ภาวะเรือนกระจก

นาวาตรี สุรศักดิ์ ปานเกษม
นักเรียนนายเรือ กำชัย เจริญพงศ์ชัย

บทนำ

บทความเรื่องภาวะเรือนกระจกนี้ เป็นงานส่วนหนึ่งของการเรียนการสอนวิชาการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) โดย นาวาเอก รองศาสตราจารย์ มนต์ชัย กาทอง วิศวกรรมศาสตร์ดุษฎีบัณฑิต ผู้อำนวยการกองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลเรือ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ ซึ่งเป็นไปตามแนวความคิดของการสอนแบบ Active Learning ที่มีนักเรียนนายเรือเป็นศูนย์กลางของการสอน โดยอาจารย์ผู้สอนและอาจารย์ที่ปรึกษาจะเป็นผู้กระตุ้นให้นักเรียนนายเรือนำความรู้ภาคทฤษฎีที่ได้จากห้องเรียนเป็นพื้นฐานความคิดในการเข้าใจปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นรอบตัว และพยายามอธิบายสิ่งต่าง ๆ เหล่านั้นด้วยหลักเหตุและผลทางทฤษฎีที่ได้เรียนมาจากห้องเรียน ซึ่งวิธีการนี้จะทำให้นักเรียนนายเรือมีความตื่นตัวในการเรียนรู้และมีความรู้ความเข้าใจในทฤษฎีที่ได้เรียนลึกซึ้งยิ่งขึ้น การเรียนการสอนจะไม่หยุดนิ่งอยู่กับสิ่งที่มีในตำรา นักเรียนมีความคิดริเริ่มในการตอบและตั้งคำถาม วัตถุประสงค์ก็เพื่อให้นักเรียนนายเรือสามารถนำเอาหลักการต่าง ๆ ไปประยุกต์ใช้งานได้ต่อไปในอนาคตทั้งในการวิเคราะห์เหตุการณ์ การแก้ปัญหาและการคิดหาคำตอบอย่างสร้างสรรค์แบบวิศวกร

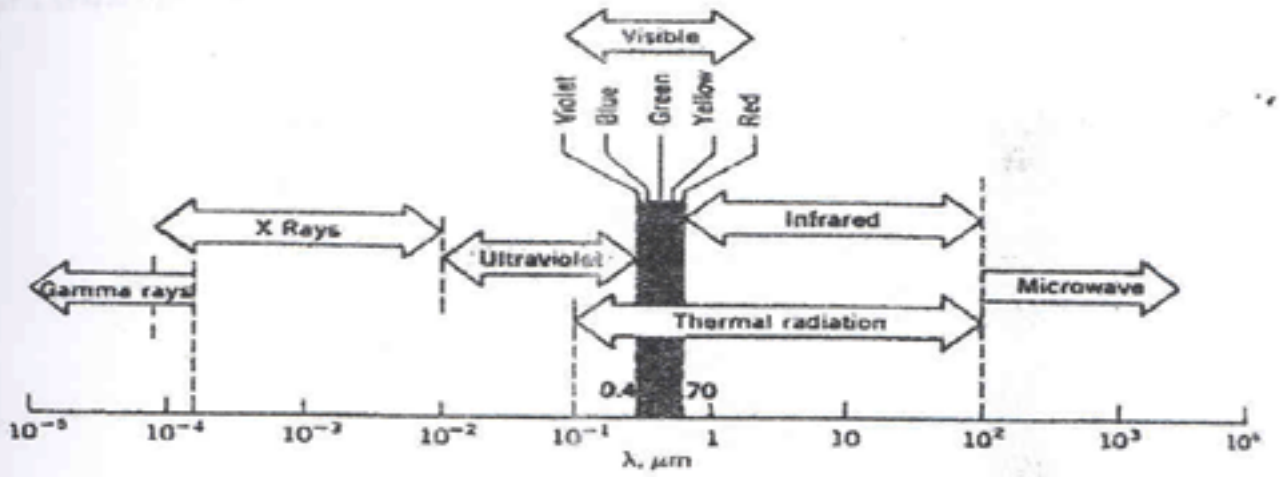
ภาวะเรือนกระจกนี้เป็นหนึ่งในหลาย ๆ ปรากฏการณ์ธรรมชาติที่อยู่ใกล้ชิดกับตัวเรามากและสามารถอธิบายได้ด้วยหลักทฤษฎีและสมการพื้นฐานง่าย ๆ ของเรื่องกระบวนการและคุณสมบัติของการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งในบทความนี้ผู้เขียนจะพยายามอธิบายภาวะเรือนกระจกด้วยหลักการและแผนภาพประกอบให้ผู้อ่านซึ่งอาจเป็นบุคคลทั่วไปและผู้ที่สนใจได้เข้าใจถึงกลไกการร้อนขึ้นของโลกด้วยภาวะเรือนกระจกนี้ นอกจากนั้นแล้วเนื่องจากยังมีผู้คนจำนวนมากมีความเข้าใจที่สับสนระหว่างภาวะเรือนกระจก และการทำลายชั้นโอโซน (Ozone Depletion) ของชั้นบรรยากาศโลก ผู้เขียนจึงจะอธิบายกลไกและความเกี่ยวข้องสัมพันธ์ของปรากฏการณ์ทั้งสองไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ภาวะเรือนกระจกเป็นปฏิกิริยาเฉพาะแบบที่เกี่ยวข้องสัมพันธ์กันระหว่างพลังงานจากดวงอาทิตย์กับบรรยากาศโลกและผิวโลก ในสภาวะปกตินั้นภาวะเรือนกระจกนี้นำมาซึ่งความสมดุลทางอุณหภูมิ และความเหมาะสมในการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตบนโลก แต่ในภาวการณ์ปัจจุบันที่สภาวะสมดุลทางธรรมชาติต่าง ๆ กำลังถูกทำลายลงทีละเล็กละน้อย ภาวะเรือนกระจกก็ได้รับผลกระทบจากการ

กระทำของมนุษย์ด้วยเช่นเดียวกัน เมื่อภาวะสมดุลเก่าถูกทำลายกลไกการเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่ก็เกิดขึ้น การศึกษากลไกภาวะสมดุลใหม่นี้ รวมทั้งผลกระทบที่มีต่อสิ่งมีชีวิตจึงเป็นสิ่งที่เราควรศึกษาอย่างยิ่ง

การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์เป็นต้นกำเนิดพลังงานสำคัญที่สุดของโลก พลังงานแสงอาทิตย์เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในดวงอาทิตย์ และพลังงานจำนวนมหาศาลที่เกิดขึ้นนี้ ได้แผ่จากดวงอาทิตย์ผ่านอวกาศมาสู่โลกในรูปของคลื่นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า โดยมีรังสีที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงความยาวคลื่นสั้น (รังสีคลื่นสั้นมีความยาวคลื่นน้อยกว่า 0.4 μm) เช่น "Gamma Rays", "X Rays" และ "Ultraviolet (UV)" รังสีคลื่นขนาดกลางและรังสีที่อยู่ในช่วงความยาวคลื่นยาว (รังสีคลื่นยาวมีความยาวคลื่นมากกว่า 0.7 μm) เช่น "Infrared" และ "Microwave"



รูปที่ ๑ สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งหมดที่ดวงอาทิตย์ปล่อยออกมาซึ่งมีช่วงความยาวคลื่นที่กว้างมาก

จากรูปที่ ๑ จะเห็นได้ว่าการแผ่รังสีความร้อน (Thermal Radiation) นั้นอยู่ในช่วงความยาวคลื่นขนาดกลาง (0.1 μm – 100 μm) ซึ่งประกอบด้วยส่วนหนึ่งของย่าน UV และทั้งหมดของรังสีในย่านมองเห็น (Visible) และย่าน "Inrared (IR)"

นักวิทยาศาสตร์พบว่าปริมาณพลังงานของคลื่นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น ยิ่งรังสีคลื่นมีความยาวคลื่นสั้นพลังงานก็จะมีมาก ดังนั้น รังสีแกมมาจึงมีพลังงานมากที่สุดและรังสีคลื่นวิทยุ (Microwave) มีพลังงานน้อยที่สุด และความยาวคลื่นเฉพาะบางชนิดที่แผ่ออกมาจากวัตถุใดๆ มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของวัตถุนั้น โดยทั่วไปวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจะปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่าและมีพลังงานมากกว่าวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำ ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยสมการของ Planck โดย Planck ได้เสนอสมการสำหรับการพิจารณากำลังการแผ่รังสี (Spectral

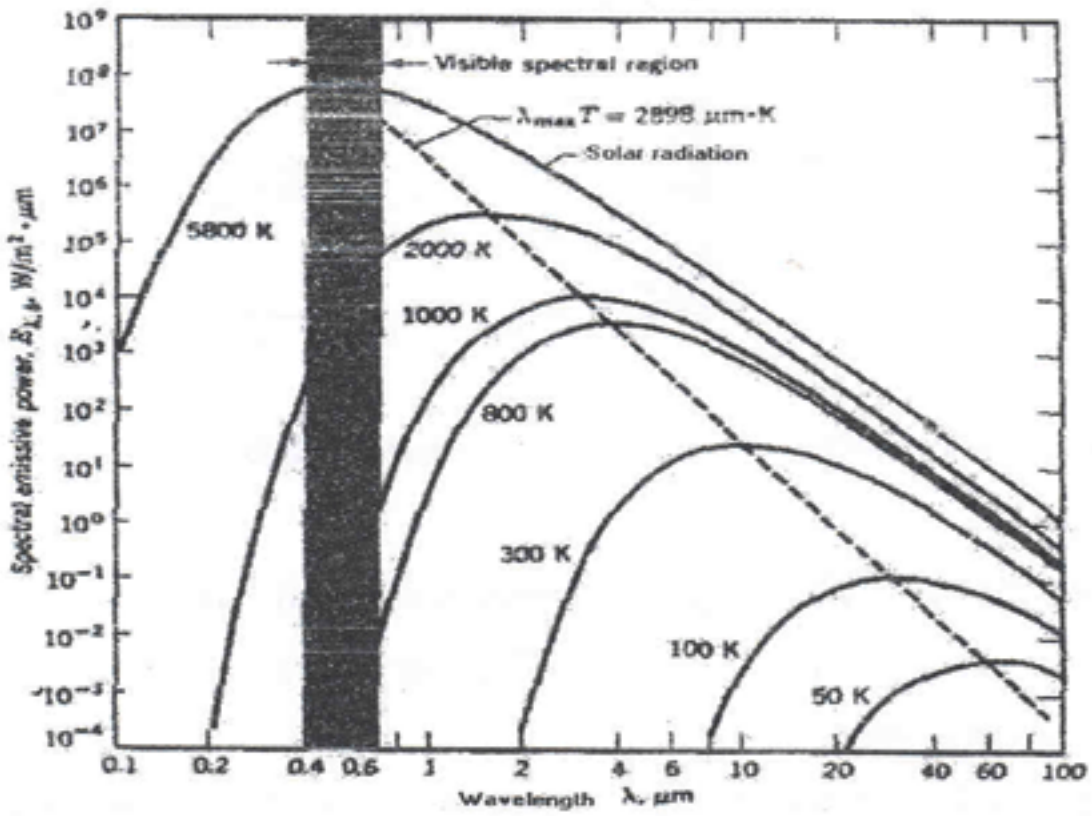
Emissive Power, $E_{\lambda,b}$) ของวัตถุดำที่แปรผันกับความยาวคลื่น (Wavelength, λ) และอุณหภูมิสมบูรณ์ (T) ดังนี้

$$E_{\lambda,b}(\lambda,T)=\frac{C_1}{\lambda^5[\exp(C_2/\lambda T)-1]} \qquad (1)$$

โดยที่	C_1	=	ค่าคงที่	= 3.742×10^{8}	W. $\mu m^4/m^2$
	C_2	=	ค่าคงที่	= 1.439×10^{4}	$\mu m.K$
และ	h	=	ค่าคงที่ของ Planck	= 6.6256×10^{-34}	J.s
	K	=	ค่าคงที่ของ Bolzmann	= 1.3805×10^{-23}	J/K
	C_0	=	ความเร็วแสงในสุญญากาศ	= 2.998×10^{8}	m/s

จากสมการที่ ๑ เราสามารถพล็อตกราฟแสดงกำลังการแผ่รังสีของวัตถุดำได้ดังรูปที่ ๒

เนื่องจากดวงอาทิตย์ซึ่งมีอุณหภูมิที่ผิวสูงถึงประมาณ 5,980 °C (6253 K) ดังนั้นความแปรผัน



รูปที่ ๒ กำลังการแผ่รังสีของวัตถุดำที่แปรผันกับความยาวคลื่น

ของความยาวคลื่นของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์สามารถประมาณได้เป็นเช่นเดียวกับของวัตถุดำที่มีอุณหภูมิ 5800 K ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่ารังสีจากดวงอาทิตย์มีความหนาแน่นอยู่ในย่านคลื่นสั้น ($0.2 \leq \lambda \leq 3\ \mu m$) และเราสามารถหาจุดที่มีการเปล่งรังสีสูงสุดที่ความยาวคลื่นหนึ่งได้จากสมการ "Wein's displacement Law"

$$\lambda_{max} \cdot T = C_3 \qquad (2)$$

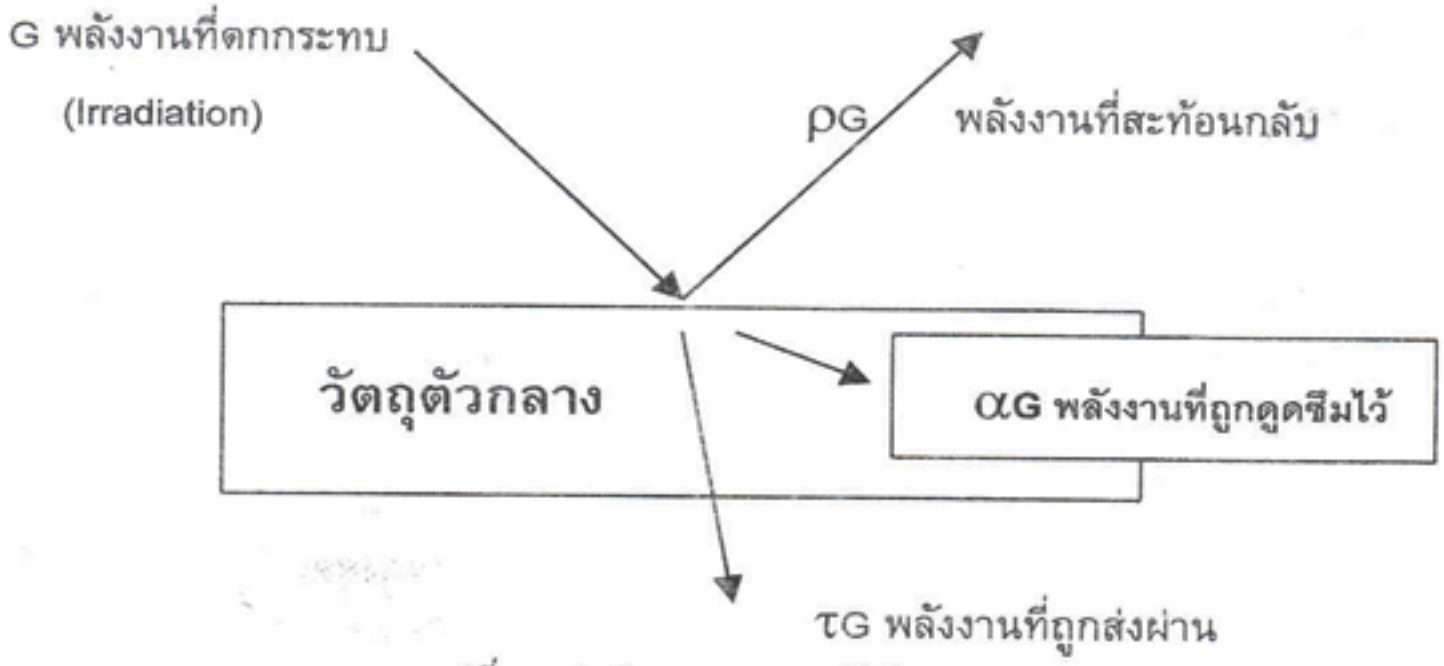
โดยที่ $C_3 = 2897.6\ \mu m$

เมื่อเราแทนค่าอุณหภูมิของดวงอาทิตย์ที่ T = 5800 K ลงในสมการจะได้ค่าความยาวคลื่นที่รังสีดวงอาทิตย์มีพลังงานสูงสุดและสามารถผ่านทะลุทะลวงมาถึงโลกมากที่สุดด้วยเท่ากับ 0.4996 μm ซึ่งอยู่ในช่วงรังสีแสงสีขาวของดวงอาทิตย์ที่สาดส่องมายังโลกนั่นเอง

ก่อนที่ค่าพลังงานจำนวนมหาศาลที่ถูกส่งออกมาจากดวงอาทิตย์อย่างต่อเนื่องนี้จะมาถึงผิวโลก พลังงานแสงจากดวงอาทิตย์นี้จะต้องส่องผ่านชั้นบรรยากาศโลก ซึ่งชั้นสูงสุดที่อยู่ห่างไกลจากพื้นโลกประมาณ ๖๐๐ ไมล์ (๙๖๕ กิโลเมตร) ขึ้นไป คือ ชั้นเทอร์โมสเฟียส์ ถัดเข้ามาคือ ชั้นเมโซสเฟียร์ ชั้นสตราโตสเฟียร์ และชั้นโทรโพสเฟียร์ ตามลำดับ

เรือนกระจก (Greenhouse)

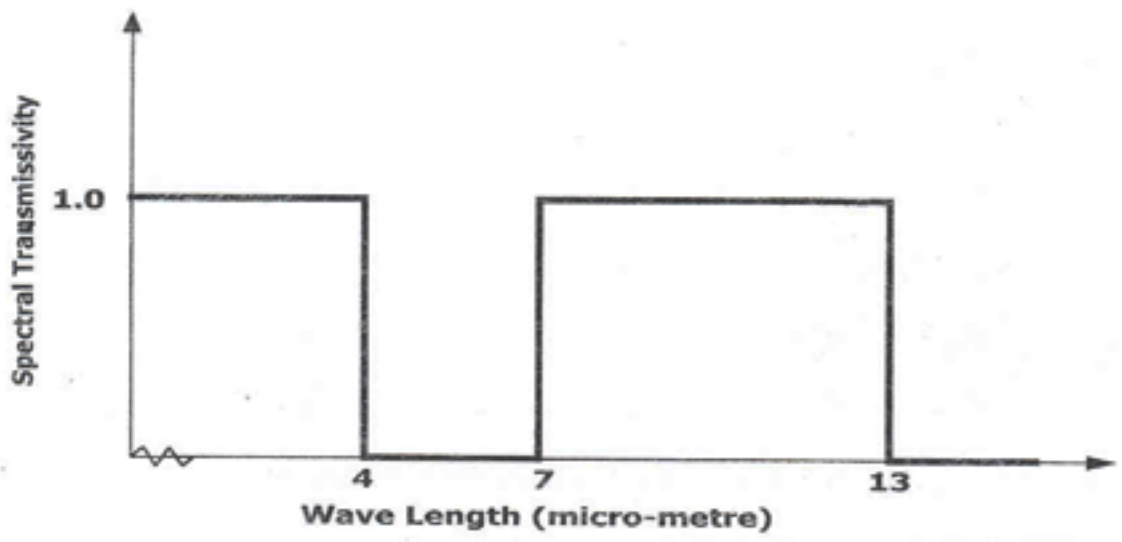
เพื่อให้การทำความเข้าใจในปรากฏการณ์ภาวะเรือนกระจกของโลกง่ายขึ้น ผู้เขียนขอกล่าวถึงที่มาของคำว่า ภาวะเรือนกระจกหรือ "Greenhouse" เสียก่อน ตามปกติประเทศที่อยู่บริเวณขั้วโลก ภาคพื้นยุโรป หรือทวีปอเมริกาบางส่วน จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งปีต่ำมาก ในบางช่วงของปี เช่น ในฤดูหนาวอุณหภูมิจะลดลงต่ำกว่าจุดเยือกแข็งและคงความหนาวเย็นนี้เป็นเวลานาน ทำให้พื้นที่ส่วนใหญ่มีแต่หิมะปกคลุมและเพื่อความอยู่รอดมนุษย์จึงได้มีการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการสร้างเรือนเพาะชำเพื่อการเกษตรกรรมที่มีระดับอุณหภูมิซึ่งเหมาะสมต่อการเติบโตของพืช และจากการทดลองพบว่าถ้าใช้กระจกบางชนิดเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ในการสร้างเรือนเพาะชำ พืชสามารถเติบโตได้ดีภายใต้สภาพแวดล้อมที่หนาวเย็น โดยกระจกที่ใช้นี้มีคุณสมบัติยอมให้รังสีคลื่นสั้นจากแสงอาทิตย์ผ่านได้ทั้งหมดและยอมให้รังสีคลื่นยาวผ่านได้เพียงบางส่วนเท่านั้น ดังนั้นรังสีแสงอาทิตย์ที่สาดส่องลงมาซึ่งมีความยาวคลื่นสั้นและมีพลังงานมากจะสามารถผ่านเข้ามาในเรือนเพาะชำได้ พืชจึงสามารถดูดกลืนพลังงานส่วนหนึ่งจากแสงนี้เพื่อใช้ในปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงได้ และการที่ภายในตัวเรือนเพาะชำมีอุณหภูมิภายในต่ำจึงมีการเปล่งรังสีความร้อนคลื่นยาวออกมาด้วยดังแสดงไว้ในรูปที่ ๒ ตัวเรือนกระจกจะไม่ยอมให้รังสีคลื่นยาวนี้ผ่านไปได้ทั้งหมด รังสีที่ตกกระทบส่วนใหญ่จึงสะท้อนกลับมา และทำให้พลังงานภายในเรือนเพาะชำเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิภายในสูงขึ้น ดังนั้นเรือนเพาะชำนี้จึงมีพืชพรรณสีเขียวอยู่เต็มไปหมดเมื่อมองจากระยะทางไกลๆ จะเห็นเป็นบ้านโปร่งใสสีเขียวอยู่ท่ามกลางหิมะที่ขาวโพลนจึงมีการเรียกเรือนเพาะชำนี้ว่า "Greenhouse" ตามปกติเมื่อมีพลังงานจากการแผ่รังสี (Irradiation) ตกกระทบบนผิวของวัตถุ ก็จะมีพลังงานบางส่วนถูกวัตถุนั้นดูดซึมเอาไว้ บางส่วนจะสะท้อนออกไป ส่วนที่เหลือจะถูกส่งผ่านออกไปจากวัตถุนั้น คุณสมบัติการแผ่รังสีทั้งสามที่บอกให้ทราบว่าพลังงานที่ตกกระทบนั้นถูกแจกจ่ายไปในทางใดบ้างนั้นก็คือค่าการดูดซึมรังสี (Absorptivity) ค่าการสะท้อนรังสี (Reflectivity) และค่าการส่งผ่านรังสี (Transmissivity)



รูปที่ ๓ ค่านิยามของการแผ่รังสีรวม

ในกรณีตัวกลางโปร่งใสเช่นชั้นบรรยากาศ ปริมาณและลักษณะของคลื่นแสงที่ส่งผ่านชั้นบรรยากาศขึ้นอยู่กับค่า τ (Transmissivity) ของชั้นบรรยากาศ ดังแสดงในรูปที่ ๔

ชั้นบรรยากาศมีลักษณะโปร่งใสและมีคุณสมบัติเหมือนกระจกคือยอมให้รังสีคลื่นสั้นผ่านได้ แต่ไม่ยอมให้รังสีคลื่นยาวผ่านไปได้ทั้งหมด เมื่อพิจารณาสเปกตรัมของรังสีแสงอาทิตย์จากรูปที่ ๑ รังสีแกมมาส่วนใหญ่และรังสีเอ็กซ์จะถูกโมเลกุลของก๊าซที่อยู่ในชั้นเทอร์โมสเฟียร์ดูดกลืนไว้ และรังสีอัลตราไวโอเลตเกือบทั้งหมดจะถูกโอโซนในชั้นสตราโตสเฟียร์ดูดกลืนไว้ แต่แสงสีขาวที่ตาสามารถมองเห็น (ความยาวคลื่น 0.4-0.7 μm) และแสงอินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่น 7–13 μm และจะผ่านชั้นบรรยากาศโลกมาตกกระทบผิวโลกโดยไม่ถูกดูดกลืนหรือสะท้อนกลับ ดังแสดงในรูปที่ ๔



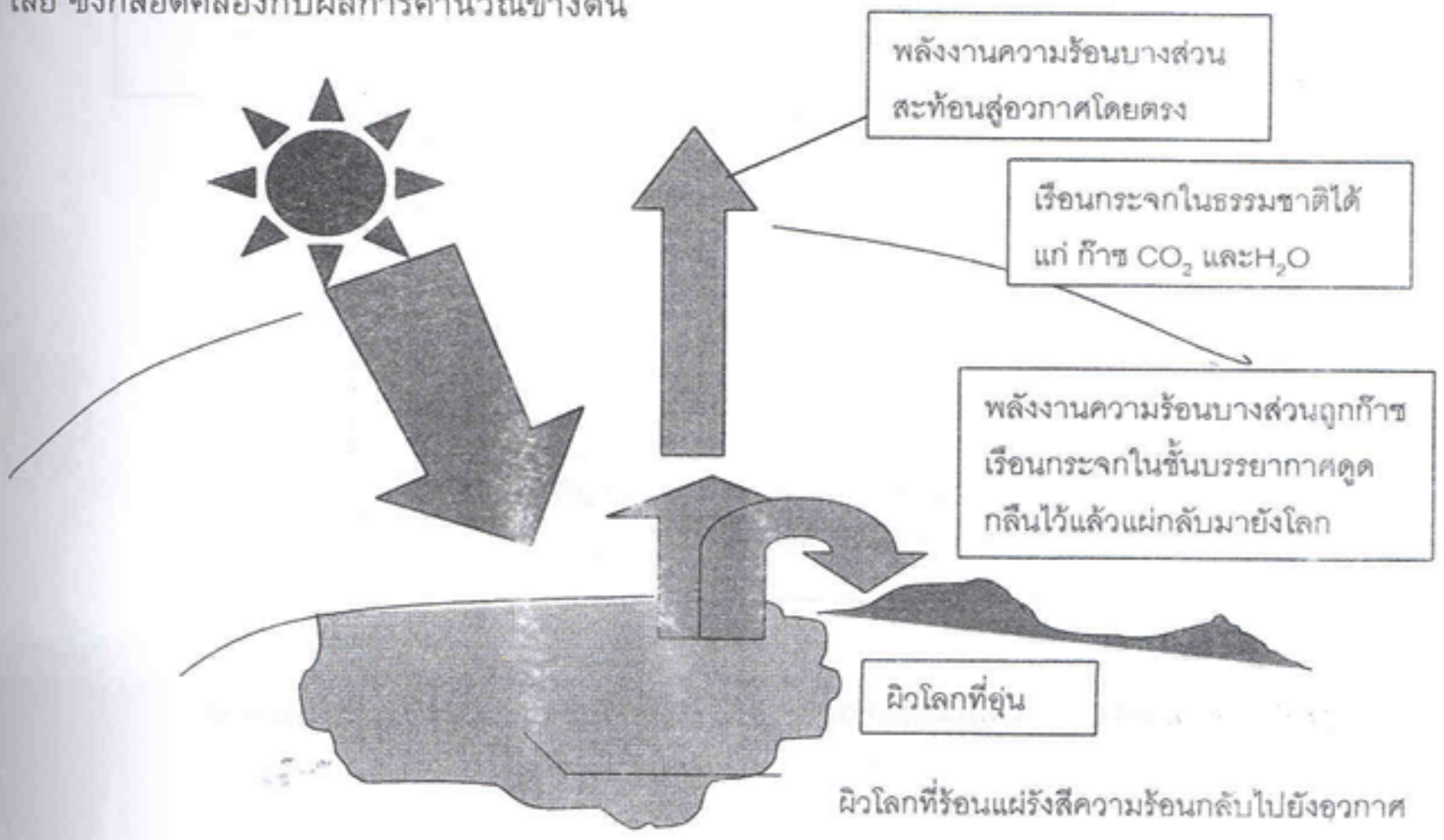
รูปที่ ๔ แสดงค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของชั้นบรรยากาศ

ปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจกก็คือ ข้อเท็จจริงที่ว่าคลื่นพลังงานที่โลกปล่อยออกไปมีสเปกตรัมรังสีคลื่นยาวมากกว่ารังสีคลื่นยาวของแสงอาทิตย์ที่ผ่านชั้นบรรยากาศลงมา นั่นแสดงว่านอกจากรังสีคลื่นยาวบางส่วนของแสงอาทิตย์ที่ตกมาบนพื้นผิวโลกซึ่งสะท้อนแสงได้ดี เช่น ทะเลทราย หิมะ น้ำแข็ง และถูกสะท้อนกลับไปยังอวกาศแล้ว ยังมีรังสีคลื่นยาวบางส่วนที่เปล่งมาจากผิวโลกด้วย โลกมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 288 K (15 °C) จึงสามารถพิจารณาเป็นวัตถุดำที่มีอุณหภูมิต่ำ กำลังงานของการเปล่งรังสีจากผิวโลกสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$E_{\lambda,b} = \sigma T^4 \qquad (3)$$

โดยที่ δ = Stefan – Bolzmann Constant ซึ่งเท่ากับ 5.67×10^{-8} $W/m^2.k^4$
และ T = อุณหภูมิของผิวโลกโดยทั่วไป

อุณหภูมิผิวโลกโดยทั่วไปมีค่าอยู่ในช่วง 250 ถึง 320 K การเปล่งรังสีจากโลกจึงหนาแน่นในช่วงรังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่น 4 ถึง 40 μm และมีค่าสูงสุดอยู่ที่ประมาณ ๑0 μm (สามารถคำนวณได้จากสมการที่ ๒ เมื่อแทน T = 300 K) เมื่อพิจารณากราฟรูปที่ ๑ ที่อุณหภูมิ 300 K แสดงกำลังการเปล่งรังสีของโลกที่เปล่งรังสีคลื่นยาวที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 2 μm ขึ้นไปและไม่มีการเปล่งรังสีคลื่นสั้นเลย ซึ่งก็สอดคล้องกับผลการคำนวณข้างต้น



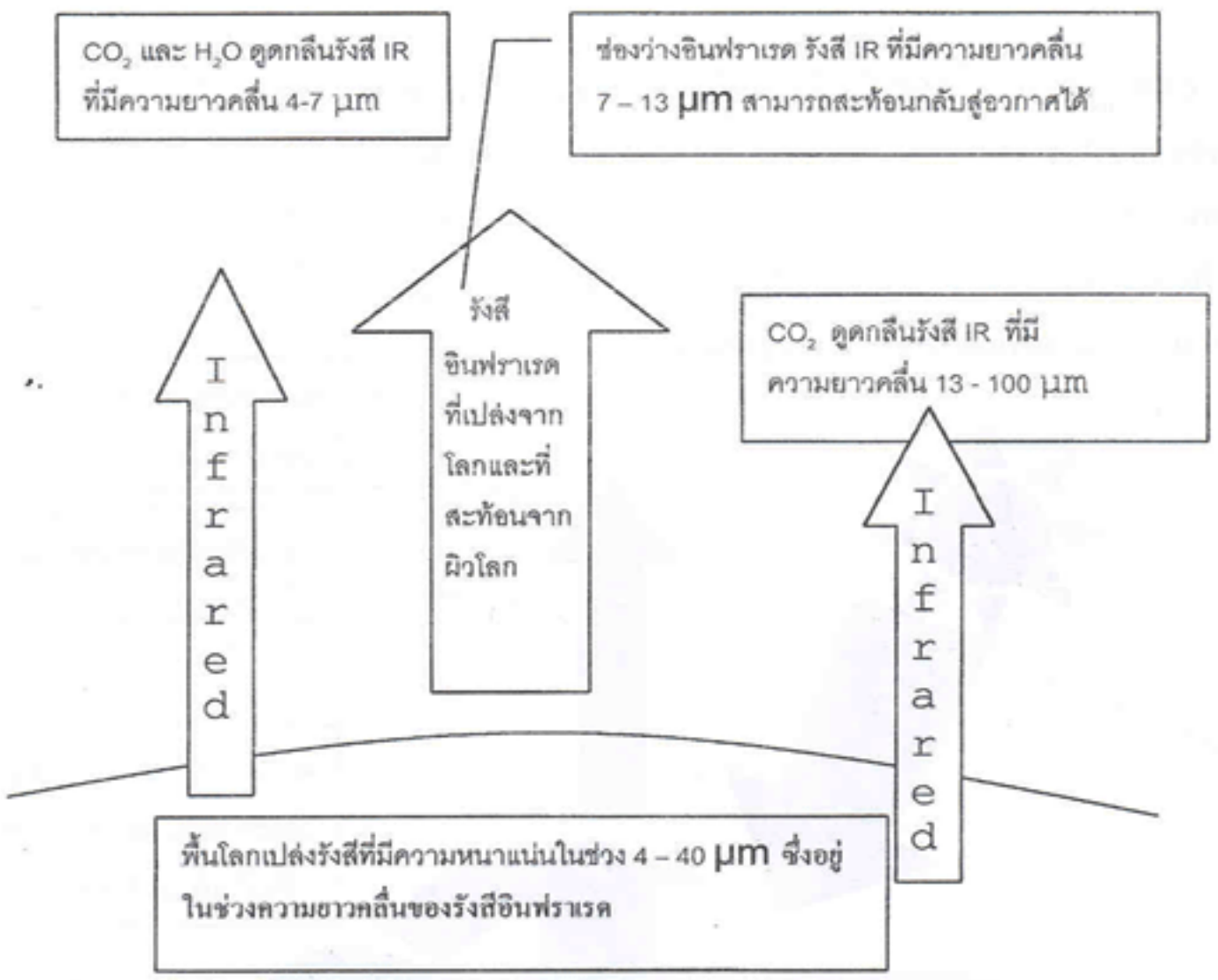
รูปที่ ๕ การรับและคายรังสีจากดวงอาทิตย์ของผิวโลกและชั้นบรรยากาศ

ก๊าซเรือนกระจก

รังสีคลื่นยาวจากแสงอาทิตย์ที่มากระทบผิวโลกและสะท้อนสู่ชั้นบรรยากาศ รวมกับรังสีคลื่นยาวจากการเปล่งรังสีของโลกและจากองค์ประกอบในชั้นบรรยากาศไม่สามารถผ่านชั้นบรรยากาศของโลกไปได้ทั้งหมด เนื่องจากชั้นบรรยากาศมีพฤติกรรมเหมือนกระจกที่จะยอมให้รังสีคลื่นสั้นผ่านได้หมด แต่รังสีคลื่นยาวผ่านได้เพียงบางส่วนเท่านั้น โดยที่ชั้นบรรยากาศจะยอมให้รังสีคลื่นยาวอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่น 7 – 13 μm ผ่านเข้ามาและผ่านกลับออกไปสู่อวกาศได้เท่านั้น พลังงานความร้อนจำนวนมากของรังสีอินฟราเรดจากโลกจะถูกก๊าซบางชนิดในบรรยากาศดูดกลืนไว้ ดังนี้

๑) H_2O, CO_2 และก๊าซปริมาณน้อยบางชนิดจะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่น 4 – 7 μm

๒) CO_2 จะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่น ๑๓ – ๑๐๐ μm

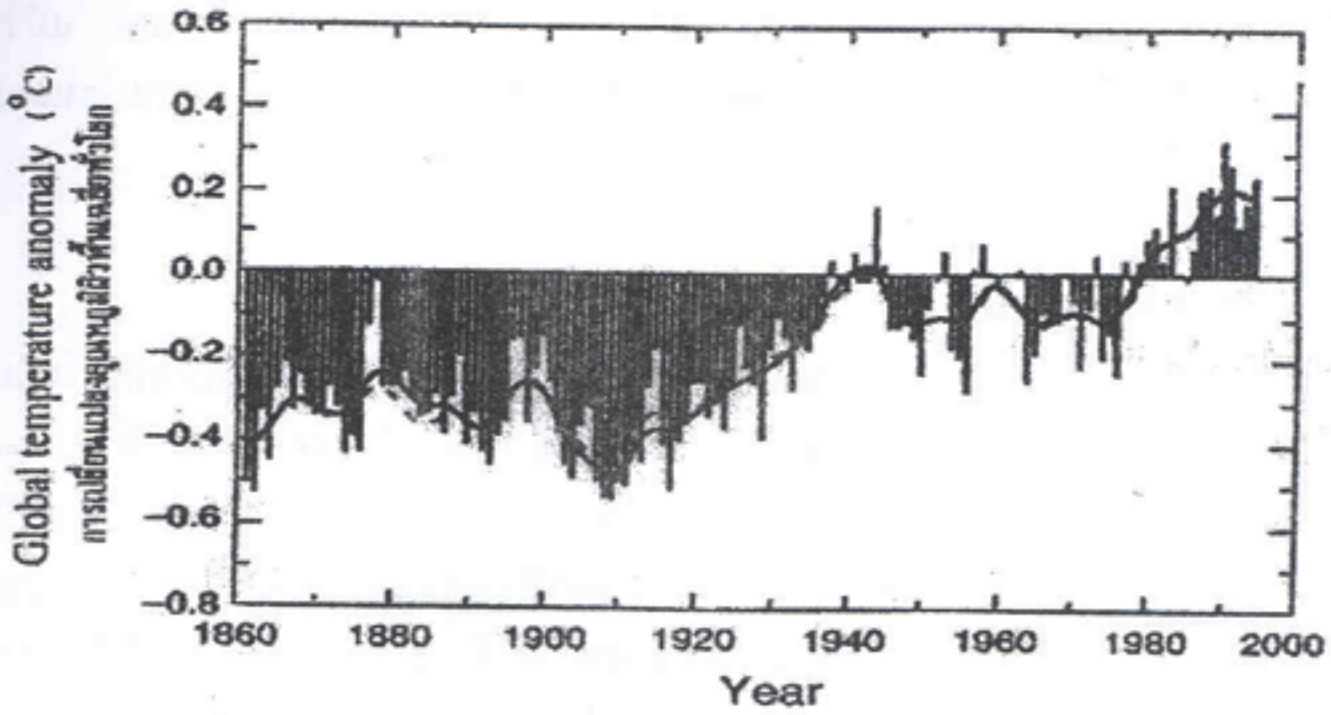


รูปที่ ๖ การดูดซึม การสะท้อนและการส่งผ่านของรังสีคลื่นยาวจากโลกผ่านชั้นบรรยากาศ

เมื่อก๊าซเหล่านี้ดูดกลืนพลังงานอินฟราเรดก๊าซเหล่านี้ก็จะอุ่นขึ้นและปล่อยพลังงานอินฟราเรดคืนกลับมาสู่พื้นดินทำให้ผิวโลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น ก๊าซเหล่านี้ทำหน้าที่เหมือนกระจกและจึงถูกเรียกว่า " ก๊าซเรือนกระจก "

พลังงานที่ก๊าซเรือนกระจกดักจับไว้นี้ ในที่สุดก็จะถูกปล่อยสู่อวกาศจึงทำให้เกิดสมดุลระหว่างปริมาณของรังสีจากแสงอาทิตย์ที่ส่งลงมากับปริมาณของรังสีอินฟราเรดที่ส่งออกไปจากโลกเสมอ แต่เนื่องจากผิวโลกได้ดักจับความร้อนเอาไว้ชั่วขณะหนึ่งก่อนปล่อยคืนสู่อวกาศ ทั้งพื้นดินและอากาศเหนือพื้นดินจึงมีอุณหภูมิที่ค่อนข้างคงที่และมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยจึงเหมาะต่อการดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิต ไม่เหมือนกับดวงจันทร์ที่ไม่มีชั้นบรรยากาศ อุณหภูมิบนดวงจันทร์จึงแปรเปลี่ยนสลับกันจากร้อนจัดในเวลากลางวันประมาณ 100 °C ไปเย็นจัดในเวลากลางคืนประมาณ –150 °C

ด้วยความสำคัญของก๊าซเรือนกระจกนี้ ทำให้เราเข้าใจได้ง่ายขึ้นว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณของก๊าซเหล่านี้ในอากาศสามารถเปลี่ยนอุณหภูมิใกล้ผิวโลกได้ด้วย ตัวอย่างเช่น การเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกเพียงเล็กน้อยจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดและรักษาความร้อนเอาไว้ซึ่งก็จะทำให้อุณหภูมิของโลกเพิ่มขึ้นด้วย ปัจจุบันมนุษย์ได้ทำให้ก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังแสดงในรูปที่ ๗



(ที่มา "CLIMATE CHANGE 1995" THE SCIENCE OF CLIMATE CHANGE, SUMMARY FOR POLICYMAKERS AND TECHNICAL SUMMARY OF THE WORKING GROUP I REPORT, ACCEPTED BY THE IPCC.)

รูปที่ ๗ แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวพื้นโลกเฉลี่ย

ต่อไปเราจะมาให้ความสนใจกับก๊าซเรือนกระจกที่ปกคลุมโลกและมีแนวโน้มว่าจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ว่า คือ ก๊าซอะไร? มาจากไหน? และจะมีผลกระทบอย่างไรต่อโลก

๑. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่เกิดจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนต่าง ๆ เช่น การเผาไหม้จากปฏิกิริยาสันดาปในยานยนต์ต่าง ๆ การเผาไหม้เชื้อเพลิงในอุตสาหกรรม และการตัดป่า เผาป่า เพื่อใช้เป็นที่อยู่อาศัยหรือการเกษตรกรรมโดยเฉพาะอย่างยิ่งการตัด-เผาป่าส่งผลกระทบอย่างยิ่งต่อปริมาณ CO_2 ที่เพิ่มขึ้นโดยตรงอันเป็นผลจากการเผาไหม้และเนื่องจากต้นไม้และป่ามีคุณสมบัติที่ดีในการดูดซับก๊าซ CO_2 ไว้ใช้ในปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง การที่ปริมาณป่าไม้ลดลงอย่างรวดเร็วทำให้อัตราการดูดซับก๊าซ CO_2 บนผิวโลกลดลงทำให้ปริมาณ CO_2 เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ ๗ จากการศึกษาพบว่า CO_2 ทำให้พลังงานรังสีความร้อนสะสมบนผิวโลกและบรรยากาศเพิ่มขึ้นประมาณ 156 W/m^2

๒. ก๊าซมีเทน (CH_4)

ก๊าซมีเทนมีอยู่อย่างมากมายทั้งในธรรมชาติและที่เกิดขึ้นจากฝีมือมนุษย์ เช่น จากแหล่งนาข้าว จากการย่อยสลายของสิ่งมีชีวิต จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงประเภทถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ โดยก๊าซมีเทนที่เกิดจากการเผาไหม้มีค่ารวมกันสูงถึง ๒๐% ของก๊าซมีเทนทั้งหมด แม้ว่าปริมาณการกระทบมากเป็นอันดับสองรองจากคาร์บอนไดออกไซด์ โดยพบว่าพลังงานความร้อนสะสมของผิวโลกและบรรยากาศซึ่งเป็นผลกระทบจากมีเทน มีค่าประมาณ 0.47 W/m^2

๓. ก๊าซไนตรัส (N_2O)

ก๊าซไนตรัสเกิดจากแหล่งต่าง ๆ เช่น เกิดจากการเผาไหม้ของแร่เชื้อเพลิง โดยเฉพาะถ่านหิน ไอเสียจากรถยนต์ การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในการเกษตรกรรม ฯลฯ แม้ว่า N_2O จะมีเพียง ๐.๓๐ ส่วนในล้านส่วน เมื่อปี พ.ศ.๒๕๓๓ และเป็นเพียงส่วนน้อยในบรรยากาศ แต่ก๊าซไนตรัสสามารถคงอยู่ในบรรยากาศได้นานถึง ๑๒๐ - ๑๗๘ ปี ในชั้นโทรโพสเฟียร์ ก่อนจะเลื่อนสู่ชั้นสตราโตสเฟียร์ และจะแตกตัวหมดในชั้นนี้ ดังนั้น การที่ก๊าซไนตรัสสามารถคงอยู่ในบรรยากาศได้นานกว่า ๑๐๐ ปี ทำให้ความเข้มข้นของไนตรัสออกไซด์สามารถเพิ่มขึ้นได้อย่างรวดเร็วในเวลาเพียง ๒ - ๓ ปี และทำให้ภาวะเรือนกระจกที่ปกคลุมโลกอยู่เปลี่ยนแปลงได้เร็วขึ้น

๔. คลอโรฟลูออโรคาร์บอน และสารเคมีสังเคราะห์อื่น ๆ

คลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFC – ซีเอฟซี) คือ สารเคมีสังเคราะห์ที่ถูกผลิตขึ้นในห้องปฏิบัติการ

และโรงงานต่าง ๆ มีหลายชนิดแตกต่างกันไป แล้วแต่ปริมาณก๊าซคลอรีน ก๊าซฟลูออรีน และคาร์บอนที่แตกต่างกันเล็กน้อย คลอโรฟลูออโรคาร์บอนถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในสารเคมีอุตสาหกรรม เพราะเป็นสารไม่มีพิษ ไม่ติดไฟ ไม่ทำให้เกิดการกัดกร่อน และไม่เกิดปฏิกิริยาต่อสารเคมีชนิดอื่นได้ง่าย ๆ ตัวอย่างการใช้งานในชีวิตประจำวันของคลอโรฟลูออโรคาร์บอน ได้แก่ การใช้เป็นสารเคมีในการฆ่าเชื้ออุปกรณ์ทางแพทย์ ใช้ทำความสะอาดชิ้นส่วนวงจรคอมพิวเตอร์และแผงอิเล็กทรอนิกส์ ใช้ในการผลิตถ้วยและภาชนะโฟมบรรจุอาหาร และใช้เป็นสารขับดันในกระป๋องสเปรย์

(ยังมีต่อ)