

# 한국의 태안반도에서 관측된 이산화탄소의 배경농도에 관한 연구

— 1990~1992년 자료를 중심으로 —

## On the background levels of CO<sub>2</sub> observed at Tae-ahn Peninsula in Korea during 1990-1992

이 근 준 · 정 용 승

한국교원대학교 환경과학연구소  
(원고접수 : 1992. 12. 24)

Keun-June Lee and Yong-Seung Chung

Environmental Science Institute, Korea National University of Education,  
Chongwon, Choongbook 363-791  
(Received 24 December 1992)

### Abstract

Since November 1990, the observations of carbon dioxide(CO<sub>2</sub>) levels have been carried out at Tae-ahn Peninsula(TAP) in Korea. Analysis on atmospheric data obtained in the period from November 1990 to August 1992 is carried out and the results are included in this study. It is observed that variations of monthly average level on CO<sub>2</sub> are in the range of 315.72~365.37ppm(amplitude 17.65ppm). The seasonal variation is large with a maximum occurring in March-April and with a minimum in July-August.

A comparison of TAP data is made with data obtained at Ryori in Japan for 1991. The annual average value of TAP is 1.79ppm higher than that of Ryori. It is also found that in summer the minimum level of CO<sub>2</sub> at TAP is almost same as the CO<sub>2</sub> level occurring at Quinghai Province in China and at Ulaan Uul in Mongolia. Albeit, a maximum concentration of CO<sub>2</sub> at TAP is slightly higher than that of the same gas observed at other sites in spring. We interpret that TAP is generally under the influence of airflows coming from China.

According to analysis of trajectories and airflows, we find the high values of CO<sub>2</sub> when an air flow is originated mainly from China and when an airflow is both of local(Korea) and of China origins. In contrast, when an airflow of maritime origin arrives, a low value of the atmospheric constituent is observed at TAP.

### 1. 서 론

오늘날 처럼 '지구 온난화'라는 말이 많이 사용되고 있는 시기는 없었을 것이다. '지구온난화'란 대기중으로 이산화탄소와 다른 여러 가스들이 방출되

어 생물권 대기와 지구표면의 온도가 상승하는 것을 말한다. 대기중에 있는 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CFCs, O<sub>3</sub> 등의 온난화 가스들은 지구표면으로부터 방출되는 적외선을 흡수할 수 있다. 이러한 온실가스들중 이산화탄소가 지구기후 변화에 끼친 영향이 가장 커

서 지난 10년간 전체의 55%를 기여했다는 보고가 있다(Houghton et al., 1990).

대기중에있는 CO<sub>2</sub> 농도의 체계적인 관측은 1957년 남극과 1958년 Hawaii에 있는 Mauna Loa Observatory(MLO ; 19.53 N, 55.58 W, 3397m)에서 Keeling에 의해서 처음으로 시작되었다(Tanaka et al., 1988). Bacastow 등(1985)에 의하면 하와이의 MLO에서 관측된 CO<sub>2</sub>는 매년 규칙적으로 반복적인 계절변동을 하며 관측기간 동안(1958-1982) 매년 1ppm의 평균적인 증가를 보였고, 평균 6ppm 정도의 변동을 보였다. 또한 캐나다의 Sable Island와 Alert에서의 대기중의 CO<sub>2</sub>농도 변화를 살펴보면 두 곳에서 매년 1.25ppm씩 증가하며 뚜렷한 계절변화와 비오는 날보다 청명한 날에, 그리고 기온역전, 높은 태양복사에너지, 바람이 약한 날에 농도가 높은 것을 알 수 있었다(Chung, 1988).

CO<sub>2</sub>에 대한 관심이 증가하면서 미국 기상해양청(NOAA)은 세계적으로 35개의 관측소를 설치하여 CO<sub>2</sub>와 CH<sub>4</sub>를 관측하고 있다. 한국고원대학교에서는 NOAA의 기후관측 및 진단연구소(CMDL)와 협력하여 1990년 11월 이래 매주마다 CO<sub>2</sub>가스를 관측하고 있다. 본 연구에서는 그동안 관측된 자료를 분석하여 우리나라에서의 CO<sub>2</sub> 배경농도와 그 변동을 알아보고, 비슷한 위도에 있는 일본의 Ryori값과 비교하였으며, 끝으로 기류분석을 통하여 CO<sub>2</sub>가스의 이동경로를 조사하였다.

대기중에 방출되는 CO<sub>2</sub>가스는 해양의 경우 초기에는 파도의 표층수에 의해서 흡수되어지며 후기에는 표층수와 심층수 사이의 느린 변화와 혼합에 큰 영향을 받는다. 초기에 일어나는 이러한 변화는 후기의 반응보다 훨씬 빠르다. 대기중에 방출된 CO<sub>2</sub>가스의 초기 50% 감소는 약 50년 이내에 일어나지만 다른 50%까지의 감소는(초기값의 25%) 거의 250년이 걸린다. 이렇게 방출된 이산화탄소는 원래의 농도로 회복되지 않으며 전체 방출량의 15%가 대기중에 남아 평형을 유지한다(Houghton, 1990). 그럼에도 불구하고 해수는 산림과 더불어 인위적으로 배출되는 CO<sub>2</sub>가스의 sink로서 중요한 역할을 하고 있다. 관측에 의해서 계산한 해양의 CO<sub>2</sub> 흡수의 총량은 1.6 GTC/year이다(Tans et al., 1990).

산림 또한 CO<sub>2</sub>의 sink로서 중요한 역할을 한다. 산림은 광합성 작용에 의해 CO<sub>2</sub>를 소비하고 산소를 공급한다. 그러나 인구증가와 산업화에 따른 경지면적의 증가와 산림의 벌채는 CO<sub>2</sub>의 sink를 감소시켜 결국 CO<sub>2</sub>를 증가시킬 수 있다. 실제로 개간되지 않은 산림의 식물과 토양은 농사를 짓는 토양보다 단위 면적당 20-100배의 탄소를 많이 함유할 수 있다

(Houghton et al., 1990).

이산화탄소의 source로는 화석연료의 연소, 생물의 부패, 산림의 폐허 및 농지화, 기후변동 등을 들 수 있으며 그중 가장 중요한 것은 석탄, 석유, 천연가스 등과 같은 화석연료의 연소이다. 특히 석탄은 이들중 가장 많은 CO<sub>2</sub>를 방출한다(Richard, 1990). 산업혁명 이후 이들 화석연료의 연소는 꾸준히 증가하였으며 1850-1987년 동안 195±20 GTC 정도 방출된 것으로 추정되고 있다. 같은 기간동안 산림벌채로 인한 방출량 117±35 GTC를 합하면 312±40 GTC에 이른다. 이 기간동안 이산화탄소의 농도 변화는 287ppm에서 353ppm이었다(WMO, 1990). 생물권에서 나오는 순 이산화탄소의 총량이 화석연료의 0~25% 정도이므로 산업혁명 이후 지속적인 이산화탄소의 증가는 화석연료의 연소와 산림벌채와 같은 인위적인 영향에 기인하는 것으로 추정된다.

## 2. 채집 및 자료

### 2.1 채집장소

CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> 등 온실가스의 배경농도를 측정하기 위해서는 가능하면 지방적인 영향을 적게 받는 곳으로서 도시나 인구밀집 지대에서 100km 이상 떨어진 곳이 적당하다(WMO 권장). 우리나라는 지역이 협소하고 산업시설이 산재하여 이러한 조건을 갖춘 곳을 찾기가 매우 어렵다. 그러나 연구목적과 한국의 중부를 가로지르는 기류가 도착되는 측정장소로서는 서해안의 한 곳이 적당하며 이러한 목적으로 본 연구소가 선정한 곳이 충청남도 태안군 소원면 파도리(TAP) 관측소이다. 관측장소인 파도리는 주로 농업과 어업에 종사하는 농어촌 지역으로 본 연구의 목적에 잘 부합되는 관측소로 사료된다. 관측은 인근 해발 20m의 언덕에서 실시하였으며 관측소의 서쪽은 황해로 이어져있다.

### 2.2 채집 및 분석

공기 채집의 기기는 미국 NOAA/CMDL에서 제공한 Martin and Kitzis Sampler(MAKS)를 사용하였다. MAKS은 무게가 11kg으로 휴대가 가능하다. CO<sub>2</sub>가스의 채집은 펌프를 이용하여 유리병에 공기를 넣는 flask air sampling 방법을 사용하였다. 이전에는 유리병을 진공으로 만든 다음 마개를 열어 공기를 넣었으나, 오차가 크므로 flushing 방법으로 pump를 이용하여 유리병에 공기를 채집한다. 이러한 방법은 공기를 압축하여 넣기 때문에 종전보다 1.3-1.5배 정도 더 공기를 넣을 수 있다. 매주마다 TAP에서 채집된 sample들은 미국 NOAA/CMDL

에 보내져 NDIR(non-dispersive infra-red) CO<sub>2</sub> analyzer으로 분석되었다. 분석상의 정밀도는 ~0.05 %이다(Conway et al., 1988).

### 3. 결과 및 논의

#### 3.1 TAP에서의 이산화탄소의 계절변동

대기중의 CO<sub>2</sub>가스의 관측은 1990년 11월부터 충남 태안군 소원면 파도리에서 실시되었으며 본격적인 관측은 1991년 3월부터 시작되었다. 그림 1은 1990년 11월부터 1992년 8월까지 1년간 매주 관측된 CO<sub>2</sub> 농도의 변동을 나타낸 것이다. 관측 기간동안 CO<sub>2</sub>가스의 농도 변화는 345.74~376.93ppm으로 31.91ppm 차를 보였으며, 월평균 변동은 351.72~369.37ppm으로 17.65ppm 차를 나타냈다. 이러한 값의 변동은 지구 전체 월평균 변동 7ppm과 가장 큰 변동을 보이는 Barrow, Alaska(BRW ; 71° 19, 156° 36' W, 해발 11m)의 월평균 변동값 14.7ppm (1984년) 보다도 더 큰 값이다(Conway, 1990). TAP에서의 이러한 큰 변동은 TAP의 지역적인 특수성 때문인 것으로 생각된다. 반도에 위치한 TAP은 계절에 따라 강한 계절풍의 영향을 받으며, 인근 마을에서 발생하는 국지적인 source의 영향을 받을 수 있다. 그러므로 관측은 가능하면 서풍이 예상되는 날 실시하였다.

또한 그림에서 CO<sub>2</sub>가 계절에 따라 큰 변동을 하고 있다는 것을 알 수 있다. CO<sub>2</sub>는 3-4월에 최대값을 나타낸 후 급격히 감소하기 시작하여 7-8월에 최소값을 나타낸다. 최소값이 기록된 후 다시 서서히 증가하여 3-4월에 최대값을 보인다. 이러한 CO<sub>2</sub>

가스의 계절변화는 육지 식물의 활동과 매우 깊은 관계를 맺고있다. 겨울동안 식물들은 주로 호흡을 통하여 CO<sub>2</sub>를 배출하며 봄이 되면서 CO<sub>2</sub> 농도는 최대값을 기록한다. 시간이 지남에 따라 광합성 작용이 더욱 활발하여 7, 8월에 이르러 CO<sub>2</sub> 농도는 최소값을 나타낸다.

이러한 CO<sub>2</sub>의 계절 변화는 NOAA/CMDL 관측소의 모든 곳에서 기록되었다 (Conway et al., 1988). 북반구의 경우 위도가 증가함에 따라 CO<sub>2</sub>의 농도가 증가하며 그 변동이 심하다. 그 반면에 남반구에서는 위도에 따라 약간의 차는 있으나 농도가 높지 않으며 계절 변동 역시 작다. 주목 할만한 것은 지역적인 오염원이 없는 북반구의 고위도에서도 변동이 있는 것을 알 수 있다. 이러한 변화는 북반구의 40° -70° 에 주된 CO<sub>2</sub>의 source가 있으며 북극지역에는 산림과 (녹은)바다가 없어 sink의 역할이 적다. 북반구의 중-고위도에는 인구와 토지, 그리고 산업시설 등이 밀집되어있어 이산화탄소의 source가 많이 있다.

#### 3.2 태안반도 (TAP)와 일본 Ryori의 이산화탄소 농도 비교

파도리 관측소(TAP; 위도 36° 73' N, 경도 126° 13' E, 해발고도 20m)는 태안반도의 최서단에 위치하여 서풍계열의 바람이 우세하게 분다. 일본의 Ryori관측소(위도 39° 02' N, 경도 141° 50' E, 해발고도 230m)는 일본의 센다이 부근 동부해안에 위치하고 있다. 그림 2은 1990년 11월부터 1991년 12월까지 TAP과 Ryori에서 측정한 월평균 CO<sub>2</sub> 농도를 비교한 것이다. 평균값을 선택하는 과정에서 국지적 영향을 받았다고 생각되는 값들은 제외되었다. 대기중의 CO<sub>2</sub>가스는 국지적인 sink와 source의 영향에 매우 민감하므로 데이터의 선별이 필요하며

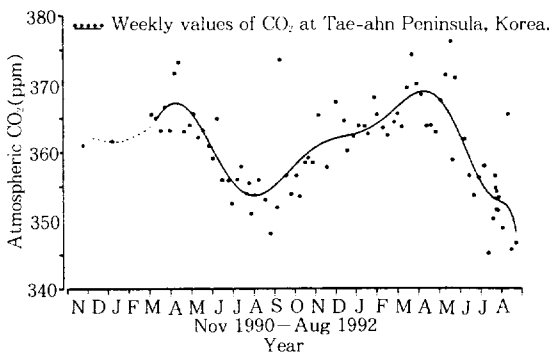


Fig. 1. Weekly CO<sub>2</sub> concentrations at Tae-ahn Peninsula from November of 1990 to August of 1992. The continuous curved line is a best-fit polynomial function representing a yearly increase.

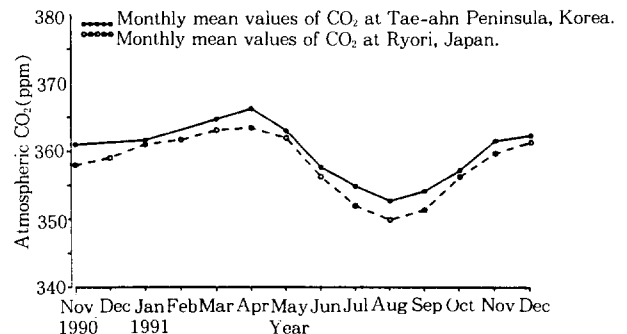


Fig. 2. Monthly average CO<sub>2</sub> concentrations at Tae-ahn Peninsula, Korea and at Ryori, Japan, respectively.

(Peterson et al., 1986) 예상외로 높은 값은 분석에 포함되지 않았다. Ryori 역시 TAP에서 처럼 계절에 따라 CO<sub>2</sub>가 변동하는 모습을 보여준다. 두 지역에서 CO<sub>2</sub> 농도의 최대값과 최소값이 나타난 달은 각각 4월과 8월로 같으며 그 차이 역시 13.54ppm으로 같다. 이것은 두 지역이 비슷한 위도대에 위치하고 있으며 가까운 곳에 CO<sub>2</sub>의 큰 오염원이 없기 때문이라 여겨진다. 그러나 두 지역의 1991년 월평균값의 차이는 0.95~2.77ppm 정도로 TAP에서의 CO<sub>2</sub> 농도가 Ryori의 농도보다 항상 높게 나타난다. 지역적인 CO<sub>2</sub> 오염원이 적으며 비슷한 위도대에 있는 두 관측소가 이와 같은 차이를 보이는 것은 TAP이 중국으로부터 이동하는 CO<sub>2</sub>와 기류의 영향을 Ryori보다 강하게 그리고 가까이 받고있기 때문이라 여겨진다. 정용승 등(1991)은 황사 발생시 backward trajectory 분석을 통하여 황사의 발원지가 중국과 몽고 지방의 황토지대임을 밝혔다. 이러한 연구 결과들은 기류가 이동할 때 중국에서 발원하는 오염물질 및 개스들이 한반도에 쉽게 유입될 수 있음을 확증해준다.

그림 3은 일본 Ryori에서 관측한 1987~1991년 동안의 CO<sub>2</sub>농도의 변화와 TAP에서 관측된 CO<sub>2</sub> 농도의 변화를 함께 보여준다. 두 지역 모두 CO<sub>2</sub>의 계절변동을 뚜렷히 볼 수 있으며 일본에서 관측이 실시된 이래로 CO<sub>2</sub>가 계속해서 증가하고 있다. 1988, 1989, 1990, 1991년 연증가율은 각각 2.34ppm, 1.68ppm, 1.53ppm, 1.53ppm 이었으며 연평균 증가는 1.66ppm으로서 캐나다와 MLO보다 높음을 알 수 있다. 한편 TAP의 곡선이 Ryori의 곡선보다 약간 위쪽으로 겹쳐지며 거의 같은 모습이다. 1987년부터 TAP에서 CO<sub>2</sub>의 관측이 시작되었다면 두 곡선은 거의 유사한 모습을 보였을 것으로 추정된다. 이와 비슷한 모습들은 최근의 다른 자료

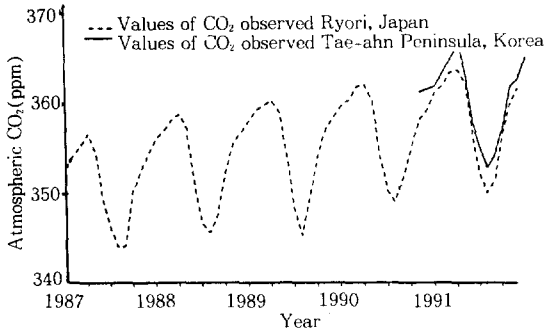


Fig. 3. Overlapping CO<sub>2</sub> data of Tae-ahn Peninsula, Korea with CO<sub>2</sub> concentration of Ryori, Japan.

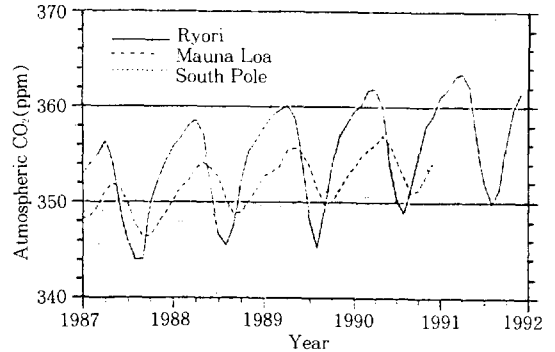


Fig. 4. CO<sub>2</sub> variations at Ryori, Mauna Loa and South Pole for 1987-1991.

에도 잘 나타나있다.

그림 4은 Ryori, Mauna Loa, South Pole(SPO; 89° 59' S, 24° 48' E, 해발 2810m)에서 1987-1991년 동안 관측한 CO<sub>2</sub>의 연변화이다(Mauna Loa, South Pole은 1987-1990년 자료). 3곳 모두 CO<sub>2</sub>의 계절변동과 계속적인 증가의 모습을 볼 수 있다. Ryori에서의 최대값과 최소값이 나타난 시기가 Mauna Loa보다 약 1개월 정도 앞선다. 이것은 북반구 중위도 지역에 CO<sub>2</sub>가스의 source가 있으며, CO<sub>2</sub>가스의 장거리 이동으로 설명할 수 있다. Chung(1988)은 캐나다의 Alert와 Sable Island에서 측정 한 CO<sub>2</sub>가스의 자료를 분석하여 CO<sub>2</sub>가스가 장거리 이동함을 밝혔다.

### 3.3 TAP과 QPC, UUM의 이산화탄소 농도 비교

그림 5은 한국의 태안반도(TAP; 위도 36° 73' N, 경도 126° 13' E, 해발 20m), 중국의 Qinghai

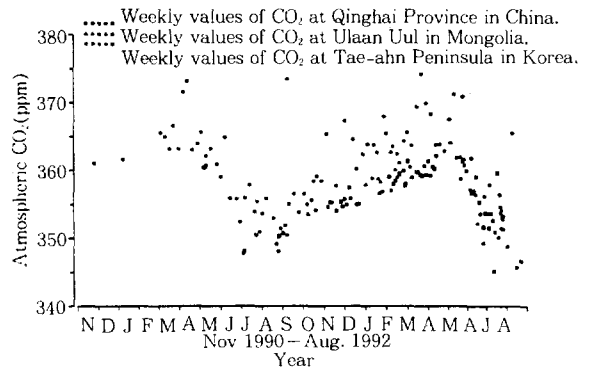


Fig. 5. Variations of CO<sub>2</sub> observed at Qinghai Province in China, Ulaan Uul in Mongolia and Tae-ahn Peninsula in Korea, respectively.

Province(QPC ; 36° 16' N, 100° 55' E, 해발 3810m), 몽고의 Ulaan Uul(UUM ; 44° 27' N, 111° 06' E, 해발 914m)에서 1991년 1월부터 1992년 6월까지 관측한 3관측소의 CO<sub>2</sub> 농도를 비교한 것이다. 세 곳 모두 CO<sub>2</sub>가 계절변동을 하고 있으며, 여름에 낮고 봄에 높은 값을 보인다. 특히 TAP과 비교장소인 QPC, UUM의 여름철 낮은 농도는 서로 비슷하지만 봄철 최대값은 QPC와 UUM보다 TAP에서 가장 높다. QPC와 UUM은 중국의 오염발생원들의 풍상측에 위치하고 TAP은 풍하측에 위치한다. TAP에서의 봄철 기류가 NNW~W임을 고려해볼 때 TAP의 농도가 높은 것은 NNW~W 방향의 기류를 타고 중국으로부터의 오염물질 및 가스들이 풍하측으로 이동하기 때문인 것으로 사료된다.

4. 사례 연구

한반도는 중위도 편서풍대에 위치하여 서풍계열 기류의 영향을 크게 받고있다. 이러한 대기의 대순환은 한국으로 하여금 풍상측에 있는 중국의 대기 환경에 밀접한 영향을 받으며, 중국에서 발생하는 대기오염 물질은 편서풍과 함께 동진하면서 한반도와 그 주위를 지나 침전하게 된다. 이와 같은 대기 환경하에서 아시아대륙의 중국 등에서 발생하는 자연적, 인위적인 대기오염물질의 이동은 우리에게 큰 관심을 갖게 한다. 사례 연구에서는 이러한 대기오염물질의 장거리 이동을 알아보기위해 1990년 11월부터 1992년 2월까지 태안에서 관측한 CO<sub>2</sub>의 자료를 중심으로 3개의 사례를 택하여 하층 및 중층 일기도와 trajectory분석을 실시하였다.

trajectory분석은 대기오염 물질의 이동을 추적하고 발원지를 알아보기 위하여 실시한다. trajectory 분석은 공기입자가 지나가는 정확한 자취를 분석하는 것이 아니며, 일반적으로 '기류의 지나가는 흐름의 자취'를 표시하는 방법의 하나로써 사용되고있다. trajectory는 backward(후진형) 또는 forward(전진형)의 두 가지를 분석하며, 후진형은 대기오염의 발원지를 추적하고 전진형은 오염물질의 침전예상(예보) 지역을 계산하는데 자주 응용된다. 본 연구에서는 대기오염 발원지 추적을 위하여 후진형이 사용되었으며 trajectory계산은 미국 기상청 CMDL의 Harris에 의해서 수행되었다.

표 1은 1991년 7월 20일 TAP에서 관측한 CO<sub>2</sub>의 농도와 7월 평균값을 비교한 것이다. 7월 20일의 농도가 7월 평균치보다 각각 0.91ppm 낮았다.

사례 1. 1991년 7월 20일(최저값)

Table 1. CO<sub>2</sub> level observed at Tae-ahn Peninsula, Korea on 20 July, 1991 and average values in July.

	CO <sub>2</sub> level(ppm)
July 20	353.95
Average of July	354.86

그림 6은 1991년 7월 19일의 지상 일기도이다. 한랭전선이 한반도에 접근함에 따라 기압이 낮아지고 풍속이 증가했으며, 전선안개와 강수현상이 관측되었다. 시간이 지남에 따라 우리나라 전역에 걸쳐 강수현상이 있었으며 20일이 되면서 저기압의 중심

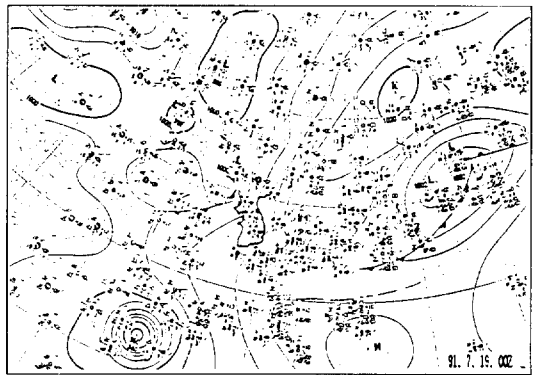


Fig. 6. A surface map showing weather over Korea for 0000 GMT, 19 July 1991.

Trajectories to tap(36.73N, 126.13E) 91201-7/20/91  
 A : 0000UT 1000hPa C : 1200UT 1000hPa  
 B : 0000UT 850hPa D : 1200UT 850hPa

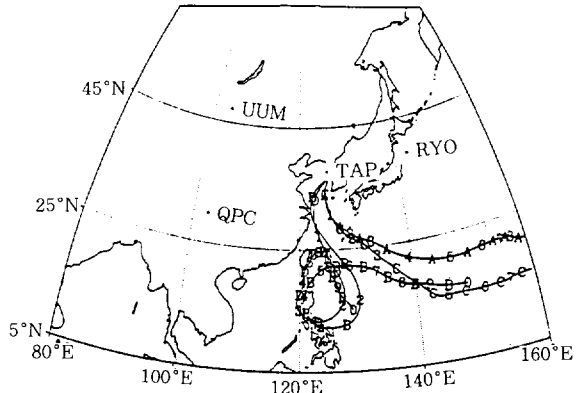


Fig. 7. Backward trajectories arriving at Tae-ahn Peninsula in the west coast of Korea at 0000 UT and 1200 UT, 20 July 1991.

이 동쪽 해상으로 빠져나갔다. 또한 고비사막에 중심을 둔 저기압의 영향으로 대체적으로 날씨가 흐리며 안개가 짙게 끼었고 바람은 남쪽 해상으로부터 유입되고 있었다. 7월 20일 전후로 가장 가까운 서산 지방의 강수량을 살펴보면 7월 18일 0.5mm, 7월 20일 0.9mm, 7월 21일 1.4mm, 7월 23일 40.3mm, 7월 24일 56.4mm로 전국적으로 장마권에 접어들기 시작한 때였다. 이러한 강수와 많은 수증기는 이들 가스들을 rainout-washout했을 것으로 생각된다.

관측이 실시된 7월 20일 14시 40분에는 강한 전선안개로 시정이 200m 미만이었으며 남남서 방향에서 초속 5m의 바람이 불고 있었다. 850mb 일기도에 의하면 중국대륙에 자리한 저기압의 영향으로 우리나라는 남서풍 계열의 바람이 우세하였다. 그림 7은 7월 20일 trajectory분석이다. 지상의 기류는 북태평양의 대양으로부터 비교적 빠른 속도로 유입되었으며 1500m기류는 필리핀, 대만의 동쪽바다를 거쳐 유입되었다. 이날 관측된 가스들 속에는 거의 대부분 오염원이 적은 태평양 해상으로부터 온 가스와 물질이 포함된 것으로 생각된다.

사례 2. 1991년 9월 7일(최고값-정체성)

Table 2. Same as Table 1, but for 7 September 1991.

	CO <sub>2</sub> level(ppm)
September 7	373.53
Average of September	358.98

표 2는 1991년 9월 7일 TAP에서 관측한 CO<sub>2</sub> 농도와 9월 평균값을 비교한 것이다. 9월 7일의 농도가 9월 평균치보다 14.55ppm 높았다.

1991년 9월 6일의 지상일기도에 의하면 남쪽지방에 자리잡은 장마전선의 영향으로 우리나라 남부지방은 강수현상이 있었으며 북부지방은 베이징 부근에 자리잡은 1014mb 고기압으로 비교적 날씨가 맑았다. 바람은 전선과 고기압으로 인하여 북서풍이 약하게 불고 있었다. 7일에는 장마전선이 그대로 남쪽해상에 머물러 있으며 베이징에서 발원한 고기압은 우리나라로 남진하면서 세력이 약화되었고 북만주 지방에서 발생한 저기압이 우리나라로 이동했다. 1991년 9월 6일 850mb 일기도에 의하면 화북지방에 중심을 둔 저기압의 영향으로 북서풍 계열의 바람이 한반도에 유입되고 있었다. 그림 8은 9월 7일 trajectory분석이다. 지상의 기류는 발해만 근처에서 오랫동안 머무르다 태안에 유입되었으며

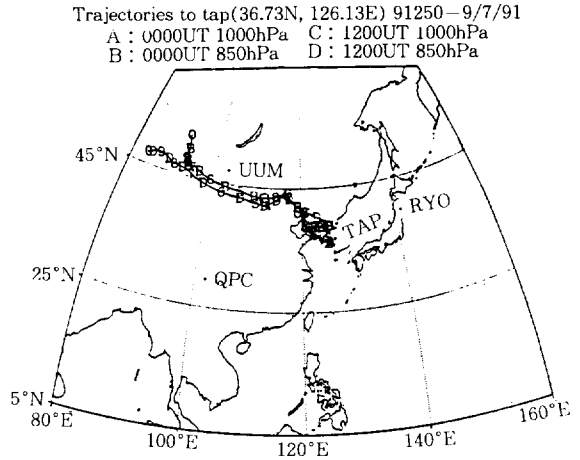


Fig. 8. Same as Fig. 7, but for 7 September 1991.

사례 3. 1992년 1월 26(북서기류)

Table 3. Same as Table 1, but for 26 January 1992.

	CO <sub>2</sub> level(ppm)
January 26	368.02
Average of January	364.80

1500m기류는 몽골 고원에서 심양을 거쳐 유입되었다. 이상의 자료들은 이날의 기류에 동반된 대기 가스들이 발해만 지역과 우리나라 서해안에서 발생한 가스들이 혼합되었을 것으로 생각된다.

표 3은 1992년 1월 26일 TAP에서 관측한 CO<sub>2</sub>의 농도와 1월 평균값을 비교한 것이다. 1월 26일의 농도가 1월 평균치보다 각각 3.22ppm 높았다. 1992년 1월 25일 지상일기도에 의하면 고비사막에 자리잡은 1032mb 고기압의 영향으로 우리나라 지역의 날씨가 맑았으며 북서계열의 바람이 불고 있었다. 이때 우리나라는 중국내륙과 태평양상에 있는 고기압의 안상부에 위치하고 있다. 26일에 고기압 일부가 떨어져 이동성 고기압으로 우리나라를 통과했고, 시베리아 지방의 저기압은 남동진하여 발해만 내륙과 우리나라 북부지방에 영향을 끼쳤으며, 화북지방에 자리잡았던 고기압의 일부는 중국 남부에서 절리되어 이동성 고기압으로 되었다. 관측당시 태안지방은 이동성 고기압의 영향으로 맑은 날씨를 보였고 약 4m/sec의 북풍이 불고 있었다. 1월 25일 850mb일기도는 우리나라 전역에 걸쳐 북서풍 계열의 바람이 유입되는 것을 볼 수 있다. 그림 9은 1월 26일의 trajectory분석이다. 지상과 1500m 모두

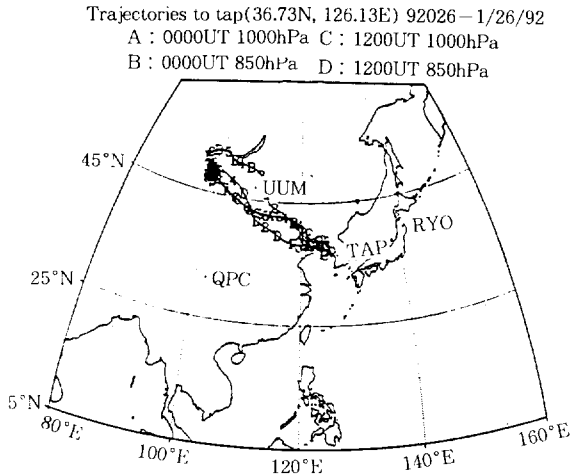


Fig. 9. Same as Fig. 7, but for 26 January 1992.

몽고에서 발원하여 베이징, 심양을 거쳐 우리나라 서해안에 유입되고 있다. 이상의 자료들을 분석해 볼 때 이날의 기류는 주로 몽고 대륙과 중국내륙 그리고 서해안에 자리잡은 중국의 공업도시 지역으로부터 태안반도에 유입된 것으로 생각된다.

지금까지 분석한 3가지 사례를 살펴보면 CO<sub>2</sub>가스들의 농도가 높은 경우는 우리나라 북서쪽에 고기압, 남북으로 저기압, 남동으로 고기압이 위치하여 북서풍~북풍 기류의 유입과 우리나라 자체의 오염물질이 혼합되었을 때이며, 농도가 낮은 경우는 우리나라의 북서쪽에 저기압, 남쪽해안에 고기압이 자리하여 남쪽으로부터 기류가 유입될 때이었음을 알 수 있다.

중국은 동쪽해안을 따라 공업도시가 밀집되어 있다. 실제로 우리 서해안의 백령도에서 중국의 산둥반도까지의 최단거리는 약 170km이며, 태안에서 산둥반도는 약 300km, 그리고 한국의 남해안에서 중국대륙은 약 500km이다. 이 거리는 하층 대기운동의 크기로 보아 10~48시간 정도의 이동거리이다.

중국도시에서의 대기오염은 주로 석탄의 연소에 기인한다. 1989년에 연간 석탄 소비는 10억 2천만 톤 이었으며 70%가 직접 연소되었다. 이러한 중국의 에너지 소비는 계속적으로 증가하고 있으며 1990년 석탄소비는 10억 8천만톤, 원유소비는 1억 3천 5백만톤으로 석탄은 세계 1위, 원유는 세계 5위를 기록했다. 1980-1990년동안 석탄의 소비는 전체 에너지소비의 70-73%, 원유는 20%, 천연가스와 수력에너지는 6-7%를 차지하였다. 중국의 약 12억톤의 연소에서 배출되는 CO<sub>2</sub>의 총량은 완전연소의 경우 43억톤 이상으로 추산된다. 그리고 이러

한 석탄의 소비는 특별히 SO<sub>2</sub>의 방출을 증대시켜 1950년에 50만톤이었던 것이 1989년에는 1560만톤으로 증가하였다(Wang and Shi, 1991). 그러나 1992년에 생산되어 소비된 12억톤의 연료에 1%의 유황이 섞여 있다고 가정하면 여기서 나오는 SO<sub>2</sub>는 2400만톤으로 계산된다. 결국 경제성장에 따른 에너지의 소비는 많은 오염물질을 만들며, 이러한 오염물질은 편서풍을 타고 우리나라로 이동해 올 수 있다.

### 5. 결 론

이산화탄소의 배경농도에 관한 관측이 1990년 11월부터 충남 태안군 소원면 파도리에서 실시되었다. 본 연구에서는 1990년 11월부터 1992년 8월까지의 자료를 이용하여 한반도에서의 이산화탄소 배경농도 및 월변동 경향을 알아보고, 일본의 Ryori, 중국의 Qinghai Province, 몽고의 Ulaan Uul과 비교하여 중국의 영향을 밝혔다. 또한 기류분석을 통하여 이산화탄소가스의 이동경로를 알아보았다.

1) 관측기간 동안 이산화탄소의 월 평균 농도 변화는 351.72~365.37ppm(amplitude 17.65ppm)으로 매우 큰 변동을 보였다. 이것은 TAP이 반도에 위치하여 계절풍의 영향으로 중국 발해만과 산둥반도 지역의 영향은 물론 한국의 관측지점인 인근 마을의 국지적 source에 그 원인이 있는것으로 사료된다.

2) 3-4월에 최대를 보인후 급격히 감소하기 시작하여 7-8월에 최소를 나타내는 계절 변동을 한다. 이러한 이산화탄소의 계절 변동은 다른 NOAA/CMDL sites에서도 나타나는 것으로 육지 식물의 활동과 매우 깊은 관계를 갖는다.

3) TAP과 일본의 Ryori관측소에서 1991년 동안 관측한 이산화탄소 농도의 변동을 비교할 때 최대값과 최소값이 나타난 달이 4월과 8월로 같으며 그 차이 역시 13.54ppm으로 같다. 그러나 월 평균치는 0.95~2.77ppm 정도로 TAP이 Ryori보다 더 높다. 이것은 TAP이 중국으로부터 이동하는 기류의 영향을 더 받기 때문이다(Ryori는 한국의 풍하측 1000 km 밖에 위치하여 중국과 한국의 직접적 영향을 적게 받음).

4) TAP, QPC, UUM에서의 이산화탄소 변동을 살펴볼 때 여름철 낮은 농도는 서로 비슷하지만 봄철 최대치는 TAP에서 가장 크다. TAP에서의 봄철 기류가 NNW~W 입을 고려하면 QPC와 UUM은 중국의 주요 오염원의 풍상측에 있어 농도가 낮은

반면, TAP의 농도가 높은 것은 NNW~W 기류를 타고 중국 오염원으로부터의 오염물질 및 가스들이 이동하기 때문으로 생각된다.

5) TAP에서의 trajectory와 airflow를 분석해 볼 때 이산화탄소의 높은 농도는 중국 기류의 유입과, 중국과 한국기류가 혼합될 때이며, 낮은 농도는 북태평양으로부터 해양성기류가 유입될 때이다.

### 〈 감 사 〉

관측에 협조해주신 파도국민학교 엄기철 기사님과, 김태군 씨의 많은 도움을 받았으며, 한국과학재단의 목적기초(특정 90-07-00-14) 연구지원에 의해 수행되었습니다.

### 참 고 문 헌

- 정용승 (1991) 대기오염과 산성비의 발원지 추적연구(II), 한국교원대학교 환경과학연구소.
- Conway T. J., Tans P., Waterman L. S., Thoning K. W., Masarie K. A. and Gammon R. H. (1988) Atmospheric carbon dioxide measurement in the remote global troposphere, 1981-1984. *Tellus* 40B, 81-115.
- Chung Y. S. (1988) The variations of atmospheric carbon dioxide at Alert and Sable Island, Canada. *Atmos. Environ.* 22, 383-394.
- Houghton J. T., Jenkins G. J. and Ephraums J. J. (1990) *Climate change the IPCC scientific assessment*, Cambridge University Press.
- xvi-xx, 5-6, 18-23.
- Bacastow R. B., Keeling C. D. and Whorf T. P. (1985) Seasonal amplitude increase in atmospheric CO<sub>2</sub> concentration at Mauna Loa, Hawaii, 1959-1982. *J. Geophys. Res.* 90, 10529-10540.
- Peterson J. P., Komhyr W. D., Waterman L. S., Gammon R. H., Thoning K. W. and Conway T. J. (1986) Atmospheric CO<sub>2</sub> variation at Barrow Alaska, 1973-1982. *J. Atmos. Chem.* 4, 491-510.
- Richard A. W. (1990) The relationship of carbon dioxide emissions with coal rank and sulfur content. *J. Air Waste Manage. Assoc.* 40, 861-865.
- Tans P. P., Fung I. Y. and Takahashi T. (1990) Observational constraints on the global atmospheric carbon dioxide budget. *Science* 247, 1431-1438.
- Tanaka M., Nakazawa T., Aoki S and Ohshima H. (1988) Aircraft measurements of tropospheric carbon dioxide over the Japanese islands. *Tellus* 40B, 6-22.
- Wang W. X. and Shi Q (1991) Analysis of the formation of air pollutant and acid rain in China. *Proc. 2nd IUPPA Regional Conf. on Air Poll.*, Seoul, Korea, Vol. II, 49-57.
- WMO (1990) *Carbon dioxide : WMO monitoring and research. Fact Sheet No. 6.*