

## บทที่ 11

### คาร์บอนไดออกไซด์กับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศเกิดจากธรรมชาติและเกิดจากฝีมือมนุษย์ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ และการตัดไม้ทำลายป่าเพื่อใช้เป็นที่อยู่อาศัย หรือ การเกษตรกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตัดไม้ทำลายป่านี้ นับว่าเป็นตัวการสำคัญที่สุดในการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ ทั้งนี้เนื่องจากต้นไม้และป่าไม้มีคุณสมบัติที่ดี คือ มันสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ก่อนที่จะลอยขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ ดังนั้นเมื่อพื้นที่ป่าลดน้อยลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จึงขึ้นไปสะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศได้มากขึ้น จากผลการศึกษาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยหน่วยงาน IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) ระบุว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซเรือนกระจกที่ทำให้เกิดพลังงานความร้อนสะสมในบรรยากาศของโลกมากที่สุด ในบรรดาก๊าซเรือนกระจกชนิดอื่นๆ ทั้งยังมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นกว่าก๊าซชนิดอื่นๆ ด้วย ซึ่งหมายถึงผลกระทบโดยตรงต่ออุณหภูมิของโลกและชั้นบรรยากาศจะยิ่งทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น ล่าสุดหน่วยงาน IPCC ได้รายงานปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นโดยฝีมือมนุษย์ที่ทำให้พลังงานรังสีความร้อน สะสมบนผิวโลก และชั้นบรรยากาศเพิ่มขึ้นประมาณ 1.56 วัตต์ต่อตารางเมตร ในปริมาณนี้ยังไม่คิด รวมผลกระทบที่เกิดขึ้นทางอ้อมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

#### 1. ความสำคัญของคาร์บอนไดออกไซด์

คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide) คือ สารประกอบของคาร์บอนที่อยู่ในสถานะก๊าซ ที่ลอยตัวอยู่ในชั้นบรรยากาศของโลก ซึ่งประกอบด้วย คาร์บอน 1 อะตอม และออกซิเจน 2 อะตอม ในหนึ่งโมเลกุล คาร์บอนไดออกไซด์เป็นหนึ่งในสารประกอบเคมีของคาร์บอนที่เป็นที่รู้จักมากที่สุด มีสูตรทางเคมี คือ  $\text{CO}_2$

การค้นพบก๊าซชนิดนี้ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1630 โดย Jean Baptista van Helmont จากการหมักเบียร์ และตั้งชื่อว่า "ก๊าซซิลเวสเตอร์" (Sylvestre gas) หรือหมายถึงก๊าซที่ได้จากต้นไม้ อีก 124 ปีต่อมา Joseph Black ได้ศึกษาทดลองใหม่และเตรียมก๊าซชนิดนี้ขึ้นมาได้ และตั้งชื่อว่า "ฟิกซ์แอร์" (Fixed air) ซึ่งได้จากการผสมระหว่างซอร์คกับกรดเจือจาง หรือถ่านกับออกซิเจน ต่อมาปี ค.ศ. 1781 Lavoisier พบธาตุที่เป็นส่วนประกอบจึงตั้งชื่อใหม่ว่า "กรดคาร์บอนิก"

จากทฤษฎีบิ๊กแบง (Big Bang) ซึ่งเป็นจุดกำเนิดของอวกาศและเวลา ดวงดาวต่าง ๆ ซึ่งเกิดจากการรวมตัวของอนุภาคและก๊าซต่าง ๆ ในอวกาศ รวมทั้งระบบสุริยะจักรวาลของเราด้วย โลกนับเป็นดาวเคราะห์ดวงหนึ่งที่ถือกำเนิดขึ้นมา แต่ก็ยังไม่มีสิ่งมีชีวิตใด ๆ เกิดขึ้น เนื่องจากมีปัจจัยหลาย ๆ อย่างที่ไม่เหมาะสมโดยเฉพาะอย่างยิ่งอุณหภูมิที่ร้อนจัดจนสามารถละลายหินได้ในเวลากลางวัน และอุณหภูมิลดลงจนเย็นจัดในเวลากลางคืน เนื่องจากไม่มีชั้นบรรยากาศตอนกลางวันเมื่อได้รับแสงอาทิตย์จะร้อนจัด และตอนกลางคืนจะเย็นจัดเนื่องจากความร้อนจากตอนกลางวันไม่สามารถสะสมไว้ได้จึงหายไป ในเวลากลางคืน แต่จากปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ บนผิวโลกทำให้เกิดก๊าซมากมายขึ้นบนผิวโลก

คาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซสำคัญมากตัวหนึ่งที่เกิดขึ้นบนผิวโลกในยุคหนึ่ง ซึ่งสมบัติของมันคือการยอมให้แสงผ่านได้แต่จะกักพลังงานความร้อนไว้ทำให้พลังงานความร้อนที่มา กับแสงถูกกักเก็บไว้บนผิวโลกและไม่หลุดหายไป ในเวลากลางคืน จึงทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างกลางวันและกลางคืนไม่แตกต่างกันมากนัก นอกจากนี้ยังพบว่ายังมีก๊าซอื่น ๆ ที่ช่วยในการกรองรังสีต่าง ๆ ที่มากับแสงอาทิตย์ เช่น โอโซน เป็นต้น จากสภาวะดังกล่าวนี้ นับเป็นจุดเริ่มต้นในการกำเนิดสิ่งมีชีวิต และวิวัฒนาการมาจวบจนทุกวันนี้

จากการที่คาร์บอนไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบหนึ่งของชั้นบรรยากาศโลก ถึงแม้จะมีอยู่ในปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับองค์ประกอบอื่น ๆ คือมีประมาณร้อยละ 0.033 เท่านั้น แต่คาร์บอนไดออกไซด์กลับมีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของชั้นบรรยากาศโลกเป็นอย่างยิ่ง โดยมีบทบาทที่สำคัญคือ มีคุณสมบัติเป็นก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas)

ในชั้นบรรยากาศของโลกประกอบด้วยก๊าซต่าง ๆ หลายชนิดแต่ละชนิดมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลงตามคุณสมบัติทางเคมีของก๊าซแต่ละชนิด ดังนั้นก๊าซที่มีมาก

เกินสมดุลในชั้นบรรยากาศจะสะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศ ก๊าซบางชนิดสามารถสะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศได้นานหลายร้อยปี บางชนิดสะสมอยู่ในเวลาเพียงไม่กี่ปีก็สลายไป ก๊าซเรือนกระจกที่กล่าวถึงนี้ก็เช่นกัน เนื่องจากมันมีปริมาณที่มากเกินสมดุลในชั้นบรรยากาศ มันจึงสะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศและสะสมอยู่ได้เป็นเวลานานหลายปี ก๊าซเรือนกระจกอาจแบ่งได้เป็นสองพวกตามอายุการสะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศ คือ พวกที่มีอายุการสะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศไม่นาน เนื่องจากก๊าซเหล่านี้สามารถทำปฏิกิริยาได้ดีกับไอน้ำ หรือก๊าซอื่น ๆ จึงทำให้มันมีอายุสะสมเฉลี่ยสั้น ส่วนอีกพวกหนึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจก ซึ่งมีอายุสะสมเฉลี่ยยาวนานหลายปี เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (NO<sub>2</sub>) และก๊าซคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFC) เป็นต้น ก๊าซเหล่านี้นับเป็นก๊าซที่เป็นตัวการหลักของการเกิดภาวะเรือนกระจก เนื่องจากมันมีอายุสะสมเฉลี่ยยาวนาน และสามารถดูดกลืนรังสีอินฟราเรดได้ดีกว่าก๊าซเรือนกระจกอื่น ๆ เนื่องจากก๊าซเรือนกระจกนั้นมีคุณสมบัติในการดูดซับความร้อนหรือดูดกลืนรังสีความร้อน โดยเฉพาะรังสีความร้อนที่โลกคายออกไป

### 1.1 ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas)

แม้ว่าก๊าซไนโตรเจน และก๊าซออกซิเจน จะเป็นองค์ประกอบหลักแต่ก็มิได้มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิของโลก ในทางตรงกันข้ามก๊าซโมเลกุลใหญ่ เช่น ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน แม้จะมีอยู่ในบรรยากาศเพียงเล็กน้อย แต่มีความสามารถในการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด ทำให้อุณหภูมิของโลกอบอุ่น

**ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas)** ประกอบด้วยก๊าซที่สำคัญ คือ

**ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์** ปัจจุบันในชั้นบรรยากาศมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 380 โมเลกุลในทุก ๆ 1 ล้านโมเลกุลของมวลอากาศ หรือ 380 ppm (part per million) และมีการเพิ่มขึ้นประมาณปีละ 1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับราว 100 ปีก่อนในยุคปฏิวัติอุตสาหกรรม ระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ที่ประมาณ 280 ppm นักวิทยาศาสตร์คาดการณ์ว่า ในอีก 100 ปีข้างหน้า ถ้าไม่มีการแก้ไขหรือชะลอการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นเป็นเกือบ 1000 ppm ซึ่งเป็นการเพิ่มในอัตราที่เร็วกว่าที่ผ่านมาอย่างมาก

**ก๊าซมีเทน** เป็นก๊าซที่เกิดจากการปลูกข้าว การเลี้ยงสัตว์ และการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิล แม้ว่าก๊าซมีเทนในชั้นบรรยากาศจะมีเพียงเล็กน้อย แต่โมเลกุลของก๊าซมีเทนสามารถดูดกลืนรังสีความร้อนได้มากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 25 เท่า ปัจจุบันก๊าซมีเทนมีสะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศประมาณ 1.8 ppm

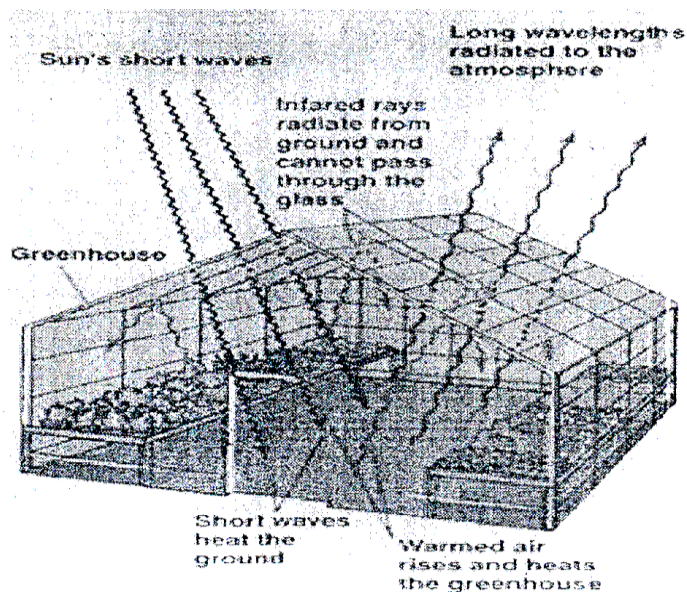
**ก๊าซโอโซนระดับผิวโลก** เมื่ออยู่ในชั้นบรรยากาศสูงๆ ก๊าซโอโซนจะช่วยปกป้องโลกจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต แต่โอโซนที่อยู่ในระดับผิวโลก จะทำหน้าที่เป็นสารออกซิแดนท์ ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต ถึงแม้ว่าจะมีอยู่ในบรรยากาศเพียงเล็กน้อย แต่มีความสามารถในการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด ทำให้โลกอบอุ่นขึ้นด้วย ปัจจุบันมีก๊าซโอโซนระดับพื้นผิวโลกสะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศประมาณ 0.03 ppm

**ก๊าซไนตรัสออกไซด์** โรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตเส้นใยในลอน อุตสาหกรรมเคมีและพลาสติก ใช้กรดไนตริกในกระบวนการผลิต ซึ่งจะปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ รวมไปถึงปุ๋ยไนโตรเจนที่ใช้ในการทำการเกษตร และแม้ว่าในธรรมชาติจะมีการปล่อยก๊าซชนิดนี้ออกมา แต่ก๊าซไนตรัสออกไซด์จากโรงงานอุตสาหกรรมมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ความร้อนในชั้นบรรยากาศเพิ่มขึ้น ปัจจุบันมีก๊าซไนตรัสออกไซด์สะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศของโลกประมาณ 0.3 ppm

**ก๊าซซีเอฟซี** ก๊าซชนิดนี้เป็นก๊าซที่มีสารประกอบคลอโรฟลูออโรคาร์บอน มีใช้ในเครื่องปรับอากาศ ตู้เย็น สเปรย์ น้ำยาดับเพลิง ฯลฯ เป็นตัวการที่สำคัญที่ทำให้เกิดรูโหว่ของโอโซนในชั้นบรรยากาศ ทำให้รังสีอัลตราไวโอเล็ตส่องลงมาถึงพื้นโลกได้มากขึ้น แม้ว่าปัจจุบันทั่วโลกได้รณรงค์การลดการปล่อยก๊าซซีเอฟซีลงได้ถึง 40% แต่ที่ยังหลงเหลืออยู่ในชั้นบรรยากาศก็มีส่วนดูดกลืนรังสีอินฟราเรด จนเกิดความร้อนสะสมขึ้นประมาณ 0.28 วัตต์/ตารางเมตร ปัจจุบันก๊าซซีเอฟซีมีสะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศประมาณ 1 ppm

## 1.2 ภาวะเรือนกระจก (Greenhouse Effect)

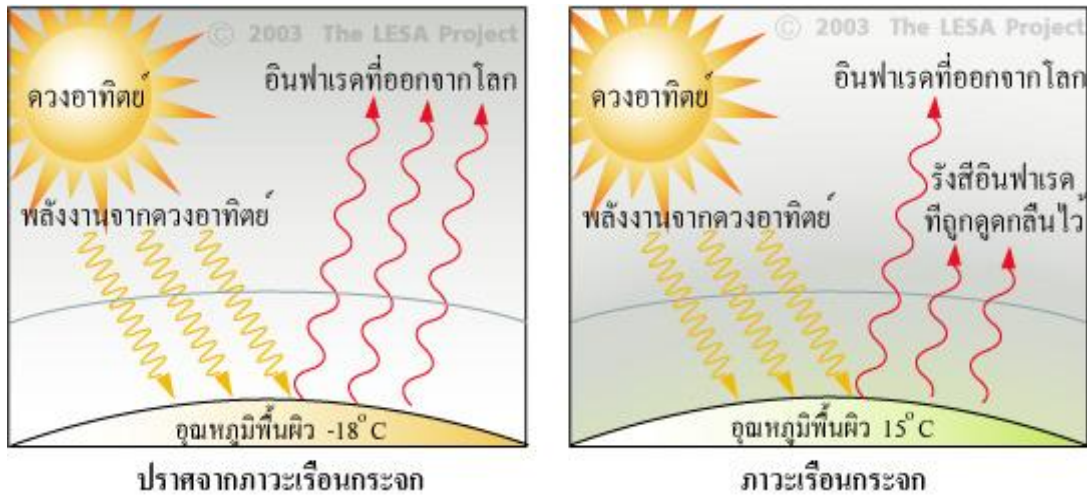
เป็นปรากฏการณ์ที่คล้ายกับการที่เราสร้างเรือนกระจกกลางแจ้ง แสงแดดสามารถผ่านเข้ามาในเรือนกระจก แต่ความร้อนที่เกิดขึ้นไม่สามารถระบายออกข้างนอกได้ ทำให้อุณหภูมิภายในเรือนกระจกสูงขึ้นเรื่อย ๆ



รูปที่ 11.1 ปรากฏการณ์เรือนกระจกของโลกที่มีลักษณะคล้ายกับโรงเรือนกระจกปลูกพืช

เมื่อแสงอาทิตย์ส่องผ่านลงมายังพื้นโลก ก็เกิดการดูดซับและสะท้อนกลับ โดยรังสีจากแสงอาทิตย์จะอยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดคลื่นสั้น ก๊าซเรือนกระจก ซึ่งได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ไนตรัสออกไซด์ และโอโซน จะทำการดูดซับรังสีจากดวงอาทิตย์เอาไว้ส่วนหนึ่งและสะท้อนกลับออกไปส่วนหนึ่ง

ส่วนรังสีคลื่นยาว หรือ รังสีอินฟราเรดที่ถูกส่งออกไปจากโลก นั้นจะถูกดูดซับเอาไว้โดยก๊าซเรือนกระจก จากนั้นก็จะคายพลังงานความร้อน ให้กระจายอยู่ภายในชั้นบรรยากาศและพื้นผิวโลก จึงเปรียบเสมือนกระจกที่ปกคลุมผิวโลกให้มีภาวะสมดุลทางอุณหภูมิ ทำให้อุณหภูมิที่พื้นผิวของโลกมีความอบอุ่น



รูปที่ 11.2 เปรียบเทียบการดูดซับแสงอาทิตย์ของพื้นผิวโลกในสภาพที่ปราศจากภาวะเรือนกระจก และในภาวะเรือนกระจก

จากรูปที่ 11.2 จะเห็นได้ว่าในสภาวะที่ปราศจากภาวะเรือนกระจก พื้นผิวของโลกจะมีอุณหภูมิต่ำ แต่ในสภาวะที่เกิดภาวะเรือนกระจก พื้นผิวของโลกจะอบอุ่นขึ้น หรือมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นและค่อนข้างคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงระดับของอุณหภูมิมากนัก ซึ่งเหมาะแก่การดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่บนพื้นผิวโลก

## 2. แหล่งที่มาของคาร์บอนไดออกไซด์

### 2.1 วัฏจักรของคาร์บอน

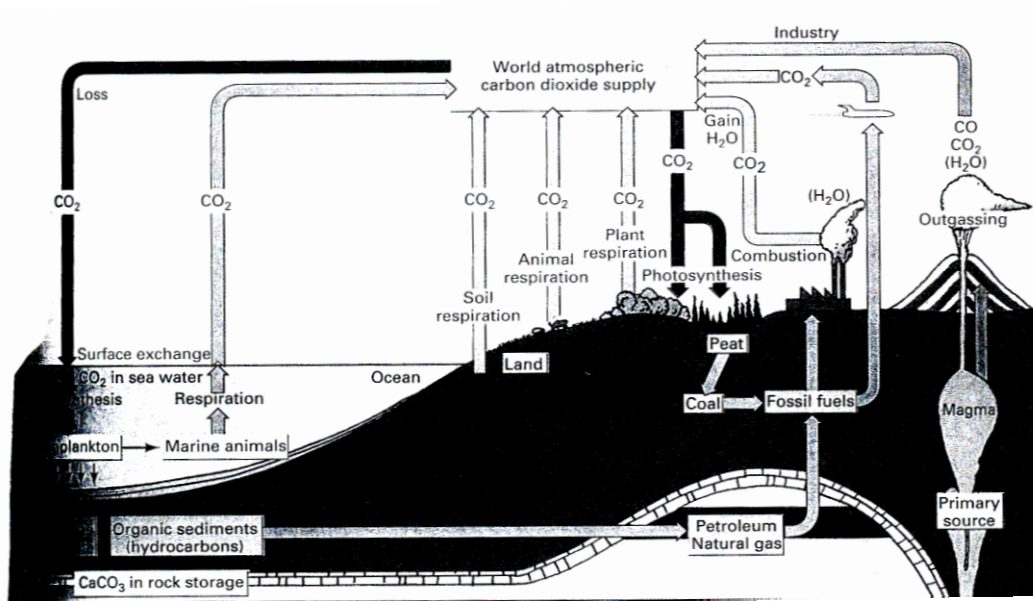
คาร์บอนไดออกไซด์นั้นอยู่ในรูปของสารประกอบทางเคมีที่มาจากธาตุคาร์บอน ซึ่งเป็นธาตุที่มีความสำคัญในองค์ประกอบทางเคมีของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ตั้งแต่สิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวไปจนถึงสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ที่มีระบบการทำงานของอวัยวะที่ซับซ้อน โดยคาร์บอนจะอยู่ในรูปของสารประกอบคาร์บอนที่สิ่งมีชีวิตเหล่านั้นเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพความสำคัญ

ภายในองค์ประกอบนั้นๆ โดยสารประกอบอินทรีย์ทุกชนิดจะต้องมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ แหล่งที่มาของคาร์บอนจึงมีอยู่ทั้งที่อยู่ในพื้นดิน ชั้นหิน แหล่งน้ำ และชั้นบรรยากาศ

คาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นได้หลายลักษณะ เช่น ภูเขาไฟระเบิด การหายใจของสิ่งมีชีวิต หรือการเผาไหม้และถ่านหิน ซึ่งคาร์บอนไดออกไซด์เป็นวัตถุติดสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช เพื่อใช้คาร์บอนในการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรต จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงนี้ พืชจะปลดปล่อยก๊าซออกซิเจนออกมาสู่บรรยากาศ ทำให้สัตว์ได้ใช้ออกซิเจนนี้ในการหายใจ การนำคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชจึงเป็นการลดก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศลงได้

นอกจากนี้การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่ชั้นบรรยากาศ ยังเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงและถ่านหิน ที่มนุษย์เราได้ขุดเจาะนำขึ้นมาใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ที่ต้องการใช้พลังงานในการดำรงชีวิต

การหมุนเวียนของคาร์บอนในระบบนิเวศของโลกโดย เริ่มจากคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศที่ละลายในน้ำฝนมีสภาพเป็นกรดคาร์บอนิก ซึ่งเป็นกรดอ่อนๆไหลผ่านซากอินทรีย์ ดิน ตลอดจนชั้นหินต่างๆ ทำให้เกิดการสลายตัวของหิน และเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตสะสมอยู่ในแหล่งน้ำ พืชน้ำสามารถนำไปใช้ได้ทันที ส่วนพืชบกจะได้รับคาร์บอน ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากกระบวนการหายใจของพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ และจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงต่างๆ ดังนั้นคาร์บอนจึงหมุนเวียนอยู่ในระบบนิเวศอย่างสมดุล



รูปที่ 11.3 วัฏจักรของคาร์บอน (carbon cycle)

คาร์บอนที่อยู่ในชั้นบรรยากาศมีโอกาสหมุนเวียนเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้ โดยการสังเคราะห์แสงของผู้ผลิต (พืชพรรณธรรมชาติ) เป็นสำคัญ อัตราการจับคาร์บอนจากชั้นบรรยากาศของพืชในระบบนิเวศน์แต่ละแห่งมีค่าไม่เท่ากัน ป่าเขตร้อนมีอัตราการจับคาร์บอน (ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์) ในอัตราปีละ 1-2 กิโลกรัมต่อตารางกิโลเมตร ในขณะที่เขตทุนดราหรือทะเลทรายที่ว่างเปล่าสามารถจับได้เพียง 10-20 กรัมต่อ 1 ตารางกิโลเมตร ซึ่งถือได้ว่าเป็นเพียงร้อยละ 1-2 ของป่าเขตร้อน เท่านั้น ส่วนในเขตอบอุ่นบริเวณที่เป็นป่าหรือบริเวณที่ทำการเพาะปลูก พืชมีอัตราการจับคาร์บอนอยู่ระหว่าง 0.2-0.4 กิโลกรัมต่อตารางกิโลเมตร อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาทั้งโลกนี้เวศน์นั้นจะพบว่าอัตราการสร้างสารอินทรีย์จากคาร์บอนทั้งหมด คิดเป็นน้ำหนักของสารอินทรีย์ได้ประมาณ 20,000-30,000 ล้านตันต่อปี

ส่วนในมหาสมุทรนั้นมีแพลงตอนพืช ทำหน้าที่จับคาร์บอน ประมาณ 4 หมื่นล้านตันต่อปี ทั้งคาร์บอนไดออกไซด์ที่จับกับออกซิเจนที่ถูกปลดปล่อยออกมาส่วนใหญ่อยู่ในรูปของก๊าซที่ละลายน้ำในบริเวณผิวของมหาสมุทร แม้ว่าคาร์บอนในมหาสมุทรจะสามารถ หมุนเวียน



เป็นวัฏจักรได้ แต่ก็ยังมีการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (รวมทั้งก๊าซออกซิเจน) ระหว่างบรรยากาศกับทะเลโดยมีลมและคลื่นเป็นส่วนร่วมที่สำคัญในกระบวนการแลกเปลี่ยนนี้ และไม่ว่าขณะใดก็ตามปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายอยู่บริเวณผิวของน้ำทะเลจะยังคงความสมดุลกับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเสมอ

แบบแผนการหมุนเวียนเปลี่ยนแปลงรูปของคาร์บอนเป็นวัฏจักรในทะเลนั้น พบว่ามีความแตกต่างจากวัฏจักรบนบกอย่างเห็นได้ชัดเจน ดังจะเห็นได้ว่าผลผลิตบนบกส่วนใหญ่ถูกจำกัดโดยปริมาณน้ำจืดและฟอสฟอรัสเป็นสำคัญ ส่วนธาตุอาหารอื่นๆ ในดินจะเป็นตัวการจำกัดที่สำคัญน้อยลงไป สำหรับในทะเลผลผลิตกลับถูกจำกัดโดยธาตุอาหารหลายชนิดด้วยกัน คือ ไม่ใช่เฉพาะฟอสฟอรัสและไนโตรเจนที่ต้องการเป็นจำนวนมากเท่านั้น แต่ยังต้องการแร่ธาตุอื่นๆ อีกหลายชนิด แม้เป็นเพียงจำนวนน้อย โดยเฉพาะธาตุเหล็ก เป็นต้น เนื่องจากการแก่งแย่งอาหารในทะเลมีมาก สิ่งมีชีวิตหลายชนิดจึงพยายามปรับตัวให้มีความสามารถในการดูดซึมแร่ธาตุได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

สำหรับบริเวณที่มีผลผลิตสูงนั้นเชื่อได้ว่า เป็นเพราะได้รับธาตุอาหารจากกันทะเล ยกตัวอย่างเช่น บริเวณชายฝั่งของชิลี ชายฝั่งทะเลของญี่ปุ่นและบริเวณกระแสน้ำอุ่นกัลฟ์สตรีม ที่เป็นบริเวณที่มีปลาชุกชุม พบว่ามีอัตราการจับคาร์บอนสูงสุดถึง 0.3 กิโลกรัมต่อตารางกิโลเมตรต่อปี ความอุดมสมบูรณ์ในบริเวณเหล่านี้ล้วนเป็นผลมาจากปรากฏการณ์น้ำยกตัวสูงขึ้น (Upwelling) ทั้งสิ้นเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณทะเลเปิดไกลเขตร้อนแล้ว พบว่ามีอัตราการจับคาร์บอนต่ำกว่ามาก คือไม่ถึงหนึ่งในสิบของบริเวณดังกล่าว

มวลอินทรีย์ (Biomass) จากทุกระดับบริโภคของท้องทะเล ส่วนใหญ่ได้มาจากสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก หรือแพลงตอนทั้งหลายนั้น เมื่อตายก็จะค่อยๆจมลง ในที่สุดจะละลายอยู่ในรูปของอินทรีย์สาร บางส่วนของอินทรีย์สารเหล่านี้อาจรอดพ้นจากการถูกออกซิไดซ์ และจมลงสู่ก้นทะเลลึก ในกรณีนี้เท่ากับเป็นการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปของคาร์บอนเนตและไบคาร์บอนเนตให้ออน บริเวณก้นทะเลได้ สภาพการณ์นี้อาจที่คาร์บอนจะคืนสู่วัฏจักรจึงเป็นไปได้ยากขึ้น

วัฏจักรคาร์บอนเป็นวัฏจักรที่มีมหาสมุทรเป็นแหล่งสำรองใหญ่ ประมาณได้ว่าปริมาณของคาร์บอนในมหาสมุทรมีอยู่กว่า 50 เท่าของบรรยากาศ (บรรยากาศเป็นแหล่ง

สำรองคาร์บอนในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีปริมาณเท่ากับร้อยละ 0.03-0.04) ดังนั้น แหล่งสำรองในมหาสมุทรจึงเป็นตัวควบคุมปริมาณคาร์บอนในบรรยากาศทั้งหมด และ คาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศกับในทะเลหรือแหล่งน้ำ ย่อมมีการแลกเปลี่ยนกันอยู่เสมอ ทั้งนี้เป็นไปโดยวิธีการแพร่ธรรมดา ซึ่งทิศทางของการแพร่ขึ้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้น นอกจากนี้แหล่งน้ำยังมีโอกาสได้รับคาร์บอนจากบรรยากาศในรูปของน้ำฝนที่ละลาย คาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศลงมา โดยน้ำฝน 1 ลิตร จะมีคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ถึง 0.3 ลูกบาศก์เซนติเมตร การละลายของคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำทำให้เกิดกรดคาร์บอนิก ( $H_2CO_3$ )

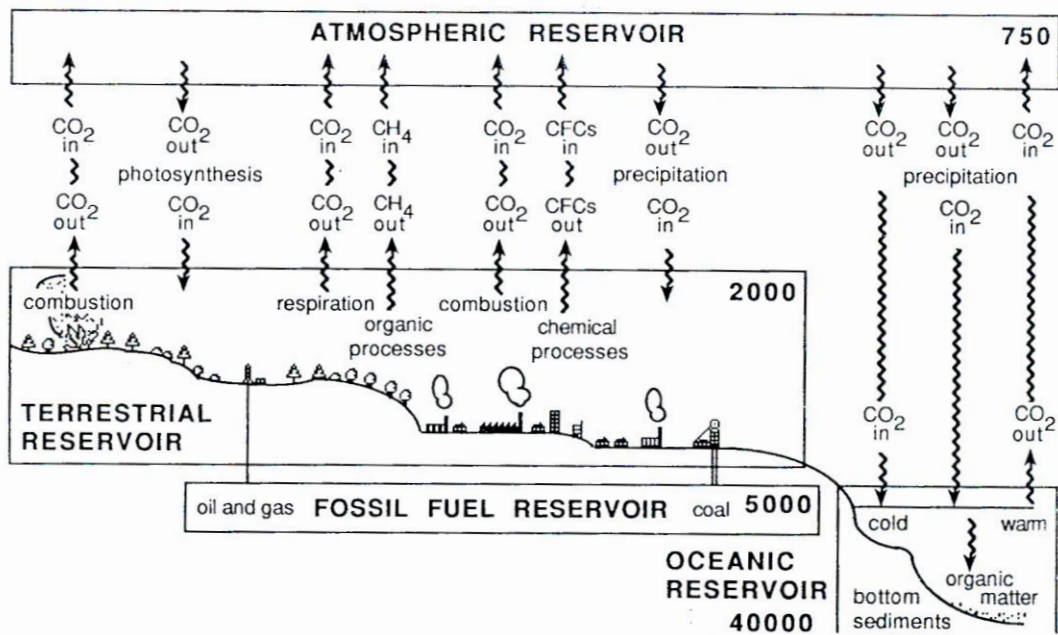
โดยสรุป จะเห็นได้ว่าวัฏจักรของคาร์บอนนั้น สามารถแยกออกได้เป็น 2 วัฏจักร คือ วัฏจักรบนบก และวัฏจักรในมหาสมุทร แม้ว่าพืชบกมีบทบาทสำคัญในการตรึงคาร์บอน เอาไว้ในรูปของสารอินทรีย์ แต่แหล่งควบคุมใหญ่ของปริมาณคาร์บอนยังคงเป็นทะเลและ มหาสมุทร ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศยังคงขึ้นอยู่กับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ ละลายอยู่ในมหาสมุทร ธรรมชาติมีกลไกในการควบคุมสมดุลของปริมาณคาร์บอนบนบกและ ในทะเลเป็นอย่างดี กล่าวคือ เมื่อคาร์บอนในรูปแคลเซียมคาร์บอเนตถูกชะล้างจากบกลงสู่ ทะเล ทำให้ทะเลมีแนวโน้มที่จะมีปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้น แต่ในขณะเดียวกันคาร์บอนในทะเล ก็จะถูกตะกอนสู่ก้นทะเลลึก ทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในทะเลลดลงไป

## 2.2 แหล่งเก็บกักคาร์บอน

คาร์บอนบนโลกในปัจจุบันนี้ อยู่ในแหล่งเก็บกักหลายแห่ง โดยพบมากที่สุด ใน ชั้นหินต่าง ๆ และรองลงมาคือตะกอนที่อยู่ในรูปของฟอสซิล มหาสมุทรลึก ดิน บรรยากาศ พื้นผิวของมหาสมุทร และพืชพรรณตามลำดับ

อัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนระหว่างแหล่งเก็บกักนั้นมีความผันแปรเป็นอย่างมาก โดยทั่วไปแล้ว ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแหล่งเก็บกักและอัตราการแลกเปลี่ยน คาร์บอนจะแปรผกผันกัน กล่าวคือ แหล่งเก็บกักขนาดเล็ก (ชั้นบรรยากาศ พื้นผิวของ มหาสมุทร และพืชพรรณธรรมชาติ) สามารถแลกเปลี่ยนคาร์บอนได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่ แหล่งเก็บกักขนาดใหญ่ อย่างเช่นในชั้นหิน จะมีอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนได้ช้ากว่า และ

เมื่อพิจารณาจากอัตราการแลกเปลี่ยนกับขนาดและความถี่ของแหล่งเก็บกัก พบว่าวัฏจักรของคาร์บอนจะแลกเปลี่ยนได้รวดเร็วในแหล่งเก็บกักขนาดเล็กที่บริเวณพื้นผิว และจะมีอัตราการแลกเปลี่ยนเป็นไปที่ช้าลงในแหล่งเก็บกักขนาดใหญ่ที่อยู่ลึกลงไป



รูปที่ 11.4 แหล่งกักเก็บคาร์บอน

ที่มา : Kemp, 1994, p. 147

คาร์บอนในระบบนิเวศจะเคลื่อนย้ายระหว่างแหล่งเก็บกักหลัก ๆ หลายแหล่ง ยกตัวอย่างเช่น บรรยากาศจะเก็บกักคาร์บอนได้มากกว่า 750 พันล้านตัน ขณะที่คาร์บอน 2,000 พันล้านตันนั้นจะถูกเก็บกักไว้ในพื้นดิน และประมาณ 40,000 พันล้านตัน จะถูกเก็บกักไว้ในมหาสมุทร

แหล่งน้ำมันจากฟอสซิลก็เป็นแหล่งเก็บกักคาร์บอนที่สำคัญเช่นกัน โดยเก็บกักคาร์บอนไว้ประมาณ 5,000 พันล้านตัน โดยที่ไม่มีการนำคาร์บอนมาใช้ในวงจรเป็นเวลานับล้านปี แต่ในขณะนี้คาร์บอนได้ถูกนำมาใช้อันเนื่องมาจากความต้องการพลังงานในปัจจุบัน

โดยการนำเอาฟอสซิลมาจากการทำเหมืองเพื่อนำมาใช้วัตถุดิบสำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงทำให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงขึ้นและได้ออกมาเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นกระบวนการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปสู่บรรยากาศในปริมาณที่มากพอที่จะทำให้เกิดการหมุนเวียนของคาร์บอนตามธรรมชาติ การหมุนเวียนของคาร์บอนที่พบมากที่สุด คือ การหมุนเวียนระหว่างชั้นบรรยากาศและสิ่งมีชีวิตที่อยู่บนพื้นผิวดิน กับการหมุนเวียนระหว่างชั้นบรรยากาศและมหาสมุทร ถึงแม้ว่าการหมุนเวียนนี้จะแตกต่างกันไปตามเวลาแต่การหมุนเวียนของคาร์บอนในธรรมชาติในระยะยาวนั้นจะไม่ส่งผลต่อการเกิดภาวะเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ เพราะมันเป็นองค์ประกอบหนึ่งของโลกและบรรยากาศ ในทางกลับกัน การที่เราทำให้คาร์บอนในบรรยากาศเพิ่มขึ้นโดยการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากกิจกรรมต่างๆแม้จะเป็นปริมาณที่น้อยกว่าคาร์บอนที่เกิดโดยธรรมชาติ แต่มันกลับส่งผลให้ระบบทางธรรมชาติไม่สามารถรองรับได้ทันที จนเกิดความไม่สมดุลระหว่างแหล่งดูดซับคาร์บอนตามธรรมชาติกับปริมาณคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น จึงทำให้ระบบไม่สามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว คาร์บอนไดออกไซด์ส่วนที่เหลือก็ยังคงอยู่ในชั้นบรรยากาศ เป็นการเพิ่มความเข้มข้นให้กับภาวะเรือนกระจกมากขึ้น จนเป็นสาเหตุทำให้โลกร้อนขึ้น

### **3. สาเหตุและความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์กับอุณหภูมิของอากาศ**

ในอดีต สภาพภูมิอากาศของโลกเรา มีการเปลี่ยนแปลงโดยธรรมชาติเกิดขึ้นหลายครั้ง ซึ่งแตกต่างจากการเปลี่ยนแปลงในปัจจุบันที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วโดยฝีมือมนุษย์ ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบในระยะยาว

จากการรายงานฉบับที่ 4 ของคณะกรรมการระหว่างประเทศว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หรือ ไอพีซีซี (International Panel on Climate Change : IPCC) เป็นรายงานที่ใช้เวลาถึง 6 ปี ในการรวบรวมงานวิจัยของนักวิทยาศาสตร์ 2,500 คน จากกว่า 30 ประเทศ รายงานครั้งนี้ระบุไว้ว่า มีความเป็นไปได้อย่างน้อย 90 เปอร์เซ็นต์ ที่การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์

ได้มีการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ กับอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวโลก พบว่าการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศโลก จะทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น นักวิทยาศาสตร์จึงทำการสำรวจเพื่อวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิของโลกย้อนกลับไปเมื่อ 650,000 ปีก่อน โดยทำการวิเคราะห์แท่งน้ำแข็ง Vostok ice core ที่ขุดเจาะจากทวีปแอนตาร์กติกา โดยทำการวิเคราะห์ฟองอากาศที่กักเก็บอยู่ในแท่งน้ำแข็งทำให้เข้าใจถึงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ณ ช่วงเวลานั้นและอุณหภูมิขณะเกิดแท่งน้ำแข็ง จากการศึกษาและวิจัยได้พบความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) และอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโลก ได้พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวโลก มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศของโลก เมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศของโลกลดลง อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวโลกจะลดลงตาม และเมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศของโลกเพิ่มขึ้น อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวโลกจะเพิ่มขึ้นตาม ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโลก

เรื่องที่น่าตกใจก็คือ ตลอดระยะเวลา 650,000 ปีที่ผ่านมา ไม่มีช่วงเวลาใดเลยที่ชั้นบรรยากาศโลกมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูงเกิน ระดับ 300 ppm เหมือนในปัจจุบัน นักวิทยาศาสตร์ทำนายว่า ถ้าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศสูงถึง 450 ppm เมื่อใดจะก่อให้เกิดความเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ต่อสภาพอากาศอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

คาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีปริมาณการเพิ่มขึ้นสูงกว่าบรรดาก๊าซเรือนกระจกอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัดเจน และก็มีแนวโน้มว่าจะสูงขึ้นอีกในปริมาณมหาศาลในอนาคต ถ้าหากโลกของเราไม่ยอมหยุดการปล่อยก๊าซชนิดขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศของโลก โดยผ่านกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ที่อาศัยอยู่บนพื้นผิวโลก ประกอบกับการลดลงของพื้นที่ป่าไม้ หรือพืชพรรณธรรมชาติ ที่จะไปช่วยดูดเอาคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช

ในปี ค.ศ. 1890 มีนักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดนชื่อว่า Svante Arrhenius ได้ศึกษาถึงผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิเฉลี่ยของผิวโลกในกรณีที่เกิดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศลงครึ่งหนึ่ง หลังจากคำนวณ

อย่างละเอียดเป็นเวลาหลายปี เขาก็ได้ข้อสรุปว่า ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศโลกที่ลดลงครึ่งหนึ่งจะทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโลกลดลงถึง 5°C. และ Svante ยังได้พิจารณาว่าโลกได้เข้าสู่ช่วงเริ่มต้นของยุคน้ำแข็งแล้ว ในอนาคตปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศจะต้องเพิ่มขึ้นไม่ใช่ลดลงเนื่องจากการเผาไหม้ของถ่านหินและเชื้อเพลิงต่างๆ และจะต้องมีผลทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวโลกเพิ่มสูงขึ้น เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Greenhouse effect นั้นเอง จากการคำนวณของเขาพบว่าถ้าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศในขณะนั้นเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าจะทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโลกเพิ่มสูงขึ้น 6°C. โดยอ้างอิงจากอัตราการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงในขณะนั้น

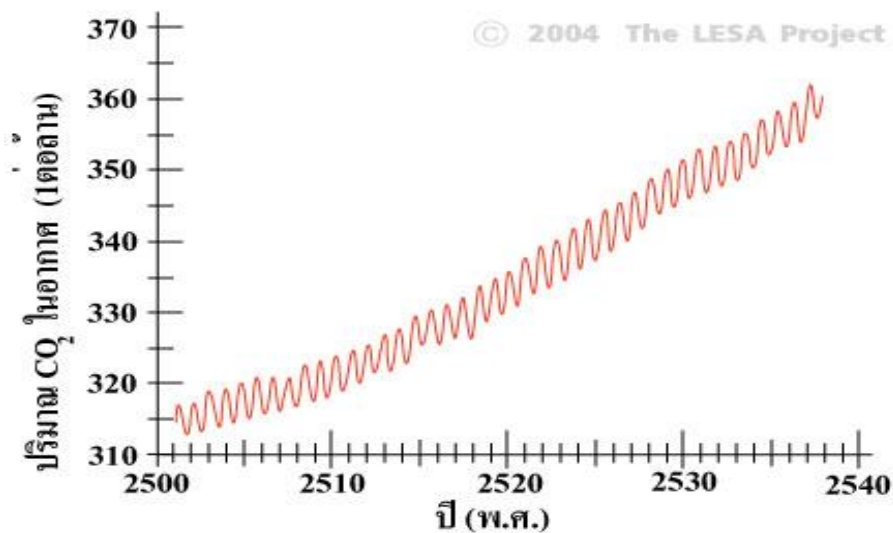
จากการพยากรณ์ล่าสุดของ The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ที่พิมพ์เผยแพร่แล้วพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวโลกจะเพิ่มขึ้น 1.4 – 5.8°C. ภายในสิ้นศตวรรษที่ 21 อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงถึง 6°C. นี่เป็นการเปลี่ยนแปลงอย่างมหาศาลและรวดเร็ว คือเพิ่มขึ้นถึง 10 เท่า จากศตวรรษที่ 20 และเปลี่ยนแปลงภายในเวลาเพียง 100 ปี เทียบกับที่นาย Svante Arrhenius คาดการณ์ไว้ที่ 2,000 ปี

คาร์บอนไดออกไซด์ถึงแม้จะเป็นก๊าซที่มีจำนวนเพียงเล็กน้อยเท่านั้นในชั้นบรรยากาศของโลก แต่กลับมีความสำคัญกับสภาพภูมิอากาศของโลกทั้งในทางตรงและทางอ้อม เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมีผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ เพราะคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศจะดูดซับความร้อนไม่ยอมให้ความร้อนผ่านกลับออกไป เมื่อความร้อนที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ผ่านเข้ามา มาก แต่ระบายกลับออกไปได้น้อย จะทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น ส่งผลให้น้ำแข็งบริเวณขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ละลาย ทำให้ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น จนอาจจะเกิดน้ำท่วมโลกได้ในอนาคต

เมื่อมนุษย์โลกเผาผลาญน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นในอัตราเร่งอย่างต่อเนื่อง ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศโลกก็จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกัน และแน่นอนอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวโลกก็จะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน และมีผลทำให้ภูมิอากาศโลกเปลี่ยนแปลงซึ่งเป็นผลโดยตรง และทำให้เกิดผลกระทบเป็นลูกโซ่ ซึ่งเมื่อถึงจุดหนึ่งก็ถึงจุดที่ซึ่งธรรมชาติไม่อาจจะเยียวยาได้อีกแล้ว

#### 4. ลักษณะของการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ

ในปัจจุบันสาเหตุที่คาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศมีปริมาณเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการเผาไหม้ในรูปแบบต่างๆ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิง จากโรงงานอุตสาหกรรม การเผาป่า เพื่อใช้เป็นพื้นที่สำหรับพักอาศัย และทำการเกษตรกรรม ซึ่งการบุกรุกทำลายพื้นที่ป่าถือเป็นสาเหตุที่มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศได้รวดเร็วมากที่สุด เพราะป่าไม้มีคุณสมบัติในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ก่อนที่จะลอยขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ ดังนั้นเมื่อพื้นที่ป่าไม้ลดน้อยลง คาร์บอนไดออกไซด์จึงลอยขึ้นไปสะสมอยู่ในบรรยากาศได้มากยิ่งขึ้น ทำให้พลังงานความร้อนมีการสะสมอยู่บนพื้นผิวโลกและในชั้นบรรยากาศเพิ่มขึ้นประมาณ 1.56 วัตต์/ตารางเมตร (ปริมาณนี้ยังไม่คิดรวมผลกระทบที่เกิดขึ้นทางอ้อม)



รูปที่ 11.5 กราฟแสดงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปี ในช่วงปี พ.ศ.2500-2540

จากกราฟแสดงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ตั้งแต่ปี พ.ศ.2500 เป็นต้นมา เส้นกราฟเป็นลักษณะฟันปลา สูงต่ำสลับกันในแต่ละรอบปี มีค่าต่างกันประมาณ 5 - 6 ppm ((part per million - ส่วนต่ออากาศหนึ่งล้านส่วน) ในฤดูร้อนมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

น้อยลง เนื่องจากพืชตรึงก๊าซเอาไว้สร้างอาหารมากกว่าใช้หายใจ ส่วนในฤดูหนาวมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้น เนื่องจากพืชคายก๊าซออกมาจากการหายใจมากกว่าการตรึงเพื่อสร้างอาหาร อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาโดยภาพรวมแล้ว อุณหภูมิมีแนวโน้มสูงขึ้นในแต่ละปี

จากการที่มนุษย์มีการบุกรุกทำลายพืชพรรณธรรมชาติ หรือพื้นที่ป่าไม้บนโลกไปเป็นจำนวนมาก จนเป็นสาเหตุที่ทำให้ระดับของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเพิ่มมากขึ้น เพราะเกิดการลดลงของปริมาณการสังเคราะห์แสงจากพืชสีเขียว ซึ่งการสังเคราะห์แสงนั้นเป็นกระบวนการเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานเคมีของพืช รวมไปถึงกระบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซของพืชด้วย ในระหว่างที่เกิดกระบวนการสังเคราะห์แสง คาร์บอนไดออกไซด์จะแตกตัวเป็นสารประกอบคาร์บอนและปลดปล่อยก๊าซออกซิเจนออกมา โดยสารประกอบคาร์บอนจะถูกเก็บไว้ ขณะที่ก๊าซออกซิเจนจะถูกปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศ จะเห็นได้ว่าพืชนั้นมีบทบาทในการควบคุมปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยจะมีความแตกต่างกันตามการเจริญเติบโตของพืชในแต่ละฤดูกาล กล่าวคือ พืชจะดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีในช่วงฤดูร้อน แต่จะไม่ดูดซับในช่วงฤดูหนาว (กรณีในประเทศเขตอบอุ่น ที่ต้นไม้จะผลัดใบในช่วงฤดูหนาว) ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับคาร์บอนไดออกไซด์ที่แตกต่างกันในช่วงปีหนึ่งๆ ของโลก

## 5. ผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ

นับตั้งแต่เริ่มรู้จักเครื่องจักรไอน้ำและนำเอาเชื้อเพลิงฟอสซิลอันได้แก่ ถ่านหิน และน้ำมัน ขึ้นมาใช้ และนั่นคือจุดเริ่มต้นของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศในปริมาณมากโดยน้ำมือมนุษย์จนเป็นผลทำให้โลกของเราต้องเผชิญกับสภาพอากาศที่ร้อนมากขึ้นกว่าในอดีตที่ผ่านมา นับตั้งแต่ที่มนุษยชาติได้กำเนิดขึ้นมาบนดาวเคราะห์โลก และนั่นก็หมายถึงว่า การเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นหนึ่งในก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญที่ไปมีผลทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกสูงขึ้น หรือที่เรียกกันว่า โลกที่ร้อน (Global Warming)



นักวิทยาศาสตร์ได้ทำการประเมินผลกระทบที่จะเกิดขึ้นโดยใช้แบบจำลองภูมิอากาศ โดยอาศัย สมมุติฐานที่ว่าถ้าหากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในชั้นบรรยากาศของโลกในปี ค.ศ.2100 เพิ่มขึ้น เป็น 2 เท่าจากระดับปัจจุบัน พบว่าอุณหภูมิผิวพื้นทั่วโลกสูงขึ้นประมาณ 1 ถึง 3.5 องศาเซลเซียส และ ระดับน้ำทะเลสูงขึ้นประมาณ 15 ถึง 95 เซนติเมตร ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ เศรษฐกิจและ สังคม รวมทั้งด้านอุทกวิทยา หรือการจัดการแหล่งน้ำ ตลอดจนโครงสร้าง พื้นฐานและสุขภาพของมนุษย์

จากการที่โลกได้รับพลังงานความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากผลกระทบของก๊าซเรือนกระจกนี้ ทำให้ นักวิทยาศาสตร์ สนใจศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม โดยได้ศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลง และประเมินผลกระทบรวมทั้งหาแนวทางการบรรเทาผลกระทบที่จะเกิดขึ้น โดยผลกระทบที่เกิดจากภาวะโลกร้อน (Global Warming) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ผลกระทบทางตรง และผลกระทบทางอ้อม

## 5.1 ผลกระทบทางตรง

### 5.1.1 เกิดภาวะความแห้งแล้ง

เมื่อโลกร้อนขึ้นก็จะทำให้หลายส่วนของโลกเกิดภาวะแห้งแล้ง เกิดไฟป่าขึ้นรวมถึงมนุษย์บุกรุกทำลายป่าเพื่อแสวงหาที่ทำกินเพิ่มขึ้นทดแทนพื้นที่ที่แห้งแล้งหรือขาดความอุดมสมบูรณ์ ทำให้ป่าไม้ที่เคยเป็นแหล่งดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเพิ่มออกซิเจนให้กับโลกหรือเป็นปอดของโลกลดลงอย่างรวดเร็ว ไฟป่าที่เพิ่มขึ้นก็จะเผาผลาญป่าไม้ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นในชั้นบรรยากาศของโลก เป็นวงจรที่ไม่สิ้นสุด และยังทำให้พื้นดินบริเวณดังกล่าวแห้งแล้ง และอาจเปลี่ยนเป็นทะเลทรายได้อีกด้วย

### 5.1.2 น้ำแข็งละลายมากขึ้น น้ำแข็งใหม่ลดลง

แต่เดิมฤดูร้อนของบริเวณขั้วโลกเหนือจะมีน้ำแข็งบางส่วนละลาย แต่ก็ยังมีน้ำแข็งเหลืออยู่ในปริมาณที่มากพอที่จะทำให้ฤดูหนาวที่มาถึงมีอุณหภูมิต่ำเพียงพอที่จะทำให้เกิดน้ำแข็งใหม่เพื่อทดแทนน้ำแข็งที่ละลายไปในฤดูร้อนหมุนเวียนเป็นวัฏจักรเช่นนี้ อย่างไรก็ตาม

ต่อเนื่อง แต่เมื่อโลกร้อนขึ้นจะทำให้น้ำแข็งละลายในปริมาณที่มากขึ้นเรื่อยๆ และมีน้ำแข็งเหลืออยู่ในฤดูหนาวน้อยลงก็จะทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูหนาวสูงขึ้น เกิดเป็นน้ำแข็งใหม่ น้อยลง ทำให้เป็นไปได้ว่า ในฤดูร้อนของปี ค.ศ. 2030 บริเวณขั้วโลกเหนือจะไม่มีน้ำแข็งเหลืออยู่เลย ซึ่งจะมีผลต่อการเกิดน้ำแข็งในฤดูหนาวอย่างแน่นอน

### 5.1.3 น้ำแข็งละลายมากขึ้นทำให้เกิดการสะท้อนแสงอาทิตย์น้อยลง

ปกติแล้วน้ำแข็งบนพื้นดินและในมหาสมุทรจะสะท้อนพลังงานแสงอาทิตย์กลับสู่อวกาศได้ถึง 90% แต่เมื่อโลกร้อนขึ้นน้ำแข็งก็จะละลายมากขึ้นและน้ำแข็งที่เหลืออยู่ก็จะสะท้อนพลังงานแสงอาทิตย์ได้น้อยลง เมื่อเป็นเช่นนี้อุณหภูมิของโลกก็จะสูงขึ้นไปอีก เกิดเป็นวัฏจักรที่น้ำแข็งละลายเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งโดยปกติแล้วจะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกกักอยู่ในน้ำแข็ง เมื่อน้ำแข็งละลาย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่กักเก็บอยู่ก็จะกลับสู่ชั้นบรรยากาศ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้โลกร้อนขึ้นไปอีก

## 5.2 ผลกระทบทางอ้อม

### 5.2.1 กระจกน้ำอุ่นในมหาสมุทรเปลี่ยนแปลง โลกยุคปัจจุบันเข้าสู่ยุคน้ำแข็งใหม่

เมื่อน้ำแข็งในบริเวณมหาสมุทรอาร์กติกและเกาะกรีนแลนด์ละลายมากขึ้นเนื่องจากภาวะโลกร้อน จะทำให้ความเค็มของน้ำทะเลลดลง ความเข้มข้นของน้ำทะเลมีการเปลี่ยนแปลง น้ำทะเลเบาขึ้นลอยนิ่งอยู่ที่ผิวน้ำ ทำให้วัฏจักรของกระจกน้ำอุ่นแอดแลนติกที่ให้ความอบอุ่นกับซีกโลกเหนืออาจจะหยุดไหลได้ และถ้าเหตุการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นจริง ซีกโลกเหนือก็จะกลับสู่ยุคน้ำแข็ง

### 5.2.2 เกิดความหายนะของระบบนิเวศวิทยา

ผลกระทบกับระบบนิเวศวิทยาที่เห็นได้ชัดแห่งหนึ่งของโลกเกิดขึ้นบริเวณขั้วโลกเหนือ เมื่อหมีขั้วโลกซึ่งต้องเดินหากินอยู่บนแผ่นน้ำแข็ง เมื่อน้ำแข็งละลาย เขตหากิน

ของหมีขั้วโลกแคบลง มีผลกระทบต่อความอยู่รอดของหมีขั้วโลกจนมีความเสี่ยงที่จะสูญพันธุ์ได้ สัตว์อื่นๆที่เคยอยู่ในบริเวณที่มีอากาศหนาวเย็น เมื่อโลกร้อนขึ้น สัตว์เหล่านั้นก็จะพยายามปรับตัว บางชนิดก็อพยพย้ายถิ่นไปยังบริเวณที่ยังมีอากาศหนาวเย็น สัตว์เหล่านั้นมีโอกาที่จะสูญพันธุ์ได้

จากการที่ปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นมากในมหาสมุทรนั้นก็จะมีผลกระทบต่อสมดุลง่ายๆในน้ำทะเล สิ่งหนึ่งที่พบก็คือ สัตว์ที่มี เปลือก (shell) ห่อหุ้มร่างกายอาจจะสร้าง shell ได้ยากขึ้น ปะการัง มอลลัสก์ หรือ แพลงก์ตอน บางจำพวกดึงคาร์บอนไดออกไซด์จากน้ำทะเล มาสร้าง shell ในรูปของ แคลเซียมคาร์บอเนต ถ้าปริมาณ  $CO_2$  ในน้ำทะเลเพิ่มขึ้น คาร์บอนไดออกไซด์จะลดลง นั่นก็คือ สัตว์เหล่านี้จะขาดวัตถุดิบในการสร้าง shell ของมัน ยิ่งปริมาณ  $CO_2$  ในน้ำทะเลเพิ่มขึ้น อัตราการโตของโครงของแพลงก์ตองก็จะยิ่งลดลง ซึ่งเป็นผลของ  $CO_2$  ต่อการสะสมแคลเซียมใน shell ของมัน อย่างไรก็ตาม ปรากฏการณ์นี้ ไม่ได้เกิดเท่ากันทั่วมหาสมุทร แต่เป็นเกิดเป็นหย่อมๆ เนื่องจาก  $CO_2$  ละลายในน้ำทะเลได้จากการแลกเปลี่ยนก๊าซที่ผิวของน้ำทะเล และจากการที่มหาสมุทรมีอัตราการผสมตัวกันค่อนข้างช้า ทำให้  $CO_2$  ส่วนใหญ่ที่พบอยู่ในบริเวณผิวๆของมหาสมุทร หรือในทะเลตื้นๆ คือส่วนบนประมาณ 10% ของมหาสมุทร สิ่งมีชีวิตที่มีเปลือกในน้ำตื้นจึงอาจประสบปัญหามากที่สุด

นอกจากนี้ยังเกิดการระบาดของโรคต่างๆในหลายส่วนของโลก เช่น ในพื้นที่ที่เป็นเขตร้อน มีรายงานทางการแพทย์ว่ามีการระบาดของไข้เลือดออกซึ่งเป็นโรคในเขตร้อนในเขตเทือกเขาแอนดิส ประเทศชิลี โรคที่เคยควบคุมได้ ในเขตร้อนก็เกิดการระบาดขึ้นอีก เป็นต้น โดยที่เมื่อโลกร้อนขึ้นพาหะของโรค หรือแบคทีเรียหรือเชื้อไวรัสซึ่งต้นเหตุของโรคร้ายสามารถเจริญเติบโตและแพร่กระจายได้โดยง่าย

### 5.2.3 เกิดฝนตกหนัก น้ำท่วม พายุถล่ม

เมื่อโลกร้อนขึ้น อัตราการระเหยของน้ำบนดินและในมหาสมุทรเพิ่มขึ้น ไอน้ำในชั้นบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งไอน้ำนี้เองก็มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับก๊าซเรือนกระจก ก็ยิ่งทำให้เกิดภาวะโลกร้อนเพิ่มขึ้นอีก ทั้งหมดนี้มีผลต่อความกดอากาศของโลก ทำให้ในบางพื้นที่

ที่แห้งแล้งก็เกิดฝนตก บางพื้นที่ที่เคยฝนตกก็เกิดภาวะแห้งแล้ง แม่น้ำ ลำน้ำแห้งขอด เปลี่ยนทิศทางการไหล เกิดฤดูกาลที่ผิดปกติไปทั่วโลก อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวโลกที่สูงขึ้นและความกดอากาศที่เปลี่ยนแปลง ก่อให้เกิดพายุเฮอริเคน ความเร็วสูง ขนาด F-5 ที่ถล่มเมืองนิวยอร์กของสหรัฐอเมริกา จากหลักฐานทางอุตุนิยมวิทยาพบว่าจำนวนของพายุทอร์นาโด พายุเฮอริเคน และพายุไต้ฝุ่นที่เกิดขึ้นในรอบปี ค.ศ. 2004 – 2005 เพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่าของคริสต์ศตวรรษที่ 20

เนื่องจากผลกระทบของสภาวะโลกร้อนได้เริ่มส่อเค้ามานาน ซึ่งองค์การสหประชาชาติมองว่าปัญหาภาวะภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงจะส่งผลกระทบต่อผู้คนในทุกทวีปอย่างหนีไม่พ้น จึงมีความพยายามในการกำหนดมาตรการทางกฎหมายขึ้นมาเพื่อเป้าหมายในการรับมือกับปัญหาสภาวะโลกร้อน พิธีสารเกียวโต หรือ ชื่ออย่างเป็นทางการว่า Kyoto protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change จึงบังเกิดขึ้น โดยมีการเจรจาครั้งแรกที่เมืองเกียวโต ประเทศญี่ปุ่นในเดือนธันวาคม ปี 2540 และมีผลบังคับใช้ครั้งแรกในวันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2548 ภายใต้พิธีสารเกียวโตมี 3 กลไกที่มุ่งจะช่วยให้ประเทศพัฒนาแล้วบรรลุเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ได้แก่ การดำเนินการร่วมกัน (Joint Implementation หรือ JI) การค้าขายแลกเปลี่ยนก๊าซเรือนกระจก (Emission Trading หรือ ET) และกลไกการพัฒนาที่สะอาด (Clean Development Mechanism หรือ CDM) โดย 2 กลไกแรกเป็นกลไกที่เกิดขึ้นได้ระหว่างประเทศพัฒนาแล้วด้วยกันเท่านั้น สำหรับกลไกที่ 3 ซึ่งเป็นเรื่องของกลไกการพัฒนาที่สะอาดที่เป็นการดำเนินการร่วมกันระหว่างประเทศที่พัฒนาแล้วกับประเทศกำลังพัฒนา มีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยให้ประเทศพัฒนาแล้วบรรลุเป้าหมายของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้ได้ตามพันธกรณีควบคู่ไปกับการช่วยให้ประเทศกำลังพัฒนาบรรลุการพัฒนาที่ยั่งยืนได้ โดยประเทศพัฒนาแล้วจะมาลงทุนดำเนินโครงการเพื่อให้เกิดการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเทศที่กำลังพัฒนา แล้วจะนำปริมาณก๊าซที่ลดได้จากการดำเนินกิจกรรมหรือโครงการ CDM มาคำนวณเสมือนว่าได้ดำเนินการลดในประเทศของตนเอง

กิจกรรมที่รู้จักกันดีภายใต้กลไกการพัฒนาที่สะอาด คือ โครงการ Carbon Credit ซึ่ง หมายถึง ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดได้ (Certified Emission Reduction,

CERs) ข้อดีของโครงการ Carbon Credit คือ ประเทศกำลังพัฒนาจะได้รับความช่วยเหลือด้านการลงทุนจากประเทศที่พัฒนาแล้ว และได้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีการลดก๊าซเรือนกระจก อย่างไรก็ตามข้อเสียก็มีอยู่เช่นกัน นั่นคือประเทศกำลังพัฒนาจะต้องโอน Carbon Credit ที่ได้จากโครงการให้ประเทศที่พัฒนาแล้ว อีกทั้งยังต้องรับภาระค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่เกิดขึ้นในช่วงก่อนและระหว่างดำเนินโครงการ เช่น ค่าจ้างผู้เชี่ยวชาญ ค่าติดตามตรวจสอบ และตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดได้ ซึ่งถ้าเป็นการดำเนินโครงการขนาดเล็ก ค่าใช้จ่ายต่างๆ เหล่านี้อาจไม่คุ้มค่างบเงินลงทุน

สำหรับคนทั่วไปเมื่อพูดถึงผลกระทบจากสภาวะโลกร้อนส่วนใหญ่จะมองถึงผลกระทบทางเศรษฐกิจเป็นหลัก ซึ่งแท้จริงแล้วความรุนแรงของผลกระทบมีสูงกว่านั้นมาก เนื่องจากผลกระทบดังกล่าวเกิดเป็นลูกโซ่ โดยเฉพาะประเทศยากจนซึ่งต้องแบกรับภาระผลกระทบที่รุนแรงกว่า อีกทั้งยังไม่สามารถเตรียมการหรือป้องกันผลเสียหายที่จะเกิดขึ้นได้ ลูกโซ่ของผลกระทบจะเริ่มก่อตัวจากการล่มสลายของระบบนิเวศน์ ก่อนจะเข้าทำลายระบบเศรษฐกิจท้องถิ่น ก่อให้เกิดการล่มสลายทางสังคมและวัฒนธรรมของประชากรในท้องถิ่นนั้นๆ และท้ายสุดจะส่งผลกระทบต่อเนืองไปยังระบบเศรษฐกิจของประเทศในภาพรวม

ประเทศไทยได้ลงนามและให้สัตยาบรรณในอนุสัญญาว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และถูกจัดอยู่ในกลุ่มประเทศที่ไม่มีพันธกรณีการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เนื่องจากเมื่อเทียบกับประเทศตะวันตก และประเทศกำลังพัฒนาอื่นๆ แล้ว ประเทศไทยมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในสัดส่วนที่น้อยมาก คิดเป็น 0.6% ของการปลดปล่อยก๊าซชนิดนี้จากทุกประเทศทั่วโลก

ถึงจะมีสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อย แต่ผลกระทบที่ไทยจะได้รับจากภาวะโลกร้อนนั้นไม่น้อยเลย เพราะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นปรากฏการณ์ต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ โดยมีสภาพแวดล้อมและภูมิประเทศเป็นตัวกำหนดความรุนแรงของผลกระทบ

## 6. แนวทางการแก้ไขและการกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์

จากปัญหาการเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศของโลก ได้ส่งผลกระทบต่อทำให้เกิดปัญหาต่างๆ ตามมามากมาย เป็นผลทำให้เกิดการเสียสมดุลของระบบนิเวศโลกไปจากเดิม จนทำให้โลกเก็บกักความร้อนเอาไว้ภายใต้ชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลก เป็นผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกสูงขึ้น จนเกิดภาวะโลกร้อน ซึ่งปรากฏการณ์นี้ได้ส่งผลกระทบต่อระบบต่างๆ บนโลกอย่างมากมาย ด้วยเหตุนี้มนุษย์เราจึงเล็งเห็นความสำคัญที่จะสร้างข้อตกลงร่วมกันในการที่จะลดปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ โดยมีการทำข้อตกลงร่วมกันระหว่างนานาประเทศ ที่เรียกว่า สนธิสัญญาเกียวโต ซึ่งตามสัญญาเกียวโตหรือ Kyoto Protocol สามารถสรุปได้ถึงแนวทางที่จะนำมาใช้เป็นกลไกการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศได้ คือ

1. ต้องใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่า เช่น ออกแบบอาคารที่ประหยัดพลังงาน
2. ต้องใช้พลังงานทางเลือกที่ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ (Low Carbon Energy) เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ พลังงานลมโดยใช้กังหันลม (wind turbine)
3. เสริมสร้างมาตรการ Carbon offsetting สร้างแหล่งดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น การปลูกป่า ลดการทำลายป่า อนุรักษ์ป่าเขตร้อน
4. หันมาใช้ขนส่งมวลชนอื่น เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้รถยนต์ส่วนตัว จะเป็นการประหยัดการใช้น้ำมันอย่างมาก
5. ลดการกินทิ้งกินขว้าง เพราะเศษอาหารและของที่บูดเน่าเมื่อไปทับถมอยู่ที่กองขยะจะกลายเป็นแหล่งผลิตก๊าซมีเทน ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญอีกตัวหนึ่ง
6. นิยมไทยด้วยการใช้ และกินของที่ผลิตในประเทศ เพราะการซื้อสินค้าจากต่างประเทศต้องสิ้นเปลืองพลังงานในการขนส่ง การกินและใช้ของภายในประเทศนั้น นอกจากราคาถูกและทำให้เงินทองไม่รั่วไหลออกนอกประเทศแล้ว ยังช่วยลดภาวะโลกร้อนได้อีกด้วย
7. การผลิตถุงพลาสติกใช้พลังงานอย่างมหาศาล วิธีการที่ดีนำถุงผ้าจากบ้านติดตัวไปด้วยเวลาซื้อของตามร้านค้า

8. ประหยัดการใช้กระดาษ อุตสาหกรรมการผลิตกระดาษใช้พลังงานมากเป็นอันดับ 4 ทั้งยังก่อมลพิษทางน้ำ เป็นต้นเหตุของการทำลายป่าไม้ซึ่งเป็นตัวดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สำคัญด้วย

9. สนับสนุนสินค้าจากบริษัทผู้ผลิตที่สนใจปัญหาสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นกำลังใจให้แก่ผู้ผลิตที่อยากมีส่วนในการปกป้องโลก และเลิกสนับสนุนสินค้าของบริษัทที่ก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

10. ประหยัดการใช้พลังงานทุกชนิด โดยเฉพาะไฟฟ้า เลือกอุปกรณ์ประหยัดไฟฟ้า เช่น เปลี่ยนมาใช้หลอดประหยัดพลังงาน เพราะหลอดไฟที่ใช้กันอยู่ทั่วไปเปลี่ยนพลังงานเพียงร้อยละ ๑๐ เท่านั้นให้เป็นแสงสว่าง ส่วนพลังงานอีกร้อยละ 90 สูญเสียไปในรูปของความร้อน

11. ถอดปลั๊กเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกชนิดเมื่อเลิกใช้งาน

12. หันมาใช้พลังงานสะอาดอย่างเช่น ก๊าซเอ็นจีวี แทนน้ำมันมากขึ้น