

방향족 유기화합물의 농도를 이용한 흡연자와 금연자의 호흡공기 조성 비교

김기현* · 임문순 · 최여진 · 홍윤정 · 이진홍¹

세종대 지구환경과학과

¹충남대학교 환경공학과

(2005. 7. 21 접수, 2005. 9. 26 승인)

Comparison of breathing air samples between smoker and non-smoker by means of aromatic volatile organic compounds (VOC)

K.-H. Kim*, M.-S. Im, Y.-J. Choi, Y.-J. Hong and J.-H. Lee

Dept. of Earth & Environmental Sciences, Sejong University

¹*Dept. of Environmental Engineering, Chungnam National University*

(Received July 21, 2005, Accepted September 26, 2005)

요 약 : 환경흡연 (Environmental Tobacco Smoking)의 폐해를 평가하기 위해, 금연을 결심한 사람들을 대상으로 정하여 주요 방향족 VOC 성분의 농도를 측정하였다. 금연 전후의 호흡시료를 확보하여, BTEX 성분의 농도를 관측하였다. 그 결과 호흡시료에 함유된 VOC는 금연 전과 후에 확연한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 금연 전후 톨루엔 성분이 단일 성분으로 가장 높게 나타났다. 그러나 저감효과는 금연 전 4.8에서 금연 후 0.46 ppb 수준으로 줄어든 벤젠 성분에서 가장 두드러지게 나타났다. 금연 후 시료의 농도는 비흡연자들의 호흡에서 발견되는 농도와 차이가 두드러지지 않았다. 전체적인 연구결과를 평가하였을 때, 본 연구에서 사용한 BTEX와 같은 성분들의 농도변화는 흡연과 금연의 단계를 평가하는 하나의 지표성분으로 활용가능하다는 것을 시사하였다.

Abstract : In order to evaluate the hazardous effects of environmental tobacco smoking (ETS), we measured the concentrations of major aromatic VOC from those who decided to participate in a program to quit smoking. By acquiring the air samples both before and after quitting smoking (QS), we were able to compare their BTEX concentration levels in their breathing air. The results of our study clearly showed that BTEX levels in respiring air samples were significantly high prior to the QS period. It was found that toluene maintained the highest concentration levels both before and after the QS period. However, the level of reduction was most significant in the case of benzene, as it was decreased 10 times from 4.8 to 0.46 ppb. When their reduced BTEX levels are compared to those who never smoked before, differences were not significant enough to distinguish in statistical terms. The overall results of this preliminary study suggest that BTEX levels in breathing air samples can be used as one of the most sensitive signals to judge the effect of QS.

Key words : ETS, aromatic VOC, aldehydes, body deposition

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)2-499-9151 Fax : +82-(0)2-499-2354

E-mail: khkim@sejong.ac.kr

1. 서 론

흡연의 폐해가 심각하다는 것을 잘 이해하고 있음에도 불구하고, 많은 사람들이 금연을 실행하는데 여러 가지 어려움을 경험하는 것을 볼 수 있다. 우리 나라의 경우, 유럽 선진국들이나 주변 아시아국가들에 비해서도 건물내부에서의 금연, 주요 공공장소에서의 금연 등을 실행함으로써, 이러한 여건을 조성하기 위한 사회적 규제가 강하게 추진하고 있다. 이를 보다 효과적으로 추진하기 위해서는 교육이나 홍보매체를 통해 흡연의 피해에 대한 기본적인 정보를 잘 취득하였음에도 쉽게 금연을 하지 못하는 집단에 대한 대책을 제시하는 것이 중요하다.¹ 이러한 측면을 감안하면, 향후 금연을 유도하기 위한 노력이 보다 더 과학적이고 체계적인 방향으로 추진되어야 한다는 점을 유념하여야 할 것이다.

본 연구에서는 흡연의 폐해를 이해시키기 위한 노력의 일환으로 흡연과 연관된 휘발성 유기화합물(VOC)의 배출특성을 정의하기 위해 다각도로 연구를 진행하였다. 선행연구에서는 담배 연기를 체내 흡입 후 배기 시점에 체외 배출 공기 중 VOC 성분의 잔류 농도변화를 비교하였다.² 그 결과, 흡연에 의해 체내로 유입되는 VOC의 99% 이상이 인체에 의해 제거된다는 것을 확인하였다. 결과적으로 체외로 배출되는 공기 중에는 VOC의 농도가 1% 미만으로 존재한다는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구에서는 흡연과 연계된 후속 연구의 일환으로 다음과 같은 관점에서 다음과 같은 예비연구를 수행하였다. 금연을 실행하고자 하는 흡연자들을 선발한 후, 이들 흡연자들이 금연을 시행하기 직전 시점과 금연을 시행한 4주 후 시점을 대상으로 호흡공기 중 주요 VOC 성분들의 농도분포를 비교하였다. 그리고 이러한 금연 실험에 참가한 대상자들과 근본적인 비흡연자들의 호흡공기 시료를 채취하여 VOC 성분에 대한 비교 분석을 시도하였다. 이를 토대로 호흡공기에 함유된 주요 흡연성분들이 금연에 의해 어떻게 영향을 받는가를 체계적으로 비교하고자 하였다.

Table 1. A list of VOC pollutants investigated in this study

Short Name	Molec. Mass	Formula	Name
B	78	C ₆ H ₆	Benzene
T	92	C ₇ H ₈	Toluene
E	106	C ₈ H ₁₀	Ethylbenzene
MPX	106	C ₈ H ₁₀	m,p-Xylene
OX	106	C ₈ H ₁₀	o-Xylene



Fig. 1. The collection of ETS sampling using the lung vacuum sampler.

2. 연구방법

흡연과 관련된 성분들 중 주요 성분으로 방향족 VOC 성분들을 들 수 있다.³ 본 연구에서는 Table 1에 제시된 바와 같이, 흡연과 관련된 성분들 중 주요 방향족 VOC 성분인 benzene, toluene, ethylbenzene, xylene (이들을 총합하여 BTEX라 호칭 함)를 주 분석 대상으로 설정하였다. 담배연기에 함유된 이들 성분들은 테들러 백을 이용한 용기방식으로 시료를 채취하였다(Fig. 1). 그리고 이들 성분에 대한 분석은 FID를 장착한 일반적인 GC 분석법을 사용하였다.⁴

호흡공기 중에 함유된 VOC 성분을 분석할 시료는 실험 참가자들이 호흡공기를 테플론관으로 연결시킨 테들러 백에 직접 주입하는 방식으로 채취하였다. 채취된 시료는 곧바로 분석하는 것을 원칙으로 하였다. 이들 성분의 분석은 본 연구진이 선행연구에서 활용한 것과 같이 GC-FID(Model DS 6200, Donam Instrument, Korea)와 열탈착 전용기(Markes International Ltd., UK)를 조합한 극미량 분석채취시스템을 활용하였다. 테들러 백

Table 2. Comparison of BTEX concentration levels between before and after quitting smoking (unit : ppb)

ppb	B	T	E	MPX	OX
[1] Measurements prior to quitting smoking (25 April 2005)					
S1	5.205	7.140	0.523	0.498	0.258
S2	3.701	9.824	0.994	0.854	0.467
S3	6.698	10.384	1.195	1.012	0.541
S4	3.201	6.948	0.783	0.708	0.377
S5	2.423	8.052	1.076	1.009	0.600
S6	7.772	13.236	3.401	3.005	1.743
AVG	4.833	9.264	1.329	1.181	0.664
[2] Four weeks after quitting smoking (23 May 2005)					
S1	0.329	2.545	0.269	0.256	0.151
S2*	-	-	-	-	-
S3	0.373	2.621	0.300	0.307	0.159
S4	0.295	2.373	0.366	0.414	0.255
S5	0.370	2.769	0.392	0.451	0.159
S6	0.916	7.511	1.646	1.665	1.046
AVG	0.457	3.564	0.595	0.619	0.354
*One participant missing the second round of the experiment					
[3] Original non-smokers (23 May 2005)					
Non smoker1	0.238	1.819	0.235	0.296	0.156
Non smoker2	0.445	3.536	0.338	0.313	0.192
Non smoker3	0.353	3.343	0.781	0.793	0.522
AVG	0.345	2.899	0.451	0.467	0.290
[4] Results of t-test to evaluate the differences between data groups.					
P (t-test)	B	T	E	MPX	OX
[1] vs [2]	0.004*	0.003*	0.180	0.252	0.299
[2] vs [3]	0.427	0.578	0.663	0.643	0.770

*denotes that differences are significant at 90% confidence interval.

에 담긴 회석 시료는 전술한 열탈착 전용기 내부에 장착된 흡입펌프와 MFC(mass flow controller)를 통해 일정한 유량(80 ml/min)으로 5분 정도 열탈착 전용기 내부로 주입시켰다 (총 분석 유량은 400 ml 수준). 주입된 시료는 펠티어 쿨러에 의해 -10°C로 유지되는 조건에서 cold trap을 통해 저온농축(cryo-focusing) 시켰다. 이렇게 농축된 시료는 열탈착 과정(320°C에서 10분간)을 거친 후, GC(gas chromatography) column (DB-1, 60 m×0.32

mm×1.8 μm, SGE사 제조) 으로 주입시켜 최종적인 성분 분석을 수행하였다. 이때 GC의 oven 조건은 초기온도 50°C에서 5분간 유지한 후 6°C/min으로 230°C까지 가열시켜 최종온도에서 5분 동안 유지하도록 하였다. GC 분석을 위한 가스는 다음의 조건으로 사용하였다: H₂=30; N₂(Makeup gas)=30; Air=300 ml/min.

본 연구에서 방향족 성분들의 검량은 gravimetric 방식으로 준비한 표준 시료(EPA Volatile Organic

Compounds Mix2, Supelco, US)를 기화시킨 후 작업용 표준가스로 사용하였다. 작업용 표준가스의 제조방법은 다음과 같다. 200 ng으로 준비된 표준 시료를 1 L 부피 플라스크에 일정량 주입하여 밀봉하였다. 그리고 이를 60°C에서 30분 가량 유지하여 시료가 기화되도록 하였다. 기화된 표준가스를 다시 Tedlar bag에 일정량 주입하고 N₂가스로 희석하여 작업용 표준가스를 만든다. 이렇게 만들어진 표준가스는 주입량을 다르게 하여 3개 농도 (10, 20, 40 ng)대에서 반복적으로 주입시키고 분석하여, 검량선을 확보하였다. 이와 같은 반복분석의 결과로부터 상대표준오차를 산출하면, 정밀도는 약 9% 이하를 유지하는 것으로 나타났다. 본 분석시스템의 정확도는 TO-14 표준가스 등을 이용하여 비교 분석한 결과, 5% 내외로 확인되었다. 절대량을 기준으로 할 때, 본 연구에 활용한 GC-FID 시스템은 benzene을 기준으로 대략 0.1 ng 수준의 검출한계를 유지하였다.

3. 결과 및 토론

3.1. 흡연자의 금연 전후 농도 비교

Table 2의 [1], [2]에 제시된 바와 같이 최초의 실험은 6인의 지원자를 대상으로 시작하였다. 금연효과를 보기 위한 실험에 참여한 6인의 참여자들은 30-40대의 흡연자들을 중심으로 구성하였다. 그런데 표에 제시된 바와 같이, 비교 대상자의 수에 조그만 변화가 불가피하였다. 금연을 시작한 4주 후 시점의 측정에서, 이들 참가자 중 한 명의 중도탈락으로 인해, 한 명의 비교대상이 빠진 상태인 5인을 대상으로 금연효과와 비교를 종료하였다.

Table 2에 제시한 분석결과를 보면, 금연에 따른 호흡공기의 VOC 성분변화 경향은 다음과 같았다. [1] 가장 우선적으로, 금연을 시작하기 전 시점을 기준으로 보면, BTEX 성분 중에서 톨루엔이 9.26 ppb 수준으로 가장 높게 나타난다. 그 뒤를, 벤젠, 에틸벤젠, 자일렌의 순서로 절대농도가 감소하는 경향이 나타난다. [2] 4주간 금연을 한 시점에는 톨루엔의 농도가 3.56 ppb로 3배 가까이 감소한 것으로 나타났다. 그러나 이와 같이 현저한 저감에도 불구하고, 여전히 톨루엔이 가장 큰 농도를 보였다. 이를 제외한 타성분들의 경우, 차이가 뚜렷하게 드러나지 않을 정도로 유사한 범위내에서 저감된 것으로 나타났다. [3] 상대적인 농도감소비를 기준으로 볼 때, 벤젠의 저감이 10배 이상 이루어지는 것으로 나타나, 모든 비교 대상 성분들 중에서 농도 저감 효과가 가장 뚜렷하게 나타났다. [4] 그리고 그 외에 또 한 가지 주목할 사실은 흡연자들간의 경향을 비교하는 데

서도 발견할 수 있었다. 금연효과 실험에 참여한 모든 사람들 중에서 참여자 6번의 경우, 평소 일평균 흡연량이 담배 2-3갑에 달해서, 다른 모든 참여자들의 1-2갑에 비해 뚜렷하게 차이가 나는 대상에 해당한다. 이 참여자의 경우, 다른 참여자들과 같이 상대적인 감소효과가 뚜렷하게 나타나지만, 그 절대 농도의 크기는 다른 참여자들과 두드러지게 차이가 나타나는 수준이 금연 실험 전후에도 비교적 강하게 유지된다는 점을 들 수 있다. 금연에 따른 호흡공기 중 BTEX 성분의 농도변화에 대한 유의성을 Table 2하단에 통계적으로 검정한 결과를 제시하였다. 실험 후기에 참여자가 한 사람 빠졌다는 점을 감안하여, 단순히 최종적으로 남은 5인의 전후 기간 자료를 짝비교하는 대신, 실험전후의 농도 전체를 묶어서 기본적인 t-test로 비교해 보았다. 90%의 유의수준에서 이 자료를 평가하면, 금연 전후에 나타나는 벤젠과 톨루엔의 농도변화는 통계적으로 유의한 수준이라는 결론을 내릴 수 있다. 그러나 기타 성분들의 경우, 통계적으로 유의성을 찾을 수 없다.

3.2. 금연참가 후 시점의 호흡시료에 대비한 비흡연자 호흡시료의 비교

Table 2의 [3] 부분은 상기 [2] 실험이 시도되는 시점에 원래부터 흡연을 하지 않는 3인을 택하여 호흡시료를 확보하고, 이 시료에 함유된 BTEX 성분을 분석한 결과이다. 금연을 시도한 4주 후의 분석결과와 비흡연자 3인의 호흡시료를 분석한 결과를 보면, 다음과 같은 경향이 나타난다. 일단 금연 4주 후의 경향은 위에서 설명한 바 있으므로, 비흡연자의 결과는 다음과 같이 평가할 수 있다. 비흡연자의 경우에도 BTEX 성분이 호흡 중에 적정 수준 존재한다는 사실이다. 특히 이들 중에서 톨루엔 성분의 농도는 2.9 ppb 수준으로서 타성분에 비해 가장 두드러진다. 톨루엔을 제외한 성분들의 평균 농도는 모두 0.2에서 0.5 ppb 수준의 농도로서, 톨루엔에 대비하여 약 10배 낮은 수준으로 나타난다. 금연자의 호흡시료와 원래 비흡연자인 사람들의 호흡시료를 비교한 [2]와 [3] 그룹의 자료를 단순하게 보면, 모든 결과에서 예외없이 전자의 평균치가 후자의 평균치보다 약간 더 큰 것으로 나타났다. 이러한 결과를 보다 의미 있게 해석하기 위해, 이들 결과를 다시 t-test를 이용하여 검정해 보았다. 그 결과를 보면, 모든 개별 성분들에서 유의성을 확인할 수 없다는 것으로 나타났다. 결과적으로 적정 시간 동안 금연을 실행할 경우, 호흡공기 중에 함유된 BTEX 성분들의 농도는 비교적 빠른 속도로 저감될 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 담배흡연과 관련된 여러 가지 문제점들을 평가하기 위한 기본적인 자료를 확보하기 위한 방안의 하나로, 금연 전후 시점에 호흡공기 중에 함유된 BTEX 성분의 농도분포를 비교하였다. 본 연구의 결과, 흡연자들의 호흡에는 평균 수 ppb 이상의 농도로 BTEX가 함유된 것을 확인할 수 있었다. 이 중에서도 톨루엔의 농도가 10 ppb에 근접하는 가장 큰 농도로 나타났다. 그의 성분들은 수 ppb 수준으로 훨씬 낮게 나타났다. 금연 후 시점에는 이들의 농도가 현저하게 저감되는 것이 모든 참여자들로부터 뚜렷하게 확인되었다. 금연 후 시점에 호흡공기의 농도는 비흡연자들을 대상으로 조사한 결과보다 조금 더 크게 나타났지만, 그러한 차이에 대한 통계적인 유의성은 발견할 수 없었다. 이러한 연구의 결과에 의하면, 호흡공기에 함유된 BTEX의 농도변화와 같은 금연의 효과는 비교적 빠르게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 흡연자들의 경우, 지속적인 흡연을 통해 구강내부에 적정 수준 이상으로 VOC 성분들의 농도를 체내로 유입시켜 주기 때문에 항상 비흡연자들에 비해 높은 농도를 유지한다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 BTEX 성분들에 대한 농도분석 결과에 의하면, BTEX 성분들의 농도변화는 금연을 시행할 경우, 나타나는 여러 가지 변화 중에서 가장 민감

한 인자의 하나로 활용할 수 있다.

감사의 글

본 연구의 결과는 KBS 1 방송국의 생로병사 (2005. 5. 31) 프로그램의 일부로 방영되었다. 본 연구결과를 확보할 수 있게 자발적으로 금연 프로그램에 참가한 참가자들에게 심심한 감사의 말씀을 드리고자 한다. 본 연구의 일부는 학술진흥재단의 선도과학자 연구사업 (KRF 2005-201-C00045)의 지원으로 이루어졌습니다.

참고문헌

1. R. A. Jenkins, M. R. Guerin, B. A. Tomkins, *The Chemistry of Environmental Tobacco Smoke: Composition and Measurement*. 2nd ed., Lewis Pub., **467** (2000).
2. 김기현, 최여진, 홍윤정, 양혜순, 이진홍, 이용기, *분석과학*, **17**(5), 410(2004).
3. S. O. Baek and R.A. Jenkins, *Atmospheric Environment*, **38**, 6583(2004).
4. 김기현, 김민영, 선우영, 오상인, 최여진, *서울도시연구*, **5**(3), 99(2004b).