

한반도 배경대기 지역에서의 온실가스 변동 경향(1999-2003)

최병철[†] · 박기준 · 최재천¹ · 정효상

기상청 기상연구소, ¹기상청 기후국 기후정책과

Characteristics on the Variation of Greenhouse Gases at the Background Atmosphere Station in Korea (1999-2003)

Byoung-Cheol Choi[†], Ki-Jun Park, Jae-Cheon Choi¹, and Hyo-Sang Chung

Meteorological Research Institute, KMA, ¹Climate policy Division, Climate Bureau, KMA, Seoul 156-720, Korea

Rapid increase in concentrations of greenhouse gases since the industrial period has given rise to concern over their impact on climate changes. The concentrations of greenhouse gases have been measured at KGAWO (Korea Global Atmosphere Watch Observatory) in Anmyeon, Korea since 1998. The CO₂, CH₄, N₂O, CFC₁₁, and CFC₁₂ concentrations of greenhouse gases observed by KGAWO in Anmyeon are 376.3 ppm, 1929.2 ppb, 316.5 ppb, 268.9 ppt, and 542.1 ppt respectively during the period from 1999 to 2003 (5-year annual mean). High concentrations of CO₂ during the winter and the spring season might be principally affected by using the fossil fuel for heating and industrial operations. Although the measuring site in Anmyeon is regarded to be less influenced from anthropogenic effects, the CO₂, CH₄, and N₂O concentrations in Anmyeon is slowly increased until recently. This fact suggests a local effect caused by development around the Anmyeon region as well as a long range transport from China located at the upwind direction. The inter-annual variation of CFC₁₁ shows gradually decreasing, but that of CFC₁₂ shows somewhat steady state differing from the CFC₁₁ case.

Key words: Greenhouse gases, Anmyeon, concentrations of greenhouse gases

1. 서 론

온실가스에 의한 지구온난화와 성층권에서의 오존층의 파괴는 화석연료의 연소와 산업 활동에 따른 인위적 오염 물질의 방출로 인해 일어날 수 있는 전 지구적인 문제로 대두되어 왔다.¹⁻⁴⁾ 산업혁명 이전의 1,000년 동안 온실가스의 대기 중 농도는 비교적 일정하였으나 산업화이후에는 대부분의 온실가스 농도는 인간 편의를 도모함으로써 증가하기 시작하였다.

각각의 특성을 보면, CO₂는 지구-해양-대기 시스템에 있어 가장 널리 알려지고 중요한 미량가스 중의 하나이다. CO₂는 자연적이고 인위적인 발생원을 모두 다 가지고 있으며, 자연적 탄소순환 범위 내에서 대부분 생물학적 활동의 중요한 역할을 한다. 석탄, 석유, 천연가스와 나무 등은 대부분 탄소를 함유하며, 이러한 연료의 연소를 통하여 대기 중의 CO₂가 방출된다. 이러

한 연소가 수십 년 동안 대기 중 CO₂의 연속적인 증가에 중요한 요인이 되고 있다. CO₂의 동위원소 구성과 관측된 산소분자의 감소에 의하면, 관측된 CO₂의 증가는 주로 화석연료의 연소와 삼림의 파괴에 따른 탄소 유기물의 산화에 의한 것이라고 할 수 있다. 수십만년 동안 빙하에 갇힌 공기로부터 얻은 과거 대기 자료는 산업화 기간에 CO₂농도 증가의 상황을 제공한다. 이전 수천 년 동안의 안정된 CO₂의 농도에 비하여 산업화 기간의 증가는 극적이다. 1980년 이후 평균 증가율은 0.4%/yr (1.5 ppm/yr)이며, 이는 CO₂ 배출의 결과이다. 지난 20년간의 배출량의 약 3/4는 화석연료의 연소이며, 나머지는 주로 토지 이용도의 변화 특히 삼림의 황폐화에 의한 것이다.⁴⁾ 특히 CO₂는 인위적인 온실가스 중에서 가장 우세하며, 현재 복사강제력은 1.46 W/m²으로 온실효과 유발 기여도는 약 55%를 차지한다.⁴⁾ 지금까지 전지구적 CO₂ 변동에 대한 연구는 이러

[†]To whom correspondence should be addressed.
cbc@kma.go.kr

한 증가를 분석과 함께 계절 변화 분석, CO₂ 측정 및 통계적 분석기술 개선, CO₂ 수송 등에 관한 연구가 이루어진 바 있다.⁵⁻⁹⁾

CH₄는 탄소 원자 1개에 수소원자 4개가 결합되어 있어 화학적으로 반응성이 낮은 물질이며, 장파복사에 대하여 강한 흡수대를 가지고 있는 물질로 알려져 있다. CH₄는 늪지대, 논 등의 지표에서 생성되며 화학적으로 안정하여 12 ± 3.5 년의 체류시간 (lift time)을 가지며 대류권 전체에서 거의 균일한 혼합비를 가진다.^{10,11)} 대류권에서 메탄은 Brewer Dobson 순환¹²⁾에 의해서 고위도로 이동하며, 수직적으로는 광화학 반응의 영향으로 성층권에서 CH₄의 공간 분포는 수평 방향보다 수직 방향으로 변화가 크게 나타난다.¹³⁾ 성층권으로 수송된 CH₄는 주로 40 km 이상의 고도에서 광해리 반응 또는 OH, Cl 등 화학적으로 활성을 띠는 미량기체와의 열 반응으로 소멸된다.^{14,15)}

N₂O는 자연적이고 기름진 토양, 해양, 화석연료연소, 생물 연소의 배출량을 포함하는 자연적, 인위적인 배출원을 가지고 있다. N₂O는 대류권에서 불활성이며 복사강제력에도 기여한다.

대기 중에 존재하는 미량기체 중 CFC₁₁과 CFC₁₂는 온실기체임과 동시에 오존층 파괴 물질로서 알려져 있다.^{14,16)} 이들 기체는 인공적인 화합물로서 1950년대 이전에는 대기 중에 존재하지 않았으며, 주로 냉각제, 스프레이 속에서의 추진제, 거품 발생제 등으로 널리 사용되어 왔다.^{17,18)} 한반도 지역에서 CFC₁₁과 CFC₁₂의 대기중 농도 감시에 대한 연구는 대도시에 인접한 관악산에서의 연속 관측에 의한 연구와 제주도 고산에서 관측에 의한 연구가 일부 수행되었을 뿐이다.^{19,20)}

이 연구에서는 동아시아지역의 배경 농도를 측정하는 지역급 관측소로서 임무를 수행하고 있는 안면도 지구대기감시관측소에서 1999년 1월부터 2003년 12월까지 생산된 최근 5년간의 온실가스 관측 자료를 이용하여 한반도에서의 대기 중 온실가스 농도 추세를 분석하였으며, 세계온실가스자료센터(WDCGG: World Data Centre for Greenhouse Gases; <http://gaw.kishou.go.jp/wdogg.html>)로부터 얻은 동아시아 지역(일본 료리)과 하와이 마우나로아의 최근 5년간의 관측 자료와 비교하였다.

2. 자료 및 분석 방법

2.1. 시료 채취 지점

우리나라 중서부 해안가에 위치한 안면도(36°32' N, 126°19' E)는 113.46 km²로서 인구 약 13,000여명이 거주하고 있다. 안면도는 동쪽으로는 천수만을 접하고 북쪽으로 약 30 km 지점에는 태안읍이 있으며, 남쪽 끝에는 충남 보령시를 마주보고 있다. 생미역 모양의 리아스식 해안을 이룬 안면도는 간척 사업으로 인하여 해안선이 많이 직선화되었다. 또한, 안면도는 서울로부터 남동쪽으로 약 180 km 떨어져 있으며, 서해안 고속도로가 직선거리로 약 30 km 떨어져 있다. 특히, 지구대기감시관측소는 태안군 해안 국립공원 내에 위치하므로 소나무, 잣목 등의 산림이 울창하게 형성되어 있으며, 해안에 바로 접하여 있어 해풍의 영향을 직접적으로 받으며, 주로 서풍 또는 북서풍 계열의 바람이 우세하기 때문에 지리적, 기상학적으로 인위적인 영향을 비교적 덜 받는 지점이다.

2.2. 자료

1999년 1월부터 2003년 12월까지 최근 5년간 안면도 지구대기감시관측소에서 생산된 온실가스 관측 자료 및 한반도 대기 중 온실가스 농도와 다른 나라의 자료(일본 료리 및 미국 마우나로아)와 비교를 위해 세계 온실가스자료센터(WDCGG: World Data Centre for Greenhouse Gases)의 최근 5년간의 관측 자료를 이용하였다.

2.3 분석 방법

온실가스 시료채취는 지구대기감시관측소 건물 옥상(약 6 m)에 설치된 기상탑에 흡입구를 설치하여 공기를 채취하였다. 온실가스 시료 채취시에 이용된 채취통은 내경 9 mm 데카본(Dekabon)관이며, 흡입펌프(Air Cardet 07059-40, Cole Parmer사)를 이용하여 약 8 l/min으로 공기 시료를 유입시켰다. Table 1은 CO₂를 비롯한 온실가스의 분석기기 및 조건을 나타낸 것이다.

CO₂는 비분산적외분석기(Non Dispersive Infra Red; 이하, 'NDIR'이라고 함)를 이용하였으며, 대기 중의 수분 제거를 위하여 제습 장치를 3단계로 설치하였다. 그리고 CO₂ 측정시에 이용되는 기준 gas와 비교 gas는 미국 NOAA/CMDL에서 도입한 WMO 표준gas를 이용하여 NDIR를 보정 하였다. CO₂ 측정은 기준gas와 비교gas를 각각 5분씩 주기적으로 주입시켜 10분간 보

Table 1. Analysis conditions of greenhouse gases.

Items	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CFCs
Measurement Instruments	NDIR Ultramat 6E	GC 5890II	GC 6890N	GC 6890N
Detector	-	Flame Ionization Detector	Electron Capture Detector	Electron Capture Detector
Sample Gas Flow	0.6(ml/min)	30(ml/min)	30(ml/min)	20(ml/min)
Standard Gas	CO ₂ (370.9 ppm)	CH ₄ (2043 ppb)	N ₂ O(310 ppb)	CFC-11(260 ppt) CFC-12(540 ppt)
Carrier Gas	-	N ₂	CH ₄ + Ar (5% + 95%)	CH ₄ + Ar (5% + 95%)
Carrier Gas Flow	-	50(ml/min)	75(ml/min)	60(ml/min)
Oven Temperature	-	30°C	60°C	40°C
Column	-	Activated Alumina	Porapak-Q	Porasil-C
Measurement Interval	30 second	30 minute	1 hour	3 hour

정을 실시하고, 측정시의 대기 중 CO₂ 농도의 정확성을 알아보기 위하여 NDIR에 있는 여분의 두 라인에 NOAA/CMDL에서 구입한 1차 표준가스(370.9 ppm, 390.5 ppm)를 수동적으로 유입시켜 확인하였다. 이와 같은 보정 및 확인 작업은 120분마다 반복적으로 수행된다. 그리고 매 30초마다 측정된 CO₂ 자료는 WDCGG 방법의 배경대기자료 처리 방법에 따라 매시간 자료로 산출한다.

CO₂ 자료는 관측소 주변의 인위적인 영향과 생물의 활동 등에 의한 영향을 많이 받으므로 잘 혼합된 공기로부터 배경대기 자료를 주의 깊게 선정하여야 한다. 현재 WDCGG에서 권고하는 배경 대기 CO₂ 자료는 다음과 같이 선정된다. 첫째, 매시간 평균 농도는 측정 장비의 운영상 오차 자료를 배제한 원시 자료로부터 계산한 둘째, 매시간 평균 농도는 원시 자료가 60개 미만일 때는 제거함 셋째, 매시간 평균 농도는 매시간 표준편차가 일정값 A를 초과하는 경우 제거함 넷째, 매시간 평균 농도는 인접하는 양쪽 자료와의 차이가 일정값 B를 초과할 경우 제거함 다섯째, 상기의 과정을 수행한 후의 자료는 잘 혼합된 대기에서의 매시간 배경농도 자료임 여섯째, 일평균 농도는 매시간 배경농도 자료로부터 계산함 일곱째, 월평균 농도는 일평균 자료로부터 계산함 여덟째, 연평균 농도는 월평균 자료로부터 계산된다. 여기에서 A값과 B값은 관측소의 자료 분석으로부터 그 기준을 얻을 수 있다. CO₂ 농도의 경우 지구대기감시관측소는 A값과 B값을 각각 0.6으로 이용하였다.

CH₄도 CO₂와 마찬가지로 시료를 채취한다. 그리고 시료 채취구로부터 흡인한 시료는 가스크로마토그래프(Gas Chromatograph, GC)를 이용하여 농도를 측정한다.

다. CH₄ 분석 시스템은 불꽃이온화검출기(Flame Ionized Detector; FID), 성분 분리를 위한 컬럼, 낮은 온도에서 유지되는 트랩 컬럼, GC 운영과 자료 저장을 위한 컴퓨터로 구성되어 있다. 그리고 오븐에서 주 분리컬럼은 Activated Alumina F1 (80/100, 6"×2 mm, SS, Restec)을 사용한다. 또한, 측정을 위하여 시료는 3/8"테카본 튜빙을 통하여 8 l/min으로 유입시키며, 매 30분마다 측정한다. 표준가스는 하루에 4번씩 유입시켜 보정하도록 되어있다.

N₂O와 CFCs의 측정은 CH₄ 측정 방법과 유사하며 검출기는 전기포획검출기(Electron Capture Detector; 이하, 'ECD'이라고 함)를 사용한다. N₂O 측정용 컬럼은 Porapak-Q (50/80 mesh, 1/8", 6 ft)를 이용하여 분석하며, CFCs는 Porasil-C (80/100 mesh, 1/8", 2 ft) 컬럼을 사용한다. N₂O는 매 시간마다 측정되며, 표준가스는 하루에 2번 유입시켜 보정하였으며, CFCs는 매 3시간마다 측정되며, 표준가스는 하루에 한번 유입시켜 보정하였다. GC에서 생산된 자료는 다음과 같은 방법으로 배경농도를 산출하였다. 첫째, 측정 장비의 운영상 오차 값을 배제한 원시 자료로부터 일 평균 농도를 계산함 둘째, 만약에 하루 중 원시자료의 개수가 3개보다 적다면 그날의 일평균 값은 제거함 셋째, 하루 중 표준편차가 추천한 A값을 초과할 경우 그 날의 일평균 값은 제거함 넷째, 상기 과정을 수행한 후의 데이터는 잘 혼합된 대기에서의 매시간 배경 농도 자료임 다섯째, 월 평균 농도는 일평균 농도로부터 계산함 여섯째, 연 평균 농도는 월평균 농도로부터 계산된다. 여기에서, 온실가스 자료의 일평균 농도를 산출한 후 평균치로부터 A에 해당하는 농도 범위를 벗어나는 값을 제거하며 각 요소들의 A 값은 CH₄는 20 ppb, N₂O는

7 ppb, CFC₁₁은 10 ppt, CFC₁₂는 20 ppt의 범위를 벗어나는 자료는 제거하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 안면도에서 1999년 1월부터 2003년 12월까지 최근 5년간의 CO₂ 농도의 월별 변화를 나타낸 것이다. 그림에 나타났듯이 대기 중 CO₂ 농도는 겨울철과 봄철에 고농도를 보였으며, 이는 난방 및 산업시설 등의 화석연료 사용으로 인한 것으로 판단된다. 그리고 여름철과 가을철에 비교적 저농도를 보이는 것은 식물의 광합성 작용에 의한 활동이 많기 때문으로 생각된다. 특히 여름철의 야간 및 새벽에 식물의 호흡작용이 강하게 나타나므로 고농도의 CO₂가 많이 분포하였으며 이와 같은 특성은 관측 지점의 식생 분포 및 빈도에 따라 크게 달라질 수 있을 것으로 사료된다. 또한 겨울철에는 화석연료의 사용으로 인하여 CO₂ 발생량이 증가할 것으로 추정되나 본 관측지점에서의 CO₂ 농도 값은 거의 영향이 없는 것으로 보아 화석연료 등의 영향은 직접적으로 받지 않는 것으로 추정된다. 대기 중 CO₂ 농도 값의 월별 변화율은 $y = 0.285x + 367.66$ 의 일차 회귀식으로 산정되었으며, 최근으로 올수록 농도가 상승하고 있음을 보여주었다.

CH₄는 강력한 온실가스이며 대류권과 성층권 오존 감소에 산화능력을 결정하는 중요한 역할을 한다. 1990년 이후 대기 중 CH₄의 양은 $4,800 \times 10^{12}$ g이며 공장지대에서는 그 2배 이상이다. 이러한 메탄의 증가는 인류 발생 이래 온실가스 배출량의 20% 이상을 기여하고 있다. 인간의 활동에 의한 이러한 증가에 대하여

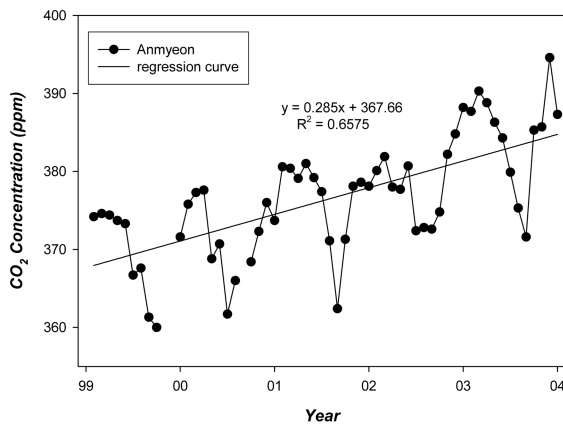


Fig. 1. Monthly variation of mean CO₂ concentration at Anmyeon from 1999 to 2003.

CH₄ 수지에 대한 정량적인 이해가 아직 알려지지 않았다. 이러한 이해는 기후변화에 CH₄의 잠재적인 영향을 완화시키는 방안을 찾는 데 필요하다.

Fig. 2는 안면도에서 1999년 1월부터 2003년 12월까지 최근 5년간의 CH₄의 월별 평균 농도를 그래프로 보인 것이다. 대기 중 CH₄의 평균 농도는 봄철에 식물의 활동이 왕성해지는 시기에 농도가 차차 증가하다가 농업 활동이 끝나는 시기에 농도가 낮아지는 경향을 보인다. 그래프를 살펴보면 매년 5월에서 10월까지의 CH₄ 농도가 가장 높아짐을 볼 수 있다. 대기 중 CH₄는 매립지 또는 토지 경작 등에서 많이 발생하는데 안면도 관측 지점 주변에는 대규모의 공장이나 산업 시설 등은 없고, 인근 주민 등의 논이나 밭 등의 소규모의 토지 경작지가 산재하고 있으므로 이로 인한 영향이 큰 것으로 사료된다. 대기 중 CH₄ 농도 값의 월별 변화율은 $y = 0.0027x + 1.8235$ 의 일차 회귀식으로 산정되었으며, 최근으로 올수록 농도가 상승하고 있음을 보여주었다.

N₂O는 자연적인 발생원과 인위적인 발생원이 있으며 온실효과에 약 6% 정도 기여하고 있다. N₂O는 매년 0.7 ppb 증가하며 해양, 화석연료 연소, 생물체의 연소와 농업 등이 발생원으로 알려져 있다. N₂O는 대류권에서는 불활성이며 성층권에서 광화학변환으로 성층권 오존에 영향을 미치는 주요한 원인이다. 대기 중 체류 시간이 매우 길며(150년), 배경농도 측정은 지구권 관측소에서 행해진다. 지역급 관측소에서는 지역기원 오염물의 영향을 받는다.

Fig. 3은 1999년 1월부터 2003년 12월까지 안면도에서 관측된 N₂O의 월별 변동을 나타낸 것으로 약간의 월별 농도 변화를 보이고 있다. 대기 중 N₂O 농도 값

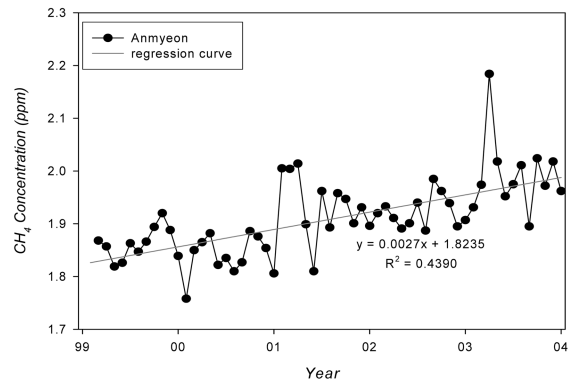


Fig. 2. Monthly variation of mean CH₄ concentration at Anmyeon from 1999 to 2003.

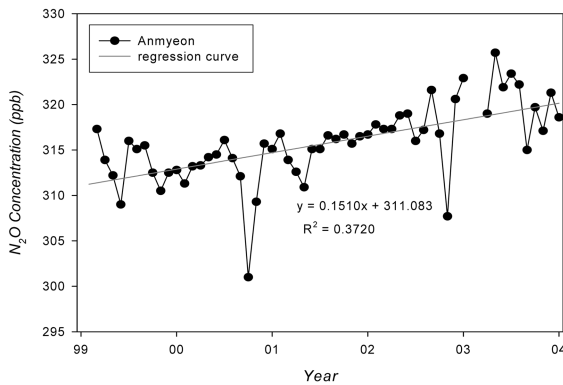


Fig. 3. Monthly variation of mean N₂O concentration at Anmyeon from 1999 to 2003.

의 월별 변화율은 $y = 0.151x + 311.08$ 의 일차 회귀식으로 산정되었으며, 최근으로 올수록 농도가 상승하고 있음을 보여주었다.

CFC₁₁과 CFC₁₂는 자연적으로 존재하지 않는 물질이다. 1930년대 제조업이 발달한 이후로 CFC₁₁과 CFC₁₂는 냉매, 공장기기와 드라이클리닝의 용매, 에어컨의 추진제로 사용되었다. CFC₁₁과 CFC₁₂는 대류권에서는 반응하지 않지만 성층권에서는 광분해하여 염소원자를 만들어 오존을 파괴한다. 따라서 온실효과를 강화하는데 기여하고 있다. 몬트리올 의정서와 그 수정안에 따라 두 화합물의 제조를 금지함으로써 CFC₁₁은 감소하기 시작하였고 CFC₁₂의 증가비율도 쇠퇴하기 시작하였으나 여전히 대기 중에 연속적으로 축적되고 있다.

Fig. 4는 1999년 1월부터 2003년 12월까지 5년간 안면도에서 관측된 염화불화탄소 농도의 월별 농도 변화를 나타낸 것이다. 대기 중 CFC₁₁ 농도는 최근으로 올수록 전체적인 농도는 감소하고 있는 경향을 보이고 있다. 그러나 대기 중 CFC₁₂ 농도는 뚜렷한 증감 추세를 보이고 있지는 않으나 계속적인 감시가 요구된다. 대기 중 CFC₁₁ 농도 값의 월별 변화율은 $y = -0.240x + 275.97$ 의 일차 회귀식으로 산정되었으며, CFC₁₂ 농도 값의 월별 변화율은 $y = 0.013x + 541.17$ 의 일차 회귀식으로 산정되었다.

WMO는 대기 중의 오존을 비롯하여 미량가스의 관측을 총괄하는 전 지구적 규모의 대기 감시(GAW) 프로그램을 발족시키고 전 지구적 대기 성분 감시 및 분석 기술의 향상과 관측 자료의 공유를 주도해 오고 있다. WMO/GAW의 주관으로 이루어지는 이 프로그램에는 온실 가스 농도의 관측, 오존 관측, 강수의 산성

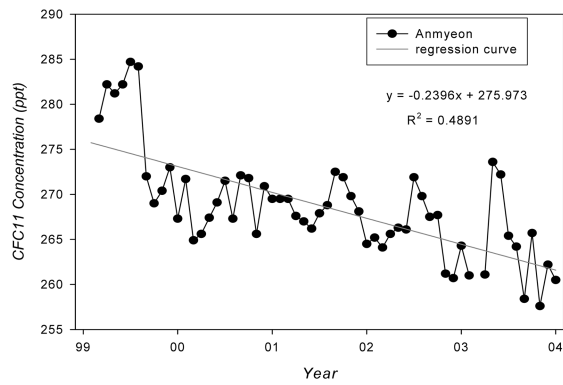
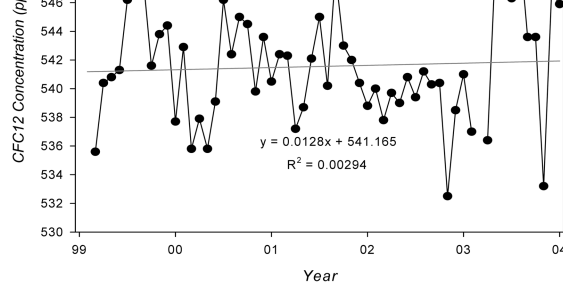


Fig. 4. Monthly variation of mean CFC₁₁ & CFC₁₂ concentration at Anmyeon from 1999 to 2003.



도, 빗물의 성분 및 농도, 오염 물질의 장거리 이동, 그리고 대기 에어로솔의 관측 등이 포함되어 있다. 그 중 온실가스 및 미량가스 관측 자료는 세계온실가스자료센터(WMO/WDCGG)에서 종합 관리하고 있다. 전 지구적인 CO₂의 변동 특성에 사용한 자료는 WDCGG에서 관리하고 있는 대기 중 미량 가스의 농도 자료이며, 이 자료를 사용하여 안면도의 자료와 비교하고 농도 변동의 특성을 분석하였다.

Fig. 5는 안면도와 하와이 마우나로아 및 일본의 료리 관측소에서 측정된 월평균 CO₂ 농도의 연변화를 나타낸 것으로 이는 동북 아시아지역의 CO₂ 농도와 하와이 마우나로아의 변동 특성을 비교해보기 위한 것이다. 하와이 마우나로아 관측소는 지구급 관측소이며, 안면도와 일본의 료리 관측소는 지역급 관측소이다. Fig. 5에 의하면 3개의 관측 지점 모두 CO₂ 농도가 점차 증가하는 경향을 보이고 있다. 마우나로아 자료는 다른 지점에 비하여 그 변동폭이 약하게 나타나고 있으며, 안면도와 료리는 대체적으로 서로 유사한 변화 경향을 보이고 있다. 이는 지구급 관측소와 지역급 관측소의 차이로 보인다. 전체적인 CO₂ 농도는 마우나로아가 가

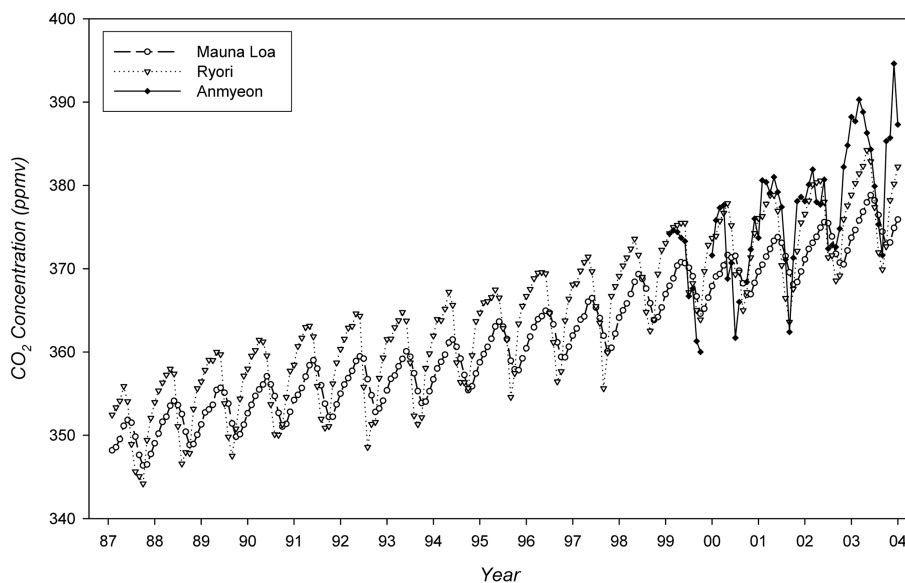


Fig. 5. Inter-annual variations of monthly mean CO₂ concentrations at Anmyeon, Mauna Loa in Hawaii, and Ryori in Japan.

Table 2. Annual mean concentration of CO₂ in WMO/WDCGG from 1999 to 2003 (unit: ppm).

Station	Country	Latitude	Longitude	Height	Class	1999	2000	2001	2002	2003	Remark
Anmyeon-do	Korea	36°32' N	126°19' E	47 m	Regional	369.7	371.7	376.4	378.9	384.8	Continuous
Ryori	Japan	39°2' N	141°49' E	260 m	Regional	371.3	372.7	373.4	375.9	378.6	Continuous
Mauna Loa	U.S.A.	19°32' N	155°35' W	3397 m	Global	368.2	369.3	371.0	373.0	375.8	Continuous

Table 3. Annual mean concentration of CH₄ in WMO/WDCGG from 1999 to 2003 (unit: ppb).

Station	Country	Latitude	Longitude	Height	Class	1999	2000	2001	2002	2003	Remark
Anmyeon-do	Korea	36°32' N	126°19' E	47 m	Regional	1919.0	1859.0	1952.0	1923.0	1993.0	Continuous
Ryori	Japan	39°2' N	141°49' E	260 m	Regional	1841.9	1846.8	1855.3	1854.1	1864.8	Continuous
Mauna Loa	U.S.A.	19°32' N	155°35' W	3397 m	Global	1763.4	1763.1	1764.6	1761.7	1769.9	Flask

Table 4. Annual mean concentration of N₂O in WMO/WDCGG from 1999 to 2003 (unit: ppb).

Station	Country	Latitude	Longitude	Height	Class	1999	2000	2001	2002	2003	Remark
Anmyeon-do	Korea	36°32' N	126°19' E	47 m	Regional	313.9	313.0	315.3	318.3	321.9	Continuous
Ryori	Japan	39°2' N	141°49' E	260 m	Regional	315.8	319.2	318.2	317.7	-	Continuous
Mauna Loa	U.S.A.	19°32' N	155°35' W	3397 m	Global	314.7	315.7	316.8	317.5	317.9	Flask

Table 5. Annual mean concentration of CFC₁₁ in WMO/WDCGG from 1999 to 2003 (unit: ppt).

Station	Country	Latitude	Longitude	Height	Class	1999	2000	2001	2002	2003	Remark
Anmyeon-do	Korea	36°32' N	126°19' E	47 m	Regional	277.2	268.9	267.8	266.0	264.7	Continuous
Ryori	Japan	39°2' N	141°49' E	260 m	Regional	268.6	267.9	269.5	257.4	-	Continuous
Mauna Loa	U.S.A.	19°32' N	155°35' W	3397 m	Global	264.9	263.7	262.4	259.5	257.0	Flask

장 낮게 나타나고 있으며, 그 다음으로 료리와 안면도 순으로 낮게 나타나고 있다.

Table 2에서 Table 6은 안면도 자료와 인근의 일본

의 료리 관측소 및 미국 하와이 마우나로아 관측소 자료의 연평균 농도(1999-2003년)를 나타내었다. 연평균 온실가스 농도의 특징을 살펴보면 미국의 마우나로아

Table 6. Annual mean concentration of CFC₁₂ in WMO/WDCGG from 1999 to 2003 (unit: ppt).

Station	Country	Latitude	Longitude	Height	Class	1999	2000	2001	2002	2003	Remark
Anmyeon-do	Korea	36°32' N	126°19' E	47 m	Regional	542.9	541.7	541.8	539.2	544.8	Continuous
Ryori	Japan	39°2' N	141°49' E	260 m	Regional	535.0	541.2	540.6	537.8	-	Continuous
Mauna Loa	U.S.A.	19°32' N	155°35' W	3397 m	Global	534.5	536.4	535.6	536.0	537.3	Flask

는 전지구급 관측소로서 인위적인 오염이 거의 없는 지점으로, 안면도나 료리 관측소에 비해 상대적으로 낮게 나타나고 있다. CH₄의 경우 안면도 농도 값이 료리 관측소의 농도 값보다 상대적으로 큰 값을 보이고 있는데, 이는 안면도 주변의 논과 밭 등의 토지 경작 등에 의한 영향이 큰 것으로 사료된다.

4. 결 론

이 연구는 안면도 지구대기감시관측소에서 1999년 1월부터 2003년 12월까지(5년간) 관측된 온실가스 자료를 이용하여 월별 및 연간 변동 경향을 알아보았다. 그리고 일본 료리 및 하와이 마우나로아 자료를 안면도 온실가스 자료와 비교하여 보았으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 안면도에서 최근 5년간(1999년-2003년) 관측된 CO₂, CH₄, N₂O, CFC₁₁ 및 CFC₁₂의 평균농도는 각각 376.3 ppm, 1929.2 ppb, 316.5 ppb, 268.9 ppt, 542.1 ppt로 나타났다.

2. 안면도 대기 중 CO₂ 농도는 다른 여러 지역 관측소와 마찬가지로 증가하는 경향을 나타내고 있다. 그리고 겨울철과 봄철에 고농도를 보였고, 여름철과 가을철에 비교적 저농도를 나타내고 있다.

3. 안면도 대기 중 CO₂, CH₄, N₂O의 농도는 최근으로 올수록 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이는 관측 지점 부근이 서서히 발전함으로 인한 영향도 있지만, 우리나라의 풍상측에 위치한 중국으로부터의 장거리 이동되는 영향도 있을 것으로 사료된다.

4. 안면도 대기 중 CFC₁₁의 농도는 몬트리올 의정서의 프레온 가스 사용 금지 조약에 따라 WMO/WDCGG의 다른 여러 지역 관측소와 마찬가지로 서서히 감소하는 경향을 나타내고 있다.

감사의 글

이 연구는 기상청/기상연구소/지구대기감시관측소의 기본 사업비 및 기상청 연구용역 사업의 하나인 “온실

가스측정용 국가표준가스(CFCs) 국산화기술개발 3차 사업”으로 수행된 내용입니다.

참고문헌

1. United Nations Environmental Programme (UNEP), **1987**, Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer, September 16, 1987, Montreal.
2. World Meteorological Organization (WMO), **1988**, The Montreal Protocol on substances that deplete the ozone layer. *WMO Bull.*, 37, 94-97.
3. Cunnold, D.M., P.J. Fraser, R.F. Weiss, R.G. Prinn, P.G. Simmonds, B.R. Miller, E.N. Alyea, and A.J. Crawford, **1994**, *J. Geophys. Res.*, 99(D1), 1107-1126.
4. IPCC, **2001**, *Climate Change 2001, The Scientific Basis*. Edited by J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C.A. Johnson, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
5. Komhyr, W. D., R. H. Gammon, T. B. Harris, L. S. Waterman, T. J. Conway, W. R. Taylor, and K. W. Thoning, **1985**, *J. Geophys. Res.*, 90, 5567-5596.
6. Komhyr, W. D., T. B. Harris, L. S. Waterman, J. F. S. Chin, K. W. Thoning, **1989**, *J. Geophys. Res.*, 94, 8533-8547.
7. Thoning, K. W., P. P. Tans, and W. D. Komhyr, **1989**, *J. Geophys. Res.*, 94, 8549-8565.
8. Ciais, P., P. P. Tans, M. Trolier, J. W. C. White and R. J. Fancey, **1995**, *Science*, 269, 98-102.
9. Strahan, S. E., A. R. Douglass, J. E. Nielsen, and K. A. Boering, **1998**, *J. Geophys. Res.*, 103, 13729-13741.
10. Schimel D., D. Alves, I. Enting and M. Heimann, **1996**, Radiative forcing of Climate change. in *Climate Change 1995*. Cambridge University Press, 65-131.
11. 김윤재, 김준, 최우갑, 이규태, **2002**, *한국기상학회지*, 38(T), 39-58.
12. Brewer, A. W., **1994**, *Q. J. R. Meteor. Soc.*, 75, 351-363.
13. Holtan, J. R and W. Choi, **1988**, *J. Atmos. Sci.*, 45, 1929-1939.
14. Levine J, **1985**, *The photo Chemistry of Atmospheres: Earth, the other Planets, and Comets*. Academic Press. Inc., 518.

15. Shimazaki T., **1985**, Minor Constituents in the Middle Atmosphere. Terra Scientific Publishing Co., 443.
16. Prather, M., P. Midgley, F. S. Rowland, and R. Stolarski, **1996**, *Nature*, 381, 551-554.
17. Khalil, M.A.K., **1992**, Encyclopedia of Earth System Science-Atmospheric Trace Gases, Anthropogenic Influences and Global Change. Academic Press, 285-293.
18. Elkins, J.W., T.M. Thompson, T.H. Swanson, J.H. Butler, B.D. Hall, S.O. Cummings, D.A. Fisher, and A.G. Raffo, **1993**, *Nature*, 364, 780-783.
19. 김경렬, 민동하, 박미경, 김은희, 최상화, 조하만, 남재철, **1994**, *한국대기보전학회지*, 10(1), 41-48.
20. 김지영, 박미경, 오성남, 조하만, 김경렬, **2001**, *한국기상학회지*, 37(1), 65~74.