

관악과 시청의 요일별 오존 농도 : 1996~2000년 측정자료

The Daily Ozone Concentrations at Gwanak and City Hall: Measurement Data between 1996 and 2000

김 정 화 · 김 용 표*

이화여자대학교 환경학과

(2003년 7월 10일 접수, 2003년 9월 16일 채택)

Jung Hwa Kim and Yong Pyo Kim*

Department of Environmental Science and Engineering, Ewha Womans University

(Received 10 July 2003, accepted 16 September 2003)

Abstract

Characteristics of the ozone concentrations in Seoul were analyzed for the data between May and September from 1996 to 2000. Observation data from 27 stations in Seoul are used. Among the results from 27 stations, representative results from 2 stations (City hall and Gwanak representing downtown and background areas of Seoul, respectively) are presented. The 24-hour average ozone concentrations of Gwanak (28.6 ppb) are higher than City hall (14.9 ppb). The 24-hour average ozone concentrations on Sunday are higher than other days at both sites. During weekday, the 24-hour average ozone concentrations on Wednesday are higher than other days. Although the mean of the 1-hour daily maximum ozone concentrations at Gwanak is higher than City hall, the ozone concentrations above 95th percentile at City hall are higher than Gwanak. As a result, the number of days on which the 1-hour ozone concentration exceeding 100 ppb and 120 ppb at Gwanak (17 and 3) are lower than City hall (29 and 9). To sum up, both sites are VOCs limited region and the mean ozone concentration in Gwanak is higher because of the lower NO₂ concentration. But high ozone cases occur more frequently in City hall when conditions are right.

Key words : O₃, NO₂, NO, Seoul

1. 서 론

광화학 스모그 현상은 서울과 수도권 지역을 중심으로 중요한 사회 현안으로 부각되고 있다. 광화학 스모그가 발생하면 나타나는 전형적인 현상은 이차

에어로졸 생성에 의한 가시거리 감소와 오존 농도 상승을 들 수 있다. 대부분이 미세입자로 이루어진 이차 에어로졸과 오존은, 오존 전구 물질인 NO_x와 VOCs (Volatile Organic Compounds, 휘발성 유기 화합물) 사이의 복잡한 광화학 반응으로부터 생성된다. 그러므로 서울의 광화학 스모그를 제어하기 위해서는 오존과 미세입자의 특성을 이해하는 것이 필수적이다. 우리나라 오존 연구는 1990년대 들어 활발하게 진

* Corresponding author

Tel : +82-(0)2-3277-2902, E-mail: satin79@empal.com

행되고 있는데, 특히 서울과 수도권 지역을 중심으로 연구가 진행되고 있다. 오인보와 김유근(2002)은 1993년부터 2000년까지 서울의 오존 농도가 지속적으로 상승하였음을 보여주었고, 김영성과 오현선(1999)은 서울의 수 킬로미터내에 인접한 측정소 사이에서도 고농도 발생 양상이 전혀 다름을 지적하였다.

오존을 생성하는 주요 전구 물질 중 하나인 질소산화물의 배출이 서울 지역에서는 주로 교통 활동과 난방 활동에서 발생한다(허국영, 2001). 이러한 인위적인 활동은 오존의 연간 변화와 계절적 변화와 함께 요일에 따른 일주일 변화를 가진다. Dolislager(2001)는 주요 배출원이 밀집해 있는 도심지역에서 주중보다 주말의 오존 농도가 더 높게 나타났음을 지적하고, 이 결과를 토대로 효과적인 배출감소 정책을 세우고 있다. 우리나라도 배출원 변화에 따른 요일별 오존 농도 변화 경향을 알 수 있다면, 효과적인 질소산화물 배출 감소 정책을 통해 오존 농도를 줄일 수 있을 것이다.

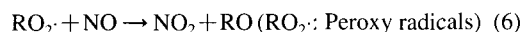
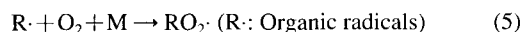
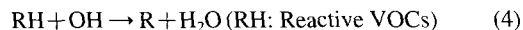
이 자료는 1996~2000년까지 서울의 27개 측정소를 대상으로 오존 농도가 증가하는 시기인 5~9월 사이 요일별 24시간 평균과 1시간 평균 O_3 , NO_2 , NO 농도 변화 자료를 살펴본 것이다. 그리고 그 가운데 관악과 시청 두 측정소의 요일별 1시간 평균 일 최고, 일 최저 농도 분포와 고농도 오존 초과 횟수를 비교 분석하여 시청과 관악의 요일별 오존 농도 변화 특성을 살펴보았다. 그리고 이 결과를 토대로 시청과 관악의 광화학 반응 특성에 대해서도 알아보고자 한다.

2. 오존의 생성반응

오존은 다음과 같은 경로를 통해 생성되고 파괴된다.



한편, VOCs는 다음과 같은 반응을 한다.



VOCs에서 생성된 중간 반응물들이 (6)의 반응에 의해 오존 대신 NO 를 NO_2 로 산화시킴으로써 오존의 생성과 소멸의 반응을 끊어 오존의 농도를 상승시킨다. 한편, 대기 중 NO_2 농도가 높으면 (7)의 반응에 의해 HNO_3 가 생성되어 NO_2 와 OH radical의 중탈반응이 일어나 오존 생성 반응물이 감소된다.

3. 연구방법

그림 1은 1996~2000년 기간 동안 서울의 대기 오염 자동 측정소 위치를 나타낸 것이다. 1996년과 1997년에는 측정소가 20개였지만, 1998년부터 2003년 현재까지 측정소는 모두 27개에 이른다. 이 연구는 1996~2000년 기간 동안 오존 철에 해당하는 5월부터 9월까지의 자료를 사용하여 분석하였다. 오존 철이란 고농도 오존이 많이 발생하는 기간으로 우리나라는 5월부터 9월까지의 기간이 여기에 해당된다. 우선 요일별 NO_2 , O_3 , NO 의 경향을 살펴보기 위해 24시간 평균 농도 경향을 알아보았다. 김영성(2000)에 의하면 평균 농도는 저농도부터 고농도까지 모두가 중요하므로 하루 중 시간수의 2/3 이상 측정치 유무를 기준으로 유효성을 판정하였다. 그리고 초과일수는 1시간 평균 오존 농도가 각각 100 ppb, 120 ppb를 초과하는가를 조사하였다. 1시간 평균 일 최고 농도는 최고 농도 값 자체가 중요하기 때문에 오전 5시부터 오후 10시까지 17시간 중 2/3인 11시간 이상 측정치가 있을 때만 일 최고 농도를 조사하였다.

이 원고에서는 27개 측정소 중 관악과 시청 두 곳의 요일별 NO_2 , O_3 , NO 의 특성을 제시하였다. 27개 측정소의 24시간 평균 NO_2 , O_3 , NO 의 경향을 살펴본 결과 G로 표시된 관악 측정소의 O_3 평균 농도는 28.6 ppb로 가장 높지만 NO_2 농도가 O_3 농도보다 훨씬 낮은 지역이었다. 반면 C로 표시된 시청의 24시간 평균 O_3 농도는 14.9 ppb로 다른 26개 측정소에 비해 훨씬 낮고 NO_2 농도가 O_3 농도보다 높은 지역이었다. 즉, 관악은 O_3 농도가 높고 NO_2 농도가 낮은 지역을, 시청은 O_3 농도는 낮고 NO_2 농도는 높은 지역을 대표한다. 서울대학교 안에 있는 관악 측정소는 주변이 관악산으로 둘러싸여 있어 비교적 녹지비율이 높다. 덕수궁 안에 있는 시청 측정소는 도심 지역

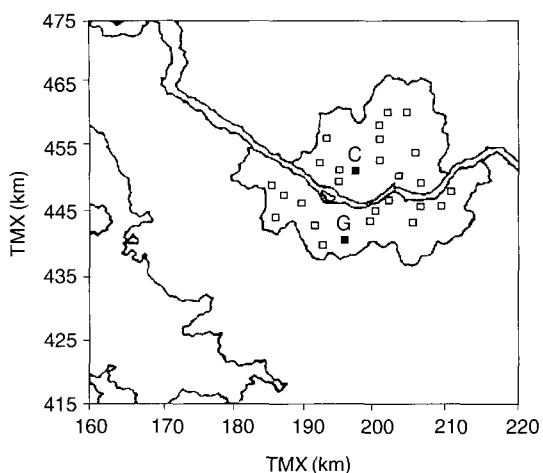


Fig. 1. Distribution of the ozone monitoring stations in Seoul during 1996~2000. (G indicates Gwanak, C indicates City hall.)

한 북판에 있어 차량 통행량이 많은 곳이다.

4. 결 과

4.1 요일별 24시간 평균 NO₂, O₃, NO 농도 경향

그림 2는 요일별 24시간 평균 NO₂, O₃, NO 농도 경향을, 표 1은 24시간 평균 NO₂, O₃, NO 농도의 표준편차를 나타낸 것이다. 관악의 전체 평균 오존 농

도는 28.6 ppb로 시청의 14.9 ppb보다 높다. 반면 NO₂ 농도는 관악이 13.6 ppb로 시청의 25.4 ppb보다 낮다. 일반적으로 관악 측정소가 시청보다 상대적으로 차량 통행량이 적기 때문에 NO₂ 농도가 낮고, 그러므로 오존 농도가 낮다고 생각될 수 있다. 그러나 오존을 생성하는 전구 물질의 하나인 NO₂ 농도가 관악이 더 낮음에도 불구하고 오존 농도는 시청보다 더 높게 나타났다. 만약 하루 중 일 최고 오존 농도가 고농도로(예를 들어 100 ppb 이상) 올라간다면 일 최고 오존 농도는 24시간 평균 오존 농도에 영향을 끼칠 수 있다. 또한 오존은 고농도일 경우 인체나 식생에 악영향을 미치므로 요일별 1시간 평균 일 최고 오존 농도의 경향을 살펴보았다.

4.2 요일별 1시간 평균 일 최고, 최저 오존 농도

그림 3은 1시간 평균 일 최고, 일 최저 오존 농도를 나타낸 것이다. 1시간 평균 일 최고 농도와 일 최저 농도 모두 관악이 시청보다 높다. 따라서 관악의 1시간 평균 일 최고 농도가 시청보다 높게 나타난 원인은 다음의 두 가지로 해석할 수 있다. 첫째, 관악의 경우 일 최고 농도 중 고농도(예를 들면 100 ppb 이상) 발생이 시청보다 더 빈번하고 그 농도도 더 높다면 관악의 1시간 평균 일 최고 농도는 시청보다 더 높다. 둘째, 고농도의 영향이 아니라면 관악과 시청의 1시간 평균 오존 농도에 영향을 특별히 많이 끼치는 농도 범위가 존재할 것이다. 영향을 많이 끼

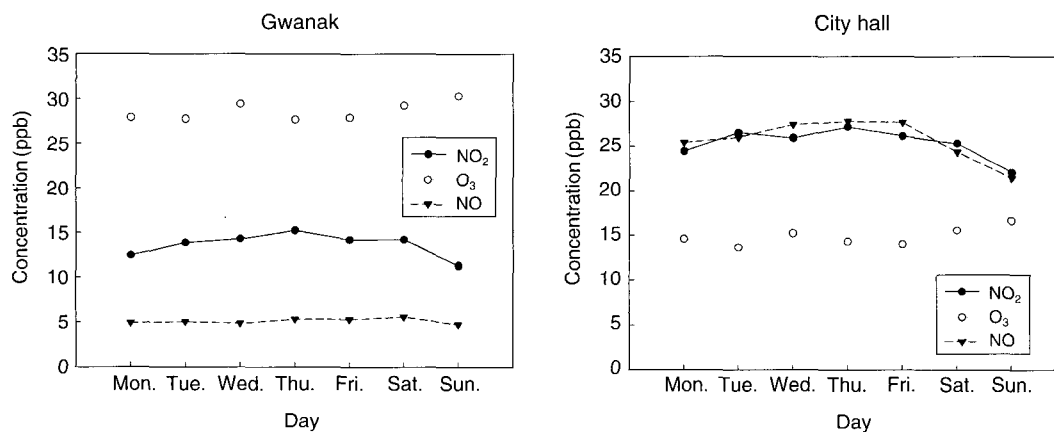


Fig. 2. Weekly trend of 24-hour NO₂, O₃ and NO concentrations.

Table 1. Mean and Standard deviation of 24-hour NO₂, O₃ and NO concentrations.

	Gwanak			City hall		
	NO ₂	O ₃	NO	NO ₂	O ₃	NO
Mon.	12.4 ± 10.94	27.9 ± 16.52	4.91 ± 5.14	24.4 ± 15.61	14.6 ± 15.96	25.4 ± 32.15
Tue.	13.8 ± 11.77	27.7 ± 17.09	5.03 ± 6.32	26.5 ± 16.22	13.6 ± 15.87	26.0 ± 31.10
Wed.	14.3 ± 13.21	29.4 ± 18.88	4.86 ± 6.53	25.9 ± 16.43	15.2 ± 18.16	27.4 ± 34.22
Thu.	15.2 ± 12.83	27.7 ± 17.52	5.35 ± 6.98	27.2 ± 17.20	14.3 ± 17.87	27.8 ± 32.58
Fri.	14.2 ± 12.80	27.9 ± 17.15	5.32 ± 6.59	26.1 ± 18.05	14.0 ± 16.27	27.7 ± 32.53
Sat.	14.2 ± 13.44	29.2 ± 17.98	5.57 ± 9.65	25.3 ± 17.17	15.6 ± 17.49	24.4 ± 29.85
Sun.	11.3 ± 11.27	30.3 ± 18.13	4.76 ± 5.21	22.1 ± 15.46	16.7 ± 18.56	21.4 ± 28.75

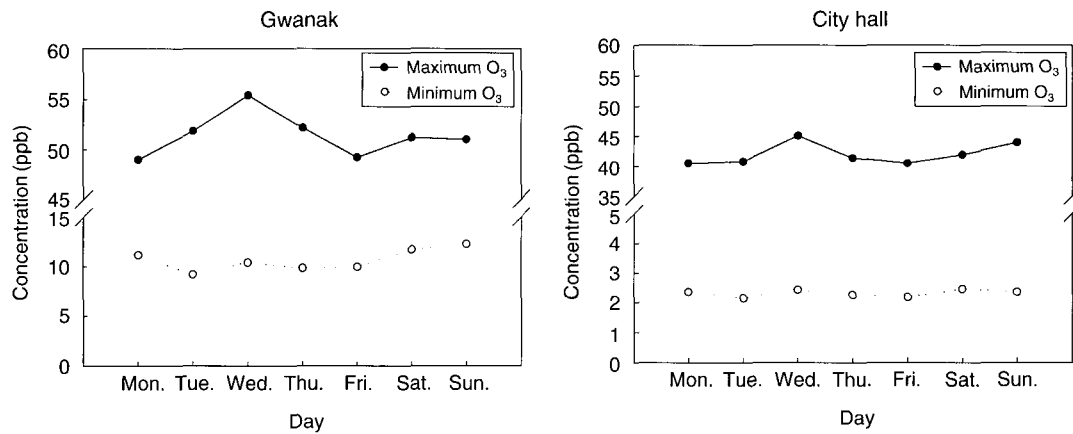


Fig. 3. Mean of the 1-hour daily maximum and minimum ozone concentration.

치는 농도 범위란 일 최고 오존 농도 중 발생 빈도 수가 많은 농도들을 말하는 것이다. 이 농도들이 시청보다 관악이 더 높다면 고농도의 영향이 아니라도 그림 3과 같이 관악의 1시간 평균 일 최고 농도는 시청보다 더 높게 나타난다. 그러나 그림 3으로는 이것을 설명하기 불충분하므로 1시간 평균 일 최고 농도 분포를 그림 4에서 살펴보았다.

그림 4는 1시간 평균 일 최고 값들의 분포를 box plot으로 나타낸 것이다. 아래부터 각각의 값들은 측정 자료의 5th, 10th, 25th, 50th, 75th, 90th, 95th percentiles를 나타낸다. 전체 1시간 평균 오존 농도의 절반에 해당하는 50번째 percentile 값들이 관악이 시청보다 모두 높다. 또한 금요일과 일요일의 90번째 percentile, 95번째 percentile 그리고 토요일의 95번째 percentile에 해당하는 농도 값을 제외한 관악 지역 대부분의 농도 값이 시청보다 높다. 그러므로 고농도의 영향으로 인해 관악의 1시간 평균 오존

농도가 시청보다 높은 것은 아니다. 25번째 percentile~50번째 percentile, 50번째 percentile~75번째 percentile 그리고 75번째 percentile~90번째 percentile에 해당하는 농도 값들은 대부분 시청이 관악보다 편차가 크다. 반면 5번째 percentile~10번째 percentile에 해당하는 농도 값들은 관악이 시청보다 편차가 크다. 편차가 크다는 것은 정규분포 곡선에서 더 넓게 퍼져있다는 것을 의미하므로 시청의 25번째 percentile~90번째 percentile에 해당하는 농도 값들이 더 넓게 퍼져 있다고 미루어 짐작할 수 있다. 또한 관악의 5번째 percentile~10번째 percentile에 해당하는 농도 값들이 시청보다 더 넓게 퍼져 있다는 것을 알 수 있다.

지금까지 관악과 시청의 요일별 24시간 평균 오존 농도와 1시간 평균 오존 농도를 살펴보았다. 24시간 평균 오존 농도와 1시간 평균 일 최고, 최저 오존 농도 모두 관악이 시청보다 높게 나타났다. 특히

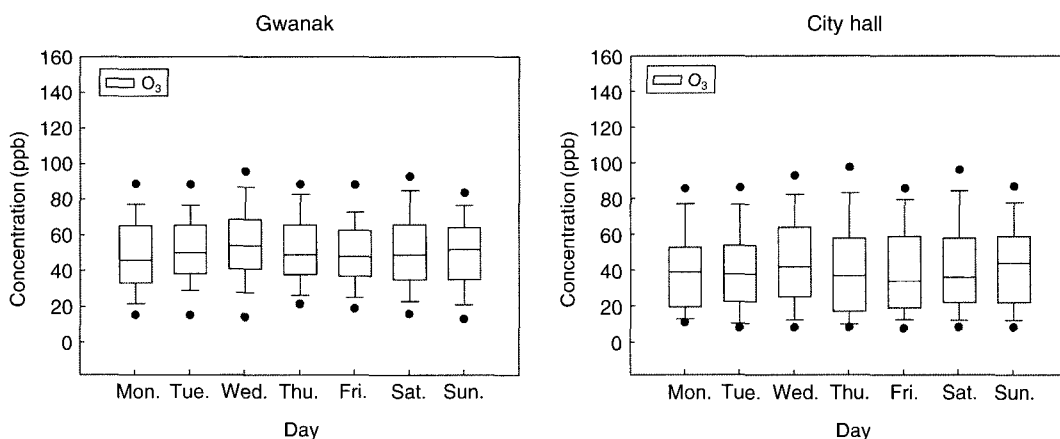


Fig. 4. Box plot comparison of trend in daily maximum 1-hour ozone concentration. Each box represents the 5th, 10th, 25th, 50th, 75th, 90th, 95th percentiles of the data.

그림 2에서 관악의 24시간 평균 오존 농도는 NO₂ 농도가 낮음에도 불구하고 높았는데, 이것은 NO₂와 VOCs가 OH radical과 경쟁적으로 반응하기 때문이다. 어떤 성분의 농도가 더 높은가에 따라 OH radical이 반응하는 정도가 달라진다.

시청은 NO₂ 농도가 관악에 비해 높기 때문에 관악에 비해 더 많은 OH radical이 NO₂와 반응한다. 즉, (7)의 반응에 의해 HNO₃가 생성되는데, 이것은 NO_x의 종말 반응으로써 더 이상 반응하지 않는다. 즉, 오존을 생성하는 전구 물질인 NO₂가 HNO₃를 생성하고, 이와 함께 VOCs와 반응을 시작하는 OH radical이 소멸되어 (4)~(6) 반응이 상대적으로 덜 진행되어 오존 농도는 감소하게 된다. 그러므로 시청의 NO₂ 농도는 높지만 오존 농도는 관악보다 낮게 나타난 것이다.

그림 2의 두 지역 모두 일요일 NO₂ 농도가 감소함에도 불구하고 오존 농도는 증가한다. 이것도 대기 중 OH radical과의 반응으로 설명할 수 있다. 일요일의 NO₂ 농도가 감소하였으므로 더 많은 OH radical이 VOCs와 반응하고, 이로 인해 반응(6)에서 더 많은 NO가 NO₂로 변환되어 오존을 축적하게 되므로 일요일 오존 농도는 증가하는 것이다. 즉, 두 측정소 모두 NO_x 과잉 지역인 것을 알 수 있다(박주연과 김용표, 2002; Kim *et al.*, 1999).

그림 2의 주중 변화를 보면 수요일에 오존 농도가 높고 목요일에 다시 낮아진다. 이 경향에 대한 연구

는 아직 충분치 않아 한 마디로 단정 지어 설명하기 힘들다. 그러나 굳이 말하자면 수요일 오존 농도의 증가는 오존 전구물질의 축적으로 설명할 수 있다(NRC, 1991). 오존과 VOCs에서 유도되는 OH radical은 대기 중 NO와 경쟁적으로 반응하는데, (3)의 반응을 통해 NO가 오존과 반응하여 NO₂를 생성한다. 수요일은 오존 농도가 높기 때문에 NO와 반응하여 생성되는 NO₂ 농도가 높아지게 된다. 높은 NO₂ 농도로 인해 다시 대기 중 OH radical은 VOCs보다 NO₂와 반응하게 된다. 즉, NO₂가 OH radical과의 반응을 통해 HNO₃로 되면서 종말 반응이 일어나고 결과적으로 오존이 소멸되는 쪽으로 반응이 진행된다. 그러므로 수요일에 높아진 오존 농도가 목요일이 되면서 다시 낮아지게 된다.

4.3 1시간 평균 오존 농도의 100 ppb, 120 ppb 초과 횟수

일반적인 생각과는 달리 그림 2의 24시간 평균 오존 농도와 그림 3의 1시간 평균 오존 농도 모두 관악이 시청보다 높았다. 그러므로 고농도 오존 영향의 여부를 알아보았다. 그림 5는 1시간 평균 오존 농도가 100 ppb, 120 ppb를 초과한 횟수를 나타낸 것이다. 관악은 100 ppb와 120 ppb를 초과한 횟수가 각각 17번과 3번이다. 반면 시청은 29번과 9번으로 초과 횟수는 시청이 더 높다. 즉, 24시간 평균 오존 농도는 관악이 더 높지만 고농도 오존 초과 횟수는 시청

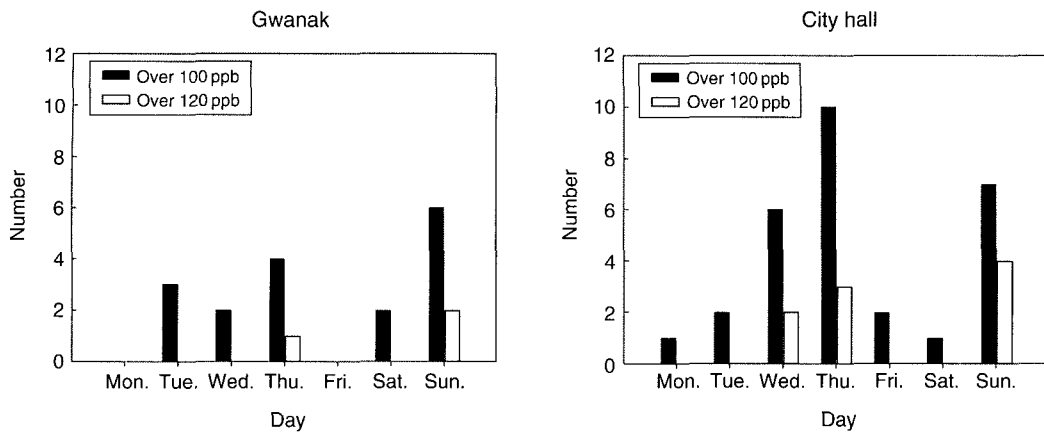


Fig. 5. The number of days exceeding 1-hour ozone concentration over 100 ppb and 120 ppb.

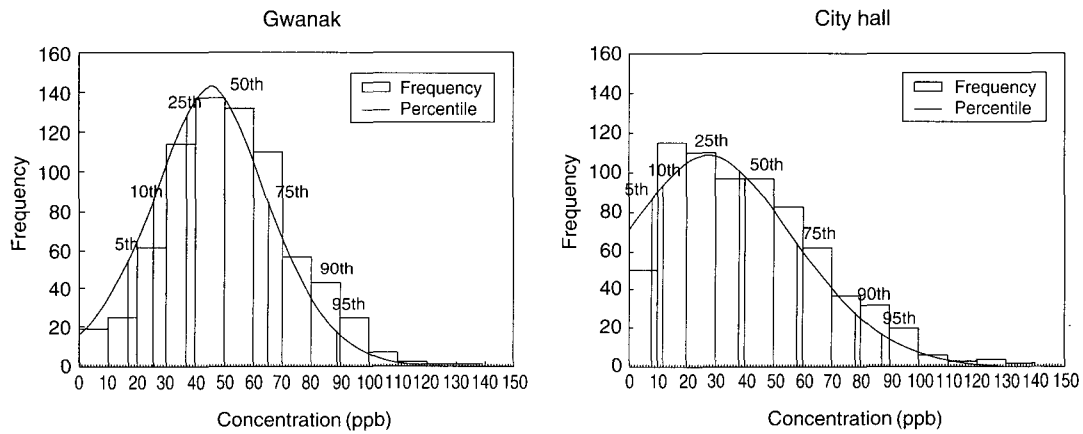


Fig. 6. Distribution of 1-hour daily maximum ozone concentration.

이 더 높다. 그러므로 관악의 높은 24시간 평균 오존 농도는 일시적인 고농도 오존의 영향 때문은 아니라는 것을 알 수 있다. 그리고 관악의 높은 1시간 평균 오존 농도 또한 간헐적인 고농도 오존의 영향 때문이 아님을 확실히 알 수 있다.

4.4 1시간 평균 일 최고 농도 분포

관악의 1시간 평균 일 최고 농도가 시청보다 높은 것은 그림 4에서 살펴보았듯이 관악의 1시간 평균 일 최고 농도에 영향을 많이 끼치는 특정 범위 농도 때문이었다. 그러나 그림 4만으로는 농도 분포를 자세히 알 수 없으므로 일 최고 오존 농도에 해당하는

날 수를 그림 6에 나타내어 오존 농도 분포를 살펴 보았다. 관악은 거의 정규 분포를 이룬 반면 시청은 그래프 모양이 왼쪽으로 치우쳐 있다. 0~30 ppb에 해당하는 날 수는 시청이 높은데 비해 30~110 ppb에 해당하는 날 수는 관악이 더 높다. 즉, 시청의 일 최고 농도는 저농도 영역에 많이 분포하고 있으면서 고농도까지 넓게 분포하고 있다.

전체 일 최고 농도 중 95번째 percentile 이하에 해당하는 농도 값들은 모두 관악이 높다. 다시 말해 상위 5번째 percentile 이상에 해당하는 고농도 쪽은 시청이 더 높지만, 일 최고 농도 평균에 영향을 미치는 하위 95번째 percentile 이하 값들이 관악이 더 높기

때문에 일 최고 농도 평균은 시청이 더 낮다. 그러므로 일 최고 오존 농도가 100 ppb 이상의 고농도까지 상승하는 빈도수는 관악이 시청보다 낮지만 100 ppb 이하의 농도에 해당하는 날 수를 보았을 때 관악도 어느 정도 광화학 반응이 활발한 지역으로 보인다.

4.5 수요일과 목요일의 1시간 평균 일 최고 농도 분포

요일별 오존 농도의 주중변화를 보면 24시간 평균 오존 농도와 1시간 평균 일 최고 오존 농도 모두 수요일이 목요일보다 높았다. 그러나 그림 5에서 1시간 평균 오존 농도가 100 ppb와 120 ppb를 초과한 횟수는 두 측정소 모두 수요일이 목요일보다 낮았다. 즉, 1시간 평균 일 최고 농도가 수요일이 높았던

반면 고농도 오존 초과 횟수는 수요일이 더 낮았으므로 고농도 오존 외에 영향을 끼치는 다른 농도 범위가 있을 것으로 보인다. 그러므로 1시간 평균 일 최고 오존 농도 분포를 살펴보기 위해 수요일과 목요일의 각 농도에 해당하는 날 수를 그림 7에 나타내었다. 관악은 5번째 percentile에 해당하는 농도 값을 제외하면 95번째 percentile 이하에 해당하는 농도 값들은 모두 수요일이 높다. 시청은 90번째 percentile과 5번째 percentile에 해당하는 농도 값을 제외하고는 수요일이 높다. 관악, 시청 모두 목요일은 고농도까지 넓게 분포하고 있지만 대부분의 percentile에 해당하는 농도 값은 수요일이 더 높다. 즉, 고농도를 나타낸 몇몇 날을 제외하고는 대부분의 일 최고 오존 농도는 수요일이 더 높아, 결과적으로 일

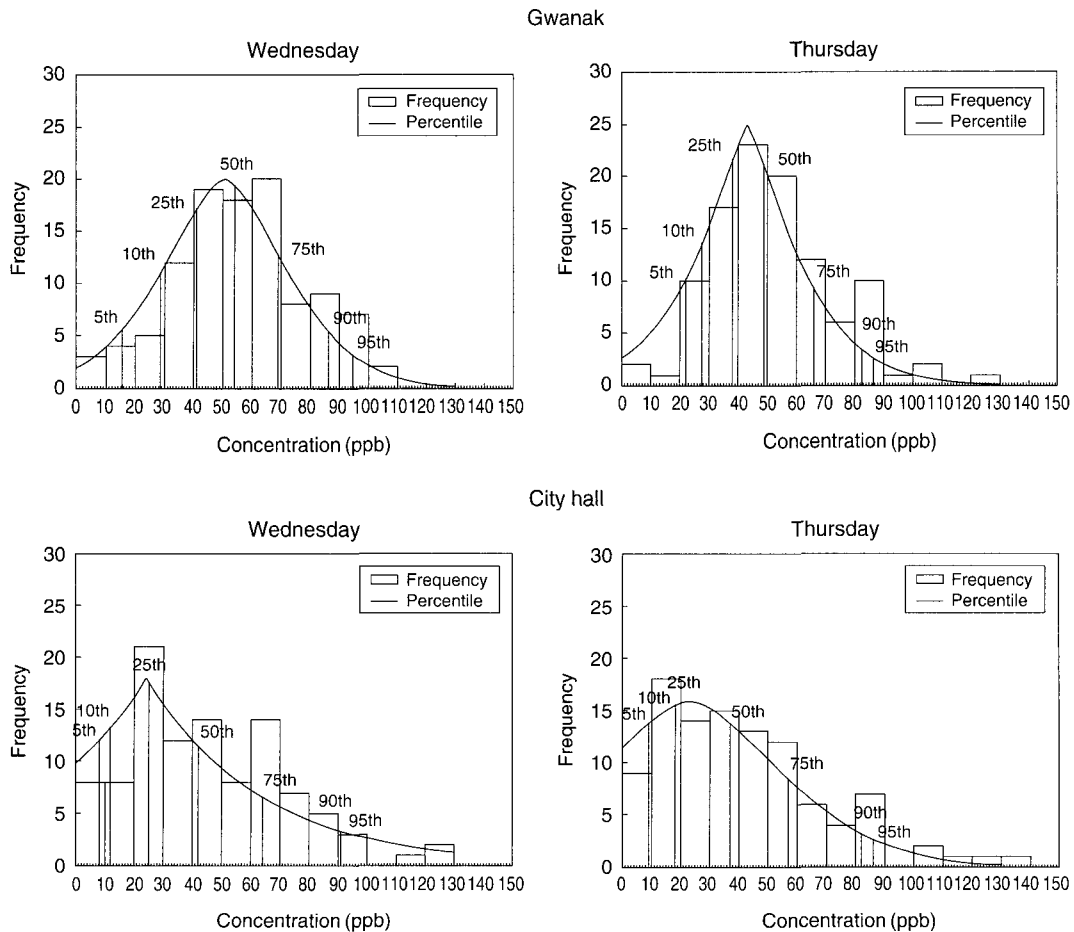


Fig. 7. Distribution of 1-hour daily maximum ozone concentration on Wednesday and Thursday.

최고 오존 농도 평균은 수요일이 더 높게 나타난 것이다.

5. 요약

1996~2000년 기간 동안 5~9월의 자료를 사용하여 서울의 오존 농도 특성을 조사하였다. 인위적인 활동으로 인해 나타나는 오존의 요일별 변화 경향을 살펴보기 위해 27개 측정소를 대상으로 조사하였다. 24시간 평균 NO_2 , O_3 , NO 농도의 경향을 토대로 도심지역을 대표할 수 있는 시청과 서울의 배경 지역을 대표할 수 있는 관악을 선정하였다. 24시간 평균 NO_2 농도는 관악보다 시청이 높았지만 오존 농도는 관악이 더 높게 나타났다. 그리고 일요일은 NO_2 농도가 감소했음에도 불구하고 오존 농도는 증가하였다. 이것은 관악과 시청 모두 NO_x 과잉 상태라는 것을 보여준다. 즉, 관악과 시청은 NO_x 보다는 VOCs를 줄여야 오존 농도 저감에 효과적이다. 관악의 높은 24시간 평균 오존 농도는 고농도 오존의 영향 때문일 수도 있으므로 1시간 평균 오존 농도가 100 ppb, 120 ppb를 초과한 횟수를 살펴보았다. 100 ppb, 120 ppb 초과 횟수 모두 관악이 시청보다 더 낮게 나타났다. 그러므로 시청보다 높은 관악의 24시간 평균 오존 농도는 간헐적으로 일어나는 고농도 오존의 영향 때문은 아니다.

1시간 평균 일 최고 농도 분포를 보면 시청은 저농도에 주로 몰려 분포해 있기는 하지만 고농도까지 넓게 분포하고 있었다. 관악은 30~110 ppb에 해당하는 날 수가 시청보다 더 많았고 고농도 쪽에 해당하는 날 수는 시청보다 적었다. 즉, 전체 일 최고 농도의 95번째 percentile 이하에 해당하는 농도 값들은 관악이 시청보다 높았다. 특히 50번째 percentile에 해당하는 농도가 관악과 시청이 각각 50.0 ppb, 38.0 ppb로 몇몇 고농도를 제외한 대부분의 농도가 관악이 더 높았다. 요약하면, 관악은 NO_2 농도가 시청보다 낮아 오존 농도가 증가하는데 비해 시청은 NO_2 농도가 높아 오존 농도가 소멸되는 쪽으로 반응이 진행된다. 그러나 VOCs 농도와 기상 요소가 오존 생성에 있어 최적 조건이 되면 시청의 오존 농도는 관악보다 훨씬 높아져 인체나 식생에 악영향을 끼칠 정도까지 올라간다. 그러므로 이러한 결과는 관

악과 시청, 어느 지역에서 광화학 반응이 더 중요하다고 말하기보다는 각 측정소의 광화학 반응의 특징으로 생각해야 한다.

24시간 평균 오존 농도의 주중 변화를 보면 수요일에 오존 농도가 높아졌다가 다시 목요일에 감소하는 경향을 나타내었다. 그러나 1시간 평균 오존 농도가 100 ppb, 120 ppb를 초과한 횟수는 목요일이 더 높게 나타났다. 그러므로 수요일의 높은 24시간 평균 오존 농도는 고농도의 영향 때문은 아니다. 수요일과 목요일의 오존 농도 분포를 더 자세히 알아보기 위해 1시간 평균 일 최고 농도 분포를 살펴보았는데 관악과 시청 모두 목요일이 고농도까지 넓게 분포했다. 하지만 95번째 percentile 이하에 해당하는 대부분의 농도 값들은 수요일이 더 높았다. 그러므로 대부분의 일 최고 오존 농도는 수요일이 더 높아 일 최고 오존 농도 평균은 목요일보다 수요일이 더 높게 나타났다. 그러나 수요일과 목요일 경향에 대한 설명이 불충분하여 더 많은 연구가 필요하다.

사 사

이 연구는 BK21의 지원으로 수행하였습니다.

참 고 문 헌

- 김영성 (1997) 1990~1995 서울 수도권 지역의 광화학 오염 현상, 한국대기보전학회지, 13(1), 41-49.
- 김영성 (2000) 우리나라의 오존농도 변화 추이와 주요인자, 한국대기환경학회지, 16(6), 607-623.
- 김영성, 오현선 (1999) 1990~1997 기간 중 서울 수도권 지역의 고농도 오존 사례 연구, 한국대기환경학회지, 15(3), 267-280.
- 박주연, 김용표 (2002) 서울시에서의 최적 오존 저감 대책: OZIPR을 이용한 사례 연구, 한국대기환경학회지, 18(5), 427-433.
- 오인보, 김유근 (2002) 한반도 주요 대도시 지역의 지표 오존 특성: 추세, 일변화, 월변화, 수평분포, 한국대기환경학회지, 18(4), 253~264.
- 허국영 (2001) 배출원의 변화가 일 최고 오존 농도에 미치는 영향의 분석, 제10회 전국학생 환경논문 및 수필경시 당선작 모음집, 81-109.
- Dolislager, L. (2001) Weekend Effect Hypotheses, SCOS97-NARSTO data analysis conference, USA.

Kim, J.Y., Y.S. Ghim, and Y.P. Kim (1999) Photochemical modeling of July 1994 high-ozone episode in the Greater Seoul Area, J. Korea Soc. Atmos. Environ., 15, 55-64.

NRC (National Research Council) (1991) *Rethinking the Ozone Problem in Urban and Regional Air Pollution*, National Academy Press, Washington, DC, USA.