

#### 4D4) 제주도 고산대기중 이산화탄소의 연속관측을 통하여 이산화탄소의 배경농도 변화추이와 고산의 이산화탄소농도에 영향을 주는 오염원을 추적

### Variations of Background CO<sub>2</sub> Concentration and Estimation of Potential Source Region Contributing to Gosan through In-situ Measurement of Atmospheric CO<sub>2</sub> at Gosan

김분희 · 김주일 · 김경렬  
서울대학교 지구환경과학부

#### 1. 서 론

산업혁명이후 많은 환경문제들이 대두하고 있으며 그중 온실기체에 의한 지구온난화는 우리의 생활에 직접적으로 영향을 주는 많은 이상기후를 만들고 있다고 Intergovernment Panel of Climate Change (IPCC, 2007)보고서에서 제시하였다. 이산화탄소는 지구온난화에 가장 크게 영향을 미치는 온실기체중의 하나이며 대기 중 이산화탄소의 농도는 산업혁명전의 280ppm로부터 2005년의 379ppm으로 1750년부터 현재까지 거의 100ppm 증가하였으며 최근 십년간 더욱 빠른 속도로(1995-2005 평균: 1.9ppmv/년) 증가하고 있다(IPCC, 2007). 이와 같은 급속한 증가원인은 주요하게 인류에 의한 영향이 크며 특히 탄산 연료 사용에 의한 영향이 가장 크다는 것을 알 수 있다. 대기 중 CO<sub>2</sub>의 농도가 지구온난화에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 전 세계적으로 많은 관측이 이루어지고 있으며 산업활동이 급격히 왕성한 동북아시아지역에서도 활발한 연구가 진행 중이다. 기존의 연구(Park, 2005)에서는 일주일 한번 플라스크 샘플링을 하여 제주도 대기 중 CO<sub>2</sub>의 농도를 관측하였는데 장기적인 변화량 추정에는 유리하지만 공기 피의 이동에 의하여 짧은 시간단위내의 농도변화를 이해하는 자료로는 충분하지 않았다. 이에 의하여 본 실험실에서는 2003년 2월부터 고산대기 중 CO<sub>2</sub>의 실시간 연속관측을 진행하였다.

본 연구에서는 제주고산 대기 중 CO<sub>2</sub>의 실시간 관측을 통하여 통계적인 방법(O'Doherty et al., 2001)으로 배경대기농도를 추정하였으며 배경농도의 일변화, 계절변화를 살펴보았으며 동북아시아에서 처음으로 hybrid-receptor model(Reimann, 2004; Stohl, 1996; Seibert et al., 1994)으로 제주도 고산대기 중 CO<sub>2</sub>농도에 영향을 주는 지역적인 오염원을 추정하였다. 본 연구에서는 관측치 중에서 배경농도 값과 오염 값을 구분하는 새로운 방법을 시도하였으며 제주고산에서 CO<sub>2</sub>의 오염지역을 추정하여 동북아시아 지역에서 산업발전과 이산화탄소오염원과의 상관관계를 한층 깊이 이해할 수 있는 있는 기반을 마련하였다.

#### 2. 연구 방법

본 연구에서는 관측 기간 중 2003년 8월부터 2005년 3월까지의 자료를 집중분석하였다. 고산 관측소(126°9'E, 33°17'N, 70m asl)는 한반도의 남쪽, 제주도의 서남쪽 끝에 위치하고 있으며 봄, 가을, 겨울에는 주요하게 북북서, 북서 및 서풍의 영향으로 육지로부터 오는 공기 피의 영향을 많이 받으며 여름철에는 남동풍의 영향으로 태평양으로부터 오는 공기 피의 영향을 많이 받는 지역이다. 하여 고산은 동북아시아의 배경농도관측을 위한 유리한 장소이며 국지적인 오염소스가 적은 지역으로서 지역적인 오염원을 추정하기에 적합한 장소이다. 본 연구에서는 Licor-6262 NDIR(non-dispersive infrared)분석기기로 구성된 자체 제작한 시스템을 이용하여 20초 간격으로 대기 중 CO<sub>2</sub>의 농도를 측정하였다. 미국 NOAA/ESRL(National Oceanic & Atmospheric Administration/Earth System Research Laboratory)에서 만든 범위가 300-400ppm인 표준기체 3개를 기기보정 및 자료검증에 사용하였으며 측정된 샘플의 정밀도는 ±0.1ppm이다.

본 연구에서는 통계적인 방법을 이용하여 제주도 고산대기중 CO<sub>2</sub>의 배경농도를 추정하였다. 이 통계적인 방법은 살펴보면 오염이 발생한 특정한 날을 기준으로 앞뒤로 60일의 관측치를 선택하여 이중에서 오염으로 인정되는 부분을 결정하고 그 나머지는 배경농도라는 판단하는 알고리즘이다. 이때 121기간 동안의 배경농도는 Gaussian분포를 나타내는 것으로 추정이 되며 중간치로부터 일정한 factor만큼 편향된 값을 오염된 값으로 표기한다. 상세한 것은 참고자료를 보시면 알 수 있다(O'Doherty et al., 2001).

본 연구에서는 hybrid-receptor model를 이용하여 제주도 고산대기 중 CO<sub>2</sub>에 영향을 미치는 오염지역을 추정하였다. hybrid-receptor model이란 공기 궤의 back-trajectory와 관측된 농도 값을 결합하여 receptor site에 영향을 주는 오염지역을 추정하는 방법이다.

### 3. 결과 및 고찰

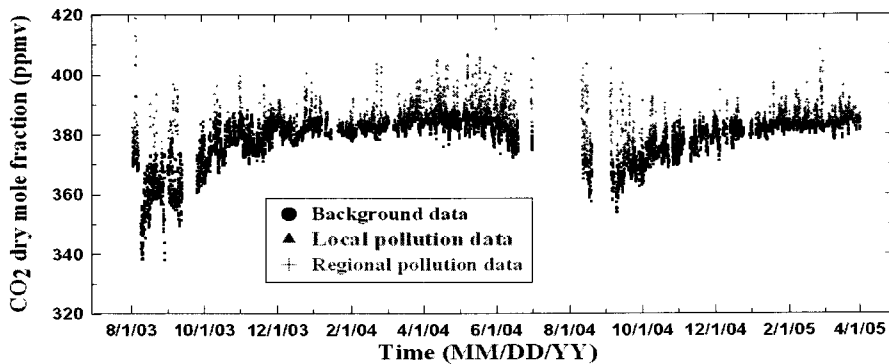


Fig. 1. Background data, local pollution data and regional pollution data from August 2003 to March 2005 at Gosan.

본 연구에서는 고산대기 중 CO<sub>2</sub>농도의 관측치중 2003년 8월부터 2005년 3월까지의 값을 사용하였으며 그 중 92.01%의 정확한 값을 통계처리에 사용하였으며 통계적인 알고리즘을 이용하여 배경농도 값, 오염농도의 값으로 구분하였으며 그 비율은 각각 75.51%와 24.55%를 차지한다. 오염농도의 값을 고산지역에서 관측한 기상자료와 Hysplit모델에서 추출한 대기 평균혼합고도에 의하여 국지적인 오염원과 지역적인 오염원으로 구분하였으며 전체 농도 값에서 그 비율은 각각 8.22%, 16.33%를 차지한다(그림 1). 이로부터 알 수 있는 바 배경농도의 값이 관측되는 기간이 전체관측기간 중에서 3/4을 차지하는 것으로 나타나 이는 제주도고산지역이 동북아시아 지역의 배경농도를 추적하기에 유리한 장소이라는 것을 다시 한번 증명하였다. 오염으로 추정되는 값에서 지역적인 오염원이 관측되는 기간은 국지적인 오염원이 관측되는 기간보다 2배 더 많은 것을 알 수 있다.

배경대기농도의 특징을 살펴보면 선명한 일변화와 계절적인 변화를 나타내고 있다. 고산대기중 CO<sub>2</sub>농도의 계절적인 변화를 살펴보면 봄철에 가장 높은 값을 보이고 그 다음은 겨울, 가을 순이며 여름철에 가장 낮은 값을 보인다. 일변화를 살펴보면 여름철에 그 진폭이 가장 크며 겨울철에 봄철에는 진폭이 작다. 이는 일변화가 주요하게 육지생물과 대기의 상호작용에 의한 것이 때문에 식물의 광합성작용과 호흡작용이 활발히 일어나는 여름철에 변화폭이 가장 큰 것으로 나타나는 것을 알 수 있다.

Hybrid-receptor model을 이용하여 지역적인 오염원이 관측되는 기간 중에서 cold-semester기간동안에 제주도 고산에 영향을 미치는 오염지역을 추정한 결과를 그림 2에 도시하였다. 제일 큰 오염지역은 중국 상하이를 포함한 양자강유역으로 추정이 되었으며 그 다음으로는 서울을 포함한 한반도와 북경을 포함한 화북 평원인 것으로 추정이 되었다. 이는 주요하게 서쪽으로부터 고산에 영향을 주는 공기 궤의 이동이 발생할 때 인구가 밀집한 양자강유역이 오염소스로 추정이 된 것으로 나타났다. 공기 궤의 이동

이 북북서로부터 고산에 도달할 때 공업이 발달한 서울을 포함한 한반도가 오염소스로 추정되었으며 북서로부터 고산에 도달할 때 북경을 포함한 화북 평원이 오염지역으로 추정되었다.

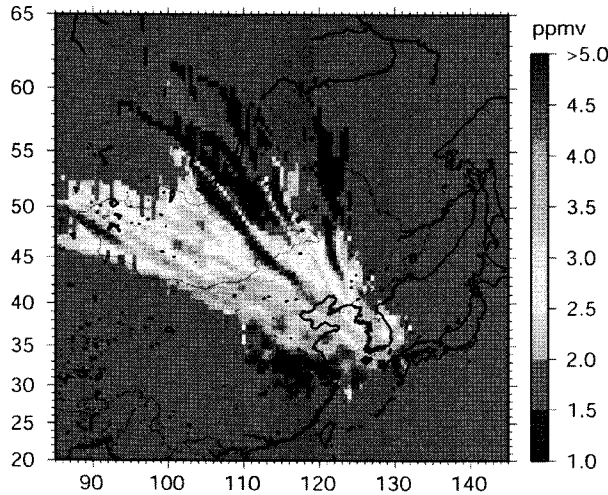


Fig. 2. Potential source region | Northeast Asia.

#### 참 고 문 헌

- IPCC (2007) Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D.Qin, M.Manning, Z.Chen, M.Marquis, K.B.Averyt, M.tignor and H.L.Miller(eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- O'Doherty, S., P.G. Simmonds, D.M. Cunnold, H.J. Wang, G.A. Sturrock, P.J. Fraser, D. Ryall, R.G. Derwnet, R.F. Weiss, P. Salamech, B.R. Miller, and R.G. Prinn (2001) In situ chloroform measurements at advnaced global atmospheric gases experiment atmospheric research stations from 1994 to 1998, *J. Geophys. Res.*, 106(D17), 20,429-20,444.
- Park, M.K. (2005). A study on the atmospheric CO<sub>2</sub> and its carbon isotopes at Gsoan, Korea, Ph.D thesis.
- Reimann, S., D. Schaub, K. Stemmler, D. folini, M. Hill, P. Hofer, and B. Buchmann (2004) Halogenated greenhouse gases at the Swiss High Alpine Site of Jungfraujoch (3580m asl). Continuous measurements and their use for regional European source allocation, *J. Geophys. Res.*, 109, D05307, doi:10.1029/2003JD003923.
- Seibert, P., H. Kromp-Kolb, U. Baltensperger, D.T. Jost, M. Schwikowdki, A. Kasper, and H. Puxbaum (1994) Trajectory analysis of aerosol measurements at high Alpine sites, Eurotrac Symposium, 689-693.
- Stohl, A. (1996) Trajectory statistics-A new method to establish source-receptor relationships of air pollutants and its application to the transport of particulate sulfate in Europe, *Atmospheric Environment*, 30, 579-587.