

여천 공업단지 봄, 가을 대기 중 휘발성 유기화합물 농도 비교 연구

Comparative Study of Volatile Organic Compound Concentrations in the Yochon Industrial Estate during Spring and Fall

김영성 · 송철한* · 심상규 · 김용표 · 문길주

한국과학기술연구원 환경연구센터

(1997년 6월 23일 접수, 1998년 3월 24일 채택)

Young Sung Ghim, Chul Han Song,* Shang Gyoo Shim

Yong Pyo Kim, Kil Choo Moon

Environment Research Center, Korea Institute of Science and Technology

(Received 23 June 1997; accepted 24 March 1998)

Abstract

The concentrations of volatile organic compounds (VOCs) in the atmosphere were measured from the Yochon Industrial Estate and compared with those from Tongkwangyang and Seoul. The first important phenomenon observed in the air of Yochon was high concentrations of alkenes and in particular, ethylene and propene. For most dominant species, their means and standard deviations were high simultaneously. Concentrations of several major aliphatic species exhibited a similar pattern of diurnal variation, however, with different species combination on each day. Concentrations of several hazardous aromatic species also exhibited a similar pattern of diurnal variation on the same day, which was different from that observed in the diurnal variation of major aliphatic species. It was interpreted that some species were intermittently released from relevant processes. It was also understood that high concentrations and variations of VOC species in Yochon were localized and not related to high average concentrations of ozone in Yochon and Tongkwangyang areas.

Key words : volatile organic compounds, petrochemical industry, relation to photochemistry, variation patterns, intermittent release

1. 서 론

광화학 오염 관점의 휘발성 유기화합물 (VOC; volatile organic compound)은 질소산화물과 함께 자

외선에 의하여 광화학 반응을 일으킬 수 있는 유기 물질을 통칭한다. 유기물질을 휘발성과 반(半)휘발성, 비휘발성으로 구분하는 일반적 관습에 따라 1980년대 초, 중반에는 20°C 1기압에서 증기압이 0.1 mmHg 이상인 유기물질을 VOC로 지칭하기도

* 현주소 : Chemical and Biological Engineering, 125 Chemistry BotangBldy., Iowa City, Iowa 52242-1219, USA.

하였다. 그러나 휘발성이 온도 등 주위 환경에 따라 다르고 응축성 역시 일률적으로 정의하기 힘들며, 무엇보다도 VOC를 주목하는 이유가 광화학 오존의 원인 물질이기 때문이므로 근래에는 휘발성보다는 광화학 반응성을 위주로 VOC를 판단하고 있다 (Berry, 1996). 이러한 이유로 캘리포니아에서는 VOC 대신 반응성 유기가스(ROG: reactive organic gas)라는 용어를 사용하고 있다 (SCAQMD and SCAG, 1991).

VOC 중 헥산, 벤젠, 1,3-부타디엔, 포름알데히드, 아세트알데히드 등 일부 성분은 1990년 미국 청정 대기법 개정에서 규정된 유해 대기오염물질(HAP: hazardous air pollutant)들이기도 하다. 당초 189개에서 카프롤락탐이 제외되어(USEPA, 1996. 6. 18) 188개로 구성된 HAP은 개개 물질별로 대형 산업시설 뿐 아니라 면오염원 배출도 관리하도록 규정되어 있다. 그러나 많은 HAP들이 HAP 형태로 배출되기도 하지만 VOC 중 HAP 성분과 같이 화학 반응에 의하여 전환될 수도 있어 HAP에 대한 관심은 VOC 성분에 대한 관심으로 이어지고 있다. 이와 같은 경향은 특히, 지금까지 미국의 오존 저감대책이 성과를 거두지 못한 원인의 상당 부분이 VOC를 명확하게 취급하지 못한 때문으로 밝혀짐에 따라(NRC, 1991), 유기물질의 이동 및 변환을 성분별로 추적하여야 한다는 주장과 함께 가속화 되고 있다 (Harley and Cass, 1995).

국내에서도 최근 광화학 오존과 함께 VOC 및 유해 대기오염물질에 대한 관심이 높아지고 있다(한화진 등, 1996; 한화진, 1994). 국립환경연구원에서는 국내 대기오염 연구의 선진화를 위하여 배출원 목록 작성의 일환으로 VOC 배출 현황을 조사하고 있다(장성기 등, 1996). 그러나 1990년대 말 현재까지도 대기 중 VOC의 성분별 농도는 물론 총 농도에 관한 자료도 발견하기 쉽지 않다. 본 논문은 1994년 10월부터 1995년 10월까지 만 1년간 여천 공업단지에서 측정된 대기 중 VOC 농도의 특징을 비교 분석한 것이다. 측정은 여름이 아닌 봄, 가을에 주로 실시하였는데, 여천 공업단지를 주목한 이유와 함께 다음 장에서 별도로 설명하였다. 논문이 최초로 작성된 1996년 여름 현재의 시점에서 자료를 이용하는 까닭에 충분치 않은 자료로부터 무리하게 결론을 유도하기 보다는 당시의 자료에서 가능한 의문

점을 부각시키고자 노력하였으며, 향후 연구 방향에 대하여 알아보았다.

2. 여천지역의 대기 환경

1990년대 초반 여천 지역은 두가지 관점에서 주목할 만하였다. 첫째로 여천, 동광양 지역은 연평균 오존 농도가 전국에서 가장 높았다. 1990년대 초반 우리나라의 오존 농도분포는 서울, 수도권 지역과 기타 지역으로 크게 나누어 볼 수 있었는데, 연평균 뿐 아니라 100 ppb 이상 고농도 발생을 조사하여도 서울, 수도권 지역의 고농도가 6월에서 8월까지 여름에 집중된 반면, 기타 지역은 절대 수는 적으나 3월부터 5월까지 봄철에 많이 발생하였다(김영성, 1996). 계절별 오존 농도변화에서는 기타 지역이 봄철 상승, 여름철 하락, 가을철 2차 상승의 이중구조를 보인 반면 서울, 수도권 지역에서는 장마철의 영향에도 불구하고 광화학 오존의 영향으로 여름철 하락 현상이 두드러지지 않았다.

여천, 동광양 지역은 연평균 농도가 높을 뿐 아니라 봄철 상승, 여름철 하락, 가을철 2차 상승의 계절별 변화가 가장 뚜렷하였다. 봄철에 고농도가 집중된다는 점과 계절별 농도의 빈도분포가 광화학 반응의 결과와 차이를 보인다는 점에서 국지 배출에 의한 광화학 오존의 가능성은 높지 않았으나(김영성, 1996), 다른 지역과 비교한 여천, 동광양 지역의 변화는 주의를 끌기에 충분하였다.

둘째, 여천 공단은 우리나라의 대표적 석유화학 공업단지이다. 각 공장은 일면 경제적 측면에서, 일면 환경관리를 위하여 취급물질의 누출을 방지하고자 노력하고 있으나 공정별 VOC의 누출 가능성은 상존할 수밖에 없다. 각 공장의 VOC 누출이 비산(fugitive) 배출의 형태로 광화학 반응에 참여하여 여천, 동광양 지역의 오존농도에 영향을 미친다면 이 지역의 VOC 농도는 여천, 동광양으로 대표되는 우리나라 대부분 지역 계절별 오존농도변화 해석에 실마리를 제공할 수 있다. 그러나 VOC가 단속적으로 누출되며 해당 지역의 VOC 농도와 조성을 교란시키고 있다면 광화학 반응의 관점이 아닌 유해 오염물질의 관점이나 안전사고예방의 관점에서 살펴보아야 한다(김영성 등, 1998). 본 논문에서는 먼저 광화학 반응의 관점에서 오존 농도가 높은 봄, 가을

의 VOC 농도 변화를 조사하였다.

3. 대기시료 포집과 분석

표 1은 지역별 대기 포집 장소와 시간이다. 포집 장소는 심각한 지형지물이나 중요한 오염원이 인접하지 않은 곳을 선택하였다. 포집시기로는 날씨가 맑고 기온이 높아 광화학 반응에 유리한 기상 조건이 수일간 지속된 이후의 날을 선정하여, 광화학 반응 특유의 일변화를 볼 수 있도록 아침, 점심, 저녁 각 2시간씩 시료를 포집하고자 하였다. 비교적 많은 여천의 시료수가 시간대별로 4~5개 정도이고 동광양, 서울의 시료수는 시간대별로 1, 2개이므로 여천의 경우도 평균 변화분석보다는 날짜별, 시간대별로 사례분석을 시도하였으며, 동광양과 서울의 결과는 같은 기간 혹은 최근 우리나라의 비교 자료로써 이용하였다.

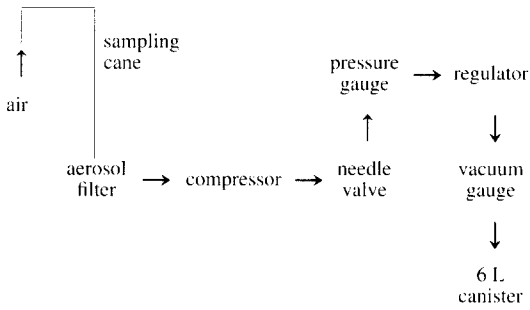


Fig. 1. Air sampling apparatus.

그림 1은 포집 장치의 구성이다. 포집통은 $10^4 \sim 10^2$ Torr 정도부터 시작하여 30 psia까지 약 2시간 동안 대기를 압축 포집하였으며, 대기와 진공통 사이의 압력차는 중간에 설치된 조절기로 조절하였다. 포집구의 높이는 여천, 동광양에서는 약 60cm였으며, 서울에서는 혹시 있을 지도 모를 잔디밭의 영향을 감안하여 120cm로 높여서 사용하였다.

포집된 대기 시료는 미국 캘리포니아의 AtmAA사(Calabasas, CA, U.S.A.)에서, 냉동 농축시킨 후 가열하여 재휘발시키며 GC/FID로 분석하였다. 광화학 오존 원인물질의 관점에서 지방족과 방향족, 나프텐을 중심으로, 알칸 기준 C_2 부터 C_{13} 까지 대기 중에 기체상태로 존재할 수 있는 모든 탄화수소 성분을 분석하였다. 순수 탄화수소 성분 외에 카보닐 성분과 할로젠 화합물을 분석하였으나, 이들 대부분은 VOC의 성분별 분율을 확인하기 위한 목적으로 프로판 기준 총 농도만을 ppbC 단위로 분석하였다(나광삼 등, 1998; 김용표 등, 1997).

4. 결과 및 고찰

그림 2는 지역별 아침, 점심, 저녁의 VOC 총 농도이다. 동광양이 200~500 ppb, 여천이 330~2,300 ppb, 서울이 670~1,200 ppb 정도로, 봄, 가을의 VOC 농도는 대체로 동광양이 여천보다 낮은 반면 서울은 여천의 높은 날보다는 낮으나 낮은 날보다는 높다. 동광양에서 측정이 이루어진 4개 시간대에는 여천에서도 모두 측정이 이루어져 둘 사이에 직접 비

Table 1. Summary of ambient air sampling.

Area	Sampling Site	Sampling Time*		
		Morning	Afternoon	Evening
Yochon	Rooftop of a 3-story building in the Southwest-Region Industrial Estate Management Corporation	94-10-07 08:00-10:00	94-10-07 13:00-15:00	94-10-07 17:00-19:00
		94-10-25 08:45-10:45	94-10-25 13:00-15:00	94-10-25 16:00-18:00
		95-05-24 06:50-08:50	95-05-24 13:45-15:45	95-05-24 17:00-19:00
		95-06-21 07:00-09:00	95-10-10 13:00-15:30	95-10-10 17:00-19:00
		95-10-10 07:00-09:00		
Tongkwang-yang	Hillside near the northern boundary within Kwangyang Steel Works	95-05-24 07:10-09:10	95-10-10 13:25-15:15	95-10-10 17:00-19:00
		95-06-21 07:15-09:15		
Seoul	Lawn in the Korea Meteorological Administration where meteorology monitoring equipments are located	96-04-26 07:00-09:30	96-04-26 13:00-15:00	96-04-26 17:00-19:00

* yy-mm-dd hh:mm-hh:mm

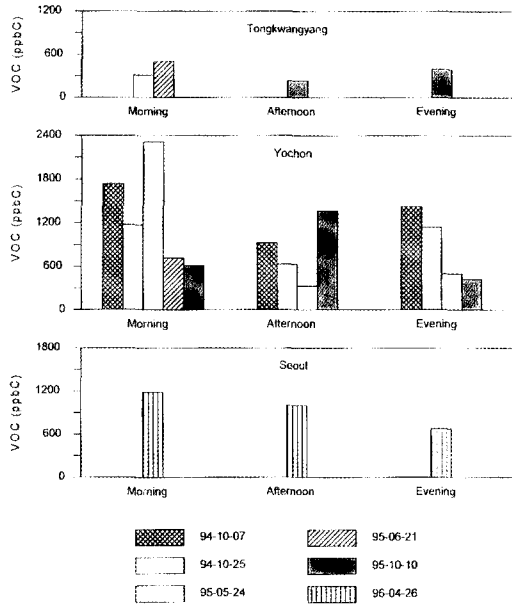


Fig. 2. Total VOC concentrations.

교가 가능한데, 4개 자료만을 평균하면 여천이 $1,205 \pm 836$ ppb, 동광양이 360 ± 115 ppb이며, 따라서 여천의 편차가 큼을 고려하여도 동광양은 여천보다 월등 낮다.

그림 2의 VOC 총 농도를 보면 대체로 아침이 높고 오후에 낮으나 95-10-10 여천은 이례적으로 오후의 농도가 가장 높다. 그림 3은 그림 2의 변화를 화학 종별로 살펴본 것이다. 95-10-10 여천을 보면 오후의 농도 상승이 주로 알칸, 그리고 알켄 때문임을 알 수 있다. 그러나 알칸과 알켄이 대기화학 반응물(reactant)일 수는 있어도 생성물(product)이 아님을 감안하면 혼합도가 높고 수직혼합이 활발한 오후에 농도가 높아질 수는 없다. 유일한 가능성으로는 아침과 점심 사이에 이들의 배출이 갑자기 늘어 농도가 높아진 경우를 생각할 수 있다. 유사한 예를 95-05-24 여천에서도 발견할 수 있는데, 아침의 알칸과 특히 알켄의 농도가 오후나 저녁보다 너무 높아 밤 사이에 일시적으로 많은 양이 배출되었을 가능성이 많다.

여기서 주목할 점은 농도 변화가 알칸과 알켄 등에서 관찰되고 있다는 사실이다. 표 2는 아침의 평균 탄화수소 농도분포를 1970년대의 미국 로스엔젤

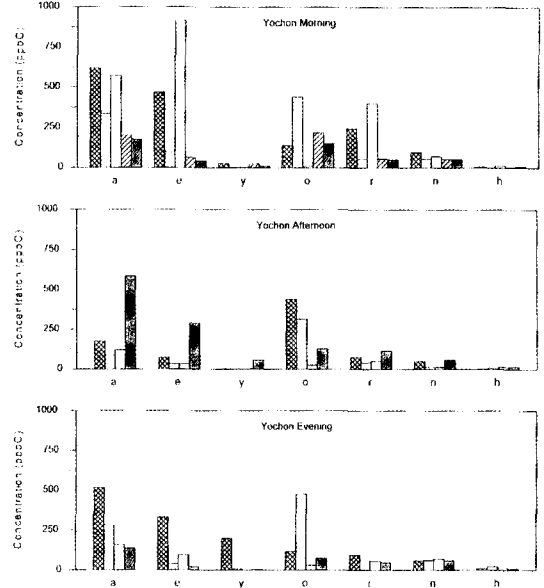


Fig. 3. VOC concentrations by classes: a, alkane; e, alkene; y, alkyne; o, oxygenated; r, aromatic; n, naphthene; h, halogenated. Bars have the same interpretation as those in Fig. 2.

레스, 뉴욕의 농도와 비교한 것이다. 다소 오래된 자료이나 탄화수소의 전반적 분포를 알아볼 수 있다는 점에서 비교하였다. 어느 경우에 비추어 보나 여천에서 전체 지방족 중 에틸렌의 비율이 높은 것이 특이하며 이에 따라 알켄의 농도가 316 ppbC로 알칸의 380 ppbC에 버금가게 높다. 에틸렌만큼은 아니나 프로펜의 비율도 높으며, 그러나 C_{4+} 알켄은 그다지 높지 않다. 반면, 동광양과 서울의 농도분포에서는 여천과 같은 변화를 볼 수 없다.

표 3은 여천의 VOC 성분 중 농도가 높은 10개 성분의 변화를 조사한 것이다. 성분별 비교를 위하여 지금까지의 ppbC 대신 ppb를 이용하였다. 표 2에서도 이미 살펴본 바와 같이 여천의 아침에는 에틸렌, 프로펜들의 농도가 높다. 에틸렌은 아침 5개 시료의 최소가 7 ppb, 최고가 358 ppb, 표준편차가 152 ppb로 평균의 의미를 찾기 힘들만큼 변화폭이 크며, 에틸렌 외에도 프로펜, 펜탄 등 주요 성분들이 농도가 높을 뿐 아니라 변화폭이 크다.

일면 당연하다고도 볼 수 있으나 표 3 성분들의 대부분은 원료나 생산품 등 석유화학 공단의 주요

Table 2. Mean concentration distributions of hydrocarbons in comparison with those in Los Angeles and New York.^a (unit: ppbC)

	Downtown Los Angeles ^b		New York City ^b	Yochon	Tongkwang-yang	Seoul
	1973 0700-0800 23 Samples	1976 0600-0900 35 Samples	1978 1030-1100 4 Samples	1994-1995 0700-0900 ^c 5 Samples	1995. 5-6 0710-0910 ^c 2 Samples	1996. 4. 6 0700-0930 1 Sample
Total Aliphatics ^d	3385	1416	486	697	120	447
Acetylene	178	99	20	13	3	17
Ethylene	204	76	9	178	19	27
Propene	49	36	10	70	2	9
Σ C ₄₊ Alkenes	84	39	21	68	26	75
Σ Alkenes	337	155	40	316	47	111
Butane	149	119	72	34	3	53
Σ C ₄ Alkanes	-	168	166	45	4	82
Isopentane	193	185	103	33	2	24
Σ C ₅ Alkanes	-	277	166	93	3	41
Σ Alkanes	2870	1162	408	380	74	337
Benzene	126	46 ^e	58	33	5	14
Toluene	156	151	111	20	6	90
Σ C ₈ Aromatics	-	171	163	66	9	62

^a '-' means 'no data available'.

^b From Seinfeld (1986).

^c Representative time, but not averaged.

^d Total nonmethane aliphatic concentration less ethane.

^e Includes cyclohexane.

Table 3. Variations in concentrations of 10 dominant VOC species at Yochon site.^a (unit: ppb)

Species	Morning (5 Samples)	Afternoon (4 Samples)	Evening (4 Samples)
Ethylene	89.0 ± 152.2 (7.0 ~ 357.7)	4.4 ± 2.7 (1.6 ~ 7.4)	3.3 ± 2.2 (1.2 ~ 5.3)
Propene	23.4 ± 34.1 (1.7 ~ 81.7)	22.7 ± 36.2 (2.8 ~ 76.9)	22.7 ± 43.3 (0.8 ~ 87.6)
Pentane	11.9 ± 17.3 (1.2 ~ 42.1)	6.5 ± 6.2 (0.1 ~ 14.3)	2.9 ± 3.1 (0.2 ~ 7.1)
Butane	8.6 ± 10.2 (1.1 ~ 25.1)	3.4 ± 3.0 (0.5 ~ 7.4)	2.5 ± 2.4 (0.4 ~ 5.3)
Hexane	8.0 ± 10.0 (0.7 ~ 25.2)	7.8 ± 13.6 (0.7 ~ 28.3)	9.5 ± 17.3 (0.2 ~ 35.5)
Propane	7.5 ± 7.5 (2.3 ~ 20.7)	3.9 ± 5.5 (0.8 ~ 12.1)	2.4 ± 2.6 (0.7 ~ 6.3)
Ethane	7.1 ± 5.6 (3.0 ~ 15.6)	3.6 ± 3.7 (1.5 ~ 9.1)	8.0 ± 12.6 (1.3 ~ 26.9)
i-Pentane	6.7 ± 5.5 (1.1 ~ 13.5)	5.1 ± 5.8 (0.3 ~ 13.6)	2.1 ± 1.0 (1.4 ~ 3.6)
Acetylene	6.4 ± 6.0 (1.3 ~ 13.0)	7.7 ± 13.4 (0.8 ~ 27.7)	26.2 ± 49.1 (0.7 ~ 99.9)
3-Methyl Pentane	3.3 ± 3.6 (0.1 ~ 8.5)	3.6 ± 3.5 (0.8 ~ 8.6)	4.1 ± 4.3 (1.1 ~ 10.5)

^a Average ± Standard Deviation (Minimum ~ Maximum).

취급품목들이다(문길주 등, 1997). 표 3 성분들의 변화의 의미를 좀더 상세히 관찰하기 위하여 그림 4에서는 표 3의 성분 중 에틸렌, 프로펜 등 평균농도가 높은 5개 성분의 변화를 측정 시점별로 조사하였다. 흥미있는 사실은 5개 성분만의 변화임에도 시점에 따라 수 개 성분이 동일한 형태의 변화를 보이고 있다는 점이다. 94-10-07은 프로펜, 아세틸렌, 헥산이, 95-05-24는 에틸렌, 프로펜, 펜탄이, 95-

10-10은 프로펜, 아세틸렌, 헥산, 펜탄의 변화가 유사하다. 표 3에서는 에틸렌의 최고 농도 358 ppb를 주목하였으나 그림 4를 보면 95-05-24의 에틸렌의 변화는 최소한 프로펜, 펜탄의 변화와 연계되어 있다. 그림 4는 수개의 성분이 관련된 공정으로부터 이들 성분이 배출되었을 가능성을 강력하게 시사하고 있다.

여천과의 비교를 위하여 동광양과 서울에서 평균

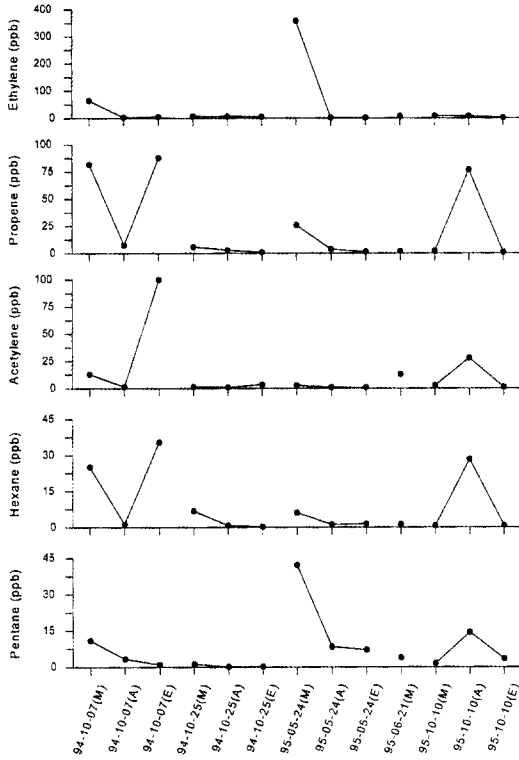


Fig. 4. Temporal variations of 5 major VOC species concentrations at Yochon site.

적으로 농도가 높았던 성분 다섯을 살펴보면, 동광양에서는 에틸렌, 헥산, 프로판, CFC11, 에탄들이 높고, 서울에서는 프로판, 톨루엔, 에틸렌, 부탄, 에탄들이 높다. 동광양에서는 CFC11 외에도 CFC113의 농도가 높는데, CFC의 용도가 분사, 세척, 냉매 등 다양하여 (Fisher and Midgley, 1993) 현재로서는 제철소와의 연관성을 짐작하기 어렵다. 서울에서 프로판, 부탄들의 농도가 높은 것은 LPG 택시와 연료 이용 때문인 것으로 추정되며 (나광삼 등, 1998), 톨루엔 농도는 용매 사용이 가장 큰 배출원이다 (Scheff and Wadden, 1993). 요약하면, 여천의 성분 분포는 석유화학 공단의 특성이 반영되어 동광양, 서울과 다르다.

그림 2에서 인접한 동광양의 농도가 여천보다 월등 낮다는 점도 여천의 VOC 농도를 특징지어 주는 중요한 요소이다. 최소한 95-05-24 아침 여천의 VOC 농도 상승은 동광양의 VOC 농도와 무관한 국

지 현상이다. 실제 C₃부터 C₅까지 지방족 성분과 BTX (benzene, toluene, xylene) 방향족 성분을 토대로 살펴본 동광양의 VOC 성분분포는 Wiederkehr (1994)가 제시한 독일의 전형적인 전원지역과 유사한 정도이다. 이의 원인은 기본적으로 동광양 지역에 대규모 제철소가 위치하여 연소관련 배출원은 많지만 특별한 VOC 배출원이 없기 때문이나 (박원훈 등, 1996), 주변지역이 청정지역으로 깨끗하고 여천지역의 VOC 배출이 이차 오염형태로 광역화 하지 않았기 때문이기도 하다.

5. 검 토

여천의 VOC 농도 변화가 국지적이고 단속적이라는 사실은 여천의 대기환경 조사에 또 다른 숙제를 던져주고 있다.

첫째, 여천과 동광양의 오존 농도의 유사성에도 불구하고 VOC 농도가 현저한 차이를 보임은 이들 지역의 오존 농도가 VOC와 무관하며, 결국 외부로

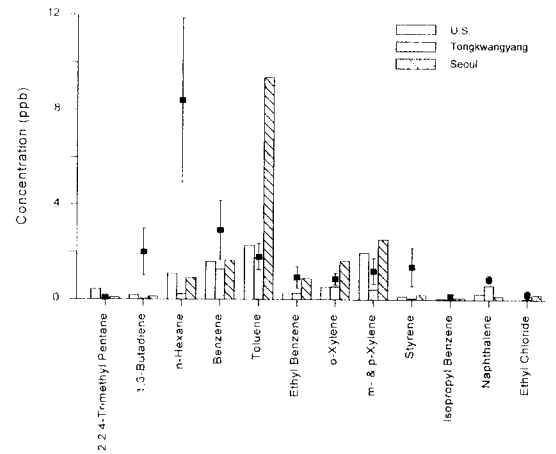


Fig. 5. Concentrations of hazardous air pollutants analyzed as VOCs at Yochon site in comparison with those from other sites. For Yochon, solid rectangles represent mean values, and error bars were calculated by $(\text{standard deviation})/\sqrt{(\text{number of samples})}$. The U.S. data represent median values of measurements in populated areas of the United States (Kelly *et al.*, 1994). The data for Tongkwangyang and Seoul are mean values in this study.

부터 영향을 받고 있음을 입증하는 것이다. 김영성 (1996)은 오존 농도변화를 분석하며 이와 같은 결론을 유도하였으나 본 논문의 결과는 이를 다시 한번 확인하고 있다. 물론 박원훈 등(1996)이 지적한 바와 같이 VOC 농도와 기상요소의 변화에 따라 이들 지역의 VOC 농도도 언제든지 오존 농도와 연관될 수 있다. 그러나 본 논문의 결과는 1990년대 후반 측정소 수가 늘어나며 밝혀진 제주도부터 서남해안의 광범위한 지역에 걸친 오존의 평균농도 고농도와 더불어(김영성과 오현선, 1997) 우리나라의 오존 문제 연구를 위하여 국지 영향뿐 아니라, 장거리 이동의 영향을 보다 본격적으로 검토할 필요가 있음을 보여주고 있다.

둘째, 여천 지역의 VOC 농도 변화가 국지적이고 단속적이라는 사실은 광범위하고 지속적이지 않다는 점에서 일면 배출관리가 잘 되고 있는 것으로 평가할 수도 있다. 그러나 여천공단의 많은 사고가 심각한 결함이나 필연적 원인보다는 사소한 부주의에 의한 것이라는 조사 결과가 있는 만큼(문길주 등, 1997) 표 3이나 그림 4의 변화가 허용가능한 것인지, 아니면 소규모라도 누출사고와 연결될 수 있었는지 등에 대하여 보다 많은 자료를 토대로 상세한 검토가 필요하다.

그림 5는 참고로 여천 지역에서 VOC로써 측정된 유해대기오염물질의 농도를 약 30년간 미국 인구 밀집지역에서 측정한 측정치의 중간값과 동광양, 서울의 평균값들과 비교한 것이다. VOC로 측정된 12개 유해성분 중 1,3-부타디엔, 헥산, 벤젠, 스타이렌, 이소프로필 벤젠, 나프탈렌 등 6개 성분의 여천지역 농도가 다른 지역보다 높다. 그림 6은 이들 유해대기오염물질의 변화를 측정 시점별로 조사한 것이다. 그림 5의 성분 중 헥산의 변화는 그림 4에서 이미 살펴보았으므로 그림 6에서는 제외하였다. 94-10-07에는 벤젠, 톨루엔, 에틸 벤젠이, 95-05-24에는 스타이렌, 벤젠, 자일렌 등 대부분의 변화가 유사하나 이들의 변화는 그림 4의 같은 날 고농도 성분들의 변화양상과 다르다. 그림 6에서는 주로 방향족 성분들이 유사한 변화를 보이고 있는데, 지방족인 그림 4의 성분들과 다른 공정으로부터 배출되었을 가능성을 암시하고 있다.

결국 요약하면, 여천의 VOC 문제는 1994, 5년 현재까지는 광화학 오염의 문제가 아닌 관련 공정으

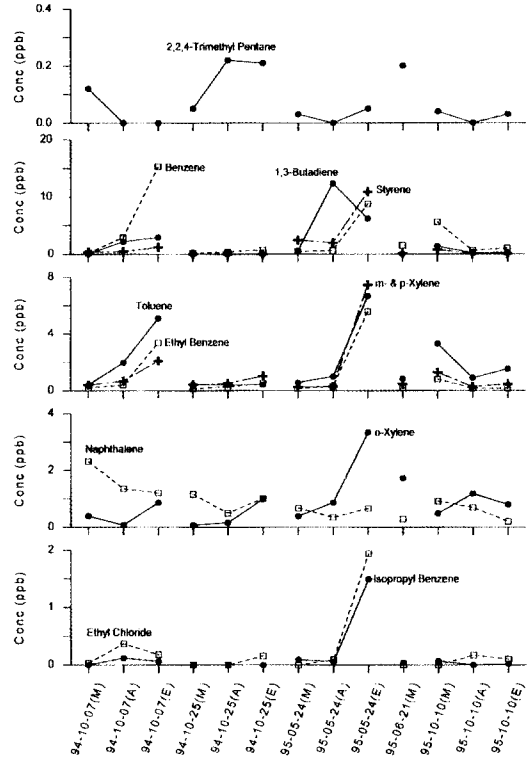


Fig. 6. Temporal variations of hazardous air pollutant concentrations analyzed as VOCs at Yochon site.

로부터 누출과 관련된 문제일 가능성이 높으며, 여기에는 유해 대기오염물질도 예외가 아니다. 여천의 VOC 자료는 과거의 누출 기록 조사와 누출 탐지, 향후 누출 예방을 위하여서도 보다 상세하고 포괄적인 조사가 필요하다.

감사의 글

본 논문은 과학기술처 국책연구사업의 일환으로 수행되었습니다. 여천, 동광양 지역의 대기환경 개선을 위하여 측정을 지원하여 주신 서남지역공업단지 관리공단과 포스코 광양제철소의 관계자 분들과 대기 포집을 도와주신 직원 여러분께 감사드립니다. 서울 측정은 한국과학기술연구원 자체 프로그램의 일환으로 진행 중에 있으며, 측정 장소 사용을 허락하여 주신 기상청 관계자 분들께도 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 김영성 (1996) 1991 ~ 1993년 사이 우리나라의 오존 농도 변화, 한국대기보전학회지, 12, 55-66.
- 김영성, 김종수, 문길주 (1998) 미국 청정대기법에 나타난 누출사고 예방과 위험관리, 화학공업과기술, 16, 7-16.
- 김영성, 오현선 (1997) 미발표 자료.
- 김용표, 이종훈, 진현철, 문길주 (1997) 여천공단 대기 중의 입자상 및 기체상 이온성분과 유기화합물의 농도, 한국대기보전학회지, 13, 269-284.
- 나광삼, 김용표, 김영성 (1998) 서울 대기 중에서의 C₂ ~ C₉ 휘발성 유기화합물 농도, 한국대기보전학회지, 인쇄 중.
- 문길주, 심상규, 김영성, 김용표, 김종수, 김진영, 진현철, 나광삼, 한은선, 김태양, 김현진, 오현선, 이종훈, 이승복 (1997) 여천공단 환경오염대책 마련을 위한 오염실태 정밀조사 사업 (대기오염 분야), 한국과학기술연구원 보고서, 국립환경연구원.
- 박원훈, 문길주, 심상규, 김영성, 김용표, 정관영, 송철한, 김진영, 오현선, 박세욱, 김성주, 최대기 (1996), 여천, 동광양 지역 광화학 오존 농도 상승 원인 조사, 한국과학기술연구원 보고서 BS11602-5688-6.
- 장성기, 김무영, 홍지형, 김대곤, 정일록, 최덕일 (1996) 정유사, 저유소, 주유소, 세탁소로부터의 VOC 배출량 산정, 한국대기보전학회 춘계 학술대회 요지집 29pp.
- 한화진 (1994) 유해 대기오염물질 규제에 관한 국내 대응 방안 연구, KETRI/1994/RE-08, 한국환경기술개발원.
- 한화진, 최상기, 김승우, J. Southerland, 조억수, 임보은 (1996) VOC 배출원별 배출량 산정 및 저감기술 연구, 한국환경기술개발원 보고서, 대한석유협회.
- Berry, J.C. (1996) VOC & HAP Emission Control for the Coatings Industry, AWMA Professional Development Program AIR-208, Nashville, TN.
- Fisher D.A. and P.M. Midgley (1993) The production and release to the atmosphere of CFCs 113, 114 and 115, Atmospheric Environment, 27A, 271-276.
- Harley, R.A. and G.R. Cass (1995) Modeling the atmospheric concentrations of individual volatile organic compounds, Atmospheric Environment, 29, 905-922.
- Kelly, T.J., R. Mukund, C.W. Spicer, and A.J. Pollack (1994) Concentrations and transformations of hazardous air pollutants, Environ. Sci. Tech., 28, 378A-387A.
- NRC (National Research Council) (1991) *Rethinking the Ozone Problem in Urban and Regional Air Pollution*, National Academic Press, Washington, D.C.
- SCAQMD (South Coast Air Quality Management District), SCAG (Southern California Association of Governments) (1991) 1991 Air Quality Management Plan.
- Scheff, P.A. and R.A. Wadden (1993) Receptor modeling of volatile organic compounds. I. Emission inventory and validation, Environ. Sci. Tech., 27, 617-625.
- Seinfeld, J.H. (1986) *Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution*, Wiley, New York, NY.
- U.S. Environmental protection Agency (1996. 6. 18) Hazardous air pollutant list; modification, 40 CFR Part 63.
- Wiederkehr, P. (1994) Emission reduction programmes for VOC in some OECD countries, In *Characterization and Control of Odours and VOC in the Process Industries*, Edited by S. Vigneron, J. Hermia, J. Chaouki, Studies in Environmental Science 61, Elsevier, Amsterdam, Netherlands, pp.11-28.