

OA8) 대기경계층 하부의 오존 분포 특성

박종길, 김석철*

인제대학교 환경공학부/대기환경정보연구센터/대기환경정보
공학과

1. 서 론

최근 오존주의보 발령 횟수가 늘어나고, 대류권내의 오존의 농도가 인류의 건강과 곡물, 식생, 산림의 감소에 영향을 주고 있으므로 관심이 모아지고 있다. 식생이나 도시 구조물에 의한 대기 중 오존의 제거 또는 감소를 정량화 할 수 있다면 식물의 피해 뿐아니라 인간의 건강에 대한 악영향을 최소화 할 수 있을 것이다.

특히, 오존은 그 자체가 환경기준의 주요항목으로 주요 환경 오염물질인 것은 물론 이산화질소, 부유분진, 산성안개, 산성비 등의 2차 생성에 의한 대기오염현상에도 깊이 관여하고 있다.

이러한 오존의 피해를 줄이고 대기질을 개선하기 위한 최근 국내의 연구를 보면 특정지역에 대한 지상의 오존농도분포 특성을 분석한 것과 기상요소와의 관계를 이용한 오존 농도 예측 및 사례 연구는 다수 있으나, 대기질 개선을 위한 오존 제거 기작이나 오존 제거에 영향을 주는 parameter 도출과 관련된 고도별 오존농도 관측 및 연구는 없는 실정이다.

대기의 열적 구조는 오존의 연직분포에 영향을 미치며, 오존의 연직분포는 대기대순환과 기후에 중요한 역할을 하고 있다. 오존의 연직분포를 구하는 방법은 오존존데나 로켓에 의한 직접관측방법과 간접적인 측정방법으로는 두 파장의 자외선 세기를 태양 천정각에 따라 동시에 측정하는 반전(Umkehr)법이 있다. 반전관측방법은 1929년 Götz에 의해 개발되어 개량되었고 현재는 돕슨 오존 분광광도계(Dobson Ozone Spectrophotometer)에 의해 응용되고 있다(조희구와 이재원, 1990). 오존존데는 자유대류권 및 성층권 하부에서의 오존수직분포를 알기 위한 기본적인 제원이다. 오존존데는 작고 가벼우며 단단한 풍선으로, 기압 및 습도, 온도와 바람 정보와 같은 기상변수의 관측과 자료송신을 위한 라디오존데와 인터페이스가 연결되어있다. 비양되는 패키지의 총 무게는 1kg 미만으로 작은 라텍스(latex) 기상 풍선에 실어 비양하며, 존데에 의해 관측된 자료는 원격으로 지상의 송신기에 수신된다.

본 연구는 식생이나 인간에게 직접적으로 영향을 미치는 대기경계층 하부에서의 오존 농도의 범위와 그들의 변화 특성을 연도별, 월별로 분석하고 각 연도별 가장 높은 오존 농도 profile을 나타낸 월에 관측되었던 자료 가운데 가장 농도가 높게 나타난 날을 사례일로 선정하여 대기경계층 하부 고도별 오존농도의 변화를 살펴보고자 하며 지면으로의 오존 침적 및 제거에 대한 정보를 제공하고자 한다.

2. 자료 및 분석 방법

대류권 하부 고도에 대한 오존 농도의 profile에 대한 연구를 위해 사용한 오존 농도 자료는 포항기상대에서 관측한 오존 농도 자료를 2001년 5월부터 2005년 12월까지 5년간의 자료를 사용하였다.

포항기상대에서 매주 수요일 006UTC에 관측하고 있는 오존존데는 라디오존데에서 매 5초마다 송신되는 기압(hpa), 지오폠펜셜 고도(m), 기온(°C), 상대습도(%), 가온도(°C), 이슬점온도(°C), 습윤건조감율(°C/km)과 함께 오존분압(mPa)을 측정하고 있으나, 날씨에 따라 관측이 이루어지지 않은 날도 있다.

포항기상대에서 사용하는 존데(EN-SCICorp. model Z ECC-O3-Sonde)는 전기화학적 감지방법을 사용하며, 이는 가장 널리 이용되어지는 방식으로 ECC(Electro-chemical Concentration Cell) 존데라고 불린다. 오존존데는 습윤한 화학 장비로서 잘 알려져 있는 오존에 의한 요오드화칼륨(KI)의 산화과정에서 기본으로 한다.

본 연구는 인간의 생활에 영향을 미치는 대기경계층 가운데 지상 300m 이내의 고도에서 오존의 분포 특성을 살펴보고자 하였으며, 연도별 오존농도의 고도에 따른 분포 특성을 월별, 계절별로 살펴보고 특히 농도가 높게 나타난 월의 특성을 사례로 고도별 농도 분포 특성을 알아보하고자 한다. 아울러 고도별 기온과 습도 등 기상요소와의 관계를 비교 분석하고자 한다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 연도별 고도에 따른 오존 농도 분포 특성

2001년도 포항지점의 오존농도는 봄과 여름철에는 오존 농도가 높게 나타났으며 특히 5월에 가장 높게 나타났다. 가을철인 11월에도 농도가 다소 높게 나타났다. 하계에는 7월이 상대적으로 농도가 낮게 나타났으며, 고도에 따라 농도의 증감이 교대로 나타나 가을과 겨울에 비해 대류권 하부고도에서는 농도변화가 크게 차이가 남을 알 수 있다. 이는 대류권내 공기 혼합이 가을과 겨울에 비해 높은 고도까지 이루어지며 기온에 따른 오존의 반응이 크게 나타나기 때문으로 사료된다.

2002년은 대류권 하층의 오존 농도는 하계에 높고 동계에는 낮아지는 계절성을 잘 나타내고 있으며, 특히 6월에 가장 높은 농도를 나타내고 있으며, 3월이 가장 낮은 농도를 나타내고 있다. 농도범위는 6월의 경우 지상 200m 이하에서 가장 높게 나타났다. 하계기간 동안에는 8월이 상대적으로 낮은 농도를 나타내고 있다. 9월은 5월과 유사한 농도분포를 나타내고 있음을 알 수 있다.

2003년도 포항 지점의 오존 농도는 2002년과 마찬가지로 하계에 높고 동계에는 낮아지는 농도 분포를 나타내고 있다. 특히 5월부터 농도가 증가하기 시작하여 6월이 가장 높은 농도를 나타내고 있으며 2002년과 달리 7월이 상대적으로 낮은 농도를 나타내고 있다. 9월은 2002년과 같이 농도가 높게 나타났으며 10월에도 고도에 따라 차이는 있으나 대체로 4.5 ppm 이상으로 높게 나타나고 있다. 농도범위는 대류권 하층이 모두 2002년에 비해 다소 낮으나 다른 월에 비해 높은 분포를 나타내고 있으며, 100-200m 고도에서 가장 높게 나타나

고 있다.

2004년도 포항 지점의 대류권 하부의 오존농도 분포는 전년도와 유사한 농도분포를 나타내고 있으며 하계는 높고 동계에 낮아지는 분포를 나타내고 있으나, 4월과 9월이 더 높은 농도를 나타내 전년도에 비해 다소 다른 양상을 나타내고 있다. 고도에 따른 하계 농도범위는 전년과 유사하게 나타났으며, 4월과 9월이 100m 전후 고도에서 높은 농도를 나타내어 고도에 따른 농도 분포가 월별로 연도별로 다소 차이가 있었음을 알 수 있다.

2005년도 포항 지점의 대류권 하층의 오존농도 분포는 전년과 마찬가지로 하계에 농도가 대체로 높으며 동계에는 낮아지는 농도분포 특성을 나타내고 있다. 특히 7월에 농도가 가장 높게 나타났으며 8월은 상대적으로 낮게 나타났으며 봄철에는 5월이 가장 높게 나타나 다른 해와 차이를 가지고 있으며, 3월에도 높게 나타났다. 또한 가을철에는 9월보다 10월에 더 높게 나타났다. 이러한 현상은 고도별로도 동일한 분포를 나타내었다.

따라서 포항지방의 대류권 하부의 오존 농도 분포는 지상 오존 농도분포와 하계에 농도가 높게 나타나고 동계에는 낮아지는 특성을 나타내었으며 고도에 따른 오존 농도는 대체로 지상 100-200m 이내에서 높게 나타났다.

하계에도 년도에 따라 농도가 상대적으로 낮아지는 월이 달랐으며 대개 8월이 농도가 낮게 나타났다. 이는 대류권 오존의 생성과정에 필요한 태양의 에너지가 6월과 7월에 비해 8월에 에너지 강도가 낮아졌기 때문으로 생각되며 하계에는 다른 계절에 비해 고도별 농도 차이가 크게 나타나 공기 혼합과 오존의 반응성이 크게 영향을 준 것으로 사료된다.

3.2. 사례별 오존 농도 profile 분포 특성

앞 절에서 살펴본 연도별 대류권 하부고도에서의 오존 농도분포에서 가장 오존 농도가 높았던 월을 선정하여 관측되어진 날들의 오존 농도 profile 을 조사하여 그 특성을 살펴보고자 한다. 선정되어진 날들은 2001년의 경우 5월로 5월 9일과 16일, 26일의 사례 가운데 농도가 가장 높게 나타난 5월 9일 사례일로 선정하였으며, 같은 방법으로 2002년은 6월 12일, 2003년은 6월 5일, 2004년은 9월 30일, 마지막으로 2005년은 7월 20일을 사례일로 선정하였다.

사례일로 선정된 2001년 5월 9일은 대기경계층 하부에서는 고도에 따라 농도가 증가하다가 지상 277m 고도에서 가장 높은 농도를 나타내었으며 그 이후 점차 감소하는 경향을 나타내고 있다. 고도별 기온이나 습도, 가온도와 노점온도의 특이한 변화는 없었으나 습윤단열기온감율이 이 고도에 작게 나타났으며 그 이상의 고도에서는 비슷한 기온감율분포를 나타내 공기 혼합이 이 고도까지 잘 이루어졌기 때문으로 사료된다.

2002년도 사례일은 고도에 따라 오존농도가 점차 감소하는 것을 알 수 있다. 지상 41m 고도에서 가장 농도가 높은 농도를 나타내었으며 그 이상의 고도에서는 급격히 감소하였다가 상승하는 경향을 나타내 대기경계층 하부에서는 지표 가까운 곳에서 고농도를 나타내어 지표부근의 대기 상태에 따라 농도 분포가 상당히 다른 분포를 보여줄 수 있음을 알 수 있다.

2003년도 사례일은 2002년과 유사하게 지상 146 m고도에서 높은 농도를 나타내었다가 633 m에서 다시 최고 농도를 나타낸 후 점차 감소하고 있음을 알 수 있다. 따라서 대기경계

층 하부고도에서는 지상 150-300 m 이내에서 최고 농도를 나타내는 특징을 알 수 있는데 이는 고도에 따른 노점온도와 기온감율이 대체로 높은 상관관계를 나타내 공기층의 혼합과 깊은 관계가 있음을 알 수 있다.

2004년도 사례일은 지상 249m 고도에서 대기경계층 하부 가운데 비교적 높은 농도를 나타내었고, 962m 구도에서 가장 높은 농도를 나타내었다. 인간이 거주하는 지상부근에서는 249m 고도에서 가장 높은 농도를 나타내었다.

2005년도 사례일은 지상부근에서 고농도를 나타낸 후 점차 감소하는 경향을 나타내어 각 연도별 대기경계층 하부에서 고농도 오존을 나타내는 경우 공기의 혼합 정도와 관련이 있는 것으로 사료된다.

따라서 대기경계층 하부의 오존 농도 분포는 공기의 혼합과 관계가 있는 기온감율의 경향과 다소 상관이 있는 것으로 판단된다. 특히 지상부근에 강하게 내려쬐이는 일사량에 의해 상하층의 기온 구배가 심할 경우 공기 혼합이 잘 이루어지며 이 것이 대기경계층 하부고도에서 최고 오존 농도를 나타내는데 영향을 주고 있는 것으로 사료된다. 하지만 이와 같은 추론은 몇몇 사례일에 대한 해석으로 모든 일대 대한 것으로 단정지을 수 없는 제한점을 갖고 있으며 향후 더 많은 사례에 대한 연구가 필요한 것으로 판단된다.

4. 결 론

대류권 하부 고도의 오존 농도 분포 특성을 알아보기 위하여 오존존대의 의해 관측된 포항지점의 오존 자료를 사용하여 대류권 하부의 오존농도 분포특성을 살펴본 결과 다음과 같다.

포항지방의 대류권 하부의 오존 농도 분포는 지상 오존 농도분포와 하계에 농도가 높게 나타나고 동계에는 낮아지는 특성을 나타내었으며 고도에 따른 오존 농도는 대체로 지상 100-300m 이내에서 높게 나타났다.

하계에도 년도에 따라 농도가 상대적으로 낮아지는 월이 달랐으며 대개 8월이 농도가 낮게 나타났다. 이는 대류권 오존의 생성과정에 필요한 태양의 에너지가 6월과 7월에 비해 8월에 에너지 강도가 낮아졌기 때문으로 생각되며 하계에는 다른 계절에 비해 고도별 농도 차이가 크게 나타나 공기 혼합과 오존의 반응성이 크게 영향을 준 것으로 사료된다. 그리고 대기경계층 하부의 오존 농도 분포는 습윤기온감율의 경향과 다소 상관이 있는 것으로 이는 강한 일사량에 의해 상하층의 기온 구배가 심할 경우 공기 혼합이 잘 이루어지는 것으로 사료된다.

하지만 이와 같은 추론은 몇몇 사례일에 대한 해석으로 모든 일에 대한 것으로 단정지을 수 없는 제한점을 갖고 있으며 향후 더 많은 사례에 대한 연구가 필요한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 2001년도 인제대학교 학술연구조성비 보조에 의한 것임.

참 고 문 헌

- 이종범, 장명도, 김용국, 조창래, 방소영, 1999, 서울시 오존농도 연직분포의시간변화, 한국 대기환경학회 1999 추계학술대회 논문집, pp.61-62.
- 이종범, 장명도, 남창진, 김민영, 이민환, 여인학, 2000, 서울시 북부지역의 오존 연직분포 측정, 한국대기환경학회 2000 추계학술대회 논문집, pp.160-161.
- 조희구, 이재원, 1990, 반전 관측에 의한 서울의 연직오존분포, 한국기상학회지, 26(4), 216-228.
- 지구대기감시보고서, 2001, Report of Global Atmosphere Activities 1994-2000, 1-5.
- 지구대기감시보고서, 2002, Report of Global Atmosphere Activities 1994-2001, 1-2.
- 방소영, 조경숙, 최재천, 최병철, 김성균, 오성남, 2004, 차등흡수방식의 오존라이다 시스템을 이용한 한반도 성층권 오존농도 관측, 한국기상학회지, 40(2), 217-228.
- Cavender, K. A., 1988, Measurement of a vertical ozone concentration profile in a slash pine forest, A Thesis presented to the graduate school of the University of Florida in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of Engineering, Univeristy of Florida, pp.77.
- Wark, K. and C. F. Warner, 1981, Air pollution : Its origin and control, second edition. New York: Haper & Row.
- Lippmann, M., 1988, Health significance of pulmonary function to airborne irritants, J. of Air pollut. Control Assoc., 38, 881-887.
- Kelly, N. A., G. T. Wolff and M. A. Ferman, 1984, Sources and sinks of ozone I rural areas, Atmos. Environment, 18, 1251-1266.