

PD2) 지구 온난화 물질 감시 기술개발 Development of Monitoring Technology for Greenhouse Gases

박종서 · 박기준 · 오성남 · 최재천¹⁾

기상연구소 응용기상연구실, 지구대기감시관측소¹⁾

I. 서론

대기 중 온실기체의 증가로 인한 지구 온난화에 따른 기후변화 문제가 사회 각 분야에서 본격적으로 대두됨에 따라 기후변화를 예측하고 기후변화에 따른 영향을 정량적으로 평가하기 위한 연구들이 활발하게 진행되고 있다. IPCC(1995)에 따르면 대기 중 CO₂의 농도는 산업 혁명 이전의 280 ppm에서 1994년에는 356 ppm까지 증가했음을 보고한 바 있고, 1997년에는 약 364 ppm(하와이 마우나로아 관측소 측정값)으로 지속적인 증가 추세에 있는 것으로 관측되고 있으며, 1900년 이후의 증가율은 약 0.5%/yr 정도 되는 것으로 알려져 있다. 또한, CO₂ 증가에 따른 지구 표면의 기온은 과거 100년 동안 0.3~0.6°C 상승한 것으로 보고되고 있다. 만약 이런 추세가 계속된다면 앞으로 CO₂ 농도 증가에 따른 지구 온난화는 가속되어 21세기말에 지표면 부근의 기온은 약 2.0°C(1.0~3.5°C) 상승하고 이에 따른 평균 해수면 상승은 약 50cm(15~90cm) 정도일 것으로 예측되고 있다 (IPCC, 1995). 이러한 기후 변화에 관한 연구에 병행하여 반드시 수행되어야 할 연구 중의 하나가 지구온난화를 일으키는 원인 물질인 온실기체의 대기 중 농도를 정확하게 측정할 수 있는 시스템을 개발하고 온실기체의 대기중 농도 변화를 감시하며 그러한 변화의 원인을 규명하는 일이다. 또한, 분석에 사용된 기술이 세계적으로 공인 받을 수 있도록 분석과정을 표준화하고, 국제적으로 운영되는 온실기체 관측 자료의 데이터 베이스화 계획(현재는 세계 온실기체 자료센터(WDCGG)와 미국의 해양대기청/기후진단 및 감시 연구소(NOAA/CMDL)에서 이러한 DB화를 수행함)에 적극적으로 참여하여 관련 자료를 상호 교환하고, 활발한 학술활동을 통하여 개발된 기술을 국내의 학술회의에 발표하여 대내외적인 검증 절차를 밟는 것도 매우 중요한 부분 중의 하나이다. 바야흐로 다가올 21세기에는 지구의 환경에 대한 문제가 국제 사회에 본격적으로 대두될 것이 확실시되고 있고, 그러한 지구환경 문제의 한 가운데에 지구 온난화에 따른 기후 변화 문제가 매우 중요하게 다루어질 것으로 예상된다. 따라서, 이와 관련하여 대기 중 온실기체의 농도 변화를 정확하게 분석하고 감시할 수 있는 기술 개발은 환경부와 과학기술부가 주관하고 있는 기후변화 연구에 있어 그 메커니즘을 이해하고, 더 나아가서는 향후의 기후변화를 예측하는데 있어서 근본적으로 수행되어야 할 매우 중요한 연구이다.

이 연구에서는 제주도 고산과 NOAA/CMDL에서 관측된 CO₂ 관측 값을 이용하여 CO₂ 농도의 전지구적 분포 특성을 규명하고자 하였다. 이를 위해 Fourier 분석, 객관분석, EOF, SSA 분석 등 방법을 이용하여 위도 대별로 CO₂ 농도의 계절변화, 증가율, 연변동을 조사하고 또 전지구적 CO₂ 농도 분포 패턴의 월별 변화와 남, 북반구의 분포차이 및 변동에 대해 조사하였다.

II. 연구방법

이 연구에서 이용한 자료는 1990년 8월부터 2000년 3월까지 제주도 고산(33°17' N, 126°10' W, 72m)에서 플라스크 샘플링 방법으로 주 1회 관측한 CO₂와 NOAA/CMDL의 50개 관측 지역에서 1983년부터 1998년까지 관측한 전지구적 월평균 CO₂와 CH₄ 농도 자료이다. 제주도 고산의 CO₂ 변동 경향을 분석하기 위하여 일주일에 한번 관측한 CO₂ 농도 자료를 내삽 방법으로 매일의 농도 자료로 변환하였다. 그리고 이 자료를 이용하여 8년간의 CO₂ 농도의 기후값(climatological value)을 산출하였다. 이와 같이 구해진 기후값의 계절 변동(seasonal variation)을 얻기 위하여 Fourier 분석을 시행하였고, 이 때 3개의 조화함수를 추출하였다. 또한 전반적인 CO₂ 농도의 변화 추세(trend)를 분석하기 위하여 매일의 CO₂ 농도 자료에서 기후값을 감하여 계절 성분을 제거하였다. 계절 성분이 제거된 CO₂ 농도 자료로부터 1차 회귀 방정식을 구하였다. 그리고 이와 같은 방법으로 산출한 조화함수와 회귀 방정식을 합산하여 고산 CO₂ 농도의 연간·계절간 변동 경향을 분석하였다. 이와 더불어 고산의 CO₂ 농도가 매년 증가하는 추세 변동을 살펴보기 위하여 계절 성분이 제거된 CO₂ 농도 자료를 Fourier 분석하여 2개의 조화함수를 추출하

였다. 이상의 분석에 사용한 방정식은 아래와 같다.

$$C_{obs\ seas} = (1 + \gamma t) \sum_{n=1}^m (a_n \sin \frac{n\pi t}{L} + b_n \cos \frac{n\pi t}{L}) \dots\dots\dots (1)$$

$$C_{obs\ rem} = C_1 + C_2 t \dots\dots\dots (2)$$

$$\overline{C_{obs}(t)} = C_{obs\ rem}(t) + C_{obs\ seas}(t) + \overline{\epsilon_{obs}(t)} \dots\dots\dots (3)$$

여기에서 γ 는 Gain factor이고, a_n 와 b_n 는 자료의 fitting에서 얻어진 n 에 대한 상수이다. 그리고 t 는 시간 변수이며, m 은 조화함수의 수를 의미하는데 이 연구에서는 3으로 두었다. C_1 과 C_2 는 1차 회귀 방정식을 구하여 얻어진 상수이며, $\epsilon_{obs}(t)$ 는 노이즈 항으로 이것은 종관적 규모의 CO₂ 변동과 시간에 대한 평균을 취함으로써 제거되지 않은 잉여(residual) 변동을 의미한다.

III. 결과 및 고찰

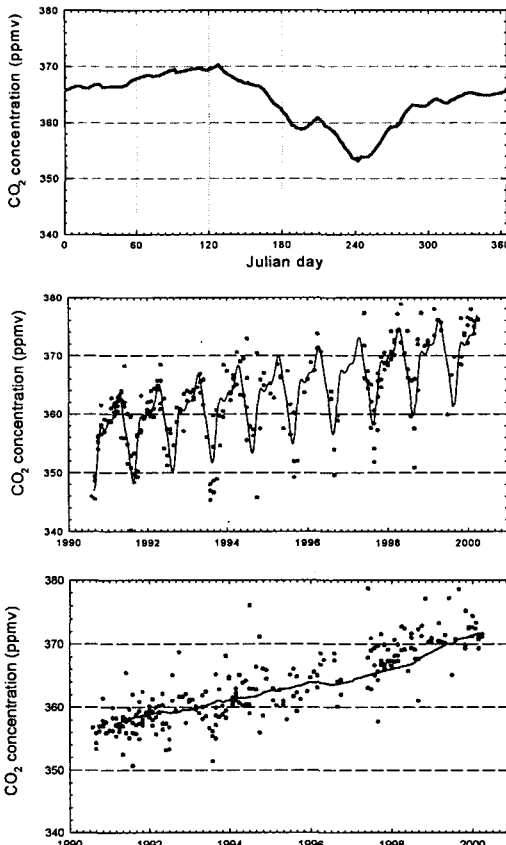


Fig. 1. Time series of climatological data of daily mean CO₂ obtained by interpolation of weekly measurements(a), seasonal variation of CO₂ concentration(b), and the trend of CO₂ concentration when seasonal variations are removed (c) at Kosan, Cheju-do from August 1990 to march 2000.

제주도 고산의 CO₂ 농도자료를 이용하여 Fourier 분석을 통해 우리나라의 CO₂ 농도의 계절 변화, 추세변동, 증가율, 연변동 등을 분석하였다. 우리나라 제주도 고산에서 관측된 CO₂ 농도의 계절 변동은 그림 1(a)에 나타난 바와 같이 5월 초에 369ppmv로 최대이며, 8월말과 9월초에 약 351ppmv로 최소이다. 따라서 계절 변동 진폭은 약 18 ppm 정도로 나타나며, CO₂ 농도의 증가 추세를 살펴보면 최대 농도인 5월 초에서부터 최소인 8월말이나 9월초까지 급격한 감소를 보인다. 그리고 9월에 걸쳐 10월 중순까지 빠른 상승세를 보이다가 10월말부터 이듬해 4월말까지는 상당히 완만한 증가 추세를 나타낸다. 그림 1(b)에서는 CO₂ 농도의 계절 변화에 따른 변화가 뚜렷하며, 지속적으로 증가해왔음을 보여준다. CO₂ 농도의 최대는 4월말에 최소는 8월말이나 9월초에 나타나며, 그 차이는 약 16~17ppmv로 이와 같은 진폭은 같은 위도의 다른 지역에 비해 상당히 큰 값이다. 이러한 결과는 우리나라의 경우 자연생태계의 광합성 작용에 의한 영향 외에 뚜렷한 계절풍의 영향을 받는 것으로 생각되는데, 즉 겨울과 봄에는 주풍향이 인간 활동이 집약된 동아시아권으로부터 오는 대륙성 바람이므로 높은 CO₂ 농도를 보였으며, 여름에는 주로 해양성 바람이므로 낮은 CO₂ 농도를 보임으로써 계절에 따른 풍계의 변화가 CO₂ 농도 변화의 1차적인 원인 것으로 생각된다. 그림 1(c)는 계절변동을 제거한 결과이다. 1990년에 약 356ppmv, 2000년 3월에 372ppmv로 연간 약 0.4%의 증가율을 나타내며, 이것은 지구적 증가율과 비슷한 수치이다.

감사의 글

본 연구는 기상연구소에서 수행한 환경부 연구과제 “지구 온난화 물질 감시 기술 개발”과 과학기술부 국가지정연구실 사업의 하나인 “한반도 기후변화 감시 기술 개발”연구과제에서 일부 수행된 내용임.

참고 문헌

IPCC, 1995: Climate Change: The Science of Climate Change, WMO/UNEP, 572pp.