

บทที่ 10 ธารน้ำแข็ง (GLACIERS)

ธารน้ำแข็งเป็นตัวการสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผิวโลก โดยการกัดเซาะ การพัดพา และการทับถม การเคลื่อนที่ของธารน้ำแข็งจะทำให้พื้นที่หินสึกกร่อนและเกิดการแตกหักเป็นเศษหิน ทำให้พื้นที่เปลี่ยนแปลงไป และเศษหินที่ธารน้ำแข็งพัดพามาตกทับถมกันจะเกิดเป็นลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างจากการกระทำของตัวการอื่น ๆ ตะกอนที่สะสมกันในปัจจุบันยังเป็นตะกอนร่วน แต่เราพบตะกอนที่ธารน้ำแข็งพัดพามาในบางพื้นที่กลายเป็นหินแข็งแล้ว แสดงให้เห็นว่ายุคสมัยของธารน้ำแข็งเกิดขึ้นมาหลายร้อยล้านปีมาแล้ว และธารน้ำแข็งจะปกคลุมพื้นโลกอยู่ทั่วไปมากกว่าที่เห็นในปัจจุบัน

10.1 ธารน้ำแข็ง

10.1.1 การเกิดธารน้ำแข็ง ธารน้ำแข็งคือมวลของน้ำแข็งที่เกิดบนพื้นที่ทวีปโดยการอัดตัวและการตกผลึกใหม่ของหิมะ และจะเกิดการเคลื่อนที่หรือเคยเกิดมาแล้วในอดีตด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก

ธารน้ำแข็งจะเกิดขึ้นในบริเวณที่มีภูมิอากาศหนาวจนหิมะตกลงมาเป็นจำนวนมากและยังคงเหลืออยู่ไม่ละลายไปในฤดูร้อน บริเวณนี้เรียกว่าทุ่งหิมะ (snowfields) ซึ่งจะปกคลุมพื้นดินทั่วไป ส่วนล่างสุดของทุ่งหิมะเรียกเส้นขอบหิมะ (snowline) ตำแหน่งของเส้นขอบหิมะจะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะภูมิอากาศของแต่ละแห่ง เช่นบริเวณขั้วโลกเส้นขอบหิมะจะลงมาอยู่ที่ระดับน้ำทะเล แต่บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรจะอยู่บริเวณยอดเขา

หิมะที่ตกลงมาสะสมกันบริเวณทุ่งหิมะขณะที่ตกลงมาใหม่ ๆ จะเป็นปุยคล้ายขนนกอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม หิมะจะมีรูปผลึกอยู่ในระบบเฮกซะโกนาล เกิดจากการเรียงตัวภายในของอะตอมออกซิเจนและไฮโดรเจน มีสี่ขาหน้าหนักเบา ต่อมาหิมะที่ตกลงมาจะค่อย ๆ สะสมตัวกันทุก ๆ ปี จนมีความหนาเพิ่มมากขึ้น หิมะจะเกิดการอัดตัวค่อย ๆ เปลี่ยนแปลงไปจากที่มีลักษณะ

เบาคลายขนนก จะอัดรวมตัวกันเกิดเป็นก้อนกลมเล็ก ๆ เรียกหิมะน้ำแข็ง (firn หรือ neve) กระบวนการที่เปลี่ยนหิมะเป็นหิมะน้ำแข็งคือการระเหิด (sublimation) แต่อาจจะมีกระบวนการอื่นเกี่ยวข้องด้วย ต่อมาหิมะน้ำแข็งนี้จะเกิดการตกผลึกใหม่และอัดกันแน่นมากยิ่งขึ้นเป็นมวลน้ำแข็ง (glacial ice) ซึ่งเป็นของแข็งมีลักษณะคล้ายแผ่นบาง ๆ ซ้อนกัน ทำให้มีน้ำหนักและเคลื่อนที่ไปตามความลาดชันเกิดเป็นธารน้ำแข็ง

10.1.2 ชนิดของธารน้ำแข็ง ธารน้ำแข็งจะมีรูปร่างและขนาดแตกต่างกันไป แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

1. ธารน้ำแข็งหุบเขา (Valley glaciers) คือธารน้ำแข็งที่อยู่บนภูเขาสูงและไหลลงมาตามความลาดชันของหุบเขา การไหลจะคล้ายสายน้ำคือไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ มีลักษณะยาวคล้ายล้น

2. ธารน้ำแข็งเชิงเขา (Piedmont glaciers) คือธารน้ำแข็งที่เกิดจากการไหลมารวมกันของธารน้ำแข็งหุบเขาตั้งแต่สองสายขึ้นไปบริเวณพื้นราบเชิงเขา มีลักษณะเป็นแผ่นใหญ่ล้อมรอบภูเขา

3. ภูเขาน้ำแข็งหรือธารน้ำแข็งทวีป (Ice sheets or continental glaciers) คือธารน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่ปกคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างทั้งพื้นที่ราบและภูเขา มีลักษณะเป็นรูปโดมกว้างและไหลออกเป็นรัศมีแผ่ออกไป ถ้ามีขนาดเล็กเรียก ice cap

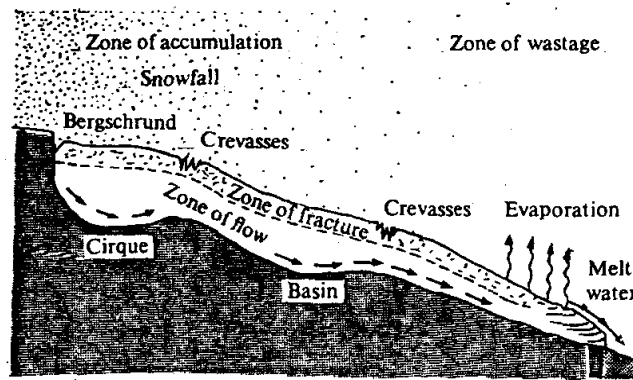
10.1.3 การกระจายของธารน้ำแข็งปัจจุบัน ปัจจุบันธารน้ำแข็งจะปกคลุมพื้นผิวโลกอยู่ประมาณ 16 ล้านตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทวีป ประมาณค่าของน้ำทั้งหมดในบริเวณธารน้ำแข็งทั่วโลกคิดเป็นปริมาตรระหว่าง 2.5 และ 25 ล้านลูกบาศก์กิโลเมตร หากธารน้ำแข็งเหล่านี้ละลาย ระดับน้ำในมหาสมุทรจะสูงขึ้นประมาณ 20 ถึง 60 เมตร ซึ่งมากพอที่จะทำให้เกิต้น้ำท่วมเมืองใหญ่ ๆ ได้

ธารน้ำแข็งจำนวนมากจะปกคลุมอยู่สองบริเวณคือในแอนตาร์กติกาและกรีนแลนด์ เป็นธารน้ำแข็งชนิดพืดน้ำแข็งขนาดมหึมา ทั้งสองบริเวณนี้คลุมพื้นที่ประมาณ 96 เปอร์เซ็นต์ของธารน้ำแข็งบนผิวโลก บริเวณแอนตาร์กติกาพื้นที่ซึ่งถูกธารน้ำแข็งปกคลุมอยู่ประมาณ 12.5 ล้านตารางกิโลเมตร บางส่วนกระจายลงสู่มหาสมุทร พืดน้ำแข็งแอนตาร์กติกาบางส่วนจะมีความหนาถึง 4000 เมตร ส่วนบริเวณกรีนแลนด์ธารน้ำแข็งจะปกคลุมอยู่เกือบ 2 ล้านตาราง

กิโลเมตร และมีความหนาแน่นน้อยกว่าที่แอนตาร์กติกา

นอกจากบริเวณแอนตาร์กติกาและกรีนแลนด์แล้ว พื้นที่ซึ่งมีธารน้ำแข็งปกคลุมอีก 4 เปอร์เซ็นต์จะกระจายอยู่ตามยอดเขาในส่วนต่าง ๆ ของโลก เช่น ในอเมริกาเหนือและใต้ เอเชีย แอฟริกา และเกาะเล็กต่าง ๆ บริเวณเขั้วโลกเหนือ เกาะนิวกินีและเกาะนิวซีแลนด์ ธารน้ำแข็งจะเป็นชนิดพืดน้ำแข็งขนาดเล็กและธารน้ำแข็งหุบเขา

10.1.4 การสะสมและการสลายตัวของธารน้ำแข็ง หิมะที่ตกสะสมกันและจับตัวกันแน่นเนื่องจากการละลายและการตกผลึกใหม่ หิมะจะกลายเป็นหิมะน้ำแข็งเมื่อมีแรงกดจากข้างบนเพิ่มขึ้นก็จะกลายเป็นน้ำแข็งและเกิดการเคลื่อนเป็นการเกิดธารน้ำแข็ง ธารน้ำแข็งจะแบ่งออกเป็น 2 โซนใหญ่ ๆ คือ โซนของการสะสม (zone of accumulation) และโซนของการสลายตัวหรือการละลาย (zone of wastage) (ดูรูปที่ 10.1) เป็นส่วนต่าง ๆ ของธารน้ำแข็งหุบเขา



รูปที่ 10.1 แสดงส่วนต่าง ๆ ของธารน้ำแข็งหุบเขา

(ที่มา : Leet & Judson, 1971 หน้า 282)

ในโซนของการสะสมจะอยู่ตอนบนสุดด้านยอดเขา เป็นบริเวณที่หิมะตกมาทับถมจนกลายเป็นธารน้ำแข็ง นอกจากนั้นหิมะที่มาสะสมบริเวณโซนนี้อาจได้มาจากการเกิดหิมะถล่มจากบริเวณด้านข้าง ส่วนตอนปลายล่างสุดของธารน้ำแข็งเป็นโซนของการสลายตัว บริเวณนี้ธารน้ำแข็งจะมีการระเหยและละลายออกไป เรียกการระเหยและการละลายนี้ว่า อะเบลชัน (ablation) ซึ่งจะเกิดขึ้นส่วนที่เป็นผิวด้านบนก่อนแล้วจึงลดต่ำลงไป ตอนปลายของธารน้ำแข็ง

อาจจะแตกหักออกได้เมื่อธารน้ำแข็งไหลไปถึงฝั่งทะเลเรียกว่าแคลวิง (calving) จะทำให้เกิดภูเขาน้ำแข็ง (icebergs) ขึ้นในทะเลบริเวณขั้วโลก

การสะสมและการสลายตัวของธารน้ำแข็ง จะมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งส่วนปลายของธารน้ำแข็ง ถ้าอัตราการสะสมเท่ากับอัตราของการสลาย ธารน้ำแข็งจะอยู่คงที่ ถ้าอัตราการสะสมมากกว่าอัตราของการสลาย ธารน้ำแข็งจะเจริญออกไปตามแนวอน และถ้าอัตราการสะสมน้อยกว่าอัตราของการสลาย ธารน้ำแข็งจะค่อย ๆ หดสั้นเข้ามา เมื่อธารน้ำแข็งละลายแล้วจะกลายเป็นทางน้ำไหล ซึ่งจะมีอิทธิพลเช่นเดียวกับทางน้ำไหลทั่ว ๆ ไป

10.1.5 การเคลื่อนที่ของธารน้ำแข็ง ธารน้ำแข็งมีลักษณะเป็นของแข็งที่เคลื่อนที่ได้ อัตราการไหลของธารน้ำแข็งจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับน้ำหนักที่ทับถมและความลาดชันของพื้นที่ โดยทั่วไป ธารน้ำแข็งจะมีอัตราการไหลช้ามาก ถ้าเป็นธารน้ำแข็งขนาดใหญ่อาจวัดได้ 2 หรือ 3 นิ้วต่อวันเท่านั้น สำหรับธารน้ำแข็งหุบเขาอาจจะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่านี้ การเคลื่อนที่ของธารน้ำแข็งจะเร็วที่สุดบริเวณตอนกลางและน้อยที่สุดบริเวณด้านข้างและส่วนล่าง

โซนของการเคลื่อนที่ของธารน้ำแข็งแบ่งออกได้ 2 ส่วนคือ โซนของการแตก (zone of fracture) และโซนของการไหล (zone of flow) (ดูรูปที่ 10.1) โซนของการแตกจะอยู่ด้านบนมีความหนาประมาณ 30 ถึง 60 เมตร น้ำแข็งจะมีลักษณะเปราะและแตกออกง่าย การอัดแน่นน้อย ส่วนโซนของการไหลจะอยู่ด้านล่างมีน้ำหนักกดทับมาก จึงอัดแน่นกว่าด้านบนจนมีสภาพคล้ายพลาสติก และจะเคลื่อนที่อย่างช้า ๆ พาเอาโซนของการแตกเคลื่อนไปด้วย และทำให้เกิดรอยแตกลักษณะผิวของธารน้ำแข็งเรียก crevasse รอยแตกถ้าเกิดตรงด้านบนสุดของธารน้ำแข็งหุบเขาจะเกิดการแยกออกของธารน้ำแข็งและธารน้ำแข็งด้านล่างเกิดการเคลื่อนลงมาเรียกรอยแตกนี้ว่า bergschrund

10.2 การทำงานของธารน้ำแข็ง

10.2.1 การกัดเซาะของธารน้ำแข็ง ธารน้ำแข็งสามารถกัดเซาะพื้นผิวได้มากขณะเคลื่อนที่ไป การกัดเซาะคล้ายกับทางน้ำ โดยธารน้ำแข็งจะมีอำนาจในการดึงให้หลุด (plucking) ส่วนมากจะเกิดขึ้นในบริเวณที่หินมีการผุพังจากการกระทำของน้ำแข็งตัว เมื่อธารน้ำแข็งไหลผ่านมันจะดึง เศษหินให้หลุดติดไปด้วย นอกจากนี้ธารน้ำแข็งอาจทำให้เกิดการ

ครูด (abrasion) เศษหินที่ติดไปกับธารน้ำแข็งจะไปครูดผืนหินที่รองรับทำให้เกิดริ้วลายขนาน (striation) เป็นแนวยาวหรือร่อง (groove) บนผิวของพื้นหิน หรือมวลของธารน้ำแข็งเองเกิดการครูด (scouring) กับพื้นหินทำให้เกิดการแตกหักแล้วพัดพาเอาเศษหินติดไปกับมันด้วย เศษหินที่ติดไปกับธารน้ำแข็งอาจเกิดการสึกกร่อนโดยการกระทบกระทั่งกันเอง (attrition) ขณะที่ธารน้ำแข็งละลาย เศษหินที่ติดไปกับธารน้ำแข็งจะไหลลงไปกับน้ำด้วยความเร็ว จึงเกิดการกระทบกันเอง

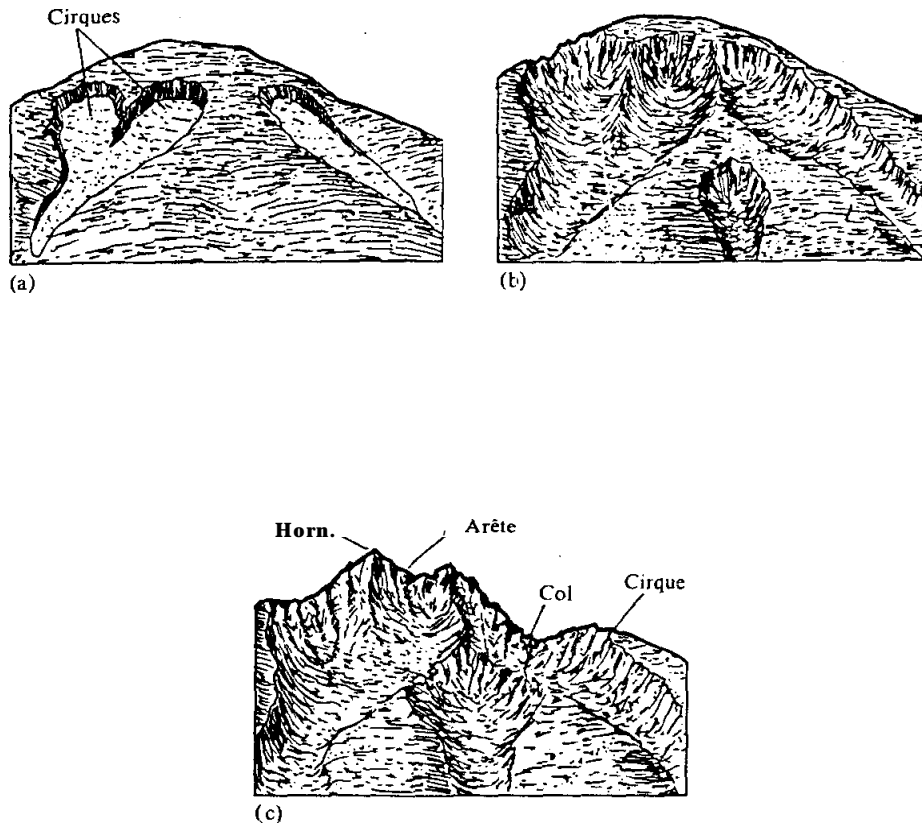
10.2.2 การพัดพาของธารน้ำแข็ง ธารน้ำแข็งสามารถพัดพาเอาเศษหินมาได้เป็นจำนวนมาก และมีขนาดแตกต่างกันตั้งแต่ขนาดเล็กเป็นฝุ่นจนถึงขนาดใหญ่มากระหว่างทางที่ธารน้ำแข็งเคลื่อน การพัดพาจะเกิดขึ้นบริเวณสัมผัสกับพื้นหรือผนังหุบเขา เศษหินที่ถูกพัดพาเป็นหินที่ได้จากการแตกหักออกมาจากการกัดเซาะของธารน้ำแข็ง เป็นเศษหินที่แตกใหม่ ๆ จึงมีรูปร่างเป็นเหลี่ยม ส่วนเศษหินที่มีขนาดเล็กจะอยู่สูงจากพื้นขึ้นมาและเข้าไปอยู่ในธารน้ำแข็ง เศษหินที่ตกลงมาจากสองข้างของหุบเขาจะอยู่ที่ผิวด้านบนของธารน้ำแข็ง ถ้าจำนวนเศษหินเพิ่มมากขึ้นจนธารน้ำแข็งไม่สามารถพัดพาต่อไปได้ เศษหินเหล่านี้จะทับถมกันบริเวณพื้นล่างและด้านข้างของหุบเขาหรือตอนปลายของธารน้ำแข็งที่เริ่มละลาย ภายหลังจากธารน้ำแข็งละลายหมด น้ำที่ได้จากการละลายของธารน้ำแข็งจะทำหน้าที่คล้ายสายน้ำพัดพาตะกอนให้เคลื่อนที่ต่อไปจนความเร็วลดจึงเกิดการทับถม

10.2.3 การทับถมของธารน้ำแข็ง ตะกอนที่ถูกพัดพาไปโดยธารน้ำแข็งจะตกทับถมกันเมื่อธารน้ำแข็งไม่สามารถพัดพาต่อไปได้ เรียกตะกอนชนิดนี้ว่าตะกอนธารน้ำแข็ง (drift) ตะกอนธารน้ำแข็งจะแบ่งได้เป็นสองชนิดขึ้นอยู่กับวิธีการทับถมของธารน้ำแข็ง พวกแรกเรียกว่า unstratified drift หรือ till จะเป็นตะกอนที่ทับถมโดยไม่มีการเรียงตัวเป็นชั้น ตะกอนไม่มีการคัดขนาดจะมีขนาดตั้งแต่ดินเหนียวจนถึงหินก้อนโตและตะกอนมีเหลี่ยมมุมมาก การทับถมของตะกอนแบบนี้เกิดโดยตรงจากธารน้ำแข็ง ในขณะที่ธารน้ำแข็งเคลื่อนที่หรือหยุดอยู่กับที่ระยะหนึ่ง ส่วนตะกอนอีกชนิดหนึ่งเรียก stratified drift จะเป็นตะกอนที่มีการเรียงตัวเป็นชั้นและตะกอนมีการคัดขนาดโดยทั่วไปตะกอนค่อนข้างกลม เกิดจากการทับถมของธารน้ำแข็งในขณะที่ละลายกลายเป็นน้ำและมีการไหลคล้ายกับสายน้ำ ตะกอนจะถูกพัดพาให้ไปทับถมไกลออกไป

10.3 ลักษณะที่เกิดจากการกัดเซาะของธารน้ำแข็ง

การกัดเซาะของธารน้ำแข็งนอกจากจะทำให้หินแตกออกเกิดเป็นเศษหินแล้ว ยังมีผลกับลักษณะภูมิประเทศด้วยโดยเฉพาะบริเวณภูเขา

1. เซิร์ก (cirques) เป็นลักษณะที่พบมากตามด้านข้างของภูเขาหรือเทือกเขา ในบริเวณที่มีอิทธิพลของธารน้ำแข็ง เกิดจากการกัดเซาะของธารน้ำแข็งหุบเขาจนเป็นแอ่ง มีลักษณะคล้ายกับช้อนด้ามตั้ง คือด้านหัวที่ติดกับผนังจะสูงและชันถัดมาจะเป็นแอ่งและตอนปลายจะเป็นร่องที่น้ำไหลออกไปได้ ถ้ามีน้ำไปซึ่งอยู่กลายเป็นทะเลสาบด้านข้างของภูเขาเรียกทาร์น (tarn)



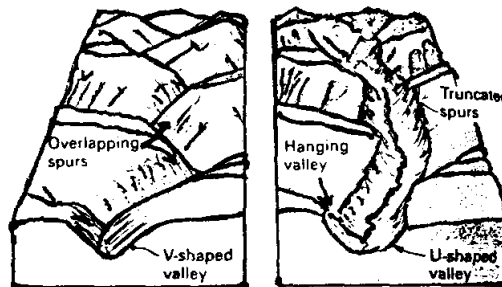
รูปที่ 10.2 แสดงวิวัฒนาการในการเกิดเซิร์ก, ฮอร์น, อารเรต และโคล

(ที่มา : Leet & Judson, 1971 หน้า290)

ธารน้ำแข็งถ้าเกิดการกัดเซาะไม่รุนแรงนักก็จะมีลักษณะเชิร์กเท่านั้น ถ้าการกัดเซาะเกิดขึ้นมากจะเกิดเชิร์กติดต่อกันหลายอันเป็นยอดเขาแหลมคล้ายฟันเลื่อยต่อเนื่องกัน เรียกอารต (arete) ถ้าการกัดเซาะเกิดขึ้นรอบยอดเขาสูงจะเกิดเชิร์กล้อมรอบภูเขาทำให้เกิดยอดเขาที่แหลมเรียกฮอร์น (horn) หรือเกิดจากสันอารตตัดกัน ถ้ามีลักษณะเป็นแอ่งเรียกโคล (col) เกิดจากเชิร์กสองด้านของภูเขาชนกัน

2. หุบเขาธารน้ำแข็ง (glaciated valleys) เป็นร่องที่เกิดจากธารน้ำแข็ง หุบเขาซึ่งเป็นสายหลักเคลื่อนที่ลงมาตามร่องหุบเขาอยู่ตลอดเวลาจะกัดเซาะร่องหุบให้ลึกและใหญ่ขึ้น ทำให้ร่องหุบเขามีลักษณะมนโค้งและด้านข้างชัน ภาพตัดขวางจะเป็นรูปตัวยู (U-shaped)

ส่วนธารน้ำแข็งสาขาก็จะทำให้เกิดร่องได้เช่นกัน แต่จะมีขนาดเล็กกว่าและร่องจะอยู่สูงกว่าหุบเขาธารน้ำแข็ง เรียกหุบเขาลอย (hanging valley) น้ำในหุบเขาลอยนี้จะไหลลงสู่หุบเขาธารน้ำแข็งทำให้เกิดน้ำตก นอกจากนี้ธารน้ำแข็งยังครูดถูส่วนปลายของสันเขา ทำให้เกิดสันเขาปลายตัด (truncated spur) ขึ้น



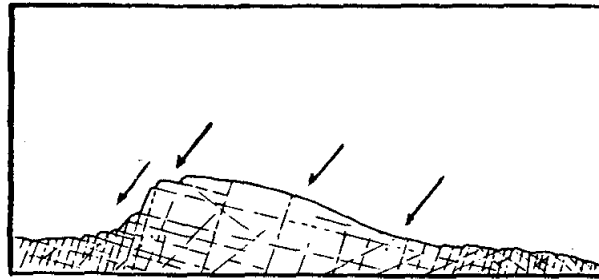
รูปที่ 10.3 แสดงลักษณะหุบเขาก่อนและหลังธารน้ำแข็งเคลื่อนผ่าน

(ที่มา : Gilluly & others, 1968 หน้า 268)

3. ฟยอร์ด (fjords หรือ fiords) เป็นแอ่งน้ำลึกที่เกิดบริเวณชายฝั่งทะเล จะลึกลงทันทีคล้ายหน้าผา อาจเกิดจากธารน้ำแข็งไหลลงทะเลและเกิดการกัดเซาะของธารน้ำแข็งลึกลงไปได้ระดับน้ำทะเล หรือเกิดบนแผ่นดินบริเวณหุบเขาธารน้ำแข็งที่อยู่ใกล้ชายฝั่งทะเลทรุดตัวลงใต้ระดับน้ำทะเล ทำให้น้ำทะเลไหลเข้ามาในหุบ เกิดเป็นอ่าวลึกแคบฟยอร์ดขึ้น

ลักษณะพวยอร์ตจะพบมากตามบริเวณชายฝั่งนอร์เว กรีนแลนด์ บริติชโคลัมเบีย ซิลี อะแลสกา และนิวซีแลนด์ เป็นต้น

4. เนินหินไม่สมมาตร (asymmetric rock knobs and hill) เป็นเนินเตี้ย ๆ ลักษณะไม่สมมาตร ส่วนมากเกิดจากการกัดเซาะของธารน้ำแข็งทวีป ขณะเคลื่อนที่อย่างช้า ๆ ผ่านเนินเขาจะเกิดการครูดถูทำให้หินแข็งมีลักษณะโค้งเรียบหรือมีรูปร่างขนานซึ่งมีทิศทางไปทางเดียวกับที่ธารน้ำแข็งเคลื่อนที่ไป ด้านนี้จะมีความชันน้อยและหันเข้าหาทิศที่ธารน้ำแข็งเคลื่อนตัวมา ส่วนอีกด้านหนึ่งจะมีความชันมากกว่าเป็นด้านที่ธารน้ำแข็งดันให้หินแตกออกโดยการดึงให้หลุดขณะเคลื่อนผ่าน จะมีลักษณะขรุขระ เนินหินชนิดนี้บางที่เรียกหินรูปหลังแกะ (roches moutonnees)



รูปที่ 10.4 แสดงเนินหินไม่สมมาตร ลูกศรชี้ทิศทางการเคลื่อนที่ของธารน้ำแข็ง

(ที่มา : Foster, 1983 หน้า 202)

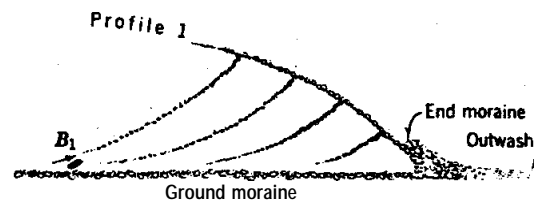
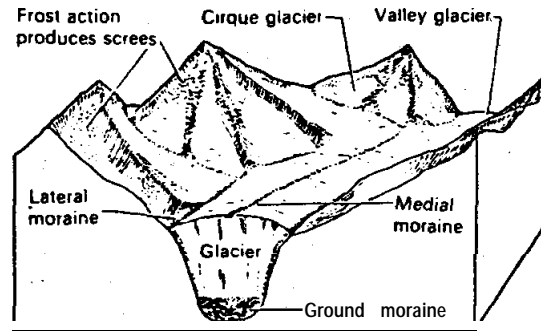
10.4 ลักษณะที่เกิดจากการทับถมของธารน้ำแข็ง

บริเวณที่มีการทับถมของธารน้ำแข็งมักเป็นที่ต่ำ และจะแตกต่างกันไปตามลักษณะของการทับถม ซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการละลายของธารน้ำแข็ง

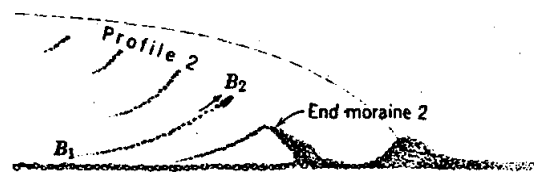
10.4.1 การทับถมของตะกอนที่ไม่มีการเรียงตัวเป็นชั้น เป็นการทับถมของทิลล์ที่ตกตะกอนจากธารน้ำแข็งโดยตรง ทำให้เกิดลักษณะภูมิประเทศต่าง ๆ เช่น มอเรนส์ ดรัมลินส์ หินหลง และแนวหินมน

1. มอเรนส์ (moraines) เป็นคำทั่วไปที่ใช้อธิบายถึงลักษณะภูมิประเทศที่ประกอบด้วยทิลล์เป็นจำนวนมาก ซึ่งจะทับถมกันในตำแหน่งที่แตกต่างกัน ถ้าเกิดจากธารน้ำแข็ง

ทิวเขาส่วนมากจะวางตัวไปตามความยาวของทิวเขาและตะกอนจะทับถมกันมากบริเวณสองข้างของทิวเขา เราเรียกมอเรนข้างธารน้ำแข็ง (lateral moraine) เมื่อธารน้ำแข็งทิวเขาสองสายมารวมกันแล้วไหลเป็นสายเดียว มอเรนด้านในของแต่ละสายจะรวมกันตกทับถมในส่วกลางของทิวเขาเกิดเป็นมอเรนกลางธารน้ำแข็ง (medial moraine) ถ้าหากทิวเขากว้างขวางมากตกทับถมบริเวณที่ราบบนพื้นทิวเขา มีลักษณะเป็นหย่อม ๆ และชั้นบาง ๆ เรียกมอเรนพื้นธารน้ำแข็ง (ground moraine)



BEFORE RECESSION



AFTER RECESSION

รูปที่ 10.5 แสดงมอเรนส์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ

(ที่มา : Bunnett, 1973, หน้า 86)

ส่วนบริเวณตอนปลายของธารน้ำแข็งซึ่งเป็นบริเวณที่ธารน้ำแข็งมีการละลาย หากธารน้ำแข็งอยู่ในสภาพสมดุลตะกอนที่ธารน้ำแข็งพัดพามาจะตกทับถมตรงปลายเป็นเนินยาวโค้งที่มีขนาดแตกต่างกันไปมีลักษณะเป็นสันถึงเป็นแอ่งเล็กน้อยเรียกมอเรนปลายธารน้ำแข็ง (terminal moraine หรือ end moraine) ถ้าธารน้ำแข็งมีการละลายมากขึ้นจะเกิดการถอยร่นของธารน้ำแข็งเข้าไป ทำให้ตะกอนตกทับถมด้านหลังของมอเรนปลายธารน้ำแข็ง และมีลักษณะคล้ายกันเป็นเนินเตี้ย ๆ แต่จะอยู่ห่างกันออกไปมากเรียกมอเรนธารน้ำแข็งถอยตัว (recessional moraine)

2. **ดรัมลินส์ (drumlins)** เป็นเนินที่เกิดจากการทับถมของทิลล์ แต่ในบางบริเวณอาจมีการจัดชั้นพอสมควร มีลักษณะเป็นเนินยาวรีรูปร่างแบนไม่สมมาตรขนาดความสูงประมาณ 8 ถึง 60 เมตร ความยาวประมาณ 0.5 ถึง 1 กิโลเมตร จะพบเป็นเนินหลายอันติดต่อกันไปและอาจมีหลายแถวเรียงขนานกันไปเรียกดรัมลินฟิลด์ส (drumlin fields) การจัดเรียงตัวไปตามความยาวของธารน้ำแข็ง ด้านที่ชันเป็นด้านที่ธารน้ำแข็งไหลมา

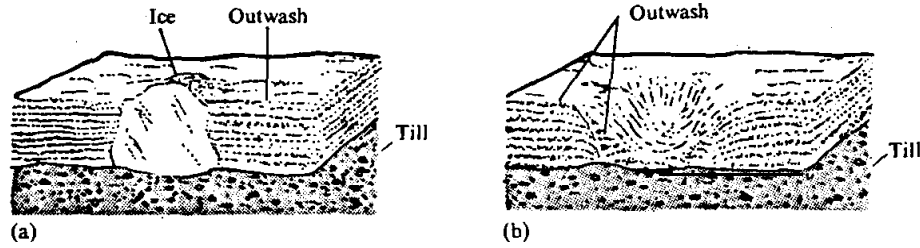
3. **หินหลงและแนวหินมน (erratics and boulder trains)** หินหลงเป็นหินก้อนใหญ่ขนาดหินมน (boulder) ที่ธารน้ำแข็งพัดพามาเป็นระยะทางไกล และมาทับถมอยู่บนชั้นหินที่มีส่วนประกอบแตกต่างกันออกไป เช่น หินหลงเป็นหินแกรนิตวางตัวบนหินโดโลไรต์ (dolerite)

ส่วนแนวหินมนประกอบด้วยหินหลงชนิดเดียวกันวางเรียงเป็นแนว พบมากบริเวณที่มีธารน้ำแข็งทวีปปกคลุม

10.4.2 **การทับถมของตะกอนที่มีการเรียงตัวเป็นชั้น** เป็นการทับถมของ stratified drift ซึ่งน้ำที่ได้จากการละลายของธารน้ำแข็งพัดพามาทับถม ทำให้เกิดลักษณะภูมิประเทศต่าง ๆ เช่น เอาต์วอช เคตเติล เอสเคอร์ เคมและเคมเทอเรช วาร์ฟ

1. **เอาต์วอช (outwash)** เป็นการสะสมของตะกอนพวกกรวดทราย ซึ่งน้ำที่ละลายมาจากธารน้ำแข็งพัดพามา จะสะสมกันอยู่ด้านหน้าของมอเรนปลายธารน้ำแข็งจนเกิดเป็นที่ราบกว้างขวางเรียกที่ราบเอาต์วอช (outwash plain) ถ้าเกิดเป็นแนวยาวตามช่องเขาเรียกแวลลีเทรน (valley train)

2. **เคตเติล (kettle)** เป็นหลุมที่เกิดบนเอาต์วอชและอยู่ในเขตของธารน้ำแข็ง บริเวณนี้จะมีก้อนน้ำแข็งขนาดใหญ่อยู่ใต้ดิน เมื่อก้อนน้ำแข็งใต้ดินละลายพื้นที่จะยุบตัวทำให้เกิดเป็นหลุมขึ้น ถ้ามีน้ำไปซึ่งจะกลายเป็นทะเลสาบเล็ก ๆ หลุมเคตเติลนี้จะเกิดต่อเนื่องกัน ตะกอนที่ประกอบอยู่จะมีการจัดชั้น



รูปที่ 10.6 แสดงการเกิดเคตเติล

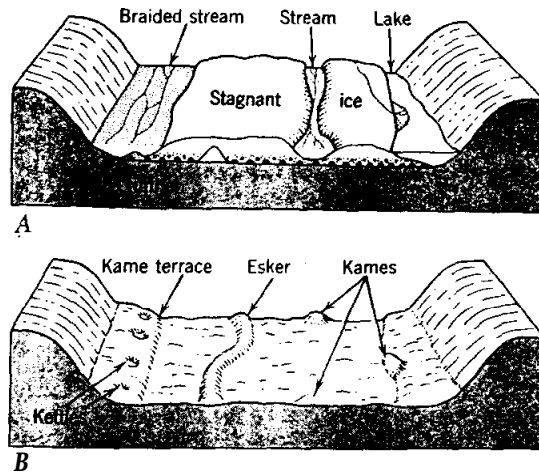
(ที่มา : Leet & Judson, 1971 หน้า 298)

3. **เอสเคอร์ (esker)** เป็นเนินยาวคดโค้งประกอบด้วยกรวดและทรายที่มีการจัดชั้น มักพบบนพื้นที่ราบกว้าง แนวสันเนินอาจมีสาขายื่นออกไปและบางครั้งอาจไม่อยู่ต่อเนื่องกัน มีความสูงประมาณ 3 ถึง 15 เมตร ความกว้างเพียง 2 ถึง 3 เมตร แต่ความยาวตั้งแต่ 1 ถึง 160 กิโลเมตร เกิดจากน้ำที่ละลายจากธารน้ำแข็งไหลลงไปยังเบื้องล่างตามขอบของธารน้ำแข็งหรือไหลอยู่ภายในธารน้ำแข็งและมีกรวดทรายสะสมอยู่ เมื่อธารน้ำแข็งละลายจึงเกิดเป็นเนินเอสเคอร์ จะคล้ายกับมอเรนข้างธารน้ำแข็ง แต่ต่างกันที่การจัดชั้นของตะกอน

ถ้าเนินนี้มีลักษณะเป็นแนวตรง ซึ่งเกิดจากตะกอนตกลงไปทับถมในรอยแตกบนธารน้ำแข็งเรียก crevasse filling

4. **เคมและเคมเทอเรซ (kame and kame terrace)** เคมจะมีลักษณะเป็นเนินเตี้ย ๆ ที่ไม่เรียบ อาจอยู่โดด ๆ หรืออยู่เป็นกลุ่ม เกิดจากการทับถมของกรวดและทรายที่เรียงตัวเป็นชั้นแต่ไม่คั่นเพราะเกิดในบริเวณที่ธารน้ำแข็งเริ่มละลาย น้ำยังพัดพาตะกอนออกไปไม่ไกล

ส่วนเคมเทอเรช เป็นการทับถมของกรวดและทรายที่เรียงตัวเป็นชั้นบริเวณใกล้กับผนังหุบเขา มักพบคู่กับเอสเคอร์ ผิวของเคมเทอเรชจะไม่สม่ำเสมอ ความยาวจะสั้นและไม่ต่อเนื่อง



รูปที่ 10.7 แสดงการเกิดและตำแหน่งของเอสเคอร์, เคม และเคมเทอเรช
(ที่มา : Longwell & others, 1969 หน้า 275)

5. วาร์ฟ (varve) เป็นชั้นของตะกอนบาง ๆ ที่อยู่กันเป็นคู่ของตะกอนทรายและตะกอนละเอียดซึ่งแต่ละคู่หมายถึงการตกตะกอนใช้เวลาหนึ่งปี เกิดขึ้นจากตะกอนที่ล่องสู่ทะเลสาบ กล่าวคือในฤดูร้อนน้ำจากการละลายของธารน้ำแข็งจะพาตะกอนทุกขนาดมาได้มาก แต่ในฤดูหนาวน้ำกลายเป็นน้ำแข็งจึงไม่มีการตกตะกอนสู่ทะเลสาบ ตะกอนขนาดทรายที่พัดพามาในฤดูร้อนจะตกลงสู่พื้นก่อน ส่วนตะกอนขนาดละเอียดจะตกทับถมในฤดูหนาวปิดทับตะกอนขนาดทรายจึงมีการเรียงขนาดชั้น และจะเกิดซ้ำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ ทำให้เกิดสลับระหว่างตะกอนทรายกับตะกอนละเอียด ปกติแล้ว ความหนาของวาร์ฟแต่ละคู่จะหนาไม่กี่มิลลิเมตรจนถึงหนึ่งเซนติเมตร พวกที่มีความหนามากกว่าหนึ่งเซนติเมตรอาจพบแต่ไม่มาก

10.5 ยุคน้ำแข็ง

เมื่อก้าวถึงยุคน้ำแข็ง (Ice Ages) ส่วนมากจะคิดถึงแต่ยุคน้ำแข็งในสมัยไพลสโตซีน แต่ความจริงแล้วพบหลักฐานว่ามียุคน้ำแข็งเกิดขึ้นก่อนสมัยไพลสโตซีน อาจตั้งแต่มหายุคพรีแคม

เบรียนก็ได้ แม้ว่าหลักฐานอาจไม่ปรากฏชัด แต่การศึกษาหินทิลไลต์ (tillite) ที่มาทับถมในยุคเดียวกับธารน้ำแข็ง อาจเป็นหลักฐานที่ดีได้

ธารน้ำแข็งที่ปกคลุมผิวโลกมีอายุมากที่สุดทราบจากการศึกษาหินอายุพรีแคมเบรียนที่พบในออนตาริโอ ประเทศแคนาดา ซึ่งเกิดขึ้นประมาณ 2.2 พันล้านปีที่แล้วมา ส่วนหินทิลไลต์ที่มีอายุน้อยกว่าพรีแคมเบรียนคือตอนปลายพรีแคมเบรียนเมื่อประมาณ 700 ล้านปีมาแล้ว จะพบอยู่บนพื้นที่ทวีปทั่วไป ยกเว้นแอนตาร์กติกา และระหว่างปลายมหายุคพาลีโอโซอิกถึงตอนกลางของมหายุคมีโซโซอิก เราพบหินทิลไลต์กระจายอยู่ทางซีกโลกใต้มากเป็นหินชุดกอนทัวนา (Gondwana) และพบหินชนิดนี้ที่มีอายุมากที่สุดคือยุคตีโวเนียนในอเมริกาใต้ นอกนั้นก็อยู่ในยุคเพนซิลวาเนียนถึงยุคเพอร์เมียน หลักฐานนี้แสดงว่ามีธารน้ำแข็งเกิดขึ้นในช่วงยุคเหล่านี้

ยุคน้ำแข็งในสมัยไพลสโตซีนคือประมาณ 2.5 ล้านปีที่ผ่านมามีธารน้ำแข็งจะปกคลุมผิวโลกประมาณ 32 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด ส่วนใหญ่จะปกคลุมพื้นที่ในอเมริกาเหนือ กรีนแลนด์ ยุโรป และทางตอนเหนือของเอเชีย ยุคน้ำแข็งในสมัยไพลสโตซีนมีข้อมูลให้ศึกษามาก และผลจากการศึกษาในทวีปอเมริกาเหนือและทางยุโรปเชื่อว่าเกิดยุคน้ำแข็งย่อยสลับกับยุคน้ำแข็งละลายอย่างน้อย 4 ครั้ง และหลังสุดยุคน้ำแข็งได้สิ้นสุดลงเมื่อ 10,000 ปีมาแล้ว

สาเหตุการเกิดยุคน้ำแข็งเชื่อว่าอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ซึ่งมีปัจจัยหลายอย่างทำให้การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศบนผิวโลกเกิดขึ้นในสมัยไพลสโตซีน เช่น การเพิ่มความสูงของพื้นที่ทวีป ทวีปเลื่อน (continental drift) การหมุนเวียนของน้ำในมหาสมุทร การเปลี่ยนแปลงของบรรยากาศ

10.6 สรุป

ธารน้ำแข็งเกิดจากกระบวนการแปรสภาพที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะเปลี่ยนหิมะให้เป็นหิมะน้ำแข็ง เมื่อความหนาของหิมะน้ำแข็งเพิ่มขึ้นจะเกิดการอัดแน่นและตกผลึกใหม่เป็นมวลน้ำแข็งเคลื่อนลงตามความลาดเกิดเป็นธารน้ำแข็ง

ชนิดของธารน้ำแข็งได้แก่ ธารน้ำแข็งหุบเขา ธารน้ำแข็งเชิงเขา และน้ำตน้ำแข็งหรือธารน้ำแข็งทวีป

ธารน้ำแข็งที่ปกคลุมผิวโลกในปัจจุบันประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์จะอยู่ที่แอนตาร์กติกา

และกรีนแลนด์เป็นส่วนมาก นอกนั้นปกคลุมอยู่บริเวณยอดเขาสูง ๆ ในส่วนต่าง ๆ ของโลก

ธารน้ำแข็งจะสะสมตัวกันใน โชนของการสะสมและ โชนของการสลายตัวจะอยู่ระดับต่ำ จากเส้นขอบหิมะลงมา บริเวณนี้จะมีการละลายและระเหยมากกว่าที่หิมะจะตกลงมาสะสม ซึ่ง อัตราของการสะสมกับการสลายตัวของธารน้ำแข็งจะมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งของธารน้ำแข็ง

ธารน้ำแข็งจะเคลื่อนที่ไปได้ประมาณ 2 หรือ 3 เซนติเมตรต่อวัน แต่ธารน้ำแข็ง บางชนิดก็เคลื่อนที่ได้มากกว่านี้ ตอนบนของธารน้ำแข็งที่ความหนา 30 ถึง 60 เมตรเป็นโชนของการแตก แต่ระดับต่ำกว่า 60 เมตรจะเป็นโชนของการไหล

การกัดเซาะของธารน้ำแข็งที่สำคัญคือการครูดถู ซึ่งทำให้เกิดรูวาลายขนานและร่อง บนพื้นหิน และการดึงให้หลุดของหิน ผลจากการกัดเซาะทำให้เกิดลักษณะต่าง ๆ เช่น เชิร์ก อาเรต ฮอร์น โคล หุบเขาธารน้ำแข็ง หุบเขาลอย สันเขาปลายตัด ฟยอร์ด และเนินหินไม้ สัมมาตรหรือหินรูปหลังแกะ

การพัดพาของธารน้ำแข็งเกิดขึ้นระหว่างทางที่ธารน้ำแข็งเคลื่อน ทำให้มีการสะสม เศษหินขนาดต่าง ๆ ตั้งแต่บริเวณที่ธารน้ำแข็งสัมผัสกับพื้นและผนังหุบเขา ตอนกลางของธารน้ำแข็งและผิวตอนบนของธารน้ำแข็ง และภายหลังที่ธารน้ำแข็งละลาย น้ำที่ได้จากการละลาย จะเป็นตัวพัดพาเศษหินต่อไป

การทับถมของธารน้ำแข็งแบ่งออกได้เป็นสองแบบ คือ การทับถมที่เกิดโดยตรงจาก ธารน้ำแข็ง ตะกอนที่มาทับถมนี้เรียกทิลล์ ซึ่งเป็นการทับถมที่ไม่มีการเรียงตัวเป็นชั้น ทำให้เกิด ลักษณะภูมิประเทศต่าง ๆ เช่น มอเรนส์ ดรัมลินส์ หินหลง และแนวหินเมน

และการทับถมอีกแบบหนึ่งเกิดจากการละลายของธารน้ำแข็ง ตะกอนที่มาทับถมเรียก stratified drift ซึ่งเป็นการทับถมที่มีการเรียงตัวเป็นชั้น ทำให้เกิดลักษณะภูมิประเทศ ต่าง ๆ เช่น เอาต์วอช เคตเติล เอสเคอร์ เคมและเคมเทอเรช วาร์ฟ

ยุคน้ำแข็งได้สิ้นสุดเมื่อประมาณ 10,000 ปีมาแล้ว เป็นยุคน้ำแข็งในสมัยไพลสโตซีน ซึ่งเริ่มเมื่อ 2.5 ล้านปีมาแล้ว แต่ยุคน้ำแข็งก่อนหน้าสมัยไพลสโตซีนก็มีเกิดขึ้น จากการศึกษา หินทิลล์ไลต์ที่พบในทวีปอเมริกาเหนือและตอนปลายมหาสมุทรแอตแลนติก สาเหตุการเกิดยุคน้ำแข็งยังไม่กระจ่างนักแต่ก็เชื่อว่าอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศเป็นสิ่งที่สำคัญ

แบบฝึกหัดบทที่ 10

1. ธารน้ำแข็งคืออะไร และอธิบายการเกิดธารน้ำแข็ง
2. จงอธิบายลักษณะของธารน้ำแข็งหุบเขา และอธิบายว่ามันเคลื่อนที่ได้อย่างไร ตำแหน่งปลายของธารน้ำแข็งขึ้นอยู่กับอะไร
3. อธิบายการเกิดรอยแตก crevasse และ bergschrund
4. ธารน้ำแข็งหุบเขา ธารน้ำแข็งเชิงเขา และธารน้ำแข็งทวีปแตกต่างกันอย่างไร
5. ธารน้ำแข็งจะกัดเซาะพื้นที่ได้อย่างไร จงเปรียบเทียบการกัดเซาะและการพัฒนาของธารน้ำแข็งกับสายน้ำ
6. จงอธิบายลักษณะภูมิประเทศดังต่อไปนี้ เซิร์ก ฮอร์น อาแรต และ โคล
7. รูปร่างของหุบเขาธารน้ำแข็งมีลักษณะเช่นใด อธิบายวิธีการเกิดและสัมพันธ์กับหุบเขาลอย และสันเขาปลายตัดอย่างไร
8. จงอธิบายการเกิดของฟยอร์ด และพบฟยอร์ดได้ที่ไหนบ้าง
9. จงอธิบายการเกิดเนินหินไม่สมมาตร
10. จงอธิบายวิธีการทับถมของธารน้ำแข็งมาทั้งสองแบบและลักษณะของตะกอนที่ทับถมจะแตกต่างกันอย่างไรบ้าง
11. สิ่งต่อไปนี้เกิดขึ้นได้อย่างไร และพบได้ที่ไหน มอเรนข้างธารน้ำแข็ง มอเรนกลางธารน้ำแข็ง มอเรนพื้นธารน้ำแข็ง มอเรนปลายธารน้ำแข็ง และมอเรนธารน้ำแข็งถอยตัว
12. ทรัมลินส์ หินหลง และแนวหินมน คืออะไร และทำให้ทราบทิศทางการเคลื่อนที่ของธารน้ำแข็งได้อย่างไร
13. เอาต์วอชคืออะไร ประกอบไปด้วยตะกอนขนาดใด และเกิดเกี่ยวเนื่องกับอะไรบ้าง
14. เอสเคอร์ เคมและเคมเทอเรชคืออะไร เกิดขึ้นได้อย่างไร
15. อธิบายการเกิดวาร์ฟ
16. ธารน้ำแข็งปัจจุบันอยู่ที่ไหนบ้าง และปกคลุมพื้นที่มากน้อยเท่าใด
17. อธิบายยุคน้ำแข็งก่อนสมัยไพลสโตซีน และสมัยไพลสโตซีน