

고농도 오존이 발생하는 날의 종관 기상 패턴과 주요 5대 도시별 오존 농도 변화

김 유 라·윤 일 희·김 희 종^{*}
경북대학교 교육대학원 지구과학교육전공·경북대학교 천문대기과학과
(2001년 4월 3일 접수; 2001년 12월 15일 채택)

Synoptic Weather Patterns and Variation of Ozone Concentrations Association with High Ozone Days at Five Major Cities in Korea

Yu-Ra Kim, Ill-Hee Yoon and Hee-Jong Kim^{*}

Earth Science Education Major, Graduate School of Education, Kyungpook National University, Daegu, 702-701, Korea

^{*}Department of Astronomy and Atmospheric Sciences, Kyungpook National University, Daegu, 702-701, Korea

(Manuscript received 3 April, 2001; accepted 15 December, 2001)

The characteristic features of surface ozone concentration and the forecasting procedure of high ozone days have been studied. The ozone concentration was continuously measured during 3 years (1997~1999) at air quality monitoring stations in five major cities in Korea. The diurnal variation of surface ozone concentration on high ozone days is characterized by low ozone concentration at night. The ozone concentration increases continuously after sunrise, to reach a peak at 1500~1600 LST. Thereafter it decreases steadily to a low concentration at sunset. The diurnal and annual maximum of the surface ozone concentration at Seoul were observed in May and June, respectively. The favorable synoptic condition for the high ozone day is divided into 4 different synoptic weather patterns: a high-pressure system from the Sea of Okhotsk, the Pacific subtropical high extending westward, a moving high-pressure system covering the Korean peninsula, and a synoptic system in front of a typhoon. Most of high ozone days occur under the high pressure system in Korea.

Key words : surface ozone concentration, high ozone day, synoptic weather patterns

1. 서 론

최근 전국 여러 도시들에서 빈번하게 발생하고 있는 고농도 오존 사례는 갈수록 심화되는 경향을 보이고 있다. 1990년대 후반을 지나면서 대기오염이 심한 지역에서는 오존의 연평균 농도가 높아졌으며, 상대적으로 오염이 낮은 지역에서는 고농도 오존의 발생 일이 늘어나는 양상을 보여주고 있다¹⁾. 즉, 다른 오염물질들은 대체적으로 연 평균 농도

가 낮아지는 반면 오존은 오히려 계속 증가하고 있는 추세이다.

지상 오존은 자동차 배기ガ스와 공장배출ガ스 등에 함유되어 있는 질소산화물(NO_x)과 탄화수소류(HCs), 휘발성 유기화합물(VOCs) 등의 오염물질과 태양광선과의 광화학 반응에 의해서 생성된다. 실제 지상 오존의 양은 기온, 일사량, 풍속, 대기안정도, 역전층 고도, 및 강수 등 다양한 기상 요인들에 의해 영향을 받는다^{2)~4)}. 즉, 대기 중에 존재하는 지상 오존의 양은 크게 세 가지 요인에 의해 변화한다. 먼저 자동차나 주유소 등에서 배출되는 NO_x나 VOCs 등과 같은 오존전구물질들의 배출량 및 공기 중에 포함된 양에 의해 영향을 받으며, 오존 생성

Corresponding Author; Ill-Hee Yoon, Earth Science Education Major, Graduate School of Education, Kyungpook Nat'l Univ., Daegu, 702-701, Korea
Phone : +82-53-950-5922
E-mail : ihyoon@knu.ac.kr

반응에 관여하는 기상인자의 영향을 받는다. 마지막으로 이류되거나 상층 오존의 지표로의 유입 등의 영향을 받아 변화한다.

다양한 메커니즘으로 발생하는 오존은 짧은 시간에 고농도를 나타내는 경향을 보이므로 인체에 대한 오존의 피해를 최소화하기 위해서는 오존이 생성되기 수 시간 전에 오존 농도를 예측하여 필요한 조치를 취하여야 한다. 아예 따라 고농도 오존의 발생과 그 예측에 관한 다양한 연구들이 수행되어 왔다. 현재까지 이루어진 오존에 대한 연구경향은 대기 중에 존재하는 오존의 양을 보다 정확히 측정하기 위한 다양한 방법과 고농도 오존의 발생에 대한 예측 모델 개발에 관한 것이었다. 그 외에 지역적으로 오존의 연중 변화 경향이나 고농도 발생 원인, 자료의 통계적 분석, 그리고 기상인자와의 관련성에 관한 연구가 수행되었다^{5)~10)}. 즉, 고농도 오존의 발생을 예측하기 위해 통계적 모델이나 광학적 시뮬레이션 모델을 사용하고 있으나 기존의 지역적인 연구로는 고농도 오존 현상을 빨리 예측하는 데에는 어려운 점이 많다.

고농도 오존 발생 일의 종관 기상 상태를 분석한 연구로는 Heidorn과 Yap¹¹⁾이 캐나다의 남부 온타리오주에서 1976~1981년 사이에 1시간 평균 오존 농도가 80ppb 이상인 날들을 택해 봄, 여름, 가을, 겨울에 따라 종관 기압 패턴을 8개로 분류한 바가 있고, Liu *et al.*¹²⁾은 대만 분지에서 1986~1989년 사이에 고농도 오존이 발생한 269일에 대해 7개의 종관 기상 조건을 구별하였다.

국내 연구로는 충북 청원군에서 고농도 오존 일의 사례분석 결과 저기압 통과 하루나 이를 전에 오존농도가 높았다는 윤마병과 정용승¹³⁾의 결과와, 오존을 포함한 오염농도 자료와 기상자료를 이용하여 대기질 특징과 이와 관련된 국지기상과 종관 기상장을 살펴본 정영선 등¹⁴⁾의 연구사례가 있다. 김영성과 오현선¹⁵⁾은 서울·수도권 지역의 고농도 오존 사례를 종관 기상장과 관련시켜 연구하였고, 김유근¹⁶⁾은 부산에서 일어났던 1994년 여름과 1995년 7월의 오존 고농도 사례가 북태평양 고기압의 이상 발달에 인한 것이라고 연구하였다. 또한 오존을 비롯한 대기오염물질들의 특성을 종관 기상학적으로 분석한 Jo *et al.*¹⁷⁾의 연구가 있었다.

기존의 이러한 고농도 오존 일의 종관적인 특성을 분석한 국내 연구들은 특정도시에 한해서 수행되었거나 단기간의 사례에 대하여 주로 기상요소와 고농도 오존 발생과의 관계에 중점을 두었다. 따라서 이러한 연구를 전국적으로 적용시키기에는 한계가 있을 것으로 생각된다. 따라서 이 연구는 1997

년부터 1999년까지 3년 간의 오존농도를 분석하여 그 중 고농도 오존 발생 일에 대하여 대도시인 서울, 부산, 대구, 대전, 광주 각각의 도시별 오존농도의 특성과 시간에 따른 변화 양상을 조사하고 나아가 고농도 오존 일의 종관 기압 배치 패턴을 밝혀보자 한다.

2. 분석 자료 및 분석 방법

이 연구에서는 남한 전역을 대표할 수 있는 대도시들을 선택하였다(Fig. 1). 이용된 오존농도자료는 1997년부터 1999년까지 3년간 전국 5대도시(서울, 부산, 대구, 대전, 광주)의 환경청 소속 대기질 자동측정망에서 측정된 시간별 오존 농도자료를 이용하였다. Table 1에는 각 도시별 측정 지점 수와 측정지점의 지역 특성을 나타내었다. 지역 특성은 상업지역, 공업지역, 주거지역 그리고 녹지지역으로 나누었다. 각 도시별로 존재하는 여러 측정소의 자료는 이용 가능한 모든 측정소 자료를 선택하였다(서울: 27개소, 부산: 9개소, 대구: 7개소, 대전: 3개소, 광주: 4개소, 단, 1997년도에는 서울 관측소가 20개소, 1998년도 대구는 6개소였다).

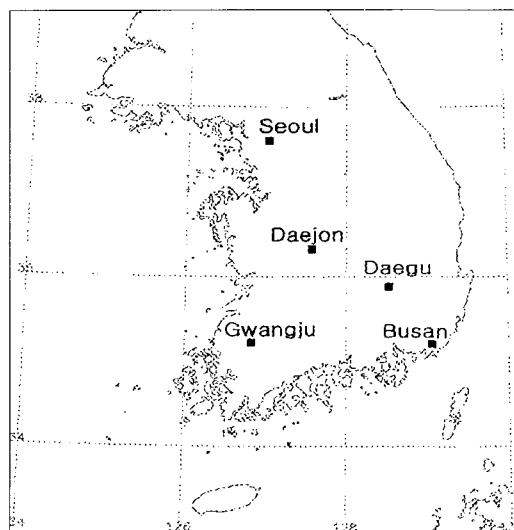


Fig. 1. Location of five major big cities in Korea.

Table 1. Number of monitoring sites at each city.

City	No. of stations	Commercial area	Industrial area	Residential area	Green area
Seoul	27	2	3	21	1
Busan	9	2	2	4	1
Daegu	7	1	2	4	-
Gwangju	4	2	-	2	-
Daejeon	3	1	1	-	1

고농도 오존이 발생하는 날의 종관 기상 패턴과 주요 5대 도시별 오존 농도 변화

자료가 통계적으로 의미가 있도록 각 도시의 관측 지점별로 24시간 관측자료 중 관측이 20시간 이상 이루어진 날과 한달 동안의 관측자료가 20일 이상인 날을 선별하였다. Table 2는 자료의 이용률을 나타내었다. 여기에서 광주가 93.5%로 자료의 이용률이 가장 높았으며, 반면 대구가 81.2%로 가장 낮았다.

Table 2. Data availability(%) at each city for the analysis period.

City Pollutants \	Seoul	Busan	Daegu	Gwangju	Daejon
Ozone data recovery	90.8	87.2	81.2	93.5	91.6

도시별 측정소 개수의 차이로 인한 빈도수의 과대, 과소 평가를 막기 위하여 각 도시별로 최고 농도값 하나만을 추출하여 평가하였다. 즉, 각 도시에 존재하는 여러 개의 측정소 중 오존 농도가 가장 높게 나타난 지점의 오존 농도를 그 당일의 대표 오존 농도로 사용하였다.

오존의 경우 최고 값과 최저 값의 변화 폭이 크기 때문에 관측기간 동안 모든 자료들의 평균값을 구하는 것은 그 의미가 적다고 판단되어 선정된 고농도 오존 일만 분석하였다. 이 연구에 이용한 날의 선정은 1시간 기준의 오존 에피소드 일과 8시간 기준의 고농도 일로 하였다. 각 도시의 오존 에피소드 일은 1시간 오존 농도가 80ppb 이상으로 3시간 이상 지속적으로 1회 이상 나타난 날로 정의하였다¹⁸⁾. 그리고 8시간 평균 농도가 환경기준치인 60 ppb 이상을 기록한 날들을 8시간 기준의 고농도 일로 선정하였다. 오존의 경우 1시간 오존 농도 기준치를 초과하는 단기간의 오존 노출보다 기준치 이하에서도 장기간 노출될 경우 인체와 동식물에 더 큰 영향을 미친다^{19)~24)}. 이 연구가 지역적 기상 요인에 의한 단기적인 고농도 오존 발생보다는 전국적으로 유사한 기상요인에 의한 보다 긴 시간동안의 고농도 오존 발생을 분석해 보는 것이므로 오존 에피소드의 개념은 보다 장기적인 기준을 선택하는 것이 바람직하다고 판단되었다. 따라서 오존 에피소드에 관한 다양한 정의들 중에서 Poulida *et al.*¹⁸⁾의 오존 에피소드 정의에 따라 8시간 평균 농도도 함께 고찰해 보았다.

이렇게 선정된 자료들을 사용하여 고농도 오존 일의 경우 각 도시별, 시간별, 월별 오존 농도 변화를 분석하였다.

종관 기압 패턴 분석에 사용할 고농도 오존 일은 지역적 요인의 영향을 최소화시키기 위하여 다음과 같은 기준으로 선정하였다. 오존 에피소드 일이나 8시간 기준의 고농도 일들 중에서 하루동안 전체 5개 도시 중 3개 도시 이상에서 위의 기준을 만족하는 날들을 선정하였다. 선정된 고농도 오존 일들의 지상

일기도를 사용하여 종관 기압 패턴을 분석하였다.

3. 분석 결과

3.1. 도시별 오존농도 특성

Fig. 2는 1997~1999년까지 발생한 오존 에피소드 일수를 도시별로 비교한 것이다. 오존 에피소드가 가장 많이 발생한 도시는 서울이며 그 다음이 대구, 대전이었으며 광주가 가장 낮았다. 특히 대전의 경우 1999년에 그 횟수가 갑자기 급증하였는데 1999년 전체 18일의 오존 에피소드 일 중 17일이 대덕구 읍내동에서 발생하였다. 이 지역이 공업지역인 점으로 보아 이 급격한 증가 원인은 지역적 요인에 의한 것으로 추정된다. 서울은 1998년에는 오존 에피소드 일수가 줄어들었으나 1999년에 다시 증가하였고, 부산의 경우에는 반대로 1998년의 오존 에피소드 일수가 최대였다. 이와 같은 결과는 고농도 오존의 발생에 대한 지역적 요인의 영향이 크다는 것을 의미한다. 대구의 경우 오존 에피소드 일수가 부산과 유사하게 나타나고 있으며, 광주의 경우 다른 도시들에 비해 오존 오염의 심각성이 경미하였다.

Fig. 3은 1997~1999년까지 각 도시별로 8시간 평균 오존 농도가 환경기준치인 60ppb 이상을 나타낸 8시간 기준의 고농도 일의 수를 나타낸 것이다. 이 경우도 Fig. 2와 거의 유사한 변화유형을 보인다. 하지만 부산과 광주의 경우 Fig. 3의 빈도가 Fig. 2의 빈도보다 높은 것은 오존 고농도 현상이 비교적 지속적으로 오래 나타남을 의미한다. 즉, 고농도 오존 현상이 오랜 시간 동안 그대로 유지되고 있는 것이다.

오존 에피소드 일의 횟수와 8시간 기준의 고농도 일의 발생 빈도 수를 볼 때, 가장 많은 도시는 서울이며 그 다음이 부산이었다. 나머지 도시들은 비슷하게 나타났다.

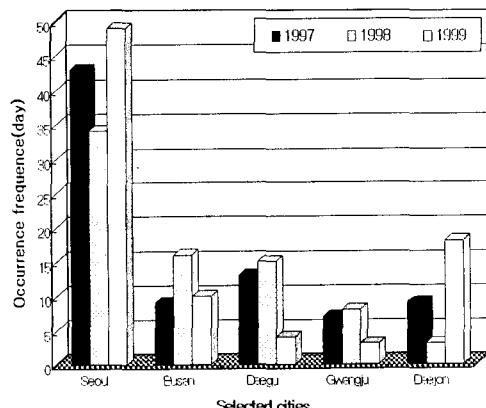


Fig. 2. The number of occurrences of ozone episode days for the period of 1997 to 1999 in each city.

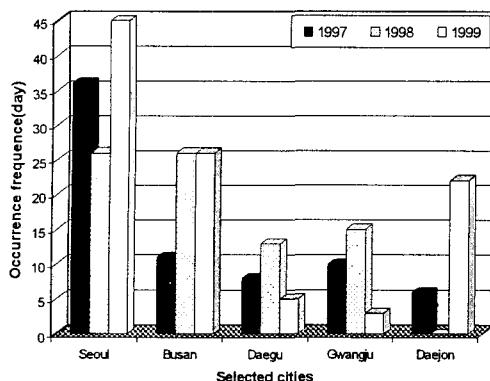


Fig. 3. The same as in Fig. 2 except for the ozone concentration exceeding 60ppb for more than 8 hours a day.

3.2. 오존 에피소드 일과 8시간 기준의 고농도 일의 일 변화

Fig. 4는 5개 도시에서 3년 간 오존 에피소드가 발생한 날의 평균 오존 농도 값의 일 변화를 나타낸 것이다. 2200~0800 LST 사이에서는 광주와 부산의 오존 농도가 대구나 서울에 비해 감소 폭이 적었고, 일 최고치를 기록하는 1500~1600 LST가 되면 서울의 오존 농도가 가장 높고 광주가 오히려 더 낮았다. 따라서 서울이 일변화폭이 가장 크고 광주가 가장 작게 나타난 것으로 생각된다.

Fig. 5는 8시간 기준의 고농도 일들의 평균 오존 농도의 일 변화를 나타낸 것이다. Fig. 4와 마찬가지로 농도가 가장 높은 시간대는 0900~1600 LST 사이이며 그 다음으로 1700~2400 LST까지이다. 이와 같은 결과는 위 일 변화 분석에서 1500~1600 LST에 최고 농도를 이루었던 것과 같은 경향이다. 이러한 결과들은 Jo *et al.*¹⁷⁾의 연구와 매우 유사하게 나타났다.

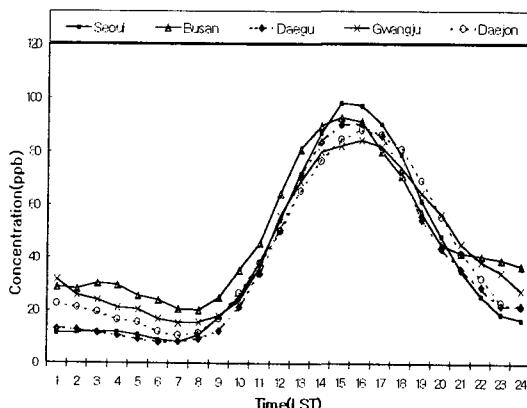


Fig. 4. Diurnal variations of mean ozone concentration for ozone episode days.

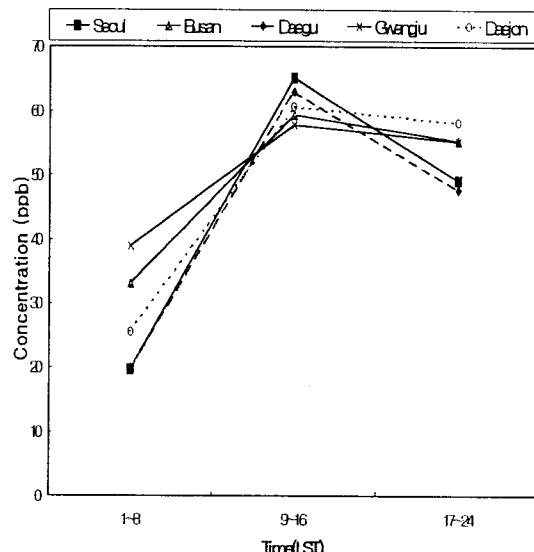


Fig. 5. The same as in Fig. 4 except for the ozone concentration exceeding 60ppb for more than 8 hours a day.

3.3. 오존 에피소드 일과 8시간 기준의 고농도 일의 연간 월 변화 경향 분석

고농도 오존 일의 연간 월 변화 경향을 알아보기 위해 1997~1999년 동안 발생한 오존 에피소드 일과 8시간 고농도 일 수의 월별 분포를 조사하였다. Fig. 6과 7에서 볼 수 있는 바와 같이 오존 에피소드 일이나 8시간 기준의 고농도 일 수의 연간 월 변화 경향은 유사하다. 고농도 오존이 가장 많은 기간은 5월과 6월로 년 총 발생 일수 중 오존 에피소드 일이 48.7%가, 8시간 기준의 고농도 일이 29.4%로 집중적으로 발생한다. 일사량과 기온이 최대가 되는 7월과 8월에 오히려 오존 에피소드 발생일 수가 적은 이유는 이 시기의 잦은 강수 영향으로 보인다.

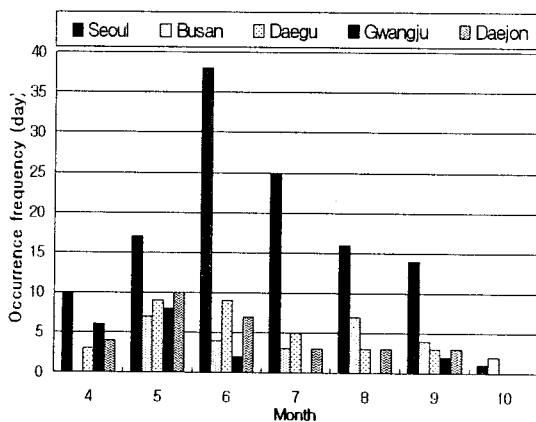


Fig. 6. Monthly variations of ozone episode days for 3 years(1997~1999).

고농도 오존이 발생하는 날의 종관 기상 패턴과 주요 5대 도시별 오존 농도 변화

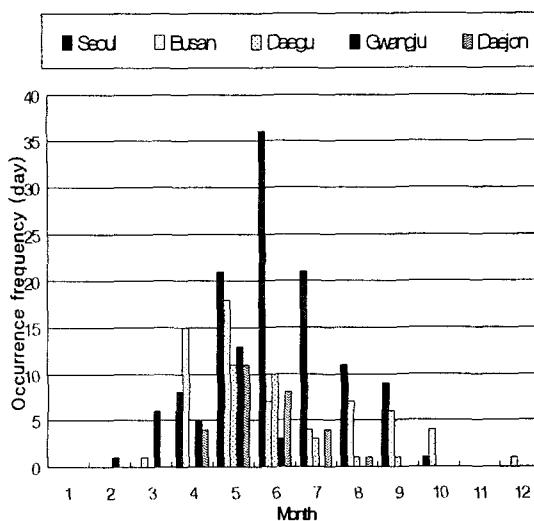


Fig. 7. The same as in Fig. 6 except for the ozone concentration exceeding 60 ppb for more than 8 hours a day.

3.4. 고농도 오존 일의 종관 기압 패턴 분석

고농도 오존 일의 경우 5개 도시의 오존 농도의 일 변화 및 월 변화 경향이 유사하고, 1시간 오존 농도와 8시간 오존 농도의 일 변화 및 월 변화 경향이 유사하였다. 따라서 위의 결과를 바탕으로 고농도 오존 일이 발생한 날의 종관 기압 분포를 알아보았다.

종관 규모의 분석이므로 하루동안 전체 5개 도시 중 오존 에피소드 일이나 8시간 기준의 고농도 일이 3개 도시 이상에서 발생한 날을 대상으로 하였다. 이렇게 선정된 날은 1997~1999년 사이에 총 32일 이었다.

Table 3은 이 기준으로 선정된 고농도 오존 일들을 나타낸 것이다. 위에서와 마찬가지로 오존 에피소드 일이나 8시간 기준의 고농도 일들의 월별 분포와 동일하게 5~6월에 가장 많았다.

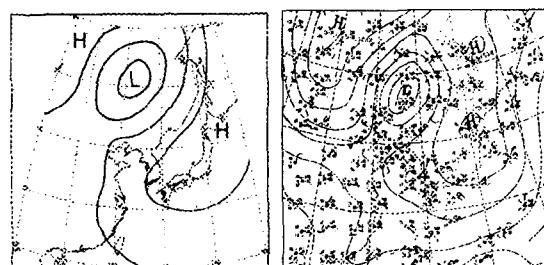
그 중 1998년 9월 10일과 1999년 5월 7일에는 서울, 부산, 대구, 대전 등 4개 도시에서 오존 에피소드가 발생했다. 특히 1997년 8월 24일에는 서울, 부산, 대구, 대전 등 4개 도시에서, 1998년 5월 23일에는 서울, 부산, 대구, 광주에서 오존 에피소드가 발생했을 뿐만 아니라 8시간 평균 오존 농도도 60 ppb 이상을 기록하였던 고농도 오존 일이었다. 그리고, 1998년 5월 한달 동안은 전반적으로 오존 농도가 높아 5월 17일부터 5월 30일까지 14일 중 3개 도시 이상에서 고농도 오존이 발생한 날은 8일이었다.

Table 3. Monthly frequency of high ozone days for 3 years(1997~1999).

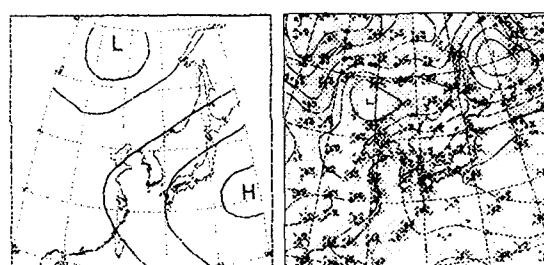
month \ year	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
1997	.	.	.	1	1	2	3	2	1	.	.	.	10
1998	9	1	.	1	2	.	.	.	13
1999	.	.	.	2	4	2	.	1	9
Total	.	.	.	3	14	5	3	4	3	.	.	.	32

이렇게 선별된 고농도 오존 일들의 종관적 기압 특성을 분석하기 위하여 고농도 오존이 발생한 각 날을 포함한 전후 1일씩 3일간의 지상 일기도를 합성하여 분석하였다. 본 연구가 지표 부근에서 발생하는 고농도 오존을 대상으로 하였으므로 일기도는 지상 일기도만을 분석하였다. 우리나라를 지배하는 기압배치 유형에 따라 크게 다음과 같이 4개 패턴으로 구분할 수 있었다.

Fig. 8은 분류한 각 기압 패턴과 이에 해당하는 전형적인 날의 일기도를 제시한 것이다. 패턴 I은 오후초크해에 중심을 둔 고기압이 우리나라에 영향을 미치는 경우, 패턴 II는 북태평양 고기압이 우리나라에 영향을 미치는 경우, 패턴 III은 이동성 고기압의 영향을 받는 경우, 그리고 패턴 IV는 태풍이 우리나라의 남부 지역에 위치하여 태풍이 지나가기 전의 경우이다.



Pattern I 1997. 4. 20. 0000 UTC



Pattern II 1999. 5. 20. 0000 UTC

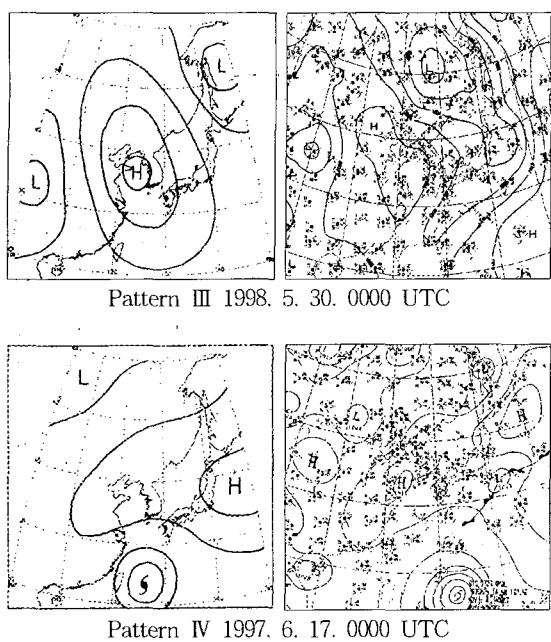


Fig. 8. Four different synoptic patterns(I ~ IV) favorable for high ozone days.

고농도 오존이 나타나는 날은 오후초크해나 북태평양에서 발달한 고기압의 영향을 받는 경우나 중국에서 우리나라 쪽으로 이동해온 고기압의 영향을 받는 경우가 많았다. 고기압과 고농도 오존과의 연관성은 Weston *et al.*²⁵⁾이 제시한 기상학적 조건들이 동시에 만족되는 경우이었다. 이것은 부산에서 발생한 고농도 오존 일의 기압배치를 7가지 고기압에 관련된 형태로 구분했던 전병일 등⁷⁾의 연구결과와 유사하다. 따라서 우리나라의 고농도 오존 일을 예측하기 위해서는 고기압에 대한 보다 심층적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

각각의 패턴에 해당하는 고농도 오존 일 수의 연중 분포가 Table 4에 나타나 있다. 고농도 오존 일은 4월부터 9월까지 발생하였다.

오후초크해에서 발달한 고기압의 영향을 받는 패턴 I의 경우에는 주로 4, 5월과 9월 즉 봄, 가을에 많이 발생하였고, 북태평양 고기압의 영향을 받는 패턴 II는 초여름부터 가을까지 지속적으로 발생하였다. 6월과 7월경에 그 빈도가 낮은 것은 장마 등의 원인에 기인한 것으로 추측된다. 중국에서 발생한 이동성 고기압의 영향을 받는 패턴 III은 5, 6월에 많이 발생하였으나 4~8월까지 대체로 고른 발생률을 보였다. 태풍전의 기압 패턴 IV는 5월에 집중적으로 발생하였다. 이밖에 어느 기압배치에도 분류하기 어려운 경우가 5월에 3회 있었다.

Table 4. The percentage of occurrences of high ozone days with different synoptic weather patterns.

Month pattern	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
pattern I	·	·	·	3.1	6.3	·	·	6.3	·	·	·	·	15.7
pattern II	·	·	·	·	9.4	3.1	3.1	6.3	3.1	·	·	·	25.0
pattern III	·	·	·	3.1	15.6	12.5	3.1	6.3	·	·	·	·	40.6
pattern IV	·	·	·	3.1	3.1	·	3.1	·	·	·	·	·	9.3
the others	·	·	·	·	9.4	·	·	·	·	·	·	·	9.4
Total	·	·	·	9.3	43.8	15.6	9.3	12.6	9.4	·	·	·	100.0

계절별로는 봄철에 해당하는 4, 5월경에 발생한 고농도 오존 일이 4가지 패턴에서 골고루 발생하는 가운데 특히 이동성 고기압에 의한 패턴 III에 해당하는 경우가 40.6%로 가장 많았다. 여름철에 해당하는 6, 7, 8월에 발생한 고농도 오존 일은 이동성 고기압에 의한 패턴 III와 북태평양 고기압의 의한 패턴 II에서 발생하였다. 가을철인 9월에는 오후초크해에서 발달한 고기압의 영향을 받는 패턴 I과 관련된 경우가 많았다.

이와 같은 결과는 전병일 등⁷⁾의 부산지역에서 발생한 고농도 오존 일의 7가지 기압배치유형에서 이동성 고기압과 관련된 경우가 3가지로 그 고농도 일의 발생빈도가 가장 많고, 그 다음이 북태평양 고기압에 의한 남고북저형 기압배치 형태였던 것과 유사하다. 그리고 Jo *et al.*¹⁷⁾의 3가지 사례에서 고농도 오존 사례는 전국이 북태평양 고기압의 영향을 지속적으로 받는 경우가 두 경우였고, 화북지방에서 이동해온 이동성 고기압에 의한 경우가 한 경우였다. 따라서 우리나라에서 발생하는 고농도 오존 일은 대부분 이동성 고기압이나 북태평양에서 발달한 고기압의 영향을 받는 경우가 많음을 알 수 있다.

4. 요약 및 결론

전국 5대 도시에 대하여 1997년부터 1999년까지 대기오염 측정망에서 측정한 1시간 오존 농도와 계산한 8시간 평균 오존농도를 사용하여 고농도 오존이 발생한 날을 선정하였다. 고농도 오존 일은 1시간 오존농도가 80ppb 이상인 경우가 3회 이상 연속적으로 발생한 오존 에피소드 일과 8시간 평균 오존 농도가 60ppb 이상인 8시간 기준의 고농도 일로 선정하였다. 이때 자료는 관측이 하루 중 20시간 이상 이루어진 자료를 선택하였으며 각 도시별로 관측지점들의 값 중 최고 농도 값을 선택하였다.

위 두 가지 기준으로 선정한 고농도 오존 일을 도시별로 분석해 본 결과 서울과 부산이 대기 환경 기준을 넘는 횟수가 가장 많았으며 그 다음으로 대

고농도 오존이 발생하는 날의 종관 기상 패턴과 주요 5대 도시별 오존 농도 변화

구와 대전, 광주 순 이었다.

고농도 오존 일의 도시별 오존농도의 일 변화를 보면 1500~1600LST 경에 일 최고값이 나타났고 그 후 시간이 지날수록 오존 농도는 계속 낮아졌으며 다음 날 0900LST 경부터 다시 상승하기 시작했다. 도시별로는 광주와 부산의 경우 야간 오존농도가 특히 높았으며 서울은 일변화폭이 최대였다.

고농도 오존 일의 연중 월 변화는 5, 6월에 고농도 오존 일이 가장 많이 발생하였다. 오존 에피소드 일의 48.8%가 이 기간에 발생하였고, 8시간 기준의 고농도 일은 54.8%가 이 기간 중에 발생하였다.

위에서 선정한 고농도 오존 일의 종관 기압 배치 패턴을 분석해 보았다. 기압 패턴은 크게 4가지로 나누어지는데 그 중 이동성 고기압의 영향을 받는 경우가 전체 고농도 오존 발생 일의 40.6%로 가장 많았다. 그 다음으로 태평양 고기압의 영향을 받는 경우가 25%, 오후쓰크해 고기압의 지배를 받는 경우가 15.7%로 우리나라에서 고농도 오존이 발생하는 날의 81.2%가 고기압과 연관된 기압배치임을 알 수 있었다. 저기압과 연관된 경우는 단지 9.3%에 불과하였다. 따라서 이러한 기압배치를 이를 것으로 추정되는 날은 고농도 오존의 발생 가능성성이 비교적 높을 것으로 예상할 수 있다.

이상과 같은 기압배치를 이를 때 고농도 오존이 발생하는 비율을 검증하는 과정을 거친다면 고농도 오존이 발생하는 것을 보다 빨리 예측할 수 있을 것이다. 이 연구에서는 3개 도시 이상에서 같은 날 고농도 오존이 발생된 경우 공통적인 기상 요인 즉 종관적인 기상요인이 작용하기 때문이라는 가정 하에 연구를 수행하였다. 하지만, 각 도시별 오염물질의 배출량과 지형, 기상조건 등 국지적인 인자들을 고려하지 않았기 때문에 오차가 있을 수 있다.

이 연구가 1997~1999년까지의 5대 도시의 자료만을 사용했으므로 앞으로 보다 장기간동안 많은 도시들의 자료들을 사용한다면 보다 다양한 기압배치 형태를 도출할 수 있을 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

- 1) 김영성, 심상규, 2000, 우리나라의 오존의 시공간 변화 특성, 민관공동 오존오염대책 Workshop 2000, 9-23.
- 2) Finlayson-Pitts, B. J. and J. N. Pitts, Jr., 1993, Atmospheric chemistry of tropospheric ozone formation : scientific and regulatory implications, *Air & Waste Management Association*, 43, 1091-1100.
- 3) Lazutin, L., P. C. Bezerra, M. A. Fagani, H. S. Pinto, I. M. Martin, E. L. P. Da Silva, M. G. Da Silva Mello, A. Turtelli Jr., V. Zhavkov, and J. Zullo Jr., 1996, Surface ozone study in Campinas, Sao Paulo, Brazil, *Atmospheric Environment*, 30(15), 2729-2738.
- 4) 김영성, 1997, 1990-1995 서울·수도권 지역의 광화학 오염현상, *한국대기보전학회지*, 13, 41-49.
- 5) 신찬기, 한진석, 김윤신, 1992, 대기오염농도와 기상인자의 관련성 연구, *한국대기보전학회지*, 8(4), 213-220.
- 6) 이기원, 권숙표, 정용, 1993, 서울시 대기 중 오존오염농도의 연도별 변화와 그 영향인자 분석-광화문 지역을 중심으로-, *한국대기보전학회지*, 9(1), 107-115.
- 7) 전병일, 김유근, 이화운, 1995, 부산 지역의 오존농도 특성과 기상인자에 관한 연구, *한국대기보전학회지*, 11(1), 45-56.
- 8) 김영성, 1996, 1991-1993년 사이 우리나라의 오존농도 변화, *한국대기보전학회지*, 12(1), 55-66.
- 9) 김유근, 홍정혜, 1998, 야간 지표 고농도 오존에 관한 연구, *한국대기보전학회지*, 14(6), 545-554.
- 10) 전병일, 2000, 부산 해안지역의 고농도 오존 발생 특성에 관한 연구, *한국환경과학회지*, 9(4), 295-302.
- 11) Heidorn, K. C. and D. Yap, 1986, A synoptic climatology for surface ozone concentration in southern ontario, 1976-1981, *Atmospheric Environment*, 20(4), 695-703.
- 12) Liu, C.-M., C.-Y. Huang, S.-L. Shiet and C.-C. Wu, 1994, Important meteorological parameters for ozone episodes experienced in the Taipei basin, *Atmospheric Environment*, 28(1), 159-173.
- 13) 윤마병, 정용승, 1995, 충북 청원군에서 관측된 지표면 부근의 오존, *한국대기보전학회지*, 11(1), 85-93.
- 14) 정영선, 박순웅, 윤일희, 1996, 한반도 각 지역의 대기질 특성과 이와 관련된 기상 조건, *한국기상학회지*, 32(2), 271-290.
- 15) 김영성, 오현선, 1999, 1990-1997 기간 중 서울·수도권 지역의 고농도 오존 사례 연구, *한국대기환경학회지*, 15(3), 267-280.
- 16) 김유근, 2000, 고농도 오존 발생과 기상조건, 민관공동 오존오염대책 Workshop 2000, 27-48.
- 17) Jo, W. K., I. H. Yoon and C. W. Nam, 2000, Analysis of air pollution in two major Korea cities: trends, seasonal variations, daily 1-hour

- maximum versus other hour-based concentrations, and standard exceedances, *Environmental Pollution*, 110, 11-18.
- 18) Poulida, O., R. G. Wardell, and J. G. Watkins, 1991, Trace gas concentrations and meteorology in rural Virginia: 1. Ozone and carbon monoxide, *Journal of Geophysical Research*, 96(D12), 22461-22475.
- 19) Sun, M., 1988, Tighter ozone standard urges by scientists, *Science*, 240, 1724-1725.
- 20) Tilton, B. E., 1989, Health effects of tropospheric ozone, *ES & T*, 23(3), 257-263.
- 21) Spektor, D. M. and M. Lippmann, 1990, *Health effects of ambient ozone healthy children at a summer camp*, AWMA for presentation at the 83rd Annual Meeting & Exhibition, Pittsburgh, Pennsylvania, June 24-29.
- 22) McKendry, I. G., 1992, Ground-level ozone in Montreal, Canada, *Atmospheric Environment*, 27B(1), 93-103.
- 23) Lefohn, A. S., 1997, Science, uncertainty, and EPA's new ozone standards, *ES & T*, 3(16), 280-284.
- 24) 허정숙, 김태오, 김동술, 1999, 오존 대기 환경기준의 비교 연구, *한국대기환경학회지*, 15(2), 159-173.
- 25) Weston, K. J., P. J. A. Kay, D. Fowler, A. Martin, and J. S. Bower, 1989, Mass budget studies of photochemical ozone production over the U. K., *Atmospheric Environment*, 23, 1349-1360.