

이 학 석 사 학 위 논 문

부산지역 대기 중 휘발성유기화합물
(VOC's)의 일변화 특성에 관하여

지도교수 이 동 인

이 논문을 이 학 석 사 학 위 논문으로 출함



2003 년 8 월

부경대학교 산업대학원

지구환경과학과

서 길 중

서길종의 이학석사 학위논문을 인준함

2003 년 6 월

주심 이학박사 한 영 호



위원 이학박사 이 동 인



위원 공학박사 옥 곤



Contents

List of Tables	ii
List of Figures	iii
ABSTRACT	1
1. 서론	3
2. 자료 및 분석방법	5
2.1 관측기간 및 관측지점	5
2.2 기상요소	7
2.3 VOC's 및 O ₃ 의 측정	8
3. 결과 및 고찰	11
3.1 VOC's 관측 결과	11
3.2 토지용도별 VOC's의 특성 및 일변화	13
3.2.1 매립장지역 VOC's 특성	13
3.2.2 공원지역 VOC's 특성	15
3.2.3 도시중심지역 VOC's 특성	18
3.2.4 녹지지역 VOC's 특성	21
3.3 O ₃ 와의 관계	23
3.4 VOC's의 농도와 기상요소와의 상관관계	27
3.4.1 풍향과의 관계	27
3.4.2 풍속과의 관계	29
3.4.3 기온과의 관계	32
4. 결론	36
참고문헌	38
감사의 글	41

List of Tables

Table 1.	Specification of O ₃ analyzer(MODEL 49C)	10
Table 2.	VOC's mean concentration at sampling sites.	12
Table 3.	VOC's mean concentration at each wind direction of sampling sites.	27
Table 4.	Correlation coefficients between meteorological element, pollution material and VOC's at sampling sites.	32

List of Figures

Fig. 1.	Sampling sites.	6
Fig. 2.	Photographs of wind speed, direction and radiation shield sensor.	7
Fig. 3.	A photograph of VOC's measurement.	9
Fig. 4.	A photograph of VOC's sampler(portable VOC Monitor PGM-7600).	9
Fig. 5.	A photograph of O ₃ analyzer(MODEL 49C).	10
Fig. 6.	Diurnal variation of VOC's mean concentration at Sang-Gok garbage dump in Mar. 5~6. 2003.	13
Fig. 7.	Diurnal variation of VOC's concentration and wind direction at Sang-Gok garbage dump in Mar. 5~6. 2003.	14
Fig. 8.	Diurnal variation of VOC's mean concentration at Dae Cheong park in Mar. 17~19. 2003.	15
Fig. 9.	Diurnal variation of VOC's concentration and wind direction at Dae Cheong park in Mar. 17~19. 2003.	17
Fig. 10.	Diurnal variation of VOC's mean concentration at Gyeong Nam technical high school in Apr. 9~10. 2003.	18
Fig. 11.	Diurnal variation of VOC's concentration and wind direction at Gyeong Nam technical high school in Apr. 9~10. 2003.	20
Fig. 12.	Diurnal variation of VOC's concentration at Hopo Subway station in May 19~20. 2003.	21

Fig. 13. Diurnal variation of VOC's concentration and wind direction at Hopo Subway station in May 19~20. 2003.	22
Fig. 14. Diurnal variation of O ₃ and VOC's mean concentration at (a) Sang-Gok garbage dump, (b) Dae Cheong, park (c) Gyeong Nam technical high school, and (d) Hopo Subway station during sampling date.	24
Fig. 15. Correlation of VOC's and wind speed at (a) Sang-Gok garbage dump, (b) Dae Cheong park, (c) Gyeong Nam technical high school, and (d) Hopo Subway station during sampling date.	29
Fig. 16. Correlation of VOC's and temperature at (a) Sang-Gok garbage dump, (b) Dae Cheong park, (c) Gyeong Nam technical high school, and (d) Hopo Subway station during sampling date.	32

A Study on the Diurnal Variations of Atmospheric Volatile Organic Compounds in Busan Areas

Kil-Jong Seo

Department of Earth Environmental Sciences

Graduate School of Industry

Pukyong National University

ABSTRACT

The urban air pollution has been considerably increasing because of the growth of population, the development of vehicles and increase of point and line sources. In this study, to investigate diurnal variation of VOC's concentration which is known as photochemical pollutants at urban area, air samplings and measurements were accomplished in 4 sites, Busan Korea. The concentrations of VOC's were measured from

each site during 3~5, March, 17 ~ 19 March, 9 ~ 10 April, and 19 ~ 20 May 2003, continuously. In addition, the meteorological observations were made to estimate the correlation between meteorological elements and VOC's concentration.

The daily mean concentration of VOC's at Sang-Gok park was the higher than other sites. The concentration of VOC's at Dae Cheong park was the highest during 08:00 to 10:00 in a day. The VOC's concentration of Gyeong Nam technical high school at Seo Myeon downtown, Busan was generally lower than at Dae Cheong park and their values were the highest during 02:00 to 04:00 in a day. VOC's the concentration near Hopo Subway station where is in suburban was considerably lower than other sites.

The concentration of VOC's mainly changed depending on pollution source location and meteorological elements. The VOC's concentration difference by vehicles and population movement was high in downtown area, Seo Myeon. Correlation coefficients between meteorological elements and VOC's concentration at Hopo Subway suburban area had the highest values

Therefore, These results could be applied to select representative VOC's, air monitoring system at urban city, Busan as a fundamental data for detection of VOC's concentration

1. 서론

오늘날 대도시에서는 인구 증가로 인한 차량 및 공장의 증가로 인하여 대기로 배출되는 오염물질이 늘어나는 추세에 있다. 그 중 오존의 증가로 인한 인체의 유해성이 알려지면서 이러한 물질을 형성시키는 휘발성유기화합물(이하 VOC's)이 관심의 대상이 되고 있으며, 특히 VOC's는 대기 중의 질소산화물(NOx)과 함께 광화학 반응에 참여하여 인체 및 동·식물에 유해한 오존 등 2차 오염물질인 광화학 산화물을 형성하는 전구물질로 작용하는 것으로 보고되고 있다(Barbara *et al.*, 1996).

VOC's는 국내의 경우 대기환경보전법 시행령 제 39조 제 1항에서는 석유화학제품·유기용제 기타 물질로서 환경부 장관이 관계중앙행정기관의 장과 협의하여 고시하는 물질로 정의하고 있으며 환경부고시 제2001-26호(2001.3.8)에 따라 벤젠, 부타디엔, 휘발유 등 37개 물질 및 제품을 규제대상으로 하고 있다.

미국 EPA(40 CFR 51,000, Feb 3, 1992)에서 VOC's 는 일산화탄소, 이산화탄소, 탄산, 금속성 탄산염 및 탄산 암모늄을 제외한 탄소화합물로서 대기 중에서 광화학 반응에 관여하는 화합물 단 메탄, 에탄, 메틸클로라이드, 메틸클로르포름, 클로르플로르탄소류 및 퍼플로르탄소류 등 광화학 반응성이 낮은 화합물은 제외라고 정의하고 있다.

지금까지의 연구 결과에 의하면 VOC's 배출은 매년 배출량이 증가하고 있는 것으로 보고되고 있으며(환경부, 1999), 이는 차량의 급증으로 인한 배기가스로서의 배출과 연료 주유시에 주로 배출되고 있다. VOC's는 산업현장에서 유기용제의 대량 사용과 같은 요인으로 인하여, VOC's는 대기질의 변화를 초래하는 주요 원인 중의 하나로 지적되고 있다(환경부, 1997).

VOC's에 관한 연구로는 대기 중 휘발성 유기화합물의 채취 및 분석 방법 비교(나광삼 등, 1998), 휘발성 유기화합물의 주요 배출원의 배출물질 구

성비에 관한 연구(김소영 등, 2001), 도시대기 중 방향족 휘발성유기화합물의 농도변화와 상관성에 관한 연구(옥곤 등, 1998), 도시 대기 중 휘발성 유기화합물의 농도 변동 및 영향인자에 관한 연구(백성옥 등, 2002), 서울지역 대기 중 휘발성유기화합물의 계절 특성에 관한 연구(Na *et al.*, 2001), 한국 산업지역에서 휘발성유기화합물의 농도에 관한 연구(Na *et al.*, 2001), 서울 대기중의 VOC's 변화 특성(Na *et al.*, 2003)에 관한 연구 등이 있으며, 국외 연구로는 New Jersey and Pennsylvania의 가정과 작업장의 VOC's에 관한 연구(David L *et al.*, 1996), 광저우 매립장지역 대기 중 휘발성유기화합물의 특성(S. C. Zou *et al.*, 2003), 북쪽 침엽수림대의 VOC's 농도 특성(H. Hakola *et al.*, 2003), , 남부 타이완의 VOC's 농도 특성(Chu-Chin *et al.*, 2003) 등을 연구 한 바 있다. 배출원으로 부터의 오염농도는 기상인자에 의해 크게 영향을 받는다. 신찬기 등(1992)은 광화학 오염물질의 농도를 지배하는 요인 중에서 배출원을 제외하고 가장 영향을 많이 주는 요소는 기상인자로 들고 있다. 정용승 등(1991)은 광화학 오염물질은 풍향, 풍속, 강수, 일사, 운량 등의 상태에 따라 크게 좌우된다고 하였고, 김조천 등(2002)은 대기 중 휘발성유기화합물의 시간적 농도 변화에 대한 연구에서 계절별, 계절적 요인의 영향이 강하게 작용한다고 하였다. 그러나 이러한 연구들은 샘플 및 분석에 상당한 시간이 소요되어 시·공간적 변화가 심한 VOC's의 농도를 자세히 평가하기가 어렵고 실시간으로 분석하기가 쉽지 않으므로 본 연구에서는 VOC's의 농도를 토지용도별(매립장, 공원지역, 상업지역, 주거지역)로 관측점을 선정하여 하루 중 VOC's 농도를 10분별로 측정하여 시간대별 농도변화의 특성을 알아보았으며 기상요소와의 상관성을 조사, 분석하였다.

2 자료 및 분석 방법

2.1 관측기간 및 관측지점

부산은 지형적으로 해안을 끼고 있는 인구 400만의 거대도시이며 교통량은 상당히 많으나 도로율은 전국 최하위의 도시이다. 도심지에서 휘발성유기화합물의 발생원은 광화학 반응의 물질로 인한 오염현상과 함께 다양한 지점으로 나타난다. 본 조사에서는 VOC's 발생원을 쓰레기매립장, 공원, 도심시내, 녹지지역 등의 지점으로 선별하여 조사하였다. 2003년 3월 5~6일에 쓰레기매립 과정에서 발생하는 에어로졸의 영향이 예상되는 강서구 생곡쓰레기 매립장($35^{\circ} 8' 0''$, $128^{\circ} 52' 33''$), 2003년 3월 17~19일에 해양의 선박에 입·출항 시 벙커 C유의 불완전연소로 인한 에어로졸의 발생이 우려되는 부산광역시 중구에 위치한 부산대청공원($35^{\circ} 6' 51''$, $129^{\circ} 1' 42''$), 2003년 4월 9~10일에 서면 시내에 위치하고 다수의 차량이 통행하는 지역인 부산진구의 경남공업고등학교($35^{\circ} 9' 9''$, $129^{\circ} 3' 48''$), 2003년 5월 19~20일에 녹지지역인 북구의 호포지하철 차량기지($35^{\circ} 16' 50''$, $129^{\circ} 1' 0''$)을 선정하여 관측하였다(Fig. 1). 관측기간 동안에는 맑은 날이 연속되는 날을 선정하여 관측하였다.

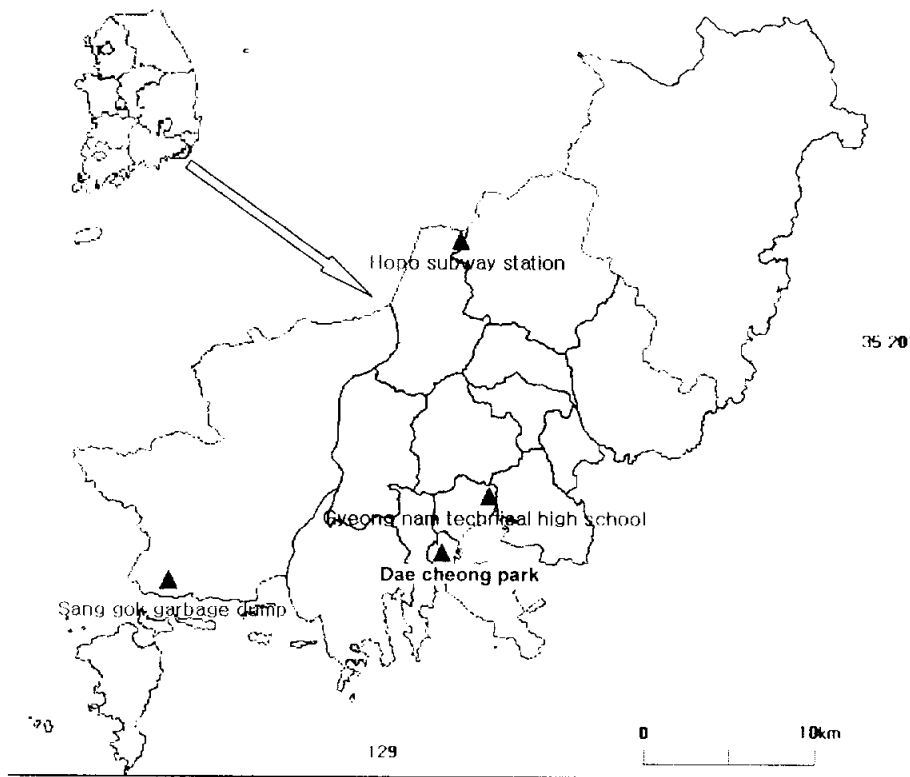


Fig. 1. Sampling sites.

2.2 기상요소

기상요소 중 풍향, 풍속, 온도의 측정은 부산광역시 보건환경연구원 대기 환경측정차량(Fig. 2)에 부착된 Met One Instruments사의 wind speed sensor(010C), wind direction sensor(020C), radiation shield(5980)를 이용하여 관측하였으며, 5분마다 연속적으로 데이터가 생성되도록 하였다(Fig. 2). 그 외 관측지점에 인접한 영도($35^{\circ} 04'$, $129^{\circ} 05'$) 및 구 부산지방기상청($35^{\circ} 12'$, $129^{\circ} 05'$)의 AWS 자료를 이용하였다

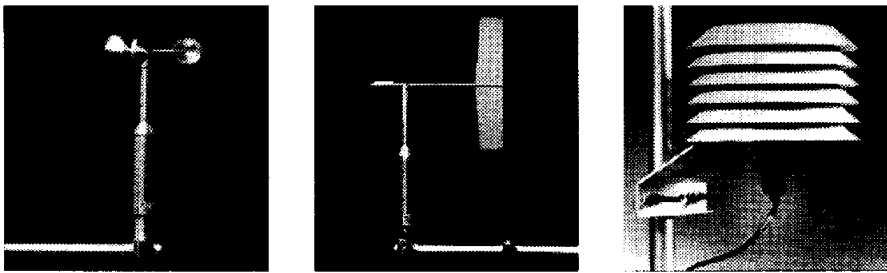


Fig. 2. Photographs of wind speed, direction and radiation shield sensor.

2.3 VOC's 및 O₃의 측정

VOC's의 관측은 RAE Systems사의 MiniRAE2000(Portable VOC Monitor PGM-7600)을 이용하여 24시간 연속적으로 측정하였다. MiniRAE2000은 Photo-ionization sensor를 이용하여 자외선을 조사하고 광산란되어진 양을 분석하여 Total VOC's의 농도를 측정하도록 설계되어있다. 그리고 측정 시 수분에 의한 오차를 줄이기 위하여 수분필터를 기기의 노즐에 부착하였으며, 차량 내부에 기기를 설치하고 노즐을 1.5m 높이에 위치하도록 하여 설치하였다.

O₃은 기상요소의 측정과 같이 대기환경측정차량에 부착된 미국 Thermo Environmental Instruments사의 U.V Photometric O₃ Analyzer(MODEL 49C)을 사용하여 측정하였다(Fig. 5). 본 기기는 샘플링 되어진 공기에 자외선을 조사하고 광산란되어진 양을 분석하는 방식을 이용하여 O₃ 농도를 측정하며, 이에 관한 제원 및 특성은 Table 1과 같다.

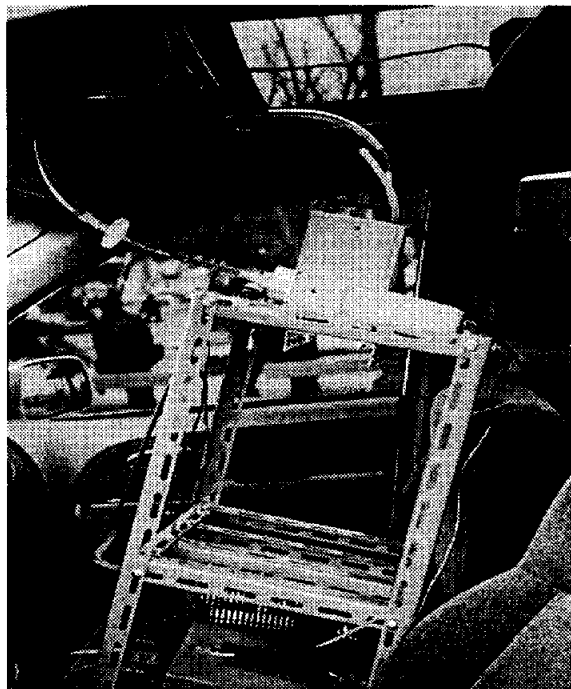


Fig. 3. A photograph of VOC's measurement

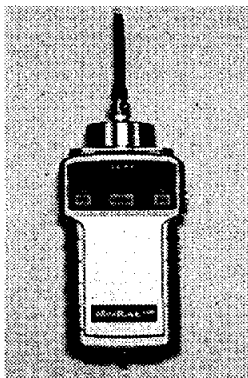


Fig. 4. A photograph of VOC's sampler
(Portable VOC Monitor PGM-7600).

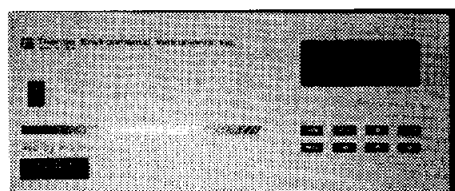


Fig. 5. A photograph of O₃ analyzer(MODEL 49C)

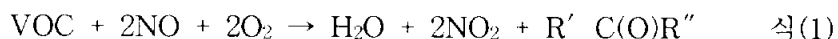
Table 1. Specification of O₃ analyzer(MODEL 49C)

Ranges	0-50, 100, 200, 500 1000 ppb 0-1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 ppm
Noises	0.20 ppb RMS (60second averaging time)
Lower Detectable Limit	0.40 ppb (60second averaging time)
Zero Drift(24 hour)	< 0.40 ppb
Span Drift(24 hour)	± 1% full scale
Response Time	40sec (10sec averaging time) 80sec (60sec averaging time) 300sec (300sec averaging time)
Precision	+ 0.4 ppb (500 ppb range)
Linearity	+ 1% full scale
Sample flow Rate	0.6 liters/min
Operating Temperature	15-35°C (may be safely operated over the range of 5-40°C)
Power Requirements	105-125 VAC, 60Hz 220-240 VAC, 50Hz 300 Watts
Physical Dimensions	16.75"(W) × 8.62"(H) × 23"(D)
Weight	53 lbs.
Outputs	Selectable voltages and RS-232 (standard) 4-20 mA isolated current(optional)

3. 결과 및 고찰

3.1 VOC's 관측 결과

생곡쓰레기 매립장, 부산대청공원, 경남공업고등학교와 호포지하철 차량기지에서 VOC's에 대한 일별 농도관측을 실시한 시기는 각각 2003년 3월 5~6일, 3월 18~19일, 4월 9~10일, 5월 19~20일 이었다. 3월 18일과 4월 10일의 날씨는 맑았고 5월 19일은 약간 흐렸다. 대기 중에서 VOC's는 NO_x와 같이 존재하여 OH Radical과 반응, 오존을 생성시켜서 광화학옥시단트의 원인물질이 되며 이는 식(1), (2), (3)으로 나타낼 수 있다.



각 지점의 10분 간격 VOC's 농도를 1시간 간격으로 평균한 자료를 Table 2에 나타내었다.

생곡쓰레기 매립장의 경우 05:00에서 15:00까지는 기상조건의 악화로 인하여 측정할 수 없었고 각 지점에서 전 평균 VOC's의 농도는 생곡쓰레기 매립장에서 0.350ppm, 대청공원에서 0.275ppm, 경남공업고등학교에서 0.149ppm, 호포지하철 차량기지에서 0.078ppm으로 측정되었다. 평균농도는 생곡쓰레기 매립장 지점이 0.350ppm으로 가장 높은 농도를 나타내었다. 대청공원의 경우 일평균 농도는 생곡쓰레기 매립장에 비하여 낮으나 10:00시

에 관측기간 중 가장 높은 농도인 0.767ppm을 보이고 있다. 관측지점 중 호포지하철 차량기지는 녹지지역으로 VOC's의 농도가 0.078ppm으로 상당히 낮은 결과를 보이고 있으며, 14:00~16:00, 19:00~21:00시에는 VOC's가 측정되지 않고 있다.

Table 2. VOC's mean concentration at sampling sites

Site & Value Time	Sang Gok garbage dump	Dae Cheong park	Gyeong Nam tech. high school	Hopo Subway station
01:00	0.367	0.450	0.233	0.100
02:00	0.500	0.250	0.100	0.100
03:00	0.317	0.100	0.383	0.150
04:00	0.300	0.417	0.400	0.100
05:00	-	0.333	0.200	0.133
06:00	-	0.383	0.267	0.233
07:00	-	0.383	0.150	0.150
08:00	-	0.367	0.117	0.133
09:00	-	0.600	0.050	0.100
10:00	-	0.767	0.083	0.000
11:00	-	0.533	0.167	0.017
12:00	-	0.117	0.117	0.033
13:00	-	0.017	0.217	0.050
14:00	-	0.100	0.033	0.000
15:00	-	0.233	0.133	0.000
16:00	0.250	0.225	0.033	0.000
17:00	0.300	0.267	0.117	0.100
18:00	0.300	0.133	0.017	0.067
19:00	0.483	0.133	0.017	0.000
20:00	0.333	0.167	0.117	0.000
21:00	0.400	0.217	0.133	0.100
22:00	0.250	0.117	0.100	0.083
23:00	0.350	0.067	0.133	0.100
24:00	0.400	0.233	0.267	0.117
Total mean	0.350	0.275	0.149	0.078

3.2 토지용도별 VOC's의 특성 및 일변화

3.2.1 매립장지역 VOC's 특성

생곡매립장지역에서의 VOC's의 하루 중 농도 범위는 0.25~0.5ppm 값을 보였다. 측정 결과는 Fig. 6에 나타내었다.

관측이 시작된 시간인 16시에 0.250ppm을 나타내었으며, 18시를 기점으로 19시까지 0.483ppm으로 농도가 높아지는 것을 볼 수 있고, 1시부터 2시까지 농도의 상승폭이 크게 나타났다. 19시와 02시에 높은 농도인 0.483~0.500ppm의 농도를 나타내었다.

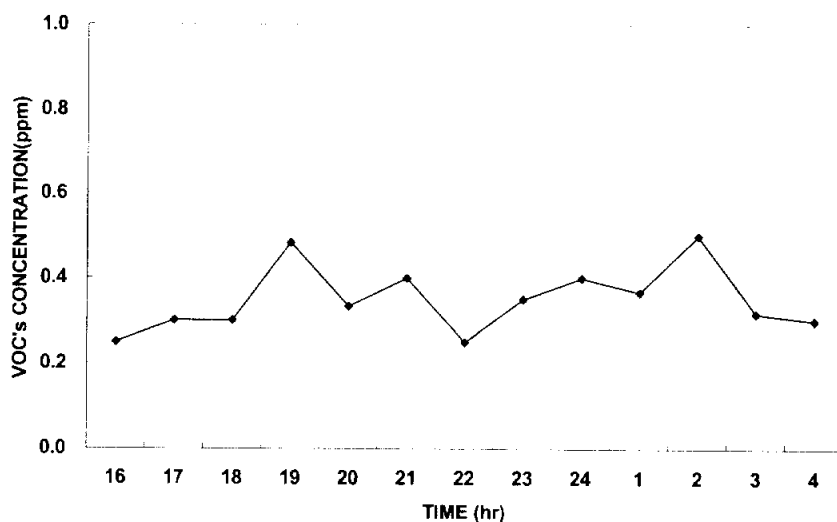


Fig. 6. Diurnal variation of VOC's hourly mean concentration at Sang-Gok garbage dump in Mar. 5~6. 2003.

풍향과 VOC's 농도와와의 관계는 Fig. 7에 나타내었다. 풍향은 시간별로 그 변동이 적었으며, 하루 중 생곡쓰레기 매립장의 풍향은 대체로 16시에 북풍에서 20시에서 21시 사이에 동풍으로 바뀌었으며 01시에서 02시 사이에 다시 북풍계열로 나타났다. 20시의 경우 북풍계열의 풍향에서 동풍의 바람이 불 때 농도가 상승하는 것을 볼 수 있고, 01시의 경우에 동풍에서 북풍으로 풍향이 변화할 때 농도의 상승이 일어나고 있다. 동풍시에는 VOC's 농도 변화가 북풍계열에 비하여 상대적으로 적게 나타났으며 쓰레기 매립장에서의 저녁시간 매립에 따른 농도 증가가 크게 나타났다. 이는 관측지점의 북쪽에 위치한 생곡쓰레기 매립장에서 생성된 VOC's가 풍향에 의해 수송되어 농도가 높아진 것으로 사료된다.

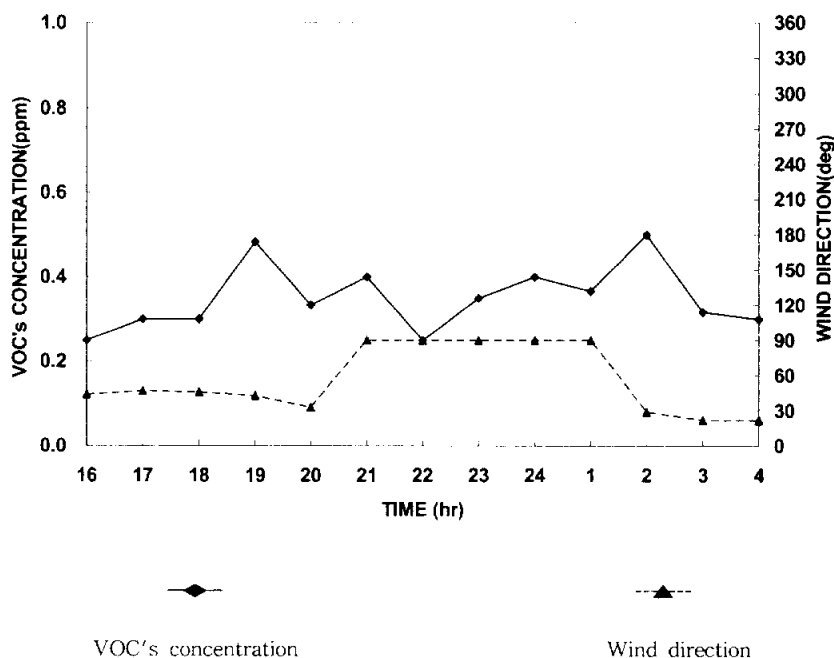


Fig. 7. Diurnal variation of VOC's concentration and wind direction at Sang-Gok garbage dump in Mar. 5~6, 2003.

3.2.2 공원지역 VOC's 특성

공원지역에서 하루 중 농도 범위는 0.017~0.767ppm의 농도를 보였다. 측정 결과는 Fig. 8에 나타내었다. 측정이 시작된 01시에 0.450ppm을 시작으로 하여 03시까지의 농도가 0.1ppm까지 낮아지다가 04시에 다시 0.417ppm까지 상승하고 05시에서 08시까지 농도의 변화가 거의 없는 상태를 유지하였다. 8시를 기점으로 하여 농도가 0.767ppm까지 상승하였고, 10시 이후로 농도가 급격하게 낮아지고 있다. 14시 이후에는 전체적으로 0.1~0.267ppm 사이의 농도로 오전에 비하여 상대적으로 낮은 농도를 보이고 있다. 8시의 급격한 농도의 상승은 관측지점인 대청공원의 동남쪽에 위치한 해안에서 운향하거나 정박중인 선박에서 발생한 오염물질이 유입되어 농도를 높인 것으로 보여진다.

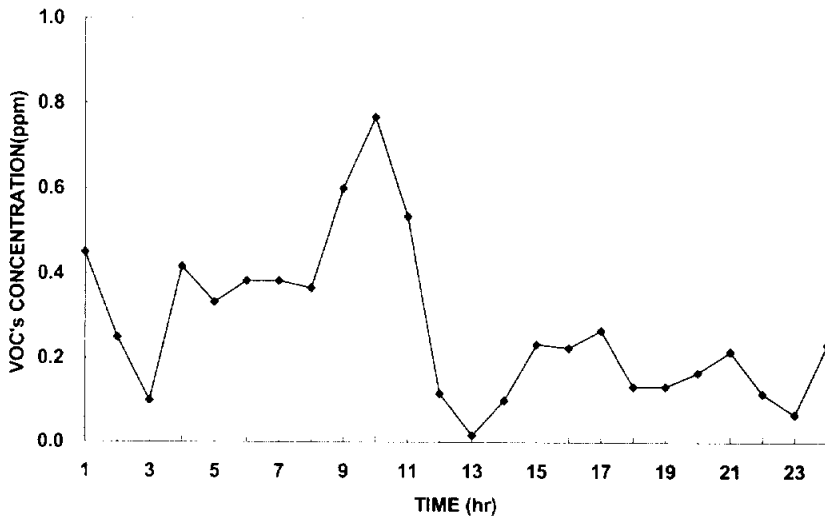


Fig. 8. Diurnal variation of VOC's mean concentration at Dae Cheong park in Mar. 17~19, 2003.

대청공원에서 풍향과 VOC's 농도와 관계는 Fig. 9에 나타내었다. 풍향은 북동풍에서 서풍으로 변화하고 있으며 시간별 풍향의 변화는 5시부터 6시 사이에 북동풍에서 남동풍으로 변화하고, 19시부터 20시까지 남동풍에서 서풍으로 변화하였다. 그 외의 시간별 풍향의 변화는 적었다. 8시에 관측기간 중 VOC's의 농도가 가장 높은 0.767ppm을 나타내고 있는데 이때의 풍향은 북동풍이었고 이는 관측지점의 동쪽에 위치하고 있는 해양에서 운향중인 선박과 공장에서 발생된 오염물질의 영향으로 농도가 높아진 것으로 보인다. 19시 이후의 풍향은 남서풍으로 변화하였고 이때의 VOC's 농도는 0.117~0.233ppm으로 다른 시간대에 비하여 낮은 농도를 보이고 있다. 이는 대청공원의 서쪽으로 산 정상에 위치하고 있어 오염물질의 발생이 없기 때문으로 보여진다. 하루 중 대청공원의 풍향은 동풍에서 서풍으로 변화하는 전형적인 해륙풍의 경향을 보이고 있으며 이것은 공원지역의 VOC's의 농도를 결정하는 중요한 요인으로 작용한 것으로 보인다.

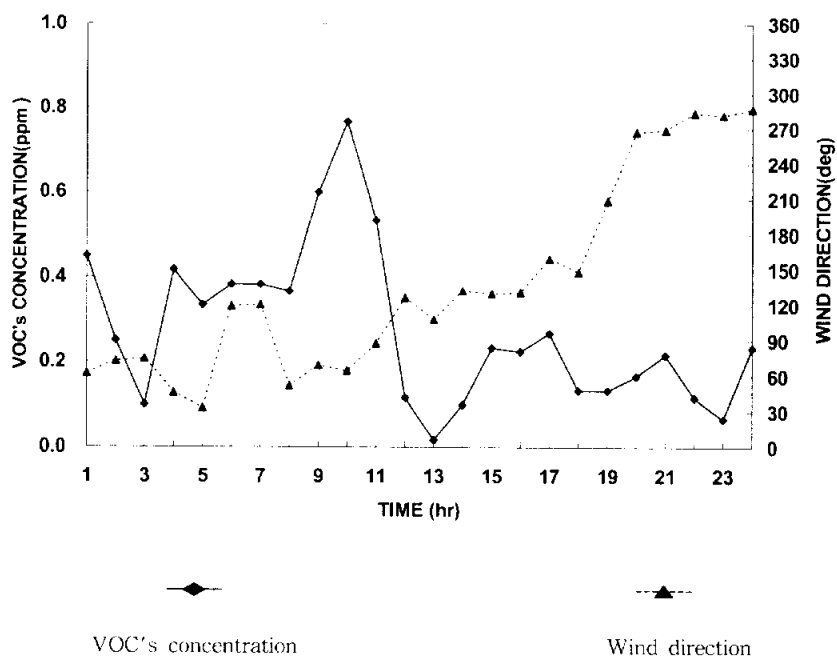


Fig. 9. Diurnal variation of VOC's concentration and wind direction at Dae Cheong park in Mar. 17~19, 2003.

3.2.3 도시중심지역 VOC's 특성

도시중심지역에서 하루 중 농도 범위는 0.017 ~0.4ppm의 농도를 보였다. 측정 결과를 Fig. 10에 나타내었다 측정이 시작된 시간인 01시에 0.233ppm이 측정되었으며 04시에 0.400ppm으로 가장 높은 농도가 측정되었다. 04시를 기점으로 하여 VOC's의 농도가 낮아지다가 09시에는 0.050ppm을 나타내었다. 이후 농도의 변화폭은 작게 나타났고 18시와 19시에는 하루 중 가장 낮은 농도인 0.017ppm을 나타내었다. 공원지역인 대청공원의 경우보다 도시중심지역의 농도가 오히려 낮은 경향을 나타내었다.

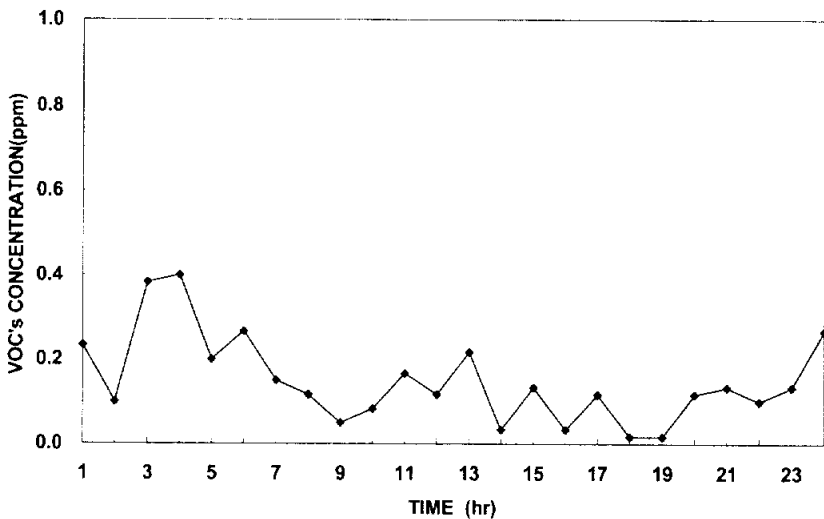


Fig. 10. Diurnal variation of VOC's mean concentration at Gyeong Nam technical high school in Apr. 9~10, 2003.

서면 시내 중심가에서의 풍향과 VOC's 농도와와의 관계를 Fig. 11에 나타내었다. 하루 중 풍향은 01시의 북서풍에서 02시에 동풍으로 급격하게 변화하였고 다시 북서풍으로 변화하였다. 10시에서 11시 사이에 북서풍에서 남서풍으로 풍향이 급격하게 바뀌었다. 01시에서 02시 사이에 북서풍에서 남서풍으로 풍향이 변화할 때 VOC's의 농도도 감소함을 알 수 있다. 04시에 북서풍의 바람이 불 때 하루 중 최고 농도인 0.4ppm을 나타내었고 이 후 높은 농도가 측정되지는 않았다. 11시부터 남서풍계열의 풍향일 때 VOC's의 농도는 0.017~0.217ppm으로 북동풍의 풍향일 때 보다 낮은 농도를 나타내고 있다. 관측지점인 경남공고의 북쪽과 서쪽으로 위치하고 있는 도시 중심지역인 서면일대의 큰 도로와 주유소에서 발생한 오염물질이 풍향에 의하여 수송되어진 결과로 보인다. 또 관측지점의 남쪽과 서쪽으로는 금련산(해발 450m)이 위치하고 있고 금련산 주변으로 아파트 등이 밀집하고 있어 오염물질의 발생원이 없어 전체적인 농도가 낮아진 것으로 보여진다.

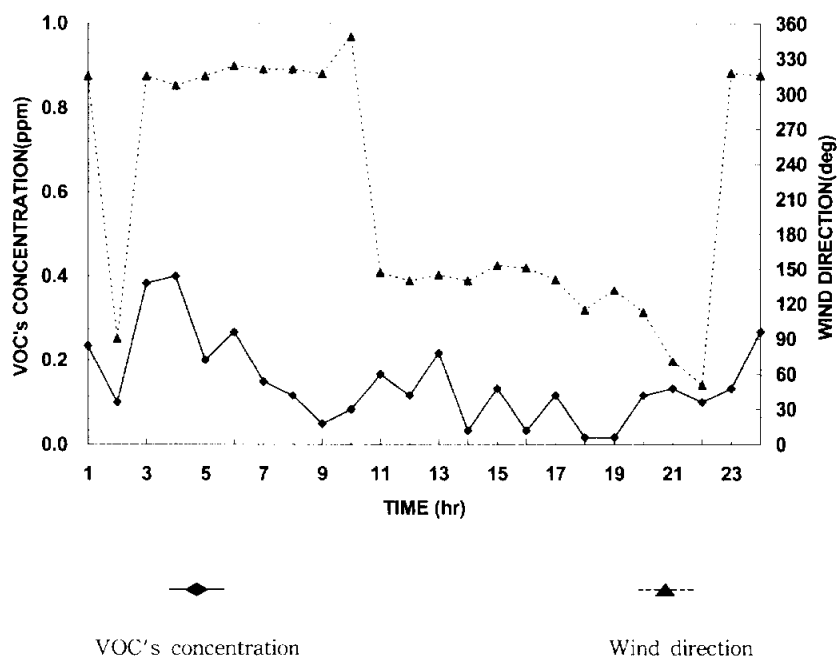


Fig. 11. Diurnal variation of VOC's concentration and wind direction at Gyeong Nam technical high school in Apr. 9~10, 2003.

3.2.4 녹지지역 VOC's 특성

녹지지역의 하루 중 농도 범위는 0~0.233ppm의 농도를 보였다. 측정 결과는 Fig. 12에 나타내었다. 관측이 시작된 17시에 0.1ppm이 측정되었고 19시에서 20시에는 VOC's가 측정되지 않았다. 20시 이후 농도는 0.1~0.15ppm이 측정되었고 06시에 하루 중 가장 높은 농도인 0.233ppm이 측정되었다. 10시와 14~16시까지 농도가 측정되지 않았다. 다른 지역에 비하여 녹지지역인 호포지하철 차량기지 주변의 VOC's의 농도는 상당히 낮은 농도를 보이고 있는데 이것은 지하철에서 발생하는 오염물질이 거의 없고 차량의 이동이 적었기 때문인 것으로 사료된다.

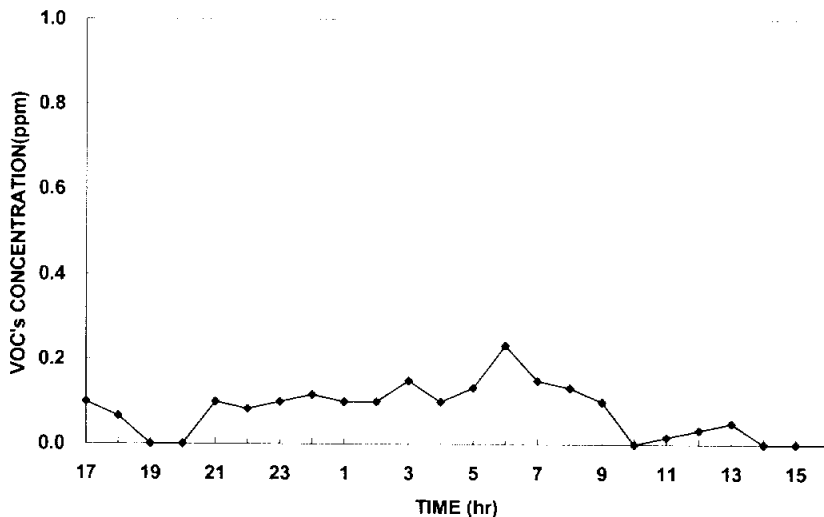


Fig. 12. Diurnal variation of VOC's mean concentration at Hopo Subway station in May 19~20, 2003.

호포지하철열 주변의 풍향과 VOC's 농도와의 관계를 Fig. 13에 나타내었다. 하루 중 풍향의 변화는 관측이 시작된 17시에 남서풍에서 남동풍으로 변화하다가 북동풍계열로 변화하다가 13시에 다시 남서풍으로 변화하는 경향을 보였다. 호포지하철 차량기지의 경우 녹지지역으로 오염원의 발생이 거의 없어 다른 관측지점에 비하여 상대적으로 낮은 농도를 나타내고 있다. 동풍계열의 바람이 분 05시에서 07시 사이에 다른 시간대에 비하여 높은 농도인 0.233ppm이 측정되었다. 이것은 측정지점의 동쪽에 위치하고 있는 북구와 양산을 통과하는 도로로 차량이 통행하면서 발생된 오염물질이 농도를 상승시킨 요인으로 작용한 것으로 보여진다.

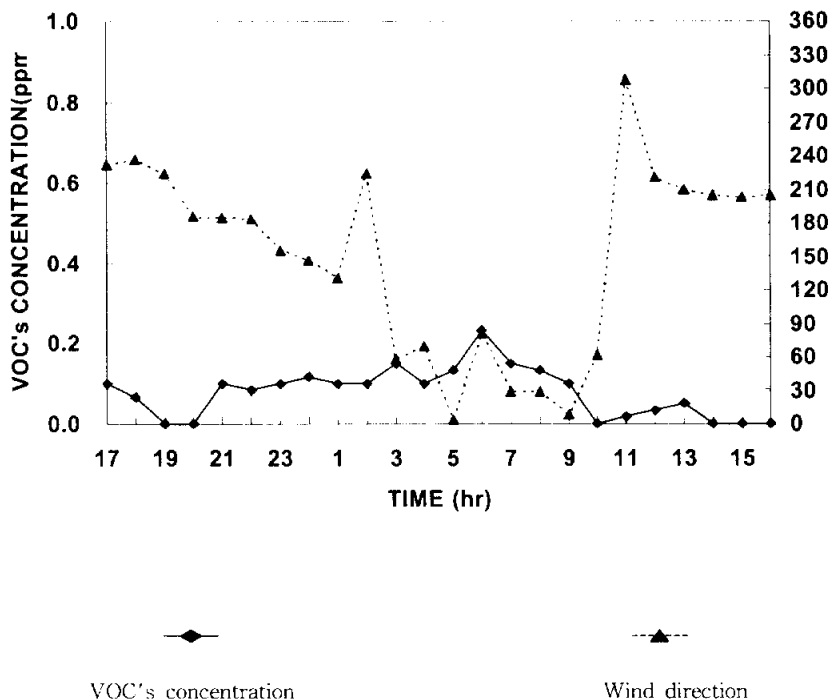
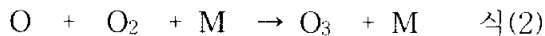
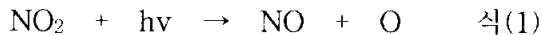


Fig. 13. Diurnal variation of VOC's concentration and wind direction at Hopo Subway station in May 19~20, 2003.

3.3 O₃와의 관계

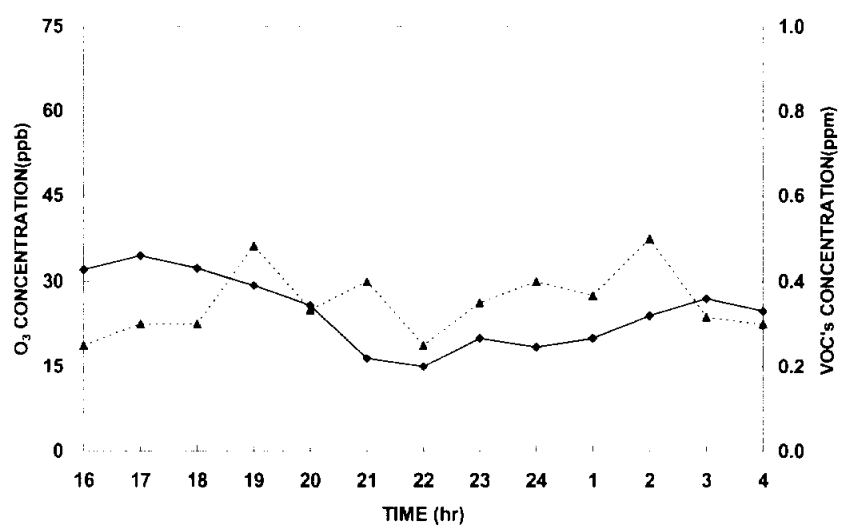
VOC's는 광화학반응물질로 작용하여 O₃의 농도에 영향을 미치게 된다. 일반적으로 NO_x에 의한 생성, 소멸 메카니즘(대기오염, 1985)은 자동차나 공장 등으로부터 배출된 오염물질 NO₂가 태양으로부터의 복사에너지에 의해 NO와 O로 분해되고 제 3의 물질 M의 존재하에 O는 O₂와 반응하여 O₃을 형성한다. 이 O₃은 NO를 산화시켜 NO₂를 만들며 이 O₃는 NO를 산화시켜 NO₂를 만들며 이는 식(1), (2), (3)으로 나타낼 수 있다.



부산지역의 각 지점에 대하여 O₃과 VOC's의 관계를 알아보기 위하여 관측한 결과를 Fig. 14(a)~(d)에 나타내었다.

매립장지역의 경우 광화학 반응이 활발하지 않은 오후에서 새벽까지 관측되어 두 요소간의 상관관계는 크게 보이지 않고 있음을 알 수 있다. 그러나 공원지역의 경우 15시에서 17시 사이에 광화학반응으로 인하여 O₃의 농도가 31.66~43.77ppb로 다른 시간대에 비하여 높았으며, 이때 VOC's의 농도가 0.133~0.267ppm으로 다른 시간에 비하여 낮게 나타났다. 도시중심지역인 경남공업고등학교의 경우 O₃의 농도가 33.8~38.8ppb로 다른 시간에 비하여 높은 농도로 나타났으며 11시에서 15시까지 VOC's의 농도는 0.1ppm 정도로 낮아지는 경향을 볼 수 있었다.

다른 측정지점에 비하여 녹지지역인 호포지하철 차량기지의 경우 VOC's의 농도는 상대적으로 낮은 경향을 보이고 있고, O₃의 농도는 01시에서 07시까지 낮은 농도를 보이고 있다. 이때 VOC's의 농도는 다른 시간에 비하여 높은 농도를 보이고 있고, O₃의 농도가 높아지는 9시를 기점으로 하여 VOC's의 농도는 낮아지는 경향을 보이고 있어 O₃의 농도가 상승할 경우 VOC's의 농도는 낮아지는 것을 알 수 있다.



(a)

Fig. 14. Diurnal variation of O₃ and VOC's mean concentration at
 (a) Sang-Gok garbage dump, (b) Dae Cheong park,
 (c) Gyeong Nam technical high school, and (d) Hopo Subway station
 during sampling date.

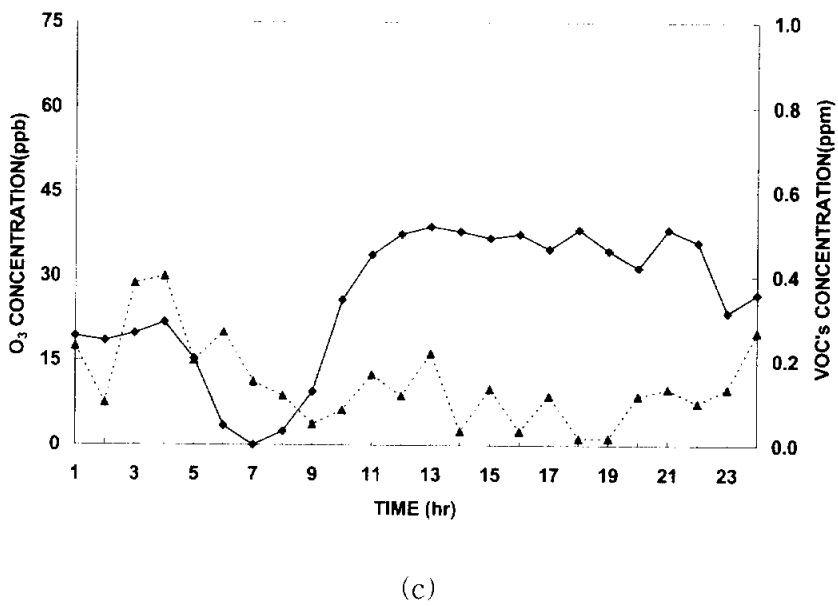
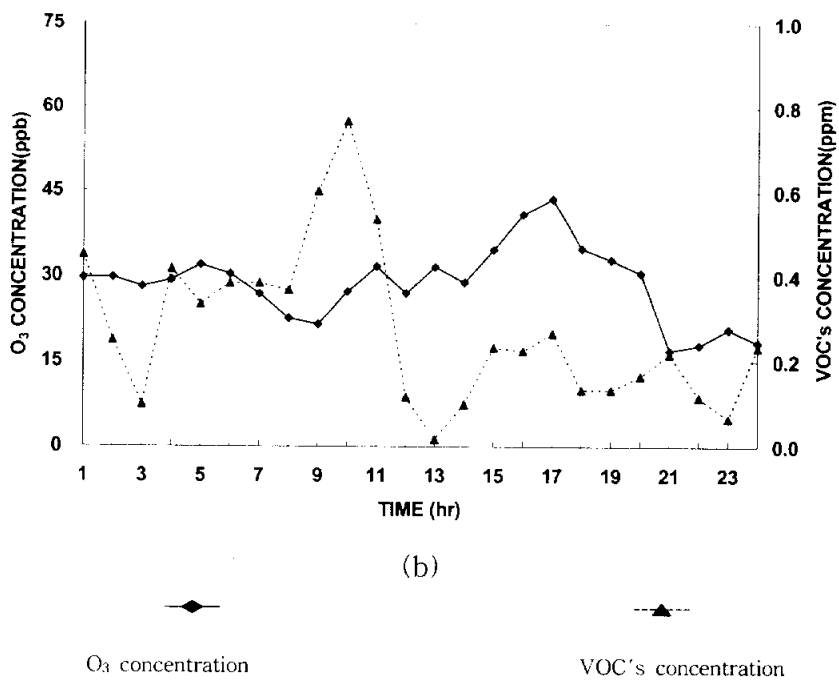
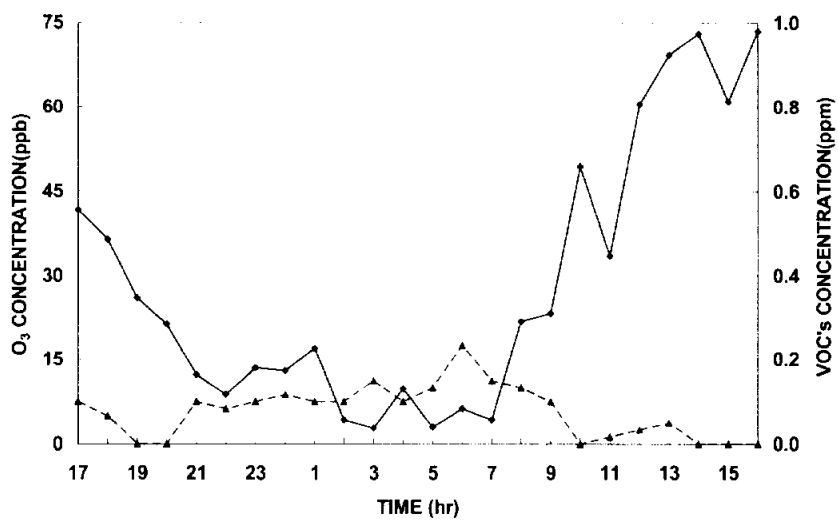


Fig. 14. Continued



(d)

3.4 VOC's의 농도와 기상요소와의 상관관계

3.4.1 풍향과의 관계

각 지역에서 관측된 VOC's의 농도와 기상요소 중 풍향과의 관계를 알아보기 위하여 각 방위에 따른 농도값을 Table 3에 나타내었다.

Table 3. VOC's mean concentration at each wind direction of sampling sites.

unit : ppm

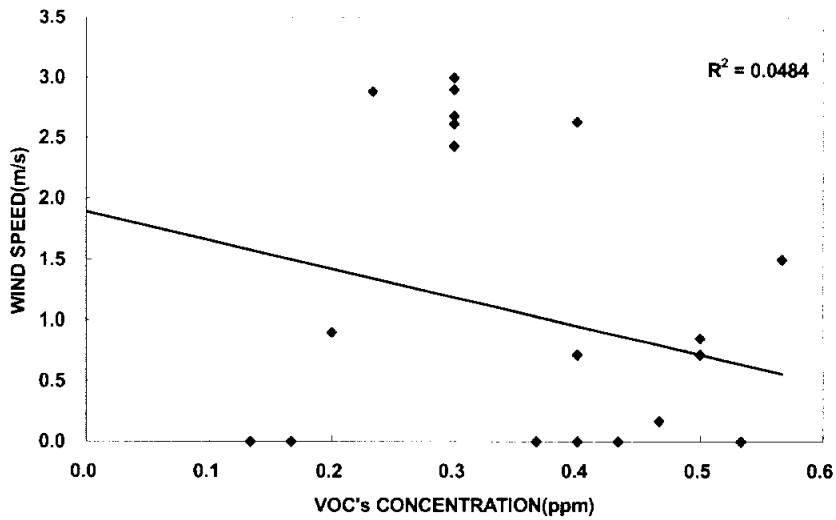
site wind direction	Sang-Gok garbage dump	Dae Cheong park	Gyeong Nam tech. high school	Hopp Subway station
N	0.308	-	0.083	0.100
NE	0.333	0.489	-	0.113
E	0.353	0.294	0.117	0.167
SE	-	0.199	0.097	0.106
S	-	0.267	-	0.061
SW	-	0.133	-	0.031
W	-	0.160	-	-
NW	-	-	0.219	0.017

공원지역의 VOC's의 농도는 동풍계열에서 다른 시간보다 높은 농도인 0.489, 0.294ppm의 농도를 보였고, 도시중심지역인 경남공업고등학교의 경우 북서풍이 불 때 높은 농도를 보이고 있다. 녹지지역인 호포지하철 차량기지의 경우 전체적으로 낮은 VOC's의 농도를 보이고 있으나 동풍이 불 때, 다른 시간에 비하여 높은 농도를 나타내었다. 공원지역의 경우 대청공

원의 동쪽에 해안이 위치하고 있는데 해안에 설치된 항만시설이나 선박에서 배출된 VOC's 물질이 동풍 계열의 바람으로 인하여 대청공원으로 유입되어 농도가 높아진 것으로 보여지며, 도시중심지역은 북서풍계열의 바람이 불 때 VOC's의 최대 농도를 보인다. 이것은 경남공고의 서쪽에 대형상가와 교통량이 많은 도로가 집중적으로 분포하고 있어 그 지역에서 발생된 VOC's 물질이 서풍 계열의 바람으로 인하여 경남공고 지역으로 유입되어 농도가 높아진 것으로 사료된다.

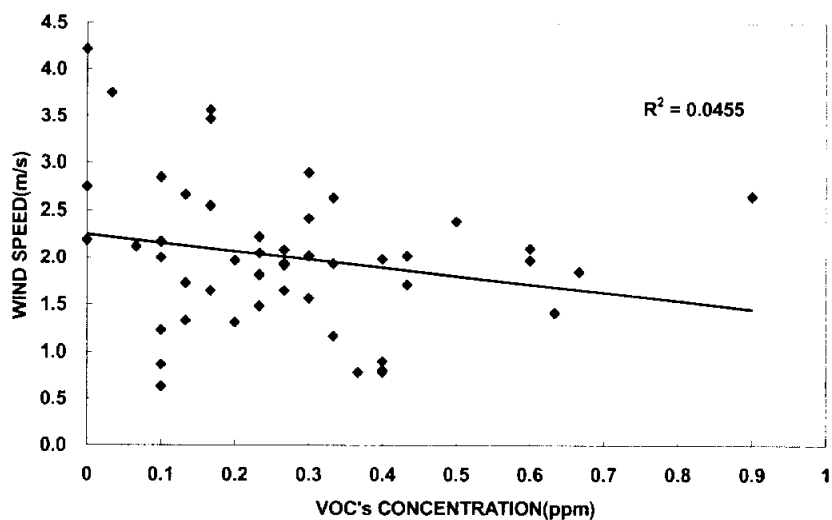
3.4.2 풍속과의 관계

각 지역에서 관측된 VOC's의 농도와 기상요소 중 풍속과의 상관관계를 알아보기 위하여 두 요소 사이의 상관도를 Fig. 15에 나타내었다.

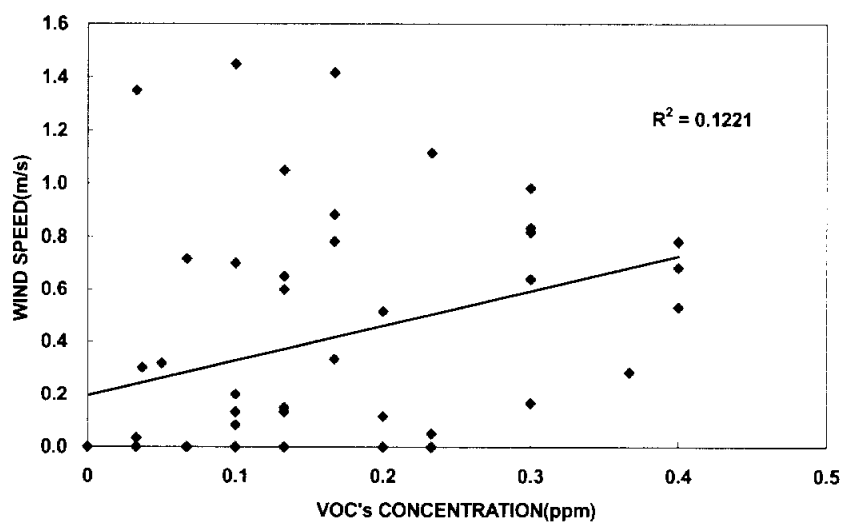


(a)

Fig. 15. Correlation of VOC's and wind speed at (a) Sang-Gok garbage dump, (b) Dae Cheong park, (c) Gyeong Nam technical high school, and (d) Hopo Subway station during sampling date.

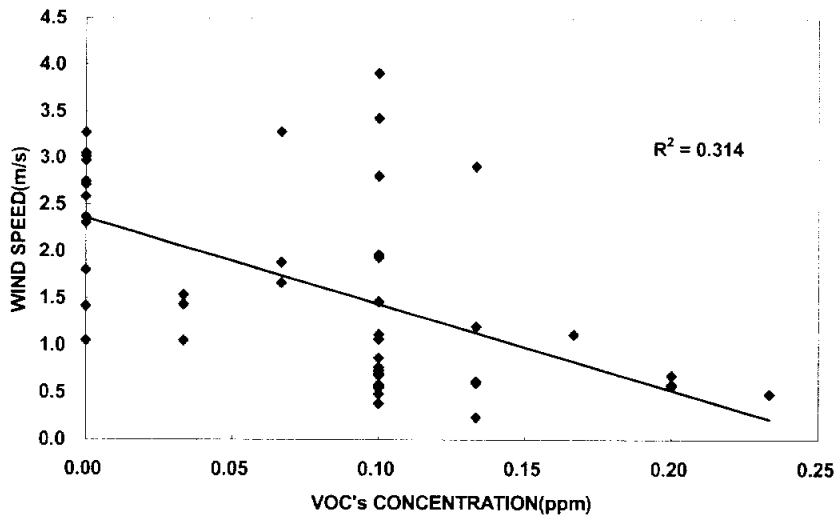


(b)



(c)

Fig. 15. Continued.

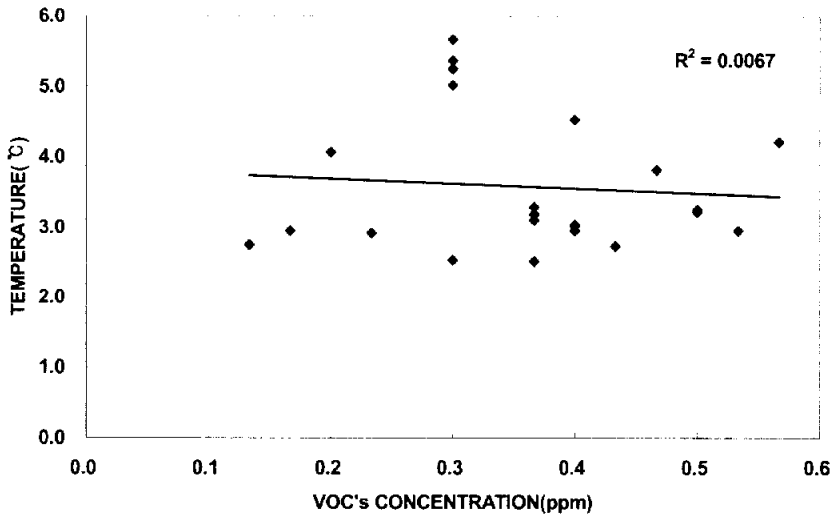


(d)

매립장지역의 VOC's의 농도와 풍속은 상관계수(correlation coefficient, R)가 -0.2199, 공원지역은 상관계수가 -0.2133, 도시 중심지역은 0.3494, 녹지지역은 -0.5600로 나타났다. 풍속의 경우 다른 지역에 비해 녹지지역의 상관계수가 높음을 알 수 있다. 전체 측정지점에서 음의 상관을 보이고 있어 풍속이 약할 경우 VOC's의 농도가 높아지는 경향을 알 수 있다.

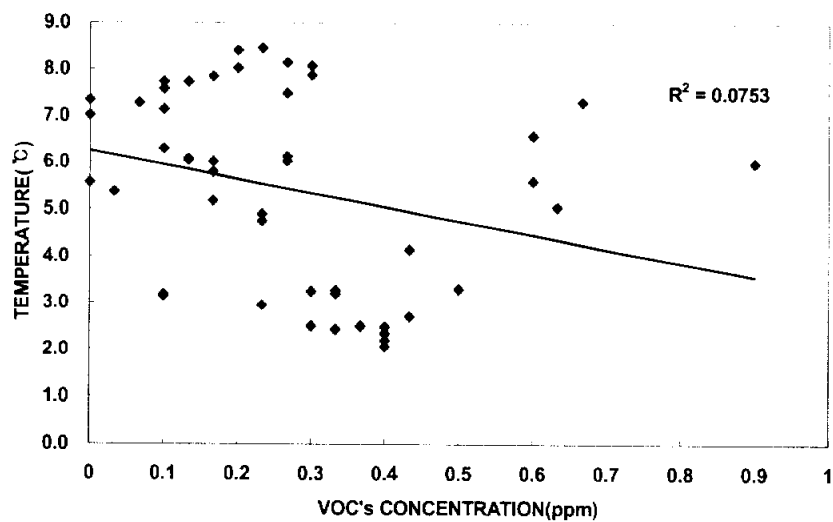
3.4.3 기온과의 관계

각 지역에서 관측된 VOC's의 농도와 기상요소 중 기온과의 상관관계를 알아보기 위하여 두 요소 사이의 상관도를 Fig. 16에 나타내었다.

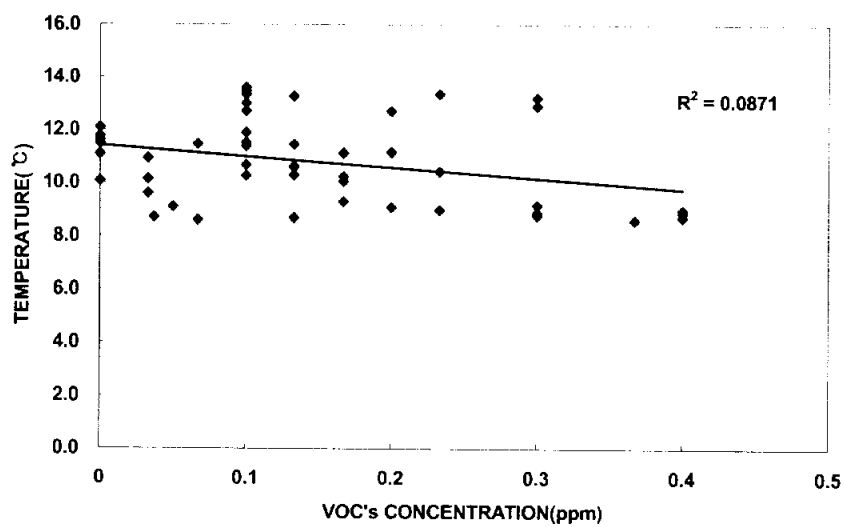


(a)

Fig. 16. Correlation of VOC's and temperature at (a) Sang-Gok garbage dump, (b) Dae Cheong park, (c) Gyeong Nam technical high school, and (d) Hopo Subway station during sampling date.

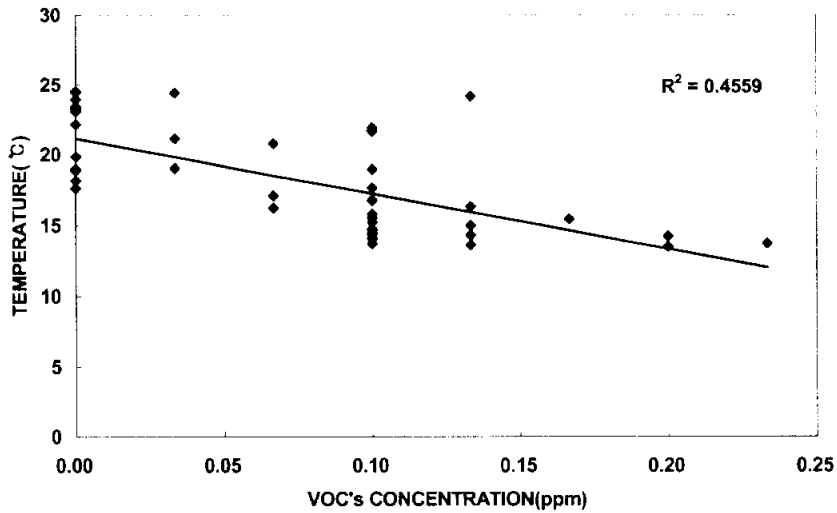


(b)



(c)

Fig. 16. Continued.



(d)

매립장지역의 VOC's의 농도와 기온과의 상관계수(correlation coefficient, R)가 -0.0818, 공원지역은 상관계수가 -0.2745, 도시 중심지역은 -0.2952, 녹지지역은 -0.6750으로 나타났다. 전 지역에서 VOC's 농도와 기온과는 역상관 관계를 나타내고 있고 특히 지하철 차량기지의 녹지지역에서 가장 높은 상관계수로 나타났다. 이 지역에서는 기온이 상승할 때 VOC's 농도가 뚜렷하게 역으로 감소함을 나타내었다.

VOC's와 기상요소, O₃에 대한 상관분석 결과를 종합하면 Table 4와 같다.

Table 4. Correlation coefficients between meteorological element, pollution material and VOC's at sampling sites.

element \ site	Sang-Gok garbage dump	Dae Cheong park	Kyeong Nam tech. high school	Hopo Subway station
NO _x	-0.2974	-0.2392	-0.1009	-0.1401
O ₃	-0.1708	-0.0383	-0.3198	-0.7200
wind speed	-0.3258	-0.1984	-0.2936	-0.6069
temperature	-0.1943	-0.2948	-0.5043	-0.7470
humidity(RH)	0.2979	-0.0928	-0.5330	0.4336

기상요소, 오염물질과 VOC's 농도와의 각 상관성이 높은 항목은 녹지지역인 호포지하철 차량기지의 temperature(-0.7470), O₃(-0.7200), wind speed(-0.6069) 순서로 나타났으며 그 외 지역에서는 그다지 높은 상관성이 나타나지 않았다. 이상에서와 같이 도시지역에서의 VOC's 농도의 변화는 지역별로 상관성이 큰 차이로 나타나며, 광화학 반응 물질인 O₃나 NO_x 등과의 상관성이 적게 나타났다. 이는 휘발성유기화합물의 오염 발생원이 매우 다양하고 차량이나 인구의 유동과 같은 선 오염원의 이동성에 의한 영향이 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 기상요소에 의한 VOC's 농도의 변화는 오염원이 적은 녹지지역에서 주로 발생되고 있는 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 매립장지역인 생곡쓰레기 매립장, 공원지역인 대청공원, 도시 중심지역인 경남공업고등학교, 녹지지역인 호포지하철 차량기지에서 VOC's의 농도와 기상요소를 24시간 연속 측정하고 이들의 상관관계를 파악하여 부산지역 토지용도별 VOC's의 농도의 특성과 그 원인을 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다

1) 지역별 VOC's의 농도는 0ppm에서 0.767ppm까지 농도변화와 농도차이가 크게 나타났다. 공원지역인 대청공원에서 최고농도를 보인 것은 해안에서 선박의 운항이나 항만시설의 가동과 해풍에 의해 오염물질이 공원지역으로 유입되면서 VOC's의 농도를 높인 것으로 사료된다.

2) 도시 중심지역인 경남공업고등학교의 경우, 공원지역보다는 전체적으로 낮은 농도를 나타내었다. 도심지의 VOC's 농도변화는 차량이나 인구의 이동과 같은 오염원의 이동성에 의한 영향이 큰 것으로 사료된다.

3) 녹지지역인 호포지하철 차량기지의 VOC's의 농도는 다른 지역에 비해 매우 낮은 농도를 나타내었다. 이는 주변의 대형 건물이나, 인구의 유동이 적은 것에 기인한 것으로 생각된다.

4) 각 지역의 VOC's의 농도와 NO_x, O₃ 및 기상요소(풍속, 기온, 습도)와의 상관관계를 분석한 결과, 녹지지역이 다른 지역에 비하여 기상요소에 의한 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.

부산시의 각 지역별 VOC's 농도는 오염원에 따라 큰 차이가 나며, 같은 지점에서조차 기상요소에 의해 농도 변화가 크게 나타남을 알 수 있었다. 따라서 이들 결과는 부산 도시지역의 VOC's 측정을 위한 관측 지점 선정 시 기초자료로 활용되어 VOC's 상시 모니터링 체계의 구축에 기여할 수 있고, 기상요소와의 상관분석을 통하여 도시지역 내 O₃ 예보 등에도 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- 김소영, 한진석, 김희강, 2001: 휘발성 유기화합물의 주요 배출원의 배출물질 구성비에 관한 연구, 한국대기환경학회지, 17(3), 233-240.
- 김조천, 김기현, 2002: 대기 중 휘발성유기화합물의 시간적 농도변화에 대한 연구, 한국환경과학회지, 9(6), 483-488
- 나광삼, 김용표, 김영성, 1998: 서울 대기 중에서 C2~C9 휘발성유기화합물의 농도, 한국대기보전학회지, 14(2), 95-105.
- 백성옥, 김성렬, 김배갑, 2002: 도시 대기 중 휘발성 유기화합물의 농도변동 및 영향인자, 대기환경공학회지, 24(8), 1391-1404.
- 신찬기, 한진석, 김윤신, 1992: 대기 오염 농도와 기상인자의 관련성 연구, 한국대기보전학회지, 8(4), 213-220.
- 옥곤, 문효방, 이동인, 한영호, 1998: 도시대기 중 방향족 휘발성유기화합물의 농도 변화와 상관성에 관한 연구, 한국환경분석학회지, 1(1), 41-50.
- 이규용, 1999: 대기환경규제지역 휘발성유기화합물질 배출시설 규제 업무편람, pp.3-10, 환경부.
- 정용승, 정재섭, 1991: 서울 수도권 지역의 광화학 오존에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 7(3), 169-179.
- 환경부, 1997: 휘발성유기화합물질 규제대상 설정 및 관리방안에 관한 연구.

- Barbara, Z., C.S. John, H. Gregory, W.G. Alan, and R.P. William, 1996: Volatile Organic Compounds up C20 Emitted from Motor Vehicles: Measurement Methods, *Atmospheric Environment*, 30(12), 2269-2286.
- Chu-Chin Hsieh, and Jiun-Horng Tsai, 2003: VOC concentration characteristics in Southern Taiwan, *Chemosphere*, 50(4) , 545-556
- David L. Heavner, Walter T. Morgan and Michael W. Ogden, 1996: Determination of volatile organic compounds and respirable suspended particulate matter in New Jersey and Pennsylvania homes and workplaces, *Environment International*, 22(2), 159-183
- H. Hakola, V. Tarvainen, T. Laurila, V. Hiltunen, H. Hellen and P. Keronen, 2003: Seasonal variation of VOC concentrations above a boreal coniferous forest, *Atmospheric Environment*, 37(12), 1623-1634
- Kwangsam Na and Yong Pyo Kim, 2001: Seasonal characteristics of ambient volatile organic compounds in Seoul, Korea, *Atmospheric Environment*, 35(15), 2603-2614
- Kwangsam Na, Yong Pyo Kim, Kil-Choo Moon, Il Moon and Kochy Fung, 2001: Concentrations of volatile organic compounds in an industrial area of Korea, *Atmospheric Environment*, 35(15), 2747-2756
- Kwangsam Na, Yong Pyo Kim and Kil Choo Moon, 2003: Diurnal characteristics of volatile organic compounds in the Seoul atmosphere, *Atmospheric Environment*, 37(6), 733-742

S. C. Zou, S. C. Lee, C. Y. Chan, K. F. Ho, X. M. Wang, L. Y. Chan and Z. X. Zhang, 2003: Characterization of ambient volatile organic compounds at a landfill site in Guangzhou, South China, *Chemosphere*, 51(9), 1015-1022

감사의 글

본 논문이 완성되기까지 끊임없는 관심과 사랑으로 지도하여 주신 이동인 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 교수님과의 만남은 부족한 저에게는 너무나도 소중한 일이며 밑거름이 될 것입니다.

또 환경대기과학과를 위해 고생하시는 한영호 교수님, 학부과정과 석사과정동안 많은 칭찬과 질책으로 지도하여주신 변희룡 교수님, 김영섭 교수님, 정형빈 교수님, 옥 곤 교수님, 오재호 교수님, 권병혁 교수님께 감사를 드립니다.

논문을 쓰면서 많은 질문을 항상 웃으면서 답해주던 철환이 형, 효경선배 늦은 밤까지 항상 곁에서 친형처럼 때로는 친구처럼 대해준 부경이 형, 민이 형에게 감사드리며, 실험실의 귀여운 후배들(승우, 큰 수정이, 경옥이, 지영이, 시원이, 해미, 하나, 작은 수정이, 윤정이)에게도 감사의 뜻을 전합니다. 특히 논문과정 중에 많은 도움을 주신 철환이 형, 민이 형에게 다시 한번 고마움을 전합니다.

그리고 4호관 3층에서 같이 생활한 우리 동기들(동일이, 기선이, 기훈이, 명주)과 태영이 형, 용성이 형에게도 깊은 감사를 드립니다.

직장시절 3년 간을 동거동락하며 지낸 권달하 기사님과 언제나 따뜻하게 대하여 주신 김동가 선배님 그리고 힘들거나 지칠 때 항상 밝은 웃음으로 대하여 주신 서해정 사장님에게도 깊은 감사를 드립니다.

투정 많은 동생에게 따뜻하게 대해준 누나들과 조카에게 많은 질책과 인생에 대한 조언을 해주신 삼촌과 숙모에게 깊은 감사를 드리며, 끝으로 못한 아들을 한결같이 믿어 주시며 깊은 사랑으로 감싸주신 어머니에게 큰 감사를 올리며, 지금은 고인이 되신 아버지의 영정에 작은 결실을 바칩니다.