한국산업위생학회지 제20권 제4호(2010년 12월)
J Korean Soc Occup Environ Hyg 2010;20(4):241~247

실내주차장의 실내공기질 농도특성 및 환기에 의한 저감효과

박 정 호†

진주산업대학교 환경공학과

The Effect of Ventilation and Concentration of Indoor Air Quality at Indoor Parking Lots

Jeong-Ho Park†

Dept. of Environmental Engineering, Jinju National University, Jinju 660-758, Korea

Recently, indoor air quality (IAQ) has been one of the major concerns of people. Indoor parking lots are subject to be exposed to high concentrations of air pollutants emitted from vehicles.

This study was performed to investigate indoor air quality (IAQ) at indoor parking lots. Sampling sites were selected 5 indoor parking lots. Target indoor air quality parameters include a number of criteria pollutants such PM_{10}, CO, CO_2, and HCHO. In addition, a variation of IAQ according to ventilation system operating was measured at C site (underground parking lot).

In general, all pollutants were maintained below indoor air quality maintenance standards. The indoor air quality at indoor parking lots was affected by the availability of the ventilation facility and their operation frequency.

At the underground parking lot (C site) with ventilation system, TVOC concentration according to ventilation system operating were found to be lower operating (488.2 ㎍/m^3) than non-operating (1,401.2 ㎍/m^3).

Key Words : Indoor Air Quality, Indoor Parking Lot, Ventilation, VOCs

접수일 : 2010년 10월 18일, 채택일 : 2010년 12월 9일
† 교신저자 : 박정호(경남 진주시 칠암동150 진주산업대학교 환경공학과,
Tel: 055-751-3345, E-mail: jhpark@jinju.ac.kr)

Ⅰ. 서 론

최근 건축물은 고층화, 다기능화, 에너지절약을 위한 고기밀화 등으로 많이 건축되어 있어 자연환기가 쉽지 않으며, 하루 중 80 % 이상을 실내공간에서 거주하는 현대 도시인들에게 실내공기질 (IAQ; Indoor Air Quality)은 인체 건강과 매우 밀접한 관련성이 있어 그 관심이 높아지고 있다(이철민과 김윤신, 2004). 이에 환경부에서는 실내공기질에 대한 중요성과 국민들의 높은 관심이 대두됨에 따라 다중이용시설의 실내공기질을 효율적으로 관리하기 위해 “다중이용시설등의실내공기질관리법”을 2004년부터 시행하고 있다(환경부, 2004a).

과거 주차공간은 주로 지상노면으로 활용하여 실내공기질과 환기에 문제가 없었으나 주거환경의 질적 향상, 효율적인 공간 활용, 자동차 보급률 및 법정 주차면적의 증가 등으로 주차공간이 지하 등 실내공간으로 옮겨짐에 따라 실내공기질에 대한 관심이 필요하게 되었다(황민규 등, 2007). 특히 실내주차장은 다중이용시설 중 도시 대기오염의 주요 배출원인 자동차가 밀집되는 곳으로 매연, 휘발성유기화합물(VOCs) 등 자동차 배출가스의 집중적인 영향을 받을 수 있어 철저한 실내공기질의 관리가 필요하다.

그러나 최근 다중이용시설 등의 실내공기질과 관련된 많은 연구가 최근 진행되고 있는 반면 실내주차장에 대한 조사결과는 그다지 많지 않다. 일부 실내주차장의 환기에 따른 실내공기질과 관련된 연구보고를 살펴보면, 백화점 등 지하주차장의 조사결과에서 건물공조시스템의 용량과 관리상태 등이 실내공기질에 상당한 영향을 줄 수 있다고 한다(송희봉 등, 1998). 또한 지하주차장의 VOCs 농도분포 연구에서 환기시설의 가동여부와 가동 횟수에 따라 실내공기질의 농도 차이가 크게 나타난다는 보고가 있다(하덕호 등, 2008). 결국 실내오염물질 발생량이 많은 실내주차장의 경우 환기설비의 효율적인 운영이 실내공기질에 큰 영향을 줄 수 있을 것이다.

본 연구에서는 경상남도 소재 다중이용시설 실내주차장 5개 지점(영화관, 백화점, 시청, 시장, 상가 등)를 대상으로 미세먼지(PM_{10}), 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO_2), 포름알데히드(HCHO) 등 실내공기질 유지기준 항목을 측정하고 각 주차장의 유형별 농도 특성을 비교 분석하였다. 또한, 주차장의 환기설비에 따른 실내공기질의 농도 특성을 파악하기 위하여 1개 지하주차장을 대상으로 환기설비 가동 유무에 따른 시간별 농도 변화특성을 파악하였다. 이러한 주차장의 실내공기질 평가를 통해 향후 실내주차장의 실내공기질 개선을 위한 기초자료로 제공될 수 있을 것이다.

Ⅱ. 연구방법

1. 연구대상

본 연구에서는 실내주차장의 실내공기질 농도 특성을 파악하기 위하여 Table 1에 나타낸 바와 같이 경상남도 소재 5개 시설별 실내주차장을 측정대상으로 하였다.

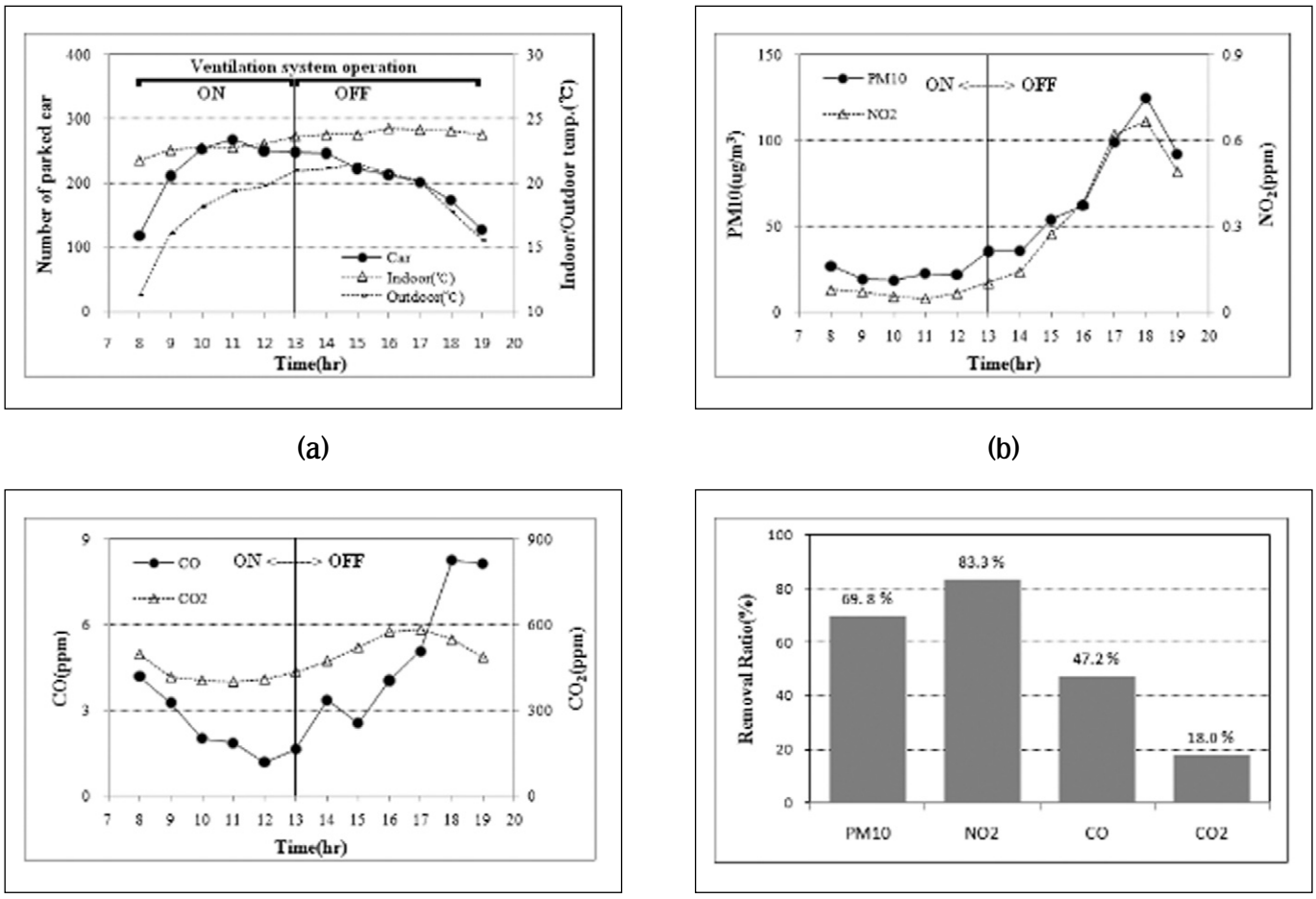
각 주차장의 특징에 대해 살펴보면, A 지점은 총 1,288석 규모의 멀티플렉스 영화관으로 주차장은 실내 1층과 지하 1층이 경사로로 연결되어 있다. B 지점은 지상 8층, 지하 4층 규모의 백화점으로 교통량이 많은 도심 도로변에 위치하고 있고 지하 2층~4층이 지하주차장이다. 시청 지하주차장인 C 지점은 지하 1층~3층까지가 주차장이고 다른 지점과 달

Table 1 Identification of sampling sites

Site (sampling floors)		Building year	Parking lot			
			Floors(F)	Volume (m^3)	Capacity(car)	Parking area(car/m^2)
A	Theater (1F, B1F)	2004	1F~B1F	12,324	160	32
B	Department (B2F, B3F)	2006	B2F~B4F	60,550	408	38
C	City hall (B1F, B2F)	2001	B1F~B3F	131,994	630	47
D	Market (1F, 2F)	2005	1F~4F	9,690	114	34
E	Store (B2F, B3F)	1994	B2F~B3F	16,504	100	57

Table 2. Average concentrations of Indoor air quality each parking lots

Site		PM10 ($\mu g/m^3$)	CO (ppm)	CO_2 (ppm)	HCHO ($\mu g/m^3$)
A	Theater	72.2±12.0	6.1±1.0	397±60	8.6±2.3
B	Department	69.1±10.4	1.9±0.8	432± 8	6.0±7.8
C	City hall	53.2±37.1	2.9±1.7	409±16	3.9±2.0
D	Market	76.6±17.2	3.4±1.4	448±86	0.4±0.1
E	Store	59.8±1.1	3.7±0.4	606±53	31.9±8.8
Ave.		66.2	3.6	459	10.2



(a) (b)

(c) (d)

Fig. 1 Variations of hourly IAQ concentration according to ventilation system operating at C underground parking lot

리 주차장의 입구와 출구가 따로 되어 있다. 도심의 재래식 시장내 위치한 D 지점은 다른 지점과 달리 지상 4층 건물의 옥외 실내주차장이다. 지상 4층 규모의 구형 상가건물 주차장인 E 지점은 지상 1층과 지하 1층에는 주로 가구점이 입주해 있으며, 주차장은 지하 2층~3층에 위치하고 있다. 한편, 각 주차장의 환기방식은 최근 9년 이내에 건축된 비교적 신축건물의 주차장인 A~D 지점의 경우 담당 관리인을 통해 중앙환기 방식의 기계식 흡배기 공조시스템이 설치 운영되고 있다. 그러나 E 지점은 건축된지 16년이 지난 구형건물의 주차장으로 기계식 환기시스템이 없고 다만 주차장 출입구를

Table 3. Hourly variations of VOCs concentration according to ventilation system operating

VOCs(㎍/m³)	"ON" Ventilation system			"OFF" Ventilation system			
	09:00～09:30	10:30～11:00	12:30～13:00	14:30～15:00	16:30～17:00	18:00～18:30	19:00～19:30
Benzene	20.4	7.1	7.2	21.4	31.3	46.1	46.0
Toluene	81.1	14.3	25.0	78.3	108.2	161.9	168.6
Ethylbenzene	75.4	22.0	44.3	89.5	123.0	153.5	155.9
m,p-Xylene	104.6	40.1	67.1	140.0	180.7	206.0	199.9
o-xylene	58.7	33.3	42.9	71.5	90.7	105.0	103.3
1,2,4-TMB	30.1	29.5	28.9	29.9	30.6	31.7	31.8
1,3,5-TMB	58.5	44.7	45.2	54.2	65.4	83.7	86.6
Sum of 7 VOCs	428.8	191.0	260.6	484.8	629.9	787.9	792.1
TVOC	834.5	339.6	290.5	704.3	1111.5	1912.4	1876.7

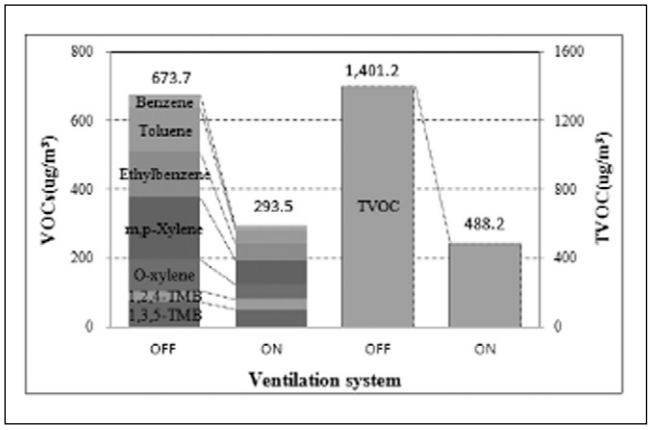


Fig. 2 Removal amounts of VOCs according to ventilation system operating

통한 자연환기 방식으로 환기되고 있어 다른 주차장에 비해 다소 실내공기질 관리가 어려운 실정이다.

2. 시료채취 및 분석방법

본 연구에서는 2009년 2～12월 사이에 5개 시설의 주차장을 대상으로 실내공기질 농도 특성을 파악하기 위하여 주차장별로 차량의 주차와 출입이 잦은 2개 층수를 선정하고 각 층수의 중앙 지점에서 환경부 실내공정시험법에 의거 PM_{10}, CO, CO_2, HCHO 등 실내공기질 유지기준 4개 항목을 조사하였다(환경부, 2004b).

한편, 주차장의 주요 오염원인 자동차 배출가스의 특성과 환기설비 가동 유무에 따른 실내공기질 변화 특성을 보다 상세히 파악하기 위하여, 본 연구에서는 시청 지하주차장인 C 지점 1개소를 대상으로 차량의 입출입이 잦은 지하 2층 지점에서 주차장 이용차량의 주된 이용시간대인 08～19시 사이에 주차장에 설치되어 있는 환기설비를 가동한 조건(08～13시)과 미가동한(13～19시) 조건에서 자동차 주요 배출오염물질인 PM_{10}, NO_2, CO, CO_2, VOCs 등을 시간별로 연속모니터링을 하였다.

각 분석항목별 농도 측정방법의 개요를 살펴보면, 입자상물질인 PM_{10}의 경우 미니볼륨에어샘플러(Air metrics PAS-201)를 사용하여 5 L/min 유량으로 8시간 동안 시료를 채취하고 포집전후의 여지무게 차이를 칭량하여 농도를 측정하였으며, 환기설비 가동유무에 따른 실험에서는 PM_{10}의 농도를 실시간 연속측정을 위해 TEOM(TEI 1400a)분석법을 사용하였다. 가스상 물질인 CO 및 CO_2의 농도 측정은 비분산적외선분석법인 CO 측정기(TEI 48C)와 CO_2 측정기(TSI 8762)를 그리고 환기설비 가동유무에 따른 NO_2의 농도 측정은 화학발광법인 NOx 분석기(TEI 48C)을 사용하여 실시간 연속적으로 농도를 측정하였다.

HCHO의 시료채취 및 분석은 오존 스크러버를 전단부에 설치한 2,4-DNPH 카트리지(Supelco S10)와 휴대용 펌프(SIBATA사 MP-∑100)를 이용하여 유속 1 L/min으로 30분 간격으로 시료를 포집하고 아세토니트릴로 추출한 후 HPLC(Perkin Elmer 200C)로 분석하였다. VOCs는 고체흡착관(Supelco Tenax TA)과 휴대용 펌프(SIBATA MP-∑30)를 사용하여 0.1 mL/min 유속으로 30분 간격으로 시료를 포집하고 자동 열탈착장치(Perkin Elmer ATD-400)와 연결된 GC/MS(Perkin Elmer Clarus 500)로 분석하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 각 실내주차장의 농도 비교

본 연구대상 조사지점인 5개 실내주차장에 대한 PM_{10}, CO, CO_2, HCHO 등 실내공기질의 농도 특성을 분석하였다(Table 2). 영화관의 주차장인 A 지점의 경우 PM_{10} 72.2 ㎍/m3, CO 6.1 ppm, CO_2 397 ppm, HCHO 8.6 ㎍/m^3 으로 대부분 평균농도 이하로 나타났으나 CO는 상대적으로 다소 높게 나타났다. 백화점의 지하주차장인 B 지점은 비교적 이용객 차량이 많아 상대적으로 높은 실내공기질 농도 특성을 예상하였으나 PM_{10} 69.1 ㎍/m3, CO 1.9 ppm, CO_2 432 ppm, HCHO 6.0 ㎍/m3 등 모든 항목이 평균농도 이하로 나타나는 등 양호한 실내공기질 농도 특성이 나타났다.

또한, 시청의 지하주차장인 C 지점 및 재래시장의 실내주차장인 D 지점은 대부분의 항목이 평균농도 이하의 양호한 농도특성을 보였다. 그러나 건축된지 약 16년 지난 구형 상가건물의 지하주차장인 E 지점은 CO_2 606 ppm, HCHO 31.9 ㎍/m3 으로 CO_2 및 HCHO가 상대적으로 높게 나타났다.

2. 환기설비 가동 유무에 따른 농도 특성

1) PM_{10}, NO_2, CO, CO_2 농도

한편, 본 연구에서는 환기설비 가동유무에 따른 실내공기 오염물질의 시간별 농도특성을 파악하기 위하여 지하주차장인 C 지점을 대상으로 출퇴근 및 이용객의 차량 출입이 잦은 08～19시 사이에 환기설비 가동 및 미가동 조건에서 실내공기질 농도를 연속 측정하였다. 여기서 주차장의 환기설비는 미가동 조건에서 출근시간대인 08시부터 13시까지 가동하고 이후 미가동 상태로 운전하였으며, Fig. 1에는 환기설비의 가동조건(08～13시)과 미가동시(13～19시) 조건 하에 시간별 주차차량대수, 실내외 온도 및 오염물질(PM_{10}, NO_2, CO, CO_2)의 농도 변화 특성과 환기설비 가동에 따른 각 오염물질의 저감율을 나타냈다.

(a)는 시간별 주차대수, 주차장 실내온도 및 바깥 외기온도의 특성을 나타냈다. 본 지하 주차장은 주차면이 총 203면으로 출근 차량과 이용 차량이 시작되는 08시 전후에는 119대가 주차가 시작된 이후 특히 11시에는 주차면 이외에 주차장 통로에까지 총 269대가 주차되어 규정주차 대수를 66대나 초과할 정도로 많은 차량이 주차장을 이용하는 것으로 조사되었다. 실내온도(indoor)는 외기온도(outdoor)의 급격한 변화 특성과 달리 08시 21.8 ℃에서 주차장 이용차량이 많은 16시 24.3 ℃ 까지 지속적으로 증가하다가 이후 이용차량이 줄어드는 19시에 23.8 ℃로 서서히 낮아지는 것으로 나타났으며, 특히 자동차의 배기가스가 지하주차장의 실내온도 상승의 주요 원인 중 하나로 판단된다.

(b) 및 (c)에서 나타낸 오염물질별 농도변화는 PM_{10} 의 경우 환기설비 가동시 농도범위 19～27 ㎍/m^3 로 평균농도 22 ㎍/m3 그리고 미가동시에는 농도범위 36～125 ㎍/m^3, 평균농도 72 ㎍/m^3 의 농도 특성을 보였다. NO_2 농도는 환기설비 가동시 농도범위 0.047～0.079 ppm, 평균 0.064 ppm으로 미가동시 농도범위 0.103～0.668 ppm, 평균 0.383 ppm에 비해 매우 낮은 농도 특성을 보이고 있다. CO 농도는 환기설비 가동시 농도범위 1.2～4.2 ppm, 평균 2.5 ppm으로 미가동시 농도범위 1.6～8.3 ppm, 평균 4.7 ppm에 비해 낮은 농도 특성을 보이고 있다. CO_2 농도는 환기설비 가동시 농도범위 399～497 ppm, 평균 425 ppm으로 미가동시 농도범위 435～584 ppm, 평균 518 ppm에 비해 낮은 농도 특성을 보이고 있다. 또한, (d)에는 환기시가 미환기에 대비 각 오염물질의 평균 감소율을 나타냈으며, 오염물질별로 18.0～83.3 %의 감소율이 나타났다.

2) 휘발성유기화합물(VOCs)의 농도 특성

본 연구에서는 VOCs 성분중 검출빈도가 높고 인체에 유해성이 높은 Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene 및 1,2,4-TMB, 1,3,5-TMB 등 7개 VOCs 개별성분을 포함한 TVOC 농도 특성을 파악하기 위하여, C 지점에서 환기설비 가동시 3회 그리고 미가동시 4회 시료를 각각 채취하고 분석결과를 Table 3에 나타냈다. 또한, Fig. 2에는 환기설비 가동시와 미가동시 개별 VOCs 및 TVOC의 평균농도 변화 특성을 나타냈다.

전반적으로 주차장의 주된 이용시간대에 환기설비 가동 유무에 따른 TVOC의 농도 변화 경향을 환기설비 가동 1시간 후 및 출근차량 증가 (09:00～09:30) → 환기설비의 지속적 가동 및 미가동 직전 (12:30～13:00) → 환기설비 미가동 1시간 30분 후 (14:30～15:00) → 미가동 상태에서 및 퇴근차량 증가 (18:00～18:30) 등의 조건으로 살펴보면, 농도는 834.5 ㎍/m^3 → 290.5 ㎍/m^3 → 704.3 ㎍/m^3 → 1912.4 ㎍/m^3 로 환기설비 가동유무나 이용차량의 증감에 따라 큰 농도 변화 특성을 보였다.

개별 VOCs 성분 농도변화에서 Toluene의 경우 환기설비 미가동시 평균농도 129.3(78.3～168.6) ㎍/m^3 인 반면, 가동시에는 평균농도 40.1(14.2～81.1) ㎍/m3으로 크게 줄어들었다.

Ⅳ. 고 찰

환경부 "다중이용시설등의실내공기질관리법"에서 실내주자창은 연면적 2,000 m^2 이상인 시설에 대해 실내공기질을 적정하게 관리해야할 적용대상 시설이다. 실내주차장은 용도의 특수성과 공간의 폐쇄성 등으로 인하여 오염물질의 발

생, 농도 및 거동에 있어서 일반 실내공간과는 상이한 특수성을 보이며, 특히 자동차의 배기가스의 유해물질로 인해 근무자나 이용자들의 건강에 큰 영향을 미칠 수 있을 것이다(김기태 등, 2006).

본 연구에서 5개 실내주차장에 대한 실내공기질 농도 특성을 살펴본 결과, 평균농도는 PM_{10} 66.2 ㎍/m³, CO 3.6 ppm, CO_2 459 ppm, HCHO 10.2 ㎍/m³ 으로 모든 지점에서 실내공기질 유지기준을 만족하였다.(Table 2) 이는 본 실내주차장의 경우 대부분 적절한 공조시스템의 운영으로 비교적 양호한 실내공기질 농도 특성을 보이고 있는 것으로 판단된다. 특히 B 지점의 경우 2006년에 건축된 비교적 신축건물의 주차장으로 전문 관리인을 통해 공조시스템의 운영관리가 잘되는 것으로 판단되는데, 이러한 이유에서 백화점 주차장의 경우 신축건물이 구형건물 보다 양호한 농도특성이 보고되고 있다(송희봉 등, 1998). C 지점의 경우에도 주차장의 입구와 출구가 달라 기계식 환기뿐만 아니라 실외 유입 공기에 의해서도 원활한 환기가 일어나는 것으로 판단되며, 옥외 실내주차장인 D 지점은 특성상 기계식 환기뿐만 아니라 자연 환기도 가능한 특성으로 인한 결과로 판단된다. 그러나 상가 지하주차장인 E 지점은 CO_2 및 HCHO가 상대적으로 높게 나타나고 있었는데, 이는 건축된지 약 16년 지난 구형 건물로 가구판매점이 많이 입주해 있어 HCHO의 발생량이 많고 기계식 환기시설이 없이 자연환기 방식으로 인해 충분한 환기가 이루어지지 못한 이유로 판단된다.

한편, 부산시 소재 실내주차장의 측정결과를 살펴보면 평균농도가 PM_{10} 59.2 ㎍/m³, CO 4.0 ppm, CO_2 560 ppm, HCHO 6.1 ㎍/m³ 등으로 보고하고 있으며(곽진 등, 2005), 서울시 소재 실내주차장 조사결과에서는 PM_{10} 183 ㎍/m³, CO 1.2 ppm, CO_2 578 ppm 등으로 보고(김운수, 2004)되고 있다. 이러한 결과는 본 연구결과와도 전반적으로 비슷한 경향으로 나타났으며, 이는 비교적 공조시스템의 운영이 잘 운영되고 있는 주차장의 경우에는 실내공기질 유지기준을 만족하는 것으로 판단된다.

한편, 주차장의 주요 오염배출원인 자동차에서는 CO, CO_2, NOx, VOCs 등 유해물질이 배출되며, 특히 주차장 특성상 저속운행 및 아이들링시 불완전 연소물질인 CO 등이 많이 배출될 수 있다(Ho 등, 2004). 따라서 실내주차장의 경우 다른 다중이용시설에 비해 차량 배출가스 등 오염물질의 발생량이 많고 실내공기질이 악화될 수 있어 기계식 공조시스템의 설치와 운영을 통해 적절한 실내공기질 관리가 필요하다(Chow, 1995).

결국 실내주자창의 경우 환기설비의 가동 유무에 따라 실내공기질의 큰 농도차이가 나타날 수 있는데, C 지하주차장을 대상으로 환기설비 가동 및 미가동 조건에서 실내공기질 측정결과 환기설비 가동시가 미가동시에 비해 실내오염물질의 감소율이 PM_{10} 69.8 %, NO 83.3 %, CO 47.2 %, CO_2 18.0 % 등으로 각각 줄어드는 것으로 나타났다.(Fig. 1) 여기서 특히 CO_2 농도 감소율이 상대적으로 낮은 원인은 통상 외기공기 중 CO_2 배경농도가 약 360 ppm 정도로 비교적 높게 존재하고 있어 이에 상대적 감소율이 낮은 것으로 판단된다.

자동차 배출가스로 인한 다양한 오염물질의 직접적인 영향을 받을 수 있는 주차장은 특히 인체에 유해한 VOCs 영향을 고려할 수 있으며, 현재 환경부 “다중이용시설등의실내공기질관리법”에서 실내주차장 TVOC 농도는 권고기준 1,000 ㎍/m³ 이하로 설정되어 있다(환경부, 2004b). 여기서 C 지점을 대상으로 환기설비 가동 및 미가동에 따라 7개 VOCs 성분의 분석결과 환기설비 미가동시 평균 673.7 ㎍/m3 로 나타났으며, 가동시에는 약 56.4 %가 줄어든 평균 293.5 ㎍/m³ 로 나타났다. 참고로 송희봉 등(1998)은 대구시 백화점 및 공원 지하주차장 등 4개소에 대해 7개 VOCs 성분의 농도 분석결과 162.8～528.8 ㎍/m³ 으로 보고하고 있으며, 이는 본 연구결과와 비슷한 경향으로 나타났다. 또한 TVOC 농도는 환기설비 미가동시에는 평균 1,401.2 ㎍/m³ 로 권고기준을 초과하는 것으로 나타난 반면, 가동시에는 약 65.2 %가 줄어든 평균 488.2 ㎍/m³ 로 김옥헌 등(2009)의 실내주차장 TVOC 농도 424 ㎍/m³ 와 비슷한 농도 특성으로 나타났다. 또한 성분별 저감율은 미가동시에 비해 Benzene 68.0 %, Toluene 68.9 %, Ethylbenzene 63.8 %, m,p-Xylene 61.5 %, o-Xylene 51.5 %로 전반적으로 50 % 이상의 저감특성이 나타난 반면 1,2,4-TMB 4.8 %, 1,3,5-TMB 31.7 %로 다소 낮은 저감율이 나타났다.

한편, 환기설비 가동 및 가동시 각 오염물질에 따라 저감율이 큰 차이를 보이는 것은 특히 환기과정에서 외부 공기의 유입으로 인한 배경농도의 영향을 고려할 수 있는 바, 향후 보다 면밀한 실내공기질 농도 특성 조사시 실내로 유입되는 공기의 배경농도 특성을 참고적으로 파악할 필요가 있을 것이다.

Ⅴ. 결 론

본 연구에서는 실내주차장 5개 지점을 대상으로 실내공기질 유지기준 항목을 측정하고 각 주차장의 유형별 농도 특성을 비교 분석하였으며, 또한 주차장의 환기설비에 따른 실내공기질의 농도 특성을 파악하기 위하여 1개 시설대해 환기설비 가동 유무에 따른 시간별 농도 변화특성을 파악한 결과는 다음과 같다.

1) 주차장 유형에 따라 다소의 차이는 있지만 실내주차장 5개 시설 모두 실내공기질 유지항목 기준을 만족하는 것으로

나타났으며, 이는 환기설비의 설치 및 적절한 운영 등에 따른 영향을 판단된다. 그러나 기계식 환기설비가 없고 자연환기방식으로만 운영되고 있으며 주로 가구점이 입주해 있는 상가시설의 주차장인 E 지점은 상대적으로 다른 지점에 비해 CO_2 및 HCHO 농도가 높게 나타났다.

2) 지하주차장 C 지점을 대상으로 환기설비 가동유무에 따른 실내공기오염물질의 농도특성을 파악한 결과 환기설비 가동시 실내오염물질의 평균 저감율은 PM_{10} 69.8 %, NO_2 83.3 %, CO 47.2 %, CO_2 18.0 % 가 줄어든 것으로 나타났다.

3) 환기설비 가동 유무에 따른 TVOC의 농도 변화는 환기설비 미가동시에는 평균 1,401.2 ㎍/m³ 로 권고기준을 초과하는 것으로 나타난 반면, 가동시에는 약 65.2 %가 줄어든 평균 488.2 ㎍/m³ 로 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

한편, 본 연구대상의 모든 지점에서 유지기준을 만족하는 것은 최근 실내공기질에 대한 높은 사회적 관심과 실내공기질 관련법의 시행으로 인한 결과로 보여진다. 동시에 지속적인 쾌적한 실내환경 조성을 위해서는 환기설비의 설치 및 효율적인 운영 등 철저한 관리가 더욱 필요할 것으로 판단된다. 또한 향후 보다 구체적이고 다양한 시간적, 공간적 주차장 실내공기질 농도특성 파악의 필요성과 이용자 및 근무자에 대한 건강위해성 평가 그리고 외부 공기의 배경농도 특성을 지속적으로 파악할 필요가 있을 것이다.

Acknowledgment

이 논문은 진주산업대학교 2단계 산학협력중심대학육성사업 기술개발과제의 일환으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

REFERENCES

곽진, 빈재훈, 최홍식. 다중 이용시설의 실내 공기질 특성 연구. 부산보건환경연구원보 2005;15(1):158-166

김기태, 양성수, 손부순, 전용택, 장봉기, 이종대. 백화점 지하주차장의 실내 공기질에 관한 연구. 대한위생학회지 2006;21(1);44-51

김옥헌, 이시형, 사재환, 김신도, 김윤신, 전형진, 전의찬. 지하 및 대중교통시설에서의 VOC 농도 분포 연구. 한국대기환경학회 2009 춘계학술대회 논문집 2009;475-476

김운수. 서울시 다중이용시설의 실내공기질실태조사 및 관리방안 연구. 서울시정개발연구원 2004;2004-R-17

박정호, 서정민, 한성종. 조선소 주변지역에서 휘발성유기화합물 및 알데히드류의 농도분포 특성. 한국환경과학회지 2008;17(7):767-774

송희봉, 권택규, 홍성희, 백성옥. 대구지역 대규모 지하주차장의 실내공기질 특성평가. 대한환경공학회지 1998;20(9):1315-1330

이철민, 김윤신. 다중시설 내 실내공기오염물질의 연구동향 분석 및 건강위해성 평가에 관한 연구. 한국실내환경학회지 2004;1(1):39-60

하덕호, 편무권, 이봉우, 김종헌, 김선태. 대전지역 지하주차장의 휘발성유기화합물(VOCs) 농도분포 연구. 한국실내환경학회지 2008;5(1):1-11

환경부. 다중이용시설등의 실내공기질 관리법 시행규칙 2004a

환경부. 실내공기질 공정시험방법. 환경부 고시 제2004-80호. 2004b

황민규, 김성식, 김강수. 지하 주차장의 환기성능평가에 관한 연구. 한국태양에너지학회논문집 2007;27:71-77

Chow Y.K. On ventilation design for underground car parks. Tunnelling and Underground Space Technology 1995;10(2):225-245

Ho J.C., Xue H., Tay K.L. A Field study on determination of carbon monoxide level and thermal environment in an underground car park. Building and Environment 2004;39:67-75