สาเหตุที่ภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง : ข้อเท็จจริง

วิฑูรย์ ปัญญากุล
มูลนิธิสายใยแผ่นดิน
กรีนเนท

เอกสารนี้เป็นส่วนหนึ่งของ "โครงการสนับสนุนการปรับตัว เพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ" ซึ่งได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริม สุขภาพ (สสส.)

สารบัญ

1. บทนำ.....3

2. การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศเป็นเรื่องธรรมชาติ.....4

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับกระแสลม.....4

2.2 วงโคจรและการหมุนรอบตัวเองของโลก.....6

2.3 กระแสน้ำ.....8

2.4 การเปลี่ยนแปลงของรังสีดวงอาทิตย์.....8

2.5 การหลุดรอดของก๊าซเรือนกระจกใต้ดิน.....9

3. ก๊าซเรือนกระจก.....10

3.1 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์.....11

3.2 ก๊าซมีเทน.....14

3.3 ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N2O).....15

3.4 CFCs และสารสำหรับอุตสาหกรรม.....15

3.5 ไอน้ำและเมฆ.....16

4. กระบวนการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ.....17

4.1 ปฏิกริยาเรือนกระจก.....17

4.2 จากปฏิกริยาเรือนกระจกสู่โลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ.....20

4.3 วิธีคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ.....22

5. การปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยภาคการเกษตรและชนบท.....26

5.1 ก๊าซเรือนกระจกจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน.....27

5.2 ก๊าซเรือนกระจกจากปุ๋ยเคมี.....27

5.3 ก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว.....28

5.4 ก๊าซเรือนกระจกจากการเลี้ยงสัตว์.....29

5.5 ก๊าซเรือนกระจกจากเครื่องจักรกลการเกษตร.....31

6. สภาพการณ์ของประเทศไทย.....32

7. เรื่องที่มักเข้าใจผิดเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ.....34

7.1 โอโซน.....34

7.2 เผาฟางในนาข้าวและเพื่อทำไร่หมุนเวียนทำให้โลกร้อน.....35

เอกสารอ้างอิง.....37

1. บทนำ

เมื่อสิบกว่าปีก่อน นักสิ่งแวดล้อมที่กล่าวถึงปัญหาเรื่องโลกร้อนมักจะถูกมองกล่าวหาว่า เป็นพวกมองโลกในแง่ร้าย แต่ในช่วง 2 – 3 ปีที่ผ่านมานี้ วิกฤตการณ์โลกร้อนได้เริ่มปรากฏให้เห็นเป็นรูปธรรม จนไม่มีใครสามารถปฏิเสธว่า เรากำลังเผชิญหน้ากับวิกฤตการณ์สิ่งแวดล้อมครั้งสำคัญ (และครั้งรุนแรงอย่างมาก) ในประวัติศาสตร์ของมนุษยชาติ

เรื่องโลกร้อนมิใช่ทฤษฎีที่ลึกลับทางวิทยาศาสตร์ การทำความเข้าใจเกี่ยวกับเรื่องนี้จะช่วยให้เราเข้าใจ และสามารถปรับตัวและเตรียมตัวในการรับมือกับวิกฤตการณ์นี้ได้ดีขึ้น บทความนี้พยายามประมวลสรุปข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวกับเหตุที่โลกร้อนขึ้นซึ่งเป็นข้อสรุปที่นักวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่ลงความเห็นร่วมกันว่าเป็นข้อเท็จจริงทั้งสิ้น โดยพยายามใช้ภาษาที่ง่ายๆ สำหรับให้นักพัฒนาทั้งหลายสามารถเข้าใจในเรื่องราวที่สลับซับซ้อนนี้ได้ง่ายขึ้น

ผู้เขียนขอขอบคุณ คุณศจินทร์ ประชาสันติ์ และคุณนาถพงศ์ พัฒนพันธ์ชัย จากมูลนิธิเกษตรกรรมยั่งยืน (ประเทศไทย) ที่ช่วยอ่านสำเนาร่างเอกสารและให้ความคิดเห็นในการปรับปรุงเอกสารนี้

เอกสารนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการ "โครงการสนับสนุนการปรับตัว เพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ" ซึ่งได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) รายละเอียดเกี่ยวกับโครงการฯ และข้อมูลอื่นๆ เกี่ยวกับเรื่องนี้สามารถติดตามได้จากเว็บไซต์ www.greennet.or.th/climate

วิฑูรย์ ปัญญากุล
มูลนิธิสายใยแผ่นดิน / กรีนเนท
กันยายน 2552

2. การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศเป็นเรื่องธรรมชาติ

นับแต่ที่โลกได้อุบัติขึ้นเมื่อราว 4,600 ล้านปีก่อน ภูมิอากาศของโลกได้มีการเปลี่ยนแปลงมาตลอด ทั้งร้อนขึ้นและเย็นลง ในช่วงระยะแรกๆ เมื่อ 3,700 ล้านปีก่อน โลกของเราน่าจะมีอุณหภูมิสูงกว่าที่เป็นอยู่ในปัจจุบันประมาณ 9.5°C หลังจากนั้นอีก 200 ล้านปี คือเมื่อ 3,500 ล้านปีก่อน สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กพวกพืชเซลเดียวจึงได้ถือกำเนิดขึ้น หลังจากนั้น โลกก็เข้าสู่ช่วงหนาวเย็นอีก 2 ครั้ง ในช่วงประมาณ 2,700 และ 1,800 ล้านปีก่อน ในช่วงปลายมหายุค Precambrian (ประมาณ 1,000 ล้านปีก่อน) โลกก็เข้าสู่ช่วงหนาวเย็นอีกประมาณ 3 ครั้ง แต่ละครั้งกินเวลานานราว 100 ล้านปี จากนั้นโลกจึงเข้าสู่มหายุค Paleozoic ที่มีอากาศอบอุ่นเป็นเวลานานราว 300 ล้านปี (คือช่วง 570 - 245 ล้านปีก่อน) แต่ก็มีช่วงที่มีอากาศหนาวเย็นแทรกเข้ามาอยู่ 2 ช่วง คือ ช่วงเมื่อ 450 และ 350 ล้านปีก่อน

หลังจากนั้น โลกก็เข้าสู่มหายุค Mesozoic ซึ่งเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิอบอุ่นโดยตลอดเป็นเวลานาน 180 ล้านปี (คือจากช่วง 245 - 65 ล้านปีก่อน) ซึ่งช่วงนี้เป็นช่วงที่แผ่นดินบนโลกได้แยกตัวออกจากกัน และเป็นช่วงที่เกิดมีไดโนเสาร์ขึ้น มหายุคนี้สิ้นสุดลงพร้อมๆ กับการสูญพันธุ์ของไดโนเสาร์ และโลกหนาวเย็นลงเป็นระยะสั้นๆ เมื่อ 65 ล้านปีก่อน จากนั้นโลกจึงเข้าสู่มหายุค Cenzoic ซึ่งอุณหภูมิเริ่มลดลง แต่ก็ยังนับว่าอบอุ่นอยู่ แต่ก็มีช่วงที่โลกเข้าสู่ภาวะหนาวเย็นมาก 2 ช่วง คือ เมื่อ 50 และ 38 ล้านปีก่อน นอกจากนี้ ในช่วงปลายของยุคนี้ ก็ยังมีช่วงที่มีอากาศเย็น ซึ่งทำให้น้ำแข็งจากขั้วโลกแผ่ขยายมาปกคลุมพื้นที่ผิวโลกมากถึงเกือบหนึ่งในสามอยู่ถึง 7 ครั้ง โดยเกิดขึ้นห่างกันประมาณ 100,000 ปีในแต่ละครั้ง แต่เมื่อ 12,000 ปีก่อน โลกได้อบอุ่นขึ้นอย่างมาก จนทำให้น้ำแข็งที่เคยปกคลุมที่ทวีปอเมริกาเหนือและสแกนดิเนเวียนละลายตัวลง และทำให้น้ำทะเลยกตัวสูงขึ้นอย่างเช่นที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน ปัจจุบันนี้ เรายังคงอยู่ในยุคมหายุค Cenzoic อยู่ ซึ่งในช่วงตั้งแต่ 10,000 ปีที่ผ่านมา โลกของเรามีอากาศที่อบอุ่นสบายและค่อนข้างมีเสถียรภาพมาโดยตลอด แต่ก็มีช่วงสั้นๆ ที่เกิดอากาศหนาวเย็นมาก เช่น เมื่อปี ค.ศ. 1450-1850 ที่มีอากาศหนาวเย็นมาก จนเรียกกันว่าเป็นยุคน้ำแข็งเล็ก (Little Ice Age)

จะเห็นว่า ภูมิอากาศบนโลกได้เปลี่ยนแปลงมาโดยตลอด ซึ่งนักวิทยาศาสตร์ได้พยายามพัฒนาทฤษฎีต่างๆ เพื่อใช้อธิบายสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโลก โดยมีทั้งปัจจัยเกี่ยวกับกระแสลม วงโคจรโลก จุดดับในดวงอาทิตย์ กระแสน้ำ ฝุ่นละอองในอากาศจากภูเขาไฟหรือลูกอุกาบาต และก๊าซเรือนกระจก ซึ่งในส่วนต่อจากนี้จะได้อธิบายทฤษฎีเหล่านี้แต่เพียงคร่าวๆ

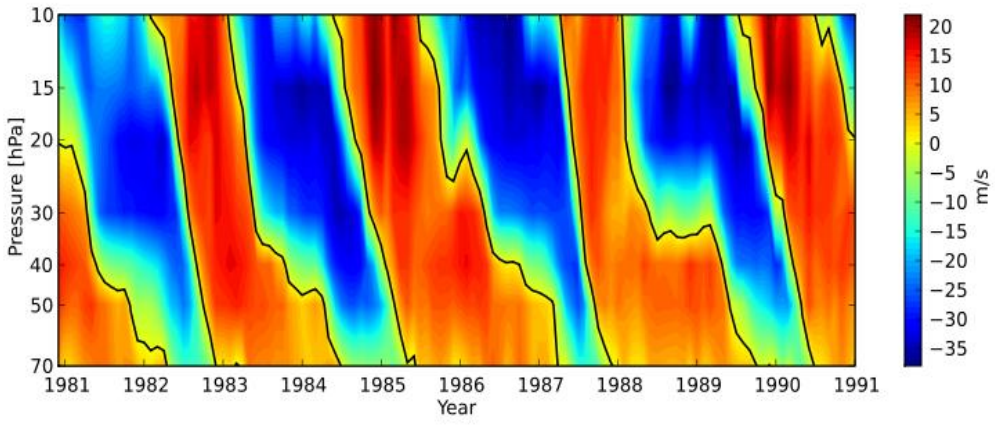
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับกระแสลม

มีทฤษฎีเกี่ยวกับกระแสลมที่ใช้ในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่สำคัญอยู่ 2 เรื่อง คือ ปรากฏการณ์การเปลี่ยนช่วงของการกวัดแกว่งของลมทุกรอบสองปี และปรากฏการณ์เอลนิลโญ-ลาณีญา

ซึ่งทั้งสองทฤษฎีนี้น่าจะใช้อธิบายการผันผวนของภูมิอากาศในช่วงเวลาสั้นๆ ได้เท่านั้น ไม่ใช่การเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศในระยะยาว

(ก) การเปลี่ยนเฟสของการกวัดแกว่งของลมทุกรอบสองปี (Quasi-Biennial Oscillation - QBO)

จาก www.wikipedia.org ระบุว่า QBD นี้เป็นการพัดสลับกันของลมบริเวณศูนย์สูตรเป็นช่วงๆ ของลมตะวันออกและลมตะวันตกในชั้นสตราโตสเฟียร์ โดยแต่ละช่วงจะกินเวลากว่า 2 ปี คือ ประมาณ 28 - 29 เดือน โดยลมจะเกิดขึ้นในด้านบนของชั้นสตราโตเฟียร์ด้านล่าง และค่อยๆ ขยายลงมาด้านล่างราว 1 กิโลเมตรทุกๆ เดือน จนกระทั่งหมดกำลังลงในเขตโทรโพพอส (tropopause) ซึ่งเป็นบริเวณรอยต่อระหว่างชั้นสตราโตสเฟียร์และชั้นโทรโพสเฟียร์ การขยับตัวลงด้านล่างของลมตะวันออกนั้นค่อนข้างจะไม่เป็นแบบแผนเหมือนลมตะวันตกเท่าไหร่นัก และมีความแรงของลมเป็นเกือบสองเท่าของลมตะวันตก ในทางด้านบนของกระแสลม QBO นี้ กระแสลมตะวันออกจะเป็นกระแสหลัก ในขณะที่ด้านล่างกระแสลมตะวันตกจะเป็นกระแสหลัก ปรากฏการณ์นี้ทำให้เกิดผลกระทบต่อบรรยากาศโลกหลายด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำให้โอโซนในชั้นสตราโตสเฟียร์ลดลง การเปลี่ยนแปลงลมมรสุม และการหมุนเวียนของบรรยากาศในชั้นสตราโตสเฟียร์ในช่วงฤดูหนาวของเขตขั้วโลกเหนือ ซึ่งทำให้เกิดอากาศอบอุ่นขึ้นอย่างกระทันหันในเขตดังกล่าว



Time–height plot of equatorial zonal wind (u) in m/s between about 20 and 35 km altitude above sea level over a ten-year period. Positive values denote westerly winds and the contour line is at 0 m/s.

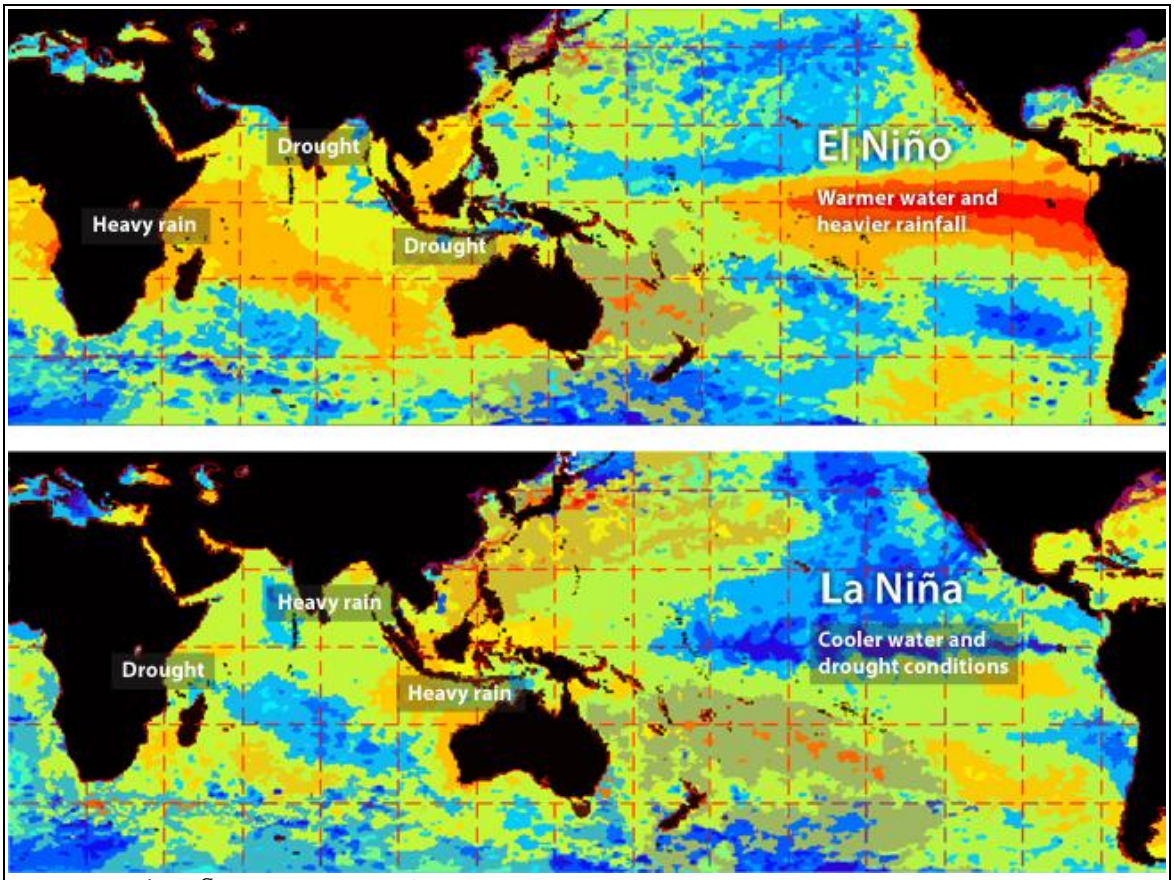
(ข) เอลนิลโญ และลาณีญา

ในช่วงปรากฏการณ์ลาณีญา กระแสลมในมหาสมุทรแปซิฟิคจะพัดไปทางทิศตะวันตก ทำให้น้ำอุ่นที่อยู่ด้านบนของผิวน้ำ ไหลไปที่ชายฝั่งประเทศออสเตรเลีย และหมู่เกาะต่างๆ ที่อยู่ทางเหนือของออสเตรเลีย เมื่อน้ำอุ่นไหลไปทางตะวันตก กระแสน้ำฮัมโบลด์ที่เย็นกว่าที่อยู่ด้านล่างก็จะไหลขึ้นด้านบน บริเวณชายฝั่งทะเลแปซิฟิคของทวีปอเมริกาใต้

เมื่อกำลังกระแสลมอบอุ่นในมหาสมุทรแปซิฟิคอ่อนตัวลง ปรากฏการณ์เอลนิโญก็จะเริ่มขึ้น โดยน้ำอุ่นที่เคยพัดไปทางตะวันตกจะไหลย้อนกลับไปทางตะวันออก และดันกระแสน้ำเย็นฮัมโบลด์

กลับไปอยู่ใต้ทะเลเหมือนเดิม กระแสน้ำอุ่นที่ไหลกลับไปนี้จะพัดพาไอน้ำจากมหาสมุทรเข้าไปที่ทวีปอเมริกาใต้ ทำให้เกิดฝนตกในทวีปนั้น ส่วนน้ำในมหาสมุทรแปซิฟิคด้านตะวันตกจะเย็นตัวลง ทำให้น้ำจากมหาสมุทรระเหยน้อยลง ส่งผลทำให้เกิดภาวะแห้งแล้งในทวีปออสเตรเลีย และภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

เมื่อเอลนิโญรุนแรงสุดขั้ว จะเกิดภาวะแห้งแล้ง น้ำท่วม และสภาพอากาศผันผวนจะเกิดขึ้นในพื้นที่ต่างๆ เกือบสองในสามของโลก โดยปรากฏการณ์เอลนิโญที่รุนแรงที่สุดเกิดขึ้นในช่วงปี พ.ศ. 2540-41 จนถูกบันทึกว่าเป็นปีที่เกิดภาวะแห้งแล้งในประเทศต่างๆ อย่างกว้างขวาง และเกิดไฟป่าในหลายแห่งทั่วโลก

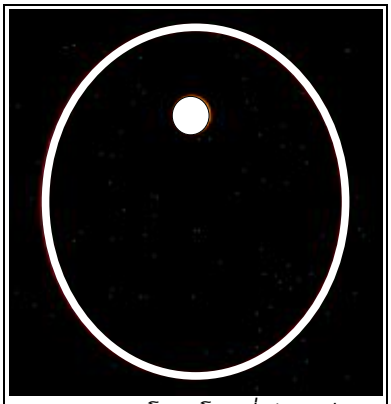


ปรากฏการณ์เอลนิโญ (รูปบน) และลาณีญา (รูปล่าง)
http://www.whoi.edu/page.do?pid=7501&tid=441&cid=83611&ct=61&article=53506

2.2 วงโคจรและการหมุนรอบตัวเองของโลก

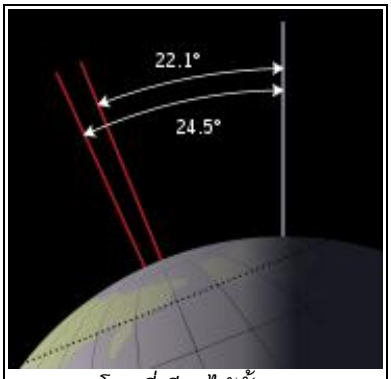
ทฤษฎีมิแลนโควิทช์ (Milankovitch Theory) ได้พยายามอธิบายการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโลกในระยะยาวว่า เกิดจากปรากฏการณ์ 3 เรื่อง คือ วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ องศาของแกนโลก และการส่ายไปมาของแกนหมุนของโลก ซึ่งทั้งสามปรากฏการณ์นี้เป็นวัฏจักรธรรมชาติ ที่เกิดขึ้นเป็นช่วงเวลาต่างกัน

วัฏจักรแรกคือ วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ (Earth's eccentricity) ซึ่งเป็นวัฏจักรที่ใช้เวลานานที่สุด โดยวงโคจรโลกรอบดวงอาทิตย์ ที่เป็นวงรีนั้น จะมีการเปลี่ยนแปลงทุก 100,000 ปี เมื่อวงโคจรโลกรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรีมากที่สุด ในช่วงนั้นโลกก็จะทั้งอยู่ใกล้กับดวงอาทิตย์มากที่สุด และห่างจากดวงอาทิตย์มากที่สุดด้วย ในช่วงดังกล่าว ความเข้มข้นของรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลกในแต่ละช่วงฤดูกาลของปีก็จะแตกต่างกันอย่างมาก ในช่วงปัจจุบันนี้ วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ไม่ได้เป็นรูปวงรีมากนัก ทำให้ความแตกต่างของรังสีดวงอาทิรย์ที่ส่องมาถึงผิวโลกในช่วงเดือนมกราคม แตกต่างจากรังสีที่ส่องมาในช่วงเดือนกรกฎาคม เพียงแค่ 6% เท่านั้น แต่ในช่วงที่วงโคจรเป็นรูปวงรีมากๆ ความแตกต่างของรังสีในช่วงต้นปีและกลางปีอาจมากถึง 20-30% เลยทีเดียว การเปลี่ยนแปลงของรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลกนี้มีผลอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศบนโลก



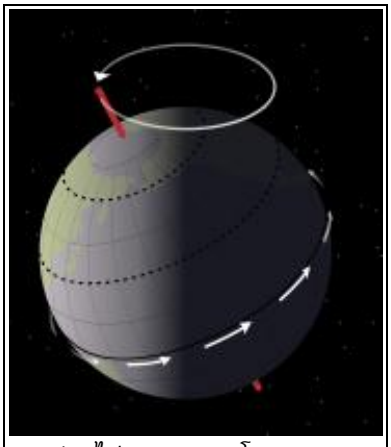
วงโคจรโลกที่เป็นวงรี 0.5
http://en.wikipedia.org/wiki/Milankovitch_cycles

วัฏจักรที่สองจะใช้เวลาราว 41,000 ต่อรอบ ซึ่งวัฏจักรนี้เกี่ยวข้องกับแกนของโลก (axial tilt) ที่มีมุมเอียงที่ต่างกันไป ในช่วงต่างๆ มุมเอียงของแกนโลกจะอยู่ราว 22.1 - 24.5 องศา ซึ่งทำให้มีผลต่อบริเวณพื้นผิวบนโลกที่รังสีจากดวงอาทิตย์อาจตกกระทบแตกต่างกันออกไปเมื่อแกนโลกเปลี่ยนองศาไป ในปัจจุบันแกนโลกเอียงอยู่ในช่วงกลางๆ ของมุมเอียง คือประมาณ 23.44 องศา



แกนของโลกที่เอียงได้ตั้งแต่ 22.1 - 24.5 องศา
http://en.wikipedia.org/wiki/Milankovitch_cycles

ส่วนวัฏจักรที่สาม ซึ่งเป็นวัฏจักรที่สั้นที่สุดคือใช้เวลาราว 26,000 ปีต่อรอบ ซึ่งวัฏจักรนี้จะสัมพันธ์กับการส่ายไปมาของแกนโลก (precession) โดยในช่วงหนึ่งของวัฏจักรแกนโลกจะชี้ไปที่ดาวเหนือและแกนโลกจะค่อยๆ ย้ายไปชี้ที่ดาว Vega การส่ายของแกนโลกนี้มีผลต่อความรุนแรงของฤดูกาล กล่าวคือเมื่อแกนโลกทางเหนือชี้ตรงไปที่ดาว Vega ฤดูหนาวก็จะหนาวเย็นเป็นพิเศษ ในขณะที่ฤดูร้อนก็จะร้อนมากขึ้นเป็นพิเศษด้วย

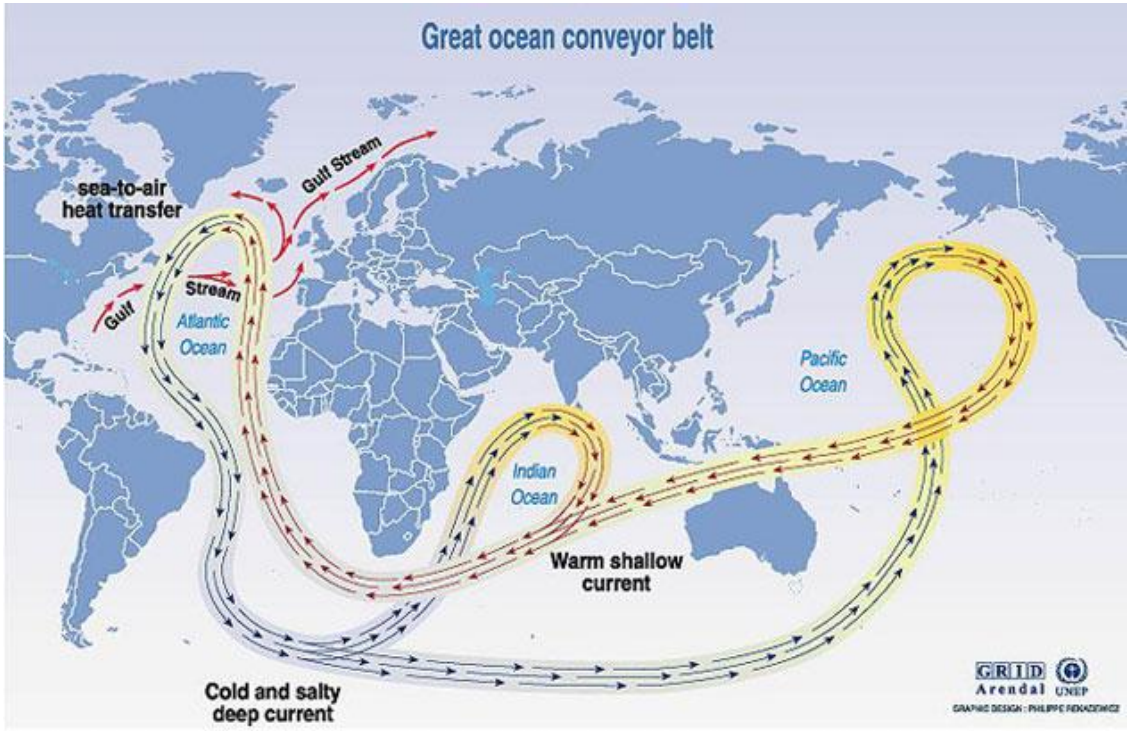


การส่ายไปมาของแกนโลก
http://en.wikipedia.org/wiki/Milankovitch_cycles

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น การเปลี่ยนแปลงทั้งสามลักษณะของวงโคจรโลก แกนองศา และการส่ายของแกนโลก ทำให้ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลกเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศของโลกโดยรวม

2.3 กระแสน้ำ

ในระบบการไหลเวียนของกระแสน้ำในมหาสมุทรที่เชื่อมต่อถึงกันทั่วโลก กระแสการไหลของ Great Ocean Conveyor Belt ที่กระแสน้ำอุ่นจากทางตอนใต้ไหลขึ้นไปทางตอนเหนือ โดยเฉพาะกระแสน้ำกัลฟ์สตรีม ซึ่งเป็นกระแสน้ำที่ไหลหมุนเวียนไปมาระหว่างมหาสมุทรแอตแลนติก โดยเริ่มจากบริเวณตอนกลางของมหาสมุทรแอตแลนติกที่อยู่ใกล้เขตเส้นศูนย์สูตร ซึ่งได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์มาก น้ำอุ่นนี้จะไหลขึ้นไปทางเหลือ ช่วยทำให้ประเทศในเขตยุโรปอบอุ่นขึ้น เมื่อน้ำในกระแสกัลฟ์สตรีมปล่อยความร้อนออกมา น้ำที่เย็นก็จะจมตัวคล้ายกับน้ำตกขนาดใหญ่กลางมหาสมุทร น้ำตกนี้เองที่ทำหน้าที่เสมือนเป็นแหล่งพลังงาน ที่ผลักดันให้กระแสน้ำไหลไปในที่ต่างๆ ทั่วโลก แต่ถ้าระบบการไหลของน้ำหยุดชะงักลง (เช่น เพราะมีน้ำจืดจากน้ำแข็งขั้วโลกที่ละลาย ทำให้น้ำทะเลเค็มน้อยลง น้ำทะเลบริเวณแอตแลนติกเหนือก็จะไม่จมตัวลง) ยุโรปก็อาจเข้าสู่ยุคหนาวเย็นอย่างมากได้



Source: Broecker, 1991, in Climate change 1995, Impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific-technical analyses, contribution of working group 2 to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change, UNEP and WMO, Cambridge press university, 1996.

กระแสน้ำอุ่นและน้ำเย็น รวมทั้งกระแสน้ำกัลฟ์สตรีม
http://www.neaq.org/conservation_and_research/climate_change/climate_change_and_the_oceans.php

2.4 การเปลี่ยนแปลงของรังสีดวงอาทิตย์

ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อวงโคจรและการหมุนรอบตัวเองของโลกที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องมายัง ยังมีปัจจัยอื่นที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของรังสีดวงอาทิตย์ได้อีกอย่างน้อย 3 ปรากฏการณ์ คือ

(ก) จุดดับดวงอาทิตย์

จุดดับบนพระอาทิตย์ (sunspot) เป็นทฤษฎีหนึ่งที่นักวิทยาศาสตร์บางคนได้ตั้งขึ้น เพื่อใช้อธิบายความผันผวนของปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลก พื้นที่ที่เป็นจุดดับจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าบริเวณโดยรอบ และมีสนามแม่เหล็กที่มีปั่นป่วนสูงมาก ซึ่งทำให้เกิดการขัดขวางกระบวนการพาความร้อนบนพื้นผิวดวงอาทิตย์ เกิดเป็นพื้นที่ที่มีความเข้มของแสงต่ำกว่าบริเวณโดยรอบ และเมื่อจุดมืดมีจำนวนมากจะทำให้การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์มีปริมาณลดลง (http://th.wikipedia.org/wiki/จุดมืดดวงอาทิตย์, 2009) ซึ่งจะส่งผลต่ออุณหภูมิบนโลกได้ด้วย

(ข) เถ้าและก๊าซจากภูเขาไฟ

เมื่อเกิดการระเบิดของภูเขาไฟ จะมีขี้เถ้าจำนวนมากที่ถูกพ่นออกมาสู่ชั้นบรรยากาศโลก เถ้าภูเขาไฟเหล่านี้สามารถกระจายออกปกคลุมโลกได้เป็นบริเวณกว้าง และล่องลอยอยู่ในอากาศได้นานหลายเดือน ถ้ามีจำนวนมาก เถ้าเหล่านี้จะกันไม่ให้แสงแดดส่องมายังโลก ทำให้อุณหภูมิบนผิวโลกลดลง และโลกก็จะเข้าสู่ภาวะหนาวเย็นได้ นอกจากนี้ การระเบิดของภูเขาไฟยังปล่อยก๊าซกำมะถัน (SO_2) ซึ่งเมื่อก๊าซนี้ลอยขึ้นไปในชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์ ก๊าซนี้จะทำปฏิกริยากลายเป็นฝุ่นกรดกำมะถัน (sulfuric acid particles) ซึ่งมีคุณสมบัติในการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ได้ดี ผลก็คือ รังสีดวงอาทิตย์ที่จะส่องมายังโลกน้อยลงเช่นกัน

(ค) ลูกอุกาบาตพุ่งชนโลก

การพุ่งชนโลกของลูกอุกาบาตขนาดใหญ่ จะทำให้เกิดเถ้าควันจำนวนมาก ที่ล่องลอยขึ้นไปในชั้นบรรยาโลก และเกิดผลกระทบในทำนองเดียวกันกับขี้เถ้าจากการะเบิดของภูเขาไฟเช่นกัน

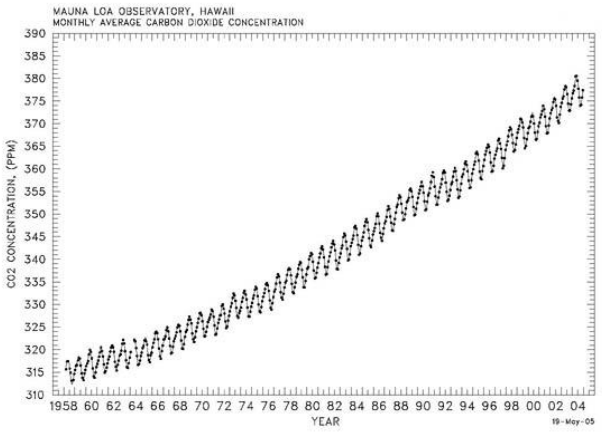
2.5 การหลุดรอดของก๊าซเรือนกระจกใต้ดิน

เชื่อกันว่ามีก๊าซมีเทนจำนวนมากที่สะสมอยู่ใต้ดิน ทั้งที่อยู่ที่บริเวณใต้หิมะน้ำแข็งในทวีปอาร์คติคและในโคลนใต้มหาสมุทรบางแห่ง เมื่อเกิดแผ่นดินไหวหรือเหตุการณ์บางอย่าง ก๊าซมีเทนจะถูกปล่อยออกมาจะทำให้เกิดปฏิกริยาเรือนกระจก (ดูรายละเอียดเกี่ยวกับก๊าซมีเทนและปฏิกริยาเรือนกระจกในบทถัดไป) ส่งผลให้อุณหภูมิของผิวโลกเพิ่มสูงขึ้น จนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระบบภูมิอากาศโลกได้เช่นกัน เหตุการณ์ลักษณะนี้ได้เคยเกิดขึ้นมาแล้ว เมื่อราว 55 ล้านปีก่อน ที่เกิดการหลุดรอดของก๊าซธรรมชาติ (ที่ประกอบด้วยก๊าซมีเทนเป็นส่วนใหญ่) จากร่องลึก (crater) ใต้ท้องทะเลบริเวณนอกชายฝั่งของประเทศนอร์เวย์ ก๊าซมีเทนที่อยู่ในก๊าซที่พลวยพุ่งขึ้นมานี้ส่วนใหญ่ไม่ได้โผล่พ้นผิวน้ำทะเล แต่จะรวมกับก๊าซอ๊อกซิเจนที่อยู่ในน้ำทะเลทำปฏิกิริยากันกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดอ๊อกไซด์ที่ลอยพ้นน้ำขึ้นมา ทำให้บรรยายผิวโลกมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากเป็น 2 เท่าของปัจจุบัน เมื่อกันทะเลปราศจากอ๊อกซิเจนสิ่งมีชีวิตต่างๆ ในท้องทะเลตายลงหมด จนเกิดการสูญพันธุ์ครั้งใหญ่ในมหาสมุทรโบราณ และเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก ที่ทำให้อุณหภูมิผิวโลกร้อนขึ้นอย่างมาก

3. ก๊าซเรือนกระจก

ในบรรยากาศโลกประกอบด้วยก๊าซไนโตรเจนเป็นส่วนใหญ่ คือราว 75% รองลงมาคือ ออกซิเจน ประมาณ 20% แต่ที่เหลืออีก 5% เป็นก๊าซหลากหลายชนิด ซึ่งก๊าซบางชนิดมีคุณสมบัติทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก จึงเรียกก๊าซพวกนี้ว่า ก๊าซเรือนกระจก ก๊าซเรือนกระจกที่เป็นก๊าซธรรมชาติประกอบด้วย คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ไนตรัสออกไซด์ และโอโซน นอกจากนี้ ยังมีก๊าซที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้นสำหรับใช้ในภาคอุตสาหกรรมหลายตัวที่เป็นก๊าซเรือนกระจกด้วย เช่น CFCs

นักวิทยาศาสตร์ได้พยายามที่จะศึกษาเกี่ยวกับก๊าซเรือนกระจกมานาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศโลก การเก็บข้อมูลก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นที่รู้จักกันมากที่สุด ก็คือ การตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่บนภูเขามัวน่าโลบนเกาะฮาวาย โดยนักภูมิอากาศ ชาร์ล คีลลิ่ง ซึ่งได้ทำการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากศูนย์สังเกตการณ์มัวน่าโล (Mauna Loa Observatory) และเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 33 ปี ซึ่งเมื่อนำข้อมูลที่ตรวจพบมาเขียนเป็นกราฟ ได้รูปกราฟที่น่าสนใจมาก กราฟนี้เป็นที่รู้จักกันว่า กราฟคีลลิ่ง (keeling curve) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ในช่วงฤดูใบไม้ผลิของทุกปีในประเทศเขตหนาวและเขตอบอุ่น ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง เพราะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกดูดซับโดยพืชที่กำลังเจริญเติบโต แต่เมื่อถึงฤดูใบไม้ร่วงและหนาว เมื่อใบไม้ผุพังและสลายตัว ทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มปริมาณความเข้มข้นขึ้น แต่ที่น่าสนใจก็คือ ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี กราฟคีลลิ่งจึงเป็นหลักฐานสำคัญที่แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศของโลกชิ้นแรกๆ



กราฟคีลลิ่ง แสดงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของบรรยากาศโลก
http://www.aip.org/history/climate/xMaunaLoa.htm

การขุดแกนน้ำแข็งในขั้วโลกเหนือ เพื่อเก็บฟองอากาศโลกในอดีต
http://icestories.exploratorium.edu/dispatches/big-ideas/climate-change/

นอกจากนี้ ยังได้มีความพยายามศึกษาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศในอดีตด้วยการขุดเจาะชั้นน้ำแข็งในทวีปแอนตาร์คติคและที่ต่างๆ

ชั้นน้ำแข็งเหล่านี้ก็คือ ชั้นของหิมะที่ตกลงมาในแต่ละปี ซึ่งจะถูกแยกชั้นด้วยละอองขี้เถ้าในช่วงฤดูร้อน และหิมะที่ตกในฤดูถัดไปก็จะกดทับหิมะของปีก่อนไว้ ทำให้หิมะกลายเป็นก้อนหิมะและกลายเป็นชั้นน้ำแข็งในที่สุด ในหิมะที่ตกทับถมกันนี้จะมีฟองอากาศขนาดเล็ก ที่ปนมาอยู่ด้วย ซึ่งฟองอากาศนี้ก็คือ บรรยากาศของโลกในปีนั้นๆ ซึ่งนักวิทยาศาสตร์สามารถใช้ฟองอากาศดังกล่าวเพื่อประเมินสภาพภูมิอากาศในอดีตได้ แม้แต่ฝุ่นขี้เถ้าในชั้นน้ำแข็งก็ให้ข้อมูลสำคัญได้ เพราะมันช่วยบ่งบอกความแรงและทิศทางของลม และสภาพอากาศในเขตพื้นที่ด้านล่างที่ต่ำกว่าที่ตั้งของภูเขาน้ำแข็ง

ฟองอากาศที่อยู่ในแกนน้ำแข็ง
http://oregonstate.edu/leadership/president/2007Report/ice.php

ในงานวิจัยเกี่ยวกับสภาพอากาศและก๊าซเรือนกระจกในอดีต นักวิทยาศาสตร์ได้ขุดชั้นน้ำแข็งลึกลงไปเป็นระยะทางหลายกิโลเมตร เพื่อเก็บตัวอย่างฟองอากาศที่ติดอยู่ในชั้นน้ำแข็งออกมาวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซต่างๆ ในบรรยากาศโลกในอดีต คณะนักวิจัยชุดแรกๆ ได้เริ่มดำเนินการสำรวจนี้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2523 โดยสามารถเก็บตัวอย่างของฟองอากาศในชั้นน้ำแข็งที่ตกทับถมเมื่อราว 160,000 ปีก่อน

3.1 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

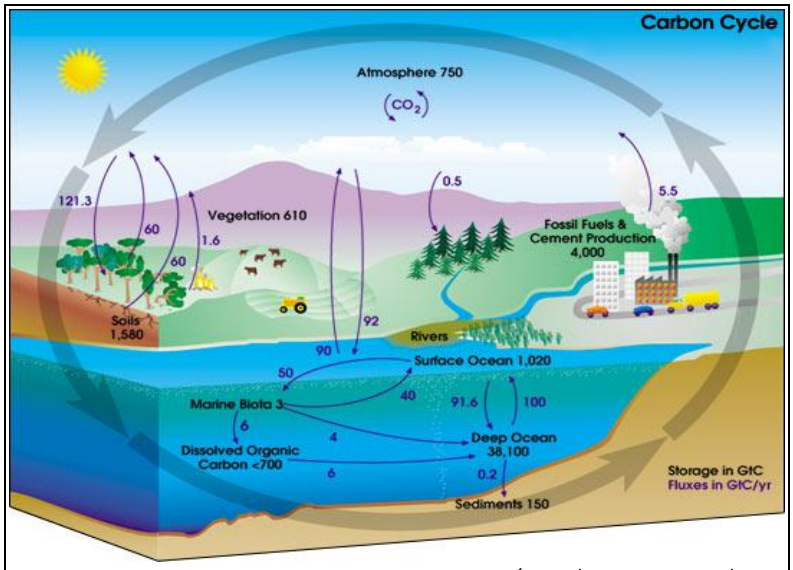
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญมากที่สุดที่เกิดจากมนุษย์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณที่ต่ำมาก คือแค่เพียงร้อยละ 0.03 ในบรรยากาศโลก แต่ก๊าซนี้กลับมีบทบาทที่สำคัญต่อสิ่งมีชีวิตทั้วงมวลบนโลก โดยเฉพาะพืช พืชสามารถที่จะดูดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์แตกโมเลกุลของก๊าซออกเพื่อใช้ในการสร้างเนื้อเยื่อของพืช กระบวนการนี้คือ การสังเคราะห์แสง (photosypthesis) แม้แต่สาหร่ายเซลเดียวในทะเลก็สามารถสังเคราะห์แสงได้เช่นเดียวกัน ผลพลอยได้จากการสังเคราะห์แสง คือ ก๊าซออกซิเจนที่พืชและสาหร่ายปล่อยออกมา

ในเวลากลางคืน เมื่อไม่มีแสงอาทิตย์ พืชและอัลจีจะหายใจเอาออกซิเจน และปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา การหายใจของพืชนี้ก็เช่นเดียวกับการหายใจของมนุษย์และสัตว์ ซึ่งจะทำให้มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเพิ่มมากขึ้น

เมื่อพืชหรือสัตว์ตายและเน่าเปื่อย คาร์บอนที่สะสมในพืชและสัตว์จะถูกปล่อยออกมาในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในทำนองเดียวกันการเผาไม้หรือการเผาเชื้อเพลิงฟอสซิลต่างๆ จะปล่อยก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศเพิ่มขึ้น ดินตามธรรมชาติมีคาร์บอนมากถึงร้อยละ 50 ของน้ำหนักแห้งในรูปต่างๆ รวมทั้งสารอินทรีย์ที่กำลังเน่าเปื่อยผุพังและสลายตัว ดังนั้นเมื่อมีการไถพลิกหน้าดิน คาร์บอนจำนวนหนึ่งจึงถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ในธรรมชาติ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นรูปแบบหนึ่งของสารคาร์บอนที่หมุนเวียนเป็นวัฏจักร เรียกว่า วงจรคาร์บอน (carbon cycle) ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ วงจรคาร์บอนชีวภาพ/กายภาพ (biological/physical carbon cycle) และ วงจรคาร์บอนธรณีภาพ (geological carbon cycle) โดยวงจรคาร์บอนชีวภาพจะเป็นวงจรที่สั้นกว่า เพียงไม่กี่วันจนถึงเป็นพันปี ในขณะที่วงจรคาร์บอนธรณีภาพจะใช้เวลาเป็นล้านๆ ปี



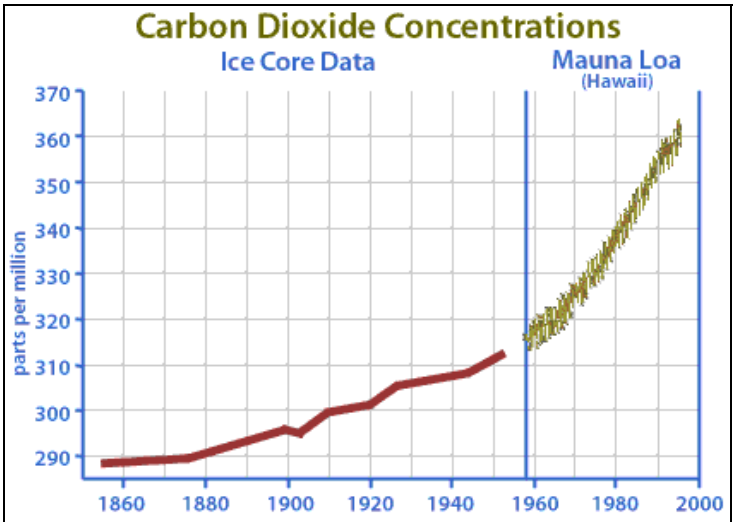
วงจรคาร์บอนชีวภาพและธรณีภาพ
http://dev.ulb.ac.be/ceese/ABC_Impacts/glossary/carboncycle.php

วงจรคาร์บอนชีวภาพเป็นการหมุนเวียนของคาร์บอนระหว่างสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ โดยพืชซึ่งหายใจเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศและแปรคาร์บอนนั้นให้เป็นส่วนหนึ่งของเซลพืช สัตว์ต่างๆ ที่กินพืชเป็นอาหาร ก็จะได้รับสารคาร์บอน ซึ่งส่วนหนึ่งก็จะเก็บสะสมไว้ในตัวเอง แต่ก็จะหายใจเอาสารคาร์บอนนี้ออกมาในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อพืชและสัตว์ตายลง กลายเป็นอินทรียวัตถุ จุลินทรีย์ก็จะทำการย่อยอินทรียวัตถุเหล่านี้ เก็บคาร์บอนส่วนหนึ่งไว้ในตัว และปล่อยคาร์บอนออกมาในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทนออกสู่บรรยากาศ ส่วนในมหาสมุทรก็เช่นกัน โฟโตแพลงตอนจะทำหน้าที่เหมือนกับพืชบนดินในการแปรรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้เป็นคาร์บอนอินทรีย์ ก่อนที่จะส่งต่อสารคาร์บอนนี้ให้กับสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ในทะเลที่กินโฟโตแพลงตอนเป็นอาหาร และส่งต่อให้กับสัตว์ทะเลอื่นๆ ตามห่วงโซ่อาหาร

ในส่วนของวงจรคาร์บอนธรณีภาพนั้น เกิดขึ้นในช่วงที่ระบบนิเวศโดยรวมมีการเก็บคาร์บอนสะสมไว้ในพืชและสัตว์มากกว่าที่ได้ปล่อยออกมา (ทั้งในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน) เมื่อพืชและสัตว์เหล่านี้ล้มตายลงและใช้เวลาเป็นล้านๆ ปี ในการแปรสภาพเป็นถ่านหินและน้ำมันดิบ สะสมอยู่ในชั้นหินใต้ดิน คาร์บอนจำนวนมหาศาลที่เคยอยู่ในวงจรคาร์บอนชีวภาพก็จะเคลื่อนย้ายไปอยู่ในวงจรคาร์บอนธรณีภาพแทน ในมหาสมุทรก็เช่นเดียวกัน คาร์บอนที่อยู่ในของโฟโตแพลงตอนที่ตายลงจะค่อยๆ จมลงสู่ก้นทะเลลึก ซึ่งเป็นที่อยู่หนึ่งของคาร์บอนในวงจรคาร์บอนธรณีภาพเช่นกัน

โดยรวมจะเห็นว่า ในระบบของโลกเรานี้ มีคาร์บอนที่หมุนเวียนไปมา โดยเฉพาะในวงจรคาร์บอนชีวภาพ และคาร์บอนที่ถูกเก็บสะสมไว้ในที่ต่างๆ ซึ่งที่เก็บสะสมคาร์บอนนี้เราเรียกว่า "อ่างคาร์บอน" หรือ carbon sinks อ่างคาร์บอนที่ใหญ่ที่สุดของโลกก็คือ ที่เก็บไว้ในรูปของถ่านหินและน้ำมันดิบ ซึ่งคาดว่าจะมีอยู่ประมาณ 66,000 - 100,000,000 กิกะตันคาร์บอน รองลงมาคือ ที่อยู่ใต้ท้องทะเลลึก 38,000 - 40,000 กิกะตันคาร์บอน และอันดับสาม คือ ที่เก็บสะสมไว้บนผิวดินในรูปของอินทรียวัตถุ 1,600 กิกะตันคาร์บอน (ทั้งในป่าธรรมชาติ ทุ่งหญ้าธรรมชาติ และทุ่งทรุนดารา ซึ่งเป็นที่ราบที่ไม่มีต้นไม้ใหญ่)

ในระบบธรรมชาติปกติ คาร์บอนที่หมุนเวียนไปมาทั้งที่อยู่บนผืนดินและในมหาสมุทรนั้นมีปริมาณที่สมดุล ไม่ได้ทำให้เกิดการเพิ่มของคาร์บอนในบรรยากาศ เช่น พืชที่เจริญเติบโตและตายลง ทำให้มีการหมุนเวียนของคาร์บอนประมาณ +60 และ -61 กิกะตันคาร์บอน[1] ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินทำให้มีการหมุนเวียนของคาร์บอน +1.5 และ -0.5 กิกะตัน (ซึ่งเกิดสมดุลในระบบของตัวเอง คือ +61.5 และ -61.5 กิกะตัน) ส่วนการหมุนเวียนของคาร์บอนระหว่างมหาสมุทรและบรรยากาศก็อยู่ในสภาพสมดุลเช่นเดียวกัน คือราว +90 และ -91 กิกะตัน แต่ที่เป็นคาร์บอนส่วนเกินที่มนุษย์ได้ปล่อยออกมาสู่บรรยากาศ จนทำให้ปริมาณคาร์บอนในบรรยากาศเพิ่มขึ้น[2] เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล (ซึ่งปล่อยคาร์บอนออกมาประมาณ 5.5 กิกะตันคาร์บอน/ปี) และจากกิจกรรมอื่นๆ เช่น การเปลี่ยนสภาพป่าและทุ่งหญ้าธรรมชาติ เพื่อการเกษตร อุตสาหกรรม พาณิชย์ หรือการทำการเกษตรเคมี (ปล่อยคาร์บอนออกมาราว 1.6 กิกะตันคาร์บอน/ปี) ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนในชั้นบรรยากาศโลก ซึ่งเดิมมีอยู่ประมาณราว 750 กิกะตัน เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว



ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศโลกที่เพิ่มขึ้นในช่วง 200 กว่าปีที่ผ่านมา
http://www.cotf.edu/ete/modules/climate/GCcarbon1.html

ในหลายปีที่ผ่านมา ได้มีการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ผลที่ออกมาแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อย่างชัดเจน โดยเพิ่มจากความเข้มข้นเฉลี่ย 280 ส่วนในล้านส่วน (ppm)[3] ในปีช่วงก่อนยุคปฏิวัติอุตสาหกรรม (ประมาณ พ.ศ. 2343) เป็น 380 ppm ในปัจจุบัน

1 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 3.67 ตันในบรรยากาศมีปริมาณเท่ากับสารคาร์บอน 1 ตัน

2. คาร์บอนที่มนุษย์ปล่อยออกมาสู่ชั้นนบรรยากาศ มีบางส่วนที่ระบบนิเวศธรรมชาติดูดซับไว้ได้ ทั้งในมหาสมุทรและพืชต่างๆ บนดิน

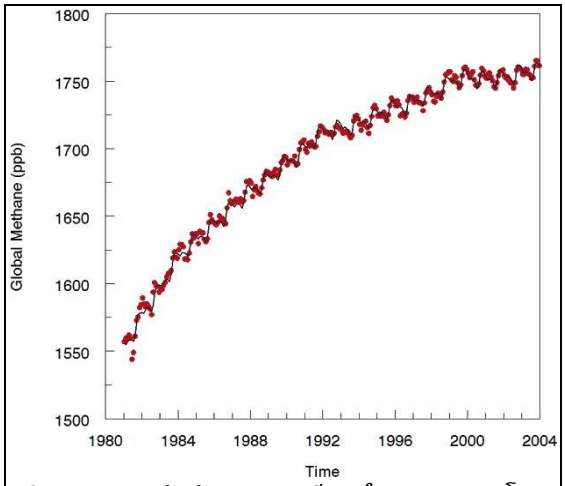
3 เนื่องจากปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีอยู่น้อยมาก จึงต้องใช้หน่วยเป็น "ส่วนในล้านส่วน" หมายความว่า ในบรรยากาศทั้งหมดล้านส่วนมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพียง 280 ส่วน เมื่อก่อนยุคอุตสาหกรรม

3.2 ก๊าซมีเทน

ก๊าซมีเทน (CH_4) เป็นก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในธรรมชาติอีกชนิดหนึ่ง ก๊าซมีเทนมีคุณสมบัติพิเศษคือเผาไหม้ได้ง่าย และเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อถูกเผาไหม้ โดยเปรียบเทียบกับก๊าซเรือนกระจกอื่น ก๊าซมีเทนสลายตัวได้ง่ายกว่า คือมีอายุเฉลี่ยนานแค่เพียง 10 ปี

ดังที่ได้อธิบายรายละเอียดไว้แล้วข้างต้น ก๊าซมีเทนเป็นส่วนหนึ่งของวงจรคาร์บอน โดยในธรรมชาติ เราพบก๊าซมีเทนปริมาณมากในแหล่งเดียวกันกับแหล่งน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ รวมทั้งในเหมืองถ่านหินต่างๆ และเชื่อกันว่า มีก๊าซมีเทนจำนวนมากสะสมในพื้นดินใต้หิมะในทวีปอาร์คติคและในโคลนใต้มหาสมุทรบางแห่งในลักษณะของอ่างคาร์บอนแบบหนึ่ง ก๊าซมีเทนในเหมืองแร่อาจก่อให้เกิดอันตรายได้ง่ายเพราะเมื่อก๊าซมีเทนผสมกับอากาศและมีประกายไฟ อาจก่อให้เกิดการระเบิดได้ง่าย อุบัติเหตุระเบิดในเหมืองถ่านหินหลายครั้งก็เกิดขึ้นจากปัจจัยนี้ หรือแม้แต่การเผาไม้เพื่อทำถ่านไม้ ก็มีการปล่อยก๊าซมีเทนออกมาเช่นกัน กิจกรรมของสิ่งมีชีวิตหลายชนิดทำให้เกิดก๊าซมีเทนขึ้น เช่น จุลินทรีย์ที่ย่อยอินทรียวัตถุในสภาพที่ปราศจากออกซิเจน เช่น กระเพาะของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ในหนองน้ำหรือที่มีน้ำขัง (รวมทั้งในนาข้าวด้วย) รวมถึง ปลวกก็มีการปล่อยก๊าซมีเทนปริมาณเล็กน้อยออกมาได้เช่นกัน แต่ในธรรมชาติ ก็มีการกำจัดมีเทนโดยกระบวนการที่เรียกว่า มีเทนออกซิเดชั่น (methane oxidation) โดยจุลินทรีย์ในดิน ที่ใช้คาร์บอนในมีเทนเป็นแหล่งพลังงาน (จุลินทรีย์กลุ่มนี้เรียกว่า methanotrophs)

ในปัจจุบัน กิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ได้ทำให้มีการปล่อยก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น ทั้งจากการรั่วซึมของก๊าซมีเทนจากการขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ น้ำมันดิบ และถ่านหิน รวมทั้งจากระบบท่อส่งก๊าซธรรมชาติต่างๆ การเลี้ยงปศุสัตว์ (รวมทั้งจากมูลสัตว์ที่ถูกจุลินทรีย์ย่อยในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน) การฝังกลบขยะอินทรีย (ซึ่งเมื่อถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์โดยไม่มีออกซิเจน ก็จะปล่อยก๊าซมีเทนออกมา) และการทำนาข้าวที่มีการขังน้ำในแปลงนา อย่างไรก็ดี ยังไม่สามารถสรุปได้ชัดว่า มีการปล่อยก๊าซมีเทนจากแต่ละแหล่งปริมาณเท่าไหร่ แต่เชื่อกันว่า การปล่อยก๊าซมีเทนโดยมนุษย์จะมีมากกว่าการเกิดเองทางธรรมชาติเกือบสองเท่าตัว



ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในบรรยากาศโลก
http://www.worldclimatereport.com/index.php/2007/04/13/methane-matters/

ผลก็คือ ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในชั้นบรรยากาศที่เคยคงระดับที่ 0.7 ppm มาตั้งแต่ในช่วงปลายของยุคน้ำแข็ง (10,000 ปีก่อน) จนกระทั่งถึงช่วงก่อนการปฏิวัติอุตสาหกรรม ได้ขยับตัวสูงขึ้นมาเรื่อยจนเกินระดับ 1.75 ppm ในปัจจุบัน ซึ่งเป็นปริมาณที่

สูงกว่าระดับเมื่อ 300 ปีก่อนถึง 2.5 เท่า ในทศวรรษที่ผ่านมา ก๊าซมีเทนในชั้นบรรยากาศเพิ่มขึ้นในอัตราเกือบร้อยละ 1 ต่อปี

3.3 ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O)

เป็นก๊าซเรือนกระจกอีกชนิดหนึ่ง ในอดีตก๊าซไนตรัสออกไซด์ถูกใช้เป็นยาสลบอย่างอ่อน หรือใช้ระงับความเจ็บ คุณสมบัติพิเศษประการหนึ่งของไนตรัสออกไซด์คือทำให้คนหัวเราะบางครั้งจึงเรียกว่า “ก๊าซหัวเราะ”

เรามีความรู้น้อยมากเกี่ยวกับกระบวนการเกิดของไนตรัสออกไซด์ในบรรยากาศ เชื่อกันว่าปริมาณก๊าซนี้ส่วนใหญ่ (เกือบร้อยละ 90) เกิดขึ้นจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในการเกษตรมีผลโดยตรงต่อปริมาณก๊าซไนตรัสออกไซด์ในอากาศด้วย นอกจากนี้การเผาเชื้อเพลิงฟอสซิลปล่อยไนตรัสออกไซด์จำนวนหนึ่งออกมา

ปริมาณก๊าซไนตรัสออกไซด์ในบรรยากาศมีความเข้มข้นน้อยมากหน่วยวัดที่ใช้จึงเล็กกว่า คือ 1 ในพันล้านส่วน (ppb) ในปี ค.ศ.1986 พบว่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนตรัสออกไซด์ในบรรยากาศอยู่ในระดับราว 310 ppb โดยมีอัตราเพิ่มราว 0.25% ต่อปี

ลักษณะสำคัญของไนตรัสออกไซด์คือมีอายุยาวนานมาก ก๊าซไนตรัสออกไซด์หนึ่งโมเลกุลในธรรมชาติอาจมีอายุนานถึง 150 ปี ดังนั้นถึงแม้จะมีปริมาณน้อย แต่ก๊าซนี้มีผลกระทบต่อเนื่องเป็นเวลานานทีเดียว

3.4 CFCs และสารสำหรับอุตสาหกรรม

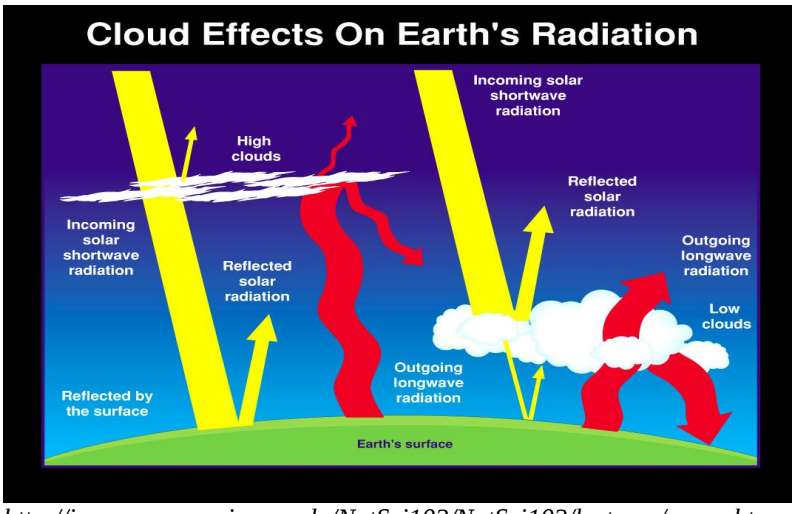
คลอโรฟลูโอโรคาร์บอน (chlorofluorocarbons-CFCs) เป็นก๊าซหนึ่งในหลายชนิดที่ผลิตขึ้นในกระบวนการอุตสาหกรรม ก๊าซนี้เริ่มนำออกใช้ครั้งแรกในคริสตทศวรรษ 1930 ในประเทศสหรัฐอเมริกาโดยบริษัทเจเนอรัลมอเตอร์ เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นหลายประการ เช่น ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ไม่ลุกไหม้ มีเสถียรภาพสูง ทำให้มีการนำคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย โดยเฉพาะในช่วงหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 บริษัทดูปองต์นำคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนไปใช้อย่างแพร่หลายภายใต้ชื่อการค้าว่า ฟรีออน (Freon) ซึ่งเป็นก๊าซในกลุ่มฮาโลคาร์บอน (Halocarbon) ก๊าซ CFCs ที่นิยมใช้กันมีอยู่ 2 ประการคือ CFC-11 และ CFC-12 ก๊าซ CFC 11 ใช้มากในการผลิตโฟม พลาสติกและในกระป๋องสเปรย์ต่างๆ ส่วน CFC-12 นั้นใช้ในเครื่องปรับอากาศและตู้เย็น รวมทั้งในการผลิตโฟมและในกระป๋องสเปรย์ นอกจากนั้นยังมีการใช้คลอโรฟลูโอโรคาร์บอนเป็นตัวทำละลายในการทำความสะอาดแผงวงจรคอมพิวเตอร์ในโรงงานอุตสาหกรรมอีกด้วย

คลอโรฟลูโอโรคาร์บอนมีคุณสมบัติที่มีเสถียรภาพสูง ทำให้คลอโรฟลูโอโรคาร์บอนมีช่วงชีวิตที่นานกว่าก๊าซอื่นๆ เช่น CFC-11 มีช่วงชีวิตในธรรมชาตินานถึง 65 ปี และ CFC-12 มีอายุนานถึง 130 ปี ดังนั้นแม้ว่าความเข้มข้นของคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนในบรรยากาศจะน้อย (CFC-11 มีปริมาณ 0.3 ppb และ CFC-12 ต่ำกว่า 0.5 ppb เล็กน้อย) แต่ก๊าซทั้งสองมีบทบาทสำคัญในการทำให้เกิดผลกระทบเรือนกระจก ปริมาณคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนในชั้นบรรยากาศมีอัตราการเพิ่มราวร้อยละ 4 ต่อปี

นอกจากนี้ ยังมีการสังเคราะห์สารใหม่ๆ สำหรับใช้ในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งสารนี้มีบทบาทในผลกระทบเรือนกระจก เช่น คาร์บอนเตตราคลอไรด์ (carbontetrachloride) ซึ่งใช้เป็นน้ำยาในการซักแห้ง และก๊าซฮาโลคาร์บอน (halo carbon) ซึ่งบางส่วนใช้แทน CFCs ถึงแม้ว่าในปัจจุบันก๊าซเหล่านี้จะมีผลกระทบไม่มาก แต่ก็ควรระวังและเข้มงวดกับการปล่อยสารเหล่านี้สู่บรรยากาศ

3.5 ไอน้ำและเมฆ

ไอน้ำนั้นมองไม่เห็นและแตกต่างจากเมฆและละอองน้ำ ซึ่งเกิดจากการกลั่นตัวของไอน้ำกลายเป็นหยดน้ำเล็กๆ ไอน้ำมีบทบาทสำคัญในการก่อให้เกิดผลกระทบเรือนกระจกได้เช่นกัน อย่างไรก็ตาม ปริมาณของไอน้ำในอากาศเป็นเรื่องที่อยู่นอกเหนือการควบคุมของมนุษย์ ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณไอน้ำในอากาศคืออุณหภูมิของโลกนั่นเอง กล่าวคือถ้าอุณหภูมิโลกเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณไอน้ำย่อมสูงขึ้นเป็นเงาตามตัว ดังนั้นไอน้ำจะเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดผลกระทบท้ายสุดของการเพิ่มปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่มนุษย์ก่อขึ้น กล่าวคือ เมื่อโลกร้อนขึ้น ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศจะเพิ่มขึ้น เพราะน้ำมีการระเหยมาก ผลกระทบเรือนกระจกจะขยายตัวมากขึ้นและทำให้โลกร้อนขึ้นอีก

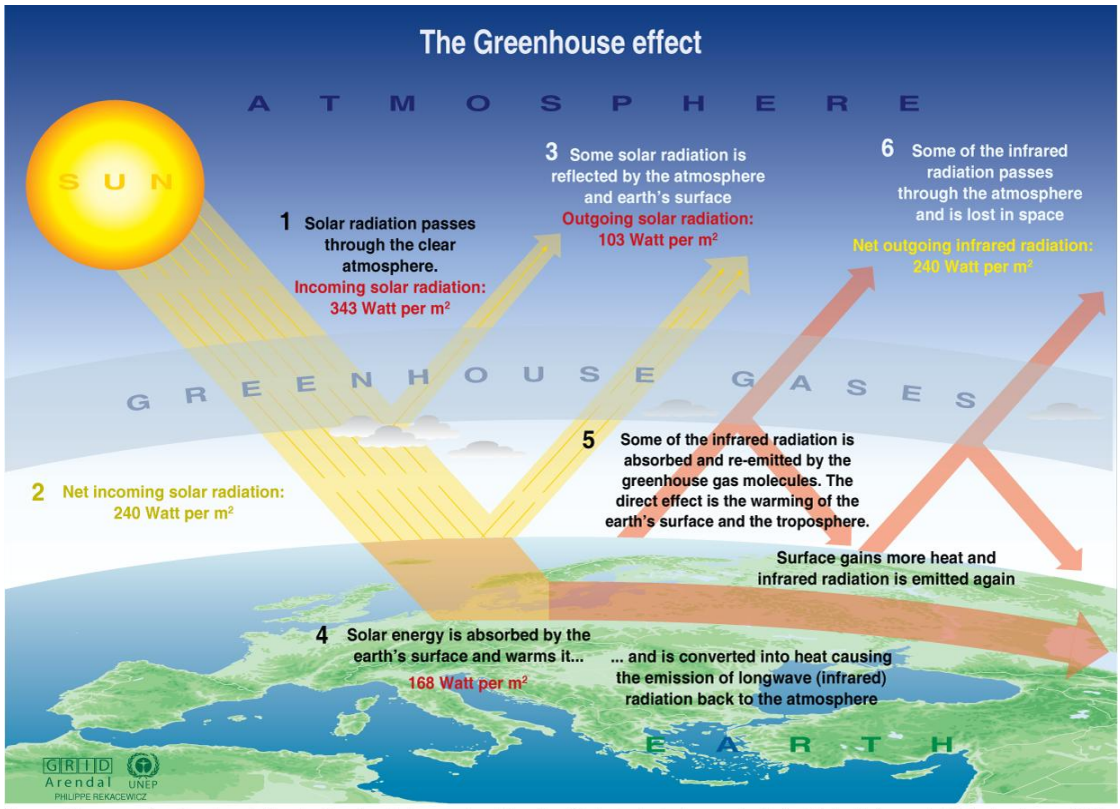


http://ircamera.as.arizona.edu/NatSci102/NatSci102/lectures/venus.htm

บทบาทของเมฆในระบบภูมิอากาศของโลกค่อนข้างซับซ้อนและมีนัยสำคัญมาก เมฆสะท้อนรังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์บางส่วนกลับออกไป ซึ่งช่วยลดปริมาณพลังงานที่ผ่านมายังผิวโลก ในขณะเดียวกันเมฆดูดซับรังสีที่ผ่านเข้ามายังผิวโลก และพร้อมๆ กันนั้น เมฆสะท้อนรังสีบางส่วนกลับมายังผิวโลก ผลโดยรวมของรังสีจากเมฆเทียบเคียงได้กับผลกระทบเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ โดยเมฆที่อยู่ที่ระดับความสูงที่ต่างกันอาจมีผลในการสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์และรังสีความร้อนจากผิวโลกต่างกันด้วย (ดูรูปประกอบ)

4. กระบวนการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

4.1 ปฏิกริยาเรือนกระจก



Sources: Okanagan university college in Canada, Department of geography, University of Oxford, school of geography; United States Environmental Protection Agency (EPA), Washington; Climate change 1995, The science of climate change, contribution of working group 1 to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change, UNEP and WMO, Cambridge university press, 1996.

http://unsweducation.wikispaces.com/gdh

ปฏิกริยาเรือนกระจก หรือ greenhouse effect เป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้นในโลกและดวงดาวต่างๆ ปรากฏการณ์นี้มีลักษณะเช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นในเรือนกระจกปลูกพืช เมื่อแสงอาทิตย์ส่องผ่านหลังคาและฝาที่เป็นกระจกใส ความร้อนจากแสงแดดจะทำให้อุณหภูมิภายในเรือนกระจกสูงกว่าอุณหภูมิข้างนอก เพราะว่ากระจกป้องกันความร้อนบางส่วนไม่ให้กระจายไป ดังนั้น เรือนกระจกจึงทำหน้าที่เหมือนกับตัวดักจับความร้อนนั่นเอง

ในกรณีของโลก ปฏิกริยาเรือนกระจกเกิดขึ้นจากก๊าซบางชนิดที่อยู่ในบรรยากาศโลก เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน ก๊าซไนตรัสออกไซด์ ซึ่งรวมเรียกว่า ก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gas) หรือแม้แต่หยดน้ำขนาดเล็ก เกล็ดน้ำแข็งในเมฆ และฝุ่นละอองเล็กๆ ในอากาศก็ทำหน้าที่ดักจับความร้อนได้เช่นกัน ก๊าซเรือนกระจกและอณูของน้ำและฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศโลกจึงทำหน้าที่คล้ายกับกระจกของเรือนกระจกนั่นเอง

นักวิทยาศาสตร์พูดถึงบทบาทของก๊าซเรือนกระจกมานานกว่า 150 ปี นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ฌอง แบบติสต์ ฟูริเยร์ (Jean-Baptiste Fourier) ได้กล่าวถึงก๊าซเรือนกระจกเป็นครั้งแรก ในรายงานวิจัยที่เขียนขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2370 หรือในปี ค.ศ. 2404 นักวิทยาศาสตร์เชื้อสายไอริช จอห์น ไทน์ดัลล์ (John Tyndall) ได้อภิปรายในที่ประชุมทางวิทยาศาสตร์ที่กรุงลอนดอนถึงศักยภาพในการเก็บความร้อนของอากาศจะเพิ่มขึ้น 15 เท่าเมื่ออากาศนั้นมีไอน้ำมากขึ้น และในปี ค.ศ. 2439 สวอนเต อารร์เฮนิอุส (Svante Arrhenius) นักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดน ได้คำนวณผล กระทบที่เกิดจากการที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าตัวซึ่งข้อสรุปของเขาใกล้เคียงกับผลการคำนวณที่รู้กันในปัจจุบัน

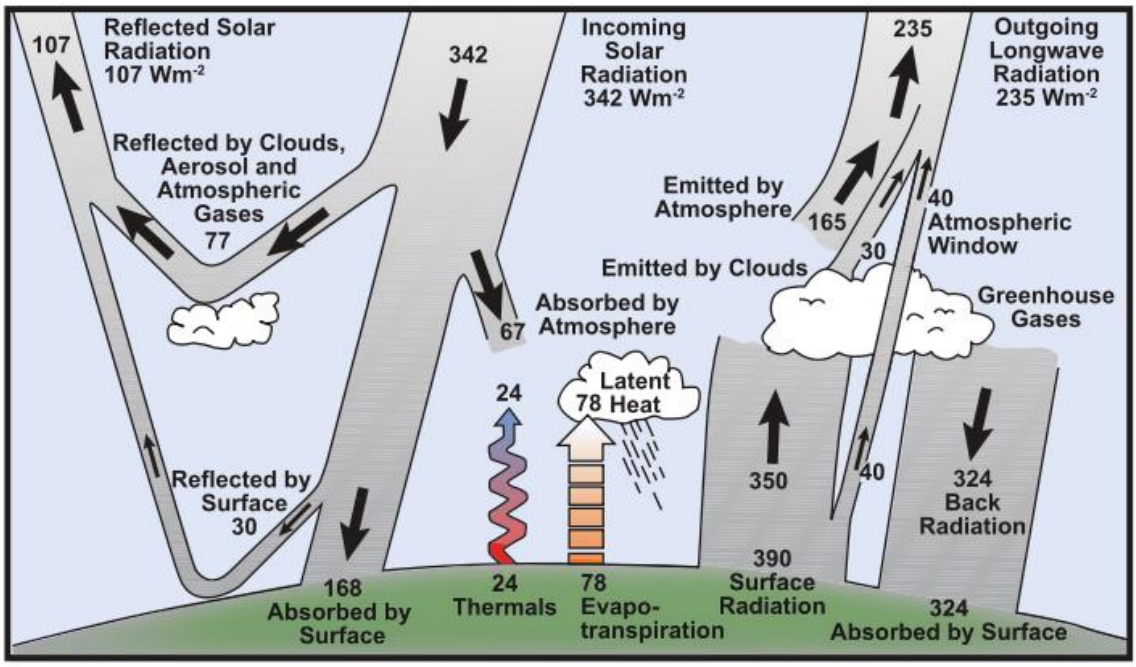
ปฏิกริยาเรือนกระจกไม่ใช่สิ่งที่ไม่ดีเสมอไป ที่จริงแล้ว ถ้าปราศจากปฏิกริยาเรือนกระจก มนุษย์เราและสิ่งมีชีวิตต่างๆ คงไม่สามารถมีชีวิตอยู่บนโลกได้ เพราะโลกของเราคงมีอุณหภูมิที่หนาวเย็นเกินไป แต่ในขณะเดียวกัน ถ้ามีปฏิกริยาเรือนกระจกมากเกินไป โลกก็คงร้อนเกินที่เราจะอยู่อาศัยกันได้ ซึ่งเราสามารถสังเกตได้จากดาวเคราะห์ที่อยู่ใกล้กับเราที่สุด 2 ดวง คือ ดาวอังคารและดาวศุกร์ บรรยากาศของดาวอังคาร ซึ่งแทบไม่มีก๊าซเรือนกระจกอยู่เลยในชั้นบรรยากาศ มีอุณหภูมิบนผิวดาวต่ำมาก คือ -60 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นระดับอุณหภูมิที่ไม่มีสิ่งมีชีวิตใดจะอยู่ได้ ส่วนดาวศุกร์นั้นมีก๊าซเรือนกระจกอยู่อย่างหนาแน่น อุณหภูมิบนผิวดาวจึงสูงถึง 480 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงพอที่จะละลายตีบุกได้

ด้วยระบบภูมิอากาศบนโลก ที่มีปฏิกริยาเรือนกระจกที่เหมาะสม อุณหภูมิเฉลี่ยบนผิวโลกไม่สุดโต่งอย่างในดาวอังคารและดาวศุกร์ คือมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 15 องศาเซลเซียสในตลอดช่วงหลายล้านปีที่ผ่านมา ซึ่งทำให้มีสภาพอากาศที่เหมาะกับการดำรงของพืช สัตว์และมนุษย์

ปฏิกริยาเรือนกระจกเป็นปรากฏการณ์หนึ่งในกระบวนการหมุนเวียนพลังงานบนโลก โดยพลังงานทั้งหมดเริ่มต้นจากพระอาทิตย์ ประมาณ 30% ของพลังงานแสงอาทิตย์ที่แผ่มายังโลก ถูกสะท้อนกลับไปในอวกาศโดยก้อนเมฆ (25%) หรือโดยผิวดิน (5%) พลังงานแสงอาทิตย์ราว 25% ถูกดูดซับโดยเมฆ ส่วนที่เหลือ 45% ถูกดูดซับโดยพื้นดินและมหาสมุทร ซึ่งทำให้ผืนดินและมหาสมุทรอุ่นขึ้น

รังสีจากดวงอาทิตย์ (Solar Radiation) ส่วนมากเป็นรังสีคลื่นสั้น (อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 0.2–4.0 ไมครอน) ที่ถูกดูดซับไว้โดยผืนดินและมหาสมุทรนี้จะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของรังสีอินฟราเรด ซึ่งเป็นรังสีคลื่นยาว เมื่อรังสีลอยขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ ก็จะถูกดูดซับโดยก๊าซเรือนกระจก เมฆ และฝุ่นในบรรยากาศ แต่บางส่วนของรังสีนี้ก็อาจทะลุชั้นบรรยากาศ ลอยกระจัดกระจายไปในห้วงบรรยากาศภายนอกได้

เมื่อก๊าซเรือนกระจก เมฆ และฝุ่น สะสมความร้อนไว้จำนวนหนึ่ง ซึ่งทำให้ตัวเองมีอุณหภูมิสูงขึ้นก็จะเริ่มแผ่รังสีอินฟราเรดกลับมาสู่ผิวโลก ในขณะเดียวกัน ความร้อนจะถูกพัดพาให้ลอยสูงขึ้นด้วยการระเหยของน้ำด้วยอากาศร้อนที่ยกตัวขึ้นหรือด้วยไอน้ำ และกระบวนการทางภูมิอากาศอื่นๆ



FAQ 1.1, Figure 1. *Estimate of the Earth's annual and global mean energy balance. Over the long term, the amount of incoming solar radiation absorbed by the Earth and atmosphere is balanced by the Earth and atmosphere releasing the same amount of outgoing longwave radiation. About half of the incoming solar radiation is absorbed by the Earth's surface. This energy is transferred to the atmosphere by warming the air in contact with the surface (thermals), by evapotranspiration and by longwave radiation that is absorbed by clouds and greenhouse gases. The atmosphere in turn radiates longwave energy back to Earth as well as out to space. Source: Kiehl and Trenberth (1997).*

นักวิทยาศาสตร์ได้วัดพลังงานความร้อนเฉลี่ยจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องมายังผิวโลก ซึ่งมีปริมาณราว 342 วัตต์ต่อตารางเมตร (ดูภาพด้านบนประกอบ) แต่พลังงานบางส่วนจะถูกสะท้อนกลับโดยเมฆและก๊าซในบรรยากาศ (77 วัตต์) ถูกดูดซับไว้ในชั้นบรรยากาศ (67 วัตต์) และถูกสะท้อนกลับโดยผิวโลก (30 วัตต์) คงเหลือที่ส่งมาถึงผิวโลกจริงเพียง 168 วัตต์ต่อตารางเมตร พลังงานความร้อนราว 24 วัตต์จะถูกพัดให้ลอยขึ้นด้วยความร้อน และอีก 78 วัตต์ที่ลอยขึ้นฟ้าจากการระเหยของน้ำ ความร้อนที่โลกรับจากดวงอาทิตย์จะแผ่ความร้อนกลับไป 390 วัตต์ต่อตารางเมตร แต่มีเพียง 40 วัตต์ที่ทะลุผ่านออกไปนอกบรรยากาศโลก ที่เหลืออีก 350 วัตต์จะถูกดูดซับไว้โดยก๊าซเรือนกระจกและเมฆ แต่แผ่พลังงานความร้อนกลับคืนมาที่ผิวโลกด้วยปฏิกริยาเรือนกระจกประมาณ 324 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งการรับและการแผ่พลังงานความร้อนของโลกนี้จะต้องสมดุลอยู่ตลอด ดังที่แสดงในสมดุลพลังงานความร้อนของโลกข้างล่าง

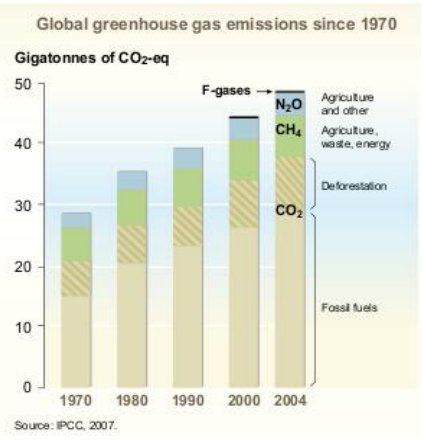
พลังงานที่ดูดซับไว้โดยโลก (absorption) 492 วัตต์/ตาราเมตร			=	*พลังงานที่สะท้อนกลับจากโลก (radiation) 492 วัตต์/ตาราเมตร*		
168	+	*324*	=	*24 + 78*	+	*390*
พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่งมาที่โลก		*พลังงานความร้อนที่ส่งมายังโลกจากปฏิกริยาเรือนกระจก*		*พลังงานความร้อนที่ลอยขึ้นสู่บรรยากาศโดยความร้อนและการระเหยของน้ำ*		*พลังงานความร้อนที่สะท้อนจากผิวโลกสู่ชั้นบรรยากาศ*

เป็นที่น่าสังเกตว่า ผลของปฏิกริยาเรือนกระจก ที่เกิดจากเมฆและก๊าซเรือนกระจกรวม (324 วัตต์ต่อตารางเมมตร) กันมีอัตราเกือบเท่ากับ 2 ใน 3 ของพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบผิวโลก

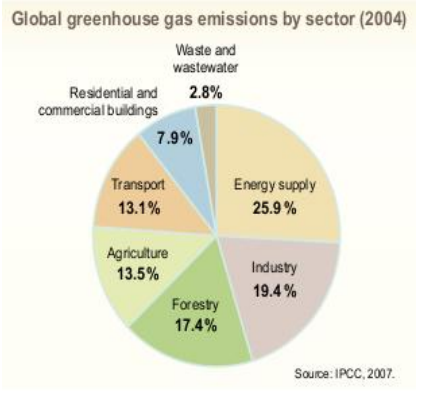
(492 วัตต์ต่อตารางเมตร) ดังนั้น ถ้าเกิดมีก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้น ปฏิกริยาเรือนกระจกก็จะสูงขึ้น ส่งผลให้มีพลังงานความร้อนที่โลกดูดซับไว้มากขึ้น พลังงานความร้อนที่เพิ่มขึ้นนี้เองที่ทำให้อุณหภูมิในบริเวณต่างๆ ของโลกสูงขึ้น และนี่เป็นเหตุผลว่า ทำไมจึงเรียกกันว่า "โลกร้อน" ซึ่งส่งผลกระทบลูกโซ่ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศในส่วนต่างๆ ของโลก

4.2 จากปฏิกริยาเรือนกระจกสู่โลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

จากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของชนิดต่างๆ ที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากเมื่อปี พ.ศ. 2513 ที่อยู่ในระดับต่ำกว่า 30 กิกะตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า[4] เป็นกว่า 50 กิกะตัน[5]คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าในปัจจุบัน (ข้อมูลในแผนภูมิภาพแสดงตัวเลขในปี 2547 ซึ่งในปัจจุบันปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนจะจกน่าจะเพิ่มขึ้นกว่าระดับดังกล่าวแล้ว) ซึ่งก๊าซเรือนกระจกที่มนุษย์ปล่อยออกมาเหล่านี้ส่วนใหญ่มากจากภาคพลังงาน (25.9%) อุตสาหกรรม (19.4%) การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (17.4%) การเกษตร (13.5%) และขนส่ง (13.1%)



ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก



ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของภาคเศรษฐกิจต่างๆ
UNEP/GRID-Arendal 2009

การคำนวณผลกระทบโดยรวมของก๊าซเรือนกระจกชนิดต่างๆ นั้นยุ่งยากเพราะผลกระทบของก๊าซแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น คุณสมบัติในการก่อให้เกิดผลกระทบเรือนกระจก และช่วงอายุของก๊าซชนิดนั้นๆ ยกตัวอย่างเช่น ผลของก๊าซไนตรัสออกไซด์ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและหายไปหมดเพราะก๊าซนี้สลายตัวลงด้วยกระบวนการธรรมชาติ แต่ HFC 23 (ก๊าซฟูโอโรฟอร์มเป็นก๊าซที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซมิคอนดักเตอร์) ในปริมาณที่เท่ากันมีผล กระทบต่อเนื่องไปเป็นร้อยปี ผลกระทบโดยรวมของก๊าซเรือนกระจกเมื่อพิจารณาจากคุณสมบัติด้านรังสีและช่วงชีวิตอาจเรียกรวมกันว่า “ศักยภาพในการทำให้โลกร้อน” (global warming potential - GWP)

ตารางข้างล่างแสดงอัตราความเข้มข้นและอัตราเพิ่มของก๊าซเรือนกระจกต่างๆ ซึ่งเปรียบเทียบถึงช่วงอายุ และศักยภาพในการทำให้โลกร้อนเปรียบเทียบกับผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการเปรียบเทียบผลกระทบจากก๊าซแต่ละชนิดประมาณ 1 กิโลกรัมในช่วงเวลา 20 ปี

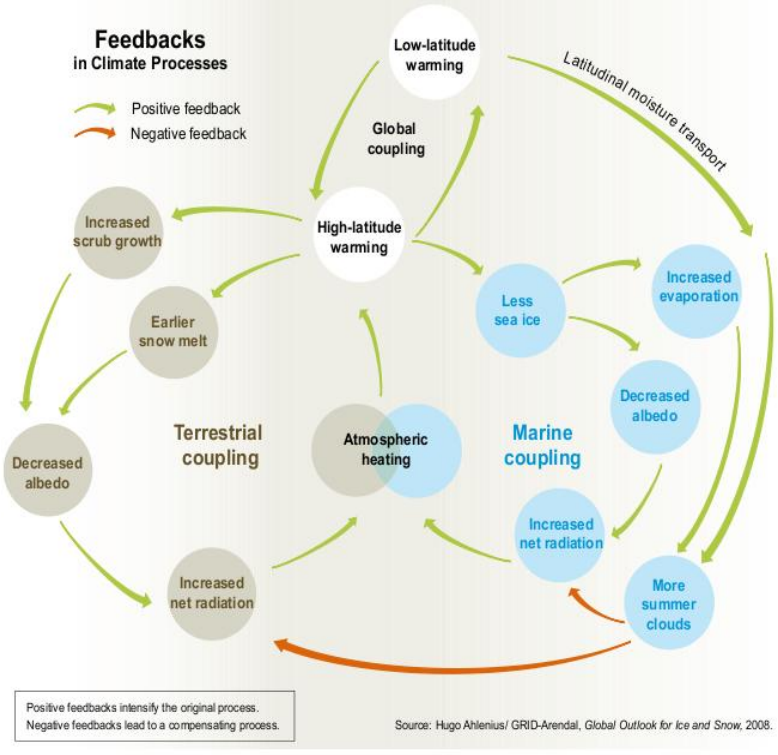
4 คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่านี้เป็นค่าที่แปรผลกระทบของก๊าซเรือนกระจกอื่นๆ ที่มีผลในการแผ่รังสีความร้อนต่างกัน ให้มาอยู่ในหน่วยเดียวกันกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

5 หนึ่งกิกะตันเท่ากับพันล้านตัน

ก๊าซเรือนกระจก	ศักยภาพในการทำให้โลกร้อน	ความเข้มข้นในชั้นบรรยากาศก่อนการปฏิวัติอุตสาหกรรม (ppmv)	ความเข้มข้นในชั้นบรรยากาศในปี พ.ศ. 2541 (ppmv)	ช่วงอายุในบรรยากาศ (ปี)
ไอน้ำ	--	1 - 3	1 - 3	2 - 3 วัน
คาร์บอนไดออกไซด์	1	280	365	ไม่แน่นอน
มีเทน	21	0.7	1.75	12
ไนตรัสออกไซด์	310	0.27	0.31	114
HFC 23	12 000	0	0.000014	250
HFC 134a	1 300	0	0.0000075	13.8
HFC 152a	120	0	0.0000005	1.4
CF_4	5 700	0.0004	0.00008	>50 000
C_2F_6	11 900	0	0.000003	10 000
SF_6	22 200	0	0.0000042	3 200

แหล่งข้อมูล : UNEP/GRID-Arendal 2009

ขณะที่เกิดปฏิกริยาเรือนกระจกที่ทำให้เกิดโลกร้อนและส่งผลโดยตรงต่ออุณหภูมิที่ผิวโลก จะมีปฏิกริยาเร่งเร้าและชะลอ (positive and negative feedbacks) ในการปรับตัวของกระบวนการภูมิอากาศโลก (ดังที่แสดงในแผนภูมินี้) ยกตัวอย่างเช่น ปฏิกริยาเรือนกระจกจะทำให้เกิดการละลายตัวของหิมะบนภูเขาสูงและในทะเลเร็วขึ้น น้ำแข็งที่ละลายไปนี้ทำให้มีพื้นที่บนโลกที่จะสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์น้อยลง จึงยิ่งทำให้ผิวโลกร้อนมากขึ้น นอกจากนี้ ยังมีการระเหยของน้ำมากขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดมีเมฆมากขึ้น แต่เมฆก็จะสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ได้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิโลกลดลง แต่ผลโดยรวมแล้ว กระบวนการเร่งเร้าจะมีมากกว่า ซึ่งทำให้เกิดการปรับตัวของระบบภูมิอากาศเป็นไปอย่างรวดเร็วมากขึ้น ส่งผลให้ภูมิอากาศของโลกเกิดการเปลี่ยนแปลงรวดเร็วมากขึ้นด้วย



ปฏิกริยาการเร่งเร้าและชะลอการปรับตัวของของกระบวนการภูมิอากาศ UNEP/GRID-Arendal 2009

โดยปกติ ระบบภูมิอากาศ (climate system) ของโลกประกอบด้วยระบบย่อย 5 ระบบที่ปฏิสัมพันธ์กัน คือ

(1) บรรยากาศ (atmosphere) หรือบางครั้งก็เรียก อากาศภาค ซึ่งประกอบด้วยก๊าซต่างๆ ในอากาศที่อยู่บนผิวโลก
(2) อุทกนิเวศ (hydrosphere) ซึ่งประกอบด้วยสิ่งที่เป็นน้ำและของเหลวที่อยู่ใต้ผิวโลกและบนผิวโลก
(3) น้ำแข็งบนโลก (cryosphere) หิมะและน้ำแข็งที่อยู่ใต้ผิวโลกและบนผิวโลก
(4) ธรณีภาค (lithosphere) ส่วนเป็นผืนดินของผิวโลก เช่น หิน ดิน
(5) ชีวมณฑล (biosphere) สิ่งมีชีวิตต่างๆ ที่อยู่บนโลก ทั้งพืช สัตว์ รวมทั้งอินทรีย์วัตถุต่างๆ

กระบวนการปรับตัวของระบบภูมิอากาศโลกนี้เองที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศโลกแบบลูกโซ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการที่อุณหภูมิของโลกเพิ่มสูงขึ้น ยกตัวอย่าง อุณหภูมิที่สูงขึ้นจากการเกิดปฏิกริยาเรือนกระจกทำให้ความชื้นในบรรยากาศเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณฝนโดยรวมเพิ่มขึ้น แต่แบบแผนการตกของฝนในแต่ละที่อาจเปลี่ยนแปลงไป ทำให้บางพื้นที่แห้งแล้งมากขึ้น ในขณะที่บางพื้นที่มีฝนมากขึ้น ในเขตที่สภาพอากาศแห้งแล้งขึ้น ปริมาณน้ำผิวดินก็ย่อมจะลดลง ส่งผลต่อการดำรงชีวิตของพืชและสัตว์ต่างๆ ในบริเวณดังกล่าว หรือการที่อุณหภูมิโลกสูงขึ้นจะทำให้น้ำแข็งที่ขั้วโลกละลายมากขึ้น ส่งผลต่อระบบกระแสน้ำของโลก ซึ่งส่งผลกระทบทั้งโดยตรงและโดยอ้อมกับสิ่งมีชีวิตในมหาสมุทรและบริเวณชายฝั่ง (เนื่องจากการไหลของกระแสน้ำช่วยพาธาตุอาหารในน้ำทะเลให้กระจายออกไปที่ต่างๆ รวมทั้งพัดพาความร้อน-ความเย็นจากบริเวณหนึ่งของโลกไปยังอีกบริเวณหนึ่ง ทำให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมต่อสิ่งมีชีวิตทั้งในทะเลและบนบก) การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศจากการปรับตัวของระบบภูมิอากาศนี้เองที่ทำให้ภูมิอากาศของพื้นที่ต่างๆ เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

4.3 วิธีคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

นักวิทยาศาสตร์ได้พัฒนาวิธีในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก โดยเริ่มจากการทำเหตุการณ์จำลองของสภาพภูมิอากาศ (climate scenario) ในอนาคต หรือเลือกใช้เหตุการณ์จำลองที่มีการทำขึ้นแล้ว เช่น IPCC[6] ได้ออกแบบเหตุการณ์จำลองของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอนาคต โดยเหตุการณ์จำลองเหล่านี้มีความต่างกันที่สมมุติฐานเกี่ยวกับการพัฒนาของเศรษฐกิจ สังคม การเติบโตของประชากร และเทคโนโลยี

สภาพเหตุการณ์จำลองหลักของ IPCC (IPCC Special Resort on Emission Scenario) ที่ได้จัดทำขึ้นประกอบด้วยเหตุการณ์หลัก 4 เหตุการณ์ และเหตุการณ์จำลองย่อยของเหตุการณ์จำลองหลักแรก 3 ลักษณะ ซึ่งทำให้มีเหตุการณ์จำลองทั้งหมด 6 เหตุการณ์ คือ A1, A1FI, A1T, A1B, A2, B1, และ B2 ดังนี้

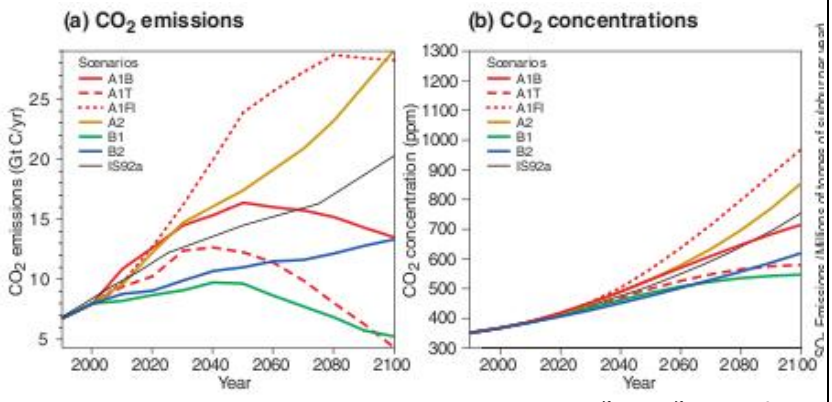
6 IPCC ย่อมาจาก Intergovernmental Panel on Climate Change หรือที่เรียกเป็นภาษาไทยว่า คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

เหตุการณ์จำลอง A1 (A1 Scenario) เป็นโลกอนาคตที่มีการพัฒนาเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว ประชากรโลกขยายตัวจนถึงจุดสูงสุดในช่วงกลางศตรวรรษที่ 21 และเริ่มลดลงหลังจากนั้น รวมทั้งมีการพัฒนาเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูงมาใช้อย่างกว้างขวาง ในส่วนของการพัฒนาสังคมก็คือ การเชื่อมโยงของผู้คนในภูมิภาคต่างๆ ซึ่งทำให้เกิดปฏิสัมพันธ์ทางสังคมและวัฒนธรรม และทำให้ช่องว่างของความแตกต่างของรายได้ในแต่ละภูมิภาคลดลง ในเหตุการณ์จำลอง A1 นี้มีเหตุการณ์จำลองย่อยอีก 3 ลักษณะ ที่การเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีด้านระบบพลังงานอาจแตกต่าง โดย เหตุการณ์จำลอง A1FI เป็นสภาพการณ์ของอนาคตที่เทคโนโลยีระบบพลังงานยังคงเน้นที่เชื้อเพลิงฟอสซิล ส่วนเหตุการณ์จำลอง A1T เป็นสภาพการณ์ที่ไม่ได้ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นหลัก และเหตุการณ์จำลอง A1B ที่มีการใช้พลังงานต่างๆ ในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน โดยไม่ได้มีการพึ่งพาแหล่งพลังงานใดพลังงานหนึ่งมากเกินไป

ในส่วนของเหตุการณ์จำลอง A2 (A2 Scenario) เป็นโลกอนาคตที่ภูมิภาคต่างๆ มีความแตกต่างกันมากขึ้น โดยแต่ละประเทศ/ภูมิภาคจะให้ความสำคัญกับการพึ่งพาตนเองและการอนุรักษ์เอกลักษณ์ความเป็นท้องถิ่นของตัวเอง ผู้คนต่างภูมิภาคไม่ได้เชื่อมโยงเข้าหากันมากนัก ประชากรโลกยังคงขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การพัฒนาเศรษฐกิจจะเน้นที่ระดับภูมิภาค ส่งผลให้รายได้ต่อหัวของประชาชนและการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีเติบโตช้าที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเหตุการณ์จำลองอื่นๆ

เหตุการณ์จำลอง B1 เป็นโลกอนาคตที่มีการเชื่อมโยงกันเป็นสังคมโลกาภิวัฒน์ในลักษณะเดียวกันกับเหตุการณ์จำลอง A1 แต่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเศรษฐกิจที่เน้นในเรื่องการบริการและข้อมูลข่าวสาร ซึ่งทำให้ลดการผลิตและบริโภคสินค้าที่เป็นวัตถุต่างๆ รวมทั้งการนำเทคโนโลยีที่ใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพและสะอาดมาใช้ โดยภาพรวมเป็นอนาคตที่โลกได้มีทางออกให้กับความยั่งยืนทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม รวมทั้งเป็นสังคมที่มีความทัดเทียมกันมากขึ้น แต่ทั้งนี้ ในเหตุการณ์จำลองอนาคตนี้ก็ไม่มีการริเริ่มในเรื่องเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศใดๆ

ส่วนเหตุการณ์จำลอง B2 เป็นโลกอนาคตที่เน้นการหาทางออกในเรื่องความยั่งยืนทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ที่เน้นการแก้ปัญหาในระดับภูมิภาค ประชากรโลกยังคงขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ต่ำกว่าที่เกิดขึ้นในเหตุการณ์จำลอง A2 การพัฒนาเศรษฐกิจอยู่ในระดับปานกลาง และมีการเปลี่ยนแปลง

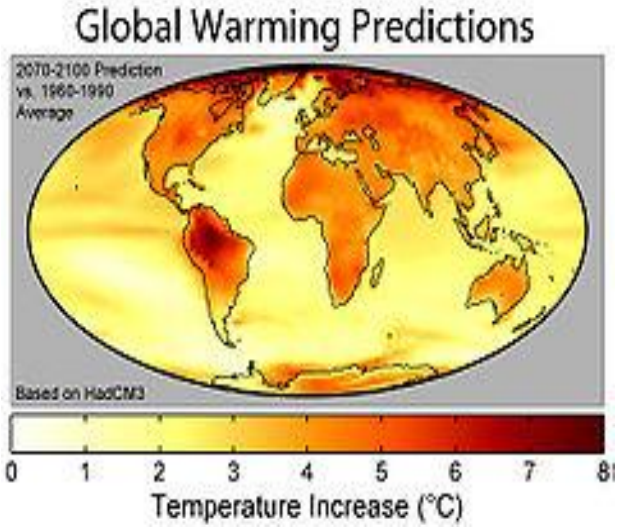
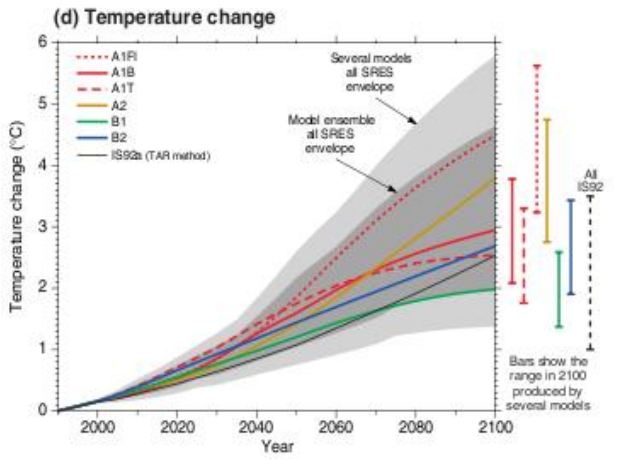


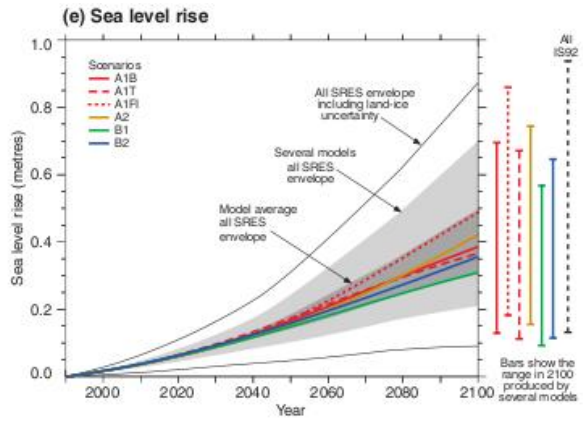
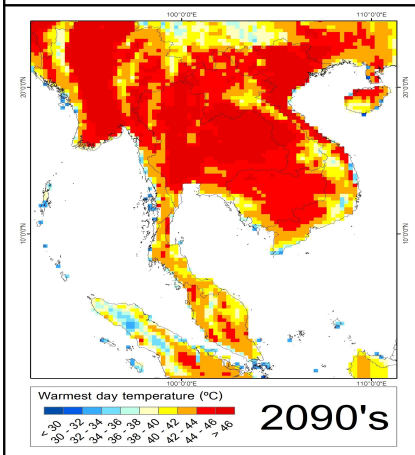
รูปภาพ (a) แสดงการคาดการณ์ของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้เหตุการณ์จำลองแบบต่างๆ ของศตวรรษที่ 21 นี้ ส่วนรูป (b) แสดงการคาดการณ์ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศที่จะเพิ่มขึ้นภายใต้เหตุการณ์จำลองแบบต่างๆ

เทคโนโลยีช้ากว่า เหตุการณ์จำลอง A1 และ B1 แต่ความหลากหลายของเทคโนโลยีมีมากกว่า แม้ว่าอนาคตในเหตุการณ์จำลองนี้จะให้ความสำคัญกับการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ความเป็นธรรมทางสังคม แต่จะเน้นที่ระดับท้องถิ่นและภูมิภาคเป็นหลัก

ในเหตุการณ์จำลองทั้งหมดจะไม่มีการริเริ่มเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศและการรณรงค์ให้มีการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเกิดขึ้น

จากนั้นนักวิจัยก็จะทำการออกโมเดล/แบบจำลองของสภาพภูมิอากาศของโลกขึ้น โดยใช้สูตรทางคณิตศาสตร์ที่แสดงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบของสภาพอากาศต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความเร็วลม ปริมาณฝน (ซึ่งเรียกกันว่า แบบจำลองภูมิอากาศโลก หรือ General Circulation Models - GCMs) จากนั้นจึงนำข้อมูลจากเหตุการณ์จำลองของสภาพภูมิอากาศที่ได้กล่าวข้างต้นมาใช้เป็นข้อมูล เพื่อประมวลผลเป็นสภาพจำลองของภูมิอากาศโลกในอนาคต (ดูรูปด้านล่าง) ซึ่งในบางโครงการก็อาจจะเลือกทำเฉพาะสภาพจำลองภูมิอากาศของบางภูมิภาคหรือของประเทศบางประเทศ ซึ่งในประเทศไทยเองก็มีการวิจัยเพื่อศึกษาสภาพจำลองของภูมิอากาศของประเทศด้วย

	แสดงอุณหภูมิที่คาดว่าจะเพิ่มขึ้นในช่วงปี ค.ศ. 2070 - 2100 เมื่อเทียบกับช่วงปี 1960 - 1990 ของภูมิภาคต่างๆ ทั่วโลก
	แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกที่คาดว่าจะเพิ่มขึ้นภายใต้สถานการณ์จำลองแบบต่างๆ

	แสดงระดับน้ำทะเลที่คาดว่าจะยกตัวสูงขึ้นภายใต้สถานการณ์จำลองแบบต่าง ๆ
	แสดงอุณหภูมิของวันที่มีอากาศร้อนมากในประเทศไทยในช่วงทศวรรษ 2090

5. การปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยภาคการเกษตรและชนบท

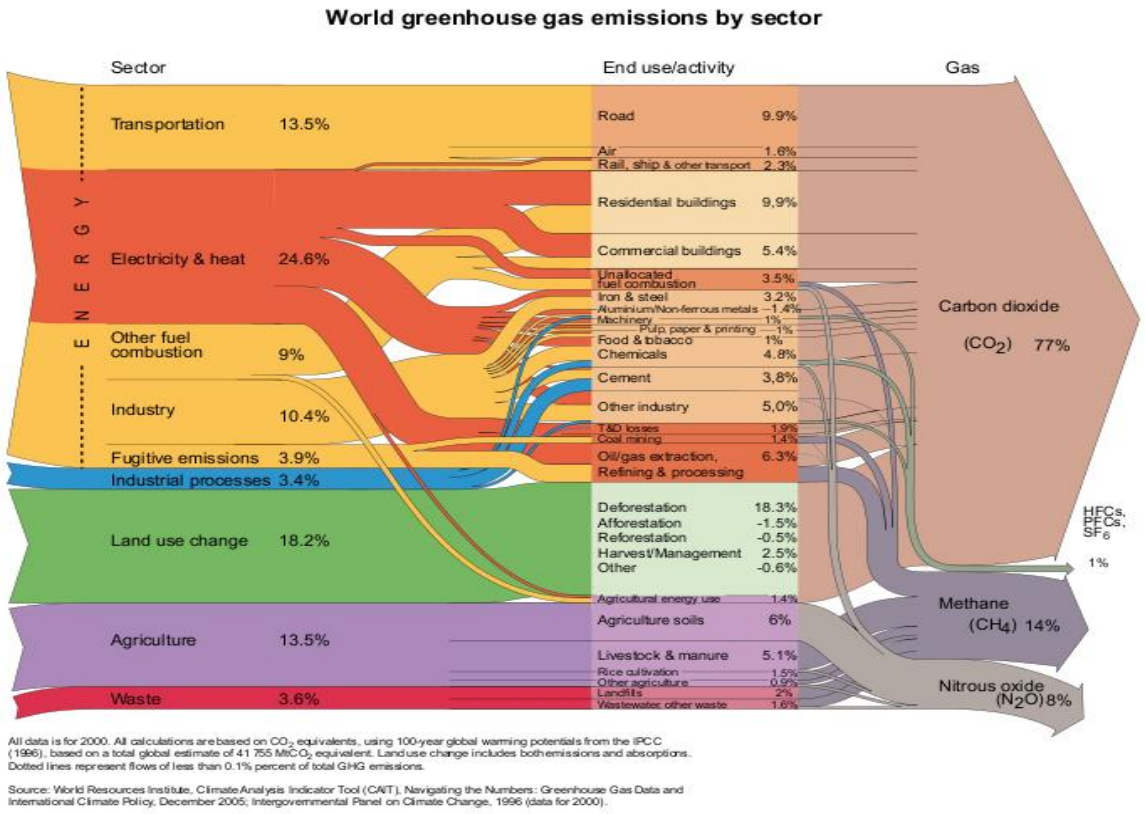
แม้ว่าภาคการเกษตรจะไม่ใช่แหล่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญที่สุด แต่ภาคการเกษตรเป็นภาคที่จะได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศมากที่สุด เนื่องจากเป็นภาคที่ประชากรมีฐานะทางเศรษฐกิจที่ด้อยที่สุด ทำให้มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศสูง นอกจากนี้ ภาคการเกษตรเองมีศักยภาพในการที่จะเก็บกักก๊าซเรือนกระจกได้ เพราะการทำเกษตร โดยเฉพาะเกษตรอินทรีย์นั้น จะมีการใช้อินทรียวัตถุในการปรับปรุงดินและเป็นแหล่งธาตุอาหารให้กับพืช อินทรียวัตถุเหล่านี้มีองค์ประกอบของคาร์บอนอยู่เป็นจำนวนมาก ดังนั้น การเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุที่ผิวดินและใต้ดิน จึงช่วยเก็บกักคาร์บอนในดินเพิ่มขึ้นได้ และลดปริมาณคาร์บอนในชั้นบรรยากาศลง

ภาคการเกษตรในปัจจุบันมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมประมาณ 14.9% ของก๊าซเรือนกระจกรวม โดยแบ่งการปล่อยในทางตรงจากการเพาะปลูกพืชและเลี้ยงสัตว์มีปริมาณราว 13.5% ของก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด และทางอ้อมอีก 1.4% จากการใช้เครื่องจักรกลในการเกษตร (ดูรายละเอียดในตารางข้างล่าง) ซึ่งไม่นับรวมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการบุกเบิกพื้นที่ป่าหรือพื้นที่ธรรมชาติ เพื่อใช้ในการเกษตร โดยก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกจากภาคการเกษตรนี้มีทั้งมีเทน ไนตรัสออกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเกือบสามในสี่มาจาก 2 แหล่งคือ การปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากการใช้ที่ดินในการเพาะปลูก และการเลี้ยงปศุสัตว์ (รวมทั้งมูลสัตว์ด้วย) ซึ่งทำให้ภาคการเกษตรเป็นแหล่งปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์และก๊าซมีเทนที่สำคัญที่สุด คือ 75% และ 53% ตามลำดับ ดังรายละเอียดที่แสดงในตารางข้างล่าง

<table>
<tr><th>ชนิดก๊าซเรือนกระจก</th><th>กิจกรรมในภาคการเกษตร</th><th colspan="2">สัดส่วนเทียบกับก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด</th><th>สัดส่วนเทียบกับการปล่อยก๊าซชนิดนั้น ๆ</th></tr>
<tr><td>ไนตรัสออกไซด์</td><td>จากดินที่ใช้ในการเพาะปลูก</td><td colspan="2">6.0%</td><td>75.00% ของก๊าซไนตรัสออกไซด์</td></tr>
<tr><td rowspan="3">มีเทน</td><td>ปศุสัตว์และมูลสัตว์</td><td>5.1%</td><td rowspan="3">7.5%</td><td rowspan="3">53.57% ของก๊าซมีเทน</td></tr>
<tr><td>นาข้าว</td><td>1.5%</td></tr>
<tr><td>อื่นๆ</td><td>0.9%</td></tr>
<tr><td>คาร์บอนไดออกไซด์</td><td>เครื่องจักรกลการเกษตร</td><td colspan="2">1.4%</td><td>1.81% ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์</td></tr>
<tr><td colspan="2">รวมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด</td><td colspan="2">14.9%</td><td></td></tr>
</table>

ที่จริงแล้ว การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเป็นแหล่งที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกค่อนข้างมาก (ราว 18.2%) แต่เนื่องจากไม่มีข้อมูลว่า ที่ดินนั้นถูกนำไปใช้ในภาคการเกษตรหรือนอกภาคการเกษตร (เช่น

ท่องเที่ยว เขื่อน อุตสาหกรรม ที่อยู่อาศัย) จึงไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่า ภาคการเกษตรมีส่วนในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินมากน้อยเพียงใด อย่างไรก็ตาม มีความเป็นไปได้มากที่การเปลี่ยนแปลงที่ดินนั้นเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ดินเพื่อใช้ในการเกษตร เพราะในช่วงหลายสิบปีที่ผ่านมา การขยายการผลิตของภาคการเกษตรส่วนใหญ่ทั่วโลกเกิดจากการขยายพื้นที่การผลิต ไม่ใช่การเพิ่มผลิตภาพของฟาร์ม



5.1 ก๊าซเรือนกระจกจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า ดินและต้นไม้ (ในสภาพของป่าธรรมชาติ) เป็นแหล่งเก็บกักคาร์บอนที่สำคัญ โดยป่าธรรมชาติจะเก็บกักคาร์บอนไว้ประมาณ 230 ตัน/เฮคตาร์ (36.8 ตัน/ไร่) แต่เมื่อมีการบุกเบิกป่า เพื่อทำการเกษตร ปริมาณคาร์บอนหลังจากบุกเบิกที่ดินจะเหลืออยู่เพียง 40 ตัน/เฮคตาร์ (6.4 ตัน/ไร่) และลดต่ำลงเรื่อยๆ ทุกปี ถ้ามีการปลูกพืชล้มลุก ซึ่งพื้นที่ปลูกพืชล้มลุกจะสามารถเก็บกักคาร์บอนเฉลี่ยได้เพียง 29 ตัน/เฮคตาร์ (4.64 ตัน/ไร่) (วิฑูรย์ ปัญญากุล 2552)

5.2 ก๊าซเรือนกระจกจากปุ๋ยเคมี

การผลิตปุ๋ยเคมีเป็นกระบวนการที่ต้องใช้พลังงานสูงมาก และทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกประมาณ 1.2% (Kongshaug 1998) นอกจากนี้ การผลิตปุ๋ยเคมียังเป็นตัวการในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเองอีกด้วย ซึ่งทำให้มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมค่อนข้างมาก ยกตัวอย่างเช่น การ

ผลิตปุ๋ยยูเรียจะมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าราว 420 - 1848 กรัมต่อกิโลกรัมของปุ๋ย (หรือราว 913 - 4018 กรัมต่อกิโลกรัมของไนโตรเจน) (Wood and Cowie 2004)

นอกจากนี้ การขนส่งปุ๋ยเคมีจากประเทศผู้ผลิตไปยังประเทศต่างๆ ที่อยู่ห่างไกลออกไปก็ย่อมจะเพิ่มปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงในการขนส่งด้วย

และในท้ายที่สุด การใช้ปุ๋ยเคมีก็มีผลทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มด้วย โดยเฉพาะการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเคมีมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์ในบรรยากาศเพิ่มขึ้น เพราะไนโตรเจนส่วนเกินที่อยู่ในดินจะถูกจุลินทรีย์ดินเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนไปเป็นก๊าซ (หรือที่เรียกว่า denitrification) กระบวนดังกล่าวเกิดขึ้นในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน เช่นในดินที่มี น้ำท่วมขัง ทำให้มีอากาศ (และออกซิเจน) น้อย จุลินทรีย์จึงดึงออกซิเจนจากไนเตรท (NO_3^-) และไนไตรท์ (NO_2^-) ทำให้ไนเตรทและไนไตรท์แปรสภาพไปเป็นก๊าซไนโตรเจน (N_2) และก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) กลับคืนสู่บรรยากาศ นอกจากนี้ ปุ๋ยไนโตรเจนส่วนเกิน ที่ถูกชะล้างจากพื้นที่การเกษตรที่ไหลลงตามทางระบายน้ำ ก็อาจเกิดการเปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซไนตรัสออกไซด์ได้ด้วย โดยรวมประเมินว่า ดินการเกษตรปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ประมาณ 2 - 4 ล้านตันต่อปี

5.3 ก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว

ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในนาข้าวนั้นเกิดจากการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุที่อยู่ในดินที่มีน้ำขัง ซึ่งมีออกซิเจนไม่เพียงพอ ทำให้จุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจนเป็นกลุ่มที่ทำงานเป็นหลัก ซึ่งในการย่อยสลายนี้เกิดก๊าซมีเทนขึ้น

นอกจากนี้ การปลูกข้าวก็เหมือนกันการปลูกพืชอื่น ที่อาจปล่อยก๊าซเรือนกระจกจาก

- การเปลี่ยนแปลงที่ดินป่าธรรมชาติมาเป็นนาข้าว (ดูหัวข้อ 5.1)
- การผลิตปุ๋ยเคมีสำหรับใช้ในนาข้าว (ดูหัวข้อ 5.2)
- การใช้ปุ๋ยเคมี (ดูหัวข้อ 5.2)
- เชื้อเพลิงฟอสซิลในการทำนา เกี่ยวข้าว สีข้าว และขนส่งข้าว (ดูหัวข้อ 5.5)

แต่ในขณะเดียวกัน การทำนาปลูกข้าวก็จะมีชีวมวลของฟางและตอซังข้าว ซึ่งเป็นอินทรียวัตถุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งมีการประมาณฟางข้าวทั่วโลกมีคาร์บอนอยู่ประมาณ 1.74 กิกะตันของคาร์บอน (FAO 2007)

จากการศึกษาของนักวิชาการไทยในปี 2545 พบว่า นาข้าวมีการปล่อยก๊าซมีเทนราว 0.029 - 0.718 กรัม/ตรม./วัน และมีค่าเฉลี่ย 0.265 กรัม/ตรม./วัน โดยการปลูกข้าวโดยการหว่านทั้งหว่านข้าวงอกและหว่านข้าวแห้งทำให้การปล่อยออกก๊าซมีเทนลดต่ำลงกว่าการปักดำ นอกจากนี้ การปล่อยก๊าซ

มีเทนยังผันแปรกับสายพันธุ์ข้าว โดยข้าวหอมสายพันธุ์ต่างๆ ปล่อยออกก๊าซมีเทนในอัตราใกล้เคียงกัน ข้าวสายพันธุ์ดี เช่น กข.15 ปล่อยออกก๊าซมีเทนสูงกว่าข้าวหอม ในขณะที่พันธุ์ชัยนาท 1 และสุพรรณบุรี ปล่อยในอัตราที่ต่ำกว่า

ในปัจจุบัน ยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับการปล่อยก๊าซมีเทนของพันธุ์ข้าวบ้าน

5.4 ก๊าซเรือนกระจกจากการเลี้ยงสัตว์

กิจกรรมการเลี้ยงสัตว์ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ทั้งโดยทางตรงและโดยทางอ้อม โดยในทางตรงเกิดจากการหายใจของสัตว์ (ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์) จาการย่อยอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง (ก๊าซมีเทน) และจากมูลสัตว์ (ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน ก๊าซไนตรัสออกไซด์ และอาจมีก๊าซที่เป็นมลพิษทางอากาศ แต่ไม่ใช่ก๊าซเรือนกระจก คือ ก๊าซแอมโมเนีย) สำหรับทางอ้อมนั้น เกิดขึ้นในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าธรรมชาติมาเป็นทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ (ส่วนใหญ่ที่ให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์) การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในการผลิตอาหารสัตว์ แปรรูป และการตลาด

ตารางข้างล่างแสดงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกประเภทต่างๆ จากกิจกรรม/ขั้นตอนของการเลี้ยงสัตว์

	CO_2	CH_4	N_2O
การผลิตปุ๋ยเคมีสำหรับใช้ในการปลูกพืชเพื่อผลิตอาหารสัตว์	x		
การใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกพืชอาหารสัตว์ (รวมทั้งที่สูญเสียไปในธรรมชาติ)		x	x
ปุ๋ยคอกที่ย่อยสลาย	x	x	x
เปลี่ยนการใช้ที่ดินเป็นปลูกพืชอาหารสัตว์ และ/หรือ ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์	x		
ดินเสื่อมโทรม	x		
เชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้ในการผลิตอาหารสัตว์ และการเลี้ยงสัตว์	x		
เชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้ในการจัดการเนื้อสัตว์ที่แปรรูป ทั้งการขนส่งและการแช่เย็น	x		

จากการศึกษาของ FAO (2006) พบว่า ผลจากการเลี้ยงสัตว์ทำให้มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งโดยตรงและโดยอ้อมประมาณ 7.1 กิกะตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (แต่ถ้าไม่รวมก๊าซเรือนกระจกจากการเปลี่ยนการใช้ที่ดิน และจากการใช้ที่ดิน ตัวเลขจะเป็น 4.6 กิกะตัน) โดยระบบการเลี้ยงแบบไม่หนาแน่น (ซึ่งส่วนใหญ่เป็นระบบของเกษตรกรรายย่อย) มีส่วนในการปล่อยประมาณ 5.0 กิกะตัน ในขณะที่ระบบการเลี้ยงแบบหนาแน่นจะปล่อยก๊าซประมาณ 2.1 กิกะตัน ซึ่งเกิดจากเพราะมีสัตว์ที่เลี้ยงในระบบที่ไม่หนาแน่นเป็นจำนวนมากกว่าระบบหนาแน่นหลายเท่าตัว (ดูรายละเอียดในตารางข้างล่าง)

ดังนั้น ถ้ารวมการปล่อยเรือนกระจกทั้งหมด ทั้งโดยตรงและโดยอ้อม การเลี้ยงสัตว์และการขายเนื้อสัตว์น่าจะมีส่วนในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากถึง 18% ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยมนุษย์ โดยแบ่งตามก๊าซเรือนกระจก การเลี้ยงสัตว์ปล่อยประมาณ 9% ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, 35-40% ของก๊าซมีเทน, 65% ของก๊าซไนตรัสออกไซด์, และ 64% ของก๊าซแอมโมเนีย (FAO 2006)

Role of livestock in carbon dioxide, methane and nitrous oxide emissions

Gas	Source	Mainly related to extensive systems (10^9 tonnes CO_2 eq.)	Mainly related to intensive systems (10^9 tonnes CO_2 eq.)	Percentage contribution to total animal food GHG emissions
CO_2	Total anthropogenic CO_2 emissions	24 (~31)		
	Total from livestock activities	**~0.16 (~2.7)**		
	N fertilizer production		0.04	0.6
	on farm fossil fuel, feed		~0.06	0.8
	on farm fossil fuel, livestock-related		~0.03	0.4
	deforestation	(~1.7)	(~0.7)	34
	cultivated soils, tillage		(~0.02)	0.3
	cultivated soils, liming		(~0.01)	0.1
	desertification of pasture	(~0.1)		1.4
	processing		0.01 – 0.05	0.4
	transport		~0.001	
CH_4	Total anthropogenic CH_4 emissions	5.9		
	Total from livestock activities	**2.2**		
	enteric fermentation	1.6	0.20	25
	manure management	0.17	0.20	5.2
N_2O	Total anthropogenic N_2O emissions	3.4		
	Total from livestock activities	**2.2**		
	N fertilizer application		~0.1	1.4
	indirect fertilizer emission		~0.1	1.4
	leguminous feed cropping		~0.2	2.8
	manure management	0.24	0.09	4.6
	manure application/deposition	0.67	0.17	12
	indirect manure emission	~0.48	~0.14	8.7
Grand total of anthropogenic emissions		33 (~40)		
Total emissions from livestock activities		~4.6 (~7.1)		
Total extensive vs. intensive livestock system emissions		**3.2 (~5.0)**	**1.4 (~2.1)**	
Percentage of total anthropogenic emissions		10 (~13%)	4 (~5%)	

Note: All values are expressed in billion tonnes of CO_2 equivalent; values between brackets are or include emission from the land use, land-use change and forestry category; relatively imprecise estimates are preceded by a tilde.
Global totals from CAIT, WRI, accessed 02/06. Only CO_2, CH_4 and N_2O emissions are considered in the total greenhouse gas emission.
Based on the analyses in this chapter, livestock emissions are attributed to the sides of the production system continuum (from extensive to intensive/industrial) from which they originate.

ที่มา: FAO (2006)

5.5 ก๊าซเรือนกระจกจากเครื่องจักรกลการเกษตร

การใช้เครื่องจักรกลการเกษตรที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ไม่ว่าจะสำหรับเพื่อการเตรียมดิน กำจัดวัชพืช จัดการน้ำ กำจัดศัตรูพืช หรือแม้แต่การจัดการหลังการเก็บเกี่ยว ต่างก็ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ทั้งสิ้น แนวโน้มของภาคการเกษตรในประเทศต่างๆ ทั่วโลกกำลังประสบกับปัญหาการขาดแคลนแรงงาน ซึ่งทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องมีการใช้เครื่องจักรกลทางการเกษตรเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีแนวโน้มของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากแหล่งนี้มากขึ้นตามไปด้วย

จากข้อมูลของเครือข่ายสารสนเทศด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (www.teenet.chula.ac.th) ระบุถึงความต้องการใช้พลังงานของภาคการเกษตรของประเทศไทยใน พ.ศ. 2541 ซึ่งมีอยู่ประมาณ 29.1 พันบาร์เรลน้ำมันดิบต่อวัน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นราว 1.3 - 1.7% ต่อปีในช่วงตั้งแต่ปี 2544 - 2554 โดยกว่า 95% เป็นใช้น้ำมันดีเซล และสาขาประมงเป็นส่วนที่มีการใช้พลังงานมากที่สุด

6. สภาพการณ์ของประเทศไทย

จากข้อมูลของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมระบุว่า ในปี พ.ศ. 2537 ประเทศไทยมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกราว 286.373 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงระดับ 344.2 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าในปี พ.ศ. 2546 โดยสัดส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีแนวโน้มที่ลดลง ในขณะที่ก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์เพิ่มขึ้น (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม 2551) ดังรายละเอียดที่แสดงในตารางข้างล่าง

	พ.ศ. 2537	**พ.ศ. 2543**	**พ.ศ. 2546**
ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวม (ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า)	286.37	312.2	344.2
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	70.70%	71.00%	63.40%
ก๊าซมีเทน	23.26%	24.00%	27.70%
ก๊าซไนตรัสออกไซด์	6.05%	4.20%	8.60%
ก๊าซพวกไฮโดรฟลูออไรคาร์บอน	- -	0.80%	0.20%

ที่มา สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2551)

เมื่อเปรียบเทียบกับประเทศอื่นๆ ในโลก ประเทศไทยมีการปล่อยก๊าซเพียง 0.75% ของปริมาณทั่วโลก ซึ่งอยู่ในอันดับที่ 31 ของโลก และเป็นอันดับที่ 4 ของประเทศในภูมิภาคอาเซียน รองจากประเทศอินโดนีเซีย มาเลเซีย และพม่า

แต่ถ้าพิจารณาจากปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหัวประชากรแล้ว ประเทศไทยมีการปล่อยก๊าซเฉลี่ย 5.1 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ซึ่งต่ำกว่าระดับค่าเฉลี่ยของโลกที่ 6.8 ตัน ซึ่งทำให้ประเทศไทยอยู่ในอันดับที่ 109 ของโลก หรือถ้าพิจารณาจากปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ ประเทศไทยปล่อยก๊าซเรือนกระจกประมาณ 454.3 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวม 1 ล้านเหรียญสหรัฐฯ (ข้อมูลปี พ.ศ. 2543) ซึ่งก็ต่ำกว่าระดับเฉลี่ยของโลกที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกราว 521 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า แต่สูงกว่าระดับเฉลี่ยของประเทศในกลุ่มอาเซียน ที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพียง 430.4 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

ถ้าพิจารณาในรายภาคเศรษฐกิจของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก พบว่าภาคพลังงานเป็นภาคที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกราวครึ่งหนึ่ง และอีกหนึ่งในสี่มาจากภาคการเกษตร (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม 2551) ดังรายละเอียดที่แสดงในตารางข้างล่าง

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของภาคพลังงานในปี พ.ศ. 2543 และ 2546 (ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า)

	พ.ศ. 2537	**พ.ศ. 2546**
ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวม	286.37	344.2
ภาคพลังงาน	129.87 (45.3%)	193.20 (56.1%)
ภาคเกษตรกรรม	77.39 (27.0%)	82.79 (24.1%)
การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและป่าไม้	61.85 (21.6%)	22.61 (6.6%)
ภาคอุตสาหกรรม	15.98 (5.6%)	18.7 (5.4%)
ของเสีย	0.74 (0.3%)	26.87 (7.8%)

และถ้าเจาะลงในภาคพลังงาน ซึ่งเป็นภาคที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด พบว่ามากกว่าหนึ่งในสามมาจากการจัดหาและแปรรูปพลังงาน (ซึ่งก็คือ การผลิตและใช้กระแสไฟฟ้า) ราวหนึ่งในสี่มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในภาคขนส่ง และราวหนึ่งในห้ามาจากการเผาไหม้เชื้อเพลังในภาคอุตสาหกรรม (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม 2551) ดังรายละเอียดที่แสดงในตารางข้างล่าง

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของภาคพลังงานในปี พ.ศ. 2546

สาขา	**ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า**	**%**
การจัดหาและแปรรูปพลังงาน	76.9	39.80%
การเผาไหม้เชื้อเพลิงในภาคขนส่ง	52.3	27.10%
การเผาไหม้เชื้อเพลิงในภาคอุตสาหกรรม	37.9	19.60%
การเผาไหม้เชื้อเพลิงในภาคพาณิชย์	2	1.10%
การเผาไหม้เชื้อเพลิงในครัวเรือน	4	2.10%
การเผาไหม้เชื้อเพลิงในภาคเกษตรกรรม	10.4	5.40%
Fugitive Emission	9.7	5.00%
รวม	**193.2**	**100.00%**

7. เรื่องที่มักเข้าใจผิดเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

7.1 โอโซน

โอโซน หรือ O_3 เป็นก๊าซที่เกิดจากก๊าซออกซิเจนในกระบวนการทางธรรมชาติ โอโซนหนึ่งโมเลกุลประกอบด้วยอะตอมออกซิเจน 3 อะตอมในขณะที่ก๊าซออกซิเจนมีอะตอมออกซิเจนเพียง 2 อะตอม โอโซนที่เกิดขึ้นตามธรรมชาตินี้ส่วนใหญ่พบในชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟีย (stratosphere) ซึ่งเป็นชั้นบรรยากาศที่อยู่ห่างจากผิวโลกราว 10-50 กิโลเมตร ก๊าซโอโซนในชั้นสตราโตสเฟียนี้เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาของรังสีอุลตราไวโลเลตจากดวงอาทิตย์กับก๊าซออกซิเจน ในกระบวนการธรรมชาติมีสมดุลระหว่างก๊าซที่เกิดใหม่และก๊าซโอโซนที่สลายตัว ดังนั้น ปริมาณโอโซนในบรรยากาศสตราโตสเฟียจึงค่อนข้างคงที่

โอโซนในชั้นสตราโตสเฟียจะดูดซับรังสีอุลตราไวโอเลต เราจึงมักเรียกโอโซนเหล่านี้ว่าชั้นโอโซน (Ozone Layer) ชั้นโอโซนนี้มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตบนโลกมาก เพราะรังสีอุลตราไวโลเลตนี้เป็นอันตรายต่อสัตว์และพืช อีกทั้งอาจก่อให้เกิดโรคมะเร็งผิวหนังในมนุษย์ (มะเร็งนี้รักษาให้หายได้) และโรค Melanoma ซึ่งอันตรายมาก โดยมีอาการเป็นตุ่มไฝเล็กๆ แต่หลังจากนั้น เซลล์มะเร็งจะกระจายไปทั่วร่างกาย นอกจากนี้ รังสีอุตราไวโอเลตยังเป็นอันตรายต่อสายตา และอาจก่อให้เกิด cataracts ด้วย เชื่อกันว่าการได้รับรังสีอุลตราไวโลเลตมากๆ อาจทำให้ระบบภูมิคุ้มกันร่างกายของมนุษย์อ่อนแอลง รังสีอุลตราไวโอเลตมีผลกระทบทำให้ปริมาณผลผลิตของพืชที่ปลูกลดลง และเป็นอันรายต่อสาหร่ายในทะเลด้วย ดังนั้น โอโซนจึงมีความสำคัญในการปกป้องสิ่งมีชีวิตบนโลกจากรังสีอุลตราไวโอเลต

แต่เมื่อก๊าซโอโซนอยู่ในบรรยากาศชั้นที่ต่ำกว่า ก๊าซนี้กลับมีโทษมากกว่าประโยชน์ ก๊าซโอโซนในชั้นบรรยากาศต่ำเป็นผลพวงหนึ่งของปฏิกิริยาระหว่างแสงอาทิตย์และควันเสียจากเครื่องยนต์ ในช่วงเวลาที่มีปริมาณก๊าซนี้มากจนเป็นหมอกจัด โอโซนจะเป็นพิษต่อพืชและสัตว์ มีการผลิตโอโซนเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมบางประเภท อาทิ การฟอกสีและการทำความสะอาดอุปกรณ์ต่างๆ

โอโซนเป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีประสิทธิภาพสูง แต่ก๊าซนี้ค่อนข้างไม่เสถียร จึงมีช่วงอายุที่สั้นกว่า คือเพียงแค่ 2-3 สัปดาห์ ยังไม่มีการศึกษารายละเอียดที่ชัดเจนถึงบทบาทของโอโซนที่มีต่อผลกระทบเรือนกระจก และความผันแปรของผลกระทบตามสถานที่ต่างๆ

7.2 เผาฟางในนาข้าวและเพื่อทำไร่หมุนเวียนทำให้โลกร้อน

การเผาอินทรียวัตถุไม่ได้มีผลมากนักต่อสภาวะโลกร้อน เพราะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นในบรรยากาศจะถูกพืชดึงนำกลับ เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของคาร์บอนที่หมุนเวียนอยู่ในวงจรคาร์บอนชีวภาพ (ดูรายละเอียดในหัวข้อ 3.1)

อย่างไรก็ตาม การเผาอินทรียวัตถุนี้ทำให้ไม่สามารถเพิ่มปริมาณคาร์บอนที่จะเก็บกักไว้ในดินให้มากขึ้น (เพราะอินทรียวัตถุถูกเผาทำลายไปแล้ว) และที่สำคัญก็คือ การเผาอาจทำให้อินทรียวัตถุที่มีอยู่แล้วในดินลดลง (อินทรียวัตถุเหล่านี้มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เมื่ออินทรียวัตถุในดินลดลง ก็แสดงว่าคาร์บอนที่สะสมอยู่ในดินลดลงด้วย) เนื่องจากเปิดหน้าดินให้ถูกแสงแดด ความร้อน และอากาศมากขึ้น รวมทั้งการเปิดหน้าดินมีแนวโน้มที่จะทำให้ดินถูกชะล้างมากขึ้นด้วย

ในการเผาอินทรียวัตถุส่วนใหญ่จะเกิดขี้เถ้าและเขม่าได้อีกด้วย ผลของขี้เถ้าและเขม่านั้นมีทั้งช่วยลดโลกร้อนและเพิ่มโลกร้อน (ดูรายละเอียดในหัวข้อถัดไป) แต่ปัญหาที่สำคัญก็คือ ขี้เถ้าและเขม่าในอากาศเป็นมลพิษต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ ที่ต้องสูดดมเอาเขม่าดังกล่าวเข้าไป ปัญหานี้เคยเกิดขึ้นในประเทศไทยเองหลายครั้ง ทั้งจากเขม่าควันจากไฟป่าที่เกิดขึ้นในประเทศอินโดนีเซีย ที่ส่งผลกระทบมาจนถึงภาคใต้ของประเทศไทย หรือในจังหวัดหลายแห่งภาคเหนือ ที่ประสบกับมลพิษจากเขม่าควันของไฟป่าและการเผาอินทรียวัตถุทางการเกษตร

ดังนั้นจะเห็นว่า การเผาอินทรียวัตถุไม่ได้มีผลในการเพิ่มก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศโดยตรง แต่ในทางอ้อม อาจทำให้ก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้น จากคาร์บอนที่สะสมอยู่ในดินถูกปลดปล่อยออกมามากขึ้น ซึ่งความต่างระหว่างการเผาฟางในนาข้าวส่วนใหญ่จะเป็นการเผาอินทรียวัตถุทิ้งอย่างต่อเนื่องเป็นประจำ ซึ่งทำให้เกิดการเปิดหน้าดิน และคาร์บอนในดินก็จะถูกปลดปล่อยออกมาเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าในดินนาที่มีการเผาฟางอยู่เป็นประจำ ปริมาณอินทรียวัตถุในดินจะต่ำมาก ซึ่งแสดงว่าคาร์บอนในดินถูกปลดปล่อยออกไปด้วย ในทางกลับกัน การเผาแปลงเพื่อทำไร่หมุนเวียนนั้น ไม่ได้เป็นการเผาอย่างต่อเนื่อง แต่เป็นการเผาเป็นระยะทุก 5 - 6 ปี และจากการศึกษาก็พบว่า ไร่หมุนเวียนที่จัดการอย่างถูกต้อง อินทรียวัตถุในไร่หมุนเวียนหลังจากการเผาไม่ได้ลดลงมาก อีกทั้งในปีถัดมา กลับมีอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีพืชพรรณต่างๆ จำนวนมากขึ้นที่ขึ้นในไร่หมุนเวียนที่ปล่อยทิ้งไว้ ดังนั้น การเผาอินทรียวัตถุของไร่หมุนเวียนจึงไม่ได้ทำให้เกิดโลกร้อนเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ดี ปัญหามลพิษทางอากาศจากเขม่าควันและขี้เถ้าจากการเผานั้นจะมีมากน้อยขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณอินทรียวัตถุที่ถูกเผา ซึ่งทั้งการเผาฟางน่าจะทำให้เกิดมลพิษทางอากาศมากกว่าและการเผาไร่หมุนเวียน เพราะการทำนาข้าวจะกระจุกตัวอยู่ติดต่อกันเป็นพื้นที่กว้าง เมื่อมีการเผาเขม่าควันก็จะหนาแน่นมาก ในขณะที่ไร่หมุนเวียนจะกระจายเป็นหย่อมๆ เขม่าควันของไร่หมุนเวียนจึงมีปัญหาด้านมลพิษอากาศต่ำกว่า

7.3 ฝุ่นและเขม่าควันทำให้โลกร้อน

ที่จริงแล้ว มีสสารขนาดเล็กที่ล่องลอยอยู่ในอากาศ เช่น ฝุ่น (dust) เขม่า (soot) ควัน (smoke) และขี้เถ้า (fly ash) ซึ่งในภาษาอังกฤษจะเรียก aerosols ซึ่งในภาษาไทยน่าจะแปลว่า "ละออง" แต่เนื่องจากไม่ได้ความหมายที่ดีนัก จึงขอเรียกรวมๆ กันว่า "ฝุ่นและเขม่าควัน" แทน

ฝุ่นและเขม่าควันเหล่านี้เกิดได้จาก 3 แหล่งสำคัญ คือ การเผาอินทรียวัตถุทุกชนิด (ที่มีการเผาอย่างไม่สมบูรณ์) การเผาเชื้อเพลิงฟอสซิล ทั้งถ่านหินและน้ำมัน (ซึ่งมีการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์เช่นกัน) และการพ่นเถ้าของภูเขาไฟที่เกิดระเบิดขึ้น

ฝุ่นและเขม่าควันเหล่านี้มีผลต่อการทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกเพิ่มขึ้นและลดลงได้ ขึ้นอยู่กับลักษณะของฝุ่นและเขม่าควันนั้น ฝุ่นที่มีกำมะถัน (sulfate aerosols) จะมีสีอ่อน ซึ่งช่วยสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์ ทำให้รังสีดวงอาทิตย์ส่องมาถึงโลกได้น้อยลง อุณหภูมิผิวโลกก็จะร้อนน้อยลงตามไป (นอกจากนี้ฝุ่นที่มีกำมะถันนี้เป็นสาเหตุของฝนกรด ซึ่งจะทำให้ต้นไม้ตายลงเป็นจำนวนมาก และเมื่อต้นไม้ตายลง ก็จะปลดปล่อยคาร์บอนออกมาด้วย) ในขณะที่เขม่าควันดำนั้น มีสีที่เข้ม จะช่วยบดบังรังสีจากดวงอาทิตย์ให้ส่องมาที่โลกได้น้อยลง ซึ่งทำให้เกิดภาวะ "โลกสลัว" (global dimming) ส่งผลให้อุณหภูมิผิวโลกเย็นลงได้ นักวิทยาศาสตร์ได้เคยตรวจวัดสภาพโลกสลัวที่เกาะมัลดีฟ ในช่วงทศวรรษ 1990 ซึ่งมีเขม่าควันที่ลอยปกคลุม (เป็นเขม่าจากการเผาอินทรียวัตถุในประเทศอินเดีย ที่ลอยมาตามลม) และพบว่า เขม่าดังกล่าวลดแสงอาทิตย์ที่ส่องลงมาที่เกาะมากถึง 10% ทีเดียว

แต่นักวิทยาศาสตร์บางส่วนเชื่อว่า เขม่าที่มีสีเข้มนี้ ตัวมันเองอาจดูดซับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิที่อยู่บนที่สูงของผิวโลก เช่น บนภูเขาสูง มีอุณหภูมิสูงขึ้น เช่น ทำให้น้ำแข็งในธารน้ำแข็งบนภูเขาหิมาลัยละลายเร็วขึ้น

โดยรวมแล้ว ฝุ่นและเขม่าควันอาจจะไม่ได้มีผลทำให้เกิดภาวะโลกร้อนเพิ่มขึ้นโดยตรง และอาจมีผลในทางตรงกันข้ามมากกว่า แต่อย่างไรก็ดี ฝุ่นและเขม่าควันนี้เป็นมลพิษทางอากาศที่เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจของมนุษย์และสัตว์ และอาจรวมถึงพืชด้วย ในกรณีที่เป็นฝุ่นกำมะถัน

เอกสารอ้างอิง

วิฑูรย์ ปัญญากุล (2538), **โลกร้อน บทเรียนจากอนาคต**, สถาบันชุมชนท้องถิ่นพัฒนา, กรุงเทพ.

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2551) **ยุทธศาสตร์แห่งชาติว่าด้วยการจัดการการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พ.ศ. 2551-2555**, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพ.

พิมพันธ์ เจิมสวัสดิพงษ์, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์, ลัดดาวัลย์ กรรณนุช, นิวัติ เจริญศิลป์, ประไพ ชัยโรจน์, หรรษา คุณาไท (2545), การปล่อยออกก๊าซมีเทนจากนาข้าวในประเทศไทยและการจัดทำฐานข้อมูล, ...

Burroughs, W.J.; Crowder, B.; Robertson, T.; Vallier-Talbot, E.; Whitaker, R. (2007), **Weather: Revised and Updated**, Fog City Press, San Francisco.

FAO (2006), **Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options**, Livestock, Environment and Development (LEAD) and FAO, Rome.

FAO (2007), **Rice and Climate Change. Factsheet**, FAO, Rome.

Kongshaug, G. 1998. **Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions in Fertilizer Production**. IFA Technical Conference, Marrakech, Morocco, 28 September-1 October, 1998, 18pp.

UNEFP/GRID-Arendal (2009) **Climate in Peril : A popular guide to the latest IPCC reports**, UNEP.

Wood, Sam and Cowie, Annette (2004), **A Review of Greenhouse Gas Emission Factors for Fertiliser Production,** IEA Bioenergy Task 38, http://www.ieabioenergy-task38.org/publications/GHG_Emission_Fertilizer%20Production_July2004.pdf