

## 여천공단 대기 중의 입자상 및 기체상 이온성분과 유기화합물의 농도

김용표 · 이종훈 · 진현철 · 문길주  
한국과학기술연구원 지구환경연구센터  
(1997년 4월 20일 접수, 1997년 8월 18일 채택)

### Concentrations of Particulate and Gaseous Ionic and Organic Species in the Ambient Air of the Yochon Industrial Estate

Yong-Pyo Kim, Jong-Hoon Lee, Hyun-Chul Jin, Kil-Choo Moon  
*Global Environmental Research Center, Korea Institute of Science and Technology*

(Received 20 April 1997; accepted 18 August 1997)

#### Abstract

The ambient concentrations of gaseous and particulate phase ionic species and gaseous organic species in the Yochon industrial estate were measured during the spring and summer of 1996. A three-stage filter pack sampler was used to collect particles and gaseous species, and stainless steel air sampling containers were used to collect air samples for organic species analyses. The concentrations of ions in aerosol were comparable to those measured in Seoul. Aerosols measured were acidic, thus, most volatile acidic species were in the gas phase. The concentrations of organic species were highly variable, implying those were strongly dependent on the emissions of organic species from petrochemical plants. The concentrations of a few hazardous organic components were higher than those in Seoul or some populated areas in USA.

**Key words :** VOCs, petrochemical complex, fine aerosols

#### 1. 서 론

1970년대에 우리 나라에 대규모 공업단지가 조성되면서부터 공단지역의 오염이 심하고, 따라서 대기 오염물질에 의한 건강 피해가 클 것이라는 주장이 제기되어 왔었다. 대기오염물질이 인체에 미치는 위해성을 평가하기 위한 가장 기본적인 단계는 그 지역의 대기오염물질의 종류와 농도를 정확히 파악하

는 것이다. 대기오염물질의 현황을 정확히 파악하여 야만 신뢰성 있고 의미 있는 위해성 평가가 가능하다.

여천공단은 약 90여 개의 석유화학, 비료업체, 그리고 관련업체가 조업을 하고 있는 대규모의 공업 단지이다. 여천공단지역에 대한 대기오염도 조사는 1980년대 중반부터 수행하였으며(서남지역공업단지관리공단, 1997), 그 결과 아황산가스(SO<sub>2</sub>), 질소산화물(NOx) 등의 배출량은 높으나, 이들 일차오염물

질의 대기 중 농도는 대기오염기준을 대부분 만족하고 있는 것으로 나타나 있다. 그러나 이들 일차오염물질의 배출량이 많을 경우, 이들 물질의 농도보다는 이들 물질의 반응에 의해 생성되는 입자 및 기체상 이차오염물질의 농도가 높을 가능성이 크다. 특히 이들 중 미세입자의 농도와 미세입자의 수용성이온의 농도는 인체의 유해성이라는 관점에서 매우 중요하다(NRC, 1991). 미세입자는 인체의 허파에 침착하여 호흡기 계통의 질병을 유발할 가능성이 높다. 특히 미세입자는 그 자체가 인체에 해를 뿐만 아니라 그 성분의 산성도도 인체에 유해한 것으로 알려져 있다. 입자의 산성도는 그 입자에 포함된 수용성이온의 농도에 따라 좌우되기 때문에 미세입자의 무게농도와 수용성이온 농도는 매우 중요한 인자이다. 입자의 이온성분은 입자에 고정된 것이 아니라, 주위의 온도, 습도 등의 기상조건과, 입자내의 다른 이온성분의 농도에 따라 기체상으로 이동할 수 있다(Kim *et al.*, 1993a, b, 1995). 따라서, 기체상의 이온성분, 특히 질산, 염산 등의 산성 성분의 농도를 측정하여야 입자내의 이온성분 농도를 정확하게 파악할 수 있다.

또 다른 여천공단의 특징은 석유화학관련 산업이 발달하여, 유기화합물의 배출량이 높을 것으로 보인다는 점이다. 따라서, 대기 중의 유기화합물 농도가 높을 것으로 예상이 되어, 주민의 민원 대상이 되어 왔다. 그러나, 대기 중 유기화합물 종류와 농도에 대해서는 보고된 예가 적어, 비교연구에 어려움이 있었다.

한국과학기술연구원 지구환경연구센터에서는 여천공단의 대기오염현황을 파악하고, 이 지역의 대기오염물질이 인체에 미치는 위해성을 파악하는데 사용할 수 있는 기초자료를 수집하기 위해 1996년 4월과 8월에 여천공단에서 미세입자와 기체상의 이온 농도, 기체상 유기화합물 농도를 측정하였다. 이 논문에서는 그 측정 결과를 제시, 검토하였다.

## 2. 측 정

측정 장소는 전남 여천시 중흥동 서남지역 공업단지 관리공단의 건물옥상(지표고도 약 12m)이다. 측정 지점의 주변은 왼쪽으로 약 150m 떨어져 4차선 도로가 인접해 있고, 전방 및 오른쪽으로는 석유

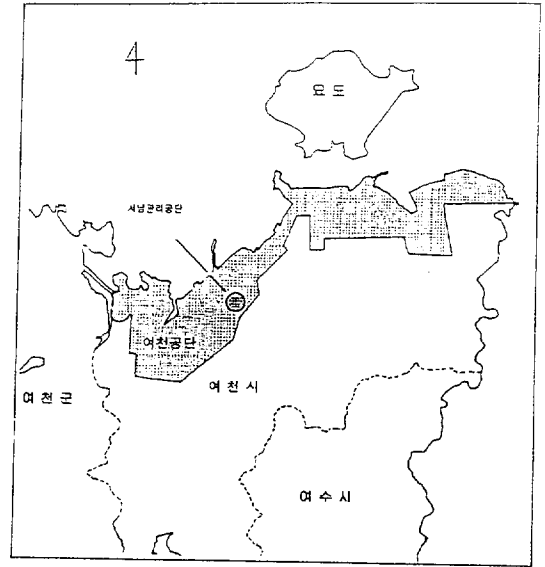


Fig. 1. Location of measurement site (Chung *et al.*, 1997).

화학 공장으로 둘러싸여 있으며 뒤편으로는 산으로 막혀 있다. 그림 1에 측정장소의 여천공단내의 위치를 보였다.

4월 봄철 측정기간 중 16일에는 맑고 바람은 세었으나, 17일에는 새벽부터 강한 바람을 동반하여 많은 비가 내렸다. 18일 이후부터는 다시 맑은 날씨를 보이며 바람은 비교적 없는 편이었다. 19일에는 가끔 흐린 날씨를 보이기도 하였다. 8월 여름철 기간의 기상상태는 전반적으로 맑았고, 비는 오지 않았다. 바람은 없거나, 약하게 불었으나, 측정기간 후반부부터는 약간씩 세졌다. 시정상태는 육안으로 관찰시 대기가 뿌옇게 보이는 상태였다. 표 1에 측정기간의 일별 기상상태를 요약하였다.

입자 및 기체 오염물질 측정은 여천 주민의 체감 대기오염도가 심한 것으로 알려진 봄과 여름에 수행하였다. 봄에는 1996년 4월 16일부터 4월 22일까지, 여름에는 1996년 8월 8일부터 14일까지로, 각 7일 동안 하였으며 날마다 24시간 동안 채취하였다. 채취 시간은 오전 9시부터 다음날 오전 9시까지로 하였다.

입자와 기체상 이온을 측정하는데 사용한 채취장치는 사이클론과 삼단 테플론 필터 팩, 로타미터, 펌

**Table 1. Daily meteorological conditions during the measurement periods of 1996 in Yochon.**

a) April measurement

Date	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Wind Speed (m/s)	Wind Direction	Precipitation (mm)
16	10.5	71	4.2	SSW	0.8
17	12.8	78	6.5	SSW	9.2
18	11.8	23	4.5	SW	-
19	10.8	27	2.9	WSW	-
20	10.0	48	2.9	ESE	-
21	11.1	49	3.6	WNW	-
22	12.5	52	3.8	WNW	-
Avg.	11.4	50	4.1		5.0

b) August measurement

Date	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Wind Speed (m/s)	Wind Direction	Precipitation (mm)
7	26.4	72	2.4	NE	-
8	27.2	80	1.6	SW	-
9	28.2	80	2.0	SSE	-
10	28.1	77	4.2	NNE	-
11	28.1	74	4.8	NNE	-
12	28.6	75	3.5	NNE	-
13	28.2	78	4.9	NNE	-
14	30.0	67	6.9	N	-
Avg.	28.1	75	3.8		-

프로 구성하였다. 사이클론은 입경 2.5 µm 이하를 통과시킨다(URG사, URG-2000-30EN). 삼단 필터 팩(URG사, URG-2000-30F)은 테플론으로 만들어 입자 포집시의 오차를 최소화하였다. 필터 팩의 1단에는 테플론 거름종이(Zefluor, Gelman사)를 삽입하여 2.5 µm 이하 입자상 오염물질을 채취하고, 2단과 3단에는 탄산나트륨(Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) 용액에 함침하여 건조시킨 석영섬유 거름종이(QM-A, Whatman사)를 삽입하여 산성 기체 오염물질을 채취하였다. 2단과 3단에 모두 같은 함침거름종이를 사용한 것은 기체상 성분은 음이온 성분, 특히 위해성이 높은 것으로 알려진 HF에 중점을 두어 측정을 하였기 때문이다. 채취에 사용한 거름종이는 모두 47 mm이다. 펌프는 다이아프램 진공펌프(ULVAC사, 최대유량 분당 24 L)를 사용하였고, 유속은 분당 16.7 L로 유속조절은 로타미터(Dwyer사, 최대유량 분당 25 L)로 하였다. 삼단 필터 팩으로 기체성분을 포집하는 경우, 디누더 등에 비해 포집효율이 떨어지는 것으로 알려져 있다(김용표 등, 1995). 따라서, 이번 측정에서는 기

체상 산성성분만을 포집하기 위해 2단과 3단에 산성기체포집용 거름종이를 사용하였다.

분석시 음이온은 이온크로마토그래피(Dionex 2000 i/sp)로, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>을 제외한 양이온은 원자흡광광도법(Hitachi ZR8200), NH<sub>4</sub><sup>+</sup>은 인도페놀법(HACH DR-3000)을 이용하여 분석하였다. 자세한 분석방법은 문길주 등(1996)에 실었다.

유기화합물의 측정에 사용된 장치는 진공 포집용기(SUMMA air sampling container, SIS)에 공기를 일정한 유량으로 포집하는 장치이다. 포집용기는 용기 부피 6.0L의 스테인레스 스틸 재질로 되어 있다. 이 장치는 미국 환경보호청에서 반휘발성(semi-volatile)과 휘발성(volatile) 유기화합물을 포집하는 장치로 지정한 것이다(US EPA, 1988). 이 장치의 채취 원리를 간단히 설명하면 대기 중의 공기를 유량조절기에 의해 진공상태의 포집용기에 유입하는 것으로 6.0L 용기의 진공 용기에 대기 중으로부터 약 12L의 공기를 포집한다. 진공 용기는 1.3 × 10<sup>-7</sup> ~ 1.3 × 10<sup>-8</sup> 기압(10<sup>-4</sup> ~ 10<sup>-6</sup> Torr) 정도로 진공청소된 상태에서 시작하여 약 2기압(약 30 psia)까지 두 시간 정도에 걸쳐 압축 포집되며, 대기압과 용기 사이의 압력 차는 중간에 설치된 조절기(regulator)에 의해 조절하도록 되어 있다. 이 포집장치는 대부분의 유기화합물에 대해 30일 내에는 안정한 것으로 알려져 있다(Brymer *et al.*, 1996).

유기화합물 측정 장소는 입자측정장소와 같으며 포집용기는 입자 측정장치로부터 1m 가량 떨어져 서로의 측정에 영향을 받지 않도록 하였다. 포집용기의 대기시료 유입구는 건물옥상 바닥으로부터 약 1m 정도 위에 위치하며 모든 시료 유입통로는 스테인레스 또는 테플론 재질로 되어 있다. 이 장치에 의한 대기의 포집은 혼합고의 상승에 의한 대기오염물질의 확산 효과가 크지 않은 오전 7~9시에 실시하는 것을 원칙으로 하였다. 휘발성 유기화합물은 봄철 측정기간 중 4월 16, 18, 19, 21일과 22일에 포집하였다. 여름철에는 8월 8, 9, 12, 13, 14일 오전에 포집하였다.

분석은 미국 Atm AA, Inc.에서 수행하였다. 시료는 항공편으로 분석기관으로 옮겼고, 포집 후 30일 이내에 분석하였다. 유기화합물 분석방법은 Grosjean and Fung(1984)의 방법을 개량한 것이다. 포집된 대기의 분석은 약 200 ml 정도의 샘플을 액체

알곤(argon)으로 냉동 농축(cryogenic concentration) 시킨 후, 트랩 안에 농축된 시료를 더운 물로 가열 하면서 가스크로마토그래피 안으로 주입한다. 사용 된 칼럼은 60-M PONA (Hewlett Packard)였으며, 검출기는 불꽃이온화검출기(Flame Ionization Detector, FID)이다. 정량화(calibration)에는 미국 표준연구소(National Institute of Standard and Technology, NIST)의 프로판 9.4 ppb 표준물질(Standard Reference Material 1666B)을 사용하였고, 각 성분의 확인에는 여러 가지의 표준시료를 시료분석과 같은 조건에서 분석하여, 그 체류시간지표를 확립하였다. 본 연구에서는 170여 종의 유기화합물 성분을 분석하였다. 검출한도는 유기화합물 종류에 따라 틀리지만, 일반적으로 0.1 ppbC이며, 분석오차는 탄화수소는 최악의 경우에도 10% 미만이고, 산화유기화합물은 일반적으로 실제보다 낮게 분석되며, 분석오차는 종류에 따라 5~30%이다(Fung, 1997). 국립환경연구원이 제공한 표준시료의 분석결과 상대표준오차가 농축 시료는 8.2%, 회석시료는 17%로 정확하였다. 포집의 정도관리를 위해 1997년 3월에 여천에서 유기화합물 분석용 공기를 세 번 중복 측정하여 분석하였으며, 그 때의 상대표준편차는 14.0%로 양호하였다.

### 3. 결 과

#### 3.1 입자, 기체상 이온 성분

입자의 측정 분석결과를 표 2에 보였다. 표 3에는 포집기의 2단과 3단에 설치한 함침 거름종이에 포집된 기체상 이온성 물질의 농도 합을 보였다. 3단에 설치한 함침 거름종이에서 포집된  $\text{HNO}_3$ 의 농도는 항상 2단에 설치된 거름종이에 포집한 농도의 10% 이하의 값을 보였다. HF의 경우에도 일반적으로 10% 정도의 값을 보였다. 그러나 HCl의 경우에는 포집시료의 반 정도는 3단에서 포집한 농도가 2단 농도의 10% 정도였으나, 나머지 반은 2단 농도와 거의 비슷한 정도로 나타났다. 따라서, 기체상 산성 물질을 함침 거름종이 2장을 직렬 연결하여 포집할 때,  $\text{HNO}_3$ 와 HF는 기체상의 농도의 대부분을 포집하였을 것으로 보이나, HCl은 기체상의 농도의 상당부분이 포집되지 않았을 것으로 보이며, 여기에서 보고된 HCl 농도는 하한치로 해석하여야 할 것이다.

입자상(PM<sub>2.5</sub>) 무게 농도는 봄철에는  $45.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 서울에서 깨끗한 날씨에 스모그가 끼지 않았던 1993년 10월과 1994년 2월에 측정한 미세먼지(PM<sub>3</sub>) 무게 농도와 비슷하였고( $48.50 \sim 50.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 문길주 등, 1994), 제주도에서 1994년 여름에 측정한 결과보다는 훨씬 높았다( $20.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 김용표 등, 1996). 여름철 측정한 입자 무게 농도는 봄철 무게 농도의 반정도인  $25.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 였다. 입자상 이온성분을 검토해보면, 봄, 여름 모두 입자상 이온성분 중  $\text{SO}_4^{2-}$ 의 평균 농도가 10.9와  $7.28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 이온 중 가장 높은 농도를 보였다. 이 농도는 입자 무게 농도가 비슷했던 서울의 1993년 10월과 1994년 2월의  $\text{SO}_4^{2-}$  평균 농도인  $3.57$ 과  $3.63 \mu\text{g}/\text{m}^3$  보다는 훨씬 높고, 보통 정도의 스모그가 끼었던 1994년 4월과 6월의 평균 농도인  $6.05 \sim 6.79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다도 높은 값이다. 그러나 스모그가 심하게 끼었을 때인 1993년 11월의  $15.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  보다는 낮았고(문길주 등, 1994), 제주도에서 심한 오염을 관측한 1994년 여름 전반부의 평균 농도인  $13.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  보다는 낮았다(김용표 등, 1996).

F<sup>-</sup>은 봄에는 검출한도 이하로 나왔으나, 여름에는 Cl<sup>-</sup>보다 높게 나왔다. 해염성분인 Cl<sup>-</sup>와 Na<sup>+</sup>은 봄에는 높게 나왔으나, 여름에는 낮았다. 특히 4월 16일과 21일에는 Na<sup>+</sup>의 농도가  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 넘었고, Cl<sup>-</sup>의 농도도 높았다. 이는 이 지역이 바닷가이므로, 바람방향과 속도에 따라 나타난 현상으로 보인다. 그러나 이 지역이 공단이어서, Cl<sup>-</sup>와 Na<sup>+</sup>의 발생원이 있을 수 있으므로, 해염의 영향을 정량화하기는 힘들다.

표 2, 3에서 보듯이, 전반적으로 불소, 염산염, 질산염 등의 산성 휘발성 이온은 입자상보다는 기체상의 농도가 높은 것으로 나타났다. 표 2에서 평균 이온 농도의 음이온과 양이온의 당량합을 계산해보면, 봄철에는 음이온의 합이  $0.317 \mu\text{g eq}$ , 양이온의 합은  $0.274 \mu\text{g eq}$ 였고, 여름철에는 음이온의 합이  $0.201 \mu\text{g eq}$ , 양이온의 합이  $0.107 \mu\text{g eq}$ 로, 음이온의 합의 농도가 양이온의 합보다 높았다. 따라서 입자상이 산성을 띠기 때문에 비휘발성인  $\text{SO}_4^{2-}$ 를 제외한 다른 휘발성 산성 물질이 기체상으로 이동하였기 때문으로 보인다. 그러나 이런 현상이 입자가 대기 중에 있을 때 생긴 것인지, 포집 때 거름종이 위에서 발생한 현상(소위 artifact)인지는 알 수 없다.

Table 2. Mass and ion concentrations of PM2.5 particles measured in Yochon in 1996 (unit:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

a) April measurement

Date	Ions									Mass Conc.
	Anion				Cation					
	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	F <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	
16	7.13	1.02	18.4	< 0.1	10.7	0.33	0.20	0.79	0.68	37.3
17	0.32	1.72	10.6	"	0.33	0.49	0.69	0.20	0.47	46.7
18	0.82	0.52	9.21	"	1.55	0.21	0.11	0.07	0.47	85.2
19	0.70	1.53	5.82	"	1.42	0.23	0.04	0.07	0.49	32.1
20	1.52	2.32	6.36	"	3.12	0.21	0.24	0.06	0.31	31.5
21	4.21	2.31	15.3	"	10.3	0.32	0.20	0.59	0.80	40.9
Avg.	2.45	1.57	10.9	-	4.57	0.30	0.25	0.30	0.54	45.6
Std. Dev.	2.45	0.65	4.58	-	4.27	0.1	0.21	0.29	0.16	18.5

b) August measurement

Date	Ions									Mass Conc.
	Anion				Cation					
	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	F <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	
8	0.14	0.57	6.47	1.52	< 0.1	0.15	0.22	0.06	0.62	26.2
9	< 0.1	1.66	11.8	< 0.1	0.95	0.16	0.11	0.04	3.67	37.5
10	0.15	0.63	8.15	0.40	0.5	0.15	0.31	0.07	1.10	23.1
11	0.17	1.04	7.01	0.31	0.75	0.15	0.97	0.06	0.45	24.7
12	0.23	1.39	5.84	0.46	0.56	0.12	0.40	0.10	0.24	21.6
13	< 0.1	0.75	4.45	1.04	0.80	0.11	0.24	0.07	< 0.2	17.4
Avg.	0.12	1.01	7.28	0.62	0.59	0.14	0.38	0.07	0.96	25.1
Std. Dev.	0.08	0.40	2.31	0.51	0.31	0.02	0.28	0.02	1.13	6.20

Table 3. Concentrations of gaseous species measured in Yochon in 1996 (unit:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

a) April measurement

Date	Concentration		
	HCl	HNO <sub>3</sub>	HF
16	9.77	2.03	1.19
17	4.32	1.40	1.42
18	6.01	2.14	1.02
19	6.93	2.27	3.30
20	7.68	1.97	1.47
21	10.92	5.32	5.43
Avg.	7.61	2.52	2.31
Std. Dev.	2.22	1.28	1.59

b) August measurement

Date	Concentration		
	HCl	HNO <sub>3</sub>	HF
8	1.54	3.45	3.74
9	1.62	5.43	2.54
10	1.97	4.52	1.73
11	4.90	3.23	2.11
12	7.04	5.21	1.59
13	1.64	3.39	2.77
Avg.	3.12	4.20	2.48
Std. Dev.	2.12	0.90	0.66

음이온 중 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 농도가 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 다음으로 높았다. 양이온의 농도에서는 봄철에는 Na<sup>+</sup>, 여름철에는 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>가 높았다. 다른 토양성분의 농도는 낮았다.

HF의 평균 농도는 봄 측정기간에는 2.31  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 여름 측정기간에는 2.48  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 거의 일정한 값을 보였다. 단 농도의 범위는 봄철에 1.02 ~ 5.43  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

지만, 여름철에는 1.57 ~ 3.74  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 봄철에 그 편차가 심하다. 이 결과를 다른 결과와 비교하여 표 4에 실었다. 이번 측정결과의 농도 범위는 이 연구의 측정지점과 가까운 중흥동에서 1984~1987년 사이에 흡수관법으로 측정된 결과인 0.74 ~ 3.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 (서남지역공업단지관리공단, 1997) 비슷하다. 그러나

Table 4. Comparison of HF concentrations with other measurements.

Location <sup>1)</sup>	No. of Samples	Sampling		Analytical Method	Concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Average (range)
		Time (hr)	Method		
This study	12	24	Impregnated Filter	IC	2.40 (1.02 ~ 5.43)
Yochon (1984 ~ 87)	4	24	Impinger	Alizarin Complexon	(0.74 ~ 3.6)
Ulsan (1990)	1760	24	Impinger	Alizarin Complexon	2.80 (<0.83 ~ 15.6)
USA	20	-	-	-	(1 ~ 8)

1) Yochon data: Choonghungdong site (Southeast industrial estate, 1997);

Ulsan data (Park *et al.*, 1991);

USA data (Kelly *et al.*, 1994);

25°C and 1 atm was assumed when converting Yochon and Ulsan data from ppb to  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

이는 중흥동에서 1989~1994년 사이에 흡수관법 (Kimoto Handy Sampler)으로 측정된 결과인  $3.3 \sim 6.6 \times 10^{-2} \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다는 (서남지역공업단지관리공단, 1997) 매우 높은 값이다. 이 값은 울산공단 지역 5개소에서 1990년에 측정하였을 때의 24시간 평균 농도의 최대값인  $15.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 나, 각 지점의 연평균 농도의 범위인  $2.5 \sim 3.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 (박완철 등, 1991) 낮은 값이다. 따라서, 여천공단의 HF 농도는 울산공단보다는 낮다고 할 수 있다. 또한 이번에 측정된 농도 범위는 미국 인구밀집지역에서 측정된 HF 농도 범위인  $1 \sim 8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Kelly *et al.*, 1994)와 비슷하다.

요약하면, 입자상 대기오염물질의 농도는 서울의 일반적인 농도와 비슷하였다. 그리고 입자가 상당히 높은 산성을 띠고 있는 것이 특징이다. 따라서, 기체상의 산성 오염물질의 농도가 높다. HF의 농도는 울산공단의 농도보다 낮고, 미국의 일반적인 농도 범위에 든다고 할 수 있다.

### 3.2 기체상 유기화합물

표 5에 총유기화합물의 농도와 구조별 농도를 실었다. 또 부록에 각 유기화합물의 농도를 실었다. 여천공단의 유기물 농도의 특징은 그 일변화가 심하다는 점이다. 표 1에서 보듯이 풍향, 풍속 등의 조건이 거의 같은 경우에도 유기화합물의 농도와 종류별 농도가 크게 변하는 것을 알 수 있다. 예를 들어, 4월 21일과 22일은 기상 조건이 비슷하지만, 총유

Table 5. Summary of organic compounds measured in Yochon in 1996.

a) April measurement

Date	16	18	21	22
Total Alkanes	631.53	1,238.53	132.40	1,426.22
Total Alkenes	1,060.48	1,395.76	155.70	2,449.16
Total Alkynes	1.56	1.33	3.27	5.93
Total Oxy. HC	112.74	165.74	119.09	114.37
Total Aromatics	112.83	212.82	81.27	291.53
Total Naphthenes	161.51	170.59	31.79	309.19
Total Hydrocarbons	2,152.50	3,250.59	560.67	4,687.69

b) August measurement

Date	8	9	12	13	14
Total Alkanes	302.41	453.61	102.53	153.84	445.76
Total Alkenes	318.20	586.62	47.06	93.53	195.55
Total Alkynes	8.17	8.09	6.14	1.41	7.92
Total Oxy. HC	134.84	113.40	102.79	144.47	73.17
Total Aromatics	112.86	165.68	49.83	46.81	78.23
Total Naphthenes	56.69	68.33	20.38	24.44	55.75
Total Hydrocarbons	1,054.79	1,524.79	431.51	532.91	963.49

기화합물의 농도가 8배 이상 차이가 났다. 또, 8월 12, 13, 14일에도 바람이 센 14일에 오히려 총유기화합물의 농도가 높았다. 이는 이런 농도의 변화가 기상 조건에 좌우되는 것이 아니라, 공장의 조업조건 변화에 따른 유기화합물 배출량의 일시적인 변화에 의한 것임을 보여준다. 유기물 구조별 종류의 농도의 일변화도 이를 뒷받침해주고 있다. 알칸

**Table 6. Composition of major VOC groups measured in Yochon in 1996. Numbers in parentheses denote percent fractions to the total hydrocarbon concentration\* (unit : ppbC).**

a) April measurement

Date	16	18	21	22	Average
C6 Alkanes	522.66 (24.30)	695.27 (21.4)	35.3 (6.3)	868.84 (18.5)	530.52 (19.9)
C6 Naphthenes	145.16 (6.7)	129.54 (4.0)	13.82 (2.5)	282.24 (6.0)	142.69 (5.4)
Ethylene + Propylene	917.61 (42.6)	1039.91 (32.0)	138.81 (24.8)	2063.89 (44.0)	1040.14 (35.9)
C6 ~ C8 Aromatics	97.83 (4.5)	198.45 (6.1)	72.27 (12.9)	280.34 (6.0)	184.92 (8.5)
Total Hydrocarbons	2152.50	3250.59	560.67	4687.69	2662.86

b) August measurement

Date	8	9	12	13	14	Average
C6 Alkanes	79.47 (7.5)	75.09 (4.9)	14.68 (3.4)	32.02 (6.0)	213.21 (22.1)	82.89 (9.2)
C6 Naphthenes	26.28 (2.5)	21.02 (1.4)	6.40 (1.5)	8.15 (1.5)	36.10 (3.7)	19.59 (2.2)
Ethylene + Propylene	251.87 (23.9)	516.63 (33.9)	27.35 (6.3)	63.94 (12.0)	149.26 (15.5)	201.81 (18.3)
C6 ~ C8 Aromatics	95.24 (9.0)	144.78 (9.5)	36.81 (8.5)	34.46 (6.5)	67.87 (7.0)	75.83 (8.1)
Total Hydrocarbons	1054.79	1524.79	431.51	532.91	963.49	901.5

\* Since some species were not counted in major VOC groups, the sum of these groups' mass concentration fraction does not equal to one

(alkane)과 알켄(alkene) 종류의 농도가 많은 편인데, 이들의 농도가 일정한 추이가 없이 변화하였다. 전반적으로 봄철의 농도가 여름철의 농도보다 매우 높았다. 그러나, 이것이 여름에 온도나 일사량이 높아서 이들 물질이 반응을 많이 해서 생긴 계절별 변화인지는 확실하지 않다.

표 6에 석유화학공장에서 생산되는 유기화합물 중 대표적인 물질을 몇 가지 골라서 종류별로 그 농도를 구하였다. 용매로 널리 쓰이는 탄소수 6개인 알칸과 나프텐(naphthene) 종류의 농도가 총유기화합물 농도의 25%(봄)와 11% 정도(여름)를 차지하였다. 알칸의 농도가 다른 날에 비해 높았던 4월 18일과 22일에는 탄소수 7개 이상의 알칸 농도가 높았던 것으로 나타났다. 이 또한 일시적인 배출량의 변화에 의한 것으로 보인다. 에틸렌과 프로필렌은 석유화학공업의 기본물질로, 대기 중에서의 농도가 매우 높았다. 봄에는 전체 유기물의 36%, 여름철에는

18% 정도였다. 또, 이 두 물질이 전체 알켄 농도의 대부분을 차지하는 것을 표 5와 6을 비교하여 알 수 있다. 탄소수 6개에서 8개 사이의 방향족(C6~C8 aromatics)의 농도는 총유기화합물의 8% 정도이며, 전체 방향족 유기화합물의 대부분을 차지하고 있다. 이 네 종류의 유기화합물의 총유기화합물 농도의 비율은 봄에 70%, 여름에 40% 정도로 많은 부분을 차지하고 있다. 여름철에는 이 네 종류 외에 특별히 한 종류의 유기화합물이 많이 배출되지 않았다.

표 7에 유기화합물 중에서 위해성 대기오염물질로 알려진 몇 가지 물질을 골라 그 농도를 비교하였다. 벤젠과 스타이렌은 방향족화합물로, 여천공단의 농도가, 서울이나 미국의 인구밀집지역뿐만 아니라 외국의 공단지역인 캐나다 에드몬튼이나 미국 텍사스지역에 비해서도 높음을 알 수 있다. 특히 벤젠의 여름철 평균 농도와 스타이렌의 봄철 평균 농

Table 7. Comparison of some hazardous organic species concentrations.

(unit : ppb)

Species		Benzene	n-Hexane	1, 3-Butadiene	Styrene
This Study	Spring Avg.	3.59	62.13	11.72	3.16
	Summer Avg.	6.32	6.78	0.68	0.10
	Range	0.98 ~ 15.26	0.94 ~ 101.37	0.13 ~ 19.09	0.05 ~ 11.84
Yochon (1994 ~ 1995)		2.93 (0.17 ~ 15.24)	8.39 (0.60 ~ 35.47)	2.00 (ND ~ 12.33)	1.38 (ND ~ 11.1)
Edmonton, Canada		1.06	1.46	0.23	0.06
Texas, USA		1.00	-	<0.63	<0.77
Seoul		1.47 (1.21 ~ 2.41)	0.92 (0.66 ~ 1.42)	0.12 (0.04 ~ 0.25)	0.21 (0.14 ~ 0.30)
Populated areas in USA		1.60	1.08	0.18	0.14

Numbers are in average(range), '-' for no data

Yochon and Seoul data : Ghim *et al.*(1997)- in Korean

Edmonton data : Cheng *et al.*, 1997

Texas data : TNRCC, 1994

Populated areas in USA data : Kelly *et al.*(1994)- 25°C and 1 atm was assumed when converting concentrations from µg/m³ to ppbC.

도는 다른 지역의 농도에 비해서 매우 높을 뿐만 아니라, 같은 지역에서 1994 ~ 1995년에 측정된 결과보다도 높았다. 노말헥산의 봄철 평균농도는 다른 지역이나, 1994 ~ 1995년 여천 측정의 최고 농도보다도 높았다. 1, 3-부타디엔의 봄철 농도도 매우 높았다. 이는 여천공단에 석유화학공장이 밀집되어 있는 것을 감안하더라도 높은 것이다. 따라서, 이들 물질에 의한 인체의 위해성평가가 시급하다 하겠다.

4. 요약

여천공단의 대기오염 현황을 파악하고, 대기오염 물질이 사람에게 미치는 위해성을 평가하기 위한 자료를 수집하기 위해, 기체상의 산성 이온성분과 미세입자상의 수용성 이온성분 농도, 그리고 기체상 유기화합물의 종류와 농도 측정을 여천 공단에서 실시하였다. 봄 측정은 1996년 4월 16일부터 22일 까지였으며, 여름 측정은 1996년 8월 8일부터 14일 까지였다. 입자와 기체상의 이온성분은 매일 24시간씩 측정하였고, 기체상 유기화합물은 혼합고의 영향에 의해 대기오염물질의 농도가 높을 것으로 예상되는 아침마다 2시간 측정하였다. 약 170여종의 유기화합물을 분석하였다.

측정 결과 입자상 무게와 이온 농도는 서울에서 스모그가 약간 끼었을 때의 농도와 비슷한 정도였다. HF의 농도는 울산공단에서 측정된 결과보다는 낮았으며, 미국의 인구밀집지역에서 측정된 농도범

위와 비슷하였다.

유기화합물은 기상 조건의 영향보다는 공장에서의 일시적인 배출량의 변화 영향을 크게 받는 것으로 보인다. 에틸렌, 프로필렌 등의 저탄소 알칸의 농도가 매우 높았고, C6 알칸의 농도도 높았다. 유해성 유기화합물의 농도는 외국의 공단지역, 서울이나 미국 인구밀집지역에서의 측정결과보다 높았다.

사 사

이 연구는 환경부의 선도기술개발사업 연구과제로 수행되었습니다. 측정을 도와주신 서남지역 공업단지 관리공단 여러분께 감사드립니다.

참고 문헌

김영성, 송철한, 심상규, 김용표, 문길주(1997) 여천 공업단지 봄, 가을 대기 중 휘발성 유기화합물의 비교평가, 한국대기보전학회지, 제출.  
 김용표, 심상규, 문길주, 백남준, 김성주, 허철구, 강창희(1995) 제주도 고산지역 입자특성: 1994년 3월 11일 ~ 17일 측정결과, 한국대기보전학회지, 11(3), 263-272.  
 김용표, 김성주, 진현철, 백남준, 이종훈, 김진영, 심상규, 강창희, 허철구(1996) 제주도 고산에서의 1994년 여름 측정: (I) 입자 이온 조성, 한국대기보전학회지, 12(3), 297-305.  
 문길주 등(1994) 서울지방의 스모그현상 연구(III), 한국과



- 학기술연구원.
- 문길주 등 (1996) 동북아 대기오염 장거리이동과 환경보전 협력방안에 관한 조사(1) - 대기오염물질 장거리 이동현상과 감시망 운영-, 한국과학기술연구원.
- 박완철 등 (1991) 울산공업단지 지역의 대기오염에 따른 농작물 영향조사 및 기여도 산출에 관한 연구, 한국과학기술연구원.
- 서남지역공업단지관리공단 (1997) 여천공업단지 대기오염 영향 평가 연구 측정 자료, 개인자료.
- 정 용 등 (1997) 대기오염물질의 위해성평가 및 관리기술, 연세대학교.
- Brymer, D., L.D. Ogle, C.J. Johnes, and D.L. Lewis (1996) Viability of using SUMMA polished canisters for the collection and storage of parts per billion by volume level volatile organics., *Environ. Sci. Technol.*, 30, 188-195.
- Cheng, L., L. Fu, R.P. Angle, and H.S. Sandhu (1997) Seasonal variations of volatile organic compounds in Edmonton, Alberta, *Atmos. Environ.*, 31, 239-246.
- Fung, K. (1997) Analysis of Hydrocarbons in Air, Report to KIST, AtmAA, Inc., USA.
- Grosjean, D. and K. Fung (1984) Hydrocarbons and carbonyls in Los Angeles air, *J. Air Poll. Control Ass.*, 34, 537.
- Kelly, T. J., R. Mukund, C.W. Spicer, and A.J. Pollack (1994) Concentrations and transformations of hazardous air pollutants, *Environ. Sci. Technol.*, 28, 378A-387A.
- Kim, Y. P. and J.H. Seinfeld (1995) Atmospheric gas-aerosol equilibrium III. Thermodynamics of crustal elements  $Ca^{++}$ ,  $K^+$ , and  $Mg^{++}$ , *Aerosol Sci. Technol.*, 22, 93-110.
- Kim, Y.P., J.H. Seinfeld, and P. Saxena (1993a) Atmospheric gas-aerosol equilibrium I. Thermodynamic model, *Aerosol Sci. Technol.*, 19, 157-181.
- Kim, Y.P., J.H. Seinfeld, and P. Saxena (1993b) Atmospheric gas-aerosol equilibrium II. Analysis of common approximations and activity coefficient calculation method, *Aerosol Sci. Technol.*, 19, 182-198.
- NRC (National Research Council, USA) (1991) Human exposure assessment for airborne pollutants, Washington DC, USA.
- TNRCC (Texas Natural Resources Conservation Commission, USA) (1994) Community air toxics monitoring program report October 1992 - Spetember 1993, USA.
- US EPA (1988) Compendium of methods for the determination of toxic organic compounds in ambient air, Washington D.C., USA.

Appendix. Concentrations of organic carbons measured in Yochon in 1996  
 Table A-1. Spring measurement.

(unit : ppbC)

Component	Carbon#	Class	1996. 4. 16	1996. 4. 18	1996. 4. 21	1996. 4. 22
Total Hydrocarbons			2152.50	3250.59	560.67	4687.69
Ethane	2	a	19.28	92.19	14.60	121.91
Propane	3	a	5.24	46.88	17.19	40.34
2Methyl Propane	4	a	2.21	4.84	2.78	32.62
Butane	4	a	8.24	30.46	5.06	44.91
i-Pentane	5	a	4.77	14.23	9.05	39.08
Pentane	5	a	5.83	9.22	6.97	56.23
2, 2Dimethyl Butane	6	a	-	0.15	1.32	0.10
2, 3Dimethyl Butane	6	a	5.24	8.11	0.92	9.75
2Methyl Pentane	6	a	30.49	42.85	6.02	55.31
3Methyl Pentane	6	a	123.57	145.72	6.02	195.44
Hexane	6	a	363.36	498.44	21.02	608.24
2, 2Dimethyl Pentane	7	a	1.19	2.05	0.16	2.16
2, 4Dimethyl Pentane	7	a	0.47	2.43	0.16	1.12
2, 2, 3Trimethyl Butane	7	a	1.63	0.73	1.49	1.23
3, 3Dimethyl Pentane	7	a	0.41	2.89	0.48	2.03
2Methyl Hexane	7	a	2.26	58.06	3.76	28.86
2, 3Dimethyl Pentane	7	a	0.87	22.01	1.31	10.87
3Methyl Hexane	7	a	3.84	89.04	5.91	43.97
3Ethyl Pentane/Dimethyl CycloPentane	7	a	-	4.34	0.72	2.41
Heptane	7	a	35.74	121.93	12.44	91.83
2, 2, 4Trimethyl Pentane	8	a	-	-	0.09	-
2, 5Dimethyl Hexane/Trimethyl Pentane	8	a	-	1.65	0.40	0.90
2, 4Dimethyl Hexane	8	a	-	1.91	0.13	1.20
3, 3Dimethyl Hexane	8	a	-	0.15	-	1.07
2, 3, 4Trimethyl Pentane	8	a	1.18	0.96	0.88	0.28
2, 3Dimethyl Hexane	8	a	0.24	-	0.13	-
2Methyl Heptane	8	a	-	0.19	-	0.15
4Methyl Heptane/3Methyl 3Ethyl Pentane	8	a	0.33	0.82	0.50	0.49
3, 4Dimethyl Hexane	8	a	0.33	0.49	0.31	0.57
3Methyl Heptane/Dimethyl Cyclohexane	8	a	1.05	0.90	1.11	0.97
3Ethyl Hexane	8	a	-	0.13	0.18	-
2, 2, 4Trimethyl Hexane	8	a	0.11	1.00	-	-
Octane	8	a	1.39	5.69	1.06	3.10
2, 3, 5Trimethyl Hexane	9	a	-	1.40	-	0.13
2, 2Dimethyl Heptane	9	a	-	0.49	-	1.82
2, 4Dimethyl Heptane	9	a	0.20	0.69	-	9.76
4, 4Dimethyl Heptane	9	a	-	0.12	0.06	-
2, 6Dimethyl Heptane	9	a	-	0.14	0.12	-
2, 5Dimethyl Heptane	9	a	0.27	0.23	0.27	0.21
3, 3 & 3, 5Dimethyl Heptane	9	a	0.17	-	-	-
4- & 2Methyl Octanes	9	a	-	0.12	0.13	0.14
3Methyl Octane	9	a	1.87	1.56	1.19	1.20
Nonane	9	a	0.67	1.29	1.10	0.81
2, 2Dimethyl Octane	10	a	0.40	0.14	0.16	0.12
3, 3Dimethyl Octane	10	a	-	0.40	-	-
2, 3Dimethyl Octane	10	a	2.73	2.18	0.90	0.93
2Methyl Nonane	10	a	1.38	1.46	0.76	0.96
3Methyl Nonane	10	a	-	0.13	-	0.29
Decane	10	a	1.70	8.75	1.42	8.48
Undecane	11	a	0.64	0.83	0.90	0.83
Dodecane	12	a	1.03	7.15	2.14	2.61

Table A-1. continued.

(unit : ppbC)

Component	Carbon#	Class	1996. 4. 16	1996. 4. 18	1996. 4. 21	1996. 4. 22
Tridecane	13	a	1.23	0.98	1.08	0.81
Ethylene	2	e	888.94	246.58	90.80	1468.58
Propene	3	e	28.67	793.33	48.01	595.31
i-Butene	4	e	-	70.19	-	117.51
1-Butene	4	e	65.41	206.73	1.54	151.84
1, 3-Butadiene	4	e	58.01	51.20	1.98	76.36
trans 2-Butene	4	e	2.41	5.66	0.25	9.45
cis 2 Butene	4	e	7.10	8.41	0.38	11.84
3 Methyl 1 Butene	5	e	-	0.38	-	-
1-Pentene	5	e	0.21	2.04	-	1.38
2 Methyl 1, 3 Butadiene	5	e	-	0.60	0.84	2.43
trans 2 Pentene	5	e	-	0.24	0.24	0.38
cis 2 Pentene	5	e	0.10	0.24	0.16	0.62
2 Methyl 2 Butene	5	e	-	0.12	0.14	-
4 Methyl 1 Pentene	6	e	-	-	1.31	1.24
3 Methyl 1 Pentene	6	e	-	0.29	0.91	1.13
2 Methyl 1 Pentene	6	e	7.16	7.89	8.11	3.86
trans 2 Hexene	6	e	0.23	0.19	-	-
1 Hexene	6	e	-	-	-	4.24
3Methyl cis 2 Pentene	6	e	0.20	0.34	0.09	0.47
2Methyl 2Pentene	6	e	0.61	0.61	0.46	0.73
cis 2 Hexene	6	e	0.12	-	-	0.10
3 Methyl cis 2 Pentene	6	e	-	0.06	-	0.19
1-Heptene	7	e	0.37	-	-	-
2, 4, 4Trimethyl Pentene	8	e	0.16	-	0.13	0.76
1-Octene	8	e	-	0.14	-	0.13
cis 2-Octene	8	e	0.62	-	-	0.34
1-Nonene	9	e	-	0.21	0.27	-
cis 2-Nonene	9	e	0.18	-	0.09	-
1-Decene	10	e	-	0.30	-	0.27
F12	1	f	-	0.16	0.16	0.29
F21	1	f	-	0.18	0.11	0.60
F11	1	f	-	2.88	-	-
Methyl Bromide	1	h	-	0.25	-	-
Methyl Chloride	1	h	-	-	-	1.05
Dichloro Methane	1	h	0.22	0.29	1.30	0.96
Ethyl Chloride	2	h	0.22	-	-	5.11
trans 1, 2 Dichloro Ethene	2	h	1.43	0.36	0.95	1.14
1, 1Dichloro Ethene	2	h	2.48	3.84	-	0.04
Cyclopentane	5	n	0.49	0.57	3.10	3.94
Methyl Cyclopentane	6	n	55.49	79.79	8.59	116.30
Cyclohexane	6	n	89.67	49.75	5.23	165.94
1, 1 Dimethyl Cyclopentane	7	n	2.34	2.56	2.29	1.72
cis 1, 3Dimethyl Cyclopentane	7	n	0.24	3.23	0.56	1.72
trans 1, 3 Dimethyl Cyclopentane	7	n	0.61	11.52	0.93	5.83
MethylCyclohexane/Dimethyl Cyclopentane	7	n	0.07	-	-	-
Ethyl Cyclopentane	7	n	0.13	-	0.06	-
TrimethylCyclopentane/2, 2Dimethyl Hexane	8	n	0.82	9.33	1.90	4.77
1 trans 2 cis 4 Trimethyl Cyclopentane	8	n	0.19	0.78	0.19	0.51
1 trans 2 cis 3 Trimethyl Cyclopentane	8	n	-	-	0.10	0.12
1, 1, 2 Trimethyl Cyclopentane	8	n	0.95	-	0.78	-
trans 1, 4 Dimethyl Cyclohexane	8	n	5.98	5.34	4.90	2.75
cis 1, 3 Ethyl Methyl Cyclopentane	8	n	0.25	0.45	0.38	1.04
trans 1, 2 Ethyl Methyl Cyclopentane	8	n	-	0.18	-	0.24

Table A-1. continued.

(unit : ppbC)

Component	Carbon#	Class	1996. 4. 16	1996. 4. 18	1996. 4. 21	1996. 4. 22
1, 1 Ethyl Methyl Cyclopentane	8	n	-	-	-	0.15
trans 1, 2 Dimethyl Cyclohexane	8	n	-	0.10	0.11	0.11
i Propyl Cyclopentane/Trimethyl Hexane	8	n	0.17	0.29	-	0.11
cis 1, 2 Dimethyl Cyclohexane	8	n	0.38	3.94	0.37	1.43
Ethyl Cyclohexane	8	n	0.39	0.46	0.42	0.34
n Propyl Cyclopentane	8	n	-	-	0.20	-
1, 1, 3 Trimethyl Cyclohexane	9	n	-	-	0.10	0.08
C9 Naphthene	9	n	0.11	0.32	0.15	0.06
C9 Nphthene	9	n	-	0.13	-	-
n-Butyl Cyclopentane	9	n	3.23	1.49	1.41	2.05
Cyclopentene	5	ne	-	0.35	-	-
Benzene	6	r	5.86	14.16	26.25	39.98
Toluene	7	r	78.84	171.80	23.20	130.25
Ethyl Benzene	8	r	2.23	2.52	4.51	5.06
m-Xylene	8	r	1.96	2.19	8.82	3.70
p-Xylene	8	r	1.91	0.80	3.34	1.36
Styrene	8	r	2.08	3.72	0.43	94.74
o-Xylene	8	r	4.95	3.26	5.72	5.25
n Propyl Benzene	9	r	-	0.43	0.36	0.55
m-Ethyl Toluene	9	r	0.38	0.92	0.89	0.83
p-Ethyl Toluene	9	r	0.21	0.46	0.43	0.35
1, 3, 5Trimethyl Benzene	9	r	0.76	0.08	0.22	0.22
o-Ethyl Toluene	9	r	1.42	1.38	0.66	1.09
1, 2, 4Trimethyl Benzene	9	r	4.86	2.39	1.52	1.41
1, 2, 3Trimethyl Benzene	9	r	-	-	0.49	0.33
tetr Butyl Benzene	10	r	0.95	0.79	1.33	1.70
sec Butyl Benzene	10	r	-	-	-	0.14
1 Methyl 3 i Propyl Benzene	10	r	-	0.43	-	-
1 Methyl 4 i Propyl Benzene	10	r	0.46	0.59	0.34	0.16
1 Methyl 4 n Propyl Benzene	10	r	2.18	1.65	1.11	2.28
1, 3 Dimethyl 2 Ethyl Benzene	10	r	-	0.98	-	-
Naphthalene	10	r	1.50	2.45	0.85	1.04
trans 1 Butyl 2 Methyl Benzene	11	r	2.28	1.80	0.80	1.10
Acetylene	2	y	1.41	0.78	3.27	4.48
Propyne	3	y	-	0.33	-	0.64
1-Butyne	4	y	0.15	0.23	-	0.81
OHC1		o	19.95	3.78	25.31	26.14
OHC2		o	18.17	27.79	14.58	2.48
OHC3		o	3.08	62.15	3.00	14.93
OHC4		o	11.28	56.99	2.55	36.43
OHC5		o	40.33	0.56	46.76	1.27
OHC6		o	16.60	14.47	17.55	17.77
OHC7		o	3.32	-	9.35	10.52
OHC8		o	-	-	-	0.56
OHC9		o	-	-	-	4.27

Class:

a: alkane; e: alkene; f: CFC; h: halogenated hydrocarbon; n: cyclo-alkane;

ne: cyclo-alkene; r: aromatic hydrocarbon; y: alkyne; o: oxygenated hydrocarbons

Note : Oxygenated hydrocarbons were separated and quantified but not identified

Table A-2. Summer measurement.

(unit : ppbC)

Component	Carbon#	Class	1996. 8. 8	1996. 8. 9	1996. 8. 12	1996. 8. 13	1996. 8. 14
Total Hydrocarbon			1054.79	1524.79	431.51	532.91	963.49
Ethane	2	a	16.70	22.78	5.04	16.68	80.17
Propane	3	a	27.26	48.85	11.92	18.53	32.69
2Methyl Propane	4	a	6.48	10.56	5.90	6.70	15.12
Butane	4	a	14.65	44.27	10.15	10.80	29.71
i-Pentane	5	a	33.57	67.68	10.90	19.96	39.48
Pentane	5	a	38.81	46.81	7.35	10.60	20.91
2, 2Dimethyl Butane	6	a	7.55	2.53	0.58	0.97	1.97
2, 3Dimethyl Butane	6	a	2.25	4.52	0.85	1.99	2.95
2Methyl Pentane	6	a	11.29	20.40	3.13	7.36	19.08
3Methyl Pentane	6	a	15.70	16.50	4.49	6.12	28.41
Hexane	6	a	42.68	31.14	5.63	15.58	108.39
2, 2Dimethyl Pentane	7	a	-	0.43	0.22	0.31	0.47
2, 4Dimethyl Pentane	7	a	0.69	1.21	0.37	0.47	0.96
2, 2, 3Trimethyl Butane	7	a	2.34	1.70	0.53	0.37	0.35
3, 3Dimethyl Pentane	7	a	2.61	6.59	1.84	0.71	2.49
2Methyl Hexane	7	a	9.72	21.43	2.50	2.37	3.73
2, 3Dimethyl Pentane	7	a	4.65	9.94	1.40	1.21	1.79
3Methyl Hexane	7	a	14.45	31.38	2.67	2.83	4.23
3Ethyl Pentane/DimethylCyPentane	7	a	-	4.46	-	1.70	1.87
Heptane	7	a	24.47	25.66	6.90	4.62	17.54
2, 2, 4Trimethyl Pentane	8	a	1.51	1.14	0.60	1.27	0.62
2, 5DimethylHexane/Trimethyl Pentane	8	a	0.84	1.54	0.25	0.79	0.97
2, 4Dimethyl Hexane	8	a	0.78	0.97	0.30	0.47	0.64
3, 3Dimethyl Hexane	8	a	-	0.50	0.30	0.69	0.75
2, 3, 4Trimethyl Pentane	8	a	0.65	0.30	0.55	0.49	0.79
2, 3Dimethyl Hexane	8	a	0.44	-	0.54	-	0.80
2Methyl Heptane	8	a	0.86	0.78	0.17	0.52	0.79
4MethylHeptane/3Methyl3Ethyl Pentane	8	a	0.56	1.32	0.52	1.17	1.42
3, 4Dimethyl Hexane	8	a	0.44	0.49	0.31	0.40	1.43
3MethylHeptane/Dimethyl Cyclohexane	8	a	0.58	0.78	1.35	1.42	1.78
3Ethyl Hexane	8	a	-	0.63	0.28	0.61	0.92
Octane	8	a	2.14	2.50	1.19	1.98	7.50
2, 3, 5Trimethyl Hexane	9	a	0.24	-	-	0.24	0.12
2, 2Dimethyl Heptane	9	a	-	0.23	-	0.15	-
2, 4Dimethyl Heptane	9	a	0.20	-	0.33	-	0.16
4, 4Dimethyl Heptane	9	a	0.16	-	0.17	0.40	0.30
2, 6Dimethyl Heptane	9	a	0.22	0.29	0.24	0.23	0.23
2, 5Dimethyl Heptane	9	a	0.69	0.84	0.47	0.25	0.26
3, 3 & 3, 5Dimethyl Heptane	9	a	-	0.31	-	-	0.12
Dimethyl Heptanes	9	a	-	0.36	0.22	-	-
4- & 2Methyl Octanes	9	a	0.31	0.46	0.21	0.31	0.60
3Methyl Octane	9	a	2.52	2.19	1.63	1.28	1.34
Nonane	9	a	1.82	7.32	1.42	2.04	1.77
2, 2Dimethyl Octane	10	a	0.16	-	-	0.20	0.30
3, 3Dimethyl Octane	10	a	0.18	-	-	0.27	0.21
2, 3Dimethyl Octane	10	a	0.39	0.87	1.04	0.50	0.38
2Methyl Nonane	10	a	1.01	1.41	0.85	0.95	0.69
3Ethyl Octane	10	a	0.33	0.49	0.18	0.29	0.15
3Methyl Nonane	10	a	0.48	0.51	0.31	0.45	0.21
Decane	10	a	3.35	3.17	2.46	2.65	4.07
Undecane	11	a	2.01	2.01	1.86	1.66	1.46
Dodecane	12	a	2.49	1.55	1.21	1.17	1.69

Table A-2. Continued.

(unit : ppbC)

Component	Carbon#	Class	1996. 8. 8	1996. 8. 9	1996. 8. 12	1996. 8. 13	1996. 8. 14
Tridecane	13	a	1.17	1.86	1.18	1.08	0.97
Ethylene	2	e	103.68	138.89	23.97	36.66	109.58
Propene	3	e	148.19	376.74	3.38	27.28	39.68
i-Butene	4	e	5.07	3.94	1.51	1.92	5.71
1-Butene	4	e	8.47	6.22	-	0.75	6.29
1, 3-Butadiene	4	e	13.17	5.84	0.51	-	0.95
trans 2-Butene	4	e	2.17	8.59	0.47	1.18	2.92
cis 2-Butene	4	e	1.58	4.93	0.38	0.91	1.91
1-Pentene	5	e	4.25	3.64	1.22	3.02	2.59
2 Methyl 1 Butene	5	e	-	3.71	-	3.83	1.93
2 Methyl 1, 3 Butadiene	5	e	10.85	6.82	8.12	5.43	4.85
trans 2 Pentene	5	e	1.82	2.28	0.18	0.98	1.96
cis 2 Pentene	5	e	0.96	1.07	0.27	0.36	1.03
2 Methyl 2 Butene	5	e	2.36	3.77	0.68	0.83	2.61
4 Methyl 1 Pentene	6	e	0.66	0.79	-	0.48	0.32
2 Methyl 1 Pentene	6	e	0.91	1.19	0.40	0.50	-
1 Hexene	6	e	4.84	9.19	-	3.83	5.22
trans 2 Hexene	6	e	0.67	0.99	-	-	0.88
trans 3 Hexene	6	e	-	-	0.20	-	-
cis 3 Hexene	6	e	-	-	0.53	0.61	-
3 Methyl 2 Pentene	6	e	0.52	0.66	0.43	0.49	0.69
2 Methyl 2 Pentene	6	e	0.52	0.53	0.34	0.44	1.20
cis 2 Hexene	6	e	0.20	0.28	-	0.16	0.33
3 Methyl cis 2 Pentene	6	e	-	-	-	0.10	0.29
1-Heptene	7	e	2.45	-	1.14	-	-
2 Methyl 2 Hexene	7	e	-	-	0.31	-	-
trans 2 Heptene	7	e	2.16	1.82	0.72	0.73	0.70
3 Ethyl cis 2 Pentene	7	e	-	0.70	0.44	-	-
cis 2 Heptene	7	e	0.48	0.75	0.19	-	1.42
2, 4, 4 Trimethyl 1 Pentene	8	e	1.17	1.53	1.36	0.98	3.01
1-Octene	8	e	0.26	-	-	0.34	0.27
trans 2-Octene	8	e	-	0.72	-	-	-
cis 2-Octene	8	e	0.19	0.21	-	0.24	-
1-Nonene	9	e	0.45	0.83	0.30	0.64	0.58
trans 3-Nonene	9	e	-	-	-	0.18	0.17
trans 2-Nonene	9	e	-	-	-	0.27	0.28
cis 2-Nonene	9	e	-	-	-	0.26	0.17
1-Decene	10	e	0.16	-	-	0.11	-
F22	1	f	0.21	0.33	-	0.20	0.11
F12	1	f	0.20	-	-	0.25	0.16
F21	1	f	0.81	1.30	-	0.24	0.54
F11	1	f	0.75	0.68	0.32	0.24	0.15
F114	2	f	0.35	0.33	0.50	-	0.13
F113	2	f	9.03	10.64	6.69	4.83	6.48
Methyl Chloride	1	h	0.99	1.15	0.70	0.73	0.89
Methyl Bromide	1	h	-	1.37	-	-	0.13
Ethyl Chloride	2	h	0.52	0.77	0.41	-	0.18
1, 1Dichloro Ethene	2	h	0.56	-	-	0.13	-
trans 1, 2 DichloroEthene	2	h	2.27	2.65	0.77	1.55	1.30
Cyclopentane	5	n	7.80	14.30	3.39	0.67	3.55
Methyl Cyclopentane	6	n	14.68	14.07	3.92	6.41	31.96
Cyclohexane	6	n	11.60	6.95	2.48	1.74	4.14
1, 1 Dimethyl Cyclopentane	7	n	1.69	2.36	1.02	0.85	1.14
cis 1, 3 Dimethyl Cyclopentane	7	n	2.44	3.90	1.35	1.30	1.56

Table A-2. Continued.

(unit : ppbC)

Component	Carbon#	Class	1996. 8. 8	1996. 8. 9	1996. 8. 12	1996. 8. 13	1996. 8. 14
trans 1, 3 Dimethyl Cyclopentane	7	n	2.98	5.63	0.77	0.89	1.31
Ethyl Cyclopentane	7	n	0.49	-	-	-	-
TrimethylCyclopentane/2, 2DimethylHexane	8	n	3.67	6.59	1.02	2.63	4.10
1 trans 2 cis 4 Trimethyl Cyclopentane	8	n	-	0.52	0.42	0.73	0.51
1 trans 2 cis 3 Trimethyl Cyclopentane	8	n	0.19	-	-	0.41	-
1, 1, 2Trimethyl Cyclopentane	8	n	1.65	1.36	-	0.83	-
cis 1, 3 Dimethyl Cyclohexane	8	n	0.23	-	-	-	0.34
trans 1, 4 Dimethyl Cyclohexane	8	n	3.34	4.19	1.91	2.87	1.78
1, 1 Dimethyl Cyclohexane	8	n	-	0.30	-	0.35	0.33
cis 1, 3 Ethyl Cyclopentane	8	n	0.35	0.42	0.39	0.46	0.54
trans 1, 2 Ethyl Methyl Cyclopentane	8	n	-	-	-	0.14	0.37
1, 1 Ethyl Methyl Cyclopentane	8	n	-	-	0.30	-	0.15
trans 1, 2 Dimethyl Cyclohexane	8	n	0.21	0.36	0.21	0.31	0.40
i Propyl Cyclopentane/Trimethyl Hexane	8	n	-	0.26	-	0.37	0.31
cis 1, 2 Dimethyl Cyclohexane	8	n	1.51	1.38	0.87	0.50	0.40
Ethyl Cyclohexane	8	n	0.51	0.45	0.43	-	0.22
n Propyl Cyclopentane	8	n	0.34	0.47	0.32	0.69	0.53
1, 1, 3 Timethyl Cyclohexane	9	n	0.20	0.30	0.19	0.34	0.43
C9 Nphthene	9	n	0.22	-	-	0.15	0.24
i Butyl Cyclopentane	9	n	-	0.23	-	0.20	0.19
n Butyl Cyclopentane	9	n	1.67	3.68	0.87	1.28	0.94
Cyclopentene	5	ne	0.39	-	0.21	-	-
3 Methyl Cyclopentene	6	ne	0.53	0.60	0.33	0.32	0.31
Benzene	6	r	46.69	91.55	14.31	9.19	27.81
Toluene	7	r	29.33	30.83	12.30	10.26	21.53
Ethyl Benzene	8	r	5.48	5.78	1.78	2.18	3.53
m-Xylene	8	r	5.64	7.21	3.43	4.35	5.01
p-Xylene	8	r	3.21	3.94	2.07	3.79	4.72
Styrene	8	r	0.92	0.81	0.60	0.36	1.46
o-Xylene	8	r	3.97	4.66	2.32	4.33	3.81
i Propyl Benzene	9	r	0.18	0.28	0.20	0.66	0.57
n Propyl Benzene	9	r	0.66	0.74	0.34	0.70	0.61
m-Ethyl Toluene	9	r	1.27	1.32	0.62	0.95	0.94
p-Ethyl Toluene	9	r	0.72	0.83	0.38	0.57	0.51
1, 3, 5Trimethyl Benzene	9	r	0.69	0.79	0.43	0.41	0.50
o-Ethyl Toluene	9	r	1.12	1.54	0.95	0.85	0.71
1, 2, 4Trimethyl Benzene	9	r	1.19	1.64	1.03	1.32	0.55
1, 2, 3Trimethyl Benzene	9	r	0.95	1.38	0.92	0.73	0.65
trans Butyl Benzene	10	r	2.60	2.90	1.47	1.81	1.22
sec Butyl Benzene	10	r	0.42	0.37	0.45	0.31	0.31
1 Methyl 3 i Propyl Benzene	10	r	0.37	0.48	0.45	0.27	0.41
1 Methyl 4 i Proyl Benzene	10	r	3.07	2.80	0.48	0.28	0.41
1 Methyl 4 n Proyl Benzene	10	r	3.43	3.29	2.94	1.49	1.38
1, 3 Dimethyl 2 Ethyl Benzene	10	r	0.29	0.34	0.31	0.23	0.39
Naphthalene	10	r	-	1.07	1.03	0.98	0.68
trans 1Butyl 2Methyl Benzene	11	r	0.66	1.12	1.03	0.78	0.51
Acetylene	2	y	5.71	5.80	5.76	1.16	7.71
Propyne	3	y	0.66	0.85	0.38	-	0.20
1-Butyne	4	y	0.17	1.44	-	-	-
2-Butyne	4	y	1.63	-	-	0.24	-

Table A-2. Continued.

(unit : ppbC)

Component	Carbon#	Class	1996. 8. 8	1996. 8. 9	1996. 8. 12	1996. 8. 13	1996. 8. 14
OHC1		o	3.33	10.50	4.03	37.69	21.51
OHC2		o	42.35	36.99	1.14	0.65	2.92
OHC3		o	63.62	3.35	27.34	23.92	41.39
OHC4		o	3.84	45.83	49.57	67.33	4.76
OHC5		o	1.46	4.79	2.59	3.08	2.5
OHC6		o	2.91	6.78	9.24	3.96	-
OHC7		o	17.33	5.14	8.88	4.66	-
OHC8		o	-	-	-	3.17	-

Class:

a: alkane; e: alkene; f: CFC; h: halogenated hydrocarbon; n: cyclo-alkane;

ne: cyclo-alkene; r: aromatic hydrocarbon; y: alkyne; o: oxygenated hydrocarbons

Note : Oxygenated hydrocarbons were separated and quantified but not identified