



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

이 학 석 사 학 위 논 문

다중회귀분석을 이용한 부산
광복동의 계절별 O_3
농도 예측



2009년 2월

부경대학교 산업대학원

지구환경과학과

박 남 식

이 학 석 사 학 위 논 문

다중회귀분석을 이용한 부산
광복동의 계절별 O_3
농도 예측

지도교수 이 동 인

이 논문을 이학석사 학위논문으로 제출함

2009년 2월

부경대학교 산업대학원

지구환경과학과

박 남 식

박남식의 이학석사 학위논문을 인준함

2009년 2월



주 심 이학박사 유철환 (인)

위 원 이학박사 이동인 (인)

위 원 이학박사 이상구 (인)

목 차

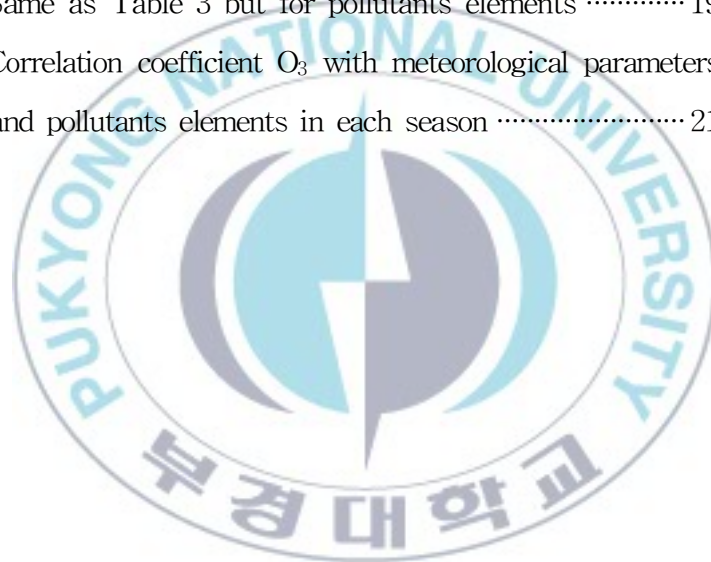
<u>CHAPTER</u>	<u>PAGE</u>
List of Tables	iii
List of Figures	iv
Abstract	1
1. 서론	3
2. 자료 및 방법	6
2.1 측정자료 및 조사지점	6
2.2 연구방법	7
3. 결과	10
3.1 O ₃ 농도의 분포 및 변화특성	10
3.2 O ₃ 농도와 관련 요소와의 상관관계	17
3.2.1 기상요소와의 상관관계	17
3.2.2 대기오염물질과의 상관관계	17

3.3 다변량 중회귀분석을 이용한 계절별 예측경험식 산출	20
3.3.1 봄철의 O ₃ 농도 예측식	22
3.3.2 여름철의 O ₃ 농도 예측식	25
3.3.3 가을철의 O ₃ 농도 예측식	28
3.3.4 겨울철의 O ₃ 농도 예측식	31
4. 결론	34
참고문헌	36
감사의 글	



List of Tables

Table 1. Correlation coefficient between O_3 concentration and other air pollutants	7
Table 2. Same as Table 1 but for meteorological parameters	7
Table 3. Correlation coefficient between O_3 and meteorological parameters in each season	18
Table 4. Same as Table 3 but for pollutants elements	19
Table 5. Correlation coefficient O_3 with meteorological parameters and pollutants elements in each season	21



List of Figures

Fig. 1. The location of observation sites	6
Fig. 2. The flow chart for prediction of O_3 concentration	9
Fig. 3. Annual variation of O_3 concentration at Gwangbokdong from 2003 to 2007	10
Fig. 4. Monthly mean O_3 concentration at Gwangbokdong from 2003 to 2007	11
Fig. 5. Frequency distribution of O_3 concentration for 5 years from 2003 to 2007	12
Fig. 6. Diurnal variation of O_3 concentration at Gwangbokdong from 2003 to 2007	13
Fig. 7. Diurnal variations of NO_2 and O_3 concentration at Gwangbokdong from 2003 to 2007	14
Fig. 8. Correlation between NO_2 and O_3 concentration at Gwangbokdong from 2003 to 2007	15
Fig. 9. Seasonal variations of hourly mean O_3 concentration at Gwangbokdong from 2003 to 2007	16
Fig. 10. Scatterplot between observed and predicted O_3 concentration at Gwangbokdong(1hr average data, Spring, 2003~2007) ·	23

Fig. 11. Scatterplot between observed and predicted O ₃ concentration in Gwangbokdong(8hr average data, Spring, 2003~2007) ..	24
Fig. 12. Same as Fig. 10 but for summer	26
Fig. 13. Same as Fig. 11 but for summer	27
Fig. 14. Same as Fig. 10 but for autumn	29
Fig. 15. Same as Fig. 11 but for autumn	30
Fig. 16. Same as Fig. 10 but for winter	32
Fig. 17. Same as Fig. 11 but for winter	33



Seasonal Prediction of Ozone Concentration by Multiple Regression Analysis in Gwangbokdong, Busan

Nam-Sik Park

Department of Earth Environmental Sciences

Graduate School of Industry

Pukyong National University

Abstract

Multiple regression analysis was performed to investigate major factors affecting ozone concentration using air pollutants and some meteorological data measured at Gwangbokdong location of Busan area from 2003 to 2007. Ozone concentration in Busan showed significant correlations with sulfur dioxide (SO_2), nitrogen dioxide (NO_2), wind speed and solar radiation. Reciprocal sulfur dioxide (SO_2), nitrogen dioxide (NO_2), wind speed and solar radiation deriving from correlation analysis were used as independent variables. The ozone concentration was used as a dependent variable for multiple regression analysis variables explained 66% in spring and 74% in winter, compared to measurement values of ozone at Busan area. The seasonal O_3 prediction equations were obtained by multiple regression analysis and they will be

contributed to the prediction system of ozone concentrations causing by the air pollutants and meteorological factors in Busan metropolitan city.



1. 서론

O_3 은 대부분의 국가에서 규제대상 물질로 지정되어 있으며, 광화학 O_3 을 규제하는 다양한 제도가 각 국에서 시행되고 있다. 우리나라에서도 대기환경보전법 제8조 규정에 의하여 대기오염도가 환경정책기본법상의 환경기준을 초과하여 주민의 건강·재산이나 동식물의 생육에 지장이 있다고 인정되면 해당지역에 경보를 발령하는 대기오염경보제도의 대상오염물질로 규정하고 O_3 경보제를 시행하도록 하고 있다.

O_3 경보제는 서울지역에서 1995년 7월부터 최초로 시행되었으며, 부산지역의 경우 1997년 7월 1일부터 시행되고 있다. 부산지역의 O_3 주의보 발령횟수는 '97년도 0회, '98년도 3회, '99년도 2회, 2000년도 3회, 2001년도 3회, 2002년도 2회, 2003년도 4회, 2005년도 2회, 2006년 6회, 2007년도 1회, 2008년도 8회로 점진적으로 증가되고 있는 추세이다. 따라서 O_3 의 발생원인 분석과 피해예방을 위한 대책 마련이 시급한 상황에 처해 있다.

일반적으로 O_3 의 농도는 주간에 높은 농도를 나타내며, 일사가 강할 경우 고농도의 O_3 이 발생할 가능성이 크다. O_3 농도에 영향을 미치는 요인으로는 크게 기상요소와 오염물질의 배출 및 수송을 들 수 있다(전의찬 등, 1999). 최근까지 O_3 의 농도에 관한 연구는 장기간에 걸친 농도변화는 오염물질의 배출량에 크게 의존하여 변화하는 것으로 나타나지만 단기간의 사례 분석에는 기상요인이 크게 작용하는 것을 밝혔으며(한진석 등, 2000), 송동웅(1996)은 원주지역, 도상현(2001)은 대구지역의 O_3 농도의 특성연구에서 기상요소와 대기오염물질의 연관성을 상관관계와 다중회귀분석을 통하여 각 지역의 O_3 의 농도를 예측하였다. 또한 O_3 과 영향인자들 사이의 관계분석, 다중회귀모형과 판별 분석모형 등 통계모형의 개발, 그리고 수치모형의 민감도 분석 등이 이루어져 왔다(전의찬 등, 1999). 아울러 O_3 에 영향을 미

치는 기상요인을 중심으로 교차상관 분석 및 시계열 분석을 이용하여 실질적으로 O_3 오염도에 영향을 미치는 주요 기상요소를 도출하고, 주기상 요소를 이용한 O_3 단기 예측모형의 기본식 개발에 대한 연구를 실시하였다(전의찬 등, 1999). 회귀분석을 이용한 O_3 모형의 설계 및 평가 연구는 김유근 등(2007)이 실시하였으며, OZIPR(Ozone isopleth plotting package for research)을 이용한 서울시에서의 최적 O_3 저감대책 연구에서 서울시의 고농도 O_3 이 발생했던 1998년 9월 11일과 1999년 6월 에 대기오염물질 배출자료와 기상자료를 이용한 바 있다(박주연 등, 2002).

그 외 오인보 등(2002)은 지역별로 O_3 농도에 대한 연구로 서울, 대구지역에서 최근의 O_3 농도 추세 및 일변화와 월 변화, 그리고 수평분포의 특성을 실시한 바 있으며, 정영진 등(1998)은 기상조건에 따른 부산지역 대기오염물질 농도변화와 예측에 관한 연구를 통하여 O_3 의 농도에 대한 예측을 한 바 있다.

그러나 이러한 연구들은 VOCs 나 NO_x 등 소위 O_3 전구물질로 알려진 물질들의 시 공간적 특성이나, 영향인자들이 지표 O_3 농도에 미치는 영향을 분석하는데 기여한 바는 크지만 개발된 통계모형들이 O_3 농도에 영향을 미치는 인자들에 대한 설명이 불충분하고 미래의 오염도 예측시 필요한 인자를 추정할 수가 없어 모형의 예측 성능이 떨어지는 결함이 있다. 실제로 부산시의 경우 2000년부터 O_3 농도의 사전 예측을 위하여 O_3 예보제를 시행해오고 있으나 고농도 범위에서의 예보적중율이 매우 저조하여 실효성에 대한 의문이 제기되고 있으며, 지금까지도 부산지역에 맞는 모델 개발에 상당한 어려움을 겪고 있다.

따라서 본 연구에서는 부산지역에 적합하며 현업에 사용 가능한 효과적인 고농도 O_3 예측 모델을 구축하기 위하여 통계적 방법인 다중회귀 분석을 적용하여 부산광역시 중앙동에 위치한 부산지방기상청에서 측정된 2003

년에서 2007년까지의 5년간 기상자료와 같은 기간 부산지역 도시 대기 측정소의 O_3 및 기타 대기오염물질 측정자료를 이용하여, O_3 농도와 상관성을 분석하고 상관성이 높은 변수들만을 선택하여 O_3 농도 예측식을 개발하여 예측치와 실측치간의 비교 검증을 통하여 예측모델의 타당성을 분석하였다.



2. 자료 및 방법

2.1 측정자료 및 조사지점

본 연구에서 사용된 O_3 농도 및 대기오염물질 자료는 2003년부터 2007년까지 5년간의 부산지역 광복동지점(북위 $35^{\circ} 5'$, 동경 $129^{\circ} 1'$) 대기질 자동측정망에서 측정된 1시간 평균값이다.

또한 O_3 농도와 기상요소와의 상관관계 및 회귀식 산정을 위하여 대기오염물질과 동일기간에 부산지방기상청 지상관측지점인 대청동지점(북위 $35^{\circ} 6'$, 동경 $129^{\circ} 1'$)에서 관측된 시간별 자료(풍향, 풍속, 기온, 습도, 일사량)를 사용하였다(Fig. 1). 수집된 대기오염물질 자료와 기상자료는 신뢰성확보를 위하여 각 시간대별로 모든 항목이 관측된 시간에 한하여 통계처리에 이용하였다.

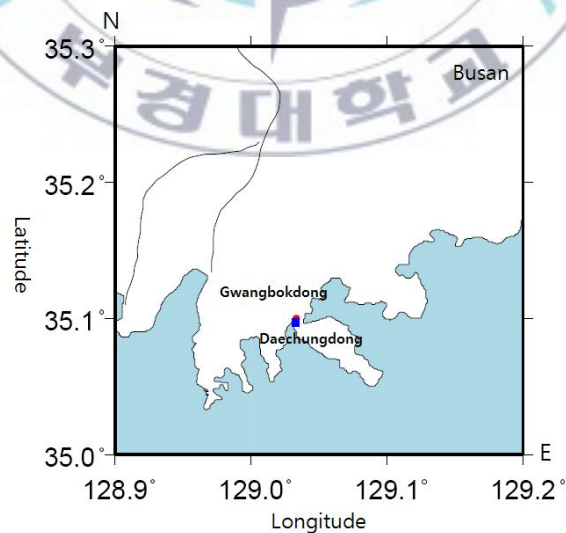


Fig. 1. The location of observation sites

2.2 연구방법

O₃ 농도를 예측하기 위한 경험식산출은 다중회귀분석방법을 이용하였으며(菅 民郎, 1998) 분석에 이용한 설명변수(SO₂, NO₂, CO, PM₁₀, 풍향, 풍속, 기온, 습도, 일사량)과 O₃ 농도와의 상관관계를 구하였다.(Table 1, 2). O₃ 농도와 비교적 상관성이 높은 SO₂(-0.290), NO₂(-0.260), 풍속(0.242), 일사량(0.401)을 선정하여 O₃ 농도예측식 작성을 위한 설명변수로 사용하였다.

Table 1. Correlation coefficient between O₃ concentration and other air pollutants

	O ₃	NO ₂	SO ₂	CO	PM ₁₀
O ₃	1				
NO ₂	-0.260	1			
SO ₂	-0.290	0.583	1		
CO	-0.201	0.453	0.373	1	
PM ₁₀	0.117	0.306	0.263	0.269	1

Table 2. Same as Table 1 but for meteorological parameters

	O ₃	Temperature	Wind speed	Solar radiation
O ₃	1			
Temperature	0.062	1		
Wind speed	0.242	-0.037	1	
Solar radiation	0.401	0.255	0.127	1

O₃ 농도예측을 위한 회귀식은 Fig. 2의 흐름도(이동인 등, 2000)와 같이 구할 수 있으며 '—'는 각 변수의 평균을, 'a', 'b', 'c', 'd'는 각각 SO₂, NO₂, 풍속, 일사량의 크기를 나타내는 계수이다. 주 설명변수를 선정한 후 O₃ 농도 예측식을 다변량 중회귀분석을 이용하여 구하였다. a는 설명변수와 목적변수의 평균과 편회귀 계수의 곱과 합으로 구할 수 있다. 중회귀분석에서는 각 계절에 대한 O₃ 농도와 O₃ 농도에 영향을 미치는 요소와의 상관관계를 조사한 후 회귀식을 산정하였다. 그리고 회귀식의 적합성 판단에는 결정계수 R(coefficient of determination)을 이용하였으며, R은 다음과 같이 구하였다.

$$S_E = \sum e_i^2 = \sum (y_i - y'_i)^2$$

S_E : 잔차제곱합(residual sum of squares),

e_i : 잔차(residual) 또는 오차(error),

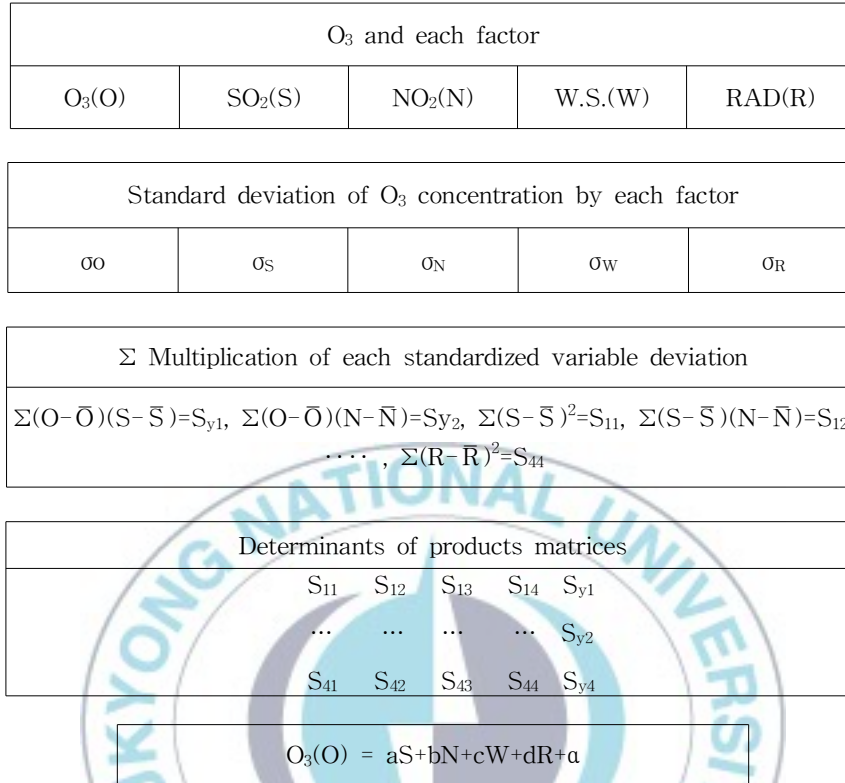
y_i : 실측치, y'_i : 이론치

$$R^2 = 1 - \frac{S_E}{S_{yy}}$$

R : 결정계수(coefficient of determination)

S_E : 잔차제곱합

S_{yy} : 실측치의 편차제곱합



α : constant

Fig. 2. The flow chart for prediction of O₃ concentration

3. 결과

3.1 O₃ 농도의 분포 및 변화특성

2008년 우리나라의 O₃ 농도에 대한 환경기준은 8시간 평균치 0.06ppm이하, 1시간 평균치 0.1ppm이하로 규정되어 있다.

Fig. 3은 2003년부터 2007년까지 광복동지점의 연평균 O₃ 농도를 나타낸 것이다. 2003년이 0.017ppm으로 가장 낮은 농도를 나타내었고 2004년 0.021ppm, 2005년 0.020ppm, 2006년 0.021ppm, 2007년 0.020ppm으로 큰 변화를 보이지 않는 추세이다.

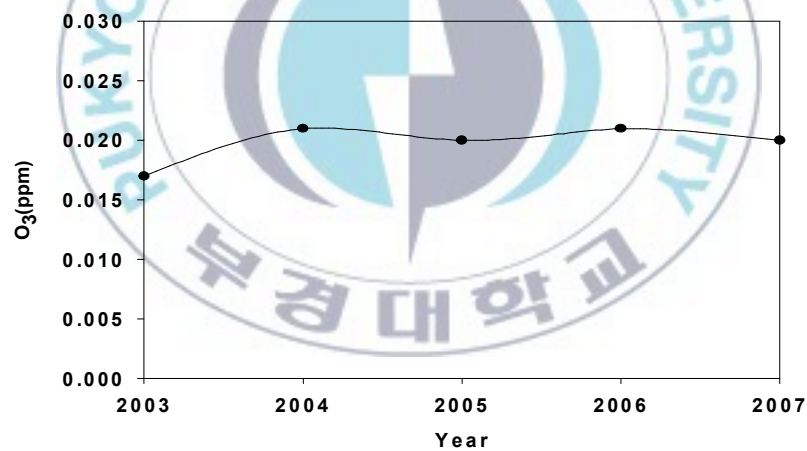


Fig. 3. Annual variation of O₃ concentration at Gwangbokdong from 2003 to 2007

Fig. 4는 2003년부터 2007년까지 광복동지점의 월평균 O_3 농도를 나타낸 것으로 매년 4월의 평균농도가 0.030ppm으로 가장 높은 농도를 나타내었고, 7월 평균농도가 가장 낮은 0.014ppm을 나타내었다. 2007년 4월의 경우 0.039ppm으로 분석기간 중 가장 높은 농도로 나타났으며, 2003년 2월이 가장 낮은 0.009ppm으로 나타났다. 월별 평균 농도에서는 4~6월을 제외하고는 0.014~0.021ppm 범위에서 집중되어 나타났다.

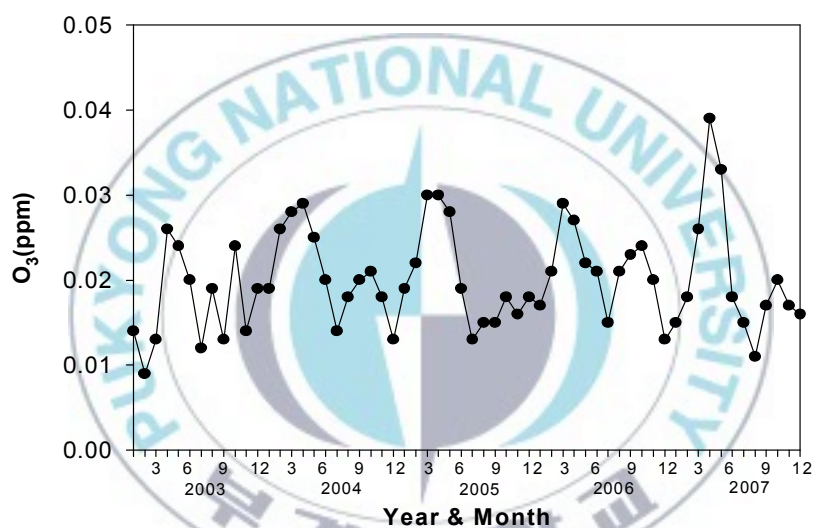


Fig. 4. Monthly mean O_3 concentration at Gwangbokdong from 2003 to 2007

Fig. 5는 2003년부터 2007년까지 O_3 농도의 시간별 자료를 이용하여 각 농도별 빈도분포를 나타내었다. 그림에서 O_3 의 농도는 8시간 환경기준인 0.06ppm이하가 전체의 96.4%이상을 차지하고 있으며 1시간 기준인 0.1ppm을 초과한 경우는 0.01%를 넘지 않는 낮은 농도에 치우친 비대칭형을 이루고 있음을 알 수 있다.

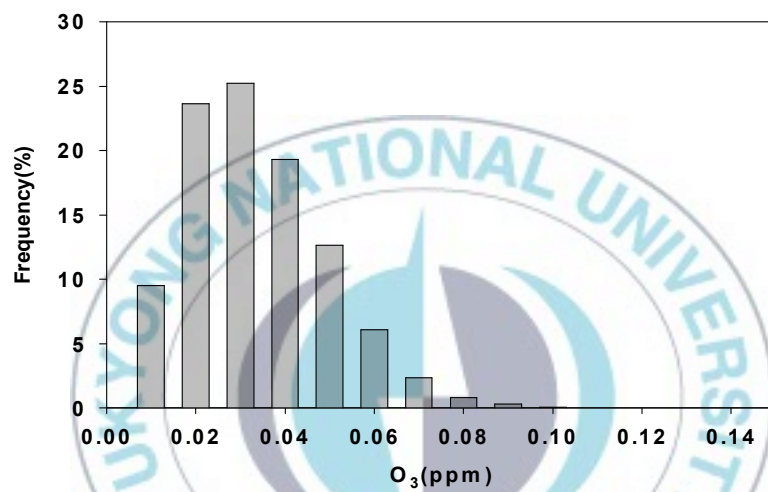


Fig. 5. Frequency distribution of O_3 concentration for 5 years from 2003 to 2007

Fig. 6은 2003년부터 2007년까지 년도별 일중 O_3 농도의 변화를 나타낸 것으로 1시부터 5시까지 0.018~0.021ppm까지 상승하다 6시부터 9시까지 0.013ppm까지 하강하고, 10시경부터 다시 상승하여 15시경에 0.021ppm까지 상승하는 일중 변화경향을 나타내고 있다.

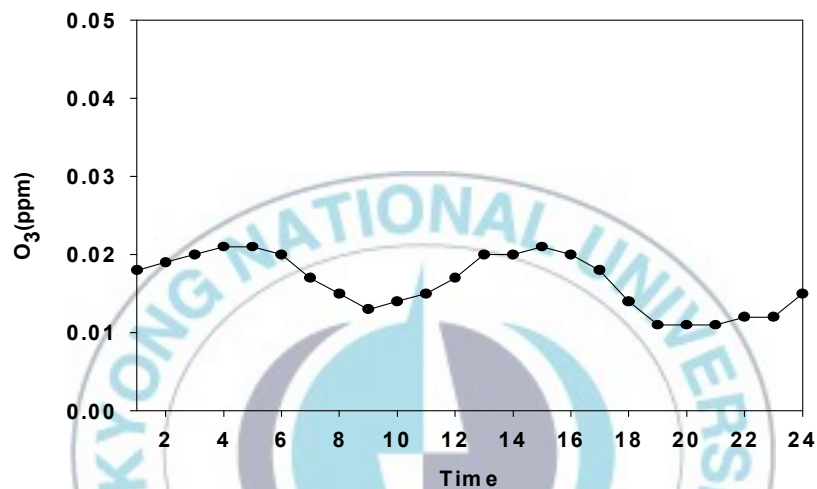


Fig. 6. Diurnal variation of O_3 concentration at Gwangbokdong from 2003 to 2007

Fig. 7은 2003년부터 2007년까지 O_3 과 NO_2 의 일중 농도 변화를 나타낸 것이다. NO_2 농도는 오전 8시부터 상승하여 10시경 0.033ppm으로 고농도를 나타내고 18시경부터 상승하여 20시경에 0.039ppm으로 일중 최고농도를 나타내었다. 이는 오전과 오후의 교통량 증가에 의한 것으로 사료된다. 또한 O_3 의 농도는 NO_2 와 역상관을 보이고 있으며 그 상관성은 Fig. 8에서 보이는 것과 같이 상관계수가 0.838로 매우 높은 상관성을 나타내었다. 이것은 O_3 의 기인물질인 NO_2 가 교통량이 많은 오전과 오후시간에 많이 배출된 후 대기중에서 일사량이 많은 시간대에 O_3 으로 광화학반응이 일어났음을 알 수 있다.

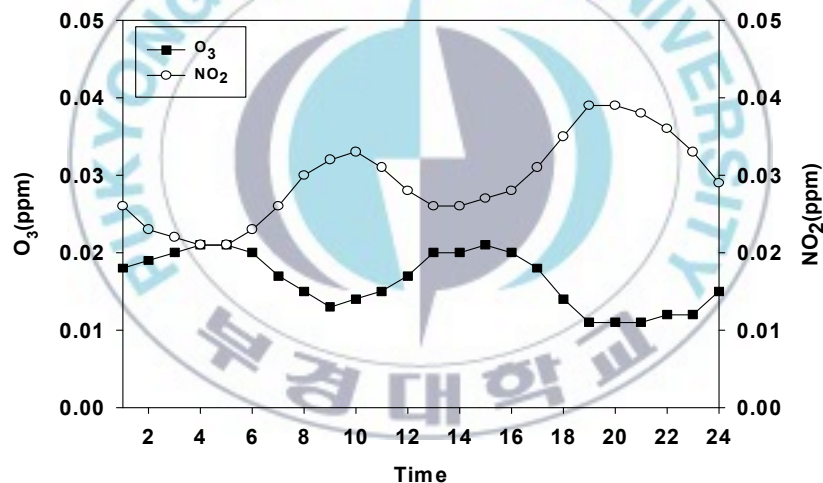


Fig. 7. Diurnal variations of NO_2 and O_3 concentration at Gwangbokdong from 2003 to 2007

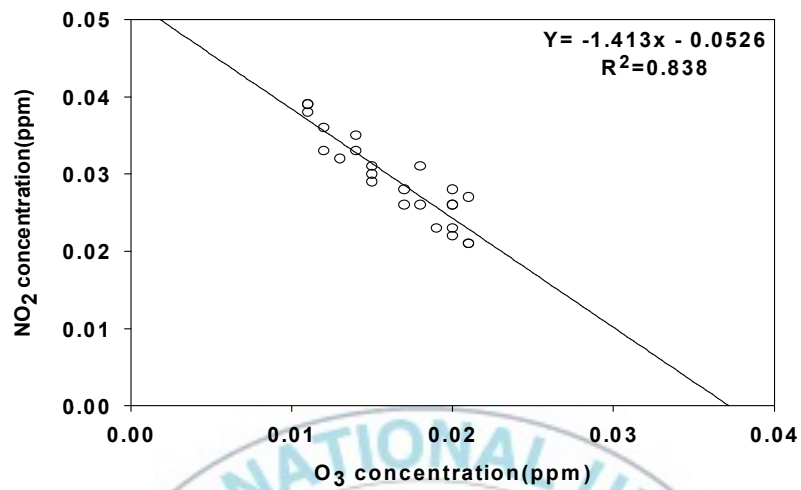


Fig. 8. Correlation between NO_2 and O_3 concentration at Gwangbokdong from 2003 to 2007

Fig. 9는 2003년부터 2007년까지 5년간 계절별 일평균 O_3 평균농도변화를 나타낸 것이다. 각 계절별로 10시경부터 농도가 상승하기 시작하여 15~16시경 최고농도를 나타내었고, 봄철이 타 계절에 비하여 고농도를 나타내고 있다. 다음으로 가을철이 높은 농도를 나타내고 겨울철 순으로 나타났다.

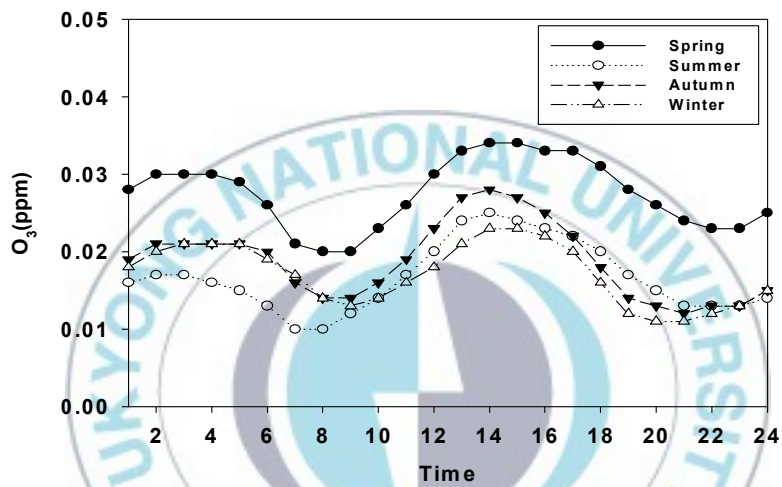


Fig. 9. Seasonal variations of hourly mean O_3 concentration at Gwangbokdong from 2003 to 2007

3.2 O₃ 농도와 관련 요소와의 상관관계

3.2.1 기상요소와의 상관관계

부산지역의 O₃ 농도와 기상요소와의 관련성을 분석하기 위하여 계절별 상관관계를 조사하여 결과를 Table 3에 나타내었으며 상관계수의 값들은 봄철의 경우 풍속과의 상관성이 0.378, 일사량이 0.372 그리고 기온과의 상관성은 0.210으로 나타났으며, 여름철의 경우 일사량이 0.427로 가장 높고 풍속이 가장 낮은 0.107로 나타났다. 가을철의 경우 일사량이 0.375로 높게 나타났으며 풍속은 0.142로 낮게 나타났다. 겨울철은 일사량이 가장 높은 0.409, 기온과의 상관관계는 -0.039로 매우 약한 음의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다.

3.2.2 대기오염물질과의 상관관계

O₃과 대기오염물질과의 상관성을 살펴보면(Table 4), 1차 대기오염물질인 SO₂, NO₂, CO, PM₁₀은 겨울철을 제외한 봄, 여름, 가을철에 PM₁₀을 제외한 대기오염물질 항목들이 모두 음의 상관관계를 가지고 있는 것으로 나타났으며, 겨울철의 경우 모든 요소에 대하여 음의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 각 계절별로 상관관계를 살펴보면 봄철의 경우 NO₂의 상관성이 상관계수 -0.476으로 나타났으며, PM₁₀은 0.060으로 상관성이 거의 없는 것으로 나타났다. 여름철의 경우 SO₂를 비롯한 모든 대기오염물질과의 상관성이 -0.259 이하로 나타나 그다지 높은 상관성을 보이지 않았다. 가을철과 겨울철의 경우 NO₂가 -0.354, -0.650로 다른 오염물질에 비하여 높은 상관성을 나타내었다. 따라서, O₃ 농도와의 상관성이 높은 SO₂, NO₂,

온도, 일사량을 목적변수(O_3 농도)에 대한 설명변수(기상 및 대기오염물질)로 선정하여 각 계절에 따른 다변량 중회귀분석으로 예측경험식을 산출하였다.

Table 3. Correlation coefficient between O_3 and meteorological parameters in each season

Spring	O_3	Temperature	Wind speed	Solar radiation
O_3	1			
Temperature	0.210	1		
Wind speed	0.378	0.060	1	
Solar radiation	0.372	0.393	0.164	1
Summer	O_3	Temperature	Wind speed	Solar radiation
O_3	1			
Temperature	0.289	1		
Wind speed	0.107	0.194	1	
Solar radiation	0.427	0.577	0.158	1
Autumn	O_3	Temperature	Wind speed	Solar radiation
O_3	1			
Temperature	0.207	1		
Wind speed	0.142	0.075	1	
Solar radiation	0.375	0.323	0.018	1
Winter	O_3	Temperature	Wind speed	Solar radiation
O_3	1			
Temperature	-0.039	1		
Wind speed	0.236	-0.118	1	
Solar radiation	0.409	0.182	0.091	1

Table 4. Same as Table 3 but for pollutants elements

Spring	O ₃	NO ₂	SO ₂	CO	PM ₁₀
O ₃	1				
NO ₂	-0.476	1			
SO ₂	-0.359	0.618	1		
CO	-0.308	0.507	0.401	1	
PM ₁₀	0.060	0.169	0.173	0.224	1
Summer	O ₃	NO ₂	SO ₂	CO	PM ₁₀
O ₃	1				
NO ₂	-0.026	1			
SO ₂	-0.259	0.570	1		
CO	-0.076	0.344	0.191	1	
PM ₁₀	0.258	0.316	0.224	0.128	1
Autumn	O ₃	NO ₂	SO ₂	CO	PM ₁₀
O ₃	1				
NO ₂	-0.354	1			
SO ₂	-0.248	0.621	1		
CO	-0.127	0.489	0.430	1	
PM ₁₀	0.075	0.452	0.399	0.384	1
Winter	O ₃	NO ₂	SO ₂	CO	PM ₁₀
O ₃	1				
NO ₂	-0.650	1			
SO ₂	-0.343	0.570	1		
CO	-0.378	0.546	0.584	1	
PM ₁₀	-0.135	0.395	0.451	0.418	1

3.3 다변량 중회귀분석을 이용한 계절별 예측경험식 산출

설명변수로 선정한 SO₂, NO₂, 풍속, 일사량과 목적변수(O₃ 농도)와의 계절별 상관관계를 Table 5에 나타내었다. 각 상관관계는 매 시간별 자료로 부산지역의 대기자동측정망 중 광복동지점의 5년간 자료를 이용하였다.

대기오염물질은 각 계절별로 상관성의 차이는 있으나 겨울철의 SO₂가 -0.650로 가장 높은 음의 상관을 나타내고 기상요소는 여름철의 일사량이 0.427로 가장 높은 양의 상관성을 나타내고 있다.

설명변수 4개를 이용한 예측경험식은 다음과 같이 표현된다.

$$Y = ax_1 + bx_2 + cx_3 + dx_4 + e$$
$$e = \bar{Y} - a\bar{x}_1 - b\bar{x}_2 - c\bar{x}_3 - d\bar{x}_4$$

여기서, Y 는 O₃ 농도이고, a, b, c, d 는 각각 SO₂, NO₂, 풍속, 일사량의 편회귀계수이며, x_1, x_2, x_3, x_4 는 SO₂, NO₂, 풍속, 일사량의 자료이다. $\bar{Y}$ 는 O₃ 농도의 평균, $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \bar{x}_4$ 는 SO₂, NO₂, 풍속, 일사량의 평균값이다. 이상과 같은 형태로 각 계절별 O₃ 농도 예측경험식을 산출하였다.

Table 5. Correlation coefficient O₃ with meteorological parameters and pollutants elements in each season

Spring	O ₃	SO ₂	NO ₂	Wind speed	Solar radiation
O ₃	1				
SO ₂	-0.476	1			
NO ₂	-0.359	0.618	1		
Wind speed	0.378	-0.325	-0.322	1	
Solar radiation	0.372	-0.151	-0.047	0.164	1
Summer	O ₃	SO ₂	NO ₂	Wind speed	Solar radiation
O ₃	1				
SO ₂	-0.026	1			
NO ₂	-0.259	0.570	1		
Wind speed	0.107	-0.346	-0.400	1	
Solar radiation	0.427	-0.044	-0.033	0.158	1
Autumn	O ₃	SO ₂	NO ₂	Wind speed	Solar radiation
O ₃	1				
SO ₂	-0.354	1			
NO ₂	-0.248	0.621	1		
Wind speed	0.142	-0.342	-0.331	1	
Solar radiation	0.375	-0.221	-0.003	0.018	1
Winter	O ₃	SO ₂	NO ₂	Wind speed	Solar radiation
O ₃	1				
SO ₂	-0.650	1			
NO ₂	-0.343	0.570	1		
Wind speed	0.236	-0.248	-0.202	1	
Solar radiation	0.409	-0.295	-0.082	0.091	1

3.3.1 봄철의 O₃ 농도 예측식

O₃ 농도는 1시간 기준과 8시간 기준을 적용하고 있으므로 부산지방 광복동지점에서의 2003년부터 2007년까지 5년간의 매 시간별, 8시간 평균에 대하여 대기오염물질과 기상요소를 이용하여 봄철 O₃ 농도에 대한 다변량 중회귀분석을 실시하여 다음과 같은 식을 얻었다.

$$Y_{1hr} = -0.3101 \times x_1 - 0.1385 \times x_2 + 0.0015x_3 + 0.0040x_4 + 0.0299$$

$$Y_{8hr} = -0.2769 \times x_1 - 0.0140 \times x_2 + 0.0013x_3 + 0.0072x_4 + 0.0209$$

여기에서 Y_{1hr} 는 시간별 O₃ 농도이고, Y_{8hr} 는 8시간 평균 O₃ 농도이다. x_1, x_2, x_3, x_4 는 SO₂, NO₂, 풍속, 일사량의 실측값이다. 이때 시간자료에 대한 결정계수 R 은 0.50으로 50%정도의 설명력을 가지는 것으로 나타나 1시간 자료를 이용하여 O₃ 농도 예측을 할 경우 그 신뢰성을 확보하기 힘들다 할 수 있다. 따라서 8시간 평균자료를 이용한 예측식을 적용한 결과 결정계수 R 은 0.66으로 나타나 66%의 설명력을 가지는 것으로 나타나 16%의 설명력이 증가하였다. 각 예측식으로 구해진 O₃농도의 검증을 위하여 2003년부터 2007년까지 O₃ 농도와의 실측값을 비교하여 Fig. 10과 Fig. 11에 나타내었다.

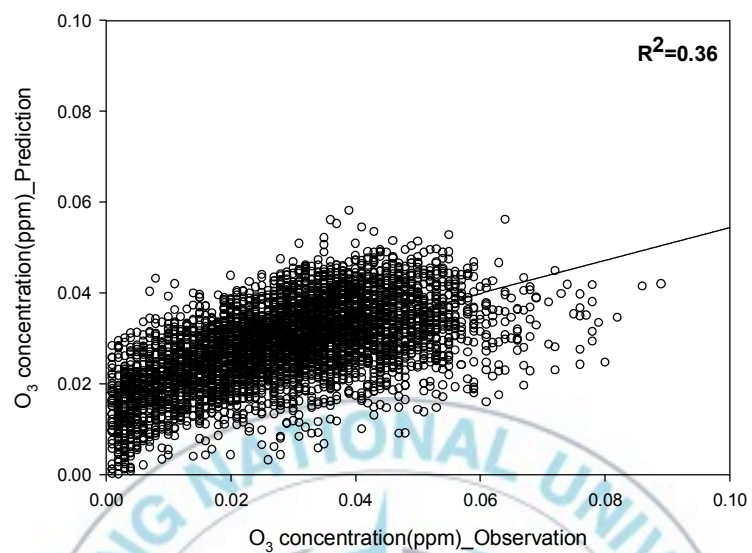


Fig. 10. Scatterplot between observed and predicted O₃ concentration at Gwangbokdong(1hr average data, Spring, 2003~2007)

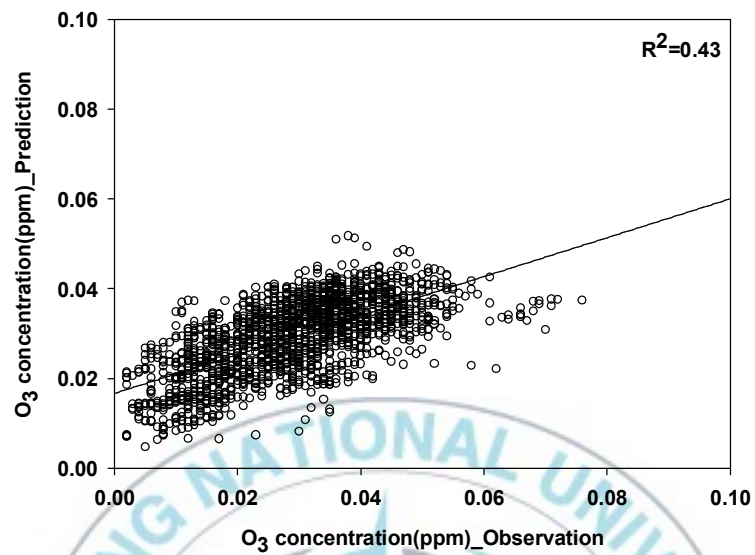


Fig. 11. Scatterplot between observed and predicted O₃ concentration in Gwangbokdong(8hr average data, Spring, 2003~2007)

3.3.2 여름철의 O₃ 농도 예측식

부산지역 광복동지점에서의 2003년부터 2007년까지 5년간의 매 시간별, 8시간 평균에 대하여 대기오염물질과 기상요소를 이용하여 여름철 O₃ 농도에 대한 다변량 중회귀분석을 실시하여 다음과 같은 식을 얻었다.

$$Y_{1hr} = 0.1610 \times x_1 - 0.5057 \times x_2 - 0.0003x_3 + 0.0056x_4 + 0.0146$$

$$Y_{8hr} = 0.1958 \times x_1 - 0.5746 \times x_2 - 0.0013x_3 + 0.0075x_4 + 0.0140$$

여기에서 Y_{1hr} 는 시간별 O₃ 농도이고, Y_{8hr} 는 8시간 평균 O₃ 농도이다. x_1, x_2, x_3, x_4 는 SO₂, NO₂, 풍속, 일사량의 실측값이다. 이때 시간자료에 대한 결정계수 R 은 0.39로 39%정도의 설명력을 가지는 것으로 나타나 1시간 자료를 이용하여 O₃ 농도 예측을 할 경우 봄철과 마찬가지로 그 신뢰성을 확보하기 힘들다 할 수 있다. 따라서 8시간 평균자료를 이용한 예측식을 적용하여 본 결과 결정계수 R 은 0.61로 나타나 61%의 설명력을 가지는 것으로 나타나 O₃ 농도 예측에 대한 적합성이 1시간 자료를 이용하였을 때 보다 22%의 설명력이 높아지는 결과를 보였다. 각 예측식으로 구해진 O₃ 농도의 검증을 위하여 2003년부터 2007년까지 O₃ 농도와의 실측값을 비교하여 Fig. 12와 Fig. 13에 나타내었다.

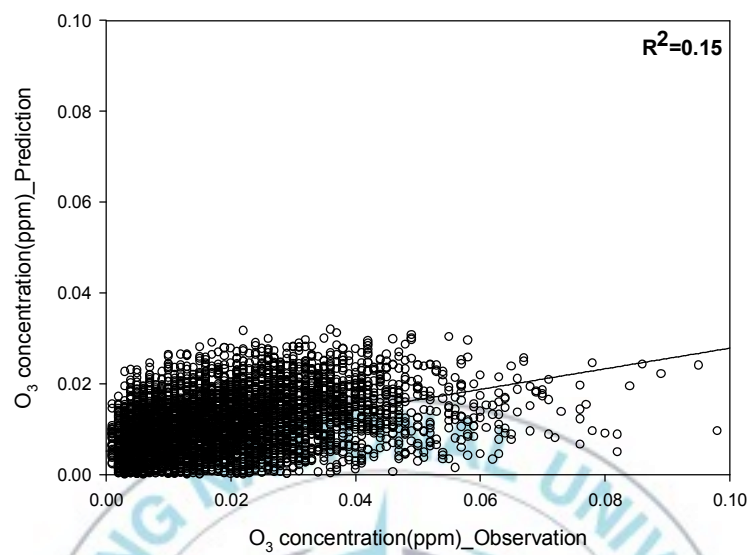


Fig. 12. Same as Fig. 10 but for summer

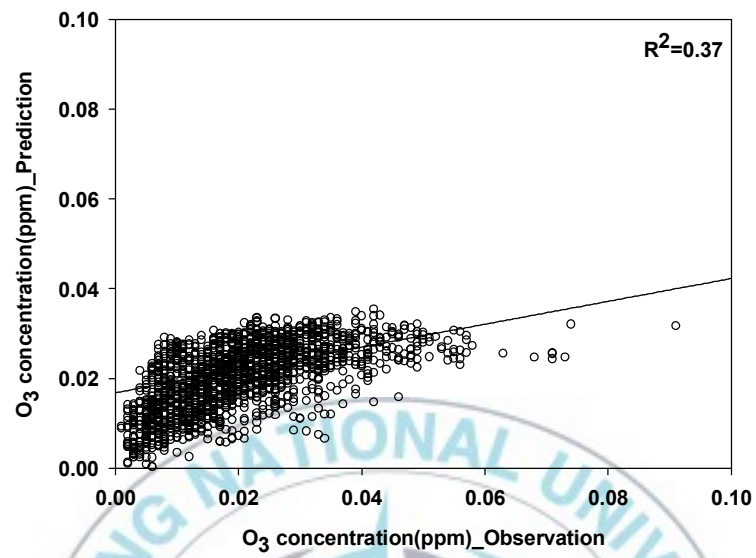


Fig. 13. Same as Fig. 11 but for summer

3.3.3 가을철의 O₃ 농도 예측식

부산지역 광복동지점에서의 2003년부터 2007년까지 5년간의 매 시간별, 8시간 평균에 대하여 대기오염물질과 기상요소를 이용하여 가을철 O₃ 농도에 대한 다변량 중회귀분석을 실시하여 다음과 같은 식을 얻었다.

$$Y_{1hr} = -0.1747 \times x_1 - 0.1519 \times x_2 + 0.0002x_3 + 0.0046x_4 + 0.0219$$

$$Y_{8hr} = -0.0459 \times x_1 - 0.1940 \times x_2 + 0.0002x_3 + 0.0080x_4 + 0.0142$$

여기에서 Y_{1hr} 는 시간별 O₃ 농도이고, Y_{8hr} 는 8시간 평균 O₃ 농도이다. x_1, x_2, x_3, x_4 는 SO₂, NO₂, 풍속, 일사량의 실측값이다. 이때 시간자료에 대한 결정계수 R 은 0.48로 48%정도의 설명력을 가지는 것으로 나타나 1시간 자료를 이용하여 O₃ 농도 예측을 할 경우 봄철과 마찬가지로 그 신뢰성을 확보하기 힘들다 할 수 있다. 따라서 8시간 평균자료를 이용한 예측식을 적용하여 본 결과 결정계수 R 은 0.50으로 나타나 50%의 설명력을 가지는 것으로 나타나 O₃ 농도 예측에 대한 적합성이 1시간 자료를 이용하였을 때 보다 2%의 설명력이 높아졌으나 가을철의 경우는 예측식을 적용하는 것이 어려운 것으로 사료된다. 각 예측식으로 구해진 O₃ 농도의 검증을 위하여 2003년부터 2007년까지 O₃ 농도와 실측값을 비교하여 Fig. 14과 Fig. 15에 나타내었다.

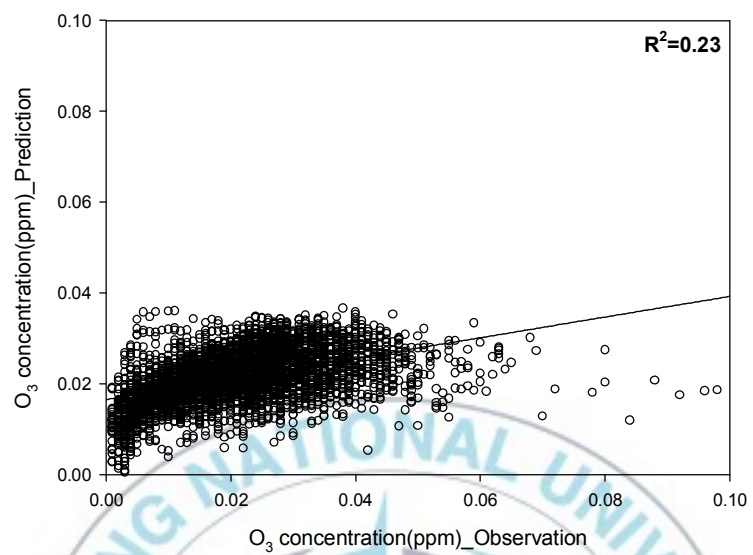


Fig. 14. Same as Fig. 10 but for autumn

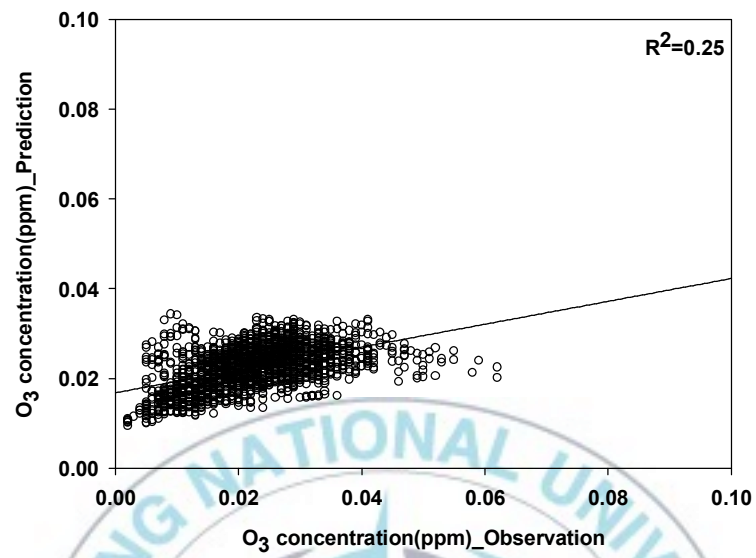


Fig. 15. Same as Fig. 11 but for autumn

3.3.4 겨울철의 O₃농도 예측식

부산지역 광복동지점에서의 2003년부터 2007년까지 5년간의 매 시간별, 8시간 평균에 대하여 대기오염물질과 기상요소를 이용하여 겨울철 O₃ 농도에 대한 다변량 중회귀분석을 실시하여 다음과 같은 식을 얻었다.

$$Y_{1hr} = -0.3821 \times x_1 + 0.0215 \times x_2 + 0.0004x_3 + 0.0029x_4 + 0.0253$$

$$Y_{8hr} = -0.3404 \times x_1 + 0.0603 \times x_2 + 0.0005x_3 + 0.0061x_4 + 0.0193$$

여기에서 Y_{1hr} 는 시간별 O₃ 농도이고, Y_{8hr} 는 8시간 평균 O₃ 농도이다. x_1, x_2, x_3, x_4 는 SO₂, NO₂, 풍속, 일사량의 실측값이다. 이때 시간자료에 대한 결정계수 R 은 0.69로 69%정도의 설명력을 가지는 것으로 나타나 1시간 자료를 이용하여 O₃ 농도 예측을 할 경우 봄철과 마찬가지로 그 신뢰성을 확보하기 힘들다 할 수 있다. 따라서 8시간 평균자료를 이용한 예측식을 적용하여 본 결과 결정계수 R 은 0.74로 나타나 74%의 설명력을 가지는 것으로 나타나 O₃ 농도 예측에 대한 적합성이 1시간 자료를 이용하였을 때 보다 5%의 설명력이 높아지는 결과를 보였다. 각 예측식으로 구해진 O₃ 농도의 검증을 위하여 2003년부터 2007년까지 O₃ 농도와의 실측값을 비교하여 Fig. 16과 Fig. 17에 나타내었다. 각 계절별로 예측식을 구하여 O₃ 농도를 예측한 결과 봄철과 겨울철이 여름철과 가을철에 비하여 상대적으로 높은 설명력을 가지는 것으로 나타났다.

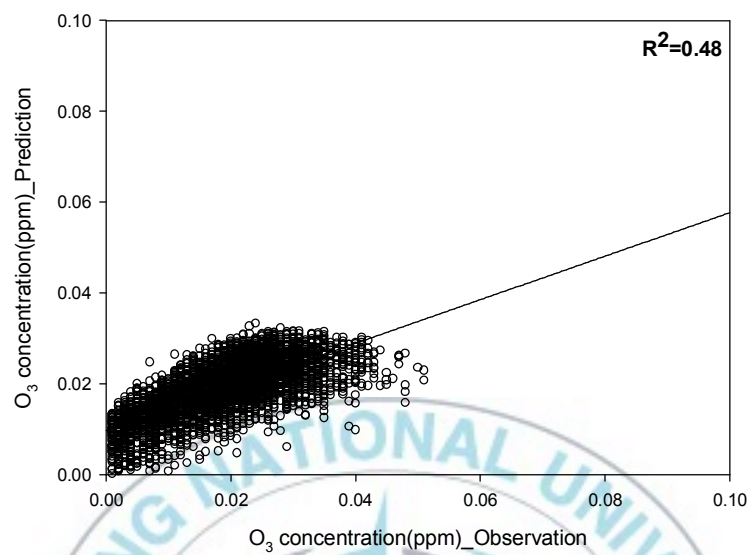


Fig. 16. Same as Fig. 10 but for winter

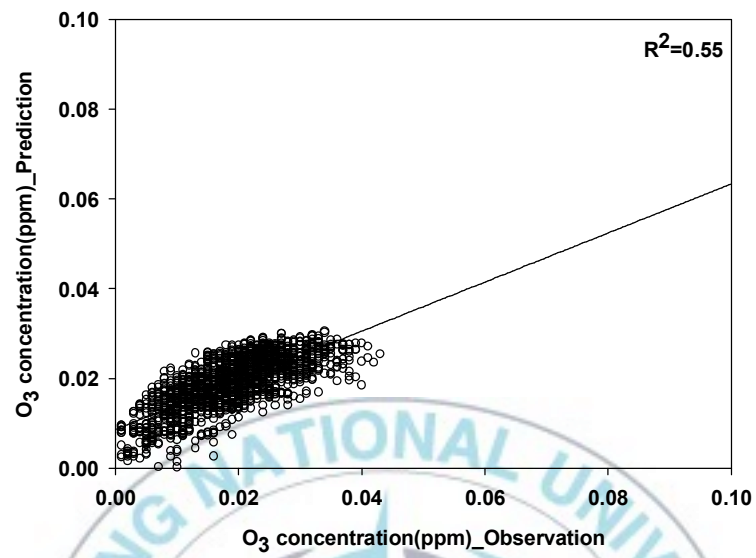


Fig. 17. Same as Fig. 11 but for winter

4. 결 론

부산지역의 O_3 농도의 변화 특성을 분석하기 위하여 부산광역시 광복동에 설치된 대기질 자동측정망의 대기오염물질자료를 이용하여 분석하였다. 또한 O_3 농도에 영향을 미치는 대기오염물질과 기상요소와의 상관관계를 분석하여 주요 영향인자를 선정하고 다변량 중회귀분석을 이용하여 각 계절별 O_3 농도를 대기환경기준인 1시간 및 8시간 기준에 적합한 O_3 농도를 예측하는 회귀식을 작성하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 부산지역 광복동지점의 연평균 O_3 농도는 2003년부터 2007년까지 0.020ppm의 수준을 유지하고 있으며, 월평균 농도는 4월이 가장 높고 7월에 감소하는 분포를 보이고, 시간대별 분포는 1~5시와 10~15시경에 높은 농도를 나타내는 경향을 나타내었다.
2. 2003년부터 2007년까지 5년 동안의 O_3 농도의 분포는 8시간 기준인 0.06ppm이하가 전체의 96.4%를 차지하고 있으며, 1시간 기준인 0.1ppm은 전체빈도의 0.01%를 넘지 않았다.
3. O_3 농도와 기상요소는 계절별로 차이가 있으나 일사량이 0.372~0.427 사이의 양의 상관관계를 나타내어 온도, 풍속에 비하여 상대적으로 높은 상관관계를 나타내었으며, 풍속은 0.142~0.378의 양의 상관관계를 나타내었다.

4. O₃ 농도와 대기오염물질과는 계절별로 차이가 있으며 NO₂, SO₂, CO는 음의 상관관계를 PM₁₀과는 양의 상관관계를 나타내었다. 대기오염물질 중 상관관계는 NO₂가 겨울철에 -0.650으로 가장 높은 상관관계를 가지는 것으로 나타났다.
5. 다변량 중회귀분석을 이용하여 1시간 및 8시간 O₃ 예측에 적합한 회귀식을 도출하였으며 각 계절별 회귀식은 봄철의 경우 다음과 같은 식으로 나타났으며

$$Y_{1hr} = -0.3101 \times x_1 - 0.1385 \times x_2 + 0.0015x_3 + 0.0040x_4 + 0.0299$$

$$Y_{8hr} = -0.2769 \times x_1 - 0.0140 \times x_2 + 0.0013x_3 + 0.0072x_4 + 0.0209$$

8시간 예측식의 경우 결정계수 R이 0.66으로 66%의 설명력을 가지는 것으로 나타났다(x_1 : SO₂, x_2 : NO₂, x_3 : 풍속, x_4 : 일사량).

또한 겨울철의 경우 아래와 같은 회귀식을 도출하여 8시간 회귀식의 R이 0.74로 74%의 설명력을 가지는 것으로 나타났다.

$$Y_{1hr} = -0.3821 \times x_1 + 0.0215 \times x_2 + 0.0004x_3 + 0.0029x_4 + 0.0253$$

$$Y_{8hr} = -0.3404 \times x_1 + 0.0603 \times x_2 + 0.0005x_3 + 0.0061x_4 + 0.0193$$

다음과 같이 기상조건이 반영된 부산 광복동지역의 O₃ 농도의 예측 연구는 향후 부산시 전역에서 운영 가능한 지표 O₃ 모델의 개발과 고농도 O₃에 의한 피해 예방의 기초자료로 활용 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 菅 民郎, 1998, 多変量解析の 實践, 現代數學社, 26-85
- 김유근, 이소영, 임윤규, 송상근, 2007, 중회귀 모형을 이용한 울산지역 오존 포텐셜 모형의 설계 및 평가, *한국대기환경학회지*, **23**(1), 14-28
- 도상현, 2001, 대구지역의 오존 농도 특성 및 기여인자 분석에 관한 연구, *계명대학교 대학원 석사 학위 청구 논문*.
- 박주연, 김용표, 2002, 서울시에서의 최적 오존 저감 대책: OZIPR을 이용한 사례 연구, *한국대기환경학회지*, **18**(5), 427-433
- 송동웅, 1996, 원주 지역의 오존농도 특성에 관한 연구, *환경과학회지*, **2**(1), 27-32
- 오인보, 김유근, 202, 한반도 주요 대도시지역의 지표오존 특성: 추세, 일변화, 월변화, 수평분포, *한국대기환경학회지*, **18**(4), 253-264
- 이동인, 이문철, 유철환 이상구, 이철기, 2000, 기상요소에 따른 부산지역 계절별 교통사고 변화와 예측에 관한 연구, *한국환경과학회지*, **9**(6), 469-474
- 전의찬, 우정현, 1999, 오존 농도에 영향을 미치는 주 기상요소의 도출 및 예측모형 수립, *한국대기환경학회지*, **15**(3), 257-266
- 정영진, 이동인, 한영호, 이협희, 1998, 기상조건에 따른 부산지역 대기오염 물질 농도변화와 예측에 관한 연구, *한국대기환경학회지*, **14**(3), 177-189
- 한진석, 마창민, 조창래, 진형아, 정일록, 2000, 서울지역 오존과 기상인자와의 관계 및 장기간 오존농도 분포 추세, *한국대기환경학회 추계학술대회 논문집*, 157-159

감사의 글

먼저 이 논문이 완성 될 수 있도록 저의 부족함을 늘 일깨워 주시고 아낌없는 지도 편달을 해 주신 이동인 교수님께 진심으로 감사의 말씀을 드립니다.

또한 부족한 저의 논리를 바르게 이끌어주신 이상구 박사님, 유철환 박사님께 마음속 깊이 감사드리며 본 논문이 완성되기까지 각종 기초자료 정리를 위해 자신의 일인 양 한 치의 불평없이 끝까지 도와주신 서길중 군과 함께 수고한 실험실 후배님들에게도 고마운 마음을 전합니다. 그리고 직장생활과 더불어 학업에 정진할 수 있도록 격려와 배려를 아끼지 않은 부산광역시 류병순 환경보전과장님이하 각 계장님 그리고 새로운 업무에 눈 코 뜰 수 없이 바쁜 와중에도 항상 학업에 지장이 없도록 성원해 주신 구병기 주무님, 김상범 주무님, 최점심씨, 박유석씨, 김동희씨, 한홍길씨, 그리고 보건환경연구원 조정구 과장님, 유은철 박사님, 도우곤 박사님 외 모든 동료직원들에게도 감사의 말씀을 드립니다.

1983년 본교 환경공학과를 졸업하고 서울시를 첫 발령지로 공직생활을 시작한지 20년을 훌쩍 넘은 시점에서 늦게나마 학업을 다시 시작할 수 있도록 마음속 깊이 동기부여를 해주신 경성대 정장표 교수님, 신현무교수님, 부산발전연구원 신성교 박사님, 그리고 바쁜 직장 생활 중에서도 항상 공부하고 노력하는 귀감이 되어 주신 김희만, 문효방 박사님께도 진심으로 감사의 말씀을 전합니다. 끝으로 이 논문이 발간되기까지 항상 뒤에서 용기를 북돋아 주신 부모님과 곁에서 항상 헌신적으로 뒷바라지 해준 영원한 생의 동반자 아내 노영희, 그리고 우리나라 최고의 생명공학자를 꿈꾸는 자랑스런 아들 재우와 한없이 맑고 고운 꿈을 머금고 잘 자라주는 사랑하는 딸 소정리와 함께 이 작은 영광을 함께하고자 합니다.

2009. 1. 박 남 식