

백화점 지하 주차장의 실내 공기질에 관한 연구

김기태 · 양성수 · 손부순^{*} · 전용택 · 장봉기 · 이종대
순천향대학교 환경보건학과

Research about room air quality of department store underground parking lot

Ki-Tae Kim · Sung-Su Yang · Bu-Soon Son^{*}
Young-Taek Jeon · Bong-Ki Jang · Jong-Dae Lee
Dept. Environment health, Soonchunhyang University

Abstract

This study was conducted to investigate air quality in the underground parking lot of department store. Sampling sites were selected to the three sites in one department store. Measuring instrument started from November 3rd, 2005 to November 9, 2005. Target air quality parameters include a number of criteria pollutants such as NO_x, O₃. The purpose of this study was to find out the present condition of indoor air quality in underground parking space of department store. Through the field measurement, the current situation and the behavior of contaminants were investigated and then was compared with the advice standards. The result of this study was as follows; The Average density of NO_x gas and O₃ gas was maintained below the indoor air advice standards. The Average density of NO_x gas and O₃ gas was highly measured during the weekend than during the week day. Average density of NO_x gas and O₃ gas was highly measured at daytime than that of afternoon. Average density of NO_x gas was highly measured in the center area than the other area. Average density of O₃ gas was highly measured at the entrance than the other area. NO_x gas concentration was maintained below 0.3ppm, an average for 1 hours, as defined in the parking space law. O₃ gas concentration was maintained below 0.08ppm, an average for 1 hours, as defined in the parking space law.

KeyWords : Air Quality, O₃, NO_x

^{*}Corresponding author E-mail : sonbss@sch.ac.kr

I. 서론

1970년대 이후 우리나라의 급속한 경제구조의 변화는 물류의 증가를 가져왔고 이로 인해 환경오염이 나타났다. 특히 최근 자동차의 증가는 각종 공기오염의 오염원으로 심각한 사회 문제를 발생시켰다. 우리나라의 경우 밀집된 도시공간의 이용률을 높이기 위해 지하공간이나 대규모 복합공간 등 각종 실내환경의 이용빈도가 높아질 것이라 예상된다. 따라서 이들 자동차가 집중적으로 모이는 주차장의 경우 매연 및 여러 가지 자동차 배출가스의 직접적인 영향을 받게 되므로 이들 실내 주차장에 대한 관심이 증대되고 있는 실정이다.^{1,2)}

지하 주차장은 용도의 특수성과 공간의 폐쇄성 및 구조의 제약 등으로 인하여 오염물질의 발생, 농도 및 거동에 있어서 일반 건축공간과는 상이한 특수성을 보인다. 특히 자동차의 배기가스 중에는 NO_x, SO_x, CO, H₂S 등의 유해물질들이 포함되어 있어 이들은 소량의 흡입으로도 주차안내원, 수금원, 운전자들의 건강에 영향을 미칠 수 있다.³⁾ 또한 실내환경의 오염문제가 밀폐된 공간에서의 오염이라는 점에서 실외공기오염에 못지않게 우리 일상생활에 직접적으로 큰 영향을 미치고 있으나, 이에 대한 인식도는 매우 미흡한 실정이다.⁴⁾ 질소산화물은 연소과정에서 생성되는 물질로서 자동차의 연료 연소과정에서 배출된다. 발생된 질소산화물은 그 자체로도 호흡할 때 폐포 깊이 도달하여 헤모글로빈의 산소 운반능력을 저

하시켜 호흡곤란 등을 일으키는 독성이 강한 물질로서 인체에 유해하다.⁵⁾ 오존은 자연중이나 인위적 발생원으로부터 직접 배출되는 1차 오염물질인 휘발성유기화합물과 NO_x 그리고 햇빛이 광화학 반응을 일으켜서 발생하는 2차 오염물질이다. 오존의 경우 반복 노출시 폐에 해를 입힐 수 있는데 가슴의 통증, 기침, 메스꺼움, 목 자극, 소화 등에 영향을 미치며 기관지염, 심장질환, 폐기종 및 천식을 악화시키고 폐활량을 감소시킬 수 있다. 특히 기관지 천식환자나 호흡기 질환자, 어린이, 노약자 등에게는 많은 영향을 미치므로 주의해야할 필요가 있다.^{5,6)}

따라서 본 연구의 목적은 다중이용시설 중 임의로 경기도 부천시에 소재한 백화점 지하주차장의 질소산화물과 오존을 각각 측정함으로써 지하 주차장의 공기의 질을 평가하고 지하주차장에 대한 환경개선을 위한 기술적인 기초 자료로 제공하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 측정지점 및 기간

2005년 11월 3일부터 11월 9일까지 1주일간 경기도 부천시 아파트 단지에 위치하고 있는 백화점 한 곳을 임의로 선정하여 총 지하 5층의 주차장 중에서 차량 이동수가 가장 많은 1층을 측정지점으로 설정 실내공기질 권고기준의 오염물질 항목 중 질소산화물과 오존을 각각 측정하였다.

Table 1. Parking lot abstract

Service life	2years 3month
Underground parking lot height	3.3m
Underground parking lot area	8550m ²
Parking ability same time(max)	197 in the one floor(all 5 floor)
Ventilation equipment	Outside air way to flow in and dilute interior air
Ventilating openings number	120
Worker's number	11

2. 측정지점의 특성

결과해석의 보조자료로 활용하기 위한 건물연수, 지하 주차장 면적, 동시주차능력(최대) 및 환기시설, 거주자수 등을 함께 조사하여 Table1에 나타냈다.

또한 측정지점별로 측정시간대(오전: 11시~12시, 오후: 2시~3시)에 차량 출입대수를 파악하였다.

3. 시료포집 및 분석방법

측정지점은 공기의 오염도를 대표할 수 있는 장소라고 판단되는 지하 주차장 내부의 중앙부분, 건물 내부의 지하 주차장 차량입구로부터 약 1m정도 앞 그리고 건물 내부의 지하 주차장 차량 출구로부터 약 1m정도 앞 지점을 선정하여 지상 1.2~1.5m(호흡영역)정도의 높이에서 1일 2회씩(오전 1회, 오후 1회) 일주일을 측정하였다.

질소산화물(NO_x)과 오존(O₃)의 시료채취는 실내공기질공정시험방법에 근거하여 살츠만법과 요오드화 칼륨법이용하여 흡수액을 발색시킨 다음 발색된 흡수 발색액을

UV Spectrophotometer (545nm, 352nm)로 흡광도를 측정해 농도를 산출하였다.

4. 자료처리 방법

자료의 처리는 SPSS 11.5 for Windows 통계 프로그램을 이용하여 평균과 표준편차를 산출하였고, 오염농도와 여러 요인과의 관련성을 파악하기 위해 상관성분석을 실시하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 지하 주차장 내 차량 이동 상황

Table 2는 하루 동안에 출입한 차량에 수를 센 것으로 차량대수의 결정은 측정 당일 각 측정 장소의 차량관리 주무부소(정산소)에서 제시한 매시간별 차량 유입대수 현황을 조사하였다.

차량의 이동 상황이 주중 보다는 주말인 토요일과 일요일에 차량의 평균 이동수가 각각 398.75대, 306.00로 주중보다 높게 나타났다. 특히 토요일에 398.75로 많은 차량

Table 2. Parking lot exit and entrance number present condition (unit:ea)

Date	A.M		P.M		Mean
	Entrance	Exit	Entrance	Exit	
Nov 5th Sat	431	263	493	408	398.75
Nov 6th Sun	332	132	376	384	306.00
Nov 7th Mon	205	94	219	302	205.00
Mean	381.50	197.50	434.50	396.00	

이 출입하였다. 오전과 오후를 비교한 결과 오전에는 입구 쪽 차량의 출입대수가 출구 쪽 차량 출입대수 보다 많았고 오후에는 출구 쪽 차량 이동대수가 입구 쪽 차량 출입대수 보다 많았다. 결과적으로 측정기간 내에 차량 이동량은 오전 보다는 오후가 많았다.

2. 지하주차장 내 질소산화물 및 오존 농도

Table 3은 주차장에서 측정된 질소산화물과 오존의 농도를 산술평균과 기하 평균으로 나타내었다.

Table 3. Average density of NO_x and O₃ (unit: ppb)

	Concentration	
	Mean ± SD	GM ± GSD
NO _x (n=42)	240.95 ± 148.22	148.36 ± 3.84
O ₃ (n=42)	38.71 ± 25.97	30.74 ± 3.01

산술평균농도는 질소산화물 240.95 ± 148.22ppb, 오존 38.71 ± 25.97 ppb로 나타났고, 기하평균농도는 질소산화물

148.36 ± 3.84 ppb, 오존은 30.74 ± 3.01 ppb로 나타났다.

이는 실내 대기 권고기준인 질소산화물 0.3ppm, 오존 0.8ppm 보다는 낮았으나 아산과 대구지역을 대상으로 손부순⁷⁾ 등이 연구한 실내의 질소 산화물 평균농도 아산 18.36±5.66, 대구 23.03±9.17보다 높은 농도를 나타내 실내 환경 보다 높은 오염도를 나타내었다. 함흥돈⁸⁾의 연구에 의하면 전용 지하주차장에서 오존의 농도가 10~30 ppb로 나타났고 최대 57ppb로 비슷한 수치를 나타내었다. 아파트 지하 주차장을 측정한 이승민⁹⁾의 연구에 의하면 오존의 농도는 8~18ppb로 나타났고 최대 농도는 38 ppb로 본 연구보다 낮게 나타났다. 이는 아파트의 경우 이동하는 차량의 수가 백화점에 비하여 적고 출퇴근 시간을 피해서 측정이 이루어졌기 때문에 나타나는 현상으로 보인다.

3. 주중과 주말에 따른 질소산화물과 오존의 농도

Table 4에서는 NO_x와 O₃의 주중과 주말 평균농도로써 주중 시료 30개, 주말 시료 12개씩 비교하였다.

Table 4. Density at Week and Weekend of NO_x and O₃ (unit: ppb)

		Concentration	
		Mean	S.D
NO _x	Week (n=30)	271.04	67.85
	Weekend (n=12)	273.86	62.93
O ₃	Week (n=30)	54.62	27.08
	Weekend (n=12)	65.37	24.32

질소산화물의 경우 주중에는 평균농도가 271.04±67.85ppb였고 주말의 경우는 평균농도가 273.86±62.93ppb를 나타냈다. 오존의 경우도 주중시료의 평균농도는 54.62 ± 27.08 ppb이고 주말시료의 평균농도 65.37 ± 24.32ppb를 나타냈다.

Table 5. Density at Sat. And Mon. of NO_x and O₃ (unit: ppb)

		Mean	S.D
NO _x	Sat	321.26	41.55
	Mon	98.87	35.98
O ₃	Sat	93.17	30.02
	Mon	54.15	24.29

Table 5는 평일 중 월요일과 주말 중 토요일을 비교한 것으로 질소산화물과 오존 둘 다 주말이 주중보다 높게 나타났다.

질소산화물의 경우 주말과 주중과의 차이는 나타나지 않았지만, 표 5와 같이 비교한 경우 차량의 이동량이 많은 주말의 농도가 더 높게 나타났다. 오존의 경우도 주말이 주중보다 약간 높은 농도를 나타내었지

만, 표 5에서는 더 많은 차이는 나타내었다. 이는 오염원이라고 할 수 있는 차량의 이동량과 관련지어 추정할 수 있다. 대구지역을 대상으로 송희봉¹⁰⁾ 등이 연구한 지하주차장의 실내 공기질을 평가한 결과를 살펴보면 차량량이 많은 세일기간과 상대적으로 차량량이 적은 비세일기간을 비교한 결과 모든 대상물질이 세일기간에 높은 농도를 나타냈다. 그러나 박병운¹¹⁾이 연구한 결과에 의하면 지하주차장에서 차량의 유동에 따른 오존 농도의 변화의 상관관계가 없다고 나타내었다. 이는 본 연구의 측정지점 3곳 중에서 한 곳인 출입구 지점의 측정 당시에 주중에는 주차장 내에 정체 구간이 존재하지 않았으나 주말에는 차량의 증가로 정체 구간이 생기고 차량의 유동량이 증가하여서 주말이 주중보다 높은 농도를 보인 원인이라고 해석된다. 이는 두 물질의 오염원이라고 할 수 있는 차량의 출입량이 평일보다 주말에 높은 것과 관련지어 추정할 수 있다.

4. 시간에 따른 질소산화물과 오존의 농도 분포

Table 6은 NO_x와 O₃의 농도를 오전(11~12시)과 오후(2~3시)로 구분하여 나타내었다.

Table 6. Density at A.M. and NO_x of O₃ and P.M. (unit: ppb)

		Mean	
		Mean	S.D
NO _x	A.M. (n=21)	305.43	83.51
	P.M. (n=21)	238.18	78.33
O ₃	A.M. (n=21)	72.97	14.41
	P.M. (n=21)	41.78	16.19

질소산화물의 경우 오전의 평균농도 값은 305.43±83.51ppb이고, 오후의 평균농도 값은 238.18 ± 78.33ppb을 나타내어 오전 시료가 오후 시료보다는 높게 나타났다. 박영석¹²⁾의 서울시 대기중 질소산화물 연구에 의하면 오전 중 대기의 질소산화물의 농도가 높게 나타나는 것을 보였다. 따라서 외기의 영향을 받아서 오전보다 높은 농도를 나타낸 것으로 생각된다.

오존의 경우에는 오전 시료에 평균농도는 72.97 ± 14.41ppm이고 오후시료는 41.78 ± 16.19ppb을 나타냈다. 질소산화물과 마찬가지로 오전시료가 오후시료 보다는 높았음을 알 수 있었다. 함홍돈⁸⁾의 지하 2층 주차장에서의 연구에 의하면 시간에 따른 오존의 농도 변화는 거의 없었다. 이는 오존의 경우 전구물질인 질소산화물의 농도에 영향을 받아서 오전에 비하여 오후의 오존 농도가 낮게 나타난 것으로 생각되고, 본 연구가 주차장 입구인 1층에서 측정을 하였기에 외기에 의한 영향을 받아 나타나는 것으로 판단된다.

5. 위치에 따른 질소산화물 및 오존이 농도 분포

Table 7은 주차장 입구, 출구, 중앙에서 측정된 질소산화물 및 오존의 농도 분포를 보여준다.

질소산화물의 경우에는 입구 쪽 시료의 평균 농도값은 254.00±40.71ppb, 중앙 쪽 시료의 평균 농도값은 307.42±107.97ppb 그리고 출구 쪽 시료의 평균 농도값은 253.99 ±69.07ppb로 중앙 쪽 시료의 농도가 입구와 출구 지역의 평균 농도값 보다 높게 나타났다.

Table 7. Density on entrance, exit and center of NOx and O3

(단위:ppb)			
		Mean	S.D
NO _x	Entrance (n=14)	254.00	40.71
	Center (n=14)	307.42	107.97
	Exit (n=14)	253.99	69.07
O ₃	Entrance (n=14)	75.10	26.24
	Center (n=14)	49.64	28.51
	Exit (n=14)	47.38	16.67

오존의 경우는 입구 쪽 시료의 평균 농도 값이 75.10 ± 26.24ppb, 중앙 쪽 시료의 평균 농도값이 49.64±28.51ppb 그리고 출구 쪽 시료의 평균 농도값은 47.38±16.67 ppb으로 입구 쪽 시료의 평균 농도값이 중앙과 출구지역의 평균 농도값 보다 높게 나타났다.

질소산화물의 경우 입구의 상태가 출구나 중앙지역에 비해 외기의 영향을 받기 쉬운 구조였다. 그리고 오존은 주로 질소산화물과 광화학반응에 의해 생성이 되기 때문에 입구로 들어오는 차량으로 인해 외부공기가 내부로 들어와서 출입구 지점의 오존 농도가 높았던 것으로 판단된다.

또한, 백화점 지하 주차장의 공기는 구조적으로 일반 실외 공기와는 다르게 잘 분산되지 않는 특징과 용도의 특이성에 따라 그 피해가 광범위하게 나타날 수 있다. 따라서 지하 주차장에 대한 많은 관심이 필요하고 지하 주차장의 여러 조건에 따른 심도 있는 연구가 계속적으로 진행되어야 할 것으로 생각된다.

Table 8. Correlation analysis of several factors of NOx and O3

	Time	Car No.	O ₃ Con.	NOx Con	Station	Week & Weekend
Time	1					
Car No.	0.477	1				
O ₃ Con.	-0.205	0.181	1			
NOx Con	-0.157	0.203	-0.022	1		
Station	0	-0.317	-0.137	0.102	1	
Week & Weekend	0	0.427	0.064	0.003	0	1

6. 질소산화물과 오존의 농도의 요인별 상관관계 분석

Table 8은 질소산화물과 오존의 농도와 변수들과 상관성을 분석한 결과이다.

본 연구에서 측정된 질소산화물과 오존의 농도는 시간대와 차량대수, 장소 그리고 주말, 주중으로 구분하여 비교하였으나 통계적으로 유의성을 나타내지 않았다.

IV. 결론

본 연구는 다중이용시설 지하주차장의 질소산화물과 오존의 농도를 파악하고자 백화점 한 곳을 대상으로 하여 2005년 11월 3일부터 11월 9일까지 오존과 질소산화물을 측정 분석하였고, 그 결과는 다음과 같다.

1) 질소산화물과 오존의 평균농도는 각각 240.95ppb, 148.36ppb로 실내 대기 권고 기준 0.08ppm, 0.3ppm보다 낮은 값을 나타냈다.

2) 주중의 질소산화물과 오존의 평균농도는 271.04ppb, 54.62ppb, 주말273.86ppb,

65.37ppb로 주중보다 주말이 높게 나타났다. 이는 오염원인 차량의 이동수가 주중이 주말보다 높아 이에 의한 영향으로 생각된다.

3) 시간대별 질소산화물과 오존의 평균농도는 오전 305.43ppb, 72.97ppb, 오후 238.18ppb, 41.78ppb로 오전이 오후보다 높은 농도를 나타냈다. 이는 연구대상 시설 구조상 환기의 특징이 원인으로 생각된다.

4) 측정 위치별 질소산화물의 평균농도는 입구 254.00ppb, 중앙 307.42ppb, 출구 253.99ppb로 중앙이 다른 지역보다 높은 수치를 보였다. 이는 구조상 중앙부분이 입구·출구에 비하여 환기가 잘 이루어지지 않기 때문으로 생각된다. 오존의 평균 농도는 입구 75.10ppb, 중앙 49.64ppb, 출구 47.38ppb로 입구가 출구와 중앙지역에 비해 높은 농도를 나타내었다. 이는 오존이 광화학반응에 의해서 생성되는데 입구로 들어오는 차량으로 인해 외부의 공기가 내부로 들어와서 높게 나타나는 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. 이현주, 정재열, 이종영, 송희봉, 홍성철 : 대구시 공공이용시설 지하주차장의 TSP, PM10 및 중금속의 농도. 한국환경위생학회지, 제26권 제2호
2. 백성옥, 김윤신 : 도시지역 실내환경 유형별 공기질 특성 평가, 대기보전학회지, 제 14권 제4호, 1998
3. 함홍돈, 손장열, 박병윤, 김재민, 이병기 : 지하주차장의 난방기 실내공기환경 특성, 대한건축학회학술발표논문집, 제16권 제1호 1996.
4. 이경희, 이윤규, 윤재옥, 문은미, 정재국 : 사무소건물의 실내공기 환경에 대한 실태조사 연구, 대한건축학회 논문집, 제 11권 12호, 1995
5. 공성용, 구현정 : 사업장 질소산화물 저감기술의 평가 및 비용분석, 한국환경정책평가연구원, 2002.
6. 김명곤, 한진석, 황동진, 최덕일 : 수도권 지역에서 고농도 오존사례에 관한 연구, 한국대기환경학회 학술대회논문집, 제 2권, 1995
7. 손부순, 양원호, 전용택, 정순원 : 아산과 대구지역의 실내 ,외 NO₂ 농도와 관련 요인에 관한 연구, 대기환경학회 춘계학술대회논문집, 2005
8. 함홍돈, 김재민, 박병윤, 손장열 : 전용 지하주차장의 실내공기환경실태에 관한 측정연구. 대한건축학회학술발표논문집, 제 15권 2호, 1995
9. 이승민, 문현준, 이정재, 손장열 : 아파트 지하주차장의 실내공기환경(IAQ)평가에 관한 연구. 대한건축학회학술발표논문집, 제15권 제1호, 1995
10. 송희봉, 권택규, 홍성희, 백성옥 : 대구 시 대규모 지하주차장의 실내공기질 특성평가. 대기환경공학회, 제 20권 9호, 1998
11. 박병윤, 함영돈, 손장열 : 지하주차장의 실내공기환경 특성에 관한 측정연구. 대한건축학회논문집, 제 13권 11호, 1997
12. 박영석 : 서울지역 대기 중 오존 발생 특성에 관한 연구, 연세대학교 보건학 석사학위논문, 2000.
13. 환경부 : 실내공기질 관리 기본계획, 2004.