

PD1) 이산화탄소의 장·단주기적 농도변화 특성에 관한 연구
A Study of carbon dioxide concentration changes
over long and short-term scale within and across the
Korean Peninsula between 1995 and 1997

송기범¹⁾ · 윤용훈²⁾ · 오상인¹⁾ · 이현지³⁾ · 김기현¹⁾

¹⁾세종대학교 지구과학과, ²⁾기상연구소 지구대기감시관측소, ³⁾건국대학교 환경공학과

1. 서론

지난 100 여 년 동안 지상 대기와 해수면 온도는 온실기체의 증가로 인해 0.3~0.6 °C 가량 상승하였다는 것이 확인되었다 (IPCC, 1995). IPCC의 예측에 따르면 2030년경에는 CO₂ 농도가 산업혁명 이전의 두 배에 달하게 되며, 지구 평균기온이 1.5~4.5 °C 상승하여, 해수면이 20 cm 정도 상승할 것으로 보고 있다. 그리고 2100년경에는 기온이 약 3~6.5 °C, 해수면은 약 65 cm 정도 상승할 것으로 예측하고 있다 (IPCC, 1995).

대기중의 온실기체로는 수증기 (H₂O), 이산화탄소 (CO₂), 메탄 (CH₄), 아산화질소 (N₂O), 염화불화탄소 (CFCs), 지상 오존 (O₃) 등이 존재한다. 이외에도, 지난 1997년 12월 일본 교토에서 열린 IPCC 제 3차 총회에서는 수소불화탄소 (HFC), 과불화탄소 (PFC), 육불화황 (SF₆) 등이 추가로 규정되었다. 각 국가의 산업 경제 문제와의 직접적인 관련성 등으로 인해, 세계기상기구 (WMO (World Meteorological Organization))에서는 지구대기감시 (GAW (Global Atmosphere Watch)) 관측망을 강화하기 위해 각 회원국에 대한 온실기체의 관측을 권유하여왔다. 이러한 시대적 조류에 맞추어, 국내에서도 온실기체에 대한 대처 방안 수립 및 기후변화 예측을 위해, 기후변화 모델링, 기후변화 영향평가, 기후변화를 유발하는 대기 성분의 감시에 주력하고 있는 실정이다 (환경부, 1998).

지구온난화에 대응하기 위해 범세계적으로, 온실가스의 배출에 대한 감시, 에너지 저소비형 산업구조로의 전환, 청정에너지로의 소비대체를 통한 환경 친화적 에너지 공급체계의 구현 등과 같은 분야에 많은 노력을 기울이고있다. 과학적인 관점에서 지구온난화에 대비하기 위해서는 기후변화에 대해 지속적인 분석과 영향평가 등을 실시하는 것이 중요하다. 특히 온실기체의 농도변화양상을 정확히 관측하고 그 경향을 추정하는 것과 동시에 방출된 오염물질의 농도분포를 파악하는 것은, 현재의 오염상태를 이해하고 장래의 대기질을 관리하는데 있어서 무엇보다 중요하다고 할 수 있다 (IPCC, 1996, 1997).

2. 연구방법

본 연구의 CO₂를 포함한 온실기체와 기상인자의 관측은 무안군 해제반도에 위치한 무안 기상대 (전남 무안군 해제면 광산리 242-2)에서 이루어졌다. 무안 기상대는 동쪽을 제외한 삼면이 바다이며, 해발고도가 비교적 낮은 곳 (해발고도: 23.3 m, 35° 06' N, 126° 17' E, 이하 MAN으로 지칭)에 위치하고 있다. 기상청은 1993년에 온실기체 관측소를 설립하였으며, 이 관측소는 온실기체 연속 관측 시스템을 갖추고 현지의 대기 성분을 관측하는 in-situ 상태로 관측하였다. 1994년 1월부터 CO₂ 관측을 시작으로, 같은 해 2월에는 CFCs (CFC-11, CFC-12)를 1995년 3월부터는 N₂O, CH₄에 대한 관측을 추가적으로 수행하였다. CO₂의 측정에는 연속관측장비인 비분산 적외선 분석기 (Non-Dispersive InfraRed (NDIR); ULTRAMAT-5E, Siemens Co., Germany)가 사용되었다.

본 연구에서는 1995년 8월부터 1997년 12월까지 약 29개월의 기간 동안 무안 기상대에서 관측한 CO₂와 기상자료 (기온, 기압, 습도, 강우량, 풍향, 풍속)를 토대로, 세계의 배경관측지점 (Point Barrow (Alaska), Mauna Loa (Hawaii), American Samoa, Amundsen Scott (South Pole) 등)의 동일한 시간대에 이루어진 관측자료를 이용하여 온실기체의 주기적 환경거동을 해석하기 위해 여러 가지 비교분석을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

일주기의 농도변화

MAN 지역의 시간대별 이산화탄소 농도는 자정 이후 이른 오전시간대에 전반적으로 고농도가 형성되는 경향을 띠는데, 특히 대기가 비교적 안정된 6-9시대에 사이에 하루 중 최고농도를 기록하였다. 기온이 상승하는 낮 시간대에는 농도가 빠르게 감소하여, 15-16시경에는 최저 농도를 나타내었다. 시간의 흐름에 따라 계속해서 저농도를 유지하다가, 일몰시간대 (18시)에 기온의 하강과 함께 고농도로 반전하였다. 특히 이른 오전시간대에 고농도가 지속되는 경향성은 야간대에 형성되는 역전층의 영향으로 인해, 늦은 오후시간부터 발견되는 고농도치가 새벽시간대까지 지속적으로 유지된 데 따른 결과로 볼 수 있을 것이다. 낮 시간대에는 특별한 배출원의 영향을 받지 않지만, 저녁시간대에는 다시 오염된 외부지역의 공기가 유입되므로 인해, 농도의 재상승이 이루어지는 것으로 보인다. MAN 지역의 일주기 농도변화는 계절에 상관없이 거의 유사하게 뚜렷한 주저야고 (晝低夜高)의 경향성을 일관성있게 보여주었다. 이와 같은 경향은 외부 오염원의 영향이 미미한 기타 외국의 배경관측점에서 발견되는 일주기 경향과는 뚜렷한 차이를 띠는 것으로 확인되었다. 따라서 외국 관측점들의 경우, 식생의 영향을 민감하게 받을 가능성이 높은 것으로 나타나며, 그 결과 국내지점과 달리 주고야저 (晝高夜低)의 뚜렷한 경향이 지속되는 것으로 나타났다.

월주기의 농도변화

월주기의 농도변화를 살펴보면, MAN의 경우 1월부터 서서히 농도가 증가하여 4월에 정점 (380 ppm)을 이룬 후, 저위도 해양의 청정한 공기가 유입되는 5월부터 농도가 점점 감소한다. 겨울에 비해 상대적으로 연료의 사용이 적으며 (저배출), 활발한 광합성이 이뤄지고 (고소도), 청정한 공기가 유입되는 8월에 최저치 (366 ppm)를 보였으며, 그 후로는 12월까지 지속적으로 농도가 완만하게 상승하였다. 국내 측정점인 안면도와 고산지역의 월별 변화양상 역시 매우 유사하게 나타났다. 월주기 변화경향은 위도차에 따라 다양하게 나타나는데, 특히 북반구에서 (남반구에 비해) 상대적으로 고위도로 갈수록 큰 진동폭을 보였다. 이러한 원인으로는 공기순환의 차이와 특히 북반구에서 왕성한 식생 활동과 산업활동으로 인해 CO₂의 발생원과 소멸원이 다양하게 분포된 데 따른 결과로 분석된다 (이명인 등, 1997, 환경부, 1998, 송병현 등, 1999). 월별 진동폭을 살펴보면, MAN 지점을 비롯한 국내지점 모두와 열대지역인 Point Barrow 지점에서 여타 지점에 비해 높은 진동폭을 보였다.

계절주기의 농도변화

계절별 농도의 변화양상에서 연구지역인 MAN의 계절별 농도변화를 살펴보면, 봄과 겨울에는 고농도의 경향성을, 여름과 가을에는 저농도의 경향성을 보였다. 이는 CO₂의 주 배출원이 화석연료 (98% 이상)의 연소인 것을 감안할 때 (EPA, 1997), 봄과 겨울의 경우 인간활동 및 난방과 관련된 북풍계열의 풍향이 한반도와 중국대륙으로부터 주로 유입된 데 따른 결과로 사료된다. 또한 북반구 지역의 경우 봄과 겨울철에 고위도로 갈수록 고농도 분포가 잘 나타나고 있으며 (Point Barrow와 Mauna Loa), 계절별 변화 역시 뚜렷하게 나타나고 있다. 반면 타 계절에는 저위도 해양의 청정한 공기가 유입되는 남풍계열이 주를 이루어 해풍의 빈도가 높아짐으로써 비교적 저농도를 보인 것으로 여겨진다. 이를 통해 CO₂가 계절적 및 지역적 농도분포의 차이를 잘 나타내며, 월별 경향비교에서 발견한 것과 같이 측정점별 계절간 농도변화의 폭이 다양하게 나타난다는 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 결과는 위도차이에 따른 발생원과 소멸원간의 복합적이고 상대적인 관계를 잘 반영한데 따른 것으로 볼 수 있다 (전종갑, 1991, 박경윤 등, 1994, 송병현 등, 1999).

4. 결론

무안지역의 일주기 농도변화는 계절에 상관없이 거의 유사하게 뚜렷한 주저야고 (晝低夜高)의 경향성을 일관성있게 보여주었다. 시간대별 이산화탄소 농도는 자정 이후 이른 오전시간대에 전반적으로 고농도가 형성되는 경향을 띠는데, 특히 대기가 비교적 안정된 6-9시대에 사이에 하루 중 최고농도를 기록하였다. 기온이 상승하는 낮 시간대에는 농도가 빠르게 감소하여, 15-16시경에는 최저 농도를 나타내었다. 시간의 흐름에 따라 계속해서 저농도를 유지하다가, 일몰시간대 (18시)에 기온의 하강과 함께 고농

도로 반전하였다. 특히 이른 오전시간대에 고농도가 지속되는 경향성은 야간대에 형성되는 역전층의 영향으로 인해, 늦은 오후시간부터 발견되는 고농도치가 새벽시간대까지 지속적으로 유지된 데 따른 결과로 볼 수 있을 것이다. 낮 시간대에는 특별한 배출원의 영향을 받지 않지만, 저녁시간대에는 다시 오염된 외부지역의 공기가 유입되므로 인해, 농도의 재상승이 이루어지는 것으로 보인다.

월주기의 농도변화를 살펴보면, 무안의 경우 1월부터 서서히 농도가 증가하여 4월에 정점 (380 ppm) 을 이룬 후, 저위도 해양의 청정한 공기가 유입되는 5월부터 농도가 점점 감소한다. 겨울에 비해 상대적으로 연료의 사용이 적으며 (저배출), 활발한 광합성이 이뤄지고 (고소모), 청정한 공기가 유입되는 8월에 최저치 (366 ppm)를 보였으며, 그 후로는 12월까지 지속적으로 농도가 완만하게 상승하였다. 월주기 변화경향은 위도차에 따라 다양하게 나타나는데, 특히 북반구에서 (남반구에 비해) 상대적으로 고위도로 갈수록 큰 진동폭을 보였다.

연구지역인 무안의 계절별 농도변화는, 봄과 겨울에는 고농도의 경향성을, 여름과 가을에는 저농도의 경향성을 보였다. 이는 CO₂의 주 배출원이 화석연료 (98% 이상)의 연소인 것을 감안할 때 (EPA, 1997), 봄과 겨울의 경우 인간활동 및 난방과 관련된 북풍계열의 풍향이 한반도와 중국대륙으로부터 주로 유입된 데 따른 결과로 사료된다. 또한 북반구 지역의 경우 봄과 겨울철에 고위도로 갈수록 고농도 분포가 잘 나타나고 있으며 (Point Barrow와 Mauna Loa), 계절별 변화 역시 뚜렷하게 나타나고 있다. 반면 타 계절에는 저위도 해양의 청정한 공기가 유입되는 남풍계열이 주를 이루어 해풍의 빈도가 높아짐으로써 비교적 저농도를 보인 것으로 여겨진다. 이를 통해 CO₂가 계절적 및 지역적 농도분포의 차이를 잘 나타내며, 월별 경향비교에서 발견한 것과 같이 측정점별 계절간 농도변화의 폭이 다양하게 나타난다는 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 결과는 위도차이에 따른 발생원과 소멸원간의 복합적이고 상대적인 관계를 잘 반영한 데 따른 것으로 볼 수 있다 (전종갑, 1991, 박경운 등, 1994, 송병현 등, 1999).

참 고 문 헌

- 박경운, 이호근, 서명석, 장광미, 강창희, 허철규, 김영준 (1994) 제주도 고산 측정소에서의 대기오염 배경 농도 측정 및 분석, 한국대기보전학회지, 10(4), 252-259.
- 송병현, 조하만 (1999) 화학이동 모델을 이용한 전지구 CO₂ 분포 모사 실험, 한국기상학회지, 35(4), 531-538.
- 이명인, 강인식 (1997) 한반도 기온변동성과 온난화, 한국기상학회지, 33(3), 429-443.
- 전종갑 (1991) 대기오염물질 수송과 관련된 동부 아시아 상층대기의 순환특성에 관한 연구, 한국기상학회지, 27(2), 180-196.
- 환경부 (1998) G-7 프로젝트 (지구 규모 대기 환경 기초 및 기반 기술) 개발 사업의 세부과제 -지구 대기 조성 변화 감시의 제2단계 제 3차년도 연차 보고서: 연구기관-기 상청, 기상연구소, 152-155.
- EPA (1997) Mobile Source Emission Factor Model (MOBILE5a), U.S. Environmental Protection Agency, Office of Mobile Sources, EPA. Ann Arbor, Michigan.
- IPCC (1995) Climate change 1995 - The Science of Climate Change (Including Summary for Policymakers). Report of IPCC Working Group I.
- IPCC (1996) Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (3 volumes).
- IPCC (1997) The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability (Including Summary for Policymakers), A special Report of IPCC Working Group II.