[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol. 27, No. 3, 2007

지하 주차장의 환기성능평가에 관한 연구

황민규*, 김성식**, 김강수***

*고려대학교 대학원 건축공학과(minkyu79@korea.ac.kr), **고려대학교 건축공학과(sskim@korea.ac.kr),
***고려대학교 건축학과(kskim@korea.ac.kr)

A Study on Estimation of Ventilation Performance in the Underground Parking Lot

Hwang, Min-Kyu*, Kim, Seong-Sik**, Kim, Kang-Soo***

*Dept. of Architectural Eng., Graduate School, Korea University(minkyu79@korea.ac.kr),
**Dept. of Architectural Eng., Korea University(sskim@korea.ac.kr),
***Dept. of Architecture, Korea University(kskim@korea.ac.kr)

Abstract

In past, parking lot was placed on the ground and for the reason air quality was not in problem. But recently parking lot has been placed under the ground and the air quality becomes problem. So in this study, the ventilation performance on the underground parking lot was estimated by using CFD software and alternative system was suggested. Three case studies are handled in this study. 1st case is just an underground parking lot. 2nd case is about an underground parking lot where has 4 fan rooms on each floor and 3rd case is about an underground parking lot where has 4 fan rooms and 30 guidance fans on each floor.

Keywords : 지하주차장(underground parking lot), 전산유체역학(CFD), 실내공기질(Indoor Air Quality), 환기성능(ventilation performance), 공기연령(mean age of air), 기류속도(velocity), 팬룸(fan room), 유인팬(guidance fan)

기 호 설 명

AOA	: 공기연령
c	: 농도
c_{in}	: 급기구에서의 농도
t	: 시간
V	: 체적 (m^3)
v	: 개구부 기류속도 (m/s)
A	: 개구부 면적 (m^2)

접수일자 : 2007년 7월 2일, 심사완료일자 : 2007년 8월 19일
교신저자 : 김강수(kskim@korea.ac.kr)

1. 서 론

1.1 연구의 필요성

과거 국내 공동주택에서 주차 공간은 지상 공간을 활용하여 계획되어 공기질과 환기에 문제가 없었으나 최근 주거환경의 질적 향상, 효율적인 공간 활용 등의 이유로 지상 공간이 공원화, 커뮤니

티 공간화 되면서 주차 공간이 지하 공간으로 옮겨가게 되었다. 또한 자동차 보급률이 상승하고 법정 주차면적이 증가함에 따라 지하 구조물의 규모는 대형화되고 있다. 이러한 이유로 실내 공기질에 대한 관심이 커지고 있다.

본 연구에서는 지하 주차장 공간의 CFD(전산유체역학) 해석을 통해 문제점을 검토하고 대안해석을 통해 환기성능을 평가하고자 한다.

2. 연구의 방법

2.1 연구의 대상

본 연구에서는 분석한 대상은 지하 3층과 지하 2층, 총 2개 층으로 구성된 지하주차장이다. 가로길이 188m, 세로길이 49.8m의 장방형 형태인 주차장으로 지하 3층과 지하 2층은 상하 2개의 램프로 연결되어 있으며 지하 2층과 지상 역시 2개의 램프로 연결되어 있다. 또한 지하 2층의 좌측에 다른 건물의 지하주차장과 연결되는 2개의 연결통로가 위치하고 있다. 측정대상이 되는 지하주차장의 개요와 형태는 다음 **그림 1**, **표 1**과 같다.

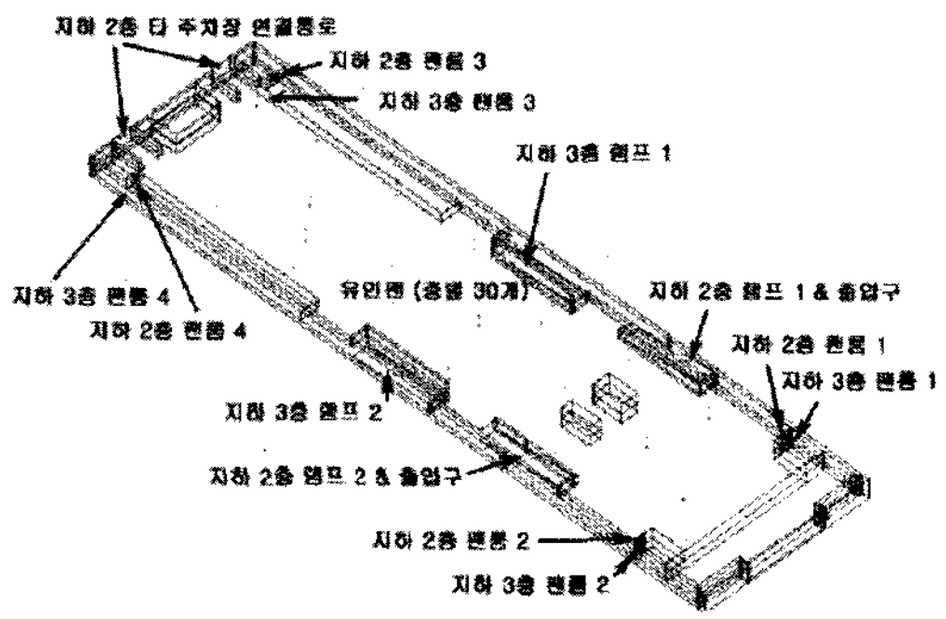

그림 1. 대상 지하주차장 형태

표 1. 대상 지하주차장 개요

위치	서울특별시 성북구
층수	2층 (지하 3층, 지하 2층)
크기	188m × 49.8m (체적 15,050m^3)
주차가능대수	526대(254(지하 3층)+272(지하 2층))

지하주차장에서 가장 많이 사용되는 기계 환기 설비 시스템으로는 팬룸(fan room)과 유인팬을 들 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 지하 3층에 4곳, 지하 2층에 4곳에 총 8개의 팬룸이 설치되어 있는 지하주차장 공간을 Case 1로, 기계 환기 설비가 없고 자연 환기만 되는 지하 주차장을 Case 2로, Case 1에 2.4m 높이, 토출각도 15도의 유인팬을 **그림 2**와 같이 각 층 30개 설치했을 때를 Case 3으로 설정하고 그 영향을 분석하고자 했다. 연구에 사용된 팬룸과 유인팬의 사양은 **표 2**와 **표 3**과 같다.

표 2. 팬룸 사양

		크기	설계용량
지하 3층	팬룸 1,2(급기)	1.10m⊠1.10m	40,020CMH
	팬룸 3,4(배기)	3.20m⊠1.80m	40,020CMH
지하 2층	팬룸 1,2(급기)	1.40m⊠1.00m	45,480CMH
	팬룸 3,4(배기)	1.25m⊠1.25m	45,480CMH

표 3. 유인팬 사양

Quality	31 CMM	R.P.M	3,450RPM
토출구지름	18cm	SET	30 개/층

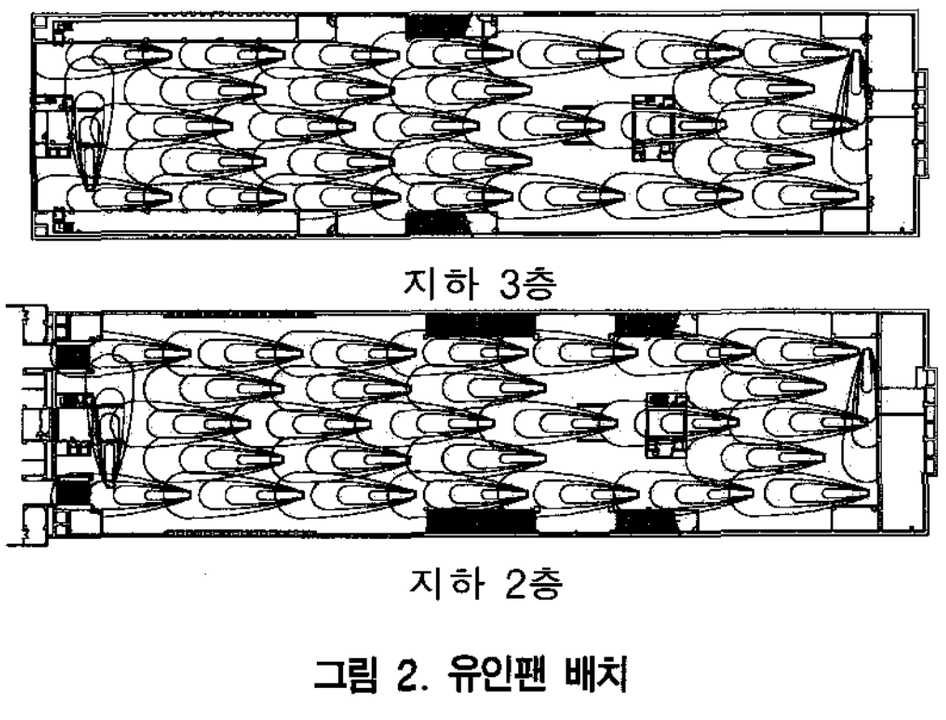

그림 2. 유인팬 배치

표 4. 대상 분류

	팬룸	유인팬
Case 1 - 기본안	O	X
Case 2 - 비교안	X	X
Case 3 - 비교안	O	O

2.2 CFD 해석 조건

(1) 지하주차장 내 경계조건

본 연구에서는 CFD 시뮬레이션 도구로서 건축 분야에서 이용되고 있는 상용 코드인 AIRPAK을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 경계조건은 **표 5**와 같이 설정하였고 외부에는 우리나라의 주 풍향인 서풍, 평균 풍속인 2 m/s로 설정하였다.

표 5. 해석 경계 조건 설정

	조건	값 (CMH)
지하 2층 타 주차장 연결 통로	Pressure	0
지하 3층 팬룸 1, 2 (급기)	Flow rate	40,000 CMH
지하 3층 팬룸 3, 4 (배기)	Flow rate	40,000 CMH
지하 2층 팬룸 1, 2 (급기)	Flow rate	45,500 CMH
지하 2층 팬룸 3, 4 (배기)	Flow rate	45,500 CMH
유인팬	Flow rate	1,860 CMH
	RPM	3,450 RPM

본 연구에서는 난류 모델로 공학적으로 널리 이용되고 있으며 난류 유동에너지와 소산율로 난류를 표현하는 표준형 k-☒ 모델을 적용하였다.

해석상의 대략적 레이놀즈 수는 Case 1의 경우 691,847, Case 2의 경우 575,053, Case 3의 경우 57,215이고, 유동의 계산을 위한 격자의 개수는 Case 1은 518,503개, Case 2는 217,171개, Case 3은 1,382,591개로 설정하였다. 수렴조건은 각 계산 step에서 잔차(Residual)값이 10-3 이하가 되면 계산을 종료하는 것으로 설정하였다.

3. 해석 결과

3.1 평가 기준

본 연구에서는 지하 주차공간의 환기성능을 평가하기 위해 지하 주차공간의 공기연령, 환기량을 계산하였다.

지하 주차공간의 공기연령은 공조에 의해 실내에 공급된 정화공기가 실내의 어느 지점까지 얼마나 신속하게 도달하는 가를 평가하는 환기효율지표이며 이는 공기의 신선도를 의미한다. 그 수가 크면 공기가 정체된 것을 의미하며 식 (1)과 같은 수식을 이용하여 공기연령을 계산한다. 지하 주차공간의 환기량은 식 (2)에 의해 계산하였다.

$$AOA(\text{공기연령}) = \int \left(1 - \frac{c(t)}{c_{in}}\right) dt \cdots \text{식 (1)}$$

$$Q(\text{환기량}) = \int_A v\,dA \qquad \cdots\cdots \text{식 (2)}$$

3.2 Case 1

팬룸만을 이용한 Case 1의 지하 3층과 지하 2층의 공기연령은 **그림 3**과 **그림 4**와 같다.

팬룸만을 이용한 경우(Case 1)의 지하 3층의 공기연령을 **그림 3**에서 살펴보면 급기팬과 배기팬으로 연결되는 경로에서의 500초를 제외하면 700-1,300초 범위의 공기연령이 나타나고 있다. 팬룸만을 이용한 Case 1의 지하 3층의 바닥에서 1.5m 높이 평균 공기연령을 계산하면 **표 6**과 같이 661초로 계산된다.

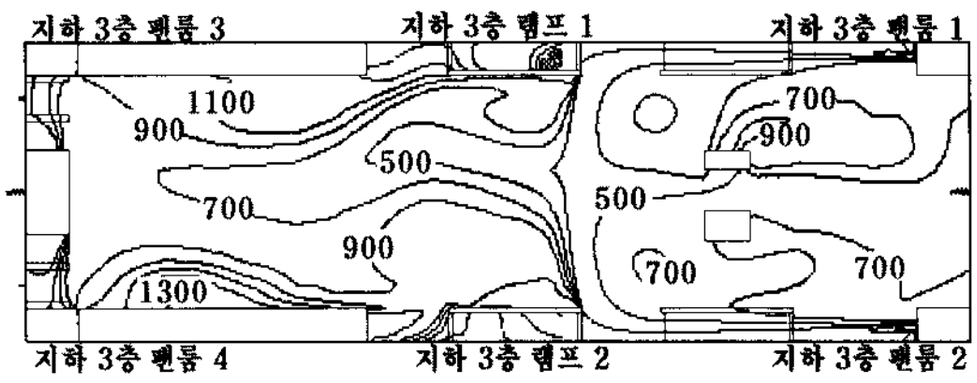

그림 3. 지하 3층 공기연령 (초)

팬룸만을 이용한 경우(Case 1)의 지하 2층의 공기연령을 **그림 4**에서 살펴보면 대부분의 공간에서 180-720초 범위의 공기연령이 나타내고 있으나 타 주차장 연결통로 옆 공간과 3층 램프에서 1,080초의 정체된 공기연령을 나타내고 있다. 팬룸만을 이용한 Case 1의 경우 지하 2층의 바닥에서 1.5m 높이 평균 공기연령을 계산하면 **표 6**과

같이 409초로 계산된다.

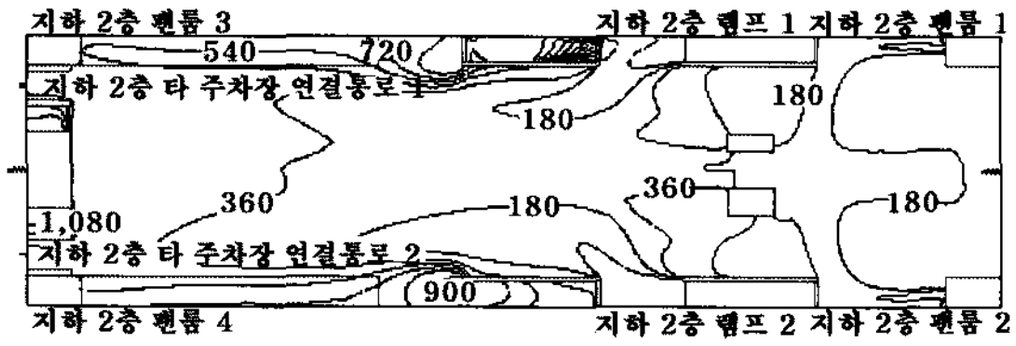

그림 4. 지하 2층 공기연령 (초)

표 6. Case 1 공기연령

	바닥에서 1.5m 높이 평균 공기연령 (초)
지하 3층	661
지하 2층	409

팬룸만을 이용한 경우(Case 1)의 단위면적당 환기량을 **표** 7에서 살펴보면 외부 기류에 의한 유입이 많아 18.37 m^3/m^2h가 계산되었다.

표 7. Case 1 단위면적 당 환기량

	환기량 (m^3/s)	단위면적당 환기량
지하 3층 팬룸 1	11.12	76.76 × 3,600 / 15,050 = 18.37 (m^3/m^2h)
지하 3층 팬룸 2	11.12	
지하 3층 팬룸 3	-11.12	
지하 3층 팬룸 4	-11.12	
지하 2층 팬룸 1	12.63	
지하 2층 팬룸 2	12.63	
지하 2층 팬룸 3	-12.63	
지하 2층 팬룸 4	-12.63	
지하 2층 타주차장 연결 통로 1	-14.66	
지하 2층 타주차장 연결 통로 2	-14.63	

(환기량 값이 +인 경우는 급기, -인 경우는 배기)

3.3 실측값과 Case 1 계산값 비교

CFD 해석 결과를 검증하기 위해 팬룸만을 이용한 Case 1에서 팬룸의 기류속도와 환기량을 실측값과 비교하였다.

표 8은 각 팬룸에서 기류속도의 실측값과 계산값을 비교한 표이다. 평균적으로 실측값과 계산값에서 차이는 0.70 m/s 정도로 발생하였다.

표 8. 기류속도의 실측값과 계산값 비교

기류속도 (m/s)	실측값	계산값	차이
지하 3층 팬룸 1(급기)	8.51	7.52	0.99
지하 3층 팬룸 2(급기)	8.47	7.59	0.88
지하 3층 팬룸 3(배기)	1.96	1.66	0.30
지하 3층 팬룸 4(배기)	1.99	1.66	0.33
지하 2층 팬룸 1(급기)	7.65	7.57	0.08
지하 2층 팬룸 2(급기)	7.48	7.62	0.14
지하 2층 팬룸 3(배기)	8.22	6.78	1.44
지하 2층 팬룸 4(배기)	8.32	6.84	1.48
평균	6.58	5.91	0.70

표 9는 각 팬룸에서 환기량의 실측값과 계산값을 비교한 표이다. 평균적으로 실측값과 계산값에서 차이는 0.85 m^3/s 정도가 나타났다.

표 9. 환기량의 실측값과 계산값 비교

환기량 (m^3/s)	실측값	계산값	차이
지하 3층 팬룸 1(급기)	10.30	11.12	0.78
지하 3층 팬룸 2(급기)	10.25	11.12	0.87
지하 3층 팬룸 3(배기)	11.29	11.12	0.17
지하 3층 팬룸 4(배기)	11.46	11.12	0.34
지하 2층 팬룸 1(급기)	10.71	12.63	1.92
지하 2층 팬룸 2(급기)	10.47	12.63	2.16
지하 2층 팬룸 3(배기)	12.84	12.63	0.21
지하 2층 팬룸 4(배기)	13.00	12.63	0.37
평균	11.29	11.88	0.85

팬룸의 기류속도와 환기량을 실측값과 비교한 결과, 기류속도에서는 0.70 m/s 정도의 차이가 발생하였고 환기량은 0.85 m^3/s 정도의 차이가 발생하였다. 실측값은 8 부위의 값을 측정하여 평균한 값으로 계산값이 실측값과 유사한 것으로 판단된다.

3.4 Case 2

자연 환기만을 이용한 Case 2의 지하 3층과 지하 2층의 공기연령은 **그림** 5와 **그림** 6과 같다.

자연 환기만을 이용한 Case 2의 지하 3층의 공

기연령을 **그림 5**에서 살펴보면 12,500-100,000초 범위의 공기연령이 나타나고 있다. 자연 환기만을 이용한 Case 2의 지하 3층의 바닥에서 1.5m 높이 평균 공기연령을 계산하면 **표 10**과 같이 64,946초로 계산된다.

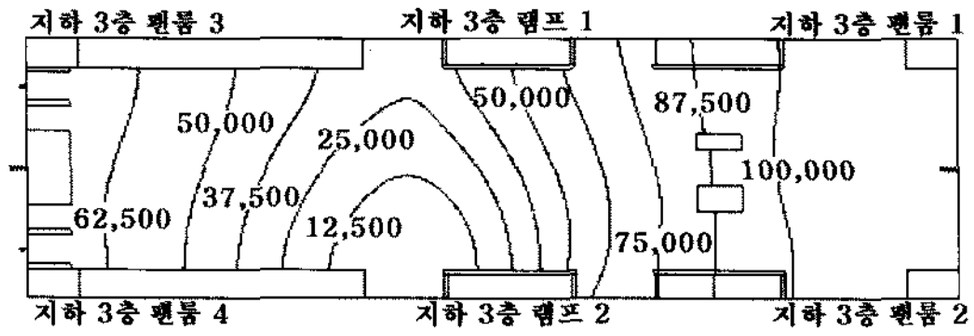

그림 5. 지하 3층 공기연령 (초)

자연 환기만을 이용한 Case 2의 지하 2층의 공기연령을 그림 6에서 살펴보면 1,000~12,000초 범위의 공기연령이 나타나고 있다. Case 1에서 가장 정체된 구간이었던 타 주차장 연결통로는 전체 공간의 공기가 정체되어 있어 드러나지 않았다. 자연 환기만을 이용한 Case 2의 지하 2층의 바닥에서 1.5m 높이 평균 공기연령을 계산하면 **표 10**과 같이 5,553초로 계산되었다.

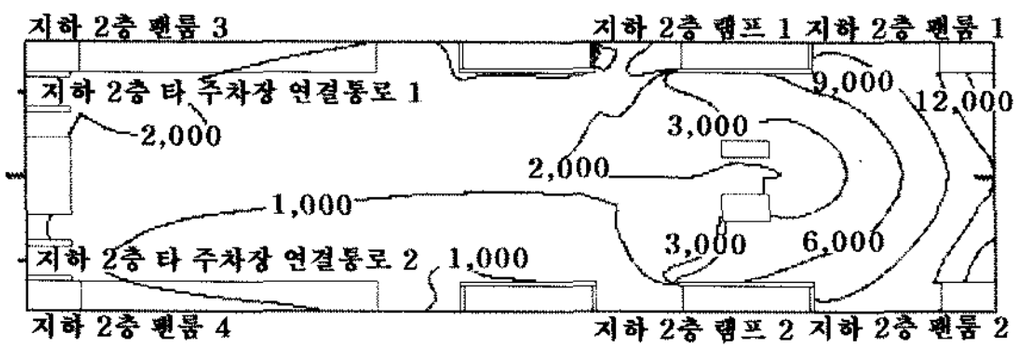

그림 6. 지하 2층 공기연령 (초)

표 10. Case 2 공기연령

	바닥에서 1.5m 높이 평균 공기연령 (초)
지하 3층	64,946
지하 2층	5,553

자연 환기만을 이용한 Case 2의 단위면적당 환기량을 **표 11**에서 살펴보면 지하 2층 램프와 지하 2층 타주차장 연결통로만이 외기 유출입이 있어 단위면적당 환기량 7.42 m^3/m^2h가 계산되었다.

표 11. Case 2 단위면적 당 환기량

	환기량 (m^3/s)	단위면적당 환기량
지하 2층 타주차장 연결 통로 1	-15.46	31.00×3,600/ 15,050= 7.42 (m^3/m^2h)
지하 2층 타주차장 연결 통로 2	-15.54	

(환기량 값이 +인 경우는 급기, -인 경우는 배기)

3.5 Case 3

팬룸과 유인팬을 동시에 이용한 Case 3의 지하 3층과 지하 2층의 공기연령은 **그림 7**과 **그림 8**과 같다.

팬룸과 유인팬을 동시에 이용한 Case 3의 지하 3층의 공기연령을 **그림 7**에서 살펴보면 400~1,100초 범위의 공기연령이 나타나고 있다. 팬룸과 유인팬을 동시에 이용한 Case 3의 지하 3층의 바닥에서 1.5m 높이 평균 공기연령을 계산하면 **표 12**와 같이 649초로 계산된다.

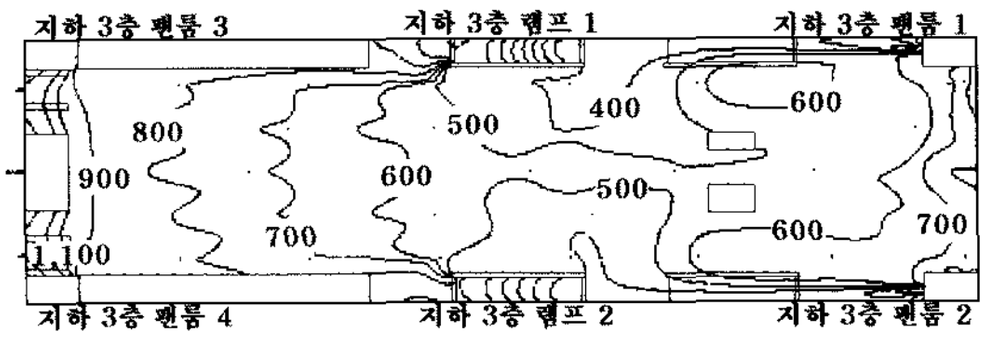

그림 7. 지하 3층 공기연령 (초)

팬룸과 유인팬을 동시에 이용한 Case 3의 지하 2층의 공기연령을 **그림 8**에서 살펴보면 100-800초 범위의 공기연령이 나타나고 있다. Case 1에서 가장 정체된 구간이었던 타 주차장 연결통로는 800초로 계산되어 개선된 것으로 나타났다. 팬룸과 유인팬을 동시에 이용한 Case 3의 지하 2층의 바닥에서 1.5m 높이 평균 공기연령을 계산하면 **표 12**와 같이 333초로 계산되었다.

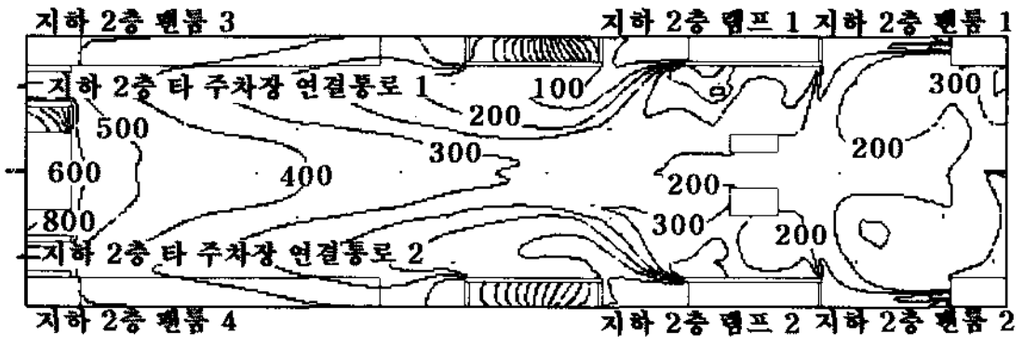

그림 8. 지하 2층 공기연령 (초)

표 12. Case 3 공기연령

	바닥에서 1.5m 높이 평균 공기연령 (초)
지하 3층	649
지하 2층	333

팬룸과 유인팬을 동시에 이용한 Case 3의 단위면적당 환기량을 **표 13**에서 살펴보면 지하 2층 타 주차장 연결통로의 영향이 비교적 커져 단위면적당 환기량 19.85 m^3/m^{2h}가 계산되었다.

표 13. Case 3 단위면적 당 환기량

	환기량 (m3/s)	단위면적당 환기량
지하 3층 팬룸 1	11.12	82.99 × 3,600 / 15,050 = 19.85 (m^3/m^2h)
지하 3층 팬룸 2	11.12	
지하 3층 팬룸 3	-11.12	
지하 3층 팬룸 4	-11.12	
지하 2층 팬룸 1	12.63	
지하 2층 팬룸 2	12.63	
지하 2층 팬룸 3	-12.63	
지하 2층 팬룸 4	-12.63	
지하 2층 타주차장 연결 통로 1	-17.75	
지하 2층 타주차장 연결 통로 2	-17.74	

(환기량 값이 +인 경우는 급기, -인 경우는 배기)

3.6 결과 비교

평균 공기연령(1.5m 높이)을 살펴보면 **표 14**와 같이 Case 1의 평균 공기연령은 지하 3층: 661초, 지하 2층: 409초이고 Case 2의 공기연령은 지하 3층: 64946초, 지하 2층: 5553초이다. 그리고 Case 3의 공기연령은 지하 3층: 649초, 지하 2층: 333초이다. 자연 환기만으로는 지하주차공간의 환기성능을 충족시킬 수 없다. 단순 공기연령 시간으로 팬룸만 설치했을 때보다 팬룸과 유인팬을 함께 사용했을 때 2-20% 정도의 개선을 보이고 있다. 또한 1.5m 높이에서의 공기연령 배치를 보면 타주차장 연결통로 옆 공간의 경우 1,080초에서 800초 정도로 정체되는 기류가 개선되었다.

표 14. 평균 공기연령 결과 비교

구분	공기연령(초)		공기연령(초)	
Case 1	지하3층	661	지하2층	409
Case 2	지하3층	64946	지하2층	5553
Case 3	지하3층	649	지하2층	333

Case 1과 Case 2, Case 3의 단위면적당 환기량을 살펴보면 **표 15**와 같이 Case 1의 단위면적당 환기량은 18.37 m3/m2h이고 Case 2의 단위면적당 환기량은 7.42 m3/m2h, Case 3의 단위면적당 환기량은 19.85 m3/m2h이다.

표 15. 단위면적당 환기량 비교

	환기량 (m^3/s)	단위면적당 환기량 (m^3/m^2h)
Case 1	76.79	18.37
Case 2	31.00	7.42
Case 3	82.99	19.85

4. 결 론

본 연구에서는 지하 주차공간에서 팬룸만을 사용했을 때와 자연 환기만을 이용했을 때, 팬룸과 유인팬을 함께 사용했을 때의 환기성능을 비교하였다.

즉, 본 연구에서는 지하 주차장의 환기 성능에 대한 지표로 공기연령, 단위 면적당 환기량을 평가한 것으로 그 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 팬룸만을 사용했을 때 팬룸의 기류속도와 환

기량을 실측값과 계산값으로 비교하였다. 기류속도는 0.7 m/s, 환기량은 0.85 m^3/s 정도가 차이가 났다.

(2) 팬룸만을 사용했을 때 평균 공기연령은 지하 3층: 661초, 지하 2층: 409초이고 자연 환기만을 사용했을 때 평균 공기연령은 지하 3층: 64946초, 지하 2층: 5553초이고 팬룸과 유인팬을 동시에 사용했을 때 공기연령은 지하 3층: 649초, 지하 2층: 333초이다.

(3) 자연 환기만을 사용한 경우 평균 공기연령이 매우 크며 이는 지하 주차공간의 환기성능을 충족하지 못한다. 그리고 팬룸과 유인팬을 모두 사용한 경우 내부공간에 공기연령이 고른 분포를 보이는 것을 볼 수 있다.

(4) 단위면적당 환기량을 살펴보면 팬룸만을 사용했을 때 단위면적당 환기량은 $18.37m^3/m^2h$이고 팬룸과 유인팬을 동시에 사용했을 때 단위면적당 환기량은 $19.85m^3/m^2h$이다. 환기량을 비교했을 때 8% 정도의 개선을 보이고 있다.

(5) 본 연구에서는 실측값과 계산값을 비교하여 CFD 계산값에 대한 타당성을 검토하였으며 이를 통해 설비 시공 전 CFD 해석을 통해 설계 단계에서 설비의 효율 검토의 가능성을 보여주었다.

참 고 문 헌

1. 노상태, 김강수, Singe-sided 개구부의 형태와 위치에 따른 자연환기 특성에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 2005. 08
2. 김강수, 이승복, 정대업, 건축환경학, 문운당 pp32, 2002
3. 김석근, 이정재, 공동주택에서 환기장치류 가동특성에 따른 실내공기질 변화특성에 관한 연구, 설비공학회 논문집, 2007
4. 이은정, 류영희, 이경회, CFD를 이용한 공동주택 실내공기질 예측 및 측정, 대한건축학회 논문집, 2007. 01
5. 강석윤, 이태구, 문종선, 이재헌, 실내수영장의 열, 기류 및 습도환경에 관한 연구, 설비공학회 논문집, 2003
6. Suhas V. Patankar, Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, 1991
7. 한화택, 역유동계산법을 이용한 국소배기효율의 수치해석, 설비공학회 논문집, 1998