

SM13) 우리나라의 오존농도 변화 추이와 주요 인자

Trends and Factors of Ozone Concentration Variations in Korea

김영성, 오현선

한국과학기술연구원 지구환경연구센터

1. 서론

20세기 후반 소비문화의 확산과 더불어 자동차 문화가 보편화되면서 전세계적으로 고농도 오존이 문제되고 있다. 1940년대 LA 지역에서 광화학 오염현상이 처음 발견된 이래 1970, 80년대 본격적으로 연구 투자가 이루어지는 동안 LA 지역의 이상적 기후와 오존 농도 변화는 광화학 오염의 전형이었다. 그러나 1990년대 들어, 지역규모의 오염물질 이동에 따른 광역 오염 (미국 동부), 종관풍이 약할 때 오염물질이 정체되며 발생하는 국지 오염 (유럽), 산성비 연구 과정에서 밝혀지기 시작한 강우와 구름의 영향들이 알려지며 오존 오염은 당초에 생각하였던 것보다 훨씬 복합적인 문제임을 인식하게 되었다.

미국 동부에서의 광화학 오염물질 이동을 조사한 OTAG (Ozone Transport Assessment Group)의 책임을 맡았던 Husar (1998)는 오존오염의 특성을 다음과 같이 요약하였다. (1) 한 지역의 오존 농도는 각기 특징적인 지구 규모와 지역 규모, 그리고 도시 규모 변환이 중첩된 결과이다. (2) 오존농도의 시간 변화는 지구 단위 (1-100년), 연단위, 주단위, 종관규모 (3-5일), 일단위 등 몇 개의 시간단위 변화로 분리할 수 있다. (3) 시간 변화는 오염물질 이동을 매개로 공간 변화와 연결된다. OTAG의 전형적 풍속인 3-5 m/s를 기준으로 할 때 종관 규모 변화는 1-2000 km, 일단위 변화는 25-400 km의 이동을 의미한다.

본 논문에서는 1991년부터 1997년까지 7년간 오존농도 변화 추이를 분석하고 변화 추이에 나타난 주요 인자의 영향을 조사하였다. 여러 변수 중 오존오염은 80 ppb 초과일수, 상위 5% 일최고 농도, 연평균 농도로써 추이를 분석하였고, 1차 오염은 CO와 NO₂ 연평균 농도로써 살펴보았다.

2. 추이 분석

최근 Jacob 등 (1999)은 2010년에는 동아시아의 오염물질 배출이 1985년의 3배가 되고 이와 같은 배출 증가로 인하여 미국의 오존농도가 서부는 2-6 ppb, 동부는 1-3 ppb 높아질 수 있음을 주장하였다. 우리나라는 21세기 초반 세계의 사회, 경제에 가장 큰 변수가 될 중국의 산업화의 직접 영향권에 있다. 그림 1은 95년부터 97년까지 3년간 평균과 91년부터 97년까지 7년간 연평균 농도 변화율이다. 서산, 목포, 제주 등 신설 측정소의 농도가 높고 강릉부터 광주까지 북동-남서 축의 농도 증가폭이 크다. 상대적으로 청정지역에 신설된 측정소들은 또한 남서쪽에 위치함으로써 이들 지점의 연평균 고농도는 기존 여천지역의 고농도와 함께 아시아 대륙의 영향을 의심케 한다. 그러나 보다 중요한 사실은 내륙에서도 오염물질 배출이 많은 북서-남동 축보다 상대적으로 오염이 덜한 북동-남서 축의 농도가 높고, 서울, 수도권권을 포함하여 모든 지역의 농도가 상승하고 있다는 점이다. 전자가 오염의 광역화를 의미한다면 후자는 기존 오염지역에서 고농도가 빈번하여 점에 따라 평균농도가 상승한 것으로 해석할 수 있다. 실제 80 ppb 초과일수 증가폭은 기존 오염지역인 북서-남동 축이 크다.

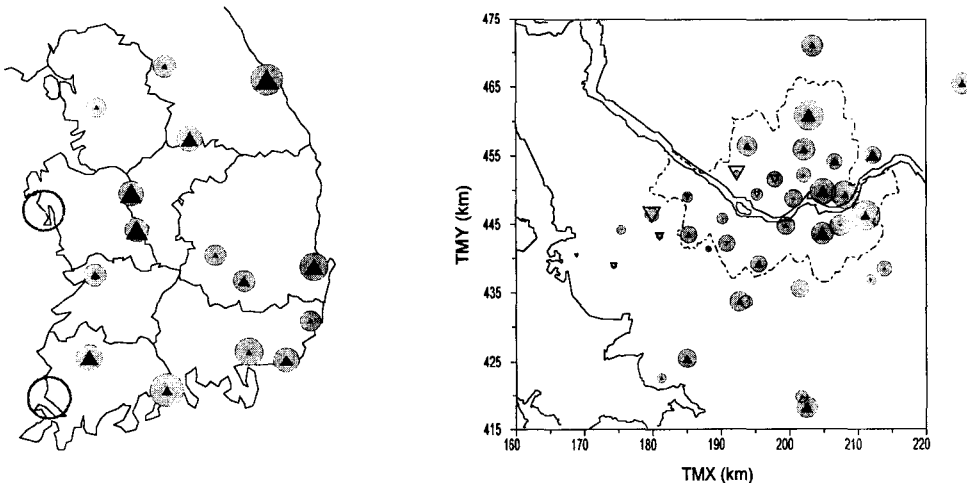
유사한 현상을 서울, 수도권에서도 관찰할 수 있으나 국지 변화가 크다. 전체적으로는 서울 도심과 서부의 오염도가 감소한 반면 북부와 동부 등 나머지 지역의 오염도가 증가하고 있다 (그림 2). 방이, 쌍문, 구의는 1990년대 초반에도 오염도가 높았으나 최근에는 모두 최고 수준으로, 80 ppb 초과일수, 일최고 농도 뿐 아니라 연평균 농도 역시 높다. 신림은 여전히 서울, 수도권에서 가장 청정한 지점의 하나로 연평균 농도가 높으나 최근에는 초과일수, 일최고 농도도 중위권 수준으로 높아졌다. 영향의 한계에 대하여 논란이 있을 수 있으나 오염이 광역화하고 있음은 분명하다. 전국적으로는 대전과 포항의 오염 증가가, 서울, 수도권에서는 대치와 구리 수택의 오염 증가가 두드러진다.

3. 주요 인자

김영성 등 (1998)은 우리나라 오존 오염의 주요 이슈를 (1) 경제 조건에서의 국지적 농도 상승, (2) 오염물질의 장거리 이동에 의한 광화학 오염의 잠재성 변화, (3) 구름과 강우의 영향으로 요약하였다. 도식적으로는 아시아 대륙의 영향이 광범위하게 배경을 이룬 가운데 낮은 풍속, 여름철 강우, 복잡 지형 등으로 내륙에서는 국지 변화가 커지는 것으로 볼 수 있다. 이에 따라 해안지방에서는 대륙의 영향이 관찰되나 내륙으로 진입하면 일부 청정지역을 제외하고는 국지 영향이 지배적이다. 낮은 풍속의 바탕 위에서 복잡 지형은 오존오염의 광역화를 억제할 수 있으나 국지 배출에 의한 고농도 발생을 촉진시킬 수 있다. 도심에서는 밀집된 대형 건물이 교통 수요를 유발하여 배출을 증가시키고 바람을 막아 정체를 일으킴으로써 고농도 발생을 용이하게 할 수 있다. 차량 수의 증가에도 불구하고 대부분의 지역에서 CO가 현저하게 감소하였으나 중국의 산업화는 여전히 큰 위협이다. 중국의 오염물질은 편서풍을 따라 황해를 건너게 되는데, Sillman 등 (1993)은 물 위에서는 혼합고가 낮아 오염물질의 농도가 높은 대신 침적이 작아 고농도 오존 생성에 유리함을 지적하고 있다.

참고 문헌

- 김영성, 김용표, 심상규, 문길주 (1998) 우리나라 광화학 오존 연구의 현황과 문제점, 과제, 한국대기보전학회 추계학술대회, 11월 13-14일, 영남대학교, 논문 번호 SL1(SM).
- Husar, R. B. (1998) Spatial pattern of 1-hour and 8-hour daily maximum ozone over the OTAG region, *A&WMA's 91st Annual Meeting & Exhibition*, June 14-18, San Diego, CA, U.S.A., Paper No. 98-MA2A.01.
- Jacob, D. J., J. A. Logan and P. P. Murti (1999) Effect of rising Asian emissions on surface ozone in the United States, *Geophys. Res. Letters*, **26**, 2175-2178.
- Sillman, S., P. J. Samson and J. M. Masters (1993) Ozone production in urban plumes transported over water: photochemical model and case studies in the Northeastern and Midwestern United States, *J. Geophys. Res.*, **98**, 12,687-12,699.



(\) Fig. 1. Annual mean ozone concentrations by regions in Korea. (↑) Fig. 2. Number of days exceeding 80 ppb at air quality monitoring stations in the Greater Seoul Area. In Figs.

1 and 2, size of shaded circles denotes the relative mean concentration or number of days between 1995 and 1997. Sizes of solid and open triangles denote the rates of increase and decrease, respectively, between 1991 and 1997. The rate of change does not appear at three regions in the west in Fig. 1 since the monitoring stations at those regions started the operation in 1995.