาในพื้นที่ศึกษาที่แบ่งตามขอบเขตของแนวเทือกเขา



รูป 4.4. แผนภาพทิศทางลมของแนวเส้นสันเขาที่แบ่งตามแนวเทือกเขา

ตาราง 4.2. แสดงแนวทิศทางและจำนวนเส้นสั้นเขาของแต่ละแนวเทือกเขาในพื้นที่ศึกษา

ชื่อเทือกเขา	แนวทิศทาง	จำนวนเส้น	ชื่อเทือกเขา	แนวทิศทาง	จำนวนเส้น
เทือกเขาแดนลาว	N-S	2,460	เทือกเขาดงพญาเย็น	N-S	1,334
	NE-SW	2,443		NE-SW	1,648
	E-W	3,500		E-W	1,268
	NW-SE	3,026		NW-SE	728
เทือกเขาถนนธงชัย	N-S	9,713	เทือกเขาบรรทัด	N-S	273
	NE-SW	8,633		NE-SW	349
	E-W	9,713		E-W	342
	NW-SE	8,824		NW-SE	353
เทือกเขาผีปันน้ำ	N-S	31,036	เทือกเขาจันทบุรี	N-S	1,121
	NE-SW	31,173		NE-SW	1,292
	E-W	41,329		E-W	1,624
	NW-SE	31,767		NW-SE	1,163
เทือกเขาหลวงพระบาง	N-S	5,024	เทือกเขาตะนาวศรี	N-S	2,010
	NE-SW	4,760		NE-SW	1,914
	E-W	6,031		E-W	2,462
	NW-SE	5,253		NW-SE	1,853
เทือกเขาเพชรบูรณ์	N-S	14,045	เทือกเขาภูเก้า	N-S	3,553
	NE-SW	12,293		NE-SW	2,998
	E-W	15,842		E-W	3,401
	NW-SE	14,517		NW-SE	3,433
เทือกเขาภูพาน	N-S	1,399	เทือกเขา นครศรีธรรมราช	N-S	2,940
	NE-SW	1,892		NE-SW	3,165
	E-W	1,945		E-W	3,538
	NW-SE	1,351		NW-SE	2,550
เทือกเขาพนมดงรัก	N-S	1,097	เทือกเขาสันกาลาคีรี	N-S	1,091
	NE-SW	896		NE-SW	1,407
	E-W	997		E-W	1,824
	NW-SE	874		NW-SE	1,209
เทือกเขาสันกำแพง	N-S	3,828			
	NE-SW	3,258			
	E-W	3,167			
	NW-SE	3,340			

ตาราง 4.3. แสดงแนวทิศทางหลักของเส้นสันเขาของแต่ละแนวเทือกเขา

แนวเทือกเขา	ทิศทางหลักของแนวเส้นสันเขา
เทือกเขาแดนลาว	ตะวันออก-ตะวันตก
เทือกเขาถนนธงชัย	เหนือ-ใต้ และตะวันออก-ตะวันตก
เทือกเขาผีปันน้ำ	ตะวันออก-ตะวันตก
เทือกเขาหลวงพระบาง	ตะวันออก-ตะวันตก
เทือกเขาเพชรบูรณ์	ตะวันออก-ตะวันตก
เทือกเขาภูพาน	ตะวันออก-ตะวันตก
เทือกเขาพนมดงรัก	เหนือ-ใต้
เทือกเขาสันกำแพง	เหนือ-ใต้
เทือกเขาตงพญาเย็น	ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้
เทือกเขาบรรทัด	ตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือ
เทือกเขาจันทบุรี	ตะวันออก-ตะวันตก
เทือกเขาตะนาวศรี	ตะวันออก-ตะวันตก
เทือกเขาภูเก็ต	เหนือ-ใต้
เทือกเขานครศรีธรรมราช	ตะวันออก-ตะวันตก
เทือกเขาสันกาลาศีรี	ตะวันออก-ตะวันตก

4.3. ผลจากการวิเคราะห์แฟร็กทัล (Result of Fractal Analysis)

ดังที่กล่าวในบทที่ 3 ว่ามีการแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็นตารางย่อยหรือกริดย่อยที่มีขนาด 15x15 ตารางกิโลเมตรให้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาในประเทศไทยทั้งหมด ซึ่งพื้นที่ย่อยมีจำนวนตารางกริดที่ใช้ในการคำนวณทั้งหมด 1,928 ช่อง โดยแนวเส้นสันเขาในแต่ละกริดจะถูกเลือกเป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับอัลกอริทึมในการคำนวณและวิเคราะห์แฟร็กทัล ได้ผลเป็นค่ามิติสหสัมพันธ์และค่ามิติบอกซ์เคาน์ตั้งต่อพื้นที่ 15x15 ตารางกิโลเมตร โดยมีการกระจายเชิงพื้นที่ ดังต่อไปนี้

4.3.1. วิเคราะห์มิติสหสัมพันธ์ (Correlation Dimension Analysis)

ค่ามิติสหสัมพันธ์ของพื้นที่ศึกษาในพื้นที่ศึกษาย่อยขนาด 15x15 ตารางกิโลเมตร มีค่าตั้งแต่ 0.27 ถึง 4.36 (รูป 4.5.) และมีการแบ่งชั้นข้อมูลที่ได้เป็น 14 ลำดับชั้น ซึ่งมีความกว้างของแต่ละชั้นเป็น 0.20 โดยค่ามิติมีค่าอยู่ในช่วง 0 - 1 แสดงถึงแนวเส้นสันเขามีการกระจายตัวเป็นแนวเส้น หากมีค่า

อยู่ในช่วง 1 - 2 แสดงถึงแนวเส้นสันเขามีกการกระจายตัวเป็นระนาบ และมีค่าอยู่ในช่วง 2 - 3 แสดงถึงแนวเส้นสันเขามีกการกระจายตัวเป็นปริมาตร โดยวิเคราะห์ผลในเชิงพื้นที่ได้ดังต่อไปนี้

บริเวณที่มีค่ามิตินสัมพันธ์ตั้งแต่ 0.27 - 0.8 คิดเป็นพื้นที่ประมาณร้อยละ 25.82 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด พบว่ามีกการกระจายตัวอยู่ในบริเวณทางตอนเหนือและตอนใต้ของแผนที่เป็นส่วนใหญ่ โดยบริเวณตอนเหนือพบบริเวณจังหวัดแพร่ จังหวัดลำปางและจังหวัดเชียงใหม่ ลากยาวไปทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือบริเวณจังหวัดหนองคายและจังหวัดบึงกาฬ ครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ละติจูดที่ 18 - 20 องศาเหนือ และพบบริเวณพื้นที่ภาคกลางบางส่วนแถบจังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก นอกจากนี้ในบริเวณภาคใต้พบเป็นแถบกว้างตั้งแต่ใต้สุดของแผนที่บริเวณจังหวัดนราธิวาสและจังหวัดยะลา บริเวณละติจูดที่ 6 องศาเหนือ จากนั้นพบเป็นแถบอีกครั้งบริเวณจังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดกระบี่ บริเวณละติจูดที่ 8 องศาเหนือ โดยบริเวณดังกล่าวเป็นบริเวณที่มีค่ามิตินสัมพันธ์ที่ใกล้เคียงกับ 0 ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกว่าในพื้นที่มีการกระจายเป็นจุด

บริเวณที่มีค่ามิตินสัมพันธ์ตั้งแต่ 0.80 - 1.20 คิดเป็นพื้นที่ประมาณร้อยละ 23.08 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด พบทางตอนเหนือเป็นแถบเล็ก ๆ บริเวณจังหวัดเชียงรายประมาณละติจูดที่ 20 องศาเหนือ และมีการกระจายทางตอนกลางของพื้นที่เป็นส่วนใหญ่ โดยพบตั้งแต่บริเวณภาคภาคกลาง เช่น จังหวัดนครสวรรค์และจังหวัดลพบุรี แล้วลากยาวต่อไปเรื่อย ๆ ไปยังตะวันออกเฉียงเหนือแถบจังหวัดนครราชสีมาและจังหวัดร้อยเอ็ด สิ้นสุดที่ด้านตะวันออกเฉียงเหนือสุดของแผนที่บริเวณจังหวัดอำนาจเจริญ ตามเส้นละติจูดประมาณ 15 - 18 องศาเหนือ และพบกระจายเป็นแถบเล็ก ๆ ในภาคใต้บริเวณจังหวัดสตูลและจังหวัดซึ่งครอบคลุมบริเวณเส้นละติจูดที่ 7 องศาเหนือ ซึ่งบริเวณดังกล่าวเป็นบริเวณที่มีค่ามิตินสัมพันธ์ใกล้เคียงกับ 1 ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกว่าในพื้นที่มีการกระจายเป็นแนวเส้น

บริเวณที่มีค่ามิตินสัมพันธ์ตั้งแต่ 1.20 - 1.80 คิดเป็นพื้นที่ประมาณร้อยละ 40.54 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด พบกระจายอยู่ทั่วแผนที่ โดยส่วนใหญ่ครอบคลุมบริเวณตอนกลางของแผนที่ พบเป็นแถบกว้างบริเวณตั้งแต่ภาคตะวันตกแถบจังหวัดกาญจนบุรี ลากยาวมาบริเวณภาคกลางแถบจังหวัดสุพรรณบุรีและจังหวัดสุพรรณบุรี จากนั้นไปสิ้นสุดที่บริเวณตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่แถบจังหวัดอุบลราชธานีที่อยู่ริมสุดของแผนที่ โดยครอบคลุมบริเวณละติจูดที่ 14 - 15 องศาเหนือ พบกระจายเป็นส่วนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือแถบจังหวัดขอนแก่นและจังหวัดกาฬสินธุ์ ประมาณเส้นละติจูดที่ 16 - 17 องศาเหนือ และพบเป็นแถบเล็ก ๆ บริเวณจังหวัดสุราษฎร์ธานี ที่เส้นละติจูดที่ 9 องศาเหนือ

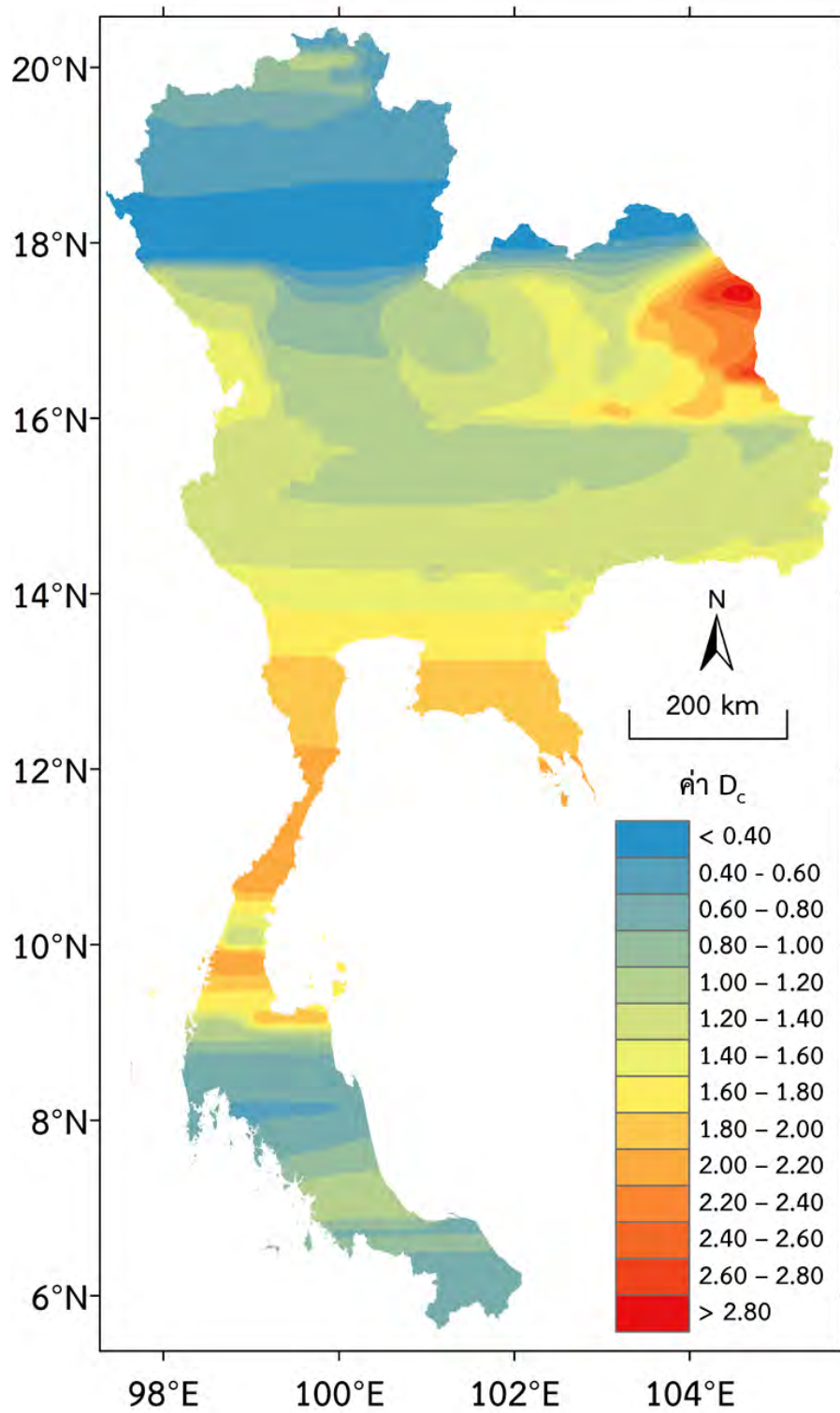
บริเวณที่มีค่ามิตินสัมพันธ์ตั้งแต่ 1.80 - 2.20 ซึ่งค่าใกล้เคียงกับ 2 ซึ่งบ่งบอกถึงพื้นที่ในบริเวณนี้มีการกระจายตัวเป็นแบบระนาบ คิดเป็นพื้นที่ประมาณร้อยละ 8.88 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด พบเป็นแถบกว้างในบริเวณภาคใต้ตอนบน เช่น บริเวณจังหวัดเพชรบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์และจังหวัดชุมพร ลากยาวไปครอบคลุมพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นบางส่วน เช่น บริเวณจังหวัดระยอง จังหวัดจันทบุรี

และจังหวัดตราด ซึ่งครอบคลุมพื้นที่แถบเส้นละติจูดที่ 10 องศาเหนือและ 11 – 13 องศาเหนือ และพบบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือแถบจังหวัดสกลนครเล็กน้อย

บริเวณที่มีค่ามิตีสหสัมพันธ์ตั้งแต่ 2.20 – 2.8 คิดเป็นพื้นที่ประมาณร้อยละ 1.56 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด โดยมีการกระจายเป็นหย่อม ๆ บริเวณตะวันออกเฉียงเหนือของแผนที่แถบจังหวัดสกลนคร จังหวัดนครพนมและจังหวัดมุกดาหาร

บริเวณที่มีค่ามิตีสหสัมพันธ์ตั้งแต่ 2.8 – 4.36 ซึ่งค่าใกล้เคียงกับ 3 และมากกว่า 4 คาดว่าเป็นบริเวณที่มีการกระจายตัวแบบปริมาตร ซึ่งบ่งบอกถึงพื้นที่ในบริเวณนี้มีการกระจายตัวเป็นแบบระนาบ คิดเป็นพื้นที่ประมาณร้อยละ 0.12 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด โดยพบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของบริเวณจังหวัดนครพนมเพียงพื้นที่เดียว บริเวณละติจูดที่ 17 องศาเหนือ

อย่างไรก็ตามจากการกระจายเชิงพื้นที่ของค่ามิตีสหสัมพันธ์ส่วนใหญ่มีการกระจายค่าในแนวละติจูด ซึ่งค่าที่ได้ค่อนข้างผิดปกติ เช่น ค่าที่มากกว่า 3 และ 4 ซึ่งในการคำนวณจะเป็นการนำเข้าข้อมูลที่เป็น 1 มิติ (ข้อมูลจุดตัวแทนเส้นสั้นเขา) ดังนั้น การวางตัวของข้อมูลที่ได้ไม่ควรเกิน 3 มิติ (การกระจายตัวแบบปริมาตร) รวมถึงการกระจายเชิงพื้นที่ของค่ามิตีสหสัมพันธ์ไม่สอดคล้องกับแผนที่เส้นชั้นความสูงของความหนาแน่นของเส้นสั้นเขาในพื้นที่ โดยจะอภิปรายในบทที่ 5 ต่อไป



รูป 4.5. แสดงการกระจายตัวของค่ามิติสหสัมพันธ์ (D_c) ในพื้นที่ศึกษา: พื้นที่ศึกษาย่อยขนาด 15x15 ตารางกิโลเมตร

4.3.2. วิเคราะห์มิติบ็อกซ์เคาน์ติ้ง (Box-counting Dimension Analysis)

แผนที่แสดงค่ามิติแฟร็กทัลที่วิเคราะห์ของพื้นที่ศึกษาในพื้นที่ศึกษาย่อยที่มีขนาดตาราง 15x15 ตารางกิโลเมตร (รูป 4.6.) มีค่าตั้งแต่ 0.40 ถึง 1.69 และมีการแบ่งชั้นข้อมูลที่ได้เป็น 7 ลำดับชั้น ซึ่งมีความกว้างของแต่ละชั้นเป็น 0.20 โดยวิเคราะห์ผลในเชิงพื้นที่ได้ดังต่อไปนี้

บริเวณที่มีค่ามิติบ็อกซ์เคาน์ติ้งน้อยกว่า 0.60 (สีฟ้าเข้ม) คิดเป็นพื้นที่ประมาณร้อยละ 3.39 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด มีการกระจายตัวเป็นหย่อม ๆ เป็นบางพื้นที่ ซึ่งพบน้อยมากในแผนที่ โดยพบในบริเวณภาคกลางตอนล่างเป็นส่วนใหญ่แถบจังหวัดสุพรรณบุรี จังหวัดนครปฐมและจังหวัดสมุทรสาคร และบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือแถบจังหวัดร้อยเอ็ดและจังหวัดยโสธร และภาคใต้แถบจังหวัดชุมพร

บริเวณที่มีค่ามิติบ็อกซ์เคาน์ติ้งตั้งแต่ 0.60 – 0.80 (สีฟ้าอ่อน) คิดเป็นพื้นที่ประมาณร้อยละ 22.15 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด มีการกระจายตัวส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งกินพื้นที่ค่อนข้างมาก เช่น บริเวณจังหวัดบุรีรัมย์ จังหวัดสกลนครและจังหวัดบึงกาฬ พบมากรองลงมา คือ บริเวณภาคกลางแถบจังหวัดลพบุรีและจังหวัดปทุมธานี และพบเป็นพื้นที่เล็ก ๆ บริเวณแถบจังหวัดพิษณุโลก บริเวณภาคกลางตอนเหนือ

บริเวณที่มีค่ามิติบ็อกซ์เคาน์ติ้งตั้งแต่ 0.80 – 1.00 (สีเขียว) คิดเป็นพื้นที่ประมาณร้อยละ 23.49 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด มีการกระจายตัวทั่วแผนที่ ซึ่งพบได้ในทุกภาคของประเทศไทยยกเว้นภาคเหนือ เช่น บริเวณจังหวัดนครสวรรค์และจังหวัดพิจิตรในภาคกลาง บริเวณจังหวัดฉะเชิงเทราและจังหวัดชลบุรี ในภาคตะวันออก บริเวณจังหวัดขอนแก่นและอุดรธานีในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวมถึงบริเวณตอนกลางของจังหวัดสุราษฎร์ธานีในภาคใต้

บริเวณที่มีค่ามิติบ็อกซ์เคาน์ติ้งตั้งแต่ 1.00 – 1.20 (สีเหลือง) คิดเป็นพื้นที่ประมาณร้อยละ 12.69 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด มีการกระจายตัวแผนที่เป็นแถบเล็ก ๆ ซึ่งพบในบริเวณภาคกลางตอนบน และภาคตะวันตกเป็นบางส่วน และพบบริเวณภาคใต้เป็นส่วนใหญ่แถบจังหวัดสงขลาและจังหวัดนราธิวาส ซึ่งมีการกระจายตัวเป็นหย่อม ๆ รวมถึงบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือแถบจังหวัดหนองบัวลำภูและจังหวัดอุบลราชธานี เป็นต้น

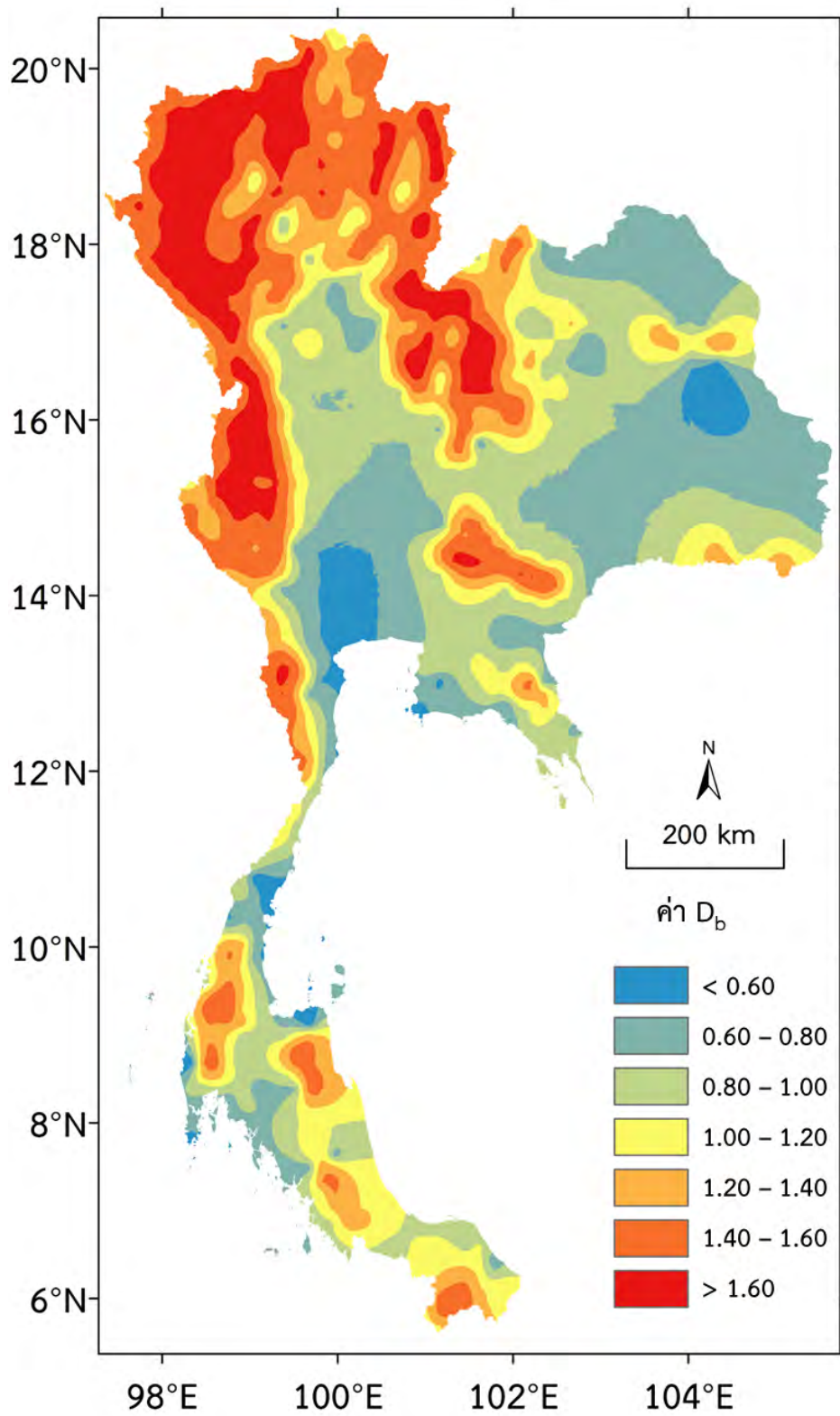
บริเวณที่มีค่ามิติบ็อกซ์เคาน์ติ้งตั้งแต่ 1.20 – 1.40 (สีส้มอ่อน) คิดเป็นพื้นที่ประมาณร้อยละ 11.20 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด มีการกระจายตัวแผนที่โดยครอบคลุมพื้นที่น้อยมาก พบบริเวณตะวันออกเฉียงสุดของแผนที่แถบจังหวัดศรีสะเกษและจังหวัดอุบลราชธานี บริเวณตะวันออกเฉียงเหนือแถบจังหวัดกาฬสินธุ์และจังหวัดมุกดาหาร บริเวณทางตอนเหนือแถบจังหวัดลำปางและแพร่ ลากยาวมาทางภาคตะวันตกที่มีการกระจายตัวเป็นแถบแนวยาวลงมาจนถึงบริเวณจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ และมีการกระจายเป็นหย่อม ๆ ในภาคใต้ เช่น จังหวัดพังงาและจังหวัดนราธิวาส เป็นต้น

บริเวณที่มีค่ามิติบ็อกซ์เคาน์ตั้งตั้งแต่ 1.40 – 1.60 (สีส้มเข้ม) คิดเป็นพื้นที่ประมาณร้อยละ 16.89 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด มีการกระจายทั่วแผนที่โดยครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างทางภาคเหนือของประเทศไทยเป็นส่วนใหญ่ โดยพบบริเวณแถบจังหวัดพะเยา ลากยาวลงมาทางใต้บริเวณภาคตะวันตกแถบจังหวัดตากและกาญจนบุรี จนถึงภาคใต้แถบจังหวัดเพชรบุรีและจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือแถบจังหวัดชัยภูมิและจังหวัดนครราชสีมา รวมถึงมีการกระจายตัวเป็นหย่อม ๆ ในบริเวณภาคใต้ เช่น จังหวัดนครราชสีมาและจังหวัดยะลา เป็นต้น

บริเวณที่มีค่ามิติบ็อกซ์เคาน์ตั้งมากกว่า 1.60 (สีแดง) คิดเป็นพื้นที่ประมาณร้อยละ 10.18 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด ครอบคลุมบริเวณภาคเหนือของประเทศไทยเป็นบริเวณกว้าง โดยพบบริเวณจังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดลำพูนและลากยาวมายังภาคตะวันตกของพื้นที่แถบจังหวัดตากและบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือแถบจังหวัดเลยและจังหวัดปราจีนบุรีตอนบน

อย่างไรก็ตามจากการสังเกตการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของค่ามิติบ็อกซ์เคาน์ตั้งในพื้นที่พบว่า บริเวณที่มีค่ามิติบ็อกซ์เคาน์ตั้งสูงจะแสดงถึงแนวเส้นสนเขาที่มีความซับซ้อนมากและเป็นบริเวณที่เส้นสนเขามีการกระจายตัวที่ไม่เป็นระเบียบ ในขณะที่เดียวกันบริเวณที่มีค่ามิติบ็อกซ์เคาน์ตั้งต่ำจะแสดงถึงแนวเส้นสนเขาที่มีความซับซ้อนน้อยกว่าและเป็นบริเวณที่เส้นสนเขามีการกระจายตัวที่เป็นระเบียบมากกว่า

นอกจากนี้หากเปรียบเทียบแผนที่จากการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของค่ามิติบ็อกซ์เคาน์ตั้งและแผนที่แสดงความหนาแน่นของเส้นสนเขาในพื้นที่ศึกษาพบว่าแผนที่ทั้งสองมีความคล้ายคลึงกันในเชิงพื้นที่คือ ในบริเวณที่มีค่ามิติบ็อกซ์เคาน์ตั้งสูงจะเป็นบริเวณที่มีเส้นสนเขามีความหนาแน่นมาก และบริเวณที่มีค่ามิติบ็อกซ์เคาน์ตั้งต่ำจะเป็นบริเวณที่มีเส้นสนเขามีความหนาแน่นน้อย ทั้งนี้ จะอภิปรายผลที่ได้ในบทที่ 5 ต่อไป



รูป 4.6. แสดงการกระจายตัวของค่ามิติแฟร็กทัล (D_b) ในพื้นที่ศึกษา: พื้นที่ศึกษาย่อยขนาด 15x15 ตารางกิโลเมตร

บทที่ 5

อภิปรายและสรุปผล (DISCUSSION AND CONCLUSION)

5.1. อภิปรายผลการวิจัย (Discussion)

5.1.1. ผลจากการวิเคราะห์แผนภาพกุหลาบ (Result of Rose Diagram Analysis)

การวางตัวของแนวเส้นสั้นเขาที่แสดงผลโดยแผนภาพกุหลาบ พบว่ามีแนวโน้มส่วนใหญ่อยู่ในแนวตะวันออก-ตะวันตก รองลงมาคือแนวเหนือ-ใต้ โดยแนวสั้นเขาที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก เส้นสั้นเขาที่มีแนวโน้มอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ เป็นผลมาจากแรงกระทำต่อเปลือกโลกในแนวตะวันออก-ตะวันตก ซึ่งสอดคล้องกับเหตุการณ์การชนกันของแผ่นเปลือกโลกชาน-ไทยและอินโดจีน รวมถึงการชนของแผ่นเปลือกโลกพม่าตะวันตกเข้ามาทางตะวันออกของแผ่นเปลือกโลกชาน-ไทย (เดิม) ช่วงยุคครีเทเชียสตอนปลายถึงเทอร์เชียรีตอนต้น นอกจากนี้สั้นเขาที่มีแนวโน้มอยู่ในแนวตะวันออก-ตะวันตก เป็นผลมาจากแรงกระทำในแนวเหนือ-ใต้ ซึ่งสอดคล้องกับเหตุการณ์ที่แผ่นเปลือกโลกอินเดียมุดเข้าไปใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเชียในแนวตะวันออกเฉียงเหนือก่อนไปทางทิศเหนือ ในช่วงมหายุคซีโนโซอิก และจากการแบ่งวิเคราะห์แนวสั้นเขาออกตามแนวเทือกเขาพบว่า

เทือกเขาทางตอนเหนือ ได้แก่ เทือกเขาแดนลาวและเทือกเขาผิปปันน้ำ เทือกเขาทางตอนใต้ ได้แก่ เทือกเขาภูเก็ต เทือกเขานครศรีธรรมราชและเทือกเขาสันกาลาคีรี รวมถึงเทือกเขาทางด้านตะวันตกของประเทศไทย ได้แก่ เทือกเขาถนนธงชัยและเทือกเขาตะนาวศรี ส่วนใหญ่มีแนวโน้มเส้นสั้นเขาหลักในแนวเหนือ-ใต้และตะวันออก-ตะวันตก คาดว่าเกิดจากการบีบอัดตัวของเปลือกโลกจนเกิดเป็นเทือกเขาต่าง ๆ ซึ่งสอดคล้องกับการชนของแผ่นเปลือกโลกพม่าตะวันตกเข้ามาทางตะวันออกของแผ่นยูเรเชีย ซึ่งเป็นแรงกระทำในแนวตะวันออก-ตะวันตกที่ทำให้เกิดสั้นเขาในแนวเหนือ-ใต้ ซึ่งเป็นแนวการวางตัวหลักของแนวเทือกเขา และเหตุการณ์ที่แผ่นเปลือกโลกอินเดียมุดเข้าไปใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย ซึ่งเป็นแรงกระทำทิศเหนือ-ใต้ ที่ทำให้เกิดสั้นเขาในแนวตะวันออก-ตะวันตก ซึ่งเป็นแนวสั้นเขาเล็ก ๆ ที่แตกแขนงออกมาจากแนวสั้นเขาใหญ่

เทือกเขาทางตอนตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ได้แก่ เทือกเขาภูพานมีแนวโน้มเส้นสั้นเขาหลักในแนวตะวันออก-ตะวันตก เทือกเขาสันกำแพงและเทือกเขาพนมดงรักมีแนวโน้มเส้นสั้นเขาหลักในแนวเหนือ-ใต้ อย่างไรก็ตามจากข้อมูลธรณีแปรสัณฐานเทือกเขาภูพานเกิดจากโครงสร้างชั้นหินโค้งรูปประทุนลูกฟูก ซึ่งมีทิศทางจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือไปตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งเป็นแนวทิศทางรองที่ได้จากข้อมูลเส้นสั้นเขา คาดว่าหลังจากเกิดแนวที่โค้งนูนเป็นสันนี้จะมีเหตุการณ์ที่ทำให้แนวสั้นเขาเกิดการแตกแขนงในทิศตะวันออก-ตะวันตก

เทือกเขาทางตอนตะวันออกของประเทศไทย ได้แก่ เทือกเขาจันทบุรีส่วนใหญ่มีแนวโน้มเส้นสั้นเขาหลักในแนวตะวันออก-ตะวันตก และเทือกเขาบรรทัดส่วนใหญ่มีแนวโน้มเส้นสั้นเขาหลักในแนว

ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นไปแนวเดียวกับการวางตัวของแนวเทือกเขาหลัก ในขณะเดียวกันเทือกเขาจันทบุรีเป็นขอบที่ราบสูงอีกเทือกเขาหนึ่งซึ่งมีกระบวนการเกิดเช่นเดียวกับเทือกเขาที่กล่าวไปข้างต้น

เทือกเขาทางตอนกลางของประเทศไทย ประกอบด้วยเทือกเขาเพชรบูรณ์มีแนวโน้มเส้นสันเขาหลักในแนวเหนือ-ใต้ และเทือกเขาตงพญาเย็นมีแนวโน้มเส้นสันเขาหลักในแนวตะวันออกเฉียงเหนือและตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งแนวเทือกเขาทั้งสองนี้เป็นบริเวณของที่ราบสูงโคราช โดยจากข้อมูลธรณีแปรสัณฐานพบว่าการกัตัวของที่ราบสูงโคราชมาจาก 2 เหตุการณ์ คือ การเคลื่อนตัวมาชนกันของแผ่นเปลือกโลกซัน-ไทยและแผ่นเปลือกโลกอินโดจีน่า ทำให้สันเขาวางตัวในแนวเหนือ-ใต้ และอีกเหตุการณ์ คือ การชนกันของแผ่นทวีปอินเดียกับแผ่นทวีปยูเรเชีย ซึ่งแรงจากการชนทำให้เกิดการยกตัวขึ้นเป็นที่ราบสูงโคราช

5.1.2. ผลจากการวิเคราะห์มิติสหสัมพันธ์ (Result of Correlation Dimension Analysis)

การวิเคราะห์มิติสหสัมพันธ์ในพื้นที่ศึกษาพบว่าค่าตั้งแต่ 0.20 ถึง 2.97 โดยค่ามิติมีค่าอยู่ในช่วง 0 - 1 แสดงถึงแนวเส้นสันเขามีการกระจายตัวเป็นแนวเส้น หากมีค่าอยู่ในช่วง 1-2 แสดงถึงแนวเส้นสันเขามีการกระจายตัวเป็นระนาบ และมีค่าอยู่ในช่วง 2 - 3 แสดงถึงแนวเส้นสันเขามีการกระจายตัวเป็นปริมาตร ทั้งนี้จากแผนที่การกระจายเชิงพื้นที่ของค่ามิติสหสัมพันธ์ (รูป 4.5.) พบว่าในบริเวณที่ค่ามิติสหสัมพันธ์มากเป็นบริเวณที่มีความหนาแน่นของเส้นสันเขาต่ำ แสดงให้เห็นถึงบริเวณที่มีเส้นสันเขาน้อย จะเกิดการกระจายตัวของเส้นสันเขามากเนื่องจากเส้นสันเขาอยู่ห่างกันมาก ในขณะที่บริเวณที่ค่ามิติสหสัมพันธ์น้อยเป็นบริเวณที่มีความหนาแน่นของเส้นสันเขาสูง แสดงให้เห็นถึงบริเวณที่มีเส้นสันเขามาก จะเกิดการกระจายตัวของเส้นสันเขาน้อยเนื่องจากเส้นสันเขาอยู่ห่างกันน้อย สันเขาที่พบจะเกิดเป็นกระจุกในพื้นที่ ซึ่งจากการสังเกตจะพบว่าค่ามิติสหสัมพันธ์ไม่มีความสัมพันธ์ในเชิงพื้นที่ เนื่องจากค่าที่ได้แสดงผลในแนวลองติจูด จึงไม่สามารถหาความสัมพันธ์ของค่ามิติสหสัมพันธ์กับการวางตัวของเส้นสันเขาในพื้นที่ได้ ทั้งนี้จึงสันนิษฐานได้ว่าค่ามิติสหสัมพันธ์ของเส้นสันเขาไม่มีความสัมพันธ์กันในเชิงการกระจายเชิงพื้นที่

5.1.3. ผลจากการวิเคราะห์มิติบ็อกซ์เคาน์ติ้ง (Result of Box-counting Dimension Analysis)

ค่าแฟร็กทัลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีบ็อกซ์เคาน์ติ้งในพื้นที่ศึกษาอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.40 ถึง 1.69 ซึ่งบริเวณที่มีค่าแฟร็กทัลสูงเป็นบริเวณที่มีความหนาแน่นของเส้นสันเขาสูง ซึ่งครอบคลุมบริเวณตอนเหนือของประเทศไทย เช่น จังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดเลย รวมถึงบริเวณตะวันตกของประเทศ เช่น จังหวัดตาก เป็นต้น และบริเวณที่มีค่าแฟร็กทัลค่อนข้างสูง แต่อยู่กระจายกันโดด ๆ พบอยู่ในบริเวณภาคใต้ เช่น จังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นต้น ซึ่งบริเวณดังกล่าวข้างต้นเป็นบริเวณที่สอดคล้องกับบริเวณที่มีการเกิดกระบวนการแปรสัณฐานในอดีต เช่น กระบวนการการเกิดเทือกเขาที่มีการ

เคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกชนกันรวมถึงกระบวนการการยกตัวสูงขึ้นที่ทำให้เกิดเป็นขอบที่ราบสูงโคราชในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดแนวเทือกเขาในพื้นที่ ในขณะที่เดียวกันบริเวณที่มีค่าแฟร็กทัลต่ำเป็นบริเวณที่มีความหนาแน่นของเส้นสั้นเขาต่ำ สอดคล้องกับบริเวณที่เป็นที่ราบเป็นส่วนใหญ่ โดยบริเวณดังกล่าวถูกตะกอนครอบคลุมทั้งพื้นที่ ซึ่งพบบริเวณที่ราบสูงในบริเวณตะวันออกเฉียงเหนือหรือที่ราบสูงโคราช ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการสะสมของตะกอนภาคพื้นทวีป และบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางซึ่งเป็นบริเวณที่มีการสะสมตัวของตะกอนทางน้ำ

5.2. สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

จากผลการวิจัยและการอภิปรายข้างต้นสามารถสรุปผลการศึกษาดังต่อไปนี้

1. การวางตัวของเส้นสั้นเขามีแนวโน้มส่วนใหญ่อยู่ในแนวตะวันออก-ตะวันตก ซึ่งโดยส่วนใหญ่เส้นสั้นในแนวนี้จะเป็นแนวเส้นสั้นเขาจริงที่แตกแขนงออกมาจากเส้นสั้นหลักที่มีการวางตัวไปในทิศทางเดียวกับแนวเทือกเขาของแต่ละเทือกเขา

2. การเกิดของแนวเทือกเขาของประเทศไทยสอดคล้องกับเหตุการณ์ธรณีแปรสัณฐาน 3 เหตุการณ์หลัก ๆ คือ แผ่นเปลือกโลกอินโดจีนชนกับแผ่นเปลือกโลกซัน-ไทย หรือเรียกว่าการก่อเกิดเทือกเขาอินโดจีนเนียน และการชนของแผ่นเปลือกโลกพม่าตะวันตกเข้ากับแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย ซึ่งเหตุการณ์ทั้ง 2 มีแรงที่กระทำหลักอยู่ในแนวตะวันออก-ตะวันตก จะทำให้เกิดแนวสั้นเขาที่อยู่ในแนวเหนือ-ใต้ และอีกเหตุการณ์หนึ่ง คือ การชนของแผ่นเปลือกโลกอินเดียมุดใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเชียในแนวทิศเหนือเฉียงไปทางตะวันออกเล็กน้อย หรือเรียกว่าการก่อเกิดเทือกเขาหิมาลัย ซึ่งเป็นแรงกระทำในแนวเหนือ-ใต้ ทำให้แนวเทือกเขาที่เกิดอยู่ในแนวตะวันออก-ตะวันตก

3. จากการวิเคราะห์ค่ามิติสหสัมพันธ์ที่มีการกระจายเชิงพื้นที่พบว่า แผ่นที่มีการกระจายของค่ามิติแฟร็กทัลเชิงพื้นที่มีการแสดงผลเป็นไปตามแนวลองจิจูด ซึ่งไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์กับข้อมูลของเส้นสั้นเขาในพื้นที่ได้ ไม่ว่าจะมีความหนาแน่นหรือค่ามิติแฟร็กทัล

4. จากการวิเคราะห์ค่าแฟร็กทัลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีบอกซ์เคาน์ติ้ง บริเวณที่มีค่าแฟร็กทัลสูงเป็นบริเวณที่มีความหนาแน่นของเส้นสั้นเขาสูง สอดคล้องกับบริเวณที่มีการเกิดกระบวนการแปรสัณฐานในอดีต ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดเป็นสั้นเขาหรือบริเวณขอบที่ราบสูงในปัจจุบัน และบริเวณที่มีค่าแฟร็กทัลต่ำเป็นบริเวณที่มีความหนาแน่นของเส้นสั้นเขาต่ำ สอดคล้องกับบริเวณที่ราบที่มีการสะสมของตะกอนไม่ว่าจะเป็นตะกอนทางบนหรือตะกอนทางน้ำ ซึ่งส่งผลให้บริเวณพื้นที่นั้น ๆ กลายเป็นที่ราบ

5.3. ข้อเสนอแนะ (Recomendation)

1. จากผลลัพธ์ที่ได้พบว่าค่ามิติสหสัมพันธ์มีค่าการกระจายเชิงพื้นที่ที่ไม่สามารถอธิบายได้จึงควรตรวจสอบสคริปต์ที่ใช้ในการคำนวณ เพื่อตรวจสอบว่ามีปัญหาหรือความผิดพลาดหรือไม่
2. อาจมีการนำเส้นสั้นเขาบริเวณรอบ ๆ พื้นที่ศึกษามาวิเคราะห์ร่วมด้วย เนื่องจากเป็นการวิเคราะห์ในเชิงพื้นที่ ดังนั้นบริเวณขอบของพื้นที่ศึกษาอาจมีการวิเคราะห์ข้อมูลที่ผิดพลาดได้
3. อาจมีการวิเคราะห์แนวเส้นสั้นเขาในความยาวที่แตกต่างกัน เพื่อการบอกแนวการวางตัวหลักของแนวสั้นเขาได้มากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม (REFERENCE)

- กรมทรัพยากรธรณี, 2550. ธรณีวิทยาประเทศไทย กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, ฉบับปรับปรุง โดยกรมทรัพยากรธรณี - กรุงเทพฯ: 331-345.
- รัตนภรณ์ ฟองเงิน, 2554. ขุนเขาใหญ่เกิดอย่างไรใครรู้บ้าง.. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: www.geothai.net
- สันติ ภัยหลบลี้, 2562. “ความเหมือนกันในตัวของตัวเอง” กับการศึกษารูปแบบการเกิดแผ่นดินไหว [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: www.mitrearth.org
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2561. แฟร็กทัลกับระบบพลวัต. นิตยสาร สสวท, 46 (210), 1-59.
- Kusak, M., Kropáček, J., Vilimek, V., Scillaci, C., 2016. Analysis of the influence of tectonics on the evolution of valley networks based on SRTM DEM, Jemma River basin, Ethiopia. Geogr. Fis. Din. Quat, 1: 37-50.
- Mandelbrot, B.B., 1982. The fractal geometry of nature, 1. WH freeman New York.
- Masoud, A.A., Koike, K., 2011. Morphotectonics inferred from the analysis of topographic lineaments auto-detected from DEMs: Application and validation for the Sinai Peninsula, Egypt. Tectonophysics, 510(3-4): 291-308.
- Meerat, T., 2018. Fracture analogue modeling and fluid evolution, central Thailand: A tectonically driven fluid system. Chulalongkorn University, Bangkok (MSc thesis).
- Nemec, W., 1988. The shape of the rose. Sedimentary Geology, 59(1-2): 149-152.
- Nkono, C., Féménias, O., Lesne, A., Mercier, J.-C., Demaiffe, D., 2013. Fractal Analysis of lineaments in Equatorial Africa: insights on lithospheric structure.
- Nur, A.A. et al., 2017. Characteristics of Fractal Lineament And Its Relationship to Seismicity in Southeast Part of West Java Province, Indonesia, Proceedings of the 2nd Join Conference of Utsunomiya University and Universitas Padjadjaran, pp. 8-14.
- Prabhakaran, A., Raj, N.J., 2018. Mapping and analysis of tectonic lineaments of Pachamalai hills, Tamil Nadu, India using geospatial technology.
- Ridd, M.F., 2016. Should Sibumasu be renamed Sibuma: The case for a discrete Gondwana-derived block embracing western Myanmar, upper Peninsular Thailand and NE Sumatra. Journal of the Geological Society, 173(2): 249-264.

Wang, J., Shan, J., 2009. Segmentation of LiDAR point clouds for building extraction, American Society for Photogram. Remote Sens. Annual Conference, Baltimore, MD, pp. 9-13.