

다중회귀분석을 통한 대구지역 오존농도 예측

최 성 우 · 최 상 기 · 도 상 현
계명대학교 환경과학과
(2002년 4월 24일 접수; 2002년 6월 5일 채택)

Prediction of Ozone Concentration by Multiple Regression Analysis in Daegu area

Sung-Woo Choi, Sang-Ki Choi and Sang-Hyeun Doh

Department of Environmental Science and Engineering, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea
(Manuscript received 24 April, 2002; accepted 5 June, 2002)

Air quality monitoring data and meteorology data which had collected from 1995. 1. to 1999. 2. in six areas of Daegu, Manchondong, Bokhyundong, Daemyungdong, Samdukdong, Leehyundong and Nowondong, were investigated to determine the distribution and characteristic of ozone. A equation of multiple regression was suggested after time series analysis of contribution factor and meteorology factor were investigated during the day which had high concentration of ozone.

The results show the following; First, 63.6% of high ozone concentration days, more than 60 ppb of ozone concentration, were in May, June and September. The percentage of each area showed that; Manchondong 14.4%, Bokhyundong 15.4%, Daemyungdong 15.6%, Samdukdong 15.6%, Leehyundong 17.3% and Nowondong 21.6%.

Second, correlation coefficients of ozone, SO₂, TSP, NO₂ and CO showed negative relationship; the results were respectively -0.229, -0.074, -0.387, -0.190(p<0.01), and humidity were -0.677. but temperature, amount of radiation and wind speed had positive relationship; the results were respectively 0.515, 0.509, 0.400(p<0.01).

Third, R² of equation of multiple regression at each area showed that; Nowondong 45.4%, Lee hyundong 77.9%, Samdukdong 69.9%, Daemyungdong 78.8%, Manchondong 88.6%, Bokhyundong 77.6%. Including 1 hour prior ozone concentration, R² of each area was significantly increased; Nowondong 75.2%, Leehyundong 89.3%, Samdukdong 86.4%, Daemyungdong 88.6%, Manchondong 88.6%, Bokhyundong 88.0%. Using equation of multiple regression, There were some different R² between predicted value and observed value; Nowondong 48%, Leehyundong 77.5%, Samdukdong 58%, Daemyungdong 73.4%, Manchondong 77.7%, Bokhyundong 75.1%. R² of model including 1 hour prior ozone concentration was higher than equation of current day; Nowondong 82.5%, Leehyundong 88.3%, Samdukdong 80.7%, Daemyungdong 82.4%, Manchondong 87.6%, Bokhyundong 88.5%.

Key words : ozone, multiple regression analysis

1. 서 론

국내의 통계기법과 관련된 대기오염 연구는 1980년대 중반부터 시작되었다. 1985년에 국립환경연구원에서는 대기오염정보체계 구성을 위한 조사 연구

를 하였으며, 1986년에는 대기오염도 예측기법 개발에 관한 연구를 수행하였다. 학계에서도 대기환경기준 오염물질의 오염도 특성을 연구하였고, 기상인자와의 상관관계를 분석하는 등^{1~7)} 예측기법 개발을 위한 많은 기초 연구들이 이루어졌다. 회귀모형을 이용한 오존농도 예측⁸⁾, 신경회로망을 이용한 오존농도 예측⁹⁾ 등 통계기법을 이용한 오존의 단기예측 연구도 있었다. 그러나, 기존의 국내 연구들이 오염물질의 농도변화와 기상상태와의 상관관계

Corresponding Author : Sung-Woo Choi, Department of Environmental Science and Engineering, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea
Phone : +82-53-580-5245
E-mail : swchoi@kmu.ac.kr

분석에 집중되었던 반면 오염도 예측을 위한 연구는 많지 않았다.

대기오염물질 중에서도 특히 오존은 복잡한 광화학 반응에 의해 생성되므로 다른 오염물질과는 비선형적인 관계가 있어서 정확한 농도추정에 어려움이 따른다. 오존 농도 예측의 연구로, 박옥현¹⁰⁾은 오존오염의 자기상관성과 기상특성을 고려하여, 고농도 오존을 예측하기 위해 판별분석을 이용한 바 있으며, 또한 시계열 분석을 이용한 오존 농도 예측에 관한 연구도 있었다.¹¹⁾ 판별분석을 이용한 경우는 기존 농도 이상의 오존 발생 여부만이 판단되며, 시계열 분석에서는 변수 선정에 제약점이 있었다. 대기오염농도를 예측하는데 있어서 대기오염예보제 등 실용적인 면을 고려한다면 최소한 수 시간 전에 농도가 예측되어야만 오염물질의 배출을 규제하기 위한 대상지역을 설정한다든지, 자동차의 통행량을 조절하는 등의 규제를 취할 수 있다.

이러한 시점에 1997년 7월부터 특별시 및 모든 광역시에서 한 시간의 오존 농도가 0.12 ppm 이상 일 때는 오존경보제를 발령하게 되었다. 대구에서의 현행 오존경보제는 국립환경연구원에서 중회귀통계모델을 이용하여 농도를 일괄적으로 계산하여 각 지역에 배포하는 형식이며, 또한 주의보 발령에 대한 확률예보 방식이다. 오존 대상 권역을 나누지 않고 전역을 한 지역으로 처리함으로써 효율과 제도의 신뢰성보다는 제도를 시행한다는 자체에 너무 의미를 두고 있으며, 오존 발생과 분포의 국지성을 완전히 무시하였다. 본 연구는 1995년에서 1999년의 대구광역시의 대기 오염자료와 기상자료를 이용하여 고농도 오존일의 시계열적 요소를 더한 다중회귀모델을 개발하여 예측치와 관측치를 비교하고자 한다. 또한 그 결과로부터 오존예보 모델의 유의성을 진단해보고 앞으로의 대기질관리와 오존예보모델을 개발하는데 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

2. 연구방법

고농도 오존일의 기여인자와 다중회귀식을 이용한 오존예측을 위해 과거 5년간의 대기오염물질 농도자료와 기상자료를 이용하였다. 대기오염 농도 자료는 대구지방환경청의 6개 대기질 자동 측정망의 시간별 오염농도자료이며, 그 항목과 측정방법은 Table 1에 나타내었다. 측정 자료의 선택은 24시간 중 70%이상 측정된 자료를 유효자료로서 취급¹²⁾하였고, 대구의 모든 지역에서 유효하다고 판단되는 1995년부터 1999년 5년 간의 자료를 선택하였다. 오존의 기여인자를 분석하기 위하여 해당기간

동안의 대구 지방기상대의 매시간 측정된 기상자료(기온, 상대습도, 일사량, 상대습도)를 이용하였다.

대구지역의 대기오염 자동측정망의 측정자료의 각 항목별 결측율을 Table 2에 나타내었다. 각 측정자료들은 유효자료로서 취급이 가능하며 노원동의 TSP가 다소 높게 나타났다. 본 연구에서 연구 대상으로 하는 오존 자료의 결측율은 지역별로 다소 차이가 있으나 노원동을 제외하고는 7%이하의 낮은 결측율을 보이고 있다.

교차분석과 다중회귀식을 이용한 예측식은 SPSS PC ver 8.0을 이용하였다.

Table 1. Analytical methods used in the air quality monitoring

Analysis Item	Method
SO ₂	Pulse U.V. Fluorescence Method
CO	Non-Dispersive Infrared Method
NO ₂	Chemiluminescent Method
O ₃	U.V. Photometric Method
TSP	β -Ray Absorption Method

Table 2. Ratio of data unmeasured at each site in Daegu (%)

Site	SO ₂	TSP	O ₃	NO ₂	CO
Nowon	9.3	30.6	10.8	13.1	16.3
Leehyun	6.3	9.0	7.3	7.5	20.9
Samduk	3.0	6.3	3.9	9.5	7.4
Daemyung	2.3	15.8	2.2	6.9	2.7
Manchon	10.2	14.3	6.4	10.3	11.7
Bokhyun	3.1	6.1	6.8	13.9	8.8

3. 연구결과

3.1. 고농도 오존 특성분석

최근 5년 동안 대구지역의 60 ppb 이상의 고농도 오존과 100 ppb 이상을 초과하는 농도의 시간수를 분석하여 Table 3에 나타내었다. 60 ppb 이상의 고농도 오존의 발생시간을 살펴보면 1995년부터 1998년까지 점차 증가 후 1999년도에 감소하는 경향으로 나타났으며, 1995년에 386시간으로 초과농도 발생시간이 가장 낮았으며, 1998년도에 813시간으로 고농도 오존의 발생시간이 1995년에 비해 2배 이상 높게 나타났다. 1995년의 고농도 오존일 발생시간이 현저히 낮게 나타난 이유는 만촌동 지점의 대기오염측정이 1996년 5월 이후 실시되었기 때문이다. 또한 100 ppb 이상의 농도는 1995년도에는 1

다중회귀분석을 통한 대구지역 오존농도 예측

Table 3. The number of measured hourly ozone concentrations higher than the standards in air quality monitoring site in Daegu (1995~1999)

Year	Number hours higher than the standard	
	≥ 60ppb (WHO)	≥ 100ppb (Korea)
1995	386	-
1996	664	8
1997	639	5
1998	813	22
1999	605	6
Total	2,562	35
Average	512.40	10.25

건도 발생되지 않았으나 1998년에서 22시간을 초과하였으며 1999년도에는 6시간으로 초과시간이 감소하였으나 전체적인 경향은 고농도 오존의 발생횟수가 점차 증가하는 양상을 보여주고 있다.

최근 5년 간 대구지역 6개 지점별 고농도오존의 초과일수를 Table 4에 나타내었다. 전체적으로 불매 일사량의 강도가 높아지는 4월부터 10월까지 고농도 오존발생횟수가 많아지고, 11월부터 3월까지 고농도오존의 발생일이 낮아지는 현상을 볼 수 있었으며 이는 앞서 분석한 주기성분석의 결과와도 일치함을 알 수 있었다. 특히 5월의 경우 222회로 가장 많은 고농도 오존일을 나타냈으며, 6, 9월에 190, 161회 이상의 고농도 오존일을 나타내어 5, 6, 9월의 경우에 고농도 오존일의 63.6%로 대부분을 차지하고 있다. 일사량이 높은 7, 8월의 경우 95, 116회의 고농도 오존일로 5, 6, 9월보다 발생빈도가 적게 나타나고 있는데, 여름철 집중호우가 고농도 오존의 발생일 감소에 영향을 줄 수 있었다. 일조시간이 적고 야간 역전층의 형성 시간 연장으로 인해 오존의 침강에 의한 농도가 전구물질의 광

화학 반응으로 형성되는 오존의 농도보다 훨씬 강한 겨울철에는 단 한번의 발생도 일어나지 않았다.

고농도 오존의 발생일을 지역별로 살펴보면 만촌동이 130일(14.4%)로 가장 낮았으며 북현동 139일(15.4%), 대명동, 삼덕동이 각 141일(15.6%), 이현동 156일(17.3%)로 나타났으며 노원동은 195일(21.6%)로 고농도 오존일의 발생횟수가 가장 높게 나타났다. 고농도 오존일이 가장 많이 발생한 노원동은 3공단, 서대구 공단사이에 위치해 있고, 또한 이 지역 주변의 주요도로는 공단내의 산업시설과 버스 터미널에 연계되어 구조적으로 물류 및 인원의 수송량이 많으며, 주변의 고속도로 및 순환도로망과 연계되어 있는 주변 도로여건을 갖고 있어서 차량통행량도 비교적 많아 교통 체증이 심각한 지역이기 때문에 오존 전구물질인 NO₂의 발생량이 많아 광화학 반응에 의하여 많은 오존이 생성된 것으로 사료되어진다. 같은 공업지역인 이현동은 지형학적으로 약간의 고지대에 위치해 있어 대기의 순환에 의하여 확산·희석되어 조금 적게 나타났다고 사료된다.

고농도 오존은 단시간 내에 주변생태계와 인체에 영향을 줌으로 고농도 오존의 발생 및 빈도특성을 분석하는 것은 매우 중요하다. 단기간 고농도 오존의 위해성과 관련하여 세계보건기구(WHO)는 고농도 오존의 권고 기준치 농도는 60 ppb으로 정하였으며¹³⁾, 우리나라의 경우 8시간 평균기준치가 60 ppb이하, 1시간 평균 환경기준치는 100 ppb이하로 규정하고 있다. 본 연구에서는 고농도 오존의 특성을 분석하기 위해 최근 5년 동안 대구지역의 6개 지점에서 측정된 시간별 오존농도를 이용하여 60 ppb이상의 고농도 오존으로 정의하고 고농도 오존의 발생현황 및 기상요인과 대기오염물질과의 시간적 변화특성을 분석하였다. 오존농도가 60 ppb 이상일 경우에는 천식을 가진 환자의 증세가 더욱 악화

Table 4. The day of measured hourly ozone concentrations higher than the standards in air quality monitoring site in Daegu (1995~1999)

Site	Month												Total	%	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
Nowon				12	50	43	25	19	29	10	7			195	21.6
Leehyun			3	21	32	30	14	26	26	3	1			156	17.3
Daemyung				10	45	30	6	18	31	1				141	15.6
Manchon				16	29	17	18	19	23	6	2			130	14.4
Bokhyun		1	3	10	36	32	12	15	28	2				139	15.4
Samduk				9	30	38	20	19	24	1				141	15.6
Total		1	6	73	197	158	82	105	146	32	10			902	
%		0.1	0.7	8.6	24.6	21.1	10.5	12.9	17.9	2.5	1.1				

될 수 있을 정도의 오염도¹⁴⁾로 오존으로 인한 피해가 증가될 수 있는 농도이다.

3.2. 오존과 기여인자간의 상관성분석

대구지역의 오존농도와 대기오염물질 및 기상인자간의 관련성을 분석하기 위하여 상관성분석을 실시하여 그 결과를 Table 5와 Table 6에 나타내었는데 상관계수의 값들이 모두 99%이상의 신뢰구간을 만족하고 있었다.

Table 5에서 오존과 대기오염물질과의 상관성을 살펴보면 오존과 1차 대기오염물질인 SO₂, TSP, NO₂, CO는 모두 음의 상관관계를 가지는 것으로 나타났으며, 그 상관계수는 각각 -0.229, -0.074, -0.387, -0.190로 나타났다(p<0.01). 특히 오존과 NO₂는 상관계수가 -0.387로 1차 대기오염물질 중 오존과 역상관성이 가장 높았으며 오존생성에 가장 큰 영향을 미치는 물질로 나타났다. 반면에 1차성 대기오염물질간의 상관성은 모두 양의 상관성을 가지는 것으로 나타났으며, 특히 SO₂와 TSP, NO₂의 상관계수는 각 0.401, 0.462로 가장 높았으며, SO₂와 CO는 0.207, NO₂와 CO는 0.317로 나타났다. 1차 대기오염물질간의 상관성 분석 결과는 배출원이 비슷한 오염물질간에는 그 상관성도 높음을 제시하였다.

Table 6은 대구지역의 고농도 오존일의 오존과 기상인자간의 상관분석 결과로 오존농도와 영향인자는 모두 유의한 관계를 보여주었다 (p<0.01). 오존과 기상인자간의 상관관계를 살펴보면 오존과 기온, 일사량, 풍속의 상관계수는 각 0.515, 0.509, 0.400로 양의 상관관계를, 오존과 상대습도는 -0.677로 음의 상관관계를 보여주었으며 오존과 상대습도가 가장 큰 상관관계를 나타내었다. 또한 기상요소간의 상관관계분석을 살펴보면 온도는 일사량과 양의 상관관계, 습도와는 음의 상관관계를 보여주었으며 일사량과 풍속은 가장 낮은 상관관계를 보여주었다.

3.3. 다중회귀분석을 이용한 예측 모형 개발

대구지역의 대기질 측정망이 운영되고 있는 전지역에서 오존 농도와 대기오염물질과 기상인자들 사이의 상관관계를 구하여 Table 7에 나타내었다. 오존과 대기오염물질사이에 대부분이 음의 상관관계를 나타내고 있으며 만촌동과 복현동에서의 TSP와 복현동에서의 CO의 상관계수가 양의 상관관계를 나타내고 있다. 오존과 대기오염물질의 지역별 상관계수를 살펴보면 SO₂는 -0.449 ~ -0.108, TSP는 -0.269 ~ 0.132, NO₂는 -0.466 ~ -0.310, CO는 -0.450 ~ 0.028의 값을 나타내고 있다. 오염물질

Table 5. Correlation coefficients between ozone and pollutants elements in ozone episode (1996~1999)

	O ₃	SO ₂	TSP	NO ₂	CO
O ₃	1				
SO ₂	-.229**	1			
TSP	-.074**	.401**	1		
NO ₂	-.387**	.462**	.328**	1	
CO	-.190**	.207**	.177**	.317**	1

** Correlation is significant at the 0.01 level.

Table 6. Correlation coefficients between ozone and meteorological elements in ozone episode (1996~1999)

	O ₃	Temperature	Humidity	Radiation	Wind speed
O ₃	1				
Temperature	.515**	1			
Humidity	-.677**	-.428**	1		
Radiation	.509**	.443**	-.578**	1	
Wind speed	.400**	.202**	-.304**	.132**	1

** Correlation is significant at the 0.01 level.

Table 7. Correlation matrix of ozone with pollutants and meteorological elements

	SO ₂	TSP	NO ₂	CO	Temperature	Humidity	Radiation	Wind-speed
Nowon	-.141**	-.112**	-.341**	-.090**	.413**	-.551**	.461**	.339**
Leehyun	-.449**	-.269**	-.414**	-.257**	.545**	-.716**	.538**	.405**
Samduk	-.241**	-.013	-.310**	-.210**	.521**	-.653**	.396**	.405**
Daemyung	-.345**	-.189**	-.466**	-.450**	.596**	-.742**	.540**	.415**
Manchon	-.134**	.132**	-.434**	-.344**	.537**	-.753**	.557**	.474**
Bokhyun	-.108**	.101**	-.383**	.028	.541**	-.722**	.584**	.401**

** Correlation is significant at the 0.01 level.

다중회귀분석을 통한 대구지역 오존농도 예측

대부분은 오존과 큰 상관성이 나타나지 않았지만, NO₂는 전지역에 걸쳐서 0.310이상의 큰 상관관계를 나타내고 있다. 오존과 기상인자 사이의 상관관계는 기온, 일사량, 풍속은 양의 상관관계를, 상대습도는 음의 상관관계를 나타내고 있다. 지역별 상관계수를 살펴보면 기온은 0.413 ~ 0.596, 상대습도는 -0.753 ~ 0.551, 일사량은 0.396 ~ 0.584, 풍속은 0.339 ~ 0.474의 상관계수를 나타내었고 대기오염물질과 달리 대부분의 기상인자들이 높은 상관관계를 나타내었다.

대구지역의 고농도 오존에 영향을 미치는 요인을 분석하기 위해 다중회귀분석을 실시하였다. 다중회귀분석은 지점별 매시간별 자료로서 대구지역의 대기자동측정망을 운영하고 있는 노원동, 이현동, 삼덕동, 대명동, 만촌동, 복현동을 대상지역으로 하였다. 지점별 오존농도를 종속변수로 하고 나머지 대기오염물질과 기상인자를 독립변수로 선정하였으며 특히 독립변수들이 종속변수인 오존생성에 미치는 시차적 영향을 고려하고 주기성 분석결과와 교차분석결과를 근거로 하여 오존 생성에 가장 많은 영향을 줄 것으로 예상되는 시차별 대기오염물질과 시차별 기상인자를 선정 후 단계식분석(stepwise selection)에 의한 다중회귀분석을 실시하였다.

Table 8은 지역별로 오존에 미치는 요인을 분석한 것으로 노원동에서는 일사량이 변수로서 오존농도의 전 변동의 41.6%를 설명할 수 있는 것으로 나타났으며 NO₂, CO, 상대습도 및 SO₂는 약 45%를 설명할 수 있는 결과로 나타났다. 이현동의 경우 일사량만으로 70.8%를, 일사량과 SO₂는 74.1%, 일사량, SO₂, 상대습도 및 NO₂는 76.7%로 나타났으며 기온, 풍속, TSP를 변수로 첨가시 약 77.7%로 큰 차이는 없었다. 삼덕동의 경우에서 일사량만 고려시 62%의 오존농도의 전 변동량을 설명할 수 있었으며, 일사량과 풍속이 64.8%, 일사량, 풍속, 상대습도, SO₂, NO₂는 69%의 설명력을 가지고 있었다. 대명동의 경우 일사량만 변수로 할 경우 69.4%를 설명할 수 있었으며, 일사량과 CO는 72.8%, 일사량, CO, 상대습도, NO₂, SO₂와 기타 변수를 포함할 경우 78% 이상의 설명력을 가졌다. 만촌동의 경우 일사량을 변수로 할 경우 70%의 설명력을, 일사량과 습도는 72.5%, 일사량, 습도, NO₂, TSP, 풍속과 기타변수를 포함시 78%이상으로 오존농도의 전 변동량을 설명할 수 있었다. 마지막으로 복현동의 경우 일사량은 70.6%, 일사량, 습도는 73%의 설명력으로 만촌동과 유사한 설명력을 가진 결과로 나타났다. 6개 지점의 대부분의 변수들이 70 %이

Table 8. Multiple regression model of predicted Ozone concentration

Site	Step	Multiple regression model	R ²
Nowon	1	O ₃ =19.488+0.148Rad	0.416
	2	O ₃ =27.430+0.138Rad-0.280NO ₂	0.441
	3	O ₃ =25.253+0.140Rad-0.301NO ₂ +0.342CO	0.447
	4	O ₃ =35.187+0.120Rad-0.329NO ₂ +0.390CO-0.131Hum	0.452
	5	O ₃ =34.464+0.121Rad-0.367NO ₂ +0.362CO-0.121Hum+5.478 × 10 ⁻² SO ₂	0.454
Leehyun	1	O ₃ =12.250+0.203Rad	0.708
	2	O ₃ =19.379+0.186Rad-0.114SO ₂	0.741
	3	O ₃ =41.988+0.138Rad-0.136SO ₂ -0.312Hum	0.767
	4	O ₃ =47.738+0.129Rad-0.105SO ₂ -0.345Hum-0.132NO ₂	0.774
	5	O ₃ =41.934+0.119Rad-9.354 × 10 ⁻² SO ₂ -0.355Hum -0.131NO ₂ +2.918 × 10 ⁻² Temp	0.777
	6	O ₃ =40.230+0.117Rad-8.660 × 10 ⁻² SO ₂ -0.352Hum -0.128NO ₂ +2.918 × 10 ⁻² Temp+5.855 × 10 ⁻² WS	0.778
	7	O ₃ =39.476+0.118Rad-9.636 × 10 ⁻² SO ₂ -0.350Hum -0.134NO ₂ +2.799 × 10 ⁻² Temp+6.071 × 10 ⁻² WS+1.392 × 10 ⁻² TSP	0.779
Samduk	1	O ₃ =16.691+0.186Rad	0.620
	2	O ₃ =11.563+0.173Rad+0.296WS	0.648
	3	O ₃ =26.631+0.142Rad+0.290WS-0.210Hum	0.662
	4	O ₃ =36.976+0.130Rad+0.236WS-0.275Hum-0.410SO ₂	0.682
	5	O ₃ =44.421+0.118Rad+0.196WS-0.309Hum-0.376SO ₂ -0.149NO ₂	0.690
	6	O ₃ =49.421+0.117Rad+0.170WS-0.330Hum -0.280SO ₂ -0.167NO ₂ -0.452CO	0.698
	7	O ₃ =48.299+0.117Rad+0.168WS-0.329Hum -0.303SO ₂ -0.170NO ₂ -0.454CO+1.915 × 10 ⁻² TSP	0.699

Table 8. Multiple regression model of predicted Ozone concentration (continued)

Site	Step	Multiple regression model	R ²
Daemyung	1	$O_3=17.158+0.180Rad$	0.694
	2	$O_3=27.235+0.163Rad-1.187CO$	0.728
	3	$O_3=46.183+0.122Rad-0.123CO-0.274Hum$	0.756
	4	$O_3=53.203+0.106Rad-0.498CO-0.345Hum-0.282NO_2$	0.776
	5	$O_3=25.807+0.106Rad-0.446CO-0.346Hum-0.201NO_2-0.117SO_2$	0.782
	6	$O_3=47.128+9.553 \times 10^{-2}Rad-0.420CO-0.351Hum$ $-0.206NO_2-9.860 \times 10^{-2}SO_2+2.801 \times 10^{-2}Temp$	0.785
	7	$O_3=46.280+9.533 \times 10^{-2}Rad-0.491CO-0.352Hum$ $-0.213NO_2-0.110SO_2+2.743 \times 10^{-2}Temp+2.565 \times 10^{-2}TSP$	0.787
	8	$O_3=44.626+9.464 \times 10^{-2}Rad-0.502CO-0.345Hum-0.200NO_2$ $-0.105SO_2+2.637 \times 10^{-2}Temp+2.624 \times 10^{-2}TSP+5.499 \times 10^{-2}WS$	0.788
Manchon	1	$O_3=14.397+0.209Rad$	0.700
	2	$O_3=38.169+0.161Rad-0.334Hum$	0.725
	3	$O_3=24.849+0.128Rad-0.432Hum-0.312NO_2$	0.761
	4	$O_3=51.131+0.121Rad-0.427Hum-0.385NO_2+6.998 \times 10^{-2}TSP$	0.771
	5	$O_3=44.036+0.115Rad-0.404Hum-0.343NO_2+7.748 \times 10^{-2}TSP+190WS$	0.780
	6	$O_3=38.791+0.105Rad-0.404Hum-0.341NO_2$ $+7.026 \times 10^{-2}TSP+0.200WS+2.720 \times 10^{-2}Temp$	0.783
	7	$O_3=39.310+0.105Rad-0.395Hum-0.326NO_2$ $+7.203 \times 10^{-2}TSP+0.202WS+2.475 \times 10^{-2}Temp-0.174CO$	0.783
Bokhyun	1	$O_3=13.610+0.201Rad$	0.706
	2	$O_3=34.020+0.158Rad-0.294Hum$	0.730
	3	$O_3=54.654+0.121Rad-0.437Hum-0.375NO_2$	0.763
	4	$O_3=51.960+0.117Rad-0.439Hum-0.416NO_2+50252 \times 10^{-2}TSP$	0.772
	5	$O_3=54.199+0.118Rad-0.461Hum-0.367NO_2+5.122 \times 10^{-2}TSP-0.235CO$	0.775
	6	$O_3=50.937+0.111Rad-0.469Hum-0.356NO_2$ $+4.699 \times 10^{-2}TSP-0.221CO+1.793 \times 10^{-2}Temp$	0.776

상의 오존농도의 전 변동량을 설명할 수 있었으나 노원동은 약 45%미만으로 그 설명력이 타 지점에 비해 매우 낮았다. 결과적으로 6개 지점의 고농도 오존의 생성에 가장 큰 기여를 하는 변수는 일사량이었으며, 두 번째 변수로는 노원동이 NO₂, 이현동이 SO₂, 삼덕동의 풍속, 대명동은 CO, 만촌동과 복현동은 상대습도로 나타났다.

한편, 교차상관 결과를 바탕으로 1시간 전 오존농도, 현시점의 모든 상기변수를 이용하여 1시간후의 오존농도를 예측한 결과는 Table 9에 나타내었다. 이 추정모델은 위의 조건에서 추정된 모델보다 유의성이 높았으며 설명력도 노원동에서는 72.2~75.2%, 이현동은 83.5~89.3%, 삼덕동은 80.5~86.4%, 대명동 82.5~88.6%, 만촌동 84.3~88.6%로 오존농도의 전 변동량을 설명할 수 있었다. 또한 1시간 전 오존농도를 변수로 고려시 노원동을 제외한 모든 지점에서 80% 이상의 설명력을 가지는 것으로 나타났다. 즉 1시간 후에 대한 오존예측에서의 기여도를 살펴보면 모든 지점에서 1시간 전 오존농도가 가장 큰 기여를 하였으며, 두 번째 변수

로는 일사량이 가장 큰 기여를 하는 것으로 나타났다.

3.4. 다중회귀분석에 의한 예측 모형의 검증

대구지역 6개 지점의 단계별 회귀분석으로부터 얻은 오존농도 추정식은 현시점의 오존농도를 예측한 결과 노원동은 45.4%, 이현동은 77.9%, 삼덕동은 69.9%, 대명동은 78.8%, 만촌동은 78.3%, 복현동은 77.6%의 설명력을 가지는 것으로 나타났다. 다중회귀분석으로부터 얻어진 현시점 오존예측식을 이용하여 오존농도를 예측하고 실측치와 비교한 결과는 Fig. 1에 나타내었다. 각 지점별 예측치와 실측치의 설명력을 살펴보면 노원동이 48%, 이현동 77.5%, 삼덕동이 58%, 대명동이 73.4%, 만촌동이 77.7%, 복현동이 75.1%였다. 1시간전 오존농도, 3시간 전 일사량, 현시점의 모든 자료를 이용하여 1시간 후 오존농도 추정식을 얻었으며 현시점 오존농도 예측식에 비해 유의성과 설명력이 높았다. 1시간후 오존농도 모델을 이용하여 얻어진 예측치와 실측치간의 상관관계를 Fig. 2에 나타내었다. 각 지

다중회귀분석을 통한 대구지역 오존농도 예측

Table 9. Multiple regression model for predicted Ozone concentration by 1-hr after basis

	Step	Multiple regression model	R ²
Nowon	1	$O_3=4.722+0.849O_{3-1hr}$	0.722
	2	$O_3=5.079+0.733O_{3-1hr}+4.251 \times 10^{-2}Rad_{-3hr}$	0.743
	3	$O_3=9.210+0.718O_{3-1hr}+4.016 \times 10^{-2}Rad_{-3hr}-0.136NO_2$	0.748
	4	$O_3=7.641+0.722O_{3-1hr}+4.019 \times 10^{-2}Rad_{-3hr}-0.149NO_2$ $+2.785 \times 10^{-2}TSP$	0.751
	5	$O_3=12.771+0.720O_{3-1hr}+3.056 \times 10^{-2}Rad_{-3hr}-0.162NO_2$ $+2.760 \times 10^{-2}TSP-6.475 \times 10^{-2}Hum$	0.752
Leehyun	1	$O_3=2.591+0.914O_{3-1hr}$	0.835
	2	$O_3=4.002+0.674O_{3-1hr}+7.162 \times 10^{-2}Rad_{-3hr}$	0.865
	3	$O_3=8.544+0.656O_{3-1hr}+6.807 \times 10^{-2}Rad_{-3hr}-0.111NO_2$	0.872
	4	$O_3=24.113+0.623O_{3-1hr}+4.359 \times 10^{-2}Rad_{-3hr}-0.155NO_2-0.195Hum$	0.882
	5	$O_3=20.595+0.652O_{3-1hr}+4.181 \times 10^{-2}Rad_{-3hr}-0.187NO_2$ $-0.181Hum+3.073 \times 10^{-2}TSP$	0.885
	6	$O_3=21.423+0.628O_{3-1hr}+3.972 \times 10^{-2}Rad_{-3hr}-0.138NO_2$ $-0.192Hum+5.009 \times 10^{-2}TSP-7.003 \times 10^{-2}SO_2$	0.892
	7	$O_3=18.676+0.624O_{3-1hr}+3.497 \times 10^{-2}Rad_{-3hr}-0.137NO_2$ $-0.199Hum+4.814 \times 10^{-2}TSP-6.304 \times 10^{-2}SO_2+1.526 \times 10^{-2}Temp$	0.893
Samduk	1	$O_3=3.244+0.897O_{3-1hr}$	0.805
	2	$O_3=4.513+0.686O_{3-1hr}+6.927 \times 10^{-2}Rad_{-3hr}$	0.847
	3	$O_3=12.806+0.674O_{3-1hr}+5.424 \times 10^{-2}Rad_{-3hr}-0.113Hum$	0.851
	4	$O_3=17.533+0.656O_{3-1hr}+5.134 \times 10^{-2}Rad_{-3hr}-0.139Hum-0.327CO$	0.855
	5	$O_3=23.927+0.637O_{3-1hr}+4.541 \times 10^{-2}Rad_{-3hr}-0.172Hum$ $0.343CO-0.113NO_2$	0.860
	6	$O_3=21.300+0.645O_{3-1hr}+4.528 \times 10^{-2}Rad_{-3hr}-0.164Hum$ $-0.362CO-0.120NO_2+2.989 \times 10^{-2}TSP$	0.864
Daemyung	1	$O_3=2.969+0.909O_{3-1hr}$	0.825
	2	$O_3=5.149+0.672O_{3-1hr}+6.434 \times 10^{-2}Rad_{-3hr}$	0.857
	3	$O_3=9.982+0.635O_{3-1hr}+6.270 \times 10^{-2}Rad_{-3hr}-0.138NO_2$	0.865
	4	$O_3=26.315+0.578O_{3-1hr}+4.001 \times 10^{-2}Rad_{-3hr}-0.196NO_2-0.200Hum$	0.878
	5	$O_3=23.691+0.599O_{3-1hr}+3.713 \times 10^{-2}Rad_{-3hr}-0.231NO_2$ $-0.201Hum+4.088 \times 10^{-2}TSP$	0.883
	6	$O_3=18.944+0.593O_{3-1hr}+2.871 \times 10^{-2}Rad_{-3hr}-0.223NO_2$ $-0.206Hum+4.179 \times 10^{-2}TSP+2.479 \times 10^{-2}Temp$	0.885
	7	$O_3=19.657+0.587O_{3-1hr}+0.939 \times 10^{-2}Rad_{-3hr}-0.191NO_2$ $-0.199Hum+4.421 \times 10^{-2}TSP+2.379 \times 10^{-2}Temp-0.240CO$	0.886
Manchon	1	$O_3=0.2546+0.921O_{3-1hr}$	0.843
	2	$O_3=3.987+0.707O_{3-1hr}+6.507 \times 10^{-2}Rad_{-3hr}$	0.865
	3	$O_3=16.689+0.680O_{3-1hr}+4.565 \times 10^{-2}Rad_{-3hr}-0.173Hum$	0.871
	4	$O_3=25.429+0.636O_{3-1hr}+3.870 \times 10^{-2}Rad_{-3hr}-0.226Hum-0.137NO_2$	0.878
	5	$O_3=22.652+0.628O_{3-1hr}+3.356 \times 10^{-2}Rad_{-3hr}-0.225Hum$ $-0.201NO_2+5.872 \times 10^{-2}TSP$	0.885
	6	$O_3=22.128+0.630O_{3-1hr}+3.439 \times 10^{-2}Rad_{-3hr}-0.222Hum$ $-0.211NO_2+5.354 \times 10^{-2}TSP+0.132SO_2$	0.885
	7	$O_3=20.238+0.638O_{3-1hr}+3.066 \times 10^{-2}Rad_{-3hr}-0.223Hum$ $-0.211NO_2+5.062 \times 10^{-2}TSP+0.127SO_2+1.124 \times 10^{-2}Temp$	0.886

Table 9. Multiple regression model for predicted Ozone concentration by 1-hr after basis(continued)

	Step	Multiple regression model	R ²
Bokhyun	1	$O_3=2.649+0.914O_{3-1hr}$	0.828
	2	$O_3=4.177+0.690O_{3-1hr}+6.406 \times 10^{-2}Rad_{-3hr}$	0.850
	3	$O_3=15.549+0.659O_{3-1hr}+4.704 \times 10^{-2}Rad_{-3hr}-0.158Hum$	0.857
	4	$O_3=29.335+0.617O_{3-1hr}+3.149 \times 10^{-2}Rad_{-3hr}-0.253Hum-0.230NO_2$	0.869
	5	$O_3=26.685+0.617O_{3-1hr}+2.765 \times 10^{-2}Rad_{-3hr}-0.256Hum-0.271NO_2+5.243 \times 10^{-2}TSP$	0.877
	6	$O_3=26.064+0.622O_{3-1hr}+2.823 \times 10^{-2}Rad_{-3hr}-0.249Hum-0.289NO_2+4.562 \times 10^{-2}TSP+0.111SO_2$	0.878
	7	$O_3=28.230+0.629O_{3-1hr}+2.780 \times 10^{-2}Rad_{-3hr}-0.260Hum-0.302NO_2+4.565 \times 10^{-2}TSP+0.107SO_2-5.825 \times 10^{-2}WS$	0.879
	8	$O_3=29.273+0.625O_{3-1hr}+2.872 \times 10^{-2}Rad_{-3hr}-0.271Hum-0.277NO_2+4.557 \times 10^{-2}TSP+9.793 \times 10^{-2}SO_2-5.383 \times 10^{-2}WS-0.109CO$	0.880

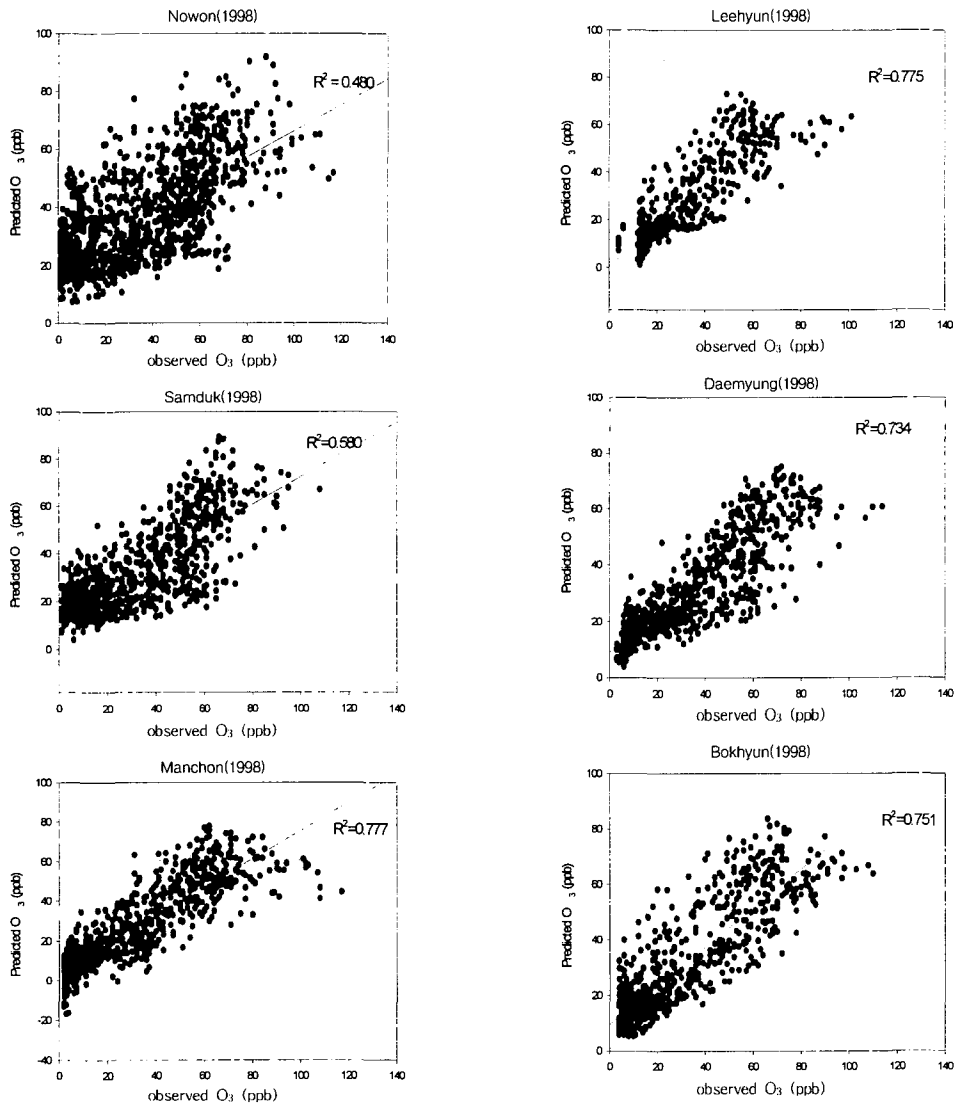


Fig. 1. Scatterplot of observe and predicted ozone concentration in each station(1998).

다중회귀분석을 통한 대구지역 오존농도 예측

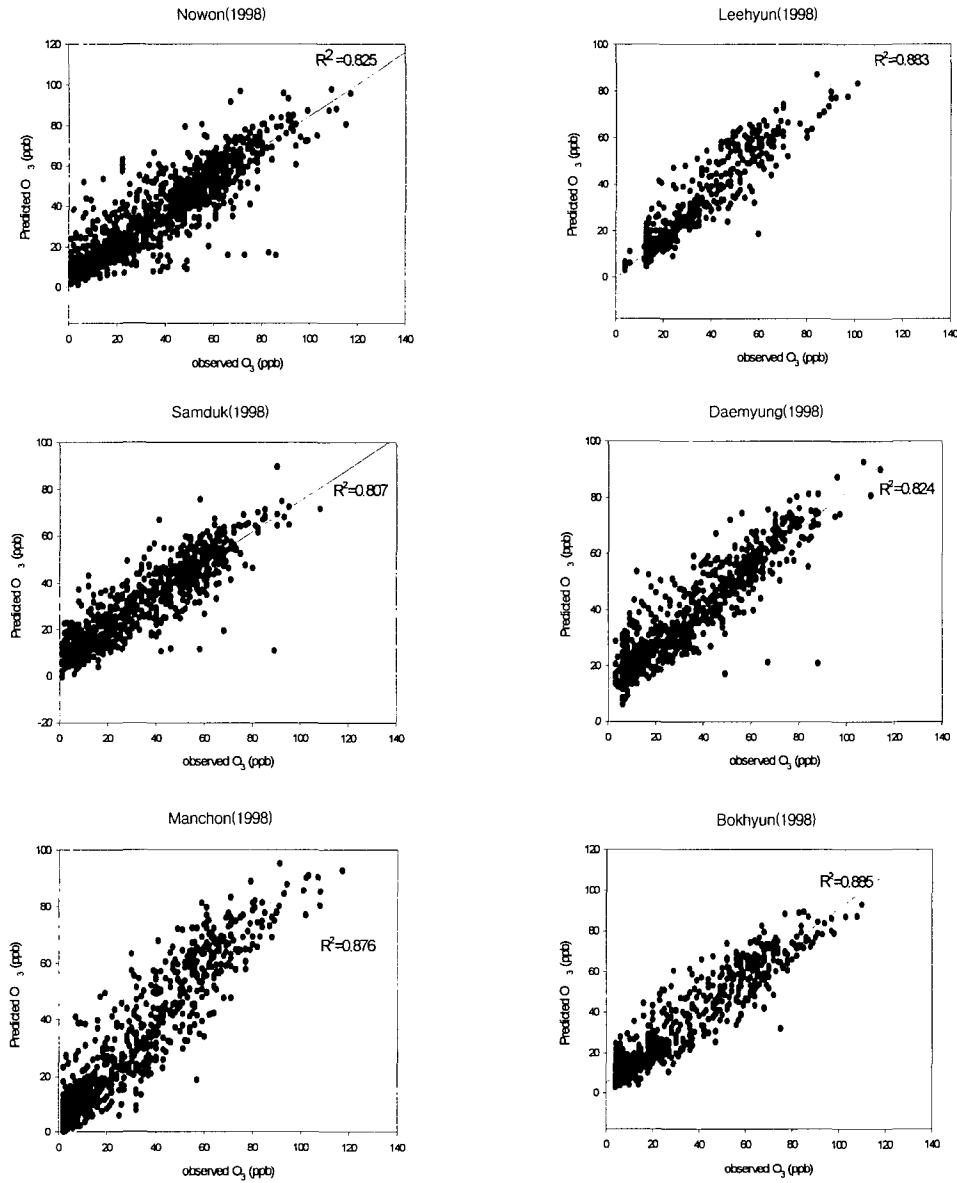


Fig. 2. Scatterplot of observe and predicted ozone concentration in each station(1998).

점별 설명력을 살펴보면 노원동은 82.5%, 이현동은 88.3%, 삼덕동은 80.7%, 대명동은 82.4%, 만촌동은 87.6% 그리고 복현동은 88.5%로 현시점 오존농도 예측식에 비해 큰 설명력을 가지고 있었다.

결과적으로 1시간전 오존농도와 3시간전 일사량, 현시점의 모든 자료를 이용한 모델 추정식에 의한 예측치와 실제오존농도의 측정치를 비교한 결과 추정모델은 대구지역 전체의 약 85%의 설명력을 가짐으로 예측모델의 우수함을 보여주었다. 본 연구

에서 설명력이 높은 오존 추정 모델은 대부분 많은 변수들을 포함하고 있으며 이들간 다중공선성등에 문제를 고려한다면 기여도가 작은 변수를 제거하고 오존에 가장 큰 기여를 하는 변수들만으로 예측식을 고려할 필요성이 있다. 즉, 단계별 회귀분석의 결과 중 독립변수를 1, 2개를 포함하는 스텝 1, 2에서 제시하는 다중회귀식을 이용한다면 설명력은 다소 떨어질 수 있으나 독립변수간의 상관성문제를 해결할 가능성은 있다고 사료된다.

4. 결 론

대구지역의 오존의 농도 특성과 기여인자를 분석하기 위하여 노원동, 이현동, 삼덕동, 대명동, 만촌동, 복현동 6개 지역에서 운영하는 대기질 자동측정망의 대기오염물질 측정자료와 기상자료를 1995년 1월부터 1999년 12월까지 매 시간별 자료를 분석하였다. 본 연구는 대구지역의 오존 농도의 분포 및 특성과 고농도 오존일을 선정하여 대기오염물질 및 기상인자 사이의 상관성 분석을 통하여 오존 농도에 미치는 영향을 분석하는 기여인자 분석, 교차상관 분석으로 시계열성의 기여인자를 분석하여 다중회귀예측식을 제시하고 검증은 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 대구지역의 오존농도의 월평균 농도는 일사량이 높은 5, 6, 9, 10월에 증가하고 장마기간의 7, 8월에 감소하는 이산형 분포를 보인다.
- 2) 오존 농도가 60 ppb이상인 고농도 오존일은 5, 6, 9월에 63.6 %로 대부분 차지하였고 지역별로 만촌동이 14.4 %, 복현동이 15.4 %, 대명동, 삼덕동이 15.6%, 이현동이 17.3 %, 노원동이 21.6 %로 나타났다.
- 3) 오존과 대기오염물질사이의 모두 음의 상관관계를 가지고, SO₂, TSP, NO₂, CO의 상관계수 값은 -0.229, -0.074, -0.387, -0.190(p<0.01)으로 나타났다. 기상인자인 기온, 일사량, 풍속과 0.515, 0.509, 0.400의 양의 상관관계를 가지며, 상대습도는 -0.677로 음의 상관관계를 가진다(p<0.01). 교차분석 결과 일사량은 -3시간의 시차를 가지고 0.785의 가장 높은 상관관계를 가졌다.
- 4) 다중회귀예측식의 각 지역별 변수의 기여인자들의 설명력이 70%이상을 나타냈으나 노원동은 약 45%의 설명력이 나타났다. 이현동은 77.9%, 삼덕동은 69.9%, 대명동은 78.8%, 만촌동은 78.3%, 복현동은 77.6%의 설명력을 나타내었다. 1시간 전 오존 농도를 포함하였을 때는 그 설명력이 80%이상의 설명력을 가졌다. 노원동은 75.2%, 이현동은 89.3%, 삼덕동은 86.4%, 대명동은 88.6% 만촌동은 88.6%, 복현동은 88.0%의 설명력을 나타내었다.
- 5) 다중회귀예측식의 예측값과 실측값과의 비교 결과 노원동은 48%, 이현동 77.5%, 삼덕동은 58 %, 대명동은 73.4 %, 만촌동은 77.7 %, 복현동은 75.1 %의 설명력을 가졌으며, 1시간전

의 오존 농도의 값을 추가한 추정 모델은 노원동은 82.5 % 이현동은 88.3 %, 삼덕동은 80.7 %, 대명동은 82.4 %, 만촌동은 87.6 %, 복현동은 88.5 %의 설명력이 나타나 현시점의 예측식보다 큰 설명력을 가졌다.

참 고 문 헌

- 1) 송동욱, 김영만, 1991, 서울시 지역별 SO₂ 오염도 분석에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 8(4), 23-30.
- 2) 나진균, 1989, 도심지역에서의 풍속에 따른 SO₂ 농도변화, 한국대기보전학회지, 5(2), 97-105.
- 3) 김상진, 이산훈, 정 용, 1988, AIRMA model에 의한 서울시 일부지역 SO₂ 오염도의 월변화에 대한 시계열 분석, 한국대기보전학회지, 4(2), 72-81.
- 4) 김용국, 1996, 하계의 일최고 오존농도 예측을 위한 신경망모델의 개발, 한국대기보전학회지, 10(4), 224-232.
- 5) 조희규, 김해경, 이규태, 1993, 서울 수도권 지역의 광화학 오존에 관한 연구, 한국기상학회지, 30(2), 169-179.
- 6) 하수호, 1993, 부산시 대기오염 물질간의 상관도에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 9(3), 94-103.
- 7) 김영성, 1996, 1991-1993년 사이 우리나라의 오존 농도 변화, 한국대기보전학회지, 12(1), 55-66.
- 8) 김용국, 1996, 수도권지역의 광화학 오존 농도 예측에 관한 연구, 강원대학교 박사학위논문.
- 9) 허정숙, 김동술, 1993, 다변량 통계분석을 이용한 서울시 고농도 오존의 예측에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 9(3), 207-215.
- 10) 박옥현, 1987, 부산에서의 고농도 오존일의 기상 특성, 대한환경공학회지, 9(3), 9-16.
- 11) Kelly, N. A., M. A. Ferman, and G. T. Wolf, 1986, The chemical meteorological conditions associated with high and low ozone concentration in South-eastern Michigan and nearby areas of Ontario, JAPCA, 36, 150-158.
- 12) Larsen, R. I., 1985, An air quality data analysis system for interrelating effects, 1962-1979, Atmos. Environ., 19, 437-464.
- 13) WHO, 1987, Air quality guidelines for Europe, WHO regional publication, European series, 23, Copenhagen.
- 14) WHO, 1978, WHO photochemical oxidants, Environmental Health Criteria, 7, Geneva, Switzerland.