

บทที่ 4

วิธีการศึกษาภูมิอากาศในอดีต

การศึกษาวิจัยที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ในปัจจุบันหรืออนาคต ข้างหน้า อาจจะช่วยให้เกิดความเข้าใจหรือความชัดเจนขึ้นในเรื่องความเป็นไปของการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศบนโลกได้เป็นอย่างดี หากได้ศึกษาถึงการเปลี่ยนสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้นในอดีต เหตุการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมในอดีต แสดงให้เห็นว่าภูมิอากาศที่ผ่านมาในอดีตมีความสำคัญและมีความจำเป็นที่มนุษย์ต้องรู้ ต้องศึกษา ซึ่งเหตุการณ์ในอดีตที่ผ่านมา ช่วงเวลาสั้น ๆ จาก 1-100 ปี จำเป็นต้องใช้ข้อมูลย้อนหลังอย่างน้อยประมาณ 500 ปี ในการอธิบาย ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาค้นคว้าหาวิธีการต่าง ๆ ที่จะสามารถทำให้เห็นถึงความชัดเจน ของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอดีต ตัวบ่งชี้ทางด้านชีวภาพ เช่น ซากดึกดำบรรพ์ (Fossils) ทั้งซากพืชซากสัตว์ซึ่งทับถมอยู่ในหินตะกอน ละอองเกสรดอกไม้ (Pollen Analysis) และวงปีของต้นไม้ (Tree Ring) ตัวบ่งชี้ทางธรณีสัญญาณ เช่น ลักษณะภูมิประเทศ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ลักษณะภูมิอากาศในอดีตนั้น ยังต้องมียุคประกอบอย่างอื่นร่วมในการวิเคราะห์ด้วย เช่น ข้อมูลทางประวัติศาสตร์ เพื่อให้การวิเคราะห์ดังกล่าวมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น โดยสรุปตัวบ่งชี้ที่ใช้ในการศึกษาภูมิอากาศในอดีต มีดังนี้

1. ตัวบ่งชี้ทางชีววิทยา (Biological indicator)
2. ตัวบ่งชี้เกี่ยวกับตะกอน (Lithogenetic indicator)
3. ตัวบ่งชี้ทางธรณีสัญญาณ (Geomorphologic indicator)
4. บันทึกทางประวัติศาสตร์ (Historical documentation)
5. ข้อมูลทางโบราณคดี (Archeological data)
6. แกนกลางน้ำแข็ง (Ice cores)
7. อัตราการเปลี่ยนแปลงไอโซโทปของธาตุ (Isotope ratio)
8. การดูครึ่งชีวิตของธาตุต่าง ๆ (Isotope half life)

ตารางที่ 4.1 วิธีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอดีต

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา	ตัวแปรที่วัด	ภูมิภาค	เวลา (ปี) ก่อนปัจจุบัน	สภาพของอากาศ
1. ตัวบ่งชี้ทางชีววิทยา				
1.1 ละอองเกสรดอกไม้	ปริมาณและชนิด	50°S-70°N	100,000 ปี	อุณหภูมิและฝนตก
1.2 ซากดึกดำบรรพ์ในหินตะกอน	ปริมาณของซากดึกดำบรรพ์		อย่างน้อย 100 ล้านปี	ฝนตกและระดับน้ำทะเล
1.3 วงปีของต้นไม้	ความกว้างของวง	ละติจูดกลางถึงละติจูดสูง	8,000 ปี	อุณหภูมิและฝน
2. ตัวบ่งชี้เกี่ยวกับตะกอน				
2.1 ตะกอนจากทะเลสาบ	ตะกอนทะเลสาบ	ละติจูดกลาง	ประมาณ 100,000 ปี	อุณหภูมิและฝนตก
2.2 ตะกอนในมหาสมุทร	ชนิดไอโซโทปซากดึกดำบรรพ์ของแพลงตอน	มหาสมุทร	10 ล้านปี	อุณหภูมิผิวพื้นทะเล
	เถาถ่านและทราย	มหาสมุทรตื้น	200,000 ปี	ทิศทางของลม
3. ตัวบ่งชี้ทางธรณีหลักฐาน				
3.1 ลักษณะภูมิประเทศ	รูปร่างและความสูงของพื้นที่		10 ล้านปี	อุณหภูมิ ฝนตก และระดับน้ำทะเล
3.2 ธารน้ำแข็ง	ความยาว	โลก	20,000 ปี	อุณหภูมิหยาดน้ำฟ้า
3.3 ชนิดของดินในอดีต	ส่วนผสมของดิน	ละติจูดต่ำ ถึง ละติจูดกลาง	100,000 ปี	อุณหภูมิและฝนตก
3.4 การขุดเจาะหลุมเพื่อตรวจชั้นดินและหิน	อุณหภูมิ	หลากหลาย	ประมาณ 10,000 ปี	อุณหภูมิ

ตารางที่ 4.1 วิธีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอดีต (ต่อ)

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา	ตัวแปรที่วัด	ภูมิภาค	เวลา (ปี) ก่อนปัจจุบัน	สภาพของอากาศ
4. บันทึกทางประวัติศาสตร์	เรือโบราณ	ยุโรปและเอเชีย	มากกว่า 1,000 ปี	หลากหลาย
5. ข้อมูลทางโบราณคดี	หลากหลาย	โลก	มากกว่า 10,000 ปี	หลากหลาย
6. แกนกลางน้ำแข็ง	ความลึกและชั้นของไอโซโทป	แอนตาร์กติกาและกรีนแลนด์	200,000	อุณหภูมิหยาดน้ำฟ้า

1. ตัวบ่งชี้ทางชีววิทยา

ประกอบด้วยการศึกษาจากละอองเกสรดอกไม้ (Pollen Analysis) ซากดึกดำบรรพ์ (Fossil) ในหินตะกอน และข้อมูลวงปีต้นไม้ (Tree rings)

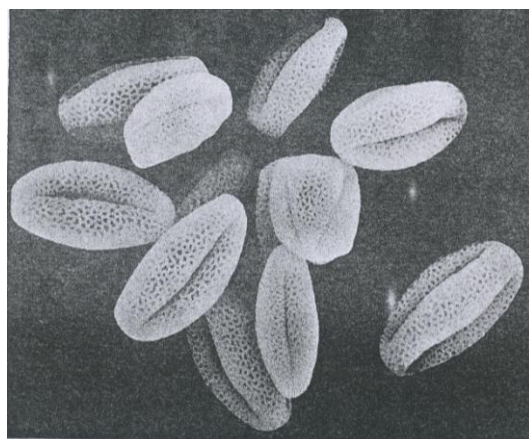
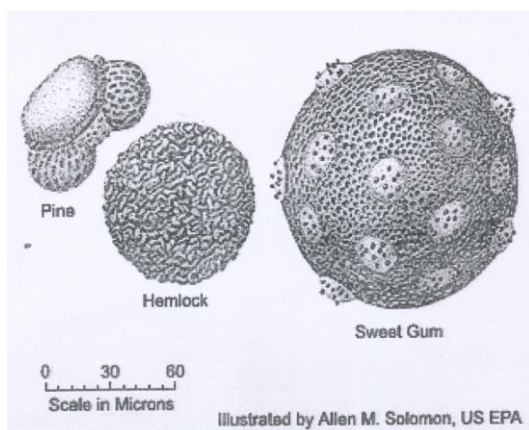
1.1 การศึกษาจากละอองเกสรดอกไม้

นักวิทยาศาสตร์ล่วงรู้โลกในอดีตได้จากละอองเกสรดอกไม้ที่เล็กจนมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า เกสรเหล่านี้ช่วยให้รู้ถึงความเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศเมื่อหลายพันปีที่ผ่านมา ละอองเกสรที่ปลิวไปตามลมมักจะร่วงสู่พื้นดินและเน่าเปื่อยเพราะออกซิเจนในดิน แต่บางส่วนก็ตกลงในทะเลสาบหรือปลักหนองและไม่เน่าเปื่อย เพราะซากพืชที่เน่าเปื่อยทับถมกันและตะกอนก้นทะเลสาบไม่มีออกซิเจนจึงทำให้เกสรเหล่านั้นคงอยู่ได้หลายพันปี และกลายเป็นฟอสซิล ด้วยกระบวนการนี้ ละอองเกสรของพืชแต่ละยุคจึงถูกเก็บรักษาอยู่ในหินตะกอนที่ทับถมกันชั้นแล้วชั้นเล่า ฟอสซิลของเกสรดอกไม้เหล่านี้เปรียบเสมือน “หนังสือ” ที่ช่วยนักพฤกษศาสตร์ ผู้ศึกษาชีวิตพืชยุคโบราณนำมาเรียบเรียงจนเห็นภาพของพืชชนิดต่างๆ ตลอดจนภูมิอากาศของโลกในอดีตนานนับพันปีได้

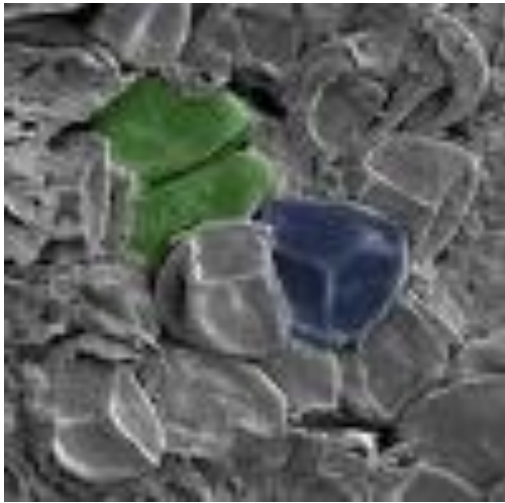
ละอองเกสรดอกไม้มีรูปร่างและขนาดต่าง ๆ กัน การนับจำนวนเกสรในฟอสซิลนั้น อาศัยส่วนกลวงรูปทรงกระบอกเจาะเข้าไปและสูบเอาตัวอย่างจากแหล่งที่มีตะกอนสารอินทรีย์ เช่น ที่ลุ่ม หนอง ที่มีซากพืชเน่าเปื่อยทับถมกัน แล้วนำตัวอย่างตะกอนที่ได้จาก

ความลึกระดับต่าง ๆ มาวัดอายุด้วยวิธีเรดิโอคาร์บอน หลักฐานร่องรอยละอองเกสรดอกไม้ที่ฝังอยู่ในชั้นดิน บอกให้รู้ถึงชนิดของพืชที่เคยขึ้นอยู่ในยุคสมัยต่าง ๆ เมื่อนำมาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ ชีวภาพ และอัตราการแผ่รังสีทำให้นักภูมิอากาศสามารถคำนวณหาอุณหภูมิของโลกในช่วงเวลาต่าง ๆ ได้ และพบว่าในอดีตเกิดภาวะอุณหภูมิอบอุ่นขึ้นและมีช่วงที่หนาวเย็น

วิธีนี้ทำให้นักภูมิอากาศได้ทราบอะไรหลายอย่าง เช่น ทำให้ทราบว่าหลังยุคน้ำแข็งระยะสุดท้ายเมื่อประมาณ 12,000 ปีมาแล้ว ดินแดนทางเหนือของโลกปกคลุมด้วยพืชพันธุ์อะไรบ้าง พันธุ์ไม้ชนิดแรก ๆ ที่พบคือต้นจูนิเพอร์ (ไม้ประเภทสน) ซึ่งงอกงามในอากาศหนาว ต่อมาเมื่อภูมิอากาศอุ่นขึ้นก็มีต้นเบิร์ช ต้นโอ๊ก และเอลม์ ขึ้นแทนที่ตามลำดับ เมื่อภูมิอากาศเปลี่ยนเป็นชุ่มชื้น ก็เกิดต้นอัลเดอร์ขึ้น ดังนั้น จะเห็นได้ว่า ละอองเกสรดอกไม้ที่กลายเป็นฟอสซิล คือร่องรอยให้เราสืบทราบถึงพืชพันธุ์และภูมิอากาศของแต่ละท้องถิ่นในสมัยโบราณ



รูปที่ 4.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศจากละอองเกสรดอกไม้ (Pollen Analysis)



รูปที่ 4.2 ละอองเกสรของสนไพน์
ที่มา : thaisexyclub.com

1.2 ศึกษาจากซากดึกดำบรรพ์ในหินตะกอน

หินตะกอนเป็นเสมือนบันทึกของเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดบนพื้นโลกในอดีต กระบวนการเกิดของหินตะกอนดำเนินอยู่บนพื้นผิวโลกเป็นส่วนใหญ่ เริ่มตั้งแต่การที่หินเปลือกโลกถูกตัวกระทำต่าง ๆ ทำให้สึกกร่อนไปจนถึงการพัดพาและการทับถม เหตุการณ์เหล่านี้รวมทั้งสภาพธรรมชาติในขณะนั้นได้ถูก “จารึก” ไว้ในหินตะกอนโดยที่เราสามารถอ่านได้จากรูปร่างและการวางตัวของสิ่งทับถม ชนิดของแร่ในสิ่งทับถมและซากดึกดำบรรพ์ ซากดึกดำบรรพ์ช่วยให้เราทราบได้ว่าขณะที่มีการสะสมของสิ่งตกจมนั้นบริเวณนั้นมีสัตว์ และพืชชนิดใดอาศัยอยู่ เป็นบริเวณที่แห้งแล้งหรือชุ่มชื้น นอกจากนี้ซากดึกดำบรรพ์ยังนำมาใช้เปรียบเทียบอายุของหินตะกอนได้ด้วย ซากเหล่านี้อาจจะปรากฏเป็นรอย “พิมพ์” อยู่ในหิน

สิ่งมีชีวิตในปัจจุบันเมื่อตายไปและฝัง ไม่ถือว่าเป็นซากดึกดำบรรพ์ จะถือว่าเป็นซากดึกดำบรรพ์ก็ต่อเมื่อได้ถูกฝังตัวอยู่ในช่วงก่อนระยะเวลาเริ่มต้นของประวัติศาสตร์ ซากดึกดำบรรพ์พบในหินตะกอนเป็นส่วนใหญ่ บริเวณที่พบซากดึกดำบรรพ์ บอกให้ทราบถึงสภาพที่มันถูกทับถม โดยดูจากชนิดของซากดึกดำบรรพ์

สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการเกิดซากดึกดำบรรพ์

ซากดึกดำบรรพ์ เป็นซากสัตว์หรือพืชในสมัยโบราณที่ถูกเก็บรักษาไว้ในหินธรรมชาติ ส่วนมากจะพบในตะกอนของทะเลหรือพื้นที่ที่เคยเป็นทะเล ทะเลสาบหรือแม่น้ำมาก่อน ซากดึกดำบรรพ์ในโลกนี้มีปริมาณน้อยมาก เมื่อเทียบกับปริมาณสิ่งมีชีวิตที่เคยมีอยู่ในโลกนี้ เพราะซากสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่จะถูกทำลายไปตามธรรมชาติ ยกเว้นมีสภาวะพิเศษกล่าวคือ

1. มีการทับถมตกจมและถูกเก็บรักษาไว้อย่างรวดเร็ว เช่น การที่ซากอินทรีย์ถูกทับถม อยู่ในตะกอนท้องแม่น้ำหรือปากแม่น้ำ ซึ่งเป็นสภาพที่ขาดออกซิเจนและขาดจุลินทรีย์ที่จะย่อยสลายตามธรรมชาติ แต่ถึงอย่างไรส่วนที่เป็นเนื้อหรือส่วนอ่อน ๆ ก็ไม่สามารถเหลือซากอยู่ได้ ปกติมีแต่ส่วนแข็งคือเปลือก ฟัน และกระดูกที่เก็บรักษาโดยธรรมชาติให้เราได้เห็นกัน

2. สภาวะอากาศเย็นจัดหรือแห้งแล้ง ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ ทำให้รอดพ้นจากการถูกย่อยสลาย เช่น การเกิดซากดึกดำบรรพ์ช่วงแมมมอธในไซบีเรีย อะลาสกา หรือซากดึกดำบรรพ์ไดโนเสาร์ รวมทั้งไข่ไดโนเสาร์ในมองโกเลีย เป็นต้น

การเกิดซากดึกดำบรรพ์ไม่ได้หลายอย่าง เช่น แร่ธาตุในน้ำอาจซึมเข้าในช่องเล็ก ๆ ของเปลือกหอยหรือกระดูก หรือเกิดจาก เปลือกหอยหรือกระดูกค่อย ๆ ละลายออก โดยแร่ธาตุเข้าแทนที่อะตอมต่ออะตอม ทำให้ได้ฟอสซิลแร่ธาตุเป็นรูปเปลือกหอยหรือกระดูก เป็นต้น หรือบางทีเปลือกหอยจมอยู่ใต้ตะกอนละลายออกทีละน้อย ทำให้แร่ธาตุเข้าไปแทนที่ในรูปร่างของเปลือกหอยหรือสัตว์นั้น

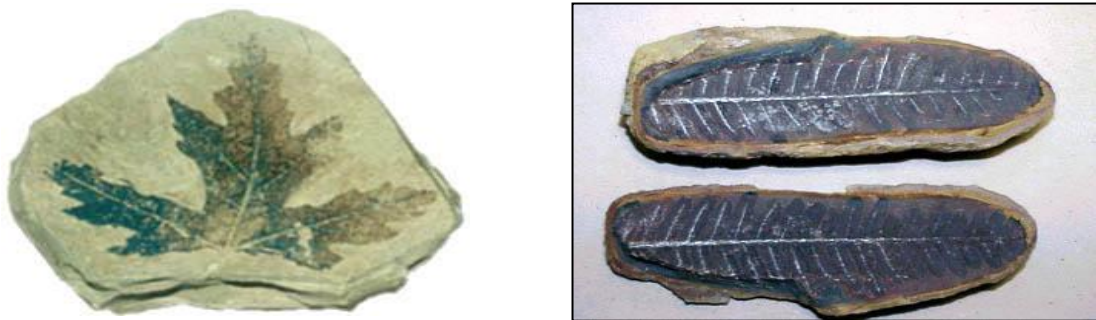
การที่ซากดึกดำบรรพ์คงสภาพให้เห็นนั้น ขึ้นอยู่กับสาเหตุหลัก ๆ ดังนี้

1. อุณหภูมิต้องเย็นจัดหรือแห้งแล้ง เพราะจะทำให้รอดพ้นจากการทำลายของแบคทีเรีย

2. ต้องถูกทับถมโดยเร็วเพื่อหลีกเลี่ยงจากการทำงานของแบคทีเรีย

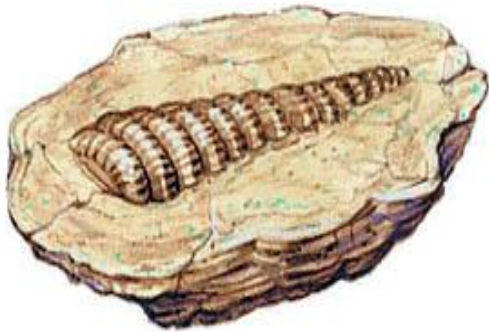
ดังนั้น จะเห็นได้ว่า ซากดึกดำบรรพ์รวมถึงชนิดหินที่มีซากดึกดำบรรพ์นั้นสามารถนำมาเปรียบเทียบกับสิ่งมีชีวิตปัจจุบัน ทำให้สามารถแปลความหมายสภาพแวดล้อมและสภาพภูมิอากาศในอดีตได้ โดยลักษณะของซากดึกดำบรรพ์ช่วยให้ทราบชนิดของสัตว์พืชพรรณและลักษณะการดำรงชีวิต ซึ่งสามารถนำมาตีความลักษณะภูมิอากาศที่เกิดขึ้นได้

ว่ามีลักษณะอย่างไร ซึ่งการหาอายุตามช่วงเวลาทางธรณีวิทยานั้น มีการพัฒนาเทคนิคหลากหลาย เช่น ใช้ค่าการสลายตัวของกัมมันตรังสีของธาตุ ได้แก่ คาร์บอน 12 และ 14



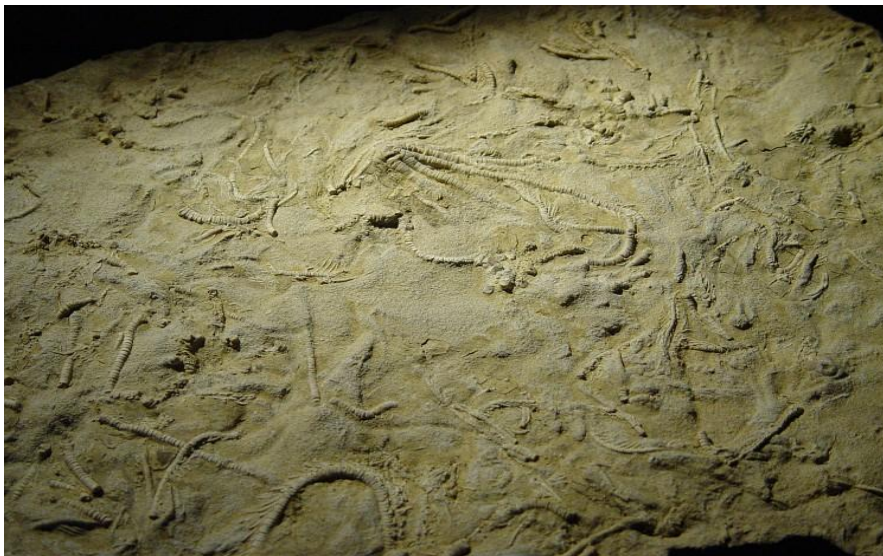
รูปที่ 4.3 ซากดึกดำบรรพ์ของใบไม้ การที่ยางไม้ไหลลงมาตามลำต้นและกลบฝังแมลงสามารถทำให้รู้ว่าสภาวะอากาศเย็นจัดหรือแห้งแล้ง ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ ทำให้รอดพ้นจากการถูกย่อยสลาย

ที่มา : www.tps.ac.th/~lop/astro/index_files/page0004.htm



รูปที่ 4.4 ซากดึกดำบรรพ์ของเปลือกหอยที่มีการทับถมของตะกอนอย่างรวดเร็ว บริเวณท้องแม่น้ำหรือปากแม่น้ำ ซึ่งเป็นสภาพที่ขาดออกซิเจนและขาดจุลินทรีย์ที่จะย่อยสลายตามธรรมชาติ จึงค่อนข้างมีความสมบูรณ์ของรูปร่าง

ที่มา : www.tps.ac.th/~lop/astro/index_files/page0004.htm



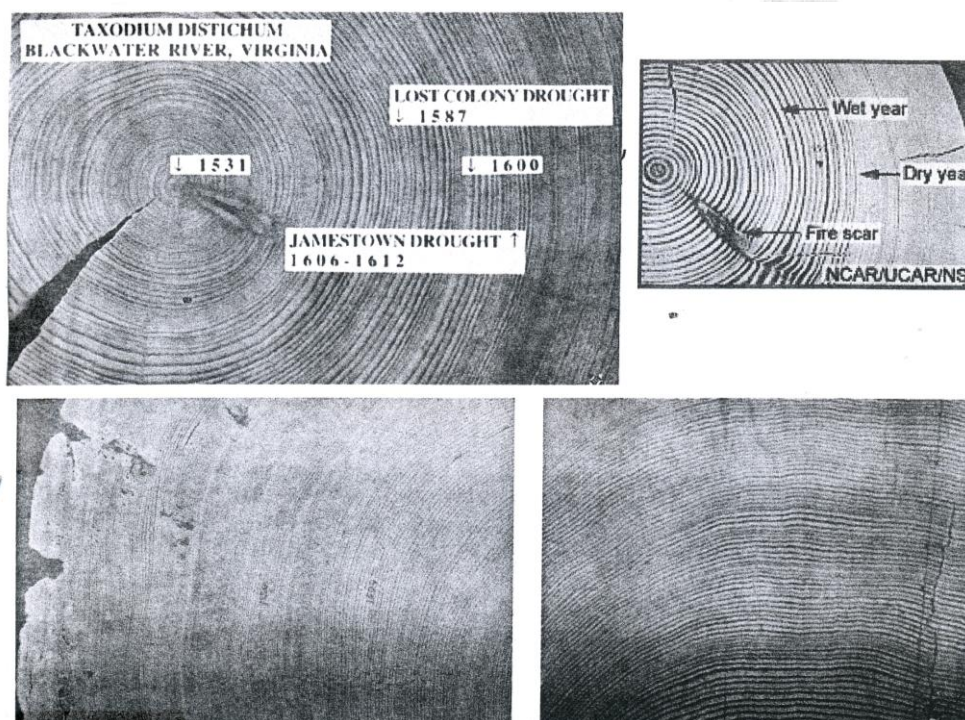
รูปที่ 4.5 ซากดึกดำบรรพ์นี้มองดูเหมือนเกิดจากพืช แท้ที่จริงแล้วเกิดจากสัตว์ที่อาศัยอยู่ในทะเล เช่น ปลาตัว และพันธุ์สัตว์ในทะเลที่สูญพันธุ์ไปแล้ว ซากนี้ค้นพบในศตวรรษที่ 18 ที่เกาะ Mauritius ในมหาสมุทรอินเดีย

ที่มา : www.public.fotki.com/hcrvelin/uk/london_museum_welk/2743365.htm

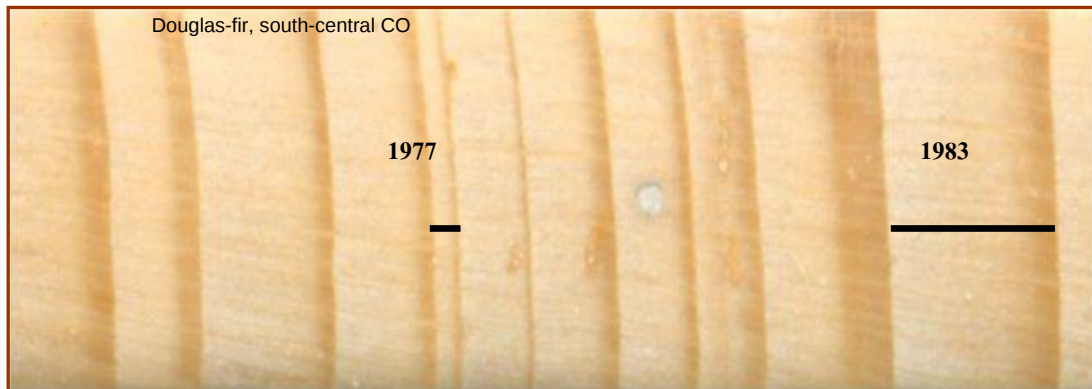
1.3 การศึกษาทางด้านวงปีของต้นไม้

การวิเคราะห์วงปีของต้นไม้ ใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในช่วง 2-3 ศตวรรษที่ผ่านมา วิธีนี้เรียกว่า dendrochronology ในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลอย่างแน่นอน ต้นไม้จะเจริญเติบโต ถ้าสภาพอากาศเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของต้นไม้ วงปีของต้นไม้จะกว้าง แตรวงปีของต้นไม้จะแคบเมื่อสภาพอากาศไม่เหมาะสม

วงปีของต้นไม้สามารถบ่งบอกถึงอุณหภูมิและปริมาณฝน โดยการศึกษาขนาดความกว้างวงปี ซึ่งพบว่ามีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณฝนและอุณหภูมิ เช่น ทางตอนใต้ของ Central Colorado ในสหรัฐอเมริกา การเจริญเติบโตของต้นไม้ในปีหนึ่ง ๆ ได้ถูกกำหนดโดยการเปลี่ยนแปลงของความชื้น กล่าวคือ ปีที่แห้งแล้งวงปีของต้นไม้จะแคบ ปีที่ชุ่มชื้นวงปีของต้นไม้จะกว้าง ยกเว้นตามเขตชายฝั่งและเขตเทือกเขาสูง



รูปที่ 4.6 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศจากวงปีของต้นไม้ (Tree ring)



รูปที่ 4.7 การเจริญเติบโตของวงปีต้นไม้ตั้งแต่ปี 1973-1984 จาก Douglas-fir ตอนใต้ของ central Colorado ความกว้างของวงปีแสดงความชุ่มชื้นในปีนั้น ๆ ซึ่งจากภาพแสดงให้เห็นว่าในปี 1977 เป็นปีที่แห้งแล้งมาก สังเกตได้จากมีวงปีที่แคบต่อเนื่องมาจนถึงปี 1983 ซึ่งมีวงปีที่กว้างกว่ามากแสดงว่าปีนั้นมีความชุ่มชื้นมาก

ที่มา : <http://treeflow.info>

2. ตัวบ่งชี้เกี่ยวกับตะกอน

ตัวบ่งชี้เกี่ยวกับตะกอนของภูมิอากาศในอดีตที่นำมาใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอดีต ได้แก่ ตะกอนจากทะเลสาบ ตะกอนในมหาสมุทร และตะกอนจากการระเหยของน้ำ

2.1 ตะกอนจากทะเลสาบ

ตะกอนจากทะเลสาบ (Varves) เป็นชั้นตะกอนของทรายแป้ง (silt) กับทรายหยาบบริเวณทะเลสาบ ตะกอนที่หยาบกว่า ซึ่งมักมีสีอ่อนกว่าจะตกจมในช่วงแรกระหว่างฤดูร้อน ในขณะที่ตะกอนละเอียดกว่าและสีเข้มกว่าจะตกจมในฤดูหนาว ตะกอนแต่ละชั้นประกอบด้วยสีอ่อนและสีเข้มสลับกัน เมื่อนับชั้นของตะกอนก็แสดงจำนวนปีที่ก่อให้เกิดตะกอนสะสมอยู่ในทะเลสาบ ซึ่งจะสามารถนำมาคำนวณเวลาได้ และความหนาของชั้นตะกอนสามารถบ่งบอกถึงความแตกต่างของภูมิอากาศตลอดระยะเวลาแห่งการสะสมของตะกอนได้

2.2 ตะกอนในมหาสมุทร

ตะกอนก้นทะเลที่ทับถมมาเป็นเวลานาน ซึ่งส่วนหนึ่งมาจากน้ำจืดที่ไหลลงทะเล และพัดพาสสิ่งมีชีวิตลงมาด้วย ซึ่งสิ่งมีชีวิตแบบหนึ่งก็จะอยู่ได้กับอากาศแบบหนึ่งเท่านั้น นอกจากนี้สิ่งมีชีวิตบนผิวน้ำทะเลจะเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ แม้ว่าตะกอนใต้ท้องมหาสมุทรมีหลายชนิด แต่ทุกชนิดจะมีส่วนประกอบของสิ่งมีชีวิตรวมอยู่ด้วยเสมอ ซึ่งสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ครั้งหนึ่งเคยมีชีวิตอยู่ใกล้ ๆ ผิวน้ำน้ำ เมื่อตายลงส่วนประกอบที่เป็นของแข็งจะจมลงสู่ท้องมหาสมุทรอย่างช้า ๆ ต่อมาจะกลายเป็นส่วนหนึ่งของตะกอน ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ตะกอนใต้ท้องมหาสมุทรจะมีประโยชน์มาก ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศในอดีตได้เป็นอย่างดี ดังนั้น ตะกอนใต้ท้องมหาสมุทร จึงเป็นแหล่งข้อมูลที่มีประโยชน์อย่างมหาศาลในการขยายความเข้าใจสภาพภูมิอากาศในอดีต

2.3 ตะกอนจากการระเหยของน้ำ

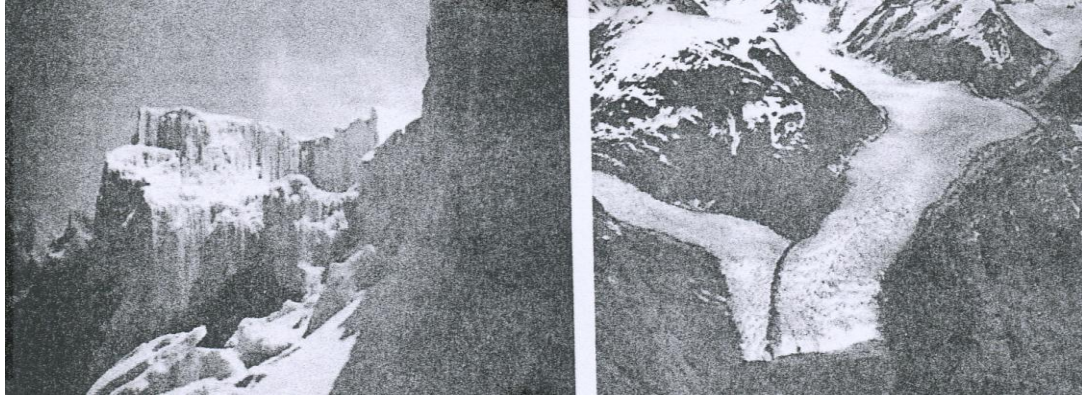
ตะกอนจากการระเหยของน้ำหรือผงเกลือเกิดขึ้นกับสภาพอากาศร้อนและแห้งเท่านั้น ซึ่งสภาพอากาศดังกล่าวมีอัตราการระเหยมากกว่าหยาดน้ำฟ้าที่ได้รับ การพบตะกอนนี้ในเขตอากาศชื้นและเย็นในปัจจุบันชี้ให้เห็นว่า ในอดีตภูมิอากาศบริเวณนี้แห้งแล้งกว่าและร้อนกว่าในปัจจุบัน เช่นเดียวกับคิลาแลง (laterites) จะเกี่ยวข้องกับอากาศร้อนชื้น การพบคิลาแลงจึงแสดงว่าพื้นที่นี้ในอดีตมีสภาพอากาศร้อนชื้น

3. ตัวบ่งชี้ทางธรณีสัณฐาน

ตัวบ่งชี้จากธรณีสัณฐานเป็นข้อมูลที่ธรรมชาติบันทึกไว้ ได้แก่ ลักษณะภูมิประเทศ ชนิดของดินในอดีต การเจาะชั้นดินและหิน เป็นต้น

3.1 ลักษณะภูมิประเทศ

ลักษณะภูมิประเทศที่เป็นตัวบ่งชี้ภูมิอากาศในอดีต มีความหลากหลาย การพบหุบเขารูปตัวยู (U-shaped Valley) หุบเขาลอย (Hanging Valley) เซิร์ก (Cirque) มอเรน (Moraine) และเอสเคอร์ (Esker) แสดงถึงการเกิดธารน้ำแข็งในอดีต



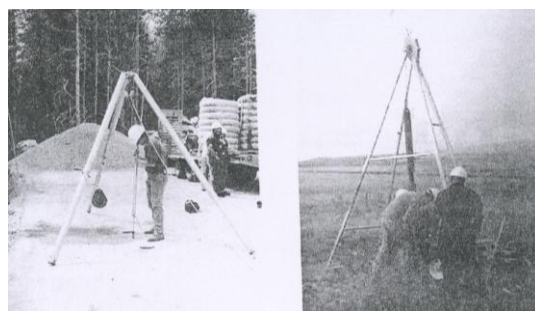
รูปที่ 4.8 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศจากลักษณะภูมิประเทศ

3.2 ชนิดของดินในอดีต

เป็นการศึกษาส่วนผสม และชนิดของดินที่ทับถมกันมาเป็นเวลายาวนาน ซึ่งชนิดของดินจะแปรผันไปตามสภาพอากาศ สิ่งแวดล้อมและปัจจัยอื่น ๆ

3.3 การขุดเจาะหลุมเพื่อตรวจชั้นดินและหิน

หลุมที่ขุดเจาะลึกลงไปได้ดิน (Boreholes) จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับภูมิอากาศในอดีตที่มีค่าอย่างมาก จากหลุมที่ขุดเจาะลงไปในนั้น เราสามารถหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิพื้นผิวโลก และของบรรยากาศ ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาอุณหภูมิของท้องถื่นในช่วงเวลา 200-300 ปี ถึงมากกว่า 1 ล้านปี หลุมที่ขุดเจาะนี้จะกระจายอยู่ทั่วโลก แต่ส่วนมากพบในทวีปอเมริกาเหนือ และยุโรป และข้อมูลบางส่วนได้จากออสเตรเลีย เอเชีย แอฟริกาและอเมริกาใต้



รูปที่ 4.9 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ โดยการขุดเจาะหลุม (Boreholes) เพื่อตรวจชั้นดินและหิน

4. การบันทึกทางประวัติศาสตร์

ในบริเวณที่ไม่มีข้อมูลอากาศ นักวิจัยหลายท่านใช้บันทึกทางประวัติศาสตร์ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ซึ่งรวมถึงบันทึกการเดินทาง ผลผลิตทางการเกษตร การเก็บเกี่ยวพืชผล ภาวะความแห้งแล้งและอุทกภัยน้ำท่วม ตัวอย่างเช่น ประมาณศตวรรษที่ 9 - 11 จากหลักฐานการเก็บภาษีเก่าแก่ระบุว่า อังกฤษมีไร่ร่อนและผลิตไวน์เป็นจำนวนมาก หลักฐานทางเอเชียบอกถึงการปลูกส้มในภาคเหนือของจีน แสดงว่าในระยะเวลาดังกล่าวโลกอยู่ในช่วงเวลาที่อากาศอบอุ่น อากาศที่อบอุ่นทำให้การเพาะปลูกได้ผลดี แต่ระหว่างปี ค.ศ. 1645 - 1715 จากบันทึกของอังกฤษระบุว่า เนื่องจากอากาศที่หนาวเย็นผิดปกติ การเกษตรในยุโรปได้รับความเสียหาย เกิดทุพภิกขภัยครั้งใหญ่หลายระลอก ทำให้ประชากรในยุโรปลดลง อากาศหนาวจัดจนแม่น้ำเทมส์เป็นน้ำแข็งทุกปี เป็นต้น จากตัวอย่างดังกล่าวจะเห็นได้ว่า บันทึกทางประวัติศาสตร์สามารถสะท้อนถึงลักษณะอากาศในอดีตได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 4.10 บันทึกทางประวัติศาสตร์

5. ข้อมูลทางโบราณคดี

เป็นการศึกษาสภาพภูมิอากาศโดยดูจากหลักฐานทางโบราณคดี ที่ค้นพบในบริเวณนั้น ๆ จากหลักฐานทางโบราณคดีพบว่า ระหว่างปี 5000 - 3000 ปีก่อนคริสตกาล อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกสูงกว่าในปัจจุบันประมาณ 1-3 องศา ระหว่างปี 4000 - 2000 ปีก่อนคริสตกาล มรสุมในแอฟริกาเกิดขึ้นทางตอนเหนือของทะเลทรายสะฮารา ทำให้พืชขึ้นอย่างอุดมสมบูรณ์

และมีความชุ่มชื้นในพื้นที่ ข้อมูลเหล่านี้ได้มาจากภาพเขียนสีหิน ซึ่งหมายถึงการเกษตรและสัตว์ แต่ในปัจจุบันพบว่าปริมาณฝนน้อยกว่า

6. แกนกลางน้ำแข็ง

ข้อมูลภูมิอากาศในอดีตส่วนใหญ่ได้ข้อมูลจากการศึกษาแกนน้ำแข็ง โดยมีแหล่งขุดเจาะที่สำคัญ ได้แก่ แกนกลางน้ำแข็งที่เขตวอสทอค (Vostock) ในทวีปแอนตาร์กติกา แกนน้ำแข็งกรีนแลนด์ (Greenland) ในเกาะกรีนแลนด์ และแกนกลางน้ำแข็งบนเทือกเขาสูงต่าง ๆ ซึ่งมีน้ำแข็งปกคลุมตลอดหรือนานหลายปี เช่น เทือกเขาหิมาลัย แอลป์ เป็นต้น แกนกลางน้ำแข็งที่สำคัญขุดเจาะได้จากเขตวอสทอคและกรีนแลนด์ซึ่งขุดลงลึกประมาณ 3 กม. โดยใช้เทคนิคเดียวกันกับการขุดเจาะหลุมปิโตรเลียม จากนั้นนำมาเก็บรักษาในห้องปฏิบัติการซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า -20 องศาเซลเซียส การศึกษาภูมิอากาศในอดีตจากแกนกลางน้ำแข็ง นักวิทยาศาสตร์และนักภูมิอากาศใช้หลักการที่ว่า เมื่อหิมะตกลงมา หิมะที่ตกใหม่จะเบาและมีอากาศแทรกอยู่มาก เมื่อตกลงมาในบริเวณที่มีน้ำแข็งหนาแน่นหิมะจะยังไม่ละลาย และเมื่อทับถมกันหนาขึ้นหลายชั้นและหลาย ๆ ปี หิมะจะกดทับชั้นที่ตกลงมาก่อนให้ฝังอยู่ข้างล่างและอัดเป็นแผ่นน้ำแข็ง นักวิทยาศาสตร์ก็จะวิเคราะห์หาปริมาณและสัดส่วนของ CO_2 ตามความหนาและสีของชั้นน้ำแข็ง เมื่อเรานำมาวิเคราะห์ก็สามารถทราบได้ว่าช่วงเวลาใดมีสภาพภูมิอากาศลักษณะอย่างไร



รูปที่ 4.11 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศจากแกนกลางน้ำแข็ง (Ice cores)

7. อัตราการเปลี่ยนแปลงไอโซโทปของธาตุ

ไอโซโทปของธาตุ คืออะตอมที่มีนิวตรอนมากกว่าปกติ ซึ่งอาจจะมีมากกว่า 1 2 หรือ 3 ตัว เช่น ธาตุของกำมะถันออกซิเจน คาร์บอน เป็นต้น ซึ่งปกติออกซิเจนจะมีโปรตอน 8 ตัว นิวตรอน 8 ตัว ทำให้อะตอมหนัก 16 แต่บางครั้งออกซิเจนซึ่งเกิดขึ้นตามธรรมชาติและที่ค้นพบว่าในน้ำแข็งมีนิวตรอนเพิ่มขึ้นเป็น 9 หรือ 10 อะตอม หรือออกซิเจนมีค่าอะตอม 17 หรือ 18 สัดส่วนของอะตอมออกซิเจนที่แตกต่างนี้ สามารถนำมาใช้ศึกษาหาความต่างของอุณหภูมิ

การศึกษาอัตราการเปลี่ยนแปลงไอโซโทปของธาตุโดยใช้หลักการที่ว่าธาตุที่มีไอโซโทปน้อยกว่าจะระเหยได้มากกว่า ไอโซโทปที่หนักกว่าจะเคลื่อนที่สู่บริเวณที่เย็นกว่า และอุณหภูมิที่เย็นมักจะดึงเอาความชื้นออกจากอากาศมากกว่า และเนื่องจากก๊าซสามารถเคลื่อนที่ได้ภายในหิมะก่อนที่จะถูกกักไว้ในฟองอากาศและอัดแน่นเป็นชั้นน้ำแข็ง หลักฐานที่นิยมนำมาใช้ศึกษากันมากที่สุดคือแกนกลางน้ำแข็งที่ขั้วโลกและเทือกเขาสูงต่าง ๆ ธาตุสำคัญที่ใช้ศึกษา ได้แก่ ออกซิเจน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน อาร์กอน เป็นต้น อัตราส่วนไอโซโทปของไฮโดรเจนที่มีมวลเป็นสองเท่าของไฮโดรเจน (Deuterium) ในแกนกลางน้ำแข็ง ใช้อธิบายลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิไว้อย่างหยاب ๆ ไอโซโทปออกซิเจน ใช้ศึกษาอุณหภูมิของแกนกลางน้ำแข็งในแอนตาร์กติกาและปะการังในอดีตใต้ท้องทะเล โดยใช้ไอโซโทปของออกซิเจน 2 ชนิด คือ ^{16}O กับ ^{18}O ซึ่งไอโซโทปของ ^{16}O เบากว่า ^{18}O ดังนั้น ^{16}O จึงระเหยจากมหาสมุทรในรูปของไอน้ำได้ง่ายกว่า เมื่อไอน้ำควบแน่นและตกลงมาในรูปของหยาดน้ำฟ้า หยาดน้ำฟ้าจึงมีส่วนประกอบของ ^{16}O เป็นจำนวนมากกว่า ขณะที่ ^{18}O สะสมอยู่ในมหาสมุทรมากกว่าในชั้นบรรยากาศ จากหลักการนี้แสดงว่าช่วงเวลาที่เกิดธารน้ำแข็งแผ่เป็นบริเวณกว้าง ปริมาณ ^{18}O ในน้ำทะเลจะเพิ่มสูงขึ้น และเมื่ออุณหภูมิของน้ำในมหาสมุทรเพิ่มสูงขึ้น ^{18}O จะระเหยออกได้มาก หากอุณหภูมิของน้ำลดลง ^{18}O จะระเหยออกได้น้อยกว่า ดังนั้น ไอโซโทปกำมะถันออกซิเจนที่หนักกว่า ^{18}O จะมีอยู่มากในหยาดน้ำฟ้ายุคที่อากาศร้อนชื้น และจะมีอยู่น้อยในยุคที่อากาศหนาวเย็นลง อย่างไรก็ตามการใช้ค่าไอโซโทปของออกซิเจนในแกนน้ำแข็งอาจทำให้เกิดความสับสนและเข้าใจผิดพลาดได้ ถ้าแกนน้ำแข็งที่เกิดจากหิมะที่ใช้ศึกษาเป็นหิมะที่ตกในฤดูร้อน เพราะหิมะที่ตกในฤดูร้อนจะมีค่าไอโซโทปของออกซิเจนมากกว่า หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างฉับพลัน ซึ่งอาจทำให้วิเคราะห์ข้อมูลว่าช่วงนั้นมีอุณหภูมิอุ่นขึ้น ซึ่งถือเป็นการวิเคราะห์ที่เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น จากความคลาดเคลื่อนดังกล่าวจึงได้พัฒนาใช้วิธีศึกษาอื่น ๆ ร่วม โดยใช้อัตราส่วนไอโซโทปของไนโตรเจน

และอาร์กอนซึ่งถูกกักในฟองอากาศในชั้นหิมะ โดยอาร์กอนไอโซโทปมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้อยกว่าไนโตรเจน ร้อยละ 60 ดังนั้นถ้าพบว่ามีสัดส่วนไนโตรเจนไอโซโทปในฟองอากาศมาก แสดงว่าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงมาก ซึ่งวิธีนี้สามารถบอกค่าระดับการอุ่นขึ้นของอุณหภูมิอย่างฉับพลัน

8. การดูเครื่องชีวิตของธาตุต่าง ๆ

โดยศึกษาจากไอโซโทปของคาร์บอน ไนโตรเจน อื่น ๆ ซึ่งธาตุเหล่านี้จะตรวจอายุของซากพืชซากสัตว์ได้ โดยใช้คาร์บอน 14 นั้นตรวจดูอายุของอินทรีย์วัตถุไม่เกิน 40,000 ปี ถ้าเกินกว่านั้นจะใช้ธาตุอื่น เช่น โปรแตสเซียม ซึ่งจะดูไอโซโทปของคาร์บอนทั้งในบรรยากาศและมหาสมุทร

วิธีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศดังกล่าวข้างต้น มีข้อควรตระหนักว่าอาจเกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลได้ เนื่องจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาของมวลสารและข้อมูลที่ได้ เป็นเพียงการศึกษาช่วงหนึ่งของข้อมูลชุดหนึ่งหรือสสารกลุ่มหนึ่งเท่านั้น ซึ่งจำเป็นต้องวิเคราะห์อย่างรอบคอบ ละเอียดยิ่งยวด นักภูมิอากาศยังจำเป็นต้องศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลเพิ่มเติมทั้งหลักฐานทางธรณีวิทยา เช่น การเคลื่อนที่ของเปลือกโลก และการเกิดภูเขา การแลกเปลี่ยนความร้อนของทะเลและพื้นดิน องค์ประกอบทางเคมีของชั้นบรรยากาศ ซึ่งต้องอธิบายร่วมกับหลักฐานอื่น ๆ ประกอบกันเพื่อทราบข้อเท็จจริงทั้งหมด และไขปริศนาการเปลี่ยนแปลงและเรียนรู้ถึงลักษณะภูมิอากาศที่เกิดขึ้นในอดีตต่อไป