

전주시 공동주택 지하주차장의 실내환경 개선에 관한 연구

A Study on the Improvement of Indoor Environment in the Underground Parking Lot of Apartments in Jeonju City

정재연*
Jung, Jaeyoun

정인수**
Jeong, Insoo

포위***
Bao Wei

Abstract

The main purpose of the research is to prevent residents who are using underground parking lot from being exposed to pollution, and to allow them to enjoy clean indoor environment. The study subject for the research are underground parking lots in 20 different apartments, 4 of them were constructed before 2000, 10 were constructed from 2000-2010, and the rest were constructed after 2010. By analyzing the air quality in these underground parking lots, we found out that O₃, NO₂, CO, PM₁₀, Radon in all parking lots were not excessive compared to the standard limit. TVOC rate was measured with the value in between 312 ~ 2,137 μ g/m³, with CO₂ value in between 193~1,824 ppm, and HCHO with the value in between 0.01~1.52ppm. The lightning system in underground parking lots in apartments constructed before 2000 were using manual light control system, while automatic light control system was used in all apartments constructed after 2000, and the brightness of parking lots in apartments constructed before 2000 was quite low. The apartments constructed after 2000 are performing cleaning and ventilation due to management agreement, while the apartments constructed before 2000 are not performing regular cleaning and there was no mechanical ventilation system installed. The difference of indoor air quality was significant seasonally, daily, and yearly (year of construction), while illuminance was significantly different yearly.

주요어 : 지하주차장, 실내 환경, 조명, 자동제어, 수동제어, 청소, 환기

Keywords : Underground Parking Lot, Indoor Environment, Illuminance, Automatic Control, Manual Control, Cleaning, Ventilation

1. 서론

현대인들은 하루 24시간 중 80~90% 이상의 많은 시간을 실내에서 생활하는 것으로 조사되고 있으며, 특히 밀폐된 실내 공간에서의 생활은 실내공기질(indoor air quality: IAQ)에 나쁜 영향을 주며 이는 인간의 건강과 매우 밀접한 관련이 있다¹⁾. 실내공기 오염원으로 크게 외부공기와 실내·실외 건축재료 및 실내 활동이라 할 수 있으며, 그 원인물질로는 포름알데히드(HCHO), 휘발성유기화합물(VOCs), 미세먼지, 이산화탄소(CO₂) 등과 같은 실내공기오염물질이 알려져 있다²⁾. 그 중 요즘 각종 마스크에서 오염 물질로 가장 많이 등장하는 것이 미세먼지와 라돈일 것이다. 미세먼지는 수많은 대기오염물질에 질소산화물(NO_x), 일산화탄소(CO), 아황산가스(SO₂), 납(Pb), 오존(O₃) 등을 포함하는 입경 10 μ m 이하(PM₁₀)의 미세한 먼지로 인위적 원인(자동차 배기가스, 공장 굴뚝 등)과 자연적 원인(모래바람의 먼지, 화산재, 산불 등)으로 발생한다. 미세먼지는 취약집단의 질병 발생

률과 사망률을 높이는 등 인체에 해로운 영향을 미칠 가능성이 높다는 것이 밝혀졌고, 여러 국가에서 인체와 환경에 미치는 해로운 영향을 줄이기 위한 대기오염 대책이 마련되고 있다. 초미세먼지에 관한 우리나라 초기 환경기준은 연평균 50 μ g/m³, 24시간 평균 100 μ g/m³이었다. 그 후 2015년 초미세먼지 기준이 연평균 25 μ g/m³, 24시간 평균 50 μ g/m³으로 강화 되었으며, 2018년 초미세먼지 환경기준이 선진국 수준으로 더욱 강화되어 연평균 15 μ g/m³, 24시간 평균 35 μ g/m³으로 현재까지 적용되고 있다. 이처럼 미세먼지에 대한 환경기준이 설정되어 도심 밀집지역, 도로변 등에 집중 관심 대상이 되고 있다. 그 중 오염물질의 주요 배출원으로 주목받고 있는 자동차는 대도시의 경우 대기오염의 80% 이상이 자동차의 배출가스에서 발생하는 것으로 분석되고 있다. 그 중 밀폐된 공간에서의 미세먼지, 특히 지하 주차장의 공기 오염 정도는 지상의 오염정도 보다 훨씬 심할 것으로 예상되고 있다. 이에 따라 환경부에서는 1996년 지하생활 공간 공기질관리법을 제정하였으며, 2003년 다중이용시설 등의 실내공기질관리법을 제정하여 통합 실내공기질관리법 제정을 위한 토대를 마련하였다. 또한 2004년 유지기준 5개 항목과 권고기준 5개 항목에 대해 관리하고 있으며 그 이후 기준치를 점점 세밀화하고 수치를 더욱 까다롭게 적용시키고 있다. 세계보건기구(WHO) 산하 국제암연구소(IARC)에서는 디젤차의 매연이 폐암을 유발하는 '1등급 발암물질'(그룹1)로 분류하였으며, 지하주차장에서는 이러한 유해물질이 계속적인 주행과 시동을 반복함으로써 다량 배출되고 있다. 따라서 지하주차장을 이용하는 사람들은 그러한 배출가스가 건강상 매우 해롭다는 것을 인지하

* 전북대학교 주거환경학과 박사과정

** 전북대학교 주거환경학과 교수, ph.D

(Corresponding Author: Insoo Jeong, Dept. of Housing Environmental Design, Jeonbuk National Univ, jeonis@jbnu.ac.kr)

*** 전북대학교 주거환경학과 석사과정

1) Durrige Company Inc, RAD7 Radon Detector Manual, 33, 2006, pp.37-52.
2) International Agency for Research on Cancer(IARC), IARC Monograph on the evaluation of carcinogenic risk to humans-Overall evaluation of carcinogenicity, supplement 7, IARC, 1987, pp.211-216.

고 있으며 그에 대한 관심이 증대되고 있는 실정이다.

따라서 본 논문은 지방 중소도시인 전주지역에 건축된 200세대 이상의 민영공동주택을 중심으로 지하주차장 20곳을 무작위로 선정하여 지하주차장의 실내공기 오염현황과 온도, 습도, 조도 등을 측정하여 지하주차장의 실내환경의 실태를 파악하고자 하였다. 또한 건축연도 및 관리상태 등도 함께 조사하고 포괄적인 실내환경의 평가 및 분석을 통하여 향후 지자체의 주차환경 개선사업의 주차관리에 대한 법적 지위를 보다 구체화함으로써 주거지역 주차환경문제를 집중 관리하고자 함이다.

2. 선행연구

2.1 지하주차장 실내공기환경

지하주차장 실내공기환경을 대상으로 하는 선행연구들은 시간대별, 측정위치별, 연도별, 환기시설 등으로 다양한 연구가 이루어 졌다.

공동주택의 시간대별 및 층별 연구에서 장대영(2007)³⁾은 출근 시간대의 일산화탄소 농도가 퇴근 시간대보다 높게 나타났다고 하였으며, 층별 비교에서는 지하2층이 1층보다 농도가 높게 나타났다고 하였다. 그러나 1,2층 모두 일산화탄소 농도는 실내공기질 관리법 유지기준 보다 낮게 나타났다.

석연은 외 2인(2017)⁴⁾ 또한 9개 아파트 지하주차장 공기 중 포름알데히드 (HCOC), 휘발성유기화합물(TVOC), PM10, PM2.5의 농도 특성 분석에서 포름알데히드는 지하 1,2층 모두 유지기준을 초과하였으나 특히 2층에서 농도가 2~5배로 높게 나타났다고 하였으며, 휘발성유기화합물 또한 지하 2층에서 유지기준 보다 1.5~3배로 높게 나타났다고 하였다. PM10, PM2.5의 농도는 국내기준 및 외국기준보다 낮았다고 하였다. 이처럼 시간대별 및 층별 농도의 영향은 차량유동량의 시간대와 층별 밀폐도에 기인됨을 알 수 있었다.

연도별 공동주택 오염물질 조사는 석연은(2018)⁵⁾이 하계 아파트 지하주차장(4곳)과 수상복합아파트(2곳)를 조사하여 발표하였다. 포름알데히드(HCHO)는 6곳 모두, 총휘발성유기화합물(TVOCs)은 5곳이 환경기준을 초과하였으며 오염이 심한 곳은 준공연도에 관련 없이 수치가 높게 나왔다고 하였다. 이는 준공연도 보다는 환기조건, 차량의 통행량, 기온, 습도 상승의 원인에 기인됨을 알 수 있었다. PM10의 미세먼지는 아파트 지하주차장 6곳 모두 기준치를 초과하지 않았다고 하였다.

환기시설에 관련된 연구에서 하덕호 외 4인(2008)⁶⁾은 대전지역 지하주차장의 환기시설 유무에 따른 휘발성 유기화합물의 농도 분포를 연구하였다. 휘발성유기화합물 농도가 최고 1019.55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 권고기준을 초과하는 경우도 있었으며 환기시설 가동 여부와 횟수에 따라 지하주차장 실내공기질의 농도차가 크게 나타난다 하였다. 또한 BEXT⁷⁾/VOCs의 평균비율은 평균 37.7%로

나타났으며, BEXT와 VOCs의 상관계수는 0.88로 상관성이 높다는 것을 알 수 있었다.

김명수 외 2인(2008)⁸⁾의 연구에서 환기시설의 적정여부를 판단하기 위하여 아파트 지하주차장을 대상으로 공기질을 측정하고 결과 실내공기질 관리법 기준 보다 낮은 수치를 나타냈다고 하였으며 출근시간대의 일산화탄소 농도가 퇴근시간대 보다 높게 나타났다고 하였다. 특히 출근시간대 지하 2층 이산화탄소 농도는 지하 1층보다 2배 이상 높게 나왔으며 이는 밀폐도가 지하 2층이 높기 때문이라 하였다. 따라서 차량운행이 집중적으로 발생하는 출근시간대에 환기설비의 가동율을 높여 주어야 한다 하였다.

정수현 외 3인(2016)⁹⁾은 지하주차장 내 발생하는 CO량을 산정하기 위하여 CFD 시뮬레이션 해석을 하였다. 해석결과 국외(EPA)에서 제시한 기준값과 현재 국내에서 적용하고 있는 기준값이 약 20ppm정도 차이가 있다 하였다. 또한 국내에서 제시되고 있는 CO농도 값을 설계단계에서 충족시키기 위해 건물용도 및 주차장 규모에 맞는 CO발생량 조건에 대한 기준마련이 시급하다 하였다.

이처럼 지하주차장 실내공기환경에 대한 기 발표된 논문에서 최적의 환기, 공기질 측정 센서의 부착, 오염예측 시스템, 자동제어시스템 및 공기 오염 특성에 따른 건축적, 설비적 운영적 대책연구가 필요함을 지적하였다.

2.2 지하주차장 조명

지하주차장 실내조명에 관한 선행연구들은 주로 균제도, 시 환경, 연도별 및 에너지 문제 등이 다루어졌다.

황민구 외 3인(2000)¹⁰⁾은 지하주차장의 낮은 균제도와 겨울철 조도저하에 대한 문제제기를 하고 해결하기 위한 방안을 검토하였다. 또한 에너지 절약측면에서 무리한 소등이 이루어지고 있었으며 지속적인 조명환경 개선이 필요하다고 하였다.

장수정 외 1인(2005)¹¹⁾은 조명계획 및 운영방법에서 지하주차장의 공간 질적 향상을 위해서는 주로 사용되는 광원의 이해와 균제도 향상이라 하였다. 특히 겨울철 외기의 영향에 의한 주차장 실내의 심각한 조도 저하와 균제도 유지를 위한 방안이 마련되어야 한다고 하였다.

경과연도에 따른 공동주택의 조명수준에 관한 연구에서는 유복희(2015)¹²⁾가 1990년대, 2000년대 준공된 아파트 지하주차장의 조도수준은 기준에 못 미쳤으며 2010년 이후에 준공된 아파트 지하주차장은 양적으로 높은 조명 수준이었으며, 균제도도 우수한 수준이었다고 하였다. 그러나 2015년 동일 아파트에서 에너지 절감 등 이유로 자동센서 등의 변경으로 조도 및 균제도의 질적 저하를 우려하였다.

7) BEXT: Benzene, Ethylbenzene, Xylene, Toluene, [https:// ehjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/1476-069X-11-51](https://ehjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/1476-069X-11-51)

8) 김명수, 김선정, 이진찬, 공동주택 지하주차장의 환기 및 오염물질에 관한 연구, 한밭대학교 도시공학과 석사학위논문, 2008.

9) 정수현 외 3인, 지하주차장 내 오염물질 발생량에 대한 연구, 대한설비공학회 논문집, 16(3), 2016, pp.10-13.

10) 황민구 외 3인, 천장 및 인공조명을 이용한 지하주차장의 조명환경 계획 및 평가에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 19(4) 2000, pp.941-944.

11) 장수정, 최안섭, 주거단지 지하주차장의 조명계획 및 운영방법, 조명, 전기설비학회논문집, 19(4), 2005, pp.47-54.

12) 유복희, 경과연도에 따른 공동주택 지하주차장의 조명 수준 및 기준 적용성 평가, 대한건축학회논문집, 31(8), 2015, pp.121-128.

3) 장대영, 공동주택 지하주차장의 환기 및 오염물질에 관한 연구, 한밭대학교 산업대학원 건축설비공학과 석사학위논문, 2007.
4) 석연은, 이영한, 남기철, 아파트 지하주차장 공기중 HCHO,TVOC,PM 농도 특성 분석, 한국생활환경학회지, 17(6), 2017, pp.301-208.
5) 석연은, 공동주택 지하주차장 공기 오염 물질 조사 연구, 서울과학기술대학교 산업대학원 건축학과 석사학위논문, 2018.
6) 하덕호 외 4인, 대전지역 지하주차장의 휘발성유기화합물 농도분포 연구, 한국실내환경학회지, 5(1), 2008, pp.1-11.

이선형 외 1인(2015)¹³⁾은 공동주택의 시환경에 대하여 연구하였으며 지하주차장의 주행공간의 조도가 주차공간보다 높게 유지되고 있는 것을 알 수 있었는데 이는 주행공간의 등을 우선적으로 켜 놓고 상대적으로 차량의 이동이 적은 주차공간의 등을 꺼 놓기 때문이라 하였다. 또한 자연 채광이 들어오는 경우 밝은 부분과 어두운 부분의 밝기차가 너무 커서 균제도 기준을 만족하지 못하였으며 자연채광과 인공광원에 따른 균제도 검토가 필요하다 하였다.

유복희(2016)¹⁴⁾는 조명 제어시스템에 관한 연구에서 에너지 절약을 위해 수동제어 아파트는 점등하지 않는 전등을 늘려 낮은 조도를 유지하고, 자동제어아파트의 경우에는 자동디밍의 최소레벨에 대한 고려가 되지 않는 것으로 판단하였다. 따라서 세분화된 영역에 준하는 조도수준 및 균제도 등의 기준에 대한 개선을 요구하였다. 이처럼 기 발표된 지하주차장의 논문에서는 준공시기별, 주행부분과 주차부분의 비교, 수동제어와 자동제어의 비교 등 다양하게 비교하였으며, 대부분의 논문에서 균제도 향상과 에너지절약에 따른 낮은 조도를 우려하였다. 따라서 조명기구의 간격, 배열에 대한 변화 등 이용패턴의 고려, 자동조명 제어시스템 적용에 대한 기술적 요소 등 설치에 대한 현황 고려, 자연채광과 인공광원에 따른 균제도 기준의 검토, 에너지성능과 안정성 그리고 쾌적성을 고려한 연구의 필요성을 지적하였다.

3. 관련 기준법

실내 공기질 관리가 포함되어 있는 법규는 「다중이용시설 등의 실내공기질관리법」, 「산업안전보건법」, 「학교보건법」, 「공중위생관리법」 등이 있으며, 다중이용시설 등의 실내공기질관리법 내에서 다중이용시설, 신축 공동주택, 대중교통차량 등을 적용

대상으로 한다. 실내공기질은 유지기준(동 법 제3조 실내공기질 유지기준)과 권고기준(동 법 제4조 공기질 권고기준)으로 관리되고 있으며 NO₂와, TVOC와 같이 외부에 오염원이 있거나 위험도가 비교적 낮은 오염물질에 대해서는 권고기준을 설정하여 자율적으로 준수토록 유도하고, CO₂와 PM10과 위험도가 높은 오염물질에 대해서는 유지기준을 설정하여 위반 시 과태료부과, 개선 명령 등 제재 조치를 하도록 되어있다. 아파트 지하주차장에 대한 공기질 관리 기준은 따로 없으며, 다중이용시설 실내주차장 실내공기질 유지기준 및 권고기준을 참고할 필요가 있다<Table 1>. 따라서 본 연구에서 이들 기준치를 적용하여 평가하였다.

자주식 주차장의 조도 기준은 2013년 개정 전과 개정 후를 비교하여 <Table 2>에 나타내었다.

4. 연구내용 및 방법

4.1 조사 기간

전라북도 전주시의 도심지역 및 외곽지역에 위치하고 있는 20개 아파트 단지를 무작위로 선정하였으며, 아파트의 지하주차장에 대한 실내공기질 측정은 같은 조건으로 평가하기 위하여 1층만을 대상으로 하였다.

다중이용시설의 실내공기질 관리법에서 제시하고 있는 공기질의 유지 및 권고기준 오염물질 8개 항목을 측정하였으며. 측정 시기는 2018년 1월 08일 ~ 26일의 동절기와 2018년 8월 06일 ~ 24일의 하절기에 토, 일요일을 제외한 주중에만 측정하였으며 조도 및 환기, 청소 등 관리상황에 대하여서는 2019년 2월 11일 ~ 22일에 조사하였다.

Table 1. Standard of Indoor-Air Quality of Underground Parking Lot in Public Facilities

유지 기준	오염물질 항목					
	PM-10($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-2.5($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO ₂ (ppm)	HCHO($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	총부유세균(CFU/ m^3)	CO(ppm)
	200이하	-	1,000이하	100이하	-	25이하
권고 기준	오염물질 항목					
	NO ₂ (ppm)	Radon(Bq/ m^3)	TVOC($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fungi(CFU/ m^3)		
	0.30이하	148이하	1,000이하	-		

자료: 「다중이용시설 등의 실내공기질관리법 시행규칙」

- 1) 유지기준: 제3조(실내공기질 유지기준) 법 제5조 제2항의 별표 2 (2018.10.18.)
- 2) 권고기준: 제4조(실내공기질 권고기준) 법 제6조 별표 3 (2018.10.18.)

Table 2. Standard of Illuminance in Parking lot Law

주차장법 시행규칙내 조도기준	
개정 이전 (2010.10.29.)	개정 이후 (2013.01.25.)
자주식 주차장으로서 지하식 또는 건축물식 노외주차장에는 바닥으로부터 85cm의 높이에 있는 지점이 평균 70럭스 이상의 조도를 유지할 수 있도록 조명장치를 설치하여야한다.	자주식 주차장으로서 지하식 또는 건축물식 노외주차장에는 벽면으로부터 50cm 이내를 제외한 바닥면의 최소 조도와 최대 조도를 다음 각목과 같이 한다. 가. 자차구획 및 차로 : 최소 조도는 10럭스 이상, 최대 조도는 최소 조도의 10배 이내 나. 주차장 출구 및 입구 : 최소 조도는 300럭스 이상, 최대 조도는 없음 다. 사람이 출입하는 통로 : 최소조도는 50럭스 이상, 최대조도는 없음

자료: 「주차장법 시행규칙」 제6조 제1항 제9호

13) 이선영, 정창현, 공동주택 지하주차장의 시환경 실태에 대한 조사연구, 대한건축학회논문집, 17(5), 2015, pp.157-165.

14) 유복희, 공동주택 지하주차장의 자동조명제어시스템 적용과 조도수준 특성, 대한건축학회논문집, 32(11), 2016, pp.30-37.

4.2 조사내용 및 방법

(1) 조사방법

지하주차장 공기질 측정은 TVOC, CO₂, CO, O₃, NO₂, PM10, 포름알데히드, 라돈 등 8개 항목을 측정하였으며, 공기질 외에 실내환경 측정 항목인 온도, 습도 및 조도를 함께 측정하였다. 또한 환기여부, 청소여부 및 건축연도 등 실내환경에 영향을 미치는 요인들도 조사하였다.

라돈을 제외한 공기질 측정지점은 공기의 오염도를 대표할 수 있는 장소라고 판단되는 지하주차장 내부의 중앙부분 1개 지점을 선택하였으며, 측정 높이는 지면 바닥면으로부터 1.2 m~1.5m 높에서 수행하였고 10분 간격으로 2회 측정하여 평균하였다.

실내공기질은 실내환경측정장치(US, PGH, 5210)를 사용하였다. 라돈측정은 Sun Nuclear Corp. (1027.U)를 사용하였으며, 환경부 기준에 적합한 주차장 중앙부위, 바닥면에서 60cm 높에서 각각 60분씩 연속 측정하였다. 공기질 측정시간대는 청소, 보수 등 시설관리 등으로 실내공기질 평가에 영향을 줄 수 있는 심야시간대를 제외한 동·하절기 출퇴근 시간에 맞추어 오전(7시 ~ 9시)과 오후(7시 ~ 9시)로 나누어 측정하였다.

조도측정은 실험 대상 아파트의 2/3 이상이 현재 시행되는 주차장법 조도기준이 적용되기 이전에 허가받고 건축되어진 공동주택이어서 개정 전 법규를 기준으로 조도측정을 시행하였으며, 측정 부위는 현재 적용되는 개정 규정을 반영하여 주행부분, 출입구, 보행자통로로 나누어 수행하였다.

조도측정 장비는 (간이조도측정기, LX-1128SD) 사용하였으며 조도 측정 높이는 개정 전 주차장법 시행규칙을 적용하여 지면에서 85cm로 설정하여 측정하였다.

(2) 분석방법

통계분석은 SPSS 25.0으로 하였다. 분석은 지하주차장 실내 공기질의 항목별 계절별 차이, 오전과 오후 차이, 환기 여부에 따른 차이를 분석하였다. 계절(여름, 겨울)별 차이 및 오전과 오후 차이는 대응표본 T-검정을 실시하였으며, 연도별 차이분석은 3부류(2000년 이전, 2000년 이후 ~ 2010년 이전 및 2010년 이후)로 나누어 분석분산분석에서 ANOVA 분석을 하였고, 다중비교를 하여 사후검정을 실시하였다. 또한 환기 및 청소 여부에 따른 분석은 평균차이에 대한 T-검정에서 독립표본 검정을 실시하였다. 조명은 출입구 조명, 보행로 조명, 주행부분 조명으로 나누어 집단 간 ANOVA분석을 하였으며, 연도별 다중비교를 하여 사후 검정을 하였다.

5. 조사결과 및 분석

5.1 지하 주차장 현황

지하 주차장은 전주시에 분포한 아파트 20곳을 선정하여 측정하였으며 지하 1층을 대상으로 하였다. 지하 주차장의 현황은 <Fig. 1>에 나타났다.

<Fig. 1>에 나타난 바와 같이 측정된 지하주차장의 면적은 2,740m²에서 6,258m²의 범위였으며, 아파트 세대수는 240세대에서 988세대까지 분포하였다. 또한 2000년 이전에 건축된 아

파트는 4곳이었으며 2000년에서 2010 이전에 건축된 아파트는 10곳, 2010년 이후 건축된 아파트는 6곳으로 나타났다.

5.2 실내 공기질 평가

기준성오염물질인 TVOC, CO₂, CO, O₃, NO₂, PM10, 포름알데히드, 라돈을 조사 대상항목으로 선정하여 측정하였다. 또한 실내환경의 종합적인 평가를 위하여 온도, 상대습도 그리고 조도를 함께 측정하였다. 실내공기질 및 온도, 상대습도를 측정한 결과는 <Table 3, 4>에 나타내었으며, 오염원 농도분포의 특성을 알아보기 위하여 측정된 분석대상물질의 농도를 오전과 오후 그리고 동절기와 하절기로 구분하여 비교하였다.

(1) 일산화탄소(CO)

산소의 공급이 부족할 경우 불완전연소가 되어 주로 발생하는 일산화탄소는 다중이용시설 실내공기질 관리법 CO농도 기준을 25 ppm 이하로 유지하도록 하고 있다. 전주 지역 아파트 단지 20곳의 지하주차장의 일산화탄소를 측정한 결과 하절기 오전에는 1.8~18.3 ppm, 오후에는 0.3~14.2 ppm의 범위로 나타났으며, 동절기에는 오전 0.7~5.6 ppm, 오후 0.8~6.1 ppm 범위로 나타나 모든 아파트에서 유지기준을 초과하지 않았다. 그러나 J, N, O, P 아파트에서 동절기 및 하절기 모두 다른 아파트보다 상대적으로 높은 수치가 나타남을 알 수 있었으며, 이는 2000년 이전에 증축된 아파트로서 환기시설이 제대로 갖추어져있지 않았으며, 정제된 배기가스에서 오는 결과라 할 수 있으며 환기시설의 필요함을 알 수 있었다.

(2) 이산화탄소(CO₂)

이산화탄소의 농도는 실내 체적, 실내 인원, 난방여부 및 환기장치 등에 의해 영향을 받으며, 인체에 미치는 영향보다는 실내공간의 환기상태 및 실내공기 오염의 중요한 지표로 활용되고 있다. 다중이용시설의 지하주차장 공기질 관리법에는 유지기준을 1,000 ppm 이하로 설정되어있다.

하절기 오전 이산화탄소 농도는 521~1824 ppm 범위로 나타났으며, 20곳 중 5곳이 유지기준인 1000 ppm을 초과하였다. 하절기 오후의 경우 568~1697 ppm으로 나타났으며, 20곳 중 8곳이 유지기준인 1000 ppm을 초과하였다. 동절기 오전은 193~1332 ppm으로 3곳, 동절기 오후에는 496~1549 ppm으로 4곳의 지하주차장에서 유지기준 내의 범위를 초과하였다. CO₂ 또한 CO와 같이 동절기 및 하절기 모두 J, N, O, P 아파트에서 유지기준 보다 1.5배 이상 높은 수치가 나타났으며 환기시설의 필요함을 알 수 있었다.

(3) 미세먼지 (PM10)

미세먼지는 여러 가지 복합한 성분을 가진 대기 중 부유 물질이다. 대부분 자동차의 배기가스, 도로 주행과정에서 발생하는 먼지에서 발생한다. 입자의 크기와 화학적 조성이 건강 영향을 결정한다. 미세먼지의 노출은 호흡기 및 심혈관계 질환의 발생과 관련이 있으며 사망률도 증가시키는 것으로 보고되고 있다.

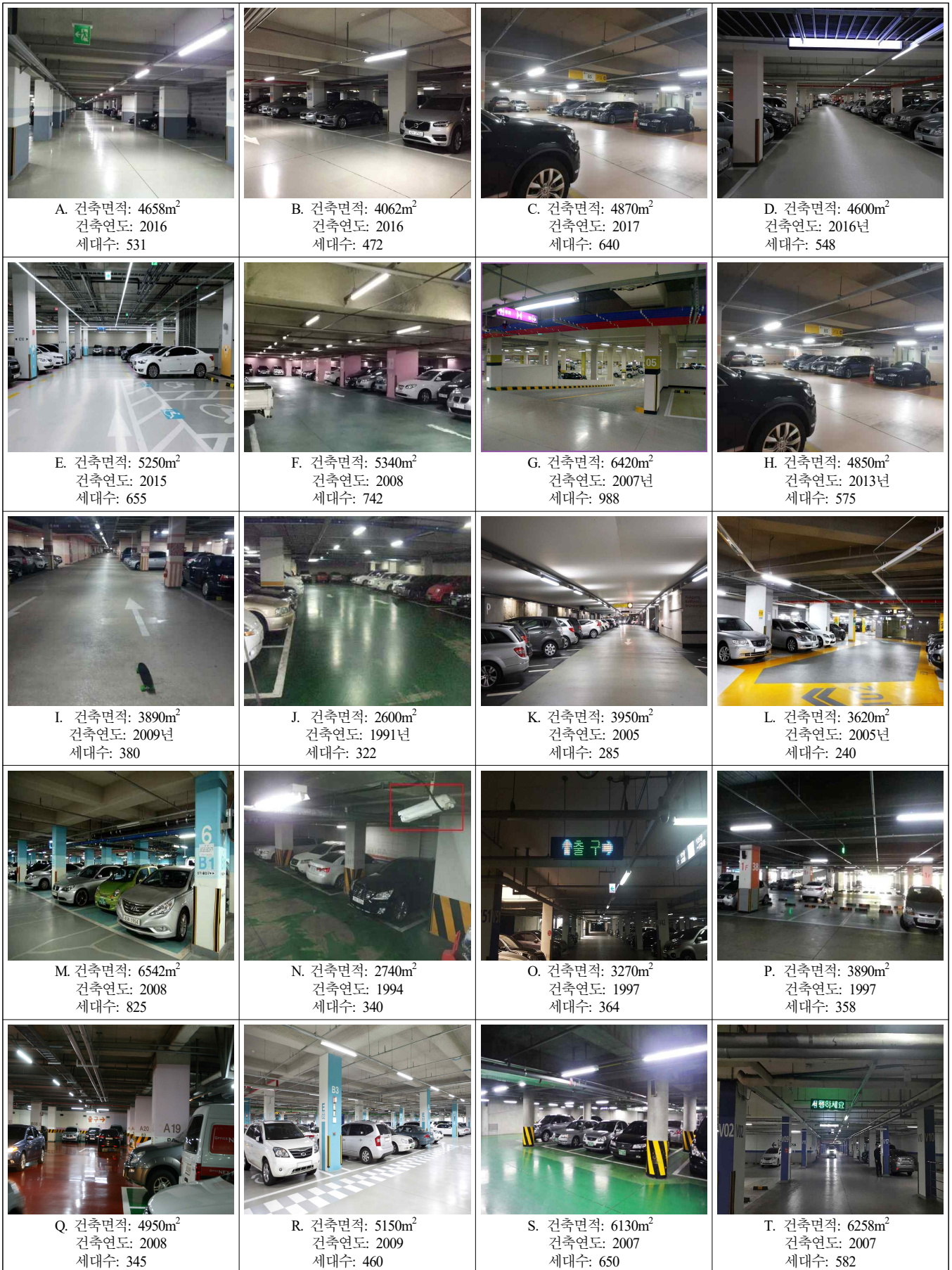


Fig. 1. The Present Condition of Underground Parking Lots

Table 3. Indoor-Air Quality of Underground Parking Lot in Summer.

		TVOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO ₂ (ppm)	O ₃ (ppm)	NO ₂ (ppm)	CO (ppm)	Temp (°C)	RH (%)	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	HCHO (ppm)	Radon (pCi/L)
A	AM	948	781	0.00	0.00	2.9	29.9	77.2	28	0.20	0.31
	PM	1168	964	0.01	0.00	3.4	31.4	71.8	62	0.20	0.51
B	AM	907	810	0.00	0.00	6.6	31.3	70.5	26	0.14	0.62
	PM	1261	1237	0.01	0.01	4.1	30.3	72.4	51	0.23	0.37
C	AM	984	774	0.00	0.00	3.9	32.2	68.6	30	0.22	0.44
	PM	1237	1296	0.01	0.01	7.3	31.9	70.7	60	0.31	0.58
D	AM	930	968	0.00	0.00	7.8	32.8	63.8	42	0.08	0.63
	PM	1211	1109	0.01	0.01	2.7	31.7	68.1	64	0.23	0.61
E	AM	1032	961	0.00	0.00	5.2	32.3	69.5	11	0.05	0.51
	PM	983	1395	0.01	0.01	1.8	30.1	68.4	49	0.24	0.69
F	AM	421	1234	0.00	0.00	3.9	27.9	87.0	14	0.01	0.42
	PM	995	806	0.02	0.02	0.9	29.9	72.2	24	0.03	0.33
G	AM	574	808	0.00	0.00	5.8	31.8	69.7	11	0.07	0.53
	PM	953	640	0.01	0.01	1.0	29.7	71.6	30	0.03	0.62
H	AM	1134	521	0.00	0.00	1.8	28.4	63.9	7	0.18	0.33
	PM	904	701	0.00	0.00	0.9	28.8	74.9	39	0.15	0.51
I	AM	1166	598	0.01	0.01	3.2	32.2	60.4	12	0.18	0.46
	PM	924	948	0.01	0.00	1.8	29.3	75.8	61	0.08	0.51
J	AM	1621	1824	0.01	0.00	18.3	32.1	63.7	90	0.75	0.95
	PM	1812	1594	0.01	0.00	14.2	27.1	72.4	87	1.52	1.06
K	AM	668	625	0.00	0.00	3.9	29.7	61.1	12	0.09	0.68
	PM	968	576	0.00	0.00	0.3	27.0	70.6	25	0.08	0.64
L	AM	404	637	0.00	0.00	3.4	29.8	60.3	10	0.09	0.53
	PM	912	635	0.00	0.00	0.6	28.7	68.1	19	0.16	0.56
M	AM	319	563	0.00	0.00	3.5	30.8	58.2	10	0.10	0.53
	PM	924	899	0.00	0.00	2.4	29.3	67.3	29	0.10	0.49
N	AM	1875	1534	0.00	0.00	12.5	29.3	61.3	88	0.19	0.83
	PM	2128	1681	0.01	0.00	9.8	28.4	71.4	95	0.21	1.01
O	AM	1628	1690	0.00	0.00	14.6	30.9	59.4	76	1.39	0.92
	PM	1859	1643	0.00	0.00	9.4	27.4	67.4	98	0.68	0.79
P	AM	1695	1781	0.00	0.00	8.7	32.1	60.2	75	0.31	0.95
	PM	1877	1697	0.00	0.00	8.3	29.3	75.5	89	0.21	0.91
Q	AM	594	693	0.00	0.00	3.2	31.8	63.8	32	0.20	0.34
	PM	1058	668	0.00	0.00	0.7	28.4	73.2	24	0.39	0.48
R	AM	1014	645	0.00	0.00	4.0	29.3	65.3	5	0.14	0.41
	PM	918	613	0.00	0.00	0.7	29.4	74.4	14	0.15	0.62
S	AM	762	639	0.00	0.00	2.2	32.8	67.8	12	0.12	0.06
	PM	933	568	0.01	0.01	1.5	29.9	70.5	36	0.07	0.47
T	AM	684	584	0.01	0.00	2.5	31.8	65.3	19	0.14	0.19
	PM	952	597	0.01	0.01	1.6	30.1	70.8	34	0.09	0.39

다중이용시설 등의 실내공기질 관리법의 미세먼지 유지기준은 의료기관이 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하이고, 철도역사 및 고속버스터미널은 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 지하주차장은 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 설정되어 있다. 측정된 결과 하절기 오전은 $5\sim 90\mu\text{g}/\text{m}^3$, 오후는 $14\sim 98\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 범위로 나타났으며, 동절기에는 오전 $18\sim 86\mu\text{g}/\text{m}^3$, 오후 $44\sim 98\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 범위로 나타났다. 이 수치는 모든 지하주차

장에서 다중이용시설의 실내주차장 기준을 초과하지 않았다. 그러나 2000년 이전에 지어진 아파트에서는 2000년 이후에 지어진 아파트 보다 청소 및 환기부족에 기인하여 상대적으로 수치가 높게 나타났다.

Table 4. Indoor-Air Quality of Underground Parking Lot in Winter

		TVOC ($\mu\text{m}/\text{m}^3$)	CO ₂ (ppm)	O ₃ (ppm)	NO ₂ (ppm)	CO (ppm)	Temp (°C)	PM10 ($\mu\text{m}/\text{m}^3$)	RH (%)	HCHO (ppm)	Radon (pCi/L)
A	AM	594	393	0.00	0.00	1.8	4.5	25	67.0	0.03	0.16
	PM	894	682	0.00	0.00	2.0	2.5	56	26.0	0.04	0.52
B	AM	671	429	0.00	0.00	2.9	3.9	24	62.8	0.04	0.24
	PM	931	734	0.01	0.01	3.1	2.0	52	25.0	0.03	0.68
C	AM	591	249	0.00	0.00	3.0	4.2	31	51.5	0.09	0.37
	PM	1101	695	0.01	0.01	1.9	2.8	51	12.0	0.06	0.42
D	AM	479	312	0.00	0.00	2.1	4.5	28	54.0	0.04	0.67
	PM	931	831	0.01	0.01	2.7	3.0	55	28.0	0.04	0.49
E	AM	312	379	0.00	0.00	0.9	5.7	28	43.5	0.02	0.21
	PM	637	614	0.00	0.00	1.0	3.8	44	29.0	0.02	1.08
F	AM	452	293	0.00	0.00	1.7	5.7	29	45.1	0.01	0.39
	PM	793	651	0.01	0.00	1.9	3.2	46	30.0	0.01	0.92
G	AM	432	410	0.00	0.00	3.1	5.0	26	48.3	0.01	0.49
	PM	795	742	0.00	0.00	2.4	3.8	49	25.0	0.01	0.34
H	AM	512	319	0.00	0.00	1.7	4.9	33	54.6	0.06	0.89
	PM	1031	701	0.00	0.00	1.2	3.6	55	36.0	0.05	0.63
I	AM	317	293	0.01	0.01	1.9	4.8	35	50.3	0.02	0.41
	PM	852	642	0.01	0.00	1.6	3.5	50	43.0	0.00	0.61
J	AM	1382	1332	0.01	0.00	5.6	4.5	83	53.4	0.09	0.84
	PM	1649	1523	0.01	0.00	6.1	3.3	91	52.0	0.05	0.79
K	AM	463	396	0.00	0.00	1.9	4.3	33	49.7	0.01	0.62
	PM	793	496	0.01	0.01	1.8	3.1	48	39.0	0.02	0.43
L	AM	381	231	0.00	0.00	1.7	4.6	37	49.0	0.03	0.25
	PM	812	537	0.01	0.00	1.6	3.6	49	46.0	0.03	0.33
M	AM	367	312	0.00	0.00	1.9	4.5	31	53.8	0.05	0.36
	PM	997	742	0.01	0.00	2.6	3.5	54	40.0	0.04	0.26
N	AM	1563	1314	0.00	0.00	5.2	4.8	81	48.6	0.07	0.78
	PM	1893	1428	0.01	0.00	4.2	3.1	98	49.0	0.11	0.90
O	AM	1396	1290	0.00	0.00	4.9	4.4	86	50.2	0.05	0.79
	PM	1709	1549	0.01	0.00	3.8	3.2	92	38.0	0.06	0.89
P	AM	1439	949	0.01	0.00	3.5	4.8	79	49.1	0.09	0.72
	PM	1981	1221	0.00	0.00	4.9	3.2	92	50.0	0.06	0.91
Q	AM	339	288	0.00	0.00	0.7	4.5	32	50.3	0.03	0.54
	PM	879	511	0.00	0.00	0.8	3.8	50	43.0	0.02	0.93
R	AM	631	361	0.00	0.00	1.5	5.6	41	53.3	0.03	0.29
	PM	991	612	0.01	0.00	1.7	3.3	54	44.0	0.02	0.69
S	AM	396	193	0.00	0.00	0.7	3.9	26	48.4	0.04	0.37
	PM	762	531	0.00	0.01	1.4	3.9	48	35.0	0.03	0.61
T	AM	367	237	0.01	0.00	0.9	4.2	18	47.5	0.05	0.46
	PM	711	519	0.00	0.01	1.9	3.5	47	18.0	0.04	0.37

(4) 포름알데히드(HCHO)

자동차 배기가스에는 일산화탄소, 이산화황, 질소산화물, 포름알데히드, 벤젠, 그을음 등 독성화합물질이 다량 포함되어 있으며 발암성 물질로 분류되고 있다. 다중이용시설의 실내주차장 공기질 유지기준은 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.08ppm)이하로 설정되어 있다. 하절기 오전의 경우 0.01~1.39 ppm의 범위로 나타났으며 20

곳 중 16곳이 유지기준을 초과하였으며, 오후의 경우는 0.03~1.52 ppm 범위로 측정되어 17곳이 유지기준을 초과하였다. 동절기 오전은 0.01~0.09 ppm, 오후는 0.00~0.11 ppm의 범위로 나타났으며 동절기에는 오전에 3곳, 오후에 1곳이 유지기준을 초과하였다. 계절적으로 온도와 습도가 높은 시기의 여름철이 겨울철에 비하여 상대적으로 수치가 높게 나왔으며, 하절기에 대

부분의 지하주차장에서 기준치(0.08ppm)를 초과하였다.

(5) 이산화질소(NO₂)

질소산화물 중 이산화질소(NO₂)는 고온의 연소과정에서 발생하는 부산물로 차량 및 산업장 등에서 발생되고 있고 도심지역에서의 주 발생원은 자동차이며 이중에서도 디젤 차량에서 질소산화물이 많이 배출되고 있다. 다중이용시설의 실내주차장 공기질 기준은 권고기준으로 0.30 ppm 이하로 설정되어있으며, 측정 결과 아파트 지하주차장 20곳에서 동절기, 하절기 모두 0.00~0.01 범위로 매우 낮게 나타났다.

(6) 오존(O₃)

자동차 배출가스 및 공장 배출가스등에 함유된 질소산화물(NOx), 탄화수소류(HCs) 등이 강한 태양광선(자외선)에 의해 광화학 반응을 일으켜 생성된다. 2018년 다중이용시설의 실내주차장 공기질 기준에서 오존은 권고 기준에서 제외 되었지만 이전 기준에서는 권고기준 0.08ppm 이하로 설정되어있었다. 오존 또한 이산화질소와 마찬가지로 계절과 시간대 변화에 관계없이 수치가 0.01 ppm이하로 매우 낮게 나타났다.

(7) 휘발성유기화합물(TVOC)

공장 매연이나 자동차 배기가스의 미세먼지에는 발암물질인 다환방향족탄화수소(PAH), 내분비계 교란 물질인 휘발성유기화합물(VOC), 중금속 등이 붙어있다. 다중이용시설의 실내주차장 공기질 기준은 권고기준 1,000 μg/m³ 이하로 설정되어 있으며 오염물질로 벤젠, 톨루엔, 자일렌 등이 있다. 하절기 오전에 319~1875 μg/m³ 범위로 나타나 권고기준을 초과하는 곳이 8곳이었으며, 오후에는 904~2128 μg/m³ 범위로 나타나 총 9곳이 권고기준을 초과하였다. 동절기 오전에는 312~1563 μg/m³ 범위로 나타나 권고기준을 초과하는 주차장이 4곳이었으며, 오후에는 711~1981 μg/m³ 범위로 나타나 총 6곳이 권고기준을 초과하였다. 이처럼 자동차 배출량에 비하여 적절한 환기가 이루어지고 있지 않는 곳이 다수 있음을 알 수 있었다.

(8) 라돈

라돈은 무색, 무취, 불활성의 자연계에 존재하는 자연방사능 물질로서 토양, 모래, 건축자재, 지하수 등에 함유되어 확산이동 및 압력과 온도구배에 의해 지상 또는 실내로 방출되는 1급 발암물질이다. 다중이용시설의 실내주차장기준은 권고기준 148 Bq/m³(4.0 pCi/L) 이하이며 국제방사선 방어위원회의 기준치는 2.7 pCi/L 이하이다. 본 연구에서 측정된 라돈의 농도는 전 대상 시설에서 권고기준 4.0 pCi/L 이하로 나타났으며, 최소 0.06 pCi/L에서 최대 1.08 pCi/L의 범위로 권고기준치에 비하여 매우 낮은 수준으로 측정되었다.

5.3 조도

지하주차장 환경과 조도에 관련한 국내 법규는 <Table 5>에서 보는바와 같이 2013년부터 조도기준이 주차구획 및 차로, 주차장 출구 및 입구, 사람이 출입하는 통로에 대한 조도기준으로 세분화 되었다. <Table 5>에서 나타난 바와 같이 조명방식은 2000년 이후에 지어진 아파트에서는 인공조명과 자동 제어 방식이었으며, 2000년 이전의 아파트 4곳은 인공조명에 수동제어

방식이었다. 2000년 이전에 건축된 아파트는 법규에서 제시하고 있는 기준치(평균 70lux)에 미치지 못하는 것으로 나타나 지하주차장을 다소 어렵게 운영하고 있는 것으로 확인 되었다. 조사된 아파트에서의 점등 형태는 모든 조명의 전체점등, 인공조명의 절반 점등, 기본적으로 소등되어 있고 차량진입 시 자동 점등되는 디밍제어 시스템의 3가지 타입으로 분류되었다. 2000년 이전에 지어진 아파트 모두는 인공조명이 절반만 점등되어 있었으며, 2000년 이후에 지어진 아파트에서는 3가지 타입이 다양하게 적용되고 있었다. 전구는 2000년 이후의 아파트에서 관리비 절감차원에서 LED조명을 도입하였으며 대부분의 지하주차장 조도 운영형태는 아파트 관리규약에 따라 입주자대표회의에 의거하여 이루어지고 있었다.

Table 5. Lighting System and Lighting Type in Underground Parking Lot

건물	조명방식	운영조건
A	인공조명 : 자동제어	인공 조명 전체 점등
B	인공조명 : 자동제어	인공 조명 절반 점등
C	인공조명 : 자동제어	인공 조명 절반 점등
D	인공조명 : 자동제어	인공 조명 전체 점등
E	인공조명 : 자동제어	인공 조명 절반 점등
F	인공조명 : 자동제어	기본적으로 소등, 차량진입 시 점등
G	인공조명 : 자동제어	인공 조명 절반 점등
H	인공조명 : 자동제어	인공 조명 절반 점등
I	인공조명 : 자동제어	기본적으로 소등, 차량진입 시 점등
J	인공조명 : 수동제어	인공 조명 절반 점등
K	인공조명 : 자동제어	기본적으로 소등, 차량진입 시 점등
L	인공조명 : 자동제어	인공 조명 절반 점등
M	인공조명 : 자동제어	기본적으로 소등, 차량진입 시 점등
N	인공조명 : 수동제어	인공 조명 절반 점등
O	인공조명 : 수동제어	인공 조명 절반 점등
P	인공조명 : 수동제어	인공 조명 절반 점등
Q	인공조명 : 자동제어	기본적으로 소등, 차량진입 시 점등
R	인공조명 : 자동제어	인공 조명 절반 점등
S	인공조명 : 자동제어	기본적으로 소등, 차량진입 시 점등
T	인공조명 : 자동제어	기본적으로 소등, 차량진입 시 점등

<Table 6>에 나타난 지하주차장의 조도 측정결과를 보면, 주행부분의 최대값은 82Lux~386Lux의 범위로 나타났으며 각 아파트별로 차이가 컸다. 특히 2000년 이전에 지어진 4개의 아파트의 조도는 100Lux를 넘지 못하였다. 최소값 또한 각 아파트별 차이가 있었으며 2000년 이전에 지어진 아파트에서의 최소값은 10Lux를 넘지 못하였다. 주행부분의 균제도는 2000년 이후에 지어진 아파트에서는 거의 대부분 균제도 1/7이상으로 양호하였으나, 2000년 이전에 지어진 아파트는 4곳 모두 균제도 1/7보다 낮게 나타나 밝기 차이가 심하였다. 지하주차장 출입구의 밝기 정도는 2000년 이후에 지어진 아파트는 대부분 300Lux가 넘게 나왔으나 2000년 이전에 지어진 아파트에서는 모두 200Lux를 넘지 못하였다. 보행로는 39.8Lux~152Lux 범위로 나타나 주행로와 출입구 보다 어렵게 나타났으며, 특히 2000년 이전에 지어진 아파트에서는 39.8Lux~54.8Lux 범위로 매우 낮게 나왔다. 이처럼 오래된 아파트 지하주차장들은 국내법규 이전의 조도기

준으로 증축되어 2000년 이후 증축된 아파트 보다 상대적으로 어렵게 운영되고 있음을 알 수 있었다.

Table 6. Result of Measurement about Illuminance

건물	주행로	균제도 (주행로)	출입구	보행로	건축연도
A	최대	386	372	152	2016
	최소	102			
B	최대	180	335	118	2016
	최소	84.2			
C	최대	168	328	108	2017
	최소	78.4			
D	최대	216	384	163	2016
	최소	112			
E	최대	164	317	114	2015
	최소	62.8			
F	최대	216	337	104	2008
	최소	22.4			
G	최대	184	312	122	2007
	최소	67.8			
H	최대	164	347	128	2013
	최소	58.6			
I	최대	184	312	112	2009
	최소	42.6			
J	최대	92	173	44.2	1991
	최소	9.8			
K	최대	152	321	102	2005
	최소	38.7			
L	최대	180	321	102	2005
	최소	54.6			
M	최대	184	317	121	2008
	최소	27.8			
N	최대	82	107	46.5	1994
	최소	11.2			
O	최대	78	121	39.8	1997
	최소	8.2			
P	최대	82	195	54.8	1997
	최소	8.7			
Q	최대	174	324	106.8	2008
	최소	42.8			
R	최대	142	289	64.7	2009
	최소	42.8			
S	최대	176	342	97.6	2007
	최소	32.8			
T	최대	169	312	92.8	2007
	최소	29.6			

5.4 관리 동향

<Table 7>에 나타난 바와 같이 2000년 이후에 지어진 아파트에서는 아파트 관리규약에 따라 청소 및 환기를 실시하고 있었

으며, 여름철에는 빗물과 겨울철에는 눈으로 인한 흙탕물 제거를 위해 추가적인 물청소를 시행하고 있었다. 환기는 대부분 기계식환기장치를 사용하고 있었으며, 관리규약에 따라 각 아파트마다 기본적으로 환기는 24시간 중 2시간씩 3번 이상 실시하고, 청소는 3달에 한번 씩 물청소를 시행하고 있었다.

그러나 모든 아파트에서는 동절기보다는 하절기에 환기를 보다 더 많이 하고 있었는데 이는 하절기의 무더위와 습도, 심한 자동차 배기가스 냄새 등이 원인이라 할 수 있다.

아파트의 경우 지하주차장 환기에 필요한 단위면적당(m^2) 필요 환기량은 $7m^3/hr$ 의 환기량이 필요하다. 이를 위해서 지하주차장의 각층에는 $24,500 m^3/hr$ 의 환기 시설되어져야 하고 이의 설치에 필요한 공간 즉, 급배기 환풍이 요구된다. 그러나 급·배기 환은 부피가 크므로 일정공간을 갖는 별도의 환풍이 필요하다. 2000년 이전에 완공된 아파트(J, N, O, P)에서는 기계식환기장치가 설치 되어있지 않았으며, 정기적인 청소도 하지 않고 있어 상대적으로 실내 공기 오염이 심하였다. 이는 세대수가 적고 주차장 면적이 작을 뿐 아니라 경제적 요인에 많은 영향이 있다고 생각된다. 따라서 개선책의 하나로 각 지자체에서 추진하는 낡고 오래된 아파트단지의 환경개선을 지원하는 공동주택 관리 지원 사업을 적극 활용하여 공동주택 거주민들의 경제적 부담을 덜어주는 방법을 생각해 볼 수 있다.

Table 7. Management Agreement About Cleaning and Ventilation

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
환기	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X
	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
	O	O	O	X	X	X	O	O	O	O
청소	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X
	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
	O	O	O	X	X	X	O	O	O	O

5.5 통계분석

통계분석은 조사된 자료를 바탕으로 수치가 미미하거나 분석 의미가 없는 항목을 제외하고 분석하였다.

(1) 여름철 오전과 오후의 실내공기질 비교

<Table. 8>에 여름철 오전과 오후의 실내공기질 비교를 대응 표본검정을 실시하여 나타내었다. 휘발성유기화합물과 일산화

Table. 8 Paired T-test about Indoor-Air Quality of Morning and Afternoon in Summer

	N	t	p
TVOC	20	-4.362	.000***
CO ₂	20	-1.457	.161
CO	20	4.756	.000***
PM10	20	-6.199	.000***
HCHO	20	-1.767	.093
Radon	20	-1.991	.061

***p<0.001

탄소 그리고 미세먼지에서 오전과 오후의 차이가 명확하였으나 나머지 항목에서는 차이가 없었다.

(2) 겨울철 오전과 오후의 실내공기질 비교

<Table. 9>에 겨울철 오전과 오후의 실내공기질 비교를 대응표본 검정을 실시하여 나타내었다. 휘발성유기화합물과 일산화탄소 그리고 미세먼지에서 오전과 오후의 차이가 명확하였으나 나머지 항목에서는 차이가 없었다.

Table. 9 Paired T-test about Indoor-Air Quality of Morning and Afternoon in Winter

	N	t	p
TVOC	20	-16.681	.000***
CO ₂	20	-12.935	.000***
CO	20	-.326	.748
PM10	20	-12.185	.000***
HCHO	20	1.602	.126
Radon	20	-2.284	.034*

*p<0.05, ***p<0.001

(3) 오전과 오후의 실내공기질 비교

<Table. 10>에서는 여름철과 겨울철에 조사된 수치를 합하여 오전과 오후로 나누어 대응표본검정을 실시하였다. <Table. 10>에서 나타난 바와 같이 포름알데히드를 제외한 모든 항목에서 높은 유의미한 차이가 있음을 알 수 있었다.

Table. 10 Paired T-test about Indoor-Air Quality of Morning and Afternoon in Total

	N	t	p
TVOC	40	-9.950	.000***
CO ₂	40	-5.539	.000***
CO	40	3.581	.001***
PM10	40	-11.150	.000***
HCHO	40	-1.659	.105
Radon	40	-2.935	.006**

p<0.01, *p<0.001, Total: Summer+Winter

(4) 계절별 실내공기질 비교

조사한 자료를 계절별 오전과 오후를 평균하여 대응표본 검정을 실시하였으며 <Table. 11>에 나타내었다. 라돈을 제외한

Table. 11. Paired T-test about Indoor-Air Quality in Summer and Winter

	N	t	p
TVOC	20	7.464	.000***
CO ₂	20	8.336	.000***
CO	20	3.778	.001**
PM10	20	-3.384	.003**
HCHO	20	3.318	.004**
Radon	20	-.024	.981

p<0.01, *p<0.001

모든 항목에서 여름철과 겨울철 비교에서 차이가 있음을 알 수 있었고 특히 휘발성 유기화합물과 이산화탄소에서 매우 뚜렷한 유의미한 차이를 보였다. 라돈은 <Table. 3, 4>에 나타난 바와 같이 수치가 기준치보다 매우 낮게 나타났으며 여름과 겨울의 차이를 보이지 않았다. 또한 포름알데히드는 <Table. 3, 4>에서 나타난 수치처럼 오전과 오후는 차이가 없게 나타났으나, 여름과 겨울의 차이는 명확하였으며 여름철이 높게 나타났다.

(5) 환기, 청소 여부에 따른 실내공기질 분석

환기, 청소 여부에 따른 실내공기질의 차이를 T검정에서 독립표본 검정을 실시하여 <Table. 12>에 나타내었다. <Table. 12>에 나타난 바와 같이 포름알데히드를 제외한 모든 항목에서 높은 유의미한 차이를 보였다.

Table. 12. T-test for Indoor-Air Quality by Comparing Results Yes/No Ventilation and Cleaning

	환기 + 청소	N	t	p
TVOC	No	8	13.470	.000***
	Yes	32		
CO ₂	No	8	9.999	.000***
	Yes	32		
CO	No	8	3.795	.006**
	Yes	32		
PM10	No	8	24.696	.000***
	Yes	32		
HCHO	No	8	-.875	.387
	Yes	32		
Radon	No	8	8.167	.000***
	Yes	32		

p<0.01, *p<0.001,

(6) 아파트 연도별 차이에 의한 실내공기질 분석

연도별로 3그룹(1그룹: 2000년 이전 아파트, 2그룹: 2000년 ~ 2010년 사이 아파트, 3그룹: 2010년 이후 아파트)으로 나누어 실내공기질 차이를 ANOVA분석 하였으며 사후검정(다중비교)을 실시하였다. <Table. 13>에서 나타난 바와 같이 포름알데히드를 제외한 모든 항목에서 매우 높은 유의미한 차이를 보였으며 사후검정에서 나타난 바와 같이 2000년 이전에 지어진 아파트(1그룹)가 가장 큰 변수로 나타났으며 이는 청소 및 환기가 정구적으로 이루어지지 않은 결과라 할 수 있다.

(7) 아파트 연도별 차이에 의한 조도 분석

<Table. 14>에서는 연도별로 3그룹(1그룹: 2000년 이전 아파트, 2그룹: 2000년~2010년 사이 아파트, 3그룹: 2010년 이후 아파트)으로 나누어 실내 조도 차이를 ANOVA분석하였으며 사후검정(다중비교)을 실시하였다. <Table. 14>에 나타난 바와 같이 출입구 조명과 보행로 조명 그리고 주행로 조명 모두 연도별 조도차이가 매우 크게 나타났다. 사후검정을 보면 알 수 있듯이 2000년 이후에 지어진 아파트(2,3그룹)는 서로 간 차이를 알 수 없었으나, 2000년 이전 아파트(1그룹)와 이후 지어진 아파트는 큰 차이가 있었으며, 2000년 이전에 지어진 아파트가 가장 큰 변수로 나타났다.

Table 13. Analysis of ANOVA about Indoor-Air Quality by Construction year

	건축연도	N	F	p	사후검정
TVOC	1	8	113.913	.000***	1>3>2
	2	20			
	3	12			
CO ₂	1	8	57.703	.000***	1>2,3
	2	20			
	3	12			
CO	1	8	25.340	.000***	1>2,3
	2	20			
	3	12			
PM10	1	8	112.557	.000***	1>3>2
	2	20			
	3	12			
HCHO	1	8	.403	.671	-
	2	20			
	3	12			
Radon	1	8	33.538	.000***	1>2,3
	2	20			
	3	12			

***p<0.001

* 1: 2000년 이전, 2: 2000년~2010년, 3: 2010년 이후

Table 14. Analysis of ANOVA about Illuminance by Construction year

	건축연도	N	F	p	사후검정
출입구 조명	1	4	86.127	.000***	1>2,3
	2	10			
	3	6			
보행로 조명	1	4	29.498	.000***	1>2,3
	2	10			
	3	6			
주행로 조명	1	4	35.830	.000***	1>2,3
	2	10			
	3	6			

***p<0.001,

* 1: 2000년 이전, 2: 2000년~2010년, 3: 2010년 이후

6. 결론

본 연구는 아파트 지하주차장을 이용하는 주민들이 공기오염에 노출되지 않고, 쾌적한 실내환경을 누릴 수 있도록 실시하였다. 실내환경에 대한 측정과 관리동향을 파악하여 향후 아파트 지하주차장에 대한 환경개선을 위한 기초자료를 제공하고자 하며 다음과 같이 결론을 내린다.

첫째, 지하주차장 공기질 측정은 TVOC, CO₂, CO, O₃, NO₂, PM10, 포름알데히드, 라돈 등 8개 항목을 측정하였다. 그 중 오존(0.08ppm 이하), 이산화질소(0.30ppm 이하), 일산화탄소(25ppm 이하), 미세먼지(200 μg/m³ 이하), 라돈(4.0 pCi/L 이하)은 다중이용시설의 지하주차장 공기질 관리법이 제시한 기준치를 20곳 모두 초과하지 않았다. 휘발성유기화합물(1,000 μg/m³ 이하)은 측

정된 수치가 312 ~ 2,137 μg/m³ 범위로 나타났으며 20곳 중 하절기 오전에 8곳, 오후에 9곳이 권고기준을 초과하였고, 동절기에는 오전에 4곳, 오후에 6곳이 권고기준을 초과하였다. 이산화탄소(1,000ppm 이하)는 측정된 수치가 193 ~ 1,824 ppm 범위였으며 하절기 오전에 5곳, 오후에 8곳이 유지기준을 초과하였고, 동절기에는 오전에 3곳, 오후에 4곳이 유지기준을 초과하였다. 특히 2000년 이전에 지어진 아파트에서는 대부분 오전 오후에 유지기준을 1.5배 넘는 수치로 나타났다. 포름알데히드(0.08ppm 이하)는 측정된 수치가 0.01 ~1.52ppm 범위로 나타났으며 하절기 오전에 20곳 중 16곳, 오후에 17곳이 유지기준을 초과하였으며, 동절기에는 오전에 3곳, 오후에 1곳이 유지기준을 초과하여 하절기가 동절기보다 상대적으로 높은 수치로 나타났다.

둘째, 측정된 지하주차장 조명 방식은 2000년 이전에 지어진 아파트는 수동제어 방식이었고 2000년 이후에 지어진 아파트는 자동제어 방식이었다. 아파트의 점등형태는 전체점등, 절반 점등, 기본적으로 소등되어 있고 차량진입 시 자동 점등되는 디밍 제어시스템 3가지 타입으로 분류되었다. 지하주차장의 조도 측정결과, 주행부분의 최대값은 82Lux~386Lux의 범위로 나타났으며 각 아파트별 차이가 컸다. 특히 2000년 이전에 지어진 4개의 아파트의 조도는 100Lux를 넘지 못하였다. 주행부분 균제도는 2000년 이후에 지어진 아파트에서는 거의 대부분 균제도 1/7 이상으로 양호하였으나, 2000년 이전에 지어진 아파트에서는 4곳 모두 균제도 1/7보다 낮게 나왔다. 출입구의 밝기 정도는 2000년 이후에 지어진 아파트는 대부분 300Lux가 넘게 나왔으나 2000년 이전에 지어진 아파트에서는 모두 200Lux를 넘지 못하였다. 보행로에서도 2000년 이전에 지어진 아파트에서는 39.8Lux~ 54.8Lux 범위로 매우 어두웠다. 상대적으로 오래된 아파트 지하주차장들은 국내법규 이전의 조도기준으로 다소 어렵게 운영하고 있음을 알 수 있었다.

셋째, 2000년 이후에 지어진 아파트에서는 아파트 관리규약에 따라 청소 및 환기를 실시하고 있었다. 각 아파트마다 하루에 환기는 24시간 중 2시간씩 3번 이상 환기를 실시하고, 청소는 3달에 한번 씩 관리규약에 의거 물청소 시행하고 있었으며, 동절기 및 하절기에는 날씨를 고려하여 아파트 마다 탄력적으로 운영하고 있었다. 2000년 이전에 지어진 아파트는 모두 기계식환기 장치가 설치 되어있지 않았으며, 정기적인 청소도 하지 않고 있었다. 이는 세대수가 적고 주차장 면적이 작을 뿐 아니라 경제적 요인에 많은 영향이 있다고 생각된다.

넷째, 여름철 오전과 오후의 실내공기질 차이 비교는 휘발성유기화합물과 일산화탄소 그리고 미세먼지에서 오전과 오후의 차이가 명확하였으나 나머지 항목에서는 차이가 없었다. 겨울철 오전과 오후의 실내공기질 비교 차이는 휘발성유기화합물과 일산화탄소 그리고 미세먼지에서 오전과 오후의 차이가 명확하였으나 나머지 항목에서는 차이가 없었다. 전체(여름과 겨울철 합한 수치) 오전과 오후 실내공기질 차이 비교에서는 포름알데히드를 제외한 모든 항목에서 높은 유의미한 차이가 있음을 알 수 있었다. 또한 계절별 공기질 차이는 라돈을 제외한 모든 항목에서 차이가 있음을 알 수 있었고 특히 휘발성유기화합물과 이산화탄소에서 매우 뚜렷한 유의미한 차이를 보였다. 환기, 청소 여부에 따른 실내공기질의 차이에서는 포름알데히드를 제외한 모든 항목에서 높은 유의미한 차이를 보였다. 연도별로 3그

룹(1그룹: 2000년 이전 아파트, 2그룹: 2000년~2010년 사이 아파트, 3그룹: 2010년 이후 아파트)으로 나누어 실내공기질 차이를 ANOVA분석한 결과 포름알데히드를 제외한 모든 항목에서 매우 높은 유의미한 차이를 보였으며, 사후검정에서는 2000년 이전에 지어진 아파트(1그룹)가 가장 큰 변수로 나타났으며 이는 청소 및 환기가 정기적으로 이루어지지 않은 결과라 할 수 있다. 연도별 3그룹으로 나누어 실내 조도 차이를 분석한 결과 출입구 조명과 보행로 조명 그리고 주행로 조명 모두 연도별 조도 차이가 매우 크게 나타났다. 사후검정에서 2000년 이후에 지어진 아파트(2, 3그룹)에서는 서로 간 차이를 알 수 없었으나 2000년 이전 아파트(1그룹)와 이후에 지어진 아파트 간에는 큰 차이가 있었으며 2000년 이전에 지어진 아파트가 가장 큰 변수로 나타났다.

지하주차장의 효율적인 관리를 위하여 공동주택 에너지 환경 관리 시스템을 도입하여 수시로 환경오염물질을 측정하고 이에 따른 적정한 환기를 실시하여 지하주차장을 이용하는 주민들을 보호하고 쾌적한 주차장이 되도록 관리해야 할 것이다.

접 수 일 자 : 2020. 01. 09
초 심 : 2020. 02. 04
재 심 (2 차) : 2020. 02. 19
게재확정일자 : 2020. 02. 20

참고문헌

1. 김명수, 김선정, 이진찬, 공동주택 지하주차장의 환기 및 오염물질에 관한 연구, 한밭대학교 도시공학과 석사학위논문, 2008.
2. 석연은, 이영한, 남기철, 아파트 지하주차장 공기중 HCHO, TVOC, PM 농도 특성 분석, 한국생활환경학회지, 17(6), 2017.
3. 석연은, 공동주택 지하주차장 공기 오염 물질 조사 연구, 서울과학기술대학교 산업대학원 건축학과 석사학위논문, 2018.
4. 유복희, 경과년도에 따른 공동주택 지하주차장의 조명 수준 및 기준 적용성 평가, 대한건축학회논문집, 31(8), 2015.
5. 유복희, 공동주택 지하주차장의 자동조명제어시스템 적용과 조도수준 특성, 대한건축학회논문집, 32(11), 2016.
6. 이선영, 정창현, 공동주택 지하주차장의 시환경 실태에 대한 조사연구, 대한건축학회논문집, 17(5), 2015.
7. 장대영, 공동주택 지하주차장의 환기 및 오염물질에 관한 연구, 한밭대학교 산업대학원 건축설비공학과 석사학위논문, 2007.
8. 장수정, 최안섭, 주거단지 지하주차장의 조명계획 및 운용방법, 조명, 전기설비학회논문집, 19(4), 2005.
9. 정수현 외 3인, 지하주차장 내 오염물질 발생량에 대한 연구, 대한설비공학회논문집, 16(3), 2016.
10. 하덕호 외 4인, 대전지역 지하주차장의 휘발성유기화합물 농도분포 연구, 한국실내환경학회지, 5(1), 2008.
11. 황민구 외 3인, 천장 및 인공조명을 이용한 지하주차장의 조명환경 계획 및 평가에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 19(4), 2000.
12. Durrige Company Inc. RAD7 Radon Detector Manual, 33, 2006.
13. International Agency for Research on Cancer(IARC), IARC Monograph on the evaluation of carcinogenic risk to humans-Overall evaluation of carcinogenicity, supplement 7, IARC, 1987.
14. BEXT: Benzene, Ethylbenzene, Xylene, Toluene, <https://ehjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/1476-069X-11-51>