

## 서울시의 大衆交通手段内 室内空氣質에 對한 研究

김윤신 · 홍승철 · 전준민\*

한양대학교 환경 및 산업의학연구소, \*아태환경경영연구원

## An Investigation of Indoor Air Quality of Public Transportation System in Seoul City

Yoon Shin Kim, Seung Chul Hong and Jun Min Jeon\*

*Institute of Environmental and Industrial Medicine, Hanyang University, Seoul*

*\*Asia-Pacific Environment & Management Institution*

### ABSTRACT

The objective of this study were to measure concentrations of indoor pollutants in public transportation systems to provide importance of indoor air quality in transportation systems to policy makers. Indoor air quality of the pollutants (CO, CO<sub>2</sub>, PM-10) and environmental sources (temperature, humidity) were measured at subway, seat-type bus, and city-type bus in the Seoul area from April to September 1992. The same pollutants and environmental sources were also measured at selected bus stops and subway stations during October 1991-September 1992. The mean concentrations of indoor pollutants in the public transportation systems were showed 115.5 µg/m<sup>3</sup> in PM-10, 6.8 ppm in CO, and 2167.9 ppm in CO<sub>2</sub>, respectively. The mean values of PM-10 and CO showed below the U.S. 24 hour standard value of PM-10 and the Korea ambient CO standard, while the mean concentrations of CO<sub>2</sub> exceeded the Korea CO<sub>2</sub> standard. The highest levels of indoor concentration at public transportation systems were PM-10 of 134.6 µg/m<sup>3</sup> in the subway, CO of 8.9 ppm in the city-type bus, and CO<sub>2</sub> of 2,511.1 ppm in seat-type bus, respectively. The results showed that indoor air quality in bus and subway seemed likely to be affected by number of passengers and outdoor air infiltrated from exhausted gases of automobiles.

**Keywords :** Indoor air quality, public transportation, Seoul.

### I. 서 론

실내(Indoor)라고 하는 개념은 사람이 거주하는 주택, 사무실, 병원, 학교, 상가, 지하공간 등은 물론이고 출, 퇴근시 이용하는 교통수단, 음식점등을 모두 포함하는 광범위한 개념이다. 이같은 다양한 실내공간중 고층건물의 경우 건물등의 에너지 효율성증대를 위하여 건물의 밀폐화가 추진되면서 자연 환기율이 감소되어 오염물질들이 실내에 농축되어 거주하는 사람들의 건강을 위협하는 "빌딩 증후군" (Sick Building Syndrome-SBS)같은 증상이 나타났다.<sup>1)</sup>

교통수단의 하나인 자동차의 경우 독일의 벤츠사가 1876년에 최초로 제작할 때는 단지 사람과 물

건의 이동수단으로 이용되었으나 국민 개개인의 소득수준 향상과 산업구조의 다양화, 신속성 및 정확성을 요구하는 현대의 사회경제구조의 변혁으로 자동차는 다양한 목적으로 사용되고 있으며, 이에 따른 수요증대는 차량수의 급격한 증가를 가져왔다. 1991년에 이르러 전국의 자동차 보유대수가 425만대를 돌파하였고<sup>2)</sup> 이로 인한 교통체증, 자동차공해에 시달리게 되었다. 특히 서울시의 경우 낮은 도로율과 전체 자동차의 23%가 몰려있어 심각한 교통정체가 발생하고 있다.<sup>3)</sup> 이로 인하여 서울시의 대기오염의 증가는 물론 도로변의 대기오염물질의 농도가 더욱 높아지는 것으로 나타났다.

1989년에 발표된 우리나라의 교통수단별 운송분담율을 살펴보면 도시형버스와 좌석버스의 수송분

담율이 47.3%이고, 택시 15.9%, 승용차 18.0%로 디젤엔진을 사용하는 버스의 운송분담율이 가장 높은 실정이다.<sup>4)</sup> 반면 비교적 오염원이 적은 지하철의 대중운송 분담율은 18.8%에 불과해 대부분이 육상 교통수단에 의존하는 특징을 갖고 있다.

현재 우리나라의 경우 자가용 보급율이 급증하고는 있지만 아직도 대다수의 사람들이 대중교통수단을 이용하여 출·퇴근을 하고 있으며, 개인적인 차이는 있으나 1일 평균 1시간에서 4시간 이상씩을 대중교통수단 내에서 보내는 것으로 추정할 때 매일 교통수단을 장기간 이용하는 사람은 대중교통수단이 오염됐을 경우 이용자의 건강에도 영향을 줄 수 있다 하겠다.

이러한 관점에서 대중교통수단내의 각종 오염물질의 농도에 대한 조사와 발생원인에 대한 연구가 필요한 것으로 생각된다. 그러나 최근까지 자동차 배출가스에 의한 대기오염의 영향이나 인체에 대한 영향에 대해서는 많은 조사연구가 시행되었으나 대중교통수단에서의 각종 오염물질의 농도를 조사하고 그 원인에 대한 조사연구는 거의 이루어지지 않았다.

따라서 본 연구의 목적은 서울시내의 대중교통수단의 중요성에 착안하여 차량내 실내공기질(Indoor Air Quality-IAQ)을 파악하고 대중교통수단 이용으로 인한 이용자의 공기오염노출과 건강위해를 평가하는데 필요한 기초자료를 제공하고자 하였다.

## II. 연구대상 및 연구방법

### 1. 연구대상 및 조사방법

본 연구는 1992년 6월부터 7월까지 약 1개월간에 걸쳐 서울시내에서 운행되고 있는 도시형버스(city type bus) 1개노선, 좌석버스(seat type bus) 4개노선, 지하철(subway) 4개노선을 대상으로 온도, 습도, 호흡성분진(PM-10), 일산화탄소 그리고 이산화탄소의 5개 항목에 대한 실내공기질을 조사하였으며, 1991년 10월과 1992년 9월에 버스정류장과 지하철역 플랫폼에서 각각 실외공기질을 측정하였다. 실내측정시는 배기가스의 유입 등을 고려하여 중간지점에서 측정하였다. 실내·외 공기질의 측정시간은 일반인들이 대중교통수단을 많이 이용하는 출근시간대(07:00~10:00)와 퇴근시간대(17:00~21:00), 그리고 비교적 한가한 정오시간대(11:30~16:00) 등 하루 3회에 걸쳐 측정하였다.

기본환경인자인 온·습도는 Fisher Scientific사의 Digital Hygrometer-Thermometer 휴대용 측정기로, PM-10의 측정은 10 µg/m 이하의 분진농도만을 측정

하는 Piezobalance(Kanomax사 Model 5311)를 이용하였으며, 일산화탄소는 일산화탄소 검지 경보기(Gastec사-Model: CM-2B)를 사용하여 측정하였다. 또한 이산화탄소는 직독식 가스검지관(Gastec사) pump를 이용하여 조사하였다.

### 2. 연구대상의 주변환경 및 측정조건

각 버스의 운행노선 선정은 도시형버스의 경우 부도심지역을 출발하여 도심지를 관통한 후 다시 부도심지역으로 운행되는 1개노선(성수동↔을지로↔노량진↔신길동)을 택하였으며, 좌석버스는 강북을 관통하는 1개노선(휘경동↔종로↔북가좌동), 강남을 관통하는 (명일동↔잠실↔고속터미널↔영등포)1개노선, 강·남북을 X자형으로 관통하는 2개노선(A: 홍은동↔신촌↔청계천↔장지동, B: 상계동↔종로↔마포↔여의도) 등 총 4개노선을 선정하였다. 또한 지하철은 1호선(청량리↔용산), 2호선(시청↔시청), 3호선(양재↔구파발), 4호선(상계↔사당)의 차량을 조사대상으로 하였다(Fig. 1 참조). 아울러 교통수단 내에서 측정된 실내공기질과 실외공기질을 비교하기 위하여 이들 대중교통 수단들이 운행되고 있는 노선의 주요 정류장을 선정하여 각 정류장에서의 실외공기질을 조사하였다.

본 조사의 측정항목인 온도, 습도, 호흡성분진(PM-10), 이산화탄소 및 일산화탄소들은 각 시간대 별로 매 5분씩 간격으로 연속측정하였고, 동시에 측정장소내의 승객수, 에어컨의 가동상태, 창문의 개폐상태, 차량의 청소상태 및 노후정도 등을 조사하였다. 조사시의 자세한 주변환경 및 교통상태는 측정 기록지에 별도로 기록하였고, 측정시의 불충분한 조건을 고려하여 차량의 주행을 원칙으로 측정하였다.

### 3. 각 교통수단의 현행 실태

현재 서울시에서 운행되고 있는 대중교통수단을 크게 4가지로 구분하면 도시형버스, 좌석버스, 지하철, 택시 등으로 들 수 있다. 도시형버스는 88개 회사 6112대의 버스로 총 274개 노선이며, 좌석버스는 87개 회사 2624대의 차량이 총노선수 142개 노선에서 운행되고 있다.<sup>5)</sup> 또한 지하철은 1974년 개통된 이래 4호선까지 운행되고 있으며, 현재에도 5-8호선이 현재 건설중에 있어 이제는 지하철이 서울시민의 중요한 대중운송수단으로 자리잡고 있음을 알 수 있다.<sup>6)</sup>

도시형버스와 좌석버스의 운송분담율은 총운송율의 47.3%로서 대단히 높은 비율을 차지하고 있으며

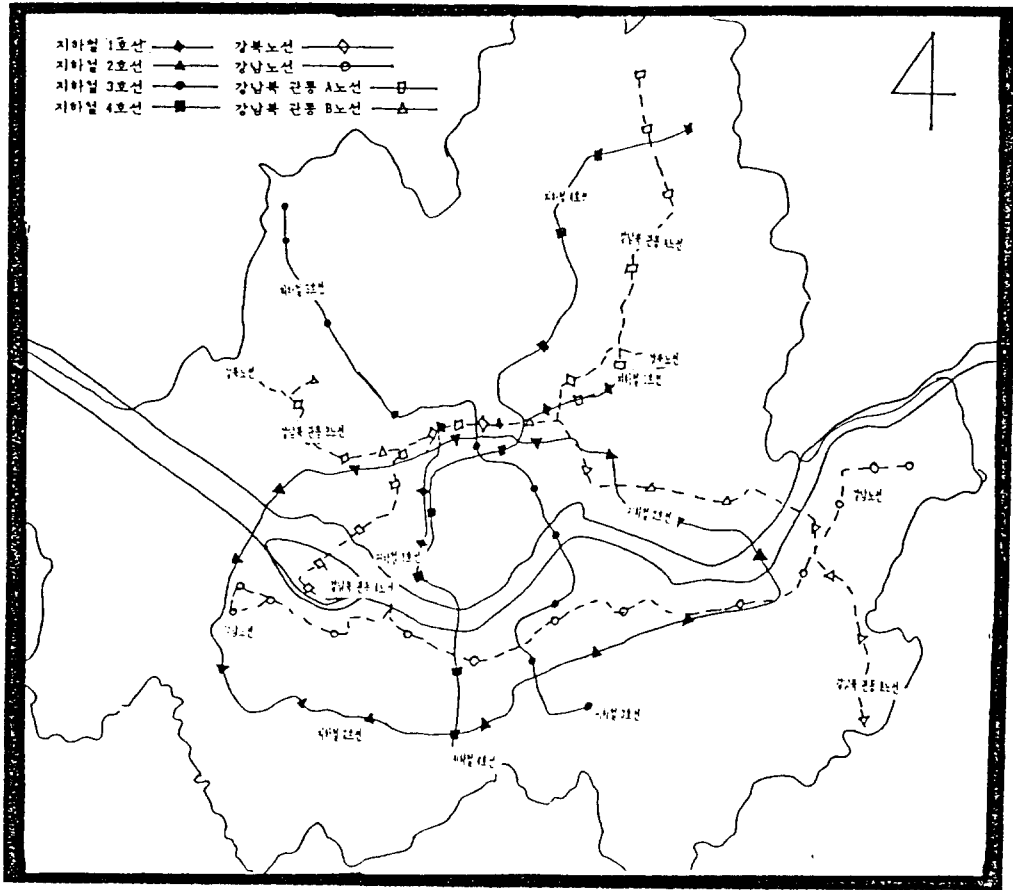


Fig. 1. Map of Seoul area with the bus service routes and subway lines.

버스는 변이원성(mutagenicity)이 강한 유해물질을 다량 함유되어 있는 것으로 알려진 호흡성 유기물질을 배출하는 디젤엔진을 주 동력원으로 사용하고 있다.<sup>7-10)</sup> 자동차에서 배출되는 오염물질의 종류는 사용되는 자동차 연료에 따라 약간씩 상이한데 보통 일반승용차나 영업용택시에 사용되는 휘발유나 LPG에서 배출되는 주요 대기오염물질은 일산화탄소, 질소산화물, 탄화수소 등이며, 유연휘발유의 경우 납화합물도 배출된다. 경유를 연료로 하는 차량에서는 주로 매연과 황산화물의 배출이 문제시 되는데 우리나라의 경우 유류가격의 차이로 인한 경우 자동차의 비율이 다른 나라에 비해 월등히 높은 40%이상을 점유하는 특성을 갖고 있다.<sup>11)</sup>

이러한 대기오염물질들은 대부분이 기체상태나 미세한 입자상물질로 대기중에 배출되기 때문에 쉽게 분산되어 피해영역을 광역화하는 특징이 있고, 시정거리의 감소와 폐나 기관지 등에 호흡기관련

질병을 유발시킨다. 또한 자동차 배기가스 배출구가 지면의 30~50 cm위에 위치함으로써 다른 오염원보다 인체에 직접적으로 영향을 미칠 수 있다. 근래에 들어 폐암의 발생률과 사망율이 증가하고 있으며, 폐암 발생의 주요 원인중 하나로 자동차 배출가스로 인한 영향이 시사되고 있다.<sup>12)</sup>

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 측정차량의 실내·외 오염도 비교

조사한 도시형버스 1개노선, 좌석버스 4개노선, 지하철 4개노선의 각각에 대한 공기오염물질의 평균 실내·외 농도를 살펴보면 Table 1과 같다.

Table 1에서 보는 바와 같이 PM-10의 농도는 지하철에서 실내농도가  $134.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 실외농도는  $186.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높게 조사되었다. 지하철 차량내에서 조사된 PM-10농도는 우리나라 총부유분진

**Table 1.** Comparison with indoor and outdoor concentration at public transportation system

Type of PTS Pollutant	City type bus (N=60)			Seat type bus (N=211)			Subway (N=220)			Total (N=491)		
	In	Out	I/O***	In	Out	I/O***	In	Out	I/O***	In	Out	I/O***
TEM (C)	28.5	21.0	1.36	26.7	22.8	1.17	26.5	20.0	1.33	26.9	21.3	1.29
HUM (%)	61.6	32.8	1.89	41.8	42.5	0.98	51.5	38.3	1.35	48.5	37.9	1.41
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	126.0	71.6	1.76	96.5	80.1	1.21	134.6	186.0	0.72	116.9	112.6	1.23
CO (ppm)	8.9	10.3	0.86	5.9	8.1	0.73	6.6	2.5	2.62	6.5	7.0	1.40
CO <sub>2</sub> (ppm)	662.5	*444.0	1.49	2511.1	*444.0	5.66	1986.9	*444.0	4.48	2167.9	*444.0	3.88

\*김광진 외(1987)자료참조, \*\*N=Number of sample, \*\*\*I/O=Indoor/Outdoor

(TSP)의 연평균 대기환경질 치인 150 µg/m<sup>3</sup>에 약간 미달하는 수준이었으나 미국의 PM-10년평균 기준치인 50 µg/m<sup>3</sup>(US EPA-1976)보다는 2배이상 높았다. PM-10은 흡입되기 쉬운 작은 입자로서 장기간 폭로될 경우 폐안에 걸릴 확률이 높다는 연구 보고<sup>13)</sup>가 있어 차량내 호흡성분진 저감대책의 수립이 시급하다 할 수 있겠다. 각 교통수단별 실내·외 PM-10농도 비율(I/O: Indoor/Outdoor)을 살펴보면, PM-10은 지하철(0.72)을 제외하고 도시형버스와 좌석버스의 경우에서는 각각 1.76과 1.21로서 실내가 실외농도보다 높은 것으로 나타났다. 이같은 결과는 오염된 외부공기의 유입과 차량의 자체내에 누적된 분진의 재비산으로 차량내의 PM-10농도가 높아지는 것으로 추정할 수 있다. 특히 도시형버스에서 차량내의 PM-10의 실내농도가 실외농도보다 높은 것은 차량의 내부 청소상태와 본 조사 당시 버스가 창문을 열어놓은 상태로 운행했기 때문에 열려진 창문을 통해 유입공기의 차내 기류의 변동으로 버스내 구석에 누적된 분진들이 재비산되어 높게 측정된 것으로 사료된다.

CO의 농도를 보면 도시형버스에서 실내농도는 8.9 ppm, 실외는 10.3 ppm, 좌석버스에서는 실내 5.9 ppm, 실외 8.1 ppm으로, 지하철에서는 실내 6.6 ppm, 실외 2.5 ppm 등으로 조사되었다. 도시형버스는 타 교통수단에 비해 실내·외 농도가 모두 높게 조사되었는데, 이 농도는 국내 대기환경 1개월 기준치(8 ppm)를 초과하는 수준이다. 이와 같은 수준은 고농도는 아니지만 장기간 대중교통수단을 이용하는 사람들에게는 만성중독(chronic poisoning)의 위험을 내포한다는 연구보고<sup>14)</sup>와 같이 인체에 영향을 미칠 수 있다. 특히 도시형버스에서 차량내의 CO농도가 높은 원인은 우선 차량내에 냉방장치가 설치되어 버스가 창문을 열어놓고 운행하기 때문에 운행중 근접 차량의 배기가스의 유입과, 급·정차시 역류현

상에 의한 자체 배기가스의 실내로의 유입 등이 원인인 것으로 생각된다. 또한 좌석버스의 경우는 측정 당시 에어컨을 가동할 때 송풍구 근처에서 CO의 농도가 증가되는 것으로 보아 에어컨의 가동 및 에어컨 유입공기에도 원인이 있지않나 사료된다. 각 교통수단별 실내·외 CO농도 비율(I/O)을 살펴 보면, 도시형버스가 0.86, 좌석버스가 0.73으로 오히려 실외농도가 높게 나타났으나, 홍콩시내를 운행하는 2층버스에서 1층과 정류장과의 농도 비율은 실내가 실외보다 월등히 높은 것(최고 5.5배)으로 나타나<sup>15)</sup>본 연구와는 상이한 결과를 보였다. 하지만 CO가스의 주 배출원이 자동차 배기가스임을 고려하면 도로변이나 정류장 부근에서의 실외농도가 차량의 실내농도에 영향을 주는 것으로 시사되고 있으며<sup>16)</sup> 또한 지역적인 차이와 측정기간 및 측정지의 교통량 등의 상이로 인해 다소의 차이가 있는 것으로 사료된다. 그러나 지하철에서는 실내·외 농도비가 2.62로 버스와는 반대의 결과로 조사되었다.

CO<sub>2</sub>의 경우 실내농도를 살펴보면 도시형버스에서는 662.5 ppm, 좌석버스는 2511.1 ppm, 지하철에서는 1986.9 ppm으로 좌석버스에서 실내농도가 가장 높은 것으로 조사되었으며, 실외농도는 김광진<sup>17)</sup> 등이 조사한 자료를 이용하였는데 본 조사와 비슷한 농도 수준을 보였다. 좌석버스내에서 조사된 CO<sub>2</sub>농도는 보사부 공중위생법의 한계허용기준치인 1000 ppm을 2.5배 초과하는 수준이며, 지하철(1986.9 ppm)보다는 약 1.3배, 도시형버스(662.5 ppm)보다는 3.8배정도 높은 농도이다. 또한 WHO의 IAQ(Indoor Air Quality) CO<sub>2</sub>의 8시간 기준치인 920 ppm을 약 2.7배 초과하는 농도였다. 일반적으로 이용승객수의 다소가 CO<sub>2</sub>의 농도에 가장 많은 영향을 주는 요인임을 감안하여 측정교통수단중 지하철에서 승객수가 가장 많아 최고값을 보일 것으로 예상했으나, 지하철보다는 좌석버스에서 높게 측정되었다. 이는 좌

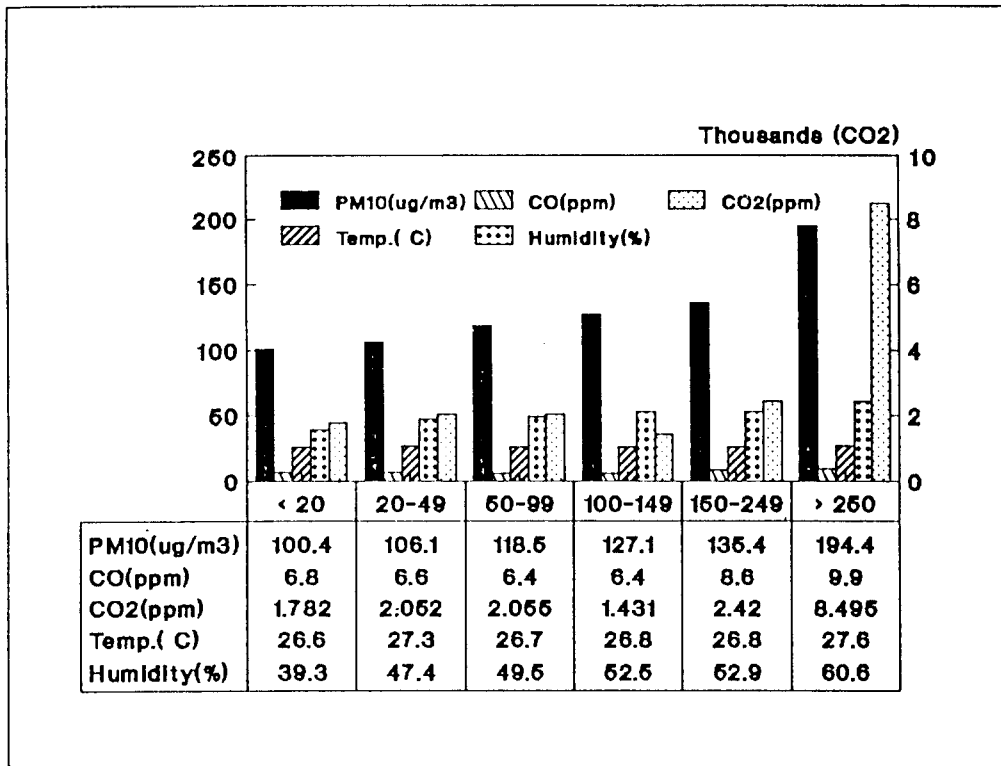


Fig. 2. Indoor concentration of public transportation system according to number of passenger.

석버스가 지하철보다 상대적으로 실내공간이 좁고 실내공간중 승객밀집도가 지하철보다 더 크며, 창문을 닫은 상태에서 에어컨이 가동되며 운행되기 때문에 좌석버스가 더욱 높은 농도를 보인 것으로 사료된다. 그러나 지하철 역시 허용기준을 평균 2 배이상(최고 15배) 초과하는 것으로 조사되어 기존의 차량내 환기설비로는 실내 CO<sub>2</sub>의 적절한 관리가 미흡한 것으로 판단된다. 각 교통수단별 실내·외 CO<sub>2</sub> 농도 비율(I/O)을 살펴보면, 실외농도는 김광진(1987) 등에 의해 조사된 수치를 이용하였는데 CO<sub>2</sub>의 발생원이 사람의 호흡을 통해서임을 감안할 때 차량내 승객들의 호흡으로 인한 차량내에서의 CO<sub>2</sub>의 증가로 인해 실외의 농도와 현격한 차이를 보이는 것으로 생각된다. 도시형버스의 경우 차량의 창문을 열어놓고 운행하는 경향이 있어 1.49의 가장 낮은 비율을 보인 것으로 사료되며, 좌석버스에서는 5.66으로 지하철의 4.48보다 높아 가장 큰 실내·외의 농도차이를 보였는데 이는 상대적인 차량내 공간의 협소와 환기설비의 용량차이, 출입문의 위치와 수의 차이등이 그 원인인 것으로 추정할 수 있다. 결과

적으로 전체 차량에 대한 실내농도 조사와 동시에 실외농도를 측정하는 것이 가장 이상적이므로 장래 차량내에서의 실내·외 농도의 동시 측정조사가 요구된다.

## 2. 측정차량의 승객수와 차령년수별에 따른 실내 오염도

각 차량내 승객수를 추계하여 승객수별 실내농도를 보면 Fig.2와 같다. 승객수의 구간설정은 도시형버스의 기본좌석수 21석(운전석 불포함)과 좌석버스의 45석(운전석 불포함), 지하철 1량의 좌석수 54석을 기본으로 하여 설정하였고 전체 승객수의 추계는 앉은 사람과 서있는 사람수를 합한 숫자이다. 100명 이상의 승객수는 단위면적당 승객수를 세어 전체승객수를 추산하였다. Fig.2에서 보는 바와 같이 승객수의 증가가 평균농도에 미치는 영향은 모든 오염물질에서 양(陽)적인 영향을 보이는데 PM-10의 경우 20명 미만일 때 100.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 50~99명일 때 118.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 100~149명일 때 127.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 250명 이상일 때 194.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 승객수가 많을수록 PM-

**Table 2.** Indoor concentration of public transportation system according to age of cars

Pollutant	Age	Above 7 years (N=16)	4~7 years (N=116)	2~4 years (N=171)	Less than 2 years (N=179)
TEM (°C)		29.9	28.0	26.8	25.0
HUM (%)		53.1	49.3	49.6	46.5
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )		150.0	119.7	118.0	111.2
CO (ppm)		8.9	7.8	7.1	5.0
CO <sub>2</sub> (ppm)		500.0	2063.9	2358.6	2148.5

10 농도가 높은 것을 나타낸다. 이는 승객수의 증가로 차량내의 공기흐름이 나빠지고 승객들간의 잦은 마찰로 인한 의복으로부터의 미세분진의 증가가 있었던 것으로 사료된다. 또한 PM-10의 평균농도를 현재 우리나라의 총 부유분진(TSP)규정으로 환산해 볼 경우(총부유분진의 60%정도를 PM-10으로 볼 때) 각각 167.3 µg/m<sup>3</sup>, 197.5 µg/m<sup>3</sup>, 211.8 µg/m<sup>3</sup> 및 324 µg/m<sup>3</sup>로서 최소 1.12배에서 최고 2.16배 정도로 미국 EPA 24시간 기준치를 초과하고 있다.

승객수별 CO농도를 보면 250명 이상일 때가 9.9 ppm로서 가장 높고 150~249명일 때가 8.6 ppm, 50~99명 및 100~149명일 때는 6.4 ppm로 가장 낮았으며, 승객수가 150명을 초과하면 CO의 1개월 환경기준치인 8 ppm을 상회하는 것으로 나타났다.

또한 승객수별 CO<sub>2</sub> 농도를 살펴보면, 250명을 상회하는 승객수의 과포화 상태에서의 평균농도는 8495 ppm으로 위생학적 한계허용치를 8배 이상 초과하는 값을 보였다. 승객수가 100~149명일 때 CO<sub>2</sub>의 농도가 가장 낮은 1431 ppm을 보였는데, 이는 측정값이 대부분이 지하철에서 측정되었고 지하철 차량이 다른 차량에 비해 상대적으로 실내공간이 넓어 차량내 환기설비의 용량을 초과하지 않았기 때문인 것으로 사료된다.

Table 2는 차량의 사용년수별 실내농도를 나타낸 것으로서 차의 사용년수에 따른 평균농도를 살펴보면, PM-10평균농도의 경우 7년이상 사용한 차량이 가장 높은 150 µg/m<sup>3</sup>, 4~7년 사용된 차량이 119.7 µg/m<sup>3</sup>, 2~4년 사용된 차량이 118 µg/m<sup>3</sup>, 2년 미만의 사용차량이 111.2 µg/m<sup>3</sup>로서 차량의 오랜 사용으로 인한 차량내의 누적분진들이 사용년수가 적은 차량들보다 상대적으로 많아 차량운행시 발생하는 진동과 승객들의 거동등으로 인해 측정결과에 영향을 미친 것으로 사료된다.

CO평균농도의 경우 역시 PM-10과 마찬가지로의 농도분포를 보여주는데 각각 8.9 ppm, 7.8 ppm, 7.1 ppm, 5.0 ppm으로서 차량의 사용년수가 길어질수록

증가하는 것으로 나타났다. 도시형버스와 좌석버스의 경우에는 차량의 오랜 사용이 엔진실과 차량 실내와의 밀폐성을 감소시키고 이에 따른 틈입부가 형성되어 배기가스가 차량내로 유입되는 것으로 추정할 수 있다.

CO<sub>2</sub>는 2~4년 사용한 차량에서 2358.6 ppm, 2년 미만의 사용차량에서 2148.5 ppm, 4~7년된 차량이 2063.9 ppm, 7년이상 사용한 차량이 500 ppm의 순으로 나타나 차량이 노후될수록 CO<sub>2</sub>농도는 감소하는 경향을 보였다. 특히 7년 이상 사용된 노후차량에서 CO<sub>2</sub>의 평균농도가 현저히 낮은 농도를 보였는데 그 이유는 조사시 7년이상 사용한 차량이 대부분 도시형버스와 에어컨이 설치되어 있지 않거나 가동하지 않은 지하철차량(1호선 일부차량)이어서 창문의 개폐에 많은 영향을 받은 것으로 사료된다.

### 3. 측정차량의 에어컨 가동시와 창문개·폐시별 실내오염도

측정차량 전체의 에어컨 가동유·무와 창문의 개폐여부의 따른 실내농도의 차이는 Table 3에서 보여주고 있다. Table 3에서 보는 바와 같이 측정차량 전체에서 에어컨의 비가 동시 CO평균농도는 9.0 ppm, 가동시 6.2 ppm으로 비가동시가 약 1.5배 가량 높는데 이는 에어컨을 가동하지 않음으로써 실내온도가 상승되어 창문을 열어 놓게 됨으로써 외부의 CO가스가 차량내로 유입되어 실내의 CO농도를 높이는 것으로 사료되며, CO와는 반대로 CO<sub>2</sub>의 경우에는 가동시 평균농도가 2252.7 ppm, 비가동시가 662.5 ppm로서 에어컨 가동시가 비가동시보다 약 3.4배 정도 높은 농도를 보여주고 있다. 이는 차량내의 냉방효율의 극대화를 위하여 에어컨의 가동시에는 창문의 밀폐가 수반되며 승객수가 증가하고 차량내의 환기를 환풍기등을 이용한 기계적 환기에만 의존하게 됨으로써 절대적인 환기량의 부족을 초래하여 실내의 CO<sub>2</sub>농도가 고농도화 된다고 할 수 있다.

**Table 3.** Indoor concentration of public transportation system according to A/C and window

	Air conditioner			Window		
	Operate (N = 421)	Non-Oper. (N = 65)	Ratio (O/N*)	Operate (N = 74)	Non-Oper. (N = 412)	Ratio (O/C**)
TEM (°C)	26.6	28.5	0.93	28.3	26.6	1.06
HUM (%)	46.5	60.7	0.76	59.3	46.6	1.27
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	115.8	124.5	0.93	128.6	114.9	1.12
CO (ppm)	6.2	9.0	0.68	8.4	6.2	1.35
CO <sub>2</sub> (ppm)	2252.7	662.5	3.40	864.3	2302.1	0.38

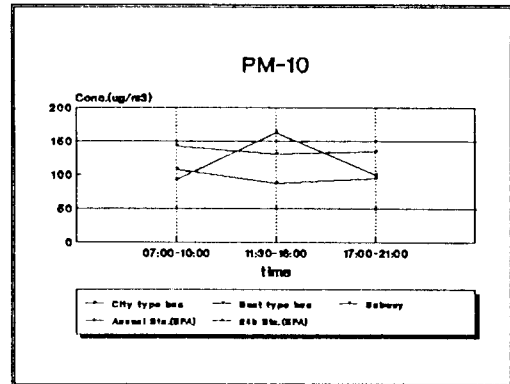
\*ON = Operate/Non-operate, \*\*O/C = Open/Closed

**Table 4.** Indoor concentration of public transportation system according to classify by time period

	City type bus			Seat type bus			Subway			Total		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
TEM (°C)	28.1	29.1	28.0	26.1	27.5	26.4	26.5	26.4	26.7	26.4	27.2	26.8
HUM (%)	58.6	62.2	62.2	41.6	41.5	42.4	54.8	49.3	51.8	48.2	47.6	49.9
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	92.0	162.1	99.1	107.6	87.3	95.1	141.7	130.0	134.7	120.4	116.0	113.9
CO (ppm)	8.0	8.7	9.7	7.0	5.3	5.1	8.5	5.6	6.2	7.7	5.8	6.4
CO <sub>2</sub> (ppm)	-	*650.0	700.0	3115.4	2171.4	2166.7	3832.2	1167.7	1688.9	3408.6	1535.3	1863.2

\*1 : AM 07 : 00~AM 10 : 00, 2 : AM 11 : 30~PM 16 : 00, 3 : PM 17 : 00~PM 21 : 00.

측정차량 전체의 창문개폐와 관련된 농도를 살펴 보면 CO<sub>2</sub>(open : 864.3 ppm, closed : 2302.1 ppm)를 제외한 모든 측정항목에서 창문을 열어놓은 상태로 운행할 때가 높은 농도를 보이는 것으로 나타나 외부오염이 유입되는 것을 시사한다. 특히 PM-10의 경우는 창문이 열린 상태에서 128.6 µg/m<sup>3</sup>, 닫힌 상태에서 113.3 µg/m<sup>3</sup>으로 나타나 창문이 열려 있는 상태로 운행될 때 열려진 창문을 통해 외부의 부유분진들이 차내로 유입되고 외부공기가 차량내로 유입되면서 실내기류의 유속 증가로 말미암아 실내의 분진이 재비산되는 현상을 유발시켜 창문이 닫혀있을 경우보다 농도의 증가가 있었던 것으로 사료되며, CO의 경우 창문이 열린 상태에서 8.4 ppm, 닫힌 상태에서 6.2 ppm으로 창문의 개폐에 따른 비율이 1.35로 열려있을 경우가 높았다. 특히 도시형버스와 좌석버스에서 농도의 차이가 큰 것으로 나타났다. 창문을 열어놓았을 때 CO의 농도는 8.9 ppm을 보였고 닫아 놓았을 때는 5.9 ppm을 보여 비율이 1.51로서 전체 차량보다는 더 큰 차이가 발생함으로 보여준다. 이는 주변 차량에서 배출된 배기가스가 열려진 창문을 통해 유입된 결과로 볼 수 있다. 창문 개폐의 판단은 창문이 단 1개 열려있는 경우라도 창문이 열려있는 것으로 간주하였다.

**Fig. 3.** Graph of indoor PM-10 concentration of subway, seat type bus, and city type bus according to classify by time period.

#### 4. 측정차량의 시간대별 및 교통수단별의 실내 오염도

Table 4와 Fig. 3~5는 측정차량 전체를 측정시간대별로 구분하여 각 측정항목의 평균농도를 보여주고 있다. 표와 그림에서 보는 바와 같이 오전 시간대(07 : 00 ~ 10 : 00)는 지하철에서 모든 오염물질의 농도가 가장 높은 것(PM-10: 141.7 µg/m<sup>3</sup>, CO:

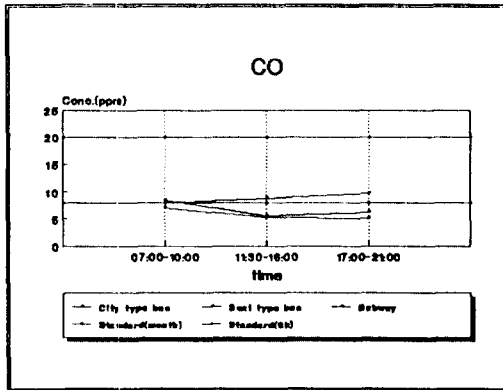


Fig. 4. Graph of indoor CO concentration of subway, seat type bus, and city type bus according to classify by time period.

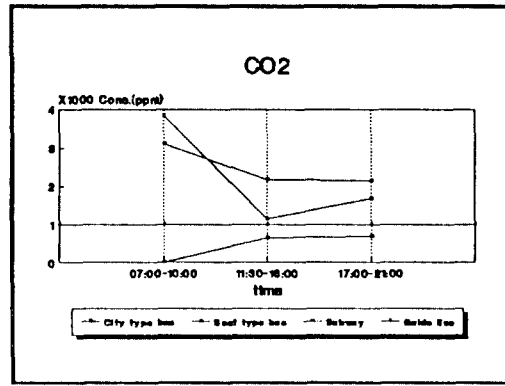


Fig. 5. Graph of indoor CO<sub>2</sub> concentration of subway, seat type bus, and city type bus according to classify by time period.

Table 5. Indoor concentration of subway

	Line 1	Line 2	Line 3	Line 4	Total
	(N=50) Mean± S.D.	(N=68) Mean± S.D.	(N=39) Mean± S.D.	(N=63) Mean± S.D.	(N=220) Mean± S.D.
TEM (°C)	26.9± 2.0	26.6± 0.9	25.7± 1.4	26.8± 1.2	26.5± 1.4
HUM (%)	50.7± 4.5	51.6± 4.1	52.2± 2.3	51.6± 4.8	51.5± 4.1
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	132.8± 39.8	151.5± 39.9	100.3± 32.3	137.6± 38.5	134.6± 41.7
CO (ppm)	6.9± 2.1	7.9± 2.5	6.4± 2.3	5.0± 2.0	6.6± 2.5
CO <sub>2</sub> (ppm)	1500± 378	2333± 2499	1486± 828	2394± 2158	1987± 1822
PA (person)	114.5± 42.3	117.9± 59.2	101.0± 56.5	118.4± 86.1	114.3± 64.5

\*( ) : Number of sample, PA : Number of passenger

8.5 ppm, CO<sub>2</sub>: 3832.2 ppm)으로 나타났는데, 이는 지하철이 다른 운송수단에 비해 출근시간대에서 승객이 폭주하고 단위면적당 승객 밀집도가 높게 나타난 현상으로 볼 수 있다.

정오 시간대(11:30~16:00)에서는 도시형버스에서 PM-10 162.1 µg/m<sup>3</sup>, CO 8.7 ppm으로 높았으며, CO<sub>2</sub>는 좌석버스가 2171.4 ppm으로 타 교통수단보다 월등히 높은 농도를 보였다. 오후 시간대(17:00~21:00)는 각 차량 모두 1개 항목씩 최고값을 보였는데, PM-10은 지하철이 가장 높은 134.7 µg/m<sup>3</sup>, CO는 도시형버스에서 9.7 ppm으로 이는 CO대기환경기준치의 121%에 해당하는 값으로 대기기준치를 초과하고 있으며, CO<sub>2</sub>는 좌석버스가 2166.7 ppm로 제일 높아 도시형버스의 700 ppm보다는 3배 가량 높은 농도를 보였다. CO의 경우 도시형버스는 8.0→8.7→9.7 ppm으로 오전에서 오후로 시간이 경과할수록 점차 증가하지만 좌석버스나 지하철은 감소추세(좌석버스: 7.0→5.3→5.1 ppm, 지하철: 8.5→5.6→6.2

ppm)를 보이는데, 이의 원인은 앞으로 더욱 많은 연구를 요한다. 미국의 경우 출퇴근 등 자동차가 많이 운행되는 시간에 CO농도가 높은 것으로 조사되었는데<sup>18, 19)</sup> 전체차량의 측정된 CO의 평균농도를 보면 오전시간대에 7.7 ppm, 오후시간대에 6.4 ppm을 보여 정오 시간대의 5.8 ppm보다 높아 비슷한 결과를 보였다.

교통수단별 오염도를 Table 5와 함께 살펴보면 PM-10의 경우 다른 교통수단에 비해 전반적으로 지하철에서 높게 조사되었으며 지하철의 PM-10의 평균농도는 134.6 µg/m<sup>3</sup>이며, 지하철중 특히 2호선의 평균농도는 151.5 µg/m<sup>3</sup>으로 조사되었다. 이는 총부유분진(TSP)의 60%정도를 PM-10으로 보고 총부유분진 농도로 환산해보면 252.5 µg/m<sup>3</sup>로서 대기환경기준치(일평균: 300 µg/m<sup>3</sup>)를 약 1.7배 정도 초과하는 수치이며, 도시형버스나 좌석버스의 평균농도에 비해 1.2배, 1.57배 정도 높게 조사되었다.

전반적으로 2호선의 지하철내에서 조사대상의 차



**Table 6.** Indoor concentration of seat type bus

	Bus service route of SR*	Bus service route of NR*	Bus service route of CA*	Bus service route of CB*	Total
	(N=45) Mean±S.D.	(N=50) Mean±S.D.	(N=52) Mean±S.D.	(N=64) Mean±S.D.	(N=211) Mean±S.D.
TEM(C)	28.0±2.0	23.8±1.2	27.2±0.9	27.8±1.3	26.7±2.1
HUM(%)	43.1±2.6	41.3±5.9	42.3±2.8	40.7±5.2	41.8±4.5
PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	124.9±57.2	81.0±41.2	92.3±28.9	92.0±29.8	96.5±42.3
CO(ppm)	8.4±2.1	3.4±1.1	5.2±1.6	6.5±2.7	5.9±2.6
CO <sub>2</sub> (ppm)	2400±1151	2062±783	2843±957	3063±1852	2511±1220
PA(person)	30.8±20.6	20.3±9.6	46.8±15.3	29.8±19.5	31.9±19.2

\*SR : South of River (Myongildong-Yongdungpo)

NR : North of River (Hyekyungdong-Bukgajwadong)

CA : Cross of City A (Sangkyedong-Yeouido)

CB : Cross of City B (Hongeundong-Jangjidong)

**Table 7.** Indoor concentration of subway line 4 according to age of cars and number of passenger

	Age of cars		Number of passenger				
	C (N=17)	D (N=46)	A* (N=6)	B* (N=8)	C* (N=29)	D* (N=6)	E* (N=14)
TEM (C)	26.4	27.0	26.8	26.4	27.3	27.1	27.9
HUM (%)	52.7	51.1	46.9	50.4	51.6	51.4	61.5
PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	114.7	146.2	130.0	129.7	123.8	131.4	204.3
CO (ppm)	4.9	5.0	3.7	3.9	6.0	6.0	9.1
CO <sub>2</sub> (ppm)	2000.0	2525.0	800.0	10000.0	1325.0	3350.0	7000.0

A\* : less than 50 persons

A : above 7 years

B\* : 50-99 persons

B : 4-7 years

C\* : 100-149 persons

C : 2-4 years

D\* : 150-250 persons

D : less than 2 years

E\* : above 250 persons

량보다 오염물질의 평균농도가 가장 높은 것으로 나타났는데, 이는 2호선의 노선길이가 총 56.9km (지선 포함)로서 다른 노선에 비해 월등히 길고 환상형(環狀形)노선으로 이용승객수가 항상 많아서 각 측정값들이 다소간 높게 검출된 것으로 사료된다. 그러나 일반적으로 지하철의 동력원이 무공해 에너지이고 일반 대기와의 비교적 차단이 되있는 것을 감안한다면 지하철 차량내의 오염물질 발생원이 무엇인지를 규명하는 조사가 병행되어야 할 것이다. 또한 창문이 열려있을 때 PM-10의 미량 증가(134.2 → 139.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )가 나타났는데 이는 터널내의 선로부근과 천정에 누적된 분진들이 차량운행시의 진동과 차량운행시 급속한 기류변동 등의 이유로 재비산되고 이러한 분진들의 일부가 열려진 창문과 출입문을 통하여 유입된 결과로 볼 수 있다. 차량의 사용년

수에 따른 오염물질들의 평균농도는 육상교통수단과 마찬가지로 사용년수의 증가에 따라 차량내 PM-10 농도의 증가를 볼 수 있었다.

CO의 경우에는 도시형버스가 8.9 ppm으로 좌석버스 5.9 ppm, 지하철 6.6 ppm보다 다소 높게 측정되었으며, 대부분의 CO농도는 낮은 수치로 별 문제는 없으나 오랜 기간 흡입시 만성중독 등 인체에 영향을 준다는 보고<sup>14)</sup>에서와 같이 대책을 요하기도 한다. CO<sub>2</sub>의 경우에는 좌석버스의 관통B노선(상계동-여의도, Table 6 참조)에서 3063 ppm으로 도시형버스의 662.5 ppm, 지하철의 평균농도인 1986.9 ppm보다 훨씬 높은 농도를 보였다. 지하철에서 조사된 CO<sub>2</sub>농도도 낮은 수치는 아니지만 지하철의 CO<sub>2</sub> 평균농도는 출근시간때 이용 승객수가 가장 많은 것으로 알려진 4호선의 지하철내의 CO<sub>2</sub>농도가 2394

**Table 8.** Correlation coefficient between indoor concentration of public transportation system and number passenger

	TEM	HUM	PM-10	CO	CO <sub>2</sub>	PA
TEM (°C)	1.0000					
HUM (%)	.2975*	1.0000				
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	.1962	.4229**	1.0000			
CO (ppm)	.4437**	.3466*	.3486*	1.0000		
CO <sub>2</sub> (ppm)	-.0066	-.0398	.1382	.3690**	1.0000	
PA (person)	.1212	.5893**	.4096**	.4715**	.4290**	1.0000

N or case : 74, 1-tailed signifi : \*0.05, \*\*0.01, PA : Number of passenger

ppm으로 가장 높은 것으로 나타났다. 이와같이 CO<sub>2</sub> 농도의 증가는 Table 7과 같이 승객수의 증가와 밀접한 관계를 갖고 있기 때문인 것으로 사료되며, 지하철 역시 실내 CO<sub>2</sub> 농도를 감소시키는 요인은 창문을 이용한 자연환기를 통한 외부공기의 유입이 가장 적절한 방법임을 보여주고 있다. 창문이 열려 있을 경우 CO<sub>2</sub>의 농도는 1133.3 ppm, 닫혀있는 경우가 2066.9 ppm으로 외부공기의 유입으로 차량내의 CO<sub>2</sub> 농도가 약 50% 정도 감소하는 것을 볼 수 있는데, 이는 창문을 닫은 상태에서의 기계적 환기방법만으로는 충분한 환기가 될 수 없음을 반증하는 것이라 할 수 있다.

좌석버스는 전 노선에서 모두 CO<sub>2</sub>의 한계 허용치(보사부 공중위생법)인 1000 ppm를 최고 3배부터 최소 2배이상 초과하는 것으로 나타났다. 그 이유는 차량 냉난방의 효율성 증대를 위하여 다른 차종에 비해 비교적 작게 설계된 창문면적때문에 창문을 통한 자연환기량의 부족으로 대부분의 환기를 천정부에 설치된 환풍기를 이용한 기계적환기에만 의존하여 환기량의 절대부족을 초래하여 실내 CO<sub>2</sub>의 농도가 높게 나타난 것으로 사료된다. 또한 에어컨의 공기순환방식이 차내공기를 강제순환시키는 형태로 설계되어 차량내의 CO<sub>2</sub>를 효과적으로 배출하지 못하기 때문인 것으로 사료된다. 이러한 원인들로 보아 향후에는 적절한 환기방법의 모색과 에어컨 순환시스템의 설계변경, 그리고 외부공기의 유입시 적절한 여과장치를 통한 유입등이 고려되어야 할 것이다.

승객수는 도든 오염물질과의 상관성이 높은 것으로 나타나 쾌적한 차내환경의 조성을 위해서는 1차적으로 승객의 과밀현상을 해소하는 것이 가장 시급히 시행되어야 할 과제라고 사료된다. 또한 CO<sub>2</sub>는 모든 환경인자와 밀접한 관계를 가지고 있어 적절한 환기방법의 모색이 필요함을 시사하고 있는 것으로 사료된다.

### 5. 측정차량 전체의 상관성 분석

Table 8에서 보는 바와 같이 측정차량 전체의 평균농도에 대한 상관성 분석결과를 살펴보면 승객수와 습도의 상관성이 0.59로서 가장 높은 것으로 나타났는데 이는 승객수의 증가가 호흡량의 증가와 체온상승에 의한 땀등으로 차량내의 습도를 높이는 원인으로 추정할 수 있는 반증으로 사료된다. 온도와 CO의 경우 상관성이 0.44로 조태남<sup>20)</sup>의 조사에 의하면 기온의 상승이 일산화탄소 중독발생률을 높이는 것으로 나타나 본 조사결과와도 유사한 결과를 나타냈다.

아울러 승객수는 다른 4개의 항목과도 비교적 높은 상관성을 보이고 있는데 0.41의 상관계수를 보인 PM-10과는 승객수의 증가로 인한 기류의 차단과 승객간의 잦은 접촉 등으로 인해 의복 등으로부터 비산된 미세분진의 농도가 증가한 것으로 보여진다. 그러나 온도와 상관성이 0.12로서 거의 없는 것으로 나타났다. 그러나 습도와 PM-10, 습도와 승객수, PM-10과 승객수, CO와 CO<sub>2</sub>, CO와 승객수, CO<sub>2</sub>와 승객수, 온도와 CO등 6가지의 항목에서 통계적 유의성을 보인것은 차량내의 공기질이 온도, 습도와 승객수등의 요인에 의해 좌우될 수 있음을 시사하고 있다.

## IV. 결 론

본 연구는 1992년 6월과 7월에 걸쳐 서울시 일부지역에서 운행되고 있는 도시형버스 1개노선, 좌석버스 4개노선, 지하철 4개노선을 대상으로 각 대중교통수단내의 실내공기질과 1991년 10월 및 1992년 9월에 각 노선이 통과하는 지역의 정류장과 지하철역에서의 각 항목별 실외오염도를 파악하기 위해 온도, 습도, PM-10, CO, CO<sub>2</sub>의 5개 항목의 농도를 측정하였다.

연구조사결과 얻은 주요 결론은 다음과 같다.

- ① 조사대상의 전체 차량내 각 항목별 평균농도는 온도 및 습도가 26.9℃와 48.0%이었고 PM-10은 115.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , CO는 6.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , CO<sub>2</sub>는 2167.9 ppm으로서 PM-10과 CO는 대기환경기준에 약간 미달하는 수준이나 CO<sub>2</sub>농도는 실내농도허용치보다 약 2.2배 정도 높은 것으로 나타났다.
- ② 각 오염물질별로 조사대상차량의 실내평균농도가 가장 높은 값을 보인 것은 PM-10의 경우 지하철내의 134.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, CO는 도시형버스내의 8.9 ppm, CO<sub>2</sub>는 좌석버스내의 2511.1 ppm으로 각 항목별 실내환경권고치를 초과하는 것으로 나타났다.
- ③ 전체차량내 오염물질들의 시간대별 평균농도는 오전시간대에서 PM-10는 120.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , CO는 7.7 ppm, CO<sub>2</sub>는 3408.6 ppm으로 측정대상 오염물질 전부가 오전시간대에서 가장 높은 농도를 보였다.
- ④ 측정항목간의 상관분석 결과 대부분의 항목에서 승객수와 측정항목간에 유의한 상관을 나타내 승객수가 실내오염에 가장 큰 영향을 주는 요인으로 나타났다.
- ⑤ 버스의 노선별 실내농도를 보면 좌석버스 4개노선중 강남지역만을 운행하는 노선에서 PM-10 124.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , CO 8.4 ppm으로서 가장 높았고, 도심을 관통하는 노선 중의 하나인 B노선에서 CO<sub>2</sub>가 3063 ppm으로 가장 높은 평균농도를 보였다.
- ⑥ 지하철 노선별 농도를 보면 4개노선 중 2호선에서 차량내 PM-10과 CO의 실내평균농도가 각각 151.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 7.9 ppm으로 4개노선중 가장 높았으며, CO<sub>2</sub>농도는 4호선의 차량내 실내농도가 2394 ppm으로서 최고값을 보였다.

이상에서와 같이 서울시에서 운행되는 대중교통수단의 3개 오염물질에 대한 실내공기질을 파악한 결과 각 오염물질들이 대기환경기준치를 초과하거나 거의 육박하는 수준으로 나타나 국민의 보건복지향상이라는 차원에서 교통수단의 실내청결이 필수적으로 선행되어야 한다.

### 참고문헌

- 1) Finnegan, M. J. : Pickering CAC, Burge P. S., The sick building syndrome; prevalence studies, *Brit. Med. J.*, **289**, 1573-1575, 1984.
- 2) 환경백서, 1992.
- 3) 환경처 교통공해과 자료, 1991.
- 4) 환경연감, 1991.
- 5) 서울시 버스운송조합 자료집, 1992.
- 6) 서울시 지하철공사 자료집, 1992.
- 7) National Academy of Science, Health Effects of Exposure to Diesel Exhaust, National Academy Press, Washington, D. C. 1980.
- 8) Lawther, P. J. and Waller, R. E. : Coal fires, industrial emissions and motor vehicles as sources of environmental carcinogens, *ISERM Symp. Ser.*, **50**, 27, 1976.
- 9) 임국환, 배은상, 김영환, 김광중: 디젤엔진 배출물질의 변이원성 연구. *한국환경위생학회지*, **17**(1), 13-19, 1991.
- 10) 北森成治: 最近の都市大氣汚染物質における變異活性. *日公衛誌*, **29**, 37-42, 1982.
- 11) 조강래: 한국의 디젤자동차 매연 방지기술. 국제세미나 "경유자동차 입자상물질 방지기술" 논집, 191, 1991.
- 12) Yoshinari Ohnishi and Takemi Kinouchi : Mutagenic Activity of Diesel Emission. *Toxicology Forum*, **6**(4), 335, 1983.
- 13) Liroy, P. J. and Daisey, J. M. : Airborne toxic elements and organic substances. *Environ. Sci. Tech.*, **20**, 8-14, 1986.
- 14) Coburn, R. F. : Biological effects of carbon monoxide. *Ann. NY. Acad. Sci.*, **124**(art. 1), 1970
- 15) Chan, L. Y. and W. Y. Wu : Field Study on Carbon Monoxide Exposure To Kowloon Peninsula Area Commuters, Centre of Environmental Studies, Civil & Structural Engineering Department, Hong Kong Polytechnic, 1990.
- 16) M. S. EL-Shobokshy and F. M. Hussein : Correlation between indoor-outdoor inhalable particulate concentration and meteorological variables. *Atmospheric Environment*, **22**(12), 2667-2675, 1988.
- 17) 김광진 외 5인: 지하시설물에 대한 환경 오염도 조사연구(제 2 보). 서울시 보건환경연구원보, **23**, 314-337, 1987.
- 18) Wayne Ott. and Peter Flavhsbart : Measurement of carbon monoxide concentration in indoor and outdoor locations using personal exposure monitors. *Environmental International*, **8**, 1982.
- 19) Tyler D. Hartwell, Carlise A. Clayton *et al.* : Study of carbon monoxide exposure of residents of Washington. DC, Air Pollution Control Association. V, 26(11), 1984.
- 20) 조태남: 연탄가스 중독과 기상요인. 수도의대 잡지, **4**, 1, 1967.