

배경대기 중 CO₂ 자료 선정 방법에 따른 안면도 자료의 분석

Analysis of Background CO₂ Concentrations at Anmyeon-do Using Selecting Method of World Data Centre for Greenhouse Gases

김 정 식* · 최 재 천

기상연구소 지구대기감시관측소

(2000년 7월 14일 접수, 2001년 5월 25일 채택)

Jeong-Sik Kim and Jae-Cheon Choi

Korea Global Atmosphere Watch Observatory, Meteorological Research Institute

(Received 14 July 2000; accepted 25 May 2001)

Abstract

Continuous atmospheric CO₂ measurements measured during the 1 year (1998. 9~1999. 8) at Korea Global Atmosphere Watch Observatory (KGAWO) in Anmyeon-do are analyzed by the selecting method which is recommended by WDCGG to get background CO₂. This method can reject data based on two criteria: the instability of CO₂ concentration within 1 hour from hourly standard deviation (hourly variability ≤ 0.6 ppm, first selection) and the large changes in the CO₂ concentration from one hour to the next ($\sim \leq 0.3$ ppm, second selection). We could obtain hourly background CO₂ of 37% in first selection and 20% in second selection during the 1 year. That are a little less than those of Ryori station in Japan. especially, the cases of background CO₂ which is selected were few during the summer. That is caused by affection of vegetation and anthropogenic source. After the selecting methods are applied, the cases which is selected for easterly wind decrease remarkably according to the analysis of wind direction about continuous CO₂ data. That was affected by anthropogenic source from the east area.

Key words : WDCGG, background, vegetation, anthropogenic

1. 서 론

산업혁명 이후 대기 중에 증가된 이산화탄소 (CO₂), 메탄 (CH₄), 아산화질소 (N₂O), 염화불화탄소

(CFCs) 등의 온실기체는 기후 변화에 있어서 양의 복사 강제력 (radiative forcing)으로 작용하고 있으며, 이러한 온실기체 중 CO₂는 온실효과를 유발하는 기여도가 약 55%로서 CFCs (24%), CH₄ (15%), N₂O (6%)보다 매우 높은 것으로 나타났다 (Houghton *et al.*, 1990). 그리고 CO₂는 다른 온실 기체에 비하여 대기 중에 다량으로 존재할 뿐만 아니라 발생량과

* Corresponding author
Tel : +82-(0)41-674-6420, E-mail : kimjs@kma.go.kr

소모량을 추정하는데 어려움이 많고, 주요 발생원이 인류의 산업 발달에 원동력이 되는 석탄 및 석유와 같은 화석 연료의 소비이므로 인류의 성장 발달과 더불어 가장 중요시되는 온실 기체로 지적된 바 있다(Marland *et al.*, 1997). 또한, CO₂ 농도 증가는 지구온난화를 초래하여 해수면의 상승, 사막화, 생태계의 변화 등을 초래하므로 지구 온난화 방지를 위한 체계적인 대책 수립을 위하여 CO₂ 농도의 지속적인 감시와 관측은 필수적이라 할 수 있다.

세계기상기구(WMO: World Meteorological Organization)에서는 1969년부터 설립되어 운영되어 온 배경대기오염관측망(BAPMoN: Background Air Pollution Monitoring Network)과 1950년초부터 운영되어 오던 지구오존감시시스템(GO₃OS: Global Ozone Observing System)을 통합하여 1989년부터 지구대기감시(GAW: Global Atmosphere Watch)계획을 운영하고 있다. 기상청에서도 WMO의 GAW계획에 동참하기 위해 우리 나라의 대표적인 청정 지역인 충남 안면도에 1996년 9월에 지구대기감시관측소(구 소백산기상관측소 → 배경대기관측소)를 이전 설립하여 가스상오염물질, 복사종합관측 등을 실시하고 있으며 1998년 4월부터는 무안기상대에서 온실기체 관측 업무를 이관 받아 지구온난화 관련 업무를 수행하고 있다.

한편, 미국 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)/CMDL(Climatic Monitoring and Diagnostic Laboratories)은 전세계적으로 39개의 플라스크 샘플링에 의한 온실기체 관측망을 운영하고 있다. 그리고 우리 나라에서는 1990년부터 기상연구소에서 연구 사업의 일환으로 제주도 고산에서 주 1회 플라스크 샘플링 법으로 공기 시료를 채취하여 미국 Scripps 해양연구소에서 CO₂ 농도를 분석하고 있다(박미경, 1997; 조하만 등, 1995). 또 한국 교원대학교에서는 NOAA/CMDL의 CO₂ 관측망의 하나인 충남 태안군 파도리의 관측 지점을 운영하고 있다(Bakwin *et al.*, 1998; Dlugokencky *et al.*, 1993; 유근준, 1992; Komhyr *et al.*, 1989, 1985). 현재 전세계적으로 측정되고 있는 CO₂ 농도는 24시간 연속 관측을 실시하는 연속 관측 지점과 주기적으로 샘플링을 실시하여 분석하는 2가지 형태로 분류할 수 있다. 이 중 샘플링 분석은 샘플링시와 분석시 세심한 주의가 필요하지만 샘플 채취시 주변 지역

의 CO₂ 배출원의 영향이 적은 풍향을 택하여 실시하므로 배경대기 자료로써 대표성을 가질 수 있다. 그러나 연속 측정 자료의 경우 풍향의 변화에 따라 농도 분포가 다양하게 나타나며 전체 자료 중 적절한 기법을 통하여 배경대기 관측 자료를 선정하는 것이 필수적이다. 특히, 지역급 관측소(regional station)는 지구급 관측소(global station)보다 주변 지역의 영향으로 농도 분포가 다양하게 나타나므로 배경대기 자료를 얻기 위해서는 배경대기 자료 선정 방법의 적용이 필수적이다. 미국의 CMDL을 비롯하여 세계온실기체자료센터(WDCGG: World Data Centre for Greenhouse Gases)가 있는 일본기상청에서는 정해진 CO₂ 자료의 질제어 방식을 통하여 매년 온실 기체 자료 보고서를 발행하고 있으며 우리나라에서 또한 이와 같은 방법을 설정하고 자료의 질을 관리할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 안면도의 지구대기감시관측소에서 1998년 9월부터 1999년 8월까지 측정된 CO₂ 자료를 이용하여 일본기상청(JMA: Japan Meteorological Agency)의 자료처리방식에 의해 안면도 자료를 분석하고, 풍향에 따른 CO₂ 발생원의 영향을 살펴 보고자 한다.

2. 관측 방법

2.1 지점 및 주변 환경

이 연구는 안면도 지구대기감시관측소(충남 태안군 안면읍 승언리 1764-6, 해발고도: 45.7 m, 위·경도: 36° 32'N, 126° 19'E)에서 1998년 9월부터 1999년 8월까지의 CO₂ 농도자료를 이용하였다(그림 1). 지구대기감시관측소(이하, '관측소'이라 함)는 우리나라의 서해안에 위치하며, 조석간만의 차에 따라 바다로부터 직선 거리로 약 300~500 m 떨어져 있으며, 태안 해상 국립 공원 내에 위치하므로 대규모의 구조물과 고속도로와 같은 큰 오염원은 없으며, 관측소 주변 지역의 동쪽으로는 대부분이 산림과 평탄한 농경지로 형성되어 있다.

2.2 시료 채취

대기 중의 공기 시료 채취는 관측소 건물 옥상(약 9 m)에 설치된 10 m 기상탑 상단에 대기 시료의 채취통을 설치하였다. 이 채취통은 시료 채수관인

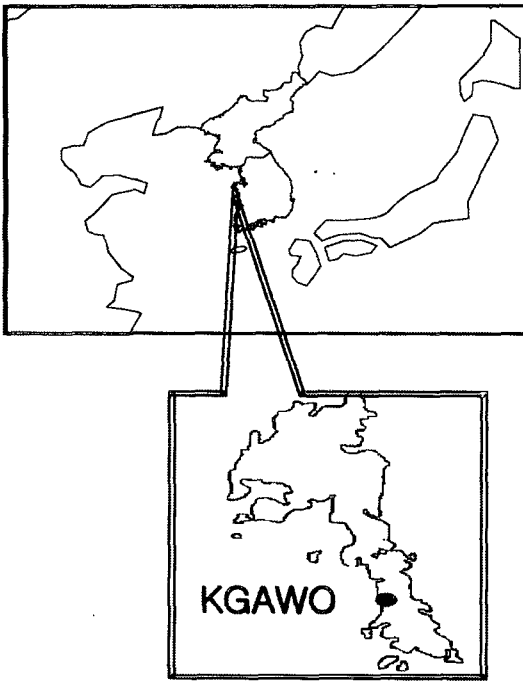


Fig. 1. Location of Korea Global Atmosphere Watch Observatory (KGAWO) at Anmyeon-do, Chungnam.

내경 9 mm 테카본(dekaron)관과 연결되었으며 흡입 펌프(Air Cardet 07059-40, Cole Parmer사)를 이용하여, 약 8 l/min으로 공기 시료를 유입시킨다. 비분산적외선분석기(NDIR: NonDispersive InfraRed) 외부에는 유량계가 설치되어 일정량의 대기 시료를 유입시켜 대기 중 CO₂를 분석하게 되며, 여기에서 테카본관은 내부에 금속관이 포함된 이중관으로 관 내부에서 CO₂가 흡착되는 것을 최소화하기 위하여 이용되었다.

2.3 대기 중 CO₂ 측정

NDIR의 보정은 CO₂ 농도가 250 ppm인 기준가스(reference gas)와 CO₂ 농도가 450 ppm인 비교가스(span gas)를 사용하였고, 가스의 주입량은 약 10 ml이다. 보정용 표준가스는 국내에서 제조한 것을 사용하였고, 미국 CMDL에서 구입한 1차 표준가스를 이용하여 검증 과정을 거친 후 사용하였다. 또한 기기 보정은 매 2시간마다 기준가스와 비교가스를 각각 5분간 주입하여 자동 보정하였고, 측정 수치의

검증을 위하여 NDIR기기에 CMDL에서 구입한 1차 표준가스(370.97 ppm과 390.50 ppm)을 수동으로 주입하여 확인하였다. 또 연속적인 농도 변화를 확인하기 위하여 연속기록계를 설치하여 대기 중 CO₂ 농도 변화 경향과 측정상의 오류를 쉽게 알아 볼 수 있도록 제작하였다.

샘플 셀(sample cell)내로 유입되는 공기 시료의 유량은 유량계를 설치하여 500 ml/min으로 일정하게 유지하였다. 또 대기 중의 CO₂ 농도를 측정하는데 가장 큰 영향을 미치는 수분은 제습 장치를 사용하여 제거하였다. 이를 위해 제습기 2대를 직렬로 연결하였고, 1차 제습기에서 2°C, 2차 제습기에서 -5°C로 온도를 낮추어 수분을 응결시켜 제거하였다. 한편 CO₂ 농도 데이터는 30초 간격으로 데이터 저장시스템에 저장하였다. 이렇게 얻어진 데이터는 수동적으로 주입시켜 측정된 표준가스 농도에 의해 보정 과정을 거친 후 최종 데이터로 이용하였다. 이때 데이터 중 표준가스 주입 및 flushing(표준가스가 셀에 남아 있는 것을 제거하기 위하여 대기 시료를 강하게 흘려줌)시의 데이터는 최종 데이터에서 제외시킨 후 평균하였다.

2.4 기상자료

관측소 옥상에 설치된 약 10 m 기상탑으로부터 풍향, 풍속을 측정하고, 자동기상관측장비(AWS: Automatic Weather System)로부터 수집된 측정 자료는 데이터저장시스템에서 평균화(10분 평균)시켜 풍향, 풍속 자료로 저장시켰으며 다시 1시간 값으로 평균하여 대기 중의 CO₂ 농도 자료 해석에 이용하였다.

2.5 배경대기 중 CO₂ 자료 선정 방법

WDCGG가 있는 일본기상청은 지구급 관측소 1개소(Minamitorishima 관측소, 24° 18'N, 153° 58'E, 해발고도 8 m)와 지역급 관측소 2개소(Ryori 관측소, 39° 02'N, 141° 50'E, 해발고도 230 m/Yonagunijima 관측소, 24° 28'N, 123° 01'E, 해발고도 30 m)로 모두 3개소의 온실기체 관측소가 있다. 이곳에서 관측된 CO₂ 연속 측정 자료는 배경대기 자료의 선정 과정을 거쳐 WDCGG에 보내지고 있으며, 그 과정은 그림 2와 같다. 우선 주변 지역의 환경 조사를 통하여 자연적인 발생원과 소모원을 조사하고 아날로그 기

록계와 장비점검일지 등을 검토하여 기록된 원시 CO₂ 농도 자료로부터 잘못 측정된 자료를 제거한다. 또 CO₂ 측정시 주기적으로 유입된 표준가스의 CO₂ 농도 측정 자료를 제거한 후 시간 평균 농도,

표준 편차, 데이터 수를 점검한다. 데이터 수는 60개를 기준으로 60개 이상일 때 자료선정 기법을 적용한다. 다음으로 시간별 표준편차 범위의 기준을 적용하여 첫 번째 양질의 자료(first selection)를 선정

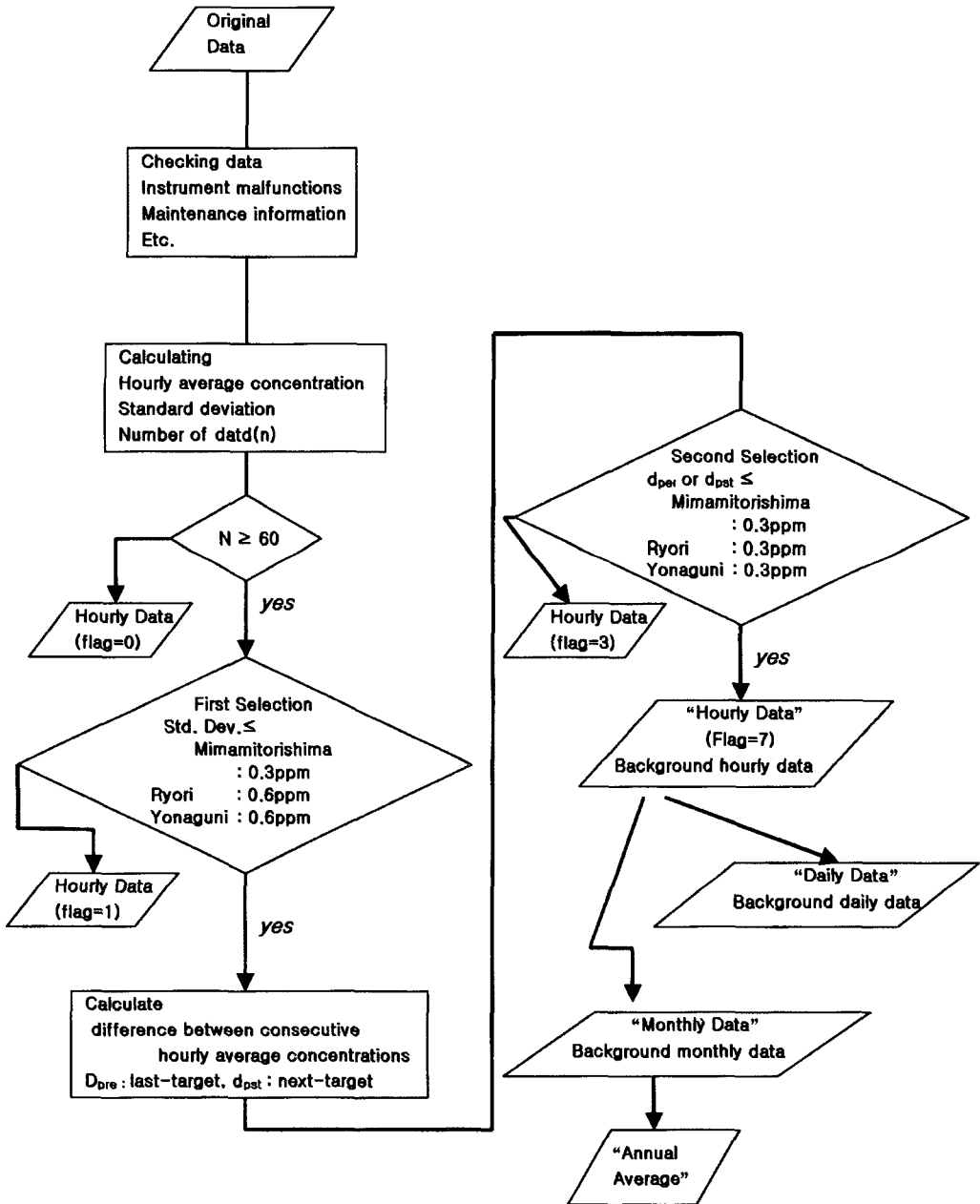


Fig. 2. Selecting process of background CO₂ concentrations from the original data at WDCGG.

하고, 시간별 CO₂ 평균 농도차를 이용하여 두 번째 양질의 자료 (second selection)를 선정한다. 그리고 마지막으로 back trajectory분석 등의 최종 검토 과정을 거친 후 WDCGG에 보내진다.

3. 결과 및 고찰

3.1 안면도에서의 일별·계절별 CO₂ 농도 특성

그림 3은 안면도에서 1998년 9월부터 1999년 8월까지 1년간 관측된 대기 중 CO₂ 농도의 계절적인 분포를 보인 것으로, 박스그래프는 아래부터 5-, 10-, 25-, median, 75-, 90-, 95-percentile의 CO₂ 농도를 의미한다. CO₂의 계절별 농도는 봄(376.6 ppm) > 겨울(375.6 ppm) > 여름(372.5 ppm) > 가을(371.6 ppm) 순으로 낮게 나타났다. 이와 같이 겨울과 봄에 고농도를 보인 것은 난방 및 산업 시설 등의 화석 연료 사용으로 사료되며, 여름과 가을에 저농도를 보이는 것은 식물의 광합성 작용에 의한 활동이 많기 때문으로 생각된다. 특히 여름철의 야간 및 새벽에 식물의 호흡 작용이 강하게 나타나므로 고농도의 CO₂가 많이 분포하였으며, 이와 같은 특성은 관측 지점 주변의 식생 분포 및 빈도에 따라

크게 달라질 수 있다(Ryan, 1990). 그리고 대상 기간 중 CO₂의 연평균 농도는 374.0ppm을 나타냈다.

그림 4는 대기 중 CO₂ 농도의 계절별 일 변화 특성을 나타낸 것이다. 하루 중 CO₂ 농도는 새벽에 고농도를 보였으며, 오후에 저농도를 나타내었다. 저농도 특성을 보이는 것은 오후에 식물에 의한 광합성이 활발하기 때문이며 새벽에 고농도 특성을 보이는 것은 식물의 호흡작용과 새벽에 혼합층 고도가 낮아짐으로 인한 대기의 희석이 적기 때문인 것으로 사료된다. 계절적으로 하루 중 변화 폭은 여름에 19.1 ppm으로 가장 크게 나타난 반면에 겨울에 3.1 ppm으로 가장 작은 변화 폭을 보였다. 이와 같은 일변화 경향은 전지구급관측소 일지라도 일부 식생의 영향을 받는 곳에서는 유사한 양상을 보인다(Thoning *et al.*, 1989).

3.2 배경대기 중 CO₂ 자료 선정

안면도 지구대기감시관측소에서 1998년 9월부터 1999년 8월까지 1년간 측정된 CO₂ 농도 자료를 일본기상청의 배경대기 자료 처리 방식에 적용하여 자료를 분석하였다. 본 관측소와 같이 연속 측정 지점에서 측정된 CO₂ 농도는 1시간 또는 그 보다 작은 규모에서 연변화까지 다양한 범위의 주기가 존

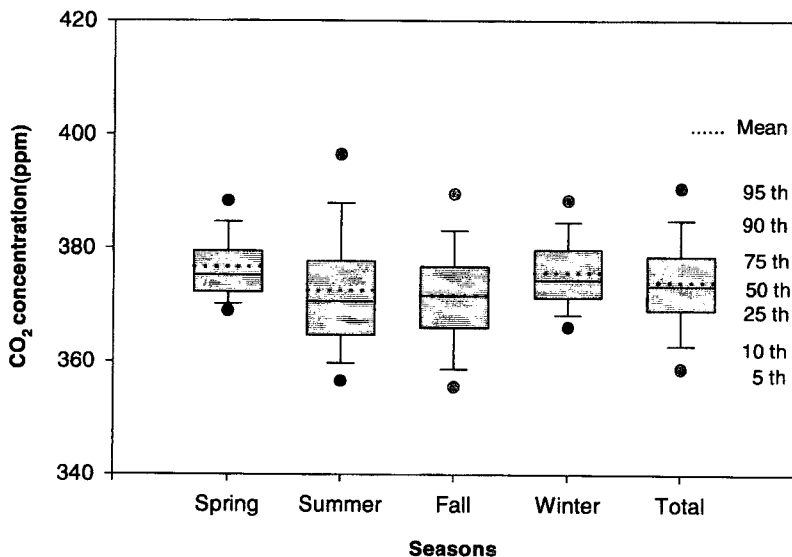


Fig. 3. A box diagram for concentrations of atmospheric CO₂ at Anmyeon-do from Sep., 1998 to Aug., 1999.

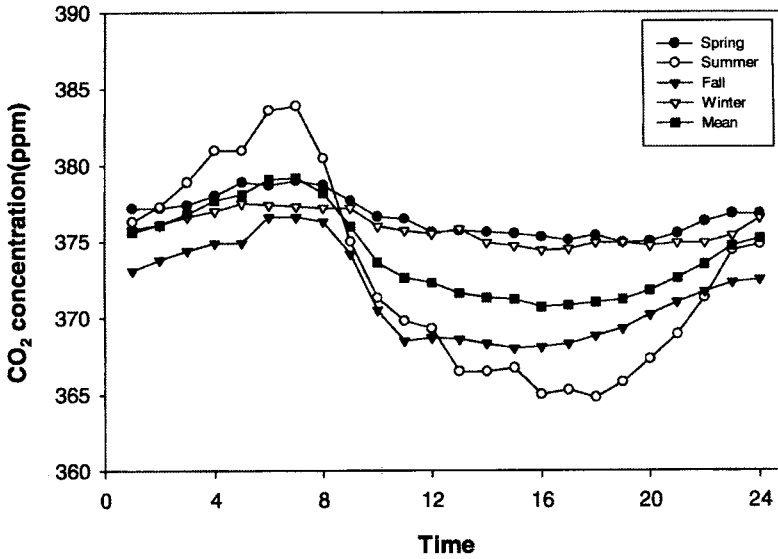


Fig. 4. The diurnal variations of atmospheric CO₂ at Anmyeon-do from Sep., 1998 to Aug., 1999.

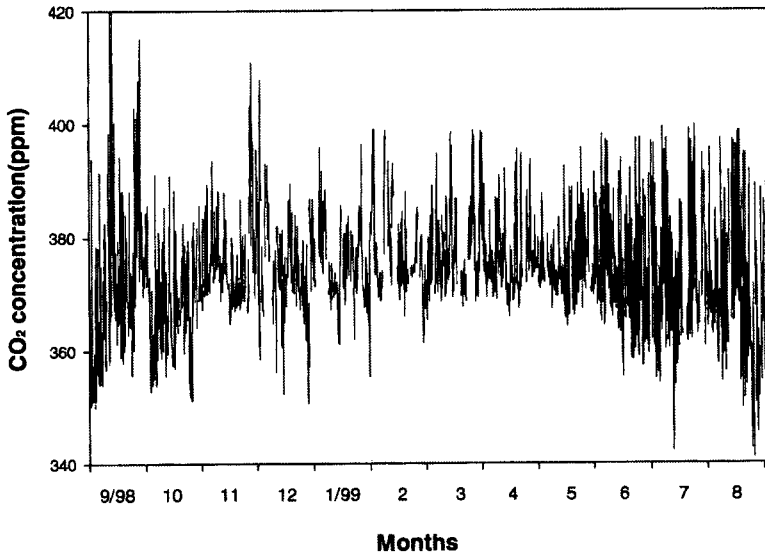


Fig. 5. Hourly average CO₂ concentrations at Anmyeon-do from Sep., 1998 to Aug., 1999.

재하며, 이는 시간에 따라 변화한다. 이 연구에서는 1시간 또는 그 보다 작은 규모의 CO₂ 변동성에 초점을 맞추어 분석하였다. 궁극적으로 장주기의 CO₂ 변동성(연변화 또는 그 이상)을 정확히 산출하기 위해서는 주변 지역의 인위적인 CO₂ 배출원 및 식

생에 의한 광합성과 호흡 작용에 의해서 생성 및 흡수되는 CO₂의 영향을 배제해야 하며, 이를 위해서는 짧은 주기(1시간)의 CO₂ 변동성을 조사할 필요가 있다. 본 관측소의 CO₂ 농도는 인위적인 CO₂ 발생원의 영향은 물론, 식생에 의한 영향으로 인하

여 계절에 따라 CO₂ 농도가 큰 차이를 나타낸다. 그림 5는 대상 기간 동안의 매시간 CO₂ 농도 나타낸 것이다. 계절적으로 볼 때, 봄으로 갈수록 대체로 고농도의 CO₂를 나타내는 반면 여름과 가을에 평균적으로 저농도를 나타낸다. 특히 여름에 매시간 CO₂ 농도의 일교차가 크게 나타나는 것을 볼 수 있으며, 이는 여름에 식생에 의한 CO₂의 흡수 및 배출이 활발히 이루어지기 때문이다 (Keeling *et al.*, 1976; Pales and Keeling, 1965). 이와 같이 그림 5에 나타낸 농도분포로부터 주변 지역의 영향을 배제한 배경대기 자료를 선별할 필요가 있다. 표 1은 매시간 표준편차 값으로부터 첫 번째 선정 (0.6 ppm 이하)과 두 번째 선정 (0.3 ppm 이하) 이후에 남은 빈도수를 나타낸 것이다. 이것은 관측소와 비슷한 지리적 특성을 지닌 일본기상청의 자료 처리 기준을 적용하였다. 대체로 두 번째 선정 이후가 첫 번째 선

정시 보다 약 50% 내외로 감소하는 것을 볼 수 있으나 여름(6~8월)에는 절대적인 빈도 값도 작을 뿐더러 약 60% 이상 크게 감소한 것을 볼 수 있다. 이는 여름에는 단주기 동안이지만 식생에 의하여 CO₂ 농도가 크게 변화하며 본 관측소의 남동쪽에 위치한 안면읍 중심지에서 바람이 불 때 고농도가 많이 나타났기 때문인 것으로 사료된다. 1년을 기준으로 보았을 때 첫 번째 선정 이후에는 37%, 두 번째 선정 이후에는 20%로 배경대기 자료로써 이용하기 위해서는 약 80%를 배제해야 하는 것으로 나타났다.

그림 6은 CO₂ 측정 자료의 첫 번째 선정과 두 번째 선정 후에 대상 기간 동안 매시간 CO₂ 농도를 가중평균 (weighted mean)하여 회귀 곡선으로 나타내었다. 1998년 가을부터 1999년 봄까지 첫 번째 선정과 두 번째 선정 한 CO₂ 농도는 대체로 일치하

Table 1. Frequency of standard deviation after first selection and second selection at Anmyeon-do.

	Frequency of standard deviation (%)												Ann.
	'98. 9	10	11	12	'99. 1	2	3	4	5	6	7	8	
First selection	23.2	37.0	49.7	41.8	53.5	54.5	38.7	48.1	43.6	20.0	18.4	12.6	37
Second selection	10.4	20.1	31.9	21.9	35.4	35.2	20.8	25.7	24.3	7.4	6.9	5.1	20

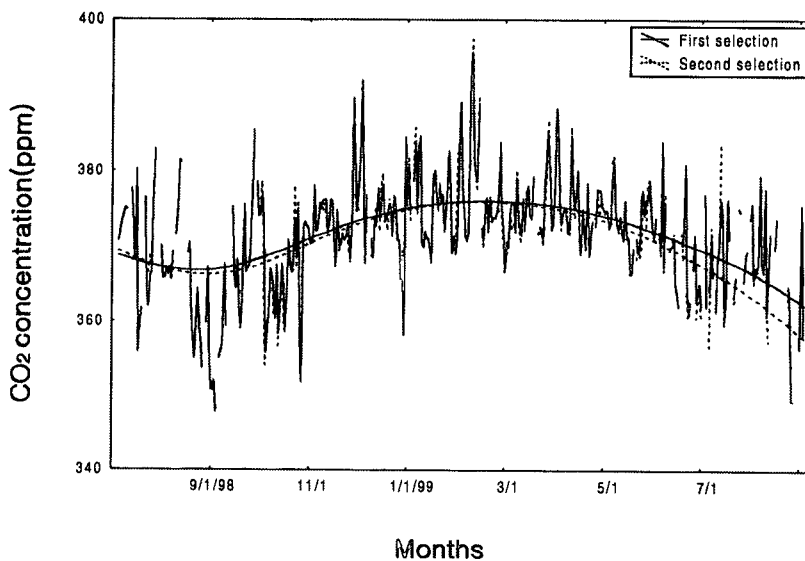


Fig. 6. Hourly mean of CO₂ concentrations after first and second selection.

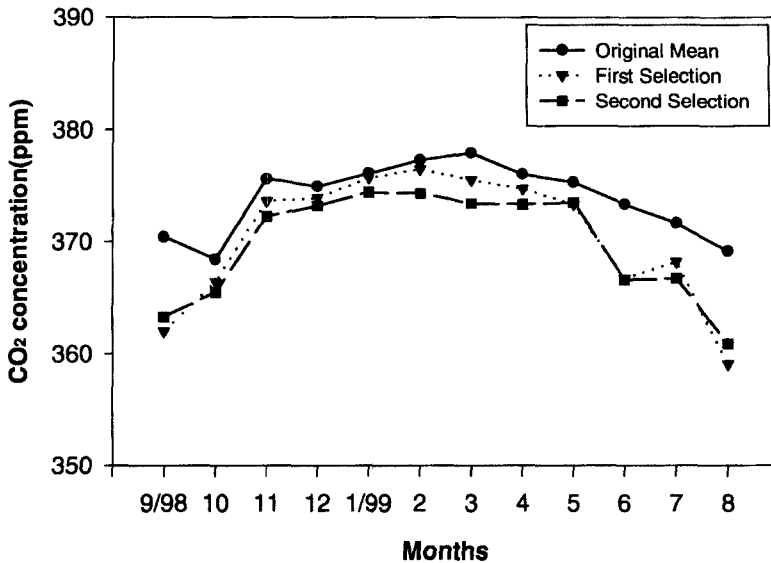


Fig. 7. Monthly CO₂ mean of original data and the data through first and second selecting process.

는 것을 나타내지만 여름으로 갈수록 차이를 나타낸다. 1999년 여름인 6, 7, 8월에 첫 번째 선정 이후 존재하는 빈도 수도 다른 계절에 비하여 적을 뿐만 아니라 특히, 표 1에서 보인 바와 같이 두번째 선정을 거듭하면서 다른 계절보다 많은 비율이 제거된 것으로 나타났다. 이와 같이 여름에는 풍계에 따른 농도 차이가 크므로 연속되는 시간 일지라도 다른 계절에 비하여 CO₂ 농도가 비교적 크게 나타나는 것으로 생각된다.

자료의 선정 과정의 유·무에 따라 월평균 CO₂ 농도의 차이를 알아보기 위하여 그림 7을 제시하였다. 그림에서 보인 바와 같이 원시 자료의 월평균 값이 첫 번째, 두 번째 선정 이후의 월평균 농도 보다 고농도를 나타내며, 특히 1998년 9월 평균 농도가 큰 차이를 보이는데 이는 자료 선정 과정에서 원시 자료 중 주변 지역의 영향으로 인한 고농도의 CO₂ 자료가 많이 제거되었기 때문인 것으로 나타났다. 그리고 첫 번째 선정 보다는 두 번째 선정시가 대체로 작은 CO₂ 농도를 나타내었다. 이와 같이 배경대기 자료를 선정하기 위해서는 자료의 질관리가 매우 중요하며 적용 방법이나 적용 유·무에 따라 큰 농도 차이를 나타낼 수 있다.

3.3 일본 GAW 관측소와의 단주기 변동 특성 비교

본 관측소의 매시간 CO₂ 농도 자료로부터 단주기 변동 특성을 고찰하고 일본 GAW 관측소의 농도와 비교하였다. 그림 8은 본 관측소(a) 및 1995년 일본의 Ryori 관측소(b)와 Minamitorishima 관측소(c)에서 측정된 CO₂ 농도의 매월 표준편차의 빈도수를 그림으로 나타낸 것이다. 안면도의 CO₂ 농도 측정 자료는 매 30초마다 측정된 CO₂ 자료의 매시간 평균값과 표준편차 값을 산출하고 월별 표준편차 값의 빈도를 나타내었다. 본 관측소는 Ryori 관측소와 함께 지역급 관측소로써 그 양상이 유사한 특징을 보이며 표준편차가 0.6 ppm 이내에 분포하는 빈도수는 Ryori 관측소의 43% 보다는 다소 적은 37%를 나타냈다. 매시간 원시 CO₂ 농도의 변화 정도를 나타내는 표준 편차 값은 봄과 겨울에 작은 반면 여름과 가을에는 큰 것으로 나타났다. 이는 여름과 가을에 광합성과 호흡 작용이 활발하여 시간에 따른 농도 변화 폭이 매우 크기 때문인 것으로 생각된다. 한편 Minamitorishima 관측소는 일본 본토로부터 동남쪽으로 약 2,000 km 떨어진 태평양 상의 작은 섬이며 전지구급 관측소로 분류된다. 그림 (c)에 보인 바와 같이 전체 중 82%에 해당되는 표준편차

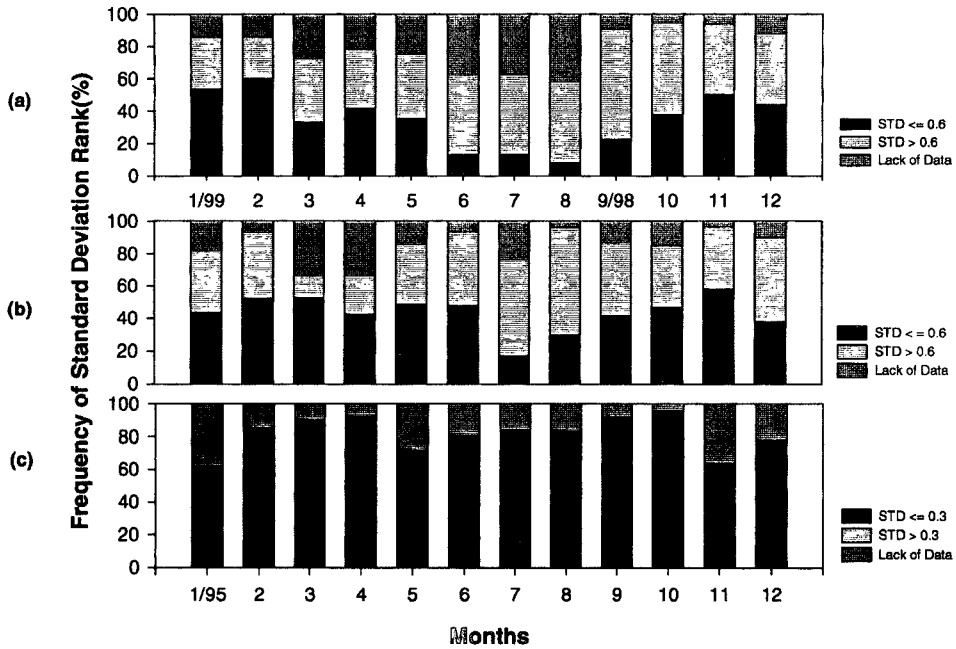


Fig. 8. Frequency of standard deviation rank (%) for CO₂ concentrations at Anmyeon-do (a) in Korea, Ryori (b) and Minamitorishima (c) in Japan.

값이 0.3 ppm 이내로 식물 또는 주변 지역의 인위적 영향이 매우 적은 것을 알 수 있으며 표준편차 값이 0.1 ppm 이내의 경우는 동풍(태평양에서 바람이 부는 경우)인 계절 즉, 겨울을 제외한 다른 계절에 많이 분포하며 겨울에는 일본 본토와 아시아 대륙에서 불어오는 서풍이 우세하여 다른 계절보다는 비교적 큰 농도 변화를 나타낸다. 또한 하와이 마우나로아(Mauna Loa)의 CO₂ 농도 자료를 분석한 연구(Thoning *et al.*, 1989)에 의하면, 1985에 측정된 CO₂ 농도로부터 매시간 표준편차의 빈도를 나타내었다. 여기에서 지구급 관측소의 첫 번째 선정 기준인 0.3 ppm 이하에 속하는 빈도는 전체의 76%를 차지했다. 이와 같이 지구급 관측소와 지역급 관측소의 단주기 변동성은 CO₂ 배출원 및 소모원의 영향에 의하여 큰 차이를 보이며, 본 관측소나 Ryori 관측소와 같은 지역급 관측소는 표준편차 값이 1ppm을 초과하는 빈도가 많이 나타났다.

3.4 풍계에 따른 CO₂ 농도 특징

인위적인 배출원 등 관측 지점의 CO₂ 농도에 영

향을 주는 풍계를 알아보기 위하여 풍계를 4방위로 나누고 원시 자료로부터 각 선정 과정을 거듭하면서 그림 9와 같이 풍계의 빈도를 알아보았다. 그림 9는 대상 기간 동안 각각의 원시 자료, 첫 번째 선정, 두 번째 선정의 CO₂ 농도에 해당하는 풍계를 그래프로 나타낸 것으로 결측 자료를 제외하고 원시 자료에 해당하는 풍계 (a)의 경우 동풍의 빈도가 전체 빈도의 49%이며 서풍의 빈도가 51%로 유사한 비율을 나타냈다. 그러나 첫 번째 선정 후의 풍계를 살펴본 결과, 동풍의 빈도는 전체빈도의 34%로 많은 비율 감소하였으며, 두 번째 선정 후에는 동풍 계열의 빈도가 전체 빈도의 25%로 서풍 계열보다 현저하게 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 관측소 남동쪽에 안면읍 소재지가 있고 북동쪽에는 서산, 당진 등의 도시가 위치하고 있어 인위적인 배출원에 의한 영향을 많이 받는 반면, 서쪽은 바다가 위치하여 인위적인 배출원의 영향이 적으므로 첫 번째 선정, 두 번째 선정을 거듭할수록 동풍 계열에 해당되는 CO₂ 농도의 빈도수가 감소되는 것으로 사료된다. 지금까지 서술한 바와 같이 관측 지

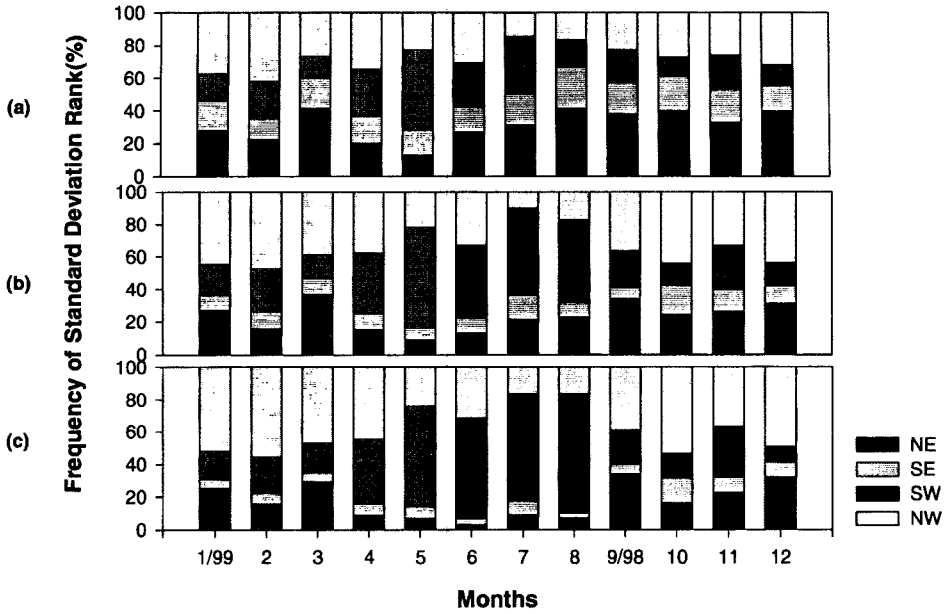


Fig. 9. Monthly variations of frequency of wind directions at Anmyeon-do from Sep., 1998 to Aug., 1999 after selecting scheme; whole wind directions (a), wind directions after first selection (b), wind directions after second selections (c).

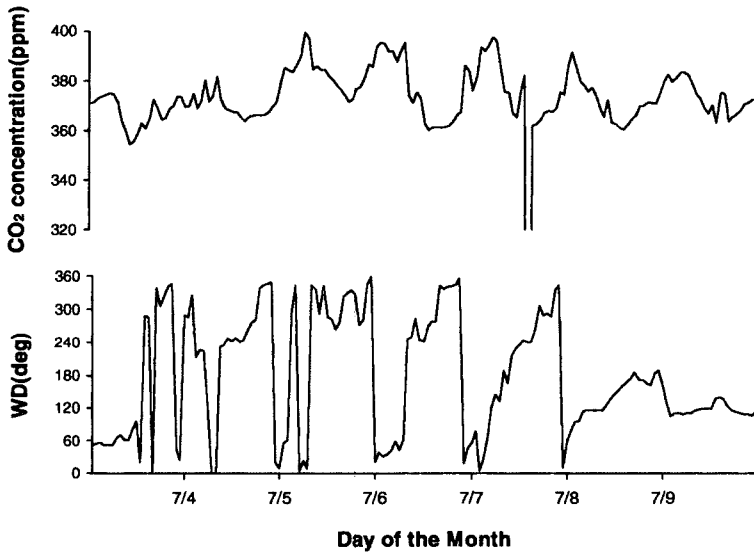


Fig. 10. Hourly wind directions and concentrations of CO₂ from 3 to 9 in July, 1999 at Anmyeon-do.

점의 CO₂ 농도는 풍계에 따라 주변 지역의 CO₂ 발생원이 큰 영향을 미치며, 본 관측 지점이 바닷가 (해변에 위치)에 위치하고 있으므로 서풍 계열과 동풍 계열 일 때 단기간의 풍향과 CO₂ 농도를 나타

냄으로써 그 특징을 더욱 뚜렷이 알 수 있다.

Lowe and Keeling (1979)은 뉴질랜드의 Baring Head 관측 지점에서 1976년 4월 19부터 22일까지 4일간 측정된 자료 중에서 배경대기 자료를 생산하기 위하여 풍향, 풍속에 따른 CO₂ 농도의 변화를 연구하였다. 이 연구에 의하면, Baring Head 관측 지점으로부터 북서쪽에 수도 웰링턴(Wellington)이 위치하고 있어 북서풍 계열일 때 현저하게 고농도의 특징을 보였고, 남풍일 때는 남태평양의 잘 혼합된 공기의 영향으로 저농도이며 농도 변화가 거의 없는 것으로 조사되었다. 이 논문에서는 배경대기의 자료로 분석시, 북풍 계열의 CO₂ 농도 자료는 제거하고 분석하였다. 본 관측 지점에서도 단기간의 풍계에 따른 농도 변화 특성을 알아보기 위하여 전형적인 맑은 날을 선정하여 그림 10에 나타내었다. 그림 10은 1999년 7월 3일부터 9일까지 본 관측 지점에서 일반적으로 나타나는 CO₂ 농도 패턴을 보인 것으로 7일 동안의 기간 중 동풍 계열의 바람이 불 때 고농도의 CO₂를 나타낸 반면, 서풍 계열의 바람이 불 때는 저농도의 CO₂를 나타내었다. 이와 같은 현상 또한 본 연구 대상 지역이 서해안의 바다를 접한 지역임을 감안할 때 CO₂의 발생원 자체가 본 연구 대상 지역의 동쪽에 많음을 시사한다.

4. 결 론

이 연구는 안면도에서 1998년 9월부터 1999년 8월까지 1년간 측정된 CO₂ 농도 자료에 대하여 WDCGG의 질관리 방식을 이용하여 CO₂ 농도 자료를 분석하였다. 안면도의 CO₂ 측정 자료로부터 배경대기 CO₂ 농도 자료 산출하는데 첫 번째 선정에서 약 37%를 얻을 수 있었고 이 값은 Ryori 관측소보다 다소 적은 양이며 특히, 여름에 현저하게 감소되는 것을 볼 수 있었다. 이는 여름에는 주로 단주기이지만 식생 및 주변 지역의 영향에 의한 급격한 농도 변화가 많이 나타나는 것으로 사료된다.

풍계별 CO₂ 농도의 영향을 알아보기 위하여 4방위로 나누어 분석한 결과, 자료 선정 과정을 거듭할수록 동풍 계열의 빈도수가 현저하게 감소하는 것으로 나타났으며, 이는 본 관측지점을 중심으로 북동쪽에 중소 도시들이 분포하고 남동쪽에는 안면읍 소재지가 분포하는 등 인위적인 배출원의 영향이

자료 선정 과정에서 다수가 배제되었기 때문이다.

이와 같이 연속 관측 자료가 배경대기 관측 자료로써 대표성을 갖기 위해서는 청정 지역에 위치한 다 할지라도 풍향의 변화에 따라 주변 지역의 영향을 받기 때문에 이를 최대한 배제하여야 하며, 또한 적용되는 자료처리 방식에 따라 CO₂ 농도가 큰 차이를 나타낼 수 있다. 따라서 국제적으로 공통된 자료 처리 기준의 적용이 필수적이며 두 번에 걸친 선정 과정만으로 식생에 의한 영향을 완전히 제거하기 어려우므로 향후 서풍 자료만을 이용하거나 대기가 충분히 희석될 수 있는 적절한 풍속을 이용하여 자료를 선택하거나 일 중 시간대를 고려한 자료 처리 방식을 적용함으로써 정확한 CO₂ 농도의 증·감 추세를 파악할 필요가 있다.

참 고 문 헌

박미경(1997) 한반도 대기 중의 CO₂ 분포에 관한 연구, 서울대학교 이학석사논문.
 유근준(1992) 한국의 태안반도에서 관측된 CO₂, CH₄, CO의 배경농도에 관한 연구, 한국교원대학교 이학석사논문.
 조하만, 박미경, 남재철, 민동하, 김경렬, 송병현, 김병선, 김성균, 정영선(1995) 한반도의 대기 중 CO₂ 배경농도 변동 특성, 한국기상학회지, 31, 301-312.
 Bakwin, P.S., P.P. Tans, D.F. Hurst, and C. Zhao (1998) Measurements of carbon dioxide on very tall towers: results of the NOAA/CMDL program, Tellus, 50B, 401-415.
 Dlugokencky, E.J., J.M. Harris, Y.S. Chung, P.P. Tans, and I. Fung (1993) The relationship between the methane seasonal cycle and regional sources and sinks at Tae-ahn Peninsula, Korea, Atmospheric Environment, 27(14), 2115-2120.
 Houghton, J.T., G.J. Jenkins, and J.J. Ephraums (1990) Climate change-The IPCC scientific assessment. Cambridge University Press. xvi-xx, 5-6, 18-23.
 Keeling, C.D., R.B. Bacastow, A.E. Bainbridge, C.A. Ekdahl, P.R. Guenther, L.S. Waterman, and J.F.S. Chin (1976) Atmospheric carbon variations at Mauna Loa observatory, Hawaii. Tellus, 28, pp. 538-551.
 Komhyr, W.D., R.H. Gammon, T.B. Harris, and L.S. Waterman (1985) Global atmospheric CO₂ distribution and variations from 1968-1982 NOAA/GMCC CO₂ flask sample data, J. Geophys. Res., 90(D3),

- 5567-5596.
- Komhyr, W.D., T.B. Harris, and L.S. Waterman (1989) Atmospheric carbon dioxide at Mauna Loa observatory, 1. NOAA Global monitoring for climate change measurements with a nondispersive infrared analyzer, 1974-1985, *Journal of Geophysical research*, 94(D6), 8533-8547.
- Lowe, D.C. and C.D. Keeling (1979) The concentration of atmospheric carbon dioxide at Baring Head, New Zealand, *Tellus*, 31, 58-67.
- Marland, G., T. Boden, A. Brurkert, J. Andres, and J. Olivier (1997) *CO₂ from fossil fuel burning updates on the magnitude distribution and uncertainty of emissions estimates*, in Fifth International Carbon Dioxide Conference: External Abstracts.
- Pales, J.C. and C.D. Keeling (1965) The concentration of atmospheric carbon dioxide in Hawaii, *J. Geophys. Res.*, 70(24), 6053-6076.
- Ryan, S. (1990) Diurnal CO₂ exchange and photosynthesis of the Samoa tropical forest, *Global Biogeochemical Cycle*, 4(1), 69-84.
- Thoning, K.W., P.P. Tans, and W.D. Komhyr (1989) Atmospheric carbon dioxide at Mauna Loa Observatory 2. Analysis of the NOAA GMCC data, 1974-1985, *J. Geophys. Res.*, 94(D6), 8549-8565.