

울산 공단 대기에서 측정된 휘발성 유기화합물의 1997년과 1998년 결과 비교

Comparison of the Concentrations of Ambient Volatile Organic Compounds at an Ulsan Industrial Site in 1997 and 1998

나 광 삼 · 김 용 표 · 문 길 주
한국과학기술연구원 지구환경연구센터
(1999년 5월 6일 접수, 1999년 10월 14일 채택)

Kwang Sam Na, Yong Pyo Kim and Kil-Choo Moon
Global Environmental Research Center, Korea Institute of Science and Technology

(Received 6 May 1999, accepted 14 October 1999)

Abstract

Volatile organic Compounds (VOC) were measured at an industrial site in Ulsan in 1997 and 1998. Twenty-four hour integrated ambient air samples were collected in 6 L SUMMA canisters during the periods of June 3 to 8, 1997 and June 12 to 17, 1998. The daily mean concentrations of the total C₂-C₉ VOC in 1998 were about one third of those in 1997. This decrease of VOC levels may be attributable to the measures to control the emissions of VOC and the decrease of the plant operation. The decrease in the concentrations of oxygenated hydrocarbons and alkenes, especially, contributed to the decrease of the total VOC concentrations in 1998. Lower concentrations of alkenes compared to aromatics in 1998 were due to the decrease of ethylene and propylene. In the present study, methanol (12.0 ppb) was the most abundant species, followed by acetone (10.1 ppb), propane (6.0 ppb), and vinyl chloride (5.9 ppb). The total concentrations of hazardous air pollutants (HAPs) in 1998 were reduced compared to those in 1997. However, this decrease is due to the drastic decrease of the concentration of methanol. Except methanol, the concentrations of HAPs have not varied much. It is suspected that the VOC control strategy for the Ulsan industrial area has been successful for reducing the total VOC levels but might not be effective in reducing the concentrations of HAPs.

Key words : C₂-C₉ VOC, hazardous air pollutants, VOC control strategy

1. 서 론

울산광역시에는 인구가 100여만인 대도시일 뿐만 아니라 대규모 공업단지가 있어서, 이곳에서 배출되

는 대기오염물질의 영향이 큰 것으로 알려져 있다. 한국과학기술연구원 (KIST) 지구환경연구센터는 1997년 6월에 울산 도심 지역과 석유화학공단 인접 지역에서 미세입자와 휘발성 유기화합물의 농도를 측정하였다. 그 결과 석유화학공단과 정유 공장에서

배출되는 휘발성 유기화합물이 울산 도심 지역의 대기질에 영향을 미치는 것을 확인하였다(나광삼 등, 1998a).

우리 나라에서는 휘발성 유기화합물에 대한 관리를 위해 1995년 대기환경보전법 개정시 휘발성 유기화합물의 규제를 위한 근거를 마련하였고, 이에 따라 1999년부터는 대기환경보전법 제8조의 2의 규정에 의해 지정된 대기환경규제지역에 대해 휘발성 유기화합물을 규제토록 하고 있다. 또한, 1996년의 여천산단지역대기보전특별종합대책고시(환경부, 1996)와 1997년의 울산·온산산업단지지역대기보전특별종합대책고시(환경부, 1997)에 휘발성 유기화합물의 배출 억제 및 방지를 위한 대책을 포함시킴으로써 휘발성 유기화합 물질에 대한 규제를 시작하였다. 1997년 12월에는 대기환경보전법시행령을 개정하여 규제 대상 휘발성 유기화합물의 범위를 탄화수소류 중 레이드 증기압이 27.6 kPa 이상의 물질에서 103 kPa 이상인 물질로 확대 강화하고, 주유소를 휘발성 유기화합물 규제 대상 시설로 추가하여 2004년부터 규제토록 되어 있다. 이와 같은 휘발성 유기화합물에 대한 배출 규제는 공단 지역 대기에서의 휘발성 유기화합물의 농도에 직접적인 영향을 준 것으로 예상된다.

이 연구에서는 울산 지역에서 배출 규제가 실시되기 전인 1997년 6월과 배출 규제가 실시된 후인 1998년 6월에 울산 공단 지역에서 측정된 휘발성 유기화합물의 농도 비교를 통해 휘발성 유기화합물의 변화 양상을 관찰하고자 한다.

2. 측정 및 분석

울산 공단 지역에서 1997년과 1998년 측정은 동일한 장소에서 같은 측정 시기인 6월에 실시하였다. 1997년 측정에 대한 자세한 내용은 나광삼 등(1998a)에 있다. 1998년 측정은 1997년 측정과 동일하다. 측정은 주변에 대단위 석유화학단지 및 석유정제시설이 있는 울산광역시 남구 선암초등학교 2층 옥상에서 1998년 6월 8일부터 6월 18일까지 총 11일간 실시하였고 측정 시간은 오전 9시부터 다음날 오전 9시까지 24시간 채취를 원칙으로 하였다. 총 17개의 시료를 얻었으며, 이중 6월 12일, 14일, 15일 그리고 17일에 측정된 4개의 시료를 1997년 시료

를 분석한 미국 캘리포니아의 Atm AA사에서 3주 이내에 분석하였다. Oliver *et al.* (1986)가 실시한 스테인레스 스틸 재질 용기내에서 휘발성 유기화합물의 안정성 연구 결과에 의하면 하루에 시료의 변화가 1% 이하로 나타나 이 연구에서 분석 의뢰한 성분들의 농도는 크게 변화하지 않은 것으로 판단된다. 이 논문에서는 1997년 측정 결과와의 연계성을 고려하여 미국 Atm AA사에서 분석한 시료에 대해 검토하였다.

시료 채취와 분석 방법은 1997년 측정 때와 같다. 채취 용기는 부피가 6 L인 스테인레스 스틸 재질 용기(미국 SIS사, SUMMA air sampling container)로 용기 내부 표면은 채취된 시료가 반응하지 않도록 메끄러운 니켈과 크롬 산화물로 표면 처리되어 있다. 채취 장치는 미국 환경보호청 TO-14 방법을 기초로 제작된 것으로, 다이아프라이밍 방식의 진공압축펌프(미국 Underwriters Laboratories, Inc., Model N05SV)로 공기를 약 24시간에 걸쳐 10~15 mL/min 유속으로 $1.3 \times 10^{-7} \sim 1.3 \times 10^{-9}$ 기압 정도의 진공으로 처리된 용기 안에 약 2기압까지 주입하였다. 채취에 사용된 용기의 재 사용을 위해 용기 외부벽을 100°C로 가열하면서 수분이 함유된 99.999% 질소를 3기압까지 가압하고 다시 $1.3 \times 10^{-7} \sim 1.3 \times 10^{-9}$ 기압까지 감압하는 과정을 7회 반복한 후 최종적으로 3시간 진공 감압하였다. 청소된 용기의 상태를 점검하기 위해 청소된 용기를 미국 Atm AA에 분석 의뢰한 결과 C₂-C₉ 휘발성 유기화합물들이 검출한계 이하의 농도를 보여 용기의 청소 상태가 양호한 것으로 확인되었다. 채취 시료의 오염을 방지하기 위해 모든 시료 유입관은 스테인레스와 테플론 재질로 된 것을 사용하였다.

분석은 Grosjean과 Fung(1984)의 방법에 바탕을 두었다. 약 200 mL의 시료를 액체 아르곤으로 초저온 농축시킨 후, 트랩 안에 농축된 시료를 더운물로 가열하면서 가스 크로마토그래피(Hewlett Packard 5890, Series II) 안으로 주입하였다. 컬럼은 길이 60 m, 내경 0.2 mm 그리고 필름 두께 0.25 μm의 Hewlett-Packard Ultra 1 methyl silicone 모세관(HPU)을 이용하였고, 검출기는 불꽃이온화검출기(Flame Ionization Detector, FID)를 사용하였다. FID의 보정은 미국 NIST(National Institute of Standard, & Testing)에서 구입한 9.4 ppm의 표준 프로판(Standard

Reference Material 1666B) 시료로 하였으며, FID의 최대 오차 범위는 약 10% 이하이고, 상대 표준편차는 프로판 시료의 각 batch에 대해 5회 반복 분석한 결과 약 0.35% 이었다. 검출 한계는 분석 시료의 부피가 120 mL일 때 약 0.1 ppbC이다. C₂ 성분의 경우, 아세틸렌의 농도가 낮으면 HPU에서는 에틸렌 피크에 의해 아세틸렌 피크가 부분적 또는 완전히 가려질 수 있어, Al₂O₃ PLOT관 (50×0.32×0.25)을 사용하는 2차원 GC 기법을 적용하였다(Fung *et al.*, 1994). 극성인 산화 유기화합물은 분석시 응답 반응이 다른 종류의 탄화수소와 비교하여 낮게 나타나기 때문에 분자 내의 탄소 수에 따라 5~30% 낮게 나타났다. 자세한 채취, 분석 방법은 나광삼 등 (1998b)에 제시되어 있다.

3. 결 과

3.1 휘발성 유기화합물의 농도 감소

1997년과 1998년간의 휘발성 유기화합물의 농도를 비교하기 위해 7종의 탄화수소와 총탄화수소의 평균 농도를 그림 1에 나타내었다. 이 그림에서 가장 주목되는 점은 1998년 전체 종류별 탄화수소의

농도가 1997년과 비교하여 모두 낮아졌다는 것이며, 특히 산화 유기화합물과 알켄의 농도 감소가 가장 크게 나타났다. 그 결과 전체 휘발성 유기화합물의 평균 농도는 1998년이 382.1 ppbC로 1997년의 1302.0 ppbC와 비교하여 약 1/3.5 수준으로 낮아졌다. 1998년 종류별 탄화수소의 농도 순위를 보면 산화 유기화합물이 127.1 ppbC로 가장 높았으며, 다음은 알칸 112.0 ppbC, 방향족 63.2 ppbC, 알켄 46.0 ppbC였다. 알킨은 5.6 ppbC로 가장 낮은 농도를 보였다. 이처럼 1998년 울산 공단 지역에서의 휘발성 유기화합물의 농도가 1997년과 비교하여 큰 폭으로 감소된 원인은 다음 두 가지로 설명이 가능하다. 첫째는 휘발성 유기화합물에 대한 배출 규제의 결과이다. 환경부는 울산·온산 산업단지지역대기보전 특별종합대책고시(환경부, 1997)에 휘발성 유기화합물의 배출 억제 및 방지를 위한 대책을 포함시킴으로써 울산 공단에서 휘발성 유기화합물에 대한 규제가 시행되었다. 이에 따라 울산 공단에 있는 공장들은 비산배출(fugitive emission)의 억제를 위해 이중 밸브, 봉인 장치 등을 설치하여 휘발성 유기화합물의 배출에 대한 대책을 마련하였다. 또한, 저장 시설을 갖추고 있는 공장의 경우 고정 저장 탱크를

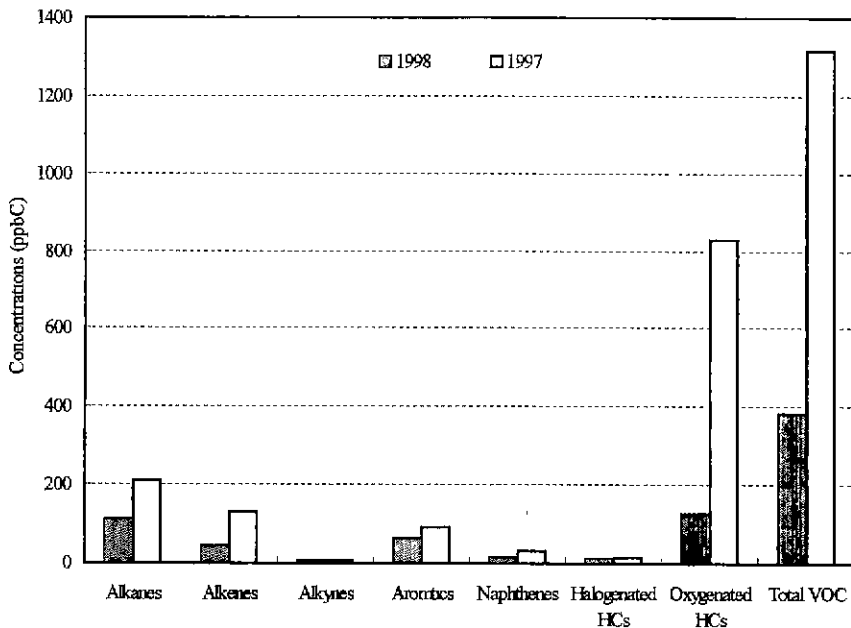


Fig. 1. Comparison of hydrocarbon concentrations between 1998 and 1997.

floating roof 저장 탱크로 전환시켰고 비산배출을 억제하기 위해 이중 밀봉 장치를 설치하는 등의 방지 시설을 설치한 것으로 보고되어 있다(변윤환, 1998). 이러한 배출 억제와 방지 시설의 설치는 1998년 울산 공단 대기에서의 휘발성 유기화합물의 농도 감소에 영향을 준 것으로 판단된다. 둘째는 경제 위기에 의한 경기 침체이다. 1997년 11월 경제 위기가 시작되면서 울산 공단 지역에서의 공장 가동률이 점점 감소되어 1998년 6월 현재 1997년과 비교하여 약 30~50% 정도 가동률이 낮아졌다고 보고되어 있다(변윤환, 1998). 이러한 가동률의 하락으로 생산 과정에서 대기로 배출되는 휘발성 유기화합물의 양이 감소되어 결과적으로 대기에서 휘발성 유기화합물의 농도 감소에 영향을 준 것으로 보인다.

3.2 배출 규제에 따른 휘발성 유기화합물의 농도 변화

석유화학시설이 있는 공단 지역의 대기에서 알켄의 농도 비중이 방향족 보다 높은 것은 외국 공단과 비교되는 우리 나라 공단의 한 특징이었다(김영성 등, 1998; 나광삼 등, 1998a; 김용표 등, 1997). 그러나, 1997년 7월 이후로 휘발성 유기화합물에 대한 배출 규제가 강화되면서 공단 대기에서 휘발성 유기화합물의 농도 특성이 변화하고 있다. 울산 공

단의 한 특성을 비교 설명하기 위해 여천공단(김용표 등, 1997)과 외국 공단(캐나다: Cheng *et al.*, 1997; 인도: Mohan Rao *et al.*, 1997)에서 측정된 전체 휘발성 유기화합물에서 종류별 탄화수소가 차지하는 농도 비율을 그림 2에 나타내었다. 여기서, 전체 휘발성 유기화합물의 농도는 알칸, 알켄 그리고 방향족을 합한 농도이다. 그림을 보면 1998년 울산 공단은 1997년과 비교하여 알켄의 농도 비중이 감소된 반면 방향족의 농도 비중은 상대적으로 상승되어 다른 외국 공단과 비슷한 농도 구조를 보이고 있다. 1998년에 이러한 농도 구조의 변화를 가져온 원인은 배출 규제의 강화에 따른 알켄의 비산배출 방지 대책에서 기인된 것으로 보인다. 여천은 1996년 8월에 측정된 농도를 나타낸 것인데, 여천 공단 역시 울산 공단과 마찬가지로 휘발성 유기화합물의 배출 규제 대상 지역으로 지정되어(환경부, 1996) 있으며 배출 방지 대책이 울산 공단보다 먼저 실시된 점을 감안할 때(변윤환, 1998), 현재의 여천 공단은 1998년 울산 공단과 비슷한 농도 구조를 보일 것으로 예상된다.

3.3 고농도 휘발성 유기화합물의 농도 변화

1997년과 1998년 공단 대기질 변화의 한 특성을 관찰하고 여천 공단의 대기 특성을 이해할 목적으로

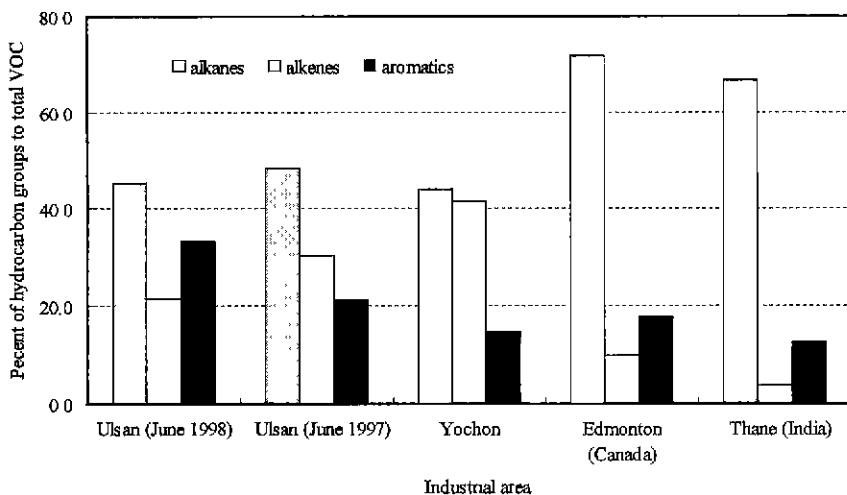


Fig. 2. Comparison of percent of hydrocarbon groups to total VOC with some industrial sites. (Total VOC is sum of alkanes, alkenes and aromatics; Ulsan: This study; Yochon: Kim *et al.* (in Korea), 1997; Edmonton: Cheng *et al.*, 1997; Thane: Mohan Rao *et al.*, 1997)

로 두 공단에 대해 측정 기간중 농도가 가장 높았던 10개 성분들의 평균 농도를 표 1에 나타내었다. 이 표를 보면 1998년의 고농도 성분들은 1997년과 비교하여 농도 순서에 있어서 차이를 보였으나 전반적으로 고농도 성분들의 구성은 비슷하였다. 이번 연구에서 10개 고농도 성분중 메탄올의 농도는 12.0 ppb로 1997년과 마찬가지로 전체 휘발성 유기화합물 가운데 가장 농도가 높았으며, 여천 공단에서도 메탄올의 농도가 가장 높았다. 1997년의 울산과 여천 공단에서 나타난 고농도 성분들의 공통점은 메탄올, 에탄올과 같은 알콜류와 에틸렌, 프로필렌과 같은 알켄류의 농도가 다른 성분들과 비교하여 매우 높다는 것이다. 그러나, 1998년 울산의 고농도 성분에서 나타난 특징 중 하나는 알켄에서 농도 비중이 가장 높았던 에틸렌과 프로필렌 농도가 1997년의 약 1/5 수준으로 급격히 감소되었다는 점이다. 이러한 농도 변화는 그림 2에 나타난 것처럼 전체 휘발성 유기화합물에서 차지하는 알켄의 농도 비중 감소에 영향을 준 것으로 보인다. 1997년과 비교하여 1998년의 평균 농도가 1/3 이상 감소한 성분들은 메탄올, 아세톤, 에틸렌, 프로필렌, p-자일렌 그리고 노말헥산 등이었으며 특히, 메탄올, 아세톤, 그리고 에탄올과 같은 산화 유기화합물의 급격한 농도 감소는 전체 휘발성 유기화합물의 농도 감소에 직접적인 영향을 주었다. 그러나, 벤젠, 톨루엔 그리고 아세틸렌 등은 1997년과 비교하여 비슷한 농

도 수준을 보였다. 1997년과 비교하여 1998년에 농도가 더 높은 성분들은 염화비닐과 아세틸렌이었다. 염화비닐은 1998년이 1997년보다 농도가 약 1.5 배 농도가 높았으나 아세틸렌은 큰 차이가 없었다.

실릴 화합물(silyl compounds)인 헥사메틸사이클로트리실록산은 1997년에 시내와 공단에서 모두 관찰되었으며 이번 측정에서도 비교적 높은 농도로 관측되었다. 실릴 화합물은 산화 유기화합물로 분류되고 있으며, 주요 배출원은 매립지로 알려져 있다 (Fung, personal communication, 1997). 울산 지역에 2개의 매립지가 있다는 점을 감안할 때, 이번 연구에서 헥사메틸사이클로트리실록산이 관측된 원인은 매립지의 영향으로 보인다. 이 성분의 농도 순위 변화의 관찰을 통해 풍향과 강수의 고려 없이 울산 공단에서 휘발성 유기화합물의 농도가 감소되었음을 알 수 있다. 즉, 이 성분이 공단 배출원과 무관함에도 1997년과 비교하여 1998년에 농도 순위가 14위에서 10위로 상승된 것은 공단에서 배출되는 다른 고농도 성분들의 농도 감소에 따른 상대적인 농도 순위의 상승으로 보이며, 이는 1998년이 1997년과 비교하여 공단에서 배출되는 성분들의 농도가 감소되었음을 설명하는 한 부분으로 보인다.

3. 4 위해성 유기화합물의 농도

1998년 현재 환경부가 규제 대상으로 정한 휘발성 유기화합물은 총 32종으로 독성 물질 이외에 오

Table 1. Concentrations of top ten abundant species measured in Ulsan and Yochon industrial sites. (unit ppb)

This study						Yochon industrial site ¹⁾ (1996 11~1997 3)		
June 1998			June 1997					
Species	Avg.	Std dev.	Species	Avg.	Std dev.	Species	Avg.	Std dev.
Methanol	12.0	3.5	Methanol	365.7	378.0	Methanol	24.7	29.2
Acetone	10.1	8.4	Acetone/Ethanol ²⁾	123.3	225.7	Ethylene	23.8	16.4
Propane	6.0	4.8	Ethylene	29.1	31.5	Propylene	17.8	10.8
Vinyl chloride	5.9	2.9	Ethanol	13.3	6.3	Propane	11.0	4.8
Ethylene	5.3	6.3	Propylene	11.7	9.5	Ethane	7.4	3.3
Ethanol	5.0	0.8	Propane	9.5	3.5	Ethanol	4.4	6.9
n-Butane	4.5	4.5	n-Butane	7.7	3.8	n-Hexane	4.1	3.6
Ethane	4.0	2.5	Ethane	5.7	3.2	iso & n-Alcohol ⁴⁾	3.9	6.5
Toluene	3.8	3.2	n-Pentane	4.7	3.1	n-Butane	3.1	2.8
HxMCyTSi ³⁾	2.8	2.9	Vinyl chloride	4.0	1.8	Vinyl chloride	3.0	4.1

¹⁾ Yochon industrial site Moon et al. (in Korea), 1997

²⁾ Might include some portion of ethanol peak due to overlapping of the two peaks

³⁾ Hexamethylcyclotrioxane

⁴⁾ iso & normal propyl alcohol

존 생성 관련 물질이 함께 포함되어 있다(환경부, 1998). 이들 성분 가운데 미국 청정대기법에서 규정한 위해 성분에 해당되는 성분은 총 18종이며, 미국 환경 및 건강 위해성 평가국 자료와 관련하여 벤젠보다 단위 위험도가 높게 보고된 에틸렌옥사이드, 염화비닐, 에틸렌디옥사이드 등(Seiber, 1996)은 환경부 고시에서 제외되어 있다. 1990년 미국 청정대기법에서는 전체 대기오염 물질 중 188종류의 위해성 대기오염 물질(HAPs, hazardous air pollutants)을 규정하여, 인간이 대기 중의 위해 성분에 노출될 경우 인체에 미치는 위험성을 줄이기 위해 이들 성분들의 배출을 규제하고 있다. 이들 중 벤젠은 인체에 대한 발암성이 가장 높을 뿐만 아니라 중추 신경쇠약 및 피부 자극을 유발하는 물질로 알려져 있다(WHO, 1987).

표 2는 측정 기간 중에 관측된 위해성 성분들의

Table 2. Mean concentrations of hazardous air pollutants measured at Ulsan and Yochon industrial sites. (unit: ppb)

HAPs	This study		Yochon industrial site ¹⁾ (1996. 11 ~ 1997. 3)
	June 1998	June 1997	
Hexane	1.2	3.5	4.1
2, 2, 4-Trimethylpentane	0.1	0.2	ND ²⁾
1, 3-Butadiene	0.4	1.2	2.0
Methanol	12.0	365.7	- ³⁾
Methyl Ethyl Ketone	1.9	0.5	-
Benzene	1.8	2.1	2.1
Toluene	3.8	3.9	2.0
Ethylbenzene	0.6	0.9	0.3
m- & p-Xylene	1.7	3.8	0.7
o-Xylene	0.6	1.1	1.4
Styrene	0.4	0.8	1.0
Vinylchloride	5.9	4.0	3.0
1, 2-Dichloroethane	0.2	2.1	0.4
Methylene chloride	0.6	0.6	0.2
Tetrachloroethylene	ND	ND	ND
Chloroform	0.2	0.2	ND
1, 1, 1-Trichloroethane	0.3	0.4	0.2
Carbon tetrachloride	0.2	0.2	0.1
Trichloroethylene	0.2	0.8	ND
Sum of concentrations ⁴⁾	32.1 (20.1)	392.0 (26.3)	

¹⁾ Yochon industrial site Moon *et al.* (in Korea), 1997

²⁾ ND. Not detected (less than 0.1 ppb)

³⁾ Not analyzed

⁴⁾ Numbers in parenthesis are the sum of concentrations without methanol

농도를 요약한 것으로 1997년과 여천 공단의 측정 결과를 함께 나타내었다 여천 공단은 울산 공단과 측정 시기와 측정 환경이 다르기 때문에 직접적인 농도 비교보다는 1996. 11~1997. 3 기간 동안 여천 공단에서 관측된 위해성 성분의 농도 수준을 이해하는 차원에서 여천 공단의 결과를 표에 나타내었다. 1998년 측정 결과를 보면 위해성 성분들의 대부분은 산화 유기화합물, 방향족 탄화수소 그리고 할로젠화 탄화수소를 알 수 있다. 미국 청정대기법에서 규정한 전체 HAPs에서 방향족탄화수소는 14.4%, 할로젠화탄화수소는 9.6% 그리고 산화 유기화합물은 10.1%를 차지한다(Kelly *et al.*, 1994). 전체 위해성 성분들의 농도를 합한 수치를 보면 1998년이 32.1 ppb로 1997년의 392.0 ppb보다 약 1/11의 낮은 농도 수준을 보였다. 그러나 이 차이는 메탄올의 농도가 급격히 감소한 것에서 기인된 것으로 메탄올을 제외한 위해성 성분의 농도는 26.3 ppb에서 20.1 ppb로 약간 감소하는 정도였다 자일렌, 노말헥산 그리고 1, 3-부타디엔 등의 농도는 감소하였으나 벤젠, 톨루엔 그리고 대부분의 할로젠 화합물의 농도는 변화가 없었다. 메틸에틸케톤과 염화비닐은 1998년이 1997년보다 농도가 높게 관측되었으며, 특히 메틸에틸케톤의 농도 상승이 두드러지게 나타났다.

메탄올은 전체 위해성분 가운데 12.0 ppb로 농도가 가장 높았으며, 다음은 염화비닐 5.9 ppb, 톨루엔 3.8 ppb, 벤젠 1.8 ppb, m- & p-자일렌 1.7 ppb 그리고 노말헥산 1.2 ppb 순서이었다. 단위 위험도가 가장 높은 1, 3-부타디엔은 0.4 ppb로 1997년의 1.2 ppb와 비교하여 약 1/3 수준으로 낮아졌다. 이는 미국 주 전체 인구 밀집 지역에서 측정된 1, 3-부타디엔의 평균 농도인 0.37 ppb(Seiber, 1996)와 비슷한 수준이다. 발암성이 가장 높은 것으로 알려진 벤젠의 농도는 1.8 ppb로 1997년의 2.1 ppb와 비교하여 비슷한 수준을 보였다.

4. 결 론

배출 규제가 실시되기 전인 1997년 6월과 배출 규제가 시작된 후인 1998년 6월에 울산 공단 지역에서 휘발성 유기화합물의 농도를 측정하였다.

이번 연구에서 가장 두드러진 특징은 1998년 전

체 탄화수소의 농도가 1997년과 비교하여 약 1/3.5 수준으로 낮아졌다는 것이다. 특히, 산화 유기화합물과 알켄의 농도 감소가 가장 크게 나타났다. 이는 울산 공단에서 휘발성 유기화합물에 대한 환경부의 배출 규제 시행으로 배출 방지 시설의 설치에 따른 휘발성 유기화합물의 배출 감소와 1997년말 시작된 경제 위기의 영향으로 울산 공단 지역에서 공장 가동률이 감소되어 생산 과정에서 대기로 배출되는 휘발성 유기화합물의 감소가 주원인으로 보인다. 휘발성 유기화합물의 배출 규제는 알켄의 비산배출 감소 효과를 가져와 전체 휘발성 유기화합물에 대한 알켄의 농도 비중이 감소되었으며 상대적으로 방향족의 농도 비중이 상승하게 되어 다른 외국 공단과 비슷한 농도 구조를 보였다.

1998년의 고농도 성분들은 1997년과 비교하여 농도 순서에 있어서 차이를 보였으나 전반적으로 고농도 성분들의 구성은 비슷하였다. 이번 연구에서 20개 고농도 성분중 메탄올의 농도는 12.0 ppb로 1997년과 마찬가지로 전체 휘발성 유기화합물 가운데 가장 농도가 높았으며, 다음은 아세톤 10.1 ppb, 프로판 6.0 ppb, 염화비닐 5.9 ppb이었다. 1997년과 비교하여 1998년의 평균 농도가 1/3 이상 감소한 성분들은 메탄올, 아세톤, 에틸렌, 프로펠렌, p-자일렌 그리고 노말렉산 등이었으며 특히, 메탄올, 아세톤, 그리고 에탄올과 같은 산화 유기화합물의 급격한 농도 감소는 전체 휘발성 유기화합물의 농도 감소에 직접적인 영향을 주었다.

위해성 성분들의 총농도는 1998년이 1997년 보다 낮아졌으나 이는 메탄올의 농도 감소에 의한 것이며, 그 외의 위해성 성분은 일정한 경향을 보이지 않았다. 노말 헥산, 1, 3-부타디엔 그리고 자일렌의 농도는 낮아졌으나, 벤젠, 톨루엔과 대부분의 할로젠 화합물의 농도는 비슷하였고 염화비닐, 메틸에틸케톤은 증가하였다.

정부가 울산 공단을 대상으로 시행한 규제는 총 휘발성 유기화합물의 농도를 감소시켰으나, 위해성 유기화합물의 농도 감소에 효과적이었는지는 확실하지 않다.

사 사

이 연구는 환경부의 지원으로 수행하였습니다. 축

정 및 결과 해석에 도움을 준 울산지역환경보전협의회 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

김영성, 송철한, 심상규, 김용표, 문길주(1998) 여천 공업단지 봄, 가을 대기 중 휘발성 유기화합물 농도 비교 연구, 한국대기보전학회지, 14, 153-160.
 김용표, 이종훈, 진현철, 문길주(1997) 여천공단 대기 중의 입자상 및 기체상 이온성분과 유기화합물의 농도 한국대기보전학회지, 13, 269-277.
 나광삼, 김용표, 진현철, 문길주(1998a) 울산 대기 중의 입자상, 기체상 물질의 수용성 이온 성분과 휘발성 유기화합물의 농도, 한국대기보전학회지, 14, 281-292
 나광삼, 김용표, 문길주, 백성욱 황승만, 김성렬, K. Fung, 이강봉, 박현미(1998b) 대기중 휘발성 유기화합물의 채취 및 분석 방법 비교, 한국대기보전학회지, 14, 507-518.
 문길주, 심상규, 김영성, 김용표, 김종수, 김진영, 진현철, 나광삼, 한은선, 김태양, 김현진, 오현선, 이종훈, 이승복(1997) 여천공단 환경오염대책 마련을 위한 오염실태 정밀조사 사업, 한국과학기술연구원 보고서, 국립환경연구원.
 변운환(1998) 개인교신, 울산지역환경보전협의회.
 환경부(1996) 환경부 고시 제 96-117호.
 환경부(1997) 환경부 고시 제 97-52호.
 환경부(1998) 환경부 고시 제 1998-77호.
 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., M. Porter, D. Fitz and E. Fujita (1994) Evaluation and development of methods for the measurement of hydrocarbons and carbonyl compounds, in Planning and managing regional air quality—modeling and measurement studies edited by P.S. Solomon & T.A.Silver, Lewis Publishers, Boca Raton, USA.
 Grosjean, D. and K. Fung (1984) Hydrocarbons and carbonyls in Los Angeles air, J. Air Poll. Control Ass , 34, 537
 Kclly, 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
 Mohan Rao, A.M G.G Pandit, S Saun, S. Sharma, T.M. Krishnamoorthy and K S.V. Nambi (1997) Non-methan hydrocarbon in industrial locations of Bom-

- bay, *Atmos. Environ.*, 31, 1077-1085.
- Oliver, K.D., J D Pleil and W A McClenny (1986) Sample integrity of trace level volatile organic compounds in ambient air stored in Summa polished canisters, *Atmos Environ.* 20, 1403-1411.
- Seiber, J.N. (1996) Toxic air contaminants in urban atmospheres: Experience in California, *Atmos Environ* 30, 751-756.
- WHO (1987) Air quality guidelines for Europe. WHO regional publications (Copenhagen), European series 23, 45-48.