

휘발성 유기물질에 대한 차량 탑승시 노출 In-Vehicle Exposure to Volatile Organic Compounds

조 완 근

경북대학교 환경공학과

(1995년 8월 4일 접수, 1996년 3월 25일 채택)

Wan-Kuen Jo

*Department of Environmental Engineering,
Kyungpook National University*

(Received 4 August 1995; accepted 25 March 1996)

Abstract

Vehicle occupant exposure to volatile organic compounds (VOCs) continues to be the subject of active research because of higher levels of VOCs in vehicles than in the surrounding ambient atmosphere and because of potential health risk. This study identified in-auto and in-bus exposures to 6 selected aromatic VOCs during rush-hour driving. A bus service route was selected to include an urban route (Taegu) and a suburban route (Hayang-Up) to satisfy the specified criteria of this study. The most abundant VOC concentration measured in this study was toluene. In-vehicle target VOC concentrations of the urban route were significantly different from those of the suburban segment. On the sum of average of the target VOCs, in-auto VOC concentration was about 1.5 times higher than in-bus VOC concentration. Based on the sum of average, in-automobile target VOC concentrations of this study were within the range of previous studies conducted in several cities of the United States, while in-bus VOC concentrations of this study were much lower than those of Taipei in Taiwan. In-vehicle VOC concentrations of present study significantly varied with sampling days, while they did not varied with driving period.

1. 서 론

휘발성 유기 물질 (volatile organic compounds, VOCs)은 일반 대기보다 차량 내에서 높은 농도로 존재하고, 또한 이들 VOCs에 의한 건강 위해성 때문에 차량 탑승시 야기되는 VOCs 노출에 관한 연구가 최근 활발히 수행되고 있다. 미국의 환경보호국(Environmental Protection Agency, EPA)의 Total Exposure Assessment Methodology (TEAM) Study에서는 VOCs에 대한 개인 노출은 차량의 사용과 밀접한 관계

가 있는 것으로 보고하였다 (Wallace, 1987). 최근의 차량 사용과 관련한 VOCs 노출에 대한 국외 연구들은 휘발유 사용과 관련이 없는 일상 활동에 비해, 출퇴근시 차량 내에서 5 내지 24 종류 VOCs의 상승된 농도에 노출이 되고 이로 인한 개인의 건강 위해도가 증가된다고 주장하였다 (Chan *et al.*, 1993; Weisel *et al.*, 1992; Wixtrom and Brown, 1992; Bevan *et al.*, 1991; Chan *et al.*, 1991b; Chan *et al.*, 1991a; SCAQMD, 1989). 또한 이들 국외 연구들에 근거하면 차량 운전시 배출되는 미연소 및 연소 생성물 그리고 차량에서의 휘발유 증발로 인해 도로에서의

VOCs 농도는 일반 대기 농도보다 높아지고, 이렇게 VOCs로 오염된 도로상의 공기가 차량 내로 침투하기 때문에 차량 내의 VOCs 농도가 증가된다.

VOCs 중에 benzene, toluene, ethyl benzene, and xylenes (BTEX)와 같은 방향족 화합물들은 다른 VOCs에 비해 차량 내부 농도가 높을 뿐만 아니라 독성도 더욱 강하기 때문에 차량 내부 VOCs 노출과 관련하여 많은 주목을 받고 있다. 독성학적으로는 benzene 노출로부터 백혈병 유발을 포함하여 이들 방향족 VOCs는 암을 유발시키거나 암을 유발시킬 수 있는 오염물질로 분류되고 있다(U.S. EPA, 1990; Tancrede *et al.*, 1987). 다른 VOCs에 비해 차량 내부 상승된 방향족 VOCs 농도는 과거의 국외 연구에서 확인이 되었다(Chan *et al.*, 1993; King, 1992; Lioy, 1992; Weisel *et al.*, 1992; Chan *et al.* 1991a; Black and High, 1980). 차량 내부 높은 농도의 방향족 VOCs는 자동차 연료인 휘발유의 방향족 VOCs 함량을 이용하여 부분적으로 설명된다. 과거 anti-knocking을 위해서 tetraethyl lead ((C₂H₅)₄Pb)를 휘발유에 첨가하였으나 이로 인해 납이 배기가스와 함께 자동차로부터 배출되고 이로 인한 대기의 납 오염 문제가 인식됨으로서 무연 휘발유 사용이 의무화되었다. 최근 Knocking 현상을 줄이고 옥탄가를 증가시키기 위해서 정유 회사에서는 Tetraethyl Lead의 사용 대신에 휘발유의 방향족 화합물 함량을 증가시키고 있다. 1980년에는 미국의 무연 휘발유의 방향족 화합물 함량이 22%였던 반면에, 최근에는 33%에 달하고 있다(Unzelman, 1990). 국내의 경우, 과거 자료는 이용할 수 없고 1993년에 국내 무연 휘발유의 방향족 화합물 함량은 30에서 40% 사이였다(대한석유협회, 1994). 따라서, 미국과 국내의 무연 휘발유간의 유사한 방향족 화합물의 함량을 고려할 때 국내에서도 차량 탑승시 방향족 VOCs에 높은 농도로 노출될 수 있음을 가정할 수 있고

이러한 가정을 확인하기 위해서는 실측 자료가 요구된다. 는 점에서 이에 대한 연구 수행의 필요성이 인식된다.

차량 내부의 방향족 VOCs에 대한 노출과 관련하여 교통 체증이 가장 심한 시간대는 출퇴근 시간이며 대구 광역시에서의 출퇴근시 주요 교통 수단인 버스(49.5%), 자가용(27%), 보행(11%) 및 기타(12.5%)이다(MBC-TV, 대구 지방방송국). 본 연구에서는 대구 광역시의 가장 주요한 두개의 교통 수단인 버스와 승용차를 이용할 때 탑승자가 방향족 VOCs에 노출되는 정도를 평가하기 위해서 도시와 전원지역을 연결하는 하나의 버스 노선을 따라 출퇴근 시간 동안에 버스와 승용차 내부의 VOCs 농도를 측정하였다.

2. 방 법

2.1 실험 고안

대구 광역시와 전원 지역인 하양읍을 연결하는 대구 좌석 버스-#312의 노선을 따라 출퇴근시 승용차와 버스 내에서 방향족 VOCs의 농도를 측정하는 일련의 실험이 고안되었다. 실험을 위한 버스 노선은 1) 도시와 전원 지역을 연결하고, 2) 출퇴근시 교통 체증이 심하며, 3) 통근 학생들의 방향족 VOCs 노출을 평가하기 위해서 학생들의 통근 노선을 대표할 수 있도록 선정되었다. 통근 학생의 노출 평가를 위해서 전원 지역인 하양읍이 선정되었는데 하양읍에는 대구 가톨릭대학교, 경북 산업대학교 및 대구 대학교의 3개 종합대학교와 경동전문대학교 그리고 대경전문대학교의 2개 전문대학이 인접해 있다. 위의 세 조건을 만족하는 실험 대상 노선은 대구 광역시에서 하양읍으로 통근 또는 출퇴근시 이용되고 경부고속도로의 동대구 출입구로 연결되면서 출퇴근 시간대에 상습적으로 교통 체증이 야기되는 도로로서 출근시는 대구 광역시의 동구에 위치한 동부 버스 정류장을 출발점으로 하고 하양읍에 위치한 대학들의 중심에 위치한 대구 가

Table 1. VOC mean concentrations in-passenger cars and in-buses in an urban (Taegu) and suburban (Hayang).

Compound	Concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)							
	In-Passenger Car				In-Bus			
	Taegu (n=33)		Hayang (n=33)		Taegu (n=35)		Hayang (n=33)	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Benzene	30.1	16.2	18.3	10.2	18.1	11.3	11.7	7.4
Toluene	98.3	70.0	62.0	41.6	63.9	58.4	36.5	39.2
Ethyl Benzene	8.8	6.0	5.3	2.8	6.8	5.4	3.6	2.1
m,p-Xylene	28.5	18.2	18.6	9.6	23.4	15.1	12.5	7.2
O-Xylene	22.2	16.6	13.1	7.4	16.3	12.0	9.5	6.0
Sum of 6 VOCs	187.9		117.3		128.5		73.8	

톨릭대학교를 종점으로 하는 한 개의 노선이고, 퇴근 시는 역으로 대상 노선이 선정되었다. 도시 노선과 전원 지역 노선 상에서의 통근자 및 통학 대학생들의 방향족 VOCs에 대한 노출을 구분하여 평가하기 위해서 도시 노선은 동부 정류장과 대구 광역시-하양읍의 경계 지점 사이, 9.5 km, 그리고 전원 지역 노선은 대구 광역시-하양읍의 경계 지점과 대구 효성가톨릭대학교 사이, 8.5 km로 구분하였다.

본 실험을 위해서 차량 모델, 연료의 종류 및 차량 환기 조건의 세 개 실험 변수를 고려하였다. 승용차 모델에 따른 환기 메커니즘 (ventilation mechanism) 차이를 승용차 내부의 VOC 농도에 미치는 영향을 줄이기 위해서 동일 모델의 승용차 두 대 (Hyundai Excel, 1990 Model)를 이용하였다. 한편, 실험에 이용된 버스는 통제할 수 없었기 때문에 무작위로 선정되었다. 정유 회사에 따른 휘발유의 구성 성분비의 차이로 인해 야기될 수 있는 복합 요소 (confounding factor)의 영향을 제거하기 위해서 하나의 정유 회사의 휘발유가 사용되었다. 차량 환기는, 승용차의 경우에는 탑승자가 편안

하게 느끼게끔 조절되었고, 버스의 경우에는 운전자가 편안하게 느끼게끔 조절되었다고 가정하였다.

승용차와 버스에서의 시료 채취는 1994년 11월 22에서 1994년 12월 22일 사이에 아침 출근 시간 (7:00~9:00)과 저녁 퇴근 시간 (5:00~7:30)에 이루어졌다. 승용차는 버스의 출발점에서 동시에 출발하였고 가능한 버스와 유사한 시간에 도착되도록 조절되었다. 매 시료채취시 차량 내부에서의 시료 채취 지점은 승용차의 경우 전위 승객 좌석의 호흡 영역, 그리고 버스의 경우 버스 중간 좌석에서 탑승객의 호흡 영역으로 통일되었다. 한 개 차량에 대하여 일회 주행시 도시 노선과 전원 지역 노선에서 각각 한 개씩의 시료가 채취되었다. 시료 채취 기간은 낮은 대기 온도로 인해 차량 배기량이 증가하는 겨울 (Bruetsch, 1981)을 포함하면서 학생들의 통근시 방향족 VOCs 노출 평가를 위해서 겨울방학 이전까지로 선정하였다.

2.2 시료 채취

여섯 종류의 방향족 VOCs를 위한 공기 시료는 승용

Table 2. Mean concentrations of in-passenger car and in-bus VOCs for morning (7:00~9:00) and evening (5:00~7:30) commutes in an urban (Taegu).

Compound	Concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)							
	In-Passenger Car				In-Bus			
	Morning (n=17)		Evening (n=16)		Morning (n=18)		Evening (n=17)	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Benzene	25.6	17.9	30.8	14.7	20.9	13.9	15.1	7.1
Toluene	97.0	71.4	99.7	70.7	66.7	55.3	61.0	59.9
Ethyl Benzene	8.9	6.1	8.7	6.0	6.0	4.1	7.6	6.5
m,p-Xylene	31.5	18.9	25.3	17.6	21.8	14.1	25.1	16.4
o-Xylene	23.1	17.0	21.2	16.7	15.1	9.6	17.5	14.4
Sum of 6 VOCs	186.1		185.7		130.5		126.3	

Table 3. Mean concentrations of in-passenger car and in-bus VOCs for morning (7:00~9:00) and evening (5:00~7:30) commutes in a suburban (Hayang).

Compound	Concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)							
	In-Passenger Car				In-Bus			
	Morning (n=17)		Evening (n=16)		Morning (n=17)		Evening (n=16)	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Benzene	17.9	10.6	18.8	9.9	11.9	5.9	11.6	8.9
Toluene	57.1	36.0	67.1	47.5	34.6	30.2	38.6	47.9
Ethyl Benzene	5.4	3.0	5.2	2.8	3.5	2.1	3.6	2.2
m,p-Xylene	19.0	9.5	18.2	10.1	12.1	6.7	13.0	7.9
o-Xylene	13.8	7.5	12.3	7.5	8.7	4.6	10.3	7.4
Sum of 6 VOCs	113.2		121.6		70.8		77.1	

차와 버스 내부에서 개인 시료 채취기(Personal Air Sampler, AMTEK MG-4)를 이용하여 흡착 트랩(trap)을 통하여 Target 공기를 흡인함으로써 채취되었다. 사용된 트랩은 VOCs를 선택적으로 흡착할 수 있는 Tenax-GC adsorbent로 채워진 1/4 인치 외경과 4.4 인치 길이의 stainless steel tube이다. 도시 노선 상의 시료 채취를 위한 유량은 42에서 59 cc/min 범위이고 채취 부피는 0.8에서 3.3 리터 범위이었다. 한편 전원 지역 노선 상의 시료 채취를 위한 유량은 183에서 202 cc/min 범위이고 채취 부피는 1.4 에서 2.3 리터 범위이었다. 공기 시료 채취를 위해 이용된 유량과 부피는 분석 대상 방향족 VOCs에 대한 트랩의 분기점(breakthrough point)과 분석 기기의 감도(sensitivity)를 감안하여 선정되었다.

2.3 시료 분석

Tenax 트랩에 흡착된 여섯 개의 방향족 VOCs를 분석하기 위해서 EPA Method TO-1(Winberry *et al.*, 1988)을 응용하였다. 주요 분석 장치는 열탈착 장치(Thermal Desorbing System, TDS, Supelco Model 890)와 불꽃 이온화 검출기(Flame Ionization Detector, FID)가 장착된 기체크로마토그래프(Gas Chromatography, GC, Hewlett-Packard 5890A)로 구성된다. 사용된 GC column은 0.53 mm 외경과 30 m 길이의 VOCOL wide bore capillary column(Supelco Co.)이었다. GC 항온조에서의 온도 프로그래밍(programming)을 위해서 초기 항온조 온도를 35°C에서 8분간 유지시키다가 분당 4°C씩 상승하게 하여 최종 온도 200°C에서 3분 동안 머무르게 하였다. 분석 대상 방향족 VOCs의 안정적인 분석을 위해서 보유 시간(retention time)을 이용하였고 정량적인 분석을 위해서는 외부 표준법(external standard method)을 이용하여 농도와 peak Area의 관계를 나타내는 검정선을 이용하였다. m-xylene과 p-xylene의 경우 peak가 동일한 보유 시간대에 나타남으로서 농도 계산 시 각각에 대한 농도보다는 m,p-xylene의 합산 농도로 계산하였다. 열탈착 장치의 작동 조건은 다음과 같았다: 열탈착 온도는 200°C; 열탈착 시간은 9분; carrier gas(질소) 유량은 9 cc/min; transfer line 온도는 240°C; Valve 온도는 230°C.

2.4 분석 방법의 검증

분석 기기의 작동과 분석 절차의 검증을 위해서 실험실과 현장(field)의 공시료(blank sample) 그리고

외부 표준 물질이 이용되었다. 트랩의 전 처리와 보관 그리고 운송 중에 트랩의 오염을 확인하기 위해서 이용된 공시료를 분석한 결과에 근거하여 트랩의 외부 오염이 분석 결과에 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다. 매일의 분석 기기의 작동 여부와 기기 반응의 변화를 파악하기 위해서 이용된 외부 표준 물질의 분석 결과에 근거하여 두 개의 검정선이 이용되었다.

3. 결 과

출퇴근시 승용차와 버스의 내부 공기에서 측정된 VOCs 농도가 도시인 대구 노선과 전원 지역인 하양 노선으로 구분하여 표 1에 요약되었다. 측정된 6개 방향족 VOCs 중 가장 높은 농도로 나타난 것은 toluene이었다. 각 방향족 VOCs의 농도에 대하여 차량의 종류에 관계없이 하양 노선보다는 대구 노선에서 높고, 출퇴근 노선과 상관없이 버스 내부에서보다는 승용차 내부에서 높게 나타났다.

여섯개 방향족 VOCs 평균 농도의 합에 근거할 때 가장 높은 농도를 나타내는 출퇴근 조건은 대구 노선을 이용하여 승용차로 출퇴근할 때(187.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)이며, 다음이 버스를 이용하여 대구 노선으로 출퇴근시(128.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 그리고 승용차를 이용하여 하양 노선으로 출퇴근시(117.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 및 버스를 이용하여 하양 노선으로 출퇴근할 때(73.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)의 순서로 나타났다. 전체 노선에 대하여는 승용차를 이용할 때(305.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)가 버스를 이용하여 출퇴근할 때(202.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 약 1.5 배 높은 농도의 VOCs에 노출되는 것으로 계산되었다.

시료 채취 시간대에 따른 VOCs 농도 변화를 조사하기 위해서 아침 출근 시간대와 저녁 퇴근 시간대에 승용차와 버스의 내부에서 VOCs 농도가 측정되었고, 대구 노선에서의 해당 VOCs 농도가 표 2에 요약되었다. 승용차의 경우 아침 출근 시간의 6개 방향족 VOC 평균 농도의 합이 186.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 저녁 퇴근 시간의 185.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 유사하게 나타났다. 또한 버스의 경우도 아침 시간대의 6개 방향족 VOC 평균 농도의 합이 130.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고 저녁 퇴근 시간의 126.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 차이를 보이지 않았다.

한편 표 3에 요약된 하양 노선에서의 6개 방향족 VOCs 농도의 합은 승용차의 경우 아침 출근 시간대와 저녁 퇴근 시간대의 농도가 각각 113.2 및 121.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고 버스의 경우 각각 70.8 및 77.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 승용차와 버스 모두에서 아침 출근 시간대와 저녁 퇴근 시간대의 농도 사이에 통계적 유의성이 없는 것으로 나

타났다.

4. 고 찰

표 1에 나타난 표준편차와 평균 농도에 근거하여 계산된 VOC 농도의 변화율 (coefficient of variance, CV)은 52에서 107% 범위이다. 한달 여의 조사 기간을 고려할 때 이러한 높은 농도 변화율은 높은 일간 농도 변화율을 의미한다. 이러한 결과는 과거의 Weisel *et al.* (1992)의 연구와 일치한다. Weisel *et al.* (1992)의 연구를 포함하여, 본 고찰란에서 인용된 과거의 국외 연구는 본 연구와 동일한 VOC 시료 채취 및 분석 방법 (Winberry *et al.*, 1988)을 응용하였다.

승용차 또는 버스를 이용하여 출퇴근할 때 차량의 내부 공기중 방향족 VOC 농도는 전위 지역인 하양 노선보다 대구 노선에서 높게 나타났고, 이 결과는 Chan *et al.* (1991a)과 Chan *et al.* (1991b)의 연구 결과와 일치한다. 이 결과를 설명하기 위해서 노선에 따른 교통량 즉 주행 속력 차이가 이용된다. 전위 지역인 하양과 비교하여 대구 광역시와 같은 대도시에서는, 낮은 차량 속력으로 인해 도로상에 더욱 많은 차량이 존재하고 이 결과 배출량이 증가하여 도로상에서의 방향족 VOCs의 농도가 증가하며 차량과 차량 사이의 간격이 좁아져서 후위 차량은 전위 차량의 배기가스에 의한 영향을 더욱 받게 된다. 또한 높은 속력의 차량에 의해 도로상의 공기의 난류 (turbulence)현상이 증가하며 이 결과 도로상의 방향족 VOCs를 포함한 대기오염 물질의 농도는 희석된다. 따라서, 출퇴근시 대구와 하양 노선에서의 VOCs 노출량 차이는 차량의 속력과 관련된 배출량, 차량간의 거리 및 도로상에서의 난류 현상 때문인 것으로 사료된다.

대구 노선 또는 하양 노선에서의 승용차 내부 공기중 방향족 VOCs 농도는 버스 내부 보다 높게 나타났다. 이 결과는 일산화탄소를 대상으로 동일 주행노선상에서 승용차와 버스 내부의 농도 차이를 연구한 Flachsbart *et al.* (1987)의 결과와 일치한다. 두 종류의 차량에 따른 방향족 VOCs 농도 차이를 설명하기 위해서 승용차와 버스 내부로의 공기 유입 장치의 높이 차이가 이용된다. 도로상에서의 차량 수는 버스에 비해서 승용차가 훨씬 많고 방향족 VOCs도 승용차에서 훨씬 많이 배출된다. 따라서 버스와 비교할 때 승용차 내부에서 방향족 VOCs 농도가 높은 이유는 도로상에서 승용차의 배기구 높이에서의 방향족 VOCs 농도가 가장 높고 버스에 비해 승용차의 공기 유입 장치가 승용차 배기구 높이와 가

깝기 때문에 버스 내부보다 승용차 내부로 높은 농도의 방향족 VOCs가 침투하기 때문인 것으로 추정된다. 또한 낮은 차량 속력 또는 신호 정지 상태에서 하나의 버스 또는 승용차 주변에 버스보다는 승용차의 수가 많고 승용차 배기구의 높이가 버스에 비해 승용차 공기 유입 장치 높이와 더욱 가까우므로 후위 버스보다 후위 승용차 외부와 내부 압력 차이가 클 것이다. 따라서 전위 승용차의 배기가스가 후위 버스에 미치는 영향보다는 후위 승용차에 미치는 영향이 클 것으로 추정된다. 또한, 주행시 승용차 문의 개폐 여부가 승용차와 버스 내부의 방향족 VOCs 농도 차이에 영향을 미치는 다른 하나의 인자로 추정된다. 즉, 주행시 승용차의 출입문이 항상 닫혀 있었던 반면에 버스의 출입문은 승객의 승하차를 위해 정기적으로 열렸으며 이때 방향족 VOCs에 적게 오염된 외부 공기가 유입되어 버스 내부의 방향족 VOCs를 희석시킨다고 추정된다.

승용차와 버스 모두에서, 차량 내부의 방향족 VOCs 농도는 출근시와 퇴근시에 유사하게 나타났다. 이러한 결과는 Chan *et al.* (1993)의 연구 결과와 일치한다. Chan *et al.* (1993)은, 버스를 이용하여 타이베이 도심지를 오전 및 오후 통학시 여섯 개 VOCs에 노출되는 평균 농도의 합은 각각 1632 및 1279 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 오전 및 오후 통학시 이들 VOCs에 대한 노출 농도는 서로 통계적 유의성이 없는 것으로 보고하였다. 이러한 결과는 차량 내부 공기의 방향족 VOCs 농도에 영향을 미치는 출퇴근시의 외부 온도, 도로상의 난류 현상, 도로상의 방향족 VOCs의 축적 정도 및 차량 속도 등과 같은 여러 인자들의 복합적인 상호 보상 효과 (compensation effect) 때문인 것으로 이해된다.

출퇴근시 승용차 내부 공기중 방향족 VOCs 농도에 대하여 본 연구와 외국 연구 결과를 비교하기 위해서 그림 1이 이용된다. 로스앤젤레스에서는 비교 대상 VOCs 중 benzene과 toluene의 자료만이 이용 가능하고 benzene과 toluene의 경우 다섯 개 비교 지역 중 로스앤젤레스에서 가장 높게 나타났고 대구 지역과 비교할 때 약 1.5배 정도 높게 나타났다. 여섯개 방향족 VOCs 농도에 대하여 로스앤젤레스를 제외하고는 뉴저지주 또는 보스턴과 비교하여 대구 지역에서 높거나 유사하게 나타났다. toluene과 o-xylene의 경우 보스턴에 비교하여 하양읍에서 다소 높게 나타난 반면에 benzene, 에틸 benzene 및 m, p-xylene에 대해서는 하양읍과 보스턴에서 서로 유사하게 나타났다. 비교 지역에서의 방향족 VOCs 농도 차이는 휘발유의 방향족 VOCs 함량, 외부 온도, 도로상의 난류 현상, 도로상의 방향족

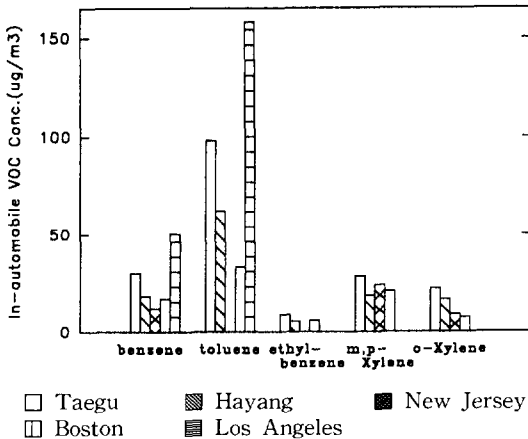


Fig. 1. Comparison of mean in-auto concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) of aromatic VOCs between previous studies and present study: NJ, Weisel et al. (1992); Boston, Chan et al.(1991b); LA, SCA-QMD (1989)

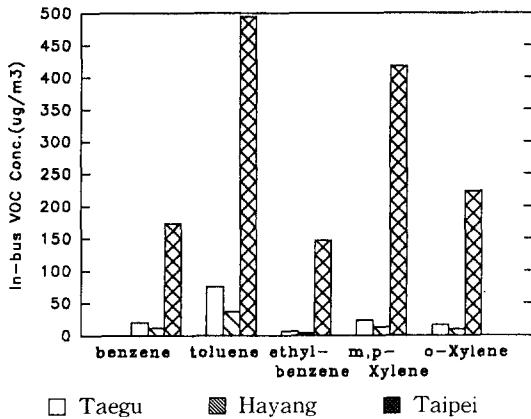


Fig. 2. Comparison of mean in-bus concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) of aromatic VOCs between previous winter study and present study: Taipei, Chan et al.(1993)

VOCs의 축적 정도 등과 같이 승용차 내부 공기중 방향족 VOCs 농도에 영향을 미치는 여러 인자들의 복합적인 작용에 기인하는 것으로 추정된다.

그림 2에서는 버스 내부 공기 중 방향족 VOCs 농도에 대하여 본 연구와 대만의 연구 결과가 비교된다. 여섯개 방향족 VOCs 평균 농도의 합에 근거할 때 출퇴근 시 대구 버스에서의 방향족 VOCs 농도는 대만의 1/10

정도로 나타났다. 대만에서의 휘발유의 방향족 VOCs 함량이 35% (Chan *et al.*, 1993)이고, 국내 휘발유의 방향족 VOCs 함량이 30에서 40% 범위인 것 (한국 석유 협회, 1994)을 고려할 때 휘발유의 방향족 VOCs 함량이 두 연구에서의 차이를 설명하는 주요 변수는 아닌 것으로 사료된다. 따라서 승용차의 경우와 유사하게 국내와 대만 연구 결과의 차이는 승용차 내부 공기 중 방향족 VOCs 농도에 영향을 미치는 여러 인자들의 복합적인 작용에 기인하는 것으로 추정된다.

5. 요약 및 결론

본 연구는 아래와 같이 요약되고 결론 지어진다.

1. 대도시인 대구 광역시와 전원 지역인 하양읍 사이를 출퇴근할 때, 통근자 또는 통학 대학생들이 방향족 VOCs에 노출되는 정도는 주행 노선과 차량의 종류에 따라 다르게 나타났다.
2. 이러한 통근자 또는 통학 대학생들이 방향족 VOCs에 노출되는 정도는 출근 시간과 퇴근 시간에는 큰 차이가 없으나 출퇴근 일자에 따라 차이가 심한 것으로 나타났다.
3. 출퇴근자는 전원 지역인 하양읍을 통과할 때 보다 도시 지역인 대구 광역시를 통과할 때 더 많은 방향족 VOCs에 노출된다.
4. 모든 출퇴근자는 여섯개 방향족 VOCs 중 toluene에 가장 높은 농도로 노출된다.

본 연구 결과에 근거할 때 통근 노선은 고정적이라고 가정하고 출퇴근시 통근자 또는 통학 대학생들이 방향족 VOCs에 노출되는 정도를 줄이기 위해서는 승용차를 이용하는 것보다는 버스를 이용하여 출퇴근하는 것이 추천된다. 그러나 승용차의 종류와 사용 년도에 따라 환기 정도가 달라질 수 있고 이로 인한 승용차 내부로의 방향족 VOCs의 침투 정도가 달라질 수 있으므로 반드시 승용차의 이용이 버스 이용 때보다 적은 방향족 VOCs 노출을 유발시킨다고 단정하기는 쉽지 않다. 따라서 본 연구 결과를 재확인하기 위해서는 보다 다양한 종류의 승용차를 이용하는 장래 연구가 추천된다.

감사의 글

시료의 채취와 분석을 도와 준 대구효성가톨릭대학교의 환경과학과 대학원생 (강귀화와 양소영)과 학부 학생들에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 대한 석유 협회 (1994), 석유년보, 명성 문화사, 서울.
- Bevan, M.A.J., C.J. Proctor, J.B. Roger, and N.D. Warren (1991) Exposure to carbon monoxide, respirable suspended particulates, volatile organic compounds while commuting by bicycle, *Environ. Sci. Technol.* 25, 788-791.
- Black, F. and L. High (1980) *Passenger car hydrocarbon emission speciation*, U.S. Environmental Protection Agency, EPA-600/2-80-085.
- Bruetsch, R.I. (1981) *Carbon monoxide and non-FTP ambient temperature*, Office of Mobile Source Air Pollution Control, U.S. Environmental Protection Agency, Ann Arbor, MI.
- Chan C.C., S.H. Lin and G.R. Her (1993) Student's exposure to volatile organic compounds while commuting by motorcycle and bus in Taipei city, *J. Air Waste Manage. Assoc.* 43, 1231-1238.
- Chan C.C., H. Ozkaynak, J.D. Spengler and L. Sheldon (1991a) Driver Exposure to volatile organic compounds, CO, ozone, and NO₂ under different driving conditions, *Environ. Sci. and Tech.* 25, 964-972.
- Chan C.C., J.D. Spengler, H. Ozkaynak and M. Lefkopoulou (1991b) Commuter exposure to VOCs in Boston, Massachusetts, *J. Air & Waste Manage. Assoc.* 41, 1594-1600.
- Flachsbart, P.G., J.E. Howes, G.A. Mack and C.E. Rodes (1987) Carbon monoxide of Washington commuters, *J. of Air Poll. Assoc.* 37(2), 135-142.
- King R.W. (1992) Automotive gasoline: Its composition and manufacture-past, present, and future, *J. of Expos. Anal. and Env. Epi.* 2(1), 9-22.
- Lioy, P.J. (1992) General summary and recommendations of the workshop on general population exposures to gasoline, *J. of Expos. Anal. and Env. Epi.* 2(1), 5-8.
- SCAQMD. (1989) *South Coast Air Quality Management District, in-vehicle characterization study in the south coast air basin*, Final Report.
- Tancrede, M., R. Wilson, L. Zeise and E.A.C. Crouch (1987) The carcinogenic risk of some organic vapors indoors : a theoretical survey, *Atmos. Environ.* 21, 2187.
- Unzelman, G.H. (1990) Reformulated gasolines will challenge product-quality maintenance, *Oil and Gas Journal.* 88, 43-48.
- U.S. EPA (1990) *Cancer risk from outdoor exposure to air toxics*, EPA-450/1-90-004a.
- Wallace, L.A. (1987) *The TEAM study : Summary and analysis: Vol. I*, U.S. EPA, EPA 600/6-87/002a, NTIS PB 88-100060, Washington, DC.
- Weisel, C.P., N.J. Nicholas and P.J. Lioy (1992) Exposure to emissions from gasoline within automobile cabins, *J. of Expos. Anal. and Env. Epi.* 2(1), 79-96.
- Winberry, W.T., Jr., N.T. Murphy, and R.M. Riggan (1988) *Compendium of methods for the determination of toxic organic compounds in ambient air*, EPA/600/4-89/017, U.S. EPA, Research Triangle Park.
- Wixtrom, R.N. and S.L. Brown (1992) Individual and population exposures to gasoline, *J. of Expos. Anal. and Env. Epi.* 2(1), 23-78.