

공동주택 지하주차장의 자연환기성능 향상방안에 관한 연구

서 정 민, 이 중 훈*, 송 종 의, 정 정 화, 송 두 삼**†

성균관대학교 대학원, *삼성물산 기술연구소, **성균관대학교 건축공학과

A Strategies to Improve the Natural Ventilation Performance at Underground Parking Lot in Multi-Residential Buildings

Jung-Min Seo, Joong-Hoon Lee*, Jong-Eui Song, Jung-Hwa Jung, Doo-Sam Song**†

Graduate School, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea

*Institute of Technology, Samsung C&T Corporation, Seoul 440-210, Korea

**Department of Architectural Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea

(Received November 3, 2010; revision received January 5, 2011)

ABSTRACT: Energy efficiency and indoor air quality have become main issue to develop healthy and sustainable building in these days. As an effort to reduce the energy consumption in multi-residential building, many attempts as like passive design strategies and renewable energy as well as active control method are tried. However, underground parking lot in multi-residential building seldom adopt the sustainable strategies and only mechanical system is installed as usual. Moreover, the mechanical system installed in underground parking lot is rarely operated due to the electric demand for operation after completion.

In this study, as an energy efficient measure, natural ventilation system using stack effect as a driving force for underground parking lot will be proposed and the performance of the suggested system will be analyzed by simulation method.

Key words: Natural ventilation(자연환기), Stack effect(연돌 효과), Underground parking lot(지하 주차장), Simulation(시뮬레이션), Contaminant concentration(오염물질농도)

기 호 설 명

ΔP : 총 압력차 [Pa]
 ΔP_{loss} : 압력손실 [Pa]
 ΔP_f : 마찰저항손실 [Pa]
 ΔP_L : 국부저항손실 [Pa]
 P : 압력 [Pa]
 V : 속도 [m/s]
 C_p : 풍압계수

g : 중력가속도 [9.81 m/s²]
 z : 기준면으로 부터의 높이 [m]
 l : 관의 길이 [m]
 d : 관의 지름 [m]
 A : 개구부 면적 [m²]

그 리 스 문 자

ρ : 공기밀도 [kg/m³]
 λ : 마찰손실 계수
 ζ : 국부손실 계수
 ϵ : 조도 [m]
 α : 유량계수

† Corresponding author

Tel.: +82-31-290-7551; fax: +82-31-290-7570

E-mail address: dssong@skku.edu

하첨자

<i>j</i>	: 입구
<i>i</i>	: 출구
<i>d</i>	: 덕트
<i>wind</i>	: 바람
<i>out</i>	: 외부

1. 서 론

1.1 연구의 목적

지구온난화로 인한 기후변화와 화석연료의 고갈의 문제가 사회적으로 주목을 받고 있으며 새로운 대체에너지원 개발 및 기존 에너지 사용량을 줄이기 위한 대책 등이 적극적으로 연구, 검토되고 있다. 특히 건물부분의 에너지 사용량은 현재 국내의 경우 전체 에너지 사용량의 약 23% 정도를 차지하고 있으나 이미 지식산업 중심의 산업구조를 가지는 영국이나 미국과 같은 선진국의 경우 거의 50%를 차지하고 있는 상황을 감안하면 국내에서 건물 에너지 사용이 급증할 것으로 판단된다. 또한 종래의 건물에너지 절감의 주요 대책이 설비적인 조절 방법에 집중되어 있었던 것에 반해 최근의 동향은 단열성능 강화, 기밀성능의 향상, 창면적비의 최소화, 자연환기, 자연채광 등 패시브적인 수법을 적극 채용하여 건물 냉난방부하를 최소화하며, 건물의 실내 환경조절에 인공적인 에너지 사용을 최소화하려는 추세로 전환되고 있다. 이러한 전 세계적인 그린빌딩 추세에 따라 국내에서도 공동주택 단지를 중심으로 친환경건축 기술이 비약적으로 발전하고 있다. 그럼에도 불구하고 지하주차장의 경우에는 대부분 종래의 기계적인 시스템으로 계획되고 있으며, 입주 후에는 거의 작동되지 않고 있는 실정이다. 그 이유는 여러 가지가 있으나 가장 큰 이유는 시스템 가동에 따른 공동관리비 상승의 문제를 들 수 있다. 결과적으로 공동주택의 지하주차장은 환기부족에 따른 공기질 저하, 조도의 저하로 인해 주간에 접근을 꺼리는 공간이다.

주차장 내 환기효율 관련하여 CO농도에 대한 기준으로 WHO⁽¹⁾에서는 15분간 최대 100 ppm 이하, 1시간 당 25 ppm, 8시간 평균 10 ppm 이하로 정하고 있으며, 미국 ASHRAE⁽²⁾에서는 최대 125 ppm 이하, 평균 50 ppm 이하로 기준을 정하고 있다. 환기 방식은 위치에 따라 지하주차장, 노외 주차장으로, 주

차장 형태에 따라서는 자연환기, 기계환기 또는 하이브리드 환기로 분류하고, 허용오염농도 기준이하로 공기질이 조절되도록 규정하고 있으며, 팬 에너지 소비를 저감시키기 위해 VAV 시스템이나 CO Demand Control 방법이 활용되고 있다. 자연환기를 사용할 때에는 가능한 개구부 크기를 크게 하여 충분한 환기량을 확보하고, 추운 기후에서는 침기로 인한 에너지 손실을 최소화하기 위해 구조체 축열을 이용해서 주차장 실내온도를 유지시키는 방법도 제안되고 있다.⁽²⁾

지하주차장 환기에 대해서는 국내에서 많은 연구자들이 다음과 같은 연구를 진행한 바 있다. 먼저 주차장 환경에 대한 실태조사로 Kim et al.⁽³⁾은 공동주택 지하주차장 공기환경 실태파악을 위해 자연환기방식 2군데, 기계환기방식 2군데를 선정, 여름철 4주간에 걸쳐 주중 2일, 주말 1일씩 측정하였다. 실험결과, 자연환기방식의 주차장은 오전 7~8시 출근 시간대에 CO농도가 가장 높게 나타나며 출근시간이 지나면서 CO농도가 점차 감소하였다가 오후 4시 전후로 다시 증가하는 것으로 나타났다. 기계환기방식의 주차장은 오전 6시~8시, 오후 6시~8시 하루 2차례 팬가동을 실시하고 있었는데 자연환기방식에 비해서 하루 중 시간에 관계없이 일정한 CO농도를 나타냈다.

Hwang et al.⁽⁴⁾은 아파트 지하주차장에서 여름철과 겨울철에 각각 4곳씩 총 8개의 아파트 지하주차장을 대상으로 CO가스 농도를 측정하였다. 이 중 4곳은 자연환기방식을, 4곳은 3종 기계환기방식을 채용하고 있었다. 연구 결과, 계절별로는 겨울철이 여름철보다 실내오염물질 농도가 더 높은 것으로 조사되었는데 이는 겨울철 CO발생량이 여름에 비해서 많기 때문이며, 겨울철에는 환기팬 가동시간이 비가동에 비해 환기효율이 약간 우수한 것으로 나타났으나 환기팬 작동유무와 관계없이 평균값의 차이는 크지 않다고 보고 하였다. 이는 겨울철 실내의 기압 차로 인해 CO농도가 감소된 것으로 판단된다.

자연환기에 대한 기존연구로 Kim⁽⁵⁾은 자연환기 방식에서 개구부 면적에 대한 건축법규 기준이 150 m² 이내마다 1개소 이상의 외기와 면하는 2 m² 이상의 개구부를 천장 또는 드라이 에어리어를 설치하도록 규정하고 있는데, 지하주차장의 개구부 면적을 일괄적으로 설정하는 것은 여러 가지 문제점이 발생할 수 있다고 언급하였다. 풍동실험을 실시하여 개구부의 형태, 풍향, 풍속분포, 주변건물의 유무에 따라 환기회수가 크게 다르게 나타남을 확인

하였으며 기존 법규의 문제점을 지적하였다. Moon⁽⁶⁾은 드라이에어리어에 자연환기 성능을 평가하고자 추적가스법을 이용하여 실측을 수행하였다. 실측은 주차장의 개구부 유무에 따른 자연환기량 변화를 측정하였으며, 개구부가 없는 경우 공기교환율이 0.35 ACH, 개구부가 있는 경우 1.4 ACH로 나타나 공기교환이 더욱 촉진됨을 확인하였다. Park⁽⁷⁾은 자연환기구 위치와 형태에 따른 환기효율을 CFD 시뮬레이션을 통해 평가하였다. 분석 결과 환기구를 적정크기로 분산 배치하는 것이 외기도입 측면에서 유리하다고 밝히고 있다.

위의 지하주차장 환기에 관한 기존 연구를 살펴보면, 지하주차장의 실내 공기질 측정 및 환기효율에 관한 내용과 자연환기 시스템을 도입한 경우에도 환기 구동력으로 주로 풍력에 의존하는 시스템에 대해서만 검토하고 있다. 물론 자연환기의 경우, 그 구동력의 크기나 빈도측면에서 풍력환기가 주가 되는 것은 당연하나, 공동주택의 지하주차장의 경우는 주로 저층부에 위치하며, 자연환기탑이 단지 내 주동 또는 수목 등에 의해 차폐되어 환기 구동력이 풍력이 매우 약한 상황이다. 따라서 풍력환기만을 자연환기 구동력으로 산정하여 지하주차장의 자연환기시스템을 설계할 경우, 그 구동력이 미약하여 실제 환기가 원만하게 이루어지지 못하는 문제를 발생시킬 수 있다.

이에 본 연구에서는 지하주차장의 자연환기 시스템 설계의 기본이 되는 구동력으로 예를 들면 풍력환기가 기대하기 어려운 다소 불리한 상황 하에서도 지하주차장과 환기탑 상부와의 온도차에 의해 환기구동력을 확보할 수 있는 연돌효과를 기본으로 하는 자연환기시스템 설계법을 제안하고, 이를 바탕으로 실제 공동주택의 지하주차장을 대상으로 자연환기시스템을 설계하고, 시뮬레이션을 통해 비교적 외기조건이 불리한 여름철과 겨울철에 대한 자연환기 성능, 실내 공기질 개선효과 등을 검토하였다.

1.2 연구의 방법 및 절차

본 연구에서 지하주차장의 실내 공기질 개선을 위한 자연환기 설계 방안을 제시하기 위해 다음과 같은 순서로 연구를 진행하였다. 첫째, 지하주차장 공기환경 관련 국내 기준을 조사하였다. 둘째, 대상건물 지하주차장의 환기시스템 설치 상황, 자연환기를 기대할 수 있는 개구부 설치 상황을 분석하고 이를

개선할 수 있는 방안에 대해 검토하였다. 셋째, 자연환기 성능을 향상시킬 수 있는 장치 아이템의 설계방법을 제시하였다. 마지막으로 대상건물에 설계, 설치된 자연환기시스템의 환기성능, 즉, 실내 공기질 개선효과를 검토하였다.

본 연구에서 검토하고 있는 공동주택 지하주차장의 자연환기시스템은 실제 공동주택 단지를 대상으로 하여 도면 검토를 통해 설계되었으며, 현장상황을 고려하여 아이템 적용범위 및 수량을 정하였다. 지하주차장의 환기성능 평가를 위한 시뮬레이션은 CONTAMW를 이용하였다.

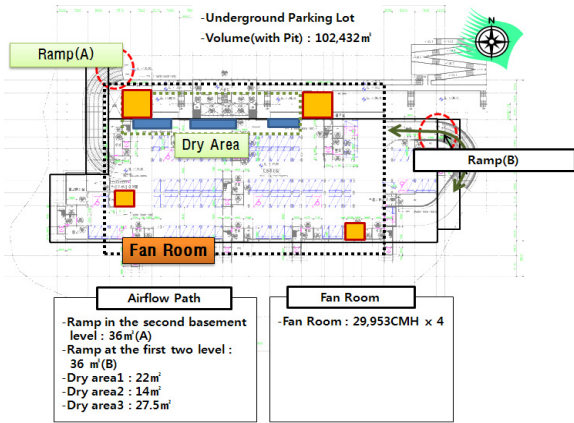
2. 실험장치 및 방법

2.1 지하주차장 공기환경 기준

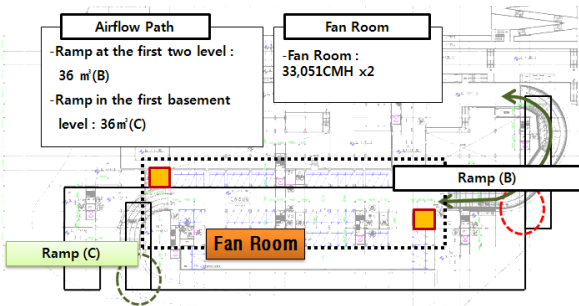
주차장법 시행규칙 개정령 제6조 7항에 따르면 일산화탄소를 기준으로 “주차장을 이용하는 차량이 가장 빈번한 시각의 전후 8시간의 평균치가 50 ppm 이하로 유지되어야 한다”고 규정하고 있다. 또한, 다중이용시설 등의 실내 공기질 관리법 제3조 제1항 제9호의 규정에 의한 실내 주차장은 일산화탄소 농도를 25 ppm 이하로 유지되어야 한다.

2.2 지하주차장 개요

본 연구에서 검토하고 있는 지하주차장은 경사지에 위치한 저층형 공동주택의 지하에 위치하며 지하 1층, 지하 2층으로 나뉘어져 있다. 주차장 내에서 차량의 이동경로는 북측면의 지하 2층의 램프로 된 출입구를 통해 지하 2층 주차장으로 이동할 수 있으며, 다시 동쪽에 위치한 램프를 통해 지하 2층에서 지하 1층으로 이동할 수 있다. 지하 1층은 남측에 설치된 소방램프를 통하여 지상과 연결되어 있고, Fig. 1에서 보이는 것과 같이 드라이 에어리어가 설치되어 있다. 지하주차장에는 지하 2층에 29,953 CMH 기계환기팬이 설치되어 있는 팬룸이 4개(급기팬 2개, 배기팬 2개), 지하 1층에 33,051 CMH 기계환기팬이 설치되어 있는 팬룸이 2개(급기팬 1개, 배기팬 1개)가 설치되어 있어서 기계환기를 가동한다면 지하주차장의 실내 공기질 법규기준이 아닌 CO농도를 20 ppm으로 운전될 수 있도록 설계되어 있다. Fig. 1은 지하주차장의 기존 설계 내용을 나타낸다.



(a) Second basement level parking lot



(b) First basement level parking lot

Fig. 1 Structure of underground parking lot and location of fan room.

2.3 자연환기성능 개선방안 상세

지하주차장의 자연환기 성능향상을 위한 개선방안을 Fig. 2에 나타내고 있다. 각 아이টে별 개요는 다음과 같다.

- 자연환기의 구동력(연돌효과)을 최대화 할 수 있는 구조물의 추가 : 입상덕트 설치
- 신선 외기가 출입 할 수 있으며 채광성능을 겸하고 있는 장치 설치 : 환기채광탑
- 지하 1층과 지하 2층 사이의 추가적인 공기유동경로 확보 : 통기구

지하주차장 환기효율 개선방안으로 추가 설치되는 입상덕트는 지중에 매립되어 저층형 공동주택 대지내 가장 높은 곳에 설치되며, 연돌 및 역연돌효과로 인한 자연환기의 구동력을 가지도록 한다. 입상덕트의 상세는 Fig. 3(a)와 같으며, 지하 1층과 지하 2층에 분기되어 연결된다.

입상덕트는 Fig. 3(a)와 같은 스펙으로 5개를 설치

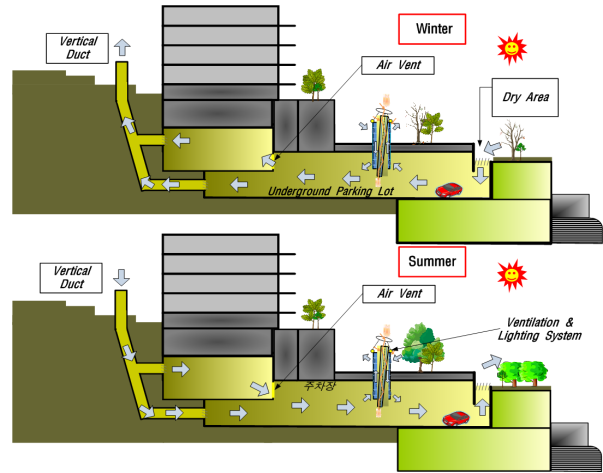


Fig. 2 Method to improve ventilation performance in the underground parking lot-concept of natural ventilation.

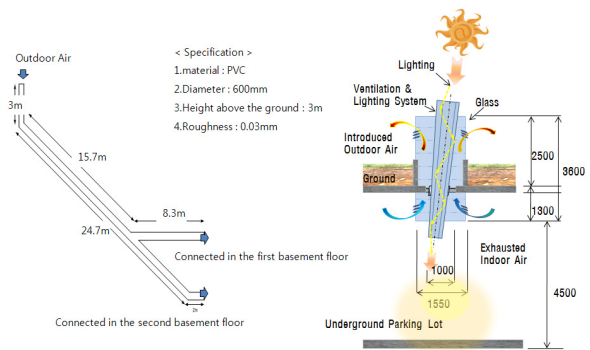


Fig. 3 Specification of ventilation vertical duct and ventilation and lighting system for natural ventilation.

하는 것으로 하였다. 5개중 4개소는 Fig. 3(a)와 같이 지하 1, 2층에 걸쳐 분기되도록 하였다. 또한 Fig. 3(b)의 환기채광탑을 지하 1층, 2층 주차장의 중앙부(차량이동경로)에 설치되어 신선 외기를 지하주차장에 공급하기도 하고, 오염된 공기의 주변에의 확산을 최소화하도록 배출시키는 기능을 한다. 더불어 자연채광을 통해 주차장 내 빛 환경 개선의 효과를 가진다.

Fig. 2에서 지하 1층과 지하 2층 사이에는 통기구를 설치하였다. 통기구는 지하 1층과 지하 2층 사이에 직접적인 공기유동경로 확보를 통하여 환기용 개구부가 상대적으로 적은 지하 1층의 환기성능을 보완하기 위함이다. 이 경우 통기구는 공기 및 배기 성능 향상 이외에도 지하 1층 또는 지하 2층을 거쳐서 유입되는 Used-Air의 환기경로를 짧게 하여

환기성능을 유리하게 한다.

Fig. 2에 지하주차장 자연환기개선안에 따른 계절별 환기개념을 보이고 있다. 겨울철의 경우, 입상덕트를 중심으로 발생하는 연돌현상에 의해 공기의 유동이 발생하여, 주차장 램프, 드라이 에어리어, 환기채광탑 등으로 유입된 신선외기가 지하주차장을 경유하여 입상덕트를 통해 배출된다. 여름철의 경우 역연돌 현상이 발생하여 겨울철과 반대의 공기유동이 발생한다.

2.4 연돌을 이용한 자연환기를 위한 입상덕트/ 환기채광탑 설계 개념

식(1)⁽⁸⁾은 관내공기유동 계산을 위한 베르누이방정식이다.

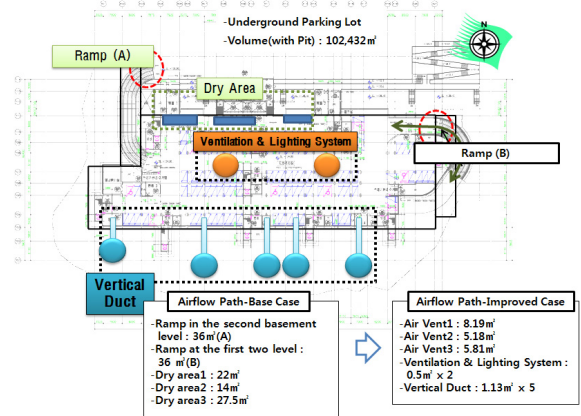
$$\Delta P = \left(P_j + \frac{\rho V_j^2}{2} \right) - \left(P_i + \frac{\rho V_i^2}{2} \right) + \rho g(z_j - z_i) \quad (1)$$

2.4.1 입상덕트

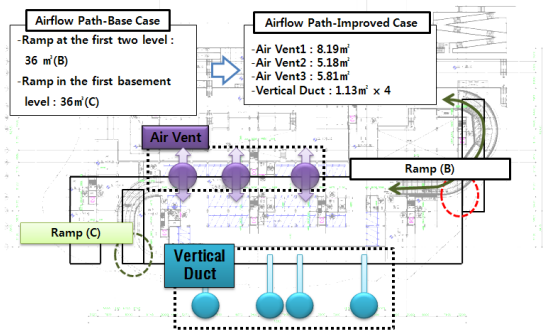
식(1)에서 바람의 영향이 미약한 공동주택 단지 내에 지하주차장 환기를 위해 입상덕트를 설치할 경우, 입상덕트의 높이나 사이즈를 결정하기 위한 환기구동력을 산출하기 위한 식으로 식(2)와 같이 바람에 의한 환기구동력이 부재한 상황을 기준으로 설계를 진행하였다. 이것은 매우 불리한 상황에서라도 환기가 가능하도록 입상덕트를 설계하기 위함이다. 식(2)⁽⁸⁾와 같이 수직덕트에서 연돌에 의해 발생하는 압력차는 덕트내부공기와 외부공기의 밀도차에 의해 발생하며 덕트의 높이($z_i - z_j$)가 증가할수록 환기구동력은 증가한다. 입상덕트의 입구부분은 지하주차장(존 j) 내부에 연결되어 있고 출구는 주차장 외부(존 i)에 연결되어 있기 때문에 절대압력 P_j 와 P_i 도 계산항에 고려된다. $\Delta P > 0$ 이면 연돌 방향, $\Delta P < 0$ 이면 역연돌 방향의 기류흐름이 발생한다.

$$\Delta P = P_j - P_i + \rho_d g(z_j - z_i) \quad (2)$$

식(3)~식(6)⁽⁸⁾에서 전체압력차는 덕트 내부를 흐르는 공기의 동압과 덕트 내부벽면에 저항으로 인한 압력손실로 변화하는데 전체 압력차(ΔP)에서 압력손실(ΔP_{loss})를 뺀 $(\rho_{duct} V_d^2)/2$ 가 실제 환기구동력이 된다. 그리고, ΔP_{loss} 는 덕트 내벽면저항으로 생기는 마찰저항손실과 덕트의 형상변화에 의해 생기는



(a) Second basement level parking lot



(b) First basement level parking lot

Fig. 4 Structure of underground parking lot and item to improve natural ventilation performance.

국부저항손실로 나뉜다.

$$\Delta P = \frac{\rho_d V_d^2}{2} + \Delta P_{loss} \quad (3)$$

$$\Delta P_{loss} = \Delta P_f + \Delta P_L \quad (4)$$

$$\Delta P_f = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho_d V_d^2}{2} \quad (5)$$

$$\Delta P_L = \zeta \cdot \frac{\rho_{duct} V_d^2}{2} \quad (6)$$

식(2)에서 입상덕트의 환기구동력은 ρ_d 와 P_j , P_i 로 결정되는데 덕트 내부공기의 온도가 환기구동력에 큰 영향을 미친다. 따라서, 겨울철의 경우 입상덕트가 지중과 열교환을 통해 덕트내부공기의 온도를 상승시키면 환기구동력이 증가하게 된다. 여름철에도 입상덕트가 지중열교환을 통해 덕트 내부공기의 온도를 하강시키면 아랫방향으로 환기구동력을 증가시킬 수 있다.

본 연구에서 연돌효과만으로 환기구동력을 가질 수 있는 환기탑의 설계는 기본설계안에서는 식(1)~식(6)의 기본원리를 이용하여 입상덕트 자체가 가지는 구동력을 통한 배기량을 계산하였으며 실내외온도차 약 10℃인 조건에서 지하주차장의 필요환기량 33,472 CMH를 기준으로 배기량을 충족시키도록 입상덕트를 설계하였다. 관경 1 m를 기준으로 높이 20 m, 4개의 입상덕트를 제안하였으나 현장 상황을 고려하여 최종 직경 0.6 m, 입상덕트 설치 개수는 5개로 조정하였다. 이 현장 적용설계안은 시뮬레이션을 통해 바람이 없는 상황에서 연돌효과만으로 환기를 유발하는 것을 확인하였다. 세부적인 입상덕트 설치 위치는 현장에서 구조적문제를 함께 검토하여 정하였으며 환기구동력을 위해 입상덕트 높이를 가능한 높게 하는 것이 유리하지만, 외관상 문제를 이유로 지상으로 돌출된 높이를 3 m 이내로 제한하게 되었다.

2.4.2 환기채광탑

환기채광탑의 환기구동력(식(7))⁽⁹⁾은 연돌에 의한 압력차와 바람에 의한 동압력(Pw)⁽¹⁰⁾이 결합되어 나타난다. 겨울철에 연돌 효과와 바람에 의해 환기채광탑 출구에 부압(Pw < 0)이 발생되면 환기구동력이 증가된다. 반대로, 여름철에 역연돌에 의한 압력차와 바람에 의한 압력은 상쇄될 수 있다. 환기채광탑은 입상덕트와는 달리 연돌 효과가 발생하면 구동력을 이용하지만 연돌 효과가 발생하지 않는 경우라도 바람에 의한 공기의 유입과 유출을 통한 환기를 목적으로 설치되었다.

$$\Delta P = P_j - P_i + \rho_d g(z_j - z_i) - P_W \quad (7)$$

$$P_W = C_P \cdot \frac{\rho_{out} V_{wind}^2}{2} \quad (8)$$

2.4.3 통기구

개구부가 직렬로 연결된 경우에 중간에 위치한 A₂의 개구부 면적을 크게 하면 전체 유효개구부 면적을 증가시키고 전체적인 환기성능을 향상시킬 수 있다. 그리고 환기효율이 나쁜 위치에 환기경로를 선택하면 불리했던 위치의 환기효율이 개선된다.

$$\alpha A = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{\alpha_1 A_1}\right)^2 + \left(\frac{1}{\alpha_2 A_2}\right)^2 + \left(\frac{1}{\alpha_3 A_3}\right)^2}} \quad (9)$$

본 연구에서 대상으로 진행한 주차장의 경우, 지

하 1층 주차장과 지하 2층 주차장과의 공기이동경로가 긴 편에 속한다. 겨울철에 지하 2층으로 유입된 신선외기가 직접 지하 1층으로 이동할 수 있도록 통기구를 설치하였다. 자연환기 개선안은 Fig. 4에 나타나 있다.

3. 시뮬레이션 개요

3.1 시뮬레이션 모델링

입상덕트, 환기채광탑, 통기구 각각에 대해 환기구동력을 갖거나 환기성능을 향상시킬 수 있는 기본원리를 가지고 설계를 진행하였으나 각 아이템이 지하주차장에 적용되었을 때 전체적인 유입량 및 유출량에 대한 부분은 시뮬레이션을 통한 종합적인 검토가 필요하다. 따라서 지하주차장의 기본계획안에 대해 자연환기를 추가한 개선안을 적용하였을 경우의 실내공기질 개선 효과를 분석하기 위해 CONTAMW 네트워크 시뮬레이션 프로그램을 사용하였다. 각 계절별로 기본안과 개선안의 환기량과 오염물질분포에 대한 환기효율을 비교 검토하였다. 특히 환기효율에 대해 알아보기 위해 내부 공간을 6~8대 정도 크기의 주차구획에 맞추어 Fig. 5와 같이 Zoning하여 모델링하였고, 주차구획 부분에서 오염물질을 발생시켜 그 분포를 통해 지하주차장내 공기유동에 따른 실내공기질 개선 효과를 평가하였다.

3.2 시뮬레이션 조건

시뮬레이션에 사용된 기상조건은 대상지역의 2008년 기상 데이터를 사용하였으며, 1월 평균과 8월 평균값을 각각 겨울철과 여름철을 대표하는 값으로서

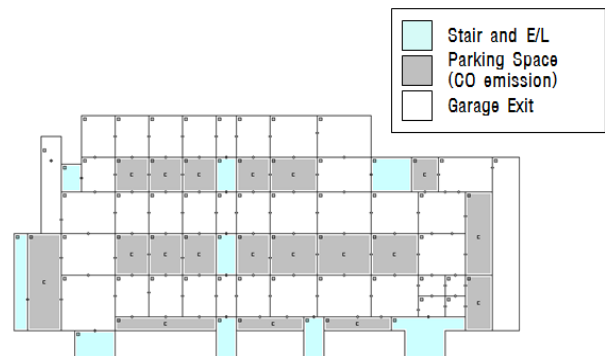


Fig. 5 Evaluation of ventilation rate and ventilation efficiency using CONTAMW.

사용하였다. 여름철 실내온도는 기존 문헌⁽³⁾을 참고하여 오전에 주차장 온도가 외기온도보다 낮은 조건으로 가정하였다. 겨울철 실내온도는 겨울철 아파트 지하주차장 실측온도⁽¹¹⁾를 참고하여 정하였다. 오염물질로는 주차장의 환기관련 기준농도로 정의하고 있는 일산화탄소(CO)를 발생시켰으며 농도분포를 산정하기 위한 입력조건은 Table 1과 같다. 각 층에서 발생하는 CO는 주차구획에서의 주차대수에 비례하여 일정하게 발생하도록 설정하였다. 자연환기시스템의 압력손실을 계산하기 위해 입상덕트의 재질은 PVC관을 기준으로 하고 조도값은 0.03 mm로 설정하였다.

3.3 시뮬레이션 케이스

Table 2에 시뮬레이션 케이스를 정리하였다. 시뮬레이션 Case는 겨울철, 여름철로 구분되며 각 계절별로 기본안과 입상덕트, 환기채광탑 지하 1층 및 지하 2층을 연결하는 환기경로인 통기구를 설치한 개선안으로 구분된다. 개선안은 다시 통기구 개폐조건에 따라 모든 통기구가 개방된 조건과 램프에서 가까운 통기구를 폐쇄하는 조건으로 구분하였다.

Table 1 Simulation condition

Weather Condition			Estimating CO Concentration		
			B2	B1	
Winter	Summer	Area	6,420 m ²	4,041 m ²	
		Volume	42,372 m ³	28,287 m ³	
Outdoor Temp. (°C)	-1.65	26.5	Parking Number	110	61
Under-ground Parking lot Temp. (°C)	10	20	Length of Driving	150 m	90 m
			CO Generation	1.1232 CMH	0.4378 CMH

Table 2 Simulation case

Items for Ventilation		Season	
		Winter	Summer
Base Case	Ramp, Dry Area	Case1-1	Case2-1
Improved Case	Base Case + Ventilation and Lighting System, Vertical Duct, Air Vent	Air Vent Open Case1-2	Case2-2
	Air Vent Close	Case1-3	Case2-3

4. 시뮬레이션 결과

기본안에 대한 개선안의 자연환기성능 개선여부를 각각에 대한 환기량과 환기효율을 이용하여 평가하였다. 1차적으로는 층별 외기도입량과 Used-Air를 포함한 총 환기량을 통해 환기성능을 검토하였으며 2차적으로는 오염물질 농도분포에 근거한 환기효율 개선효과를 검토하였다.

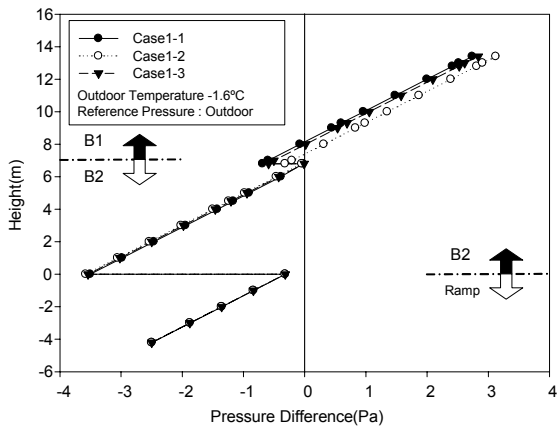
4.1 압력차

Fig. 6은 각각 겨울철과 여름철의 케이스 별 지하주차장 내 실내외압력차를 나타낸다. Fig. 6(a)는 겨울철로 실내외 압력차가 0이 되는 중성대를 기준으로 지하 2층은 외기보다 압력이 낮고, 지하 1층은 외기보다 압력이 높게 나타난다. 중성대는 지하 2층과 지하 1층 사이에서 나타나며 이는 램프의 개구부 면적이 다른 기타 개구부에 비해 크고 지하 2층과 지하 1층에 각각 위치하면서 공기유입과 유출이 발생하였기 때문인 것으로 판단된다. 개선안에서 입상덕트의 설치 후 실내공기가 배기됨에 따라 지하주차장의 중성대 상승에 의해 중성대 하부에 위치한 개구부의 압력차가 증가할 것으로 예상하였으나 케이스 별로 압력차 및 중성대 이동 변화는 크지 않았으며 이는 램프 및 드라이 에어리어에서의 개구부 면적이 커서 공기유동량이 크기 때문인 것으로 판단된다.

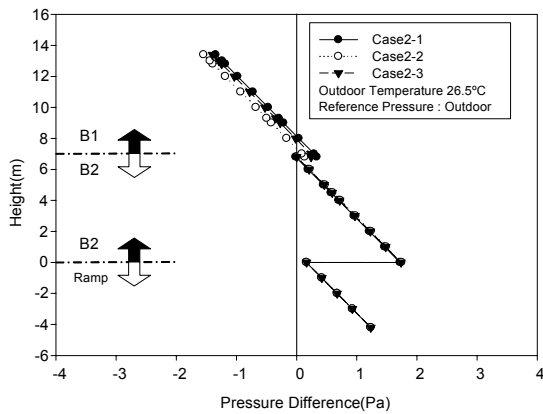
그러나 기본안에 비해 개선안(Case1-2)에서 통기구 설치 후 지하 2층과 지하 1층간에 층간 압력차가 감소하게 되어 지하 1층과 외기간 압력차가 약간 증가하였으며 이를 통해 외벽을 통한 공기 이동량은 증가될 것으로 판단된다. Fig. 6(b)는 여름철 실내외 압력차를 보이고 있으며 겨울철 실내외압력차 특성과는 반대의 경향을 보이고 있어서 중성대를 기준으로 지하 2층은 외기보다 압력이 높고, 지하 1층은 외기보다 압력이 낮게 나타난다.

4.2 환기량

Table 3은 각 케이스 별 총공기유입량, Used-Air 유입량, 순수외기량을 나타낸다. 주차장 기본안 대비 개선안을 계절별로 환기량 차이를 검토한 결과 겨울철의 경우 기본안보다 개선안에서 환기량(총공기유입량)이 각 층별로 약 21~41% 증가하였으며



(a) Winter-pressure difference in exterior wall



(b) Summer-pressure difference in exterior wall

Fig. 6 Pressure difference in underground parking lot.

여름철의 경우 기본안 대비 개선안의 환기량이 약 7~32% 가량 증가하였다.

개선안에서는 층간 통기구를 개방한 Case1-2, Case 2-2에서 통기구 일부가 닫혀있는 Case1-3, Case2-3에 비해 환기량이 지하 1층에서는 겨울철 7.93%, 여름철 10.8% 지하 2층에서는 겨울철 15.9%, 여름철 20.98% 증가하였다. 상기의 결과로부터, 기본안 대비 개선안에서는 입상덕트 및 지하 1층과 지하 2층간의 통기구 등의 설치로 인해 자연환기가 촉진된 것으로 판단된다. 겨울철의 경우 지하 1층에서는 환기 채광탑으로, 그리고 여름철의 경우 지하 2층에서는 입상덕트를 이용하여 순수외기도입 촉진을 계획하였으나, 각층의 램프의 개구부의 규격에 따른 영향도가 커서 계획대로의 순수외기도입 촉진은 실행되지 않았다. 즉, 계획적인 환기경로 확보를 위해서는 각 개구부 간의 상대적 크기를 고려한 대상건물의 압력분포조정이 필요한 것으로 판단된다.

Table 4는 각 개구부의 세부 공기유출입량을 나타낸다. 겨울철에 개선안에서 계획상 환기채광탑에서 유입, 입상덕트에서 배기되도록 계획하였으나 입상덕트와 환기채광탑에서 모두 배기가 발생되었다. 그러나 기본안에 비해 개선안에서 드라이에어리어와 램프를 통한 외기유입량이 증가한 것을 확인할 수 있다. 여름철은 개선안에서 입상덕트를 통해 외기가 유입되었으며 환기채광탑과 드라이 에어리어를 통해 실내공기가 배기되었다.

Table 3 Result-ventilation rate

Season	Case	Location	Total Air Flor Rate (CMH)	Used-Air Rate (CMH)	Outdoor Air Rate (CMH)	Ventilation Growth Rate (%)
Winter	Case1-1 (Base)	B1	59,829	59,829	0	-
		B2	72,293	0	72,293	-
	Case1-2	B1	78,558	78,558	0	31.30
		B2	102,387	0	102,387	41.62
	Case1-3	B1	72,783	72,783	0	21.65
		B2	88,309	0	88,309	22.15
Summer	Case2-1 (Base)	B1	41,133	0	41,133	-
		B2	49,523	41,133	8,390	-
	Case2-2	B1	54,599	0	54,599	32.73
		B2	59,027	54,599	4,428	19.19
	Case2-3	B1	45,128	0	45,128	9.71
		B2	53,297	45,128	8,169	7.62

Table 4 Result-airflow rate of each opening

Season	Case	Supply/Exhaust	Vertical Duct (CMH)	Ventilation and Lighting System (CMH)	Dry Area (CMH)	Ramp (%)
Winter	Case1-1	S	-	-	9,158.6	63,134.2
		E	-	-	12,461	59,831.4
	Case1-2	S	0	0	38,618.5	63,770.6
		E	19,275.9	4,554.3	0	78,558.6
	Case1-3	S	0	0	24,889.4	63,420.3
		E	18,508.5	4,814.6	537.7	64,449.0
Summer	Case2-1	S	-	-	8,391.7	41,134.2
		E	-	-	6,194.9	43,331.1
	Case2-2	S	8,108.4	0	0	50,969.1
		E	0	1,839.2	16,695.7	40,542.6
	Case2-3	S	10,225.5	0	2,978.7	41,987.7
		E	0	1,825.1	12,944.6	40,422.6

4.3 지하주차장 CO 농도분포

Table 5에 각 케이스별 및 층별 평균 CO농도를 나타내며, Fig. 7 및 Fig. 8은 각 계절별 CO농도 분포를 나타낸다. 표 및 그림에서 계절별 공기유동 특성에 의해 겨울철에는 대부분의 순수외기가 도입되는 지하 2층의 농도가 그리고 여름철에는 지하 1층의 농도가 낮게 나타나고 있다. Table 5의 계절별 CO농도 변화특성을 Table 3과 아울러서 볼 때, 겨울철에는 기본안(Case1-1), 개선안(Case1-2), 개선안(Case1-3) 순으로 CO농도가 낮아지고 있다. 그리고 여름철에는 개선안(Case2-2)가 기본안(Case2-1)보다 약간 높게 나타나고 있으며 개선안(Case2-3)에서는 CO농도가 감소된 것으로 나타났다.

Table 5 Result-CO concentration

Case	Location	Average CO	Case	Location	Average CO
		Concentration (ppm)			Concentration (ppm)
Case1-1 (Base)	B1 floor	24.70	Case2-1 (Base)	B1 floor	11.92
	B2 floor	15.23		B2 floor	33.23
Case1-2	B1 floor	20.38	Case2-2	B1 floor	12.97
	B2 floor	13.06		B2 floor	33.59
Case1-3	B1 floor	19.29	Case2-3	B1 floor	11.05
	B2 floor	11.52		B2 floor	29.78

개선안 1(Case1-2, Case2-2)과 개선안2(Case1-3, Case2-3)를 비교하면, 개선안 1이 모든 통기구가 개방되어 환기량 등이 더욱 큰 값을 가짐에도 불구하고 각 계절별로 지하 2층과 지하 1층 간의 통기구를 모두 개방하는 경우보다도 통기구의 일부만을 개방한 조건에서의 CO농도가 낮게 나타난 것을 알 수 있다. 이는 통기구가 외기측 램프에 가깝게 위치하는 경우에는 통기구와 램프 간에 Short-Circuit이 발생하여 도입외기에 의한 충분한 오염물질희석이 어려워지기 때문이며, 이것은 Fig. 7 및 Fig. 8의 CO농도 분포에서도 확인이 가능하다. 통기구는 지하 1층과 지하 2층 사이에 직접적인 공기유동경로를 확보하여 Used-Air 이동을 통한 환기성능의 향상이 목적이나, Short-Circuit에 의한 2차 문제가 발생할 수 있다. 따라서 이러한 특성을 고려하여 통기구의 설정위치를 결정하는 것이 중요한 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 지하주차장의 자연환기시스템 설계의 기본이 되는 구동력으로 예를 들면 풍력환기가 기대하기 어려운 다소 불리한 상황에서도 지하주차장과 환기탑 상부와의 온도차에 의해 환기구동력을 확보할 수 있는 연돌효과를 기본으로 하는 자연환기시스템 설계법을 제안하고, 이를 바탕으로 실

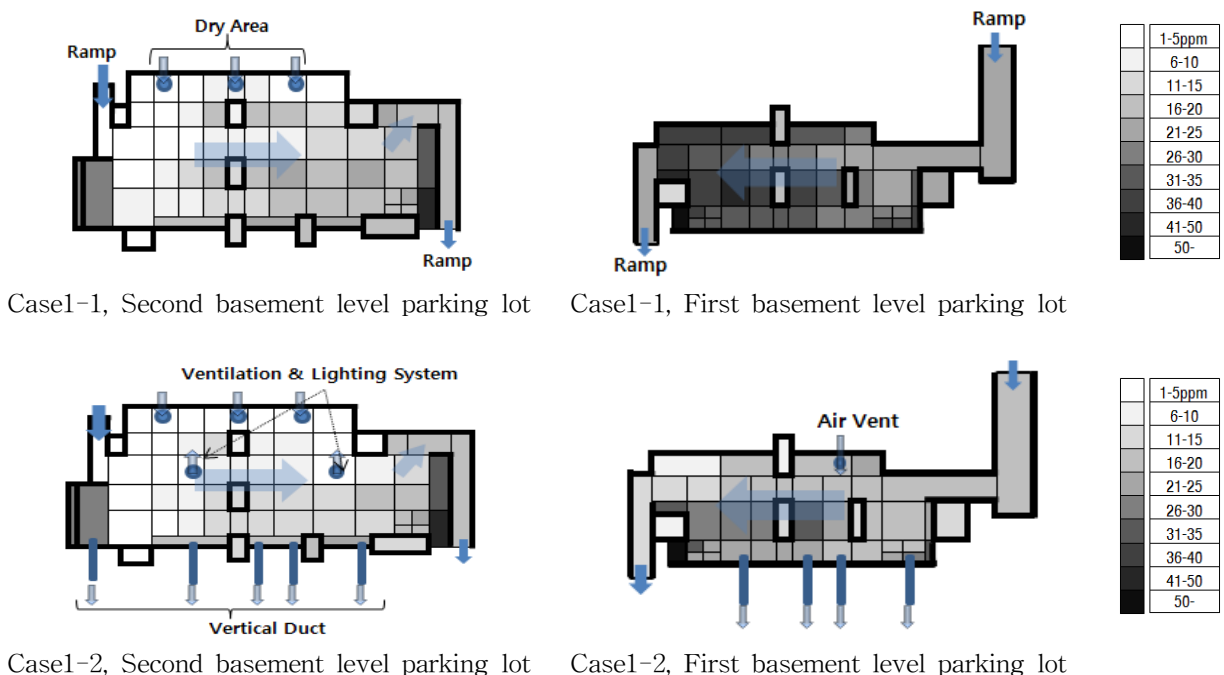


Fig. 7 CO concentration distribution in winter(criteria 50 ppm).

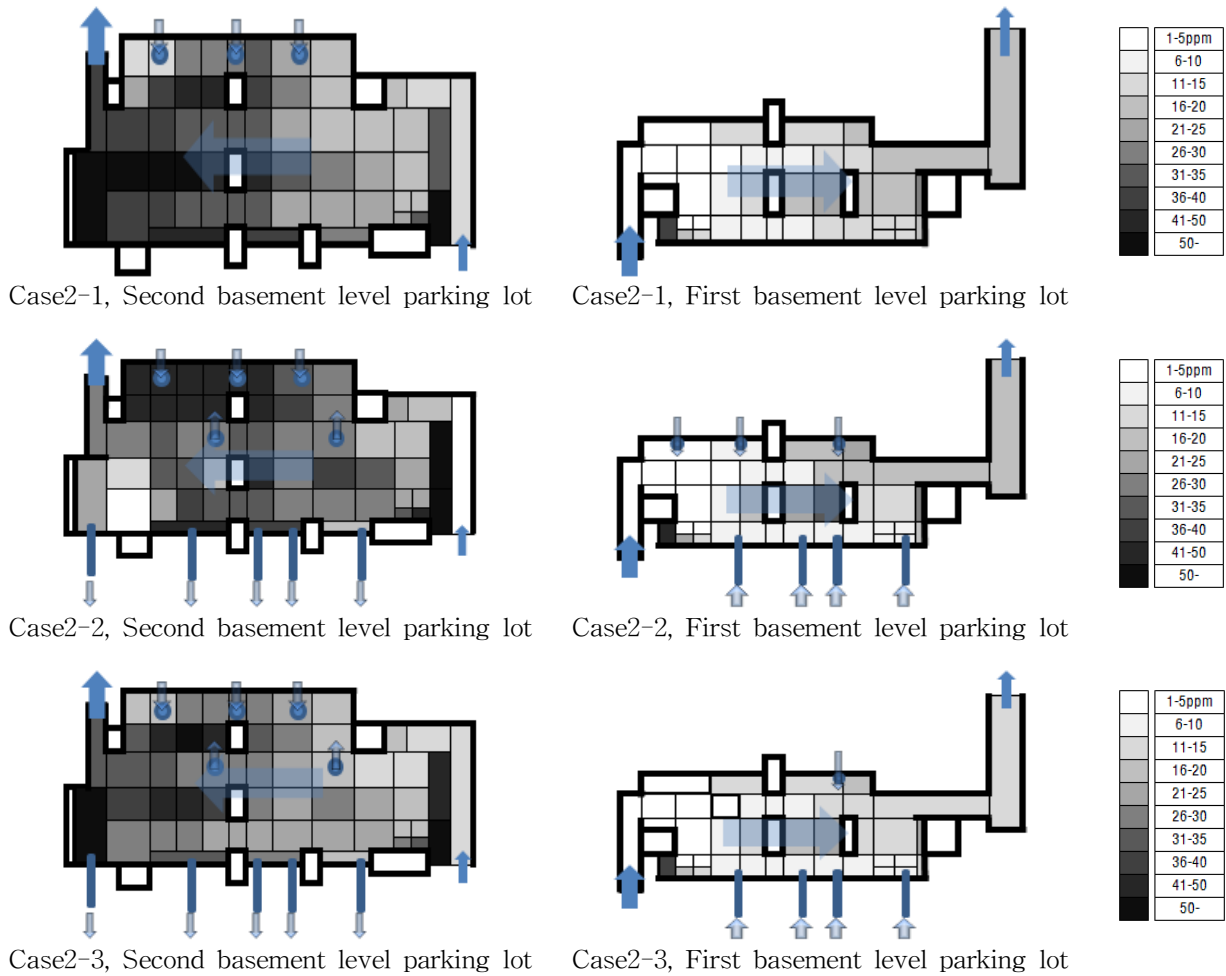


Fig. 8 CO concentration distribution in summer(criteria 50 ppm).

제 공동주택의 지하주차장을 대상으로 자연환기시스템을 설계하고, 시뮬레이션을 통해 비교적 외기조건이 불리한 여름철과 겨울철에 대한 자연환기 성능, 실내 공기질 개선효과 등을 검토하였다.

자연환기시스템 설치에 입상덕트 5개를 지하 1층, 2층에 분기하도록 설치하고 환기채광탑을 지하 2층 중앙부 2곳에 설치하였으며 지하 1층과 지하 2층 사이에 공기이동을 위한 통기구를 설치하였다.

시뮬레이션 결과, 기본적으로 계절별 연돌과 역연돌의 압력분포 특성을 확인하였으며 계절별 기류방향을 이용한 본 시스템의 적용가능성을 확인하였다. 자연환기시스템 설치에 따른 환기성능 개선효과는 기존의 자연환기 성능보다 겨울철에는 약 22~40%, 여름철에는 9~32%의 추가적인 환기량을 확보할 수 있음을 확인하였다. CO농도는 겨울철에 약 18%, 여름철에 약 15% 정도 감소하였다.

지하주차장에 자연환기시스템을 적용할 때 주의할 사항으로 효율적인 자연환기 성능 향상을 위해

서는 각 개구부의 면적 및 분포에 따른 지하주차장의 압력분포 특성을 고려할 필요가 있으며, 공기유동특성을 고려한 자연환기 보조장치의 적절한 설치개소 설정이 필요한 것으로 판단된다.

공동주택 지하주차장에는 오염농도를 저감시킬 만한 충분한 용량의 팬룸이 설치되어 있더라도, 높은 에너지 비용부담으로 인해 실제 가동은 오염농도가 높은 일부 출퇴근시간에 그치고 있어, 자연구동력을 이용한 환기시스템을 통해 팬 가동시간 이외에도 자연환기성능 향상을 통해 공기환경을 개선시킬 수 있다는 점은 자연구동력이 필요한 지하주차장에 유용할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부 우수연구센터 육성사업인 한양대학교 친환경 건축 연구센터의 지원으로 수행되었음(R11-2005-056-02004-0).

참고문헌

1. World Health Organization, 1979, Carbon monoxide, Environmental health criteria 13, Geneva.
2. American Society of Heating, Ventilation and Air-conditioning Engineers, 1979, Application Handbook, Enclosed vehicular facilities.
3. Kim, J. K., Park, B. Y. and Choi, J. W., 1997, Improvement of Ventilation Methods for the Underground Parking Garages in Apartments : On the Actual Conditon of Ventilation Methods, KICT.
4. Hwang, I. H., Park, B. Y. and Sohn, J. Y., 1997, The Effect of Ventilation Schemes on the Ventilation Efficiency of Underground Parking Lots for Apartment Buildings, Korean Journal of the AIK, Vol. 17, No. 2. pp. 687-692.
5. Kim, Y. D. and Cho, M. Y., 2000, A Experimental Study on Natural Ventilation of Underground Parking Lots of Apartment Buildings, Journal of the Wind Engineering Institute of Korea, Vol. 4, No. 2, pp. 165-173.
6. Moon, J. H., Park, M. S., Cha, K. S., and Lee, J. H., 2000, Measurement of Air Change Rate in an Underground Parking Lot with Natural Ventilation by Tracer Gas Method, Proceedings of the SAREK, pp. 479-483.
7. Park, S. W., Cho, S. W. and Lee, K. H., 2009, The Study on the Ventilation Performance by Location and Type of Natural Ventilator in Parking Lot, J. Korean Soc. Living Environ. Sys., Vol. 16, No. 3. pp. 254-260.
8. ASHRAE, 2005, HandbookFundamentals(SI) : Duct Design, Atlanta, USA.
9. NIST, 2006, CONTAM and Program Doumentation. Department of Commerce.
10. ASHRAE, 2005, HandbookFundamentals(SI) : Airflow Around Buildings, Atlanta, USA.
11. Yoon, S. M., Seo, J. M., Lee, J. H., and Song, D. S., 2010, A Study on the Pressure Distribution in High-rise Residential Building, Proceedings of the SAREK, pp. 413-419.
12. Chow, W. K., 1996, Simulation of Carbon Monoxide Level in Enclosed Car Parks Using an Air Flow Network Program, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 10, No. 2, pp. 237-240.