

기능성 모듈이 적용된 천장 매립식 냉난방 유닛의 유동특성 평가에 관한 연구

이 홍 철^{*†}, 황 인 주^{*}

^{*}한국건설기술연구원 화재 및 설비연구부

A Study on the Evaluation of Flow Characteristics of Heating and Cooling Unit Installed within Ceiling with Functional Modules.

Hong-Cheol Lee^{*†}, In-Ju Hwang^{*}

ABSTRACT: In this study, an experimental and numerical analysis on the flow characteristics of heating and cooling unit installed within ceiling with functional modules was carried out. And the flow characteristics of the heating and cooling unit was investigated with the main parameters such as each filter and inside structure. The experimental results show the possibility of medium filter application. And the numerical results show that the effect of improved inside structure of heating-cooling and air-conditioning unit on flow distribution.

Key words: Heating and cooling unit(냉난방 유닛), Air Filter(공기필터), Inside structure(내부구조)

기 호 설 명

- A : 공기연령, sec
- P : 압력, Pa
- Q : 풍량, m³/sec
- Var : 분산
- v : 풍속, m/sec
- ρ : 밀도, kg/m³
- τ : 전단응력, Pa

1. 서 론

실내공기 오염문제는 1960년대 중반 이후 유럽 및 미국에서 대기 오염물질 측정에 준한 실내 오염농도를 측정하면서 중요 연구과제로 등장하였

으며, 국내에서도 1980년대 초반 실내 공기 오염 문제가 제기되었다.

실제로 현대인들은 하루 중 80% 이상을 가정, 일반 사무실, 실내 작업장, 공공건물, 지하시설물, 상가, 음식점, 자동차, 지하철 등 실내에서 생활하고 있어 실내 오염물질에 의한 인체 영향 평가 및 제어가 중요시 되고 있다.

지하공간은 최근 교통시설, 상업시설, 오락시설, 지하식당 등으로 다양하게 이용되고 있어 많은 사람들이 생활하고 있으며, 여러 가지 유해물질의 발생, 축적 가능성에 비하여 외부와의 공기 순환이 잘 이루어지지 않고 있다는 점에서 유해물질과 미생물에 의한 위생이 중요하게 다루어지고 있다.

우리나라에서는 다중이용시설의 실내 공기질 관리법에 의하여 미세먼지, 이산화탄소, 포름알데히드, 총 부유세균, 일산화탄소 등에 관한 기준을 제정하여 관리하고 있으며, 지하생활공간의 오염도에 관한 연구도 활발히 진행되어지고 있다.⁽¹⁻³⁾

하절기 냉방부하가 주를 이루고 있는 지하시설

†Corresponding author

Tel.: +82-31-369-0514; fax: +82-31-369-0540

E-mail address: hclee@kict.re.kr

의 경우 냉방 공급 덕트 내부의 습기 등에 의한 미생물 번식 등의 예상에도 불구하고 실내 환경 개선을 위한 설비 방식의 개선이 이루어지지 않고 있다.

또한, 지하도 상가와 같이 장대 구조물의 경우 전공기 방식의 공조시스템을 적용하는 것은 공간 활용, 에너지 이용 측면에서 바람직하지 않다.

이에 본 연구에서는 지하도 상가의 적용을 목적으로 에너지의 배출저감 및 실내 공기질 확보를 위한 기능성 천장 매립형 공조기 적용을 제안하였으며, 실험적, 수치적인 방법을 통하여 그 적용성을 검증하였다.

2. 실험장치 및 방법

대부분의 지하도 상가는 전공기 방식의 공조시스템을 제연 및 배연시스템과 연동하여 운전하고 있다.

급기(SA)와 환기(RA) 차에 의한 실내 오염물질의 배출 형태의 공조시스템이 적용되어 있으며, 부직포 등을 이용한 프리필터 수준의 단순 여과 필터를 제외한, 미세먼지의 포집, 살균을 위한 시설이 전무한 실정이다.

비록 부유세균 등의 경우 관련법(다중이용시설의 실내공기질 관리법) 상의 규제 대상은 아니지만 미생물의 번식이 왕성한 하절기에 냉방부하가 주를 이루고 있는 지하도 상가 공조시스템의 냉난방 덕트의 경우 세균과 곰팡이 번식 최적 조건으로 최근 이에 대한 대응 및 위생 관리 문제가 제기되어지고 있다.⁽⁴⁻⁵⁾

이에 본 연구에서는 Fig. 1에 도시하고 있는 개별 상가 천장 매립식 공조 유닛을 적용한 지하도상가 공조시스템을 제안하였으며, 제안 시스템 중 천장 매립식 공조 유닛의 공조 필터 및 자외선 살균 램프의 적용을 위한 최적 구조를 도출하고자 하였다.

2.1 실험장치

지하도 상가에 개별 냉난방 공조유닛의 적용시 외기 도입량 감도에 따라 추가 공기질 확보를 위하여 실내 공조 유닛의 공기 처리 기능이 부가적으로 필요하게 된다.

이에 Fig. 2에 도시하고 있는 시뮬레이터를 제

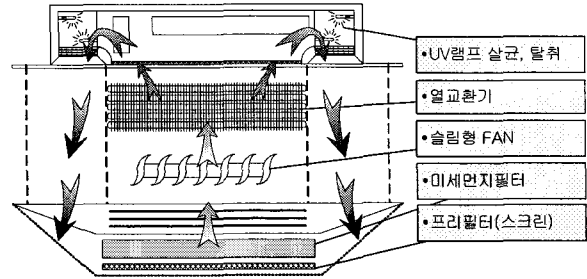


Fig. 1 The concept diagram of heating-cooling unit with functional modules.

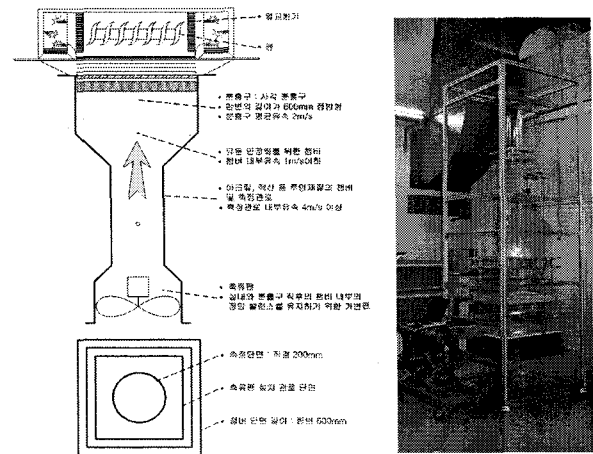


Fig. 2 The schematic diagram for fluid dynamic test of heating-cooling unit.

작하여 추가적 공기 필터의 적용에 따른 차압 특성을 검토하였다.

추가적 공기 필터 적용에 따른 유동특성 평가를 위하여 온도, 습도, 압력, 풍속 등의 센서를 연결하여 1 sample/sec 간격으로 기록 가능한 DeltaOHM사의 DO9847 다기능 측정기를 이용하였으며, 절연 RS-232C 통신을 이용하여 노트북과 연계하여 측정 결과의 현장 확인 및 저장된 데이터를 분석할 수 있도록 하였다.

풍속 측정을 위하여 0~40 m/s 범위에서 0.01 m/s 단위의 측정이 가능하고 주 측정범위 1~10 m/s에서 ± 0.2 m/s의 정밀도를 갖는 DeltaOHM사의 AP471S1 열선풍속계를 이용하였으며, 필터 및 송풍팬 전후의 차압 측정을 위하여 500 Pa 범위에서 0.01 Pa 단위의 측정이 가능하고 주 측정범위에서 0.5%의 정밀도를 갖는 DeltaOHM사의 PP473 차압계를 이용하였다.

2.2 적용변수 및 측정방법

기존 천정 매립식 냉난방 유닛의 경우 냉난방 위주의 시스템으로서 스크린 형태의 프리필터를 적용하고 있다.

본 연구에서는 5 mm, 10 mm glass fiber 재질의 프리필터 및 75 mm, 150 mm glass fiber 재질의 미디엄필터 적용에 따른 유동평가를 실시하였으며, 필터 적용에 따른 차압 특성을 기존 공조기 송풍 팬의 풍압과 비교하여 그 적용성을 평가하였다.

풍량(풍속)의 측정을 위하여 축소 단면 측 방향 속도를 KS6311에 따라 측정하였으며, 공조기 송풍 팬 및 공조 필터 전후에 정압 튜브를 설치하여 차압을 측정하였다.

3. 수치해석 모델

지하 환경에서의 미생물 증식 속도는 주위 환경에 매우 유동적이나, 레이오넬라균 등은 그 증식속도가 매우 빠르고, 자외선 살균 장치의 경우 공조기에 비하여 고가의 시설로서 자외선 장치의 적용 효과를 극대화 할 필요가 있다.

이에 2차원 수치해석을 통하여 공조기 내부 균일한 기류 분포 및 토출부 공기연령을 비교하여 자외선 조사시간 확보가 가능한 공조기 내부 구조를 도출하고자 하였다.

3.1 지배방정식 및 경계조건

Fig. 3은 지하도 상가 천장 매립형 기능성 공

조기의 해석 모델로서 열교환기 이후 토출부까지의 2차원 모델을 가정하였다.

Cases 01~06의 경우 유동 교란에 의한 내부 공기연령 확보를 위하여 유동에 수직한 격벽 설치한 모델을 도시한 그림이며, cases 07~14의 경우 내부 균일한 유동장의 확보를 위하여 유선 형태의 격벽을 설치한 모델로서 각각 격벽의 설치 위치, 크기 변화에 따른 유동장 분석을 실시하였다.

천장 매립형 기능성 공조기 내부 유동특성을 분석하기 위하여 정상상태, 난류유동을 가정하였으며, 다음과 같이 이상기체 상태방정식, 연속방정식, 운동량방정식을 적용하였다.

실제 천정 매립형 공조기를 참고하여 입구에 8 Pa의 정압 입구 조건을 적용하였으며, 토출구에 대기압 토출 조건을 적용하였다.

연속방정식 :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m$$

운동량방정식 :

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\bar{\tau}) + \vec{F}$$

$$\bar{\tau} = \mu \left[(\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{v} I \right]$$

3.2 해석방법

주요 지배방정식은 3차원 격자계에 대하여 유

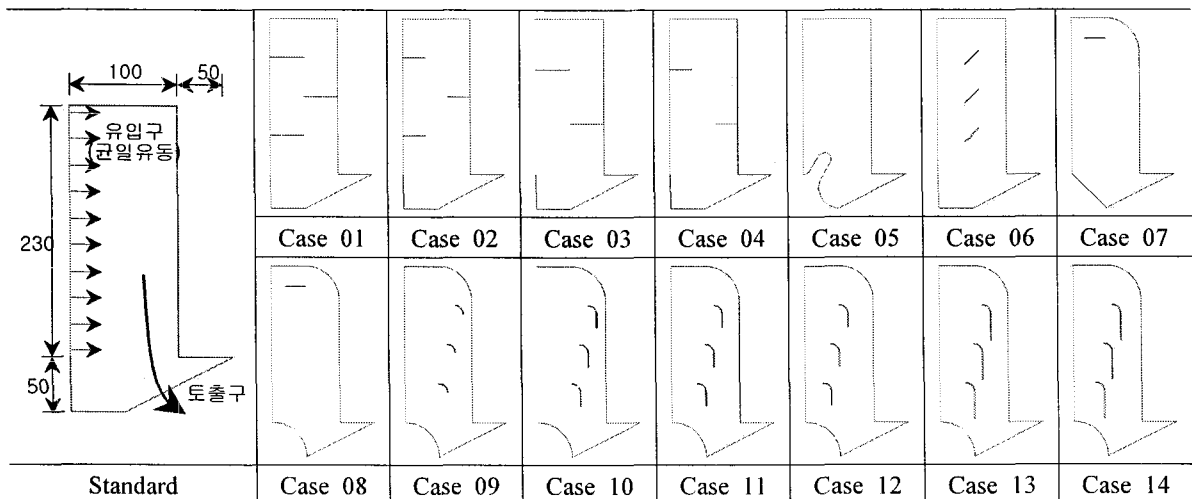


Fig. 3 The analysis model for flow characteristics of heating-cooling unit.

한체적법(finite volume method)을 이용하여 이산화(discretization)하였으며, 압력장을 구하기 위하여 SIMPLE(semi implicit method for pressure linked equation)기법을 적용하였다.

일반적으로 SIMPLE기법은 수치해석에서 압력장을 구하기 위하여 도입되는 기법으로서 연속방정식과 운동량방정식을 조합하여 압력 수정방정식을 유도하며, 이렇게 유도된 방정식을 반복적으로 계산하여 정확한 압력장을 구한다.

난류 유동을 고려하기 위하여 일반적으로 적용되고 있는 k-epsilon equation을 적용하였으며, 비교적 경계조건이나 격자수 등에 영향을 덜 받는 내재적인 기법(implicit scheme)을 적용하였다.

또한 확산 및 대류항의 처리를 위하여 1계 상류도식(first order upwind scheme)을 사용하였으며, 벽면에서는 점착(no-slip) 조건을 모든 벽면에 적용하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 공기필터 적용에 따른 영향

Figs. 4와 5는 기능성 공조기 내부 유동특성을 분석 결과로서 적용 필터에 따른 차압특성 및 송풍량을 도시하고 있다.

Fig.4에서 각 필터의 적용에 따른 필터 전후의 압력 강하 특성을 송풍 팬 토출압과 비교하여 도시하였으며, 각 필터의 설치에 따른 차압특성은 각 운전단계에서의 송풍압 22.3 ~ 42.0 Pa에 비하여 10 ~ 43% 수준으로 나타났다.

전체 필터에서 공조시스템의 운전 단계에 따른 각 필터 전후의 차압 변동은 비교적 크게 나타나지 않았으며, 필터의 종류에 따라 평균 약 2.6 ~ 3.3배, 4.0 ~ 11.9 Pa 크기의 압력강하가 발생하였다.

이에 따라 각 필터의 경우 공조기 송풍기의 운전량 조절에 따라 충분히 적용 가능한 수준으로 판단되어지나 공조 유닛 운전시간 경과에 따라 압력강하 현상이 증가할 것을 고려할 때 150 mm 미디엄필터의 적용이 적정할 것으로 판단되어진다.

다만 천장 매립형 공조유닛의 설치 및 상가 인테리어 개념을 고려할 때 필터링 성능을 확보하

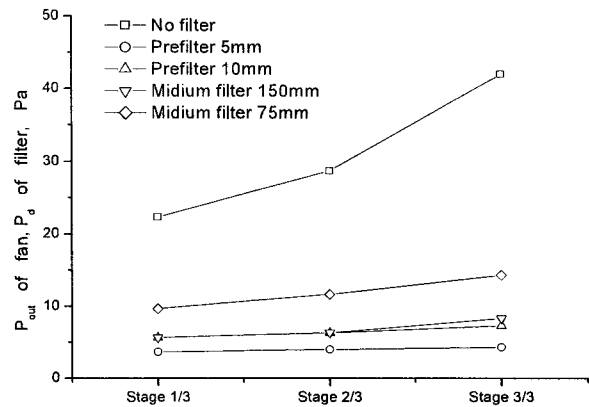


Fig. 4 The pressure drop by each air-filter with operating stage of the fan.

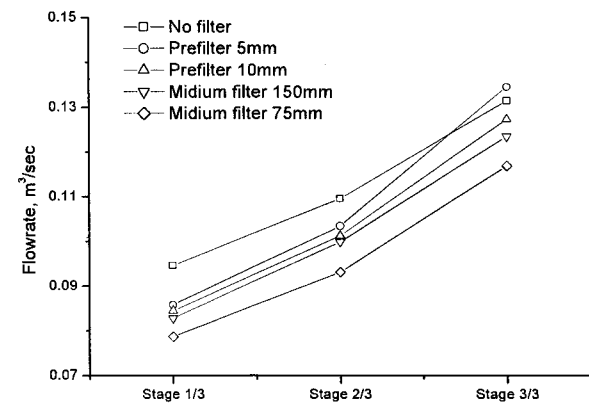


Fig. 5 The total flowrate with each air-filter with operating stage of the fan.

는 수준에서 일부 조정이 필요할 것으로 판단되어진다.

Fig. 5은 Fig. 4의 결과에 따른 공조유닛 송풍량을 도시하고 있는 그림으로 운전단계별 최대 83 ~ 89%의 송풍량 감소가 발생하고 있으며, 운전단계의 증가에 따라 송풍량 감소율이 작아지고 있다.

4.2 공기연령 평가

Figures 6과 7은 Fig. 3의 주요 해석 모델에 따른 천장 매립형 기능성 공조기 구조 형태에 따른 유동 형태 및 유동 풍량을 도시하고 있는 그림이다.

Fig. 6은 공조기 단면부 0 ~ 3 m/s 범위의 유동 형태를 도시하고 있는 그림으로 기존 공조기 모델 및 구조 변경 모델에 대한 해석 결과 중 일부

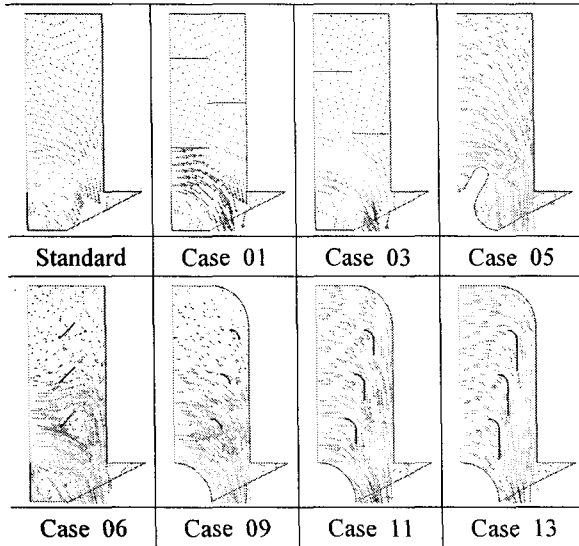


Fig. 6 The velocity distribution at the cross section of heating-cooling unit.

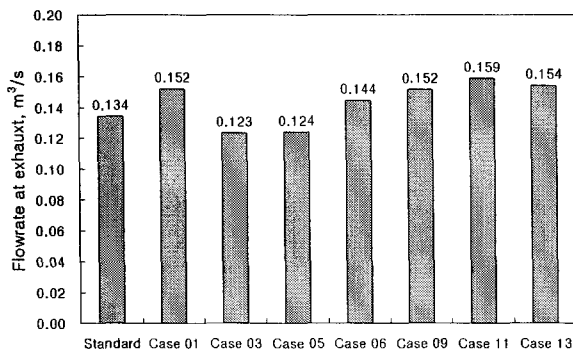


Fig. 7 The flowrate at exhaust of the heating-cooling unit

를 cases 01~case 13에 도시하고 있다.

Cases 01, 03, 06, 09의 경우 공조기 내부 격벽의 설치에 따라 내부 압력 구배에 따라 공조기 상부 유동이 원활이 토출되지 않는 현상을 나타내고 있다.

Cases 05, 11, 13의 경우 공조기 상하부에서의 원활한 유동장의 확보가 가능하고, 토출구에서 비교적 균일한 유속 분포가 가능함으로서 1차적 유동장 분포를 고려할 때 개선 효과가 두드러진 모델로 판단되어진다.

다만 Fig. 7에서 도시하고 있는 것과 같이 case 05의 경우 공조기 내부 유동 장애물에 의한 유동 풍량의 감소가 나타나고 있어 case 11 또는 case 13과 같이 유선을 따르는 격벽의 설치가 바

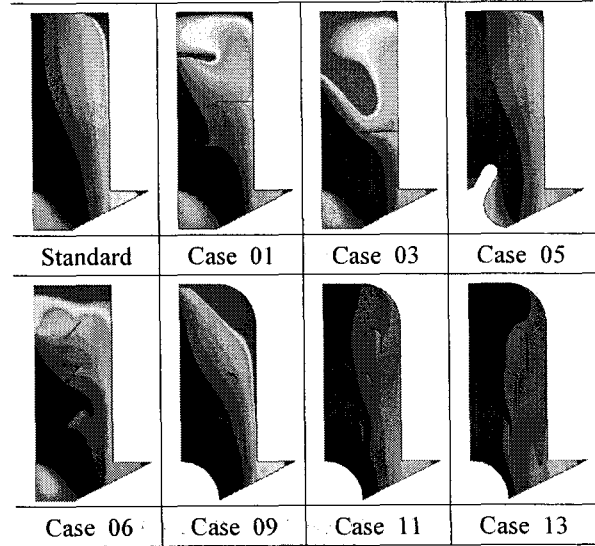


Fig. 8 The air-age distribution at the cross section of heating-cooling unit.

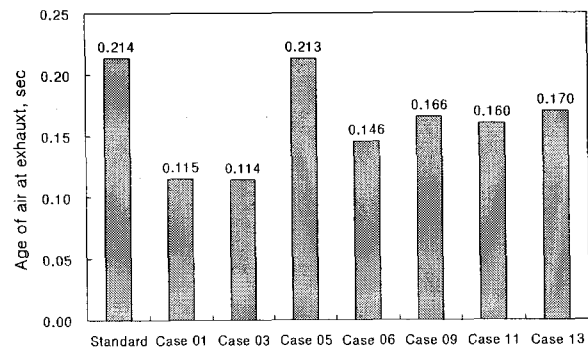


Fig. 9 The age of air at exhaust of heating-cooling unit.

람직 할 것으로 판단된다.

Fig. 8는 공조기 내부의 0~2 sec 범위의 공기 연령 분포를 도시하고 있는 그림으로 내부 공기 연령의 경우 자외선 조사 효과를 판단할 수 있는 주요한 검토 변수로서 활용하였다.

현행 모델의 경우 내부 공기연령 분포가 유입구로부터 일정한 구배를 갖고 있으며 공조기 유입공기가 토출구 주 유동에서 0.1 m/s 미만의 유입 공기가 주로 토출됨에 따라 자외선 조사시간을 충분히 확보하지 못하고 있다.

Cases 01, 03, 06, 09의 경우 Fig. 6의 유동장 영향에 따라 상부 정체 영역에서 공기연령이 높게 나타나고 있으며, 토출구에서 공기연령이 짧게 나타나고 있다.

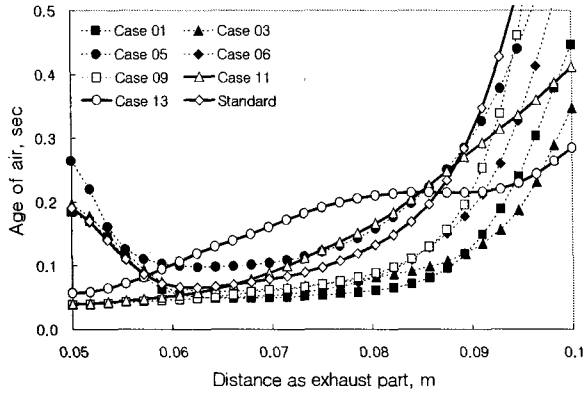


Fig. 10 The air-age distribution at the exhaust part of heating-cooling unit.

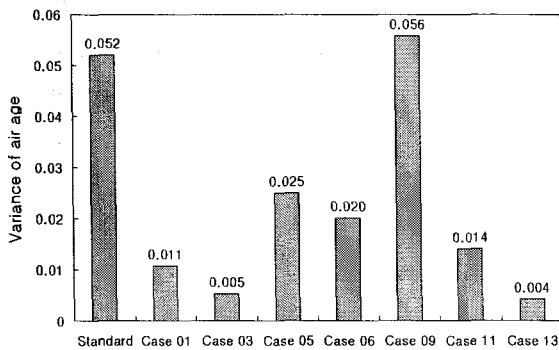


Fig. 11 The variance of air age at the exhaust part of heating-cooling unit.

Fig. 6에서 균일한 유동장 분포를 도시하고 있는 cases 05, 11, 13 중 case 05와 case 13에서 토출구 공기연령이 높게 나타나고 있어 추천되어 지는 내부 구조로 추천되어진다.

Fig. 10은 공조기 토출구를 따라 공기연령 분포를 도시하고 있으며, Fig. 11는 Fig. 10의 결과를 이용하여 공기연령 분포의 분산 정도를 정량적으로 비교한 결과로서 cases 01, 03, 11, 13에서 균일한 토출구 공기연령 분포를 도시하고 있음을 알 수 있다.

또한 cases 11, 13의 경우 현행 모델의 약 80%의 공기연령을 도시하고 있으나 90% 이상 개선된 균일 분포를 도시하고 있어 내부 구조 개선 효과가 우수한 것으로 판단되어진다.

5. 결론

이상과 같이 미세먼지의 포집 및 자외선 살균

모델의 적용에 따른 유동 특성을 평가하였으며, 주요 결론은 다음과 같다.

지하도 상가 미디엄필터 적용에 따른 압력 손실 특성 검토결과 상가 개별 기능성 공조기에 대한 미세먼지 필터의 적용이 가능함을 확인할 수 있었다.

공조기 내부 유선 형태의 격벽을 설치함으로써 내부 약 2~4% 순환 효율이 증가하였으며, 20~25%의 공기연령 감소하고, 토출구의 공기연령 균일도가 90% 이상 향상됨을 보였다.

향후 본 연구와 관련하여 안정적인 실내 공기 질 확보를 위하여 덕트 및 실내 미생물의 발생과 살균 성능의 정량적으로 비교, 검토하고자 한다.

후 기

본 논문은 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업 '지하공간 환경개선 및 방재 기술 연구사업'에 의한 것임을 알립니다.

참고문헌

1. J. H. Kim, 2001, Assessment of Indoor air Quality in Underground Shops, Wonkwang Univ, A thesis for a degree of doctor.
2. C. Y. Chung, 2003, Thermal Environment of Underground Shopping Mall and Passenger's Comfort, J. Korean. Soc. Environ. Sys. Vol. 10, No. 1, pp. 25-32.
3. Chungyoon Chun, 2003, Thermal Environment of Underground Shopping Mall and Passenger's Comfort, J. Korean. Soc. Environ. Sys. Vol. 10, No. 1, pp. 25-32.
4. Y. H. Lee, S. H. Jeong, K. W. Koh, Y. K. Kim, J. H. Byun, Airborne Microorganism of Some Underground Shops in Pusan, Korean Journal of Life Science. Vol. 1. 74-78, 2000.
5. D. W. Yun, etc, The Evaluation of Indoor Air Quality and Ventilation Requirement in the Underground Space, Report of Korea Science and Engineering Foundation, 1993.