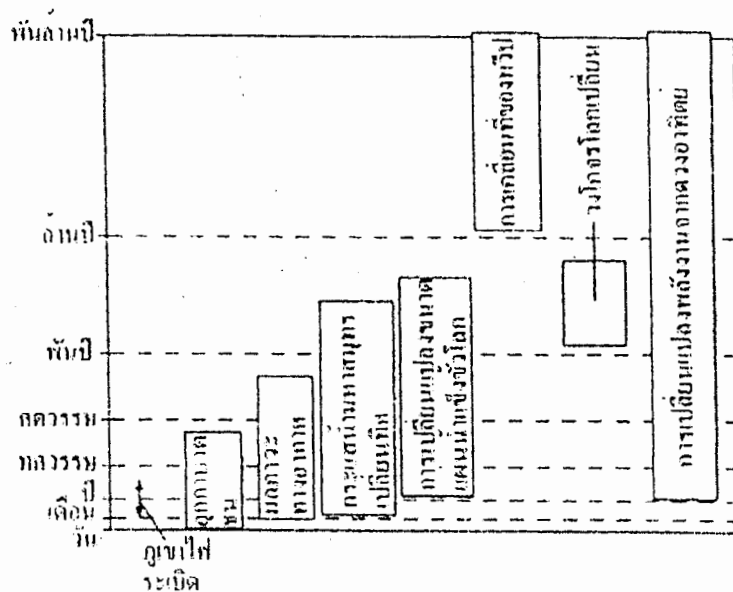


## บทที่ 5

### สาเหตุการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

บรรยากาศของโลกเป็นสิ่งที่เคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลา (Dynamic) ภูมิอากาศของโลกจึงมีการเปลี่ยนแปลงเป็นช่วงเวลาด้านข้างยาวบ้าง ขึ้นอยู่กับปัจจัยหรือสาเหตุต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น การระเบิดของภูเขาไฟทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเพียงช่วงเดือนหรือปี การพุ่งชนของอุกกาบาตทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหลายสิบล้านปี การเพิ่มขึ้นของมลภาวะทางอากาศก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงนับศตวรรษ การเปลี่ยนแปลงของกระแสน้ำในมหาสมุทรและขนาดของแผ่นน้ำแข็งตลอดจนการเปลี่ยนแปลงของวงจรโลก ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นคาบนับล้านปี การเคลื่อนที่ของทวีปและการเปลี่ยนแปลงพลังงานจากดวงอาทิตย์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงนับพันล้านปี

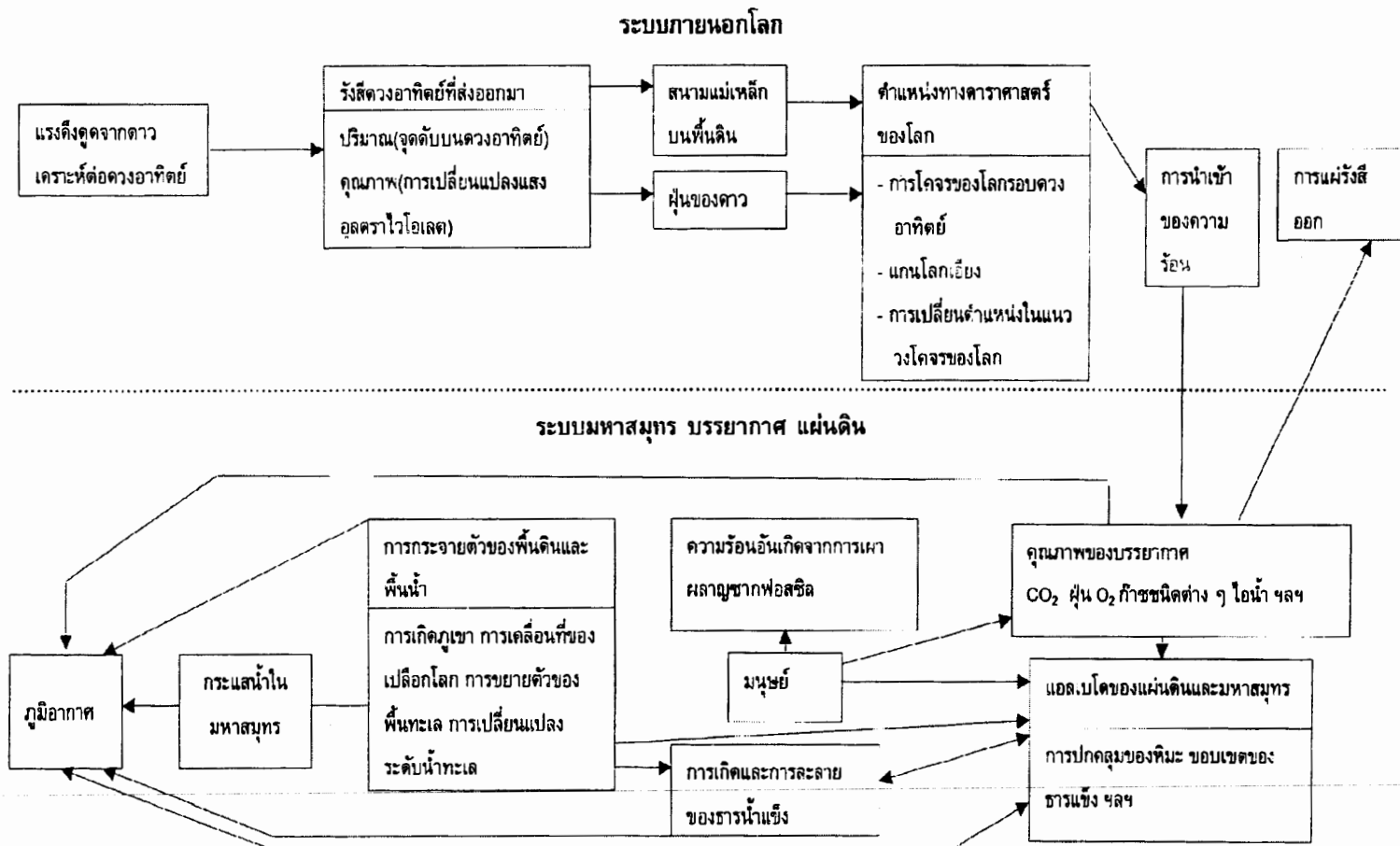


รูปที่ 5.1 ปัจจัยและคาบการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโลก

สาเหตุที่ทำให้ภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงสามารถสรุปรวมได้ดังนี้

1. สาเหตุจากบนพื้นโลก (terrestrial cause)
  - 1.1 การเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวของพื้นดินและพื้นน้ำ
  - 1.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะภูมิประเทศ
  - 1.3 การเคลื่อนที่ของเปลือกโลก
  - 1.5 การเปลี่ยนส่วนผสมของบรรยากาศ
2. สาเหตุจากทางดาราศาสตร์ (astronomical cause)
  - 2.1 การเปลี่ยนแปลงการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์
  - 2.2 การเอียงของแกนโลก
  - 2.3 การเปลี่ยนตำแหน่งในแนววงโคจรของโลก
  - 2.4 การเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กโลก
3. สาเหตุจากภายนอกโลก (extraterrestrial cause)
  - 3.1 การผันแปรของปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่แผ่ออกมา
    - 3.1.1 จุดดับบนดวงอาทิตย์ (sunspot)
    - 3.1.2 หมอกที่ปิดกั้นระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ (nebulae)

ทุกสาเหตุที่กล่าวมาข้างต้น เป็นปัจจัยทางธรรมชาติที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโดยตรง นอกจากปัจจัยทางธรรมชาติดังกล่าวแล้ว ยังมีอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศนั้นก็คือ ปัจจัยที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งเป็นตัวการสำคัญในปัจจุบัน



รูปที่ 5.2 สาเหตุที่ทำให้ภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง  
ที่มา Goudie, 1992, p256

## 1. สาเหตุจากบนพื้นโลก (terrestrial cause)

ปัจจัยทางธรรมชาติบนพื้นโลกที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศมีข้อสมมติฐานมากมายที่อธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ บางข้อสมมติฐานได้รับการสนับสนุนอย่างกว้างขวางในสมัยหนึ่ง ต่อมาภายหลังได้รับการเชื่อถือลดน้อยลง และบางกรณีถูกหยิบยกขึ้นมาใหม่ อย่างไรก็ตาม คำอธิบายบางอย่างที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศยังหาข้อยุติไม่ได้ เพียงแต่คาดว่าเท่านั้น เนื่องจากกระบวนการต่าง ๆ ในบรรยากาศของโลกมีความซับซ้อนมาก ดังนั้น การศึกษากระบวนการทางภูมิอากาศ จึงต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยอาศัยคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ แบบจำลองที่ว่านี้เป็นเครื่องมือที่สำคัญมากในการศึกษากระบวนการทางบรรยากาศระยะยาว ที่ก่อให้เกิดเป็นภูมิอากาศของโลก แม้ว่าแบบจำลองนี้ทันสมัยพอที่จะเป็นเครื่องมือเบื้องต้นสำหรับการวินิจฉัยภูมิอากาศได้ แต่ยังไม่สามารถเข้าถึงความสลับซับซ้อนของบรรยากาศปัจจุบันได้ นั่นคือ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แม้จะมีศักยภาพสูง แต่การพยากรณ์ภูมิอากาศตามแบบจำลองนี้ ยังเต็มไปด้วยความไม่แน่นอน ข้อสมมติฐานปัจจุบันที่เชื่อกันว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ซึ่งแต่ละข้อสมมติฐานได้รับการสนับสนุนจากนักวิทยาศาสตร์มากน้อยแตกต่างกัน การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่เกิดจากสาเหตุทางธรรมชาติจากบนพื้นโลก บางลักษณะจะเกิดขึ้นในช่วงเวลานานมาก และค่อย ๆ เปลี่ยนแปลงไป เช่น การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศเมื่อ 1 ล้านปีที่ผ่านมา จะนำทฤษฎีเดียวกันนี้มาใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่เกิดขึ้นภายใน 100 ปี ไม่ได้ ถ้าหากเข้าใจธรรมชาติของบรรยากาศ และการเปลี่ยนแปลงตามกาลเวลาอย่างดีแล้ว ข้อสมมติฐานต่าง ๆ เหล่านี้ ผนวกกับแนวความคิดอื่น ๆ จะเป็นตัวการสำคัญที่บ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ โดยสามารถแยกสาเหตุการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโลกได้ดังนี้

### 1.1 การเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวของพื้นดินและพื้นน้ำ

เนื่องจากพื้นดินและพื้นน้ำมีคุณสมบัติในการดูดกลืนและคายความร้อนแตกต่างกัน กล่าวคือ จำนวนพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่เท่ากัน พื้นดินเมื่อได้รับความร้อนจะร้อนเร็วกว่าพื้นน้ำ และเมื่อทำให้เย็นลง พื้นดินจะคายความร้อนได้เร็วกว่าพื้นน้ำ การเปลี่ยนแปลงในการกระจายตัวของพื้นดินและพื้นน้ำ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวของพลังงานและมีผลต่อการหมุนเวียนของบรรยากาศทั่วไปและภูมิอากาศ

## 1.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะภูมิประเทศ

ภูมิประเทศเมื่อถูกเปลี่ยนแปลงจะมีผลต่อการไหลเวียนของอากาศ รังสีจากดวงอาทิตย์ และองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น อุณหภูมิและหยาดน้ำฟ้า การเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะภูมิประเทศ มีหลายปรากฏการณ์ และปรากฏการณ์ที่เห็นชัดเจนมากที่สุดคือการระเบิดของภูเขาไฟ

การระเบิดของภูเขาไฟจะพ่นก๊าซ และเศษวัสดุที่ละเอียดมาก ๆ จำนวนมหาศาลเข้าสู่บรรยากาศ การระเบิดที่รุนแรงมาก ๆ จะมีกำลังมากพอที่จะพ่นเศษวัสดุต่าง ๆ เหล่านี้ขึ้นไปได้สูงมากถึงบรรยากาศ ชั้นสเตรโตสเฟียร์ ซึ่งจะกระจายแผ่ออกไปทั่วโลก และยังคงล่องลอยอยู่ในบรรยากาศนานหลายเดือนหรืออาจนานมากเป็นปี อิทธิพลที่สำคัญประการแรกที่เกิดจากถ้ำถ่านภูเขาไฟ คือเป็นตัวการขวางกั้นพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ที่แผ่ลงมายังผิวพื้นโลกให้ลดน้อยลง มีผลทำให้อุณหภูมิในบรรยากาศชั้นโทรโปสเฟียร์ ลดต่ำลง

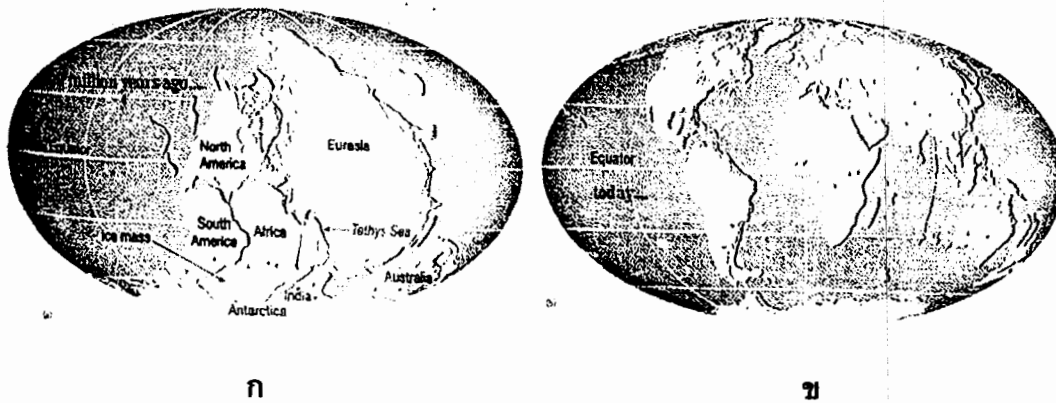
## 1.3 การเคลื่อนที่ของเปลือกโลก

เปลือกโลกมิได้เป็นแผ่นเดียวต่อเนื่องติดกันดังเช่นเปลือกไข่ หากแต่เหมือนเปลือกไข่แตกแล้ว มีแผ่นหลายแผ่นเรียงชิดติดกันเรียกว่า “เพลต” (Plate) ซึ่งมีอยู่ประมาณ 20 เพลต เพลตที่มีขนาดใหญ่ ได้แก่ เพลตแปซิฟิก เพลตอเมริกาเหนือ เพลตอเมริกาใต้ เพลตยูเรเชีย เพลตแอฟริกา เพลตอินโด-ออสเตรเลีย และเพลตแอนตาร์กติก เป็นต้น เพลตแปซิฟิกเป็นเพลตที่ใหญ่ที่สุด กินอาณาเขตหนึ่งในสามของพื้นผิวโลก เพลตทุกเพลตเคลื่อนตัวเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างอยู่ตลอดเวลา

หลักฐานที่เป็นข้อมูลสนับสนุนทฤษฎีการเคลื่อนที่ของเปลือกโลก ที่ อัลเฟรด เวกเนอร์ (Alfred Wegener) นักธรณีวิทยาชาวเยอรมันได้อ้างไว้ดังนี้

1. หลักฐานสภาพรูปร่างของทวีป จากรูปร่างของทวีปต่าง ๆ ที่สวมเข้ากันได้อย่างเหมาะสม โดยเฉพาะทวีปอเมริกาเหนือและทวีปอเมริกาใต้กับทวีปแอฟริกา
2. หลักฐานสิ่งมีชีวิต จากการพบสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ชนิดเดียวกันที่อยู่ในแถบทวีปทั้ง 2 ที่อยู่ด้านเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน เป็นการแสดงว่าเดิมทวีป 2 ทวีปนี้เคยเชื่อมติดกันมาก่อน
3. หลักฐานการเคลื่อนที่ของเกาะกรีนแลนด์ ในสมัยนั้นนักธรณีวิทยาได้ศึกษาพบว่า เกาะกรีนแลนด์กำลังเคลื่อนที่ อัลเฟรด เวกเนอร์ จึงได้อ้างเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นว่า สอดคล้องกับทฤษฎีของเขา

ทฤษฎีที่ว่าด้วยการเคลื่อนที่ของเปลือกโลก (Plate Tectonics Theory) ได้รับความสนใจจากนักธรณีวิทยาอย่างกว้างขวาง ทฤษฎีนี้กล่าวว่า ส่วนนอกสุดของโลกที่เรียกว่าเปลือกโลก ประกอบด้วย ชั้นส่วนเดียว ๆ หลายชั้นรวมอยู่ด้วยกันโดยลอยอยู่บนหินเหลวที่ร้อนข้างล่าง ต่อมาชั้นส่วนเหล่านี้เคลื่อนที่ออกจากกัน จนกระทั่งอยู่ในตำแหน่งปัจจุบันซึ่งคือผืนแผ่นดินทวีปต่าง ๆ จากทฤษฎีนี้ไม่เพียงแต่ทำให้นักธรณีวิทยาเข้าใจหรือสามารถอธิบายกระบวนการและลักษณะต่าง ๆ ของเปลือกโลก จากที่เมื่อก่อนนี้ไม่สามารถอธิบายได้ ยังทำให้นักภูมิอากาศสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศที่ผ่านมาในอดีตได้ ซึ่งก่อนหน้านี้ไม่สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกัน ตัวอย่างเช่น การที่ปัจจุบันยังคงมีน้ำแข็งปรากฏอยู่ที่แอฟริกา ออสเตรเลีย อเมริกาใต้ และอินเดีย เชื่อว่าภูมิภาคต่าง ๆ เหล่านี้ ครั้งหนึ่งเมื่อประมาณ 250 ล้านปีก่อน เคยอยู่ในยุคน้ำแข็งมาแล้ว ลักษณะเช่นนี้เป็นที่สงสัยของนักวิทยาศาสตร์เป็นเวลานานหลายปี ลักษณะภูมิอากาศในเขตร้อน ครั้งหนึ่งเคยเหมือนกับภูมิอากาศที่เป็นอยู่บนเกาะกรีนแลนด์ และแอนตาร์กติกา ซึ่งไม่สามารถหาเหตุผลมาอธิบายได้ จนกระทั่งค้นพบและพิสูจน์ได้เกี่ยวกับทฤษฎีที่ว่าด้วยการเคลื่อนที่ของเปลือกโลก ทำให้ในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์เชื่อว่า บริเวณที่ยังคงปรากฏธารน้ำแข็งโบราณอยู่นั้น เคยอยู่รวมกันเป็นผืนแผ่นดินเดียวกัน ที่เรียกว่า มหาทวีปแพนเจีย (Pangaea) ต่อมาแผ่นดินนี้แตกออกเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นเคลื่อนที่ออกจากกันอย่างช้า ๆ จนกระทั่งอยู่ในตำแหน่งปัจจุบัน ธารน้ำแข็งที่แตกออกตามชั้นส่วนของแผ่นดิน จะติดไปกับชั้นแผ่นดินนั้นด้วย ทำให้ปัจจุบันมีธารน้ำแข็งกระจายอยู่ในบริเวณกึ่งเขตร้อน นอกจากทำให้ภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงโดยตรงแล้ว ยังทำให้การหมุนเวียนของกระแสลมเปลี่ยนแปลงไปด้วย เกิดการเปลี่ยนแปลงการถ่ายเทความร้อนและความชื้น ซึ่งมีผลกระทบต่อภูมิอากาศอีกทางหนึ่ง เนื่องจากการเคลื่อนที่ของเปลือกโลกเป็นไปช้ามาก ในอัตรา 2-3 ซม./ปี นั่นคือ จะรู้ได้ถึงถึงการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของทวีป ต้องใช้เวลายาวนานมากตามยุคทางธรณีวิทยาเท่านั้น การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศตามการเคลื่อนที่ของเปลือกโลก จะเป็นไปอย่างช้า ๆ เช่นเดียวกันซึ่งต้องใช้เวลานานนับล้านปี การนำทฤษฎีที่ว่าด้วยการเคลื่อนที่ของเปลือกโลก มาใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ เพียง 10 ปี 100 ปี หรือ 1,000 ปี จะไม่ได้ผลต้องศึกษาจากทฤษฎีอื่น



**รูปที่ 5.3** การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเปลือกโลกเกิดจากพลังงานความร้อนภายในโลก ที่ส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางภูมิอากาศ **รูป ก** เป็นภาพของโลก ในขณะที่เมื่อ 300 ล้านปีก่อน เมื่อเวลาผ่านไปเปลือกโลกจะมีการเคลื่อนที่อย่างช้า ๆ จนถึงปัจจุบันแผ่นเปลือกโลกจะเคลื่อนที่เป็นดังรูป **ข**

#### 1.4 การเปลี่ยนแปลงส่วนผสมของบรรยากาศ

ส่วนผสมของอากาศเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ภูมิอากาศของโลกเกิดการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากสัดส่วนของก๊าซในบรรยากาศ ไม่ใช่สิ่งคงตัว แต่ก่อนโลกนั้นเต็มไปด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซออกซิเจนเพิ่งจะเกิดขึ้นจากการสังเคราะห์อาหารด้วยแสงของคลอโรฟิลล์ในสิ่งมีชีวิตเมื่อประมาณ 2 พันล้านปีที่ผ่านมา ก๊าซบางชนิดมีผลกระทบต่ออุณหภูมิของบรรยากาศโดยตรง เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน เนื่องจากเป็นก๊าซเรือนกระจก ก๊าซบางชนิดไม่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิของบรรยากาศโดยตรง แต่จะมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและองค์ประกอบทางเคมีของบรรยากาศ เช่น ก๊าซออกซิเจน ก๊าซโอโซน ฯลฯ

ในภาวะปกติ ชั้นบรรยากาศของโลกจะประกอบด้วย โอโซน ไอน้ำ และก๊าซชนิดต่าง ๆ ซึ่งทำหน้าที่กรองรังสีคลื่นสั้นบางชนิดให้ผ่านมาตกกระทบพื้นผิวโลก รังสีคลื่นสั้นที่ตกกระทบพื้นผิวโลกนี้ จะสะท้อนกลับออกนอกชั้นบรรยากาศไป ส่วนหนึ่งที่เหลือกพื้นผิวโลกที่ประกอบด้วยพื้นน้ำ พื้นดิน และสิ่งมีชีวิตจะดูดกลืนไว้ หลังจากนั้นก็จะคายพลังงานออกมา ในรูปรังสีคลื่นยาวช่วงอินฟราเรด แผ่กระจายขึ้นสู่บรรยากาศ และแผ่กระจายออกนอกชั้นบรรยากาศไปส่วนหนึ่ง อีกส่วนหนึ่งนั้น ชั้นบรรยากาศก็จะดูดกลืนไว้ และคายพลังงานความ

ร้อนออกมา แต่ในปัจจุบันชั้นบรรยากาศของโลก ก๊าซบางชนิดมีปริมาณเกินสมดุลของธรรมชาติ อันเป็นผลมาจากฝีมือมนุษย์ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>) ก๊าซคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFC<sub>8</sub>) และก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N<sub>2</sub>O) เป็นต้น ก๊าซเหล่านี้มีคุณสมบัติพิเศษ คือสามารถดูดกลืนและคายรังสีคลื่นยาวช่วงอินฟราเรดได้ดีมาก ดังนั้นเมื่อพื้นผิวโลกคายรังสีอินฟราเรดขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ ก๊าซเหล่านี้จะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดเอาไว้ ต่อจากนั้นมันก็จะคายความร้อนสะสมอยู่บริเวณพื้นผิวโลก และชั้นบรรยากาศเพิ่มมากขึ้น พื้นผิวโลกจึงมีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศของโลกและสิ่งมีชีวิตบนพื้นโลกอย่างมากมาย

## 2. สาเหตุจากทางดาราศาสตร์ (astronomical cause)

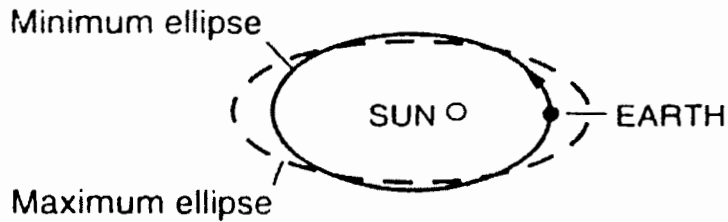
ทฤษฎีทางดาราศาสตร์ อยู่บนพื้นฐานของแนวความคิดที่ว่า “การเปลี่ยนแปลงแนววงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ มีผลต่อภูมิอากาศ เนื่องจากการกระจายของพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกลงมายังผิวโลกตามละติจูดต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย นั่นคือ จะทำให้ฤดูกาลในภูมิอากาศต่าง ๆ บนพื้นผิวโลกเปลี่ยนแปลงด้วยอย่างเป็นลูกโซ่” แนวความคิดเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงแนววงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์กับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ เพิ่งได้รับความสนใจในต้นศตวรรษที่ 19 นี้โดยที่ Milutin Milankovitch นักดาราศาสตร์ชาวยูโกสลาเวีย ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จากข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

### 2.1 การเปลี่ยนแปลงการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์

แม้ว่าความแตกต่างของระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ จะมีผลต่อความแตกต่างของอุณหภูมิตามฤดูกาลต่าง ๆ น้อยก็ตาม แต่จะมีบทบาทที่สำคัญมากต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกในช่วงระยะเวลานับพันปี ระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ที่ไกลที่สุด (Aphelion) ประมาณ 94.5 ล้านไมล์ ในวันที่ 3 กรกฎาคม ซีกโลกเหนืออยู่ในระหว่างฤดูร้อน กับระยะเวลาที่ใกล้ที่สุด (Perihelion) ประมาณ 91.5 ล้านไมล์ ในวันที่ 4 มกราคม ซีกโลกเหนืออยู่ในระหว่างฤดูหนาว ทำให้โลกได้รับพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ในเดือนมกราคมมากกว่าในเดือนกรกฎาคม ประมาณ 6% อย่างไรก็ตามรูปร่างวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ จะเปลี่ยนแปลงไปในรอบ 90,000-100,000 ปี วงโคจรจะยาวและรีมากขึ้น เมื่อถึงเวลานั้น ประมาณพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ที่โลกได้รับขณะที่โลกอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด มากกว่า



ขณะที่โลกอยู่ไกลดวงอาทิตย์มากที่สุดถึง 20-30% ซึ่งจะมีผลทำให้ภูมิอากาศแตกต่างจากที่เป็นอยู่ในปัจจุบันอย่างแน่นอนที่สุด



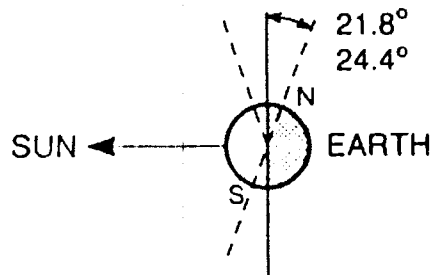
Periodicity of c. 100,000 years

รูปที่ 5.4 การเปลี่ยนแปลงการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์  
ที่มา : Thompson, and Perry, 1997, p. 128

## 2.2 การเอียงของแกนโลก

การเอียงของแกนโลกจากเส้นตั้งฉากกับระนาบวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงไป เป็นสาเหตุสำคัญที่สุด ในการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตามฤดูกาล ปัจจุบันมุมที่แกนโลกเอียงจากเส้นตั้งฉาก กับระนาบวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์เท่ากับ 23.5 องศา มุมนี้จะเปลี่ยนแปลงไปในรอบประมาณ 42,000 ปี โดยจะผันแปรอยู่ระหว่าง 21.8-24.4 องศา เมื่อมุมเอียงนี้เปลี่ยนแปลงไป ความรุนแรงของฤดูกาลจะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ถ้าเอียงน้อยความแตกต่างของอุณหภูมิในระหว่างฤดูหนาวกับฤดูร้อนจะน้อย เชื่อกันว่า ความแตกต่างระหว่างฤดูกาลที่ลดลงนี้ ทำให้หิ้งน้ำแข็งแผ่ขยายกว้างมากขึ้น เนื่องจากเมื่ออากาศในฤดูหนาวร้อนขึ้น ความจุไอน้ำของอากาศจะสูงขึ้นด้วยตามอุณหภูมิ นั่นคือ หิมะจะตกมาก

ขึ้น และในทางกลับกัน ฤดูร้อนอากาศเย็นลง ซึ่งหมายถึงว่า หิมะละลายได้น้อยลงเป็นสาเหตุ ทำให้ทุ่งน้ำแข็งขยายกว้างขึ้น



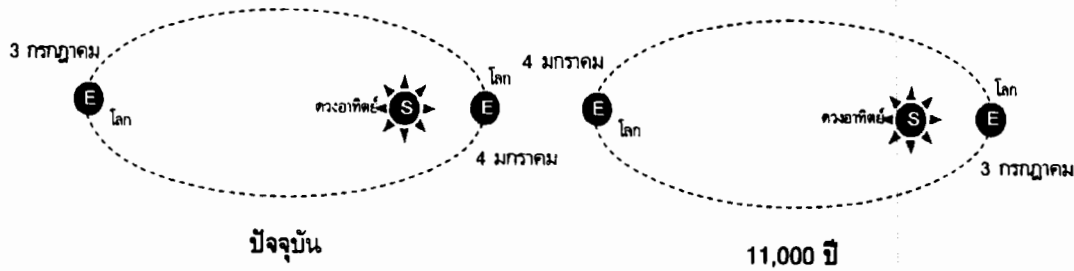
Periodicity of c.42,000 years

รูปที่ 5.5 การเอียงของแกนโลกจะผันแปรอยู่ระหว่าง 21.8-24.4 องศา  
ที่มา : Thompson, and Perry, 1997, p. 128

### 2.3 การเปลี่ยนตำแหน่งในแนววงโคจรของโลก (Precession)

การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของโลกในแนววงโคจร อาจพิจารณาให้เข้าใจง่าย ๆ โดยเทียบกับวันที่โลกอยู่ใกล้-ไกลดวงอาทิตย์มากที่สุด ซึ่งตำแหน่งดังกล่าวจะสลับกัน เช่น ปัจจุบันวันที่โลกใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด คือตรงกับวันพฤษภาคมหรือ Perihelion ซึ่งเป็นวันที่ 4 มกราคมของทุกปี ระยะทางประมาณ 91.5 ล้านไมล์ แต่ในอีก 11,000 ปี ข้างหน้า วันที่ 4 มกราคม จะเปลี่ยนเป็นวันที่โลกอยู่ไกลดวงอาทิตย์มากที่สุด ในขณะที่ระยะที่โลกอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์มากที่สุด ระยะทางประมาณ 94.5 ล้านไมล์ ซึ่งตรงกับวันพฤษภาคมหรือตรงกับวันที่ 3 กรกฎาคมของทุกปี จะเป็นวันที่โลกอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด จากการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งในวงโคจรของโลกดังกล่าว ทำให้แนวตั้งฉากของแสงอาทิตย์ที่กระทำกับละติจูดต่าง ๆ เปลี่ยนแปลง ส่งผลให้ฤดูกาลของโลกเปลี่ยนแปลงด้วย

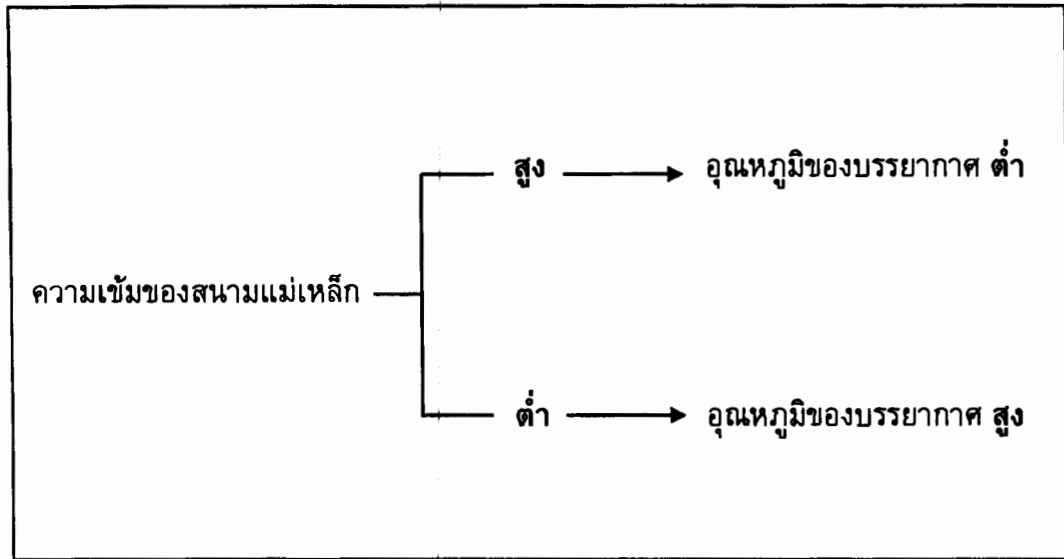
ตำแหน่ง Winter Solstice และ Summer Solstice ในวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ปัจจุบัน จะสลับกัน ดังนั้น ซีกโลกเหนือจะเกิดเป็นฤดูหนาวขณะที่โลกอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด และ ฤดูร้อนจะเกิดขึ้นขณะที่โลกอยู่ไกลดวงอาทิตย์มากที่สุด ฤดูกาลที่แตกต่างกันนี้จะรุนแรงมากขึ้น ฤดูหนาวจะหนาวมากขึ้นและฤดูร้อนจะร้อนมากขึ้นจากที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน



รูปที่ 5.6 การเปลี่ยนตำแหน่งในแนววงโคจรของโลก

#### 2.4 การเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กโลก (terrestrial)

ในช่วง ค.ศ. 1925- ค.ศ.1970 ความเข้ม (intensity) ของสนามแม่เหล็กโลกลดลง ในแม็กซิโก แคนาดา และสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นเวลาเดียวกับอุณหภูมิของบรรยากาศสูงขึ้น ส่วนในเกาะกรีนแลนด์ สกอตแลนด์ สวีเดน และอียิปต์ ความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ภูมิอากาศหนาวมากขึ้น อุณหภูมิต่ำลง โดยที่สนามแม่เหล็กโลกทำหน้าที่เป็นเกราะป้องกันมิให้แสงอาทิตย์ผ่านลงมา ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าอุณหภูมิในบรรยากาศมีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับความเข้มของสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 5.7 อุณหภูมิของบรรยากาศมีความสัมพันธ์ผกผันกับความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กโลก

### 3. สาเหตุจากภายนอกโลก (extraterrestrial cause)

พลังงานดวงอาทิตย์เป็นสาเหตุจากภายนอกโลกที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ พลังงานดวงอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลงทั้งในด้านปริมาณ และด้านคุณภาพ ซึ่งย่อมมีผลกระทบต่อภูมิอากาศของโลก

#### 3.1 การผันแปรของปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่แผ่ออกมา

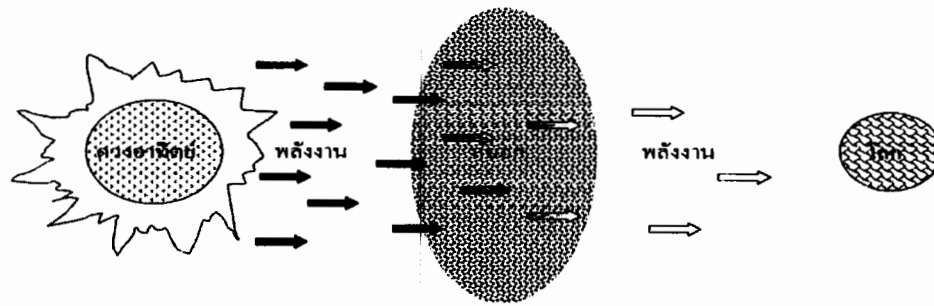
ในจำนวนข้อสมมติฐานต่าง ๆ ที่เชื่อว่ามีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ แนวความคิดที่เกี่ยวกับพลังงานดวงอาทิตย์ก็เป็นข้อสมมติฐานอย่างหนึ่งที่กล่าวอ้างกันบ่อยมาก พลังงานที่ดวงอาทิตย์ปลดปล่อยออกมาจะผันแปรตลอดเวลา อิทธิพลการผันแปรของพลังงานดวงอาทิตย์มีผลโดยตรงต่อบรรยากาศของโลก กล่าวคือ ขณะที่ดวงอาทิตย์ปลดปล่อยพลังงานออกมามากขึ้นจะทำให้บรรยากาศร้อนขึ้น และในทางกลับกันหากพลังงานดวงอาทิตย์ลดลงบรรยากาศของโลกก็จะเย็นลงตามไปด้วย แนวความคิดนี้กำลังได้รับความสนใจ เพราะสามารถนำมาอธิบายการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศได้ ไม่ว่าจะเป็นระยะเวลายาวนานหรือความรุนแรงที่เกิดขึ้น ปัญหาที่สำคัญคือยังไม่มี การตรวจวัดความผันแปร

ความเข้มของพลังงานดวงอาทิตย์ที่ขอบนอกบรรยากาศในระยะยาวมาก่อน เนื่องจากไม่มีเครื่องมือที่ตรวจวัดได้ จนกระทั่งถึงยุคเทคโนโลยีดาวเทียมในปัจจุบันที่สามารถบันทึกข้อมูลนี้ได้ ทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ มีข้อเสนอมากมายเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศอันเนื่องมาจากการผันแปรพลังงานดวงอาทิตย์ ส่วนใหญ่จะแสดงถึงความสัมพันธ์กับวงจรการเกิดจุดดับบนดวงอาทิตย์ (Sunspot) และหมอกที่ปิดกั้นระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ (Nebulae)

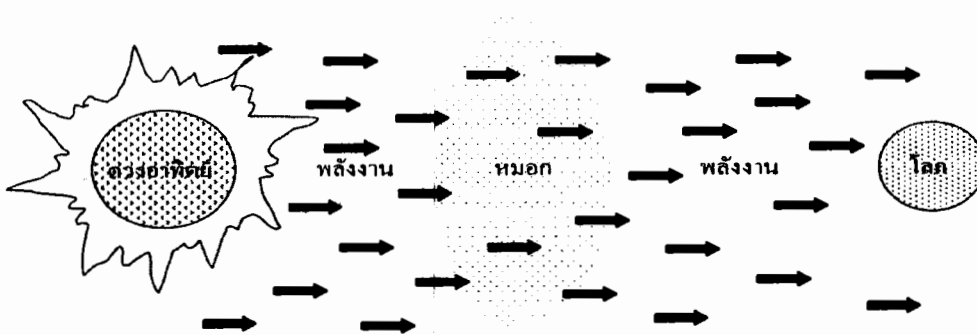
**3.1.1 จุดดับบนดวงอาทิตย์ (Sunspot)** คือลักษณะหมองมัวดำมืด ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวดวงอาทิตย์ แม้ว่าการเกิดยังไม่ทราบสาเหตุที่แน่ชัดก็ตาม แต่เมื่อเกิดขึ้นแล้วจะเกิดเป็นสนามแม่เหล็กมหึมาที่ขยายจากผิวหน้าดวงอาทิตย์ลึกเข้าไปภายใน ยิ่งกว่านั้นสนามแม่เหล็กนี้ยังสามารถผลักดันอนุภาคพลังงาน ให้หลุดออกมาจากดวงอาทิตย์ จนถึงขอบนอกบรรยากาศ ด้วยจำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์มากขึ้น-ลดลงอย่างสม่ำเสมอ มีวงโคจรประมาณ 11 ปี โดยเริ่มต้นจาก ค.ศ. 1700 เป็นต้นมาที่สังเกตเห็นว่า วงจรนี้ค่อนข้างสม่ำเสมอ เมื่อไม่นานมานี้เองนักวิทยาศาสตร์จำนวนหนึ่งยืนยันว่า วงจรจุดดับดวงอาทิตย์ 11 ปีนั้น เป็นลักษณะที่แน่นอนของดวงอาทิตย์ อย่างไรก็ตามปัจจุบันเชื่อว่ามีช่วงระยะเวลาหนึ่งที่ดวงอาทิตย์ปลอดจากจุดดับหรือจุดหมองมัว และนอกจากจะมีวงจร 11 ปีที่รู้จักกันดีแล้ว ยังมีวงจร 22 ปี อีกวงหนึ่ง วงจรที่ยาวขึ้นนี้ได้จากความจริงที่ว่า การหันไปทางขั้วโลกของสนามแม่เหล็กขณะเกิดจุดดับบนดวงอาทิตย์นั้น จะตรงกันข้ามทุก ๆ 11 ปี อย่างต่อเนื่องกัน นั่นคือ สนามแม่เหล็กที่เกิดจากดวงอาทิตย์ขณะมีจุดดับจะกลับมายังขั้วโลกเกิดอีกครั้งหนึ่งในรอบ 22 ปี การศึกษาอิทธิพลที่เป็นไปได้ของพลังงานดวงอาทิตย์ที่มีต่อภูมิอากาศ ได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานหลายปี โดยพยายามหาหลักฐานความสัมพันธ์ตามช่วงเวลาจากวันเป็น 10,000 ปี

เมื่อเร็ว ๆ นี้ นักวิทยาศาสตร์ได้นำเสนอผลการศึกษาความสัมพันธ์ของวงจรจุดดับบนดวงอาทิตย์ในรอบ 11 ปี กับรูปแบบภูมิอากาศในซีกโลกเหนือ ผลการศึกษาระบุว่า ช่วงระยะเวลาที่ไม่มีจุดดับบนดวงอาทิตย์หรือน้อยมาก ตรงกับช่วงอากาศหนาวเย็นในยุโรปและอเมริกาเหนือ และในทางกลับกัน ช่วงเวลาที่เกิดจุดดับบนดวงอาทิตย์จำนวนมาก จะสัมพันธ์กับช่วงระยะเวลาที่อากาศร้อนของบริเวณดังกล่าวนี้ด้วย

**3.1.2 หมอกที่ปิดกั้นระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ (Nebulae) ได้แก่ เมฆหมอก กลุ่มก๊าซ ฝุ่นละอองต่าง ๆ ที่กระจายอยู่ในอากาศหรือระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ ทำให้โลกได้รับพลังงานความร้อนไม่เต็มที่ หรือรับได้เพียงบางส่วนจากพลังงานที่ดวงอาทิตย์ปลดปล่อยออกมา ดังนั้นปริมาณของ Nebulae จึงมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศคือ ถ้าปริมาณ Nebulae มีความหนาแน่นมากจะทำให้พลังงานความร้อนผ่านมายังโลกได้น้อย อุณหภูมิในบรรยากาศของโลกจึงต่ำ จนบางทีเกิดธารน้ำแข็งได้ แต่ถ้าหาก Nebulae มีปริมาณเบาบางพลังงานความร้อนจะผ่านมายังโลกได้ง่าย ทำให้โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น**



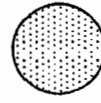
ถ้าหมอกมีความหนาแน่นมาก บรรยากาศของโลกจะมีอุณหภูมิต่ำ



ถ้าหมอกเบาบาง บรรยากาศของโลกจะมีอุณหภูมิสูง



โลกเย็นลง



โลกร้อนขึ้น

⇨ พลังงานต่ำ

⇨ พลังงานสูง

**รูปที่ 5.8** การเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศที่เกิดจากความหนาแน่นของหมอกที่ปิดกั้นระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ (Nebulae)

การศึกษาวิจัยเพื่อหาสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่สัมพันธ์กับความผันแปรของพลังงานจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านมา ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษายังไม่สามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความผันแปรของพลังงานดวงอาทิตย์กับลมฟ้าอากาศที่แน่นอนได้ เนื่องจากเมื่อนำความสัมพันธ์ที่สร้างขึ้นไปทดสอบทางสถิติหรือทดสอบกับกลุ่มข้อมูลที่แตกต่างกัน ผลการศึกษายังหาข้อสรุปที่แน่นอนไม่ได้ ดังนั้นการศึกษาคำความสัมพันธ์ระหว่างความผันแปรของพลังงานดวงอาทิตย์กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศยังคงเป็นหัวข้อที่โต้เถียงวิจารณ์และรวบรวมข้อมูลกันต่อไป

นอกจากปัจจัยทางธรรมชาติที่กล่าวมาข้างต้น จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศแล้วนั้น ยังมีอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศคือปัจจัยที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ซึ่งเป็นตัวการสำคัญในปัจจุบัน ซึ่งกิจกรรมของมนุษย์ที่มีผลทำให้ภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงคือ กิจกรรมที่ทำให้ปริมาณก๊าซเรือนกระจกและละอองต่าง ๆ ในบรรยากาศเพิ่มมากขึ้น ได้แก่ การเพิ่มปริมาณก๊าซเรือนกระจกโดยตรง เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิง และการเพิ่มปริมาณก๊าซเรือนกระจกโดยทางอ้อม คือ การตัดไม้ทำลายป่า ส่งผลให้องค์ประกอบของบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกเปลี่ยนแปลงไปด้วย จนเกิดสภาวะที่เรียกว่า “ภาวะโลกร้อน” (Global warming) ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในบทที่ 11