

大氣中 CFC 및 Ozone의 舉動에 관한 研究

A Study on Behavior of CFC and Ozone in Atmosphere

이 내 우* · 이 진 우**

Nae-Woo Lee · Jin-Woo Lee

ABSTRACT

Contributions of global warming potentials on CFC(Chlorofluorocarbon) and Ozone were calculated by Stefan-Boltzmann's law and environmental effects of its were discussed. As the greenhouse effect on the unit volume of CFC is the most strong in the infrared gases and the destruction of Ozone in stratosphere is also depends on CFC, therefore release of CFC should be prohibited. But the effect of restriction on CFC will be appeared more than 10 years later. Eventhough the Ozone layer is related to global warming, It should be protected because of maintaining food chain mode of life, preventing human disease, for example, cataract, dermatics etc.

1. 서 론

태양으로부터 발산되어 온 태양파는 지표면에 의해 일부는 흡수되고 나머지는 재반사되는데, 특히 장파장의 반사파와 지구표면에서 발산되는 장파장의 에너지파는 대기중에 포함되어 있는 적외선 기체(Infrared gas)에 흡수되어 대기온도를 상승시키게 하는 온실효과(Greenhouse Effect)¹⁾를 야기시킨다. 이와같은 지구의 온난화에 기여하는 가체는 화석연료의 연소시에 발생하는 이산화탄소, 수증

기, CFC, 메탄, 오존 및 질소산화물 등이라는 것이 알려졌다²⁾. 지구온난화 현상에 의한 중요한 영향은 기후 변화인데 이는 결과적으로 기상이변, 생태계 변화 및 해수면 상승 등을 초래하여 인류에 막대한 영향을 줄것으로 예측된다. 더욱이 지구학자들에 의하면 지구의 평균기온이 섭씨 5도이상 변화면 대변혁이 예상된다고 밝히고 있으므로 이산화탄소를 위시한 적외선 기체의 규제가 절실한 실정이다. 또한 기온의 상승에 따른 極지방의 해빙으로 해수면의 상승은 적외선 기체의 증가와 함께 가속되어 2100년경에는 1990년에 대비하여 최소한

* 부산공업대학교 산업안전공학과

** 한국산업안전공단 부산지도원

30cm 이상이 될 것이라고 예측하고 있어 전세계적인 문제점³⁾으로 부각되고 있다.

대기중에 있는 오존층이란 주로 성층권(Stratosphere)에 밀집해 있는 층을 말하는데 실제로는 대류권(Troposphere)에도 일부가 존재한다. 즉 대류권에 있는 오존은 광화학 반응에 의해 대기오염을 일으키지만 성층권에 있는 오존은 자외선으로부터 생명체를 보호하기 때문에 생명의 보호막이라 할 수 있다. 그러나 지상에서 방출하는 CFC는 매우 안정한 화학물질이기 때문에 대류권에서는 분해되지 않고 성층권까지 도달하게 되며, 여기에서 자외선에 의해 분해되어 오존파괴의 촉매인자로 작용하는 할로겐화물을 생성하기 때문에 Ozone hole을 만드는 원인물질⁴⁾로 된다.

따라서 본 논문에서는 지구의 온난화에 기여도가 높은 적외선 기체중에서 CFC와 오존의 지구온난화 잠재력(Global warming potentials)을 Stefan-Boltzmann의 법칙에 의해 평가하고 오존의 보호를 위한 CFC의 통제에 관한 내용을 고찰하고자 한다.

2. 이론적 배경

黑體로부터 발산되는 이론적인 輻射에너지 계산법을 이용하여 지구표면에 있는 실존기체분자나 미소입자들로부터 발생되는 熱에너지지를 계산한다. 이러한 성질로부터 발생되는 복사에너지는 이 분자들의 내부에서 발생되는 電磁氣의 진동에너지로서 온도에 의존되며 Plank의 법칙⁵⁾으로부터 출발한다.

$$e_{b\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5 \left(\exp \frac{C_2}{\lambda T} - 1 \right)} \dots\dots\dots (1)$$

여기에서 C_1 , C_2 는 상수로서 각각 $3.7427 \times 10^8 W \cdot \mu m^4 \cdot m^2$ 및 $1.4388 \times 10^4 \mu m \cdot K$ 이다. 일반적인 식의 형태로 나타나기 위하여 식 (1)을 T^5 로 나누면

$$M = \frac{e_{b\lambda}}{T^5} = \frac{C_1}{(\lambda T)^5 \left[\exp \frac{C_2}{\lambda T} - 1 \right]} \dots\dots\dots (2)$$

이 된다.

정해진 파장범위에서 발생하는 복사에너지를 계산하기 위하여 Stefan-Boltzmann 법칙으로 표시하면 일정범위 $d\lambda$ 에서 발생하는 흑체의 복사능력의 합은 다음과 같다.

$$e_b = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} e_{b\lambda} d\lambda = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} \frac{C_1}{\lambda^5 \left[\exp \frac{C_2}{\lambda T} - 1 \right]} d\lambda \dots\dots\dots (3)$$

식 (3)을 적분하면

$$e_b = \left(C_1 \cdot \frac{\pi^4}{15C_2^4} \right) \cdot T^4 = \sigma T^4 \dots\dots\dots (4)$$

여기에서

$$\sigma = \text{Stefan-Boltzmann 상수} = 5.6697 \times 10^{-8} W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$$

주어진 파장내에서 복사능이 나타내는 몫은

$$F_{\lambda_1 - \lambda_2} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} e_{b\lambda}(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} e_{b\lambda}(\lambda) d\lambda} = \frac{1}{\sigma T^4} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} e_{b\lambda}(\lambda) d\lambda \dots\dots\dots (5)$$

식 (5)의 적분항은 다음과 같이 두부분으로 나눌 수 있다.

$$F_{\lambda_1 - \lambda_2} = \frac{1}{\sigma T^4} \left(\int_0^{\lambda_2} e_{b\lambda}(\lambda) d\lambda - \int_0^{\lambda_1} e_{b\lambda}(\lambda) d\lambda \right) = F_{0-\lambda_2} - F_{0-\lambda_1} \dots\dots\dots (6)$$

$\frac{e_{b\lambda}}{T^5}$ λT 에 대한 함수이므로 아래와 같이 표시할 수 있다.

$$F_{\lambda_1 T - \lambda_2 T} = F_{\lambda_1 T - \lambda_2 T} = \frac{1}{\sigma} \left[\int_0^{\lambda_2 T} \frac{e_{b\lambda}}{T^5} d(\lambda T) - \int_0^{\lambda_1 T} \frac{e_{b\lambda}}{T^5} d(\lambda T) \right] = F_{0-\lambda_2 T} - F_{0-\lambda_1 T} \dots\dots\dots (7)$$

이 식의 적분결과를 Fig. 1에 나타내었고 일정한 파장간격에서의 복사에너지는 다음과 같이 간단히 표시할 수 있다.

$$M_{\lambda_1 - \lambda_2} = \sigma T^4 (F_{0-\lambda_2 T} - F_{0-\lambda_1 T}) (W \cdot m^{-2}) \dots\dots\dots (8)$$

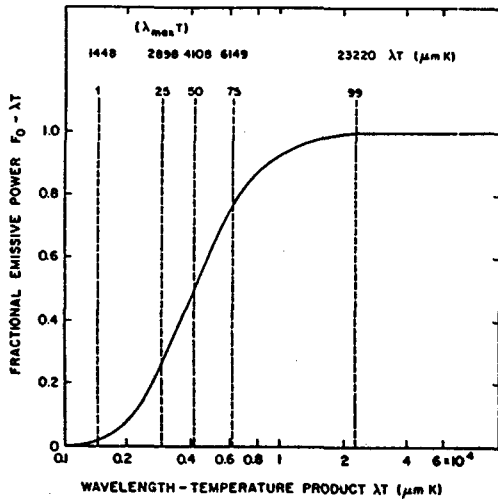


Fig. 1 Fractional blackbody emissive power

3. 실험

본 연구에서는 Infrared Spectrophotometer(P-

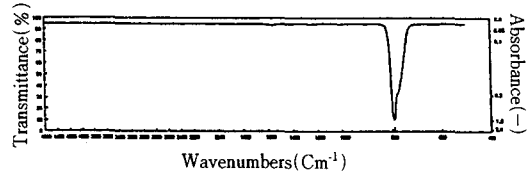


Fig. 2 Infrared spectra of carbon tetrachloride

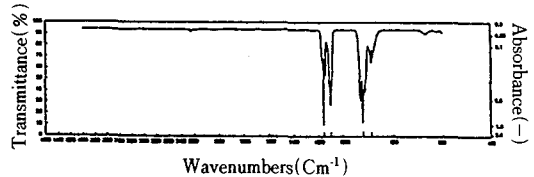


Fig. 3 Infrared spectra of dichlorodifluoromethane

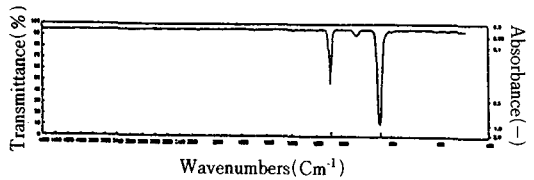


Fig. 4 Infrared spectra of fluorotrichloromethane

Table 1 Radiation energy from chlorofluorocarbon and ozone

Name	Wavelength (μm)	Wavenumber (cm⁻¹)	Product of Wavelength & Temp. (μm. K)	Fractional emissive Power (F ₀ -π)	Transmission (%)	Concen.	Radiation Energy (W·m ⁻²)
CCl ₄	13.889-12.048	720- 830	4000.0-3649.8	0.48085 -0.37653	10.6	0.14ppb	6.0385×10 ⁻¹⁰
	15.625-14.286	640- 700	4500.0-4144.4	0.56429 -0.50123	25.0		2.7672×10 ⁻⁹
CCl ₂ F ₂	12.195-10.526	820- 950	3512.2-3031.5	0.38543 -0.28032	2.1	0.45ppb	3.8744×10 ⁻¹⁰
	9.524- 7.937	1053-1260	2742.9-2285.9	0.21819 -0.11727	2.1		3.7200×10 ⁻¹⁰
	7.937- 7.143	1260-1400	2285.9-2057.9	0.24735 -0.97579	88.4		2.6620×10 ⁻⁸
	6.369- 6.250	1570-1600	1834.3-1800.0	0.04351 -0.03941	89.6		6.4481×10 ⁻¹⁰
	5.780- 5.376	1730-1860	1664.6-1548.3	0.02519 -0.01596	95.8		1.5521×10 ⁻⁹
	4.587- 4.292	2180-2380	1321.1-1236.1	0.00496 -0.00282	57.9		2.1749×10 ⁻¹⁰
CCl ₃ F	19.231-17.857	520- 560	5538.5-5142.8	0.69480 -0.65117	83.0	0.27ppb	3.8138×10 ⁻⁹
	12.195-10.417	820- 960	3512.2-3000.1	0.38543 -0.27322	2.2		2.5998×10 ⁻¹⁰
	9.524- 8.929	1050-1120	2742.9-2571.6	0.21499 -0.17688	2.2		8.8299×10 ⁻¹¹
	8.5747- 7.874	1170-1270	2461.5-2267.7	0.15317 -0.11374	92.4		3.8370×10 ⁻⁹
	7.353- 7.143	1360-1400	2117.7-2057.2	0.08613 -0.07586	78.3		8.4689×10 ⁻¹⁰
	6.024- 5.814	1660-1720	1734.9-1674.4	0.03213 -0.02618	85.7		5.3702×10 ⁻¹⁰
4.714- 4.587	2120-2180	1358.5-1321.1	0.00623 -0.00408	64.1	1.1184×10 ⁻¹⁰		
O ₃	19.391-11.905	575- 840	5005.7-3428.6	0.63442 -0.36781	80.0	30ppb	2.4958×10 ⁻⁶
	11.050- 7.874	905-1270	3182.4-2267.7	0.31416 -0.11374	4.0		9.3811×10 ⁻⁸
	6.250- 4.348	1600-2300	1800.0-1252.2	0.03941 -0.00317	50.0		2.1204×10 ⁻⁷
	3.788- 3.521	2640-2840	1090.9-1014.0	0.85613 -0.38848	97.0		5.3081×10 ⁻⁹
	3.497- 3.106	2860-3220	1007.1- 894.5	0.35522×10 ⁻³ -0.82740	89.0		8.0545×10 ⁻⁹

erkin Elmer 521)를 이용하여 적외선 기체중에 CFC인 CCl_4 , CF_2Cl_2 및 $CFCl_3$ 의 표준시료를 분석하고 그 결과를 Fig. 2, Fig. 3 및 Fig. 4에 나타내었다. 오존에 대한 표준시료의 자료는 B. Thompson등⁶⁾의 것을 이용하였다. 이 결과에서 CFC 및 오존에 대한 전자기적인 복사에너지를 나타내는 파장범위를 구하고 이 범위의 복사능을 Fig. 1에서 취하여 계산한 결과를 Table 1에 나타내었다.

4. 결과 및 고찰

4.1 생성되는 복사열의 계산

Fig. 2, Fig. 3 및 Fig. 4에 나타난 바와같이 복사에너지의 발생범위는 단일기체라고 하더라도 여러가지의 파장범위에서 나타남으로 이것을 식 (8)에 대입하여 계산하면 Table 1과 같다. 이 결과에 의하면 복사열의 발생열량의 합은 CCl_4 , CF_2Cl_2 및 $CFCl_3$ 의 경우 각각 $6.04 \times 10^{-10} W/m^2$, $3.26 \times 10^{-8} W/m^2$ 및 $9.49 \times 10^{-9} W/m^2$ 이상으로 나타났고, 오존의 경우는 $2.82 \times 10^{-6} W/m^2$ 이상의 열량임을 알 수 있다.

CFC의 태양광흡수는 단위농도의 흡수율이 가장

높기 때문에 그 영향이 대단히 크고, 대기중의 CFC농도가 직선적으로 증가하고 있기 때문에 CFC에 의한 온난화의 효과가 더욱 문제가 된다. 현재까지 CFC화합물의 온실효과 기여도는 17%에 달하였고 그중에서 CF_2Cl_2 에 의한 기여도는 10%나 되었다. 이것은 대기중의 CFC의 증가속도가 매년 4~5%⁷⁾에 달하고 특히 CF_2Cl_2 와 같은 것은 그 수명이 65년내지 120년이나 된다고 하는데 더욱 큰 문제가 있다. 만약 CFC가 매년 5%씩 그 농도가 증가한다고 하면 15년후에는 현재농도의 2배가 될 것이라는 것이다.

4.2 적외선 기체의 복사와 대기권의 복사

일반적으로 복사에너지는 태양으로부터의 복사와 지구표면으로부터의 복사를 생각할 수 있다. 물론 전자는 태양광으로부터 오는 광원이 대기중에서 복사하여 지표면에 도달하는 것이고, 후자는 지표면과 물체들로부터 발생하는 열복사를 의미한다. 대체로 이들은 단파장($0.3 \sim 5 \mu$)과 장파장(약 $4 \sim 100 \mu m$)범위에서 발생되는데 물론 절대적인 것은 아니다. 왜냐하면 지구상에서는 $10 \mu m$ 보다 더 큰 파장에서도 약한 태양광의 복사가 일어나는 것으로

Table 2 Comparison between infrared and extraterrestrial radiation

Name	Wavelength Range (μm)	Radiation energy ($W \cdot m^{-2}$)		Remark
		Infrared gas	Solar	
CCl_4	12.048-13.889	6.0385×10^{-10}	0.0896	
CCl_2F_2	4.292- 4.587	2.1749×10^{-10}	1.6676	
	5.376- 5.780	1.5521×10^{-9}	0.9938	
	6.250- 6.369	6.4481×10^{-10}	0.1535	
	7.143- 7.937	2.6620×10^{-8}	0.5796	
	7.937- 9.524	3.7200×10^{-10}	0.6327	
	10.526-12.195	3.8744×10^{-10}	0.0812	
	14.286-15.625	2.7672×10^{-9}	0.0652	
CCl_3F	4.587- 4.717	1.1184×10^{-10}	0.9987	
	5.814- 6.024	5.3702×10^{-10}	0.4885	
	7.143- 7.353	8.4689×10^{-10}	0.1533	
	7.874- 8.547	3.8370×10^{-9}	0.3327	
	8.929- 9.524	8.8299×10^{-9}	0.1780	
	10.417-12.195	2.5998×10^{-10}	0.0865	
O_3	17.857-19.231	3.8138×10^{-9}	0.0669	
	3.106- 3.497	8.0545×10^{-9}	5.7940	
	3.521- 3.788	5.3081×10^{-9}	3.2278	
	4.348- 6.250	2.1204×10^{-7}	5.8097	
	7.874-11.050	0.3811×10^{-8}	0.8611	
	11.905-19.391	2.4958×10^{-6}	0.2670	

알려졌기 때문이다.

적외선 기체의 복사와 지표면으로부터의 복사가 거의 중복되지 않는다고 하는 사실은 측정하는 기술적인 목적에 있어서 대단히 유익한 점으로 사료된다. Table 2에 표시되어 있는 대기권 전체의 복사에너지는 M. Iqbal⁵⁾에 의해서 제시된 방법에 의해 계산한 것으로서, 적외선 기체에 의해서 발생하는 복사에너지를 이들과 비교하면 적외선 기체의 복사에너지가 작은 것은 물론이다. 그러나 장파장 범위에 있는 적외선 기체의 복사에너지는 대체로 대기권 전체의 복사에너지에서 큰편이다. 특히 중요한 것은 모든 물체들로부터 발생하는 지구표면에서의 복사에너지는 약 $140W/m^2$ 이고 인간에 의해서 기여되는 부분은 $0.015W/m^2$ 로써 미소하다는 사실이다.

4.3 CFC와 Ozone과의 관계

대기중에 포함되어 있는 오존의 90%가 성층권에 있으며 10%가 대류권에 포함되어 있고 특히 성층권내에서도 25km 부근에 밀집되어 있는 층을 통상 오존층이라 한다⁴⁾. 대류권의 오존은 대기오염을 일으키지만 성층권에 존재하는 오존층은 가시광선을 통과시켜서 생태계 먹이사슬의 기초를 이루는 식물의 성장을 돕고, 생물체에 해로운 자외선(Ultraviolet rays)을 걸러내어 우리를 보호해 준다. 자외선은 디프테리아등 인체에 해로운 각종 병균들을 박멸시켜 주기도 하지만, 과다하게 쬐일 경우 피부암, 백내장(Cataract)과 같은 피부질환을 일으킨다. 오존층은 대기중의 산소분자가 2400 옹스트롬($\text{\AA} : 10^{-8}cm$)이하의 파장이 짧은 자외선을 흡수, 분해함으로써 생긴것인데 인체나 생물에 해로운 2800 옹스트롬 이하의 강력한 자외선이 바로 이 오존층에 흡수되어 지상까지 도달하지 못하게 한다⁶⁾.

이러한 오존층 파괴의 주원인은 현대문명의利器로 널리 쓰여져 온 CFC인 것으로 밝혀졌다⁹⁾. 無毒性이며 不活性物質로 인체에 대한 안전도가 높은 CFC 화합물은 냉장고, 에어컨 등이 폐기되면서 지상에서 방출되어 10년 정도의 배회기간을 거쳐 성층권의 오존층에 도달하고 光分解로 할로겐화합물을 발생시킨다. 이 할로겐 화합물이 오존과 연쇄반응을 일으키면서 오존층을 파괴하는 것으로 알려졌다.

5. 결 론

대기중에 포함되어 있는 적외선 기체들중에서 CFC 화합물과 오존이 지구의 온난화 잠재력에 미치는 기여도를 Stefan-Boltzmann 법칙에 의해 계산하고 환경적인 영향에 대하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) CFC 화합물은 단위농도에 비해 지구의 온난화 효과에 기여도가 다른 기체들보다 클뿐만 아니라 지구의 생명보호막이라고 할 수 있는 오존층을 파괴하는 주범이므로, 이물질의 방출은 절대적으로 금지되어야 하며 지금부터 사용을 제한하더라도 그 효과는 10년 이상이 경과되어야 나타나게 될것이다.
- 2) 오존층은 대기의 온난화 효과에 관여되기도 하지만 식물의 성장을 도우며 생태계의 먹이사슬을 유지시키고, 인체의 질환을 방지할 수 있는 성질을 가졌으므로 오존층의 적극적인 보호방법을 강구하여야 한다.

참 고 문 헌

- 1) C. D. Schönwiese, Klima in Gefahr, Stahl and Eisen Nr. 24, pp.1193~1196, 1989.
- 2) S. H. Schneider, The Greenhouse Effect : Science and policy, Science, Vol, 243, 1989.
- 3) 손재익의 2, 에너지 이용과 지구온난화 대책, 화학공업과 기술, 제10권, 제2호, 1992.
- 4) 환경처의 2, 지구의 보호막 오존층을 살리자, 5, 삼정인쇄공사, 1993.
- 5) M. Iqbal, An Introduction to Solar Radiation, Academic press, Canada, New York, pp.31~37, 1983.
- 6) B. Thompson et al, Infrared spectra of Hazardous Gases and Vapors at OSHA Maximum Tolerance Levels, 1900.
- 7) Vogt, S.. Der Treibnaus effekt-Spurengase und Ozonproblematik Teil 2. GIT Supplement 4/89 Umwelt, pp.5~11.
- 8) 禹完基, 大氣環境概論, 99, 도서출판 동화기술, 1989.
- 9) 權肅杓의 2, 환경공학 2판, 398, 普成出版社, 1992.

- 10) 손재익외 2, 에너지 이용과 지구온난화 대책, 화학공업과 기술, 제10권, 제2호, 1992.
-