บทที่ 10
น้ำใต้ดินและธรณีสัณฐานในภูมิประเทศคาร์สต์

10.1 แหล่งน้ำใต้ดิน

น้ำใต้ดินส่วนใหญ่ได้มาจากน้ำจากบรรยากาศ (METEORIC WATER) ซึ่งจะเป็นฝนที่ตกลงมาหรือหิมะที่ละลายไหลซึมผ่านชั้นดินหินลงไปกักขังอยู่ตามช่องว่างของดินหินและแร่ใต้ผิวเปลือกโลก น้ำใต้ดินประเภทนี้มนุษย์ได้นำมาใช้ประโยชน์มากที่สุด อีกประเภทคือน้ำในหินชั้น (CONNATE WATER) เป็นน้ำที่ซึมลงไปกักขังอยู่ในช่องว่างของหินชั้นประเภทหินทรายชนิดต่าง ๆ ที่วางตัวอยู่ในทะเลหรือทะเลสาบ เมื่อมีการขุดเจาะขึ้นมาจะได้น้ำเค็มเพราะมีส่วนประกอบของน้ำทะเลอยู่ด้วย น้ำใต้ดินประเภทนี้ส่วนมากยังเก็บกักอยู่ในชั้นหินมานานหลายพันปีแล้ว น้ำใต้ดินอีกประเภทคือน้ำหินหนืด (MAGMATIC WATER) เป็นน้ำที่พบอยู่ภายในโลกซึ่งเกิดจากหินหนืดที่ไหลพุ่งขึ้นมาจากส่วนลึกของโลก เป็นน้ำที่มีอุณหภูมิสูงและมีแร่ธาตุเจือปนอยู่มาก ปริมาณน้ำใต้ดินและความลึกที่น้ำใต้ดินซึมลงไปได้จะแตกต่างกันมากในแต่ละบริเวณ การขุดบ่อน้ำหรือน้ำมันในชั้นหินดินดานที่เนื้อแน่นหรือหินอัคนีบางชนิดแม้จะขุดลงไปในระดับลึก ๆ ก็อาจจะไม่พบน้ำเลย ส่วนในเขตอื่น ๆ ที่ประกอบด้วยหินที่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้หรือหินที่มีรอยแยกมากมาย แม้จะขุดลงไปในระดับตื้น ๆ ก็อาจจะพบน้ำใต้ดินในปริมาณมากแล้ว

ปัจจัยสำคัญซึ่งกำหนดความลึกที่น้ำใต้ดินจะซึมลงไปได้นั้นคือความพรุน (POROSITY) และการยอมให้น้ำไหลผ่านได้ (PERMEABILITY) อย่างไรก็ตามเมื่อลึกลงไปมาก ๆ จนกระทั่งถึงความลึกระดับหนึ่งซึ่งกำลังของหินจะไม่สามารถต้านทานน้ำหนักของหินชั้นบนได้ ซึ่งเชื่อกันว่าเป็นความลึกประมาณ 6 ไมล์ จากพื้นผิวโลก ที่ความลึกระดับนี้แรงกดดันของหินจะมีประมาณ 5 ล้านปอนด์ต่อตารางฟุต ความกดดันนี้จะมีมากพอ

จนสามารถปิดช่องว่างในหินดินทำให้น้ำซึมลงไปสู่เบื้องล่างต่อไปไม่ได้ ตามความเป็นจริงแล้วมีน้ำในปริมาณน้อยมากที่จะซึมลงถึงระดับความลึกขนาดนี้ ดังนั้นในเหมืองที่ลึกมาก ๆ ก้นเหมืองจะแห้งและน้ำใต้ดินส่วนใหญ่ก็จะพบในระยะลึกไม่กี่พันฟุตจากพื้นผิวโลก สำหรับการไหลของน้ำใต้ดินจะช้า แต่การไหลเร็วหรือช้าจะขึ้นอยู่กับภูมิประเทศและหางที่น้ำไหลผ่าน ถ้าไหลไปตามโพรงใต้ดินหรือร่องน้ำขนาดใหญ่ก็จะไหลเร็วขึ้นมาก

พื้นที่บริเวณที่มีน้ำใต้ดินจะแบ่งออกเป็น 2 โซน คือโซนสัมผัสอากาศ (ZONE OF AERATION หรือ VADOSE ZONE) เป็นโซนตั้งแต่ผิวดินไปถึงเหนือโซนอิ่มตัว (ZONE OF SATURATION) หรือ PHREATIC ZONE ในโซนนี้จะประกอบด้วยเขตที่อยู่ถัดผิวดินคือ SOIL MOISTURE BELT ใต้ลงไปเป็น CAPILLARY ZONE เมื่อฝนตกลงมาหรือหิมะละลายน้ำจะซึมผ่านทั้งสองเขตลงไปถึงชั้นของน้ำใต้ดินซึ่งอยู่ใต้สองเขตนี้ ในโซนสัมผัสอากาศน้ำที่ซึมอยู่ในชั้นดินหินทรายยังไม่อิ่มตัว ดังนั้นในช่วงว่างของดินหินนั้นบางส่วนจะบรรจุด้วยน้ำ และบางส่วนบรรจุด้วยอากาศ ในกรณีที่โซนอิ่มตัวในเขตที่ต่ำหรือที่ราบอยู่ใกล้ผิวดินมาก โซนสัมผัสอากาศจะไม่มีหรืออยู่ตื้นมากก็ได้ อย่างไรก็ตามน้ำในโซนสัมผัสอากาศมีประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืชมาก ถัดจากโซนสัมผัสอากาศลงมาคือโซนอิ่มตัว เป็นโซนที่น้ำบรรจุอยู่เต็มช่องว่างของดินและหินจึงเป็นแหล่งของน้ำใต้ดินที่แท้จริง ระดับผิวบนสุดของน้ำใต้ดินเรียกว่าระดับน้ำใต้ดิน (GROUNDWATER TABLE) น้ำจากโซนสัมผัสอากาศสามารถไหลลงไปในโซนอิ่มตัวได้ และในทางตรงกันข้ามน้ำจากโซนอิ่มตัวก็สามารถไหลไปสู่โซนสัมผัสอากาศได้เช่นเดียวกัน สำหรับระดับน้ำใต้ดินนั้นจะไม่คงที่เป็นเส้นตรงแต่จะคดโค้งไปตามลักษณะภูมิประเทศ บริเวณใดเป็นที่สูง เช่น ภูเขา เนินเขา ระดับน้ำใต้ดินจะลึก บริเวณใดเป็นที่ต่ำระดับน้ำใต้ดินจะตื้น นอกจากนั้นระดับน้ำใต้ดินยังสูงต่ำตามจำนวนฝนที่ได้รับ ภายหลังฝนตกหนักระดับน้ำใต้ดินจะสูงกว่าในช่วงระยะฝนแล้ง ดังนั้นระดับน้ำใต้ดินในเขตชุ่มชื้นจะสูงกว่าในเขตแห้งแล้ง ในเขตที่มีการสูบน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้ระดับน้ำใต้ดินก็จะลดต่ำลง

และจะสูงขึ้นเมื่อมีฝนไหลซึมลงมาเพิ่มเติม

ในบางบริเวณที่ชั้นหินวางตัวในแนวระนาบหรือเอียงเพียงเล็กน้อย เช่น มีชั้นของหินชั้นประเภทหินทรายวางตัวสลับกับชั้นหินดินดาน หินทรายเป็นหินที่มีความพรุนและยอมให้น้ำไหลผ่านได้ ทำให้เกิดเป็นที่กักน้ำได้ซึ่งเรียกว่าหินน้ำซึม (AQUIFER) ในทางตรงข้ามหินดินดานซึ่งยอมให้น้ำไหลผ่านน้อยมากจะจำกัดการไหล และกลไกเก็บกักน้ำจะเรียกว่าหินกั้นน้ำซึม (AQUICLUDE) ถ้าหินกั้นน้ำซึมพบอยู่ระหว่างหินน้ำซึม เช่น ในกรณีของหินดินดานซึ่งเป็นหินกั้นน้ำซึมก็จะกั้นไม่ให้น้ำไหลซึมลงไปยังระดับน้ำใต้ดินจริง (MAIN WATER TABLE) ซึ่งอยู่ข้างล่างได้ น้ำที่รวมอยู่เหนือชั้นหินกั้นน้ำซึมจะเป็นระดับน้ำใต้ดินสูงผิดปกติ (PERCHED WATER TABLE) ซึ่งถ้ามาสัมผัสกับบริเวณผนังหุบเขาจะทำให้น้ำเกิดพุ่งออกมาเกิดเป็นน้ำพุ (SPRING) ขึ้น ถ้าชั้นหินวางตัวเอียงมากทำให้มีกำลังแรงดันน้ำสูงมากจนดันน้ำพุ่งออกมาตลอดเวลา เรียกว่าน้ำพุบาดาล (ARTESIAN SPRING)

10.2 <u>การทำงานของน้ำใต้ดิน</u>

การทำงานของน้ำใต้ดินทำให้เกิดการผุพังทั้งทางกายภาพและเคมี ซึ่งมีผลทำให้ลักษณะของผิวโลกเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก

10.2.1 <u>การทำงานทางกายภาพ</u> (MECHANICAL WORK OF GROUNDWATER) น้ำใต้ดินเป็นปัจจัยประการหนึ่งที่ช่วยทำให้เกิดการไถลขึ้น (MASS MOVEMENT) น้ำจะทำหน้าที่เป็นตัวลื่นไหลที่ช่วยแรงดึงดูดของโลกในการทำให้หินดินแตกแยกและเคลื่อนย้ายไป อย่างไรก็ตามการไถลทุกชนิดก็มิได้อาศัยน้ำเป็นตัวช่วยในการลื่นไหลทั้งหมด ในกรณีของโคลนเลื่อน จะมีน้ำเป็นตัวช่วยอย่างมาก แต่ส่วนหินพังจะมีน้ำช่วยในการลื่นไหลน้อยมาก สำหรับการไถลชนิดต่าง ๆ นั้นได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 5

10.2.2 <u>การทำงานทางเคมี</u> (CHEMICAL WORK OF GROUNDWATER) น้ำบริสุทธิ์เป็นตัวทำละลายแร่ หรือหินส่วนใหญ่ที่เลวมาก แต่ในขณะที่น้ำจากบรรยากาศตกลงมาบนพื้นโลกจะผสมเอาคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเข้าด้วยนั้น

ทำให้เกิดเป็นกรดคาร์บอนิคอย่างอ่อน ซึ่งเพิ่มความสามารถในการละลายมากกว่าน้ำบริสุทธิ์เป็น 30 เท่า น้ำที่ผสมกรดคาร์บอนิคจะละลายหินปูนได้ หินปูนประกอบด้วยคัลไซต์ จะทำปฏิกริยากับกรดคาร์บอนิค ทำให้เกิดแคลเซี่ยมไบคาร์บอเนต ซึ่งเป็นสารละลายที่จะถูกพัดพาออกไป

LIMESTONE + CARBONIC ACID ⟶ CALC I UM BI CARBONATE

$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 \longrightarrow Ca(HCO_3)_2$$

หินปูนเป็นหินที่มี รอยแยกมาก น้ำจึงไหลซึมไปตามรอยแยกนี้ลงไปชั้นล่าง ๆ ได้ง่าย น้ำที่มี กรดคาร์บอนิคจะทำปฏิกริยากับหินปูนทั้งที่บริเวณผิวพื้นและในขณะที่มันไหลซึมไปตามรอยแยกและตามชั้นของหิน ที่ผิวพื้นหินปูนการละลายจะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยแต่ใต้ผิวพื้นลงไปการละลายจะมากขึ้น ทำให้รอยแยกยิ่งกว้างใหญ่จนหินก้อนใหญ่ ๆ อาจจะหักพังหลายลงได้ ผลจากการละลายทำให้เกิดลักษณะภูมิประเทศที่เรียกว่าคาร์สต์ (KARST) ขึ้นโดยมีน้ำใต้ดินเป็นตัวการสำคัญมาก ลักษณะภูมิประเทศคาร์สต์นี้จะพบเด่นชัดมากในบริเวณที่ราบสูง พื้นที่แคบ ๆ ในยูโกสลาเวียและต่อเนื่องเข้าไปยังบริเวณของอิตาลีที่ติดกับทะเลเอเดรียติค ลักษณะภูมิประเทศที่เกิดจากการละลายจะเกิดขึ้นกับหินชนิดอื่น ๆ ได้ เช่น โดโลไมท์ ชอล์ค ยิบซั่มและหินเกลือ แต่บริเวณที่พบหินเหล่านี้มี บริเวณจำกัดจึงทำให้มีความสำคัญน้อยลง คาร์สต์จะเกิดได้ดีในเขตอากาศชื้น และกึ่งชื้นซึ่งมีปริมาณฝนตกปานกลางมากกว่าในเขตแห้งแล้งมาก ๆ หรือเขตหนาวจัด

10.3 <u>ธรณีสัณฐานในภูมิประเทศคาร์สต์</u>

ธรณีสัณฐานที่พบอยู่เสมอ ๆ คือ

10.3.1 <u>เทอร์รา โรซา</u> (TERRA ROSSA) เป็นดินเหนียวร่วนสีแดงคล้ายดินลูกรังในเขตร้อน เกิดจากการละลายของน้ำใต้ดิน ทำให้หินปูนผุพังอยู่กับที่ดินที่เกิดจากการทับเป็นเป็นชั้นบาง ๆ หรือหนาเป็นเมตรก็ได้ พบตามบริเวณที่ราบก้นแอ่งหินปูนหรือตามลาดเขาที่ไม่ชันมากนัก

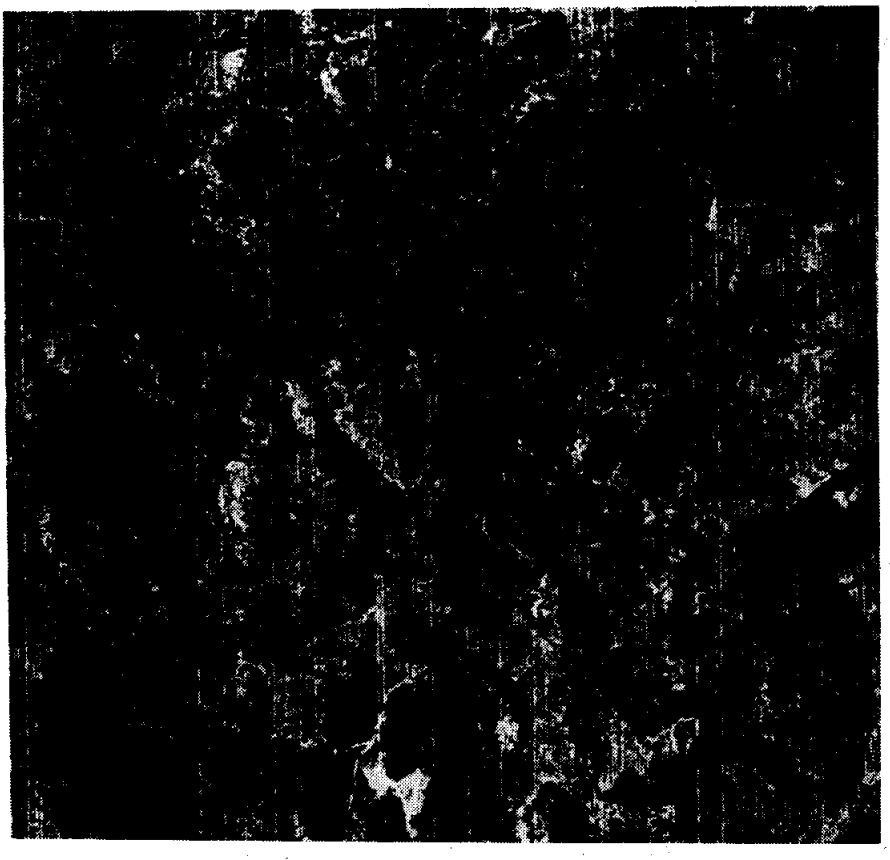
10.3.2 <u>ป่าช้าหิน</u> (LAPIÉ, KARREN) เป็นหินโผล่เรียงกระจัดกระจายไปทั่วพื้นราบ ทำให้บริเวณนั้นกลายเป็นที่ค่อนข้างทุรกันดาร อาจเกิดในขณะที่ดินและพืชพรรณธรรมชาติปกคลุมหินอยู่น้ำใต้ดินจะกัดเซาะหินบริเวณนั้นไปด้วย ต่อมาเมื่อมีการทำลายป่าทำให้หินโผล่ขึ้นมา และทำให้การกัดกร่อนเพิ่มมากขึ้นจนหินมีรูปร่างต่าง ๆ กัน มักพบในบริเวณที่ชั้นหินปูนเอียงตัว ไม่ได้วางอยู่ในแนวระนาบ

10.3.3 <u>ทางเดินหินปูน</u> (LIMISTONE PAVEMET) พื้นผิวหน้าของหินปูนบางแห่งที่วางตัวในแนวระนาบหรือเอียงเพียงเล็กน้อย จะปรากฏลักษณะของระแหงหิน (GRIKE) และเขาเตี้ยยอดราบ (CLINT) สลับกัน ระแหงหินเกิดจากน้ำฝนที่ไหลแทรกซึมไปตามรอยแยก การละลายทำให้รอยแยกขยายใหญ่ขึ้น ระหว่างระแหงหินจะเหลือเป็นเขาเตี้ยยอดราบ พื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอนี้ทำให้ยากแก่การเดินผ่าน

10.3.4 <u>หลุมยุบ</u> (SINKHOLE, SWALLOW HOLE) เป็นหลุมขนาดเล็กหรือปานกลางมีรูปร่างคล้ายกรวยหรือชาม เกิดเนื่องจากน้ำฝนที่ตกลงมารวมอยู่ตามรอยแยกในแนวดิ่งไหลซึมลงไป และละลายหินปูนข้างใต้ทำให้เกิดโพรงจนผนังด้านบนบางมาก จึงพังทลายลงทำให้เกิดเป็นหลุมยุบขึ้น และยังเกิดจากสาเหตุอื่น ๆ อีกด้วย อาจเกิดเป็นหลุมเดี่ยว ๆ หรือเป็นกลุ่มอยู่ใกล้กันก็ได้ ถ้าหลุมยุบ

รูป 10.1 ภาพถ่ายดิ่งแสดงแอ่งหินปูนและหลุมยุบจำนวนมากที่พบบนหินปูน

ที่มา : C.R.Twidale, Analysis of Landforms, 1976, หน้า 67.



รูป 10.2 ภาพถ่ายดิ่งของภูมิประเทศคาร์สต์และมีการพบบอกไซท์บริเวณนี้ด้วย

ที่มา : William D.Thornbury, Principles of Geomorphology, 1969, หน้า 551.

เชื่อมต่อเนื่องมีขนาดใหญ่ขึ้น เรียกว่าแอ่งหินปูน (DOLINE บริเวณก้นหลุมหรือแอ่งมักจะเป็นที่ทางน้ำไหลผ่านลงสู่ใต้ดิน เมื่อเวลาฝนตกลงมาน้ำบางส่วนจะซึมลงไปได้แต่บางส่วนอาจถูกปิดกั้นโดยเศษหินดิน หรือพืชพรรณธรรมชาติในหลุมทำให้เกิดเป็นแอ่งน้ำหินปูน หรือทะเลสาบคาร์สต์ (KARST LAKE) ขึ้น ถ้าเป็นแอ่งที่สามารถมองลงไปเห็นทางน้ำใต้ดินได้เรียกว่าหน้าต่างคาร์สต์ (KARST WINDOW) ถ้าแอ่งหินปูนเชื่อมต่อเนื่องกันจนมีความกว้างประมาณ 500 - 1,000 เมตรและลึก 100 - 200 เมตรจะเรียกว่าจุ่มหินปูน (UVALA) และหากการยุบตัวของหินปูนเชื่อมต่อกันเป็นที่ราบกว้างที่เรียกว่าที่ราบหินปูน (POLJE) ซึ่งอาจมีพื้นที่เป็นร้อยตารางกิโลเมตรก็ได้ ในช่วงระยะฝนตกบริเวณที่ราบหินปูนบางแห่งอาจจะกลายเป็นทะเลสาบตื้น ๆ และเกิดตะกอนทับถมซึ่งจะกลายเป็นที่เพาะปลูกที่อุดมสมบูรณ์ในช่วงระยะฤดูแล้ง ในบริเวณหลุมยุบแอ่งหินปูนจะมีดินจึงทำให้พืชพรรณธรรมชาติขึ้นได้บ้าง ถ้าดูในภาพถ่ายทางอากาศสีของหินปูนจะเป็นสีขาว ส่วนบริเวณหลุมและแอ่งจะมีสีคล้ำกว่าเพราะมีดินและพืชพรรณธรรมชาติขึ้นอยู่

10.3.5 <u>แม่น้ำหาย</u> (LOST RIVER) ในเขตลักษณะภูมิประเทศคาร์สต์การระบายน้ำจะเป็นแบบไหลอยู่ใต้ดิน (SUB-SURFACE DRAINAGE) มากกว่าไหลที่ผิวดินถ้ามีธารน้ำไหลมาจากบริเวณอื่นเมื่อไหลผ่านบริเวณนี้จะซึมหายไปทางหลุมยุบ (SINKHOLE, SWALLO HOLE) ไปไหลอยู่ใต้ดิน ธารน้ำบางสายอาจจะซึมลงไปทาง SWALLOW HOLE เพียงหลุมเดียว แต่บางธารอาจซึมหายไปในหลาย ๆ หลุม ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในธารน้ำ ธารน้ำบางสายอาจจะซึมหายไปตามชั้นตะกอนที่ทับถมทำให้เรามองไม่เห็นจุดที่ธารน้ำหายไปแน่นอน น้ำที่ซึมลงไปอาจไม่ไหลอยู่ใต้ดินตลอด ถ้าไหลไปพบกับชั้นหินเนื้อทึบที่ไม่ยอมให้น้ำไหลผ่านไปได้ธารน้ำจะโผล่ขึ้นมาที่ผิวพื้น ถ้าธารน้ำไหลผ่านถ้ำก็อาจจะโผล่บริเวณข้าง ๆ ถ้าธารน้ำที่พุขึ้นมาอีกครั้งเรียกว่าธารน้ำผุด (RESURGENCE, RISE) อาจมีลักษณะเป็นน้ำพุขนาดต่าง ๆ กันก็ได้ ธารน้ำผุดอาจมีน้ำไหลตลอดเวลาหรือไหลเป็นครั้งคราว ขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำ

รวมทั้งความสะอาดของน้ำ อาจเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลได้ เช่น ในช่วงหน้าแล้งปริมาณน้ำมีน้อย ธารน้ำผุดจะมีน้ำค่อนข้างสะอาดแต่ในช่วงฝนตกหนักจะมีดินโคลนปนมาด้วยทำให้น้ำขุ่นได้

10.3.6 หุบเขาธารหาย (BLIND VALLEY) เป็นหุบเขาที่ไม่มีร่องน้ำพบในเขตภูเขาที่มีฝนตกหนักทำให้เกิดธารน้ำขึ้น แต่มีชั้นหินที่ไม่ยอมให้น้ำไหลผ่านอยู่บนชั้นหินปูนในระยะแรกธารน้ำจะสร้างหุบเขาธารน้ำขึ้น ต่อมาจะเกิดการกัดเซาะผ่านชั้นหินที่ไม่ยอมให้น้ำไหลผ่านจนถึงชั้นของหินปูน น้ำก็จะซึมไปตามหลุมบนหินปูน หุบเขาก็จะไปสิ้นสุดตรงบริเวณที่ธารน้ำมุดหายบ่อยครั้งที่บริเวณปลายหุบเขาอาจเป็นหน้าผาและมีถ้ำอยู่ที่ฐานหน้าผาซึ่งธารน้ำจะมุดหายไป ส่วนหุบเขาคาร์สต์ก็จัดเป็นหุบเขาธารหายอีกประเภทหนึ่ง

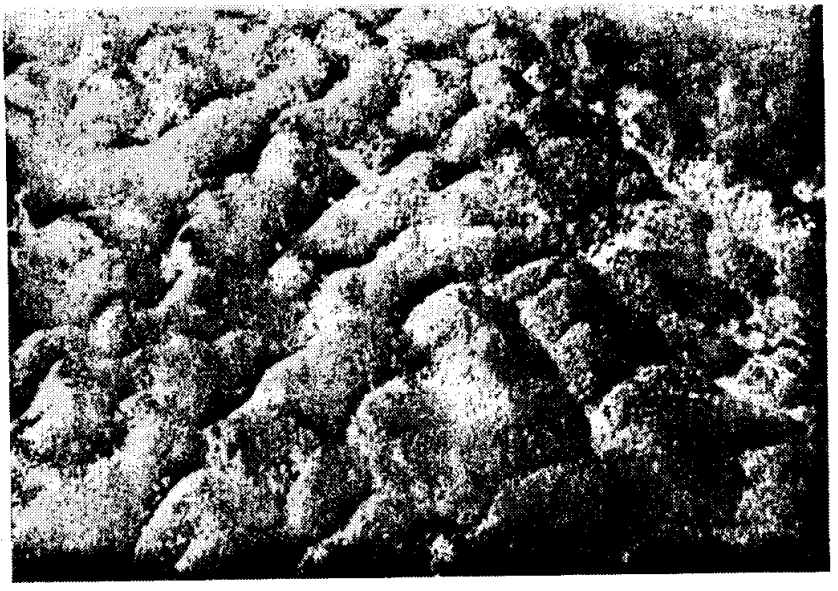
10.3.7 ถ้ำ (CAVE) เกิดจากน้ำใต้ดินที่ละลายกัดกร่อนชั้นหินปูนในแนวระนาบและรอยแยกในแนวดิ่งจนกลายเป็นโพรงภายใต้ผิวดิน ต่อมาโพรงจะขยายใหญ่ขึ้นจนกลายเป็นถ้ำ ถ้ามีขนาดใหญ่มากจะเรียกว่า CAVERN ถ้ำที่พบจะมีรูปร่าง ความสลับซับซ้อนต่างกัน จึงทำให้มีแนวความคิดเกี่ยวกับการเกิดของถ้ำหลายแบบ เช่น ถ้ำอาจเกิดอยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดิน อีกพวกคิดว่าถ้ำเกิดจากการกระทำของน้ำใต้ดินที่ไหลอยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน บางแนวความคิดเห็นว่าเกิดจากธารน้ำใต้ดินซึ่งทำงานคล้ายกับธารน้ำที่ผิวดินนอกจากนั้นการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินจะทำให้เกิดชั้นภายในถ้ำขึ้น เมื่อเกิดถ้ำเราจะพบว่าน้ำที่ละลายคัลเซียมจะซึมผ่านรอยแยกตามเพดานและผนังถ้ำลงมา เมื่อคาร์บอนไดออกไซด์ระเหยออกไปจะทำให้เกิดการละสมของคัลเซียมคาร์บอเนต ถ้าการสะสมเกิดจากน้ำที่หยดจากเพดานถ้ำทับถมกันมากเข้า ก็จะเกิดเป็นหินย้อย (STALACTITES) ย้อยมาจากเพดานถ้ำ ถ้าน้ำหยดลงมาถึงพื้นถ้ำและทับถมงอกขึ้นไปจากพื้นถ้ำเกิดเป็นหินงอก (STALAGMITES) ถ้าหินย้อยและหินงอกเกิดเชื่อมต่อกันจะเกิดเป็นเสาหินขึ้นเรียกว่า COLUMN หรือ PILLAR

ธรณีสัณฐานใต้พื้นผิวโลกเช่น การระบายน้ำใต้ดินหรือถ้ำเป็นการยากมากที่จะพิสูจน์หรายในภาพถ่ายทางอากาศ ในกรณีที่ลักษณะต่าง ๆ เหล่านี้ไม่ได้โผล่ขึ้นมาที่ผิวพื้นโดยตรงเราต้องใช้วิธีการทางอ้อมเข้าช่วย เช่น ถ้าจะลากทางน้ำใต้ผิวดินจะต้องสังเกตุจากความเข้มของสีในภาพถ่าย ถ้าธารน้ำซึมลงไปตามรอยแยกจะทำให้เกิดร่องรอยทางน้ำแห้งบนผิวดินขึ้น ซึ่งเราจะเห็นร่องรอยนี้เป็นสีขาวท่ามกลางบริเวณโดยรอบที่มีสีคล้ำกว่า. หรือธารน้ำใต้ดินบางตอนซึ่งได้ผ่านกระบวนการพังทลายบางส่วนหรือทั้งหมดอาจจะเห็นในภาพถ่ายเป็นบริเวณที่มีสีอ่อนไม่เป็นระเบียบ หรือถ้าการพังทลายเกิดมานานแล้วตามรอยแยกอาจถูกทับถมด้วยดินเหนียว ทราย เราจะเห็นส่วนที่พังทลายเป็นสีคล้ำ นอกจากนั้นเราควรหรายด้วยว่าแนวการไหลอย่างกว้าง ๆ ของน้ำใต้ดินจะไปในแนวทางของ DIP โดยประมาณ สิ่งอื่น ๆ ที่พอจะสังเกตุได้จากภาพถ่าย เช่น รอยแยกใหญ่ ๆ และหลุมยุบที่อาจจะเกิดขึ้นตามแนวทางไหลของธารน้ำใต้ดิน

10.4 CONE KARST และ TOWER KARST

ในเขตอากาศร้อนชื้นที่มีฝนตกชุกและพืชพรรณธรรมชาติขึ้นหนาแน่น ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จะมีมากเนื่องจากการเน่าเปื่อยของพืชและทำให้การละลายดำเนินไปอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามในเขตร้อนชื้นบางแห่งอาจจะเกิดแอ่งหินปูนในภูมิประเทศคาร์สต์มากแต่ในบางแห่งจะเกิดน้อยหรือไม่เกิดเลยก็ได้ และในหลายบริเวณของเขตร้อน ธรณีสัณฐานในภูมิประเทศคาร์สต์ที่เด่นมากที่พบคือเขาโดด (RESIDUAL HILL) ที่สูงจากพื้นผิวขึ้นมามี 2 ชนิดมีชื่อว่า CONE KARST (KEGELKARST) และ TOWER KARST (TURMKARST) CONE KARST จะมีลักษณะของเขาโดดรูปร่างลักษณะคล้ายกรวยเกิดสลับกับแอ่งหินปูน (DOLINE) ซึ่งแอ่งหินปูนนี้ในจาเมก้าเรียกว่า COCKPIT บางครั้งจึงเรียกลักษณะภูมิประเทศนี้ว่า COCKPIT COUNTRY ในบางบริเวณเขาโดดที่เหลือจากการกัดกร่อนจะสูงชันมากและเกิดแยกจากกันโดยมีที่ราบลุ่มตะกอนซึ่งน้ำมักจะท่วมเสมอ ๆ สลับกันแทนที่จะเป็นแอ่งหินปูน เช่นใน CONE KARST ลักษณะนี้จะเรียกว่า

a



b

图 10.3

a Cone karst

b Tower karst

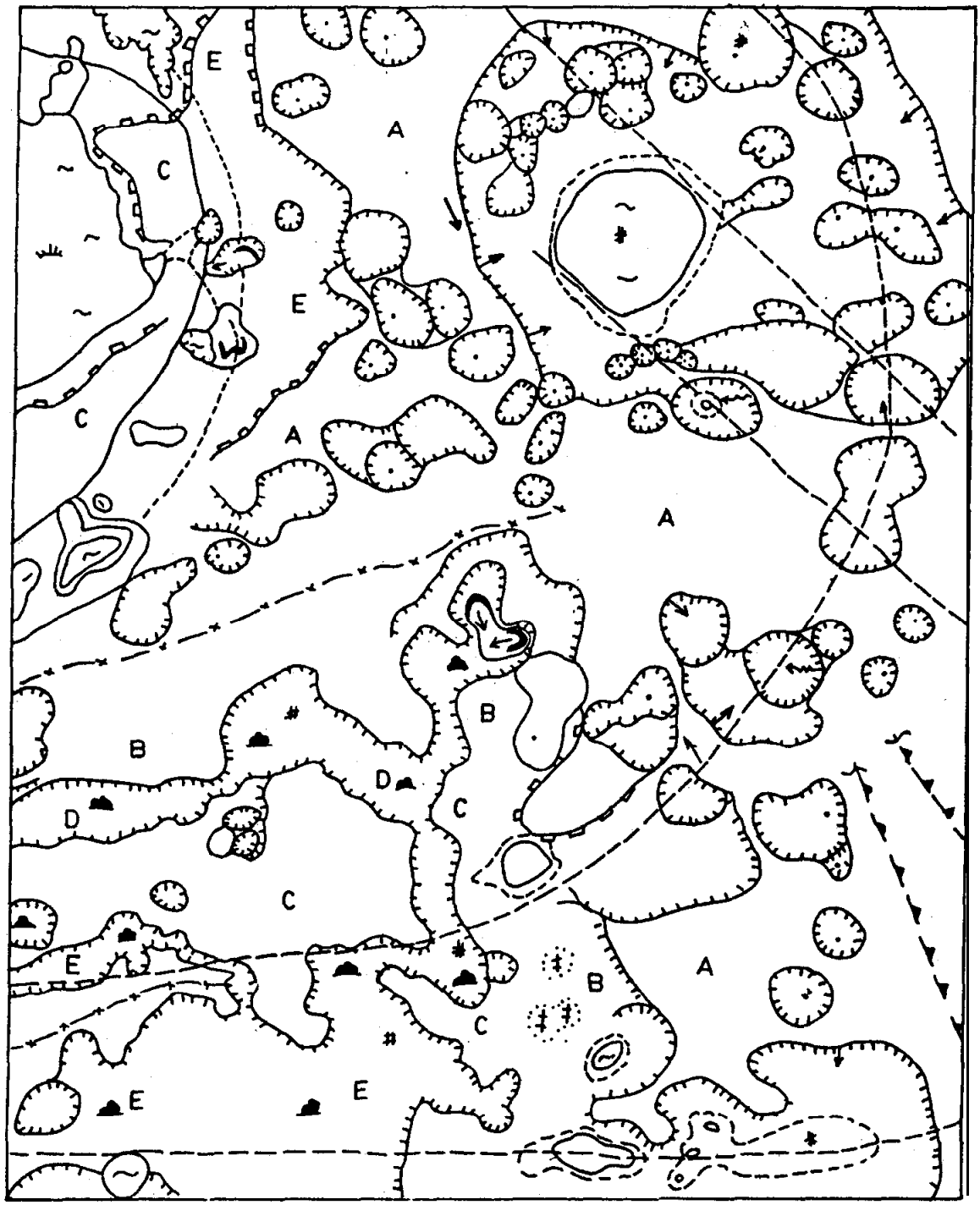
TOWER KARST ซึ่งมักจะเกิดขึ้นในเขตที่ฐานของแอ่งแผ่ไปถึงระดับของน้ำใต้ดิน

ส่วนในเขตแห้งแล้งการพัฒนาของภูมิประเทศคาร์สต์จะไม่เด่นชัดเท่าในเขตอากาศชื้นหรือกึ่งชื้นของละติจูดต่ำและละติจูดกลาง เราอาจจะพบภูมิประเทศคาร์สต์ในบริเวณทะเลทรายบ้างแต่ก็จัดว่าเป็นสิ่งหลงเหลือมาจากในช่วงระยะที่อากาศบริเวณนี้เคยมีความชื้นมากกว่าในปัจจุบัน

10.5 น้ำพุร้อนและน้ำพุร้อนกีเซอร์ (HOT SPRING, GEYSER)

น้ำพุร้อนจะพบในบริเวณที่น้ำใต้ดินซึมลงไปใต้ผิวโลกในระยะลึกที่ลุกรุ่นด้วยความร้อน เมื่อน้ำกักตัวอยู่เป็นระยะเวลาพอสมควรจะทำให้น้ำร้อนและมีกำลังอัดดันแรงมากจึงดันตัวโผล่กลับขึ้นมาตามรอยแตกแยกที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ขณะไหลกลับขึ้นมานั้นจะไหลด้วยความรวดเร็วจนกระทั่งน้ำยังไม่เย็นตัวทำให้น้ำที่พุขึ้นมากลายเป็นน้ำพุร้อน ระยะลึกที่น้ำซึมลงไปจนกลายเป็นน้ำร้อนได้ขึ้นอยู่กับสภาพใต้ผิวเปลือกโลก ในบางแห่งอาจจะพบหินร้อนใกล้ผิวโลกทำให้น้ำที่ซึมลงไปตื้น ๆ ก็จะร้อน น้ำร้อนนี้จะละลายแร่ธาตุต่าง ๆ ได้มากกว่าน้ำธรรมดา ดังนั้นน้ำพุร้อนจะประกอบด้วยสารละลายของแร่ธาตุอยู่มาก เมื่อน้ำไหลกลับขึ้นมาอีกแร่ธาตุจะเกิดตกตะกอนเนื่องจากอุณหภูมิและความกดดันลง และการสูญเสียกาซในน้ำที่จะช่วยให้แร่ธาตุละลายในน้ำ ดังนั้นในบริเวณน้ำพุร้อนบางแห่งจะพบการตกตะกอนสะสมของคราบหินปูน (TRAVERTINE) ซิลิกา ซัลเฟอร์เป็นต้น สำหรับน้ำพุร้อนที่พุ่งขึ้นเป็นระยะ ๆ เรียกว่าน้ำพุร้อนกีเซอร์ ระยะห่างของการพุอาจจะสม่ำเสมอหรือไม่สม่ำเสมอก็ได้ อาจจะห่างเป็นชั่วโมงหรือหลาย ๆ วัน และระยะเวลาที่พุ่งขึ้นมาอาจกินเวลาเพียงไม่กี่วินาทีจนถึงครึ่งชั่วโมงก็ได้ ความแตกต่างของน้ำพุร้อนกีเซอร์จากน้ำพุร้อนอีกประการคือน้ำพุร้อนกีเซอร์จะมีกำลังอัดดันแรงมากจนทำให้ไอและน้ำพุ่งขึ้นสูง บางแห่งอาจจะพุ่งสูงถึง 50 เมตร แต่บางแห่งอาจจะสูงเพียงไม่กี่เมตร น้ำพุร้อนกีเซอร์ที่รู้จักกันดีมักจะพบในบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากปรากฏการณ์ของภูเขาไฟ เช่น ภูเขาไฟเพิ่งปะทุหรือปะทุมาเมื่อไม่นานนี้เอง

รูป 10.4 ตัวอย่างภาพถ่ายดิ่งของภูมิประเทศคาร์สต์



การแปลรูป 10.4 (ดู Legend ประกอบในหน้า 185)

ที่มา : ดัดแปลงจาก R.A.van Zuidam, Guide to Geomorphological Photo-Interpretation, 1973, หน้า 172.

LEGEND

MAIN KARST UNITS

A HIGHEST AREA WITH SMOOTH DEPRESSIONS, DRY

B LOWER AREA WITH SEVERAL SINKHOLES AND FLUCTUATING GROUNDWATER LEVEL

C AREA. OF ELONGATED DEPRESSIONS IN WHICH LAKES COALESCE DURING THE RAINY SEASONS

D DEPRESSION ZONE, PARTLY COVERED BY A DENSE VEGETATION/ MAINLY SEPARATED WATERLOGGED SINKHOLES

E DEPRESSION ZONE, COVERED BY A DENSE VEGETATION / COALESCED WATERLOGGED SINKHOLES

OTHER SYMBOLS

FAULT SCARP, CONJECTURAL

LINE OF SUBSIDENCE , CONJECTURAL

WATER DIVIDE

BREAK OF SLOPE

RILL EROSION

KARST SPRING

SINKHOLE WITH OR WITHOUT WATER

PARTLY ERODED SINKHOLE

SINKHOLE LAKE

SINKHOLE LAKE WITH VARIABLE LEVEL

SINKHOLE LAKE WITH VEGETATION

UVALA

UVALA COVERED BY VEGETATION