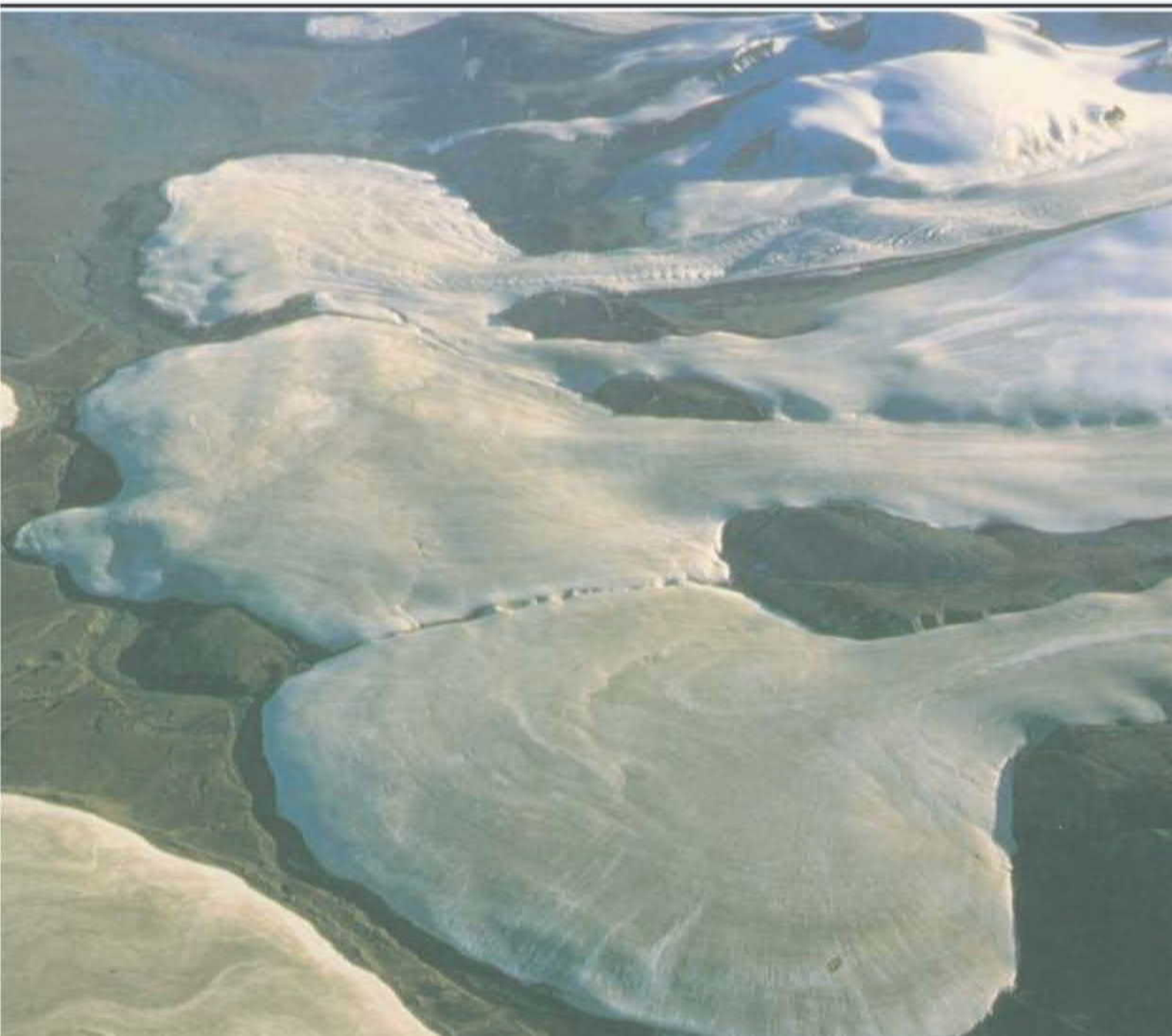
ชุดสิ่งแวดล้อมของ UNEP/GEMS เล่มที่ 9

UNEP

ธารน้ำแข็ง กับสิ่งแวดล้อม



หนังสือในชุดเดียวกัน

1. ก๊าซเรือนกระจก
2. ชั้นโอโซน
3. ช้างแอฟริกา
4. มลพิษอากาศในเมือง
5. อาหารปนเปื้อน
6. มลพิษในแหล่งน้ำจืด
7. ผลกระทบจากการทำลายชั้นโอโซน
8. ปรากฏการณ์เอลนิโญ
9. ธารน้ำแข็งกับสิ่งแวดล้อม
10. ผลกระทบเมื่อภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง
11. ความหลากหลายทางชีวภาพของโลก
12. มลพิษในทะเลสาบและอ่างเก็บน้ำ
13. ผลกระทบของภูมิอากาศต่อการประมง

ธารน้ำแข็งขั้วโลกที่เกาะอ็อกเซล ไฮเบอร์ก (Axel Heiberg)
ใกล้เส้นอาร์กติกในรัฐนอร์ทเวสต์ เทอร์ริทอรีส์
ของประเทศแคนาดา
(ถ่ายภาพโดย J. Alean)

ธารน้ำแข็งกับสิ่งแวดล้อม

Glaciers and the Environment

ของ UNEP/GEMS

แปลโดยนักแปลเครือข่ายของกรมวิชาการ

ประกอบ อยู่ชมบุญ สมบูรณ์ ใจกลางดุก
สุทิน แท่นมณี วิษณุ ทิมวิธรรม

สถาบันการแปลหนังสือ กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ

Glaciers and the Environment

UNEP 1992

หนังสือชุดสิ่งแวดล้อม เล่มที่ 9

โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ ไนโรบี

หนังสือแปลอันดับที่ 175

สาขาสิ่งแวดล้อม

ลิขสิทธิ์ฉบับภาษาไทยเป็นของกระทรวงศึกษาธิการ

สถาบันการแปลหนังสือ กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ แปลและจัดพิมพ์

ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2544 จำนวนพิมพ์ 15,000 เล่ม

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

สหประชาชาติ. โครงการสิ่งแวดล้อม.

ธารน้ำแข็งกับสิ่งแวดล้อม. = Glaciers and the Environment.-- กรุงเทพฯ:

สถาบันการแปลหนังสือ กรมวิชาการ, 2544.

32 หน้า.

1. ธารน้ำแข็ง. 2. ธารน้ำแข็ง--แง่สิ่งแวดล้อม. I. ระบบตรวจสอบสิ่งแวดล้อมโลก.

II. ประกอบ อยู่ชมบุญ และคณะ, ผู้แปล. III. กรมวิชาการ. IV. ชื่อเรื่อง.

551.312

ISBN 974-269-041-3

ประกาศกระทรวงศึกษาธิการ
เรื่อง อนุญาตให้ใช้หนังสือในโรงเรียน

ด้วยกรมวิชาการได้จัดทำหนังสือแปลชุดสิ่งแวดล้อม รวม 13 เล่ม ได้แก่ 1) ก๊าซเรือนกระจก 2) ชั้นโอโซน 3) ช้างแอฟริกา 4) มลพิษอากาศในเมือง 5) อาหารปนเปื้อน 6) มลพิษในแหล่งน้ำจืด 7) ผลกระทบจากการทำลายชั้นโอโซน 8) ปรากฏการณ์เอลนิโญ 9) ธารน้ำแข็งกับสิ่งแวดล้อม 10) ผลกระทบเมื่อภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง 11) ความหลากหลายทางชีวภาพของโลก 12) มลพิษในทะเลสาบและอ่างเก็บน้ำ และ 13) ผลกระทบของภูมิอากาศต่อการประมง โดยแปลจากหนังสือชุดสิ่งแวดล้อม ของโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ และระบบตรวจสอบสิ่งแวดล้อมโลก (UNEP/GEMS Environment Library) เพื่อใช้เป็นหนังสือความรู้สำหรับครู นักเรียน นักศึกษา ตลอดจนประชาชนทั่วไป

กระทรวงศึกษาธิการพิจารณาแล้ว อนุญาตให้ใช้หนังสือนี้ในโรงเรียนได้

ประกาศ ณ วันที่ 27 มิถุนายน พ.ศ. 2544

(นายอำรุง จันทวานิช)
รองปลัดกระทรวง ปฏิบัติราชการแทน
ปลัดกระทรวงศึกษาธิการ

คำนำ

สิ่งแวดล้อมมีคุณค่าอเนกอนันต์แก่มวลชีวิตบนโลก และก่อความรำคาญจนถึงขั้นเป็นอันตรายรุนแรงได้เช่นเดียวกัน สิ่งแวดล้อมใกล้ตัวและสิ่งแวดล้อมโลกมีความสัมพันธ์เชื่อมโยงโดยธรรมชาติ หากเราทุกคนร่วมกันดูแลรักษาสิ่งแวดล้อมใกล้ตัว ระบบสิ่งแวดล้อมทั้งโลกย่อมยั่งยืนและน่าอยู่ตลอดไป

กรมวิชาการเห็นว่าหนังสือชุดสิ่งแวดล้อมสำหรับห้องสมุดของโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ และระบบตรวจสอบสิ่งแวดล้อมโลก (UNEP/GEMS Environment Library) ประกอบด้วยประเด็นสิ่งแวดล้อมหลักๆ ของโลกรวม 13 เรื่อง เสนอสาระที่น่าเรียนรู้อย่างมาก ก่อให้เกิดความตระหนักในเรื่องสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตเราสมควรเผยแพร่ให้แพร่หลาย จึงได้จัดประชุมปฏิบัติการนักแปลเครือข่าย ของกรมวิชาการเพื่อร่วมกันแปลหนังสือชุดนี้ สำหรับใช้ในโรงเรียนตั้งแต่ระดับมัธยมศึกษาขึ้นไป และเผยแพร่แก่สาธารณชนทั้งหลาย

กรมวิชาการขอขอบคุณนักแปลเครือข่าย ผู้ตรวจ วิทยากร และผู้เกี่ยวข้องทุกคนที่ร่วมกันจัดทำหนังสือนี้ และขอขอบคุณโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติเป็นพิเศษที่เอื้อเฟื้อลิขสิทธิ์การแปล

(นายประพัฒน์พงศ์ เสนาฤทธิ์)
อธิบดีกรมวิชาการ
22 มิถุนายน 2544

ธารน้ำแข็งกับสิ่งแวดล้อม

ไมเคิล ดี. กวินน์

หน่วยเฝ้าระวังโลก หรือเอิร์ทวอตช์ (Earthwatch) ก่อตั้งขึ้นใน ค.ศ. 1972 โดยที่ประชุมองค์การสหประชาชาติว่าด้วยสิ่งแวดล้อมของมนุษย์ เพื่อประเมินผลกิจกรรมต่าง ๆ ที่อยู่ในแผนปฏิบัติงานที่วางไว้ หน่วยงานขององค์การสหประชาชาติแต่ละหน่วย ทำหน้าที่ตรวจสอบและประเมินผลสภาพแวดล้อมด้านต่างๆในความรับผิดชอบของตน ระบบตรวจสอบสิ่งแวดล้อมโลก หรือเจมส์ (Global Environment Monitoring System — GEMS) ตั้งขึ้นเป็นทางการหลังจากนั้น 2 ปีในค.ศ.1974 หน่วยงานนี้ปฏิบัติงานร่วมกับโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ หรือยูเนป (United Nations Environment Programme —UNEP) และหน่วยงานร่วมอื่น ๆ โดยผ่านศูนย์กิจกรรมของโครงการที่สำนักงานใหญ่ของโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ ในกรุงไนโรบี

ระบบตรวจสอบสิ่งแวดล้อมโลกดำเนินงานจนประสบผลดีเยี่ยมมานานกว่าหนึ่งทศวรรษแล้ว ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาได้ประเมินผลสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ ๆ ทั่วโลก เช่น ผลกระทบจากการที่โลกร้อนขึ้น มลพิษอากาศในเขตเมืองและในแหล่งน้ำจืด อัตราการลดลงของป่าเขตร้อนและสิ่งมีชีวิตที่ถูกคุกคาม เช่น ช้างแอฟริกา เป็นต้น

เนื่องจากเป็นเรื่องเฉพาะ จึงจัดพิมพ์ผลการประเมินเหล่านี้ในลักษณะเอกสารทางวิชาการตามปกติ และมีหลายเรื่องจัดพิมพ์เป็นหนังสือชุดสิ่งแวดล้อมของ UNEP/GEMS ในรูปแบบที่ผู้ไม่มีพื้นฐานทางวิชาการก็สามารถอ่านเข้าใจได้ง่าย

หนังสือเล่มนี้เป็นอันดับที่ 9 ในชุด ค่อนข้างแตกต่างจากเล่มอื่น เพราะเป็นเรื่องเกี่ยวกับธารน้ำแข็ง ไม่เหมือนกับช้างแอฟริกาหรือมลพิษอากาศในเมือง เพราะไม่ใช่ประเด็นที่ประชาชนให้ความสนใจแสดงความคิดเห็นวิพากวิจารณ์

เหตุใดจึงต้องเป็นธารน้ำแข็ง ประการแรก เพราะการติดตามตรวจสอบเรื่องธารน้ำแข็งเป็นงานสำคัญอย่างหนึ่งของระบบตรวจสอบสิ่งแวดล้อมโลก ประการที่สอง ธารน้ำแข็งมีบทบาทสำคัญต่อสมดุลความร้อนของโลก และยังเป็นเสมือนเครื่องมือที่ไวต่อการรับรู้การเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ รวมทั้งเพื่อบันทึกประวัติความแข็งตัวขององค์ประกอบต่าง ๆ ในบรรยากาศ ซึ่งสามารถย้อนกลับไปได้หลายศตวรรษ

ในท้ายที่สุด ข้าพเจ้าขอฝากให้เก็บความประทับใจทางวิทยาศาสตร์ที่มีอยู่ในเอกสารฉบับนี้ไว้ด้วย

ไมเคิล ดี. กวินน์
ผู้อำนวยการระบบตรวจสอบสิ่งแวดล้อมโลก
โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ

สารบัญ

คำนำ	
ถ้อยแถลง	7
บทนำ	8
ภูมิหลัง	10
ประวัติน้ำแข็ง	10
ลักษณะตามธรรมชาติของธารน้ำแข็ง	12
การเปลี่ยนแปลงของธารน้ำแข็ง	15
ธารน้ำแข็งเกิดขึ้นได้อย่างไร	15
การรับอุณหภูมิของธารน้ำแข็ง	18
การตรวจสอบธารน้ำแข็ง	19
การเคลื่อนที่ของธารน้ำแข็ง	21
การรวบรวมข้อมูลธารน้ำแข็ง	25
การเฝ้าตรวจสอบธารน้ำแข็งโลก	25
การใช้ประโยชน์จากข้อมูล	27
แหล่งอ้างอิง	31

ถ้อยแถลง

มอสตาฟา เค. ทอลบา

ยากที่จะเชื่อว่าโลกของเราเคยเป็นดาวเคราะห์แห่งธารน้ำแข็งมาก่อน เพราะโลกในปัจจุบันแห้งแล้งมากขึ้น ๆ และร้อนมากขึ้นทุกวัน ๆ เป็นเวลากว่าพันล้านปีมาแล้วที่โลกเรามียุคน้ำแข็งหลายครั้ง ครั้งสุดท้ายสิ้นสุดประมาณ 20,000 ปีที่ผ่านมา ในขณะนั้นโลกมีอุณหภูมิเพียง 6 องศาเซลเซียส ทำให้ยุโรปกลางและเอเชียกลายเป็นแผ่นดินเย็นแข็ง พื้นผิวโลกร้อยละ 10 หรือประมาณ 15 ล้านตารางกิโลเมตร ปกคลุมด้วยธารน้ำแข็ง ธารน้ำแข็งหรือพืดน้ำแข็งปกคลุมยอดเขาในทุกทวีปทั่วโลก แม้กระทั่งบริเวณเส้นศูนย์สูตร

เราจะใช้ประโยชน์จากธารน้ำแข็งได้อย่างไร หิมะและมวลน้ำแข็งที่แข็งตัวจนเคลื่อนย้ายไม่ได้เตือนให้ทราบถึงความสำคัญของโลก และการใช้ธรรมชาติอย่างเห็นคุณค่าและจำเป็นต่อการดำรงชีวิตประจำวันของคนหลายล้านคน ข้อมูลที่เก็บอยู่ในรูปของธารน้ำแข็งอาจช่วยพัฒนาตลอดจนทำให้มนุษย์ดำรงชีวิตรอดอยู่ได้

น้ำจืดร้อยละ 75 ของโลกอยู่ในรูปของธารน้ำแข็ง น้ำที่ละลายจากธารน้ำแข็งนำไปใช้เป็นพลังงานน้ำและการชลประทาน ธารน้ำแข็งวิทยาคือการศึกษาหิมะและน้ำแข็งด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ซึ่งกระตุนให้เกิดการพัฒนาระบบเตือนภัยล่วงหน้า เพื่อบอกความหายนะทางธรรมชาติเกี่ยวกับธารน้ำแข็ง เช่น น้ำแข็งถล่ม ธารน้ำแข็งบอกถึงสภาพบรรยากาศล่วงหน้าได้ มีการนำแกนน้ำแข็งจากธารน้ำแข็งไปใช้กำหนดระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และสารเคมีอื่น ๆ ในชั้นบรรยากาศยุคก่อนอุตสาหกรรม นอกจากนั้นธารน้ำแข็งยังบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

การถอยร่นของธารน้ำแข็งทั่วโลกในศตวรรษที่ผ่านมาเป็นหลักฐานสำคัญ ทำให้เข้าใจถึงสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปได้ไม่ยากนัก ทำให้ต้องจดจำ บันทึก และศึกษาสัญญาณการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ การสังเกตธารน้ำแข็งอย่างเป็นระบบทั่วโลกเริ่มขึ้นเมื่อ ค.ศ. 1894 ใน ค.ศ. 1976 ได้มีการค้นคว้ารวบรวมเกี่ยวกับธารน้ำแข็งและแผ่นน้ำแข็งของโลกขึ้นเป็นครั้งแรก และมีการจัดพิมพ์รายงาน เรื่อง *"การรวบรวมข้อมูลธารน้ำแข็งโลก : สภาวะธารน้ำแข็ง ค.ศ. 1988"* ขึ้นเมื่อ ค.ศ. 1989 หน่วยบริการตรวจสอบธารน้ำแข็งโลก (The World Glacier Monitoring Service) ซึ่งจัดตั้งขึ้นเมื่อ ค.ศ. 1986 ทำหน้าที่ประสานงานติดตามตรวจสอบธารน้ำแข็งโดยได้รับความช่วยเหลือจากโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติและหน่วยงานระดับชาติและนานาชาติอื่น ๆ

จุดประสงค์ของการพิมพ์หนังสือเล่มนี้เพื่อเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับธารน้ำแข็งให้กว้างขวางออกไปและเน้นความจำเป็นที่ต้องศึกษาและพัฒนาเรื่องนี้ให้มากขึ้น ธารน้ำแข็งวิทยาเป็นกุญแจสำคัญเพื่อเข้าถึงอดีต และมีความหมายมากเพื่อเข้าสู่อนาคต

มอสตาฟา เค. ทอลบา
ผู้อำนวยการบริหาร
โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ

บทนำ

ระยะเวลา 150,000 ปี ที่ผ่านมาโลกมียุคน้ำแข็ง 2 ยุ ควบกับเวลาอันยาวนานที่เป็นช่วงคั่นลำดับอายุธารน้ำแข็ง ประมาณ 125,000 ปี ถึง 75,000 ปีที่ผ่านมา

ปัจจุบันนี้โลกของเรากำลังเข้าสู่ยุคช่วงคั่นลำดับธารน้ำแข็งอีกครั้งหนึ่ง เป็นช่วงเวลาที่ธรรมชาติเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรง โลกร้อน ๆ ขึ้นเนื่องจากการสะสมของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ ซึ่งอาจทำให้โลกร้อนขึ้นมากกว่าสาเหตุจากการผันแปรของอุณหภูมิที่มีอยู่ระหว่างการเปลี่ยนแปลงจากยุคน้ำแข็งเข้าสู่ช่วงคั่นลำดับอายุธารน้ำแข็ง

ในระหว่างฤดูหนาวที่ซีกโลกเหนือน้ำแข็งและหิมะจะปกคลุมผิวดินเกือบครึ่งโลก รวมทั้งพื้นมหาสมุทรต่าง ๆ อีกประมาณร้อยละ 30

อย่างไรก็ดีพื้นผิวส่วนมากของโลก ที่เราอาจเรียกว่า 'ดาวเคราะห์แห่งธารน้ำแข็ง' ดวงหนึ่งนั้น มีน้ำแข็งและหิมะปกคลุมอยู่แม้ระหว่างช่วงคั่นลำดับอายุธารน้ำแข็ง ในระหว่างฤดูหนาว ที่ซีกโลกเหนือน้ำแข็งและหิมะจะปกคลุมผิวดินเกือบครึ่งโลก รวมทั้งพื้นมหาสมุทรต่าง ๆ อีกประมาณร้อยละ 30 ประมาณร้อยละ 10 ของผิวดินปกคลุมด้วยธารน้ำแข็งซึ่งเป็นแหล่งน้ำจืดของโลกถึงร้อยละ 75 ธารน้ำแข็งนี้สะสมกันเป็นแผ่นน้ำแข็งขนาดมหึมาในเกาะกรีนแลนด์และทวีปแอนตาร์กติกา ส่วนธารน้ำแข็งและแผ่นน้ำแข็งตามแนวเขาที่เหลือนั้นปกคลุมพื้นที่ประมาณ 550,000 ตารางกิโลเมตร เกือบทั้งหมดอยู่ในทวีปอเมริกาเหนือและยูเรเซีย

เราอาจถือว่าธารน้ำแข็งเป็นก้อนน้ำแข็งขนาดใหญ่ที่เหลือมาจากยุคน้ำแข็งที่ผ่านมา หรืออาจเป็นเครื่องแสดงว่าจะมีพืดน้ำแข็งเกิดขึ้นในยุคน้ำแข็งยุคหน้าก็ได้ และขนาดของพืดน้ำแข็งอาจบ่งบอกให้ทราบลักษณะของยุคน้ำแข็งแต่ละยุค และเป็นเครื่องบ่งบอกการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม เช่นเดียวกับธารน้ำแข็งของโลกซึ่งเป็นเครื่องวัดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อมของโลกที่มีประสิทธิภาพในระยะเวลาสั้น ๆ

เนื่องจากน้ำแข็งในธารน้ำแข็งมีอุณหภูมิใกล้จุดหลอมเหลว ดังนั้นธารน้ำแข็งจึงเสมือนเครื่องบ่งบอกการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศได้เป็นอย่างดี จำนวนธารน้ำแข็งที่ลดลงทั่วโลกในศตวรรษนี้เป็นหลักฐานสำคัญที่ยืนยันว่า อุณหภูมิพื้นผิวโดยเฉลี่ยของโลกเปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจนและรวดเร็วนับแต่ยุคน้ำแข็งน้อย (Little Ice Age) สิ้นสุดลงเมื่อศตวรรษที่ผ่านมา

ธารน้ำแข็งเป็นเรื่องทางวิทยาศาสตร์ที่น่าสนใจและมีความสำคัญในตัวเอง การศึกษาวิจัยเรื่องธารน้ำแข็งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้กับหลายสาขาวิชา เนื่องจากน้ำแข็งเกิดขึ้นและสะสมเรื่อยมาเป็นเวลานับพัน ๆ ปี จึงเป็นเสมือนห้องเย็นเก็บหลักฐานเกี่ยวกับสภาพบรรยากาศได้ดี

การศึกษาแกนน้ำแข็งทำให้นักวิทยาศาสตร์สามารถกำหนดระดับพื้นฐานของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และสารเคมีอื่น ๆ ในชั้นบรรยากาศก่อนยุคอุตสาหกรรมได้

ภาพพิมพ์ในศตวรรษที่ 19 แสดงถึงการก่อตัวของธารน้ำแข็งกรินด์เดลวอลด์เหนือในประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ซึ่งอยู่ระหว่างบริเวณทำป่าไม้กับบริเวณเกษตรกรรม ในช่วงยุคน้ำแข็งน้อย ทอมัส ฟาร์นลี เป็นผู้เขียนภาพนี้เมื่อเดือนสิงหาคม ค.ศ. 1835

การศึกษาวิจัยเรื่องธารน้ำแข็ง มีความสำคัญต่อการออกแบบโครงการพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ เนื่องจากน้ำที่ไหลมาจากธารน้ำแข็งนั้นมีพลังงานอยู่ในตัวเองตลอดเวลา นอกจากนี้ธารน้ำแข็งยังเป็นสาเหตุของน้ำท่วม เพราะการพังทลายและการถอยร้นของธารน้ำแข็งเป็นเหตุให้น้ำแข็งที่อยู่ในทะเลสาบละลายและปล่อยสิ่งที่เคยอยู่ในก้อนน้ำแข็งทิ้งลงในทะเลสาบ ในที่สุดจากการเฝ้าดูการละลายของธารน้ำแข็งมากกว่า 100 ปี ทำให้ทราบว่าเหตุการณ์เช่นนี้เองที่ทำให้ระดับน้ำทะเลสูงขึ้นประมาณหนึ่งในสามของ 10 ถึง 20 เซนติเมตร

การเฝ้าสังเกตธารน้ำแข็งทั่วโลกอย่างเป็นระบบเริ่มขึ้นเมื่อ ค.ศ. 1894 ด้วยการริเริ่มของคณะกรรมการธารน้ำแข็งสากล (International Glacier Commission—IGC) ด้วยความช่วยเหลือจากโครงการอุทกศึกษานานาชาติของยูเนสโก (UNESCO's International Hydrological Programme—IHP) ทำให้เกิดการจัดตั้งโครงการจัดทำรายการธารน้ำแข็งและพืดน้ำแข็งทั่วโลกขึ้นใน ค.ศ.1976 และจัดพิมพ์รายงานเรื่องนี้ขึ้นเป็นครั้งแรกใน ค.ศ. 1988 ปัจจุบันหน่วยบริการตรวจสอบธารน้ำแข็งโลก (World Glacier Monitoring Service) เป็นผู้ประสานงานเรื่องนี้ ซึ่งองค์การสหประชาชาติโดยระบบตรวจสอบสิ่งแวดล้อมโลกให้การสนับสนุนร่วมกับสมาคมนานาชาติว่าด้วยอุทกวิทยา (The International Association of Scientific Hydrology)

จำนวนธารน้ำแข็งที่ลดลงทั่วโลกในศตวรรษนี้เป็นหลักฐานสำคัญที่ยืนยันว่าอุณหภูมิพื้นผิวโดยเฉลี่ยของโลกเปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจนและรวดเร็วนับแต่ยุคน้ำแข็งน้อย (Little Ice Age) สิ้นสุดลงเมื่อศตวรรษที่ผ่านมา

ภูมิหลัง

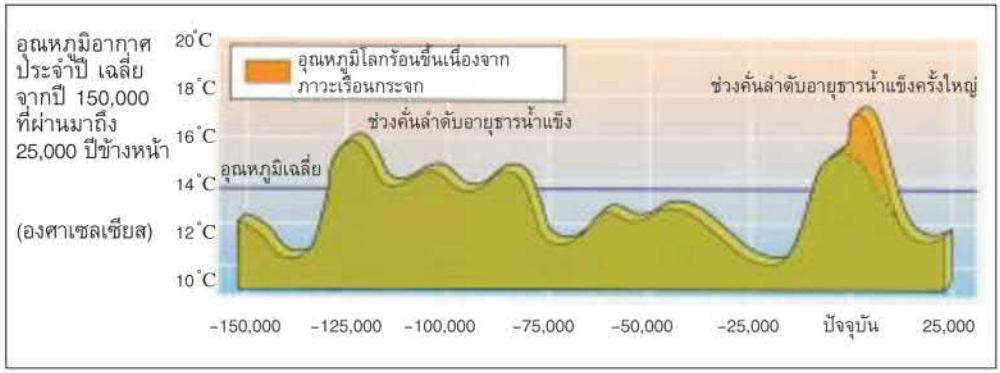
ประวัติน้ำแข็ง

ประมาณสองสามล้านปีมาแล้ว เมื่อทวีปแอนตาร์กติกาเคลื่อนไปสู่ขั้วโลกใต้นั้น พืดน้ำแข็งขนาดใหญ่เริ่มก่อตัวขึ้น สภาพดังกล่าวนับได้ว่าเริ่มเข้าสู่ยุคน้ำแข็งใหม่ ทะเลเริ่มเย็นลงเมื่อน้ำแข็งจากทวีปแอนตาร์กติกาไหลลงสู่ทะเล อุณหภูมิอากาศลดลง และสภาพอากาศทั่วไปก็แปรปรวนจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ แผ่นน้ำแข็งทวีปได้เริ่มก่อตัวขึ้น ความขาวจ้าของแผ่นน้ำแข็งนั้นช่วยลดปริมาณการแผ่รังสีสุ ิยะที่โลกดูดกลืนไว้ส่วนหนึ่ง ยิ่งทำให้โลกคงความเย็นไว้ต่อไป

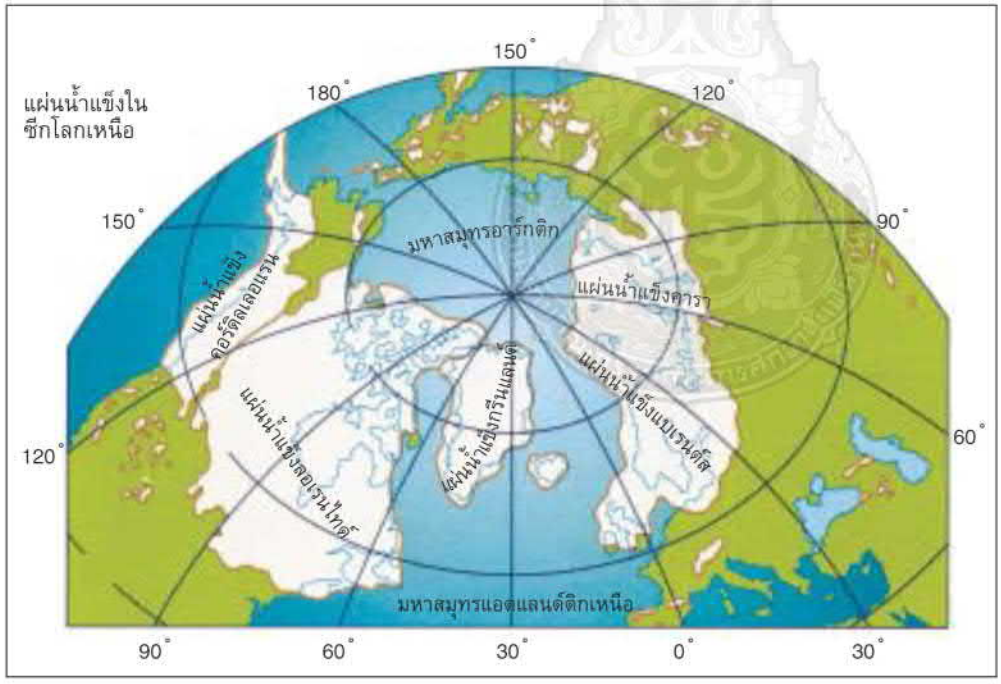
ในยุคน้ำแข็ง น้ำหนักของน้ำแข็งที่ปกคลุมพื้นดินอยู่ทำให้พื้นดินบริเวณนั้นทรุดลง โดยทั่วไประดับพื้นดินจะทรุดลงราว 1 ใน 3 ของความหนาของน้ำแข็งที่ปกคลุ ม ในขณะเดียวกันแผ่นน้ำแข็งนั้นก็ดูดซับความชื้นเท่าที่มีอยู่บริเวณนั้นไว้มากในรูปเกล็ดน้ำแข็ง จึงทำให้ระดับน้ำทะเลลดลง หลักฐานนี้เองที่ชี้ให้เห็นว่า ระดับน้ำทะเลลดลงประมาณ 100 ถึง 140 เมตร ในยุคน้ำแข็งแต่ละยุ ค

ความเห็นยังไม่สอดคล้องกันว่าในระหว่างเวลา 2 ล้านปีที่ผ่านมาโลกมียุคน้ำแข็งเกิดขึ้นกี่ยุค แต่ที่ปรากฏชัดเจนก็คือ ระหว่างยุคต่าง ๆ อาจแบ่งได้โดยอาศัยอุณหภูมิที่ร้อนขึ้นในช่วงคั่นลำดับอายุธารน้ำแข็ง ขณะที่น้ำแข็งละลายตอนปลายยุคน้ำแข็งแต่ละยุคพื้นดินก็เริ่มกลับสูงขึ้นอีก ช่วงแรก ๆ นั้นสูงขึ้นเร็วมาก แต่กลับค่อย ๆ ช้าลงในภายหลัง ตอนที่น้ำแข็งเริ่มละลายนั้นระดับพื้นดินบริเวณนั้นอาจสูงได้ถึง 9 เมตรในหนึ่งศตวรรษ แต่กระบวนการทั้งหมดอาจกินเวลายาวนาน อย่างน้อยที่สุดประมาณ 20,000 ปี แม้ว่ายุคน้ำแข็งสุดท้ายสิ้นสุดลงประมาณ 20,000 ปีมาแล้วก็ตาม แต่พื้นดินบริเวณอ่าวบอทเนียยังคงสูงขึ้นอีกประมาณ 90 เซนติเมตร ในรอบ 100 ปี เช่นเดียวกับบริเวณรอบ ๆ กรุ ง สตอกโฮล์มที่ยังคงสูงขึ้นประมาณ 50 เซนติเมตร

มนุษย์เริ่มเข้าใจเกี่ยวกับประวัติอากาศโลกดีขึ้น เริ่มจากระยะเวลาประมาณ 75,000 ปีที่ผ่านมานี้ เมื่อยุคน้ำแข็งสองยุคแรก คือ ยุควิสคอนซินระยะที่หนึ่งและวิสคอนซินระยะที่สองเริ่มก่อตัวขึ้น ยุคน้ำแข็งวิสคอนซินระยะที่สองเข้าถึงจุดที่เย็นที่สุดเมื่อประมาณ 20,000 ปีมาแล้ว (ดูรูปที่ 1) ในขณะนั้นมีแผ่นน้ำแข็งที่ใหญ่ที่สุดชื่อลอเรนไทด์ (Laurentide) ปกคลุมตอนเหนือของทวีปอเมริกาเหนือ รวมทั้งแผ่นน้ำแข็งอื่น ๆ ที่ปกคลุมบริเวณกลุมประเทศสแกนดิเนเวีย หมู่เกาะอังกฤษ และไซบีเรียตะวันออกในซีกโลกเหนือ (ดูรูปที่ 2) และปกคลุมแถบปาทาโกเนีย (Patagonia) และกลุมเก่าะติแอร์-ราเดลฟูเอโก (Tierra del Fuego) ในซีกโลกใต้ แม้ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโลกจะเย็นกว่าปัจจุบันเพียง 6 องศาเซลเซียสก็ตาม แต่พื้นผิวของทวีปยุโรปตอนกลางและส่วนมากของทวีปเอเชียก็เย็นจัดถาวร ระดับน้ำทะเลลดต่ำลงกว่า 100 เมตร ช่องแคบเบริงจึงเหือดแห้งลง มนุษย์ยุคแรกจึงออกล่าช้างแมมมอทได้ ไม่เพียงแต่ในยูเรเชียเท่านั้น แต่ในบริเวณที่ต่อมาเรียกว่า โลกใหม่ด้วย



รูปที่ 1
แสดงลำดับของยุคน้ำแข็งที่ผ่านมาเมื่อ 150,000 ปี และแสดงการทำนายอนาคตในอีก 25,000 ปี ช่วงคั่นลำดับอายุธารน้ำแข็งปัจุบันนี้มีแนวโน้มจะเป็นช่วงคั่นลำดับอายุธารน้ำแข็งที่ใหญ่ที่สุด เนื่องจากผลของปฏิกิริยาเรือนกระจกที่ค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้น



รูปที่ 2
ขนาดของแผ่นน้ำแข็งในซีกโลกเหนือในยุคน้ำแข็งที่ผ่านมา ระดับน้ำทะเลลดต่ำลงประมาณ 100 เมตร หรือมากกว่าเนื่องจากความชื้นถูกกักไว้ในแผ่นน้ำแข็ง

การก่อตัวของผืนน้ำแข็งขนาดใหญ่ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางอุตุนิยมวิทยาที่ซับซ้อนขึ้น จึงเห็นการหักเหของทิศทางลมจากมหาสมุทรแปซิฟิกรอบ ๆ แนวด้านเหนือของธารน้ำแข็งลอเรนไทด์อย่างชัดเจน ลมเย็นเหล่านี้ทำให้ทวีปแอตแลนติกเย็นลงและแผ่นน้ำแข็งแผ่ลงมาทางใต้จนถึงเทือกเขาพิริเนส (Pyreness) ส่วนแผ่นน้ำแข็งแถบยูเรเซียไม่ต้องการความชื้นจากทวีปแอตแลนติกอีก ธารน้ำแข็งแถบเทือกเขาแอลไพน์ (Alpine) บางลงและแข็งตัวจนถึงพื้นข้างล่าง จึงทำให้บริเวณนั้นมีลักษณะเป็นทะเลทรายเย็น เมื่อหิมะตกลงมาธารน้ำแข็งและแผ่นน้ำแข็งเริ่มสูญเสียมวลลง หิมะและแผ่นน้ำแข็งจึงเริ่ม

หดตัวและทำให้พื้นดินเย็นแข็งเริ่มดูดซับรังสีดวงอาทิตย์มากขึ้น ภายในเวลาประมาณ 2 ถึง 3 พันปี แผ่นน้ำแข็งที่ปกคลุมอยู่ก็หายไป โลกเริ่มร้อนขึ้น สอดคล้องกับก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศที่เพิ่มขึ้นอย่างฉับพลัน เหตุการณ์นี้คือช่วงภัยพิบัติของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศนั่นเอง ซึ่งเป็นผลให้สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมจำนวนมากสูญพันธุ์

ประมาณ 10,000 ปีที่ผ่านมา ปริมาณการตกของหิมะและอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกก็เป็นเช่นเดียวกับที่ปรากฏในปัจจุบัน ธารน้ำแข็งภูเขาจำนวนมากซึ่งอยู่ห่างจากแผ่นน้ำแข็งที่เหลืออยู่มีขนาดเล็กลงเท่ากับในปัจจุบันนี้ แม้ว่าในยุคอากาศเย็น เช่น ยุคน้ำแข็งน้อยที่ปกคลุมพื้นดินตั้งแต่ประมาณคริสต์ศตวรรษที่ 17 ถึงกลางคริสต์ศตวรรษที่ 19 นั้นมีเกิดขึ้นซ้ำซาก ทำให้ธารน้ำแข็งขยายตัวและเพิ่มขนาดขึ้นอีกครั้งหนึ่งตั้งแต่กลางคริสต์ศตวรรษที่ 19 เป็นต้นมา ทั้งความยาวและมวลของธารน้ำแข็งทั่วโลกได้หดตัวลงซึ่งอาจจะเร็วกว่าตอนปลายยุคน้ำแข็งที่แล้วเสียอีก เหตุการณ์นี้ถือว่าเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติอย่างหนึ่ง จึงเป็นไปได้ว่าผลของปฏิกิริยาเรือนกระจกที่เพิ่มมากขึ้นนั้น อาจเป็นส่วนหนึ่งของปรากฏการณ์นี้ก็ได้ หากเราไม่สามารถป้องกันผลของก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มมากขึ้นได้แล้ว ช่วงคั่นลำดับอายุธารน้ำแข็งครั้งใหญ่ ซึ่งมีอากาศร้อนเพิ่มมากขึ้นนั้นอาจเกิดขึ้นได้ในศตวรรษข้างหน้า พร้อมกับอุณภูมิที่อาจร้อนกว่าที่เคยปรากฏเมื่อหลายล้านปีที่ผ่านมา หลังจากนั้นอีกประมาณ 10,000 หรือ 20,000 ปี อาจมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโลกจนเข้าสู่ยุคน้ำแข็งอีกครั้งหนึ่ง

ลักษณะตามธรรมชาติของธารน้ำแข็ง

ปัจจุบันธารน้ำแข็งปกคลุมพื้นผิวโลกประมาณร้อยละ 10 หรือประมาณ 15 ล้านตารางกิโลเมตร แม้ธารน้ำแข็งเป็นบ่อเกิดแหล่งน้ำจืดของโลกถึงร้อยละ 75 ก็ตาม แต่ส่วนมากแหล่งดังกล่าวอยู่ห่างจากที่อยู่อาศัยของมนุษย์และนำไปใช้ประโยชน์ได้ยาก เช่น แผ่นน้ำแข็งขนาดมหึมาในกรีนแลนด์ และทวีปแอนตาร์กติกา ส่วนธารน้ำแข็งที่เหลืออีกประมาณร้อยละ 3 ถึงร้อยละ 4 นั้นพบกระจายอยู่ทั่วไป ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 550,000 ตารางกิโลเมตรในลักษณะที่เป็นธารน้ำแข็งและพืดน้ำแข็งตามแนวเขาต่าง ๆ ธารน้ำแข็งและแผ่นน้ำแข็งทั้งหมดนั้นอยู่ในทวีปอเมริกาเหนือร้อยละ 50 ในยูเรเซียร้อยละ 44 ในทวีปอเมริกาใต้ร้อยละ 5 และในประเทศนิวซีแลนด์ร้อยละ 1 ส่วนมากถือว่าธารน้ำแข็งมีความสำคัญมากทางเศรษฐกิจ คือ การนำน้ำจากธารน้ำแข็งดังกล่าวไปใช้ในโครงการไฟฟ้าพลังน้ำ และการชลประทาน

แท้ที่จริงธารน้ำแข็งก็คือ วัตถุที่เคลื่อนที่ในรูปของหิมะและน้ำแข็งที่ก่อตัวจากผลของการย้อนกลับมาตกผลึกของหิมะนั่นเอง เมื่อหิมะตกหนาขึ้นบนธารน้ำแข็งทำให้เกิด

การอัดตัวกันแน่นกลายเป็นชั้นหิมะตั้งแต่ชั้นแรกจนมีความหนาขึ้นแต่ยังคงเป็นวัตถุที่มีรูพรุนขนาดกลาง เรียกว่า หิมะน้ำแข็ง และในที่สุดก็กลายเป็นน้ำแข็ง ต่อมาหิมะ หิมะน้ำแข็ง และน้ำแข็งที่รวมตัวกันเป็นธารน้ำแข็งก็เลื่อนไปตามแนวเขาจากบริเวณที่เย็นกว่าสู่บริเวณที่ร้อนมากกว่า ตอนบนของธารน้ำแข็งมีหิมะตกมากกว่าตอนล่างที่หายไปเนื่องจากการละลาย การไหลออกไป หรือระเหยเป็นไอ เกิดการเปลี่ยนสลับกันไปมาระหว่างธารน้ำแข็งตอนล่างและตอนบน จากการศึกษาพบว่า บริเวณตอนกลางของธารน้ำแข็ง จะมีเส้นสมดุลเส้นหนึ่งซึ่งปริมาณหิมะตกเท่ากับปริมาณหิมะที่ละลายไป บริเวณเหนือเส้นสมดุลเรียกว่าบริเวณสะสม ส่วนบริเวณใต้เส้นดังกล่าวเรียกว่าบริเวณเสียดกร่อน พื้นผิวบริเวณสะสมส่วนใหญ่ ประกอบด้วยหิมะ ส่วนบริเวณเสียดกร่อนนั้นส่วนมากเป็นน้ำแข็ง (ดูรูปที่ 3)

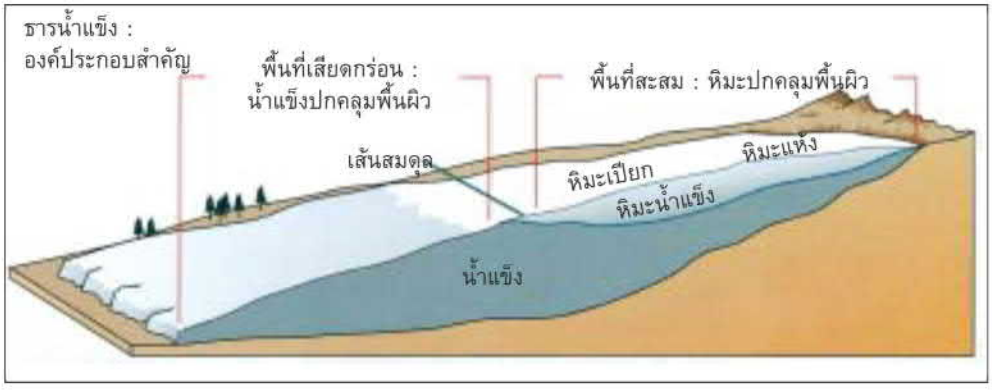
ธารน้ำแข็งมี 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ธารน้ำแข็งมหาสมุทรและธารน้ำแข็งทวีป ธารน้ำแข็งมหาสมุทรก่อตัวจากการที่หิมะตกทับถมอย่างหนัก (มากกว่าปีละ 2,000 มิลลิเมตร) ซึ่งอุณหภูมิของอากาศเฉลี่ยประจำปีใกล้จุดเยือกแข็ง และเส้นสมดุลระดับล่างอยู่ใกล้หรือด้านล่างเขตทำไม้ ธารน้ำแข็งประเภทนี้ไหลเร็วมากเนื่องจากผลของหิมะตกหนักนั่นเอง ได้แก่ พืดน้ำแข็งขนาดปานกลางในปาทาโกเนีย ไอร์แลนด์ นอร์เวย์ แถบเทือกเขาคอเคซัส ส่วนนอกของเทือกเขาแอลป์ และบนคาบสมุทรเคไนในรัฐอะแลสกา

ธารน้ำแข็งทวีปพบได้บริเวณที่มีหิมะตกทับถมน้อยกว่าปีละ 500 มิลลิเมตร เส้นสมดุลของธารน้ำแข็งประเภทนี้ถอยร่นเหนือทุ่งหญ้าแถบเทือกเขาแอลป์ขึ้นมามากจนเข้าสู่เขตพื้นดินที่เย็นและแข็งตลอดกาล ซึ่งมีอุณหภูมิอากาศประจำปีเฉลี่ยน้อยกว่า -8 องศาเซลเซียส ธารน้ำแข็งประเภทนี้จะไหลช้า ๆ ส่วนมากพบได้ทางขั้วโลกทั้งสอง และบริเวณที่แห้งแล้ง ที่สุดของเทือกเขาในทวีปเอเชีย

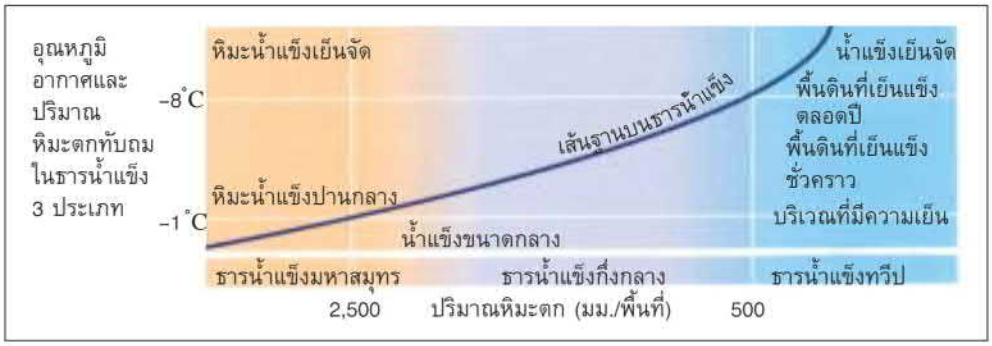
นอกจากนี้ ยังมีธารน้ำแข็งประเภทที่ 3 ซึ่งมีลักษณะผสมผสานระหว่างธารน้ำแข็งสองประเภท เราพบธารน้ำแข็งนี้บริเวณที่มีหิมะตกทับถม ระหว่างปีละ 500 ถึง

บริเวณพื้นที่มีธารน้ำแข็งปกคลุม *(เป็นตารางกิโลเมตร)*

อเมริกาใต้	25,908
อเมริกาเหนือ	276,100
กรีนแลนด์	1,726,400
ยุโรป	53,967
เอเชียและเครือรัฐอิสระ	185,211
นิวซีแลนด์/หมู่เกาะแถบทวีป	
แอนตาร์กติกา	7,860
ทวีปแอนตาร์กติกา	13,586,310
รวมทั้งสิ้น	15,861,766



รูปที่ 3
แสดงส่วนประกอบสำคัญของต้นแบบธารน้ำแข็งในสถานการณ์คงที่



รูป 4
ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการตกทับถมของหิมะกับอุณหภูมิอากาศประจำปีเฉลี่ย กำหนดลักษณะของธารน้ำแข็ง 3 ประเภท คือ ธารน้ำแข็งมหาสมุทร ธารน้ำแข็งกึ่งกลาง และธารน้ำแข็งทวีป

2,000 มิลลิเมตร และอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าจุดเยือกแข็งประมาณ 2–3 อาศาเซลเซียส พบธารน้ำแข็งนี้ได้ทั่วไปในสวาลบาร์ด เทือกเขาแอนดีสในประเทศอาร์เจนตินา เทือกเขาแอลป์ส่วนใน และแนวเขาส่วนใหญ่ในทวีปเอเชีย ความสัมพันธ์ระหว่างธารน้ำแข็งทั้ง 3 ประเภท อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย และการตกทับถมของหิมะ ดูรูปที่ 4 จากภาพแสดงตัวอย่างที่เป็นต้นแบบของธารน้ำแข็งมหาสมุทร ธารน้ำแข็งกึ่งกลาง และธารน้ำแข็งทวีป

ธารน้ำแข็ง 3 ประเภท

คือ ภูเขาน้ำแข็งมหาสมุทร ภาพบนคือ ธารน้ำแข็งพอร์ทิจ (Portage) ในตอนใต้ของอะแลสกา

ธารน้ำแข็งชนิดกึ่งกลาง ภาพล่างซ้ายคือ ธารน้ำแข็งสวาลบาร์ด (Svalbard) ในแถบอาร์กติกเหนือกลุม ' ประเทศสแกนดิเนเวีย

และธารน้ำแข็งทวีป ภาพล่างขวาคือ ธารน้ำแข็งอูรูมชิ (Urumqi) ในประเทศจีน

การเปลี่ยนแปลงของธารน้ำแข็ง

ธารน้ำแข็งเกิดขึ้นได้อย่างไร

ธารน้ำแข็งมักเกิดขึ้นบริเวณที่มีปริมาณหิมะตกในฤดูหนาวมากกว่าปริมาณหิมะละลายหรือกลายเป็นไอในฤดูร้อน การเคลื่อนตัวของธารน้ำแข็งจะเคลื่อนย้ายหิมะปริมาณส่วนเกินนี้และส่วนที่กลายเป็นน้ำแข็ง จากบริเวณที่หิมะทับถมบริเวณตอนบนไปยังส่วนล่างของธารน้ำแข็งซึ่งมีการละลายมาก

หิมะที่เพิ่งตกใหม่มีความหนาแน่น 100 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรหรือน้อยกว่า หิมะที่สะสมอยู่จำนวนมหาศาลด้านบนจะกดผลึกหิมะบางใสเป็นแก้วเจียระไนให้กลายเป็นก้อนกลม หนึ่งปีขึ้นไปกลุมก้อนเหล่านี้จะเข้าใกล้กันเรื่อย ๆ จนมีความหนาแน่นมากถึง 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทำให้เกิดวัตถุ "รูพรุน เรียกว่าหิมะน้ำแข็ง

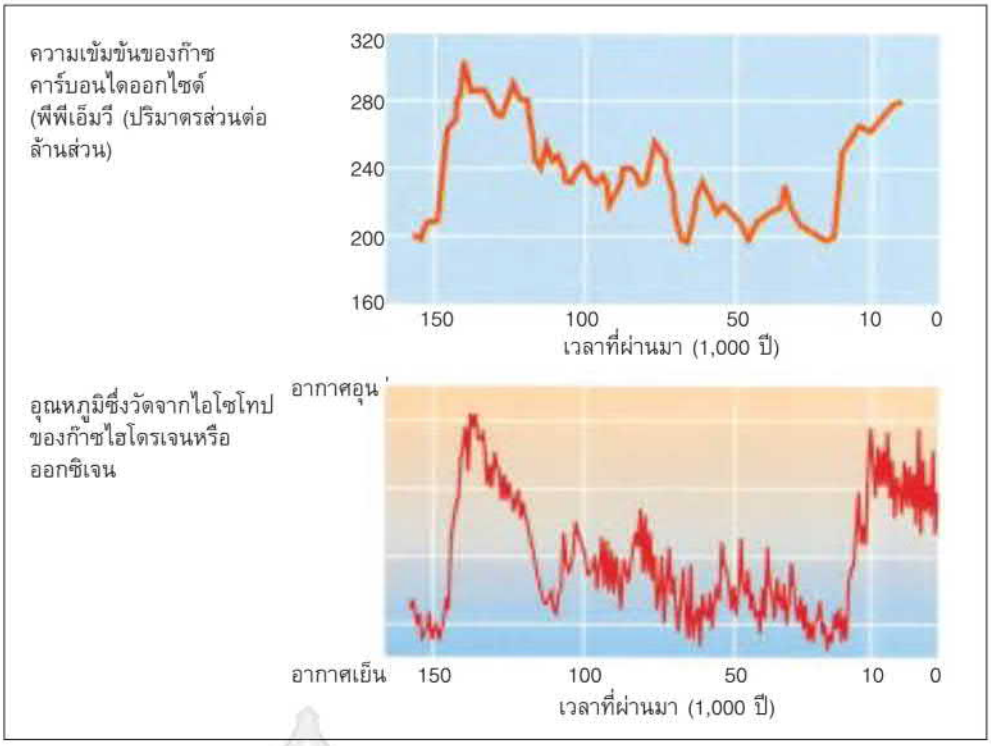
หากเหตุการณ์เป็นเช่นนี้ปีแล้วปีเล่า ความกดดันที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ผลึกหิมะใหญ่ขึ้น และมีความหนาแน่นมากขึ้น และเมื่อมีความหนาแน่นมากถึง 830 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทำให้ผลึกหิมะเหล่านี้อยู่ชิดกันมากขึ้น และเกิดฟองอากาศภายในผลึกฟองอากาศที่รวมกันแล้วนี้กั้นอากาศและน้ำไม่ให้ทะลุ 'าผ่ไปได้ และมีลักษณะขุนห่รือขาวเป็นประกายเพราะมีอากาศอยู่ภายใน จึงเรียกว่าน้ำแข็งในธารน้ำแข็ง

ในเกาะกรีนแลนด์และทวีปแอนตาร์กติกา กระบวนการนี้เกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิอยู่ที่ -20 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่า อาจใช้เวลาอย่างน้อย 100 ปี และเกิดขึ้น 50-100 เมตร ใต้ผิวหิมะ

หิมะและฟองอากาศที่อยู่ในธารน้ำแข็งเป็นหลักฐานสำคัญแสดงให้เห็นองค์ประกอบของชั้นบรรยากาศและการตกทับถมของหิมะเมื่อหลายปีที่ผ่านมานอกจากนี้ แกนน้ำแข็งในธารน้ำแข็งทำให้เราทราบสภาพภูมิอากาศในยุคก่อน

แกนน้ำแข็งที่มีความยาวที่สุด ซึ่งมีการวิจัยอย่างละเอียดอยู่ที่เมืองวอสต๊อก ในทวีปแอนตาร์กติกา มีความยาว 2,521 เมตร เกิดขึ้นเป็นเวลานานถึง 160,000 ปี ทำให้ทราบการเปลี่ยนแปลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศทั้งก่อนและระหว่างยุคน้ำแข็งยุคสุดท้าย และช่วง 10,000 ปี ที่ผ่านมาซึ่งอากาศอุนขึ้น นอกจากนี้นักวิทยาศาสตร์ชาวยุโรปและอเมริกันได้ขุดน้ำแข็งในเกาะกรีนแลนด์มาวิจัย ตั้งแต่ ค.ศ. 1989 โดยหวังที่จะพบน้ำแข็งยุคเก่ากว่านี้

การวิจัยที่เมืองวอสต๊อก ชี้ให้เห็นว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ และอุณหภูมิของชั้นบรรยากาศ (ตามที่บันทึกตามอัตราไอโซโทปของออกซิเจนและไฮโดรเจน) เปลี่ยนแปลงเป็นลำดับโดยสิ้นเชิงระหว่างยุคน้ำแข็งทั้งสองยุค ที่ผ่านมาและช่วงคั่นลำดับอายุธารน้ำแข็งซึ่งเป็นช่วงแบ่งยุคน้ำแข็ง (ดูรูป 5)



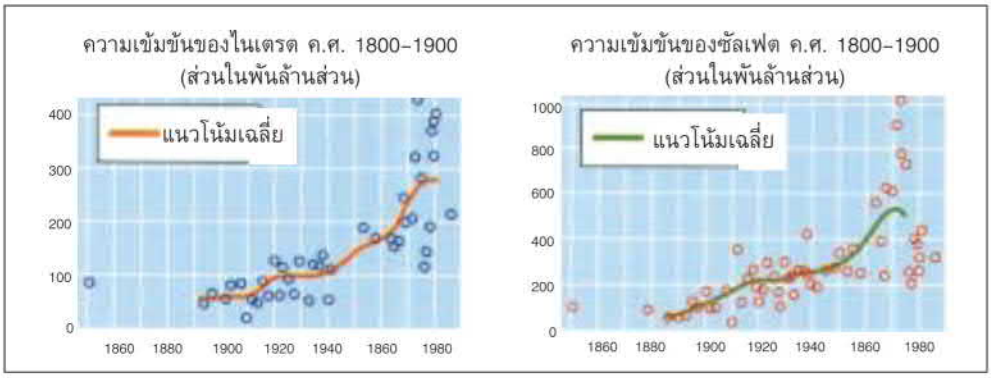
รูปที่ 5
การวิเคราะห์แกนน้ำแข็งบอกถึงความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ และอุณหภูมิอากาศ (ที่เห็นได้จากไอโซโทปของก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจน) ต่อเนื่องกันมานานกว่ายุคน้ำแข็งสองยุค

การวิเคราะห์แกนน้ำแข็งยังช่วยกำหนดระดับเส้นฐานของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้เกิดภาวะเรือนกระจกซึ่งทวีความรุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ ในช่วง ค.ศ. 1970–1980 ค่าเส้นฐานของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนยุคอุตสาหกรรมคือ 270–290 ส่วนในล้านส่วน (พีพีเอ็ม) ซึ่งกำหนดค่าโดยวิธีศึกษาวิธีต่าง ๆ และต่อมาเมื่อมีการศึกษาวิจัยแกนน้ำแข็งทำให้ปรับเปลี่ยนค่าเส้นฐานนี้ใหม่เป็น 260 ส่วนต่อล้านส่วน

การวิเคราะห์แกนน้ำแข็งที่ช่องเขาคอลเลนิฟเฟทติแถบเทือกเขาแอลป์ในประเทศสวิตเซอร์แลนด์ทำให้ทราบการสะสมของกรดที่เพิ่มมากขึ้นตั้งแต่กลางศตวรรษที่ 19 (ดูรูป 6) บริเวณที่ธารน้ำแข็งปกคลุมซึ่งบางส่วนละลายไปในฤดูร้อน น้ำที่ละลายนี้จะซึมลงไปในชั้นหิมะที่ตกลงมาก่อนในปีนั้น และแข็งตัวอีกครั้งซึ่งทิ้งร่องรอยเด่นชัดทำให้ทราบว่าฤดูร้อนที่ผ่านมามีความร้อนซึ่งซ่อนอยู่ใต้ผิวหิมะเป็นเวลานานหลายศตวรรษ ปริมาณของธารน้ำแข็งที่ละลายและแข็งตัวอีกครั้งนี้ สามารถบ่งบอกอุณหภูมิในฤดูร้อนปีนั้นได้ รูปที่ 7 แสดงถึงการวิเคราะห์แกนน้ำแข็งจากเกาะเดวอน ในบริเวณอาร์กติก ทำให้ทราบว่าในศตวรรษที่ 20 เป็นศตวรรษที่ร้อนที่สุดนับแต่ยุคกลางเป็นต้นมา

กระบวนการสะสมตัวของธารน้ำแข็งไม่ได้ซับซ้อนมากนัก นั่นคือการที่หิมะตกลงมาทับถมบนยอดธารน้ำแข็งนั่นเอง

การเสียดกร่อนเกิดซับซ้อนมากกว่า ความรุนแรงของการที่ธารน้ำแข็งละลายเนื่องจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์นั้นขึ้นอยู่กับรังสีที่สะท้อนกลับ เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบวัตถุบนพื้นผิวธารน้ำแข็ง เพราะการดูดซึมเพียงอย่างเดียวแต่ไม่สะท้อนกลับจะทำให้เกิดความร้อนมากขึ้น หิมะที่ตกใหม่สะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ได้ถึงร้อยละ 80–95 หิมะเก่าสะท้อนรังสีได้ร้อยละ 50–80 หิมะน้ำแข็งสะท้อนรังสีได้ร้อยละ 30–60 และน้ำแข็งสะท้อนรังสีได้ร้อยละ 15–40 ตัวเลขเหล่านี้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของหิมะที่ตกในฤดูร้อน ซึ่งช่วยป้องกันไม่ให้ธารน้ำแข็งเสียดกร่อน



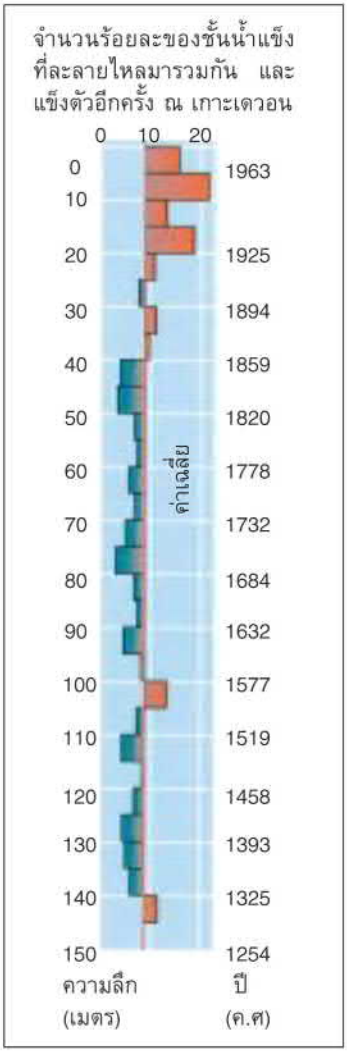
รูปที่ 6 *ความเข้มข้นของอะตอมซัลเฟตและไนเตรตในตัวอย่างแกนน้ำแข็งที่นำมาจากช่องเขาคอลเลนิฟเฟทติในเทือกเขาแอลป์ในประเทศสวิตเซอร์แลนด์ แสดงถึงการเพิ่มปริมาณการรวมตัวของกรด*

การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ทำให้ธารน้ำแข็งละลายได้ถึง 2 ใน 3 ส่วน อีก 1 ส่วนมาจากความร้อนจากชั้นบรรยากาศซึ่งอากาศอุ่นเป็นตัวนำพาความร้อนลงมาสู่พื้นผิวธารน้ำแข็ง อัตราการละลายของธารน้ำแข็งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศเหนือพื้นผิวธารน้ำแข็งเป็นสำคัญ ดังนั้นธารน้ำแข็งที่อยู่บริเวณที่สูง และที่บริเวณเส้นรุงจะละลายน้อยกว่าธารน้ำแข็งที่อยู่ระดับต่ำกว่า (การระเหยของหิมะ หิมะน้ำแข็ง และน้ำแข็งในขณะที่ระดับความชื้นต่ำเป็นสาเหตุกประการหนึ่งที่ทำให้มวลธารน้ำแข็งลดลง)

นักวิทยาศาสตร์สามารถกำหนดตัวเลขเพื่ออนุมานการเปลี่ยนแปลงของธารน้ำแข็งในครึ่งแรกของศตวรรษนี้ได้จากความเข้าใจปัจจัยการทับถมและการเสียดกร่อนของธารน้ำแข็ง แม้ว่ารังสีจากดวงอาทิตย์จะเป็นกระบวนการสำคัญที่สุดที่ทำให้ธารน้ำแข็งเสียดกร่อน แต่ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงไปทุกปีปีละน้อย ๆ เมื่อเทียบกับความแปรปรวนที่เกิดขึ้นกับปริมาณหิมะตกและอุณหภูมิอากาศ ทำให้อาจสรุปได้ว่าอัตราการตกของหิมะสามารถนำไปใช้คำนวณอัตราการสะสมได้ และอุณหภูมิอากาศเพียงอย่างเดียวสามารถใช้คำนวณอัตราการเสียดกร่อนได้

นักอุทกศาสตร์ใช้บันทึกข้อมูลอุณหภูมิอากาศคำนวณอัตราละลายของธารน้ำแข็งและใช้ประโยชน์จากพลังน้ำ เช่น โรงงานไฟฟ้าจากพลังน้ำ และใช้ข้อมูลเกี่ยวกับเส้นสมดุลบนธารน้ำแข็ง นั่นคือ จุดที่มีอัตราสะสมเท่ากับอัตราเสียดกร่อน แต่นักอุขนวิทยาโต้แย้งว่าเมื่ออัตราสะสมเท่ากับอัตราเสียดกร่อนที่เส้นสมดุล ดังนั้นอุณหภูมิอากาศจึงสามารถใช้คำนวณอัตราหิมะตก และใช้ธารน้ำแข็งเป็นเครื่องมือในการคำนวณอัตราหิมะตกครั้งใหญ่ เมื่อไม่สามารถคำนวณด้วยวิธีอื่น ๆ ได้ แต่การคำนวณอัตราการตกของหิมะทำได้ยากในธารน้ำแข็งที่อยู่สูงและบริเวณที่หนาวเย็นจัด

อุณหภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงเมื่อหิมะที่ปกคลุมมีน้อยลง ซึ่งทำให้บริเวณธารน้ำแข็งเหนือเส้นสมดุลเป็นตัวชี้สภาพอากาศที่มีประสิทธิภาพ กลไกนั้นคือเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย บริเวณที่หิมะปกคลุมจะลดลง พื้นดินสีดำได้รับแสงอาทิตย์มากขึ้น การสะท้อนกลับมีน้อย ทำให้บริเวณใกล้ธารน้ำแข็งดูดซับความร้อนมากขึ้น ด้วยเหตุนี้อัตราน้ำแข็งละลายจึงเพิ่มขึ้นมีผลให้เกิดกลไกย้อนกลับ คือการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียงเล็กน้อยทำให้น้ำแข็งและหิมะที่ปกคลุมเปลี่ยนแปลงอย่างมาก แต่ธารน้ำแข็งแถบขั้วโลกไม่อ่อนไหวต่อความร้อนเพราะน้ำที่ละลายจะแข็งกลายเป็นน้ำแข็งอีกครั้ง แต่กลไกย้อนกลับจะทำให้โลกร้อนขึ้น



รูปที่ 7
จำนวนร้อยละของชั้นน้ำแข็งที่ละลายไหลมารวมกันและแข็งตัวอีกครั้งหนึ่ง สูงหรือต่ำกว่าถัวเฉลี่ยในแกนน้ำแข็งจากเกาะเดวอนในมหาสมุทรอาร์กติก แสดงให้เห็นว่าในศตวรรษที่ 20 มีความร้อนมากกว่ายุคกลาง

ธารน้ำแข็งเกียสเบิรก-เฟอเนอร์ บนเทือกเขาอิตส์ตัลแอลป์ ประเทศออสเตรีย เศษหินธารน้ำแข็งด้านข้างของภาพแสดงให้ทราบชัดเจนว่าในศตวรรษที่ 20 นี้ ธารน้ำแข็งได้สูญเสียมวลครั้งใหญ่

ภาพร่างของธารน้ำแข็งโรน ค.ศ. 1856

การรับอุณหภูมิของธารน้ำแข็ง

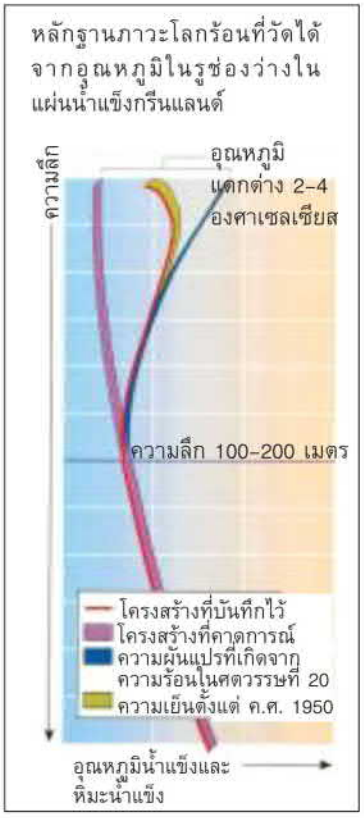
คนส่วนใหญ่คิดว่าจุดเยือกแข็งคือจุดที่มีความเย็น แต่นักธรณีวิทยาธารน้ำแข็งไม่คิดเช่นนั้น พวกเขาเห็นว่าจุดเยือกแข็งคือจุดที่อุณหภูมิของก้อนหิมะ หิมะน้ำแข็ง และน้ำแข็งอยู่ที่ศูนย์องศาเซลเซียส พวกเขาใช้คำว่า 'หนาว' (cold) กับธารน้ำแข็งที่หนาวเย็นมาก และเรียกธารน้ำแข็งที่มีวัตถุอื่นที่มีอุณหภูมิศูนย์องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่าว่าสิ่งนั้นมี ความร้อนรวม (Polythermal)

อุณหภูมิของธารน้ำแข็งวัดได้จากการทดสอบรูช่องว่างในน้ำแข็ง ซึ่งทำให้ทราบว่าธารน้ำแข็งที่อยู่ระดับต่ำประมาณ 10 เมตรมีอุณหภูมิคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างน่าสนใจ ความผันแปรของอุณหภูมิเป็นครั้งคราวมีผลกระทบต่ออุณหภูมิของธารน้ำแข็งไม่มากนัก หิมะปกคลุมธารน้ำแข็งในบริเวณสะสม ส่วนบริเวณเสียดกร่อนมีอุณหภูมิไม่เกินศูนย์องศาเซลเซียส

อุณหภูมิหิมะน้ำแข็งบริเวณสะสมอาจสูงกว่าธารน้ำแข็งบริเวณอื่น ทั้งนี้เป็นเพราะน้ำที่ละลายสามารถไหลผ่านหิมะน้ำแข็งแล้วแข็งตัวกลายเป็นน้ำแข็ง ความร้อนแฝงจะรวมกันทำให้หิมะน้ำแข็งมีอุณหภูมิสูงขึ้น ข้อมูลนี้ทำให้ทราบสาเหตุที่มีหิมะน้ำแข็งระดับกลางอยู่ในธารน้ำแข็งที่มีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยทั้งปีที่ -10 องศาเซลเซียส

ในบริเวณที่มีหิมะตกทับถมมากหิมะละลายได้น้อย อุณหภูมิหิมะน้ำแข็งเป็นตัวบ่งบอกถึงอุณหภูมิของอากาศ อย่างไรก็ตามความร้อนใต้พื้นพิภพทำให้อุณหภูมิน้ำแข็งในระดับ 10 เมตรถึงระดับล่างสุดสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง มีพลังงานเกิดขึ้นจากการที่น้ำแข็งเปลี่ยนรูปและจากการเสียดสีเนื่องจากการเคลื่อนที่ของธารน้ำแข็ง อุณหภูมิธารน้ำแข็งขั้วโลกในระดับความลึก 200 เมตร ของชั้นน้ำแข็งที่ทับถมกันมีความแปรปรวนอย่างมาก นั่นคือ อุณหภูมิสูงขึ้น 2–4 องศาเซลเซียส ระหว่าง ค.ศ. 1900 – 1950 ความเย็นของน้ำแข็งชั้นบนสุดนับแต่ ค.ศ. 1950 ได้ลดทอนความร้อนก่อนนั้นเกือบครึ่งหนึ่ง (ดูรูปที่ 8) ผลของความร้อนที่เกิดขึ้นในทศวรรษ 1980 เริ่มมีผลกระทบต่ออุณหภูมิรวมในระดับต่ำกว่า 10 เมตร ซึ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ทะลุขั้นน้ำแข็งลงมา

การวัดอุณหภูมิขั้วโลกเช่นนั้นทำให้ทราบว่าอุณหภูมิอากาศสูงขึ้นโดยเฉลี่ยทั้งปีในศตวรรษนี้ถึง 1–2 องศาเซลเซียส สูงกว่าอุณหภูมิโลกซึ่งควรสูงขึ้นเฉลี่ยที่ 0.5 องศาเซลเซียส ข้อมูลนี้ยืนยันผลของสภาพอากาศที่กระตุ้นความร้อนของปฏิกิริยาเรือนกระจกซึ่งมีแนวโน้มกระทบต่อบริเวณแถบขั้วโลกอย่างรุนแรง



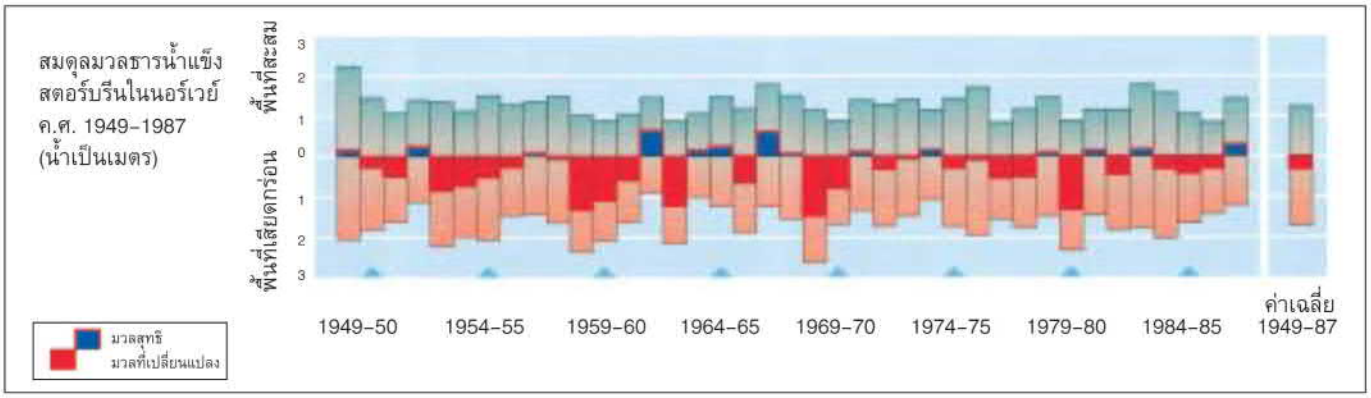
รูปที่ 8 *อุณหภูมิในบริเวณที่หิมะสะสมบริเวณขั้วโลกในเกาะกรีนแลนด์ แสดงให้ทราบว่าในศตวรรษนี้อุณหภูมิโลก เพิ่มขึ้น 2–4 องศาเซลเซียส นับตั้งแต่ ค.ศ. 1950 ซึ่งความร้อนลดลงเกือบครึ่งหนึ่ง ทั้งนี้ยังไม่นับผลกระทบของความร้อนในทศวรรษ 1980*

การตรวจสอบธารน้ำแข็ง

เมื่อต้องการทราบว่าธารน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ขึ้น เล็กลง หรือมีปริมาณน้ำแข็งอยู่เท่าไร มีวิธีการตรวจสอบดังนี้

วิธีแรก ขุดหลุมผ่านชั้นหิมะลึกลงไปที่ชั้นน้ำแข็ง เพื่อวัดความหนาของชั้นน้ำแข็งในแต่ละปีที่ทับถมกันอยู่ในระดับความลึกที่ต่างกัน นำค่าเฉลี่ยที่ได้คูณกับจำนวนพื้นที่เสียดกร่อนหรือคูณกับจำนวนพื้นที่น้ำแข็งสะสมตัว ผลลัพท์ที่ได้เป็นค่าพื้นที่เสียดกร่อนและพื้นที่น้ำแข็งสะสมตัวประจำปีโดยประมาณ อีกค่าหนึ่งเรียกว่า ค่าสมดุลมวล คำนวณจากมวลของน้ำในธารน้ำแข็งว่าเพิ่มขึ้นหรือหายไป การตรวจสอบธารน้ำแข็งสตอร์บรีนในนอร์เวย์ใช้เวลา 38 ปี ก็ใช้วิธีนี้ ดังแสดงในรูปที่ 9 อีกวิธีหนึ่ง คือการปักเสาไม้หลายอันตามแนวธารน้ำแข็งเพื่อวัดระดับความลึกที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละปี

รูปที่ 9 *แสดงการวัดสมดุลมวลของธารน้ำแข็งสตอร์บรีนในนอร์เวย์ เมื่อ ค.ศ. 1949–1987 คิดเฉลี่ยมวลที่หายไปของน้ำร้อยละ 20–30 ต่อเมตรต่อปี ตั้งแต่ตอนกลางศตวรรษที่ 20*



ข้อมูลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงขนาดของธารน้ำแข็งในภาพรวม ทำได้โดยการทำแผนที่ หรือการถ่ายภาพบริเวณธารน้ำแข็ง หรือแม้แต่การคำนวณผลต่างของหิมะที่ตกลงมาสู่พื้นดินกับหิมะที่ละลายไป บวกด้วยค่าการระเหยของน้ำ แต่วิธีเหล่านี้บอกให้ทราบถึงกระบวนการที่นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงของธารน้ำแข็งได้น้อยมาก

การประมาณค่าความสมดุลมวลมีความสำคัญมากต่อโครงการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังน้ำ และระบบชลประทานที่รับน้ำละลายจากธารน้ำแข็ง เนื่องจากธารน้ำแข็งมีผลกระทบต่อการคงตัวของน้ำที่ละลาย กล่าวคือในฤดูร้อนเมื่ออากาศชื้นและเย็น แม่น้ำในหุบเขายังเต็มเปี่ยม น้ำกักตัวเองในรูปน้ำแข็งตามลำธาร เมื่ออากาศเปลี่ยนเป็นร้อนและแห้ง น้ำซึ่งเริ่มละลายจากลำธารไหลสู่พื้นที่แห้งผากข้างล่าง

เมื่อสภาวะโลกร้อนขึ้น ธารน้ำแข็งจะละลายหดสั้นลงการคงตัวของน้ำลดลง น้ำขาดแคลนในฤดูร้อน ในพื้นที่ลุ่มแล้งจะได้รับผลกระทบในวงกว้าง และอาจเกิดอุทกภัยในฤดูหนาวได้

ธารน้ำแข็งได้รับผลกระทบจากปฏิกิริยาหลายอย่าง เช่น สภาวะโลกร้อน ทำให้มวลธารน้ำแข็งหายไปมากขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ส่งผลให้ธารน้ำแข็งบางลงและพื้นที่ผิวน้ำแข็งหายไป ยิ่งธารน้ำแข็งที่อยู่พื้นที่ต่ำก็ยิ่งละลายเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้น้ำที่ได้จากธารน้ำแข็งจึงเป็นผลจากสภาวะโลกร้อน

การสูญเสียสมดุลมวลเกิดขึ้นตลอดเวลาที่ตอนปลายสุดของธารน้ำแข็งที่ซึ่งสมดุลมวลอยู่ที่จุดต่ำสุด ค่าสมดุลมวลเท่ากับศูนย์ที่เส้นสมดุล และมีค่ามากที่สุดที่ปลายบนสุดของธารน้ำแข็ง ความลาดเอียงของการเปลี่ยนแปลงสมดุลมวลที่เส้นสมดุล เรียกว่า ‘ดรรชนีการเปลี่ยนแปลงขนาดของธารน้ำแข็ง’

การเปลี่ยนแปลงขนาดของธารน้ำแข็งขึ้นอยู่กับปริมาณการตกของหิมะ นั่นคือพื้นที่ที่มีหิมะตกมากธารน้ำแข็งจะเปลี่ยนแปลงขนาดมากตามไปด้วย ส่วนในพื้นที่แห้งแล้งมีการเปลี่ยนแปลงขนาดน้อย

ยกตัวอย่างเช่น ดรรชนีการเปลี่ยนแปลงขนาดของธารน้ำแข็งเซ้าท์คาสเคดทางตะวันตกของรัฐวอชิงตัน เกิดขึ้นประมาณ 1–2 เมตร ต่อความสูงเหนือระดับน้ำทะเล 100 เมตร ค่าระดับสูงนี้เป็นผลจากหิมะตกสะสมประมาณ 3 เมตร ต่อปี แต่เมื่อใดที่หิมะตกสู่ธารน้ำแข็งน้อยลงแม้ว่าธารน้ำแข็งจะอยู่พื้นที่สูงก็ตามการเปลี่ยนแปลงนี้เกิดเพียง 10 เซนติเมตร ต่อความสูงเหนือระดับน้ำทะเล 1 เมตร หรือเกิดขึ้นน้อยกว่านั้น ยิ่งดรรชนีสูงขึ้นการเปลี่ยนแปลงสมดุลมวลในภาวะโลกร้อนก็จะมีมากขึ้น

ธารน้ำแข็งในบริเวณที่มีหิมะตกหนักอาจเป็นเครื่องบ่งบอกร่องรอยประการแรกของสภาวะโลกร้อนได้ และธารน้ำแข็งในปัจจุบันยังตอบสนองต่อความร้อนได้ไวกว่าธารน้ำแข็งในยุคน้ำแข็งซึ่งมีสภาพภูมิอากาศที่แห้งกว่า

การวัดสมดุลมวลธารน้ำแข็งแอลไพน์				
ชื่อธารน้ำแข็ง	ระยะเวลา	พื้นที่ (ตาราง กม.)	ความสูง (เมตร)	สมดุลมวล (เมตร ๑ ปี)
โรน	ค.ศ. 1882–1987	17.38	2,940	–0.25
แฟร์นากต์	ค.ศ. 1889–1979	9.55	3,228	–0.19
กุสลาร์	ค.ศ. 1889–1979	3.01	3,143	–0.26
ฮินเตอเรลส์	ค.ศ. 1894–1979	9.70	3,050	–0.41
นอร์ตซเน	ค.ศ. 1892–1979	0.39	2,690	–0.35

การวัดสมดุลมวลโดยอาศัยแผนที่เมื่อศตวรรษที่ผ่านมา ทำให้ทราบข้อมูลการสูญเสียมวลธารน้ำแข็งแอลไพน์ (ดูตาราง) ค่าสมดุลมวลเฉลี่ยประจำปี คือ –40 เซนติเมตร ค่าความผิดพลาด บวกหรือลบ 20 เซนติเมตร (ค่าของน้ำจืด) กล่าวได้ว่า ธารน้ำแข็งบางลง 10 เมตรตลอดร้อยปีที่ผ่านมา ความสูญเสียนี้เกิดขึ้นในช่วง 50 ปีแรกเมื่อโลกเย็นลงระหว่าง ค.ศ. 1950–1970 ทำให้ธารน้ำแข็งรักษามวลไว้ได้ เมื่อสภาวะโลกร้อนในทศวรรษ 1980 ทำให้มีการศึกษาและตรวจสอบการหายไปของมวลธารน้ำแข็ง

การเคลื่อนที่ของธารน้ำแข็ง

หากธารน้ำแข็งไม่เคลื่อนที่พื้นที่สะสมน้ำแข็งจะมากขึ้นและไม่มีพื้นที่เสียดกร่อน แต่เมื่อธารน้ำแข็งเคลื่อนตัวทำให้พัดพาสิ่งต่าง ๆ ไปด้วย และวัตถุต่าง ๆ จากยอดเขาจะไหลมาแทนที่

ธารน้ำแข็งเคลื่อนที่ช้ามาก ประมาณ 20–30 เมตรต่อปี วัตถุที่ไหลมากับธารน้ำแข็งมีปริมาณมหาศาลซึ่งประกอบด้วยหิมะชั้นต่าง ๆ หิมะน้ำแข็ง และน้ำแข็ง ซึ่งเคลื่อนตัวซ้อนทับกันพร้อมกับความเร็วที่เพิ่มขึ้นทุกขณะเมื่อเข้าใกล้เส้นสมดุล สารครูดถูหรือเสียดสีพื้นผิวจึงเกิดขึ้น ไม่เพียงแต่ทำให้ธารน้ำแข็งเกิดรอยแยกเท่านั้นแต่ทำให้หิมะน้ำแข็งฝังตัวลึกลงไปในธารน้ำแข็ง เมื่อใดก็ตามที่ธารน้ำแข็งเคลื่อนที่ช้าลงจะเกิดแรงบีบอัดขึ้น แรงบีบอัดนี้ไม่มีผลต่อน้ำแข็งเนื่องจากน้ำแข็งมีความทนทานต่อแรงอัด จึงส่งแรงดันไปยังพื้นที่ด้านข้างขอบธารน้ำแข็งทำให้พื้นที่บริเวณนั้นยกตัวขึ้นเป็นรูปอุ้งเท้าสัตว์และรูปลิ่น (ดูรูปหน้า 22) วัตถุในพื้นที่เสียดกร่อนถูกแรงอัดให้ขึ้นสู่พื้นผิว ธารน้ำแข็งรูปอุ้งเท้าสัตว์เกิดขึ้นเมื่อธารน้ำแข็งเคลื่อนลงจากทางลาดชันจึงทำให้พื้นผิวธารน้ำแข็งบางลง ส่วนที่เคลื่อนที่ตามทางที่ลาดชันน้อยทำให้พื้นที่หนาขึ้น และแผ่ตัวกว้างออกไป

นักวิทยาศาสตร์กำลังขุดเจาะลึกลงไปในธารน้ำแข็ง โดยใช้เครื่องพ่นน้ำร้อน

สมมติว่านักไต่เขาผู้โชคร้ายคนหนึ่งตกลงไปในเหวน้ำแข็งในบริเวณน้ำแข็งสะสมตัว ร่างกายของเขาจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างคาดไม่ถึง กล่าวคือในตอนแรกร่างกายจะเหยียดตัวออก จมลึกลงไปทุกที จนถึงขณะเวลาหนึ่งร่างของเขาจะเคลื่อนผ่านเส้นสมดุล ต่อมาอีกหลายสิบปีหรือหลายร้อยปี ร่างนั้นจะปรากฏอีกครั้งบนพื้นผิวน้ำแข็งในบริเวณหน้าผารูปลิ่น เมื่อไม่นานมานี้มีผู้พบศพชายคนหนึ่งในธารน้ำแข็งในประเทศอิตาลีใกล้ชายแดนประเทศออสเตรีย ปรากฏว่าศพชายคนนี้อายุได้ 5,000 ปีมาแล้ว

การไหลแบบสลับซับซ้อนของธารน้ำแข็งมีประโยชน์มาก นักธรณีวิทยาสามารถเก็บสะสมสิ่งแช่แข็งต่าง ๆ โดยเดินผ่านพื้นที่เสียดกร่อนจากจุดล่างสุดของธารน้ำแข็งที่ซึ่งน้ำแข็งอายุเก่าที่สุดที่อยู่บนผิวหน้าจะเคลื่อนที่จากจุดสูงสุดไปยังจุดล่างสุดของธารน้ำแข็ง สลับกันเช่นนี้เรื่อยไปจนเส้นสมดุล เราสามารถพบสารมลพิษต่าง ๆ ตั้งแต่ยุคก่อนอุตสาหกรรมและสารพิษที่มีอยู่ในบรรยากาศปัจจุบัน จากน้ำแข็งที่สุ่มตัวอย่างมาจากธารน้ำแข็งรูปลิ่นบริเวณภูเขาสูง

เมื่อธารน้ำแข็งเริ่มละลายธารน้ำแข็งนั้นจะเคลื่อนตัวสู่หุบเขาข้างล่างโดยมีน้ำที่ละลายเป็นตัวหล่อลื่นทางน้ำไหล จึงถือว่าธารน้ำแข็งสร้างระบบระบายน้ำขึ้นด้วยตัวเอง บางครั้งก้อนน้ำแข็งไปกีดขวางร่องน้ำไหล ทำให้น้ำไหลไปไม่ได้ชั่วคราวแต่น้ำเหล่านั้นก็จะไหลเซาะซอนผ่านร่องน้ำเล็ก ๆ ออกไปจนได้

หากส่วนล่างของธารน้ำแข็งอยู่ที่จุดละลาย ธารน้ำแข็งจะเลื่อนตัวลงสู่หุบเขาด้านล่างปะทะกับชั้นหิน ระหว่างทางที่เลื่อนไปนั้นจะมีน้ำที่ละลายออกมาจากระบบการระบายน้ำภายในธารน้ำแข็งหล่อลื่นอยู่ ระบบการระบายน้ำนี้มีหน้าที่สำคัญต่อธารน้ำแข็ง แต่ช่องระบายน้ำอาจเกิดการอุดตันได้เนื่องจากผลของการเคลื่อนที่ภายในธารน้ำแข็งนั้นเอง น้ำที่ระบายออกมาอาจจะกลับมารวมอยู่รอบ ๆ หรือทางด้านหลังของธารน้ำแข็ง แม้ว่าน้ำที่ระบายออกมานั้นจะไหลไปตามช่องทางแคบ ๆ แต่ก็อุ่นเพียงพอละลายน้ำแข็งตามร่องน้ำ ทำให้ร่องน้ำขยายกว้าง น้ำไหลออกได้มากขึ้น ทางน้ำก็ขยายกว้างขึ้นอีก

พื้นที่รูปลิ่นและอุ้งเท้าสัตว์เกิดจากแรงบีบอัดของน้ำแข็งที่ชะลอการละลาย เนื่องจากน้ำแข็งมีแรงต้านทานต่อแรงบีบอัดจึงแผ่ออก

นี่คือต้นเหตุของอุทกภัยร้ายแรง เนื่องจากเหตุการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้นรวดเร็วมาก ทำให้น้ำปริมาณมหาศาลไหลบ่าทะลักท่วมทันพัดพังทำลายทุกสิ่งลงสู่หุบเขาข้างล่างในพริบตา

น้ำท่วมที่เกิดจากธารน้ำแข็ง ภาษาไอซ์แลนด์ เรียกว่า จอคุลห์ลอพ (jokulh-laup) อุทกภัยร้ายแรงที่สุดเคยเกิดขึ้นมาแล้วที่กริมสวอทน์ เมื่อ ค.ศ. 1922 น้ำท่วมเป็นบริเวณกว้าง 7.1 ลูกบาศก์กิโลเมตร น้ำไหลบ่าวินาทีละ 57,000 ลูกบาศก์เมตร รูปข้างล่างแสดงภัยพิบัติที่คล้ายคลึงกันเกิดขึ้นที่เมืองมึนสเตอร์ (Munster) ในประเทศสวิตเซอร์แลนด์ เมื่อธารน้ำแข็งท่วมฉับพลัน พัดพาเอาโคลน สิ่งปรักหักพัง เข้าสู่หมู่บ้านมึนสเตอร์ในสวิตเซอร์แลนด์ เมื่อ ค.ศ. 1987

การไหลของธารน้ำแข็งเกี่ยวข้องกับกระบวนการพื้นฐาน 2 อย่าง คือ การเลื่อนตัวซ้อนทับกันของชั้นน้ำแข็งต่าง ๆ ในธารน้ำแข็ง และการเลื่อนตัวของพื้นธารน้ำแข็งเหนือชั้นหิน ลักษณะอย่างหนึ่งของธารน้ำแข็ง คือ การไหลอย่างคงที่ของน้ำแข็ง ซึ่งการเคลื่อนที่ของชั้นน้ำแข็งได้จังหวะพอดีกับการเลื่อนตัวของธารน้ำแข็ง ภาพการไหลอย่างสงบนี้เปลี่ยนไปเมื่อการเลื่อนตัวของหินชั้นล่างกลายเป็นแรงอัดมหาศาล ส่งผลให้เกิดความแปรปรวน 2 อย่าง คือ การไหลอย่างแรง และการที่น้ำแข็งหลุดตัวออกเป็นก้อน ๆ ซึ่งเกิดขึ้นบ่อยครั้งที่รัฐอะแลสกา ซึ่งได้รับการตรวจสอบอย่างเข้มงวด

การไหลอย่างแรงของธารน้ำแข็งเกิดขึ้นหลังจากวัตถุที่ประกอบกันเป็นธารน้ำแข็งรวมตัวได้หลายสิบปี การไหลนี้ใช้เวลา 2-3 เดือนจนถึง 1 ปี หรือมากกว่า ซึ่งธารน้ำแข็งอาจไหลไปได้ 50 เมตร ต่อวัน ธารน้ำแข็งหลายสายที่ไหลเชี่ยวนี้รุกคืบหน้าไปหลายกิโลเมตรในเวลาหลายเดือนทีเดียว

สาเหตุพื้นฐานที่ทำให้ธารน้ำแข็งไหลแรง คือ แรงกดดัน และน้ำที่ละลายภายในธารน้ำแข็ง ซึ่งไม่สามารถระบายออกได้ตามระบบธรรมชาติ จะถูกกักอยู่ภายใต้ส่วนบนของธารน้ำแข็ง ทำให้ธารน้ำแข็งส่วนนั้นโป่งตัวออก และแตกร้าวอย่างหนัก และเริ่มทิ้งตัวลงสู่ส่วนล่างของธารน้ำแข็ง หากมวลธารน้ำแข็งส่วนนั้นเคลื่อนที่มาถึงขอบ

น้ำท่วมฉับพลันที่เกิดจากธารน้ำแข็งซึ่งพัดพาโคลนและสิ่งปรักหักพังเข้าสู่หมู่บ้าน ที่เมืองมึนสเตอร์ ใน ค.ศ. 1987

1

2

3

รูปภาพแสดงการเคลื่อนที่ของธารน้ำแข็ง

1. ธารน้ำแข็งคงที่ น้ำแข็งไหลออกไปดูคล้ายถนนขนาดใหญ่

2. คลื่นน้ำแข็งยักษ์ของธารน้ำแข็งโปลโม (Plomo) ในอาร์เจนตินา เมื่อ ค.ศ. 1985 ทำให้เกิดเขื่อนน้ำแข็งชั่วคราวปิดกั้นแม่น้ำ

3. ธารน้ำแข็งโคลัมเบีย เมื่อ ค.ศ. 1978 ก่อนการถล่มทลายของน้ำแข็งทำให้ธารน้ำแข็งหดตัวไป 40 กิโลเมตร

ธารน้ำแข็งก็อาจพุงทะลักออกไปข้างหน้าอย่างรวดเร็วหลายกิโลเมตร และบางครั้งก็ปิดกั้นแม่น้ำในหุบเขา เสียงกึกก้องและการสั่นสะเทือนของธารน้ำแข็งที่ไหลแรงนี้ได้ยินไปไกลหลายกิโลเมตร เหตุการณ์นี้จบลงเมื่อเกิดน้ำท่วมฉับพลันปล่อยน้ำที่มีแรงกดดันซึ่งถูกกักอยู่ส่วนบนของธารน้ำแข็งออกมา

การพังทลายของธารน้ำแข็งเกิดขึ้นไม่แน่นอนในลักษณะต่าง ๆ และเกิดแตกต่างกับการไหลอย่างแรง กล่าวคือ ธารน้ำแข็งเคลื่อนตัวช้าและถอยตัวไปสิ้นสุดลงที่บริเวณ น้ำลึกของทะเลสาบและฟยอร์ดต่าง ๆ ส่วนต่าง ๆ ของบริเวณปลายสุดธารน้ำแข็ง ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่บนแพเศษหินที่ถูกพัดพามาสะสมในบริเวณน้ำตื้นและหยุดตัวอยู่แค่นั้นเพราะน้ำอุ่นได้ละลายน้ำแข็ง ขณะที่ธารน้ำแข็งหดตัวทำให้ปะทะกับน้ำลึกและหลุดตัวอย่างรวดเร็ว ในขณะเดียวกันกับที่น้ำแข็งจำนวนมากจากธารน้ำแข็งไหลลงสู่น้ำซึ่งอุ่นเพียงพอที่จะละลายน้ำแข็งเหล่านั้น เหตุการณ์นี้เกิดขึ้นต่อเนื่องกันไป จนกระทั่งน้ำแข็งได้ถอยร่นไปจนไปหยุดอยู่ในน้ำตื้นอีกครั้งหนึ่ง

ธารน้ำแข็งที่ถอยร่นครั้งใหญ่ที่สุดเท่าที่ได้เคยสังเกตมานั้นน้ำแข็งถอยกลับไปยาวประมาณ 100 กิโลเมตรที่อ่าวกลาเซียในอะแลสกา ปัจจุบันนี้วิชาธารน้ำแข็งวิทยาก้าวหน้าจนสามารถทำนายการหลุดตัวของน้ำแข็งได้ล่วงหน้า การถอยร่นของธารน้ำแข็งที่สำคัญอีกเหตุการณ์หนึ่งเกิดขึ้นกับธารน้ำแข็งโคลัมเบีย ซึ่งทำให้ภูเขาน้ำแข็งจำนวนมากทะลักสู่เมืองปรินส์วิลเลียมซาวด์ และกีดขวางทางเดินเรือขนส่งน้ำมันที่เดินทางไปกลับที่เมืองวัลเดซ

การรวบรวมข้อมูลธารน้ำแข็ง

การเฝ้าตรวจสอบธารน้ำแข็งโลก

การเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับธารน้ำแข็งเริ่มขึ้นตั้งแต่ ค.ศ. 1894 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างธารน้ำแข็ง และสภาพภูมิอากาศ และปรับความรู้ความเข้าใจเรื่องราวในยุคน้ำแข็ง ข้อมูลที่รวบรวมได้จนถึง ค.ศ. 1950 นั้นเป็นข้อมูลเกี่ยวกับความยาวของธารน้ำแข็ง โดยเฉพาะธารน้ำแข็งจากเทือกเขาแอลป์ ธารน้ำแข็งแถบสแกนดิเนเวีย และไอซ์แลนด์ ข้อสังเกตส่วนใหญ่ที่ได้รับเกี่ยวกับธารน้ำแข็ง คือ อันตรายและความรุนแรงจากธารน้ำแข็ง เช่น น้ำแข็งถล่ม ทะเลสาบที่สกัดกั้นธารน้ำแข็งพังทลาย

การวัดความสมดุลมวลของธารน้ำแข็งโดยตรงได้เริ่มขึ้นเมื่อหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 เสร็จสิ้นลง โดยเริ่มวัดครั้งแรกในประเทศกลุ่มส่แกนดิเนเวีย แล้วจึงขยายไปสู่ภูมิภาคอื่น ๆ ของโลก และมีหลายแห่งที่ดำเนินการตรวจวัดธารน้ำแข็งควบคู่ไปกับการดำเนินโครงการพลังงานไฟฟ้าจากธารน้ำแข็ง ซึ่งพบว่าสาเหตุที่ธารน้ำแข็งแปรปรวนนั้นเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ความต้องการข้อมูลที่มีรายละเอียดมากพอทำให้มีการศึกษาการตกของหิมะที่ตกอย่างสม่ำเสมอร่วมกับการศึกษาปริมาณน้ำแข็งในระหว่างที่มีการจัดปีทศวรรษแห่งอุทกวิทยาระหว่างประเทศซึ่งจัดโดยองค์การยูเนสโก ระหว่าง ค.ศ. 1965 – 1974 ในการประชุมระหว่างประเทศว่าด้วยเรื่องหิมะและน้ำแข็ง (The International Commission on Snow and Ice—ICSI) โดยสมาคมระหว่างประเทศว่าด้วยเรื่องอุทกวิทยาทางด้านวิทยาศาสตร์ และได้รับการร้องขอให้เตรียมแนวทางเก็บรวบรวมและจำแนกข้อมูลเกี่ยวกับธารน้ำแข็ง ซึ่งข้อมูลเหล่านั้น จัดพิมพ์เผยแพร่ใน ค.ศ. 1970

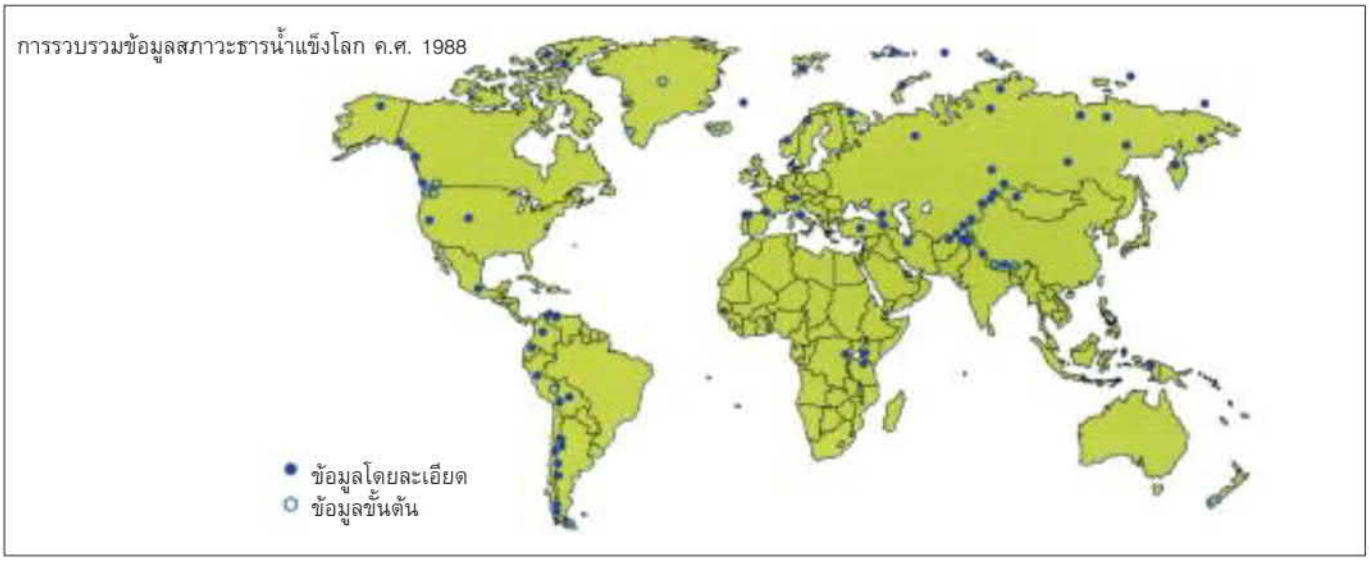
การวัดสภาพความสมดุ ล ด้านมวลสารชั้นแรกที่จะนำมาใช้ในโครงการออกแบบการผลิตพลังงานจากน้ำและจากธารน้ำแข็ง (ด้านซ้ายมือของภาพ)

หลังจากนั้นหลายประเทศได้เริ่มรวบรวมข้อมูลธารน้ำแข็ง และใน ค.ศ. 1976 ได้แต่งตั้งสำนักงานเลขานุการชั่วคราวขึ้นในสถาบันเทคโนโลยีแห่งสมาพันธ์ประชาชาติสวิส (Swiss Federal Institute of Technology—ETH) ขึ้นที่เมืองซูริค ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้นอกจากจะแสดงให้ทราบถึงสภาพของน้ำแข็งบนพื้นโลกแล้ว ยังสามารถใช้เป็นพื้นฐานในการตรวจสอบธารน้ำแข็ง และศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศในระยะยาว

เมื่อจัดตั้งระบบตรวจสอบสิ่งแวดล้อมโลกขึ้น มีความเห็นร่วมกันว่าควรรวมข่าวสารธารน้ำแข็งโลกอยู่ในหน่วยงานเดียวกับการตรวจสอบสิ่งแวดล้อมโลก ใน ค.ศ. 1986 ได้ตั้งหน่วยให้บริการขึ้นมาใหม่ มีชื่อว่าหน่วยบริการตรวจสอบธารน้ำแข็งโลก ที่เมืองซูริค และเป็นหน่วยงานหนึ่งที่ขึ้นตรงต่อระบบตรวจสอบสิ่งแวดล้อมโลก ซึ่งได้รับการสนับสนุน ด้านการเงินจากหลายองค์กร ส่วนใหญ่จากโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติและสถาบันเทคโนโลยีแห่งสมาพันธ์ประชาชาติสวิส และจากสภาสหภาพวิทยาศาสตร์ระหว่างประเทศ

ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับธารน้ำแข็งที่พิมพ์ขึ้นใน ค.ศ. 1989 ทำให้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับธารน้ำแข็งวิทยาในช่วงที่ผ่านมา (*สภาวะธารน้ำแข็ง ค.ศ. 1988* รวบรวมข้อมูลโดยสมาคมนานาชาติว่าด้วยอุทกวิทยา โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ และองค์การยูเนสโก ใน ค.ศ. 1989) จุดประสงค์ครั้งแรกเพื่อแสดงให้เห็นลักษณะสำคัญ ๆ ของสภาวะโลกที่เกิดขึ้นในช่วง 50 ปีท้ายของศตวรรษที่ 20 และได้ดำเนินงานรวบรวมเรื่องราวเกี่ยวกับธารน้ำแข็งในช่วงเวลานั้นอย่างกว้างขวาง และต่อมาได้นำข้อมูลเหล่านี้มารวบรวมเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาเรื่องธารน้ำแข็ง ในรูปที่ 10 แสดงให้เห็นบริเวณต่าง ๆ ที่ได้รับผลกระทบโดยตรงจากการเกิดธารน้ำแข็ง ในปัจจุบันทั่วโลก

รูปที่ 10
แสดงสภาวะการเกิดธารน้ำแข็งโลกใน ค.ศ. 1988 จากการสังเกตการเปลี่ยนแปลงโดยหน่วยบริการตรวจสอบธารน้ำแข็งโลก ที่เมืองซูริก (ในภาพไม่รวมข้อมูลธารน้ำแข็งในทวีปแอนตาร์กติกา อีกประมาณ 30 ล้านตารางกิโลเมตร เนื่องจากยังไม่มีการสำรวจข้อมูล)



รวมทั้งอาณาบริเวณอื่นๆ ที่ได้รับผลกระทบบ้างแต่ไม่มากนัก บางแห่งให้รายละเอียดแสดงไว้มากบางแห่งมีรายละเอียดบอกไว้เล็กน้อย นอกจากนี้มีแผนที่จะเพิ่มเติมข้อมูลให้สมบูรณ์ขึ้นในอนาคต

หน่วยบริการตรวจสอบธารน้ำแข็งโลกยังคงมีบทบาทดำเนินงานต่อไป โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะรวบรวมและจัดพิมพ์ข้อมูลเกี่ยวกับความแปรปรวนของธารน้ำแข็ง ปรับปรุงข้อมูลเกี่ยวกับธารน้ำแข็งให้เป็นปัจจุบันอยู่เสมอ และจัดพิมพ์เผยแพร่ ทุก 2 ปี หลังจากตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลดังกล่าว ทั้งนี้เพราะต้องคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศซึ่งส่งผลกระทบต่อการเกิดธารน้ำแข็งอยู่ตลอดเวลา

การใช้ประโยชน์จากข้อมูล

ข้อมูลธารน้ำแข็งที่รวบรวมไว้ ได้รับการปรับปรุงให้เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ประโยชน์ ตัวอย่างเช่น จากข้อมูลทำให้ทราบว่าแถบทวีปอเมริกาเหนือ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีหุบเขาที่ก่อให้เกิดธารน้ำแข็งสายยาว ๆ ขนาดใหญ่และมีธารน้ำแข็งปริมาณหนามากที่สุด ตรงข้ามกับธารน้ำแข็งบริเวณเทือกเขาแอลป์ น้ำแข็งจากธารน้ำแข็งนั้นมีปริมาณน้อยและบางเบา ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ที่เกิดจากความแปรปรวนของอุณหภูมิโลกซึ่งร้อนขึ้น ธารน้ำแข็งในทวีปอเมริกาเหนือเป็นต้นเหตุทำให้น้ำแข็งที่ละลายแล้วไหลลงสู่ทะเล เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น และระดับน้ำจะคงอยู่เป็นเวลานานสักระยะหนึ่งก่อนจะลดลง เนื่องจากน้ำแข็งในธารน้ำแข็งละลายหมดสิ้นหรือลดปริมาณน้อยลง อย่างไรก็ตาม ธารน้ำแข็งส่วนใหญ่บริเวณเทือกเขาแอลป์จะละลายและแปรเป็นธารน้ำแข็งขนาดเล็กอย่างรวดเร็ว และยังมีธารน้ำแข็งอีกหลายสายหายไป กล่าวว่าธารน้ำแข็งที่หายไปกว่าครึ่ง มีแหล่งที่มาจากเทือกเขาแอลป์ตั้งแต่ปลายยุคน้ำแข็งน้อยจนถึงศตวรรษที่ 20 สาเหตุเกิดจากอากาศร้อนขึ้นทำให้ธารน้ำแข็งหายไป และยังเชื่อว่าธารน้ำแข็งที่เหลือก็จะลดลงอีกประมาณ 1 ใน 4 และจะลดปริมาณลงเรื่อย ๆ หากโลกในศตวรรษหน้ามีอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน

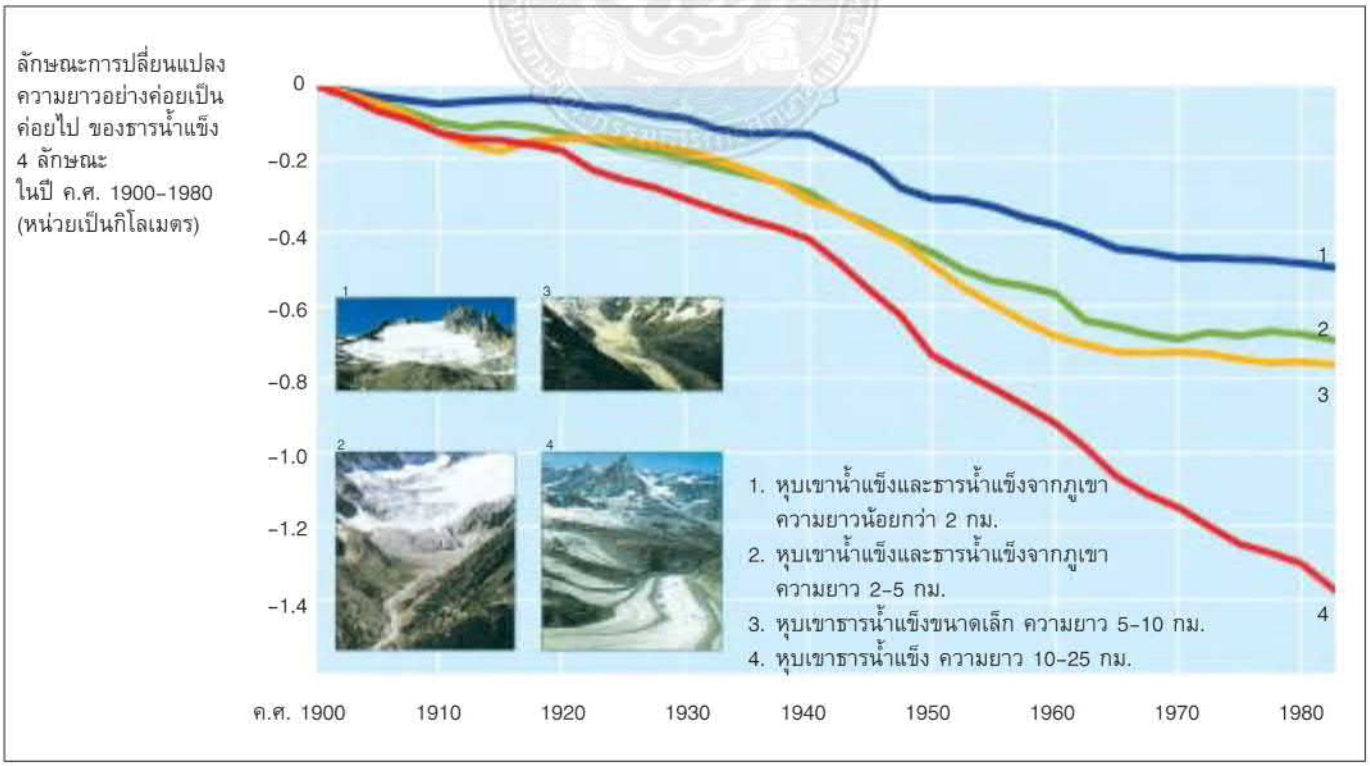
การเฝ้าสังเกตการณ์ภาวะธารน้ำแข็งในปัจจุบันเป็นความพยายามที่จะเสนอรายละเอียดสภาพธารน้ำแข็งที่แปรเปลี่ยน ความยาวของธารน้ำแข็งเป็นกุญแจสำคัญสำหรับใช้เปรียบเทียบภาวะของธารน้ำแข็งในอดีตและปัจจุบัน มีความยากลำบากทางเทคนิคในการติดตามตรวจสอบธารน้ำแข็งที่อยู่ห่างไกล ทำให้ต้องอาศัยการเฝ้าสังเกตจากภาพถ่ายทางดาวเทียม ข้อมูลเกี่ยวกับภาวะของธารน้ำแข็งจะเป็นประโยชน์ก็ต่อเมื่อเป็นข้อมูลเดิมและได้รับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงติดต่อกันเป็นเวลานาน ตัวอย่างที่

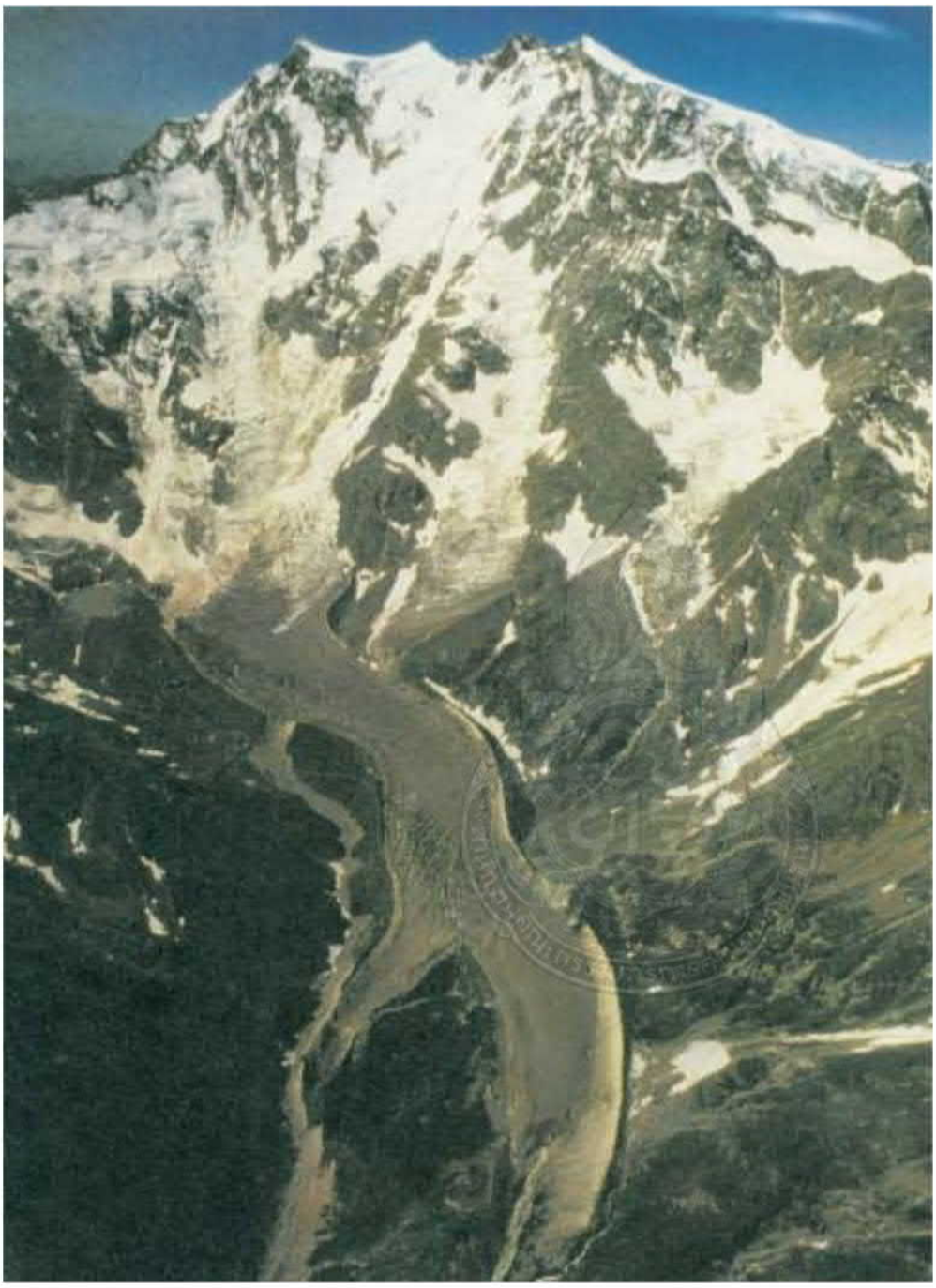
แสดงในรูปที่ 11 เป็นข้อมูลที่นักธารน้ำแข็งวิทยายึดเป็นหลักในการทำงาน เป็นข้อมูลเพื่อใช้ในการแปรความหมายเกี่ยวกับธารน้ำแข็งในปัจจุบัน และคาดการณ์สภาวะธารน้ำแข็งในอนาคต จึงเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการที่โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น มีความสัมพันธ์กับสภาวะธารน้ำแข็ง

การประเมินผลทางกายภาพของธารน้ำแข็ง ต้องใช้ข้อมูลที่มีรายละเอียดมากพอ จากการสังเกตพบว่าสมดุลมวลธารน้ำแข็งสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เส้นสมดุล การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ซึ่งผู้เชี่ยวชาญด้านธารน้ำแข็งกำหนดว่ายิ่งธารน้ำแข็งเปลี่ยนแปลงมวลสารมากเท่าใด ก็มีผลต่อความเป็นอยู่ของมนุษย์มากเท่านั้น การเปลี่ยนแปลงมวลสารธารน้ำแข็งมีสาเหตุมาจากปฏิกริยาเรือนกระจก นอกจากนี้การที่ธารน้ำแข็งบนเทือกเขาแอลป์ลดลงมากกว่าเดิม ทำให้ยืนยันได้ว่าเกิดปฏิกริยาเรือนกระจกเพิ่มมากขึ้น ทำให้สภาพอากาศแปรปรวนอย่างรวดเร็วนับตั้งแต่ยุคน้ำแข็งน้อยสิ้นสุดลง

วัตถุประสงค์สำคัญประการหนึ่งในการรวบรวมข้อมูลข่าวสารธารน้ำแข็ง คือ เพื่อประเมินหาแหล่งน้ำจืดที่อยู่ในรูปของน้ำแข็งหรือหิมะ ที่มีอยู่มากมายตามแหล่งที่มีน้ำแข็งและหิมะบนโลก และการประมาณการปริมาณหิมะที่ตกลงมายังพื้นโลก และปริมาณหิมะที่ไหลลงจากยอดเขาซึ่งเป็นบริเวณที่ติดตั้งเครื่องมือวัดได้ยาก

รูปที่ 11
ข้อมูลสะสมระยะเวลานานที่แสดงความยาวของธารน้ำแข็งมีประโยชน์มากในการนำมาวิเคราะห์ผลตอบสนองของธารน้ำแข็งที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศในช่วงเวลานานๆ ในภาพจะแสดงให้เห็นหุบเขาธารน้ำแข็งขนาดใหญ่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงทางสภาวะอากาศมากกว่าธารน้ำแข็งภูเขาซึ่งมีขนาดเล็ก





ธารน้ำแข็งเบลเวเดียร์ในอิตาลี ประกอบไปด้วยซากปรักหักพัง รวมทั้งเศษหินที่ตกค้างอยู่ในทะเลสาบ ความเสี่ยงจากน้ำท่วมจากธารน้ำแข็งนี้เพิ่มมากขึ้นเมื่อโลกร้อนขึ้นในศตวรรษที่ 20 ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ธารน้ำแข็งเคลื่อนตัว

ในที่สุดการติดตามตรวจสอบธารน้ำแข็งทำให้การรวบรวมข้อมูลเป็นไปอย่างมีระบบ และหากเกิดกรณีพิเศษ ๆ ขึ้นมา เช่น เกิดคลื่นธารน้ำแข็งขนาดใหญ่ ความแปรปรวนของธารน้ำแข็งที่เคยสงบราบเรียบ ภาวะน้ำท่วมที่เกิดจากธารน้ำแข็ง การพังทะลายของภูเขาน้ำแข็ง การระเบิดของภูเขาไฟที่ซ่อนอยู่ภายใต้น้ำแข็ง การรวบรวมข้อมูลเหล่านี้ไว้ย่อมสำคัญสำหรับเรียนรู้ถึงภัยร้ายแรงที่เกิดจากธรรมชาติ และอาจนำไปใช้เป็นสิ่งเตือนภัยจากภัยธรรมชาติที่น่าจะเกิดขึ้นได้ในอนาคตข้างหน้าให้บรรเทาความหายนะลงได้มาก ข้อมูลเหล่านี้ดูจะสัมพันธ์กันมากขึ้น เพราะการก่อตัวของทะเลสาบบริเวณขอบธารน้ำแข็งที่กำลังถอยร่นลงไปนั้น มีสาเหตุจากการที่โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้นในศตวรรษที่ยี่สิบซึ่งจะก่ออันตรายมากมายจากการที่ธารน้ำแข็งละลายกลายเป็นน้ำท่วม

หนึ่งศตวรรษที่ผ่านมา ตั้งแต่เริ่มเฝ้าสังเกตธารน้ำแข็งเป็นเวลานาน ทำให้เข้าใจได้ว่าความอดทนที่ต้องทำงานกันหลายสิบปีก่อนที่จะนำวิธีการทางวิทยาศาสตร์มาใช้นั้น เป็นความอุตสาหะพยายามเนื่องจากต้องการเห็นผลสำเร็จ โดยได้ดำเนินการติดต่อกันมาเป็นลำดับ และน่าจะทันเวลาพอดีที่จะช่วยให้มนุษย์ต่อสู้กับภัยของผลกระทบจากปฏิกิริยาเรือนกระจก และอุณหภูมิของโลกที่ร้อนขึ้น และการแปรปรวนของธารน้ำแข็งตามที่เป็นอยู่ในศตวรรษที่ยี่สิบ

การควบคุมธารน้ำแข็งจะมีความสำคัญมากขึ้นอย่างแน่นอน หากก๊าซที่ก่อปฏิกิริยาเรือนกระจก และทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นมีอัตราเพิ่มขึ้นกว่าเกณ ์ที่กำหนด

ธารน้ำแข็งวิทยาเป็นวิชาที่น่าสนใจมาโดยตลอด และมีความสำคัญมากในปัจจุบัน พร้อมกันนั้นมีการปรับปรุงวิธีการศึกษามากขึ้น เนื่องจากมีประเด็นเกี่ยวข้องที่ต้องศึกษาอีกมาก ซึ่งต้องการข้อมูลเพิ่มเติมมากกว่าเดิม เพื่อนำมาใช้ปรับปรุงการสื่อความเข้าใจระหว่างนักสังเกตการณ์ นักสร้างรูปแบบจำลอง และนักทฤษฎี และเพื่อให้คำแนะนำและเผยแพร่เทคนิคก้าวหน้าอย่างกว้างขวางมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องรับสัญญาณทางไกลที่แม่นยำ การรวบรวมข้อมูลที่ถูกต้องจึงเป็นจุดเริ่มต้นของการศึกษาธารน้ำแข็ง ซึ่งต้องดำเนินงานอีกยาวนานต่อไป

แหล่งอ้างอิง

Clarke, G. K. C., A Short History of Scientific Investigations on Glaciers, *Journal of Glaciology,* pp 4-24, special issue, 1987.

Denton, G. H. and Hughes, T. J. (eds.), *The Last Great Ice Sheets,* New York, Wiley, 1981.

Field, W, O., *Mountain Glaciers of the Northern Hemisphere,* Hanover, CRREL, 1975.

Haeberli, W., Glacier and permafrost signals of 20th-century warming, *Annals of Glaciology* 14, pp 99-101, 1990.

Haeberli, W., Müller, P., Alean, P. and Bösch, H., Glacier changes following the Little Ice Age—a survey of the international data basis and its perspectives, in J. Oerlemans (ed.), *Glacier Fluctuations and Climatic Change,* pp 77-101, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1989.

Imbrie, J. and Palmer, K., *Ice Ages,* Cambridge, Harvard University Press, 1979.

Paterson, W. S .B., *The Physics of Glaciers,* Oxford, Pergamon Press, 1981.

Robin, G. de Q., and Swithinbank, C., Fifty years of progress in understanding ice sheets, *Journal of Glaciology,* pp 33-47, special issue, 1987.

Sugden, D. E. and John, B. S., *Glaciers and Landscape,* London, Edward Arnold, 1976.

Shumskyi, P. A., *Principles of Structural Glaciology,* New York, Dover Publications, 1964.

Technical Reports of the World Glacier Monitoring Service

IAHS, *World Glacier Inventory— Proceedings of the Riederalp Workshop,* IAHS Publication No. 126, 1980.

IAHS (ICSI) and UNESCO, *Fluctuations of Glaciers 1959-1965* (edited by P. Kasser), Paris, 1967

IAHS (ICSI) and UNESCO, *Fluctuations of Glaciers 1965-1970* (edited by P. Kasser), Paris, 1973.

IAHS (ICSI) and UNESCO, *Fluctuations of Glaciers 1970-1975* (edited by F. Müller), Paris, 1977.

IAHS (ICSI) and UNESCO, *Fluctuations of Glaciers 1975-1980* (edited by W. Haeberli) Paris, 1985.

IAHS (ISCSI)/UNEP/UNESCO, *Fluctuations of Glaciers 1980-1985* (edited by W. Haeberli and P. Müller), Paris, 1988.

IAHS (ISCSI)/UNEP/UNESCO, *Fluctuations of Glaciers 1985-1990* (edited by W. Haeberli and M. Hoelzle), to be published in 1993.

IAHS (ICSI)/UNEP/UNESCO, *Glaciers Mass Balance Bulletin No. 1, 1988-1989,* WGMS/ETH, Zurich, 1991.

IAHS (ICSI)/UNEP/UNESCO, *Glaciers Mass Balance Bulletin No. 2, 1990-1991,* WGMS/ETH, Zurich, 1992.

IAHS (ICSI)/UNEP/UNESCO, *World Glacier Inventory : status 1988* (edited by W. Haeberli, H. Bösch, K. Scherler, G. Østrem and C. C. Wallén), Nairobi, 1989.

ผู้จัดทำ

ผู้แปล

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประกอบ อยู่ชมบุ ญ
2. นายสุ ินท แท่นมณี
3. นายสมบูรณ์ ใจกลางดุ ก
4. นายวิษณุ ทิมวิธรรม

ผู้ตรวจ

ศาสตราจารย์สิทธา พินิจภูวดล

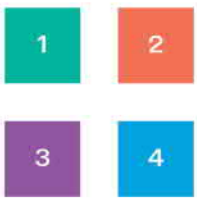
บรรณาธิการที่ปรึกษา นางสาวจินตนา ใบกาซูยี
ผู้อำนวยการสถาบันการแปลหนังสือ

บรรณาธิการอำนวยการ นางสาวอุษณีย์ วัฒนพันธ์

บรรณาธิการ นางสาวอังคณา ผิวเกลี้ยง

พิมพ์ที่โรงพิมพ์คุ ุสภาลาดพร้าว นายวิชัย พยัคฆโส ผู้พิมพ์และผู้โฆษณา พ.ศ. 2544

ผู้แปล



1 สุทิน แท่นมณี
2 ประกอบ อยู่ชมบุ ญ
3 วิษณุ ทิมวิธรรม
4 สมบูรณ์ ใจกลางดุก

หนังสือชุดสิ่งแวดล้อมของ UNEP/GEMS