



## 환기방식에 따른 지하주차장 공기오염도의 수치연구

임 수정,<sup>1</sup> 장 춘 만,<sup>2</sup> 이 광 훈<sup>\*3</sup>

### NUMERICAL STUDY OF AIR POLLUTION RATE DEPENDING ON TYPES OF VENTILATION SYSTEM IN UNDERGROUND PARKING LOT

Soo Jung Lim,<sup>1</sup> Choon-Man Jang<sup>2</sup> and Gwang Hoon Rhee<sup>\*3</sup>

지하 복수층 주차장은 도시의 밀집화 및 자동차의 급격한 증가로 인한 토지부족 및 주차난을 해소할 수 있는 좋은 방법이다. 하지만 인체유해 배출가스의 집중으로 환기의 중요성이 대두되는 추세에도 불구하고 실제로는 시공이 완료 된 후에도 오염도 측정이 가능하다. 이러한 이유로 CFD 시뮬레이션으로 시공이전의 지하 복수층 주차장의 공기오염도를 예측했다. CFD 시뮬레이션은 예산과 시간을 절감한 공기오염도 예측이 가능하다.

실제의 당산근린공원의 지하주차장을 대상으로 오염도를 예측했다. 급기에만 강제유동을 일으키는 2종과 배기에만 강제유동을 일으키는 3종 기계환기법 그리고 급배기에 강제유동을 일으키는 1종기계환기법을 각각 적용하여 공기오염도를 계산했다. 지하1층과 지하2층의 입구 및 출구유속을 10, 15m/s로 하여 실내평균연령과 실내평균환기효율을 살펴보았다. 계산결과는 급기와 배기에 강제유동을 동시에 일으키는 1종 기계환기법의 값과 비교하였다.

**Key Words :** 지하주차장(Underground parking lot), 실내평균연령(Averaged air age), 전산유체역학(CFD), 정상유동(Steady Flow), 환기효율(Ventilation efficiency)

## 1. 서 론

현대사회에서 자동차는 없어서는 안 될 중요한 수송수단이다. 기하급수적으로 증가하는 자동차 수는 인구의 도시 밀집 현상과 결합하여 도시 내 도로의 주차장화라는 문제를 야기하고 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 등장한 것이 바로 지하주차장이다. 지상에서의 차량수용한계를 극복하기 위한 방안으로 제안된 지하주차장은 법적 주차면적이 증가함에 따라 규모가 대형화 및 복수층화 되어가는 추세이다.

지하주차장은 주차난을 해소하기 위한 획기적인 방안인 반면 공간의 협소함과 폐쇄적인 성향으로 인한 환기문제가 있다. 자동차 배기가스에 포함된 일산화탄소 질소산화물, 아황산가스, 미세먼지 등의 인체에 치명적인 유해물질을 해소하기

위한 대책이 필요한 것이다.

하지만 인체건강에 직접적인 영향을 미치는 지하주차장의 유해가스는 실제로는 시공이 완료 된 후에도 오염도 측정이 가능하다. 또한 환기의 효율은 지하주차장 내에 설치된 외부 공기유입 급배기구의 송풍량 및 환기방식 등에 따라 달라진다.

이러한 이유로 본 연구에서는 지하주차장의 일반적인 추세인 복수층 형태의 지하주차장을 CFD 해석하여 설계에 대한 참고적 자료를 제시하고자 한다.

## 2. 수치해석

### 2.1 해석대상 및 목표

본 연구의 분석대상은 지하 1, 2층으로 구성된 실존 영등포구 소재 당산근린공원 지하주차장이다. 가로 50m, 세로 60m, 높이 4m의 주차장으로 차량 진출입로의 좌측으로 지하 1, 2층을 연결하는 통로가 있다. 급기구와 배기구는 직각방

1 회원, 서울시립대학교 일반대학원 기계정보공학과

2 한국건설기술연구원

3 회원, 서울시립대학교 기계정보공학과

\* Corresponding author, E-mail: ghrhee@uos.ac.kr



Fig. 1 지하주차장 내부사진

향으로 배치되었으며 차량 진출입로는 급기구와 일직선상을 이루는 구조이다. 해석대상이 되는 지하주차장의 실제모습과 개요는 Fig. 1, Table. 1과 같다.

지하주차장의 환기는 온도차 및 압력차에 의존하는 자연환기와 동력을 이용한 기계환기가 있다. 기계환기는 급배기를 강제대류로 사용하는 제 1종 환기와 급기만 강제대류인 제 2종 환기, 그리고 배기만 강제대류인 제 3종 환기가 있다. 또한 기계환기는 급배기 쉘만 설치한 무혼합 환기시스템과 외부공기를 분산시키는 유인철편을 설치한 제트철편 환기시스템 등이 있다.

본 연구는 유인철편 없이 급배기 쉘만 설치하였을 때의 지하주차장 환기정도를 파악하기 위하여 무혼합 환기시스템에서 실내평균연령을 살펴보았다. 또한 제 2, 3종 환기방식을 사용하였을 때의 환기효율을 해석하여 제 1종 환기방식을 사용하였을 때의 값과 비교했다.

### 2.2. 형상 및 경계조건

Fig. 1의 모델 주차장을 대상으로 Fig. 2와 같이 모델링하였다. 지하주차장 내 자동차는 없는 상태라고 가정하여 형상화하였다. 총 체적격자는 약 29만개이다.

유동해석을 수행하기 위해 상용코드인 STAR-CD를 이용하여 모델링 한 지하주차장에 대해 급배기구와 차량 진출입로

Table 1 당산근린공원 지하주차장 구조

층별	가로	세로	높이	주차대수
지하1층	50m	60m	4m	94대
지하2층	50m	60m	4m	98대

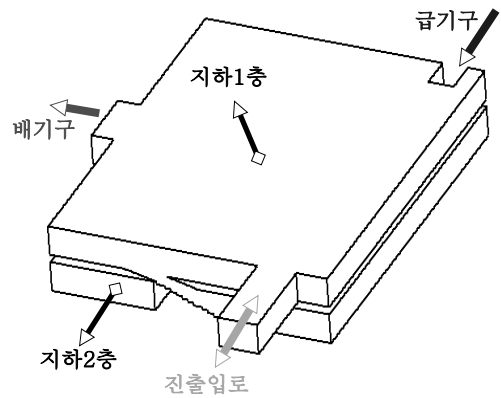


Fig. 2 지하주차장 모델링

에 대한 경계조건을 부여했다. 지하 1층의 차량 진출입로는 대기압상태의 조건을, 급배기구는 강제유동으로 각 Case별로 유속조건을 주었다. Table. 2는 경계조건을 정리한 것이다.

### 2.3 해석조건

본 연구는 열유체 유동해석 상용코드인 STAR-CD를 사용하였다. 사용된 전산해석 방법에 대한 간략한 설명을 하면 지배방정식에 대한 차분화는 유한체적법 확산항 처리는 Upwind scheme, 압력항은 SIMPLE 알고리즘을 이용하였다. 또한 잔차값이 10<sup>-3</sup>이하가 되면 계산을 종료하는 것으로 설정하였다.

### 2.4. 지배방정식

이 연구에서 사용된 연속방정식 및 운동량 방정식은 다음과 같다.

Table 2 Case별 급기 및 배기철편 유속

Case	환기방식	지하1층	지하2층
1	1종(급배기)	15 m/s	15 m/s
2	1종(급배기)	10 m/s	10 m/s
3	2종(급기)	15 m/s	10 m/s
4	2종(급기)	15 m/s	15 m/s
5	3종(배기)	15 m/s	10 m/s
6	3종(배기)	15 m/s	15 m/s



질량보존 방정식

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

운동량 방정식

$$\frac{\partial(\rho U_i)}{\partial t} + U_i \frac{\partial(\rho U_i)}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) + \tau_{ij} \right] \quad (2)$$

또한 작업장 내부의 난류를 해석하기 위하여 k-ε 난류모델을 사용하였으며 난류에너지 k와 소산율 ε는 다음의 전달 방정식을 따른다.

난류 운동에너지

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U_j k)}{\partial x_j} \\ &= \tau_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \rho \epsilon + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ (\mu + \mu_T / \sigma_k) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] \end{aligned} \quad (3)$$

난류 에너지 소산율

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(\rho \epsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U_j \epsilon)}{\partial x_j} \\ &= C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} \tau_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - C_{\epsilon 2} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ (\mu + \mu_T / \sigma_\epsilon) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] \end{aligned} \quad (4)$$

Reynolds 응력항  $\tau_{ij}$ 는 Boussinesq 가정에 의해 다음과 같이 표현된다.

난류점성계수는

$$\begin{aligned} \tau_{ij} &= -\overline{\rho u'_j u'_i} \\ &= \mu_T \left[ \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right] - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\mu_T = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (6)$$

이고 실험값인 각 상수의 값은 다음과 같다.

$$C_{\epsilon 1} = 1.44, C_{\epsilon 2} = 1.92, C_\mu = 0.09$$

$$\sigma_k = 1.0, \sigma_\epsilon = 1.3$$

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 환기효율계산

환기효율은 명목시간상수에 대한 공기연령의 비율로써 환기효율을 나타내는 “공기의 연령에 의한 정의” 방식을 적용하였다.

STAR-CD를 이용하여 모델링 한 다음 전체 체적 및 입출구 속도 등을 이용하여 급기 체적유량, 명목시간상수를 구하고 실내평균연령 및 환기효율을 산출하였다. 각 층별, 그리고 전체층에 대한 급기체적 유량 및 명목시간상수는 Table 3과 같다.

#### 3.2. 계산결과

##### 3.2.1. 제 1 종 기계환기법

급기와 배기가 강제대류인 Case 1과 2의 계산결과를 살펴 보았다. 각각의 실내평균연령과 실내평균환기효율을 Table 4

Table 3 층별 급기체적유량 및 명목시간상수

층별	총체적	입구면적	입구속도	급기체적유량	명목시간상수
전체	24,388.6m <sup>3</sup>	1.333m <sup>2</sup>	10m/s	13.333m <sup>3</sup> /s	1829.19 s
			15m/s	20m <sup>3</sup> /s	1219.43 s
지하1층	12,513.7m <sup>3</sup>	0.667m <sup>2</sup>	10m/s	6.667m <sup>3</sup> /s	1876.96 s
			15m/s	10m <sup>3</sup> /s	1251.37 s
지하2층	11,874.9m <sup>3</sup>	0.667m <sup>2</sup>	10m/s	6.667m <sup>3</sup> /s	1781.15 s
			15m/s	10m <sup>3</sup> /s	1187.49 s

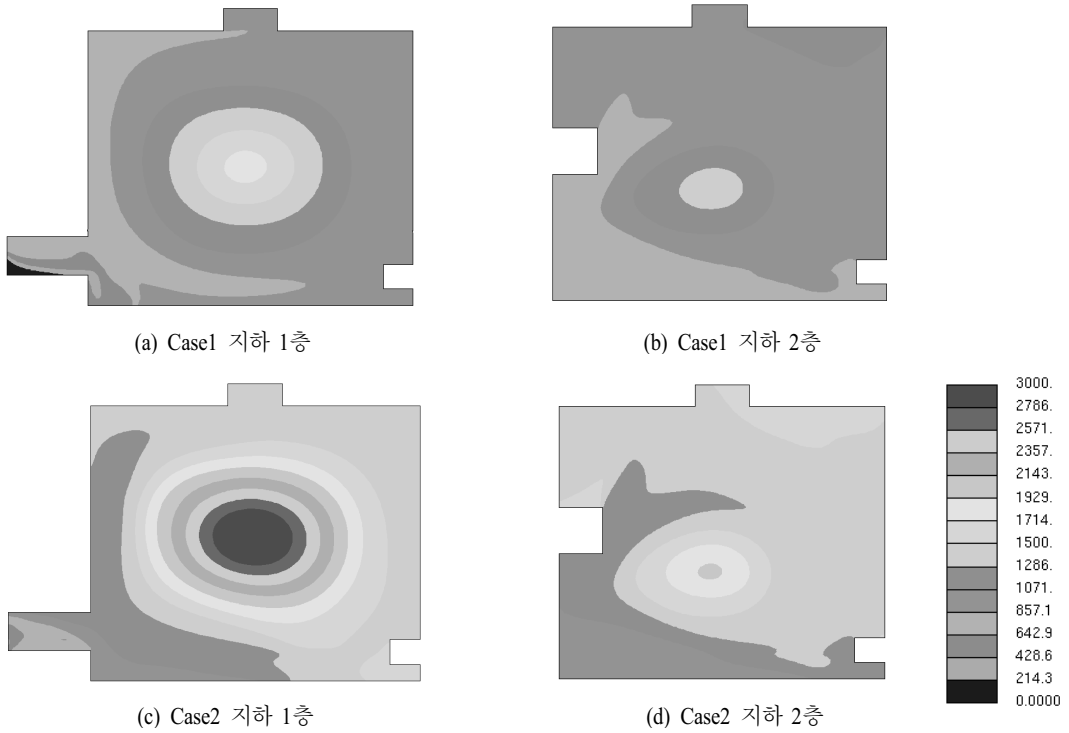


Fig. 3 Case 1, 2 의 실내평균연령 분포

에 나타났다.

유속이 더 빠른 Case 1의 경우가 2보다 실내평균연령이 더 낮게 나타났다. 또한 전체의 실내평균연령은 지하 1층과 지하 2층의 중간정도를 보였다. 두 Case 모두 지하 1층이 2층보다 실내평균연령이 더 높다. 사람의 코 높이인 1.5m에서의 각 층별 실내평균연령 분포를 Fig. 3에 나타냈다. 지하주차장의 중앙부분에서 공기연령이 높다

Table 4 Case 1,2의 실내평균연령 및 실내평균환기효율

Case	층별	실내평균연령	실내평균 환기효율
1	전체	976.91 s	62.41 %
	지하1층	1008.3 s	62.05 %
	지하2층	943.93 s	62.90 %
2	전체	1487.8 s	61.47 %
	지하1층	1616.2 s	58.07 %
	지하2층	1352.7 s	65.84 %

### 3.2.2. 제 2 종 기계환기법

Case 2에서 급배기 유속이 10m/s 일 때는 15m/s일 때보다 공기연령이 확연히 큰 것을 알았기 때문에 Case 3에서는 지하 1층은 15m/s, 지하2층은 10m/s의 급기유속조건을 주어 계산했다. Case 3,4의 계산결과를 Table 5에 정리하였다.

Case 3,4는 지하 1층의 유속이 15m/s로 동일하고 지하 2층의 유속이 각기 다르다. 계산결과에서는 지하 2층의 유속차이가 지하 1층을 비롯한 전체의 실내평균연령에 영향을 주는 것을 볼 수 있다.

Fig. 4는 Case 3,4의 실내평균연령 분포를 나타낸 그림이다.

### 3.2.3. 제 3 종 기계환기법

Case 5,6에서는 Case 3,4와 동일한 조건의 배기유속조건을 주어 제 2 종 기계환기법과 3 종 기계환기법의 차이를 알아 보았다.

Table 6을 보면 Case 3,4와 마찬가지로 지하 1층의 배기유속은 동일하고 지하 2층의 유속을 다르게 했을 경우(case 5,6)에도 지하 1층과 전체의 공기연령에 영향을 주는 것으로 나타났다. 하지만 제 2 종 기계환기법과 달리 지하 1, 2층 환기

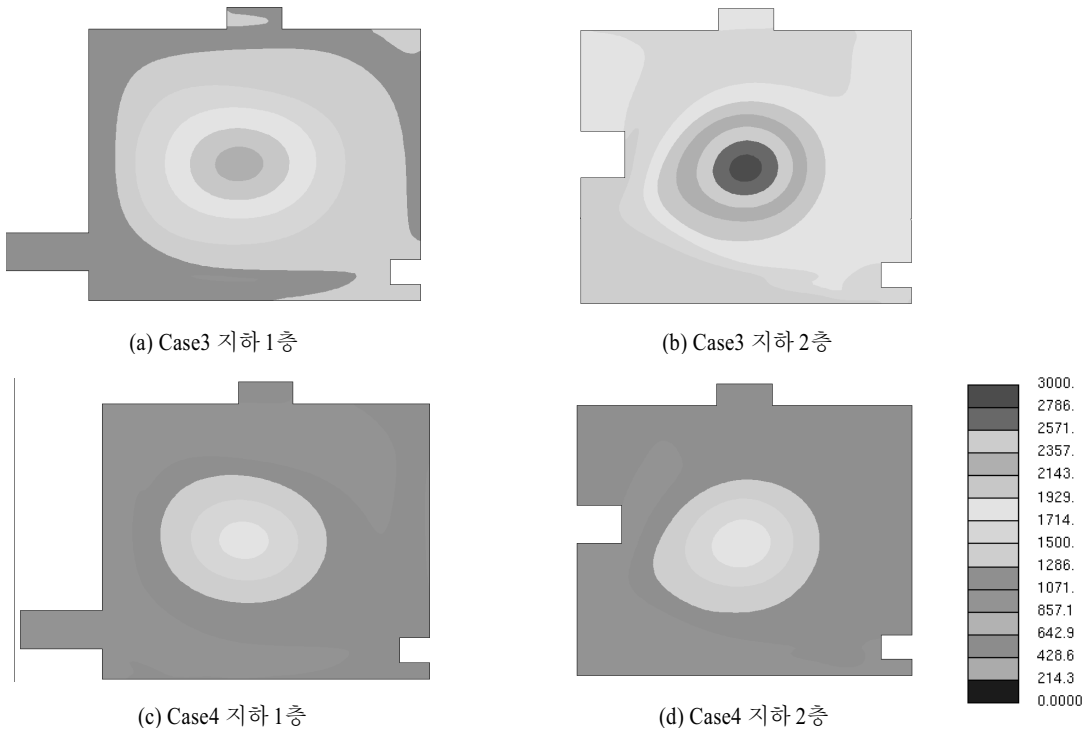


Fig. 4 Case 3,4 의 실내평균연령 분포

정도의 차이가 2배 이상으로 매우 크다.

Fig. 5는 Case 5,6의 실내평균연령의 분포를 나타낸 그림이다. 지하 1층은 왼쪽의 진출입로와 배기팬 사이 공간에서의 공기연령이 낮게 나타나는 반면 오른쪽의 공간은 상대적으로 높게 나타났다. 지하 2층은 1층에 비해 공기연령분포가 높다

3.3. 고찰

실내평균연령 분포에서 제 2 종 기계환기법을 적용한 Case

3,4의 실내평균연령분포의 경우 제 1 종 기계환기법을 적용한 Case 1,2의 결과와 비슷한 반면 제 3 종 기계환기법을 적용한 Case 5,6의 결과는 확연하게 다른 형태를 보인다.

우선 1종 기계환기와 2종 기계환기에서 급배기 유속이 15m/s로 동일한 Case 1과 4를 비교해보면, 급기만 강제유동을 사용하는 2종 기계환기보다 급배기를 강제유동하는 1종 기계환기의 효과가 더 좋다는 것을 알 수 있다. 실내평균연령의 경우 100정도, 환기효율의 경우는 10%정도의 차이를 보인다.

Table 5 Case 3,4의 실내평균연령 및 실내평균환기효율

Case	층별	실내평균연령	실내평균 환기효율
3	전체	1596.1 s	54.54 %
	지하1층	1425.3 s	43.90 %
	지하2층	1776.0 s	50.14 %
4	전체	1161.6 s	52.49 %
	지하1층	1144.1 s	54.69 %
	지하2층	1180.0 s	50.32 %

Table 6 Case 5,6의 실내평균연령 및 실내평균환기효율

Case	층별	실내평균연령	실내평균 환기효율
5	전체	2275.0 s	32.16 %
	지하1층	1049.4 s	59.62 %
	지하2층	3558.4 s	25.03 %
6	전체	1657.0 s	36.80 %
	지하1층	874.50 s	71.55 %
	지하2층	2478.0 s	23.96 %

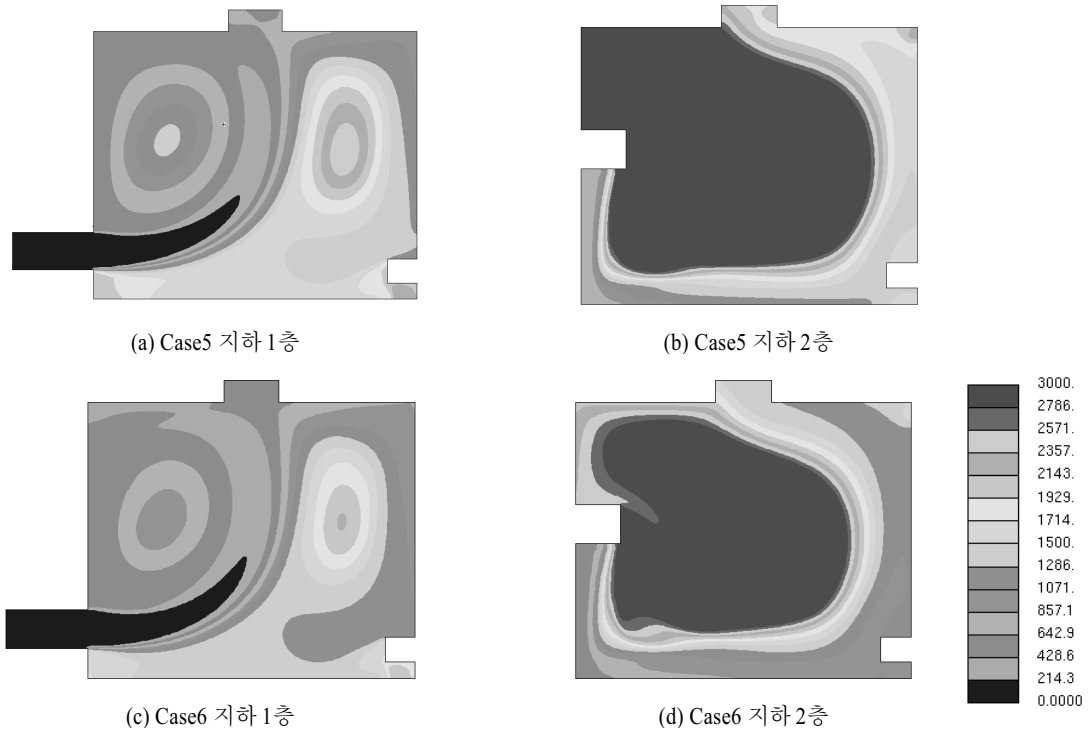


Fig. 5 Case 5,6 의 실내평균연령 분포

하지만 Case 1의 경우는 지하 1층의 실내평균연령이 더 높은 반면 Case 4의 경우는 지하 2층의 실내평균연령이 더 높게 나타났다. Case 4 지하 2층의 해석조건을 급기만 설정하여 공기가 빠져나갈 출구가 1층에만 존재하기 때문에 나타난 결과인 것으로 보인다.

제 3종 기계환기법을 사용한 Case 6은 Case 4의 경우와 마찬가지로 지하 2층에 배기팬만 설치하여 공기가 들어올 입구가 1층에만 존재하기 때문에 지하 2층의 공기연령이 확연히 높다.

#### 4. 결 과

본 연구에서 무혼합 환기시스템에서 환기방식에 따른 실내 평균공기연령과 실내평균환기효율을 살펴보았다. 급기구와 배기구의 유속을 각기 다르게 하여 전산해석을 수행한 결과는 다음과 같다.

- (1) 환기방식에 구애받지 않고 급배기구의 유속이 10m/s일 때보다 15m/s 일 때 실내평균연령이 더 낮다.
- (2) 지하 1층의 유속이 15m/s로 고정되었고 지하 2층의 유

속이 10m/s와 15m/s로 각기 다를 때, 지하 2층의 유속이 지하 1층과 전체의 실내평균연령에 영향을 준다.

- (3) 제 1종 기계환기법과 제 2종 기계환기법의 실내평균연령 분포는 비슷한 형태를 나타낸다. 하지만 실내평균연령과 실내평균환기효율은 제 1종 기계환기법이 더 높다.
- (4) 제 3종 기계환기법은 지하 1층과 지하 2층의 실내평균연령 차이가 2배 이상으로 크게 나타났다.
- (5) 제 2종 기계환기법과 제 3종 기계환기법의 지하 2층 실내평균연령이 높게 나타난 것은 제 1종 기계환기법과 달리 지하 2층의 공기가 유입 혹은 유출만 되기 때문으로 판단된다.

#### 후 기

본 연구는 환경기술교육혁신지원사업의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

[1] 2001, 김경환, 외4인, “분배계통에 따른 지하주차장 환기



- 설비 성능의 예측,” *설비공학논문집 공기조화 냉동공학 논문집*, Vol.13, No.10, pp.982-993.
- [2] 1999, 박형, 외2인, “무덕트방식에 의한 지하주차장 환기에 대한 수치해석적 연구,” *공기조화 냉동공학회 하계학술대회 논문집*, pp.365-371.
- [3] 1997, 황인호, 외2인, “아파트 지하주차장의 환기방식에 따른 환기효율 비교평가에 관한 실험적 연구,” *대한건축학회 학술발표대회 논문집*, Vol.17, No. 2, pp.687-691.
- [4] 2002, 김재원, 외1명, “전산해석의 의한 지하주차장 내의 환기 특성,” *대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집*, pp.681-688.
- [5] 2007, 황민규, 외2명, “지하 주차장의 환기성능평가에 관한 연구,” *한국태양에너지학회 논문집*, Vol.27, No. 3, pp.71-77
- [6] 2007, 한성현, “지하주차장 환기설비에 관한 수치해석적 연구,” *석사학위논문*, 서울시립대학교, 서울