

PS4 (SM29) 산업특성이 다른 도시 대기 중의 BTEX 분포특성 The Characteristics of Atmospheric BTEX Distributions in Various Urban Areas

기 준 학 · 이 광 원 · 조 역 수 · 이 강 웅¹⁾ · 김 조 천²⁾

현대환경연구원 환경경영개선팀, ¹⁾한국의국어대학교 환경학과, ²⁾동신대학교 환경공학과

1. 서 론

90년대 들어 서울을 포함한 수도권 지역과 서해안에 위치한 일부 도시를 중심으로 오존에 의한 대기 오염주의보의 발령이 크게 늘어나고 있다. 이에 따라 광화학오염을 진작시키는 전구물질로 알려진 휘발성유기화합물에 대한 관심도 함께 증가하면서 최근 들어 이에 관련된 연구가 활발하게 진행되고 있다. 그러나 휘발성유기화합물의 특성에 대한 종합적이고 총체적인 분석에는 여러 기술적인 어려움과 함께 (김조천 등, 1998) 비용 면에서 제한을 받기 때문에 일부 지역에서만 정량적인 관측이 이루어졌다(예로서 김용표 등, 1997; 허귀석 등, 1999). 본 연구에서는 산업특성을 각기 달리하는 서울, 울산, 대산, 동해 등지에서 차량 운행과 산업활동에 의해 대기로 배출되는 대표적인 휘발성유기화합물인 Benzene, Toluene, Ethylbenzene, m,p-Xylene, o-Xylene 등이 보이는 분포 특성의 시공간적인 변화를 알아보려고 하였다.

2. 연구 방법

1997년 11월, 1998년 2월, 6월, 10월까지 네 차례에 걸쳐 서울 3~10 지점, 울산 2~6 지점, 대산 2~9 지점, 동해 2 지점 등에서 시료를 채취하여 분석하였다. 정점별로 2~4 시간 동안 약 100 ml/min의 유속으로 주변 대기를 Carbotrap으로 통과시킴으로써 흡착체에 휘발성유기화합물이 포집되도록 하였다. 시료 채취가 끝난 흡착관은 양쪽 관을 파라필름을 이용하여 막은 뒤 스크류 마개가 달린 유리관에 넣어 밀봉·보관하였다. 시료 채취 후 2 주일 내에 열탈착법을 이용해 흡착관에 포집된 BTEX를 GC로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

Benzene의 경우 전 계절에 걸쳐 서울 1.5~8.2 ppb, 울산 0.2~5.6 ppb, 대산 trace~4.2 ppb, 동해 0.4~4.8 ppb 사이에서 변화하였으며 중간값을 기준으로 서울, 울산, 동해, 대산 순으로 낮은 분포를 나타내었다(그림 1). 해안가에 가까워 청정지역에 해당될 것으로 생각되었던 동해의 경우, 바닷가 정점과는 달리 동해시 정점에서는 서울이나 울산과 유사한 분포를 보였다. 서울의 Toluene은 2.7~15.3 ppb, 울산은 0.2~13.8 ppb, 대산은 0.1~13.5 ppb, 동해는 0.4~5.9 ppb의 분포로서 조사된 항목 중에서 가장 높은 농도를 나타내었다. Benzene과 마찬가지로 중간값을 기준으로 Toluene 분포를 볼 때, 서울, 울산, 동해, 대산 순으로 낮았다. Ethylbenzene의 농도변화는 서울에서 0.3~2.5 ppb, 울산에서 0.1~2.4 ppb, 대산에서 trace~2.2 ppb, 동해에서 trace~1.9 ppb 사이에 분포하였다. 전계절에 걸쳐 모든 조사대상 도시에서 3 ppb 미만의 낮은 농도범위를 보여 주었다. m,p-Xylene은 서울에서 0.2~7.2 ppb, 울산에서 trace~7.2 ppb, 대산에서 trace~4.9 ppb, 동해에서 0.3~1.8 ppb 사이에서 각각 분포하였다. m,p-Xylene은 대체로 서울, 울산, 대산, 동해 순으로 낮은 농도분포를 보였다. 서울에서 관측된 o-Xylene의 농도는 trace~2 ppb, 울산 trace~3.6 ppb, 대산 trace~2 ppb, 동해 trace~2 ppb에서 각각 변화하였다. 전체적으로 Ethylbenzene과 유사한 농도범위로서 관측 항목 중에서 비교적 낮은 분포를 보였다. 다른 항목과는 달리 서울, 대산, 동해 등은 유사하게 낮은 범위에서 분포하였던데 반해 울산에서 상대적으로 높은 분포를 나타내었다.

본 연구에서 얻어진 각 계절별 관측값을 대표하는 Benzene, Toluene, Ethylbenzene의 중간값을 몇몇 국가의 도시에서 관측된 값과 비교해 보면(표 1), 측정방식에 따른 차이를 고려할 때 우리 나라의 경우 미국의 도시에서 나타나는 농도 범위와 유사하다고 볼 수 있고 이탈리아에 비해서는 비교적 청정한 상태를 알 수 있다.

Table 1. Comparison of Benzene, Toluene, and Ethylbenzene distribution for selected countries

Country \ VOCs (ppb)	U.S.A.	Australia	Canada	Italy	Korea			
	(15 cities)	(Sydney)	(Edmonton)	(3 cities)	Seoul	Ulsan	Taesan	Donghae
Benzene	1~9	2.6	1.1	1.4~12	2.1~4.8	1.0~3.9	0.2~1.3	1.2~2.7
Toluene	1~17	8.9	1.2	0.5~26	6.0~11.9	1.8~6.7	0.4~5.1	1.0~4.6
Ethylbenzene	0.3~1.9 (5 cities)	1.3	-	0.06~3.9	0.7~1.1	0.4~1.0	0.05~0.7	0.08~0.7

조사가 이루어진 도시에서 조사 시기별 BTEX의 농도변화를 보면(그림 1), 대산과 동해에 비해 서울과 울산에서 상대적으로 높은 BTEX 분포를 나타내었다. 한 가지 특기할 점은 모든 도시에서 97년 11월에서부터 98년 10월까지 시간이 가면서 점진적으로 농도가 감소하는 양상이 뚜렷이 관측되었다.

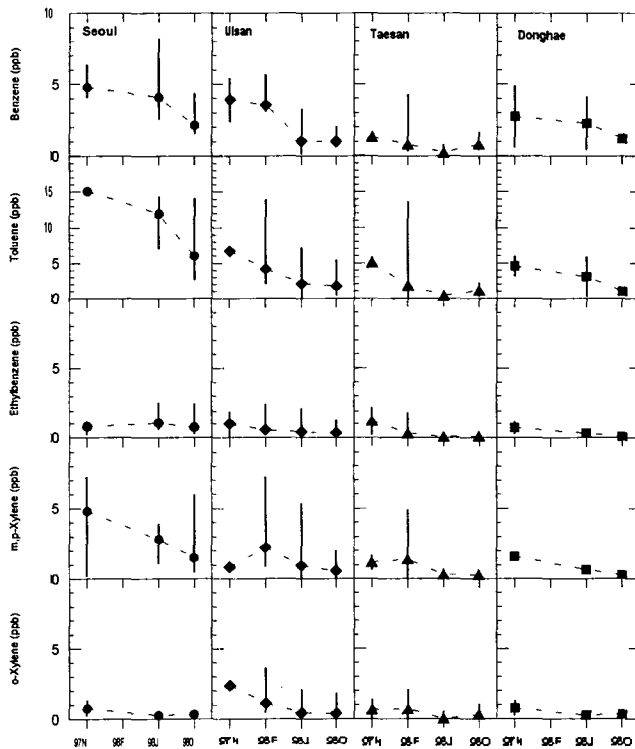


Fig. 1. Time variations of VOCs by regions (Seoul ●, Ulsan ◆, Taesan ▲, Donghae ■)

각 조사별로 Benzene과 Toluene의 성분 다이어그램을 그림 2에 나타내었는데 측정값이 분산되어 있기는 하지만 산업특성이 전혀 다른 도시들간에 뚜렷한 일차직선형 관계를 보이고 있는 것이 특이하다. 또한 직선의 기울기는 시간 순으로 0.376, 0.386, 0.430, 0.369로서 조사 시기에 관계없이 서로 유사한 범위에 놓여 있다. Benzene과 Toluene의 배출원이 같다면 성분 다이어그램은 일차직선형을 이루게 되므로 우리 나라의 도시에서 나타나는 Benzene과 Toluene의 분포는 동일한 요인의 작용에 의해 결정되는 것으로 생각할 수 있다. 이탈리아의 밀라노에서 수행된 Benzene과 Toluene의 분포에 대한 연구에 의하면 (Palmgren, 1996), 이 지역의 Benzene과 Toluene 성분 다이어그램 역시 일차직선형 관계를 이루는데 그 기울기는 약 0.3이고 이는 가솔린에 함유된 성분비와 일치하는 것이라고 하였다. 이로 볼 때, 대도시인 서울과 제조산업이 발달한 울산, 일부 석유화학단지를 제외하고는 전원도시에 가까운 대산, 바닷가에 위

치한 동해 등 오염배출원의 성격이 다른 도시간에 Benzene과 Toluene의 성분 다이어그램이 직선형을 이루는 것은 각 도시간에 공통적으로 작용하는 배출원인 차량운행이 우리 나라 도시 대기에서의 Benzene 및 Toluene의 분포를 결정하는데 중요하게 기여한 결과로 판단된다. 따라서 앞서 보인 그림 1에서처럼 청정도시인 동해에서도 차량운행이 있는 도심에서는 비교적 높은 농도로 Benzene과 Toluene이 관측된 것으로 보이며 시간에 따라 BTEX의 농도가 전반적으로 감소하는 경향을 보인 것도 금융위기로 야기된 산업활동의 위축과 함께 차량운행이 감소하였기 때문인 것으로 사료된다. 조사 기간 전체 자료를 이용해 도시한 Toluene에 대한 각 성분의 다이어그램을 보아도 비교적 좋은 선형관계를 보여($r^2 > 0.7$) 앞서의 추론을 뒷받침하고 있다.

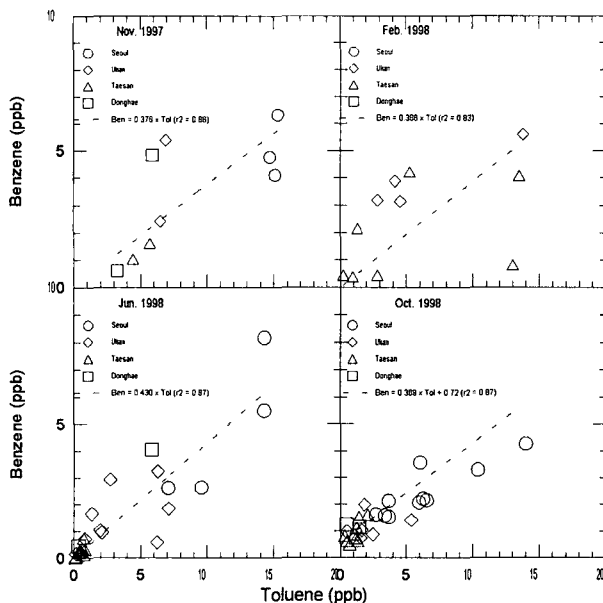


Fig. 2. Benzene vs Toluene diagram of sampling time

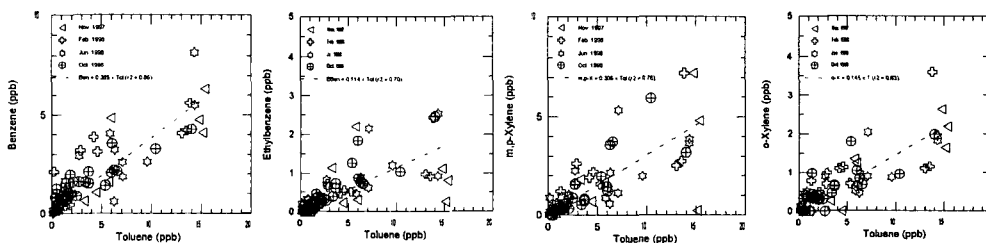


Fig. 3. Benzene, Ethylbenzene, m,p-Xylene, o-Xylene vs Toluene diagrams of whole sampling times (Nov. 97 \triangle , Feb. 98 \oplus , Jun. 98 \star , Oct. 98 \oplus ; Correlation coefficient, r^2 is also presented in legend.)

참 고 문 헌

- Palmgren, F (1996) Design and planning of field campaigns, in *Urban Air Pollution*. Edited by I. Allegrini and F. D. Santis, Springer-Verlag, Berlin, 77-99.
- 김조천, 이강웅, 허귀석, 이병규, 김기현 (1998) 서울시 환경대기 중 휘발성유기화합물의 동시측정 비교 연구, 한국대기보전학회 추계학술대회 발표논문집, 250-252.