.9302
ก

การวิเคราะห์องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อลักษณะภูมิประเทศแบบเคาสต้า บริเวณขอบด้านตะวันตกเฉียงใต้ของแอ่งโคราช

ปริญญานิพนธ์

ของ

ครองชัย หัตถา

สำนักหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ถนนสุขุมวิท ๒๓ แขวงคลองเตย กรุงเทพฯ ๑๑ โทร. ๒๕๙๑๕๖๘ ๒๕๑๘๐๘๐

๑๐ ส.ค. 2523

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต

พฤษภาคม 2522

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

79062

การวิเคราะห์องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อลักษณะภูมิประเทศแบบเคาสต้า บริเวณขอบด้านตะวันตกเฉียงใต้ของแอ่งโคราช

บทคัดย่อ

ของ

ครองชัย หัตถา

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต

พฤษภาคม 2522

การศึกษาครั้งนี้ มีจุดมุ่งหมายหลัก คือ การค้นหาตัวแปรทางธรณีสัณฐานที่มีอิทธิพลต่อลักษณะภูมิประเทศแบบเคสต้า บริเวณขอบด้านตะวันตกเฉียงใต้ของแอ่งโคราช วิธีการวิจัย กระทำโดยการวัดและคำนวณลักษณะธรณีสัณฐานบางลักษณะจากแผนที่ภูมิประเทศ และการสำรวจเคสต้าในภาคสนาม จำนวน 30 แห่ง ในเขตอำเภอสูงเนิน ปักธงชัย และครบุรี จังหวัดนครราชสีมา แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบ และการวิเคราะห์ถดถอย เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางธรณีสัณฐานกับลักษณะภูมิประเทศแบบเคสต้า องค์ประกอบทางธรณีสัณฐานที่มีอิทธิพลต่อลักษณะภูมิประเทศแบบเคสต้า และตัวพยากรณ์ทางธรณีสัณฐานของเคสต้า

ผลการศึกษาพบว่า

1. ลักษณะภูมิประเทศแบบเคสต้าสัมพันธ์กับ ความเอียงของชั้นหิน ความหนาของชั้นหิน ความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน ระดับสูงของแนวสันหิน ระดับสูงของพื้นหุบเขา ความกว้างของพื้นหุบเขา ความลาดเอียงของพื้นหุบเขา ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวเท ความสูงของสันเขา ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท ความลาดเอียงด้านผาชัน ความยาวด้านลาดเอียงมุมเท และความยาวด้านผาชัน

2. องค์ประกอบทางธรณีสัณฐานที่มีอิทธิพลต่อลักษณะภูมิประเทศแบบเคสต้า ได้แก่

2.1 องค์ประกอบรูปทรงสัณฐานทางเรขาคณิต และระดับสูงของชั้นหิน ตัวแปรทางธรณีสัณฐานในองค์ประกอบนี้ประกอบด้วย ความยาวด้านผาชัน ความหนาของชั้นหิน ความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน ความสูงของแนวสันหิน ระดับสูงของแนวสันหิน และความยาวด้านลาดเอียงมุมเท

2.2 องค์ประกอบตำแหน่งที่ตั้งของเคสต้า และระดับสูงของพื้นหุบเขา ตัวแปรทางธรณีสัณฐานในองค์ประกอบนี้ประกอบด้วย ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวเท ระดับสูงของพื้นหุบเขา ความลาดเอียงของพื้นหุบเขา ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา และความกว้างของพื้นหุบเขา

2.3 องค์ประกอบโครงสร้างการวางตัวของชั้นหิน และความกว้างของพื้นหุบเขา ตัวแปรทางธรณีสัณฐานในองค์ประกอบนี้ประกอบด้วย ความเอียงของชั้นหิน ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท ความยาวด้านลาดเอียงมุมเท ความกว้างของพื้นหุบเขา และระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา

2.4 องค์ประกอบความลาดเอียงด้านข้างหุบเขา และระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ ตัวแปรทางธรณีสัณฐานในองค์ประกอบนี้ ประกอบด้วยความลาดเอียงด้านผาชัน ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ และความลาดเอียงของพื้นหุบเขา

3. ตัวพยากรณ์ทางธรณีสัณฐานของเควสต้า

3.1 ตัวแปรทางธรณีสัณฐานที่ร่วมกันพยากรณ์ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้า (DSS) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประกอบด้วย ความเอียงของชั้นหิน (RSD) ความสูงของแนวสันหิน (RCH) และความยาวด้านลาดเอียงมุมเท (DSL) ได้สมการพยากรณ์ดังนี้

$$DSS = 5.0148 - 0.3948\ RSD + 0.3541\ RCH - 0.1425\ DSL$$

3.2 ตัวแปรทางธรณีสัณฐานที่ร่วมกันพยากรณ์ ความลาดเอียงด้านผาชันของเควสต้า (ESS) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประกอบด้วย ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ (SSD) ความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน (ROW) และความยาวด้านผาชัน (ESL) ได้สมการพยากรณ์ดังนี้

$$ESS = 48.8491 - 0.6438\ SSD - 0.7570\ ROW + 0.6853\ ESL$$

3.3 ตัวแปรทางธรณีสัณฐานที่ร่วมกันพยากรณ์ ความยาวด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้า (DSL) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประกอบด้วย ความสูงของแนวสันหิน (RCH) และความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท (DSS) ได้สมการพยากรณ์ดังนี้

$$DSL = 2900.337 + 24.5934\ RCH - 674.8783\ DSS$$

AN ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCE UPON THE CONFIGURATION OF CUESTAS IN THE SOUTHWESTERN ZONE OF KHORAT BASIN

AN ABSTRACT

BY

KRONGCHAI HATTHA

Presented in partial fulfillment of the requirements

for the Master of Education degree

at Srinakharinwirot University

May 1979

The main purpose of this study was to investigate some geomorphological variables influence upon the configuration of cuesta in the southwestern zone of Khorat Basin. Research methods were to measure and calculate on the nature of some geomorphological variables from topographic maps and by field working for 30 cuestas in Amphoe Sung Noen, Pak Thong Chai and Khon Buri regions Changwat Nakhon Rat Cha Sima. The data were analyzed for factor and regression ahalyse to investigate the relationships between the geomorphological variables and the configuration of cuesta, geomorphological factors influence upon the configuration of cuesta and geomorphological predictors of cuestas.

The results of the study were :

1. The configuration of cuestas related to dip-angle of rock strata, rock strata thickness, rock outcrop width, ridge-crest altitude, valley-floor altitude, valley-floor width, valley-floor slope, valley-axis distance, subsequent stream distance, consequent stream distance, ridge-crest height, dip-slope slope, escarpment slope, dip-slope length and escarpment length

2. The geomorphological factors influence upon the configuration of cuestas were :

2.1 Morphometry and Altitude of rock strata factors. The geomorphological variables in this factor consisted of escarpment length, rock strata thickness, rock outcrop width, ridge-crest height, ridge-crest altitude and dip-slope length.

2.2 Locality of cuesta and valley-floor altitude factors. The geomorphological variables in this factor consisted of consequent stream distance, valley-floor altitude, valley-floor slope, valley-axis distance and valley-floor width.

2.3 Structural Attitude and valley-floor width factors. The geomorphological variables in this factor consisted of dip-angle of rock strata, dip-slope slope, dip-slope length, valley-floor width and valley-floor distance.

2.4 Valley-side slope and distance from subsequent stream factors. The geomorphological variables in this factor consisted of escarpment slope, subsequent stream distance and and valley-floor slope.

3. The geomorphological predictors of cuesta :

3.1 The efficient set of the geomorphological variables predicting on the dip-slope slope of cuesta (DSS) consisted of dip-angle of rock strata (RSD), ridge crest height (RCH) and dip-slope length (DSL)

The regression equation was

$$DSS = 5.0148 - 0.3948\ RSD + 0.3541\ RCH - 0.1425\ DSL$$

3.2 The efficient set of the geomorphological variables predicting on the escarpment slope of cuesta (ESS) consisted of subsequent stream distance (SSD), rock outcrop width (ROW) and escarpment length (ESL).

The regression equation was

$$ESS = 48.8491 - 0.6438\ SSD - 0.7570\ ROW + 0.6853\ ESL$$

3.3 The efficient set of the geomorphological variables predicting on the dip-slope length of cuesta (DSL) consisted of ridge crest height (RCH) and dip-slope slope (DSS).

The regression equation was

$$DSL = 2900.337 + 24.5934\ RCH - 674.8783\ DSS$$

คณะกรรมการที่ปรึกษาประจำตัวนิสิตได้พิจารณาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้

ประธาน

กรรมการ

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยความร่วมมือจากหลายฝ่าย ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ วิทยารัฐ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิสิทธิ์ เอี่ยมหน่อ เป็นอย่างสูง ที่ได้กรุณาให้แนวคิดทางวิชาการ รวมทั้งตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ

ขอขอบคุณ คุณสมาน ดวงสูงเด่น ที่ได้ช่วยเหลือทางด้านการติดต่อและประสานงานในการสำรวจภาคสนาม และขอขอบคุณ กุณสมัคร ดอยต่ะขบ และคุณประดิษฐ์ บนพรมราช ที่ได้ร่วมเดินทางตลอดระยะเวลาสำรวจ และขอขอบคุณ อาจารย์น้อม งามนิสัย อาจารย์กวี วรกวิน และอาจารย์สมุทร ศิริบุรี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทางด้านอุปกรณ์การสำรวจภาคสนาม และได้สนับสนุนการวิจัยตลอดมา

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ ศรีโสภา คุณสมศักดิ์ ลิลา คุณเชาวน์ ทับทิมทอง ที่ได้แนะนำเกี่ยวกับการวิเคราะห์ทางสถิติ และการแปลผล และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์ประมวลผลด้วยเครื่องจักรแห่งประเทศไทย สำนักงานสถิติแห่งชาติ ที่ช่วยเหลือทางด้านการคำนวณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์

ขอบคุณ คุณวินัย สัมมาชีพ ที่ได้ช่วยเหลือทางด้านการพิมพ์ จนกระทั่งปริญญานิพนธ์เสร็จสิ้นสมบูรณ์

ท้ายที่สุดนี้ ขอขอบพระคุณ คุณพ่อคุณแม่ และผู้มีพระคุณอีกหลายท่าน ที่ได้สนับสนุนการศึกษาตลอด

ครองชัย หัตถา

ส่วนหนึ่งของทุนในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

กรองชัย หัตถา

สารบาญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ	1
	ภูมิหลัง	1
	ความมุ่งหมายของการศึกษา	6
	สมมติฐานในการศึกษา	6
	ความสำคัญของการศึกษา	7
	ขอบเขตของการศึกษา	7
	ข้อตกลงเบื้องต้น	8
	เกณฑ์ในการเลือกบริเวณที่ศึกษา	8
	นิยามศัพท์เฉพาะ	8
2	ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง	11
	พื้นฐานทางทฤษฎีและแนวคิดเกี่ยวกับการพัฒนาลักษณะภูมิประเทศ	11
	องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อการพัฒนาลักษณะภูมิประเทศ	15
	ขั้นตอนและกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาลักษณะภูมิประเทศ	20
	งานสำรวจและการวิจัยทางธรณีวิทยาที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่บริเวณแอ่งโคราช	32
3	วิธีดำเนินการ	37
	แหล่งข้อมูลและเครื่องมือ	37
	วิธีดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล	38
	วิธีจัดกระทำกับข้อมูล	40
	สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	42

บทที่ หน้า

4 ผลการศึกษา 43

ข้อตกลงเกี่ยวกับการวิเคราะห์และแปลผล 43

ผลการศึกษา 44

สภาพทางธรณีสัณฐานบริเวณขอบด้านตะวันตกเฉียงใต้ของแอ่งโคราช . 44

ลักษณะธรณีสัณฐานที่มีความสัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้า .. 53

องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้า 61

การพยากรณ์รูปลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้า 68

5 บทย่อ สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 84

บทย่อ 84

สรุปผลการวิเคราะห์ 84

อภิปรายผลการศึกษา 86

ประสบการณ์จากการวิจัย 106

ข้อบกพร่องในการศึกษา 109

ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป 111

บรรณานุกรม 112

ภาคผนวก 118

บัญชีตาราง

ตาราง หน้า

1 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในระหว่างลักษณะธรณีสัณฐาน 15 ลักษณะ 54

2 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะธรณีสัณฐานกับองค์ประกอบ 57

3 รูปแบบการจัดกลุ่มของลักษณะธรณีสัณฐานที่เป็นโครงสร้างที่สำคัญขององค์ประกอบ 60

4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะธรณีสัณฐานที่เป็นตัวพยากรณ์กับความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท (r) สหสัมพันธ์พหุคูณ (R) สัมประสิทธิ์การพยากรณ์ (R^2) สัมประสิทธิ์การพยากรณ์ที่เปลี่ยนไป (R^2 change) และการทดสอบนัยสำคัญของสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ที่เปลี่ยนไป 75

5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะธรณีสัณฐานที่เป็นตัวพยากรณ์กับความลาดเอียงด้านผาชัน (r) สหสัมพันธ์พหุคูณ (R) สัมประสิทธิ์การพยากรณ์ (R^2) สัมประสิทธิ์การพยากรณ์ที่เปลี่ยนไป (R^2 change) และการทดสอบนัยสำคัญของสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ 77

6 แสดงความสัมพันธ์ของลักษณะธรณีสัณฐานที่เป็นตัวพยากรณ์กับความยาวด้านลาดเอียงมุมเท (r) สหสัมพันธ์พหุคูณ (R) สัมประสิทธิ์การพยากรณ์ (R^2) สัมประสิทธิ์การพยากรณ์ที่เปลี่ยนไป (R^2 change) และการทดสอบนัยสำคัญของสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ 81

7 ข้อมูลที่ได้จากการวัดและคำนวณจากแผนที่ภูมิประเทศ และการสำรวจภาคสนาม 120

8 ค่าสถิติพื้นฐานของข้อมูลที่ได้จากการวัดและคำนวณจากแผนที่ภูมิประเทศ และการสำรวจภาคสนาม 122

9 การสะกัดความแปรปรวนร่วมของลักษณะธรณีสัณฐาน เพื่อหาองค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อลักษณะภูมิประเทศแบบเกวสต้า 123

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ หน้า

1 แสดงรูปลักษณะภูมิประเทศแบบเกวสต้า บริเวณขอบด้านตะวันตกเฉียงใต้ของแอ่งโคราช (บริเวณบ้านหลุมเงิน อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา) 45

2 แสดงลักษณะการวางตัวของชั้นหิน หน่วยหินภูพาน 46

3 แสดงวิวัฒนาการทางธรณีสัณฐานของพื้นที่บริเวณขอบด้านตะวันตกเฉียงใต้ของแอ่งโคราช 48

4 แสดงลักษณะการสึกกร่อนพังทะลายของภูมิประเทศแบบเกวสต้า 49

5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลาดเอียง ด้านลาดเอียงมุมเทของเกวสต้า กับมุมเทของชั้นหิน เมื่ออัตราการสึกกร่อนพังทะลายกับอัตราการยกร่อนบนพื้นผิวลาดเอียงแตกต่างกัน 99

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ลักษณะธรณีสัณฐานที่ปรากฏในปัจจุบันได้ผ่านกระบวนการธรณีสัณฐาน (geomorphic processes) มาตลอดระยะเวลาทางธรณี (geologic time) กระบวนการธรณีสัณฐานนี้ส่วนใหญ่พิจารณาจากสองกระบวนการสำคัญ คือ กระบวนการภายนอก (epigene หรือ exogenic processes) เกิดจากแรงกระทำภายนอกโลก และกระบวนการภายใน (hypogene หรือ endogenetic processes) เกิดจากแรงกระทำภายในโลก (ประเสริฐ วิทยารัฐ 2520 : 1 – 2) กระบวนการภายในนั้นมักจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างของเปลือกโลก ส่วนกระบวนภายนอกนั้น จะมีบทบาทเฉพาะการเปลี่ยนแปลงบริเวณพื้นผิวโลกเท่านั้น อย่างไรก็ตาม ผลจากกระบวนการทั้งสอง ต่างมีความสำคัญต่อลักษณะธรณีสัณฐานที่ปรากฏในปัจจุบัน เปลือกโลกส่วนใดที่กระบวนการภายในได้ยุติหรือลดการกระทำลง กระบวนการภายนอกก็จะมีบทบาทในการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวโลกมากขึ้นโดยกรรมวิธีปรับระดับ (gradation) ซึ่งมีทั้งการชะล้างยุพังทะลาย (degradation) และการเสริมสร้างเพื่อเพิ่มระดับ (aggradation)

พื้นผิวโลกแต่ละแห่งจะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงจากกรรมวิธีปรับระดับแตกต่างกันไป กิลเบอร์ตได้ให้ความเห็นไว้ว่า การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอยู่ภายใต้เงื่อนไขสามประการ คือ ความลาดเอียงของพื้นที่ (declivity) ลักษณะของหิน (the charactor of the rock) และภูมิอากาศ (climate) ส่วนเดวิส กล่าวว่า องค์ประกอบที่ทำให้พื้นผิวโลกเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันไปนั้น ได้แก่ โครงสร้าง (structure) กระบวนการ (process) และ ระยะเวลา (time) จะสังเกตได้ว่า ความเห็นของบุคคลทั้งสองไม่ตรงกันทีเดียว นอกจากนั้น วิธีการอธิบายปรากฏการณ์ทางธรณีสัณฐานก็ต่างกันด้วย แต่อย่างไรก็ตาม

แนวคิดของบุคคลทั้งสอง มีบางส่วนที่ร่วมกันได้ ดังที่ ทอร์นเบอรี่ กล่าวว่า โครงสร้างทางธรณี (geologic structure) เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ควบคุมการเปลี่ยนแปลงลักษณะธรณีสัณฐาน สำหรับโครงสร้างหิน (rock structure) นั้นเกิดก่อนลักษณะธรณีสัณฐานที่ปรากฏในปัจจุบัน โครงสร้างทางธรณีนั้นจะส่งผลต่อโครงสร้างหิน ฉะนั้น โครงสร้างทางธรณีกับโครงสร้างหินจะเกี่ยวข้องกันเสมอ และต่างก็ส่งผลต่อลักษณะธรณีสัณฐาน (Thornbury. 1969 : 128 - 134)

วิวัฒนาการทางธรณีสัณฐานจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการภายนอกที่แตกต่างกันในด้านกรรมวิธีที่ทำให้พื้นผิวโลกเกิดการเปลี่ยนแปลงอยู่สามกระบวนการ คือ การผุกร่อน (weathering) การเลื่อนไหลของมวลผิวหน้าหรือมวลเลื่อน (mass wasting) และการสึกกร่อนพังทะลาย (erosion) ความรุนแรงของกระบวนการดังกล่าวที่มีบทบาทต่อการปรับระดับผิวโลกนั้นมีข้อจำกัดสองประการสำคัญ คือ ลักษณะของหิน และสภาพหรือขอบเขตทางภูมิศาสตร์ (geographic extent) (Thornbury. 1969 : 130 - 133) สำหรับอัตราและชนิดของการผุกร่อน ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบสำคัญสามประการ คือ

1. ลักษณะของหิน เช่น ส่วนประกอบของเนื้อหิน การประสานตัวของอนุภาค และโครงสร้างหิน เป็นต้น

2. สภาวะภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณฝน ปริมาณแสงที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ เป็นต้น

3. สภาพภูมิประเทศ เช่น ระดับสูงของภูมิประเทศ ความลาดเอียงของพื้นที่ การได้รับแสงอาทิตย์และน้ำฝน การลดลงของอุณหภูมิตามระดับความสูง การเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำฝนที่ได้รับตามระดับความสูง (Ramsey. 1965 : 311)

กระบวนการผุกร่อน จะเป็นตัวการทำให้หินแตกสลายเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อย และจะเกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวโลกเท่านั้น ส่วนบริเวณหินฐานที่อยู่ข้างล่าง น้ำและอากาศจะเป็นตัวเปลี่ยนแปลงสมบัติของหินฐาน (Bishop. 1976 : 173) กระบวนการผุกร่อนเกิดขึ้นได้ทั้งทางเคมีและกายภาพ เมื่อกระบวนการนี้เกิดขึ้นเป็นระยะเวลาติดต่อกันนาน ๆ จะทำให้พื้นผิวโลกส่วนนั้น

มีลักษณะและสมบัติต่างไปจากเดิมได้ กระบวนการสึกกร่อนพังทะลายจะเป็นตัวเคลื่อนย้ายวัตถุผุกร่อน โดยมีแรงน้ำไหล แรงลมเป็นตัวการพัดพาที่สำคัญ การสึกกร่อนพังทะลายนอกจากจะเป็นตัวพัดพาเคลื่อนย้ายวัตถุผุกร่อนจำพวกดินหรือเศษหินแล้ว ยังเป็นตัวการสำคัญที่จะเปิดผิวหน้าชั้นหินลงถึงชั้นหินฐานที่อยู่ข้างล่าง ซึ่งเป็นผลให้การพัฒนาลักษณะธรณีสัณฐานดำเนินไปได้เร็วขึ้น (Ramsey. 1965 : 310) ส่วนการเลื่อนไหลของมวลผิวหน้าหรือมวลเลื่อนนั้นเป็นการเคลื่อนย้ายมวลผิวโลกตามความลาดเอียงโดยมีแรงดึงดูดของโลก (gravity) เป็นตัวกระทำ (Gilluly. 1968 : 183 – 200) การเกิดมวลเลื่อนจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะธรณีสัณฐานได้มากและภายในเวลาอันรวดเร็ว

พื้นที่หลายแห่งของโลกวางตัวอยู่บนโครงสร้างของหินชั้นหรือหินตะกอน (sedimentary rock) ที่มีชั้นหินวางตัวซ้อนกันในแนวระดับหรือเอียงเป็นมุมเท หากโครงสร้างชั้นหินที่วางตัวซ้อนกันนี้ มีความแข็งไม่เท่ากัน เมื่อได้รับอิทธิพลจากกระบวนการดังกล่าว พื้นที่เหล่านี้จะได้รับการพัฒนาเป็นภูมิประเทศลักษณะต่าง ๆ กัน (Thornbury. 1969 : 130 – 131) ในกรณีที่ชั้นหินมีการเอียงตัวเล็กน้อย และชั้นหินมีความแข็งต่างกัน หินที่มีความแข็งมากจะทนทานต่อการสึกกร่อนพังทะลาย หินที่มีความแข็งน้อย จะผุกร่อนพังทะลายได้ง่าย เมื่อเป็นเช่นนี้หินแข็งจะก่อให้เกิดแนวที่ไม่เท่ากัน (asymmetrical ridge) ขึ้น ด้านที่มีความลาดเอียงสูง และขวางความเอียงของชั้นหิน เรียก เอสคาร์ปเมนต์ (escarpment) หรือด้านผาชัน ด้านที่มีมุมเอียงเล็กน้อยของชั้นหินเรียกลาดชันมุมเอียง (dip-slope) หรือด้านลาดเอียงมุมเท ซึ่งมักจะเอียงตามแนวมุมเท (dip) ของชั้นหิน ภูมิประเทศลักษณะนี้เรียก เควสต้า (cuesta) (อภิสิทธิ์ เอี่ยมหน่อ 2516 : 132 – 134) หรือที่เรียกว่า ภูมิภาพแบบเขาอิโต้ ดังตัวอย่างที่เขาอิโต้ จังหวัดปราจีนบุรี และบริเวณขอบแอ่งโคราช (Khorat Basin) โดยเฉพาะทางด้านใต้และตะวันตกเฉียงใต้ เป็นต้น

"แอ่งโคราช" ตามหลักฐานทางธรณีเชื่อว่าเป็นส่วนหนึ่งของมวลแผ่นดินอินโดไซเนียน (indocynian land-mass) ซึ่งโคลมพ์ (Klompe. 1962) เคยเรียกว่า "Indocynian mass" (พิสิทธิ์ ชิรดิลก 2516 : 5) หรือที่เวอร์คแมน เรียก

"Annamia" หรือ "Land mass of Annamia" มวลแผ่นดินนี้กินบริเวณตั้งแต่ดินแดนตอนกลางและตอนใต้ของเวียตนาม ตะวันออกและตอนกลางของลาว ตะวันออกเฉียงเหนือของไทย ตอนเหนือและตะวันออกของเขมร (Workman. 1977 : 22) การศึกษาทางธรณีประวัติ มีหลักฐานที่เชื่อถือได้ว่า พื้นแผ่นดินบริเวณนี้เคยอยู่ใต้ระดับน้ำทะเลมาก่อน แต่มีลักษณะเป็นทะเลตื้น มีหินพื้นฐานเป็นยุคเพอร์เมียนหรือเก่ากว่า (Permian or older) หินเหล่านี้ก่อนที่จะจมตัวอยู่ใต้ระดับน้ำทะเลนั้น ได้ถูกกระทำจากกระบวนการธรณีสัณฐาน จนทำให้ภูมิประเทศเกือบราบเรียบ ต่อมาในราวยุคไทรแอสสิก (Triassic) พื้นที่ค่อย ๆ จมตัวลงจนน้ำทะเลเข้าถึง ทำให้เกิดการตกตะกอนทับถมบนชั้นหินดังกล่าว ในปลายยุคไทรแอสสิกมีการเปลี่ยนแปลงครั้งสำคัญในภูมิภาคนี้ กล่าวคือ ได้มีช่วงกำเนิดเทือกเขาอินโดไซเนียน (Indocynian Orogeny) ทำให้ชั้นหินเพอร์เมียนบริเวณนี้เกิดรอยคดโค้ง (folding) และรอยเลื่อน (faulting) อย่างกว้างขวาง พื้นที่ส่วนใหญ่ถูกยกตัวเหนือระดับน้ำทะเล มีบางบริเวณที่น้ำทะเลเข้าถึงได้ และกลายเป็นแอ่งสะสมตะกอนต่าง ๆ อันทำให้เกิดกลุ่มหินโคราชที่ปรากฏในปัจจุบันนั่นเอง (ชัยยันต์ หินทอง 2519 : 79 – 80) จากนั้นมาในระหว่างยุคครีเตเชียส (Cretaceous) ถึงควอเทอร์นารี่ (Quaternary) ได้มีการเคลื่อนไหวของมวลโลกอีกครั้งหนึ่งเรียกว่า ช่วงกำเนิดเทือกเขาหิมาลายัน (Himalayan Orogeny) การเปลี่ยนแปลงครั้งนี้มีผลกระทบกระเทือนต่อดินแดนตอนเหนือของเทือกเขาหิมาลัยในปัจจุบันมาก นอกจากนั้น ก็ยังแผ่ขยายอิทธิพลมายังพื้นแผ่นดินบริเวณประเทศพม่า เกาะสุมาตรา อินโดนีเซียตอนกลาง ฟิลิปปินส์ ไต้หวัน และญี่ปุ่น ผลของการเกิดช่วงกำเนิดเทือกเขาหิมาลายันทำให้มวลแผ่นดินอินโดไซเนียน เกิดการคดโค้งเป็นบริเวณกว้าง (broad regional folding) และทำให้เกิดรอยเลื่อนในบางบริเวณ (Workman. 1977 : 24) สำหรับแผ่นดินบริเวณแอ่งโคราชได้รับผลกระทบกระเทือนไม่มากนัก เพียงแต่ทำให้เกิดเคลื่อนไหวอย่างช้า ๆ แต่กินบริเวณกว้าง เป็นผลให้ชั้นหินเอียงเทเล็กน้อย และเกิดรอยคดโค้งรูปประทุนคว่ำ (anticline) และรูปประทุนหงาย (syncline) อย่างกว้าง ๆ และตื้น ๆ (ชัยยันต์ หินทอง 2519 : 81)

พื้นที่บริเวณขอบแอ่งโคราช โดยเฉพาะทางด้านตะวันตกเฉียงใต้ ได้วิวัฒนาการภายใต้กระบวนการธรณีสัณฐานมาตลอดระยะเวลาทางธรณี จนกระทั่งปัจจุบันได้มีปรากฏการณ์ทางภูมิประเทศเป็นลักษณะโครงสร้างภายนอกที่เป็นร่องรอยเหลืออยู่จากกระบวนการธรณีสัณฐานในรูปลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้าปรากฏอยู่ทั่วไป โดยเฉพาะบริเวณที่กล่าวถึงนี้มีการกระจายค่อนข้างเป็นระเบียบในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ–ตะวันออกเฉียงใต้โดยประมาณ แนวเควสต้านี้ ส่วนใหญ่ถูกตัดขาดออกจากกัน โดยกระบวนการธรณีสัณฐานเหลือเป็นเนินเขาเดี่ยว (isolate hill) จำนวนมาก และมีสัณฐานคล้ายคลึงกัน ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเป็นจำนวนมากและมีลักษณะคล้ายคลึงกันเช่นนี้ ทางภูมิศาสตร์ถือว่าไม่ได้เกิดขึ้นโดยบังเอิญ แต่เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจนเรายอมรับได้ (significant) ปรากฏการณ์นี้จึงน่าจะมีองค์ประกอบทางธรณีสัณฐานที่เป็นโครงสร้างภายในและ/หรือโครงสร้างภายนอกร่วมกันอยู่ ด้วยเหตุนี้จึงน่าจะจะค้นหาว่าลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้าบริเวณขอบด้านตะวันตกเฉียงใต้ของแอ่งโคราชที่ปรากฏเป็นจำนวนมากนี้มีองค์ประกอบทางธรณีสัณฐานที่เป็นโครงสร้างภายในและ/หรือโครงสร้างภายนอกร่วมกันอยู่หรือไม่ ถ้ามี องค์ประกอบเหล่านั้นได้แก่อะไรบ้าง และมีตัวแปรหรือมิติทางธรณีสัณฐานใดบ้างเป็นตัวประกอบสำคัญในแต่ละองค์ประกอบ อีกทั้งองค์ประกอบเหล่านั้นสามารถอธิบายลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้าได้มากน้อยแค่ไหน และควรที่จะค้นหาว่าลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้าในแต่ละมิติที่ปรากฏเป็นลักษณะโครงสร้างภายนอกมีตัวแปรหรือมิติทางธรณีสัณฐานใดบ้างที่จะอธิบายได้ดี การค้นหาคำตอบดังกล่าวจำเป็นต้องใช้เทคนิควิธีการทางสถิติ ประกอบการวิเคราะห์โดยใช้เหตุผลทางภูมิศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแขนงภูมิศาสตร์กายภาพ (physical geography) ที่เกี่ยวข้องกับสาขาธรณีสัณฐานวิทยา (geomorphology) ร่วมกับการสำรวจภาคสนามเป็นสำคัญ

ความมุ่งหมายของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาสภาพทางธรณีสัณฐานของพื้นแผ่นดินบริเวณขอบด้านตะวันตกเฉียงใต้ของแอ่งโคราช และบริเวณใกล้เคียง

2. เพื่อค้นหาลักษณะธรณีสัณฐานที่มีความสัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้า

3. เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางธรณีสัณฐานซึ่งเป็นกลุ่มของตัวแปรในลักษณะต่าง ๆ ทางธรณีสัณฐานที่รวมกันอยู่อย่างมีระบบ และมีอิทธิพลต่อภูมิประเทศแบบเควสต้า

4. เพื่อสร้างสมการพยากรณ์รูปลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้า

5. เพื่อนำแนวคิดทางธรณีสัณฐานมาใช้ในการอธิบายลักษณะภูมิประเทศด้วยวิธีปริมาณวิเคราะห์ และการสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์

6. เพื่อประยุกต์เทคนิคทางสถิติและเทคนิคการประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ใช้กับงานวิจัยทางภูมิศาสตร์

สมมติฐานในการศึกษา

1. ลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้าสัมพันธ์กับลักษณะธรณีสัณฐานต่อไปนี้ ความเอียงของชั้นหิน ความหนาของชั้นหิน ความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน ระดับสูงของแนวสันหิน ระดับสูงของพื้นหุบเขา ความกว้างของพื้นหุบเขา ความลาดเอียงของพื้นหุบเขา ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวเท ความสูงของสันเขา ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท ความลาดเอียงด้านผาชัน ความยาวด้านลาดเอียงมุมเท และความยาวด้านผาชัน

2. องค์ประกอบทางธรณีสัณฐาน ซึ่งเป็นกลุ่มตัวแปรในลักษณะต่าง ๆ ทางธรณีสัณฐานที่รวมกันอยู่อย่างมีระบบ มีมากกว่าหนึ่งองค์ประกอบ

3. รูปลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้าในแต่ละลักษณะ ได้รับอิทธิพลจากลักษณะธรณีสัณฐานหรือกลุ่มของลักษณะธรณีสัณฐานต่างชนิดกัน จึงเป็นผลให้ได้ตัวแปร หรือกลุ่มตัวแปรที่มีประสิทธิภาพสูงในการพยากรณ์รูปลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้า ในแต่ละลักษณะ ต่างกัน

ความสำคัญของการศึกษา

1. ทำให้ได้แนวคิดและข้อเท็จจริงบางประการเกี่ยวกับวิวัฒนาการของพื้นแผ่นดินบริเวณขอบด้านตะวันตกเฉียงใต้ของแอ่งโคราช และบริเวณใกล้เคียง จากหลักฐานที่ตรวจสอบได้ในปัจจุบัน

2. ทำให้ทราบถึงลักษณะธรณีสัณฐานที่สัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้า และสามารถนำมาอธิบายลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้าได้

3. ทำให้ทราบถึงชนิดขององค์ประกอบ ลักษณะขององค์ประกอบ และระดับความสำคัญขององค์ประกอบทางธรณีสัณฐานที่มีอิทธิพลต่อลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้า

4. สามารถพยากรณ์รูปลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้า โดยเฉพาะในส่วนที่เกี่ยวกับขนาดและรูปร่างของเควสต้าได้

5. เป็นแนวทางในการศึกษาและอธิบายลักษณะภูมิประเทศตามระเบียบวิธีทางวิทยาศาสตร์ด้วยการนำเทคนิคทางสถิติมาวิเคราะห์เชิงปริมาณ ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่แสดงถึงความพยายามในการศึกษาเพื่อค้นหาคำตอบที่มีลักษณะเป็นปรนัยมากขึ้น

ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาเฉพาะเควสต้าบริเวณขอบด้านตะวันตกเฉียงใต้ของแอ่งโคราช ในเขตอำเภอสูงเนิน อำเภอปักธงชัย และอำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา ที่เป็นชั้นหินหน่วยหินภูพาน (Phu Phan Formation) ของกลุ่มหินโคราช (Khorat Group)

2. ลักษณะธรณีสัณฐานที่นำมาพิจารณาในการศึกษาครั้งนี้ มี 15 ลักษณะ ได้แก่ ความเอียงของชั้นหิน ความหนาของชั้นหิน ความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน ระดับสูงของแนวสันหิน ระดับสูงของพื้นหุบเขา ความกว้างของพื้นหุบเขา ความลาดเอียงของพื้นหุบเขา ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวเท ความสูงของสันเขา ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท ความลาดเอียงด้านผาชัน ความยาวด้านลาดเอียงมุมเท และความยาวด้านผาชัน

ข้อตกลงเบื้องต้น

1. ตัวแปรในลักษณะต่าง ๆ ทางธรณีสัณฐาน 15 ตัว ที่เลือกมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ถือว่าต่างเป็นอิสระต่อกัน

2. ตัวแปรอื่น ๆ ที่นอกเหนือไปจากตัวแปร 15 ตัวที่เลือกมา ถือว่าไม่มีผลต่อการศึกษาในครั้งนี้

3. ถือว่าบริเวณที่ศึกษาอยู่ภายใต้ลักษณะภูมิอากาศแบบเดียวกัน และกระบวนการธรณีสัณฐานที่กระทำต่อพื้นผิวภูมิประเทศส่วนนี้ไม่แตกต่างกัน

4. ข้อมูลที่ได้จากแผนที่ภูมิประเทศ ถือว่าถูกต้องและเชื่อถือได้

เกณฑ์ในการเลือกบริเวณที่ศึกษา

1. เป็นบริเวณที่มีการแจกกระจายของภูมิประเทศแบบเควสต้า ที่มีชั้นหินหน่วยเดียวกันเป็นจำนวนมาก พอที่จะนำมาเป็นตัวอย่างเชิงสถิติ

2. เป็นบริเวณที่สามารถวัดตัวแปรได้ทั้ง 15 ตัว ที่กำหนดไว้ ได้จากแผนที่ และการปฏิบัติงานภาคสนาม

3. เป็นบริเวณที่มีหลักฐานการศึกษาทางธรณีวิทยา โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านธรณีโครงสร้างและธรณีประวัติ เพียงพอที่จะนำมาอ้างอิง และใช้เป็นพื้นฐานแนวคิดในการวิจัยครั้งนี้

นิยามศัพท์เฉพาะ

เควสต้า (cuesta) หรือเขาแบบเควสต้า หมายถึง ภูมิประเทศประเภทภูเขาที่มีโครงสร้างชั้นหินเอียงเทเล็กน้อย และสม่ำเสมอกันตลอดโครงสร้าง โดยที่ด้านหน้าของชั้นหินได้ถูกทำลายไปโดยกระบวนการธรณีสัณฐาน ทำให้เกิดความไม่สมมาตร (asymmetry) ระหว่างแขนทั้งสองข้างของสันเขา ด้านที่มีความลาดเอียงสูงและขวางความเอียงของชั้นหิน เรียก เอสคาร์ปเมนต์หรือด้านผาชัน ด้านที่มีความลาดเอียงชนานไปกับระนาบของชั้นหิน

เดิม ที่มีความเอียงเล็กน้อย และสม่ำเสมอกัน เรียกด้านลาดเอียงมุมเท เกวสต้าโดยทั่วไป จะมีลักษณะเป็นเขาไหล่เรียบ (homoclinal ridge) เมื่อมองทางด้านข้างจะมีลักษณะคล้ายมีคอีโต้ บางท่านจึงเรียกภูมิประเทศลักษณะนี้ว่า ภูมิภาพแบบเขาอีโต้

องค์ประกอบ (factor) หมายถึง องค์ประกอบทางธรณีสัณฐานซึ่งเป็นกลุ่มตัวแปรในลักษณะต่าง ๆ ทางธรณีสัณฐานที่รวมกันอยู่อย่างมีระบบ และมีอิทธิพลต่อลักษณะภูมิประเทศแบบเกวสต้า

ตัวพยากรณ์ทางธรณีสัณฐาน (geomorphological predictor) หมายถึง ตัวแปรหรือกลุ่มตัวแปรในลักษณะต่าง ๆ ทางธรณีสัณฐานที่ร่วมกันอธิบายภูมิประเทศในลักษณะใดลักษณะหนึ่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ความเอียงของชั้นหินหรือมุมเทของชั้นหิน (dip-angle of rock strata) หมายถึง มุมแสดงขนาดของความลาดเอียงของชั้นหิน โดยวัดเป็นองศาจากเส้นระดับผิวโลก ณ จุดที่วัด

ความหนาของชั้นหิน (rock strata thickness) หมายถึง ความหนารวมของชั้นหินที่วัดจากจุดสันเขาตั้งฉากกับมุมเทของชั้นหินถึงแนวมุมเอียงจากฐานของเกวสต้าด้านผาชัน

ความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน (rock outcrop width) หมายถึง ระยะห่างระหว่างจุดสันเขากับฐานของเกวสต้าที่มองลงมาจากที่สูงในแนวดิ่ง หรืออีกนัยหนึ่งหมายถึงระยะทางตามแนวระนาบจากจุดสันเขาถึงฐานของเกวสต้าด้านผาชัน

ระดับสูงของแนวสันหิน (ridge-crest altitude) หมายถึง ความสูงของแนวสันหิน ซึ่งเป็นตำแหน่งสูงสุดของชั้นหินที่วัดจากระดับน้ำทะเล

ระดับสูงของพื้นหุบเขา (valley-floor altitude) หมายถึง ความสูงของพื้นหุบเขา ตรงบริเวณจุดต่ำสุดของหุบเขาจากระดับน้ำทะเล

ความกว้างของพื้นหุบเขา (valley-floor width) หมายถึง ระยะทางในทิศทางตั้งฉากกับแกนกลางหุบเขา จากฐานของเกวสต้าด้านผาชันไปยังพื้นหุบเขาด้านตรงข้ามที่มีระดับสูงเท่ากัน

ความลาดเอียงของพื้นหุบเขา (valley-floor slope) หมายถึง อัตราส่วนของความสูงต่างต่อระยะทางแนวราบระหว่างจุดสูงสุดของพื้นหุบเขา ตรงบริเวณฐานของเควสต้าด้านผาชันกับจุดต่ำสุดของพื้นหุบเขา

ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา (valley-axis distance) หมายถึง ระยะทางในทิศทางตั้งฉากกับแกนกลางหุบเขา จากจุดสันเขาของเควสต้าถึงแกนกลางหุบเขา

ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ (subsequent stream distance) หมายถึง ระยะทางจากจุดสันเขาถึงลำน้ำตามแนวระดับ ซึ่งเป็นลำน้ำสาขาที่ไหลตามแนวระดับของชั้นหินลงสู่ลำน้ำตามแนวเท

ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวเท (consequent stream distance) หมายถึง ระยะทางในทิศทางแนวแกนหุบเขาจากจุดสันเขาถึงลำน้ำตามแนวเทซึ่งเป็นลำน้ำสายหลักที่ไหลตามความเอียงของชั้นหิน

ความสูงของสันเขา (ridge-crest height) หมายถึง ระยะทางตามแนวดิ่งจากจุดสันเขาถึงแนวระดับจากฐานของเควสต้าด้านผาชัน

ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท (dip-slope slope) หมายถึง อัตราส่วนของความสูงต่างต่อระยะทางแนวราบระหว่างจุดสันเขากับฐานของเควสต้าด้านลาดเอียงมุมเท

ความลาดเอียงด้านผาชัน (escarpment slope) หมายถึง อัตราส่วนของความสูงต่างต่อระยะทางแนวราบระหว่างจุดสันเขากับฐานของเควสต้าด้านผาชัน

ความยาวด้านลาดเอียงมุมเท (dip-slope length) หมายถึง ระยะทางตามความลาดเอียงจากจุดสันเขาถึงฐานของเควสต้าด้านลาดเอียงมุมเท

ความยาวด้านผาชัน (escarpment length) หมายถึง ระยะทางตามความลาดเอียงจากจุดสันเขาถึงฐานของเควสต้าด้านผาชัน

บทที่ 2

ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษา วิเคราะห์ และอภิปรายผล จึงได้นำทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยในครั้งนี้มาเสนอเป็นสี่หัวข้อดังนี้

1. พื้นฐานทางทฤษฎีและแนวคิดเกี่ยวกับการพัฒนาลักษณะภูมิประเทศ

การศึกษาลักษณะภูมิประเทศอย่างเป็นแบบแผนตามระเบียบวิธีทางวิทยาศาสตร์ที่ปรากฏเป็นหลักฐานนั้นได้เริ่มในราวกลางศตวรรษที่ 19 ในอเมริกาและยุโรป บุคคลสำคัญในสมัยนั้น ได้แก่ พาวเวลล์ (J.W. Powell) กิลเบอร์ต (G.K. Gilbert) และเดวิส (W.M. Davis) ในอเมริกา ส่วนในยุโรปบุคคลสำคัญ คือ เพงค์ (Penck) ผลงานของกลุ่มอเมริกาทั้งสามคนนั้นได้ถูกนำไปเผยแพร่มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานของเดวิส ซึ่งได้อธิบายลักษณะภูมิประเทศในเชิงวิเคราะห์ โดยอธิบายอย่างแจ่มชัด และมีเหตุผล นอกจากนั้น งานที่เดวิสเขียนยังแสดงถึงความมั่นใจ และใช้ถ้อยคำนุ่มนวลบรรยายอย่างละเอียด ด้วยเหตุนี้จึงทำให้แนวคิดของเดวิสง่ายแก่การทำความเข้าใจและได้แพร่หลายไปอย่างรวดเร็ว จนทำให้ได้รับการวิจารณ์มากในเวลาต่อมา (King. 1953 : 721)

ผู้ที่ได้ชื่อว่าเป็นนักธรณีสัณฐานที่แท้จริงคนแรก คือ กิลเบอร์ต ในขณะเดียวกันเขาก็ได้ชื่อว่าเป็นนักธรณีวิทยาคนสำคัญด้วย (King. 1971 : 3) กิลเบอร์ตสนใจเกี่ยวกับสภาพพื้นที่มาก งานที่มีชื่อเสียงของกิลเบอร์ตได้แก่ เรื่อง "Land Sculpture in the Henry Mountain" นอกจากนั้น กิลเบอร์ตได้อธิบายถึงกระบวนการ "subaerial" ซึ่งเกิดจากการกระทำของธารน้ำไหล โดยเฉพาะขบวนการเหวี่ยงตัว เพื่อปรับพื้นที่ให้ราบลง (อภิสิทธิ เอี่ยมหน่อ 2516 : 8) งานของกิลเบอร์ตนั้นได้ใช้ระเบียบวิธีทางวิทยาศาสตร์ (scientific method) และการวิเคราะห์ (analyze) เป็นสำคัญ ในการศึกษาวิเคราะห์ของกิลเบอร์ตนั้น มีขั้นตอนสำคัญสี่ประการ คือ

1. สังเกตลักษณะสำคัญที่เขาศึกษา และรวบรวมข้อมูลจากการสังเกตอย่างมีระบบ

2. ตั้งสมมติฐานเพื่อให้เหตุผลสำหรับปรากฏการณ์ที่มีมาก่อน (antecedents) ที่จะเป็นลักษณะที่ปรากฏอยู่ในขณะนั้น

3. วิเคราะห์ปรากฏการณ์ โดยการสรุปจากปรากฏการณ์โดยส่วนรวมไปสู่ปรากฏการณ์เฉพาะอย่าง ตามสมมติฐานที่วางไว้

4. ทดสอบความถูกต้อง โดยการติดตามปรากฏการณ์และการสังเกตใหม่อย่างต่อเนื่อง (King. 1971 : 3)

บุคคลสำคัญของกลุ่มอเมริกา ซึ่งมีชื่อเสียงมากในด้านธรณีสัณฐาน คือ เดวิส ซึ่งได้รับสมญานามว่า (The Davisian School of Geomorphology" หรือ "American School" เดวิสรวบรวมผลงานของพาวเวลล์ กิลเบอร์ต และดัทตัน (C.E. Dutton) มาวิเคราะห์และอธิบายอย่างมีเหตุผล และได้ตั้งสมมติฐานหลายข้อ ที่สำคัญ คือ การหมุนเวียนของพื้นที่ (geomorphic cycle) ซึ่งแบ่งออกเป็นสามขั้นตอนใหญ่ ๆ คือ "youth", "mature" และ "old age" สภาพพื้นที่จะแตกต่างกันไปมากน้อยเพียงไรขึ้นอยู่กับโครงสร้างของหิน (structure of rocks) กระบวนการทางธรณีสัณฐาน (geomorphic processes) และขั้นตอน (stage) ของวิวัฒนาการ (อภิสิทธิ์ เอี่ยมหน่อ 2516 : 8)

ผลงานที่มีชื่อเสียงของเดวิส ได้แก่ แนวคิดเกี่ยวกับวัฏจักรของการสึกกร่อนพังทะลาย (cycle of erosion) ภายใต้การยกตัว (uplift) ของพื้นที่และการสึกกร่อนพังทะลายภายใต้ชั้นบรรยากาศ (subaerial erosion) โดยที่การเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นเมื่อมีสภาวะเริ่มแรก (initial condition) ภายหลังจากการยกตัวที่สมบูรณ์แล้ว ลักษณะภูมิประเทศที่เกิดจากการกระทำของกระบวนการดังกล่าวมีลำดับการเปลี่ยนแปลงเป็นขั้นพัฒนาตอนต้น (youth stage) ขั้นพัฒนาเต็มที่ (maturity stage) และขั้นพัฒนาตอนปลาย (oldage stage) โดยพิจารณาจากลักษณะสัณฐานของภูมิประเทศที่ปรากฏ (end products) หากไม่มีปรากฏการณ์อย่างอื่นมาขัดขวาง (interrupted) วัฏจักรของ

การสึกกร่อนพังทะลายจะสิ้นสุดลง เมื่อพื้นทวีปปรับระดับได้สมบูรณ์ถึงระดับฐาน (base-level) ภูมิประเทศจะเป็นที่ราบในอุดมคติ (peneplain) ซึ่งเป็นลักษณะภูมิประเทศที่เข้าถึงสภาวะสมดุลย์ (stage of equilibrium) (ประสิทธิ์ ณูรัตน์ 2520 : 14 – 15 อ้างอิงมาจาก Davis. 1954)

ความคิดของเดวิสเกี่ยวกับการสร้างตัวของพื้นที่ได้รับการกัดค้านจาก เพงค์ โดยที่เดวิสเชื่อว่า พื้นที่จะเริ่มวิวัฒนาการภายหลังจากได้ถูกยกตัวขึ้นอย่างรวดเร็ว แล้วไปหยุดที่ระดับหนึ่ง ส่วนเพงค์เชื่อว่า การยกตัวของพื้นที่เป็นไปอย่างช้า ๆ และขณะที่มีการยกตัวขึ้นนั้น การพัฒนาสภาพพื้นที่ก็ดำเนินไปเรื่อย ๆ (อภิสิทธิ์ เอี่ยมหนอ 2516 : 8)

จากการศึกษาผลงานของเดวิสทั้งในส่วนที่เดวิสเขียนไว้โดยตรง และจากการรวบรวมของบุคคลอื่นที่เกี่ยวข้องกับวิวัฒนาการของพื้นที่พบว่า แนวคิดเกี่ยวกับพัฒนาการของภูมิประเทศนั้นเริ่มจากแนวคิดเกี่ยวกับระดับฐาน ซึ่งพาวเวลล์เขียนไว้เมื่อปี ก.ศ. 1875 ระดับฐานตามนัยนี้ก็อ ระดับน้ำทะเล (sea level) นั่นเอง ใจความของแนวคิดของเดวิสหรือที่เรียกว่า "Davision System" นั้น กล่าวโดยสรุปได้ว่า การลอยตัว (emergence) ของมวลโลก (landmass) เหนือระดับน้ำทะเล อันเกิดจากการยกตัวอย่างรวดเร็วในระยะเวลาทางธรณี (geologic time scale) ในขณะที่เกิดการยกตัวนั้น กระบวนการผุกร่อนพังทะลาย (denudation process) ได้เริ่มเกิดขึ้นด้วย แต่ก็มีผลในการเปลี่ยนแปลงลักษณะภูมิประเทศน้อยมาก จนกระทั่งการยกตัวได้สิ้นสุดลง การผุกร่อนพังทะลายภายใต้ชั้นบรรยากาศ (sub-aerial denudation) จะมีความสำคัญมาก กระบวนการสำคัญอันดับแรกที่กระทำต่อพื้นผิวโลก ได้แก่ การกัดเซาะของลำน้ำ (stream incision) ซึ่งดำเนินควบคู่ไปกับการพัฒนาหุบเขาแคบ ๆ การกัดเซาะของลำน้ำในทางลึกนั้นถูกควบคุมโดยระดับน้ำทะเล นอกจากนั้น ขีดจำกัดของการกัดเซาะในทางลึกของลำน้ำยังขึ้นกับระยะทางจากทะเลด้วย บริเวณปากแม่น้ำ ระดับน้ำในแม่น้ำจะเท่ากับระดับน้ำในทะเล ถัดจากนั้นขึ้นมาทางต้นน้ำพื้นที่จะมีความลาดเอียงมากขึ้น เพื่อให้น้ำสามารถระบายลงสู่ปากแม่น้ำได้ (Carson and Kirkby. 1975 : 11 - 12)

สำหรับแนวคิดของเพงค์เกี่ยวกับวิวัฒนาการของภูมิประเทศนั้น มีบางส่วนที่ต่างไปจากแนวคิดของเดวิส แต่บางส่วนคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ ในส่วนที่เกี่ยวกับวิธีการศึกษาเพื่ออธิบายวิวัฒนาการของภูมิประเทศ ทั้งเพงค์และเดวิส ได้ทำการศึกษาในหลาย ๆ ภูมิภาค และใช้วิธีการอธิบายแบบอนุมาน (deductive) จากการสังเกตรูปร่าง (forms) ของภูมิประเทศหลาย ๆ แห่ง แล้วอนุมานว่า รูปร่างที่ปรากฏให้เห็นนั้นเป็นผลจากกระบวนการอะไร แต่อย่างไรก็ตาม ในรายละเอียดของการศึกษา โดยเฉพาะเรื่องเทคนิคในการอธิบาย การใช้ถ้อยคำ และหลักเกณฑ์ในการให้เหตุผลนั้นต่างกัน เพงค์เชื่อว่า วิวัฒนาการของพื้นที่นั้นจะขึ้นกับอัตราการยกตัว (upheaval) ของพื้นที่ โดยกระบวนการภายในโลก กับอัตราการผุกร่อนพังทะลาย ซึ่งเกิดจากกระบวนการภายนอก ภูมิประเทศในแต่ละส่วนของโลกนั้นจะต้องมีความลาดเอียงเหมือนกัน และการเปลี่ยนแปลงความลาดเอียงในแต่ละภูมิภาคนั้นจะเกี่ยวข้องกับความรุนแรงของการลึกกร่อน (intensity of erosion) ความลาดเอียงของภูมิประเทศจะแบ่งได้เป็นสามชนิด คือ ลาดเอียงสม่ำเสมอหรือแนวตรง (uniform of straight) ลาดเอียงรูปโค้งเว้า (concave) และลาดเอียงรูปโค้งนูน (convex) โดยที่ความลาดเอียงแบบสม่ำเสมอหรือแนวตรงนั้น เป็นผลจากความสม่ำเสมอของการลึกกร่อนพังทะลาย ความลาดเอียงรูปโค้งเว้าเกิดจากการลดความรุนแรงของการกัดกร่อน และความลาดเอียงรูปโค้งนูน เกิดจากการเพิ่มความรุนแรงของการกัดกร่อน (Thornbury. 1969 : 200 – 201)

นอกจากนั้น เพงค์ยังเชื่อว่า พื้นผิวโลกส่วนต่าง ๆ ส่วนใหญ่แล้วเป็นผลจากเสถียรภาพของแรงภายในโลก (tectonically stable) และมีพื้นผิวโลกจำนวนไม่น้อยที่สามารถคงทนต่อแรงกันภายในโลกมาเป็นเวลานาน เมื่อเป็นเช่นนี้ลักษณะภูมิประเทศของบริเวณเหล่านี้จึงไม่สามารถนำเอาแนวคิดเกี่ยวกับวัฏจักรของการลึกกร่อน (cycle of erosion) โดยมีการยกตัวอย่างรวดเร็วของพื้นที่มาอธิบายได้ (Carson and Kirkby. 1975 : 12 – 13 citing Penck. 1953)

2. <u>องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อการพัฒนาลักษณะภูมิประเทศ</u>

ลักษณะภูมิประเทศที่ปรากฏอยู่ในปัจจุบัน เป็นผลจากกระบวนการธรณีสัณฐานที่กระทำต่อพื้นที่อย่างมีระบบ ประกอบด้วยตัวแปรต่าง ๆ ที่สัมพันธ์กัน และภายในระบบจะมีกระบวนการผันแปรของตัวแปรเหล่านั้น เพื่อรักษาไว้ซึ่งสมดุลย์ของการเปลี่ยนแปลง เดวิส ได้แสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับการกำเนิดของลักษณะภูมิประเทศไว้ว่า ลักษณะโครงสร้างทั้งภายในและภายนอก เป็นพื้นฐานสำคัญในการจำแนกลักษณะภูมิประเทศ ในกรณีที่ไม่มีกระบวนการใด ๆ ก่อกำทำต่อพื้นผิวโลก โครงสร้างภายในจะเป็นองค์ประกอบสำคัญในการควบคุมลักษณะภูมิประเทศ แต่อย่างไรก็ตาม โดยธรรมชาติแล้วไม่มีผิวโลกส่วนใดที่ไม่ได้รับการกระทำจากกระบวนการต่าง ๆ กระบวนการทั้งหลายไม่สามารถกระทำให้เสร็จสิ้นในทันทีทันใด ปริมาณการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการทำลายและกระบวนการเสริมสร้างต้องอาศัยเวลา ฉะนั้น ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของการพัฒนาลักษณะธรณีสัณฐาน เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$L = q(SPT)$$

เมื่อ L = ลักษณะภูมิประเทศ

S = โครงสร้าง

P = กระบวนการ

T = เวลา

(ประสิทธิ์ กุณรัตน์ 2520 : 14) ซึ่งสอดคล้องกับความเห็นของทอร์นเบอรี่ โดยเฉพาะในส่วนที่เกี่ยวกับโครงสร้าง จะต้องเกี่ยวข้องกับโครงสร้างทางธรณีและโครงสร้างหิน โดยที่โครงสร้างทางธรณี เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ควบคุมลักษณะภูมิประเทศ สำหรับโครงสร้างหินจะเกิดก่อนลักษณะภูมิประเทศที่ปรากฏในปัจจุบัน นั่นคือ โครงสร้างทางธรณีมีผลต่อโครงสร้างหินและต่างก็มีอิทธิพลต่อลักษณะภูมิประเทศ (Thornbury. 1969 : 128 – 134)

การผุกร่อนของหินจะส่งผลต่อการพัฒนาลักษณะภูมิประเทศ เจนเนย์ (Jenney) กล่าวว่า การผุกร่อนของหินจนทำให้หินแตกกระจายเป็นอนุภาคลักษณะต่าง ๆ นั้น จะเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบที่สำคัญห้าประการ คือ 1) ลักษณะภูมิอากาศ (climate) 2) ชนิดของหินต้นกำเนิด (parent rock) 3) กิจกรรมของสิ่งมีชีวิต (biological activity) 4) ลักษณะภูมิประเทศ (topography) 5) ระยะเวลา (time) โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างการผุกร่อนของหินกับตัวแปรต่าง ๆ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$S = f(cl, o, r, p, t)$$

เมื่อ S = อัตราการสึกกร่อนพังทะลาย
f = ค่าคงที่
cl = ลักษณะภูมิอากาศ
o = กิจกรรมของสิ่งมีชีวิต
r = ลักษณะภูมิประเทศ
p = หินต้นกำเนิด
t = ระยะเวลาการสึกกร่อน

(Carroll. 1970 : 15) การสึกกร่อนของหินยังขึ้นกับสมบัติอีกประการหนึ่ง คือ ความคงทนต่อการสึกกร่อน สปาร์ค กล่าวว่า ความคงทนต่อการสึกกร่อนของหินจะเกี่ยวข้องกับสมบัติทางด้านความแข็ง (hardness) ความสามารถในการซึมผ่านของน้ำ (permeability) รอยแยกแยะ (joint) รอยแตก (cleavage) โครงสร้างชีสโทส (schistosity) ซึ่งมีลักษณะเป็นริ้วรอยคลื่นขนาดเล็กที่โค้งงอในเนื้อหินอันเกิดจากกระบวนการแปรสภาพ (metamorphism) และการวางตัวของชั้นหิน (bedding planes) (Spark. 1965 : 139 – 140) โรสแมรี่ ได้ศึกษาเกี่ยวกับความสามารถของพื้นผิวดินในการดูดซึมน้ำและผลที่มีต่อการชะล้างพื้นผิวดินพบว่า ความสามารถในการดูดซึมน้ำนั้นเป็นผลจากระยะเวลา ส่วนประกอบของวัตถุผิวดิน สภาพความชื้นบริเวณผิวพื้น และพืชคลุมดิน การดูดซึมน้ำของพื้นผิวจะเป็นไปอย่าง

รวดเร็ว ในตอนแรกที่ฝนตกลงมา แต่อย่างไรก็ตาม ส่วนประกอบหรือสมบัติของวัตถุผิวดิน จะมีส่วนทำให้การดูดซึมเป็นไปได้เร็วหรือช้า พื้นผิวบริเวณใดที่มีการดูดซึมสูงจะทำให้อัตราการไหลบ่าที่ผิวหน้าน้อยลง ส่วนบริเวณที่มีการดูดซึมน้อย อัตราการไหลบ่าที่ผิวหน้าจะมาก ลักษณะเช่นนี้ทำให้การกัดเซาะพังทะลายบริเวณต่าง ๆ มีอัตราการไม่เท่ากัน ซึ่งจะส่งผลต่อการพัฒนาลักษณะภูมิประเทศโดยตรง (Rosemary. 1968 : 145 - 179)

พื้นผิวโลกส่วนใดที่ประกอบด้วยหินชนิดเดียวกัน และอยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมเหมือนกัน ความแตกต่างในการสึกกร่อนพังทะลายขึ้นอยู่กับปัจจัยสามประการ คือ

1. ความสำคัญหรือคุณสมบัติของชั้นหินที่อยู่ติดกัน (the important of adjacent bed)

2. ผลของการเอียงตัวของชั้นหิน (the effect of dip)

และ 3. ความยาวนานของระยะเวลาการสึกกร่อนพังทะลาย (the effect of the period of erosion) (Spark. 1965 : 140 - 141)

หินต่างชนิดกันมีสมบัติต่างกัน การสึกกร่อนของหินจะแตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลให้เกิดลักษณะภูมิประเทศต่างกัน หรืออย่างน้อยทำให้ภูมิประเทศแบบเดียวกันมีความแตกต่างกันในด้านขนาด รูปร่าง หรือรูปทรงได้ ดังที่เมลตันได้ศึกษาความลาดเอียงของภูมิประเทศในเขตรัฐอริโซนา โคโลราโด นิวเม็กซิโก และยูทาห์ ซึ่งมีหินฐานต่างชนิดกัน พบว่า ความลาดเอียงของภูมิประเทศบนหินฐานจำพวกหินดินดาน หินชีสต์ เศษหินที่แยกระจายโดยธรรมชาติและยังไม่สลายตัว (clastic) หินแกรนิต หินปูน และหินบริเวณฐานของภูเขาไฟ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .001 (Doornkamp and King. 1971 : 173 citing Melton. 1957) ลักษณะความลาดเอียงของผิวพื้น มักจะบอกให้ทราบถึงสมบัติของหินฐานที่รองรับได้ กล่าวคือ หินที่มีความคงทนมาก ความลาดเอียงจะมีมาก เช่น หินทรายในเขตแห้งแล้ง ส่วนหินดินดานมีความคงทนน้อย ความลาดเอียงของผิวพื้นจะไม่มาก ถ้าหินที่มีความคงทนมากกับหินที่มีความคงทนน้อยวางตัวสลับกัน จะเกิดความไม่สม่ำเสมอของแนวชั้นหิน เมื่อชั้นหินวางตัวในแนวระดับ ลักษณะภูมิประเทศที่ได้ผ่านการสึกกร่อนของชั้นหินจะปรากฏเป็นหน้าผาและเนินลาด

(cliff and slope) ถ้าชั้นหินเอียงไม่มากนัก ลักษณะภูมิประเทศจะเป็นเควสต้าสลับกับหุบเขา (cuesta and vale) นอกจากนั้น ภูมิอากาศยังมีส่วนสำคัญในเรื่องมุมของความลาดเอียงของพื้นที่ เช่น ลักษณะภูมิประเทศบนหินตะกอนประเภทหินปูนในเขตชื้น จะเป็นเนินไม่สูงนัก ส่วนในอากาศแห้งแล้ง หินปูนจะแสดงลักษณะเป็นภูเขาสูงเด่น อีกประการหนึ่งภูมิอากาศยังมีผลต่อการผุกร่อนทางเคมี ซึ่งจะส่งผลต่อลักษณะภูมิประเทศด้วยเช่นกัน (สิทธิ์ สุทธิพงศ์ 2509 : 56)

นอกจากหินจะมีบทบาทต่อการเกิดลักษณะภูมิประเทศจากการสึกกร่อนโดยตรงแล้ว ยังมีความสำคัญต่อการก่อรูปร่างของลำน้ำ ซึ่งลำน้ำจัดเป็นตัวการทำลายภูมิประเทศที่สำคัญ เป็นผลให้ภูมิประเทศมีลักษณะต่างกัน เกษม จันทร์แก้ว กล่าวว่า หินแต่ละชนิดจะทำให้รูปลักษณะลำน้ำแตกต่างกันออกไป โดยเฉพาะหินตะกอน (sedimentary rock) นั้น พื้นที่ลุ่มน้ำมักมีการสึกกร่อนพังทะลายตามปกติ (normal erosion หรือ geologic erosion) เป็นส่วนมาก ลักษณะเช่นนี้จะทำให้ภูมิประเทศเข้าถึงระยะเติบโตเต็มที่อย่างรวดเร็ว และพื้นที่ลุ่มน้ำมักมีความลาดชันของลำน้ำ (drainage gradient) สูง และมีการเปลี่ยนแปลงระดับอย่างรวดเร็ว ปรากฏให้เห็นอยู่เสมอ ลักษณะที่เห็นชัดอีกอย่างหนึ่ง คือ ภูมิประเทศส่วนใหญ่จะเป็นสันเขาที่ผาชัน (sharp ridges) เนื่องจากหินชนิดนี้ส่วนมากเป็นพวกหินทราย และหินดินดานที่มีความลาดชันสูง จึงทำให้วัตถุปกคลุมพื้นผิวมีคุณสมบัติหยาบและตื้น และมักจะพบหินโผล่ปรากฏอยู่ทั่วไป (เกษม จันทร์แก้ว 2515 : 150)

ลุ่มน้ำกับรูปลักษณะภูมิประเทศมีความสัมพันธ์กัน ลำน้ำในลุ่มน้ำจะเป็นตัวการหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อลักษณะภูมิประเทศดังที่ได้กล่าวแล้ว ลักษณะภูมิประเทศในลุ่มน้ำ จะเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบทางธรณีสัณฐานของลุ่มน้ำ ดังที่ได้มีการศึกษาลุ่มน้ำของลำน้ำอันดับสาม (third-order drainage basin) ทางตะวันตกของเวย์เมาท์ (Weymouth) ในประเทศอังกฤษ ด้วยการหาค่าสหสัมพันธ์ของตัวแปรทางมิติธรณีสัณฐานของลุ่มน้ำ โดยวัดจากแผนที่และการสำรวจภาคสนาม แล้วทำการวิเคราะห์องค์ประกอบ พบว่า องค์ประกอบทางธรณีสัณฐานที่มีอิทธิพลต่อลักษณะภูมิประเทศในลุ่มน้ำมีหกองค์ประกอบ คือ 1) ความสูงและระยะห่างจากพื้นหุบเขา

2) ความยาวในทิศทางตั้งฉากถึงแกนหุบเขา 3) ขนาดของสัณฐานลุ่มน้ำ 4) ระยะห่างจากปากลุ่มน้ำ 5) มุมลาดเอียงของพื้นที่และความคงทนของพื้นที่บริเวณส่วนบนของขอบเขตลุ่มน้ำ และ 6) ความโค้งของเส้นรอบลุ่มน้ำ (Doornkamp and King. 1971 : 161 – 162) นอกจากนั้น เมลตัน (Melton. 1957) ได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุคูณ (multivariate analysis) ศึกษาลักษณะธรณีสัณฐานลุ่มน้ำพบว่า ตัวแปรสำคัญที่จะอธิบายลักษณะภูมิประเทศในลุ่มน้ำมีเก้าตัวแปร คือ 1) ผลรวมของระดับสูงของลุ่มน้ำ 2) ความสูงของลุ่มน้ำ 3) ความยาวของเส้นรอบลุ่มน้ำ 4) ผลรวมของความยาวลำน้ำทั้งหมด 5) ผลรวมของจำนวนลำน้ำทั้งหมด 6) ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนลำน้ำในอันดับคณกับอันดับถัดไป 7) ค่ามุมลาดเอียงสูงสุดด้านข้างหุบเขา 8) จำนวนแหล่งต้นน้ำลำธาร และ 9) พื้นที่ลุ่มน้ำ (Mather. 1976 : 232)

จากผลงานวิจัยที่กล่าวมานั้นได้แสดงถึงองค์ประกอบทางธรณีสัณฐานที่มีอิทธิพลต่อลักษณะภูมิประเทศในลุ่มน้ำ โดยที่ไม่ได้กล่าวถึงโครงสร้างทางธรณีของลุ่มน้ำ โดยธรรมชาติแล้ว ถ้าโครงสร้างทางธรณีของแต่ละพื้นที่ต่างกันย่อมจะทำให้ตัวแปรหรือองค์ประกอบดังกล่าวเปลี่ยนแปลงไปได้ โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีโครงสร้างของชั้นหินมีการเอียงตัวเป็นมุมเท หรือมีการคดโค้งย่อมจะมีรูปแบบของภูมิประเทศต่างออกไป ค็อทตัน ให้ความเห็นไว้ว่า ภูมิประเทศที่เป็นแบบเทือกเขาโก่งตัว มักจะมีชั้นหินที่มีความแข็งต่างกัน วางตัวซ้อนกันอยู่ การกัดเซาะของลำน้ำตามแนวสันหินมักจะก่อให้เกิดหุบเขาขนาดใหญ่ มีบริเวณติดต่อกันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากลำน้ำกัดเซาะบนชั้นหินเนื้อเดียวกัน และความเอียงตามแนวสันหินมีไม่มากนัก การกัดเซาะด้านข้างจึงพัฒนาได้เร็วกว่าการกัดเซาะในทางลึก และในไม่ช้าลำน้ำก็จะเข้าสู่สภาวะสมดุลย์ และทิ้งร่องรอยของสันเขาเป็นแนวยาวตามแนวสันหิน สันเขาเหล่านี้จะได้รับการพัฒนาเป็นเนินเขาสันเดี่ยว (homoclinal ridge) ซึ่งเป็นลักษณะหนึ่งของภูมิประเทศแบบเควสต้านั่นเอง (Cotton. 1964 : 68 – 69) ความเห็นของค็อทตันนี้สอดคล้องกับแนวคิดของ สิทธิ์ สุทธิพงศ์ ที่กล่าวว่า เมื่อชั้นหินที่คดโค้งถูกทำลายโดยกระบวนการธรรมชาติจะเกิดลักษณะภูมิประเทศทางโครงสร้างของหิน (structural landform)

ชั้นหินที่มีความต้านทานน้อย ถูกทำลายไปก่อน เหลือหินแข็งเป็นสันหรือเป็นลาดเอียงบุมเท จะกลายเป็นสันเตี้ย ๆ มีลักษณะทำนองเดียวกับสันหลังหมู (hogback) ลักษณะภูมิประเทศทางโครงสร้างของหินจะเด่นชัดเมื่อยังไม่ถูกทำลายมากนัก และจะพิจารณาได้ยากขึ้นเรื่อย ๆ ตามอายุของภูมิประเทศ (สิทธิ์ สุทธิพงศ์ 2509 : 176 – 177) ซึ่งทอร์นเบอรี่ก็ได้ชี้เฉพาะอีกว่า ความเอียงของชั้นหินนั้นเป็นองค์ประกอบที่สำคัญต่อลักษณะภูมิประเทศ โดยที่พื้นที่หลายแห่งของโลกวางตัวอยู่บนชั้นหินที่มีการเอียงตัวอย่างสม่ำเสมอ ในแนวลาดเอียงเล็กน้อยจนถึงเอียงมาก และถ้าหากโครงสร้างเช่นนี้มีชั้นหินที่มีความแข็งไม่เท่ากัน วางตัวซ้อนกันอยู่ เมื่อได้รับอิทธิพลจากกระบวนการผุกร่อนและการสึกกร่อนพังทะลาย พื้นที่เหล่านี้จะได้รับการพัฒนาเป็นภูมิประเทศแบบเควสต้า และเนินเขารูปสันหลังหมู ลักษณะภูมิประเทศทั้งสองแบบนี้จะมีด้านหนึ่งมีความลาดเอียงสูงวางตัวขวางความเอียงของชั้นหิน ซึ่งเรียกพื้นที่ด้านนี้ว่า ความลาดเอียงด้านหน้าหรือด้านผาชัน พื้นที่ลาดเอียงด้านผาชันนี้มักจะถูกทำให้พังทะลายมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากกระบวนการผุกร่อน การเลื่อนไหลของมวลผิวหน้าหรือมวลเลื่อน และการสึกกร่อนพังทะลาย (Thornbury. 1969 : 130 – 131) ความรุนแรงของกระบวนการดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับ สมบัติของหินทางด้านความเอียงของชั้นหิน และข้อจำกัดทางด้านสภาพภูมิศาสตร์เป็นสำคัญ ส่วนความลาดเอียงของพื้นที่จะพัฒนาไปได้มากน้อยเพียงใดนั้น เทรวาต้า กล่าวว่าขึ้นอยู่กับองค์ประกอบสามประการ คือ 1) ความแข็งแรงหรือความทนทานของชั้นหินที่วางตัวอยู่ใต้ผิวหน้าพื้นที่ลาดเอียง 2) ขนาดของมวลวัตถุที่ปกคลุมพื้นผิว และ 3) อัตราการสึกกร่อนที่ส่วนฐานของพื้นที่ลาดเอียง (Trewatha. 1968 : 213 – 214)

3. <u>ขั้นตอนและกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาลักษณะภูมิประเทศ</u>

พัฒนาการของลักษณะภูมิประเทศเกี่ยวข้องกันสองกระบวนการที่สำคัญ คือ กระบวนการภายใน ซึ่งเกิดจากการกระทำของแรงภายในโลก และกระบวนการภายนอก ซึ่งเกิดจากการกระทำจากกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนผิวโลก ลักษณะรูปร่างของภูมิประเทศที่ปรากฏ

สำนักหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ถนนริม ๒๑ ซอยโยธา สรุงเทพฯ ๑๐ โทร. 3021676 3016008

แตกต่างกัน จะเกี่ยวข้องกับขบวนการทั้งสอง บริเวณใดที่แรงกระทำจากภายในโลกยุติแล้ว การกระทำจากแรงภายนอกก็จะมีบทบาทเพิ่มขึ้น และเป็นผลให้เกิดลักษณะภูมิประเทศลักษณะใหม่ ๆ ซึ่งต่างไปจากลักษณะภูมิประเทศดั้งเดิม

ในผลงานของเดวิสเรื่อง "Geographical Cycle" ได้กล่าวถึงตัวการต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะภูมิประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปลี่ยนแปลงความลาดเอียงว่าการพัดพาขนย้ายวัตถุผุกร่อนภายใต้การกระทำของกระบวนการต่าง ๆ จากแหล่งต้นกำเนิดลงสู่ลำน้ำในหุบเขานั้น เป็นงานของกระบวนการต่าง ๆ ซึ่งเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ เช่น การชะล้างผิวดินของฝน การกระทำของน้ำใต้ดิน การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ การแข็งตัวของน้ำ การเกิดปฏิกริยาเคมี การอิ่มตัวของน้ำ การขยายตัวของรากพืช และการกระทำของสัตว์ เป็นต้น สิ่งเหล่านี้เป็นเหตุให้หินเกิดการผุกร่อนและถูกชะล้างลงมาตามความลาดเอียง (Davis. 1954 : 266)

เกษม จันทร์แก้ว ได้กล่าวถึง ขั้นตอนของการสึกกร่อนพังทะลายของดินและหินที่ปกคลุมผิวหน้าของพื้นที่ว่าประกอบด้วยสามขั้นตอน คือ

1. การแตกกระจายของอนุภาก (detachment) เป็นขั้นแรกของกระบวนการสึกกร่อนพังทะลาย เป็นผลให้เม็ดดินแตกเป็นอนุภาคขนาดเล็กและหลุดกระเด็นออกไป การแตกกระจายของอนุภาคจะมีมากน้อยแค่ไหนขึ้นกับปัจจัยสองประการ

1.1 แรงที่กระทำต่อเม็ดดิน เช่น แรงตกกระทบของเม็ดฝน (raindrop impact) และความรุนแรงของฝน

1.2 ความสามารถในการแตกกระจาย (detachability) หมายถึงความยากง่ายต่อการถูกทำให้แตกกระจายหรือหมายถึง ความคงทนของดินต่อการพังทะลาย ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับลักษณะพื้นผิว (texture) โครงสร้างสารประกอบแร่ธาตุ อินทรียวัตถุ และรวมถึงสิ่งมีชีวิตในดินด้วย

2. การพัดพาเคลื่อนย้าย (transportation) เป็นขั้นที่สองของกระบวนการสึกกร่อนพังทะลายของดินต่อเนื่องจากกระบวนการขั้นแรก กล่าวคือ เมื่อเม็ดดินแตกกระจายและอาจมีผลถึงการอุดตันของผิวหน้าดิน จากการที่เม็ดดินจากที่อื่นมาตกทับถมจะทำให้กระบวน

79962

การซึมได้ลดลง มีผลทำให้น้ำไหลบ่าผิวหน้าดิน ซึ่งอัตราการไหลจะรุนแรงมากน้อยแค่ไหน ขึ้นกับความลาดเอียงและระยะทางของความลาดเอียงและปริมาณน้ำที่ทำให้เกิดการไหลตามผิวหน้าดิน กระบวนการนี้นอกจากเป็นการพัดพาเอาเม็ดดินเล็ก ๆ จากพื้นที่ตอนบนสู่ที่ต่ำแล้ว ยังทำให้ดินพังทะลาย โดยการขัดถูผิวหน้าดิน (scouring actions) กระบวนการในขั้นนี้อนุภาคที่ถูกพัดพาจะเคลื่อนย้ายไปตามกระแสน้ำ อนุภาคขนาดใหญ่อาจไปไม่ไกลเท่าขนาดเล็ก แต่ทั้งนี้ขึ้นกับความรุนแรงของน้ำที่พัดพา อนุภาคเหล่านี้จะหยุดนิ่งเมื่อน้ำหยุดนิ่ง ซึ่งจะเข้าสู่ขั้นที่สามอันเป็นขั้นสุดท้ายของขบวนการ

3. การตกตะกอนทับถม (deposition) เป็นขั้นสุดท้ายของการพังทะลายของดิน กล่าวคือ ในขั้นนี้อนุภาคต่าง ๆ จะตกตะกอนตามที่ลุ่ม แอ่งน้ำหรือลำธาร สาเหตุสำคัญที่มีการตกตะกอน คือ อัตราความเร็วของกระแสน้ำลดลง และหยุดนิ่งทำให้อนุภาคขนาดใหญ่ตกตะกอนด้วยแรงดึงดูดของโลก ส่วนอนุภาคขนาดเล็กจะเกาะตัวกันเอง พอมีขนาดใหญ่ก็ตกลงมาได้ หรืออาจตกตะกอนโดยตรงแต่ต้องใช้เวลานาน

ชนิดของการพังทะลายที่เกิดจากขบวนการในแต่ละขั้นตอนดังกล่าวนั้น ได้แก่

1. การชะล้างเป็นแผ่น (sheet erosion)
2. การกัดเซาะเป็นร่องเล็ก ๆ (rill erosion)
3. การกัดเซาะเป็นร่องน้ำ (gully erosion)
4. การกัดเซาะเป็นบ่อหรือหลุม (pitting erosion)
5. การกัดเซาะเป็นโพรงหรือปล่อง (tunnel erosion)
6. การกัดเซาะพังทะลายของดินเป็นทางน้ำขนาดใหญ่ (channel erosion)

(เกษม จันทร์แก้ว 2515 : 193 – 197)

เชลดอน (Sheldon) กล่าวว่า สิ่งแรกที่ควรพิจารณาเกี่ยวกับบทบาทของน้ำกับความลาดชันของพื้นที่ คือ บทบาทของน้ำฝนกับการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นผิวภูมิประเทศ เม็ดฝนที่ตกลงมาแต่ละหยดนั้นต่างก็เกิดผลกระทบต่อผิวดิน และในกรณีที่ผิวดินว่างเปล่าไม่มีพืชพรรณปกคลุม เม็ดฝนจะทำให้อนุภาคดินแตกกระจายทั่วบริเวณ และถูกชะล้างลงมาตามระดับความลาดเอียง

จากการสำรวจของเชลดอนพบว่า หยดน้ำฝนนั้นสามารถทำให้อนุภาคเม็ดดินเล็ก ๆ กระเด็นไปได้ถึง 1.5 เมตร ในครั้งหนึ่ง ๆ และอนุภาคขนาดสี่มิลลิเมตร จะเคลื่อนไปได้ 0.2 เมตร ในขณะที่ฝนตกลงบนพื้นที่ลาดเอียง น้ำบางส่วนจะไหลซึมลงดิน แต่ถ้าดินบริเวณนั้นไม่มีสมบัติที่จะให้น้ำซึมผ่านได้ หรือดินอิ่มตัวไปด้วยน้ำ ก็จะทำให้น้ำไหลบ่าบนผิวดิน โดยจะเริ่มจากปริมาณน้อย ๆ แล้วสะสมมากขึ้น ๆ การไหลบ่าเริ่มมีความรุนแรง ทำให้น้ำเคลื่อนย้ายพัดพาอนุภาคขนาดเล็กไปได้ (Sheldon. 1976 : 293) ส่วน ทวีศักดิ์ ระมิงค์วงศ์ และชาญ ตันติสุกฤต มีความเห็นว่า กระบวนการอันแรกที่กระทำต่อวัตถุผิวดินทุกชนิด รวมถึงหินแข็งที่โผล่ขึ้นมาบนผิวโลก ก็คือการผุกร่อนภายใต้ชั้นบรรยากาศ ซึ่งจะทำให้หินแข็งแตกออก เพื่อรอการสึกกร่อนพังทะลายต่อไป กระบวนการทำลายทั้งทางกายภาพ และทางเคมีที่เกิดขึ้นกับผิวโลก เมื่อหินเหล่านั้นมีส่วนที่โผล่ขึ้นมาสัมผัสกับอากาศ น้ำ หรือสิ่งมีชีวิต ปฏิกริยาบางชนิด การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่เกิดขึ้นในขณะที่มีการทำลายต้องอาศัยพลังงาน ซึ่งพลังงานเหล่านี้จะได้มาโดยตรงหรือโดยทางอ้อม จากดวงอาทิตย์ พลังงานจากดวงอาทิตย์จะมีบทบาทในการควบคุมการเคลื่อนที่ของน้ำบนผิวโลก การแข็งตัว หรือการละลายของน้ำ ดังนั้น พลังงานจากดวงอาทิตย์จึงมีบทบาทสำคัญต่อการผุกร่อนพังทะลายและมีผลต่อกระบวนการอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นบนผิวโลกอีกหลายชนิด ผลของการผุกร่อนพังทะลาย จะขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น หากหินได้รับแรงจากกระบวนการทางกายภาพ ก็จะแตกเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อย (disintegration) จึงเรียกว่าการผุกร่อนทางกายภาพ (machanical weathering) หากหินนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยปฏิกริยาเคมี ก็จะเกิดการสลายตัว (decomposition) ซึ่งเรียกว่าการผุกร่อนทางเคมี (chemical weathering) (ทวีศักดิ์ ระมิงค์วงศ์ และชาญ ตันติสุกฤต 2521 : 48)

จากการที่วัตถุผิวหน้าดินเกิดการผุกร่อน ต่อมาก็จะเกิดการเคลื่อนย้ายตามความลาดเอียงของพื้นที่ลงมายังที่ต่ำกว่า ซึ่งมี น้ำลม หรือธารน้ำแข็งเป็นตัวการพัดพาที่สำคัญ การพัดพาเคลื่อนย้ายนี้ จะเกี่ยวข้องกับแรงดึงดูดของโลก ซึ่ง ทวีศักดิ์ และ ชาญ ให้ความเห็นไว้ว่า ตะกอน หินแข็ง และวัตถุร่วนที่ปกคลุมผิวเปลือกโลก (regolith) หรือดินที่เกิดอยู่

กับที่นั้นสามารถเคลื่อนย้ายโดยอาศัยแรงดึงดูดของโลก ทำให้วัตถุดังกล่าวเคลื่อนที่จากที่สูงลงมายังที่ต่ำกว่าบนผิวโลกได้ การเคลื่อนที่แบบนี้มีองค์ประกอบที่เป็นตัวควบคุมหลายอย่าง เช่น ในกรณีของแข็ง องค์ประกอบที่เป็นตัวควบคุมจะได้แก่ ชนิดของหิน และลักษณะทางโครงสร้าง เช่น หินทรายแข็งชั้นหนา ๆ อาจเคลื่อนที่ได้ถ้าหากมีหินดินดานชั้นบาง ๆ ที่นิ่มและอมน้ำวางตัวอยู่ข้างล่าง หรือมีรอยแตกในหินมาก ก็อาจเคลื่อนที่ได้ง่ายเช่นกัน ในกรณีที่เป็นหินตะกอน วัตถุปกคลุมผิวเปลือกโลกหรือดิน องค์ประกอบที่เป็นตัวควบคุมมักจะเป็นแรงยึดระหว่างเม็ดดิน (soil strength) ทวีศักดิ์ และ ชาญ ได้สรุปว่าปัจจัยที่ควบคุมทั้งหมดประกอบด้วย

1. น้ำ ปริมาณน้ำหรือความชื้นในดินที่พอเหมาะ จะทำหน้าที่ยึดเม็ดดินให้ติดกันโดยแรงยึดเหนี่ยว (cohesion) แต่ถ้าความชื้นมีปริมาณเพิ่มขึ้นจนวัตถุผิวดินอิ่มตัวไปด้วยน้ำ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินจะหมดไป น้ำจะเปลี่ยนหน้าที่เป็นตัวหล่อลื่นทำให้วัตถุนั้นเคลื่อนที่ทันที

2. ความลาดเอียง (slope) การเคลื่อนย้ายจะเป็นไปได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความลาดเอียงของพื้นที่ เช่นกัน โดยธรรมชาติความลาดเอียงสูงสุดที่วัตถุจะคงตัวอยู่ได้ จะมีค่าประมาณ 25° – 40° แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของวัตถุ เช่น ขนาด รูปร่าง เป็นต้น ถ้าค่าของมุมเอียงเพิ่มขึ้น แรงที่มีทิศทางลงมาตามความลาดเอียงจะสูงขึ้น เมื่อใดก็ตามที่แรงนี้มีค่ามากกว่าแรงเสียดทาน (friction) ที่วัตถุยึดไว้ วัตถุจะเคลื่อนที่ทันที (ทวีศักดิ์ ระมิงค์วงศ์ และ ชาญ ตันติสุกฤต 2521 : 57 – 58)

ในส่วนที่เกี่ยวกับการปรับระดับความสูงและความลาดเอียงของพื้นที่ เดวิสกล่าวไว้ว่า เมื่อความลาดเอียงของพื้นที่ได้รับการพัฒนาในระยะแรกนั้น พื้นที่จะมีความสูงชันมาก และอนุภาคที่ปกคลุมพื้นผิวของพื้นที่ลาดเอียงจะมีลักษณะหยาบและหนา ต่อจากนั้นเมื่อวัฏจักรการพัฒนาภูมิประเทศได้ดำเนินมาอีกขั้นหนึ่ง ความสูงชันของภูมิประเทศก็จะลดลงอยู่ในระดับปานกลาง อนุภาคที่ปกคลุมพื้นผิวก็จะมีความราบเรียบมากขึ้น และความหนาของอนุภาคที่ถูกพัดพามาทับถมในพื้นที่ตอนล่างก็จะเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้ จึงทำให้ความสามารถในการเคลื่อนย้ายอนุภาคเริ่ม

ลดลง ในตอนปลายของวัฏจักรความลาดเอียงของพื้นที่จะมีน้อยมาก การเคลื่อนย้ายอนุภาคพื้นผิวทุก ๆ บริเวณก็จะมีน้อยด้วย และกระบวนการต่าง ๆ ที่มากระทำต่อพื้นที่ก็มีบทบาทในการเปลี่ยนแปลงอนุภาคที่ปกคลุมเหล่านี้น้อยลงมาก (Davis. 1954 : 268 – 269)

การเคลื่อนย้ายอนุภาคที่ปกคลุมผิวหน้าของพื้นที่ลาดเอียง เป็นเหตุให้ความลาดเอียงด้านข้างหุบเขาเกิดการถอยร่น (retreat) จากริมฝั่งของลำน้ำไปสู่บริเวณที่ลาดชัน ซึ่งอยู่ห่างออกไป บริเวณหุบน้ำแคบ ๆ จะเริ่มการพัฒนาที่ฐาน และในขณะเดียวกันบริเวณสองฝั่งก็ถูกลำน้ำพัฒนาเป็นที่ราบ น้ำท่วมถึง ลักษณะรูปร่างของหุบเขาในตอนนี้จะเป็นรูปโค้งเว้า และจะแผ่ขยายกว้างออกไปเรื่อย ๆ พื้นผิวหุบเขาซึ่งเปิดกว้างนี้จะวางตัวอยู่บนหินแข็งซึ่งผิวหน้าถูกกัดกร่อน ซึ่งอาจจะเรียกผิวหน้าของหินแข็งที่ถูกกัดกร่อนนี้ว่าฐานของหุบเขา (valley floor basement) ได้ ลักษณะพื้นผิวบางส่วนจะขรุขระ บางส่วนจะถูกปกคลุมด้วยตะกอน ทำให้ไม่สามารถมองเห็นหินฐานได้ นอกจากบริเวณที่ถูกลำน้ำตัดผ่านหรือถูกเคลื่อนย้ายอนุภาคผิวหน้าออกไปก็จะทำให้มองเห็นลักษณะโครงสร้างของหินฐานได้ชัดเจนขึ้น ส่วนบริเวณทั่ว ๆ ไปก็จะถูกปกคลุมด้วยเศษดินและหิน (detritus) ซึ่งเป็นผลจากการผุพังทะลายของหินจากกระบวนการภูมิอากาศ (subsoil weathering) ซึ่งเกิดขึ้นที่บริเวณนั้นโดยตรง และบางส่วนถูกพัดพามาจากที่อื่น นอกจากนั้นการเหวี่ยงตัวของลำน้ำ เป็นเหตุให้เกิดที่ราบกว้างขวางขึ้น และหินฐานถูกเปิดกว้างขึ้นเช่นกัน ในกรณีนี้พื้นหุบเขาก็จะขยายตัวกว้างออกไป ขณะเดียวกันพื้นที่ลาดเอียงด้านข้างของหุบเขาก็จะถอยร่นเปิดกว้างออกไปเช่นกัน (Carson and Kirkby. 1975 : 371 – 372)

สตราเลอร์ กล่าวว่า การกระทำทางธรณีวิทยาทางลำน้ำประกอบด้วยสามกระบวนการที่สัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด คือ การสึกกร่อนพังทะลาย การพัดพาเคลื่อนย้าย และการทับถม ซึ่งเรสช์ ได้จำแนกลำดับการเปลี่ยนแปลงลำน้ำเป็นขั้นพัฒนาดังนี้ ขั้นเริ่มแรกมีทะเลสาบ น้ำตก แก่งน้ำไหล ขั้นวัยหนุ่มตอนกลาง ทะเลสาบหายไป แต่น้ำตกและแก่งน้ำยังมีอยู่ตามโตรกชารแคบ ๆ ขั้นเริ่มแรกของช่วงพัฒนาเต็มที่ จะมีลักษณะภาพตัดตามยาวของลำน้ำปรับระดับราบเรียบไม่มีน้ำตกหรือแก่งน้ำไหล แต่เริ่มกำเนิดที่ราบน้ำท่วมถึง ต่อมาถึงขั้นเกือบเข้าถึงขั้นพัฒนาเต็มที่

ลักษณะลำน้ำมีที่ราบน้ำท่วมถึงกว้างขวางขึ้น ขั้นพัฒนาเต็มที่ มีภูมิประเทศข้างเคียงเป็นที่ราบน้ำท่วมถึงกว้างใหญ่ พัฒนาการของลุ่มน้ำเป็นไปอย่างอิสระ เกิดที่ราบตะกอนและดินธรรมชาติอย่างเด่นชัด (Strahler, 1975 : 416 – 423) ในเรื่องนี้ สมอลล์ มีแนวคิดว่า แรกกำเนิดและพัฒนาการตามลำดับของวัฏจักรลำน้ำจะถูกกำหนดด้วยปัจจัยสองประการ คือ

1. ลักษณะธรรมชาติของการกำเนิดผิวตอนแรกที่ลำน้ำไหลผ่าน

2. โครงสร้างทางธรณีวิทยา

ลองเวลล์ ได้อธิบายเกี่ยวกับวิวัฒนาการของลำน้ำไว้ว่า ลำน้ำจะปรับร่องน้ำจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่ง หรือจากสภาวะหนึ่งไปอีกสภาวะหนึ่งตามกาลเวลา นั่นคือ ความลาดเอียงของท้องน้ำ ขนาด และรูปร่างลักษณะร่องน้ำ จะปรับตัวต่อเนื่องตามการผันแปรของปริมาณน้ำไหลออก ทั้งกระบวนการพังทะลายและทับถมทำให้ลำน้ำปรับระดับอยู่ตลอดเวลา และยังปรับการขนย้ายพัดพาตะกอน จนกระทั่งท้องน้ำถึงระดับฐาน ซึ่งตลอดระยะเวลาที่ลำน้ำได้พัฒนามานี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะภูมิประเทศโดยตรง (Longwell, 1969 อ้างจาก ประสิทธิ์ ณุรัตน์ 2520 : 2) สำหรับทอร์นเบอรี่ ให้ความเห็นว่า การกัดเซาะพังทะลายด้านข้าง (lateral erosion) เป็นการเพิ่มขยายความกว้างของลุ่มน้ำ และลดพื้นที่ระหว่างลำน้ำ (interstream) ลง การผันแปรของความสูงของภูมิประเทศ โครงสร้างทางธรณี การแปรสัณฐานของเปลือกโลกอย่างรวดเร็ว (diastrophism) และสภาวะภูมิอากาศ เป็นสิ่งที่ศึกษาได้จากลำดับการเปลี่ยนแปลงของลักษณะภูมิประเทศที่ปรากฏให้เห็นได้ เป็นต้นว่า

1. ลักษณะภูมิประเทศขั้นต้น มีลำน้ำสาขาสั้น ๆ การพังทะลายที่ต้นน้ำรุนแรง ภาพตัดขวางของลุ่มน้ำมีลักษณะรูปตัววี

2. ลักษณะภูมิประเทศขั้นพัฒนาเต็มที่ ขั้นนี้หุบเขาขยายตัวกว้างออกจนเกิดระบบระบายน้ำร่วมเป็นระบบเดียวกัน ที่ราบน้ำท่วมที่เกิดขึ้น จะได้สัดส่วนกับพื้นหุบเขา ความกดโค้งของลำน้ำปรากฏให้เห็นอย่างชัดเจน ความกว้างของพื้นหุบเขา จะกว้างกว่าความกว้างของเขตลุ่มน้ำไม่มากนัก

3. ลักษณะภูมิประเทศขั้นปัจฉิมวัย ขั้นนี้หุบเขาขยายกว้างขวาง พื้นที่มีความลาดเอียงน้อยมาก ความกว้างของลุ่มน้ำจะขยายใหญ่กว่าความกว้างของขอบเขตคุ้งน้ำมาก พื้นที่ส่วนใหญ่เกิดการเลื่อนไหลของมวลผิวหน้า และพื้นผิวโดยทั่วไป ลดระดับลงใกล้ระดับฐานการสึกกร่อนพังทะลาย (Thornbury. 1969 : 135 – 139)

อะคินบูลา ได้ศึกษาความเปลี่ยนแปลงมุมด้านข้างของหุบเขา บริเวณเทือกเขาในเขตแพรรี่ ในอเมริกาเหนือ โดยการวัดรูปร่างของหุบเขาตามแนวตัดขวาง ในสองบริเวณ คือ เขตที่มีอากาศแห้งแล้งกับชุ่มชื้น จำนวนเขตละเจ็ดหุบเขา โดยเลือกตัวอย่างจำนวน 60 ตัวอย่าง ผลการศึกษาพบว่า

1. ความเท่ากันของมุมด้านข้างของหุบเขา จะพบน้อยในเขตอากาศที่อยู่ในเส้นรุ้งกลาง

2. ตัวการที่ทำให้มุมด้านข้างของหุบเขาไม่เท่ากัน คือ การกัดเซาะของท้องน้ำและการชะล้างที่ผิวหน้าของหุบเขา (Akinbola. 1972 : 5241 – 5242)

วู้ด กล่าวว่า เมื่อเปรียบเทียบการกัดเซาะพังทะลายที่เกิดจากการผุกร่อนกับการกัดเซาะของลำน้ำจะพบว่า ลำน้ำที่มีความสามารถในการกัดเซาะด้านข้างของหุบเขาให้พังทะลายไปได้เร็วกว่าการพังทะลายจากการผุกร่อนตามปกติ และจะทำให้รูปด้านข้างของหุบเขามีลักษณะเป็นรูปโค้งนูน และพื้นที่ด้านข้างขอบหุบเขามีความลาดชันมากขึ้น จากการกัดเซาะของลำน้ำ และบริเวณตอนบนของด้านข้างของหุบเขาอาจพังทะลายลงมา หากการกัดเซาะของลำน้ำเป็นไปอย่างรวดเร็ว มุมด้านข้างของหุบเขาจะมีค่าสูงสุด หรือพื้นที่ด้านข้างของหุบเขาจะมีความลาดชันสูงสุดในขณะที่มวลแต่ละส่วนบนพื้นที่ของหุบเขาสามารถรับน้ำหนักของตัวมันเองได้พอดี นั่นคือ มีความสมดุลย์ระหว่างน้ำหนักของมวลที่ปกคลุมอยู่กับความสามารถในการรับน้ำหนักของฐานที่รองรับ ทำให้มวลดินหรือหินสามารถวางตัวอยู่ได้โดยไม่พังทะลายเลื่อนลงมา แต่ถ้าตราบใดที่ลำน้ำยังกัดเซาะส่วนล่างของหุบเขาอยู่ ก็จะทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักลดน้อยลงเรื่อย ๆ การพังทะลายบริเวณด้านข้างหุบเขาก็จะเกิดขึ้นต่อไป เมื่อลำน้ำกัดเซาะถึงระดับฐานชั่วคราว(local or temporary base-level)และลดการ

กัดเซาะอย่างรุนแรงลง เศษดินและหินที่พังลงมาจะกองทับถมบริเวณบริเวณฝั่งลำน้ำทั้งสอง ในระยะนี้การพังทะลายด้านข้างของหุบเขาก็จะเข้าสู่สภาวะปกติ โดยสามารถรักษามุมลาดเอียงให้คงที่ได้ และการสะสมเศษดินและหินจะเกิดขึ้นต่อไป นอกจากนั้น วู๊ด ยังให้ความเห็นว่า การกัดเซาะพังทะลายด้านข้างของหุบเขา ไม่ว่าพื้นที่เหล่านั้นจะประกอบไปด้วยหินที่มีความคงทนมากน้อยแค่ไหน หรือกระบวนวิธีในการกัดเซาะพังทะลายจะต่างกันไปก็ตาม ผลขั้นสุดท้ายที่ปรากฏให้เห็นจะไม่ต่างกัน (Wood. 1942 : 130 - 131)

คูเนน ได้กล่าวถึงการกัดเซาะพังทะลายด้านข้างของหุบเขาอันเนื่องมาจากการขยายตัวของลุ่มน้ำว่า เนื่องมาจากการขยายตัวของลุ่มน้ำ โดยมีน้ำฝนเป็นตัวกัดเซาะพังทะลายทำให้พื้นที่ด้านข้างหุบเขาถูกทำลายถอยร่นไปเรื่อย ๆ บางแห่งลำน้ำเริ่มกัดเซาะพื้นที่ลาดเอียงและมีการกัดเซาะที่ต้นน้ำ ทำให้บริเวณด้านข้างของหุบเขาถูกทำลายลึกเข้าไปทุกขณะ โดยปกติแล้วการกระทำของลำน้ำจะทำให้ผนังด้านข้างของหุบเขาพังทะลายถอยร่นโดยรอบ ลุ่มน้ำทุกแห่งต่างมีโอกาสขยายขอบเขตออกไป แต่ในขณะเดียวกันลุ่มน้ำอาจจะตื้นขึ้น และส่วนที่เป็นเนินเขาและภูเขาจะถูกทำลายต่ำลง (Kuenen. 1955 : 288 - 289)

ลองเวลล์ ได้กล่าวถึงการกัดเซาะของลำน้ำและผลที่มีต่อลักษณะภูมิประเทศว่า ลำน้ำจะกัดเซาะเป็นร่องลึก ตัวการที่ทำให้ร่องน้ำกว้างออก คือ กระบวนการระดับเป็นแผ่นและการเลื่อนไหลของมวลผิวหน้า ลักษณะเช่นนี้จะทำให้เกิดความสมดุลย์ระหว่างตัวลำน้ำกับร่องน้ำ นอกจากการกัดเซาะในทางลึกแล้ว ลำน้ำยังกัดเซาะให้ภูมิประเทศต่ำลง ลองเวลล์ได้ยกตัวอย่างจากการศึกษาในสหรัฐอเมริกาว่าจากการคำนวณตะกอนที่แขวนลอยและละลายไปกับน้ำพบว่า ลำน้ำได้ทำให้ภูมิประเทศต่ำลง โดยเฉลี่ยหกเซนติเมตรต่อหนึ่งพันปี (2.4 นิ้วต่อพันปี) หรือหนึ่งเซนติเมตรต่อ 166 ปี อย่างไรก็ตาม อัตราส่วนเฉลี่ยของการระดับพังทะลายนี้ย่อมแตกต่างกันไปตามชนิดของหิน ความสูง สภาพพื้นที่ และสภาพภูมิอากาศ อัตราส่วนนี้ใช้กับภูมิภาคส่วนที่ศึกษาเท่านั้น และใช้ได้ในช่วงเวลาที่ศึกษาเท่านั้น อัตราการพังทะลายในภูมิภาคอื่นย่อมแตกต่างกันออกไป (Longwell. 1969 : 222)

งานวิจัยทางธรณีสัณฐานในประเทศไทย ที่ได้กล่าวถึงวัฏจักรการพัฒนาภูมิประเทศ ได้แก่ งานของ ประสิทธิ์ คุณรัตน์ ซึ่งตอนหนึ่งได้กล่าวถึงวัฏจักรการสึกกร่อนของภูมิประเทศบริเวณลุ่มน้ำชีว่า ปัจจุบันภูมิประเทศในลุ่มน้ำชีอยู่ในตอนปลายของมัชฌิมวัยหรือขั้นปัจฉิมวัย (late mature or oldage) และได้ให้ความเห็นว่า สภาพลุ่มน้ำชีมีปรากฏการณ์ทางภูมิประเทศ (evidence topography) ที่เป็นซากหรือร่องรอย (remnant) ให้เห็นสภาพเดิมของภูมิประเทศ ซึ่งเป็นผลจากการกระทำของกระบวนการสลักเสลาพื้นผิวโลก (process of landsculpture) ตลอดระยะเวลาทางธรณีที่ผ่านมา แต่ทั้งนี้จะต้องยอมรับการยกตัวของพื้นโลกเหนือระดับน้ำทะเล โดยการแทรกดันของหินแกรนิตในยุคไทรแอสสิคถึงกรีเตเซียส และการกำเนิดของที่ราบสูงโคราช ระหว่างตอนปลายยุคเทอร์เทียรี่ ด้วยการยกตัวเป็นที่ราบสูง พื้นราบลาดเอียงไปทางตะวันออกเล็กน้อย ลักษณะภูมิประเทศลุ่มน้ำชีจึงได้รับการพัฒนาจากกระบวนการภายนอก หลาย ๆ ขบวนการ เพื่อปรับระดับเข้าสู่สภาวะสมดุลย์ โดยเฉพาะตัวการสำคัญ คือ ขบวนการน้ำไหล ที่เริ่มกัดเซาะพร้อม ๆ กับการยกตัวของพื้นดิน ทำให้เกิดการพัฒนาเปลี่ยนแปลงภูมิประเทศเป็นลำดับขั้น จนถึงขั้นตอนปลายของการพัฒนา และมีปรากฏการณ์ของภูมิประเทศ ที่น่าสังเกตและเป็นหลักฐาน ได้แก่ ซากหรือร่องรอยลักษณะภูมิประเทศเดิมทางตะวันตกและบริเวณตอนต้นของลุ่มน้ำชี มีภูเขาโดด (monadnock) รูปทรงสัณฐานคล้ายกัน กล่าวคือ มีลักษณะเป็นเมซา (mesa) ที่มีหน้าผาชัน เป็นส่วนที่เหลือจากการกระทำของขบวนการน้ำไหล โดยมีแรงน้ำไหล เป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาลักษณะภูมิประเทศ ภูเขาส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นภูเขายอดตัด ซึ่งชี้ให้เห็นว่าเดิมลุ่มน้ำชีบริเวณนี้น่าจะมีลักษณะพื้นที่เป็นที่ราบสูงรูปโต๊ะ (table-land) แต่ได้รับการกัดกร่อนลดระดับลงมาด้วยกระบวนการปรับระดับ ในรูปแบบต่าง ๆ จึงเหลือลักษณะซากหรือร่องรอยของโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่เป็นหินทรายแข็งเหลืออยู่ (ประสิทธิ์ คุณรัตน์ 2520 : 84 – 86) ข้อคิดเห็นของ ประสิทธิ์ คุณรัตน์ สอดคล้องกับที่ สิท และ จัดสัน กล่าวไว้ ว่าพื้นที่ด้านข้างของหุบเขาหรือด้านข้างของภูเขาจะได้รับการพัฒนาเปลี่ยนแปลงจากขบวนการผุกร่อน การชะล้างตามผิวลาดเอียง และการเคลื่อนย้ายโดยแรงดึงดูดของโลก เป็นผลให้หุบเขาขยายกว้างออก

ซึ่งอัตราการขยายตัวและความลาดเอียงของภูมิประเทศ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง ถ้าพื้นที่ด้านข้างของหุบเขาประกอบด้วยหินที่ไม่มีความมั่นคงแข็งแรง การผุกร่อนพังทะลายก็จะเกิดขึ้นได้เร็ว ตรงข้ามถ้าเป็นหินแข็งที่มีความคงทนต่อการผุกร่อน การพังทะลายก็จะเกิดขึ้นช้า ทำให้พื้นที่ด้านข้างหุบเขามีลักษณะเป็นผาชัน (Leet and Judson. 1965 : 146)

นอกจากนั้น จะมีตัวแปรอื่นที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิประเทศอีก ซึ่งได้แก่ ภูมิอากาศ พืชพรรณธรรมชาติ ธรณีวิทยา รูปลักษณะของลุ่มน้ำ และร่องน้ำ ซึ่งตัวแปรเหล่านี้จะมีความสัมพันธ์ต่อกันอย่างเป็นระบบ (multivariate dynamic system) เพื่อรักษาไว้ซึ่งความสมดุลย์ของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น (ศรีสอาด ตั้งประเสริฐ 2521 : 1)

อิชิกาวา ได้ศึกษาเกี่ยวกับความลาดเอียงของพื้นที่และกระบวนการต่าง ๆ ที่มีผลต่อวิวัฒนาการของพื้นที่ลาดเอียงในเขตเนิดเขาโคค บริเวณคาบสมุทรอาทซูมิ (Atsumi) ประเทศญี่ปุ่น พบว่า ลักษณะรูปร่างของความลาดเอียงสามารถแบ่งได้เป็นห้าส่วน คือ ความลาดเอียงรูปโค้งนูนที่ส่วนยอด ความลาดเอียงรูปโค้งนูนที่แขนของส่วนยอด ความลาดเอียงที่มีความชันสูงด้านข้างหุบเขา ความลาดเอียงรูปโค้งเว้าเหนือส่วนฐาน และความลาดเอียงที่มีความชันเพียงเล็กน้อยบริเวณส่วนฐาน จากนั้นเขาได้ทดลองเปรียบเทียบการสึกกร่อนพังทะลายบนผิวหน้าลาดเอียง ในขณะที่เกิดฝนตก โดยแบ่งการทดลองเป็นสองตอน ตอนหนึ่ง วัดปริมาณตะกอนที่มาทับถมในพื้นที่ทดลองขนาด 0.5 ตารางเมตร และตอนสอง วัดปริมาณการไหลของอนุภาคตะกอนจากพื้นที่ลาดเอียงส่วนบน ผ่านสถานีทดลอง ผลการทดลองพบว่า

1. การสึกกร่อนพังทะลายบริเวณส่วนที่มีความชันมากที่สุด ด้านข้างหุบเขาจะมีมากกว่าบริเวณที่เป็นความลาดเอียงรูปโค้งนูนส่วนบนของพื้นที่ลาดเอียงตรงส่วนยอดและแขนของส่วนยอด ซึ่งอยู่ถัดลงมา

2. ตะกอนที่ถูกพัดพามาจากบริเวณพื้นที่ลาดเอียงส่วนบน จากการไหลบ่าผิวหน้าดินจะถูกทับถมบริเวณพื้นที่ลาดเอียงรูปโค้งเว้าบริเวณส่วนฐานขึ้นไป

3. การสึกกร่อนพังทะลายบริเวณพื้นที่ลาดเอียงรูปโค้งเว้าส่วนฐานเป็นน้อยกว่าส่วนอื่น ๆ

4. ปริมาณตะกอนที่ทับถมตอนล่างของพื้นที่ลาดเอียงรูปโค้งนูนมีมากกว่าบริเวณส่วนที่ชันที่สุดของพื้นที่ลาดเอียงรูปโค้งเว้า

นอกจากนั้น อิชิคาวาได้สรุปในตอนท้ายว่า พื้นที่ลาดเอียงส่วนที่มีความชันมากที่สุดจะเกิดการสึกกร่อนพังทะลายในลักษณะการถอยร่นของผิวหน้า พื้นที่ลาดเอียงรูปโค้งเว้าบริเวณส่วนฐาน จะเป็นระดับฐานชั่วคราวของการสึกกร่อน การเคลื่อนย้ายเศษดินและหินจากส่วนบนของพื้นที่ลาดชัน จะอ่อนกำลังลงที่บริเวณดังกล่าว และเกิดการตกตะกอนทับถมที่บริเวณส่วนฐาน ปรากฏการณ์เช่นนี้จะเกิดขึ้นต่อเนื่องกันมาตั้งแต่อดีต ดังนั้นผลของการกระทำเหล่านั้นจึงศึกษาได้จากตะกอนที่ถูกทับถมเป็นชั้น ๆ ที่ส่วนฐานของพื้นที่ลาดชันนั่นเอง (Ichikawa. 1972 : 26 - 27)

โอโฟมาต้า (Ofomata) ได้ศึกษาเกี่ยวกับวิวัฒนาการของภูมิประเทศแบบที่ราบสูงบริเวณที่ราบสูงอูกะ (Nsukka plateau) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเควสต้าอูกะ-โอกิจิ (Nsukka-okigive cuesta) ในประเทศไนจีเรีย โดยเน้นทางด้านรูปลักษณะภูมิประเทศและกระบวนการที่กระทำต่อพื้นที่ดังกล่าว ผลการศึกษาพบว่า ลักษณะรูปด้านข้างของที่ราบสูงสามารถแบ่งได้เป็นสามประเภท คือ 1) ภูมิภาพแบบกรวยและโดม (conical and domey) ซึ่งมีลักษณะเส้นรอบนอกเป็นรูปโค้งนูน และมีส่วนฐานเป็นรูปโค้งเว้า 2) ภูมิภาพแบบเขายอดตัด ด้านบนสุดจะมีลักษณะแบนราบหรือเกือบแบนราบ ลักษณะด้านข้างเป็นรูปโค้งเว้าก่อนข้างมากในส่วนยอดและลดลงในส่วนฐาน 3) ภูมิภาพแบบเควสต้า มีด้านชันเป็นรูปโค้งเว้าต่อกับส่วนยอด ส่วนด้านตรงข้ามจะลาดไปตามชั้นหิน

ส่วนทางด้านกระบวนการที่กระทำนั้น โอโฟมาต้ากล่าวว่า กระบวนการหลักที่เป็นตัวสึกกร่อนพังทะลาย คือ กระบวนการผุกร่อน และการไหลบ่าของน้ำฝนบนพื้นที่ลาดเอียงบริเวณที่เป็นยาชัน มักจะพบการเลื่อนไหลของมวลผิวหน้า หรือการเกิดมวลเลื่อนด้วยเสมอ (Ofomata. 1972 : 49 - 51) การไหลบ่าของน้ำฝนมักจะทำให้เกิดการกัดเซาะเป็นร่องด้วยเสมอ ผลการศึกษาของก้อดเฟรย์ บริเวณทางตอนเหนือของเทือกเขาเฮนรี่ พบว่า น้ำฝนจะกัดเซาะเป็นร่องกลายเป็นร่อง ซารและหุบเขาแถบ ๆ และจะกว้างขึ้นตามระยะเวลา ใน

บริเวณที่เป็นหินทรายและหินดินดาน การพัฒนาภูมิประเทศก็จะแตกต่างกันออกไป ลักษณะการวางตัวของชั้นหิน จะทำให้รูปลักษณะภูมิประเทศจากการสึกกร่อนพังทะลายแตกต่างกัน (Godfrey. 1972 : 7113 - 7114B)

4. <u>งานสำรวจและการวิจัยทางธรณีวิทยาที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่บริเวณแอ่งโคราช</u>

การศึกษาทางธรณีวิทยาที่เกี่ยวข้องกับแอ่งโคราช ในระยะแรกนั้นปรากฏในรายงานการสำรวจภาคตะวันออกเฉียงเหนือของลี (W.M. Lee) ในปี พ.ศ. 2466 ในเขตจังหวัดนครราชสีมา อุดรธานี ร้อยเอ็ด และอุบลราชธานี เขาสรุปว่าภูมิภาคนี้ตั้งอยู่บริเวณใจกลางของเทือกเขาหลายแนวในคาบสมุทรอินโดจีน ซึ่งเกิดจากการปีบอัดของมวลโลก ในเทือกเขาเหล่านี้ หินยุคไทรแอสสิก และยุคเก่ากว่าได้ถูกปีบอัดให้โก่งงออย่างรุนแรง ส่วนบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือหินยุกไทรแอสสิกโค้งงอเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (นิธิพัฒน์ ชาลีจันทร์ และ ดิ้น บุนนาค 2497 : 9 อ้างอิงจาก Lee. 1923)

บราวน์ ได้ศึกษาค้นคว้าหาหลักฐานทางโครงสร้างหิน เพื่ออธิบายถึงความเป็นมาทางธรณี และเพื่อการค้นหาแหล่งแร่ เขาได้สรุปว่า ดินแดนที่เป็นประเทศไทยปัจจุบันได้ผ่านขั้นตอนของการเปลี่ยนแปลงพื้นแผ่นดินครั้งใหญ่ ๆ สามครั้ง ดังนี้

ครั้งที่หนึ่ง ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงในช่วงกำเนิดเทือกเขาแอปปาลาเชียน (Appalachian Orogeny) ซึ่งเกิดประมาณยุคเพอร์เมียน มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหินฐานที่มีอายุมากในภูมิภาคนี้

ครั้งที่สอง ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงในช่วงกำเนิดเทือกเขายุกเมโสโซอิก (Mesozoic Orogeny) มีผลกระทบกระเทือนต่อชั้นหินทางตะวันตกของประเทศไทย

ครั้งที่สาม ได้แก่ ช่วงกำเนิดเทือกเขายุกเทอร์เทียรี่ตอนปลาย (Late Tertiary Orogeny) มีผลต่อหินฐานยุคเทอร์เทียรี่ ทางตะวันตกบริเวณชายแดนของประเทศไทย และพบว่ามีรอยเลื่อนขนาดใหญ่เกิดขึ้นหลายแห่ง และเป็นผลให้พื้นที่ที่เป็นแอ่งโคราชปัจจุบันถูกยกตัวสูงขึ้นด้วย (Brown. 1953 : 183)

นิธิพัฒน์ ชาลีจันทร์ และ ดิ้น บุนนาก ได้สำรวจธรณีวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือในปี พ.ศ. 2497 ได้แบ่งโครงสร้างภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นสี่ส่วน คือ 1) แอ่งโคราช 2) แอ่งสกลนคร 3) ทิวเขาภูพาน และ 4) ชั้นหินคดโค้งรูปประทุนคว่ำ (anticlinorium) ในเขตจังหวัดเลยและบริเวณใกล้เคียง ลักษณะทางธรณีที่สำคัญในแต่ละส่วนมีดังนี้

1. แอ่งโคราช และ 2. แอ่งสกลนคร แอ่งทั้งสองนี้ นิธิพัฒน์ และ ดิ้น เชื่อว่ามีกำเนิดพร้อม ๆ กัน และได้ถูกสะสมด้วยตะกอนแบบเดียวกัน แอ่งโคราชครอบคลุมพื้นที่ในเขตจังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ อุบล ร้อยเอ็ด มหาสารคาม และกาฬสินธุ์ ส่วนแอ่งสกลนครนั้นครอบคลุมเนื้อที่ของจังหวัดสกลนคร หนองคาย อุดร ขอนแก่น และนครพนม ทั้งสองมีความเห็นว่า แอ่งทั้งสองนี้มีกำเนิดตั้งแต่สมัยต้นจูแรสสิก โดยแรงบีบอัดจนทำให้ชั้นหินไทรแอสสิกโค้งงอเล็กน้อยเป็นทิวเขาภูพาน และในขณะเดียวกันก็เกิดแอ่งตื้น ๆ สองข้างทิวเขาภูพาน ต่อมาเมื่อได้มีการสะสมตะกอนในยุคจูแรสสิก แอ่งทั้งสองจึงถูกทับถมตื้นขึ้นตามลำดับ ส่วนบริเวณขอบของแอ่งนั้นเป็นทิวเขายุคไทรแอสสิก ซึ่งชั้นหินเอียงเทเป็นมุมต่ำเข้าหาใจกลางแอ่ง สำหรับแอ่งโคราช-ทิวเขาซึ่งเป็นขอบด้านตะวันตกและด้านใต้มีลักษณะเป็นหน้าผาชันหันหน้าออกนอกแอ่ง ลักษณะหน้าผาเกือบเป็นแนวตรง ลักษณะคล้ายผาชันที่เกิดจากรอยเลื่อน แต่จากการสำรวจพบว่า ทิวเขาบริเวณขอบแอ่งโคราชนี้มีโครงสร้างเป็นชั้นหินโก่งตัวเล็กน้อย ซึ่งส่วนยอดของรอยคดโค้งที่เป็นรูปประทุนคว่ำ เกิดการกัดกร่อนพังทะลายไปโดยกระบวนการธรณีสัณฐานที่เกิดขึ้นในอดีตมาจนกระทั่งปัจจุบัน

3. ทิวเขาภูพาน ทิวเขานี้แบ่งแอ่งโคราชและแอ่งสกลนครออกจากกัน ทิวเขาภูพานประกอบด้วยชั้นหินคดโค้งเล็กน้อยขนานกัน 2 – 3 ลอน วางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือตะวันออกเฉียงใต้ โดยประมาณ

4. ชั้นหินคดโค้งรูปประทุนคว่ำ ได้แก่ พื้นที่ในเขตจังหวัดเลยและบริเวณใกล้เคียง โครงสร้างส่วนนี้มีทิวเขาหินปูนยุคเพอร์เมียนเป็นขอบ และมีหินมหายุคพาลีโอโซอิก (Paleozoic) โผล่ให้เห็นมากกว่าหินยุคอื่น ๆ ผู้สำรวจได้ตีความโครงสร้างนี้เป็นชั้นหินคดโค้งรูปประทุนคว่ำจากชั้นหินปูนชุดราชบุรี และหินกรวดไซท์ในชุดกาญจนบุรี ซึ่งพบบนเส้นทางขอนแก่น–เลย ที่บริเวณผานกเค้า (นิธิพัฒน์ ชาลีจันทร์ และ ดิ้น บุนนาก 2497 : 9 – 10)

ลาโมโรว์ นักธรณีวิทยาชาวสหรัฐร่วมกับนักธรณีวิทยาของกรมทรัพยากรธรณี ได้ศึกษาสภาพธรณีวิทยาและแหล่งน้ำบาดาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้ให้ข้อคิดเห็นทางธรณีวิทยาของภูมิภาคนี้ไว้ว่า หินพื้นฐานบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นหินยุคเพอร์เมียน หรือก่อนเพอร์เมียน หินเหล่านี้ได้สึกกร่อนพังทะลายอย่างมากจากกระบวนการต่าง ๆ จนทำให้ภูมิประเทศเกือบราบเรียบ ในยุคไทรแอสสิก ตะกอนของหินทรายเริ่มทับถมลงบนชั้นหินดังกล่าว ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่ส่วนนี้ค่อย ๆ จมตัวลง จนน้ำทะเลเข้าถึง ในตอนปลายยุคไทรแอสสิกได้มีการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวโลกอีกครั้งหนึ่งด้วยการยกตัวของทิวเขาภูพาน ผลการยกตัวครั้งนี้ทำให้เกิดแอ่งโคราชและแอ่งสกลนคร ทำให้ตะกอนหินทราย หินดินดานปนทราย ยิปซัม และเกลือ ของยุคจูแรสสิกทับถมลงบนแอ่งทั้งสอง ดังที่ปรากฏเป็นหลักฐานในปัจจุบัน (Lamoreaux and Jumchet. 1959 : 12 – 15) ซึ่งต่อมา จาคอบสัน (Jacobson. 1965) ได้ให้ความเห็นเพิ่มเติมว่า หินพื้นฐานเกือบทั้งหมดของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คือ ประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ เป็นหินทรายหมู่หินโคราช ซึ่งตกตะกอนทับถมในระหว่างยุคไทรแอสสิก–ครีเตเชียส (บพิตร โกมนตรี 2517 : 22 อ้างอิงมาจาก Jacobson. 1965)

นักธรณีวิทยาชาวต่างประเทศและนักธรณีวิทยาของกรมทรัพยากรธรณีได้สำรวจภูมิภาคนี้อีกหลายคณะ เช่น การสำรวจลำดับชั้นหินยุคเมโสโซอิกของหมู่หินโคราชของ วาร์ด และคันนากา (Ward and Bunnag. 1964) ในปี พ.ศ. 2507 การศึกษาชั้นหินของหมู่หินโคราชในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของ โบแรกซ์ และ สตีเวอร์ท (Borax and Stewert. 1965) ในปี พ.ศ. 2508 การศึกษาสภาพแหล่งน้ำใต้ดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของฮาเวอร์ท (Hawarth. 1966) ในปี พ.ศ. 2509 การศึกษาลำดับชั้นหินชุดโคราชของ อิวาอิ (Iwai. 1966) ในปี พ.ศ. 2509 การศึกษาธรณีวิทยา และลำดับชั้นหินบริเวณเขื่อนน้ำพรม และบริเวณใกล้เคียงของ สงัด ปิยะศิลป์ ในปี พ.ศ. 2514 เป็นต้น ผลการศึกษาเหล่านี้ ทำให้ได้หลักฐานใหม่ ๆ ช่วยเสริมแนวคิดซึ่งนักสำรวจรุ่นก่อน ๆ ได้สำรวจไว้

การศึกษาวิจัยทางธรณีวิทยาบริเวณขอบด้านตะวันตกเฉียงใต้ โดยเฉพาะนั้นที่ปรากฏเป็นหลักฐาน ได้แก่ การสำรวจธรณีเพื่อค้นหาแหล่งแร่เศรษฐกิจ โดย สมัคร บุรีวาศ ในปี พ.ศ. 2487 ในเขตอำเภอกบินทร์บุรี จังหวัดปราจีนบุรี แต่ตามรายงานไม่ได้กล่าวถึงลักษณะและความเป็นมาทางธรณีของพื้นที่ส่วนนี้มากนัก ส่วนใหญ่จะเน้นทางด้านการค้นหาแหล่งแร่

ตามรายงานการวิจัยสะแกราชทางธรณีวิทยาของ ชัยยันต์ หินทอง และคณะผู้ร่วมงาน กล่าวว่า ในปี พ.ศ. 2504 ภูมวาร โกมลารชุน และ ดิ้น บุนนาค ได้สำรวจแหล่งแร่ถ่านหินลิกไนท์ บริเวณเขาละมั่ง มนัส วีระบุรุษ และคณะผู้ร่วมงาน ได้เคยสำรวจธรณีวิทยาตามเส้นทางกบินทร์บุรี–ปักธงชัย ในระหว่างปี พ.ศ. 2497 – 2498 ชุมเจษฎ์ จรัสชวนะเพท และคณะผู้ร่วมงาน เคยสำรวจธรณีวิทยาและสภาพแหล่งน้ำบาดาล ในระหว่างปี พ.ศ. 2497 – 2509 นักธรณีวิทยาชาวอเมริกันและไทย ร่วมมือกันสำรวจธรณีวิทยาบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และพาดผ่านมาถึงบริเวณนี้ด้วย นอกจากนั้น ชัยยันต์ หินทอง และคณะผู้ร่วมงาน เคยสำรวจธรณีวิทยาเพื่อทำแผนที่ธรณีวิทยารากฐาน มาตราส่วน 1 : 250,000 ระวางจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ในปี พ.ศ. 2516 – 2518 ซึ่งส่วนหนึ่งของระวางนี้ได้แก่ พื้นที่บริเวณขอบด้านตะวันตกเฉียงใต้ของแอ่งโคราชนั่นเอง และต่อมาในระหว่างเดือนเมษายนถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2519 เขาได้ทำการศึกษาทางธรณีวิทยา บริเวณสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช ทำให้ได้หลักฐานทางธรณีประวัติและธรณีโครงสร้างเพิ่มขึ้น และสามารถทำแผนที่แสดงการแผ่กระจายของชั้นหินในบริเวณนี้ได้ (ชัยยันต์ หินทอง 2519 : 6 – 9)

พื้นที่บริเวณขอบด้านตะวันตกเฉียงใต้ของแอ่งโคราชนี้ ได้รับความสนใจจากนักธรณีวิทยาและนักศึกษาในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องตลอดมา พื้นที่ที่ได้รับความสนใจมากได้แก่ บริเวณสองข้างทางหลวงสายกบินทร์บุรี–ปักธงชัย และบริเวณทางหลวงสายมิตรภาพระหว่างอำเภอปากช่องถึงอำเภอสูงเนิน เป็นต้น แต่ผลการศึกษาหรือข้อคิดเห็นที่ปรากฏเป็นหลักฐานมีน้อยมาก ที่พอจะนำมาเป็นตัวอย่างได้แก่ รายงานการศึกษาชั้นหินบริเวณเส้นทางสายมิตรภาพ ตรงกิโลเมตร 188–6 ใกล้เขื่อนลำตะคอง โดยคณะนิสิตชั้นปีที่สอง สาขาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตามรายงานได้กล่าวถึงการจำแนกชั้นหินตามลักษณะส่วนประกอบของเนื้อหิน ซึ่งแต่ละชั้นจะแตกต่างกัน การศึกษาครั้งนี้พบว่า สามารถจำแนกชั้นหินได้ถึง 10 ชั้น นอกจากนั้น ยังได้แสดงข้อคิดเห็นเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมของการตกตะกอนในอดีตกาล และการกำหนดอายุของชั้นหินดังกล่าวด้วย (Visut Phisutha-arnond. 1976 : 85 – 93) ผลการศึกษาครั้งนี้ ทำให้ได้หลักฐานทางธรณีเพิ่มขึ้น และเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาวิจัยในโอกาสต่อไป

บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

ในการวิจัยครั้งนี้ มีวิธีดำเนินการ แบ่งออกได้เป็นสี่ขั้นตอน คือ

1. แหล่งข้อมูลและเครื่องมือ
2. วิธีดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล
3. วิธีจัดกระทำกับข้อมูล
4. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. แหล่งข้อมูลและเครื่องมือ

1.1 แผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1 : 50,000 ของกรมแผนที่ทหาร ลำดับชุด L 7017 ระวาง 5338 I, 5338 II, 5338 III, 5338 IV, 5438 IV, 5438 III, 5438 IV, 5437 I, 5437 IV, 5337 I

1.2 แผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1 : 250,000 ของกรมแผนที่ทหาร ลำดับชุด 1501 S ระวาง ND 47 - 8, ND 48 - 5

1.3 แผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย 2521 มาตราส่วน 1 : 250,000 ของกองธรณี กรมทรัพยากรธรณี ลำดับชุด L 509 ระวาง ND 47 - 8, ND 48 - 5

1.4 แผนที่ภูมิประเทศและธรณีวิทยา บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประเทศไทย ทั้งหมด และภูมิภาคอินโดจีน ที่สร้างขึ้นจากภาพถ่ายดาวเทียม

1.5 ภาพถ่ายดาวเทียม หมายเลขภาพถ่าย NASA ID.E 1167 - 03063 และ NASA ERTS E - 2361 - 02523 - 7 ระวาง Thailand 4 - 6 และภาพถ่ายทางอากาศ จากโครงการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

1.6 อุปกรณ์การสำรวจภาคสนาม ได้แก่ เทปวัดระยะทาง เครื่องมือวัดมุมเอียงของชั้นหิน (clinometer) เครื่องมือวัดระดับสูง (altimeter) ฆ้อนธรณี แบบบันทึกข้อมูล และอุปกรณ์พื้นฐานอื่น ๆ

1.7 ตำรา เอกสารเบ็ดเล็ม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ศึกษาจากหน่วยงานต่าง ๆ ต่อไปนี้ สำนักหอสมุดกลางมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาเขตประสานมิตร และหอสมุดวิทยาเขตบางแสน ห้องสมุดกรมทรัพยากรธรณี ห้องสมุดกลาง กรมวิทยาศาสตร์ ห้องสมุดคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ห้องสมุดภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ หอสมุดกลางและศูนย์หนังสือ จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย หอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยศิลปากร พระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม เอกสารที่ได้รับความอนุเคราะห์จากผู้ที่ให้ความสนใจ และสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งเอกสารที่เป็นของส่วนตัวผู้วิจัยเอง

2. <u>วิธีดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล</u>

2.1 ขั้นเตรียมงาน

2.1.1 ศึกษาความเหมาะสมของบริเวณที่ศึกษา จากแหล่งข้อมูลที่มีอยู่ ณ ภาควิชาภูมิศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เช่น แผนที่ประเทศไทยที่สร้างขึ้นจากภาพถ่ายดาวเทียม แผนที่ภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหาร ประกอบการสนทนากับอาจารย์ผู้สอน อาจารย์ผู้ที่ให้ความสนใจ และเจ้าหน้าที่กองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี ที่มีประสบการณ์ในพื้นที่บริเวณนี้ ประกอบกับการได้เข้าไปในพื้นที่บางส่วนของบริเวณนี้ ก่อนการวิจัยถึงสามครั้งในภาคเรียนที่หนึ่ง ปีการศึกษา 2521 และได้สังเกตสภาพพื้นที่ ลักษณะทางธรณีวิทยาและธรณีสัณฐาน

2.1.2 กำหนดขอบเขตที่แน่นอนของบริเวณที่ศึกษา และสำรวจภาคสนาม โดยเลือกเอาพื้นที่บริเวณละติจูด 14°15' ถึง 14°45' กับลองติจูด 101°45' ถึง 102°15' ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในเขตอำเภอปักธงชัย อำเภอครบุรี และบางส่วนของอำเภอสูงเนิน บริเวณที่ต้องศึกษาขั้นละเอียดในภาคสนาม คือ แนวสันเขาที่เป็นชั้นหินหน่วยหินภูพาน ตั้งแต่บริเวณ

ละติจูด 14°44' ลองกิจูด 101°47' เป็นแนวยาวมาทางตะวันออกเฉียงใต้ ถึงบริเวณละติจูด 14°25' ลองกิจูด 102°29' กำหนดตำแหน่งที่จะศึกษารายละเอียดอย่างต่ำ 30 ตัวอย่าง

2.1.3 ศึกษาข้อมูลพื้นฐานจากแหล่งข้อมูลในข้อ 1.1 – 1.5 ประกอบกับการศึกษาค้นคว้าจากตำรา เอกสารและงานวิจัย จากแหล่งข้อมูลบางรายการในข้อ 1.7

2.1.4 ออกตรวจสอบเพื่อวางแผนการสำรวจ ติดต่อคนนำทางและลูกหาบ กับการวางแผนการสำรวจทางด้านการกำหนดเส้นทางเดิน ตำแหน่งที่จะตรวจสอบระยะเวลาในการเดินทาง และตำแหน่งที่จะพักแรม โดยประมาณให้อยู่ใกล้หมู่บ้านมากที่สุด ในขั้นนี้เป็นการศึกษาสภาพภูมิประเทศโดยทั่ว ๆ ไปด้วย

2.1.5 เตรียมแบบบันทึกข้อมูลการสำรวจ บรรจุรายละเอียดเกี่ยวกับตำแหน่งที่ศึกษา สภาพพื้นที่โดยทั่ว ๆ ไป ชนิดและลักษณะเนื้อหิน การจัดเรียงตัวของชั้นหิน โครงสร้างหิน ความเอียงของชั้นหิน ความหนาของชั้นหิน และการแผ่กระจายของชั้นหิน ฯลฯ

2.2 ขั้นเก็บข้อมูล

2.2.1 ออกสำรวจขั้นละเอียด เพื่อเก็บข้อมูลเกี่ยวกับความเอียงของชั้นหินโดยการวัดมุมเท (dip) ของชั้นหินในแต่ละตำแหน่งที่กำหนดไว้ โดยถือหลักการตรวจสอบให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ แล้วจึงหาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนของชั้นหินบริเวณนั้น สำหรับบริเวณที่ไม่สามารถติดตามชั้นหินได้ ผู้วิจัยใช้วิธีคำนวณและประมาณจากชั้นหินที่อยู่ใกล้มากที่สุด นอกจากนั้น ในแต่ละตำแหน่งก็เก็บข้อมูลทางด้านสภาพพื้นที่โดยทั่ว ๆ ไป ชนิดและลักษณะเนื้อหิน การจัดเรียงตัวของชั้นหิน โครงสร้างหิน ความหนาของชั้นหิน และการแผ่กระจายของชั้นหิน เพื่อใช้เป็นประจักษ์พยานในการอธิบายถึงวิวัฒนาการทางธรณีสัณฐานในภูมิภาคส่วนนี้

2.2.2 ประเมินความหนารวมของชั้นหิน ตั้งแต่ฐานของชั้นหินโผล่ จนถึงแนวสันหินจากการทราบความเอียงของชั้นหิน ความลาดเอียงของผิวหน้าชั้นหินโผล่ และความยาวตามความลาดเอียงบนผิวหน้าชั้นหินโผล่ โดยใช้สูตรคำนวณ (Spencer. 1977 : 589) ดังนี้

$$T = X \sin (\alpha + \beta)$$

เมื่อ T คือ ความหนารวมของชั้นหิน (เมตร)

α คือ ความเอียงของชั้นหิน (องศา)

β คือ ความลาดเอียงของผิวหน้าชั้นหินโผล่ (เปอร์เซนต์)

X คือ ความยาวตามความลาดเอียงบนผิวหน้าชั้นหินโผล่ (เมตร)

2.2.3 วัดและคำนวณลักษณะทางธรณีสัณฐานต่อไปนี้ จากแผนที่ภูมิประเทศ : ความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน ระดับสูงของแนวสันหิน ระดับสูงของพื้นหุบเขา ความกว้างของพื้นหุบเขา ความลาดเอียงของพื้นหุบเขา ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวเท ความสูงของสันเขา ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท ความลาดเอียงด้านผาชัน ความยาวด้านลาดเอียงมุมเท และความยาวด้านผาชัน

3. <u>วิธีจัดกระทำกับข้อมูล</u>

3.1 ตรวจสอบความถูกต้อง และความสมบูรณ์ของข้อมูล ที่ได้จากข้อ 2.2 แล้วแปรข้อมูลเป็นรหัส และกำหนดสัญญลักษณ์ เพื่อให้ข้อมูลอยู่ในรูปที่เครื่องคอมพิวเตอร์ จะรับและอ่านได้ (machine-readable form) จากนั้น จึงนำข้อมูลที่แปรเป็นรหัสและกำหนดสัญญลักษณ์แล้วไปถ่ายทอดลงในบัตรด้วยวิธีเจาะเป็นรูในบัตร (punched cards)

3.2 วิเคราะห์องค์ประกอบ ด้วยการนำข้อมูลดังกล่าวมาประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ โปรแกรม Factor Analysis ที่ศูนย์ประมวลผลด้วยเครื่องจักรแห่งประเทศไทย สำนักงานสถิติแห่งชาติ ตามขั้นตอนที่สำคัญ ดังนี้

3.2.1 คำนวณเมตริกสหสัมพันธ์ (Correlation Matrix) ของลักษณะธรณีสัณฐาน 15 ลักษณะ โดยวิธี pearson product moment

3.2.2 คำนวณเมตริกองค์ประกอบ (Factor Matrix) ด้วยการสะกัดองค์ประกอบ (Factor Extraction) แบบ Principle Factor Solution

3.2.3 หมุนแกนองค์ประกอบ (Rotated Factor) แบบ Orthogonal Rotation ตามวิธี Varimax Method

3.2.4 แปรผลเมตริกองค์ประกอบที่หมุนแกนแล้ว

3.3 วิเคราะห์การถดถอย ด้วยการนำข้อมูลชุดเดิมมาประมวลผลอีกครั้งหนึ่ง โดยใช้โปรแกรม Regression Analysis โดยการเลือกลักษณะธรณีสัณฐานบางลักษณะที่เป็นส่วนประกอบทางด้านรูปร่างและขนาดของเควสต้าเป็นตัวเกณฑ์ โดยมีลักษณะธรณีสัณฐานที่เหลือ 14 ลักษณะ เป็นตัวพยากรณ์ ขั้นตอนการวิเคราะห์มีดังนี้

3.3.1 คำนวณสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ระหว่างตัวเกณฑ์แต่ละตัวกับตัวพยากรณ์ 14 ตัว

3.3.2 คำนวณสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ (Multiple Correlation Coefficient) และสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient) แบบ Stepwise Multiple Regression

3.3.3 นำค่าสัมประสิทธิ์ของตัวพยากรณ์แต่ละตัวมาสร้างสมการถดถอยสหสัมพันธ์พหุคูณ (Multiple Regression Equation)

3.3.4 ทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของตัวเกณฑ์กับตัวพยากรณ์ โดยใช้ Analysis of Variance

3.3.5 คัดเลือกลักษณะธรณีสัณฐานที่มีประสิทธิภาพสูงในการพยากรณ์รูปลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้า โดยวิธีลดตัวพยากรณ์บางตัวที่มีอำนาจในการเพิ่มประสิทธิภาพการพยากรณ์ต่ำ ๆ ลงทีละตัว ๆ พร้อมกับการทดสอบนัยสำคัญของความแตกต่างระหว่างสัมประสิทธิ์การพยากรณ์เดิมกับสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ที่ลดตัวพยากรณ์ลง

3.3.6 สร้างสมการพยากรณ์รูปลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้า โดยใช้ลักษณะธรณีสัณฐานที่มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์สูงเป็นตัวพยากรณ์ในรูปโมเดลทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 \ldots + b_nX_n$$

เมื่อ Y เป็นคะแนนของตัวเกณฑ์ที่ได้จากการพยากรณ์ในรูปคะแนนดิบ

$b_1 b_2 \ldots b_n$ เป็นสัมประสิทธิ์ของตัวพยากรณ์ตัวที่ 1, 2, ... n

$X_1 X_2 \ldots X_n$ เป็นคะแนนของตัวพยากรณ์ที่ 1, 2, ... n

และ a เป็นค่าคงที่ของสมการพยากรณ์ในรูปคะแนนดิบ

4. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis) โดยวิธี Principal Factor ของ Hotelling และหมุนแกนแบบ Varimax Rotated ตามวิธีของ Kaiser (Harman. 1976 : 135 – 186)

4.2 การทดสอบนัยสำคัญของความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะชั้นสัญญานิเต่ละลักษณะกับองค์ประกอบโดยวิธี Burt-Banks Formula (Child. 1976 : 99)

4.3 การวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) โดยวิธี Stepwise Multiple Regression แบบ Gauss-Doolittle Method

4.4 การทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของตัวเกณฑ์กับตัวพยากรณ์ โดยใช้ Analysis of Variance (Wert. 1954 : 237 – 249)

4.5 การทดสอบนัยสำคัญของความแตกต่างระหว่างสัมประสิทธิ์การพยากรณ์เดิมกับสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ที่ลดตัวพยากรณ์ลง โดยใช้สูตร

$$F_{n,\ N-m-1} = \frac{\left[R_y^2(1, 2, \ldots m) - R_y^2(1, 2 \ldots m-n) \right] N-m-1}{n \left[1 - R_y^2(1, 2, \ldots m) \right]}$$

เมื่อ $R_y^2(1,2 \ldots m)$ แทน สัมประสิทธิ์การพยากรณ์ที่มีตัวพยากรณ์ m ตัว

$R_y^2(1,2 \ldots m-n)$ แทน สัมประสิทธิ์การพยากรณ์ที่มีตัวพยากรณ์ลดลง n ตัว

N แทน จำนวนตัวอย่างที่ศึกษา

m แทน จำนวนตัวพยากรณ์เดิม

n แทน จำนวนตัวพยากรณ์ที่ลดลง

(พจน์ สะเพียรชัย ม.ป.ป. : 87 – 88 และ Wert. 1954 : 247)

บทที่ 4

ผลการศึกษา

ข้อตกลงเกี่ยวกับการวิเคราะห์และแปลผล

เพื่อให้เกิดความเข้าใจตรงกันในการแปลความหมายผลของการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยได้กำหนดอักษรย่อที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลดังต่อไปนี้

อักษรย่อ	ที่มา	ความหมาย
RSD	Dip-angle of Rock Strata	ความเอียงของชั้นหิน
RST	Rock Strata Thickness	ความหนาของชั้นหิน
ROW	Rock Outcrop Width	ความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน
RCA	Ridge-crest Altitude	ระดับสูงของแนวสันหิน
VFA	Valley-floor Altitude	ระดับสูงของพื้นหุบเขา
VFW	Valley-floor Width	ความกว้างของพื้นหุบเขา
VFS	Valley-floor Slope	ความลาดเอียงของพื้นหุบเขา
VAD	Valley-axis Distance	ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา
SSD	Subsequent Stream Distance	ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ
CSD	Consequent Stream Distance	ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวเท
RCH	Ridge-crest Height	ความสูงของแนวสันหิน
DSS	Dip-slope Slope	ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท
ESS	Escarpment Slope	ความลาดเอียงด้านผาชัน
DSL	Dip-slope Length	ความยาวด้านลาดเอียงมุมเท
ESL	Escarpment Length	ความยาวด้านผาชัน

ผลการศึกษา

1. สภาพทางธรณีสัณฐานบริเวณขอบด้านตะวันตกเฉียงใต้ของแอ่งโคราช

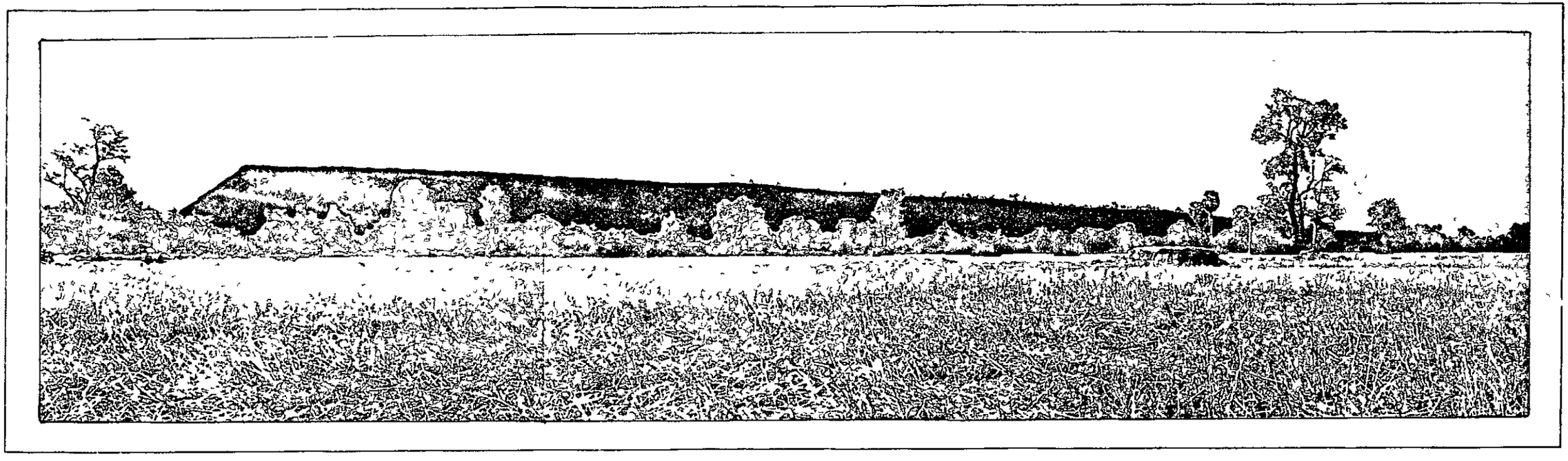
1.1 สภาพโดยทั่วไป

พื้นแผ่นดินบริเวณขอบด้านตะวันตกเฉียงใต้ของแอ่งโคราช ได้ผ่านขั้นตอนการพัฒนามาตลอดระยะเวลา จนกระทั่งปัจจุบันได้ปรากฏหลักฐานหรือร่องรอยที่เหลือจากการพัฒนาดังกล่าวในสภาพที่เป็นชั้นหินโผล่ (out crop) มีสัณฐานคล้ายคลึงกัน ในลักษณะที่เรียกว่า ภูมิภาพแบบเขาอิโต้หรือเควสต้า (cuesta) จำนวนมาก สัณฐานดังกล่าวนี้มีลักษณะเป็นเขาไหล่เรียบ (homoclinal ridge) ซึ่งเกิดจากการกัดเซาะของน้ำบนโครงสร้างชั้นหินที่วางตัวเป็นมุมเอียงเล็กน้อย และสม่ำเสมอเป็นบริเวณกว้างขวาง ไหล่เขาด้านหลังจะมีลักษณะแบนเรียบลาดเทเล็กน้อยตามแนวมุมเท (dip) ของชั้นหิน ส่วนไหล่เขาด้านหน้าจะมีลักษณะเป็นผาชันอันเป็นผลจากการกัดเซาะของน้ำบนผิวหน้าชั้นหิน และจากการเคลื่อนย้ายมวลหินที่ผุกร่อนหรือมีรอยแตกหักลงมาตามความลาดเอียงโดยแรงดึงดูดของโลก บริเวณด้านหน้าของเควสต้าเป็นหุบเขาขนาดใหญ่ เกิดจากการกัดเซาะตามแนวระดับ (strike) ของชั้นหินที่มีความทนทานน้อย ซึ่งวางตัวซ้อนกันอยู่ชั้นล่าง เป็นผลให้ด้านข้างหุบเขาที่มีชั้นหินแข็งวางตัวอยู่ข้างบน เกิดการสึกกร่อนพังทะลายด้วย แต่เป็นไปในอัตราที่ต่ำกว่าการกัดเซาะที่พื้นหุบเขา พื้นที่ด้านข้างหุบเขาส่วนนี้จึงมีความชันมาก และส่วนบนสุดของชั้นหินโผล่มักจะเป็นหน้าผาปรากฏอยู่ทั่วไป ส่วนด้านข้างหุบเขาอีกด้านหนึ่งมีความชันน้อย เพราะมีชั้นหินแข็งซึ่งวางตัวเป็นมุมเอียงรองรับอยู่ หุบเขาด้านนี้จึงลาดเทเพียงเล็กน้อย ตามแนวมุมเทของชั้นหิน ลักษณะหุบเขาจึงเป็นแบบไม่สมมาตร (asymmetric valley)

1.2 วิวัฒนาการทางธรณีสัณฐาน

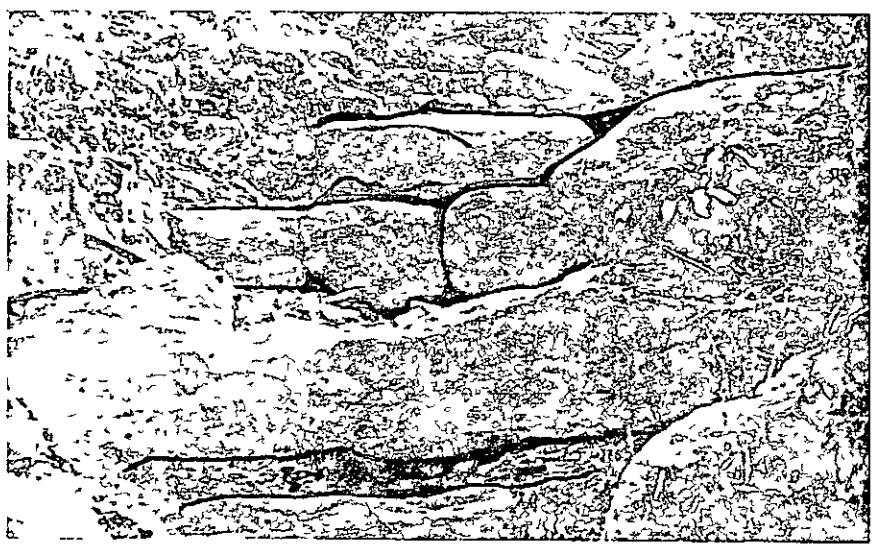
การโก่งงอ (folding) ของชั้นหินตะกอนซึ่งถูกทับถมในยุคไทรแอสสิก–จูแรสสิกในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เป็นผลให้ชั้นหินตะกอนซึ่งสะสมตัวเป็นชั้น ๆ ตามแนวระดับ เกิดการคดโค้งอย่างกว้างขวางในลักษณะรูปประทุนคว่ำและประทุนหงาย จากหลักฐานที่ตรวจสอบได้ในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการศึกษาจากภาพถ่ายดาวเทียม ภาพถ่าย

ภาพ 1 แสดงรูปลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้า บริเวณขอบด้านตะวันตกเฉียงใต้ของแอ่งโคราช (บริเวณบ้านหลุมเงิน อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา)



ภาพ 2 แสดงลักษณะการวางตัวของชั้นหิน หน่วยหินภูพาน

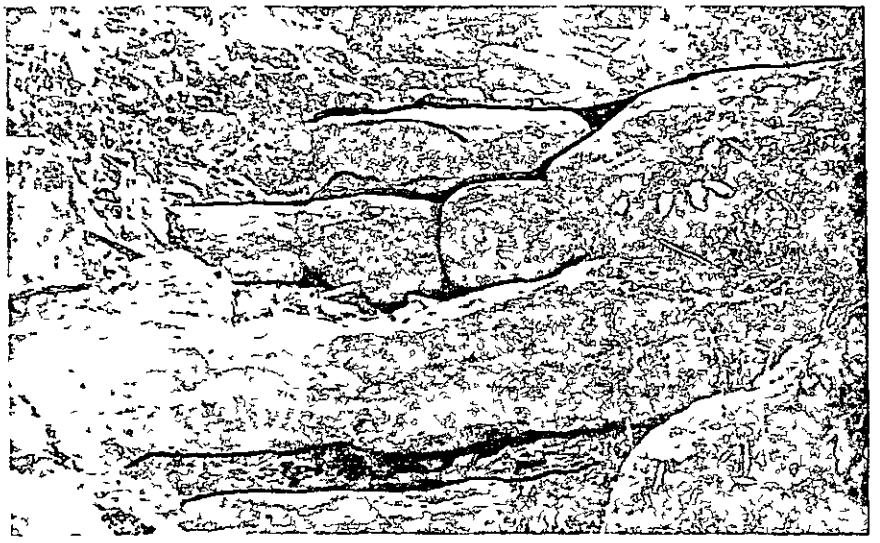
ก. บริเวณด้านข้างเขาภูหลวง



ข. บริเวณด้านหลังเขาภูปราบ อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา

ภาพ 2 แสดงลักษณะการวางตัวของชั้นหิน หน่วยหินภูกระดึง

ก. บริเวณด้านข้างเขาภูหลวง

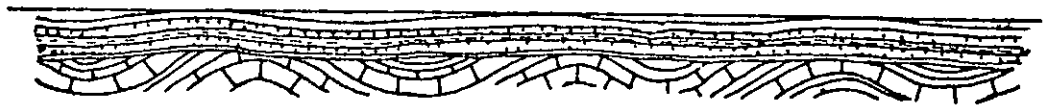


ข. บริเวณด้านหลังเขาภูปราบ อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา

ทางอากาศ และจากการได้ตรวจสอบภาคสนามในบางท้องที่พบว่า ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีรอยคดโค้งที่ปรากฏเป็นรูปประทุนคว่ำหลายแห่ง และมีแนวแกนรอยคดโค้ง (axis of curvature) หลายแนววางตัวในทิศทางต่างกัน เป็นลักษณะรอยคดโค้งแบบผสม (cross folding) เช่น บริเวณทางตะวันตกเฉียงเหนือในเขตจังหวัดชัยภูมิ เลย เพชรบูรณ์ เป็นต้น แสดงว่า แรงที่มากระทำให้เกิดรอยคดโค้งนั้นมาจากหลายทิศทาง หรืออาจจะเกิดซ้ำซ้อนกันหลายครั้งก็ได้ รอยคดโค้งบริเวณขอบด้านตะวันตกเฉียงใต้ของแอ่งโคราชนั้น ปัจจุบันได้ถูกทำลายไปมาก แต่จากหลักฐานที่เหลือทำให้พอประเมินได้ว่า แนวแกนรอยคดโค้งบริเวณนี้อยู่ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ แนวแกนรอยคดโค้งรูปประทุนหงายอยู่ตรงบริเวณใจกลางแอ่งโคราช ส่วนแนวแกนรอยคดโค้งรูปประทุนคว่ำจะอยู่ประมาณระหว่างตอนเหนือของแนวสันเขากำแพงกับบริเวณด้านหน้าของแนวเขื่อนลำตะคองตั้งแต่อ่างเก็บน้ำลำพระเพลิงไปทางตะวันออกเฉียงใต้ แต่ก็ยังไม่อาจประเมินตำแหน่งแนวแกนที่แน่นอนได้ เนื่องจากโครงสร้างบริเวณส่วนยอดของรอยคดโค้งรูปประทุนคว่ำถูกทำลายไปเกือบหมดแล้ว

แรงจากความกดดันนอกจากจะทำให้เปลือกโลกคดโค้งกลายเป็นเทือกเขาแล้ว ยังทำให้ชั้นหินเกิดการแตกหักอีกด้วย บริเวณใจกลางของรอยคดโค้งจะได้รับแรงบีบอัด (stress) จนชั้นหินอัดตัวกันแน่น ส่วนบริเวณยอดและแขนทั้งสองด้านของรอยคดโค้งจะเกิดแรงดึง (strain) ทำให้ชั้นเกิดการแตกหักหรืออาจเปลี่ยนขนาดและรูปร่างไปได้ (Jacobs, 1974 : 25 and Twidale. 1971 : 152) แต่ในบริเวณที่ศึกษา ลักษณะเหล่านี้ปรากฏไม่เด่นชัดนัก เพราะเป็นรอยคดโค้งแบบกว้าง ๆ และคดโค้งแต่เพียงเล็กน้อย เพียงแต่ทำให้ชั้นหินที่เคยวางตัวในแนวระดับเอียงเทไปประมาณ 1°– 5° เท่านั้น อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างในด้านคุณสมบัติของชั้นหินแต่ละชั้น โดยเฉพาะเกี่ยวกับความแข็ง เช่น หินทราย เมื่อถูกดันให้โค้งงอจะแตกหักได้ง่าย ส่วนหินดินดานมีความแข็งน้อยกว่า จึงมักจะยืดหยุ่นตามการโค้งงอได้ง่าย นอกจากนั้นสารเชื่อมต่างชนิดกัน เช่น แคลไซท์ (calcite) เหล็กออกไซด์ (iron oxides) หรือ สารเชื่อมประเภทดิน (clayey material) ซึ่งเป็นตัวประสานในเนื้อหินทราย ก็มีผลต่อคุณสมบัติดังกล่าวของชั้นหิน (Pitty. 1971 : 93) เมื่อชั้นหินคดโค้งถูกทำลายจากกระบวนการภายนอกจะเกิดลักษณะธรณีสัณฐานทางโครงสร้างหิน (structural landform)

ภาพ 3 แสดงวิวัฒนาการทางธรณีสัณฐานของพื้นที่บริเวณขอบด้านตะวันตกเฉียงใต้ของแอ่งโคราช

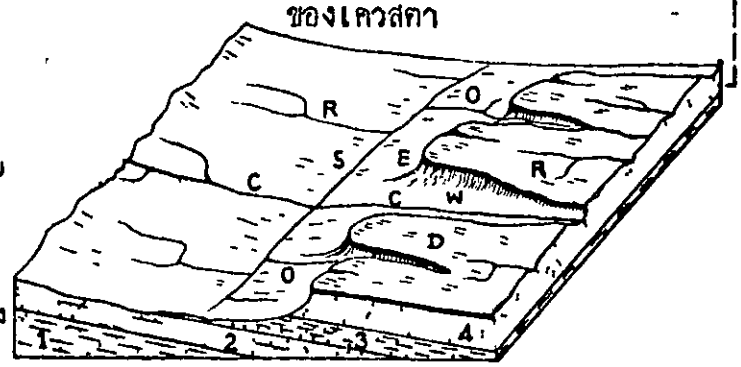


ก. การทับถมของตะกอนในระหว่างยุคไทรแอสสิก–จูแรสสิก บนชั้นหินตะกอนยุคเพอร์เมียน

ข. การโก่งงอของชั้นหินตะกอน จากแรงบีบอัดของมวลแผ่นหินบริเวณข้างเคียงและแรงกดดันจากมวลภายในโลก

ค. การสึกกร่อนพังทะลายบนชั้นหินที่มีโครงสร้างเป็นรอยคดโค้งรูปประทุนคว่ำ

ง. แสดงสภาพแวดล้อมและและการพัฒนาทางธรณีสัณฐานของเควสต้า

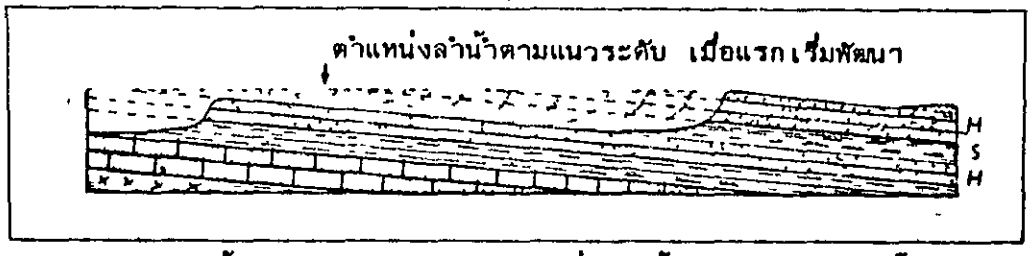


C ลำน้ำตามแนวเท
S ลำน้ำตามแนวระดับ
O ลำน้ำย้อนแนวเท
R ลำน้ำตามแนวเท บนไหล่เขาด้านหลัง
W ช่องเขาน้ำกัด
E ด้านผาชัน
D ด้านลาดเอียงมุมเท

1. หน่วยหินภูกระดึง
2. หน่วยหินพระวิหาร
3. หน่วยหินเสาขัว
4. หน่วยหินภูพาน

ชั้นดินยุคควอเตอร์นารี่
ชั้นหินตะกอนยุคไทรแอสสิก–จูแรสสิก
ชั้นหินตะกอนยุคเพอร์เมียน
หินอัคนีแทรกซอน

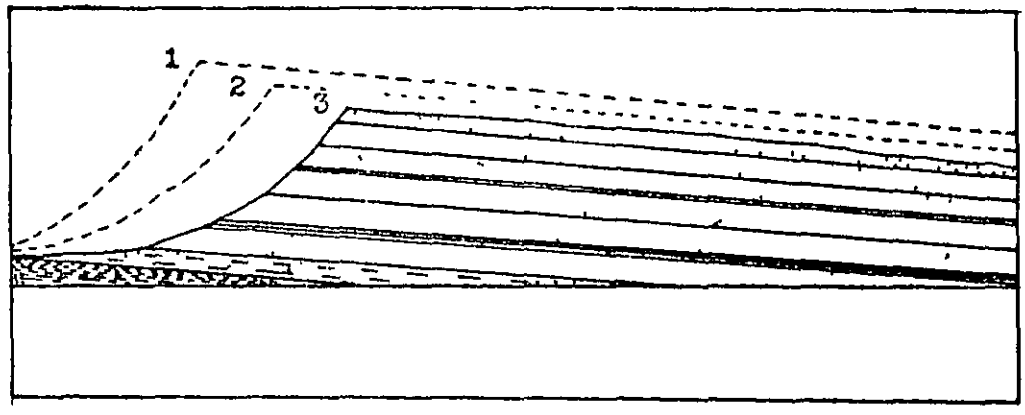
ภาพ 4 แสดงลักษณะการสึกกร่อนพังทะลายของภูมิประเทศแบบเคาสต้า



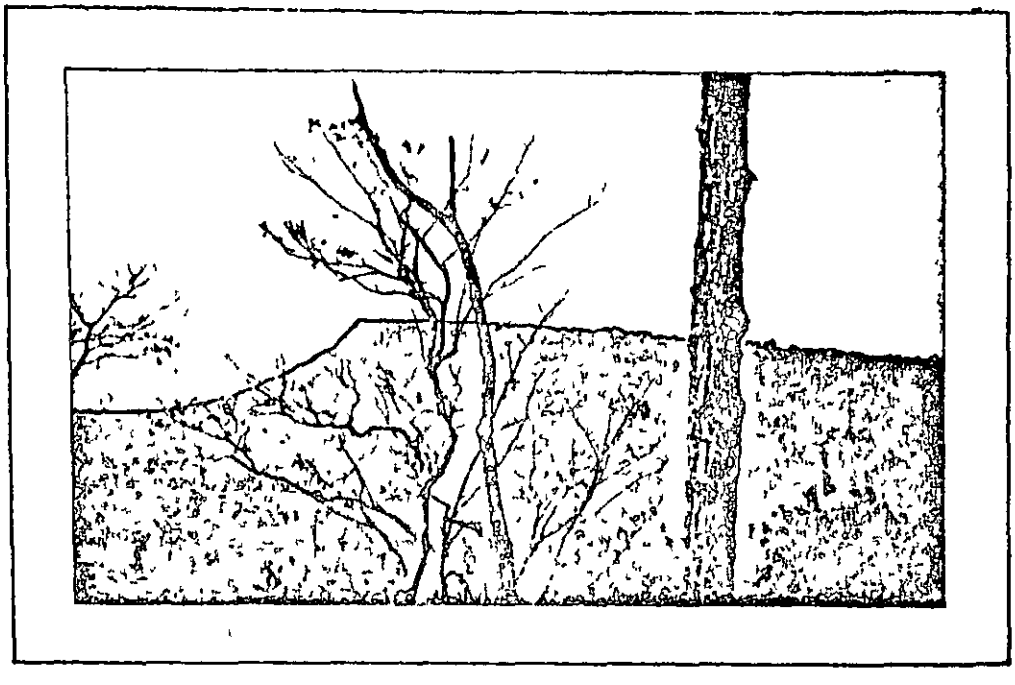
ก. แสดงขั้นตอนการพัฒนาและการถอยร่นของด้านผาชันของเคาสต้า

H ชั้นหินที่คงทนต่อการสึกกร่อนพังทะลาย

S ชั้นหินที่ไม่คงทนต่อการสึกกร่อนพังทะลาย



ข. รูปแบบและลำดับขั้นการสึกกร่อนพังทะลายของเคาสต้า



ค. แสดงรูปลักษณะด้านผาชัน และด้านลาดเอียงมุมเทของเคาสต้า

(บริเวณบ้านกลาง อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา)

ชั้น ชั้นหินที่มีความทนทานน้อย ได้แก่ ชั้นหินดินดานของหน่วยหินภูกระดึง และชั้นหินซิลท์กับหินทรายที่ค่อนข้างผุ–ร่วนของหน่วยหินเสาขัว จะถูกทำลายไปอย่างรวดเร็ว กลายเป็นหุบเขาที่มีพื้นหุบเขาค่อนข้างราบเรียบ ส่วนบริเวณที่เป็นชั้นหินแข็ง ได้แก่ ชั้นหินทรายควอทซ์สีขาวของหน่วยหินพระวิหาร และชั้นหินทรายเนื้อค่อนข้างละเอียดที่มีชั้นหินซิลท์ และหินดินดานสลับแต่เพียงบาง ๆ ของหน่วยหินภูพาน มีความทนทานต่อการสึกกร่อนมาก อัตราการพังทะลายจึงน้อยกว่าลักษณะที่ปรากฏ จึงเป็นเนินสูงเด่น (eminent) ผลจากการกัดเซาะพังทะลายชั้นหินที่มีความทนทานน้อยบริเวณพื้นหุบเขา ซึ่งเป็นส่วนฐานของสันเขาดังกล่าว ประกอบกับความเอียงของชั้นหินแข็งซึ่งรองรับอยู่ ทำให้การกัดเซาะที่ฐานของสันเขาเป็นไปอย่างรวดเร็ว และส่งผลถึงการพังทะลายบนพื้นที่ลาดเอียงด้านข้างหุบเขาส่วนนี้ด้วย และส่วนบนสุดที่เป็นชั้นหินแข็ง เมื่อชั้นหินที่รองรับอยู่เบื้องล่างถูกพังทะลายไปก็ไม่อาจทานน้ำหนักของตัวเองได้ จึงพังทะลายลงมา พื้นที่ส่วนนี้มีลักษณะเป็นผาชัน ดังที่ปรากฏโดยทั่วไปในบริเวณที่ศึกษา การกัดเซาะที่ฐาน การพังทะลายด้านข้างและการหักพังบริเวณส่วนบนของพื้นที่ลาดเอียงนี้จะเกิดขึ้นต่อเนื่องกัน และมีอิทธิพลต่อกัน ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายเศษดิน–หินบนพื้นที่ลาดเอียง เพื่อรักษาสมดุลย์ของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ลักษณะไหล่เขาด้านนี้จึงมีความลาดเอียงใกล้เคียงกัน จากการสำรวจครั้งนี้พบว่า ไหล่เขาด้านผาชันที่เป็นชั้นหินหน่วยหินภูพาน มีความลาดเอียงเฉลี่ยประมาณ 46.5 เปอร์เซ็นต์ โดยมีความเบี่ยงเบนมาตรฐานของความลาดเอียงประมาณ 7.5 เท่านั้น ส่วนไหล่เขาด้านหลัง (back slope) การกัดกร่อนทำลายผิวหน้าจะเกิดขึ้นค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดพื้นที่ เพราะเป็นชนิดหินแข็งชนิดเดียวกันแผ่กระจายอย่างราบเรียบโดยมีความลาดเทเล็กน้อย ตามแนวมุมเทของชั้นหิน จากการสำรวจพบว่า ความลาดเอียงของไหล่เขาด้านหลังโดยเฉลี่ยประมาณ 4.4 เปอร์เซ็นต์ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของความลาดเอียงประมาณ 1.4

พัฒนาการของพื้นที่บริเวณขอบด้านตะวันตกเฉียงใต้ของแอ่งโคราชนี้ จะสัมพันธ์กับการพัฒนาระบบระบายน้ำ เมื่อชั้นหินเกิดการคดโค้งใหม่ ๆ เนินลาดที่เป็นแขนของรอยคดโค้งรูปประทุนคว่ำบังคับทิศทางการไหลของลำน้ำไปตามมุมเทของชั้นหินลงสู่ที่ต่ำบริเวณรอยคดโค้งรูปประทุนหงาย แกนกลางของรอยคดโค้งรูปประทุนหงาย จะมีลำน้ำตามแนวระดับ

(subsequent stream) ไหลตามแนวแกนไปสู่ที่ต่ำกว่าอีกทอดหนึ่ง ลำตะคอง ลำพระเพลิง และลำมูลบน มีคุณลักษณะที่พอจะจัดเป็นลำน้ำตามแนวเทได้ เพราะมีร่องรอยการไหลจากส่วนยอดของรอยคดโค้งเดิมลงมาตามเนินลาดตามแนวมุมเทของชั้นหิน ลงไปรวมเป็นแม่น้ำมูล แล้วไหลไปทางตะวันออก ลำตะคองน่าจะมีวิวัฒนาการมาก่อนลำน้ำสายอื่น เพราะสภาพปัจจุบันได้แสดงขอบเขตลุ่มน้ำอย่างกว้างขวาง และลำน้ำบริเวณต้นน้ำตั้งแต่เหนืออ่างเก็บน้ำลำตะคองขึ้นไปได้กัดเซาะชั้นหินลงถึงชั้นหินปูนยุคเพอร์เมียน ของกลุ่มหินราชบุรี และบริเวณอ่างเก็บน้ำลำตะคอง ลำน้ำก็ได้กัดเซาะลงถึงชั้นหินหน่วยหินภูกระดึง ในขณะที่ลำพระเพลิงตรงอ่างเก็บน้ำลำพระเพลิงได้กัดเซาะลงถึงชั้นหิน หน่วยหินพระวิหารตอนล่างเท่านั้น ลำน้ำตามแนวเทจะกัดเซาะในทางลึกมากกว่าการกัดเซาะด้านข้าง เพราะน้ำที่ไหลตามความลาดเท มีความเร็วค่อนข้างสูง ลักษณะหุบเขาจึงแคบและลึก ในขณะที่ลำน้ำตามแนวเทได้พัฒนาไปนั้น พื้นผิวตามแนวระดับของชั้นหิน (strike) ก็ถูกกัดเซาะพังทะลายไปด้วย และเริ่มมีลำน้ำที่ไหลตามแนวระดับของชั้นหิน (subsequent stream) เกิดขึ้น เมื่อการกัดเซาะตามแนวระดับได้ดำเนินถึงชั้นหินที่อ่อนกว่า การพังทะลายก็จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและกว้างขวาง ในขณะที่ลำน้ำตามแนวเทซึ่งไหลไปตามความลาดเทของพื้นที่จะกัดเซาะในทางลึกมากกว่า และเมื่อผ่านลงถึงชั้นหินอ่อนก็ไม่มีบทบาทในการพังทะลายมากนัก เพราะการกัดเซาะในทางลึกของลำน้ำตามแนวเขาจะถูกจำกัดโดยระดับฐานท้องถิ่น (local base-level) ซึ่งมีชั้นหินแข็งเป็นตัวควบคุมอยู่ การกัดเซาะพังทะลายของลำน้ำตามแนวระดับในแต่ละบริเวณ ต่างก็ขยายขอบเขตออกไป ในไม่ช้าพื้นที่ก็จะมาประชิดกัน กลายเป็นหุบเขาต่อเนื่องกันเป็นแนวยาว

ลำน้ำตามแนวระดับมีบทบาทในการพังทะลายด้านข้างหุบเขา โดยเฉพาะด้านที่มีชั้นหินแข็งวางตัวซ้อนอยู่ข้างบน และได้พัฒนาลำน้ำสาขาที่ไหลจากหุบเขาด้านนี้ ในลักษณะที่ย้อนมุมเทของชั้นหินลงมาตามความลาดเอียงของพื้นที่ที่เกิดจากการพังทะลาย เรียกลำน้ำชนิดนี้ว่า ลำน้ำย้อนแนวเท (obsequent stream) ซึ่งมีอิทธิพลต่อการสึกกร่อนพังทะลายด้านที่เป็นผาชันของชั้นหินแข็งมาก หุบเขาด้านตรงข้ามจะมีความลาดเทน้อย เพราะมีชั้นหินแข็งที่วางตัวเป็นมุมเอียงเล็กน้อยรองรับอยู่ และได้พัฒนาลำน้ำสาขาที่ไหลตามความลาดเทลงสู่หุบเขาตามแนวระดับ เรียกลำน้ำ

สาขานี้ว่า ลำน้ำตามแนวเทบนไหล่เขาด้านหลัง (resequent stream) เมื่อการพัฒนาของลำน้ำทั้งสองได้เกิดขึ้นต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลานาน ๆ จะทำให้ลำน้ำย้อนแนวเทบนไหล่เขาด้านหน้ากับลำน้ำตามแนวเทบนไหล่เขาด้านหลัง ที่มีสันปันน้ำ (divide) ร่วมกัน พัฒนามาประชิดกัน เกิดเป็นช่องเขาน้ำกัด (watergap) ขนาดใหญ่ ดังที่ปรากฏโดยทั่วไปในบริเวณที่ศึกษา พัฒนาการของลำน้ำทั้งสองนี้เป็นตัวการสำคัญที่ทำให้แนวสันเขาซึ่งเคยต่อเนื่องกันเป็นแนวยาว ถูกแบ่งออกเป็นเนินเขาเดี่ยว (isolate hill) จำนวนมาก เมื่อลำน้ำย้อนแนวเขาบนไหล่เขาด้านหน้ากับลำน้ำตามแนวเทบนไหล่เขาด้านหลังพัฒนามาประชิดกัน ระดับของหุบเขาที่สูงต่ำไม่เท่ากัน เนื่องจากแรงกัดเซาะของลำน้ำทั้งสองมีไม่เท่ากันนั้น จะทำให้น้ำจากลำน้ำที่ไหลอยู่ในระดับสูงกว่าไหลกลับมาลงสู่ลำน้ำที่ไหลในระดับต่ำกว่า และส่วนยอมของลำน้ำก็เปลี่ยนทิศทางมาผนวกกับลำน้ำที่ไหลในระดับต่ำกว่าด้วย จึงเกิดเป็นลักษณะลำธารหลงแม่ (beheaded) ในพื้นที่ที่ผู้วิจัยสำรวจ แม้ว่าลำน้ำย้อนแนวเขาจะมีการกัดเซาะในอัตราที่เร็วกว่าก็ตาม แต่ผลจากความเอียงของชั้นหิน ทำให้ลำน้ำตามแนวเทบนไหล่เขาด้านหลังมีอัตราการกัดเซาะในทางลึกค่อนข้างสูงและสม่ำเสมอ จึงมีแนวโน้มที่แสดงบทบาทในการระบายน้ำได้ดีกว่าลำน้ำย้อนแนวเท ซึ่งต้องอาศัยลำน้ำตามแนวระดับเป็นตัวระบายลงสู่ลำน้ำตามแนวเทสายหลักอีกครั้งหนึ่ง ดังจะสังเกตได้จากการที่ลำน้ำตามแนวเทบนไหล่เขาด้านหลังแผ่สาขารุกล้ำมาถึงด้านหน้าของแนวสันเขำ ซึ่งเป็นบริเวณที่ลำน้ำย้อนแนวเทควรจะมีบทบาทมากกว่า ตัวอย่างเช่นบริเวณห้วยบง ระหว่างภูลำใยกับภูดงช้าง ตรงเขตแดนอำเภอปักธงชัย กับอำเภอครบุรี เป็นต้น แต่ลักษณะดังกล่าวโดยทั่ว ๆ ไปแล้ว ยังปรากฏไม่ชัดเจนนัก จะต้องอาศัยปัจจัยทางด้านระยะเวลาเป็นเครื่องพิสูจน์ข้อเท็จจริงของการพัฒนาทางธรณีสัณฐานในลักษณะดังกล่าว

วิวัฒนาการทางธรณีสัณฐานของภูมิประเทศบริเวณขอบด้านตะวันตกเฉียงใต้ ดังที่ได้กล่าวมานี้ ยังคงดำเนินต่อไป การที่ได้ศึกษาลักษณะธรณีสัณฐานที่ปรากฏในสภาพปัจจุบัน จึงเป็นประจักษ์พยานที่สำคัญที่จะทำให้ทราบถึงวิวัฒนาการที่เป็นมาในอดีต และสามารถประเมินความเป็นไปในอนาคตได้ ถ้าหากปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการพัฒนาดังกล่าวยังมีบทบาทอยู่เช่นเดิม และไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากแรงกระทำภายในโลกที่จะมาขัดขวาง (interrupted)

การอธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงทางธรณีสัณฐานที่จะเกิดขึ้นต่อไป โดยเฉพาะส่วนที่เป็นเควสต้า ซึ่งเป็นสัณฐานทางโครงสร้างหินนั้น สามารถนำเอากฎเกณฑ์เกี่ยวกับการสลักเสลาพื้นผิวโลก (land sculpture) ของกิลเบอร์ต (Gilbert. 1877) เช่น The Law of Uniform Slope, The Law of Structure, The Law Divides และ The Law of Equal Declivities มาประยุกต์ใช้ได้ และจากผลการวิจัยครั้งนี้ นอกจากจะทำให้ทราบถึงองค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้าโดยตรงแล้ว ยังทำให้สามารถทำนายรูปร่างและขนาดของเควสต้าในอนาคตได้ เพียงแต่ทราบคุณลักษณะบางประการของธรณีสัณฐานที่เปลี่ยนไปเท่านั้น

2. ลักษณะธรณีสัณฐานที่มีความสัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้า

2.1 แนวความคิดและหลักเกณฑ์ในการวิเคราะห์

ลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้าที่ปรากฏโดยทั่วไปบริเวณขอบด้านตะวันตกเฉียงใต้ของแอ่งโคราชนั้น เป็นผลจากการสึกกร่อนพังทะลายของชั้นหินที่มีโครงสร้างแบบรอยคดโค้ง (folding) ซึ่งชั้นหินที่ประกอบเป็นแขนทั้งสองด้านมีความเอียงเทียงเล็กน้อย และมีชั้นหินแข็งและอ่อนวางตัวซ้อนกันอยู่ การสึกกร่อนพังทะลายที่เกิดขึ้นบนชั้นหินดังกล่าวนี้มีอัตราไม่เท่ากัน ทั้งนี้ เนื่องจากผลของความแตกต่างทางด้านความคงทนต่อการสึกกร่อนของชั้นหิน การวางตัวของชั้นหิน ตลอดจน ความแตกต่างทางด้านสภาพแวดล้อม (environment) ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงทางธรณีสัณฐานในแต่ละขั้นตอน การเปลี่ยนแปลงทางธรณีสัณฐานที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวโลกแต่ละแห่งนั้นต่างก็มีแบบแผนในการเปลี่ยนแปลง ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงเชื่อว่า ภูมิประเทศแบบเควสต้า ซึ่งถือเป็นประจักษ์พยานทางภูมิประเทศ (evidence of topography) ที่สำคัญนั้นน่าจะมีแบบแผนความสัมพันธ์อย่างเป็นระบบกับลักษณะธรณีสัณฐานที่ประกอบขึ้นเป็นสภาวะแวดล้อมในบริเวณนั้น ๆ และความสัมพันธ์ดังกล่าวจะสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลทางภูมิศาสตร์

เพื่อทดสอบแนวคิดดังกล่าวนี้ ผู้วิจัยจึงได้นำผลการศึกษาลักษณะธรณีสัณฐานบริเวณขอบด้านตะวันตกเฉียงใต้ของแอ่งโคราช ที่ได้จากการตรวจสอบภาคสนาม และจากการวัดและคำนวณจากแผนที่ภูมิประเทศ จำนวน 30 ตัวอย่าง มาวิเคราะห์ทางสถิติ เริ่มจากการพิจารณาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายใน ระหว่างลักษณะธรณีสัณฐานดังกล่าว เพื่อดูพื้นฐานความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะ

ตาราง 1 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในระหว่างลักษณะธรณีสัณฐาน 15 ลักษณะ

	RSD	RST	ROW	RCA	VFA	VFW	VFS	VAD	SSD	CSD	RCH	DSS	ESS	DSL	ESL
RSD	1.0000	0.0442	0.0315	0.0340	-0.0785	0.5604**	0.0846	0.4816**	-0.0181	0.1981	0.0174	0.7663**	0.0152	-0.6362**	0.0321
RST		1.0000	0.8617**	0.8788**	-0.1989	-0.3250	0.2096	-0.2255	-0.4655**	-0.2238	0.9986**	0.2824	0.0842	0.6211**	0.9015**
ROW			1.0000	0.6972**	-0.2458	-0.1687	0.0053	-0.0614	-0.1933	-0.2299	0.8423**	0.1621	-0.4174*	0.5531**	0.9963**
RCA				1.0000	0.1948	-0.5642**	0.5324**	-0.5072**	-0.6059**	0.1477	0.8844**	0.2540	0.2218	0.5179**	0.7414**
VFA					1.0000	-0.5546**	0.4805**	-0.5474**	-0.3274	0.7511**	-0.1879	-0.1282	0.1536	-0.1260	-0.2417
VFW						1.0000	-0.5474**	0.9350**	0.5566**	-0.3709*	-0.3513	0.3937*	-0.2920	-0.5778**	-0.2004
VFS							1.0000	-0.5639**	-0.7801**	0.5153**	0.2191	0.1819	0.3944*	0.0151	0.0397
VAD								1.0000	0.5156**	-0.5321**	-0.2519	0.4350*	-0.3518	-0.5214**	-0.0922
SSD									1.0000	-0.1600	-0.4807**	-0.1584	-0.4842**	-0.3302	-0.2432
CSD										1.0000	-0.2230	-0.0225	0.1066	-0.2874	-0.2326
RCH											1.0000	0.2679	0.1206	0.6372**	0.8848**
DSS												1.0000	0.1408	-0.5414**	0.1833
ESS													1.0000	0.0456	-0.3385
DSL														1.0000	0.5772**
ESL															1.0000

**มีนัยสำคัญที่ระดับ .01

*มีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ธรณีสัณฐานแต่ละลักษณะ จากนั้นจึงนำค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในดังกล่าวมาสกัดความแปรปรวนสำหรับลักษณะธรณีสัณฐานแต่ละลักษณะให้ได้มากที่สุด โดยวิธีสกัดองค์ประกอบเพื่อลดจำนวนลักษณะธรณีสัณฐานให้เหลือน้อยที่สุด ที่มีค่าความแปรปรวนสูงสุด

1.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะธรณีสัณฐานที่สัมพันธ์กับภูมิประเทศแบบเคาสต้า

ผลการวิเคราะห์จากตารางหนึ่งพบว่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในระหว่างลักษณะธรณีสัณฐานทั้ง 15 ลักษณะ มีทั้งทางบวกและทางลบ และมีค่าแตกต่างกัน โดยมีพิสัยตั้งแต่ 0.0053 ถึง 0.9988 แสดงให้เห็นว่าลักษณะธรณีสัณฐานบางลักษณะมีความสัมพันธ์กันสูง เมื่อลักษณะธรณีสัณฐานเหล่านี้มีการพัฒนาก็จะส่งผลถึงกัน และในทางตรงข้าม ลักษณะธรณีสัณฐานบางลักษณะมีความสัมพันธ์กันต่ำ แสดงให้เห็นถึงความเป็นอิสระจากกันในการพัฒนาเปลี่ยนแปลง

เมื่อพิจารณาลักษณะธรณีสัณฐานที่มีความสัมพันธ์กัน พบว่า แนวโน้มของกราฟสัมพันธ์ในระดับสูง มีมากกว่าความสัมพันธ์ในระดับปานกลาง ซึ่งทำให้สามารถแยกลักษณะธรณีสัณฐานที่มีความสัมพันธ์กันสูง และลักษณะธรณีสัณฐานที่มีความสัมพันธ์กันต่ำออกจากกันได้อย่างชัดเจน เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะธรณีสัณฐานแต่ละลักษณะกับลักษณะธรณีสัณฐานอื่นพบว่า ระดับสูงของแนวสันหิน ความกว้างของพื้นหุบเขา ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา และความยาวด้านลาดเอียงมุมเท มีความสัมพันธ์กับลักษณะธรณีสัณฐานอื่นมากที่สุดถึงเก้าลักษณะ รองลงมาได้แก่ ความลาดเอียงของพื้นหุบเขา และระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ มีความสัมพันธ์กับลักษณะธรณีสัณฐานอื่น เจ็ดลักษณะ ความหนาของชั้นหิน ความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน และความสูงของแนวสันหิน มีความสัมพันธ์กับลักษณะธรณีสัณฐานอื่น หกลักษณะ ความยาวด้านผาชันมีความสัมพันธ์กับลักษณะธรณีสัณฐานอื่น ห้าลักษณะ ความเอียงของชั้นหิน ระดับสูงของพื้นหุบเขา ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวเท และความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท มีความสัมพันธ์กับลักษณะธรณีสัณฐานอื่น สี่ลักษณะ และความลาดเอียงด้านผาชัน มีความสัมพันธ์กับลักษณะธรณีสัณฐานอื่นน้อยที่สุด เพียงสามลักษณะ จำนวนความสัมพันธ์กับลักษณะธรณีสัณฐานอื่นนี้ แสดงถึงแนวโน้มในการมีบทบาทร่วมกันระหว่างลักษณะธรณีสัณฐานแต่ละลักษณะกับลักษณะธรณีสัณฐานอื่น ในการอธิบายสิ่งใดสิ่งหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตาม ในขั้นตอนนี้เรายังไม่สามารถประเมินบทบาทที่แท้จริงของลักษณะธรณีสัณฐานแต่ละลักษณะที่มีต่อลักษณะภูมิประเทศแบบเคาสต้าได้ ผู้วิจัยจึงได้นำค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในระหว่างลักษณะธรณีสัณฐานดังกล่าว มาสกัดความแปรปรวนสำหรับลักษณะธรณีสัณฐานแต่ละลักษณะให้ได้มากที่สุด ผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังตารางสอง

ตาราง 2 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะธรรมชาติพื้นฐานกับองค์ประกอบ

variable	pattern coefficient				communality
	F.1	F.2	F.3	F.4	
RSD	.0429	.0468	.9241	-.0035	.8581
RST	.9638	.0869	.0011	.2194	.9846
ROW	.9577	.0670	-.0095	-.0724	.9949
RCA	.8547	.3208	-.0068	.3302	.9426
VFA	-.1611	.8704	-.0938	.0893	.8004
VFW	-.3002	-.5808	.6155	-.3438	.9295
VFS	.1922	.6460	.0992	.5602	.7780
VAD	-.2053	-.6447	.5867	-.3530	.9268
SSD	-.3960	-.3502	.0306	-.6961	.7650
CSD	-.1712	.9105	.1182	-.0145	.8726
RCH	.9537	-.0859	-.0243	.2530	.9816
DSS	.2354	-.0594	.8928	.1987	.8956
ESS	-.1536	.0309	-.0084	.9208	.8725
DSL	.5991	-.1321	-.7513	.1336	.9588
ESL	.9773	-.0708	-.0104	-.1933	.9977
percentage of variande	38.50	25.80	17.70	9.00	-

ผลการวิเคราะห์จากตารางสอง แสดงให้เห็นว่า ลักษณะธรรมชาติพื้นฐานทุกลักษณะมีคุณสมบัติในการวัดร่วมกับลักษณะธรรมชาติพื้นฐานอื่น ดังจะพิจารณาได้จากค่า communality ซึ่งมีค่าสูงทุกตัว

โดยมีพิสัยอยู่ระหว่าง 0.7650 ถึง 0.9977 ลักษณะธรณีสัณฐานที่แสดงให้เห็นว่ามีความสัมพันธ์กับลักษณะธรณีสัณฐานอื่นต่ำ เช่น ความลาดเอียงด้านผาชัน เมื่อพิจารณาค่า communality พบว่า มีค่าสูงถึง 0.8725 แสดงว่า ความลาดเอียงด้านผาชัน มีส่วนวัดร่วมกับลักษณะธรณีสัณฐานอื่น ลักษณะธรณีสัณฐานที่มีค่า communality ต่ำสุดในกรั้งนี้ คือ ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ ถึงแม้ว่าจะมีค่าไม่ต่ำมากนัก แต่ก็แสดงแนวโน้มให้เห็นว่าระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับนั้นมีส่วนวัดร่วมกับลักษณะธรณีสัณฐานอื่นไม่มากนัก ทั้งนี้ เป็นเพราะเหตุว่า ในบริเวณที่ศึกษานั้น การพัฒนาของลำน้ำตามแนวระดับ ซึ่งเป็นลำน้ำที่ไหลตามแนวระดับของชั้นหิน มีแนวโน้มในการพัฒนาค่อนข้างไม่มีแบบแผนที่เด่นชัด โดยจะสังเกตทิศทางการไหลไม่แน่นอน และมีหลายแห่งที่ลำน้ำตามแนวระดับไม่ได้มีทิศทางการไหลตามแนวระดับของชั้นหิน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ตอนที่ใกล้จะรวมกับลำน้ำตามแนวเทนั้น ลำน้ำตามแนวระดับมักจะไหลไปตามแนวเทของชั้นหินก่อนเสมอ แล้วจึงค่อยไหลรวมกับลำน้ำตามแนวเท ปรากฏการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นเพราะเหตุว่า ปัจจุบันพื้นหุบเขาได้ผ่านการพัฒนามาจนมีความราบเรียบมากขึ้น ความต่างระดับของพื้นหุบเขาแต่ละบริเวณมีน้อยมาก และเริ่มมีตะกอนทับถมบริเวณพื้นหุบเขาเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา ด้วยเหตุนี้ ทำให้ลำน้ำตามแนวระดับซึ่งเคยไหลตามแนวระดับของชั้นหินนั้น เริ่มมีทิศทางการไหลไม่แน่นอน และไม่ได้ถูกควบคุมโดยแนวระดับของชั้นหิน ฉะนั้น ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับไปยังเควสต้าแต่ละแห่ง จึงไม่สามารถถือเป็นกฎเกณฑ์ในการอธิบายภูมิประเทศได้มากนัก

เพื่อตรวจสอบว่าลักษณะธรณีสัณฐานแต่ละลักษณะจะสามารถอธิบายลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้าได้จริงหรือไม่ จึงได้นำเมตริกองค์ประกอบที่หมุนแกนแล้ว (Rotated Factor Matrix) ดังแสดงในตารางสอง มาพิจารณาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะธรณีสัณฐานแต่ละลักษณะกับโครงสร้างองค์ประกอบ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ดังกล่าวนี้เรียกว่า น้ำหนักองค์ประกอบ (factor loading) ผลจากการสกัดความแปรปรวนโดยวิธีสกัดองค์ประกอบพบว่าแต่ละองค์ประกอบนั้นมีลักษณะธรณีสัณฐานที่มีความสัมพันธ์ทั้งทางบวกและทางลบประกอบกันอยู่ และมีน้ำหนักองค์ประกอบในระดับต่างกัน แต่ไม่มีองค์ประกอบใดที่เป็นบวกและลบทั้งหมด รวมทั้งมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบสูงทุกตัว เมื่อทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติของน้ำหนักองค์ประกอบของลักษณะธรณีสัณฐานแต่ละลักษณะ (Child. 1976 : 99) พบว่า ความหนาของชั้นหิน

ความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน ระดับสูงของแนวสันหิน ความสูงของแนวสันหิน ความยาวด้านลาดเอียงมุมเท และความยาวด้านผาชัน เป็นโครงสร้างที่สำคัญขององค์ประกอบที่หนึ่ง ระดับสูงของพื้นหุบเขา ความกว้างของพื้นหุบเขา ความลาดเอียงของพื้นหุบเขา ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา และระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ เป็นโครงสร้างที่สำคัญขององค์ประกอบที่สอง ความเอียงของชั้นหิน ความกว้างของพื้นหุบเขา ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท และความยาวด้านลาดเอียงมุมเท เป็นโครงสร้างสำคัญขององค์ประกอบที่สาม และความลาดเอียงของพื้นหุบเขา ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ และความลาดเอียงด้านผาชัน เป็นโครงสร้างสำคัญขององค์ประกอบที่สี่ จะสังเกตได้ว่า รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะธรณีสัณฐานกับองค์ประกอบเป็นไปในรูปการจัดกลุ่มตัวแปรที่มีคุณลักษณะทางธรรมชาติสัณฐานคล้ายคลึงกันหรือเป็นพวกเดียวกันไว้ด้วยกัน และลักษณะธรณีสัณฐานทั้ง 15 ลักษณะต่างก็ได้รับเลือกเข้าร่วมในกลุ่มตัวแปรดังกล่าว และบางลักษณะ เช่น ความกว้างของพื้นหุบเขา ความลาดเอียงของพื้นหุบเขา ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา และความยาวด้านลาดเอียงมุมเท ได้รับเลือกเป็นโครงสร้างองค์ประกอบถึงสององค์ประกอบ ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าลักษณะธรณีสัณฐานดังกล่าวมีคุณลักษณะที่ไม่เด่นชัดที่จะร่วมกับองค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่งแต่เพียงองค์ประกอบเดียว หรืออีกกรณีหนึ่งเป็นเพราะว่า ลักษณะธรณีสัณฐานดังกล่าว มีความสำคัญและมีบทบาทในทั้งสององค์ประกอบ จนไม่อาจจะเลยองค์ประกอบหนึ่งองค์ประกอบใดไปได้ จากการที่ลักษณะธรณีสัณฐานดังกล่าว เป็นโครงสร้างองค์ประกอบถึงสององค์ประกอบ เป็นผลให้น้ำหนักองค์ประกอบในแต่ละองค์ประกอบต่ำกว่าที่ควรจะเป็น และความสำคัญในองค์ประกอบก็ลดลงด้วย นอกจากนั้น ยังทำให้เกิดปัญหาในการพิจารณาลักษณะที่เป็นเอกลักษณ์ขององค์ประกอบและการตั้งชื่อองค์ประกอบในการตัดสินใจแต่ละครั้ง นอกจากจะพิจารณาได้จากกฎเกณฑ์หรือหลักสถิติ (statistical) แล้วยังต้องคำนึงถึงหลักเหตุผล (rational) ด้วยเสมอ

ผลการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะธรณีสัณฐานแต่ละลักษณะกับองค์ประกอบสรุปได้ดังตารางสาม

ตาราง 3 รูปแบบการจัดกลุ่มของลักษณะธรณีสัณฐานที่เป็นโครงสร้างที่สำคัญขององค์ประกอบ

ลักษณะธรณีสัณฐาน	องค์ประกอบ			
	I	II	III	IV
ความหนาของชั้นหิน	**	-	-	-
ความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน	**	-	-	-
ระดับสูงของแนวสันหิน	**	-	-	-
ความสูงของแนวสันหิน	**	-	-	-
ความยาวด้านผาชัน	**	-	-	-
ความยาวด้านลาดเอียงมุมเท	**	-	**	-
ความเอียงของชั้นหิน	-	-	**	-
ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท	-	-	**	-
ความกว้างของพื้นหุบเขา	-	**	**	-
ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา	-	**	**	-
ระดับสูงของพื้นหุบเขา	-	**	-	-
ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวเท	-	**	-	-
กวามลาดเอียงของพื้นหุบเขา	-	**	-	**
ความลาดเอียงด้านผาชัน	-	-	-	**
ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ	-	-	-	**

** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

จากผลการวิเคราะห์ตามขั้นตอนที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ สรุปได้ว่า ลักษณะธรณีสัณฐาน 15 ลักษณะ ได้แก่ ความเอียงของชั้นหิน ความหนาของชั้นหิน ความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน ระดับสูงของชั้นหิน ระดับสูงของพื้นหุบเขา ความกว้างของพื้นหุบเขา ความลาดเอียงของพื้นหุบเขา ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวเท ความสูงของแนวสันเขา ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท ความลาดเอียงด้านผาชัน ความยาวด้านลาดเอียงมุมเท และความยาวด้านผาชัน มีความสัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้า สอดคล้องตามสมมติฐานข้อหนึ่ง และผลจากการวิเคราะห์ในขั้นตอนนี้ พอจะประเมินได้ว่า กลุ่มของลักษณะธรณีสัณฐานที่รวมกันเป็นองค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้า มีมากกว่าหนึ่งกลุ่ม หรือมีมากกว่าหนึ่งองค์ประกอบ ซึ่งจะได้วิเคราะห์ในรายละเอียดต่อไป

3. องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้า

3.1 แนวความคิดและหลักเกณฑ์ในการวิเคราะห์

จากผลการวิเคราะห์ในตอนสอง ทำให้ทราบว่าองค์ประกอบทางธรณีสัณฐาน ซึ่งเป็นกลุ่มของตัวแปรในลักษณะต่าง ๆ ทางธรณีสัณฐานที่รวมกันอย่างมีแบบแผนนั้น มีมากกว่าหนึ่งองค์ประกอบ การพิจารณาจำนวนองค์ประกอบนั้นดูได้จากค่า eigenvalue ซึ่งแสดงให้ทราบถึงค่าความเป็นองค์ประกอบ ซึ่งได้จากผลบวกกำลังสองของน้ำหนักองค์ประกอบแต่ละตัว ในองค์ประกอบ ค่าความเป็นองค์ประกอบนี้แสดงให้เห็นถึงความพยายามในการสกัดความแปรปรวนสำหรับตัวประกอบแต่ละตัวให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ และจะพิจารณาองค์ประกอบที่มีค่าความเป็นองค์ประกอบมากกว่าหนึ่งเท่านั้น (Herman, 1976 : 169 citing Thomson, 1934) ในการวิเคราะห์ครั้งนี้ได้มีการสกัดองค์ประกอบทั้งหมด 15 ครั้ง และมีเพียงสี่ครั้งเท่านั้นที่ได้ค่าความเป็นองค์ประกอบมากกว่าหนึ่ง นอกจากนั้น ได้ค่าความเป็นองค์ประกอบต่ำกว่าหนึ่ง จึงไม่นำมาพิจารณา

3.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้า

ในตอนสองเราทราบว่า ลักษณะธรณีสัณฐานทั้ง 15 ลักษณะไม่ได้เป็นองค์ประกอบร่วมที่มีอิทธิพลต่อลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้าร่วมกันทุกลักษณะ และเมื่อพิจารณาน้ำหนักองค์ประกอบของลักษณะธรณีสัณฐานแต่ละลักษณะ ในแต่ละองค์ประกอบก็ปรากฏผลเช่นเดียวกัน กล่าวคือ

องค์ประกอบทั้งสองค์ประกอบนั้น ไม่มีองค์ประกอบใดที่มีน้ำหนักองค์ประกอบสูง อย่างมีนัยสำคัญทุกตัวประกอบ และค่าน้ำหนักองค์ประกอบมีทั้งที่เป็นบวกและลบ แสดงถึงความสัมพันธ์ที่มีทั้งทางบวกและทางลบระหว่างลักษณะธรณีสัณฐานกับองค์ประกอบ

องค์ประกอบที่หนึ่ง ลักษณะธรณีสัณฐานทั้ง 15 ลักษณะ มีความแปรปรวนร่วมร้อยละ 38.5 นั่นคือ องค์ประกอบนี้สามารถอธิบายลักษณะภูมิประเทศแบบเคาสต้าได้ร้อยละ 38.5 หรือเป็นอัตราส่วนร้อยละ 42.31 ขององค์ประกอบทั้งสี่ เมื่อพิจารณาค่าน้ำหนักองค์ประกอบพบว่า มีพิสัยอยู่ระหว่าง 0.0429 ถึง 0.9773 ลักษณะธรณีสัณฐานที่สำคัญ ๆ ขององค์ประกอบนี้พิจารณาได้จากน้ำหนักองค์ประกอบ จากการทดสอบน้ำหนักองค์ประกอบ พบว่าลักษณะธรณีสัณฐานที่มีน้ำหนักองค์ประกอบสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 มีหกลักษณะ ได้แก่

ความยาวด้านผาชัน	น้ำหนักองค์ประกอบ	.9773
ความหนาของชั้นหิน	น้ำหนักองค์ประกอบ	.9638
ความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน	น้ำหนักองค์ประกอบ	.9577
ความสูงของแนวสันหิน	น้ำหนักองค์ประกอบ	.9537
ระดับสูงของแนวสันหิน	น้ำหนักองค์ประกอบ	.8547
และ ความยาวด้านลาดเอียงมุมเท	น้ำหนักองค์ประกอบ	.5991

เมื่อพิจารณาลักษณะของลักษณะธรณีสัณฐานที่เป็นโครงสร้างสำคัญขององค์ประกอบที่หนึ่ง จะเห็นว่าส่วนใหญ่มุ่งอธิบายรูปทรงสัณฐานของชั้นหินในมิติต่าง ๆ เช่น ความยาวด้านผาชันเป็นมิติเกี่ยวกับขนาดหรือระยะทางที่วัดตามความลาดเอียงด้านผาชัน จากจุดสูงสุดของแนวสันหินลงมาถึงจุดต่ำสุดด้านผาชัน ตรงบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงความลาดเอียงมากที่สุด (อาจเป็นบริเวณ breaks of slope หรือ changes of slope ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับลักษณะความลาดเอียงแต่ละแห่ง) ความหนาของชั้นหินเป็นมิติเกี่ยวกับขนาดของชั้นหิน ซึ่งวัดจากส่วนบนสุดของด้านผาชัน ตั้งฉากกับมุมเทของชั้นหิน ลงมาถึงฐานของชั้นหิน ความกว้างของผิวหน้าชั้นหินเป็นมิติเกี่ยวกับระยะทาง ซึ่งวัดในแนวระนาบจากส่วนบนสุดด้านผาชันถึงจุดต่ำสุดด้านผาชัน

ความสูงของแนวสันหิน เป็นมิติเกี่ยวกับความสูง ซึ่งเป็นระยะทางในแนวดิ่งหรือแนวยืน จากแนวระดับที่ฐานของชั้นหิน ถึงจุดสูงสุดของแนวสันหิน ระดับสูงของแนวสันหิน เป็นมิติที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับความสูง หากแต่วัดจากระดับน้ำทะเลขึ้นมาถึงจุดสูงสุดของแนวสันหิน ความยาวด้านลาดเอียงมุมเท เป็นมิติเกี่ยวกับระยะทางที่วัดตามความลาดเอียงจากจุดสูงสุดของแนวสันหินถึงฐานของชั้นหินด้านลาดเอียงมุมเท ณ ระดับเดียวกับฐานด้านผาชัน จะสังเกตได้ว่าลักษณะธรณีสัณฐานส่วนใหญ่อธิบายเกี่ยวกับขนาด ความยาว ความหนา ความกว้าง ความสูง ซึ่งเป็นส่วนประกอบของรูปทรงสัณฐานของชั้นหิน ถึงแม้ว่าในทางปฏิบัติเราไม่สามารถวัดลักษณะธรณีสัณฐานบางลักษณะกับชั้นหินได้โดยตรง เนื่องจากมีชั้นดินและเศษหินปกคลุมอยู่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณส่วนฐานของชั้นหิน จึงไม่สามารถติดตามชั้นหินโดยละเอียดได้ จึงได้ใช้วิธีประเมินรวมชั้นหินที่ปกคลุมเข้าไปด้วย ซึ่งเป็นเหตุให้ค่าที่วัดได้คลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง ส่วนลักษณะธรณีสัณฐานอีกลักษณะหนึ่ง คือ ระดับสูงของแนวสันหิน ถึงแม้ลักษณะธรณีสัณฐานดังกล่าวจะอธิบายเกี่ยวกับชั้นหิน แต่ไม่ได้เป็นลักษณะทางด้านรูปทรงสัณฐาน จึงมีคุณลักษณะที่แตกต่างออกไป และมีความสำคัญมากในองค์ประกอบนี้ เพราะค่าน้ำหนักองค์ประกอบสูงถึง 0.8547 จากเหตุผลที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ สรุปได้ว่า ลักษณะธรณีสัณฐานที่เป็นโครงสร้างสำคัญขององค์ประกอบที่หนึ่งนั้นมุ่งอธิบายชั้นหินในส่วนที่เกี่ยวกับรูปทรงสัณฐานทางเรขาคณิต (morphometry) และในขณะเดียวกัน ระดับสูงของชั้นหินจากระดับน้ำทะเลเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการพัฒนาทางธรณีสัณฐาน องค์ประกอบนี้จึงควรได้ชื่อว่า องค์ประกอบรูปทรงสัณฐานทางเรขาคณิตและระดับสูงของชั้นหิน (Morphometry and altitude of rock strata factors)

องค์ประกอบที่สอง ลักษณะธรณีสัณฐานทั้ง 15 ลักษณะ มีความแปรปรวนร่วมร้อยละ 25.8 นั่นคือ องค์ประกอบนี้สามารถอธิบายลักษณะภูมิประเทศแบบเคาสต้าได้ร้อยละ 25.8 หรือเป็นอัตราส่วนร้อยละ 28.35 ขององค์ประกอบทั้งสี่ เมื่อพิจารณาน้ำหนักองค์ประกอบจะพบว่ามีพิสัยอยู่ระหว่าง 0.0309 ถึง 0.9105 ลักษณะธรณีสัณฐานที่เป็นโครงสร้างสำคัญขององค์ประกอบที่สอง พิจารณาได้จากน้ำหนักองค์ประกอบ ผลการทดสอบน้ำหนักองค์ประกอบพบว่า ลักษณะ

ธรณีสัณฐานที่มีน้ำหนักองค์ประกอบสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 มีห้าลักษณะ ได้แก่

ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวเท	น้ำหนักองค์ประกอบ	.9105
ระดับสูงของพื้นหุบเขา	น้ำหนักองค์ประกอบ	.8704
ความลาดเอียงของพื้นหุบเขา	น้ำหนักองค์ประกอบ	.6460
ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา	น้ำหนักองค์ประกอบ	-.6447
และ ความกว้างของพื้นหุบเขา	น้ำหนักองค์ประกอบ	-.5808

เมื่อพิจารณาคุณลักษณะของลักษณะธรณีสัณฐานที่เป็นโครงสร้างขององค์ประกอบที่สอง จะเห็นว่าระยะห่างจากลำน้ำตามแนวเท เป็นมิติเกี่ยวกับระยะทางตามแนวระดับ ซึ่งวัดจากลำน้ำตามแนวเท มายังตำแหน่งที่ตั้งของเกวสต้า ซึ่งถือเอาจุดสูงสุดของสันเขาเป็นเกณฑ์ ระดับสูงของพื้นหุบเขา เป็นมิติเกี่ยวกับความสูง ซึ่งวัดจากระดับน้ำทะเลถึงจุดต่ำสุดของพื้นหุบเขา ตรงตำแหน่งที่ลำน้ำตามแนวระดับไหลผ่าน ความลาดเอียงของพื้นหุบเขาเป็นมิติสัมพันธ์ของความสูงหรือความต่างระดับกับระยะทางในแนวราบ ระหว่างจุดต่ำสุดของพื้นหุบเขา กับจุดสูงสุดของพื้นหุบเขา ตรงบริเวณฐานของด้านผาชัน ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขาเป็นมิติเกี่ยวกับระยะทางในแนวราบจากแนวแกนกลางหุบเขามายังตำแหน่งที่ตั้งของเกวสต้า และความกว้างของพื้นหุบเขาก็เป็นมิติเกี่ยวกับระยะทางในแนวราบ ซึ่งวัดในทิศทางตั้งฉากกับแกนกลางหุบเขา จากจุดสูงสุดของพื้นหุบเขาตรงฐานของเกวสต้าด้านผาชัน ไปยังพื้นหุบเขาด้านตรงข้ามที่มีระดับสูงเท่ากัน จะสังเกตได้ว่าธรรมชาติของลักษณะธรณีสัณฐานส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับระยะทางในแนวราบจากตำแหน่งต่าง ๆ มายังเกวสต้า องค์ประกอบนี้จึงมุ่งอธิบายเกี่ยวกับตำแหน่งที่ตั้ง (locality) ของเกวสต้าเป็นสำคัญ แต่อย่างไรก็ตาม มีลักษณะธรณีสัณฐานอีกลักษณะหนึ่งที่ไม่ได้อธิบายตำแหน่งที่ตั้งในแนวราบ แต่อธิบายถึงระดับสูงของพื้นหุบเขาตรงที่เกวสต้าตั้งอยู่ ซึ่งอาจถือเป็นตำแหน่งที่ตั้งในแนวดิ่งก็ได้ และมีความสำคัญในองค์ประกอบนี้มาก เพราะมีน้ำหนักองค์ประกอบสูงถึง .8704 องค์ประกอบนี้จึงเกี่ยวข้องกับระดับสูงของพื้นหุบเขาจากระดับน้ำทะเลเป็นสำคัญ จึงควรได้ชื่อว่า องค์ประกอบตำแหน่งที่ตั้งของเกวสต้าและระดับสูงของพื้นหุบเขา (Locality of cuesta and valley-floor altitude factors)

องค์ประกอบที่สาม ลักษณะธรณีสัณฐานทั้ง 15 ลักษณะ มีความแปรปรวนร่วมร้อยละ 17.7 นั่นคือ องค์ประกอบนี้สามารถอธิบายลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้าได้ร้อยละ 17.7 หรือเป็นอัตราส่วนร้อยละ 19.45 ขององค์ประกอบทั้งสี่ เมื่อพิจารณาน้ำหนักองค์ประกอบจะพบว่ามีพิสัยอยู่ระหว่าง 0.0011 ถึง 0.9241 ลักษณะธรณีสัณฐานที่เป็นโครงสร้างสำคัญขององค์ประกอบที่สาม พิจารณาได้จากน้ำหนักองค์ประกอบ ผลการทดสอบน้ำหนักองค์ประกอบพบว่า ลักษณะธรณีสัณฐานที่มีน้ำหนักองค์ประกอบสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 มีห้าลักษณะ ได้แก่

ความเอียงของชั้นหิน	น้ำหนักองค์ประกอบ	.9241
ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท	น้ำหนักองค์ประกอบ	.8928
ความยาวด้านลาดเอียงมุมเท	น้ำหนักองค์ประกอบ	.7513
ความกว้างของพื้นหุบเขา	น้ำหนักองค์ประกอบ	.6155
และ ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา	น้ำหนักองค์ประกอบ	.5807

จะสังเกตได้ว่า ความเอียงของชั้นหิน ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท และความยาวด้านลาดเอียงมุมเท เป็นลักษณะธรณีสัณฐานที่เกี่ยวข้องกับการวางตัวของชั้นหิน (structural attitude) เป็นสำคัญ กล่าวคือ ความเอียงของชั้นหินเป็นลักษณะที่วัดได้จากมุมเท (dip) ของชั้นหิน ส่วนความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท (dip-slope slope) และความยาวด้านลาดเอียงมุมเท (dip-slope length) ก็เป็นผลจากการวางตัวของโครงสร้างชั้นหินเป็นสำคัญ องค์ประกอบนี้จึงเกี่ยวข้องกับโครงสร้างการวางตัวของชั้นหิน (structural attitude)แต่ในขณะเดียวกัน ความกว้างของพื้นหุบเขาและระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา ซึ่งแสดงถึงการเปิดกว้าง (broading) ของหุบเขา จากการที่ชั้นหินถูกกัดกร่อนพังทะลายและถูกพัดพาไปที่อื่น ก็มีบทบาทสำคัญในการกำหนดรูปร่างและขนาดของเควสต้าด้วย ฉะนั้น รูปร่างและขนาดของเควสต้า นอกจากจะได้รับอิทธิพลจากโครงสร้างการวางตัวของชั้นหิน แล้วยังขึ้นอยู่กับการขยายขอบเขตของหุบเขาอีกด้วย องค์ประกอบนี้จึงควรได้ชื่อว่า องค์ประกอบโครงสร้างการวางตัวของชั้นหิน และความกว้างของพื้นหุบเขา (Structural attitude and valley-floor width factors)

องค์ประกอบที่สี่ ลักษณะธรณีสัณฐานทั้ง 15 ลักษณะ มีความแปรปรวนร่วมร้อยละ 9.0 นั่นคือ องค์ประกอบนี้สามารถอธิบายลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้าได้ร้อยละ 9.0 หรือเป็นอัตราส่วนร้อยละ 9.89 ขององค์ประกอบทั้งสี่ เมื่อพิจารณาน้ำหนักองค์ประกอบจะพบว่า มีพิสัยอยู่ระหว่าง -0.0035 ถึง 0.9208 ลักษณะธรณีสัณฐานที่เป็นโครงสร้างสำคัญขององค์ประกอบที่สี่ พิจารณาได้จากน้ำหนักองค์ประกอบ จากผลการทดสอบน้ำหนักองค์ประกอบพบว่า ลักษณะธรณีสัณฐานที่มีน้ำหนักองค์ประกอบสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 มีสามลักษณะ ได้แก่

ความลาดเอียงด้านผาชัน	น้ำหนักองค์ประกอบ	.9208
ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ	น้ำหนักองค์ประกอบ	.6961
และ ความลาดเอียงของพื้นหุบเขา	น้ำหนักองค์ประกอบ	.5602

จะสังเกตได้ว่า ลักษณะธรณีสัณฐานที่เป็นโครงสร้างขององค์ประกอบที่สี่นี้ จะเกี่ยวข้องกับหุบเขาในมิติที่เกี่ยวกับความลาดเอียง ซึ่งเป็นผลของความสูงหรือความต่างระดับกับระยะทางในแนวราบ เช่น ความลาดเอียงด้านผาชันเป็นผลของอัตราส่วนของความสูงต่างต่อระยะทางในแนวราบ ระหว่างจุดสูงสุดของด้านผาชันกับฐานของด้านผาชัน ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับเป็นมิติเกี่ยวกับระยะทางในแนวราบ จากลำน้ำตามแนวระดับมาถึงตำแหน่งของเควสต้า ซึ่งถือเอาจุดสูงสุดของด้านผาชันเป็นเกณฑ์ และความลาดเอียงของพื้นหุบเขาเป็นผลของอัตราส่วนของความสูงต่างต่อระยะทางแนวราบ ระหว่างจุดสูงสุดของพื้นหุบเขา ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกับฐานของด้านผาชัน กับจุดต่ำสุดของพื้นหุบเขาตรงตำแหน่งที่ลำน้ำตามแนวระดับไหลผ่านนั่นเอง ทั้งความลาดเอียงด้านผาชัน ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ และความลาดเอียงของพื้นหุบเขาต่างก็มุ่งอธิบายลักษณะด้านข้างหุบเขา (valley-side) ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับความลาดเอียงของพื้นที่ตั้งแต่จุดสูงสุดด้านผาชัน ซึ่งถือเป็นสันปันน้ำ (devide) ของหุบเขา ลงมาจนถึงลำน้ำตามแนวระดับ (subsequent stream) ซึ่งไหลผ่านหุบเขาด้านหน้าของเควสต้า สำหรับความลาดเอียงด้านผาชันนั้นมีความสัมพันธ์กับระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับค่อนข้างสูง การเปลี่ยนแปลงความลาดเอียงด้านผาชันของเควสต้า ส่วนหนึ่งจึงเป็นผลจากการกระทำของลำน้ำตามแนวระดับ ฉะนั้น องค์ประกอบนี้จึงควรได้ชื่อว่า องค์ประกอบความลาดเอียงด้านข้างหุบเขา

และระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ (Valley-side slope and distance from subsequent stream factors)

เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทั้งสี่จะพบว่า องค์ประกอบรูปทรงสัณฐานทางเรขาคณิตและระดับสูงของชั้นหิน มีค่าความเป็นองค์ประกอบสูงที่สุด ซึ่งหมายความว่า การจัดกลุ่มลักษณะธรณีสัณฐานตามแบบขององค์ประกอบที่หนึ่งนี้ จะสามารถอธิบายภูมิประเทศแบบเควสต้าได้มากที่สุด รองลงมา คือ องค์ประกอบตำแหน่งที่ตั้งของเควสต้าและระดับสูงของพื้นหุบเขา องค์ประกอบโครงสร้างการวางตัวของชั้นหินและความกว้างของพื้นหุบเขา องค์ประกอบความลาดเอียงด้านข้างหุบเขา และระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ โดยที่องค์ประกอบทั้งสี่ อธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 38.5, 25.8, 17.7 และ 9.0 คิดเป็นสัดส่วน 4.23 : 2.83 : 1.95 : 0.99 หรือประมาณ 4 : 3 : 2 : 1 เมื่อรวมทั้งสี่องค์ประกอบแล้วสามารถอธิบายลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้าได้ร้อยละ 91 ซึ่งมีน้ำหนักพอที่จะสรุปได้ว่า องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้าบริเวณขอบด้านตะวันตกเฉียงใต้ของแอ่งโคราชมีมากกว่าหนึ่งองค์ประกอบ สอดคล้องตามสมมติฐานข้อสอง

อนึ่ง ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบในครั้งนี้จะสังเกตได้ว่า ตัวประกอบที่อธิบายเกี่ยวกับระดับสูง ซึ่งเป็นความต่างระดับจากระดับน้ำทะเลปานกลาง (mean sea-level) ได้แสดงบทบาทที่สำคัญถึงสององค์ประกอบ คือในองค์ประกอบที่หนึ่งกับองค์ประกอบที่สอง คุณลักษณะดังกล่าวนี้จึงเป็นหลักฐานที่ยืนยันได้ว่า ความสูงจากระดับน้ำทะเล ซึ่งถือเป็นระดับฐานของการสึกกร่อนพังทะลาย (base-level) นั้นมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาภูมิประเทศ ฉะนั้น การพัฒนาภูมิประเทศที่กำลังดำเนินอยู่บนพื้นผิวโลกตลอดระยะเวลานั้น นอกจากจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ตรวจสอบได้บนพื้นผิวโลกแล้ว ยังเกี่ยวข้องกับความต่างระดับของภูมิประเทศจากระดับฐานอีกด้วย นอกจากนั้น ผลการวิเคราะห์ที่พบว่าองค์ประกอบทางด้านรูปทรงสัณฐานทางเรขาคณิตของชั้นหิน มีความสำคัญในการอธิบายภูมิประเทศแบบเควสต้ามากที่สุด ทำให้เชื่อมั่นได้ว่าภูมิประเทศแบบเควสต้านั้นเป็นผลมาจากการถูกกัดกร่อนพังทะลายของชั้นหินอย่างมีแบบแผน และมีเหตุผลเพียงพอที่จะกล่าวได้ว่า เควสต้าบริเวณขอบด้านตะวันตกเฉียงใต้ของแอ่งโคราชนั้น

เป็นผลจากลักษณะธรณีสัณฐานทางโครงสร้างหิน (Structural landform) เช่นเดียวกับเควสต้าอีกหลายแห่งที่ปรากฏในภูมิภาคต่าง ๆ ของโลก

4. การพยากรณ์รูปลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้า

4.1 แนวความคิดและหลักเกณฑ์ในการวิเคราะห์

ผลการวิเคราะห์ในตอนสาม ทำให้ทราบถึงองค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อภูมิประเทศแบบเควสต้าในลักษณะโดยส่วนรวม กล่าวคือเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบนั้นเป็นเครื่องมือที่ช่วยค้นหาคำตอบจากข้อสงสัยทางภูมิศาสตร์ที่ว่า ภูมิประเทศแบบเควสต้าที่กระจายอยู่ในพื้นที่บริเวณขอบด้านตะวันตกเฉียงใต้ของแอ่งโคราชนั้น มีองค์ประกอบทางธรณีสัณฐานชนิดใดบ้างที่เป็นตัวควบคุมอยู่ แต่เนื่องจากภูมิประเทศแบบเควสต้านั้น มีรูปทรงสัณฐานที่ปรากฏเป็นโครงสร้างภายนอกหลายลักษณะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่นักธรณีสัณฐานสนใจกันมาก ได้แก่ ความลาดเอียงของพื้นผิวภูมิประเทศ (surface slope) ซึ่งเกิดขึ้นบนชั้นหินที่ได้รับการสึกกร่อนพังทะลายต่างกัน เป็นผลให้เกิดลักษณะความลาดเอียงไม่สมมาตร (slope aymmetry) ระหว่างแขนสองด้าน ซึ่งประกอบเป็นภูมิภาพแบบเควสต้า คือ ด้านหน้าหรือด้านผาชัน (front slope or escarpment) กับด้านหลังหรือด้านลาดเอียงมุมเท (back slope or dip-slope) ฉะนั้น จึงเป็นที่น่าศึกษาว่า ความลาดเอียงของภูมิประเทศแบบเควสต้า บริเวณขอบด้านตะวันตกเฉียงใต้ของแอ่งโคราชนี้ มีลักษณะธรณีสัณฐานใดบ้างที่จะอธิบายได้ดี และจะพยากรณ์ความลาดเอียงดังกล่าวนี้ได้หรือไม่ อย่างไร

นอกจากนั้นยังเป็นที่น่าสังเกตว่า เควสต้าในบริเวณดังกล่าวนี้ทอดตัวลาดไปทางตะวันออกเฉียงเหนือเข้าสู่ใจกลางแอ่ง โดยมีแนวสัน (ridge) อยู่ในทิศทางตรงข้าม และเควสต้าเหล่านี้มีขนาดแตกต่างกัน จึงเป็นผลให้สันเขาด้านลาดเอียงมุมเท มีความยาวแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ความแตกต่างดังกล่าวนี้ผู้วิจัยคาดว่าเป็นผลของการถอยร่น (recession) ของผิวหน้าชั้นหินด้านผาชัน อันเกิดจากการสึกกร่อนพังทะลายตามธรรมชาติ ซึ่งแต่ละบริเวณมิไม่เท่ากัน จึงทำให้แนวสันเขาหรือแนวสันปันน้ำถอยร่นในอัตราที่ไม่เท่ากัน อย่างไรก็ตาม แนวคิดดังกล่าวนี้ ยังไม่มีหลักฐานยืนยันว่าจะเป็นจริงแค่ไหน เพราะการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้มีการวัดและตรวจสอบการสึกกร่อนพังทะลายบริเวณผิวหน้าชั้นหินด้านผาชันแต่อย่างใด การค้นหาตัวพยากรณ์

ความยาวด้านลาดเอียงมุมเท จากลักษณะธรณีสัณฐานต่าง ๆ ที่ตรวจสอบได้ จากแผนที่และจากการสำรวจ จึงเป็นวิธีเดียวที่จะตอบข้อสงสัยที่ว่า ความยาวด้านลาดเอียงมุมเทนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะธรณีสัณฐานชนิดใด ซึ่งจะช่วยให้มองเห็นรูปการ (aspect) ของการพัฒนาพื้นผิวภูมิประเทศบริเวณด้านผาชันได้เด่นชัดขึ้น

ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ จึงเป็นที่น่าค้นหาว่าลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนที่เกี่ยวกับ ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท ความลาดเอียงด้านผาชัน และความยาวด้านลาดเอียงมุมเทนั้น จะสามารถอธิบายได้ด้วยลักษณะธรณีสัณฐานชนิดใดบ้าง รูปแบบการอธิบายเป็นอย่างไร และสามารถอธิบายได้มากน้อยแค่ไหน การค้นหาคำตอบดังกล่าวจะต้องอาศัยเทคนิคทางสถิติเป็นเครื่องมือ

หลักเกณฑ์ในการวิเคราะห์เริ่มด้วยการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะธรณีสัณฐานที่เป็นโครงสร้างขององค์ประกอบทั้งสี่กับความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท ความลาดเอียงด้านผาชัน และความยาวด้านลาดเอียงมุมเท เพื่อทราบพื้นฐานความสัมพันธ์ระหว่างกัน จากนั้นจึงใช้เทคนิคการวิเคราะห์ถดถอย (Regression Analysis) คัดเลือกและลำดับความสำคัญของลักษณะธรณีสัณฐานในรูปของกลุ่มตัวแปรที่มีค่าความแปรปรวนสูงสุด โดยวิธี Stepwise Multiple Regression ซึ่งยึดถือหลักการคัดเลือก ลักษณะธรณีสัณฐานที่มีความสัมพันธ์สูงสุดกับตัวเกณฑ์ เข้าสู่สมการถดถอย (Regression Equation) ก่อน แล้วคัดเลือกเพิ่มขึ้นทีละตัว ๆ ตามลำดับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ส่วนย่อย (partial correlation coefficient) ของลักษณะธรณีสัณฐานที่เหลือจากการถูกคัดเลือกแต่ละครั้ง จากผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณนี้ จะได้ลักษณะธรณีสัณฐานจำนวนหนึ่ง ที่มีค่าสหสัมพันธ์สูงสุด นั่นคือ มีสัมประสิทธิ์การพยากรณ์สูงที่สุด และสามารถนำลักษณะธรณีสัณฐานชุดนี้มาสร้างสมการพยากรณ์ภูมิประเทศแบบเควสต้าในแต่ละลักษณะได้ แต่อย่างไรก็ตาม สมการชุดนี้อาจจะมีตัวพยากรณ์บางตัวที่มีผลต่อการเพิ่มค่าสหสัมพันธ์พหุคูณน้อยมาก หรือมีผลต่อการเพิ่มสัมประสิทธิ์การพยากรณ์น้อยมากนั่นเอง บางครั้งจึงไม่มีความสำคัญต่อการที่จะนำมาใช้ในการพยากรณ์ และในทางภูมิศาสตร์เราสนใจเหตุการณ์หรือปรากฏการณ์ (phenomena) ทางธรณีสัณฐานที่มีอิทธิพลต่อกันอย่างมีนัยสำคัญ

(significant) จนเรายอมรับและเชื่อถือได้ ด้วยเหตุนี้ จึงจำเป็นต้องคัดเลือกลักษณะธรณีสัณฐานที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการพยากรณ์สูงจริง ๆ จึงได้ใช้เทคนิคการลดตัวพยากรณ์ที่มีสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ต่ำ ๆ ลงทีละตัว โดยเริ่มจากตัวพยากรณ์ที่ได้รับการคัดเลือกเข้าสู่สมการถดถอยตัวหลังสุดขึ้นมาตามลำดับ พร้อมกับการทดสอบความมีนัยสำคัญระหว่างสหสัมพันธ์พหุคูณเดิมกับสหสัมพันธ์ที่ลดตัวพยากรณ์ลงครั้งละหนึ่งตัว วิธีการตามขั้นตอนดังกล่าวนี้จะทำให้ได้ลักษณะธรณีสัณฐานจำนวนน้อยที่สุดที่มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์สูงที่สุด และจะได้นำลักษณะธรณีสัณฐานดังกล่าวนี้ไปสร้างสมการพยากรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงต่อไป

4.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะธรณีสัณฐานเพื่อการพยากรณ์รูปลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้า

4.2.1 การพยากรณ์ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้า

เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะธรณีสัณฐานที่เป็นโครงสร้างขององค์ประกอบทั้งสี่กับความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท พบว่า ลักษณะธรณีสัณฐานที่มีความสัมพันธ์กับความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเทสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ได้แก่ ความเอียงของชั้นหิน และความยาวด้านลาดเอียงมุมเท ลักษณะธรณีสัณฐานที่มีความสัมพันธ์กับความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเทสูง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ได้แก่ ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา และความกว้างของพื้นหุบเขา ส่วนลักษณะธรณีสัณฐานอื่นมีความสัมพันธ์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท แต่อย่างไรก็ตาม ยังไม่อาจสรุปได้ว่า ลักษณะธรณีสัณฐานดังกล่าวไม่มีความสำคัญต่อการพยากรณ์ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท เพราะลักษณะธรณีสัณฐานบางลักษณะที่มีความสัมพันธ์กับความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเทต่ำนั้น อาจจะอธิบายความแปรปรวนในส่วนที่ลักษณะธรณีสัณฐานอื่นไม่สามารถอธิบายได้ก็เป็นได้ ส่วนลักษณะธรณีสัณฐานที่มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง อาจไม่เป็นตัวพยากรณ์ที่ดีทุกตัวเสมอไป เพราะบางตัวอาจมีลักษณะในการอธิบายซ้ำซ้อนกันได้

เพื่อคัดเลือกลักษณะธรณีสัณฐานจำนวนหนึ่งที่สามารถพยากรณ์ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงใช้เทคนิคการวิเคราะห์ถดถอย

แบบ Stepwise Multiple Regression คัดเลือกลักษณะธรณีสัณฐานที่มีคุณสมบัติดังกล่าว ผลการวิเคราะห์พบว่า ลักษณะธรณีสัณฐาน 13 ลักษณะจากจำนวน 14 ลักษณะ ที่เป็นโครงสร้างขององค์ประกอบทั้งสี่ ได้รับการคัดเลือกเข้าสู่สมการถดถอย ตามลำดับก่อนหลัง คือ ความเอียงของชั้นหิน ความสูงของแนวสันหิน ความยาวด้านลาดเอียงมุมเท ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวเท ความหนาของชั้นหิน ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ ความสูงของพื้นหุบเขา ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา ความลาดเอียงด้านผาชัน ระดับสูงของพื้นหุบเขา ความยาวด้านผาชัน ระดับสูงของแนวสันหิน และความลาดเอียงของพื้นหุบเขา ลักษณะธรณีสัณฐานที่ไม่ได้รับการคัดเลือกเข้าสู่สมการถดถอย คือ ความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน แสดงว่า ความกว้างของผิวหน้าชั้นหินไม่ได้เป็นตัวพยากรณ์ที่ดีในสมการชุดนี้ และเมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของผิวหน้าชั้นหินกับความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท พบว่ามีค่าต่ำมาก จึงกล่าวได้ว่า ความกว้างของผิวหน้าชั้นหินไม่มีอิทธิพลต่อความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท นั่นคือ การเปิดกว้างของผิวหน้าชั้นหินด้านผาชัน ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้าแต่อย่างใด

ผลการทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างลักษณะธรณีสัณฐาน 13 ลักษณะ ซึ่งเป็นตัวพยากรณ์กับความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงสูง สามารถสร้างสมการพยากรณ์ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเทในรูปสมการเส้นตรงได้ จึงได้นำค่าสัมประสิทธิ์ของตัวพยากรณ์ในรูปคะแนนดิบ (b) และค่าคงที่ของสมการพยากรณ์ในรูปคะแนนดิบ (a) มาสร้างเป็นสมการในรูปสมการถดถอยพหุคูณ

ได้สมการพยากรณ์ความลาดเอียงมุมเทของเควสต้าในลักษณะความสัมพันธ์ของตัวแปรอื่น ดังนี้

$$
\begin{aligned}
DSS = {} & 3.9525 - 0.1611\ RSD + 0.1763\ RCH - 0.1528\ DSL - \\
& 0.1063\ CSD - 0.1319\ RST - 0.1453\ SSD + 0.3029\ VFW - \\
& 0.3531\ VAD - 0.9448\ ESS + 0.1193\ VFA + 0.2048\ ESL - \\
& 0.4101\ RCA + 0.8546\ VFS
\end{aligned}
$$

โดยที่สมการชุดนี้มีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการพยากรณ์ ± 0.3519

เมื่อพิจารณาค่าสหสัมพันธ์พหุคูณ จะพบว่า การใช้ลักษณะธรณีสัณฐานหลาย ๆ ลักษณะร่วมกันอธิบายความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท จะได้ค่าสหสัมพันธ์สูงกว่าการใช้ลักษณะธรณีสัณฐานลักษณะใดลักษณะหนึ่งเป็นตัวพยากรณ์เพียงลักษณะเดียว แต่อย่างไรก็ตาม ลักษณะธรณีสัณฐานบางลักษณะที่ได้รับการคัดเลือกเข้าสู่สมการถดถอยในอันดับหลัง ๆ จะมีผลต่อการเพิ่มค่าสหสัมพันธ์พหุคูณน้อยมาก ดังจะสังเกตได้จากตารางสี่ ซึ่งหมายความว่า การใช้ลักษณะธรณีสัณฐานที่มีลักษณะดังกล่าวร่วมในสมการพยากรณ์ชุดนี้ ไม่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการพยากรณ์แต่อย่างใด ในการสร้างสมการพยากรณ์ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท จึงอาจพิจารณาลักษณะธรณีสัณฐานที่มีสามัญดังกล่าวออกได้ แต่ทั้งนี้ก็ต้องอยู่ในขอบเขตที่ไม่ทำให้ประสิทธิภาพในการพยากรณ์ลดลงจากเดิมอย่างมีนัยสำคัญ

ตาราง 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะธรณีสัณฐานที่เป็นตัวพยากรณ์กับความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท (r) สหสัมพันธ์พหุคูณ (R) สัมประสิทธิ์การพยากรณ์ (R^2) สัมประสิทธิ์การพยากรณ์ที่เปลี่ยนไป (R^2 change) และการทดสอบนัยสำคัญของสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ที่เปลี่ยนไป

ตัวพยากรณ์	r	R	R^2	R^2 change	F
RSD	.7663	.7663	.5873	.5873	4.7613**
RCH	.2679	.8075	.6520	.0647	5.1689**
DSL	-.5414	.9625	.9264	.2743	.8498
CSD	-.0225	.9727	.9462	.0197	.5499
RST	.2824	.9778	.9561	.0099	.3591
SSD	-.1384	.9796	.9597	.0036	.3012
VFW	.3937	.9815	.9634	.0037	.1821
VAD	.4351	.9821	.9647	.0012	.1503
ESS	.1408	.9828	.9660	.0013	.0763
VFA	-.1282	.9831	.9665	.0005	.0351
ESL	.1833	.9832	.9666	.0001	.0406
RCA	.2540	.9832	.9666	.0000	.0722
VFS	.1819	.9833	.9668	.0002	.0000

**มีนัยสำคัญที่ระดับ .01

ผลการทดสอบนัยสำคัญของสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ พบว่าเมื่อลดตัวพยากรณ์ความลาดเอียงของพื้นหุบเขา ระดับสูงของแนวสันหิน ความยาวด้านผาชัน ระดับสูงของพื้นหุบเขา ความลาดเอียงด้านผาชัน ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา ความกว้างของพื้นหุบเขา ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ ความหนาของชั้นหิน และระยะห่างจากลำน้ำตามแนวเทลงทีละตัวตามลำดับแล้ว ไม่ทำให้สัมประสิทธิ์การพยากรณ์ลดลงจากเดิมอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่า ลักษณะธรณีสัณฐานเหล่านี้ แม้ว่าจะมีอิทธิพลต่อความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท ดังที่ได้กล่าวมาแล้วก็จริง แต่เมื่อนำมาร่วมกันพยากรณ์ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้า ปรากฏว่าไม่ได้เพิ่มประสิทธิภาพในการพยากรณ์แต่อย่างใด ทั้งนี้เป็นเพราะว่า ลักษณะธรณีสัณฐานดังกล่าวมีส่วนที่อธิบายความแปรปรวนซ้ำซ้อนกันมากนั่นเอง ต่อจากนั้น เมื่อลดความยาวด้านลาดเอียงมุมเทลงอีกหนึ่งตัว ปรากฏว่าค่าสัมประสิทธิ์การพยากรณ์จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 จึงไม่สามารถลดตัวพยากรณ์ดังกล่าวลงได้ ฉะนั้น ลักษณะธรณีสัณฐานที่เหลือ คือ ความเอียงของชั้นหิน ความสูงของชั้นหิน และความยาวด้านลาดเอียงมุมเท ร่วมกันพยากรณ์ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงได้นำค่าสัมประสิทธิ์ของตัวพยากรณ์ (b) และค่าคงที่ของสมการพยากรณ์ในรูปคะแนนดิบ (a) มาสร้างเป็นสมการพยากรณ์ในรูปสมการถดถอยพหุคูณ

ได้สมการพยากรณ์ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้าในลักษณะความสัมพันธ์ของตัวแปรอื่น ดังนี้

DSS = 5.0148 - 0.3948 RSD + 0.3541 RCH - 0.1425 DSL

โดยที่สมการพยากรณ์ชุดนี้ มีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการพยากรณ์ 0.4107 ซึ่งหมายความว่า ถ้าทราบความเอียงของชั้นหิน ความสูงของแนวสันหิน และความยาวด้านลาดเอียงมุมเท จะสามารถพยากรณ์ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้าได้ โดยมีค่าผิดพลาดอยู่ในขอบเขต 0.4107

4.2.2 การพยากรณ์ความลาดเอียงด้านผาชันของเควสต้า

เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะธรณีสัณฐานที่เป็นโครงสร้างขององค์ประกอบทั้งสี่กับความลาดเอียงด้านผาชัน พบว่า ลักษณะธรณีสัณฐานที่มีความสัมพันธ์กับความลาดเอียงด้านผาชันสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 มีเพียงลักษณะเดียว คือ ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ ลักษณะธรณีสัณฐานที่มีความสัมพันธ์กับความลาดเอียงด้านผาชันสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 มีสองลักษณะ คือ ความกว้างของผิวหน้าชั้นหินและความลาดเอียงของพื้นหุบเขา ส่วนลักษณะธรณีสัณฐานอื่น มีความสัมพันธ์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับความลาดเอียงด้านผาชัน แต่ยังไม่อาจสรุปได้ว่าลักษณะธรณีสัณฐานดังกล่าวไม่มีความสำคัญในการพยากรณ์ความลาดเอียงด้านผาชันของเควสต้า เพราะลักษณะธรณีสัณฐานบางลักษณะที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ต่ำอาจจะอธิบายความแปรปรวนในส่วนที่ลักษณะธรณีสัณฐานอื่นไม่สามารถอธิบายได้ก็เป็นได้

เพื่อคัดเลือกลักษณะธรณีสัณฐานจำนวนหนึ่งที่สามารถพยากรณ์ความลาดเอียงด้านผาชันของเควสต้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ถดถอย แบบ Stepwise Multiple Regression คัดเลือกลักษณะธรณีสัณฐานที่มีคุณสมบัติดังกล่าว ผลการวิเคราะห์พบว่า ลักษณะธรณีสัณฐาน 12 ลักษณะ จาก 14 ลักษณะที่เป็นโครงสร้างขององค์ประกอบทั้งสี่และมีอิทธิพลต่อลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้า ได้รับการคัดเลือกเข้าสู่สมการถดถอย ตามลำดับก่อนหลัง คือ ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ ความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน ความยาวด้านผาชัน ระดับสูงของแนวสันหิน ระดับสูงของพื้นหุบเขา ความลาดเอียงของพื้นหุบเขา ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวเท ความหนาของชั้นหิน ความยาวด้านลาดเอียงมุมเท ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา และความกว้างของพื้นหุบเขา ลักษณะธรณีสัณฐานที่ไม่ได้รับการคัดเลือกเข้าสู่สมการถดถอย คือ ความเอียงของชั้นหิน และความสูงของแนวสันหิน แสดงว่าลักษณะธรณีสัณฐานทั้งสองนี้ไม่ได้เป็นตัวพยากรณ์ความลาดเอียงด้านผาชันที่ดี และเมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความลาดเอียงด้านผาชันของเควสต้ากับความสูงของแนวสันหิน และความเอียงของชั้นหิน จะเห็นว่ามีค่าต่ำมาก จึงกล่าวได้ว่า ความเอียงของชั้นหิน และความสูง

ของแนวสันหิน ไม่มีอิทธิพลต่อความลาดเอียงด้านผาชันของเควสต้า นั่นคือ ชั้นหินที่วางตัวเป็นมุมเอียงต่างกัน และความสูงของแนวสันหินจากฐานถึงส่วนบนสุดด้านผาชันแตกต่างกันจะไม่มีผลต่อความลาดเอียงด้านผาชัน นอกจากความลาดเอียงด้านผาชันจะเป็นอิสระจากลักษณะธรณีสัณฐานทั้งสองแล้ว ยังแสดงแนวโน้มให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่คอนข้างต่ำกับลักษณะธรณีสัณฐานอื่น ๆ ด้วย ที่เป็นเช่นนี้เพราะเหตุว่ากระบวนการพัฒนาบนพื้นที่ลาดเอียง (slope process) นั้นจะเกี่ยวข้องกับสภาวะสมดุลย์ (condition of equilibrium) ของแรงเสียดทาน (friction force หรือ shear strength) กับน้ำหนักของวัตถุหรือแรงดึงดูดของโลก (the force of gravity) เป็นผลให้ด้านผาชันของเควสต้ามีความลาดเอียงค่อนข้างคงที่ ดังจะสังเกตได้โดยทั่วไปในบริเวณที่ศึกษา แต่อย่างไรก็ตาม พัฒนาการของพื้นที่ลาดเอียงด้านผาชันยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอย่างอื่นอีก ดังจะได้กล่าวต่อไป และลักษณะธรณีสัณฐานบางลักษณะก็สามารถพยากรณ์ความลาดเอียงด้านผาชันได้

ผลการทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ระหว่างลักษณะธรณีสัณฐาน 12 ลักษณะที่ได้รับการคัดเลือกโดยการวิเคราะห์ถดถอยกับความลาดเอียงด้านผาชัน พบว่า มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอยู่ในเกณฑ์สูง สามารถสร้างสมการพยากรณ์ความลาดเอียงด้านผาชันในรูปสมการเส้นตรงได้ จึงได้นำค่าสัมประสิทธิ์ของตัวพยากรณ์ในรูปคะแนนดิบ (b) และค่าคงที่ของสมการพยากรณ์ในรูปคะแนนดิบ (a) มาสร้างเป็นสมการในรูปสมการถดถอยพหุคูณ ได้สมการพยากรณ์ความลาดเอียงด้านผาชันของเควสต้าในลักษณะความสัมพันธ์ของตัวแปรอื่น ดังนี้

ESS = 65.2050 - 0.2472 SSD - 1.0205 ROW + 0.9801 ESL + 0.8874 RCA
- 0.1068 VFA - 1.6207 VFS - 0.7005 CSD - 0.1536 RST -
0.2376 DSL - 1.3170 DSS - 0.1169 VAD + 0.4649 VFW

โดยที่สมการชุดนี้มีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการพยากรณ์ 1.8452

การใช้ลักษณะธรณีสัณฐานหลาย ๆ ลักษณะร่วมกันพยากรณ์ความลาดเอียงด้านผาชันของเควสต้า จะได้ค่าสหสัมพันธ์พหุคูณสูงกว่าการใช้ลักษณะธรณีสัณฐานลักษณะใดลักษณะหนึ่งเป็นตัวพยากรณ์เพียงลักษณะเดียว แต่อย่างไรก็ตามลักษณะธรณีสัณฐานบางลักษณะที่ได้รับการคัดเลือก

เข้าสู่สมการถดถอยในอันดับหลัง ๆ จะมีผลต่อการเพิ่มสัมประสิทธิ์การพยากรณ์น้อยมาก ดังจะสังเกตได้จากตารางห้า ซึ่งหมายความว่า การใช้ลักษณะธรณีสัณฐานที่มีลักษณะดังกล่าวรวมในสมการพยากรณ์นั้น ไม่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการพยากรณ์แต่อย่างใด ในการพยากรณ์ความลาดเอียงด้านผาชันของเกวสต้า จึงพิจารณาลักษณะธรณีสัณฐานเหล่านั้นออกได้ แต่ทั้งนี้ต้องอยู่ในขอบเขตที่ไม่ทำให้สัมประสิทธิ์การพยากรณ์ลดลงจากเดิมอย่างมีนัยสำคัญ

ตาราง 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะธรณีสัณฐานที่เป็นตัวพยากรณ์กับความลาดเอียงด้านผาชัน (r) สหสัมพันธ์พหุคูณ (R) สัมประสิทธิ์การพยากรณ์ (R^2) สัมประสิทธิ์การพยากรณ์ที่เปลี่ยนไป (R^2 change) และการทดสอบนัยสำคัญของสัมประสิทธิ์การพยากรณ์

ตัวพยากรณ์	r	R	R^2	R^2 change	F
SSD	-.4842	.4842	.2345	.2345	13.1245**
ROW	-.4147	.7091	.5029	.2684	10.4338**
ESL	-.3385	.9729	.9465	.4436	.5112
RCA	-.2217	.9739	.9484	.0019	.5720
VFA	.1537	.9754	.9514	.0030	.5859
VFS	.3944	.9795	.9555	.0041	.5141
CSD	.1066	.9797	.9598	.0043	.3525
RST	.0842	.9807	.9618	.0020	.2768
DSL	.0456	.9808	.9619	.0001	.1271
DSS	.1408	.9817	.9637	.0018	.2033
VAD	-.3518	.9819	.9642	.0005	.1920
VFW	-.2920	.9821	.9646	.0004	.0000

** มีนัยสำคัญที่ระดับ .01

ผลการทดสอบนัยสำคัญของสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ พบว่า เมื่อลดตัวพยากรณ์ความกว้างของพื้นหุบเขา ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท ความยาวด้านลาดเอียงมุมเท ความหนาของชั้นหิน ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวเท ความลาดเอียงของพื้นหุบเขา ระดับสูงของพื้นหุบเขา และระดับสูงของแนวสันหิน ลงทีละตัวตามลำดับแล้ว ไม่ทำให้สัมประสิทธิ์การพยากรณ์ลดลงจากเดิมอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากลักษณะธรณีสัณฐานเหล่านี้มีอิทธิพลต่อความลาดเอียงด้านผาชันไม่เด่นชัดนั้นเอง ต่อจากนั้น เมื่อลดความยาวด้านผาชัน ความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน และระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ ปรากฏว่า สัมประสิทธิ์การพยากรณ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ฉะนั้น ลักษณะธรณีสัณฐานสามลักษณะ ได้แก่ ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ ความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน และความยาวด้านผาชัน ร่วมกันพยากรณ์ความลาดเอียงด้านผาชันของเควสต้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงได้นำค่าสัมประสิทธิ์ของตัวพยากรณ์ในรูปคะแนนดิบ (b) ค่าคงที่ของสมการพยากรณ์ในรูปคะแนนดิบ (a) มาสร้างเป็นสมการพยากรณ์ในรูปสมการถดถอยพหุคูณ ได้สมการพยากรณ์ความลาดเอียงด้านผาชันของเควสต้าในลักษณะความสัมพันธ์ของตัวแปรอื่นดังนี้

ESS = 48.8491 - 0.6438 SSD - 0.7570 ROW + 0.6853 ESL

โดยที่สมการพยากรณ์ชุดนี้มีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์ $\pm$1.8345 นั่นคือ ถ้าทราบระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ ความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน และความยาวด้านผาชัน จะสามารถพยากรณ์ความลาดเอียงด้านผาชันของเควสต้าได้โดยมีค่าผิดพลาดอยู่ในขอบเขต

$\pm$ 1.8345

4.2.3 การพยากรณ์ความยาวด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้า

เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะธรณีสัณฐานที่เป็นโครงสร้างขององค์ประกอบทั้งสี่กับความยาวด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้า พบว่า ลักษณะธรณีสัณฐานที่มีความสัมพันธ์กับความยาวด้านลาดเอียงมุมเทสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 มีเก้าลักษณะ ได้แก่ ความสูงของแนวสันหิน ความเอียงของชั้นหิน ความหนาของชั้นหิน ความกว้างของพื้นหุบเขา ความยาวด้านผาชัน ความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา และระดับสูงของแนวสันหิน ส่วนลักษณะธรณีสัณฐานอื่นมีความสัมพันธ์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับความยาวด้านลาดเอียงมุมเท แต่ยังไม่อาจสรุปได้ว่าลักษณะธรณีสัณฐานเหล่านั้น ไม่มีความสำคัญในการพยากรณ์ความยาวด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้า เพราะลักษณะธรณีสัณฐานบางลักษณะที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ต่ำ อาจจะอธิบายความแปรปรวนในส่วนที่ลักษณะธรณีสัณฐานอื่นไม่สามารถอธิบายได้ก็ได้ และลักษณะธรณีสัณฐานบางลักษณะที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงอาจไม่เป็นตัวพยากรณ์ที่ดีทุกตัวเสมอไป เพราะบางตัวมีคุณลักษณะในการอธิบายซ้ำซ้อนกันนั่นเอง

เพื่อคัดเลือกลักษณะธรณีสัณฐานจำนวนหนึ่งที่สามารถพยากรณ์ความยาวด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ถดถอยแบบ Stepwise Multiple Regression คัดเลือกลักษณะธรณีสัณฐานที่มีสมบัติดังกล่าว ผลการวิเคราะห์พบว่า ลักษณะธรณีสัณฐาน 11 ลักษณะ จากจำนวน 14 ลักษณะ ที่เป็นโครงสร้างขององค์ประกอบทั้งสี่ และมีอิทธิพลต่อลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้า ได้รับการคัดเลือกเข้าสู่สมการถดถอยตามลำดับ คือ ความสูงของแนวสันหิน ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวเท ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา ความกว้างของพื้นหุบเขา ระดับสูงของพื้นหุบเขา ความเอียงของชั้นหิน ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ ความลาดเอียงของพื้นหุบเขา ความลาดเอียงด้านผาชัน และความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน จะสังเกตได้ว่าลักษณะธรณีสัณฐานบางลักษณะที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ต่ำ เช่น ความลาดเอียงของพื้นหุบเขา ความลาดเอียงด้านผาชัน ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ และความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน ได้รับการคัดเลือกเข้าสู่สมการถดถอย แสดงว่าลักษณะธรณีสัณฐานเหล่านี้มีส่วนร่วมในการพยากรณ์ความยาวด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้า ส่วน

ลักษณะธรณีสัณฐานบางลักษณะ เช่น ความหนาของชั้นหิน ระดับสูงของชั้นหิน และความยาวด้านผาชัน แม้ว่ามีความสัมพันธ์กับความยาวด้านลาดเอียงมุมเทสูง แต่ไม่ได้รับการคัดเลือกเข้าสู่สมการถดถอย ทั้งนี้เป็นเพราะว่า ลักษณะธรณีสัณฐานดังกล่าวมีส่วนอธิบายซ้ำซ้อนกับลักษณะธรณีสัณฐานอื่นที่ได้รับการคัดเลือกเข้าสู่สมการถดถอยก่อนแล้วนั่นเอง นอกจากนั้น ข้อจำกัดทางเทคนิคของการวิเคราะห์ถดถอยแบบ Stepwise ที่ถือว่า กลุ่มของตัวพยากรณ์ที่ดีที่สุด ในการอธิบายความแปรปรวนในตัวเกณฑ์นั้น จะมีเพียงกลุ่มเดียวเท่านั้น ก็อาจเป็นเหตุผลอีกประการหนึ่งที่ทำให้ลักษณะธรณีสัณฐานดังกล่าวไม่ได้รับการคัดเลือกเข้าสู่สมการพยากรณ์ทั้ง ๆ ที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง และอาจจัดกลุ่มตัวพยากรณ์ในรูปแบบอื่นได้อีก

เพื่อสร้างสมการพยากรณ์ความยาวด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้าในรูปสมการเส้นตรง ผู้วิจัยจึงได้ทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างลักษณะธรณีสัณฐาน 11 ลักษณะ ที่ได้รับการคัดเลือกแล้ว กับความยาวด้านลาดเอียงมุมเท โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ผลปรากฏว่า ลักษณะธรณีสัณฐานดังกล่าวกับความยาวด้านลาดเอียงมุมเท มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงสูง สามารถสร้างสมการพยากรณ์ในรูปสมการเส้นตรงได้ จึงนำค่าสัมประสิทธิ์ของตัวพยากรณ์ในรูปคะแนนดิบ (b) ค่าคงที่ของสมการพยากรณ์ในรูปคะแนนดิบ (a) มาสร้างเป็นสมการในรูปสมการถดถอยพหุคูณ ได้สมการพยากรณ์ความยาวด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้าในลักษณะความสัมพันธ์ทางตัวแปรอ่น ดังนี้

DSL = 5373.018 + 22.5961 RCH - 524.1242 DSS - 0.6165 CSD -
0.3178 VAD + 0.2016 VFW + 3.5245 VFA - 1174.356 RSD -
86.9557 VFS - 3.9942 ESS - 0.3806 ROW

โดยที่สมการชุดนี้มีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการพยากรณ์ ± 196.7049

การใช้ลักษณะธรณีสัณฐานหลาย ๆ ลักษณะร่วมกันพยากรณ์ความยาวด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้า จะได้ค่าสหสัมพันธ์พหุคูณสูงกว่าการใช้ลักษณะธรณีสัณฐานลักษณะใดลักษณะหนึ่งเป็นตัวพยากรณ์เพียงลักษณะเดียว แต่อย่างไรก็ตาม เป็นที่น่าสังเกตว่าลักษณะธรณีสัณฐานบางลักษณะที่ได้รับการคัดเลือกเข้าสู่สมการถดถอยในอันดับหลัง ๆ จะมีผลต่อการเพิ่มค่าสหสัมพันธ์พหุคูณ

น้อยมาก ดังจะสังเกตได้จากตารางหก ซึ่งหมายความว่า การใช้ลักษณะธรณีสัณฐานที่มีลักษณะดังกล่าว ร่วมในสมการพยากรณ์นั้น ไม่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการพยากรณ์แต่อย่างใด บางครั้งจึงไม่จำเป็นต้องใช้ลักษณะธรณีสัณฐานดังกล่าวเป็นตัวพยากรณ์ ฉะนั้น ในการพยากรณ์ความยาวด้านลาดเอียงมุมเท จึงอาจพิจารณาลักษณะธรณีสัณฐานเหล่านี้ออกได้ แต่ทั้งนี้ต้องอยู่ภายในขอบเขตที่ไม่ทำให้ประสิทธิภาพในการพยากรณ์ลดลงจากเดิมอย่างมีนัยสำคัญ

ตาราง 6 แสดงความสัมพันธ์ของลักษณะธรณีสัณฐานที่เป็นตัวพยากรณ์กับความยาวด้านลาดเอียงมุมเท (r) สหสัมพันธ์พหุคูณ (R) สัมประสิทธิ์การพยากรณ์ (R^2) สัมประสิทธิ์การพยากรณ์ที่เปลี่ยนไป (R^2 change) และการทดสอบนัยสำคัญของสัมประสิทธิ์การพยากรณ์

ตัวพยากรณ์	r	R	R^2	R^2 change	F
RCH	.6372	.6372	.4060	.4060	34.5039**
DSS	-.5414	.9759	.9524	.5464	2.3914
CSD	-.2874	.9832	.9666	.0142	1.6663
VAD	-.5213	.9877	.9757	.0091	1.0444
VFW	-.5777	.9888	.9777	.0020	1.0331
VFA	-.1260	.9899	.9799	.0022	.9271
RSD	-.6362	.9908	.9818	.0019	.7689
SSD	-.3302	.9919	.9839	.0021	.3532
VFS	.0151	.9924	.9848	.0009	.0562
ESS	.0456	.9924	.9849	.0001	.0112
ROW	.5532	.9924	.9849	.0000	.0000

** มีนัยสำคัญที่ระดับ .01

ผลการทดสอบนัยสำคัญของสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ พบว่า เมื่อลดตัวพยากรณ์ ความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน ความลาดเอียงด้านผาชัน ความลาดเอียงของพื้นหุบเขา ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ ความเอียงของชั้นหิน ระดับสูงของพื้นหุบเขา ความกว้างของพื้นหุบเขา ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา และระยะห่างจากลำน้ำตามแนวเท องที่ละตัวตามลำดับแล้ว ไม่ทำให้สัมประสิทธิ์การพยากรณ์ลดลงจากเดิมอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ เนื่องจากลักษณะธรณีสัณฐานเหล่านี้มีอิทธิพลต่อความยาวด้านลาดเอียงมุมเทไม่เด่นชัดนั่นเอง นอกจากนั้น ลักษณะธรณีสัณฐานบางลักษณะที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง เช่น ความเอียงของชั้นหิน ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา ความกว้างของพื้นหุบเขา และความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน เมื่อนำมาร่วมกันพยากรณ์ความยาวด้านลาดเอียงมุมเท ปรากฏว่า ไม่ทำให้สัมประสิทธิ์การพยากรณ์เพิ่มขึ้นมากนัก ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากลักษณะธรณีสัณฐานเหล่านี้มีความสัมพันธ์ระหว่างกันค่อนข้างสูง จึงทำให้มีส่วนที่อธิบายซ้ำซ้อนกันมากนักเอง ต่อจากนั้น เมื่อลดตัวพยากรณ์ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเทลงอีกหนึ่งตัว ปรากฏว่า สัมประสิทธิ์การพยากรณ์ลดลงจากเดิมอย่างมีนัยสำคัญ จึงไม่สามารถลดตัวพยากรณ์ดังกล่าวลงได้ ฉะนั้น ลักษณะธรณีสัณฐานสองลักษณะ คือ ความสูงของแนวสันหิน และความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท ร่วมกันพยากรณ์ความยาวด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงได้นำค่าสัมประสิทธิ์ของตัวพยากรณ์ในรูปคะแนนดิบ (b) ค่าคงที่ของสมการพยากรณ์ในรูปคะแนนดิบ (a) มาสร้างเป็นสมการพยากรณ์ในรูปสมการถดถอยพหุคูณ ได้สมการพยากรณ์ความยาวด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้าลักษณะความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ ดังนี้

DSL = 2900.337 + 24.5934 RCH - 674.8783 DSS

โดยที่สมการพยากรณ์ชุดนี้มีความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ± 285.0440 นั่นคือ ถ้าทราบความสูงของแนวสันหิน ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท และระยะห่างจากลำน้ำตามแนวเท จะสามารถพยากรณ์ความยาวด้านลาดเอียงมุมเทได้ โดยมีค่าผิดพลาดอยู่ในขอบเขต ± 285.0440

สมการพยากรณ์ดังกล่าวนี้ ถือเป็นโมเดลที่สร้างขึ้นเพื่อการอธิบายปรากฏการณ์ที่สลับซับซ้อน ให้อยู่ในรูปแบบที่เข้าใจง่าย และสามารถนำไปใช้ได้โดยสะดวก แต่อย่างไรก็ตาม โมเดลที่สร้างขึ้นนี้ ไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ทั้งหมดได้ เพราะเป็นการสร้างขึ้นในลักษณะ

ของการย่อแบบ (abstraction) โดยการคัดเลือกลักษณะธรณีสัณฐานบางลักษณะที่สังเกตและวัดได้ และได้พิจารณาแล้วว่ามีอิทธิพลต่อภูมิประเทศแบบเกวสต้าเท่านั้น ปรากฏการณ์ที่เป็นจริงบางอย่างได้ถูกละเลยไป ฉะนั้น โมเดลที่สร้างขึ้นนี้ จึงเป็นการแสดงถึงความพยายามในการอธิบายปรากฏการณ์ทางธรณีสัณฐานจากข้อมูลที่มีอยู่ให้ถูกต้องมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

บทที่ 5

บทย่อ สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

บทย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายหลัก คือ การค้นหาลักษณะธรณีสัณฐานที่มีอิทธิพลต่อลักษณะภูมิประเทศแบบเก่วสต้า โดยการวัดและคำนวณลักษณะธรณีสัณฐานบางลักษณะจากแผนที่ภูมิประเทศและการสำรวจภาคสนาม แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบและการวิเคราะห์ถดถอย เพื่อหาลักษณะธรณีหลักฐานที่เป็นองค์ประกอบร่วมที่มีอิทธิพลต่อลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้า และหาลักษณะธรณีสัณฐานที่สามารถพยากรณ์รูปลักษณะภูมิประเทศแบบเกวสต้า ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สรุปผลการวิเคราะห์

1. ลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้า สัมพันธ์กับลักษณะธรณีสัณฐานต่อไปนี้ ความเอียงของชั้นหิน ความหนาของชั้นหิน ความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน ระดับสูงของแนวสันหิน ระดับสูงของพื้นหุบเขา ความกว้างของพื้นหุบเขา ความลาดเอียงของพื้นหุบเขา ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวเท ความสูงของสันเขา ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท ความลาดเอียงด้านผาชัน ความยาวด้านลาดเอียงมุมเท และความยาวด้านผาชัน

2. องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อลักษณะภูมิประเทศแบบเกวสต้า ได้แก่

2.1 องค์ประกอบรูปทรงสัณฐานทางเรขาคณิตและระดับสูงของชั้นหิน ลักษณะธรณีสัณฐานที่เป็นโครงสร้างที่สำคัญ คือ ความยาวด้านผาชัน ความหนาของชั้นหิน ความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน ความสูงของแนวสันหิน ระดับสูงของแนวสันหิน และความยาวด้านลาดเอียงมุมเท

2.2 องค์ประกอบตำแหน่งที่ตั้งของเควสต้า และระดับสูงของพื้นหุบเขา ลักษณะธรณีสัณฐานที่เป็นโครงสร้างที่สำคัญ คือ ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวเท ระดับสูงของพื้นหุบเขา ความลาดเอียงของพื้นหุบเขา ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา และความกว้างของพื้นหุบเขา

2.3 องค์ประกอบโครงสร้างการวางตัวของชั้นหินและความกว้างของพื้นหุบเขา ลักษณะธรณีสัณฐานที่เป็นโครงสร้างที่สำคัญ คือ ความเอียงของชั้นหิน ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท ความยาวด้านลาดเอียงมุมเท ความกว้างของพื้นหุบเขา และระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา

2.4 องค์ประกอบความลาดเอียงด้านข้างหุบเขา และระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ ลักษณะธรณีสัณฐานที่เป็นโครงสร้างที่สำคัญ คือ ความลาดเอียงด้านผาชัน ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ และความลาดเอียงของพื้นหุบเขา

3. การพยากรณ์รูปลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้า

3.1 ลักษณะธรณีสัณฐานที่ร่วมกันพยากรณ์ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้า (DSS) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ ความเอียงของชั้นหิน (RSD) ความสูงของแนวสันหิน (RCH) และความยาวด้านลาดเอียงมุมเท (DSL)

ได้สมการพยากรณ์ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้าในลักษณะความสัมพันธ์ของตัวแปรอื่น ๆ ดังนี้

$$DSS = 5.0148 - 0.3948\ RSD + 0.3541\ RCH - 0.1425\ DSL$$

3.2 ลักษณะธรณีสัณฐานที่ร่วมกันพยากรณ์ความลาดเอียงด้านผาชันของเควสต้า (ESS) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ (SSD) ความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน (ROW) และความยาวด้านผาชัน (ESL)

ได้สมการพยากรณ์ความลาดเอียงด้านผาชันของเควสต้า ในลักษณะความสัมพันธ์ของตัวแปรอื่น ๆ ดังนี้

$$ESS = 48.8491 - 0.6438\ SSD - 0.7570\ ROW + 0.6853\ ESL$$

3.3 ลักษณะธรณีสัณฐานที่ร่วมกันพยากรณ์ความยาวด้านลาดเอียงมุมเทของเถวสต้า (DSL) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ ความสูงของแนวสันหิน (RCH) และความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท (DSS)

ได้สมการพยากรณ์ความยาวด้านลาดเอียงมุมเทของเถวสต้าในลักษณะความสัมพันธ์ของตัวแปรอื่น ๆ ดังนี้

DSL = 2900.337 + 24.5934 RCH - 674.8783 DSS

<u>อภิปรายผลการศึกษา</u>

ผลการศึกษาค้นคว้า สามารถนำมาอภิปรายได้เป็นสามตอนดังนี้

1. ลักษณะธรณีสัณฐานที่สัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศแบบเถวสต้า
2. องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อลักษณะภูมิประเทศแบบเถวสต้า
3. การพยากรณ์รูปลักษณะภูมิประเทศแบบเถวสต้า

1. ลักษณะธรณีสัณฐานที่สัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศแบบเถวสต้า

ผลการค้นหาลักษณะธรณีสัณฐานเพื่อนำมาอธิบายภูมิประเทศแบบเถวสต้าพบว่า ลักษณะธรณีสัณฐาน 15 ลักษณะที่ศึกษาได้จากแผนที่ภูมิประเทศและการสำรวจภาคสนาม มีความสัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศแบบเถวสต้า ลักษณะธรณีสัณฐานดังกล่าว ได้แก่ ความเอียงของชั้นหิน ความหนาของชั้นหิน ความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน ระดับสูงของแนวสันหิน ระดับสูงของพื้นหุบเขา ความกว้างของพื้นหุบเขา ความลาดเอียงของพื้นหุบเขา ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวเท ความสูงของสันเขา ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท ความลาดเอียงด้านผาชัน ความยาวด้านลาดเอียงมุมเท และความยาวด้านผาชัน และผลการวิเคราะห์ค่า communality หรือค่าความร่วมกันของตัวแปร ทำให้ทราบว่าลักษณะธรณีสัณฐานทั้ง 15 ลักษณะมีส่วนร่วมกันในการอธิบายภูมิประเทศแบบเถวสต้าค่อนข้างสูง สำหรับรูปแบบความสัมพันธ์และบทบาทของลักษณะธรณีสัณฐานแต่ละลักษณะ ที่มีต่อลักษณะภูมิประเทศแบบเถวสต้านั้น จะได้พิจารณาในรายละเอียดในตอนสองและตอนสามอีกครั้งหนึ่ง

2. องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้า

ผลการวิเคราะห์รูปแบบความสัมพันธ์ของลักษณะธรณีสัณฐาน โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบ ทำให้ทราบว่าภูมิประเทศแบบเควสต้าบริเวณของด้านตะวันตกเฉียงใต้ของแอ่งโคราชนั้น ได้รับอิทธิพลจากองค์ประกอบทางธรณีสัณฐานอย่างน้อยที่สุดสี่องค์ประกอบ คือ

1. องค์ประกอบรูปทรงสัณฐานทางเรขาคณิต และระดับสูงของชั้นหิน
2. องค์ประกอบตำแหน่งที่ตั้งของเควสต้า และระดับสูงของพื้นหุบเขา
3. องค์ประกอบโครงสร้างการวางตัวของชั้นหิน และความกว้างของพื้นหุบเขา
4. องค์ประกอบความลาดเอียงด้านข้างหุบเขา และระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ

องค์ประกอบทั้งสี่ที่ได้จากการวิเคราะห์ครั้งนี้ มีระดับความสำคัญต่างกัน และมีอิทธิพลต่อภูมิประเทศแบบเควสต้าในรูปแบบต่างกันด้วย ดังจะพิจารณาในแต่ละองค์ประกอบดังนี้

1. องค์ประกอบรูปทรงสัณฐานทางเรขาคณิต และระดับสูงของชั้นหิน

ลักษณะธรณีสัณฐานที่เป็นโครงสร้างขององค์ประกอบนี้ ได้แก่ ความยาวด้านผาชัน ความหนาของชั้นหิน ความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน ความสูงของแนวสันหิน ระดับสูงของแนวสันหิน และความยาวด้านลาดเอียงมุมเท ลักษณะธรณีสัณฐานที่สำคัญที่สุดในองค์ประกอบนี้ คือ ความยาวด้านผาชัน ความหนาของชั้นหิน ความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน และความสูงของแนวสันหิน โดยมีน้ำหนักองค์ประกอบ 0.9773 0.9638 0.9577 และ 0.9537 ตามลำดับ ลักษณะธรณีสัณฐานที่มีความสำคัญรองลงมา ได้แก่ ระดับสูงของแนวสันหิน และความยาวด้านลาดเอียงมุมเท น้ำหนักองค์ประกอบ 0.8547 และ 0.5991 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาบทบาทของลักษณะธรณีสัณฐานดังกล่าวจะพบว่า ความยาวด้านผาชัน ความหนาของชั้นหิน ความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน และความสูงของแนวสันหิน เป็นลักษณะธรณีสัณฐานที่อธิบายขนาดของชั้นหินที่เหลือจากการสึกกร่อนพังทะลาย โดยกระบวนการธรณีสัณฐานที่กระทำบนโครงสร้างหินที่เป็นรอยคดโค้งรูปประทุนคว่ำ

การสึกกร่อนพังทะลายของชั้นหิน เริ่มเกิดขึ้นเมื่อโครงสร้างชั้นหินตะกอนในบริเวณนี้ยกตัวสูงขึ้น จากการปิบอัดของมวลแผ่นดินบริเวณข้างเคียง ประกอบกับ แรงอัดจากมวลภายในโลก เป็นผลให้เกิดรอยคดโค้งรูปประทุนคว่ำ จากนั้นพื้นผิวที่ถูกยกตัวสูงขึ้นนี้ ได้รับอิทธิพลจากกระบวนการภายนอก เช่น การไหลบ่าบนผิวหน้าชั้นหิน การสึกกร่อนพังทะลายและพัดพาโดยแรงน้ำไหล การเกิดมวลเลื่อน เป็นต้น กระบวนการเหล่านี้จะกระทำกับชั้นหินที่มีความคงทนต่อการสึกกร่อนพังทะลายต่างกัน ชั้นหินที่มีความคงทนน้อยจะถูกทำลายไปก่อน เหลือชั้นหินแข็งเป็นสันหรือเป็นลาดเอียงมุมเท และยังคงเห็นโครงสร้างเดิมอย่างชัดเจน ฉะนั้น โครงสร้างชั้นหินที่เหลืออยู่จากการสึกกร่อนพังทะลายดังกล่าว จึงเป็นหลักฐานที่ช่วยในการพิจารณาภูมิประเทศได้เป็นอย่างดี

เวลา เป็นอีกปัจจัยหนึ่ง ที่มีอิทธิพลต่อการพัฒนาภูมิประเทศ เมื่อการสึกกร่อนพังทะลายโดยกระบวนการภายนอกได้เกิดขึ้นติดต่อกันเป็นระยะเวลายาวนาน จะทำให้ชั้นหินถูกทำลายราบเรียบไปในที่สุด ชั้นหินที่เคยปรากฏเป็นสันเขาสูงเด่นค่อย ๆ ถูกทำลายให้ราบเรียบลง อาจเหลือเพียงชั้นหินโผล่เป็นแนวเตี้ย ๆ หรือเป็นลักษณะสันหลังหมู และอาจมีชั้นดินปกคลุมมากขึ้น การพิจารณาภูมิประเทศจากรูปทรงสัณฐานของชั้นหินในขั้นตอนนี้ จะกระทำได้ยากขึ้น ปัจจุบัน การพัฒนาภูมิประเทศบริเวณขอบด้านตะวันตกเฉียงใต้ของแอ่งโคราช ยังดำเนินไปไม่ถึงขั้นตอนดังกล่าว โครงสร้างชั้นหินจึงยังปรากฏในลักษณะชั้นหินโผล่ที่มีสัณฐานเด่นชัด สามารถนำมาเป็นหลักเกณฑ์ในการอธิบายลักษณะภูมิประเทศได้

เป็นที่น่าสังเกตว่า ในองค์ประกอบนี้นอกจากจะเกี่ยวข้องกับรูปทรงสัณฐานของชั้นหินโดยตรงแล้ว ระดับสูงของแนวสันหิน ซึ่งเป็นลักษณะที่บอกให้ทราบว่า ชั้นหินบริเวณนั้น ๆ สูงจากระดับน้ำทะเลมากน้อยเพียงใด มีบทบาทในการอธิบายลักษณะภูมิประเทศด้วย ผลการศึกษาข้อมูลที่ได้จากการวัดและคำนวณในแผนที่ภูมิประเทศพบว่า ในบริเวณที่ศึกษา ชั้นหินมีความสูงเฉลี่ยจากระดับน้ำทะเลประมาณ 425.90 เมตร โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 40.90 เมตร และเมื่อพิจารณาระดับสูงของพื้นหุบเขาตรงที่ลำน้ำตามแนวระดับไหลผ่าน ซึ่งถือเป็นระดับฐานท้องถิ่นของการสึกกร่อนของเควสต้าแต่ละแห่งพบว่า ระดับสูงเฉลี่ยของ

พื้นหุบเขาในบริเวณที่ศึกษา ประมาณ 235.40 เมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 13.10 เมตร ความแตกต่างเกี่ยวกับระดับสูงของชั้นหิน และ ระดับสูงของพื้นหุบเขาในบริเวณที่ศึกษา แม้ว่าจะมีไม่มากนัก แต่ผลการวิเคราะห์ทางสถิติทำให้ยืนยันได้ว่า ความแตกต่างดังกล่าวมีผลต่อรูปลักษณะภูมิประเทศจริง ฉะนั้น จึงกล่าวได้ว่า ลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้าบริเวณขอบด้านตะวันตกเฉียงใต้ของแอ่งโคราชนั้น นอกจากจะได้รับอิทธิพลจากองค์ประกอบทางด้านรูปทรงสัณฐานของชั้นหินโดยตรงแล้ว ระดับสูงของภูมิประเทศจากระดับน้ำทะเลก็มีอิทธิพลต่อการพัฒนาลักษณะภูมิประเทศด้วยเช่นกัน

2. องค์ประกอบตำแหน่งที่ตั้งของเควสต้า และระดับสูงของพื้นหุบเขา

ลักษณะธรณีสัณฐานที่เป็นโครงสร้างขององค์ประกอบนี้ ได้แก่ ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวเท ระดับสูงของพื้นหุบเขา ความลาดเอียงของพื้นหุบเขา ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา และความกว้างของพื้นหุบเขา โดยลำดับความสำคัญได้ดังนี้ ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวเทและระดับสูงของพื้นหุบเขา มีความสำคัญมากที่สุด มีน้ำหนักองค์ประกอบ 0.9105 และ 0.8704 ตามลำดับ รองลงมา ได้แก่ ความลาดเอียงของพื้นหุบเขา ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา และความกว้างของพื้นหุบเขา มีน้ำหนักองค์ประกอบ 0.6460, -0.6447 และ 0.5808 ตามลำดับ

ลักษณะธรณีสัณฐานทั้งสี่แบบในองค์ประกอบนี้ บอกถึงความห่างหรือระยะทางจากตำแหน่งที่สำคัญต่าง ๆ ในภูมิประเทศมายังตำแหน่งที่ตั้งของเควสต้า ลักษณะที่สำคัญขององค์ประกอบนี้ บอกให้ทราบถึงพื้นฐานข้อเท็จจริงเกี่ยวกับลักษณะการพัฒนาภูมิประเทศที่สำคัญประการหนึ่ง คือ เมื่อมีความแตกต่างเกี่ยวกับตำแหน่งที่ตั้งของเควสต้าในภูมิประเทศ จะเป็นผลให้รูปลักษณะของเควสต้ามีความแตกต่างกันด้วย ข้อเท็จจริงดังกล่าวนี้ สามารถพิจารณาด้วยเหตุผลที่สามารถตรวจสอบในภูมิประเทศได้ ตัวอย่างที่ควรกล่าวถึงได้แก่ ผลของระยะห่างของเควสต้าจากลำน้ำตามแนวเทที่มีต่อรูปลักษณะของเควสต้า กล่าวคือ เควสต้าที่อยู่ใกล้กับลำน้ำตามแนวเท พื้นที่บริเวณด้านหน้าหรือด้านผาชัน จะได้รับการพัฒนามาก อันเป็นผลมาจากการเปิดกว้างของพื้นหุบเขาตามแนวระดับ โดยมีลำน้ำตามแนวระดับเป็นตัวกัดเซาะพังทะลาย

ด้านข้างที่สำคัญ หุบเขาตามแนวระดับที่ใกล้กับลำน้ำตามแนวเทนั้นมักจะถูกเปิดกว้างมาก ด้วยเหตุที่ได้รับการพัฒนามาก่อน และความกว้างของหุบเขาจะลดน้อยลงตามลำดับ เมื่อห่างจากลำน้ำตามแนวเทออกไป ลำน้ำตามแนวระดับบริเวณที่เข้าใกล้ลำน้ำตามแนวเทจะมีความลาดชันน้อยมาก เพราะเข้าใกล้ระดับฐานท้องถิ่น ตรงบริเวณที่ลำน้ำทั้งสองตัดกัน การกัดเซาะในทางลึกของลำน้ำตามแนวระดับจะลดลง เปลี่ยนเป็นการเพิ่มความคดโค้งโดยการเหวี่ยงตัวเพื่อปรับระดับสมดุลย์ของการระบายน้ำ เป็นผลให้การกัดเซาะพังทะลายด้านข้างโดยลำน้ำตามแนวระดับมีมากขึ้น พื้นหุบเขาจึงขยายขอบเขตออกไป และพื้นที่ด้านข้างหุบเขาเกิดการถอยร่นออกไปเช่นกัน ส่วนลำน้ำตามแนวระดับตอนต้นน้ำ ซึ่งห่างจากลำน้ำตามแนวเทออกไป ความลาดชันของลำน้ำยังมีมาก การกัดเซาะในทางลึกจึงยังดำเนินไปได้ดี การเหวี่ยงตัวของลำน้ำเพื่อปรับสมดุลย์ของการระบายน้ำยังไม่ปรากฏชัด พื้นหุบเขาในส่วนนี้จึงแคบ และการกัดเซาะพังทะลายบริเวณด้านข้างหุบเขา มีขอบเขตจำกัด

จากเหตุผลที่กล่าวมาจึงสรุปได้ว่า ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวเท และความกว้างของพื้นหุบเขา แสดงให้เห็นถึงการพัฒนาสภาพพื้นที่ได้เป็นอย่างดี ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ อภิสิทธิ์ เอี่ยมหน่อ ที่กล่าวว่า การพัฒนาของหุบเขาจะเป็นตัวชี้ให้เห็นถึงการพัฒนาสภาพพื้นที่ได้ โดยที่การพัฒนาของหุบเขานั้น จะเกี่ยวข้องกับธารน้ำไหลเป็นสำคัญ และจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นที่ทั้งในทางกว้าง ทางยาว และทางลึก การพัฒนาสภาพพื้นที่ในทางกว้างจะขึ้นอยู่กับ การเหวี่ยงตัวด้านข้างของลำน้ำ การพังทะลายฝั่งโดยน้ำฝน การกัดเซาะโดยทางน้ำ การผุพังสลายตัวกับการเคลื่อนย้ายโดยแรงดึงดูดของโลก และการมีสาขาเข้ามารวม การพัฒนาสภาพพื้นที่ในทางยาว ขึ้นอยู่กับการกัดเซาะที่ต้นน้ำ และการคดเคี้ยวของลำน้ำ ส่วนการพัฒนาสภาพพื้นที่ในทางลึก ขึ้นอยู่กับแรงปะทะของน้ำไหล (hydraulic action) การกระทบกระทั่งให้แตกหัก (corrasion) การกัดกร่อนให้เป็นหลุมตามพื้นลำธาร (pothole drilling) การละลาย (corrosion) และการสลายตัวของพื้นลำธาร (อภิสิทธิ์ เอี่ยมหน่อ 2516 : 146 – 147) ฉะนั้น การศึกษาลักษณะธรณีสัณฐานบางลักษณะในหุบเขา จึงช่วยให้เข้าใจถึงการพัฒนาสภาพพื้นที่ได้ดีขึ้น

ปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาภูมิประเทศ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวโลก จากการกระทำของกระบวนการภายในโลก ที่สังเกตได้ยาก เช่น การเคลื่อนไหวของเปลือกโลกอย่างช้า ๆ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหิน เป็นต้น นอกจากนั้น การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลครั้งสำคัญ ๆ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะภูมิประเทศเป็นอย่างมาก การอธิบายถึงวิวัฒนาการของสภาพพื้นที่โดยปราศจากข้อมูลที่เกี่ยวกับผลของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว จะทำให้ได้ข้อสรุปที่คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้

การพัฒนาสภาพพื้นที่ในปัจจุบันนั้น นักธรณีสัณฐานและนักวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับโลก ได้นำปัจจัยภายใน (the internal factor) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงภายในโลก มาพิจารณาเพิ่มมากขึ้น ทฤษฎีเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของเปลือกโลกบางทฤษฎี ได้อาศัยข้อมูลจากผลของการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นที่โดยกระบวนการภายนอก เช่น การเปลี่ยนแปลงรูปแบบและอัตราการกัดเซาะของลำน้ำมาช่วยในการวิเคราะห์ลักษณะการเคลื่อนไหวของเปลือกโลก (Sawkins. 1976 : 395 – 396) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงบนพื้นผิวโลก ส่วนหนึ่งเป็นผลจากกระบวนการภายในโลกนั่นเอง เทอร์ไมเออร์ กล่าวไว้ว่า กระบวนการสึกกร่อนพังทะลายของพื้นผิวโลกนั้น ส่วนหนึ่งเป็นผลจากปัจจัยภายใน อันได้แก่ การเคลื่อนไหวของเปลือกโลก จากแรงระทำภายในโลก เช่น การยกตัวสูงขึ้นของพื้นที่ อาจจะเป็นผลให้ลำน้ำเดิมเปลี่ยนแปลงอำนาจการกัดเซาะพังทะลาย และทำให้รูปแบบการระบายน้ำต่างไปจากเดิมได้ (Termier. 1963 : 359) พื้นที่บริเวณแอ่งโคราชและบริเวณใกล้เคียง ได้มีการเปลี่ยนแปลงทางธรณีหลายครั้งติดต่อกันมา จึงน่าจะค้นหาหลักฐานจากผลของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลมาสนับสนุนการอธิบายลักษณะภูมิประเทศให้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

3. องค์ประกอบโครงสร้างการวางตัวของชั้นหิน และความกว้างของพื้นหุบเขา

ลักษณะธรณีสัณฐานที่เป็นโครงสร้างขององค์ประกอบนี้ ได้แก่ ความเอียงของชั้นหิน ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท ความยาวด้านลาดเอียงมุมเท ความกว้างของพื้นหุบเขา และระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา ความเอียงของชั้นหิน มีความสำคัญมากที่สุด โดยมีน้ำหนัก

องค์ประกอบ 0.9241 รองลงมา ได้แก่ ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท น้ำหนักองค์ประกอบ 0.8920 และความยาวด้านลาดเอียงมุมเท น้ำหนักองค์ประกอบ 0.7513 จะสังเกตได้ว่า ลักษณะธรณีสัณฐานทั้งสองนี้มีความสัมพันธ์กับความเอียงของชั้นหินค่อนข้างสูง และเมื่อพิจารณาตามหลักเหตุผลกล่าวได้ว่า ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท และความยาวด้านลาดเอียงมุมเท เป็นผลจากความเอียงของชั้นหิน องค์ประกอบนี้ จึงมุ่งอธิบายถึงการวางตัวของโครงสร้างชั้นหินบริเวณนี้โดยตรง

เนื่องจากชั้นหินเดิม ซึ่งเป็นโครงสร้างของภูมิประเทศบริเวณนี้ถูกทำลายไปมาก คงเหลือเป็นลักษณะหุบเขา และโครงสร้างชั้นหินบางส่วนเหลือเป็นลักษณะผาชัน ปรากฏอยู่ทั่วไป โครงสร้างชั้นหินที่เหลืออยู่นี้ได้พัฒนามาเป็นภูมิประเทศแบบเกวสต้านั่นเอง ฉะนั้น รูปลักษณะภูมิประเทศแบบเกวสต้า นอกจากจะสามารถอธิบายได้ด้วย โครงสร้างการวางตัวของชั้นหินแล้ว ยังเกี่ยวข้องกับการเปิดกว้างของหุบเขา ซึ่งเป็นการทำลายชั้นหินเดิมออกไป จนเหลือเป็นลักษณะชั้นหินโผล่ดังที่ปรากฏในปัจจุบัน ด้วยเหตุนี้ ความกว้างของพื้นหุบเขา และระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา จึงเป็นลักษณะธรณีสัณฐานที่สามารถอธิบายรูปลักษณะภูมิประเทศแบบเกวสต้าได้

พื้นที่บริเวณแอ่งโคราชมีโครงสร้างเป็นประเภทหินตะกอน ซึ่งทับถมในระหว่างยุคไทรแอสสิกและจูแรสสิก วางตัวซ้อนกันเป็นชั้น ๆ ต่อมา ถูกแรงบีบอัดทำให้ชั้นหินเกิดการคดโค้ง เป็นผลให้ชั้นหินเอียงไปจากแนวระดับเล็กน้อย และสม่ำเสมอตลอดโครงสร้าง การพัฒนาสภาพพื้นที่บนโครงสร้างชั้นหินตะกอนจะเกี่ยวข้องกับความเอียงของชั้นหิน และคุณสมบัติทางด้านความแข็งของชั้นหินเป็นสำคัญ พิทที่ ให้ความเห็นไว้ว่า การวางตัวของชั้นหินฐานมีผลต่อการสึกกร่อนพังทะลาย กล่าวคือ ชั้นหินที่วางตัวในแนวราบหรือมีความเอียงเล็กน้อย จะทำให้การสึกกร่อนพังทะลายดำเนินไปได้ช้ากว่าชั้นหินที่มีความเอียงมาก ๆ และความแข็งที่แตกต่างกันของชั้นหินที่วางตัวซ้อนกันอยู่ มีผลต่ออัตราการพัฒนาลักษณะภูมิประเทศด้วย (Pitty. 1971 : 91) นอกจากนั้น ความแตกต่างทางด้านส่วนประกอบทางแร่ การประสานของเนื้อหิน หรือการยึดเหนี่ยวของเนื้อหิน รอยแตกร้าวในเนื้อหิน ก็มีผลต่อการสึกกร่อนพังทะลายของชั้นหินเช่นกัน ผลการศึกษาของ โทมัส เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงทางธรณีสัณฐานในพื้นที่หลายแห่ง

ทำให้ได้ข้อสรุปเพิ่มเติมว่า นอกจากความแตกต่างทางด้านคุณสมบัติของชั้นหินจะมีผลต่อรูปลักษณะภูมิประเทศโดยตรงแล้ว ความแตกต่างทางด้านความสูงของชั้นหิน ฤดูกาล และความชื้นในอากาศเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้รูปลักษณะภูมิประเทศแตกต่างกัน (Thomas. 1974 : 214)

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะมีองค์ประกอบหลายอย่างที่มีอิทธิพลต่อการพัฒนาลักษณะภูมิประเทศ แต่นักธรณีสัณฐานส่วนใหญ่ถือว่าโครงสร้างชั้นหินหรือโครงสร้างทางธรณีวิทยา เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ควรนำมาพิจารณาเป็นอันดับแรก แต่ทั้งนี้ความสำคัญหรืออิทธิพลของโครงสร้างทางธรณีวิทยา อาจจะลดลงตามอายุของภูมิประเทศ จนในขั้นสุดท้ายลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาอาจไม่มีอิทธิพลต่อการควบคุมรูปลักษณะภูมิประเทศแต่อย่างใด ซึ่งจะทำให้การพิจารณาภูมิประเทศมีความลำบากมากขึ้น

นักธรณีสัณฐานหลายท่านพยายามจำแนกภูมิประเทศ โดยอาศัยองค์ประกอบทางด้านโครงสร้างทางธรณีวิทยาเป็นเกณฑ์ในการพิจารณา เช่น ชั้นหินที่มีความเอียงมาก อาจได้รับการพัฒนาเป็นภูมิประเทศ แบบสันหลังหมู ชั้นหินที่มีความเอียงเพียงเล็กน้อย อาจได้รับการพัฒนาเป็นภูมิประเทศแบบเควสต้า ชั้นหินที่วางตัวในแนวราบ ภูมิประเทศที่ได้รับการพัฒนาจะเป็นที่ราบขนาดต่าง ๆ กัน ถ้าเป็นที่ราบขนาดใหญ่ เรียก ที่ราบสูง ถ้ามีขนาด 1 – 2 ตารางกิโลเมตร เรียก เมซา ถ้ามีขนาดเล็กคล้ายกับเป็นยอดแหลม เรียก บูตต์ ภูมิประเทศที่มีโครงสร้างชั้นหินเอียงเล็กน้อย จนเกือบเป็นแนวระนาบ มีพื้นที่กว้างขวางแบบที่ราบสูงโดยมีขอบด้านใดด้านหนึ่งมีลักษณะเป็นผาชัน คล้ายเควสต้า อาจเรียกว่า เอสเพลนเนล (esplanade) ตามชื่อเรียกของสตราเลอร์ (Strahler. 1971 : 667) ลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ หากไม่มีเทือกเขาภูพานขวางอยู่ อาจจัดเข้าลักษณะเอสเพลนเนตได้ และในกรณีที่การวางตัวของชั้นหินในปัจจุบัน เป็นผลมาจากการยกตัวของเปลือกโลก ทำให้ภูมิประเทศเดิม ซึ่งเป็นที่ราบถูกยกตัวสูงขึ้น แต่ภูมิประเทศใหม่นี้ยังมีลักษณะเป็นที่ราบเช่นเดิม จึงควรเรียกภูมิประเทศแบบที่ราบที่เป็นผลจากการยกตัวนี้ว่า ที่ราบยกตัว (uplifted plain) พื้นแผ่นดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย ซึ่งเดิมเรียกว่า "ที่ราบสูงโคราช" แต่เนื่องจากขาดสมบัติบางประการของความเป็นที่ราบสูง และเมื่อพิจารณา

หลักฐานทางธรณีประวัติ ธรณีโครงสร้าง และธรณีสัณฐานแล้ว พบว่ามีลักษณะที่จะจัดเป็นที่ราบยกตัวได้ เพื่อความถูกต้องตามหลักวิชา ควรจะได้มีการพิจารณาชื่อเสียใหม่ เป็น "ที่ราบยกตัวโกราช" ซึ่งจะมีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น

4. องค์ประกอบความลาดเอียงด้านข้างหุบเขา และระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ

การพัฒนาลักษณะภูมิประเทศแบบเกวสต้า นอกจากจะได้รับอิทธิพลจากองค์ประกอบทั้งสามที่กล่าวมาแล้ว ส่วนหนึ่งยังเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบความลาดเอียงด้านข้างหุบเขา และระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ ลักษณะธรณีสัณฐานที่เป็นโครงสร้างขององค์ประกอบนี้ ได้แก่ ความลาดเอียงด้านผาชัน น้ำหนักองค์ประกอบ 0.9208 ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ น้ำหนักองค์ประกอบ 0.6961 ความลาดเอียงของพื้นหุบเขา น้ำหนักองค์ประกอบ 0.5602

เมื่อพิจารณาความแปรปรวนร่วมขององค์ประกอบนี้พบว่ามีค่าก่อนข้างต่ำ นั่นคือ องค์ประกอบนี้อธิบายภูมิประเทศแบบเกวสต้าได้น้อย ลักษณะธรณีสัณฐานที่เป็นโครงสร้างสำคัญในองค์ประกอบนี้เกี่ยวข้องกับความลาดเอียงด้านข้างหุบเขาเท่านั้น และจะอธิบายรูปลักษณะภูมิประเทศแบบเกวสต้าด้านผาชันเป็นส่วนใหญ่ การพัฒนาพื้นที่ด้านข้างหุบเขานี้มีลำน้ำตามแนวระดับเป็นตัวการกัดกร่อนพังทะลายที่สำคัญ นอกจากนั้น ลำน้ำย่อนแนวเทที่ไหลจากด้านผาชัน มารวมกับลำน้ำตามแนวระดับ มีบทบาทในการสึกกร่อนพังทะลายด้านผาชันมากเช่นกัน การสึกกร่อนพังทะลาย ส่วนฐานด้านผาชันของเกวสต้าโดยลำน้ำตามแนวระดับจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงมุมด้านข้างหุบเขา สอดคล้องกับข้อคิดเห็นของเทรวาต้า (Trewatha. 1968 : 214) ซึ่งกล่าวสรุปได้ว่า ความแตกต่างของอัตราการกัดเซาะพังทะลายด้านข้างหุบเขา อันเป็นผลให้มุมด้านข้างหุบเขามีความแตกต่างกันนั้น ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการกัดเซาะของลำน้ำที่บริเวณส่วนฐานของพื้นที่ลาดเอียง,

ผลการศึกษาครั้งนี้พบว่า ความลาดเอียงด้านผาชันของเกวสต้ามีความสัมพันธ์กับระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ แต่ไม่สูงมากนัก ($r = -0.4042$) ซึ่งหมายความว่า ถ้าลำน้ำตามแนวระดับไหลเข้าใกล้ฐานของเกวสต้าด้านผาชัน จะเป็นผลให้พื้นที่ด้านผาชันมีความลาดเอียงเพิ่มขึ้น และในทางตรงข้าม ถ้าลำน้ำตามแนวระดับไหลห่างจากฐานของเกวสต้าด้านผาชัน

ออกไป จะเป็นผลให้ความลาดเอียงด้านผาชันมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้ เนื่องจากการสะสมเศษหิน และหิน บริเวณฐานมีมากขึ้น และไม่มีตัวการที่จะพัดพาเคลื่อนย้ายไปยังบริเวณอื่นโดยสะดวกนั่นเอง ด้วยเหตุนี้ ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับจึงสามารถอธิบายลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้าได้ และนับว่าเป็นโครงสร้างที่สำคัญขององค์ประกอบนี้เช่นกัน

น่าสังเกตว่า พื้นที่ด้านผาชันของเควสต้าบริเวณขอบด้านตะวันตกเฉียงใต้ของแอ่งโคราชนั้น มีความลาดเอียงแตกต่างกันไม่มากนัก ทั้งนี้ ส่วนหนึ่งเป็นผลจากการปรับสภาวะสมดุลย์ของแรงเสียดทานกับแรงดึงดูดของโลกบนผิวลาดเอียง ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว กับเหตุผลที่ควรนำมาพิจารณาอีกประการหนึ่ง คือ การพัฒนาลักษณะภูมิประเทศกับขั้นตอนของการพัฒนา ทั้งนี้เพราะว่า ลักษณะภูมิประเทศในแต่ละขั้นตอนของการพัฒนานั้น จะมีลักษณะที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะของขั้นตอนนั้น ๆ (Thornbury. 1969 . 135 – 139) ภูมิประเทศที่มีการพัฒนาอยู่ในขั้นตอนเดียวกัน จึงมีรูปลักษณะบางอย่างที่เหมือนหรือคล้ายกลึงกันได้ ภูมิประเทศแบบเควสต้าในบริเวณที่ศึกษานี้ มีรูปลักษณะคล้ายคลึงกันเป็นจำนวนมาก จึงน่าจะเป็นผลมาจากการพัฒนาในขั้นตอนเดียวกัน

นักธรณีสัณฐานบางท่านได้ถือเอาอันดับ (order) ของลุ่มน้ำเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาภูมิประเทศ และได้มีการศึกษาเปรียบเทียบรูปลักษณะภูมิประเทศในลุ่มน้ำอันดับต่างกันที่ควรนำมากล่าวถึงได้แก่ การศึกษาของ คาร์เตอร์ และ ชอร์เลย์ เกี่ยวกับความลาดเอียงของภูมิประเทศในลุ่มน้ำอันดับต่างกัน ได้พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญระหว่างอันดับลุ่มน้ำ (order of drainage basin) กับค่าเฉลี่ยของความลาดเอียงสูงสุดของพื้นที่ (mean maximum angle of slope) โดยที่ค่าเฉลี่ยของความลาดเอียงสูงสุดของลุ่มน้ำอันดับสอง อันดับสาม และอันดับสี่ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 สำหรับค่าเฉลี่ยของความลาดเอียงสูงสุดของลุ่มน้ำอันดับสี่กับอันดับห้า และอันดับห้ากับอันดับหก จะไม่แตกต่างกัน และผลจากการสำรวจภาคสนามของคาร์เตอร์และชอร์เลย์ ทำให้ได้ข้อสรุปเพิ่มเติมว่า การเคลื่อนย้ายและทับถมของวัตถุผุกร่อนบนพื้นผิวลาดเอียงเป็นผลให้มุมลาดเอียงของพื้นที่ด้านข้างหุบเขาไม่แตกต่างกัน (Carter and Chorley. 1961 : 117 – 130) ฉะนั้น ความเท่ากันของ

ความลาดเอียงด้านข้างหุบเขา จึงเป็นผลมาจากเงื่อนไขที่สำคัญ อย่างน้อยที่สุดสองประการ คือ 1) การพัฒนาพื้นที่ด้านข้างหุบเขาอยู่ในขั้นตอนเดียวกัน และ 2) การปรับสภาวะสมดุลย์ของมวลบนผิวลาดเอียง

3. การพยากรณ์รูปลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้า

ภูมิประเทศแบบเควสต้า บริเวณขอบด้านตะวันตกเฉียงใต้ของแอ่งโคราช ถือเป็นผลสุทธิหรือผลขั้นสุดท้าย จากการกระทำของกระบวนการธรณีสัณฐานตั้งแต่อดีตจนกระทั่งปัจจุบัน และกระบวนการดังกล่าวก็ยังดำเนินต่อไป กระบวนการที่เกิดขึ้นมักจะส่งผลกระทบถึงกันเป็นวัฏจักร การอธิบายหรือการพยากรณ์ผลจากปรากฏการณ์ดังกล่าวให้ถูกต้องมากที่สุด ควรมีการศึกษารายละเอียดของข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้นทั้งหมด แล้วนำมาวิเคราะห์และประเมินผลด้วยวิธีการที่เหมาะสม แต่ในทางปฏิบัติเราไม่สามารถรวบรวมข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้นทั้งหมดในทุกแง่ทุกมุมได้ จึงพิจารณาข้อเท็จจริงได้เพียงบางส่วนเท่านั้น

การพยากรณ์รูปลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้าในครั้งนี้ ได้เลือกเอาลักษณะธรณีสัณฐานบางลักษณะที่ได้ทดสอบแล้วว่า มีความสัมพันธ์กับภูมิประเทศแบบเควสต้ามาเป็นตัวพยากรณ์ แต่เนื่องจากรูปลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้ามีหลายมิติ จึงได้เลือกเอาลักษณะที่เป็นโครงสร้างภายนอกบางมิติ ที่นักธรณีสัณฐานสนใจศึกษากันมาก ได้แก่ ความลาดเอียงของภูมิประเทศ และมีแนวคิดกึ่งทฤษฎีเกี่ยวกับการพัฒนาความลาดเอียงหลายแนวคิด ที่มีชื่อเสียงมาก ได้แก่ แนวคิดเกี่ยวกับการพัฒนาความลาดเอียงของพื้นที่ของ เดวิส และแนวคิดเกี่ยวกับการพัฒนาความลาดเอียงของพื้นที่ของ แพงค์ ซึ่งต่อมานักธรณีสัณฐานอีกหลายท่าน เช่น วู๊ด (A. Wood) คิงส์ (L.G. King) ยัง (A. Young) ซาวิเกียร์ (R. Savigear) ชุมม์ (S.A. Schumm) เป็นต้น ได้พยายามศึกษาหาข้อเท็จจริงเกี่ยวกับการพัฒนาของพื้นที่ลาดเอียงในภูมิภาคต่าง ๆ จนได้กำเนิดแนวคิดใหม่ ๆ อีกหลายแนวคิด แต่ก็มีรากฐานมาจากแนวคิดของบุคคลทั้งสอง

นอกจากนั้น นักธรณีสัณฐานยังสนใจรูปร่าง และขนาดของภูมิประเทศที่เหลือจากการกระทำของกระบวนการธรณีสัณฐาน จึงได้มีการคิดค้นวิธีการคำนวณหาปริมาณที่เหลือจากการถูก

กัดกร่อนพังทะลายไป วิธีการที่แพร่หลายมากได้แก่ การวิเคราะห์แบบฮิบโซเมตริก (Hypsometric Analysis) ของ สตราเลอร์ (Strahler. 1952 : 1117 – 1149) ซึ่งเป็นการคำนวณหามวลที่เหลือจากการถูกกัดกร่อน โดยอาศัยความสัมพันธ์ของพื้นที่กับระดับสูง วิธีการนี้ บพิตร โกมลตรี และ ประสิทธิ์ คุณุรัตน์ (บพิตร โกมลตรี 2517 และ ประสิทธิ์ คุณุรัตน์ 2520) ได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณมวลที่ถูกกัดกร่อน เพื่ออธิบายถึงขั้นตอนการพัฒนาภูมิประเทศตามข้อสมมติฐานของ เดวิส วิธีการดังกล่าวนี้ จะช่วยในการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงของภูมิประเทศได้เช่นกัน แต่อย่างไรก็ตาม ความถูกต้องของผลที่ได้รับจากการวิเคราะห์แบบฮิบโซเมตริกนี้ ขึ้นอยู่กับลักษณะธรรมชาติของพื้นผิวที่กำเนิดในตอนแรก (initial surface) ในบริเวณนั้น ๆ เป็นสำคัญ ในการนำวิธีการวิเคราะห์แบบฮิบโซเมตริกมาใช้ จึงควรคำนึงถึงโครงสร้างทางธรณีของสภาพภูมิประเทศเดิมเสียก่อน ซึ่งจะทำให้ผลการวิเคราะห์มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

การวิเคราะห์เพื่อการพยากรณ์รูปร่างและขนาดของเกวสต้าในครั้งนี้ ได้วิเคราะห์โดยถือหลักความสัมพันธ์ของปรากฏการณ์ทางธรณีสัณฐานในพื้นที่ ซึ่งเป็นลักษณะที่เหลือจากการถูกกัดกร่อน เพื่อค้นหาปรากฏการณ์ทางธรณีสัณฐานที่สามารถอธิบายหรือพยากรณ์ รูปร่างและขนาดของเกวสต้าได้ จึงได้เลือกเอาความยาวด้านลาดเอียงมุมเท ซึ่งเป็นมิติหนึ่งที่แสดงถึงขนาดของเกวสต้า เป็นตัวเกณฑ์ในการพิจารณา

ผลการวิเคราะห์เพื่อการพยากรณ์รูปลักษณะภูมิประเทศตามที่กล่าวมา สามารถนำมาอภิปรายได้เป็นสามหัวข้อ คือ

3.1 การพยากรณ์ความลาดเอียง ด้านลาดเอียงมุมเทของเกวสต้า

3.2 การพยากรณ์ความลาดเอียง ด้านผาชันของเกวสต้า

3.3 การพยากรณ์ความยาว ด้านลาดเอียงมุมเทของเกวสต้า

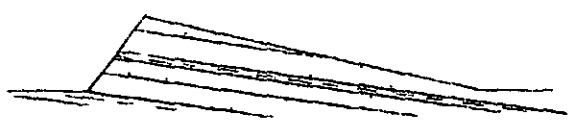
3.1 การพยากรณ์ความลาดเอียง ด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้า

ลักษณะธรณีสัณฐานที่สัมพันธ์กับความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเทสูงอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ ความเอียงของชั้นหิน ($r = 0.7663$) และความยาวด้านลาดเอียงมุมเท ($r = -0.5414$) แสดงให้เห็นว่า ความเอียงของชั้นหินมีอิทธิพลต่อความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้าในทางบวกค่อนข้างสูง กล่าวคือ ถ้าชั้นหินที่เป็นโครงสร้างของเควสต้าบริเวณใดมีความเอียงมาก จะเป็นผลให้ด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้ามีความเอียงมากด้วย และในทางตรงข้าม ถ้าชั้นหินที่เป็นโครงสร้างของเควสต้าในบริเวณใดมีความเอียงน้อย จะเป็นผลให้ด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้า มีความเอียงน้อยด้วย แต่อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์ดังกล่าวมีค่าไม่สูงเท่าที่ควรจะเป็น เพราะแรกกำเนิดพื้นผิวภูมิประเทศนั้น โครงสร้างกับลักษณะภูมิประเทศจะมีความสัมพันธ์กันสูงมาก การเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้ จึงเป็นผลจากการพัฒนาพื้นผิวภูมิประเทศจากกระบวนการภายนอกที่ได้กระทำต่อพื้นผิวด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้ามาตลอดระยะเวลา ส่วนความยาวด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้ามีความสัมพันธ์ในทางลบกับความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท ซึ่งหมายความว่า ถ้าด้านลาดเอียงมุมเทมีความยาวน้อย จะแสดงให้เห็นว่า ด้านลาดเอียงมุมเทมีความเอียงมาก และในทางตรงข้าม ถ้าด้านลาดเอียงมุมเทมีความยาวมาก ความลาดเอียงก็จะลดลง แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงขนาดของเควสต้าด้วย ในการพยากรณ์ จึงต้องนำตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับขนาดมาร่วมด้วย ผลการวิเคราะห์พบว่า ความสูงของเควสต้า เป็นตัวแปรที่จะต้องนำมาพยากรณ์ ความลาดเอียงมุมเทร่วมกับความยาวด้านลาดเอียงมุมเทด้วยเสมอ

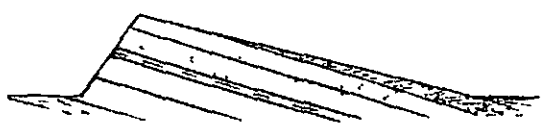
ลักษณะธรณีสัณฐานอื่น ๆ ที่สามารถอธิบายความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้าได้ แต่มีความสำคัญรองลงมา ได้แก่ ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา ($r = 0.4351$) และความกว้างของพื้นหุบเขา ($r = 0.3937$) ลักษณะธรณีสัณฐานทั้งสองมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท กล่าวคือ เควสต้าที่อยู่ห่างจากแกนกลางหุบเขามาก ด้านลาดเอียงมุมเทมีแนวโน้มที่จะลาดเอียงมากขึ้น ในขณะเดียวกัน ถ้าหุบเขาเปิดกว้างออกมาก ก็จะเป็นผลให้ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเทมีมากด้วย

ความแตกต่างของความลาดเอียงของพื้นที่ด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้า ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการชะล้างผิวหน้า และการกัดเซาะโดยลำน้ำในพื้นที่แต่ละแห่งไม่เท่ากัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสึกกร่อนพังทะลายบนพื้นผิวลาดเอียง โดยลำน้ำตามแนวเทบนไหล่เขาด้านหลัง จะทำให้ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้า แตกต่างกันไปได้มาก พื้นที่ด้านหลังของเควสต้าบางแห่งที่มีลำน้ำตามแนวเทบนไหล่เขาด้านหลังหนาแน่น จะเป็นผลให้อัตราการสึกกร่อนพังทะลายเป็นไปได้เร็วกว่าอัตราการผุกร่อนหรือการสลายตัว พื้นผิวภูมิประเทศจึงมีความลาดเอียงสูงกว่าปกติและมักจะมีความลาดเอียงมากกว่ามุมเทของชั้นหินบริเวณนั้น ๆ ตัวอย่างเช่น พื้นที่ด้านหลังเขาตะกุดรัง ตรงบริเวณทางเข้าโครงการลำมูลบน เป็นต้น ส่วนพื้นที่ด้านลาดเอียงมุมเทที่ไม่มีลำน้ำตามแนวเทบนไหล่เขาด้านหลังไหลผ่าน อัตราการสึกกร่อนพังทะลายจะช้ากว่าอัตราการผุกร่อนความลาดเอียงโดยทั่ว ๆ ไป จึงไม่เพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มที่จะมีความลาดเอียงลดลง เนื่องจากการสะสมวัตถุผุกร่อนบริเวณพื้นผิวลาดเอียงมีมากขึ้นตามลำดับ

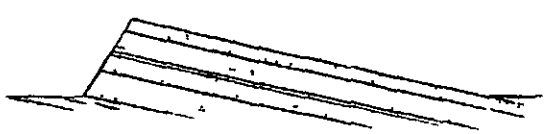
ภาพ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้า กับมุมเทของชั้นหิน เมื่ออัตราการสึกกร่อนพังทะลายกับอัตราการผุกร่อนบนพื้นผิวลาดเอียงแตกต่างกัน



ก. ด้านลาดเอียงมุมเทจะมีความเอียงมากกว่ามุมเทของชั้นหิน เมื่ออัตราการสึกกร่อนพังทะลายมีมากกว่าอัตราการผุกร่อน



ข. ด้านลาดเอียงมุมเทจะมีความเอียงน้อยกว่ามุมเทของชั้นหิน เมื่ออัตราการสะสมวัตถุผุกร่อนบริเวณฐานด้านลาดเอียงมุมเทมีมากกว่าอัตราการสึกกร่อนพังทะลาย



ก. ด้านลาดเอียงมุมเทกับมุมเทของชั้นหิน จะมีความเอียงไม่แตกต่างกัน เมื่ออัตราการผุกร่อนบนพื้นผิวลาดเอียง กับอัตราการสึกกร่อนพังทะลายไม่แตกต่างกัน

ผลการคัดเลือกลักษณะธรณีสัณฐานที่มีประสิทธิภาพสูงในการพยากรณ์ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้า พบว่า ความเอียงของชั้นหิน ความสูงของแนวสันหิน และความยาวด้านลาดเอียงมุมเท ร่วมกันพยากรณ์ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้าได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด โดยมีสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ 0.9264 หรือประสิทธิภาพในการพยากรณ์ ร้อยละ 92.64 เมื่อพิจารณาลักษณะธรณีสัณฐานที่เป็นตัวพยากรณ์แต่ละลักษณะจะพบว่า

ความเอียงของชั้นหินมีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ ร้อยละ 58.73 (R^2 = 0.5873) ซึ่งหมายความว่า ถ้าทราบความเอียงของชั้นหินเพียงอย่างเดียว จะสามารถพยากรณ์ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้า ได้ถูกต้องถึงร้อยละ 58.73

ความสูงของแนวสันหิน มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ ร้อยละ 7.18 (R^2 = 0.0718)

ความยาวด้านลาดเอียงมุมเท มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ ร้อยละ 29.31 (R^2 = 0.2931)

จะสังเกตได้ว่า ความเอียงของชั้นหิน มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์สูงสุด ส่วนความสูงของแนวสันหินมีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ต่ำ แสดงว่า ความสูงของแนวสันหินไม่ได้เป็นตัวพยากรณ์ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเทที่ดี แต่ผลจากการวิเคราะห์พบว่า ความสูงของแนวสันหิน ได้รับการคัดเลือกเข้าสู่สมการถดถอยก่อนความยาวด้านลาดเอียงมุมเท ซึ่งมีสัมประสิทธิ์การพยากรณ์สูงกว่าแสดงว่า ถ้าใช้ความยาวด้านลาดเอียงมุมเทเป็นตัวพยากรณ์ จะต้องใช้ความสูงของแนวสันหินพยากรณ์ร่วมด้วยเสมอ ความสูงของแนวสันหินซึ่งมีสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ต่ำ จึงมีความสำคัญด้วยเหตุผลดังกล่าว การที่ตัวแปรใดก็ตามที่มีสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ต่ำ แต่ได้รับการคัดเลือกเข้าสู่สมการถดถอยก่อนตัวแปรที่มีสัมประสิทธิ์การพยากรณ์สูง แสดงให้เห็นว่า ตัวแปรที่มีสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ต่ำนั้น มีบทบาทในการพยากรณ์ตัวเกณฑ์โดยตรงไม่มากนัก แต่จะมีบทบาทร่วมกับตัวแปรอื่น เพื่อให้ตัวพยากรณ์ชุดนั้นมีสัมประสิทธิ์การพยากรณ์สูงขึ้น จึงกล่าวได้ว่า เทคนิคการวิเคราะห์ถดถอย แบบ Stepwise Multiple Regression สามารถคัดเลือกกลุ่มตัวแปรทางธรณีสัณฐานเพื่อการพยากรณ์ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้า

ได้อย่างเหมาะสม แสดงให้เห็นคุณประโยชน์ในการใช้การวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ เพื่อการพยากรณ์ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติได้เป็นอย่างดี

3.2 การพยากรณ์ความลาดเอียงด้านผาชันของเควสต้า

การค้นหาลักษณะธรณีสัณฐานที่จะนำมาใช้ในการพยากรณ์ความลาดเอียงด้านผาชันของเควสต้า พิจารณาได้จากสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะธรณีสัณฐานแต่ละลักษณะกับความลาดเอียงด้านผาชัน แต่ในการพยากรณ์นั้นอาจเลือกลักษณะธรณีสัณฐานเพียงบางลักษณะเท่านั้น และบางครั้งลักษณะธรณีสัณฐานที่มีสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ต่ำ อาจได้รับเลือกเป็นตัวพยากรณ์ด้วย เพราะอาจจะช่วยให้ตัวพยากรณ์ชุดนั้นมีสัมประสิทธิ์การพยากรณ์สูงขึ้น

ผลการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์พบว่า ลักษณะธรณีสัณฐานที่น่าจะนำมาพยากรณ์ความลาดเอียงด้านผาชันของเควสต้าได้ ได้แก่ ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ ($r = -0.4842$) ความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน ($r = -0.4147$) ความลาดเอียงของพื้นหุบเขา ($r = 0.3944$) และระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา ($r = -0.3518$) จะสังเกตได้ว่าลักษณะธรณีสัณฐานแต่ละลักษณะมีความสัมพันธ์กับความลาดเอียงด้านผาชันไม่สูงมากนัก แสดงให้เห็นว่า ความลาดเอียงด้านผาชันนั้น ไม่ได้ถูกควบคุมโดยลักษณะธรณีสัณฐานลักษณะใดลักษณะหนึ่งอย่างเด่นชัด นอกจากนั้น ยังแสดงแนวโน้มที่จะเป็นอิสระจากลักษณะธรณีสัณฐานที่คัดเลือกมาทั้งหมด ทั้งนี้ เพราะสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความลาดเอียงด้านผาชันกับลักษณะธรณีสัณฐานอื่นต่ำมากนั่นเอง

ลักษณะธรณีสัณฐานบางลักษณะที่ควรจะนำมาพิจารณา เพราะพอจะมีบทบาทในการพัฒนาพื้นที่ด้านผาชันของเควสต้า ได้แก่ ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ เพราะสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในทางลบค่อนข้างสูง แสดงว่า ลำน้ำตามแนวระดับมีบทบาทต่อการพัฒนาความลาดเอียงด้านผาชัน กล่าวคือ เมื่อลำน้ำตามแนวระดับพัฒนามาใกล้ฐานของด้านผาชันจะเป็นผลให้ด้านผาชันของเควสต้ามีความลาดเอียงเพิ่มขึ้น และเมื่อลำน้ำตามแนวระดับพัฒนาห่างจากฐานของด้านผาชันออกไป จะเป็นผลให้ด้านผาชันมีความเอียงลดลง ทั้งนี้เพราะว่าลำน้ำตามแนวระดับมีบทบาทในการกัดเซาะที่ฐานและการพัดพาเคลื่อนย้ายวัตถุผุกร่อนที่สะสม

อยู่ที่ฐานของด้านผาชันออกไป ซึ่งผลจากการพัดพาเกลื่อนย้ายวัตถุผุกร่อนที่ฐานด้านผาชันออกไปนี้ จะทำให้พื้นผิวส่วนบนของด้านผาชันเกิดการพังทะลายต่อเนื่องกัน ในลักษณะของการปรับสภาวะสมดุลย์บนพื้นผิวลาดเอียงอยู่เสมอ วู้ด จึงเรียกด้านผาชันนี้ว่า "constant slope" (Wood. 1942 : 131) พื้นที่บางแห่งอาจมีชั้นหินแข็งและอ่อนสลับกัน อัตราการพังทะลายจะแตกต่างกัน โดยที่ชั้นหินแข็งที่แทรกอยู่ จะทำให้อัตราการพังทะลายด้านผาชันช้ากว่าปกติ ซัมเบอร์ก เรียกพื้นผิวลาดเอียงที่มีชั้นหินแข็งโผล่อยู่นี้ว่า "interrupted slope" (Zumberge. 1976 : 210) ตัวอย่างที่พบได้แก่ บริเวณด้านผาชันของเขากะบุต ทางตะวันตกของลำน้ำมูล เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม ผลขั้นสุดท้ายจากการปรับสภาวะสมดุลย์บนพื้นผิวลาดเอียง จะทำให้มุมลาดเอียงของพื้นผิวด้านผาชันไม่แตกต่างกันมากนัก แนวคิดจากการวิเคราะห์ดังกล่าวนี้ สอดคล้องกับผลการศึกษาของวู้ด เกี่ยวกับการพัฒนาความลาดเอียงด้านข้างหุบเขาในพื้นที่หลายแห่ง ซึ่งทำให้ได้ข้อสรุปว่า การกัดเซาะพังทะลายด้านข้างหุบเขานั้น ไม่ว่าพื้นที่ด้านข้างหุบเขาจะประกอบไปด้วยชั้นหินที่มีความคงทนแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด หรือกระบวนการที่กระทำจะแตกต่างกันไปก็ตาม ผลขั้นสุดท้ายที่ปรากฏจะไม่แตกต่างกัน

ผลการคัดเลือกลักษณะธรณีสัณฐานเพื่อพยากรณ์ความลาดเอียงด้านผาชันพบว่า ไม่มีลักษณะธรณีสัณฐานใดที่สามารถพยากรณ์ความลาดเอียงด้านผาชันได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง แต่เมื่อใช้ลักษณะธรณีสัณฐานหลาย ๆ ลักษณะ ร่วมกันพยากรณ์จะช่วยให้ประสิทธิภาพในการพยากรณ์สูงขึ้น ลักษณะธรณีสัณฐานที่ได้รับการคัดเลือก ได้แก่

ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ร้อยละ 23.45 (R^2 = 0.2345)

ความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ร้อยละ 17.19 (R^2 = 0.1719)

ความยาวด้านผาชัน มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ร้อยละ 11.45 (R^2 = 0.1145)

โดยที่ลักษณะธรณีสัณฐานทั้งสาม ร่วมกันพยากรณ์ความลาดเอียงด้านผาชันของเควสต้าได้ร้อยละ 94.65 (R^2 = 0.9465) ซึ่งสูงกว่าสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ของลักษณะธรณีสัณฐาน แต่ละลักษณะรวมกัน ($R^2_{SSD} + R^2_{ROW} + R^2_{ESL} = 0.5209$) แสดงว่า การใช้ลักษณะธรณีสัณฐานหลาย ๆ ลักษณะที่เหมาะสม ร่วมกันพยากรณ์ จะช่วยให้ประสิทธิภาพในการพยากรณ์เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาลักษณะธรณีสัณฐานสองลักษณะ คือ ความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน กับความยาวด้านผาชัน จะพบว่า เป็นตัวแปรที่วัดบนพื้นผิวลาดเอียงด้านผาชัน เช่นเดียวกับการวัดความลาดเอียงด้านผาชัน ตัวแปรที่วัดในสิ่งเดียวกัน แต่ต่างกันในมิติที่วัดนี้ ถือว่าเป็นตัวแปรภายในหรือตัวแปรรูปทรงของเควสต้า ซึ่งไม่มีคุณค่าในการพยากรณ์มากนัก เพราะตัวแปรดังกล่าวมีการผันแปรภายในระหว่างกันโดยธรรมชาติอยู่แล้ว ตัวพยากรณ์ชุดนี้ถึงแม้จะมีประสิทธิภาพในการพยากรณ์สูง แต่ก็เป็นผลจากตัวแปรภายในดังกล่าว จึงไม่ถือว่าเป็นกลุ่มตัวแปรที่ดีในการพยากรณ์ความลาดเอียงด้านผาชันของเควสต้า ลักษณะธรณีสัณฐานที่ถือว่าเป็นตัวแปรภายนอกในชุดพยากรณ์นี้ มีเพียงลักษณะเดียว คือ ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ และมีสัมประสิทธิ์การพยากรณ์สูงที่สุดในจำนวนลักษณะธรณีสัณฐานทั้งหมด จึงกล่าวได้ว่า ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ เป็นลักษณะธรณีสัณฐานลักษณะเดี่ยวในจำนวนที่คัดเลือกมาทั้งหมดที่สามารถพยากรณ์ความลาดเอียงด้านผาชันของเควสต้าได้ แต่ก็มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ไม่สูงมากนัก ควรจะได้ค้นหาลักษณะธรณีสัณฐานอื่น และศึกษาถึงกระบวนการพัฒนาพื้นผิวลาดเอียงด้านผาชันให้ละเอียดลึกซึ้งยิ่งขึ้น ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจรูปการของการพัฒนาพื้นผิวลาดเอียง และช่วยในการค้นหาตัวพยากรณ์ความลาดเอียงด้านผาชันของเควสต้าที่มีประสิทธิภาพ เพื่อการพยากรณ์ที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

3.3 การพยากรณ์ความยาวด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้า

ความยาวด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้า ถือเป็นมิติเกี่ยวกับขนาดของเควสต้า ซึ่งเป็นผลที่เหลือจากการถูกกัดกร่อนทำลายโดยกระบวนการภายนอก เป็นที่น่าสังเกตว่าในบริเวณที่ศึกษานี้ เควสต้าทั้งหมดทอดตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ–ตะวันออกเฉียงใต้ โดยหันด้านผาชันไปทางตะวันตกเฉียงใต้ ในสภาพปัจจุบัน เควสต้าเหล่านี้มีขนาดแตกต่างกันมาก ดังจะสังเกต

ได้จากความยาวของไหล่เขาด้านหลังหรือด้านลาดเอียงมุมเท มีขนาดแตกต่างกัน ความแตกต่างดังกล่าวนี้ น่าจะเป็นผลของการกัดกร่อนพังทะลายที่ไม่เท่ากันในพื้นที่แต่ละแห่ง แต่แนวความคิดดังกล่าวอาจไม่ถูกต้องเสมอไป เพราะแรกกำเนิดเควสต้าเหล่านี้ ความยาวของไหล่เขาด้านหลังอาจจะแตกต่างกันมาก่อนก็ได้ อย่างไรก็ตาม ลักษณะธรณีสัณฐานที่เหลืออยู่บางลักษณะน่าจะช่วยค้นหาคำตอบเหล่านี้ได้ เพราะเมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะธรณีสัณฐานบางลักษณะกับความยาวด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้า พบว่ามีค่าสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ถึงเก้าลักษณะ ได้แก่ ความสูงของแนวสันหิน (r = 0.6372) ความเอียงของชั้นหิน (r = -0.6362) ความหนาของชั้นหิน (r = 0.6211) ความกว้างของพื้นหุบเขา (r = -0.5777) ความยาวด้านผาชัน (r = 0.5772) ความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน (r = 0.5532) ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท (r = -0.5414) ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา (r = -0.5213) และระดับสูงของแนวสันหิน (r = 0.5179) แสดงว่าถ้าทราบลักษณะธรณีสัณฐานลักษณะใดลักษณะหนึ่งที่กล่าวมา จะสามารถคำนวณความยาวด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้าได้ และการใช้ลักษณะธรณีสัณฐานหลาย ๆ ลักษณะร่วมกันพยากรณ์ จะช่วยให้สัมประสิทธิ์การพยากรณ์สูงขึ้น ผลการใช้เทคนิคการวิเคราะห์ถดถอยแบบ Stepwise Multiple Regression คัดเลือกกลุ่มของลักษณะธรณีสัณฐานเพื่อเป็นตัวพยากรณ์ความยาวด้านลาดเอียงมุมเท พบว่า ลักษณะธรณีสัณฐานที่ร่วมกันพยากรณ์ความยาวด้านลาดเอียงมุมเทของเควสต้าได้ดี ได้แก่ ความสูงของแนวสันหิน ความลาดเอียงด้านผาชัน ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวเท ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา ความกว้างของพื้นหุบเขา ระดับสูงของพื้นหุบเขา ความเอียงของชั้นหิน ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ ความลาดเอียงของพื้นหุบเขา ความลาดเอียงด้านผาชัน และความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน

จะสังเกตได้ว่า ลักษณะธรณีสัณฐานบางลักษณะที่มีความสัมพันธ์กับความยาวด้านลาดเอียงมุมเทสูง อันได้แก่ ความหนาของชั้นหิน ระดับสูงของแนวสันหิน และความยาวด้านผาชันไม่ได้รับการคัดเลือกเข้าร่วมเป็นตัวพยากรณ์ในชุดนี้ แสดงว่า ลักษณะธรณีสัณฐานทั้งสามนี้มีส่วนอธิบายซ้ำซ้อนกับตัวพยากรณ์บางตัวนั่นเอง ส่วนลักษณะธรณีสัณฐานบางลักษณะที่มีความสัมพันธ์

กับความยาวด้านลาดเอียงมุมเทต่ำ เช่น ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวเท ระดับสูงของพื้นหุบเขา ความลาดเอียงของพื้นหุบเขา และความลาดเอียงด้านผาชัน ได้รับเลือกเป็นตัวพยากรณ์ร่วมในกลุ่มตัวพยากรณ์นี้ แสดงว่า ลักษณะธรณีสัณฐานสี่ลักษณะดังกล่าว สามารถอธิบายความยาวด้านลาดเอียงมุมเท ในส่วนที่ต่างไปจากลักษณะธรณีสัณฐานอื่นอธิบายได้

เมื่อพิจารณาลักษณะธรณีสัณฐานในกลุ่มตัวพยากรณ์นี้ พบว่า ความสูงของแนวสันหินกับความลาดเอียงด้านผาชัน ร่วมกันพยากรณ์ความยาวด้านลาดเอียงมุมเทได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด แต่เนื่องจากลักษณะธรณีสัณฐานทั้งสองมีคุณลักษณะเป็นตัวแปรภายใน เพราะได้จากการวัดมิติที่เป็นโครงสร้างของเควสต้าโดยตรง และตัวแปรเหล่านี้จะมีความสัมพันธ์กันโดยธรรมชาติอยู่แล้ว จึงไม่มีคุณค่าในการพยากรณ์ความยาวด้านลาดเอียงมุมเทมากนัก นอกจากนั้นยังไม่ได้ช่วยให้เข้าใจรูปการของการพัฒนาพื้นที่ด้านลาดเอียงมุมเทเพิ่มขึ้นแต่อย่างใด

ลักษณะธรณีสัณฐานที่มีคุณลักษณะเป็นตัวแปรภายนอก และมีความสำคัญในการพยากรณ์ความยาวด้านลาดเอียงมุมเท ที่ควรนำมาพิจารณาได้แก่ ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวเท ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา และความกว้างของพื้นหุบเขา ลักษณะธรณีสัณฐานทั้งสามลักษณะนี้จะแสดงให้เห็นถึงการเปิดกว้างของหุบเขา ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อการพังทะลายด้านผาชันของเควสต้า เป็นผลให้แนวสันเขาหรือสันปันน้ำถอยร่นออกไปตามลำดับ ซึ่งเป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความยาวด้านลาดเอียงมุมเทตลอดเวลา กระบวนการที่ทำให้ด้านผาชันเกิดการถอยร่นได้แก่ การกัดเซาะที่ตีนน้ำ การชะล้างเป็นแผ่น การกัดเซาะเป็นร่องบนพื้นผิวลาดเอียง การกัดเซาะที่ฐานของพื้นผิวลาดเอียง และการเกิดมวลเลื่อน เป็นต้น ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับแนวคิดของ คิง ที่กล่าวว่า การกัดเซาะเป็นร่องและการกัดเซาะที่ตีนน้ำ เป็นกระบวนการที่สำคัญที่ส่งผลต่อการถอยร่นของด้านผาชัน (Thomas. 1974 : 207 citing King. 1953) ส่วนองค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อการกัดเซาะเป็นร่อง บริเวณพื้นผิวลาดเอียงด้านผาชัน จากผลการวิจัยของ ทอร์มสัน พบว่า ขนาดของลุ่มน้ำ ความลาดเอียงของลำน้ำในลุ่มน้ำ ปริมาณฝนที่ได้รับ และส่วนประกอบของเนื้อดินที่ปกคลุมพื้นผิว มีความสัมพันธ์กับอัตราการกัดเซาะเป็นร่องบริเวณต้นน้ำด้านผาชัน (Gregory and Walling. 1973 : 370 citing Thomson. 1964)

ส่วนอัตราการชะล้างเป็นแผ่นนั้น ผลการวิจัยของ กริกอรี่ และ วอลลิ่ง พบว่า ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางด้านปริมาณฝน และความเข้มของฝนที่ได้รับ คุณสมบัติต่อการสึกกร่อนของดิน ที่ปกคลุมพื้นผิว ความยาวของพื้นที่ลาดเอียง ขนาดของความลาดเอียง และความหนาแน่นของพืชพรรณที่ปกคลุม (Gregory and Walling. 1973 : 318) แต่อย่างไรก็ตาม อัตราการกัดกร่อนพังทะลายของพื้นผิวลาดเอียงในภูมิภาคต่าง ๆ จะแตกต่างกันไป นอกจากนั้น ยังขึ้นอยู่กับอายุหรือขั้นตอนของการพัฒนาภูมิประเทศด้วย ผลการศึกษาอัตราการกัดกร่อนด้านผาชันของภูมิประเทศแบบเนินเขาลักษณะเดียวกับเควสต้าบริเวณของแอ่งลอนดอน (London Basin) พบว่า ในสภาพปัจจุบันการกัดกร่อนพื้นผิวลาดเอียงด้านผาชันให้ถอยร่นเป็นระยะทาง 2 – 3 นิ้ว จะต้องใช้เวลาประมาณ 100 ปี เป็นอย่างน้อย (Holmes. 1965 : 567 – 568) ทั้งนี้ เนื่องจากภูมิประเทศในภูมิภาคนี้ ได้ผ่านการกัดกร่อนมามาก โดยเฉพาะในระหว่างยุคอีโอซีน กับยุคอีโอซีน สภาพปัจจุบันจึงมีลักษณะเป็นหุบเขากว้างใหญ่ และมีเนินเขาเตี้ย ๆ แทรกสลับแต่เพียงส่วนน้อยเท่านั้น

สภาพปัจจุบันของเควสต้าบริเวณแอ่งโคราช การสึกกร่อนพังทะลายอย่างรุนแรงไม่มีมากนัก ร่องรอยการสึกกร่อนพังทะลายใหม่ ๆ ปรากฏน้อยมาก และมีพืชพรรณปกคลุมโดยทั่วไป อย่างไรก็ตาม สภาพการเปิดกว้างของหุบเขาซึ่งได้พัฒนามาตั้งแต่อดีต ได้แสดงให้เห็นถึงรูปการของการพัฒนาภูมิประเทศได้เป็นอย่างดี ลักษณะธรณีสัณฐานที่บ่งชี้ถึงสภาพของหุบเขา เช่น ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวเท ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา และความกว้างของพื้นหุบเขา จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาพยากรณ์ ความยาวด้านลาดเอียง มุมเทของเควสต้า

<u>ประสบการณ์จากการวิจัย</u>

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการค้นหาลักษณะธรณีสัณฐานที่สามารถอธิบายลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้า และศึกษารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะธรณีสัณฐานดังกล่าวกับภูมิประเทศแบบเควสต้า ด้วยการศึกษาจากแผนที่ภูมิประเทศ และการปฏิบัติการภาคสนาม แล้วนำข้อมูลที่ได้

มาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อสร้างรูปแบบหรือโมเดลที่เหมาะสม เพื่อการอธิบายความสัมพันธ์ของปรากฏการณ์ทางภูมิประเทศ อย่างมีประสิทธิภาพ

วิวัฒนาการทางธรณีสัณฐานที่ค่อนข้างสลับซับซ้อนของพื้นแผ่นดินบริเวณชอบด้านตะวันตกเฉียงใต้ของแอ่งโคราช ได้ดำเนินมาตลอดระยะเวลาทางธรณี จนกระทั่งได้กำเนิดปรากฏการณ์หรือประจักษ์พยานทางภูมิประเทศ ที่เป็นผลจากการกัดกร่อนพังทะลายบนโครงสร้างชั้นหินเดิม ในลักษณะภูมิประเทศแบบเควสต้า ประจักษ์พยานดังกล่าวนี้ ถือเป็นผลสุทธิหรือผลขั้นสุดท้าย จากการกระทำของกระบวนการธรณีสัณฐาน. การศึกษาลักษณะธรณีสัณฐานที่เหลือในลักษณะการวิเคราะห์รูปแบบความสัมพันธ์ในพื้นที่ จึงช่วยให้เข้าใจรูปการของการพัฒนาภูมิประเทศได้

การเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวโลกนั้นเป็นผลจากกระบวนการต่าง ๆ หลายกระบวนการ ที่มีการประสานสัมพันธ์กันอย่างเป็นระบบ และส่งผลกระทบถึงกันและกัน อย่างมีแบบแผน การอธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นให้ถูกต้องมากที่สุดก็คือ การศึกษาและรวบรวมรายละเอียดของข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้นทั้งหมด แล้วประเมินออกมาเป็นผลขั้นสุดท้าย แต่ตามความเป็นจริงแล้ว เราไม่สามารถรวบรวมรายละเอียดข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้นในทุกแง่ทุกมุมได้ เพราะปรากฏการณ์ดังกล่าวมีความยุ่งยากสับสน ลักษณะบางประการจึงต้องถูกละทิ้งไป ในทางปฏิบัติได้หยิบยกเอาส่วนสำคัญเพียงบางส่วน ที่สังเกตและวัดได้ และได้พิจารณาด้วยเหตุผลแล้วว่ามีความเกี่ยวข้องกับปัญหาที่กำลังพิจารณามากที่สุดออกมาวิเคราะห์ ในลักษณะของการย่อแบบ (abstraction) ด้วยการเลือกตัวประกอบ หรือตัวแปรที่สำคัญที่ได้จากการสังเกตหรือการพิจารณาด้วยเหตุผลตามข้อเท็จจริง แล้วนำมาประมวลด้วยวิธีการที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการสร้างรูปแบบหรือโมเดล (model building) ซึ่งจะทำให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ของปรากฏการณ์ที่ยุ่งยากสับสนได้อย่างมีหลักเกณฑ์

ในทางทฤษฎี เราสามารถสร้างโมเดลได้หลายลักษณะ และมีความซับซ้อนได้หลายระดับ แต่โมเดลที่เหมาะที่จะนำไปใช้ในการปฏิบัติงาน ควรเป็นโมเดลอย่างง่าย เพื่อช่วยให้เกิดความเข้าใจ และใช้ในการแก้ปัญหาได้ นอกจากนั้น ยังช่วยให้สามารถนำไปใช้อธิบายและขยายความของผลการศึกษาได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ

ในปัจจุบันนักธรณีสัณฐานให้ความสำคัญกับการศึกษาลักษณะภูมิประเทศ โดยการใช้เทคนิคการวิเคราะห์ทางสถิติเพิ่มขึ้น เพราะจะช่วยในการค้นหาคำตอบที่มีลักษณะเป็นปรนัยมากขึ้น และปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวโลกนั้น ได้ดำเนินอย่างมีระบบ และมีการผันแปรภายในระบบอย่างมีแบบแผน ในลักษณะของการรักษาสภาวะสมดุลย์ของการเปลี่ยนแปลง ลักษณะภูมิประเทศที่ปรากฏในแต่ละขั้นตอนของการพัฒนา จึงถือเป็นผลของการปรับสภาวะสมดุลย์ของตัวแปรต่าง ๆ นั่นเอง

ในการศึกษาลักษณะภูมิประเทศนั้น นักธรณีสัณฐานสนใจศึกษารูปร่างกระบวนการและพัฒนาการ การศึกษาถึงกระบวนการ และพัฒนาการนั้น จะช่วยให้เข้าใจการพัฒนาภูมิประเทศได้เป็นอย่างดี แต่มักจะมีปัญหาในทางปฏิบัติและมักจะมีข้อจำกัดในการศึกษาโดยเฉพาะเกี่ยวกับเทคนิควิธีการ และการควบคุมตัวแปรภายนอก ทำให้ข้อสรุปที่ได้ไม่ชัดเจนเท่าที่ควร นักธรณีสัณฐานบางท่านจึงหาวิธีควบคุมสภาวะการณ์ ด้วยการทดลองเฉพาะกรณีหรือการสร้างแบบจำลอง โดยยึดถือระบบการศึกษาแบบจำกัดสภาวะการณ์ (isolated systems) ด้วยการวัดและประเมินผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น จากกระบวนการที่กำหนดที่กระทำต่อพื้นที่หรือมวลที่จำกัดปริมาณ วิธีการนี้เหมาะที่จะใช้ศึกษาในห้องทดลอง เพื่อการศึกษารูปแบบและอัตราการเปลี่ยนแปลงบนพื้นที่ จากกระบวนการใดกระบวนการหนึ่ง หรืออาจศึกษาโดยระบบกำหนดขอบเขตสภาวะการณ์ (closed systems) ด้วยการวัดและประเมินผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากกระบวนการที่เกี่ยวข้องทั้งหมดที่กระทำต่อพื้นที่ หรือมวลที่จำกัดปริมาณ ซึ่งระบบการศึกษาทั้งสองนี้จะช่วยให้เข้าใจรูปการของการเปลี่ยนแปลงบนพื้นที่ได้เด่นชัดขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม กระบวนการธรรมชาติที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวโลกนั้น จะมีความสัมพันธ์ระหว่างกันและส่งผลกระทบถึงกัน และมีการเปลี่ยนแปลงเคลื่อนย้ายมวลอยู่ตลอดเวลาเพื่อรักษาสภาวะสมดุลย์ของผลที่ได้จากกระบวนการ (output) กับปริมาณมวล (mass) และพลังงาน (energy) ที่เข้าสู่กระบวนการ (input) ระบบของปรากฏการณ์ธรรมชาติ จึงเป็นระบบที่ไม่จำกัดสภาวะการณ์ และไม่กำหนดขอบเขตของสภาวะการณ์ (open systems) ในการศึกษาแต่ละครั้ง จึงควรเลือกระบบการศึกษาให้สอดคล้องกับเป้าหมายที่วางไว้

การศึกษาครั้งนี้ได้พยายามพิจารณาผลสุทธิที่เกิดจากการกระทำของกระบวนการต่าง ๆ ภายใต้ระบบของปรากฏการณ์ธรรมชาติ ด้วยการวิเคราะห์รูปแบบความสัมพันธ์ของปรากฏการณ์ทางภูมิประเทศ เมื่อได้ทดสอบผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ และการพิจารณาโดยหลักเหตุผลแล้ว จึงได้สร้างรูปแบบหรือโมเดล ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ของปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่ยุ่งยากสับสนที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวโลก โดยอาศัยตัวแปรต่าง ๆ ที่สังเกตและวัดได้เป็นตัวแทนของปรากฏการณ์เหล่านั้น หลังจากที่ได้รูปแบบหรือโมเดลแล้ว จะสามารถอธิบายหรือสรุปผลที่เกิดจากปรากฏการณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตาม ข้อสรุปดังกล่าวจะไม่สามารถอธิบายความจริงหรือปรากฏการณ์ที่เป็นจริงได้ถูกต้องทั้งหมด และมักจะมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นได้เสมอ จากสาเหตุที่สำคัญอย่างน้อยที่สุดสี่ประการ คือ

1. ข้อจำกัดในการสรรหาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อสภาวะการณ์ที่กำลังศึกษาและสามารถประเมินค่าได้อย่างมีความเป็นปรนัย

2. การขาดเหตุผลที่เป็นจริงในการอธิบายปรากฏการณ์ทางธรณีสัณฐาน

3. ข้อผิดพลาดซึ่งเกิดจากความบังเอิญ (accident) ของเหตุการณ์

และ 4. ข้อผิดพลาดซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงระบบของปรากฏการณ์บางอย่าง ซึ่งจะส่งผลต่อรูปแบบความสัมพันธ์เดิม

ด้วยเหตุนี้ การตัดสินใจหรือการหาข้อยุติ จึงควรนำโมเดลมาวิเคราะห์และพิจารณาด้วยหลักเหตุผลที่เป็นจริงอย่างรอบคอบเสียก่อน และพึงระลึกอยู่เสมอว่าการวิเคราะห์เชิงปริมาณนั้น เป็นวิธีที่ดีที่สุดวิธีหนึ่งที่ช่วยในการตัดสินใจ และช่วยในการหาข้อยุติ สำหรับความถูกต้องในการอธิบายปรากฏการณ์นั้นย่อมขึ้นอยู่กับเหตุผลตามความเป็นจริงเป็นสำคัญ

ข้อบกพร่องในการศึกษา

1. ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการหาความเอียงของชั้นหิน โดยการวัดมุมเทของชั้นหินนั้น ได้จากการสุ่มตัวอย่างเพียงบางตำแหน่ง แล้วนำมาหาค่าความเอียงเฉลี่ยของเกวสต้าแต่ละแห่ง ในกรณีที่ชั้นหินในตำแหน่งต่าง ๆ ของเกวสต้ามีมุมเทไม่คงที่ ค่าเฉลี่ย

ที่ได้ จะไม่เป็นตัวแทนที่ดี นอกจากนั้น ยังมีปัญหาในการศึกษาชั้นหิน เพราะสภาพปัจจุบันมีชั้นดิน และพืชพรรณปกคลุมโดยทั่วไป และบางบริเวณมีปัญหาในการเข้าถึง โดยเฉพาะอย่างยิ่งความไม่ปลอดภัยในการเดินทาง อย่างเช่นบริเวณตะวันออกของลำน้ำมูล ในเขตอำเภอครบุรี เป็นต้น การหาความเอียงของชั้นหิน จึงใช้วิธีประมาณ จากชั้นหินในบริเวณใกล้เคียงที่สุดที่สามารถวัดได้ ข้อจำกัดดังกล่าวทำให้ได้ข้อมูลที่คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้

2. เนื่องจากตัวแปรทางธรณีสัณฐานที่นำมาวิเคราะห์นั้น บางตัวมีความสัมพันธ์ภายในระหว่างกันค่อนข้างสูง จึงทำให้ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบ และการวิเคราะห์ถดถอยไม่ชัดเจนเท่าที่ควร โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณนั้น ถ้าตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันสูงบางครั้ง อาจจะให้ผลที่ไม่น่าเชื่อถือ เพราะกลุ่มตัวแปรอิสระที่ได้รับการคัดเลือกนั้น อาจไม่ใช่กลุ่มที่ดีที่สุด ตามหลักเหตุผลที่ควรจะเป็น

3. ลักษณะธรณีสัณฐานบางลักษณะที่คัดเลือกมา มีลักษณะเป็นตัวแปรภายในหรือตัวแปรรูปทรงของเควสต้า เพราะได้จากการวัดหรือคำนวณจากสัณฐานของเควสต้าในลักษณะใดลักษณะหนึ่ง ตัวแปรเหล่านี้จึงมีความผันแปรกับภูมิประเทศแบบเควสต้าโดยธรรมชาติอยู่แล้ว เมื่อนำมาใช้อธิบายหรือพยากรณ์ จึงไม่ได้ช่วยให้เข้าใจรูปการของการพัฒนาลักษณะธรณีสัณฐานเพิ่มขึ้นแต่อย่างใด

4. แม้ว่าพื้นที่ที่ศึกษาได้รับอิทธิพลจากกระบวนการภายนอกเหมือน ๆ กัน แต่ความรุนแรงของกระบวนการที่กระทำต่อพื้นที่แต่ละแห่งอาจไม่เท่ากัน เป็นผลให้รูปลักษณะภูมิประเทศแตกต่างกัน ความแตกต่างดังกล่าวจึงเป็นผลมาจากความรุนแรงของกระบวนการ การอธิบายความแตกต่างดังกล่าวด้วยตัวแปรทางธรณีสัณฐาน โดยยึดถือเอาระบบความสัมพันธ์ของปรากฏการณ์ทางภูมิประเทศเป็นหลักในการพิจารณา จึงไม่สามารถให้ผลการวิเคราะห์ที่เชื่อถือได้มากนัก

ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป

1. ในการใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบ และการวิเคราะห์ถดถอยในงานวิจัยทางธรณีสัณฐาน และงานวิจัยด้านอื่น ๆ ควรพยายามคัดเลือกตัวแปรที่เป็นอิสระแก่กันให้มากที่สุด เพื่อจะได้ผลการวิเคราะห์ที่เชื่อถือได้มากยิ่งขึ้น

2. ในการวิเคราะห์องค์ประกอบและการวิเคราะห์ถดถอย เพื่อค้นหากลุ่มตัวแปรที่เหมาะสม ในการอธิบายปรากฏการณ์ใดปรากฏการณ์หนึ่ง ควรพยายามหลีกเลี่ยงตัวแปรที่มีลักษณะเป็นตัวแปรภายใน และพยายามค้นหาตัวแปรภายนอกที่มีเหตุผลเชื่อว่าน่าจะมีอิทธิพลต่อปรากฏการณ์ดังกล่าว มาร่วมในการวิเคราะห์ให้มากที่สุด ซึ่งจะทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ตรงเป้าหมายมากยิ่งขึ้น

3. ควรจะได้ศึกษาถึงผลของโครงสร้างการวางตัวของชั้นหินที่มีต่อการพัฒนาลักษณะภูมิประเทศบริเวณแอ่งโคราช โดยเฉพาะบริเวณขอบด้านตะวันตกและขอบด้านใต้ ซึ่งชั้นหินมีความเอียงแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด

4. ควรจะได้ค้นหาหลักฐานเกี่ยวกับผลของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลครั้งสำคัญ ๆ ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะภูมิประเทศ หลักฐานดังกล่าวอาจพิจารณาได้จากลักษณะของตะกอนและลักษณะของตะพักริมน้ำ (terrace)

5. ควรจะได้มีการสำรวจหาลักษณะธรณีสัณฐานที่เกิดจากการสึกกร่อนพังทะลายที่เก่ากว่า (older erosion surface) ที่ปรากฏอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจถึงวิวัฒนาการของพื้นแผ่นดินในภูมิภาคนี้ได้ดียิ่งขึ้น

6. ควรพยายามใช้เครื่องมือบางอย่างที่มีอยู่แล้ว เช่น ภาพถ่ายทางอากาศ ภาพถ่ายดาวเทียม กับงานวิจัยทางธรณีสัณฐาน และงานวิจัยสาขาอื่น ๆ ให้กว้างขวางขึ้น โดยเฉพาะในขั้นการวิเคราะห์รายละเอียด ซึ่งจะช่วยให้สะดวกและประหยัดทั้งเวลา กำลังคน และงบประมาณ และลดงานในภาคสนามลงได้มาก

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

เกษม จันทร์แก้ว อุทกวิทยาลุ่มน้ำ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2515, 250 หน้า

ชัยยันต์ หินทอง และคณะ รายงานวิจัยสะแกราชทางธรณีวิทยา กองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี 2519, 87 หน้า

ทวีศักดิ์ ระมิงค์วงศ์ และ ชาญ ตันศิสุกฤต ธรณีวิทยาสำหรับวิศวกร ภาควิชาธรณีวิทยา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2521, 210 หน้า

ธรณีวิทยาประเทศไทย กองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี 2521, (แผนที่) สี $21\frac{6}{8} \times 28\frac{6}{8}$ นิ้ว, 1 : 250,000

นิธิพัฒน์ ชาสีจันทร์ และ คณ บุนนาค รายงานการสำรวจธรณีวิทยาและแหล่งแร่ในภาคอีสาน กองธรณีวิทยา 2497,

บพิตร โกมลตรี ปริมาณวิเคราะห์ลักษณะการระบายน้ำ และผลที่มีต่อลักษณะภูมิประเทศของลำเซในลุ่มน้ำมูล ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 2517, 64 หน้า อัดสำเนา

ประเทศไทยแสดงภูมิประเทศ กรมแผนที่ทหารบก 2512, (แผนที่) สี $22\frac{2}{8} \times 28\frac{6}{8}$ นิ้ว, 1 : 50,000

ประเทศไทยแสดงภูมิประเทศ กรมแผนที่ทหารบก 2516, (แผนที่) สี $21\frac{6}{8} \times 28\frac{6}{8}$ นิ้ว, 1 : 250,000

ประเสริฐ วิทยารัฐ เอกสารประกอบการสอนวิชา ภูม.622 : ธรณีสัณฐานวิทยา ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร 2520, 31 หน้า

ประสิทธิ์ คุณรัตน์ ปริมาณวิเคราะห์องค์ประกอบทางธรณีสัณฐานที่ส่งผลต่อการเกิดทะเลสาบรูปแอกในลุ่มน้ำชี ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 2520, 104 หน้า อัดสำเนา

พจน์ สะเพียรชัย การวิเคราะห์ตัวแปรพหุนาม มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ม.ป.ป., 129 หน้า

พิสิทธิ์ ธีรคิลก ข้อคิดเห็นเกี่ยวกับ Precambrian และธรณีวิทยาโครงสร้างของประเทศไทย บทความประกอบการเรียนวิชาธรณีวิทยา ภาควิชาภูมิศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร 2516, 12 หน้า

ศรีสอาด ตั้งประเสริฐ การบรรยายลักษณะพื้นแผ่นดินและความแตกต่างทางภูมิภาคในภาคเหนือของประเทศไทย โดยใช้ปริมาณวิเคราะห์ บทความเสนอในการประชุมเรื่องงานวิจัยทางภูมิศาสตร์ในประเทศไทย โดยวิธีปริมาณวิเคราะห์ ที่มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ระหว่างวันที่ 14 – 17 มีนาคม 2521, 8 หน้า

สิทธิ์ สุทธิพงศ์ การแปลความหมายทางธรณีวิทยาจากภาพถ่ายทางอากาศ กองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี 2509, 188 หน้า

อภิสิทธิ์ เอี่ยมหน่อ ธรณีวิทยา ไทยวัฒนาพานิช กรุงเทพฯ 2516, 278 หน้า

Akinbola, Akinlayo J. "Valley-Side Slope Variation in Relating to the Control Factor of Denudation," Dissertation Abstracts International. 32 : 5241B - 5242B, September, 1972.

Bishop, Margaret S., Phyllis G. Lewis and Berry Sutherland. Focus on Earth Science. Ohio, Charles E. Merrill and Howell Company, 1976. 532 p.

Brown, G.F. "Geologic Reconnaissance of the Mineral Deposits of Thailand," U.S. Geological Survey Bulletin. 1 : 183 Royal Department Minerals Geological Survey, 1953.

Carroll, Dorothy. Rock Weathering. London, Plenum Press, 1970, 203 p.

Carter, C.S. and R.J. Chorley. "Early Slope Development and Expanding Stream Septem," Geological Magazine. 98 : 117-130, 1961.

Carson M.A. and M.J. Kirkby. Hillslope Form and Process. Cambridge, Cambridge University Press, 1975. 424 p.

Child, Dennis. The Essentials of Factor Analysis. Guildford and London, Billing & Sons Ltd., 1976. 107 p.

Cotton, C.A. Geomorphology : An Introduction to the Study of Landforms. Whitcomb & Tombs Ltd., 1964. 505 p.

Davis, William M. Geographical Essays. New York, Dover Publications, Inc., 1954. 777 p.

Doornkamp, J.C. and A.M. King. Numerical Analysis in Geomorphology. Frome and London, Butter & Tanner Ltd., 1971. 372 p.

Geological Map of Thailand. Geological Survey Devision, Department of Mineral Resources, 1978. (map) col.,,19 X 25 inchs. 1 : 250,000.

Gilluly, James, Aaron C. Waters and A.O. Woodford. Principle of Geology. San Francisco, W.H. Freeman and Company, 1968. 687 p.

Godfrey, Andrew Elliott. "Geologic History and Process of Fan and Pediment Development in the Northern Henry Mountains Piedmont, Utah," Dissertation Abstracts International. 32 : 7113 - 7114 B, June, 1972.

Gregory, K.J. and D.E. Walling. Drainage Basin Form and Process : A Geomorphological Approach. London, Edward Arnold Ltd., 1973. 456 p.

Harman, H.H. Modern Factor Analysis. Chicago, The University of Chicago Press Ltd., 1976. 487 p.

Holmes, Arhtur. Principle of Physical Geology. London and Edinbergh, Thomas Nelson Ltd., 1965. 1288 p.

Ichikawa, Masami. "Hillside Slope Forms and Their Evolution," International Geography 1972. Toronto, University of Toronto Press, 1972. 694 p.

Jacobs, J.A., R.D. Russell and Tozo J. Wilson. Physic and Geology. New York, McGraw-Hill, Inc., 1974. 622 p.

King, A.M. Techniques in Gemorphology. London, Edward Arnold Ltd., 1971. 342 p.

King, L.C. "Connons of Landscape Evolution," Bulletin of the Geological Society of America. 64 : 721, 1973.

Kuenen, P.H. Realms of Water. New York, John Wiley & Sons Inc., 1955. 327 p.

Lamoreaux, P.E. and Jumchet. "Reconnaissance of the Geology and Ground Water of the Khorat Plateau, Thailand," U.S. Geological Survel Water-Supply Paper 1429. p.12 - 15, 1959.

Leet, Don L. and Judson Sheldon. Physical Geology. Prentice-Hall Inc., 1965. 406 p.

Longwell, Chester R. and others. Introduction to Physical Geology. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1969. 685 p.

Mather, P.M. Computational Methods of Multivariate Analysis in Physical Geography. New York, John Wiley & Sons, 1976. 532 p.

Melton, Mark A. "Correlation Structure of Morphometric Properties of Drainage Systems and Their Controlling Agents," The Journal of Geology. 66 : 442 - 460, 1958.

Ofomata, G.E.K. "Hillslope Evolution on Nsukka Plateau of Eastern Nigeria," International Geography 1972. Toronto, University of Toronto Press, 1972. 694 p.

Pitty, Alistair F. Introduction to Geomorphology. London, Methuen & Co., Ltd., 1971. 526 p,

Ramsey, William L. and Raymond Burckley. Modern Earth Science. New York, Holt, Rinehart and Winston, Inc., 1965. 664 p.

Rosemary, More J. Models in Geography. London, Methuen & Co. Ltd., 1968. 145 - 179 p.

Sawkins, Frederick J. and others. The Evolving Earth. New York, Macmillian Publishing Co., Inc., 1974. 477 p.

Sheldon, Judson and others. Physical Geology. New Jersey, Prentice-Hall, Inc., 1976. 560 p.

Spark, B.W. Geomorphology. Frome and London, Butter & Tarner Ltd., 1965. 371 p.

Spencer, Edgar Winston. Introduction to the Structure of the Earth. New York, McGraw-Hill, Inc., 1977. 640 p.

Strahler, Arther N. "Hypsometric (Area-Altitude) Analysis of Erosion Topography," Bulletin of the Geological Society of America. 63 : 1117 - 1149, 1952.

_____. The Earth Sciences. New York, Harper & Row, Publishers, Inc., 1971. 824 p.

_____. Physical Geography. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1975. 416 - 423 p.

Termier, H. Erosion and Sedimentation. London, D. Van Nostrand Company, 1963. 433 p.

Thailand 4-6. Thailand National Remote Sensing Program, National Research Council, 1977. NASA ERTS E-2361-02523-7.

Thomas, Michael F. Tropical Geomorphology. London and Basingstoke, The Macmillian Press, 1974. 332 p.

Thornbury, William D. Principle of Geomorphology. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1969. 594 p.

Trewatha, Glenn T., Arthur H. Robinson and Edwin H. Hammond. Fundamental of Physocal Geography. New York, McGraw-Hill Inc., 1968. 384 p.

Twidale C.R. An Introduction to Systematic Geomorphology Structural Landforms. Cambridge, The Mit Press, 1971. 247 p.

Visut, Pisutha-Arnond. "Detailed Lithostratigraphic Section at the Roadcut R.M. 188-5 of the Friendship Highway, Northeast Thailand," Journal of the Geological Society of Thailand. 2 : 85 - 93, December, 1976.

Wert, James E. and others. Statistical Method in Educational and Psychological Research. New York, Appleton-Century Crofts, Inc., 1954. 435 p.

Wood, Alan. "The Development of Hillside Slopes," Proc. of the Geologist Association. 53 : 130 - 131, 1942.

Workman, D.R. "Geology of Laous, Cambodia, South Vietnam and the Eastern Part of Thailand," Overseas Geology and Mineral Resources. London, The Majesty's Stationaly Office, 50 : 1 - 34, 1977.

Zumberg, James H. and Clemens A. Nelson. Elements of Physical Geology. New York, John Willey & Sons, Inc., 1976. 395 p.

ภาคผนวก

ตัวอย่างแบบบันทึกข้อมูล

วันที่ เดือน พ.ศ.

ตำแหน่งที่ตรวจสอบ
สภาพพื้นที่โดยทั่วไป
ชนิดของหิน
ลักษณะเนื้อหิน
การจัดเรียงตัวของชั้นหิน
โครงสร้างหิน
ความเอียงของชั้นหิน
ความหนาของชั้นหิน (เท่าที่ตรวจสอบได้)
การแผ่กระจายของชั้นหิน
ความหนารวมของชั้นหิน
ความกว้างของผิวหน้าชั้นหิน
ระดับสูงของแนวสันหิน
ระดับสูงของพื้นหุบเขา
ความกว้างของพื้นหุบเขา
ความลาดเอียงของพื้นหุบเขา
ระยะห่างจากแกนกลางหุบเขา
ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวระดับ
ระยะห่างจากลำน้ำตามแนวเท
ความสูงของสันเขา
ความลาดเอียงด้านลาดเอียงมุมเท
ความลาดเอียงด้านผาชัน
ความยาวด้านลาดเอียงมุมเท
ความยาวด้านผาชัน

ตาราง ๗ (ต่อ)

ลำดับที่	RSD	RST	ROW	RCA	VFA	VFW	VFS	VAD	SSD	CSD	RCH	DSS	ESS	DSL	ESL
18.	2.23	151.1	290	400	228	8575	1.28	5300	2795	4700	140	6.10	48.28	2299	322
19.	2.23	129.8	245	400	232	8625	1.88	5300	2805	6025	120	4.74	48.98	2535	272
20.	2.23	141.5	425	406	236	8075	2.02	5050	2605	7255	126	4.95	29.65	2548	443
21.	2.26	222.6	475	484	240	7125	3.40	4205	1650	8495	204	6.15	42.95	3321	517
22.	2.00	290.6	580	520	233	3300	3.51	2225	1065	6260	270	4.39	46.55	6161	640
23.	1.92	236.6	535	480	219	3800	1.98	2395	2605	4775	220	4.03	41.12	5459	578
24.	1.85	214.3	475	440	217	4950	1.49	2650	2010	3125	200	3.55	42.11	5633	515
25.	1.72	150.1	315	380	215	7175	0.72	4550	3795	1855	140	3.57	44.44	3927	345
26.	1.70	232.8	465	460	227	5200	1.24	3245	1510	1645	220	3.45	47.31	6379	514
27.	1.70	191.1	375	460	232	3400	3.47	2925	1760	2540	180	4.09	48.00	4399	416
28.	1.70	169.5	355	460	270	2475	2.24	2350	1695	4990	160	3.38	45.07	4733	389
29.	1.70	164.6	345	435	240	3710	3.38	2350	1530	5445	155	3.07	44.93	5057	378
30.	1.70	135.6	250	388	219	5600	2.85	3625	1700	1250	128	2.61	51.20	4902	281
หน่วย	ไม่มี	เมตร	เมตร	เมตร	เมตร	เมตร	เมตร/วินาที	เมตร	เมตร	เมตร	เมตร	เมตร/วินาที	เมตร/วินาที	เมตร	เมตร

ตาราง ๗ ข้อมูลที่ได้จากการวัดและคำนวณจากแผนที่ภูมิประเทศ และการสำรวจภาคสนาม

ลำดับที่	RSD	RST	ROW	RCA	VFA	VFW	VAS	VAD	SSD	CSD	RCH	DSS	ESS	DSL	ESL
1.	1.98	126.5	245	418	266	2740	4.53	1450	995	14760	118	4.84	48.16	2443	272
2.	2.00	195.2	250	484	255	2130	4.62	1550	1325	11970	184	5.28	52.57	3490	395
3.	1.96	168.3	260	440	248	3330	2.86	1750	1380	10595	160	3.72	61.54	4308	305
4.	1.95	105.2	165	400	245	5190	3.35	2375	1805	9795	100	3.76	60.61	2662	193
5.	1.98	172.8	325	442	242	4105	2.97	1825	1605	8740	162	3.87	49.85	4188	363
6.	1.95	127.1	250	420	238	4350	3.32	2375	2120	8005	120	4.62	48.00	2598	277
7.	1.95	85.6	170	360	235	6450	1.89	3195	2555	7110	80	2.52	47.06	3176	188
8.	1.82	88.1	260	340	234	7350	0.74	4805	3775	6480	80	2.81	30.77	2846	272
9.	1.85	195.5	325	445	234	3550	1.37	2050	2225	4230	185	3.39	56.92	5458	374
10.	1.80	127.3	260	400	240	5480	1.46	2850	3005	7880	120	3.12	46.15	3846	286
11.	1.87	152.9	445	420	240	5525	1.38	3305	3350	8595	140	3.83	31.46	3658	466
12.	1.92	128.9	255	420	240	5900	2.08	3195	3145	9155	120	4.13	47.06	2907	282
13.	2.00	181.2	375	449	240	5300	1.43	2950	3175	9895	169	5.43	45.07	3115	411
14.	2.00	137.8	270	369	232	6950	0.29	5450	3005	1995	129	5.27	47.68	2453	299
15.	2.10	154.0	380	380	220	7500	1.11	5205	2195	1795	140	4.97	36.84	2818	405
16.	2.23	211.5	365	457	221	7600	3.32	4975	1540	2625	197	9.36	53.97	2114	415
17.	2.23	170.9	305	420	224	8525	1.85	5175	2250	3675	160	6.99	52.46	2296	344

ตาราง 8 ค่าสถิติพื้นฐานของข้อมูลที่ได้จากการวัดและคำนวณจากแผนที่ภูมิประเทศ และกา
สำรวจภาคสนาม

ลักษณะธรณีสัณฐาน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	จำนวนตัวอย่าง
RSD	1.9510	0.1815	30
RST	165.2996	46.1774	30
ROW	337.8333	101.8340	30
RCA	425.8999	40.9023	30
VFA	235.4000	13.1096	30
VFW	5466.1641	1958.1790	30
VFS	2.2677	1.1287	30
VAD	3355.0000	1304.1748	30
SSD	2232.5000	781.7961	30
CSD	6188.6641	3425.0208	30
RCS	154.2333	43.2410	30
DSS	4.3997	1.4344	30
ESS	46.5619	7.5144	30
DSL	3724.2332	1261.7246	30
ESL	371.9331	108.1888	30

ตาราง ๑ การสะกัดความแปรปรวนร่วมของลักษณะขรณีสัณฐาน เพื่อหาองค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อลักษณะภูมิประเทศแบบเคาสต้า

องค์ประกอบ	eigenvalue	pct. of var.	cum. pct.
1	5.7810	38.5	38.5
2	3.8722	25.8	64.3
3	2.6617	17.7	82.0
4	1.3430	9.0	91.0
5	0.5138	3.4	94.5
6	0.3285	2.2	96.7
7	0.2655	1.8	98.4
8	0.1168	0.8	99.2
9	0.0581	0.4	99.6
10	0.0309	0.2	99.8
11	0.0149	0.1	99.9
12	0.0078	0.1	100.0
13	0.0049	0.0	100.0
14	0.0000	0.0	100.0
15	0.0000	0.0	100.0