

# 지하철 역사의 실내공기질 개선을 위한 공조기 적용 공기청정장치 선정에 대한 기초연구

정 의 경, 박 재 홍, 이 양 화, 윤 기 영, 황 정 호<sup>†</sup>

연세대학교 기계공학과

## Study of HVAC system with air cleaning system for indoor air quality of subway station

Yee Kyeong Jung, Jae Hong Park, Ryang Hwa Lee, Ki Young Yoon, Jungho Hwang<sup>†</sup>

Department of Mechanical Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

**ABSTRACT:** A numerical study has been carried out on the optimization of an air cleaning system which was installed in a heating, ventilation and air conditioning system (HVAC) system of subway station for particle removal. Required particle removal efficiencies of three different air cleaning systems were calculated from ventilation rate, and indoor/outdoor concentration of PM10. Mass balance equations of PM10 were used to solve the required particle removal efficiencies. Fibrous filter was considered as an air cleaning system. Calculations were carried out about two different places which were waiting area and platform of subway station, respectively. This study proposed optimized design and operation condition of each air cleaning system.

**Key words:** Subway station(지하철역사), HVAC(공조기), Air cleaning(공기정화)

### 1. 서 론

지하공간의 실내공기질 개선을 위한 노력은 최근 지하철 역사로 확대되어 이루어지고 있다. 지하철 역사는 지상 거주공간과는 달리 환기 조건이 열악하며 내부에 오염 물질의 발생, 농축이 쉽게 이루어진다. 특히 미세먼지의 경우 외기도 입을 이용한 환기 시 도로변의 공기를 끌어오기 때문에 자동차에서 배출된 미세먼지 또한 지하공간으로 유입되게 된다. 따라서 공조기 내부에

서 외기에 포함된 유해물질들을 반드시 제거해야 하며 이에 따라 공조기 내부의 오염물질 저감장치의 역할이 매우 크다. 이를 해결하기 위해서 Kim and Oh<sup>(1)</sup>는 환기를 통한 공기질 개선 계획에 대한 연구를, Rho et al.<sup>(2)</sup>은 지하철역사에 전기 집진기를 적용하여 입자저감에 대한 연구를 수행하였다. Kwon et al.<sup>(3)</sup>은 싸이클론(cyclone)을 지하철 역사의 공조기에 적용하는 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 지하공간의 실내공기질 개선을 위한 공조기 운전 조건 및 공조기 내부에 설치되는 입자상 오염물질 제거 장치에 대한 이론적 최적화 기법을 소개하고자 한다.

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-2-2123-2821; fax: +82-2-312-2821

E-mail address: hwangjh@yonsei.ac.kr

## 2. 연구 방법

지하철 역사내 공간은 Fig. 1과 같이 크게 대합실(waiting area)과 승강장(platform)으로 나누어 공조가 이루어지게 된다. 대합실의 경우 공조기에 의해서 급기와 배기가 이루어지며 승강장의 경우 공조기에 의한 급기와 배기 외에 팬(fan)에 의해서 추가적인 급기와 배기가 이루어진다. 이때 공조기의 경우 내부에 입자 저감장치가 있어 외부에서 유입되는 입자상 오염물질들을 저감한다. 지하철 역사내 대합실의 경우 2구역으로 나누어 2대의 공조기가 각각의 공조를 담당하고 있다. 이중 한 구역에 해당하는 공간의 입자상 오염물질의 경우 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$V \frac{dC_{IA}}{dt} = C_{OA} \cdot \epsilon_{AEE} \cdot \dot{Q}_{OA}(1 - \epsilon_f) + C_{OA} \dot{Q}_{IP} - C_{IA}(\epsilon_{AEE} \dot{Q}_{OA} + \dot{Q}_I + \beta) + \dot{S} \quad (1)$$

여기서  $V$ 는 공조기 1대가 담당하는 대합실 내부 부피이며  $C_{IA}$ 는 대합실 내부 공기에 포함된 입자상 오염물질의 농도,  $C_{OA}$ 는 외기에 포함된 입자상 오염물질의 농도,  $\dot{Q}_{OA}$ 는 공조기에 의한 외기 도입량,  $\dot{Q}_I$ 는 침기(infiltration)에 의한 공기 유입량,  $\epsilon_{AEE}$ 는 환기효율(air exchange effectiveness),  $\epsilon_f$ 는 대합실 공조기 내부에 설치된 입자 저감장치의 입자 저감효율을 나타내며,  $t$ 는 시간,  $P$ 는 침기에 의한 입자 저감량,  $\dot{S}$ 는 내부 입자상 오염물질의 발생량,  $\beta$ 는 중력침강, 벽면 침착 등의 내부 퇴적에 의한 입자상 오염물질의 저감량을 나타내고 있다. 식(1)은  $C_{IA}$ 에 대해서 다음과 같이 해를 구할 수 있다.

$$C_{IA} = C_0 \exp\left(-\frac{\epsilon_{AEE} \dot{Q}_{OA} + \dot{Q}_I + \beta}{V} t\right) + \frac{C_{OA} \epsilon_{AEE} \dot{Q}_{OA}(1 - \epsilon_f) + C_{OA} \dot{Q}_{IP} + \dot{S}}{\epsilon_{AEE} \dot{Q}_{OA} + \dot{Q}_I + \beta} \times [1 - \exp\left(-\frac{\epsilon_{AEE} \dot{Q}_{OA} + \dot{Q}_I + \beta}{V} t\right)] \quad (2)$$

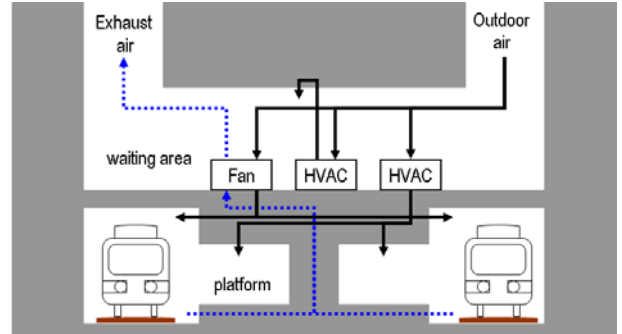


Fig. 1 Ventilation system of subway station.

식(2)는  $t \rightarrow \infty$ 일 경우 정상상태(steady-state condition)를 나타내며 다음과 같이 정리되게 된다.

$$C_{IA} = \frac{C_{OA} \epsilon_{AEE} \dot{Q}_{OA}(1 - \epsilon_f) + C_{OA} \dot{Q}_{IP} + \dot{S}}{\epsilon_{AEE} \dot{Q}_{OA} + \dot{Q}_I + \beta} \quad (3)$$

승강장의 경우 식(1)에서 팬에 의한 추가적인 급기 및 배기를 고려하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V \frac{dC_{IA}}{dt} = C_{OA} \cdot \epsilon_{AEE} \cdot \dot{Q}_{OA}(1 - \epsilon_{f,1}) + C_{OA} (\dot{Q}_I P + (1 - \epsilon_{f,2}) \dot{Q}_{fan}) - C_{IA} (\epsilon_{AEE} \dot{Q}_{OA} + \dot{Q}_I + \dot{Q}_{fan} + \beta) + \dot{S} \quad (4)$$

여기서  $\dot{Q}_{fan}$ 은 팬에 의한 추가적인 급기 및 배기량을 나타내고 있다.  $\epsilon_{f,1}$ 는 승강장 공조기 내부에 설치된 입자 저감장치의 입자 저감효율을 나타내며  $\epsilon_{f,2}$ 는 환기팬의 급기 시에 사용된 필터의 효율을 나타낸다. 식(4) 역시 정상상태의 해를 구할 수 있으며 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$C_{IA} = \frac{C_{OA} \epsilon_{AEE} \dot{Q}_{OA}(1 - \epsilon_{f,1}) + \dot{Q}_I P + \dot{Q}_{fan}(1 - \epsilon_{f,2}) + \dot{S}}{\epsilon_{AEE} \dot{Q}_{OA} + \dot{Q}_I + \dot{Q}_{fan} + \beta} \quad (5)$$

각 식에 적용된 변수들의 값을 Table 1에 정리하였다. 실내 PM10 농도는 다중이용시설 등의 실내공기질관리법에서 규정하는 바와 같이  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 하였으며 외기에 포함된 PM10의 경우  $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가정하였다.<sup>(4)</sup> 전체 공간은  $3000 \text{m}^3$ 로 하였으며 이는 지하철 전체공간의 절반에 해당한다.  $\dot{Q}_{OA}$ 와  $\dot{Q}_{fan}$ 의 경우 실제 지하철 역사에 사용

되는 장비의 운전조건을 사용하였다.  $\varepsilon_{AEE}$ 와 P 값은 1로 가정하였다. 내부 입자 발생량  $\dot{S}$ 의 선정은 대합실과 승강장을 나누어 선정하였다. 대합실의 경우  $30\mu\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{min})$ 로 하였으며 승강장의 경우  $100\mu\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{min})$ 로 선정하여 계산을 수행하였다.<sup>(5,6)</sup>

Table 1 Values for calculation

Parameter	Value
$C_{IA}$	$150\mu\text{g}/\text{m}^3$
$C_{OA}$	$125\mu\text{g}/\text{m}^3$
$\dot{Q}_{OA}$	42000CMH (waiting aera)
	51000CMH (platform)
$\dot{Q}_I$	900CMH
$Q_{fan}$	102000CMH
$\varepsilon_{AEE}$	1
P	1
$\dot{S}$	5400000 $\mu\text{g}/\text{h}$ (waiting aera)
	18000000 $\mu\text{g}/\text{h}$ (platform)
$\beta$	495 $\mu\text{g}/\text{h}$
V	3000 $\text{m}^3$

### 3. 계산결과 및 고찰

식(3)과 식(5)에 의해서 계산된  $\varepsilon_f$ ,  $\varepsilon_{f,1}$ ,  $\varepsilon_{f,2}$ 값을 Table 2에 정리하였다. 각 효율들은 입자상 오염물질 저감장치에 요구되는 최소 성능을 나타낸다. 각 요구 조건에 해당하는 입자 저감장치로 섬유상 필터(fibrous filter)가 기본적으로 사용되고 있다. 섬유상 필터의 경우 설계변수로 필터를 구성하는 섬유의 직경, 충진율(solidity), 압력강하량을 고려해야 한다. 각각의 설계변수들을 조절하여 PM10에 대해서 요구되는 효율이 나오도록 선정하는 방법으로 최적화가 진행된다.

Table 2 Required removal efficiency

Required removal efficiency	
$\varepsilon_f$ , $\varepsilon_{f,1}$	80.1%
$\varepsilon_{f,2}$	68.7%

### 4. 결론

지하공간의 실내공기질 개선을 위한 공조기 운전 조건 및 공조기 내부에 설치되는 입자상 오염물질 제거 장치에 대한 이론적 최적화 기법을 소개하였다. 역사내 공조기 운전조건 및 실내외 PM10농도를 통해서 공조기 내부의 입자저감장치에 대한 최소 효율을 산출할 수 있었으며 이를 입자저감장치의 설계에 적용하는 방법을 제시하였다. 입자 저감장치의 경우 섬유상 필터를 예로 제시하였고 필터의 섬유직경, 충진율, 압력강하를 통해서 최적화된 필터를 제시할 수 있다.

본 연구는 기초연구에 해당하며 보다 개선된 방법 제시를 위해서는 계산 시 선정된 식에 대한 타당한 근거를 확보해야 한다. 이에 따라 역사내부 입자 발생량 및 외부 입자 농도에 대한 보다 정확한 자료가 요구 된다. 앞으로는 이점을 보완하는 연구와 산출된 입자제거성능 효율을 통해서 섬유상 필터 외에도 전기집진기, 싸이클론과 같은 입자 저감장치의 최적화에 적용하는 연구를 수행할 계획이다.

### 후 기

본 연구는 건설교통부 도시철도표준화2단계연구개발사업의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. Kim, H. S. and Oh, M. D., 2001, Plan of HVAC system for new subway station and main line of Seoul, Magazine of the SAREK, Vol. 30, No. 11, pp. 36-42.
2. Rho, S. C., Kim, Y. H., Kim, S. H., Lee S. W., and Yoo, K. K., 2004, A study on the Electrostatic Precipitator evolution for PM-10 elimination of subway station, 2004 spring conference of Korean Society for Railway, pp. 256-262.
3. Kwon, S. B., Park, D. S., Cho, Y. M., Park, H. S., Lim, K. S., and Song, C. B., 2006, Particle collection efficiency of axial-inlet

cyclone for high-flow ventilation system in the subway, 2006 KOSAE Fall Conference, pp. 241-242.

4. Lim, J. M., Kim, S. J., Lee, J. H., and Jung, Y. S., 2005, Source apportionment of respirable particulate matter (PM10) at roadside area, 2005 KOSAE Fall Conference, pp. 301-302.
5. He, C., Morawska, L., Hitchins, J., and Gilbert, D., 2004, Contribution from indoor sources to particle number and mass concentrations in residential houses, *Atmospheric Environment*, Vol. 38, pp. 3405-3415.
6. Park, D. U. and Ha, K. C., 2008, Characteristics of PM10, PM2.5, CO2 and CO monitored in interiors and platforms of subway train in Seoul, Korea, *Environment International*, Vol. 34, pp. 629-634.