

광화학스모그물질의 시계열특성에 관한 연구

A Study on the Time-Series Characteristics of Photochemical Smog Materials

윤 정 임 · 김 선 태* · 김 정 욱

서울대학교 환경대학원

*대전대학교 공과대학 환경공학과

(원고접수: 1993. 6. 1)

Jeong-Im Yun, Sun-Tae Kim,* and Jung-Wk Kim

Dept. of Environmental Planning, Graduate School of
Environmental Studies, Seoul National University

*Dept. of Environment Engineering, Taejon University

(Received 1 June 1993)

Abstract

For the efficient control of photochemical smog materials, the researches on the change patterns of photochemical smog precursors are indispensable. In this study, a time-series analysis was performed for the auto-monitoring data of Kwanghwamun and Jamsil stations in 1990, and the change patterns of photochemical smog materials were studied. Especially, auto-correlation coefficients were analyzed to investigate the cyclic characteristics of pollutants in question and cross-correlation coefficients to investigate the correlations between pollutants adjusted for time lag and between O_3 and meteorological factors. Results of researches are as follows: First, in the case of NO and NO_2 intimately related to human activities, 12-hour cycle was prevalent. But O_3 showed 24-hour cycle. Second, NO showed a relatively high correlation with O_3 and usually developed into O_3 5 to 7 hours later. Third, temperature, insolation intensity, and wind speed showed a positive correlation with O_3 while relative humidity a negative correlation.

1. 서 론

대기오염농도나 오염상태는 관련된 화학 및 물리적 작용과 그에 영향을 주는 인자 사이에서 일어나는 역학현상의 총체적 결과로 어떤 규칙성을 지니고 있다. 광화학스모그는 전구물질(前驅物質)의 농도가 곧바로 광화학스모그 농도에 반영되지 않고 시차(time lag)를 지니게 된다. 즉 광화학스모그는 NO , NO_2 , NMHC 등 배출원에서 배출되는 1차오염물질이 대기중에서 광화학반응을 일으켜 생성되는 것으로 광화학스모그의 지표인 오존농도로 발현되

기까지는 상당시간이 소요된다. 따라서 그 원인이 되는 전구물질의 농도가 감소되었다 하더라도 곧바로 오존농도가 감소되지 않고 시차를 두고 감소효과가 나타나게 된다. 광화학스모그는 일단 발생되면 고농도의 산화제가 발생하여 피해를 주게 되고, 고농도의 지속시간을 고려할 때 전구물질에 대한 사전 배출량 감축을 하지 않으면 피해발생을 제어하는 것이 어렵게 된다. 광화학스모그의 효율적 제어를 위해서는 이러한 전구물질 및 광화학스모그의 변화특성과 시차를 고려한 광화학스모그와 영향인자와의 상호관련성에 대한 연구가 필요하다.

지표면에서 측정된 오존농도는 매우 복잡한 양상을 나타내고 있으므로 오존농도를 결정하고 있는 요인을 정성적으로 밝히고 지표면에서의 동태를 종합적으로 파악한다는 것은 대기오염방지대책상 매우 중요하다. 지금까지 광화학스모그에 관련된 국내 연구동향은 대체로 광화학스모그의 오염도와 영향인자에 대한 연구(김화일, 1987; 이덕길 외, 1990; 정용 외, 1986; 정용승 외, 1991) 기인인자들의 특성과 제어전략(박옥현, 1986; 박옥현과 김필홍, 1986) 예측모형에 대한 연구(김조천, 1988; 이화운 외, 1992)로 분류될 수 있으며, 이밖에 광화학스모그의 피해영향에 대한 것(김기준, 1985)과 대기경제층내의 오존에 관한 연구(김필수, 1985) 등이 있다. 급격한 차량증가 및 연료에 있어 가스류의 사용증가로 인해 장래의 광화학스모그의 오염도는 높아질 가능성이 많으며, 이에 대한 대기오염관리대책이 요구된다. SO₂ 등에 의한 1차오염의 경우 해당오염물질의 저감효과는 비교적 빠르게 나타난다. 그러나 광화학스모그와 같은 2차오염의 경우 원인이 되는 전구물질의 저감효과는 상당시간이 경과된 후 나타나게 된다. 따라서 고농도의 광화학스모그에 대한 관리대책을 위해서는 전구물질과 광화학스모그와의 시차가 고려된 후 전구물질에 대한 저감대책이 수립되어야 한다. 이같이 광화학스모그의 제어를 위해서는 시차를 고려한 영향인자(전구물질 및 기상요인)와의 상호관련성에 관한 연구가 요구되나 선행된 국내의 연구에서는 시차를 고려한 연구가 미흡한 편이다.

본 연구는 광화학스모그물질의 주기적 특성을 분석하여 이들 물질의 변화특성을 살펴보고, 시차를 고려한 물질간의 상호관련성과 광화학스모그와 관련된 기상요인들과의 상호관련성을 분석함으로써 이들이 광화학스모그에 미치는 영향을 살펴 보고자 한다. 또한 연구결과의 대기오염정보체제에의 적용에 대해 고찰해 보고자 한다.

2. 대상자료 및 분석방법

광화학스모그물질의 주기성 및 시차를 고려한 상호상관의 고찰을 위해 시계열분석을 실시하였다. 특정변수의 시간에 따른 변화양상을 파악하기 위한 시계열분석은 과거의 시계열 형태가 그 특성을 잃지 않고 미래에도 반복된다고 가정함으로써 각 관측치간의 상호관계를 밝힐 수 있고, 그 변화원인을 규명할 수 없는 연속적 자료의 단기에측도 할 수 있는 유용한 방법이다(김광진 외, 1988).

연구의 대상시점은 90년이고, 대상지역은 서울시

로서 NO, NO₂, NMHC, O₃ 등을 대상오염물질로 하였다. 분석에 있어 실측자료의 결측이 가능한 한 적어야 하므로 기초적 통계분석을 하여 서울시 총 20개의 대기오염자동측정망중 비교적 충실하게 기록되어 있는 광화문과 잠실동지점에서의 매 시간별 자료를 선정하였다. 기상자료의 경우 기온, 상대습도, 일사량, 풍속 등을 대상으로 기상청에서 실측된 자료를 이용하였다.

주기적 특성을 보기위한 자기상관분석은 두지점에서 측정된 매월의 전자료에 대해 실시하였다. 시차를 고려한 상호상관분석의 경우 전구물질의 대기중에서의 반응시간은 계절적 차이를 제외하고는 비교적 일정하다고 생각되는 바 각 계절을 대표할 수 있다고 생각되는 4, 8, 12월을 대상으로 실시하였다.

3. 광화학스모그물질의 변화특성 및 평가

지상에서 관측되는 O₃농도는 크게 광화학반응에 의한 산화제의 생성과 소멸, 성층권 O₃의 침강에 의한 것이다. 여름에는 광화학반응에 의한 산화제 생성과 소멸이 주된 원인으로 광화학반응과 관련된 NO_x 및 NMHC 등의 전구물질과 기상요인이 그 중요성을 더하게 된다. 본 연구에 따르면 기상요인과의 상관성이 4월보다 8월에 큰것으로 나타나 여름철에 있어 기상요인의 중요성을 뒷받침하고 있다. 우리나라의 경우 여름철 집중호우는 대기중의 O₃ 전구물질 농도를 상당히 떨어뜨려 통상 보여지는 여름철 고농도 현상과 관련된 고찰이 요구되는 바 본 연구에서 살펴 본 바에 따르면 광화문과 잠실동지점 모두 여름철이 아닌 4월에 고농도를 나타내고 있다.

그림 1은 90년중 가장 높은 월평균 O₃농도를 기록한 광화문지점의 4월달 O₃농도변화 양상을 나타낸 것이다.

그림 1의 시계열은 정상성(stationarity)을 갖는 시계열로 어떠한 추세를 보이지 않고 평균값을 중심으로 진동을 보이고 있다.

4월의 고농도 현상과 관련되어 고려될 수 있는 것으로 성층권 O₃의 침강 즉 background O₃농도가 있다. 아직까지 background O₃농도 비율에 대해 일치된 견해가 없으며, 올바른 background O₃의 영향평가를 위해서는 광화학반응에 의한 O₃과 background O₃을 분리취급함이 필요하나 이는 오염, 비오염지역의 광범위한 관측자료가 요구되는 등 제약이 따르는 바 어려움이 있다. 이 부분에 관한 연구가 요구되는 바이다.

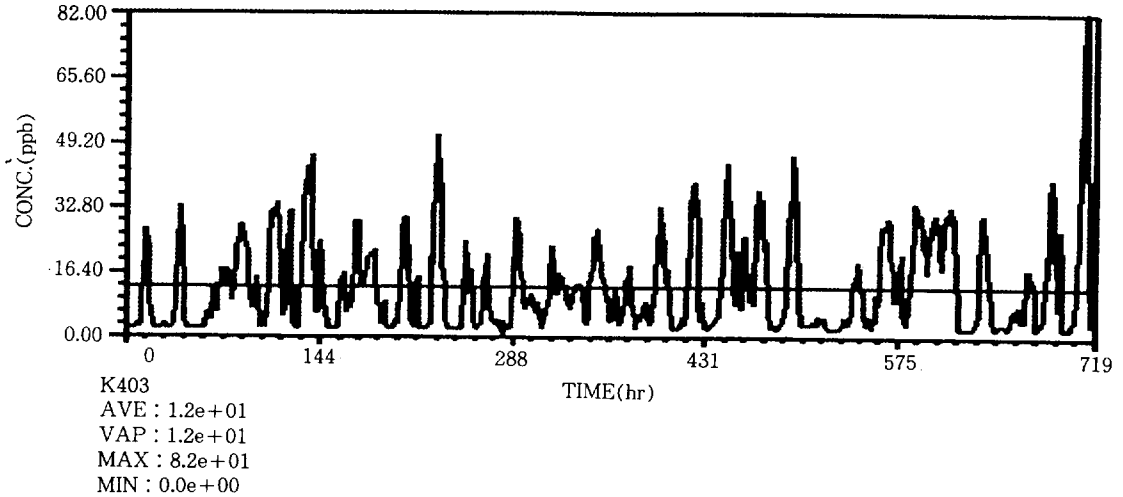


Fig. 1. Variation of O₃ concentration(Kwanghwamun station, April, 1990).

3.1 광화학스모그물질의 주기성 분석

시계열분석은 접근방법에 따라 자기회귀이동평균 모형(autoregressive moving average model)과 같은 시간영역분석(time domain analysis)과 스펙트럴 분석(spectral analysis)과 같은 진동수영역분석(frequency domain analysis)으로 구분된다(김연형, 1992). 따라서 광화학스모그 원인물질인 NO, NO₂, NMHC와 O₃의 시계열 특성도 이같은 범주에서 생각되어질 수 있다.

본 연구에서는 시간영역에서의 분석으로 시계열에 대한 지속성의 정도를 나타내는 자기상관계수에 의한 주기성 분석을 하였는데 자기상관(auto-correlation)계수는 시차를 지닌 시계열의 자체 변수 사이에 존재하는 상관계수로서 정의된다. 지점에 따른 월별, 물질별 자기상관계수를 구해 이를 correlogram으로 나타내어 주기성을 분석하였다. 그림 2~그림 5는 각 주기의 전형적인 예를 나타낸 것이다.

광화문과 잠실동지점의 월별, 물질별 주기성 분석 결과를 종합하면 표 1, 2와 같다.

표 1, 2의 결과를 살펴보면 인간생활과 밀접하게 연관되어 있는 NO, NO₂ 경우 12시간 주기가 지배적인데 이는 가정의 취사, 난방, 출·퇴근시의 교통량 증가 등에 기인한다고 생각된다. O₃의 경우 24시간 주기가 지배적으로 배출원의 영향보다는 기상요인이 크게 작용하는 것으로 보이며, 대기중의 광화학반응을 고려해 볼 때 전구물질과의 시차도 24시간 주기와 관련된 것으로 생각된다. O₃의 주기와 관련하여 주목되는 점은 겨울철인 1, 2, 12월에 24시간 주기가 아닌 12시간 주기가 보이는데,

겨울철의 경우 광화학반응에 영향을 미치는 일사량 및 온도 등과 같은 기상요인이 여름에 비해 그 정도가 약화되면서 덜 영향을 미치기 때문으로 생각된다. 광화학스모그와 같은 2차오염물질의 경우 기상인자 및 배출강도이외에 대기에서의 화학반응율과 화학반응율에 영향을 미치는 외부조건, 반응에 포함되는 촉매제 등이 주기변화에 영향을 미치므로(Abidin,1986) 겨울철 O₃의 12시간 주기와 관련하여 이에 대한 연구가 요구된다. NMHC의 경우 간헐적으로 12시간과 24시간의 주기를 보이기는 하나 대부분의 경우에서 특별한 주기의 형태를 찾아 볼 수 없다.

3.2 광화학스모그물질의 상호관련성

기상현상 및 교통량 등에 따라 NO, NO₂, NMHC는 일변화를 보이며 이에 따라 이들의 광화학반응 생성물인 O₃도 일변화를 나타내게 되는데 이러한 농도변화를 살펴보면 그림 6과 같다.

그림 6에서 보면 NO농도는 7~10시 사이에 고농도를 보이다 비교적 빠르게 감소하며, O₃가 고농도를 보이는 14~19시 사이에 최저치를 보이고 19시부터 다시 증가되는 양상을 보이고 있다. NO₂농도는 9~12사이에 고농도를 보이다 NO농도와 마찬가지로 O₃가 고농도를 보이는 14~19시 사이에 최저치를 나타내게 된다. 오후에 NO가 증가하면서 NO₂의 농도도 증가양상을 보이는데 이는 NO와 O₃의 반응에 의한 결과로 생각된다. NMHC의 경우 NO 농도 변화양상과 비슷한 농도변화 모습을 나타낸다.

주기성분석이 하나의 시계열 자료에 대한 상관성 분석이라면 한 시점 t에서 관찰되는 두 시계열의

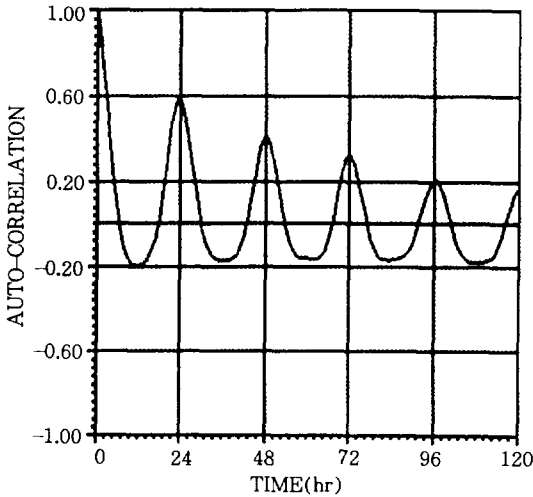


Fig. 2. Auto-Correlation Coefficient for O₃ showing a typical 24-hour cycle (Kwanghwamun station, August, 1990).

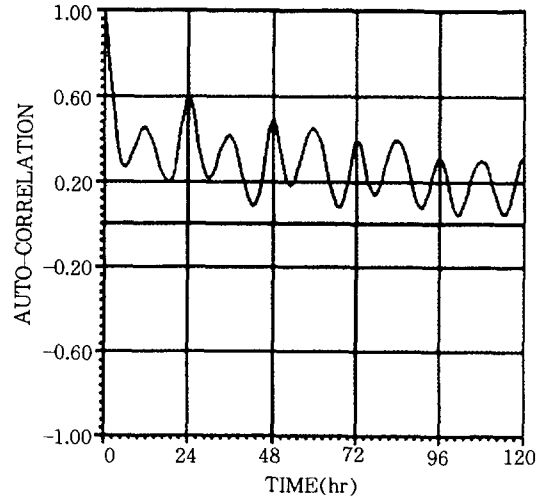


Fig. 3. Auto-Correlation Coefficient for NO showing a typical 12-hour cycle (Jamsil station, September, 1990).

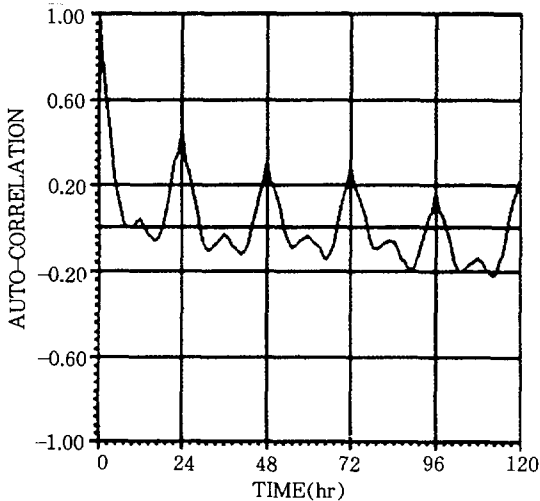


Fig. 4. Auto-Correlation Coefficient for O₃ showing main 24-hour cycle and subsidiary 12-hour cycle (Jamsil station, April, 1990).

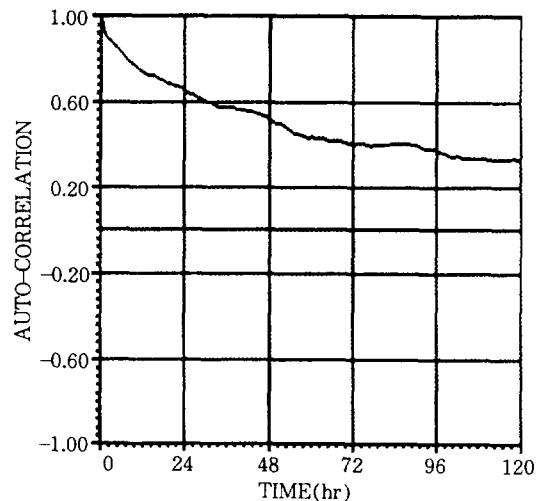


Fig. 5. Auto-Correlation Coefficient for NMHC showing no specific cycle (Kwanghwamun station, December, 1990).

Table 1. Cycles for each material at Kwanghwamun station.

24-hour cycle ①	12-hour cycle ②	24-hr main cycle & 12-hr weak cycle ③	**Weak ①+②+③ cycle	*** Non-cycle
4월 NO, O ₃	1월 NO, NO ₂ , O ₃	2월 NO, O ₃ *	6월 NO(12)	NO(8, 10)
5월 NO	4월 NO ₂	3월 NO*, O ₃ *	7월 NO(12)	NO ₂ (2, 3, 7)
6월 O ₃	5월 NO ₂	5월 O ₃ *	8월 NO ₂ (24주, 12부주기)	NMHC(1, 2, 3, 4, 5,
7월 O ₃	6월 NO ₂	9월 O ₃ *	11월 O ₃ (12), NO ₂ (24, 12)	6, 7, 9, 10,
8월 O ₃ , NMHC	9월 NO, NO ₂	11월 NO	12월 NO ₂ (12)	11, 12)
10월 O ₃	10월 NO ₂			
	12월 NO, O ₃			

* : Weak 12-hour cycle
 ** : The figures in parentheses show cycles
 *** : The figures in parentheses show months

Table 2. Cycles for each material at Jamsil station.

24-hour cycle ①	12-hour cycle ②	24-hr main cycle & 12-hr weak cycle ③	**Weak ①+②+③ cycle	*** Non-cycle
3월 O ₃	1월 NO, O ₃	4월 O ₃ *	3월 NO(24, 12)	NO(5, 7)
6월 NO ₂ , O ₃	2월 NO, O ₃	9월 O ₃	4월 NO(12), NO ₂	NO ₂ (1, 2, 3, 7, 8, 10, 11, 12)
7월 O ₃	3월 NMHC		5월 NMHC(12)	O ₃ (5)
8월 O ₃	5월 NO ₂		6월 NO(12)	NMHC(1, 2, 4, 9, 11, 12)
9월 NO ₂	6월 NMHC		8월 NO(12), NMHC(24)	
10월 O ₃ , NMHC	9월 NO		7월 NMHC	
11월 O ₃	10월 NO		12월 O ₃ (24, 12)	
	11월 NO			
	12월 NO			

* : Weak 12-hour cycle

** : The figures in parentheses show cycles

*** : The figures in parentheses show months

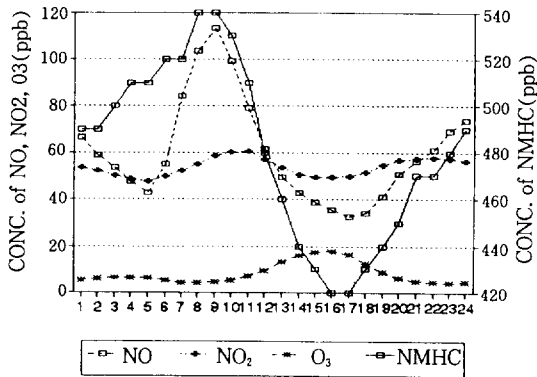


Fig. 6. Diurnal variations of NO, NO₂, NMHC, and O₃ based on annual average concentrations at Kwanghwamun station.

상관성은 교차상관(cross-correlation)계수의 추정으로 알 수 있다. 본 연구에서는 교차상관계수를 구해 시차를 고려한 물질간 상호상관의 정도를 살펴보았다. 주기성 분석결과 전구물질 및 오존은 12시간과 24시간 주기를 나타내고 있어 24시간동안에 가장 큰 영향을 갖는 것으로 보이며 그림 6에서 보듯 일변화를 나타내므로 전구물질과 O₃의 시차를 고려한 상호관련성을 보기위해 매월의 농도자료를 각달별로 시간별 평균을 내었고, 이 자료를 이용하여 교차상관계수를 구하였다. 이러한 상호관련성은 각계절을 대표한다고 생각되는 4, 8, 12월을 대상으로 하였다.

본 연구에서 살펴 본 바에 따르면 두 지점에서 가장 뚜렷하게 일치되는 결과를 보이는 것은 NO가 O₃에 미치는 영향으로 NO와 O₃는 일정 시차에서 순상관을 보인다. 이는 오전중에 나타나는 NO농도가 높으면 일정시차 후에 발생하는 O₃농도도 높아짐을 나타내는 것이라 할 수 있다. 예를들어 표 3에서 광화

문 4월의 NO와 O₃의 상관성이 -7의 시차에서 0.72를 나타낸 것은 NO가 고농도를 보인 후 7시간후에 O₃가 고농도로 발생함을 나타낸 것이다. 그림 7은 광화문 지점의 4월달 NO와 O₃의 상호상관의 정도를 나타내며 표 3은 두지점의 관찰결과를 종합한 것이다.

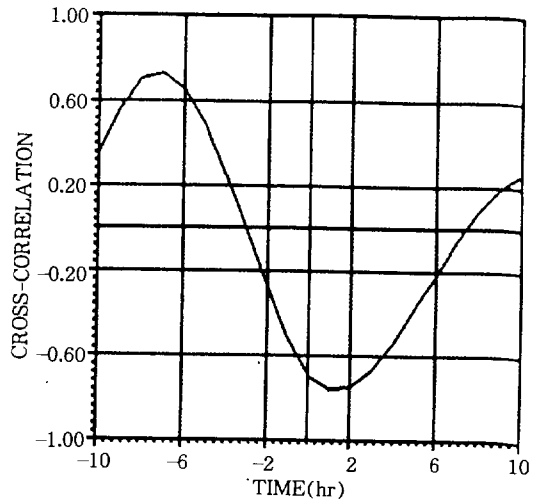


Fig. 7. Cross-Correlation Coefficient between NO and O₃(Kwanghwamun station, April, 1990).

Table 3. Cross-Correlation Coefficient between NO and O₃ at Kwanghwamun and Jamsil.

월	광 화 문		잠 실 문	
	시차	상관계수	시차	상관계수
4	-7	0.72	-6	0.78
8	-6	0.77	-6	0.7
12	-6	0.8	-5	0.6

특정변수의 시간에 따른 변화양상을 파악하기 위한 시계열분석은 각 관측치간의 상호관계를 밝힐 수 있고, 그 변화원인을 규명할 수 없는 연속적 자료의 단기에측도 할 수 있는 유용한 방법으로 시계열분석에 의한 전구물질과 광화학스모그와의 상호관련성 결과를 종합해보면 대체로 NO는 5~7시간의 시차를 두고 O₃로 발현되는 것으로 보이며, 그 상관의 정도도 비교적 높은 것으로 나타나 아침의 NO농도가 높을경우 광화학반응에 의해 오후에 나타나는 O₃ 농도도 높을 것으로 예상할 수 있다.

3.3 광화학스모그와 기상과의 상호관련성

광화학스모그의 지표인 O₃의 시간에 따른 농도변화와 지역적 분포는 SO₂, NO₂ 등의 1차오염물질과는 다르고, NOx등 광화학 반응과 관련된 대기오염물질 농도, 일사량 변화와 깊은 관련을 가지며 대기의 이동, 확산과도 밀접한 관련이 있다. 따라서 O₃농

도의 변화를 기상상태와 관련 오염물질 농도로써 설명하려는 연구가 많이 이루어져 왔다(이덕길과 강인구 외, 1990).

본 연구에서는 대상물질중 기상에 의한 영향이 가장 뚜렷하게 나타나는 O₃와 기온, 상대습도, 일사량, 풍속 등을 대상으로 상호관련성을 살펴보았다. 전운량의 경우 O₃에 직접 영향을 미치기보다는 다른 기상요인에 영향을 미쳐 간접적으로 O₃에 영향을 주게 되는 것으로 실제로 행한 관찰의 몇가지 예에서 별다른 상호관련성이 보이지 않았다. 따라서 O₃와 전운량과의 직접비교는 그 의미가 없다고 판단되어 본 연구에서는 제외하였다.

O₃와 기온, 상대습도, 일사량, 풍속 등 기상과의 상호관련성을 광화문지점의 8월을 예로들어 그림 8~그림 11에 나타내었다.

광화문과 잠실동지점에서 관찰된 O₃와 기온, 상대습도, 일사량, 풍속 등 기상과의 상호관련성을 종합한 결과는 표 4, 5에 나타난 바와 같다.

Table 4. Cross-Correlation Coefficient between O₃ and weather at Kwanghwamun station.

월	온 도		상대습도		일 사 량		풍 속	
	시차	상관계수	시차	상관계수	시차	상관계수	시차	상관계수
4	-1	0.44	-1	-0.5	-3	0.7	0	0.52
8	0	0.57	0	-0.59	-3	0.68	1	0.48
12	상관성이 안보임		0	-0.32	-2	0.33	-1	0.62

Table 5. Cross-Correlation Coefficient between O₃ and weather at Jamsil station.

월	온 도		상대습도		일 사 량		풍 속	
	시차	상관계수	시차	상관계수	시차	상관계수	시차	상관계수
4	-1	0.32	-1	-0.36	-3	0.5	1	0.46
8	0	0.57	0	-0.56	-3	0.66	2	0.46
12	상관성이 안보임		0	-0.26	-2	0.28	2	0.3

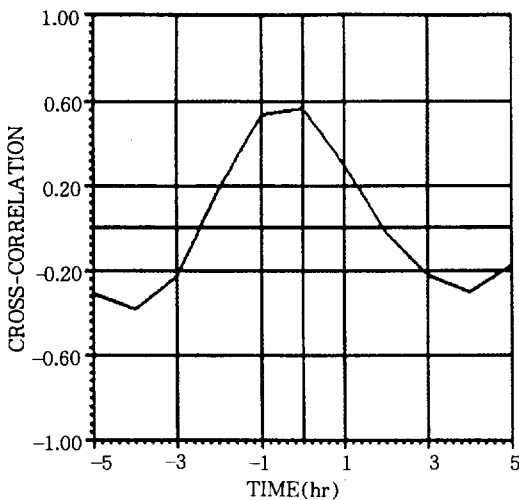


Fig. 8. Cross-Correlation Coefficient between O₃ and temperature(Kwanghwamun station, August, 1990).

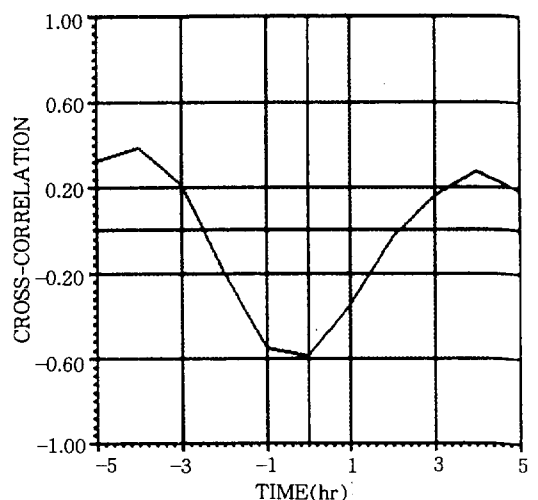


Fig. 9. Cross-Correlation Coefficient between O₃ and relative humidity(Kwanghwamun station, August, 1990).

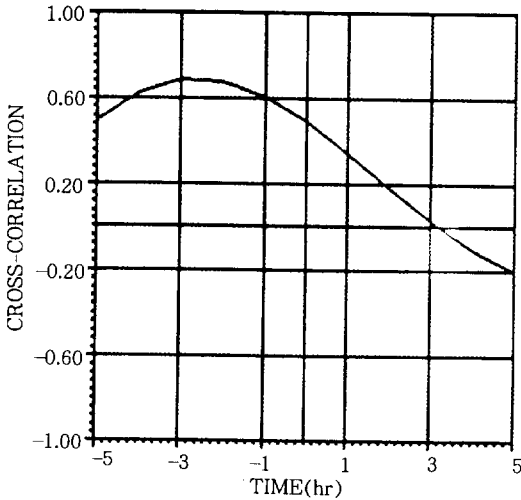


Fig. 10. Cross-Correlation Coefficient between O_3 and insolation intensity(Kwanghwamun station, August, 1990).

앞의 결과에서 보면 기상이 O_3 에 미치는 영향은 기온, 일사량, 상대습도 등 대부분의 경우 광화학반응이 일어나기 전으로 O_3 와 기온, 일사량 등은 순상관을, 상대습도와는 역상관을 나타내어 정용(1986), 김화일(1987), 정용승(1991), C. Seigneur(1985) 연구결과와 동일하게 나타났다. 풍속의 경우 본 연구에서는 O_3 와 순상관을 갖는 것으로 나타났는데 이는 정용(1986), 김화일(1987) 등의 연구결과와는 일치되나 역상관을 나타낸 정용승(1991), C. Seigneur(1985)의 연구결과와는 상반된 것이다. 8월의 경우 기상요인의 영향은 두지점에서 시차없이 비슷한 정도의 상관성을 나타낸다.

4. 결 론

날로 중요성을 더해가는 광화학스모그의 관리대책을 위해 선행된 연구에서 미비하였던 시차를 고려한 광화학스모그와 영향인자(전구물질 및 기상요인)와의 상호관련성에 대해 살펴보았다. 90년도의 광화학문과 잠실동지점의 대기자동측정망 자료를 대상으로 시계열분석을 실시하였는 바 자기상관계수를 구해 대상으로염물질의 주기적 특성을 검토하였고 교차상관계수를 구해 시차를 고려한 물질간 및 O_3 와 기상과의 상호관련성을 살펴보았다. 연구의 결과는 다음과 같다.

첫째, 인간생활과 밀접하게 연관되어 있는 NO , NO_2 는 12시간 주기가 지배적이고 O_3 는 24시간 주기

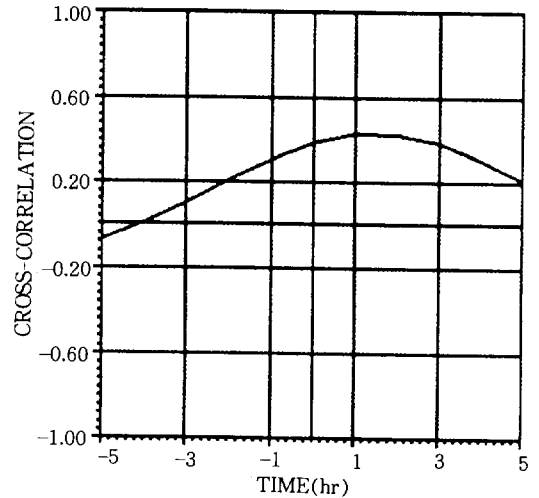


Fig. 11. Cross-Correlation Coefficient between O_3 and wind speed(Kwanghwamun station, August, 1990).

가 지배적으로 기상요인이 크게 작용하는 것으로 보인다. 대기중의 광화학반응을 고려해 볼 때 전구물질과의 시차도 O_3 의 24시간 주기와 관련된 것으로 생각된다. O_3 의 주기와 관련하여 겨울철인 1, 2, 12월에 24시간 주기가 아닌 12시간 주기가 보이는데, 이에 대한 연구가 요구된다. NMHC의 경우 간헐적으로 12시간과 24시간의 주기를 보이기는 하나 대부분의 경우에서 특별한 주기의 형태를 찾아볼 수 없다.

둘째, 시계열분석에 의한 전구물질과 광화학스모그와의 상호관련성 결과를 종합해보면 대체로 NO 는 5~7시간의 시차를 두고 O_3 로 발현되는 것으로 보이며, 그 상관의 정도도 비교적 높은 것으로 나타나 아침의 NO 농도가 높을 경우 광화학반응에 의해 오후에 나타나는 O_3 농도도 높을 것으로 예상할 수 있다.

셋째, O_3 와 기상과의 상호관련성을 살펴 본 결과 O_3 와 기온, 일사량, 풍속 등은 순상관을 상대습도와는 역상관을 나타냈다. 풍속의 경우 역상관을 나타낸 연구결과가 있어 풍속과의 상호관련성에 대한 연구가 더 진행되어야 할 것이다.

넷째, NO 등 전구물질의 경우 정도의 차이는 있으나 일정수준의 시차를 지니고 영향을 미치는 반면, 기상은 전구물질에 비해 극히 미비한 시차를 두고 O_3 에 영향을 주는 것으로 나타났다.

이러한 관점에서 대기오염경보체계의 구성은 크게 2가지 방향에서 고려되어야 할 것이다. 즉 O_3 의 발생과 큰 상관을 가지는 기상요인의 경우 미비한 시

차를 두고 O₃발생에 영향을 나타내고, 기상대에서의 전일예보가 가능하므로 당일예보보다는 전일예보에 이용되고, 일정수준의 시차를 나타내는 NO, NO₂, NMHC 등 전구물질의 대기오염도는 당일예보에 이용될 수 있을 것이다.

대기오염경보체제구성과 같은 광화학스모그 물질의 관리대책에 있어 정확한 미래예측값이 요구되어 지나 본 연구에서는 물질간의 시차를 고려한 상관정도, 기상과 O₃와의 시차를 고려한 상관정도만을 나타냄으로써 예보를 발할 수 있는 시차만을 밝혔을 뿐 그것이 어느 정도의 농도값을 나타내는지 밝히지 못하였다. 따라서 미래의 농도까지도 예측하여 경보를 발령할 수 있는 방법에 대한 연구가 이루어져야 하겠다.

참 고 문 헌

- 김광진, 이상훈, 정용(1988) ARIMA model에 의한 서울시 일부지역 SO₂ 오염도의 월변화에 대한 시계열 분석, 한국대기보전학회지, 4(2), 72-81.
- 김기준(1985) 광화학스모그현상과 인체 및 동식물에 미치는 영향, 환경과 공해, 8(7).
- 김연형(1992) 시계열분석과 예측, 자유아카데미.
- 김조천(1988) 광화학산화제의 통계적 단기예측모형에 관한 연구, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
- 김필수(1985) 대기경계층내 O₃의 농도와 그 변화성, Journal of Korean Meteorology Society, 18(7).
- 김화일(1987) 서울시 광화학스모그의 영향인자 분석에 관한 연구, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
- 박옥현(1986) 부산에 있어서의 광화학스모그 오염의 제어를 위한 통계학적 접근(I) -기인인자들의 분포 및 관계-, 화학공업과 기술, 4(1), 62-70.
- 박옥현, 김필홍(1986) 부산에 있어서의 광화학스모그 오염의 제어를 위한 통계학적 접근(II) -Oxidant 오염의 시간변화 특성-, 대한환경공학회지, 8(2), 33-42.
- 이덕길, 강인구 외(1990) 도시지역 대기질 개선에 관한 연구(II) -대기오염 영향인자 분석, 국립환경연구원보, 12, 71-96.
- 이화운, 박종길(1992) 대기오염물질의 광화학 반응 모델에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 8(1), 74-83.
- 정용, 장재연, 권숙표(1986) 서울시 대기중 오존의 오염도와 그 영향인자 분석, 한국대기보전학회지, 2(1), 73-79.
- 정용승, 정재섭(1991) 서울 수도권 지역의 광화학오존에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 7(3), 169-179.
- Abidin A. Z.(1986) Measurements and Analysis of Selected Air Pollutants in Kualalumpur, Kajang and Universiti Pertanian Malaysia - with Emphasis on Suspended particulate Matter.
- Seigneur C. and P. Saxena(1985) The Impact of Cloud Chemistry on Photochemical Oxidant Formation, Water, Air, and Soil Pollution, 24, 419-429.