

## 휘발유 및 환경 담배 연기 관련 벤젠 노출

조 완 근 · 문 경 조  
경북대학교 환경공학과  
(1999년 3월 17일 접수)

### Exposure to Benzene Associated with Gasoline and Environmental Tobacco Smoke

Wan-Kuen Jo and Kyung-Jo Moon

Department of Environmental Engineering, Kyungpook National University, Taegu, Korea  
(Manuscript received 17 March, 1999)

This study was designed to evaluate the exposure to benzene by residents in neighborhoods near a major roadways, by persons waiting buses, and by drivers and service station attendants while refueling. It was confirmed that the outdoor air benzene concentrations near the major roadways were higher than those further away from the sources. However, neither the indoor air nor breath concentrations were different for two specified residential areas. Smoking was confirmed as an important factor for the indoor air benzene levels.

Persons waiting buses, drivers and service station attendants were exposed to elevated benzene levels compared to even the residents in neighborhoods near a major roadways. The mean benzene concentration at bus stop was 2.7 to 6.9 times higher than the mean ambient air concentration. The mean benzene concentrations in the breathing zone of drivers and service station attendants were 95 to 160 and 120 to 202 times higher than the mean ambient air concentrations, respectively.

Key words : Breath, buses, drivers, indoor air, outdoor air, residents, roadways, service station attendants

#### 1. 서 론

공기 중에 존재하는 벤젠은 휘발성 유기화합물(volatile organic compounds, VOCs)의 일종으로서 암을 유발시키며 백혈병을 유발시키는 독성이 강한 물질이다.<sup>1,2)</sup> 또한, 벤젠은 성장 장애 독성과 인체 계통 독성도 있으며, 코 및 호흡 기관에 따가운 증세도 갖고 있다.<sup>3)</sup> 이러한 독성을 가진 벤젠은 일반 대기 환경에 폭 넓게 분포되어 있으며 인체 노출의 주요 경로는 흡기 노출(inhalation exposure)인 것으로 알려져 있다.<sup>4,7)</sup>

벤젠의 흡기 노출의 주요 원인으로 휘발유로부터 증발과 담배 연기를 들 수 있다.<sup>7)</sup> 과거 노킹 감소(anti-knocking)를 위해서 4-에틸 납(tetraethyl lead;  $(C_2H_5)_4Pb$ )을 휘발유에 첨가하였으나 납이 배기가스와 함께 자동차로부터 배출되고 이로 인한 대기 중의 납 오염 문제가 인식됨으로서 무연 휘발유 사용이 의무화되었다. 최근 노킹 현상을 줄이고 옥탄가를 증가시키기 위해서 정유 회사에서는 4-에틸 납의 사용 대신에 휘발유의 방향족 화합물 함량(벤젠 포함)을 증가시키고 있다.<sup>8)</sup> 따라서, 휘발유를 취급하는 주유소와 휘발유를 연료로 하는 내연기관 차량이 다니는 도로 인근 지역에는 벤젠을 포함한 방향족 화합물이 공기 중에 높은 농도로 존재할 것이다.

따라서, 주유시(refueling) 주유원뿐만 아니라 운전자도 휘발유 성분인 벤젠에 높은 농도로 노출될 수 있다. 또한 도로 인근의 주민들과 버스를 기다리는 승객들도 도로상의 높은 벤젠 농도에 노출될 수 있다.

담배의 주요 성분 중의 하나인 타르(tar)가 연소되면서 벤젠이 생성되므로 담배 연기 속에도 벤젠이 다량 함유되어 있다.<sup>9,10)</sup> Wallace와 Pellizzari<sup>10)</sup>는 비흡연자와 비교하여 흡연자의 호기(exhaled breath)에서 높은 농도의 벤젠을 검출하였고, 흡연자가 없는 가정과 비교할 때 흡연자가 생활하는 가정의 실내 공기에서 높은 농도의 벤젠이 존재하는 것을 밝혔다. 또한 Wallace와 Pellizzari<sup>10)</sup>는 흡연이 금지된 직장과 비교하여 흡연이 인정된 직장에서 근무하는 비흡연자의 벤젠 노출이 간접 흡연으로 인해 상당 수준 높은 것으로 보고하였다.

선진 외국과는 달리 국내의 경우 휘발유와 담배 연기와 관련한 벤젠 노출에 대한 연구가 제한되어 있는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 주유소의 휘발유 중 벤젠 증발과 관련하여 주유시 운전자와 주유원의 벤젠 노출을 평가하고, 휘발유를 연료로 하는 내연기관 차량이 다니는 도로와 관련하여 버스를 기다리는 승객의 벤젠 노출을 평가하며, 도로와 담배 연기 둘 모두와 관련하여 도

로 인접 지역에 위치한 흡연 주택과 비흡연 주택의 주민들의 벤젠 노출을 평가하였다.

2. 연구 방법

2.1. 실험 고안 및 절차

본 연구 수행을 위해서 세 가지의 실험이 고안되었다. 첫 번째 실험에서는 주요 도로에 인접한 주택가의 주민들의 벤젠 노출을 평가하기 위해서 주요간선 도로로부터 10m와 20m 사이인 지역(지역 A)과 100m와 150m 사이인 지역(지역 B)인 두 개 지역에서 각각 6개 주택을 선정하여 실내 및 실외 공기 그리고 주민들의 호기 중(exhaled breath) 벤젠 농도를 측정하였다. 간선 도로에 대한 정보는 Table 1에 요약되었다. 실내 및 실외 공기 시료는 연속된 두 개의 12시간(오전 8시부터 오후 8시까지 그리고 오후 8시부터 오전 8시까지) 동안 채취되었고, 이들의 평균 농도가 자료 분석에 이용되었다. 호기 시료 채취는 공기 시료 채취가 끝나는 시점에서 수행되었다. 저 소음이긴 하지만 펌프 작동시 발생하는 소음의 영향을 최소화하기 위해서 실내 공기 시료 채취는 주로 거실에서 수행되었다. 한편, 실외 공기 시료 채취는 앞마당의 호흡 영역 높이에서 수행되었다.

Table 1. Information on roadways

Roadway	Traffic vol.(vehicles/12hrs) <sup>a</sup>
Myoungdukro	40,355
Padongro	27,215
Seongdangro	31,67
Daemungro	27,230
Daedongro	37,624
Daeseoro	35,506

<sup>a</sup> Indicates average daytime vehicle volume at a point on the roadway as reported by the Korea Transport Technology Research Institute(1996).

두 번째 실험에서는 주요간선 도로에 위치한 버스 정류장에서 버스를 기다리는 승객의 호흡 영역에서 벤젠 농도를 측정하였다. 본 실험에서는 첫 번째 실험에서 이용된 여섯 개의 주요간선 도로상에서 수행되었으며 주유소의 영향을 줄이기 위해서 인근 주유소로부터 최소 100m 떨어진 버스 정류장들이 선정되었다. 각 버스 정류장의 공기는 출퇴근 시간 동안에 5일간 반복 측정되었다. 연구에 이용된 버스 정류장은 모두 실외 정류장이었다. 버스 정류장에서 버스를 기다리는 평균 시간은 10분으로 가정하였다.

마지막 실험에서는 주유시 주유원과 운전자의 벤젠 노출을 평가하기 위해서 각각의 호흡 영역에서 벤젠 농도를 측정하였다. 조사된 주유소는 연구 협조에 호의적인 여섯 개의 주유소로서, 유공 네 개 및 경인과 쌍용 주유소가 각각 한 개이다. 주유되는 동안 운전석 창문을 절반 정도 열어두었다. 정유 회사별 휘발유 벤젠 성분의 차이로 인해 야기되는 실험 오차 변수를 제거하기 위해

서 평상시에 이용하는 정유 회사의 주유소와 주유되는 조사 대상 승용차가 방문하는 정유 회사의 주유소가 일치되도록 실험 조건을 제어하였다.

2.2. 시료 채취 및 분석

2.2.1. 시료 채취

공기 시료는 개인 시료 채취기(personal air sampler, AMTEK MG-4)를 이용하여 Tenax로 채워진 1/4 인치 외경과 7 인치 길이의 관(Supelco Co.)으로 공기를 통과시켜 채취되었다. 채취 유량은 주택가의 실내 및 실외 공기 시료 및 주유시 주유원의 공기 시료는 10~20cc/min, 운전자의 공기 시료의 경우 40~50cc/min, 그리고 각 주유소와 150~250m 정도의 거리로 이격된 버스 정류장에서 승차 대기자의 공기 시료에 대해서는 180~220cc/min 이었다. 시료채취 시간은 주택가 실내 및 실외 공기의 경우 약 12 시간 그리고 주유소의 경우는 30초 이상 60초 이내로 조절되었다. 시료 채취를 위한 유량과 시간은 미국 환경보호국 방법(USEPA method), 분기점(breakthrough volume) 그리고 분석 기기의 감도(instrument sensitivity)에 근거하여 결정되었다.

호기 시료 채취 시스템의 청정 공기 주입부는 재흡기되지 않는 밸브(non-rebreathing two-way valve, Laerdal Medical Co.)를 중심으로 왼쪽의 흡기 부분인 청정 공기 주입부는 압력 강하와 벤젠 오염을 최소화하도록 1 인치 외경의 테프론 관(Teflon tube)을 연결하여 제작되었다. 또한, 흡입 공기 중의 목표 오염 물질을 제거하기 위해서 흡기부 입구에 두 개의 NIOSH- 그리고 MSHA-approved organic vapor cartridge를 부착하였다. 호기 시료 채취부는 재흡기되지 않는 밸브를 중심으로 오른쪽의 시료채취부에는 0.5 인치 외경과 25 피트 길이의 Teflon tube를 연결하여 제작되었다. 시료 채취부는 다시 1/4 인치 외경의 스테인레스 관(Stainless Steel tube)과 유니언 연결 부품(Union fitting)을 이용하여 시료 채취 트랩과 개인 시료 채취 펌프(MG-4, AMTEK)에 연결되었다. 순간 휘발화 장치(Flash Evaporation System; FES)를 이용해서 결정된 호기 시료 채취 효율은 92%이었다.

2.2.2. 시료 분석

본 연구의 대상 물질인 벤젠을 흡착한 시료를 분석하기 위해 미국 환경 보호국 방법 TO-1을 응용하였다. 흡착된 벤젠 분석을 위해서 전 처리 장치인 열 탈착 장치(Thermal Desorbing System, TDS : Tekmar 6000) 그리고 모세관(Capillary column; J&W 50m, I.D 0.32mm)과 불꽃 이온화 검출기(Flame Ionization Detector, FID)가 장착된 기체 크로마토그래프(Gas Chromatograph; GC, Varian 3400CX)가 이용되었다. 열 탈착 장치와 GC 운반 가스(carrier gas)로 질소를, FID의 불꽃을 만드는 연료 가스로 수소와 공기를 이용하였다. GC 항온조의 온도 프로그래밍(temperature programming)은 초기 온도 40℃에서 5분, 상승 속도 6℃/min으로 11분을 유지하여 106℃로 올린 뒤 20℃/min의 승온 속도로 220℃에 도달하면 5분간 유지하도록 하였으며, TDS는 시료 탈착

온도 225°C에서 10분, 운반 가스인 질소의 유량은 40cc/min, 운반 라인(transfer line) 온도 200°C, 조절 밸브(valve)의 온도가 200°C로 제어되었다. 분석 대상이 되는 물질의 정성 분석은 최고치 보유 시간(peak retention time)을 이용하였고 정량 분석은 외부 표준법을 이용하여 농도와 피크 면적(peak area)과의 검정선을 사용하였다.

2.2.3. 자료의 질 검증

벤젠 분석에 사용된 기기의 작동과 분석 시료의 검정을 위해서 실험실과 현장의 공 시료(laboratory and field blanks) 및 외부 표준 물질을 이용하였다. 실험실의 내부에서 야기될 수 있는 트랩의 오염 정도와 시료 채취 지점까지 운반 중 취급시의 트랩 오염 정도를 확인하기 위해 실험실 공 시료와 현장 공 시료를 각 시료 채취기간마다 분석, 조사해 보았다. 실험실 및 현장 공 시료의 분석 결과를 보면 공 시료에서 간혹 벤젠이 소량 검출되었다. 이와 같이 실험실 공 시료가 오염된 것으로 확인되었을 경우 트랩 세척이 부적절하게 이루어 졌다고 판단하여 함께 세척된 트랩 모두의 분석 결과를 제거하였다. 분석의 정확성을 유지하기 위하여 분석 기기의 일간 반응 정도(daily response)의 변화와 감도(sensitivity)를 파악하였다. 이를 위해서 외부 표준 물질을 매 측정일마다 분석하여 미리 작성되어진 검정선과 비교하여 20% 이상의 변화를 나타내었을 경우 새로운 검정선이 작성되었다. 벤젠에 대한 검출 한계는 0.3µg/m<sup>3</sup>이며 이중 시료(duplicate sample)의 상대 표준 편차는 13%이었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 간선 도로 인접 주민의 실내 및 실외 공기 벤젠 노출

도심 지역의 여섯 개 간선도로에 인접한 주택가의 실내 및 실외 공기와 주민의 호기 벤젠 농도가 간선 도로로부터 거리에 따라 두 개의 지역으로 구분되어 측정되었다(Table 2). 실외 공기의 경우 지역 B(6.9µg/m<sup>3</sup>)에 비하여 간선 도로에 더욱 가까운 지역 A에서(11.6µg/m<sup>3</sup>) 벤젠의 농도가 높게 나타났다. 두 지역 인근에 특별히 다른 벤젠 발생원이 관찰되지 않았기 때문에 앞의 결과는 주요 발생원인 도로상의 자동차에서 배출되는 벤젠이

Table 2. Mean indoor and outdoor air benzene concentrations(µg/m<sup>3</sup>) and residents' breath concentrations(µg/m<sup>3</sup>) in two residential zones adjacent to a major roadway<sup>a</sup>

Zone	Indoor	Outdoor	I/O <sup>b</sup>	Breath
A	18.3(13.0)	11.6(8.5)	1.6	10.5(7.4)
B	19.6(11.5)	6.9(4.7)	2.8	11.2(6.9)

<sup>a</sup> The number of samples was as follows: 60 and 59 for indoor air in zones A and B, respectively; 60 for outdoor air in both two zones; 55 and 60 for breath in zones A and B, respectively; numbers in parenthesis represent the standard deviations.

<sup>b</sup> I/O indicates the ratio of mean indoor to mean outdoor air concentration.

거리에 따라 희석되는 정도 차이에 기인하는 것으로 이해된다. 이러한 결과는 벤젠을 포함한 VOCs는 실외 발생원으로부터 거리에 따라 감소할 것이라는 선진 연구들<sup>11,12)</sup>의 예측을 증명한다.

실외 공기와는 달리, 실내 공기와 호기의 경우 두 지역 간에 벤젠 농도 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. 실내 공기의 농도는 지역 A와 B에서 각각 18.3과 19.6µg/m<sup>3</sup>이었고, 호기 농도는 지역 A와 B에서 각각 10.5와 11.2µg/m<sup>3</sup>이었다. 이러한 결과는 실내 공기와 호기 농도는 실외의 벤젠 발생원에 의한 영향을 크게 받지 않는다는 것을 암시한다. 이는 실외 공기 농도에 대한 실내 공기 농도의 비(지역 A, 1.6; 지역 B, 2.8)가 두 지역 모두에서 1보다 크다는 사실, 즉, 도로상으로부터 거리에 관계없이 두 지역 모두에서 실외 공기보다 실내 공기의 벤젠 농도가 높다는 사실에 의해 뒷받침된다. 실외 공기보다 실내 공기에서 벤젠 농도가 높은 이유는 실내의 여러 벤젠 오염원에 기인한다.<sup>13)</sup> 벤젠의 주요 실내 오염원은 환경 담배 연기, 페인트, 용제 및 연소 기기를 들 수 있다.

환경 담배 연기의 실내 공기 및 호기 벤젠 오염도 영향을 평가하기 위해서 도로상으로부터 거리에 관계없이 흡연자가 생활하는 가정과 흡연자가 생활하지 않는 가정의 실내 및 호기 벤젠 농도를 비교하였다(Table 3). 실내 공기의 경우 흡연자가 생활하는 가정과 흡연자가 없는 가정의 벤젠 농도는 각각 22.6과 15.9µg/m<sup>3</sup>으로서 흡연자가 생활하는 가정에서 높게 나타났다. 또한, 호기 벤젠 농도도 흡연자가 없는 가정(7.8µg/m<sup>3</sup>)에 비하여 흡연자가 생활하는 가정(13.7µg/m<sup>3</sup>)에서 높게 나타났다. 이러한 결과는 선진 연구의 결과<sup>13)</sup>와 일치하는 것으로서 담배 성분인 타르(tar)가 불완전 연소되면서 벤젠을 생성하기 때문이다.

Table 3. Mean indoor air benzene concentrations(µg/m<sup>3</sup>) and residents' breath concentrations(µg/m<sup>3</sup>) in smoking and nonsmoking homes\*

Indoor air		Breath	
Smoking (N=69)	Nonsmoking (N=50)	Smoking (N=69)	Nonsmoking (N=50)
22.6(13.7)	15.9(7.7)	13.7(7.1)	7.8(3.5)

\* Numbers in parenthesis represent the standard deviations.

한편, 두 지역 주민들의 벤젠에 대한 노출량은 벤젠의 주요 실외 발생원인 도로 공기보다도 실내 공기에 의해 결정되는 것으로 나타났다. 이는 앞에서 언급된 바와 같이 실외 공기보다 실내 공기의 벤젠 농도가 더욱 높게 측정되었다는 사실 이외에도 시료 매체간 벤젠 농도의 상관관계에 의해서 설명된다. 스피어만 상관 계수(Spearman correlation coefficient; SCC)가 실내 공기와 실외 공기의 경우 0.025(p<0.79), 실외 공기와 호기 농도의 경우 0.017(p<0.86)로서 통계적 유의성이 없는 반면에 실내 공기와 호기 농도의 경우 0.66(p<0.0001)으로서 통계적 유의성이 있는 것으로 나타났다.

3.2. 버스 탑승 대기자의 벤젠 노출

도로변에서 버스를 기다리는 사람들의 벤젠 노출을 평가하기 위해서 버스 정류장의 호흡 영역에서 벤젠 농도를 측정하였다(Table 4). 여섯 개의 간선도로에서 5일 동안 30개의 벤젠 농도가 측정된 결과 버스 정류장의 벤젠 평균 농도가 31.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로서 지역 A의 주택 실외 공기 평균 농도인 11.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 2.7배, 지역 B의 주택 실외 공기 평균 농도인 6.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 4.5배로 높게 나타났다. 이렇게 높은 버스 정류장의 벤젠 농도는 휘발유에 함유된 벤젠이 미연소 또는 휘발되어 도로상에 축적되고, 이로 인해 버스 탑승 대기자의 벤젠 노출이 증가된다는 것을 의미한다. 또한, 버스 탑승 대기자의 기다리는 시간도 주요 벤젠 노출 변수가 될 것이다.

3.3. 주유시 주유원과 운전자의 벤젠 노출

주유소에서 주유하는 동안 주유원과 운전자의 호흡 영역에서 벤젠 농도가 여섯 개의 주유소에서 측정되었다(Table 4). 예상되는 바와 같이 주유기와 가까이 위치한 주유원(1397 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )이 운전자(1103 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )에 비하여 다소 높은 벤젠 농도에 노출되는 것으로 나타났다. 주유 중 운전자와 주유원들의 벤젠 노출 농도는 도로상에 인접한 주민과 버스 탑승 대기자보다 수십에서 수백 배 높게 나타났다. 또한, 주유원의 노출 농도는 Bond 등<sup>14)</sup>이 보고한 720 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  보다 약 2배정도 높게 나타났고 조완근 등<sup>15)</sup>이 보고한 1991 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  보다는 낮게 나타났다. 본 연구와 선진 연구의 벤젠 농도 차이는 연구 대상 휘발유의 벤젠 함량 차이 그리고/또는 시료 채취 당시의 바람의 방향과 속력 차이 때문인 것으로 사료된다.

Table 4. Mean air benzene concentrations( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) at bus stops and in the breathing zone of drivers and service station attendants(SSA) during refueling\*

Bus stop(N=30)	Drivers(N=9)	SSA(N=9)
31.1(20.1)	1103(782)	1397(975)

\* Numbers in parenthesis represent the standard deviations.

3.4. 벤젠 노출량에 대한 환경 비교

도로상에 인접한 주민들의 실내 및 실외 공기 중 벤젠 노출량, 주유시 운전자의 벤젠 노출량, 버스 탑승 대기자의 벤젠 노출량 그리고 주유원의 벤젠 노출량을 추산한 결과를 Table 5에 나타내었다. 각 노출량은 아래의 관계식을 이용하여 계산되었다.

$$E_x = C_{air} \times I_n \times T \times 10^{-3}$$

여기서,  $E_x$  = 일일 노출량(mg),

$C_{air}$  = 벤젠 평균 농도( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),

$I_n$  = 호흡률( $\text{m}^3/\text{day}$ ),

$T$  = 노출 시간(day)

이 방정식에 이용된 변수 중 하루 공기 흡입률은

20 $\text{m}^3/\text{day}$  그리고 인체 흡수율은 100%이다.<sup>7)</sup> 주요 간선도로 인근의 주민들 노출 평가를 위해서 두 지역 A와 B의 실내 및 실외 공기 평균 농도를 각각 이용하였다. 또한 현대 생활에서 개인이 실내에서 보내는 시간이 일상 생활의 85% 이상이므로<sup>6)</sup> 실내에서의 벤젠 농도의 가중치가 0.85 그리고 실외 벤젠 농도의 가중치는 0.15로 계산되었다. 버스 탑승 일회 대기 시간으로서 10분이고 대기 횟수는 일일 2회가 이용되었다. 주유소 근무자들의 의견에 근거하여 주유 중 노출량을 계산하기 위해서 노출 시간은 일회 주유시 2분 그리고 주유원 일인의 평균 일일 주유 횟수는 50회로 하였다. 주유소 방문 운전자의 노출량 계산을 위해서 운전자는 일주일에 평균 1.5회 주유를 위해서 주유소를 방문하는 것으로 추정하여 일일 가중치, 0.21을 노출 시간에 곱하였다.

Table 5에 나타난 바와 같이 벤젠에 대하여 도로변 주민들의 실내 공기 노출이 실외 공기의 11.5배 정도로 높게 나타났다. 실제로는 도로변 주민들은 그들의 주택에서 측정된 실외 공기 벤젠 농도에만 노출되는 것이 아니고 도로변의 영향이 적은 실외 공기에도 노출된다는 점을 고려할 때 도로변 주민들의 실외 공기 노출량은 실제보다 다소 높게 평가되었을 것이다. 따라서, 도로변 주민들의 실내 공기 노출은 실외 공기의 11.5배 이상이 될 가능성이 높고, 이러한 결과는 벤젠 노출을 줄이는 전략으로서 실외보다는 실내 발생원 제거가 중요하다는 것을 의미한다. 한편으로, 버스 탑승 대기자의 일일 벤젠 노출량은 도로변 인근 주민들 보다 훨씬 적은 8 $\mu\text{g}$ 이다(Table 5). 그러나 노출량은 적지만 버스 탑승 대기시 야기되는 벤젠 노출의 중요성은 벤젠이 대표적인 자동차 공해 물질 중의 하나라는 점에서 다른 휘발성 유기화합물의 노출도 존재함을 암시하고 있다는 것이다.

주유 중에 야기되는 운전자와 주유원의 벤젠 노출량은 각각 46과 1940 $\mu\text{g}$ 로 추산되었다(Table 5). 운전자의 경우 도로변 인근 주민들의 실외 공기 벤젠 노출량보다 높게 나타났다. 따라서 이러한 결과는 일상 생활과 관련하여 벤젠 노출량을 계산할 경우에는 주유시 야기되는 벤젠 노출량이 반드시 포함되어야 한다는 것을 의미한다. 한편, 주유원의 경우 일일 근무시간 중 야기되는 벤젠 노출량은 도로변 인근 주민들의 실내 및 실외 공기 노출량의 합인 350 $\mu\text{g}$ 의 5.5배로 높게 추산된다. 또한, 주유소 근무자가 주유시간 이외에 주유소에 머무르는 시간과 주유소 인근 공기에서의 높은 벤젠 농도<sup>16)</sup>를 고려할 때 주유원의 실제 벤젠 노출량은 본 연구에서 추산된 것

Table 5. Daily exposure to benzene( $\mu\text{g}$ ) by residents adjacent to a major road, by drivers and service station attendants(SSA) during refueling, and by persons waiting buses(PWB)\*

Residents		PWB	Refueling	
Indoor	Outdoor		Drivers	SSA
322	28	8	46	1940

\* Numbers in parenthesis represent the standard deviations.

보다 많을 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

간선 도로에서 다소 떨어진 지역에 생활하는 주민들에 비해 간선 도로에 더욱 가까이 생활하는 주민들이 실외 공기 벤젠 노출량이 많은 것으로 확인되었다. 그러나, 간선 도로에 가까운 지역과 다소 떨어진 지역 모두에서 실내 공기 벤젠 농도가 실외 공기 벤젠 농도보다 높게 나타났고, 실외 공기 벤젠 농도와 실내 공기 벤젠 농도 간 그리고 실외 공기 벤젠 농도와 호기 벤젠 농도간의 상관 관계는 통계적으로 유의성이 없는 것으로 나타났다. 반면에, 실내 공기 벤젠 농도와 호기 벤젠 농도간의 상관 관계는 통계적인 유의성이 있는 것으로 나타났다. 따라서, 간선 도로 인근 주민들의 벤젠 노출에 영향을 미치는 주요 변수는 실외 공기 벤젠 농도가 아니라 실내 공기 벤젠 농도임을 알 수 있다. 또한, 이러한 실내 공기 벤젠 농도는 가정의 흡연자 존재 여부에 따라 영향을 받는 것으로 나타났다.

버스 탑승 대기자, 주유 중 운전자 및 주유원들은 간선 도로 인근 주민들 보다 높은 벤젠 농도에 노출되는 것으로 확인되었다. 버스 탑승자의 경우 노출 농도는 높지만 노출 시간이 적은 관계로 실제 노출량은 크지 않은 것으로 나타났다. 반면에 주유 중 운전자의 일일 벤젠 노출은 간선 도로 인근 주민들이 실외 공기 벤젠에 노출되는 것 보다 높게 추산되었고, 주유원은 인근 주민들이 실내 공기 벤젠에 노출되는 것 보다 훨씬 높은 것으로 추산되었다.

#### 참 고 문 헌

- 1) Tancrede, M. R., W. L. Zeise and E. A. C. Crouch, 1987, The carcinogenic risk of some organic vapors indoors: a theoretical survey, *Atmos. Environ.*, 21, 2187.
- 2) U. S. Environmental Protection Agency(EPA), 1990, Cancer risk from outdoor exposure to air toxics, PA450/190004a.
- 3) Calabrese, E. J. and E. M. Kenyon, 1991, *Air Toxics and Risk Assessment*, Lewis Publishers, Inc., 145-149pp.
- 4) Pellizzari, E. D., K. Perritt, T. D. Hartwell, L. C. Michael, R. Whitmore, R. W. Handy, D. Smith, and H. Zelon, 1987, *Total Exposure Assessment Methodology (TEAM) Study* : Elizabeth and Bayonne, New Jersey; Devils Lake, North Dakota; and Greensboro, North Carolina. Vol. II Washington, DC: United States Environmental Protection Agency. EPA 600/6-87/002b. NTIS #PB 88-100078.
- 5) Pellizzari, E. D., K. Perritt, T. D. Hartwell, L. C. Michael, R. Whitmore, R.W. Handy, D. Smith, and H. Zelon, 1987, *Total Exposure Assessment Methodology (TEAM) Study: Selected Communities in Northern and Southern California*. Vol. III Washington, DC: United States Environmental Protection Agency. EPA

- 600/6-87002c. NTIS #PB 88-100086.
- 6) Wallace, L., W. Nelson, R. Ziegenfus, E. Pellizzari, L. Michael, R. Whitmore, H. Zelon, T. Hartwell, and R. Perritt, 1991, The Los Angeles TEAM Study: Personal Exposures, Indoor-Outdoor Air Concentrations, and Breath Concentrations of 25 Volatile Organic Compounds, *J. of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 1(2).
- 7) U. S. EPA, 1993, Staten Island/New Jersey Urban Air Toxics Assessment Project Report, U.S. Environmental Protection Agency, EPA/902/R-93-001.
- 8) Jo, W. K. and K. H. Park, 1999, Commuter exposure to volatile organic compounds under different driving conditions, *Atmos. Env.*, 33, 409-417.
- 9) Higgins, C. E., R. A. Jenkins and M. R. Guerin, 1987, Organic vapor-phase composition of sidestream and environmental tobacco smoke from cigarettes, *Proceedings of the 1987 EPA/APCA Symposium of Toxic Air Pollutants*, Research Triangle Park, NC. 140-151pp.
- 10) Wallace, L. and E. Pellizzari, 1986, Personal air exposures and breath concentrations of benzene and other volatile organic hydrocarbons for smokers and nonsmokers, *Toxicology Letters*, 35, 113-116.
- 11) Petroleum Association for Conservation of the Canadian Environment(PACE), 1987, A study of exposure to motor gasoline hydrocarbon vapors at service stations: Phase II summer study; Report No. 8-5, PACE, Ottawa, Canada.
- 12) Petroleum Association for Conservation of the Canadian Environment(PACE), 1989, A study of exposure to motor gasoline hydrocarbon vapors at service stations: Phase III winter study; Report No. 89-3, PACE, Ottawa, Canada.
- 13) Wallace, L. A., E. D. Pellizzari, T. D. Hartwell, V. Davis, L. C. Michael, and R. W. Whitmore, 1989, The influence of personal activities on exposure to volatile organic compounds. *Environmental Research*, 50, 37-55.
- 14) Bond, A. E., V. L. Thompson, G. C. Ortman, F. M., Black, and J.E.JR., Sigsby, 1986, Self service station vehicle refueling exposure study, In: *Proceedings of the 1986 EPA/APCA symposium on measurement of toxic air pollutants*. EPA, Research Triangle Park, NC. 458-466.
- 15) 조완근, 강귀화, 우형택, 박종길, 1995, 미규모 환경에서의 휘발성 유기화합물 노출, 4(5), 447-459.
- 16) Tironi, G., G. J. Nebel, and R. L. Williams, 1986, Measurement of vapor exposure during gasoline refueling, Prepared for the International Congress and Exposition, Society of Automotive Engineers (SAE) Technical Paper Series: No. 860087. SAE, Warrendale, PA.