

## 공기질 조절장치 작동 승용차 내부의 공기질 평가

조 완 근 · 박 건 호  
경북대학교 환경공학과  
(1998년 1월 21일 접수)

## Evaluation of Air Quality Inside Passenger Car with Operating Air Quality System

Wan-Kuen Jo and Kun-Ho Park

Dept. of Environmental Engineering, Kyungpook National University, Taegu, Korea  
(Manuscript received 21 January 1998)

This study examined the carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) pollution inside vehicles under low ventilation condition and evaluated the Air Quality System (AQS) for in-vehicle air quality using two techniques. The low ventilation condition is not recommended in order to keep oxygen-rich condition inside vehicles. Under the low ventilation condition, the in-vehicle  $\text{CO}_2$  concentrations exceeded 1,000 ppm, the air quality guidelines in the United States, Western Europe, and Japan, indicating more oxygen deficiency inside vehicles. On the contrary, with the AQS-on condition, the in-vehicle  $\text{CO}_2$  concentrations were less than 1,000 ppm for most of the driving time, indicating that the AQS could solve the problem of  $\text{CO}_2$  accumulation inside vehicles under the low ventilation condition.

The AQS test conducted by comparing carbon monoxide (CO) and volatile organic compound (VOC) concentrations inside two vehicles indicated that the AQS effectively decreased the in-vehicle concentrations by 21 to 36%, as compared to medium ventilation condition with the windows closed, the vent opened, and air conditioning on. In addition, The AQS test conducted by comparing the interior and exterior concentrations indicated that the AQS effectively decreased the in-vehicle concentrations by 18 to 31%, as compared to medium ventilation condition.

Key words : Air quality system, carbon dioxide, carbon monoxide, vehicle, volatile organic compounds

### 1. 서 론

자동차 배출 오염물질이 도시 대기의 주요 오염원으로 인식됨에 따라 자동차 공해와 관련한 대중들의 전강 위해성 문제가 최근 많은 관심을 끌고 있다. 자동차 공해물질 중 휘발성 유기 물질 (volatile organic compounds, VOCs)은 차량 내부의 높은 농도와 독성 때문에, 최근, VOCs에 대한 자동차 탑승자의 노출이 주요 관심사로 부상하고 있다. 국외의 선진 연구들은 (Chan et al., 1991a; Chan et al., 1991b; Weisel et al., 1992; Dor et al., 1995) 자동차에서 배출되는 VOCs의 차량 내부농도가 일반 대기 농도의 8배 정도까지 높았다고 보고하였다. 국내에서도 Jo와 Choi (1996)가 출퇴근 시 차량 내부의 VOCs 노출을 평가한 적이 있다. 이들 VOCs의 대부분이 benzene과 같이 발암물질로 알려져 있거나 또는 발암물질로 의심을 받고 있는 오염물질이며 (International Agency for Research on Cancer, 1987), 일부 VOCs들은 급성영향도 있는 것으로 알려져 있다 (Wallace, 1986; Tancrede, M.R. et al., 1987;

### U.S. EPA, 1990).

일산화탄소 (CO) 또한 차량 내부의 높은 농도와 독성 때문에 VOCs 노출과 더불어 차량 탑승시 CO에 대한 노출이 많은 관심을 끌어 왔다. Brice와 Roesler (1996)가 미국의 다섯 개 도시에서 교통량이 많은 시기에 운행 차량 내부에서 탑승자들의 CO 노출에 대한 연구를 수행한 적이 있다. 이들 연구에서, VOCs의 연구 결과와 유사하게, 차량 내부의 CO 농도가 인근의 일반 대기 측정소에서 관측된 CO 농도보다 상당히 높게 나타났다. 최근의 다른 선진 연구에서도 (Ziskind et al., 1982; Johnson, 1984; Ott, 1984; Akland et al., 1985; Ott et al., 1988), 일반 대중들이 일과 중에 CO에 노출 당하는 상황 중에서, 자동차 탑승에 의한 CO 노출이 가장 높은 것으로 보고되었다.

이러한 자동차 배출 오염물질들에 대한 노출을 줄이기 위한 전략으로서 두 가지 방지기술이 응용될 수 있다. 첫 번째 기술로서는 운행차량에 상업적으로 이용 가능한 차량용 공기정화장치를 설치하는 것이다. 그러나



Fig. 1. AQS block diagram.

Table 1. Summary of traveling scheme

Experiment	Car	Type	Compound	No. of sample	
				AQS on	AQS off
Experiment 1	Sonata II	interior	CO <sub>2</sub>	4	4 <sup>a</sup>
Experiment 2 (Method 1)	Sonata II	interior	CO benzene toluene ethylbenzene o-xylene m,p-xylene	10 10 10 10 10 10	10 10 10 10 10 10
	Prince <sup>b</sup>	interior	CO benzene toluene ethylbenzene o-xylene m,p-xylene	10 10 10 10 10 10	10 10 10 10 10 10
Experiment 2 (Method 2)	Sonata II	interior	CO benzene toluene ethylbenzene o-xylene m,p-xylene	10 10 10 10 10 10	10 10 10 10 10 10
	Sonata II	exterior	CO benzene toluene ethylbenzene o-xylene m,p-xylene	10 10 10 10 10 10	10 10 10 10 10 10

<sup>a</sup>the number of samples collected under low ventilation condition with the windows and vent closed, and air conditioning on medium strength. <sup>b</sup>AQS on or off denotes the AQS condition of Sonata II which was driven with Prince in tandem.

차량용 공기정화기는 차량 내부에 이미 침투된 오염물질을 감소시키는 목적으로 이용되므로 차량 내부로 침투되었으나 미처 공기정화기를 통과하지 않은 높은 농도의 오염물질에 차량 탑승자가 노출될 수 있다. 더욱 이, 차량용 공기정화기의 차량 내부 오염물질에 대한 제거 효율이 알려져 있지 않고, 현재 상업적으로 이용 가능한 차량용 공기정화장치에 내장되어 있는 활성탄의 공간이 1 mm 이상이므로 benzene과 같은 특성이 강한 VOCs들의 제거 효율에 대해서는 강한 의심을 가질 수 밖에 없다. 운행 차량에서 탑승자의 오염물질에 대한 노출과 이로 인한 건강 위험성을 줄이기 위한 또 다른 방법은 자동차로 인해 오염된 도로상의 공기가 차량 내부로 침투하는 것을 방지하기 위해서 차량의 창문과 환기 장치를 닫아서 환기 조건을 낮게 유지하는 것이다. 그러나, 낮은 환기조건에서 오랫동안 운행시 이산화탄소 (CO<sub>2</sub>)의 농도가 차량 내부에서 증가하여 산소 부족현상이 유발될 수 있다. 이러한 문제점들은 운행중인 차량이 도로상의 오염된 공기를 만나게 되면 자동적으로 환기 장치를 닫아서 오염된 공기가 차량 내부로 침투하는 것을 방지하고, 도로상의 비교적 오염이 적은 공기를 만나게 되면 자동적으로 환기장치를 열어서 차량 내부로 들

어와서 차량내부에 비교적 신선한 공기를 제공하는 공기질 조절장치 (Air Quality System, AQS)를 이용함으로써 해결될 수 있다. 본 연구에서는 먼저 도로상의 오염된 공기가 차량 내부로 침투하는 것을 줄이기 위해서 창문과 차량 환기 장치를 모두 닫아서 낮은 환기 조건을 유지하였으며, 이런 상태로 차량이 운행될 때 야기되는 차량 내부의 산소 부족현상과 차량 환기의 중요성을 확인하는 방법으로 차량 내부의 CO<sub>2</sub>의 오염도를 조사하였다. 그리고 나서 AQS 작동에 따른 차량 내부 공기질을 평가하기 위해서 두 가지의 실험을 수행하였다. 연구 대상오염물질로서는 대표적인 자동차 공해물질인 CO, benzene, toluene, ethylbenzene, o-xylene, m-xylene, 그리고 p-xylene이 선정되었다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 AQS

AQS (Auto electronic corporation)는 차량 외부공기의 오염도를 감지하여 유해한 배기ガ스가 차량실내로 유입되는 것을 자동으로 차단해 주고 오염이 적은 공기만을 유입시키는 장치이다. AQS 장치 구조가 Fig. 1에 나타난다. AQS의 감지장치는 자동차 배기ガ스를 대표

하는 CO<sub>2</sub>를 감지하도록 개발되었다. 이 감지장치는 도로상에서 배기ガ스의 농도가 가장 높은 배기구 높이에 설치되었고, 비와 눈과 같은 외부 기상의 영향을 받지 않도록 후드 아래에 장착되었으며, 차량내부로부터 가장 먼 거리에서 도로상의 오염도를 감지할 수 있도록 차량 앞부분에 설치되었다. 오염물질이 감지장치에 감지되면 이 결과가 signal의 형태로 Dynamic Adaptive Processing algorithm이 탑재되어 있는 Micro Controller에 전달된다. Micro Controller의 판단 Signal이 다시 On-Off Controller에 전달되며 이 결과에 따라 자동차 환기장치 개폐기가 작동된다. 따라서, AQS는 공기의 오염도를 감지하여 그 결과에 따라 자동차 환기장치를 자동으로 개폐한다. AQS의 작동은 자동차 실내 전면 계기판에 부착된 On-Off Switch를 이용하여 제어된다.

## 2.2 연구 고안

본 연구에서는 차량내부 공기질 평가에 대한 두 가지 실험이 고안되었다. 첫 번째 실험에서는 낮은 환기 조건과 AQS 작동 차량에서 차량 내부의 CO<sub>2</sub> 오염도를 평가하였다. 이 실험은 차량 탑승 인원을 1인에서 4인까지 조절하여 수행되었다. 두 번째 실험에서는 AQS 작동 조건의 내부 공기질을 평가하는 것으로서 두 가지 방법이 이용되었다. 첫 번째 방법으로서 AQS를 작동시킨 경우와 AQS를 작동시키지 않은 경우에 대하여 AQS가 장착된 차량과 AQS가 장착되지 않은 차량 사이의 오염물질의 농도 차이를 비교 분석하였다. 두 대의 시험 차량이 다른 시간대에 운행될 경우, 도로상의 기상 조건 및 교통량이 다르게 되고, 이로 인해 차량 내부의 오염도가 달라질 수 있으므로, 이러한 실험오차를 최소화하기 위해서 두 대의 시험차량은 항상 동일한 시간대에 함께 운행되었다. 두 번째 방법으로서는 AQS를 작동시킨 경우와 AQS를 작동시키지 않은 경우에 대하여 AQS가 장착된 차량의 내부 공기오염도와 도로상의 공기오염도 차이가 비교 분석되었다. 본 연구는 Table 1에 요약해 놓은 계획에 의해 수행되었다.

본 실험에서 실험오차를 줄이기 위해서 실험에 이용된 차량, 연료, 차량 환기조건, 에어컨디셔너의 세기, 그리고 송풍방향의 다섯 가지의 실험변수가 통제되었다. 본 연구를 위한 차량내부 공기질 현상에 대한 AQS의 효율 평가실험에서는 AQS가 장착된 1995년식 현대 Sonata II 승용차와 AQS가 장착되지 않은 1996년식 대우 Prince 승용차가 이용되었다. 낮은 환기조건으로 인해 야기되는 차량 내부의 산소부족현상 조사를 위한 실험에서는 AQS 장착 Sonata II가 이용되었다. 전체 실험 기간동안 실험에 이용된 두 차량의 연료주입장치, 엔진 및 배기 장치 모두가 정상적으로 작동되었다. 휘발유의 구성비 차이로 인한 조사 대상물질의 차량 내부의 농도에 미치는 영향을 제거하기 위해서 한 개의 석유회사 제품 (LG 정유)만을 이용하였다. 차량 내부 공기질 현상에 대한 AQS 효율 평가를 위한 실험을 위해서 통제된 차량 환기조건으로서, 창문은 모두 닫고, 외기 조건에서 에어컨디셔너는 중간세기로 조절되었다. 송풍방향은 상

하 양 방향으로 일정하게 조절되었다.

## 2.3 조사 노선

본 연구를 위해서 대구 도심지를 통과하는 왕복 10차선의 중앙도로가 차량 운행노선으로 선정되었다. 이 조사 노선의 거리는 대구의 동부지역 4.3 km, 중심지역 4.0 km 및 서부지역 4.2 km를 포함하여 전체 12.5 km이다. 이 운행 노선 상에는 22개의 교차로 신호등이 있었다. 오전 출근시간대의 차량속력은 중앙값이 16.6 kph이었으며, 최소가 12.8 kph 그리고 최대가 22.3 kph이었다. 한편, 오후 퇴근시간대의 차량속력은 중앙값이 15.3 kph이었으며, 최소가 11.7 kph 그리고 최대가 19.8 kph이었다.

## 2.4 조사 방법 및 절차

차량 내부의 산소부족현상을 조사하기 위해서 운행 중에 차량 내부의 CO<sub>2</sub> 농도를 측정하는 첫 번째 실험이 수행되었다. 이 실험은 두 개의 환기조건 (내기 조건과 AQS가 작동되는 외기 조건)에서 실시되었다. 차량 탑승자가 한 명에서 네 명까지의 경우 각각에 대하여 운행시간에 따른 CO<sub>2</sub>의 농도변화가 조사되었다.

두 번째로 두 가지 방법에 의한 실험이 1997년 여름의 평일 (월요일에서 금요일까지) 오전 출근시간 (7:00 - 9:00)과 오후 퇴근시간 (5:30 - 7:30)에 수행되었다. 이 실험은 위에서 언급한 바와 같이 외기 조건에서 진행되었다. 차량 내부에 잔류하는 오염물질 농도의 영향을 제거하기 위해서 운행 5분전에 엔진 시동을 끄고 창문을 열어 놓았다. 첫 번째 방법에 의한 실험을 위해서 두 개의 AQS조건 (AQS 작동시와 AQS 비작동시)에서 운행된 두 대의 차량 내부에서 시료가 채취되고 측정되었다. 조사 차량 각각은 하루에 2회 운행 (오전 출근시와 오후 퇴근시) 되었다. 오전 출근시에는 두 대의 차량이 대구의 동구지역을 동시에 출발하여 목적지인 대구의 서구 지역에 동시에 도착하였다. 오후 퇴근시에는 오전 출근시 노선의 역 방향으로 두 대의 차량이 운행되었다. 오전 출근시 (또는 오후 퇴근시)에 AQS를 작동시키면서 Sonata II가 운행되었고, 오후 퇴근시 (또는 오전 출근시)에 AQS를 끈 채로 Sonata II가 운행되었다. 일회의 운행에 대하여 차량 각각으로부터 차량 내부로부터 한 개의 시료가 채취되었다. 또한, 국제적으로 인정받고 상용되며 환경청과 국내 각 시 및 도 보건환경연구원에서 이용되고 있는 휴대용 CO/CO<sub>2</sub> 측정기 (CMCD-10P, GASTEC Co.)를 이용하여 CO도 측정되었다. 담배연기의 영향을 피하기 위해서 운행 중에는 운전자가 흡연을 하지 않았다. 차량의 속력은 운행거리와 운행시간을 이용하여 계산되었다.

두 번째 방법에 의한 실험에서는 두 개의 AQS조건 (AQS 작동시와 AQS 비작동시)에서 운행된 Sonata II의 차량 내부와 차량외부의 도로상의 공기 시료가 채취되고 측정되었다. 이 실험은 첫 번째 방법에 의한 실험에서 이용된 실험 방법 및 절차와 동일하게 수행되었다. 두 번째 방법에 의한 실험에서는 Sonata II 만이 운행되었고, 차량 내부와 차량 외부 공기가 동시에 측정되었다.

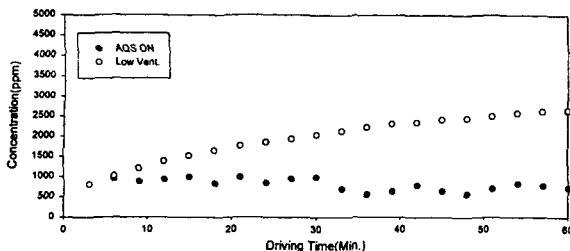


Fig. 2. Invehicle carbon dioxide concentration variation with one occupant under AQS-on condition and AQS-off condition with low ventilation condition (the windows and vent closed, and air condition on).

는 점이 첫 번째 방법에 의한 실험과의 차이점이다.

## 2.5 시료 채취 및 분석법

### 2.5.1 시료 채취법

운행 중에 차량 내부와 외부 공기내의 VOCs와 CO가 각각 채취 및 측정되었다. 차량 내부 공기 시료는 운전자 옆 좌석의 탑승자의 호흡영역에서 채취 또는 측정되었다. 차량 외부 공기 시료는 자석과 결립쇠로 고정되어 차량 외부로 연결된 0.25인치 외경의 구리튜브를 통해서 채취 또는 측정되었다. 침전물이 튜브 내로 들어오는 것을 막기 위해서 튜브의 시료주입부는 도로를 향하도록 굽어지게 하였다. 이 시료주입부는 도로 면으로부터 48 센티미터 높이인 AQS 감지기 (sensor)가 장착된 주위에 고정되었다. 튜브의 다른 한쪽 끝은 운전자 옆 좌석의 창문틈새를 통해 차량 내부로 유입되었고, 창문의 틈새는 강력 테이프로 밀봉되었다.

VOC 시료 채취를 위해서 Tenax-TA로 채워진 7 인치 길이의 Stainless Steel tube가 연결된 개인 시료 채취기 (AMTEK MG4)를 이용하였고, CO는 휴대용 디지털 측정기를 이용하여 측정되었다. 시료 채취에 이용된 펌프는 질량 유량계를 이용하여 시료 채취 전후에 검정되었다. 시료 채취량을 계산하기 위해서 시료 채취 전후에 검정된 두 개 유량의 평균이 이용되었다. 본 연구에서는 시료 채취 전후에 검정된 두 개의 유량 차이가 10% 보다 적게 나타났다. 본 연구에서 검정된 유량은 48에서 76 cc/min이었다.

### 2.5.2 시료 분석법

Tenax-TA에 흡착된 VOCs는 미국 환경보호국 (United States Environmental Protection Agency)에서 개발된 방법인 TO-1 Method를 응용하여 분석되었다 (Winberry et al., 1988). VOCs 분석을 위해서 열탈착 장치 (Tekmar Model Aerotrap 6000)와 불꽃 이온화 검출기가 부착된 기체크로마토그라피 (Gas Chromatography, GC, Varian 3400CX)가 이용되었다. 연구 대상오염물질의 분리를 위해서 0.53 밀리미터 외경, 60미터 길이 그리고 5  $\mu\text{m}$  고정상 필름 두께의 capillary column (SPB-5, Supelco Co.)을 이용하였다. 흡착된 VOCs를 GC에 주입시키기 위해서 흡착 trap을

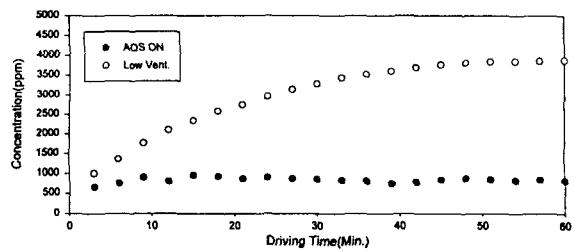


Fig. 3. Invehicle carbon dioxide concentration variation with two occupant under AQS-on condition and AQS-off condition with low ventilation condition (the windows and vent closed, and air condition on).

250°C에서 10분 동안 가열하였다. VOCs 분리 효율을 증가시키기 위해서 열 탈착된 VOCs는 일차적으로 Cryo trap (-150°C)에서 응축되었다. 냉각된 trap은 급속히 250°C로 가열되어 VOCs가 열탈착장치의 Cryo-focusing Module (CM)으로 이동되어 -150°C로 재 응축되었다. 재 응축 후에 CM이 225°C로 가열되었고 최종적으로 VOCs가 GC내로 이동되어 분석되었다. GC의 항온조는 초기온도 35°C에서 5분간 유지되었고 그 후 분당 2°C씩 증가하여 200°C에서 5분 동안 유지되었다. VOCs의 정성적인 분석을 위해서 보유시간 (retention time)이 이용되었다. VOCs의 정량적인 분석을 위해서는 최소 4개 농도로 구성된 검정선이 이용되었다.

### 2.5.3 자료의 질 조절 및 확인

VOCs 자료의 질 조절/질 확인 프로그램을 위해서 실험실 공시료 (background sample), 현장 공시료 (field sample), 외부표준물질 (external standard) 및 이중시료 (duplicate sample)가 이용되었다. 분석 초기에 실험실 공시료와 현장 공시료를 분석하여 trap의 오염 여부를 확인한 결과 trap의 오염도는 나타나지 않았다. 외부 표준물질을 이용하여 매일의 분석 기기 상태를 확인하였다. 외부 표준물질 농도와 기존 검정선 농도와의 차이가  $\pm 25\%$  이상이 된 경우에 검정선이 다시 작성되었고 새로운 검정선이 정량분석을 위해서 이용되었다. 순간 증발 장치 (Flash Evaporation System)를 이용하여 10.5 ng에서 21.6 ng 범위의 표준물질을 trap에 주입하여 GC에서 분석되었다. 이 결과를 이용하여 결정된 VOCs 검출한계는 0.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 1.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 열 개의 이중 시료를 이용하여 결정된 측정 정밀도는 20%이내로서 허용오차범위를 만족하였다 ( Jo와 Choi, 1996). CO 측정시 이용된 자료의 질 조절/질 확인 프로그램을 위해서 제로 및 span 조정이 매일 수행되었다. 또한, 측정기기의 정확도를 확인하기 위해서 본 실험 초기에 경상북도 보건환경연구원에서 CO 측정기가 검정되었다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 운행시간에 따른 CO<sub>2</sub>의 농도 변화

차량 내부의 산소 부족 현상을 조사하기 위해서 두 개

Table 2. Mean CO(ppm) and VOC concentrations ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) inside two vehicles<sup>a</sup>

Compound	AQS off		AQS on	
	Prince	Sonata II	Prince <sup>b</sup>	Sonata II
CO	5.2(2.3)	4.8(1.9)	5.0(2.5)	2.8(1.1)
Benzene	42.5(31.2)	39.9(15.7)	41.2(14.3)	26.6(12.4)
Toluene	52.3(33.6)	49.1(27.2)	64.4(23.4)	40.5(17.1)
Ethylbenzene	9.7(5.4)	8.3(3.8)	10.5(6.2)	6.8(3.5)
O-Xylene	12.4(7.7)	11.3(3.2)	14.5(4.3)	8.7(3.1)
M,P-Xylene	23.3(8.7)	21.7(9.3)	27.0(7.4)	17.6(5.3)

<sup>a</sup>the number of sample was 10 for each compound of each of four conditions (two vehicles with two ACD conditions): two test vehicles were driven in tandem. Parentheses indicate standard deviations. <sup>b</sup>AQS was not installed in Prince.

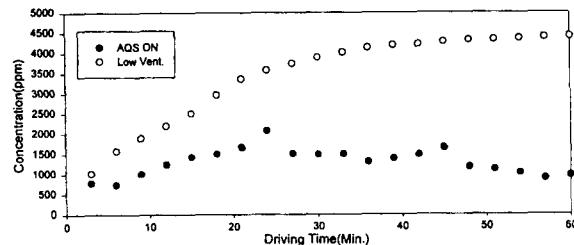


Fig. 4. Invehicle carbon dioxide concentration variation with three occupant under AQS-on condition and AQS-off condition with low ventilation condition (the windows and vent closed, and air condition on).

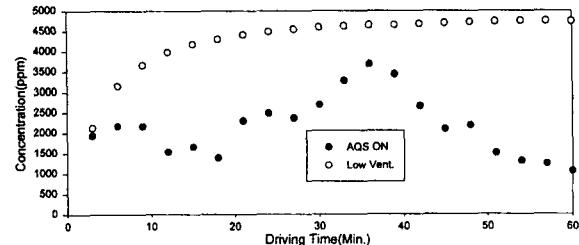


Fig. 5. Invehicle carbon dioxide concentration variation with four occupant under AQS-on condition and AQS-off condition with low ventilation condition (the windows and vent closed, and air condition on).

의 환기 조건 (내기 조건과 AQS를 작동시킨 외기 조건)에서 차량 내부의 CO<sub>2</sub> 농도를 운행시간 매 3분마다 측정하였다. Fig. 2에서 Fig. 5까지는 운행시간에 따른 차량 내부의 CO<sub>2</sub> 농도변화를 한 명에서 네 명까지의 탑승자에 대하여 각각 나타낸다. 네 개의 그림 모두에서, 차량 내부의 CO<sub>2</sub> 농도가 내기 조건에 비해 AQS가 작동된 외기 조건에서 훨씬 낮게 나타났다. 내기 조건에서는 미국, 서유럽 그리고 일본에서 권장하고 있는 CO<sub>2</sub> 대기질 기준치인 1,000 ppm을 훨씬 초과한 것으로 나타났다. 특히, 내기조건에서는 탑승자의 수가 증가함에 따라 차량 내부의 CO<sub>2</sub>농도는 급속히 증가하는 것으로 나타났다. 반면에, 비록 4인이 탑승한 경우라도 AQS가 작동된 외기 조건에서는 차량 내부의 CO<sub>2</sub> 농도가 1,000 ppm을 초과되는 경우는 아주 적었다. 따라서, 실내환경에서 CO<sub>2</sub> 농도는 부적절한 환기조건과 산소 부족 현상과 관련이 있으므로 차량 환기조건을 내기상태로 고정시키면 차량 내부로 침투된 유해 오염물질이 축적되고 필요한 산소를 충분히 유지시키지 못한다는 문제점이 지적된다. 반면에 외기 상태에서는 오염된 공기가 차량 내부로 쉽게 유입되어 차량 내부 농도를 증가시킬 수 있으므로 차량 내부의 오염도를 줄이기 위해서는 운행중인 차량이 도로상의 오염된 공기를 만나게 되면 환기장치를 닫아서 오염된 공기가 차량 내부로 침투하는 것을 방지하고, 운행중인 차량이 도로상의 비교적 오염이 적은 공기를 만나게 되면 환기장치를 열어서 차량내부에 비교적 오염이 적은 신선한 공기를 제공하는 장치가 필요하다.

### 3.2 차량내부 공기질 현상에 대한 AQS 효율평가 I

AQS를 작동시킨 경우와 AQS를 작동시키지 않은 경우에 대하여 AQS가 장착된 차량 (Sonata II)과 AQS가 장착되지 않은 차량 (Prince)사이의 오염물질의 농도차이를 비교 분석하여 차량내부 공기질 현상에 대해 AQS의 효율을 평가하였다. 측정된 차량 내부 농도가 Table 2에 요약되었다. AQS가 켜지지 않은 외기 조건에서, 조사 대상 오염물질중에서 CO의 평균농도가 Prince 내부와 Sonata II 내부에서 각각 5.2 ppm과 4.8 ppm으로서 가장 높게 나타났다. 조사 대상 VOCs중에서는 toluene의 평균 농도가 Prince 내부와 Sonata II 내부에서 각각 52.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 49.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로서 가장 높게 나타났다. Sonata II에서 AQS를 작동시키지 않은 경우에는 조사 대상 오염물질 모두에 대해서 Sonata II 보다는 Prince에서 약간 높은 농도를 보였고 이러한 차이는 실험에 사용된 두 차량의 모델 차이에 의한 환기량 차이의 영향도 있는 것으로 생각된다. 그러나 실험 차량 두 대 사이에 농도 차이는 크지는 않은 것으로 나타났다. 이는 실험 차량 두 대가 동시에 운행되었기 때문에 다른 시간대에 운행될 때 야기되는 도로상의 기상조건 및 교통량과 같은 운행 조건 차이로 인한 혼돈 인자가 미리 통제되었기 때문인 것으로 사료된다. 한편, AQS를 작동시킨 경우에는 조사 대상 오염물질 모두에 대해서 실험 차량 두 대 사이에 농도 차이가 큰 것으로 나타났다.

Prince 내부 농도에 대한 Sonata II 내부 농도비 및 AQS 효율을 Table 3에 나타내었다. AQS가 작동되지

Table 3. Concentration ratio of in-Sonata II to in-Prince and the AQS efficiency<sup>a</sup>

Compound	Sonata II/Prince Ratio		
	AQS off	AQS on	AQS Efficiency, %
CO	0.92	0.56	36
Benzene	0.94	0.65	29
Toluene	0.94	0.63	31
Ethylbenzene	0.86	0.65	21
O-Xylene	0.91	0.60	31
M,P-Xylene	0.93	0.65	28

<sup>a</sup>AQS on and off conditions correspond to Sonata II only.

않은 조건과 비교할 때 AQS가 작동된 조건에서는 조사 대상 오염물질의 차량 내부 농도가 21%에서 36%까지 줄어든 것으로 나타났다. Table 3에 나타난 AQS의 효율은 아래의 식을 이용하여 계산되었다.

$$\epsilon = \{(1 - R_{\text{on}}) - (1 - R_{\text{off}})\} \times 100 = (R_{\text{off}} - R_{\text{on}}) \times 100 \quad (1)$$

여기서  $\epsilon$ 는 AQS의 효율(%),  $R_{\text{on}}$ 은 AQS가 작동 중일 때 Prince 내부 농도에 대한 Sonata II 내부 농도비, 그리고  $R_{\text{off}}$ 는 AQS가 작동되지 않을 때 Prince 내부 농도에 대한 Sonata II 내부 농도비를 나타낸다. 본 연구에서 조사된 오염물질인 일산화탄소와 여섯 개 휘발성 유기물질들은 자동차로부터 배출되는 대표적 오염물질이므로, 본 연구 결과는 자동차에서 배출되는 대부분의 오염물질에 대해서도 적용될 수 있을 것이다. 즉, 본 연구의 조사 대상 오염물질 뿐만 아니라, 이산화질소 ( $\text{NO}_2$ ), 다환 방향족 화합물 (polycyclic aromatic compounds, PAHs) 및 미세분진 (PM10)을 포함한 많은 독성 자동차 공해물질이 차량 내부로 침투하는 것을 AQS가 줄일 수 있을 것이다.

AQS가 작동되지 않은 경우에 본 연구에서 측정된 차량 내부 CO 농도는 미국의 샌프란시스코 (4.6 ppm, Ott et al., 1988)와 New Jersey/New York (3.0 ppm, Lawryk, 1994)의 측정값과 유사한 것으로 나타났지만 미국의 Washington DC (11.5 ppm, Flachsbart et al., 1987), Raleigh, NC (11.3 ppm, Chan et al., 1991a), 프랑스 Paris (12.0 ppm, Dor et al., 1995) 및 Mexico city (56.1 ppm, Fernandez-Bremauntz and Ashmore, 1995) 보다는 낮게 나타났다. 미국의 경우 CO

규제를 강화한 후인 1991년 이후에는 CO의 자동차 배출이 급진적으로 감소하는 추세 (Flachsbart, 1995)으로 미국의 대부분 도시에서 현재 차량 내부 CO 농도는 과거에 비해 낮을 것으로 추정된다.

본 연구에서 측정된 차량 내부 VOCs 농도는 동일한 도시에서 수행된 선진 연구의 결과 (Jo와 Choi, 1996) 보다 전반적으로 높게 나타났다. benzene의 경우 선진 연구에서는  $68.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로서 본 연구의 결과보다 2배 이상 높았다. 이러한 차이는 조사 지역의 차량 및 휘발유 소비량의 증가에 기인하는 것으로 사료된다. 또한, 본 연구 결과는 대부분의 VOCs에 대해 미국과 프랑스 Paris의 결과의 중간 정도인 것으로 나타났다. 여섯 가지 VOCs (benzene, toluene, ethylbenzene, o,m,p-xylenes) 농도의 합에 근거할 때 두 대의 승용차에서 얻은 농도의 평균이  $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로서 Raleigh, NC (125  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Chan et al., 1991) 보다 약간 높으나 프랑스 Paris (512  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Dor et al., 1995)보다는 약 1/4 정도로 나타났다. 이러한 차이는 조사 지역의 휘발유내 방향족 VOCs 함량, 외부 온도, 도로상의 난류 현상, 도로상의 방향족 VOCs의 축적 정도 등과 같이 승용차 내부 공기중 방향족 VOCs 농도에 영향을 미치는 여러 인자들의 복합적인 작용에 기인하는 것으로 추정된다.

### 3.3 차량내부 공기질 현상에 대한 AQS 효율평가 II

AQS를 작동시킨 경우와 AQS를 작동시키지 않은 경우에 대하여 AQS가 장착된 차량 (Sonata II)의 내부와 차량 외부 사이의 오염물질의 농도 차이를 비교 분석하여 차량내부 공기질 현상에 대해 AQS의 효율을 평가하였다. 차량 내부 시료와 차량 외부 시료는 동시에 채취 및 측정되었다. 측정된 차량의 내부 및 외부 농도를 Table 4에 요약하여 나타내었다. AQS가 켜지지 않은 외기 조건에서, 조사 대상 오염 물질 중에서 CO의 평균농도가 차량 내부와 외부에서 각각 5.7 ppm과 7.1 ppm으로서 가장 높게 나타났다. 조사 대상 VOCs 중에서는 toluene의 평균 농도가 차량 내부와 외부에서 각각 46.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 49.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로서 가장 높게 나타났다. AQS를 작동시키지 않은 경우와 비교할 때 AQS를 작동시킨 경우에 차량 내부와 차량 외부 사이의 농도 차이가 큰 것으로 나타났다. Table 5에 나타난 바와 같이 AQS가 작동되지 않은 조건과 비교할 때 AQS가 작동된 조건에서

Table 4. Mean CO(ppm) and VOC concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) inside Sonata II and in roadway air<sup>a</sup>

Compound	AQS off		AQS on	
	In-Veh	Road	In-Veh	Road
CO	5.7(2.2)	7.1(2.7)	3.7(1.3)	6.9(2.9)
Benzene	32.0(12.2)	34.1(10.7)	17.8(6.3)	27.6(10.9)
Toluene	46.6(21.7)	49.0(19.3)	26.3(7.4)	41.3(15.8)
Ethylbenzene	10.0(3.2)	12.0(3.7)	5.8(2.4)	8.9(2.7)
O-Xylene	12.5(4.3)	14.1(3.8)	7.1(2.1)	11.5(2.6)
M,P-Xylene	18.8(3.9)	20.6(4.7)	12.1(2.2)	18.6(3.5)

<sup>a</sup>the number of sample was 10 for each compound of each of four conditions (in-vehicle and roadway under ACD off condition and in-vehicle and roadway under ACD on condition); the in-vehicle and roadway concentrations were simultaneously determined.

Table 5. Concentration ratio of in-Sonata II to roadway air and the AQS efficiency

Compound	In-Sonata II/Road		
	AQS off	AQS on	AQS Efficiency, %
CO	0.80	0.54	26
Benzene	0.94	0.64	30
Toluene	0.95	0.64	31
Ethylbenzene	0.83	0.65	18
O-Xylene	0.89	0.62	27
M.P-Xylene	0.91	0.65	26

는 조사 대상 오염물질의 차량 내부 농도가 18%에서 31%까지 줄어든 것으로 나타났다. 이러한 결과는 효율이 18%인 ethylbenzene을 제외하고는 차량내부 공기질 현상에 대한 AQS 효율 평가 I의 결과와 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. Table 5에 나타난 AQS의 효율은 아래의 식(2)을 이용하여 계산되었다.

$$\varepsilon = \{(1 - R_{on}) - (1 - R_{off})\} \times 100 = (R_{off} - R_{on}) \times 100 \quad (2)$$

여기서  $\varepsilon$ 는 AQS의 효율(%),  $R_{on}$ 은 AQS가 작동 중일 때 Sonata II 외부 농도에 대한 Sonata II 내부 농도비, 그리고  $R_{off}$ 는 AQS가 작동되지 않을 때 Sonata II 외부 농도에 대한 Sonata II 내부 농도비를 나타낸다.

AQS가 작동하지 않은 경우 차량 내부 VOC 농도와 도로상의 VOC 농도는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 전자 연료 주입식 엔진이 장착된 차량내부 오염도와 도로상 오염도를 비교 평가한 Lawryk (1994)의 연구 결과와 일치하였고, 도로상의 오염도가 차량 내부 오염도를 결정하는 주요 인자임을 나타낸다. 본 연구에 이용된 차량 두 대 모두 전자 연료 주입식 엔진이 장착되었다. 한편, Lawryk (1994)은 carburetor식 엔진이 부착된 차량 내부 오염도는 엔진에서 휘발되어 나오는 VOCs가 차량 내부로 침투하여 도로상의 오염도보다 높을 수 있다고 지적하였다. 따라서, 국내의 carburetor식 엔진 차량의 경우에는 본 연구와 다른 결과가 나타날 수도 있을 것으로 생각된다.

#### 4. 결 론

본 연구는 내기조건에서 운행되는 차량의 내부 CO<sub>2</sub> 오염도를 조사하였고 차량 내부 공기질 현상에 대한 AQS의 효율을 두 가지 방법에 의해서 성공적으로 평가하였다. 차량 내부에 충분한 산소 상태를 유지시키기 위해서는 낮은 차량 환기 조건인 내기 조건은 바람직하지 못한 것으로 나타났다. 내기 조건에서는 차량 내부의 산소 부족현상을 나타내는 CO<sub>2</sub>의 농도가 미국, 서유럽 및 일본의 실내 공기질 권장 기준치인 1,000 ppm을 훨씬 증가하였다. 반면에, AQS가 작동된 외기 조건에서는 차량 내부의 CO<sub>2</sub> 농도가 거의 대부분 1,000 ppm을 넘지 않았다. 따라서, 내기조건으로 인한 차량 내부의 산소 부족 문제를 AQS가 해결할 수 있는 것으로 나타났다.

차량 두 대의 내부에서 측정된 CO와 여섯 개 휘발성 유기물질 (VOCs) 농도를 비교 분석하여 수행된 AQS 효율 연구에서는 AQS가 장착되지 않은 경우에 비해

AQS를 장착하여 작동시킨 경우에는 차량 내부 농도가 오염물질에 따라 21%에서 36%까지 줄어든 것으로 나타났다. 또한, 차량 내부 농도와 외부농도를 비교 분석하여 수행된 AQS 효율 연구에서는 AQS가 작동되지 않은 경우에 비해 AQS를 작동시킨 경우에는 차량 내부 농도가 오염물질에 따라 18%에서 31%까지 줄어든 것으로 나타났다. 이러한 결과에 기초할 때 AQS가 자동차에서 발생되어 도로상에 존재하는 오염물질들이 자동차 환기장치를 통해 차량 내부로 유입되는 것을 상당량 줄임으로써 차량 탑승자의 대기오염물질에 대한 노출량을 줄이고 궁극적으로 탑승자의 건강 위험성을 상당량 줄일 수 있는 것으로 생각된다.

#### 감사의 글

사려 깊은 심사를 해 주신 심사위원께 감사드립니다. 또한, 본 연구를 지원해 주신 Auto Electronic에도 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- Akland, G., T.D. Hartwell, T.R. Johnson and R.W. Whitmore, 1985, Measuring human exposure to carbon monoxide in Washington, DC and Denver, Colorado, during the winter of 1981-83, Environ. Sci. Technol. 19, 911.
- Brice, R.M. and J.F. Roesler, 1966, The exposure to carbon monoxide of occupants of vehicles in heavy traffic, J. Air Poll. Cont. Assoc. 25, 1028.
- Calabrese and Kenyon, 1991, Air Toxics and Risk Assessment, Lewis Publishers, Inc.
- Chan, C.C., H. Ozkaynak, J.D. Spengler and L. Sheldon, 1991a, Driver exposure to volatile organic compounds, CO, ozone, and NO<sub>2</sub> under different driving conditions, Environ. Sci. and Tech. 25, 964-972.
- Chan, C.C.; J.D. Spengler, H. Ozkaynak and M. Lefkopoulos, 1991b, Commuter exposure to VOCs in Boston, Massachusetts, J. Air & Waste Manage. Assoc. 41, 1594-1600.
- Cortese, A.D. and J.D. Spengler, 1976, Ability of fixed monitoring stations to represent personal carbon monoxide exposure, J. Air Poll. Cont. Assoc. 26, 1144-1150.
- Dor, F., Y. Le. Moullec and B. Festy, 1995, Exposure of city residents to carbon monoxide and monocyclic aromatic hydrocarbons during commuting trips in the Paris metropolitan area, J. Air & Waste Manage. Assoc. 45, 104-110.
- Fernandez-Bremauntz, A.A. and M.R. Ashmore, 1995, Exposure of commuters to carbon monoxide in Mexico city- I. Measurement of in-vehicle concentrations, Atmospheric En-

- viron. 29, 525-532.
- Flachsbart, P.G., G.A. Mack, J.E. Howes, and C.E. Rodes, 1987, Carbon monoxide exposures of Washington commuters, *J. Air Pollut. Contr. Assoc.* 37, 135-142.
- Flachbart, P.G., 1995, long-term trends in United States highway emissions, ambient concentrations, and in-vehicle exposure to carbon monoxide in traffic, *J. of Expos. Anal. and Env. Epi.*, 5, 473-495.
- International Agency for Research on Cancer, 1987, Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans, Supplement 7.
- Jo, W.K. and S.J. Choi, 1996, Vehicle occupants exposure to aromatic volatile organic compounds while commuting on an urban-suburban route in Korea, *J. Air & Waste Manage. Assoc.* 46, 749-754.
- Koushki, P.A., K.H. Al-Dhowalia and S.A. Niaizi, 1992, Vehicle occupant exposure to carbon monoxide, *J. Air & Waste Manage. Assoc.* 42, 1603-1608.
- Lawryk, N.J., 1994, Automobile commute exposures to volatile organic compounds: Emissions, malfunctions, and policy. Doctoral dissertation, Rutgers, The State University of New Jersey and Robert Wood Johnson Medical School, New Brunswick, NJ.
- National Academy of Sciences and Engineering (NASE), Sept. 1974, Air Quality and Emission Control, Volume 2: Health Effects of Air Pollutants, A Report to the Senate Committee on Public Works, NASE, Washington, DC.
- National Air Pollution Control (NAPCA), March 1970, Air Quality Criteria for Carbon Monoxide, NAPCA, Pub. No. AP-62, Washington, DC.
- Ott, W.R., 1984, Exposure estimates based on computer generated activity patterns, *J. Toxicology: Clinical Toxicology*, 21, 97.
- Ott, W., J. Thomas, D. Mage and L. Wallace, 1988, Validation of the simulation of human activity and pollutant exposure (SHAPE) model using paired days from the Denver, Colorado, carbon monoxide field study, *Atmos. Environ.*, 22, 2101.
- 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.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 1990, Cancer risk from outdoor exposure to air toxics, PA450/190004a.
- Wallace, L.A., 1986, Cancer risk from organic chemicals in homes, in Proceedings of Environmental Risk Management, APCA, Pittsburgh, PA, 1424 pp.
- 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, 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/600/489/017, U.S. EPA, Research Triangle Park.
- Ziskind, R., K. Fite and D. Mage, 1982, Pilot field study: carbon monoxide exposure in the general population, *Environ. Int.* 8, 283.