

박종길\*, 최유진

인제대학교 환경시스템학부

## 1. 서론

오존은 광화학 스모그의 원인 물질인 광화학 옥시단트의 대표 오염물질로써 1954년 이후 미국 L.A.에서 발생한 스모그 현상에서 Haagen Smit가 규명한 이래 대기중 오염물질로써 중요성이 인식되기 시작하여 환경상의 영향과 저감방안들이 연구되어 오고 있다. 오존은 대기환경기준이 정해진 오염물질 중에서 저감시키기 가장 어려운 물질로서 많은 국가에서 대기질 개선정책을 계획하는 지표로 사용하고 있다. 특히 최근에는 오존형성의 이동성, 광역성과 산림피해에 대한 연구보고 등으로 전지구적인 환경문제로 주목을 받게 되었다. 광화학 옥시단트 중에서 오존은 비교적 측정하기가 쉽고 광화학스모그 발생 정도와 높은 상관관계를 가지고 있어 오존 농도를 광화학 스모그로 인한 대기오염의 척도로 관측하는 것이 일반적이다.

국내의 경우 1995년 7월부터 서울지역에 오존 경보제가 도입되면서 이래 최근 잦은 오존주의보의 발령과 함께 대기오염물질로써 오존에 대한 관심이 증대되고 있다. 오존의 1시간 평균농도의 환경기준 초과회수가 점차 증가하고, 초과 지역도 대도시에서부터 광역화되고 있으며 최고 오염농도 또한 증가하는 추세이다. 문제의 심각성은 최근 자동차 운행의 급증과 유류 및 유기용제의 사용증대로 NO<sub>x</sub>, VOC와 같은 오염 물질의 배출이 증가하고 이 물질들과 태양광이 반응(광화학반응)하여 생성된 오존과 같은 2차 오염물질에 의한 대기오염문제가 심각해지고 있다.

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

따라서, 본 연구에서는 먼저 부산 지역 7개 대기오염 측정망에서 관측한 시간별 오존 농도 자료를 이용하여 오존 농도의 일변화와 지역별 농도 특성을 기상학적인 측면에서 분석하였다. 아울러, 60ppb를 넘는 고농도 오존 발생에 대한 기상학적 조건 및 시간별, 월별, 지역별 빈도 특성을 조사하고자하며, 고농도 오존 episode의 발생과 결과 기상학적 관계를 밝혀보고자 한다.

## 2. 자료 및 방법

본 연구에서 사용된 자료는 크게 대기오염 농도 자료와 기상 자료로 나눌 수 있는데, 이 중 대기오염 농도 자료는 부산 지역의 환경부 산하 7개 대기질 자동 측정망(광복동, 범천동, 신평동, 덕천동, 감전동, 대연동, 명륜동)에서 자외선 광도법(UV Photometric Method)에 의해 측정된 1994년부터 1998년까지 5년간의 시간별 오존농도이다. 부산 지역의 대기질 측정망의 위치와 지형은 Fig. 1과 같은데 시청으로부터 서면, 연산동, 동래의

도심지를 지나는 골짜기와 신평동에서 하구언, 사상, 구포를 잇는 낙동강을 따라가는 골짜기로 크게 두갈래로 나눌 수 있다. 도심지를 지나는 곳에 광복동, 범천동, 명륜동 측정소가 있으며, 낙동강을 지나는 곳에 신평동, 감전동, 덕천동 측정소가 위치해 있다고 할 수 있다.

일별 측정 자료의 선택은 24시간 관측시간 중에서 70%(18시간)이상 측정된 자료를 유효자료로서 취급(Larsen, 1973)하였으며, 최근 몇 년간의 자료를 검토한 결과, 부산 지역에서 유효하다고 판단되는 1994년, 1995년, 1996년, 1997년 그리고 1998년(5년간)의 자료가 유효자료로 선택되었다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 고농도 episode 선정

본 연구에서는 일본이나 WHO 권고 기준치를 적용하여 부산지역 7개 측정지점에서 1시간 평균 60ppb 이상의 오존 농도가 나타난 날은 고농도 오존일로 선정하고, 그에 대한 분석을 행하였다.

#### 3.2 고농도 오존의 발생 빈도

Table 1은 본 연구에서 고농도 오존일로 선정된 WHO 권고 기준치인 60 ppb와 우리나라에서 연중 3회 이상 초과되어서는 안되는 1시간 평균 농도 100 ppb, 그리고 그 사이 값인 80ppb를 분석 기준으로 선정하여 측정 지점별 각 기준의 초과 농도일의 발생 빈도를 조사한 것이다.

Table 2. Occurrence frequency of a ozone episode day( $\geq 60$ ppb) in air quality monitoring sites in Pusan for last 5 years (1994 ~ 1998)

동	달												합계	연평균
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
광복동	4	·	1	6	18	20	19	30	42	26	9	8	183	36.6
범천동	·	·	1	1	10	10	4	15	19	1	1	·	62	12.4
신평동	·	·	1	7	15	15	14	13	31	10	1	·	107	21.4
덕천동	·	·	·	·	·	5	21	31	29	7	1	·	94	18.8
감전동	·	·	·	·	5	9	3	16	15	1	·	·	49	9.8
대연동	·	·	·	6	19	16	11	14	20	8	·	·	94	18.8
명륜동	1	·	2	5	14	16	5	13	13	3	·	·	72	14.4
합계	5	·	5	25	81	91	77	133	169	56	12	8	661	
비율(%)	0.76	·	0.76	3.78	12.25	13.77	11.65	20.12	25.57	8.47	1.82	1.21		

#### 3.3 지역별 오존 농도의 상관관계

Table 7은 최근 5년간(1994~1998)의 측정지점간 일 최고 오존 농도의 상관관계를 나타낸 것으로 전반적으로 각 지점간의 상관관계를 나타낸 것으로 전반적으로 각 지점간의 상관관계수는 0.52~0.75 사이의 값을 나타내었다. 가장 상관관계가 큰 지점은 덕천동과 감전동으로 상관관계수가 0.75, 가장 작은 지점은 대연동과 광복동으로 0.53으로 나타났다.

Table 7. Correlation of daily ozone values measured at the various air quality monitoring sites in Pusan for last 5years(1994~1998).

	광복동	범천동	대연동	감전동	덕천동	신평동
광복동	1.00000	0.60081	0.52656	0.61173	0.61347	0.53148
범천동		1.00000	0.60599	0.63163	0.58657	0.55071
대연동			1.00000	0.55988	0.60999	0.58002
감전동				1.00000	0.74967	0.59292
덕천동					1.00000	0.55420
신평동						1.00000

### 3.4. 고농도 오존 발생 일의 기상 특성 분석

연구기간동안 고농도 오존이 최소 한 지점 이상에서 발생한 661일(1994년: 78일, 1995년: 46일, 1996년: 159일, 1997년: 152일, 1998년: 226일)의 고농도 오존 발생 일에 대한 기상조건(일 최고기온, 일 평균 풍속 등)을 분석하였다. 일 최고 기온을 보면, 6℃부터 36℃까지 넓은 구간에 걸쳐 분포하고 있으나, 22℃이상이 전체의 88.67%, 27℃이상이 전체의 65.54% 정도로서 고농도 오존 발생의 주요 경계치를 설정하고 있다. 그러나 기온이 너무 높을 때에는 강한 대류 및 난류의 발생으로 인해 대기가 불안정화 됨으로써 생성된 오존의 희석을 촉진하기 때문에 고농도 오존 사건 발생빈도가 오히려 낮아지는 것으로 알려져있다.

광복동의 경우에는 28℃에서, 범천동, 명륜동, 대연동은 29℃에서, 감전동과 덕천동은 34℃에서 고농도 오존의 발생률이 가장 높았다.

일 평균 풍속은 대체로 1-3m/s 사이(73.49%)에 빈도가 집중되어 있으며, 거의 대부분이 5m/s 이하(94.22%)에 분포되어 있다. 광복동과 대연동은 3m/s에서, 감전동과 덕천동에서는 1m/s, 명륜동과 범천동은 2m/s에서 고농도 오존이 가장 많이 발생하는 것으로 나타났다.

광복동의 고농도 오존일과 상대습도와와의 관계를 보면 55%에서 85%사이 (전체의 81.42%)에 대부분 분포되어 있으나, 특히 60%에서 75% 사이(전체의 56.28%)에서 고농도 오존이 많이 발생한다.

### 3.5. 고농도 오존일과 관련된 종관기상학적 접근

기상 조건과 관계된 오존농도의 특징에 대한 고찰은 미래 오존농도를 예측하는 데 새로운 통찰력을 제시할 수 있다. 특히 종관적인 특성을 살펴보는 것은 고농도 오존이 발생할 수 있는 기상 조건 즉, 대기오염 포텐셜을 사전에 파악한다는 점에서 매우 중요하다. 중위도 지방에서 매일 매일의 일기는 주로 종관 규모의 대기순환에 의해 조절되는데, 이러한 순환은 특정지역의 기단 형태, 복사, 기온, 습도, 기압 등을 지배하고 아울러 지표 오존농도에도 중대한 영향을 미친다.(Comrie and Yanal, 1992; Davies et al., 1992).

이러한 연구관점에서, 부산 지역에서의 고농도 오존 발생일과 직관된 종관 환경을 구별하기 위하여 연구 기간 동안의 고농도 오존 발생일인 330일 중 일본 기상청 발행의 천기도(일본 기상청, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998)가 있는 328일을 분석한 결과 6가지 형태의 종관 패턴으로 분류할 수 있었다.

#### 4. 결 론

부산 지역의 7개 대기오염 측정망의 1994~1998년의 시간별 오존 농도 자료를 이용하여 오존농도의 일변화와 지역별 농도 특성, 고농도 오존 발생일의 기상 특성을 분석하였다. 아울러 60ppb를 넘는 고농도 오존 발생일에 대한 기상학적 조건과 시간별, 월별, 지역별 빈도 특성과 오존 발생일과의 관계를 정량적으로 분석하였으며, 고농도 오존 발생일과 그 날의 기상학적 특성간의 관계를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 부산의 모든 지점에서 15시를 전후하여 최고농도를 나타내었으며, 19시가 지나면 농도는 낮아진다. 다시 새벽 2시에서 5시 사이에 2차 정점이 발생하고, 아침 7시와 8시 사이에 오존 농도가 급격히 낮아지는 전형적인 일 변화 현상이 나타났다.

(2) 고농도 오존일(60ppb이상)의 발생은 지난 5년간 총 330일 발생했고, 지점별로 분석하였을 때 661회 발생하였다. 해가 감에 따라 고농도 발생 횟수는 점차 증가하고 있는데, 1998년에는 1997년보다 약 1.5배가 증가하였다. 지역별로는 광복동과 신평동에서 발생 빈도가 비교적 높게 나타났다. 그리고 고농도 오존 발생 일의 종관 기상학적인 형태는 고기압의 중심이 한반도를 이동하면서 영향을 주는 Migratory Anticyclone 형이 가장 우세하였고, 장마전선이 우리 나라에 접근 또는 걸쳐 있거나 만주로 북상하는 Summer Weather Pattern형이 그 다음으로 높게 나타났다.

(3) 고농도 오존 발생이 용이한 기상 조건은 일 최고 기온이 25℃이상, 일 평균 풍속 5m/s 이하, 상대습도 85% 이하, 일조시간 9시간 이상이었다.