(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0057199
(43) 공개일자 2017년05월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
*F24F 7/06* (2006.01) *F24F 11/00* (2014.01)
*F24F 11/02* (2006.01)
(52) CPC특허분류
*F24F 7/06* (2013.01)
*F24F 11/0001* (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0059025(분할)
(22) 출원일자 2017년05월12일
심사청구일자 2017년05월12일
(62) 원출원 특허 10-2015-0011837
원출원일자 2015년01월26일
심사청구일자 2015년01월26일

(71) 출원인
**경희대학교 산학협력단**
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)
(72) 발명자
**유창규**
경기도 수원시 영통구 웰빙타운로 20, 8308동 202호 (이의동, 호반가든하임)
**김민정**
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 공과대학 275호 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스)
(74) 대리인
**노철호**

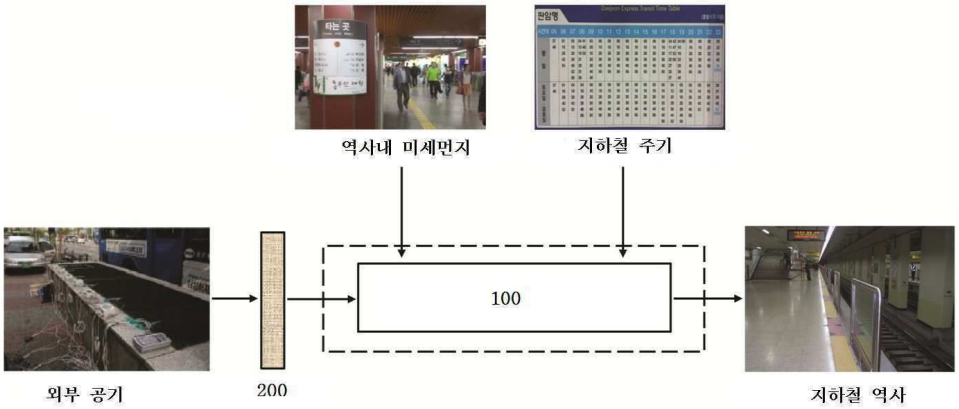
전체 청구항 수 : 총 3 항

(54) 발명의 명칭 **지하철 환기제어시스템**

## (57) 요 약

본 발명의 일 측면에 따르면, 외부공기를 공급하여 지하철 역사 내부의 공기를 환기하도록 하는 지하철 환기제어시스템에 있어서, 외부공기의 미세먼지 양과, 지하철 역사 내 외란(disturbance)에 의해 발생하는 미세먼지 농도 변화를 감지하여, 지하철 역사 내로 유입되는 외부공기 유입량을 제어하도록 하는 지하철 환기제어시스템이 제공된다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
*F24F 11/0079* (2013.01)
*F24F 11/025* (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2008-0061908
부처명 과학기술부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 우수연구센터
연구과제명 지속가능건강건축연구센터
기 여 율 1/1
주관기관 경희대학교
연구기간 2014.03.01 ~ 2015.02.28

# 명 세 서

## 청구범위

### 청구항 1

외부공기를 공급하여 지하철 역사 내부의 공기를 환기하도록 하는 지하철 환기제어시스템에 있어서,

외부공기의 미세먼지 양과, 지하철 역사 내 외란(disturbance)인, 역사 내로 들어오는 지하철 주기에 의해 발생하는 역사 내 미세먼지의 주기적인 농도 변화 및 역사 내로 유입되는 사람들의 움직임에 의해 발생하는 역사 내 유입되는 미세물질의 주기적인 농도 변화를 사전에 감지하며, 그 정보에 기초하여 지하철 역사 내로 유입되는 외부공기 유입량을 그 주기에 맞추어 제어하도록 하는 지하철 환기제어시스템.

### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 지하철 역사 내로 유입되는 외부공기의 유입량 제어를 통해, 지하철 역사 내의 미세먼지 농도를 일정하게 유지하도록 하는 것을 특징으로 하는 지하철 환기제어시스템.

### 청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 지하철 역사 내로 유입되는 외부공기의 유입량 제어는 환기 팬 스피드(fan speed)의 조절을 통해 이루어지는 것을 특징으로 하는 지하철 환기제어시스템.

## 발명의 설명

### 기 술 분 야

[0001] 본 발명은 지하철 환기제어시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는 외부공기가 미세먼지에 오염되는 경우, 외부공기의 오염도에 따라 지하철 역사 내로 유입되는 외부공기 양을 제어하는 지하철 환기제어시스템에 관한 것이다.

### 배 경 기 술

[0002] 지하철 시스템은 대부분 지하에 위치하고 있어 도심의 교통혼잡을 해소할 수 있는 것과 동시에 친환경적인 교통수단으로 자리잡고 있다. 따라서, 대부분의 도시에는 지하철 시스템이 잘 갖추어져 있어, 많은 사람들이 교통수단으로 지하철을 이용하고 있다.

[0003] 서울의 경우, 도시 전체에 걸쳐 지하철이 서로 연결되어 있어 서울 시민의 대부분은 대중교통인 지하철을 통해 이동하고 있으며, 많은 사람들이 지하철 내에서 보내는 시간이 점점 증가하고 있다. 따라서, 지하철 내에서의 공기질 문제는 주요한 관심사가 되고 있다.

[0004] 대부분의 지하철 시스템의 환기(ventilation)는 팬(fan)에 의한 외부공기의 유입을 통해 지하철 내부공기의 환기를 행하고 있다. 보다 구체적으로, 지하철 내부의 공기가 오염된 경우, 팬을 통해 외부공기를 지하철 내부로 유입하도록 하는 것에 의해 지하철 내부공기의 환기를 행하고 있다.

[0005] 그러나, 최근 대기 중의 공기가 미세먼지(particulate matter, PM) 또는 황사(yellow dust)에 의해 심각하게 오염되는 경우가 발생하고 있어, 이 경우 지하철 내부공기의 환기를 위해 외부공기를 유입하게 되면 지하철 내부의 공기 오염 정도를 보다 악화시킨다는 문제가 있다. 따라서, 이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 외부공기의 오염정도를 고려하여, 지하철 내부로 유입되는 외부공기의 유입량을 제어하도록 하는 지하철 환기제어시스템

을 고려할 필요가 있다.

[0006] 한편, 지하철의 경우 지하철 역사 내부에서 이동하는 사람들의 움직임 및 지하철이 역사 내로 들어오는 움직임 등과 같은 외란(disturbance)에 의해 발생하는 미세먼지의 움직임 등에 의해 지하철 역사 내부에서의 미세먼지의 농도의 변화가 발생하게 되며, 이와 같은 미세먼지는 사람들의 건강에 좋지 않은 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

[0007] 구체적으로, 미세먼지는 10um 또는 2.5um 보다 적으며, 이와 같은 미세먼지가 사람의 폐에 들어가는 경우 천식 등과 같은 각종 호흡기질환을 일으킬 수 있고, 또한 심장혈관질환과 같은 병을 가져올 수 있다. 그 외에도, 두통 및 아토피를 일으키는 것으로 보고되고 있다. 따라서, 지하철에 설치되는 환기제어시스템은 사람이 흡입하는 미세먼지의 양을 고려하여 설계할 필요가 있다.

[0008] 따라서, 상술한 바와 같은 문제를 해결하기 위해서는 지하철 내부에서의 미세먼지의 농도를 일정하게 유지할 수 있도록 환기제어시스템을 설계할 필요가 있다. 이와 같은 기술적 목적을 달성하기 위해서는 상술한 바와 같이, 지하철 내부로 유입되는 외부공기에 포함되어 있는 미세먼지의 양을 고려할 필요가 있으며, 동시에 상술한 바와 같이 지하철 역사 내부에서 외란에 의해 발생하는 미세먼지의 농도 변화를 고려한 환기제어시스템을 설계할 필요가 있다.

## *선행기술문헌*

### *특허문헌*

[0009] (특허문헌 0001) 특허문헌 1: 한국공개특허 제2009-0115443호 (2008년 05월 02일 출원)

(특허문헌 0002) 특허문헌 2: 한국등록특허 제0942168호 (2008년 03월 25일 출원)

## *발명의 내용*

### *해결하려는 과제*

[0010] 본 발명의 실시예들은 상술한 바와 같은 문제를 해소하기 위해, 외부공기에 포함된 미세먼지의 양을 고려하여 지하철 내부로 유입되는 외부공기의 유입량을 제어하도록 하는 지하철 환기제어시스템을 제공하도록 한다.

[0011] 또한, 지하철 내부에서 외란에 의해 발생하는 미세먼지의 농도 변화를 반영하는 지하철 환기제어시스템을 제공하도록 한다.

### *과제의 해결 수단*

[0012] 본 발명의 일 측면에 따르면, 외부공기를 공급하여 지하철 역사 내부의 공기를 환기하도록 하는 지하철 환기제어시스템에 있어서, 외부공기의 미세먼지 양과, 지하철 역사 내 외란(disturbance)에 의해 발생하는 역사 내 미세먼지 농도 변화를 감지하여, 지하철 역사 내로 유입되는 외부공기 유입량을 제어하도록 하는 지하철 환기제어시스템이 제공되며, 이를 통해 지하철 역사 내의 미세먼지 농도를 일정하게 유지하도록 할 수 있다.

[0013] 본 발명에 따른 상기 지하철 역사 내로 유입되는 외부공기의 유입량 제어는 환기 팬 스피드(fan speed)의 조절을 통해 이루어질 수 있다.

[0014] 본 발명에 따른 상기 지하철 역사 내 발생하는 외란은 역사 내에서 사람들의 움직임에 의해 발생하는 미세먼지의 농도 변화와, 역사 내로 들어오는 지하철 주기에 의해 발생하는 미세먼지의 농도 변화를 포함한다.

[0015] 한편, 본 발명에 따른 지하철 환기제어시스템은 상기 외부공기의 미세먼지 농도가 높은 경우 필터를 통한 내부순환을 통해 역사 내 미세먼지 농도를 일정하게 유지하도록 하는 것도 가능하다.

### *발명의 효과*

[0016] 본 발명의 실시예들에 따른 지하철 환기제어시스템은 외부공기에 포함되어 있는 미세먼지의 양을 고려하여 지하철 내부로 유입되는 외부공기의 유입량을 제어하도록 하는 것에 의해, 지하철 역사 내부의 미세먼지의 농도를 일정하게 유지할 수 있도록 한다.

[0017] 또한, 지하철 역사 내에서 사람들의 움직임 및 지하철의 움직임 등과 같은 외란에 의해 발생하는 미세먼지의 농도 변화를 반영하여 지하철 환기제어시스템을 제어하도록 하는 것에 의해, 지하철 역사 내부의 미세먼지의 농도를 최적으로 유지할 수 있도록 한다.

## *도면의 간단한 설명*

[0018] 도 1은 본 발명에 따른 지하철 환기제어시스템의 개략도를 도시한다.

도 2a 내지 도 2e는 D-역사 내에서 측정한 값을 도시한다.

도 3a 내지 도 3b는 외부공기의 미세먼지 농도를 도시한다.

도 4는 본 발명의 실시예들에 따른 환기제어시스템의 블럭 다이어그램을 도시한다.

도 5a 내지 도 5b는 종래 환기제어시스템과 본 발명에 따른 환기제어시스템을 이용한 경우 지하철 역사 내로 유입되는 미세먼지 유입량을 도시한다.

도 6a 내지 도 6b는 본 발명의 일 실시예들에 따라 지하철 역사 내로 유입되는 미세먼지 유입량을 도시한다.

## *발명을 실시하기 위한 구체적인 내용*

[0019] 이하, 도면을 참고하여 본 발명의 일 실시예에 따른 지하철 환기제어시스템을 설명한다.

[0020] 지하철 환기제어시스템은 일반적으로 외부공기에 포함된 미세먼지의 양에는 상관없이 지하철 역사 내의 공기오염도에 따라 외부공기를 지하철 역사 내로 유입하도록 하는 것에 의해 환기를 행하고 있다. 그러나, 상술한 바와 같이, 지하철 외부공기가 미세먼지를 많이 포함하고 있는 경우에는 오히려 외부공기의 유입에 의해 지하철 역사 내의 미세먼지 농도가 높아진다는 문제가 있으며, 또한, 현재의 지하철 환기제어시스템은 지하철 역사 내에서 외란에 의해 발생하는 미세먼지 농도 변화를 전혀 반영하지 못하고 있다는 문제가 있다.

[0021] 따라서, 본 발명의 출원인은 지하철 역사 내부에서의 미세먼지의 농도를 일정하게 유지할 수 있도록 지하철 역사 내부로 유입되는 외부공기에 포함되어 있는 미세먼지의 양을 고려하는 것과 동시에, 지하철 역사 내부에서 외란에 의해 발생하는 미세먼지의 농도 변화를 고려한 지하철 환기제어시스템을 제공하도록 한다.

[0022] 도 1에는 본 발명의 일 실시예에 따른 지하철 환기제어시스템의 개략적인 도면이 도시되어 있다. 도면에 도시되어 있는 바와 같이, 본 발명에 따른 지하철 환기제어시스템(100)은 지하철 역사 내의 공기를 환기하도록 하기 위해 외부공기를 필터(200)를 통해 유입하도록 하고 있으며, 이때, 본 발명의 일 실시예에 따른 지하철 환기제어시스템(100)은 외부공기에 포함된 미세먼지의 양과 지하철 역사 내 미세먼지의 농도 변화 및 지하철 주기에 따른 미세먼지 농도 변화를 반영하도록 설계된다. 한편, 본 발명의 일 실시예에 따른 환기제어시스템(100)은 지하철 역사 내의 공기 오염도를 제어하기 위해 환기 팬 스피드(ventilation fan speed)에 제어신호를 발생시키고, 제어된 환기 팬 스피드에 의해 많은 미세물질이 필터링된 외부 공기가 오염된 지하철 역사 내부 공기를 희석화하기 위해 지하철 역사 내로 공급된다.

[0023] 본 발명에 따른 지하철 환기제어시스템(100)을 통해 제어하려고 하는 변수는 지하철 역사 내부의 미세먼지 농도이다. 조작 변수는 환기제어시스템(100)을 통해 외부공기로부터 지하철 역사 내로 유입되는 미세먼지($PM_{10}$)의 유입량이며, 이는 다음과 같이 계산될 수 있다.

### *수학식 1*

[0024]

$$\mathrm{PM}_{10}\ \text{amount} = \left(Q\frac{\mathrm{RPM}}{\mathrm{RPM}_{\max}}\right)n(1-\alpha)\,\mathrm{PM}_{10}\ \text{concentration in outdoor air}$$

[0025] 여기서, Q는 환기제어시스템의 용량($m^3_{\text{outdoor air}}$/hour)이고, RPM은 환기제어시스템의 팬 스피드이며, n은 지하철 역사 내 설치된 환기제어시스템의 수이고, α는 평균 필터 효율이다.

[0026] 본 발명에 따른 지하철 환기제어시스템(100)은 지하철 역사 내부공기를 환기하기 위해 외부공기의 오염도를 고려하며, 상기 환기제어시스템(100)을 통해 지하철 역사 내부로 공급되는 미세물질의 양은 외부공기의 미세물질

농도에 기초한 평가에 의해 행해지고, 이는 조작 변수로 사용될 수 있다.

[0027] 한편, 본 발명에 따른 환기제어시스템(100)과 관련된 외란 중 하나는 지하철 역사 내에서의 미세물질 농도변화인 바, 이는 사람들의 움직임에 의해 미세물질이 지하철 역사 내로 유입되어 지하철 역사 내의 미세물질 농도 수준에 영향을 미치기 때문이다. 다른 외란요인은 지하철이 지하철 역사 내로 들어오는 주기인 바, 이는 지하철이 역사 내로 진입할 때 미세물질을 역사 내로 밀어내기 때문이다.

[0028] 본 발명에 따른 지하철 환기제어시스템(100)을 사용하여 지하철 역사 내의 미세물질 농도를 제어하기 위해서는 지하철 역사 내 미세물질 농도의 움직임을 확인하는 것이 중요하다. 그리하여, 지하철 역사 내 미세물질 농도를 묘사하는 다이나믹 모델(dynamic model)의 검토가 필요하다. 지하철 역사 내에서 미세물질의 움직임을 모델링하기 위해 예측-에러 최소화 방법(the prediction-error minimization(PEM) method)을 사용할 수 있다.

[0029] 상기 PEM 방법에 따라, 1차 플러스 타임-딜레이(A first-order plus time-delay(FOPTD)) 프로세스 모델은 아래와 같은 수학식에 의해 확인될 수 있다.

*수학식 2*

[0030]
$$G(s)=\frac{y(s)}{u(s)}=\frac{K}{1+\tau s}\exp(-\theta s)$$

[0031] 여기서, u는 입력 변수이고, y는 출력 변수이며, K는 프로세스 게인이고, τ는 시간 상수이며, Θ는 시간 딜레이이다.

[0032] 본 발명에 따른 지하철 역사 내에서 미세물질 농도변화는 외란에 해당하는 지하철 주기 및 역사 내 미세물질 농도 변화와, 외부공기의 미세물질 농도에 의해 영향을 받게 된다. 그리하여, 지하철 역사 내부의 미세물질 농도 변화 확인을 위해 고려되는 입력변수는 지하철 주기, 역사 내부의 미세물질 농도 변화 및 외부공기로부터 지하철 역사 내로 유입되는 미세물질 양이다. 상기 각각의 입력 변수를 사용하여, 3개의 FOPTD 프로세스 모델이 검토될 수 있다.

[0033] 본 발명에 따른 지하철 환기제어시스템(100)을 사용하여 지하철 역사 내의 미세먼지를 인체에 건강한 범위로 유지하기 위해, 지하철 환기제어시스템(100)은 피드백 및 피드-포워드 전략(feedback and feed-forward strategy)을 수행하도록 한다.

[0034] 피드백 전략은 외부공기의 오염도를 고려하여 환기 팬 스피드를 제어하도록 하며, 제어하기 위한 변수가 셋 포인트(set point)로부터 벗어나는 경우 제어를 수행한다. 상기 셋 포인트와 측정된 지하철 역사 내 미세먼지 값(예, 컨트롤 에러) 사이의 차이를 감소시키기 위해, 우선적으로 환기제어시스템(100)에 기초한 피드백이 설계된다. 본 발명에 따른 환기제어시스템(100)의 피드백 제어 시스템의 조작 변수와 제어하기 위한 변수는 외부로부터 지하철 역사로 유입되는 미세먼지 유입량과 지하철 역사 내 미세먼지 농도이다.

[0035] 상기 피드백 제어를 행하기 위해 본 발명은 PI 컨트롤러를 사용하며, 상기 PI 컨트롤러는 컨트롤 에러와 그 적분의 합에 비례하도록 제어를 행한다. PI 컨트롤러는 하기 공식으로 표현할 수 있다.

*수학식 3*

[0036]
$$G_{FB}(s)=\frac{u(s)}{e(s)}=k_c\left(1+\frac{1}{\tau_i s}\right)$$

[0037] 여기서, $G_{FB}(s)$는 PI 컨트롤러 변환 함수이고, u(s)는 제어 액션이며, e(s)는 컨트롤 에러이고, $k_c$는 비례 컨트롤 파라미터이며, $\tau_i$는 적분 컨트롤 파라미터이다.

[0038] 상기 컨트롤 파라미터를 조정하기 위해, ITAE(an integral of the time-weighted absolute error) 조정 규칙이 적용된다.

*수학식 4*

[0039]

$$k_c = \frac{0.859}{K}(\theta/\tau)^{-0.977}$$

$$\tau_i = \frac{\tau}{0.674(\theta/\tau)^{-0.680}}$$

[0040] 여기서, K, τ 와 Θ 는 프로세스 게인, 시간 상수 및 시간 딜레이이다.

[0041] 본 발명의 일 실시예에 따른 지하철 환기제어시스템(100)에 기초한 피드-포워드 제어는 지하철 움직임 주기 및 지하철 역사 내 미세먼지 농도 변화 등과 같은 외란의 영향을 줄이기 위해 설계될 수 있다. 피드-포워드 제어는 외란이 행해지기 전에 제어를 행하며, 하기 식과 같이 설계될 수 있다.

*수학식 5*

[0042]

$$G_{FF}(s) = \frac{u(s)}{d(s)} = -\frac{G_d(s)}{G_p(s)}$$

[0043] 여기서, $G_{FF}(s)$는 피드-포워드 컨트롤러 변환 함수이고, u(s)는 제어 액션이며, d(s)는 외란 신호이고, Gp(s)와 Gd(s)는 조작변수와 외란변수에 대한 프로세스 모델이다.

[0044] 따라서, 상술한 바와 같이, 본 발명에 따른 지하철 환기제어시스템(100)은 외부공기의 오염도를 고려한 피드백 제어와, 지하철 역사 내부에서 발생하는 외란 등에 의한 요인을 반영한 피드-포워드 제어를 사용하여 지하철 내부의 공기를 환기하도록 하는 것이 가능하며, 이를 통해 지하철 역사 내부의 미세먼지의 농도를 일정하게 유지하도록 할 수 있다.

[0045] 한편, 본 발명의 실시예들에 따른 지하철 환기제어시스템(100)의 성능은 두가지 지표, (1) 지하철 역사 내 미세먼지 평균 농도, (2) 환기제어시스템 에너지 소비를 사용하여 평가할 수 있다. 지하철 역사 내 미세먼지는 호흡기질환 또는 심장혈관질환과 같은 질병을 가져올 수 있으며, 따라서 좋은 환기제어시스템(100)은 낮은 미세먼지 농도를 유지하여야 한다. 따라서, 지하철 역사 내부의 미세먼지 평균 값이 우선적으로 고려되어야 한다. 지하철 환기제어시스템의 에너지 소비는 두번째로 고려될 수 있으며, 하기 3차 다항식을 사용하여 평가될 수 있다.

*수학식 6*

[0046]

$$\text{에너지 소비} = 0.0007RPM^3 - 0.046RPM^2 + 2.01RPM + 8.8$$

[0047] 여기서, RPM은 환기제어시스템의 팬 스피드이다.

[0048] 한편, 본 발명의 실시예들에 따른 지하철 환기제어시스템(100)은 다수의 실험을 통해 검증하도록 하였는 바, 구체적으로, 서울의 3호선 라인의 지하에 있는 D-역사에서 실험을 수행하였다. 매일 D-역사 내에서 실시간 모니터링을 통해 제어하기 위한 변수, 조작 변수 및 외란 변수의 변화를 수집하였으며, 이와 관련한 결과는 도 2a 내지 도 2e에 도시되어 있다.

[0049] 도 2a는 지하철 역사 내 미세먼지 농도를 도시하고(제어하기 위한 변수), 도 2b는 외부공기로부터 지하철 역사 내로 유입되는 미세먼지 유입량을 도시하며(조작 변수), 도 2c는 지하철 역사 내 미세먼지 농도 변화를 도시하고(외란 변수), 도 2d는 지하철 주기를 도시하며(외란 변수), 도 2e는 환기제어시스템의 팬 스피드를 도시한다. 하기 표에는 D-역사 내에 설치된 환기제어시스템의 특성이 구체적으로 나타나 있다.

표 1

[0050]

| 특성 | 기호 | 값 |
|---|---|---|
| 환기 용량($m^3_{outdoor\ air}$ / hour) | Q | 1,000 |
| 최대 팬 스피드(Hz) | - | 0 |
| 최소 팬 스피드(Hz) | RPMmax | 60 |
| 환기제어시스템의 수 | n | 2 |
| 필터 효율 | α | 0.8 |

[0051] 실험을 위해 D-역사 내에 설치된 조작 변수인 환기 팬 스피드는 오전 12시부터 오후 5시까지 45Hz, 오후 5시부터 9시까지 60Hz, 오후 9시부터 오전 12시까지 40Hz로 맞추어져 있다.

[0052] 본 발명에 따른 지하철 환기제어시스템(100)의 영향을 확인하기 위해서는 외부공기가 일반적인 미세먼지를 포함하고 있는 경우와 외부공기가 오염된 경우를 나누어 검토한다. 일반적인 미세먼지를 포함하고 있는 외부공기의 평균 미세먼지 값은 31 ug/$m^3$이고, 오염된 외부공기에 포함된 평균미세먼지 값은 73 ug/$m^3$이다. 이와 관련한 내용이 도 3에 구체적으로 도시되어 있다.

[0053] 상기 서술한 PEM 방법을 사용하여, 지하철 역사 내에서 미세먼지 농도의 다이나믹을 묘사하는 3개의 FOPTD 프로세스 모델을 검토할 수 있다. 조작 변수로부터 제어하기 위한 변수로의 프로세스 모델은 하기 식으로 나타낼 수 있다.

수학식 7

[0054]
$$G_p(s) = \frac{0.22658}{1+0.0641s}\exp(-0.44796s)$$

[0055] 여기서, 프로세스 게인은 포지티브하다(K = 0.22658).

[0056] 이것은 외부공기로부터 지하철 역사 내로 들어오는 미세먼지는 지하철 역사 내의 미세먼지 농도를 증가시킨다는 것을 의미한다. 지하철 역사 내의 미세먼지 농도변화 및 지하철 주기로부터 외란 모델이 검토될 수 있다.

수학식 8

[0057]
$$G_{d1}(s) = \frac{0.62838}{1+0.04726s}$$

수학식 9

[0058]
$$G_{d2}(s) = \frac{0.41117}{1+0.0465s}\exp(-0.90s)$$

[0059] 상기 두 개의 외란 모델에서 프로세스 게인은 포지티브하며, 이는 사람의 움직임에 의해 지하철 역사로부터 미세먼지 이동이 발생하고, 지하철의 움직임은 지하철 역사 내의 미세먼지 수준을 증가시킨다는 사실에 의한다.

[0060] 한편, 본 발명의 실시예들에 따른 지하철 환기제어시스템(100)의 블럭 다이어그램이 도 4에 도시된다. 여기서, 피드백 제어(300)의 목적은 컨트롤 에러를 감소시키는 것이고, 제1 피드-포워드 제어(400) 및 제2 피드-포워드 제어(500)의 목적은 지하철 역사 내 미세먼지 농도 변화 및 지하철 주기에 의한 미세먼지 농도 변화의 영향을 감소시키는 것이다. 피드백 제어(300)의 파라미터를 조정하기 위해, ITAE 조정 규칙이 적용되고, 비례상수(kc)와 적분 컨트롤 파라미터(τi)는 0.567과 0.357이다.

[0061] 본 발명에 따른 환기제어시스템(100)은 다양한 실시예가 사용될 수 있다. (1) 피드백 제어 단독, (2) 피드백 제

어와 제1 피드-포워드 제어, (3) 피드백 제어와 제2 피드-포워드 제어, (4) 피드백 제어, 제1 피드-포워드 제어 및 제2 피드-포워드 제어를 사용할 수 있다.

[0062] 본 발명에 따른 환기제어시스템(100)의 다양한 실시예에 따른 성능값이 하기 표에 도시된다. 일반적으로 행해지는 환기제어시스템은 외부공기의 오염도에 대한 고려없이 이미 스케쥴된 환기 팬 스피드를 구비하여 구동된다. 하기 표는 본 발명에 따른 4개의 환기제어시스템(100)의 배치를 사용하여 얻어진 제어 성능을 요약하고 있다. 여기서, 성능 지표는 지하철 역사 내의 미세먼지의 평균 농도이고, 환기제어시스템의 에너지 소비량이다.

*표 2*

[0063]

| 컨트롤 배치 | 지하철 역사 평균 미세먼지 농도 (ug/m3) | 환기제어시스템 에너지 소비(kWh) |
|---|---|---|
| 종래 환기제어시스템 | 65.51 | 1,827 |
| 피드백 컨트롤러 | 61.16 | 1,670 |
| 피드백+제1 피드포워드 컨트피드백 | 60.59 | 1,563 |
| 피드백+제2 피드포워드 컨트피드백 | 60.45 | 1,448 |
| 피드백+제1 피드포워드 컨트피드백+제2 피드포워드 컨트롤러 | 60.36 | 1,444 |

[0064] 종래 환기제어시스템에 비해, 본 발명의 모든 실시예에 따른 환기제어시스템(100)이 지하철 역사 내 낮은 미세먼지 농도를 나타내고 있다. 도 5에 결과가 도시되어 있다. 도 5a는 종래 환기제어시스템을 사용하여 얻어진 외부공기로부터 지하철 역사 내로 유입되는 미세먼지의 유입량과 환기 팬 스피드가 도시되고, 도 5b는 피드백 제어(300)를 사용하여 얻어진 외부공기로부터 지하철 역사 내로 유입되는 미세먼지의 유입량과 환기 팬 스피드가 도시된다.

[0065] 도 5에 도시된 바와 같이, 종래의 환기제어시스템은 외부공기의 오염도에 상관 없이 환기 팬 스피드가 조정되어 있으므로, 외부공기가 오염된 경우에도 환기 팬 스피드가 빠르게 작동하여 많은 미세먼지가 지하철 역사 내로 유입되고 있는 것을 알 수 있다. 그러나, 본 발명의 일 실시예에 따른 피드백 제어(300)가 적용된 지하철 환기제어시스템(100)은 외부공기가 오염된 경우 환기 팬 스피드가 느리게 구동하고, 외부공기에 포함된 미세먼지가 작은 경우 빠르게 작동하도록 설계되어 있어, 지하철 역사 내로 유입되는 외부공기가 쾌적한 상태로 유입될 수 있도록 설계되어 있는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 본 발명의 일 실시예에 따른 환기제어시스템(100)의 효과가 종래 환기제어시스템에 비해 월등히 높은 것을 확인할 수 있다.

[0066] 도 6에는 피드백 제어(300)에 제1 피드-포워드 제어(400)가 결합된 경우와, 피드백 제어(300)에 제2 피드-포워드 제어(500)가 결합된 경우가 도시되어 있다. 제1 피드-포워드 제어(400)와 제2 피드-포워드 제어(500)가 피드백 제어(300)에 결합되는 경우, 피드백 제어(300) 단독으로 사용된 경우보다 지하철 역사 내 미세먼지 농도 변화가 향상되는 것을 확인할 수 있다. 지하철 역사 내 사람의 움직임에 의해 지하철 역사 내의 미세먼지가 증가하기 때문에, 이 경우 미세먼지를 포함하고 있는 외부공기의 유입을 줄이도록 하는 것에 의해 지하철 역사 내의 미세먼지 농도를 일정하게 유지할 수 있도록 한다. 또한, 도 6b에 도시된 바와 같이 지하철이 들어오는 주기가 많은 경우에는 환기 팬 스피드를 감소시키도록 하는 것에 의해, 지하철 역사 내의 미세먼지 농도를 일정하게 유지할 수 있도록 한다.

[0067] 상술한 바와 같이, 피드백 제어(300)를 단독으로 사용하는 경우에 비해, 외란 변수를 해결하기 위해 제1 피드-포워드 제어(400)와 제2 피드-포워드 제어(500)를 결합하여 사용하는 경우, 지하철 역사 내의 미세먼지 농도를 보다 일정하게 유지하도록 하는 것이 가능하다.

[0068] 한편, 본 발명에 따른 환기제어시스템(100)의 에너지 소비량을 줄이는 것도 성능지표의 하나로 설명될 수 있다. 상기 표에 개시되어 있는 바와 같이, 종래 환기제어시스템에 비해, 본 발명의 모든 실시예에 따른 환기제어시스템(100)의 에너지 소비가 훨씬 줄어들고 있음을 확인할 수 있다. 그 이유는 도 5와 도 6에 도시되어 있는 바와 같이, 미리 스케쥴된 환기 팬 스피드에 비해, 본 발명에 따른 피드백 제어(300), 제1 피드-포워드 제어(400), 제2 피드-포워드 제어(500)를 사용하는 경우, 환기 팬 스피드를 보다 효율적으로 사용하는 것이 가능하다. 따라서, 이에 따른 에너지 소비량도 줄일 수 있다는 기술적 장점이 있다.

[0069] 또한, 본 발명에 따른 지하철 환기제어시스템(100)의 경우, 외부공기가 미세먼지 등으로 계속적인 오염상태에

있는 경우, 지하철 역사 내 실내 공기를 필터링을 통한 내부순환을 통해 환기를 행하는 것도 가능하다.

[0070] 지하철 역사 내 미세먼지 농도를 일정하게 유지하도록 하는 것은 사람들의 건강을 위해 필요로 하며, 본 발명에 따른 지하철 환기제어시스템(100)은 지하철 역사 내 미세먼지 농도를 건강하고 쾌적한 상태로 유지할 수 있도록 할 수 있다는 점에서 기술적 의의를 갖는다고 할 수 있다.

[0071] 이상, 본 발명의 일 실시예에 대하여 설명하였으나, 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 특허청구범위에 기재된 본 발명의 사상으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서, 구성 요소의 부가, 변경, 삭제 또는 추가 등에 의해 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있을 것이며, 이 또한 본 발명의 권리범위 내에 포함된다고 할 것이다.

## *부호의 설명*

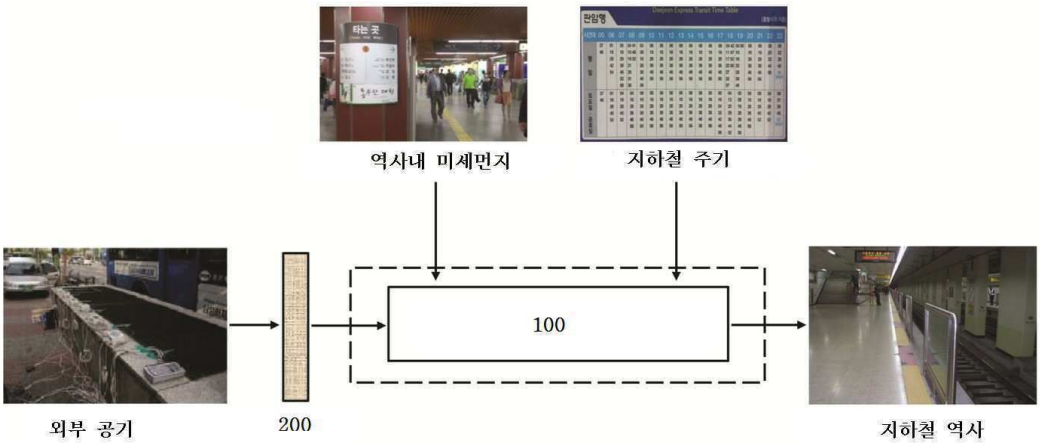
[0072] 100 : 환기제어시스템 200 : 필터

300 : 피드백 제어 400 : 제1 피드-포워드 제어

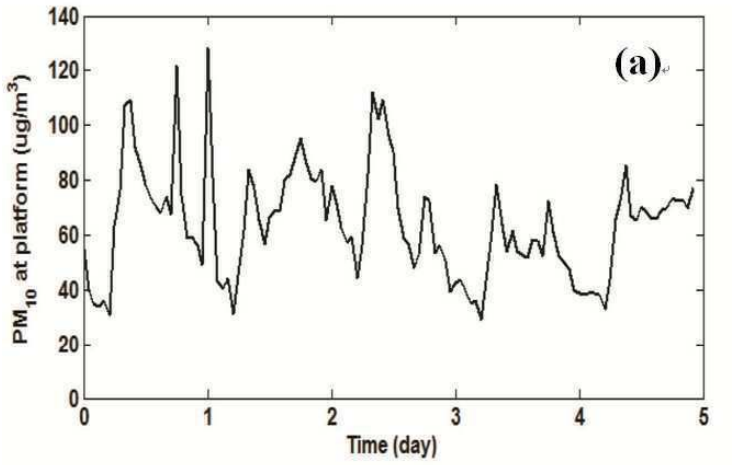
500 : 제2 피드-포워드 제어

## *도면*

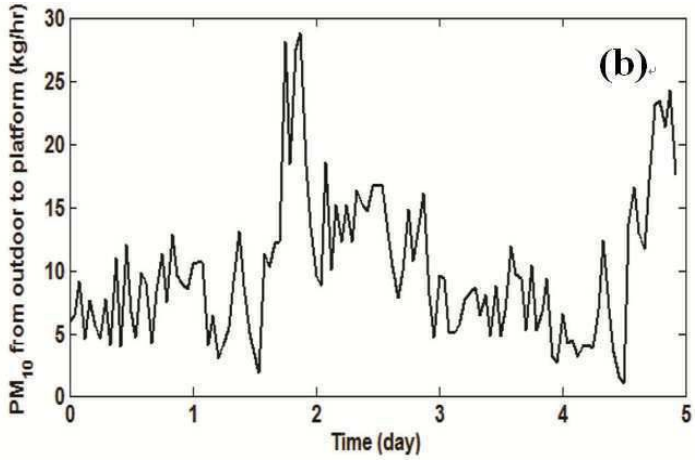
### *도면1*



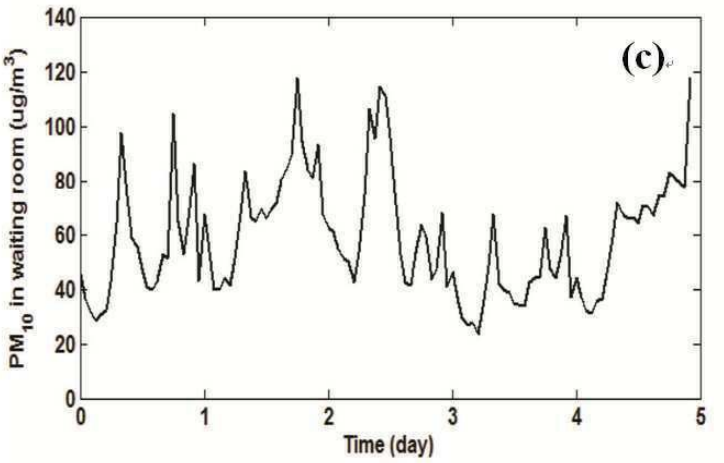

### *도면2a*



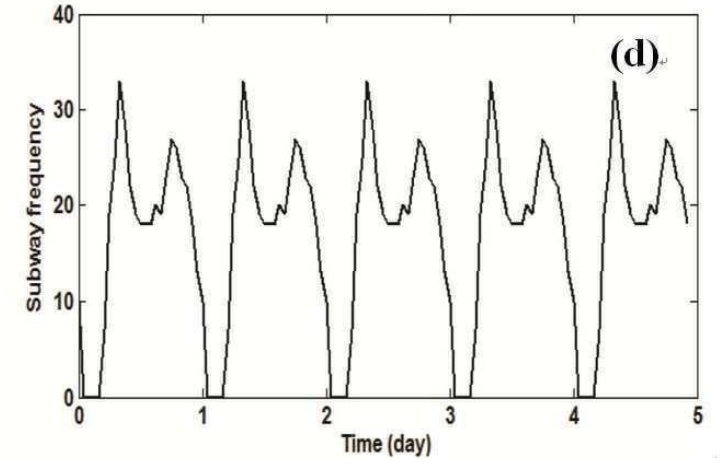
도면2b



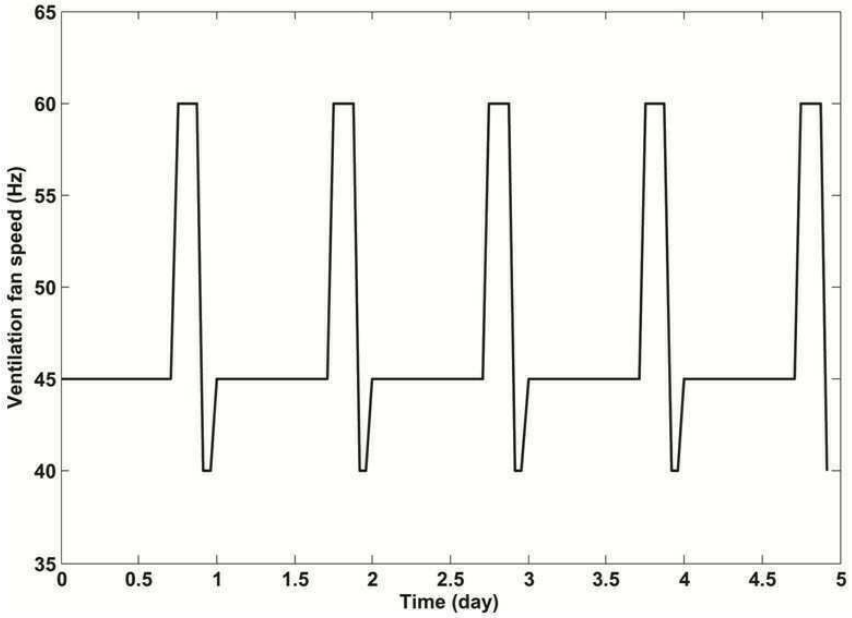

도면2c




도면2d

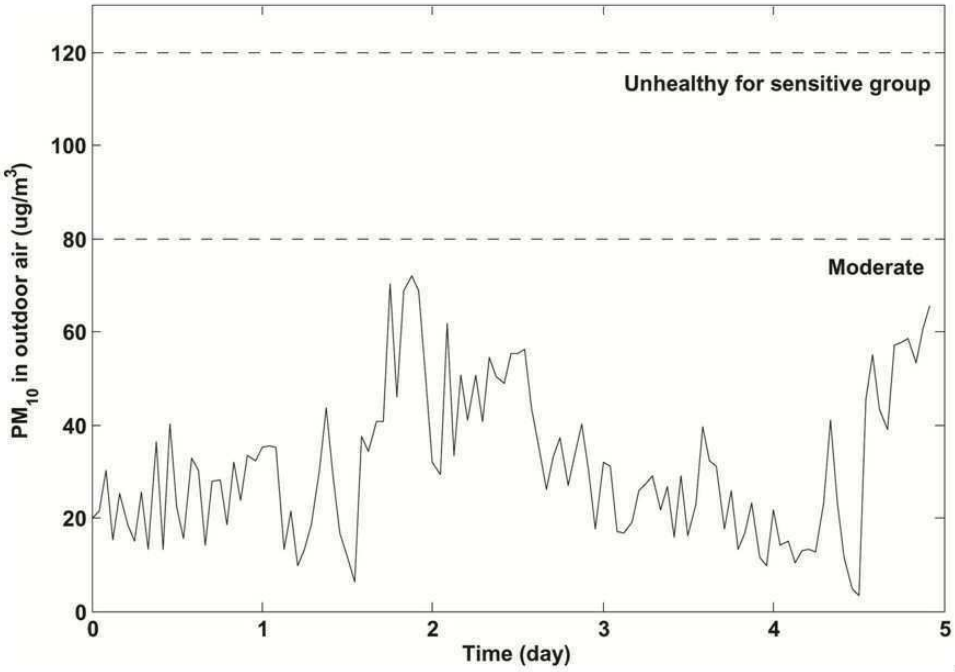


도면2e


Ventilation fan speed (Hz)
65
60
55
50
45
40
35
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
4.5
5
Time (day)

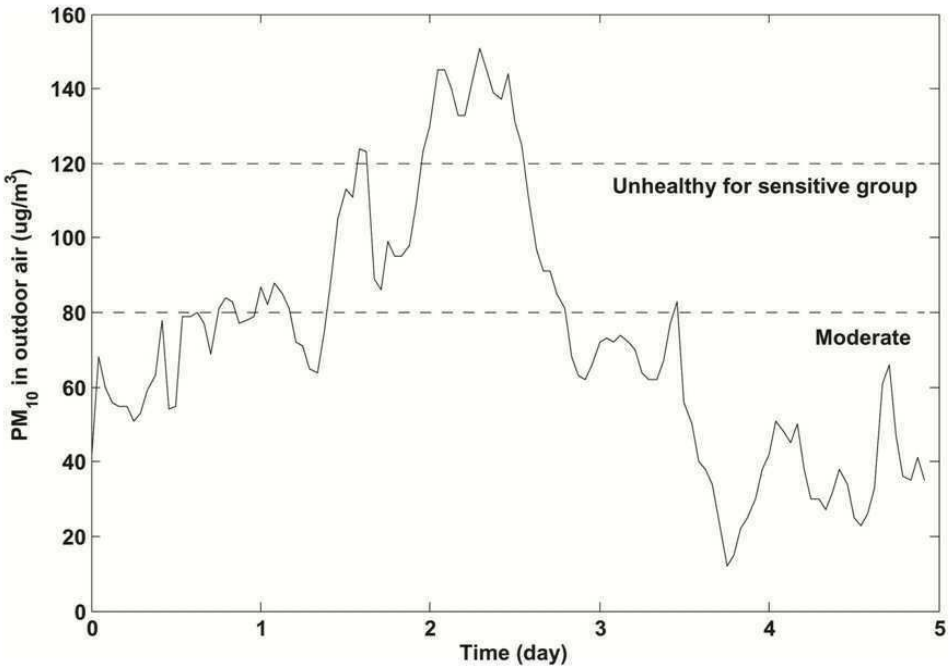
(e)

도면3a


Unhealthy for sensitive group
Moderate
PM10 in outdoor air (ug/m3)
120
100
80
60
40
20
0
0
1
2
3
4
5
Time (day)

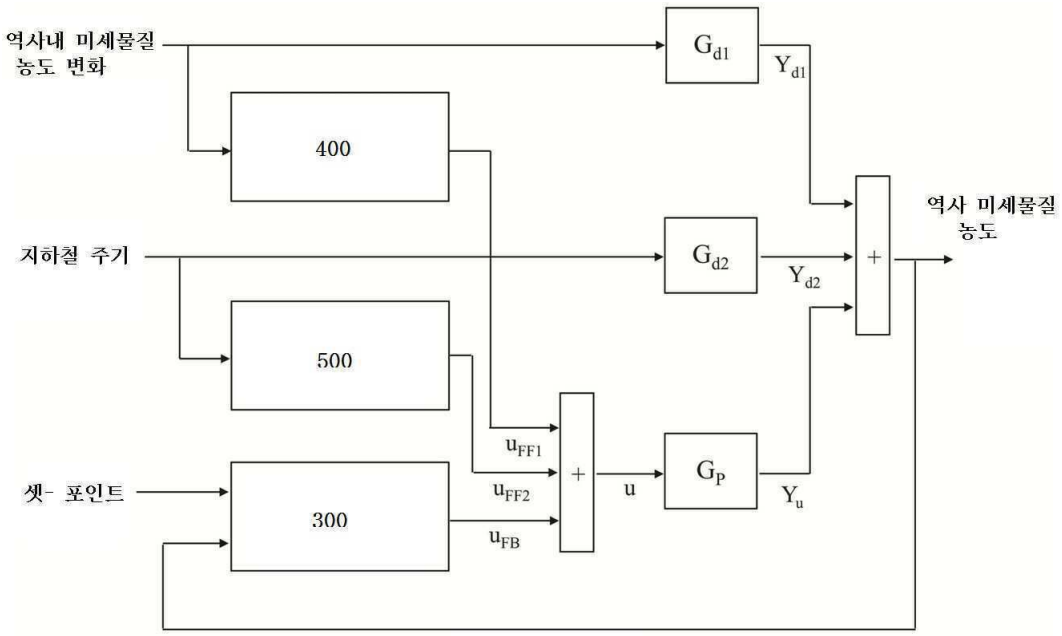
(a)

도면3b

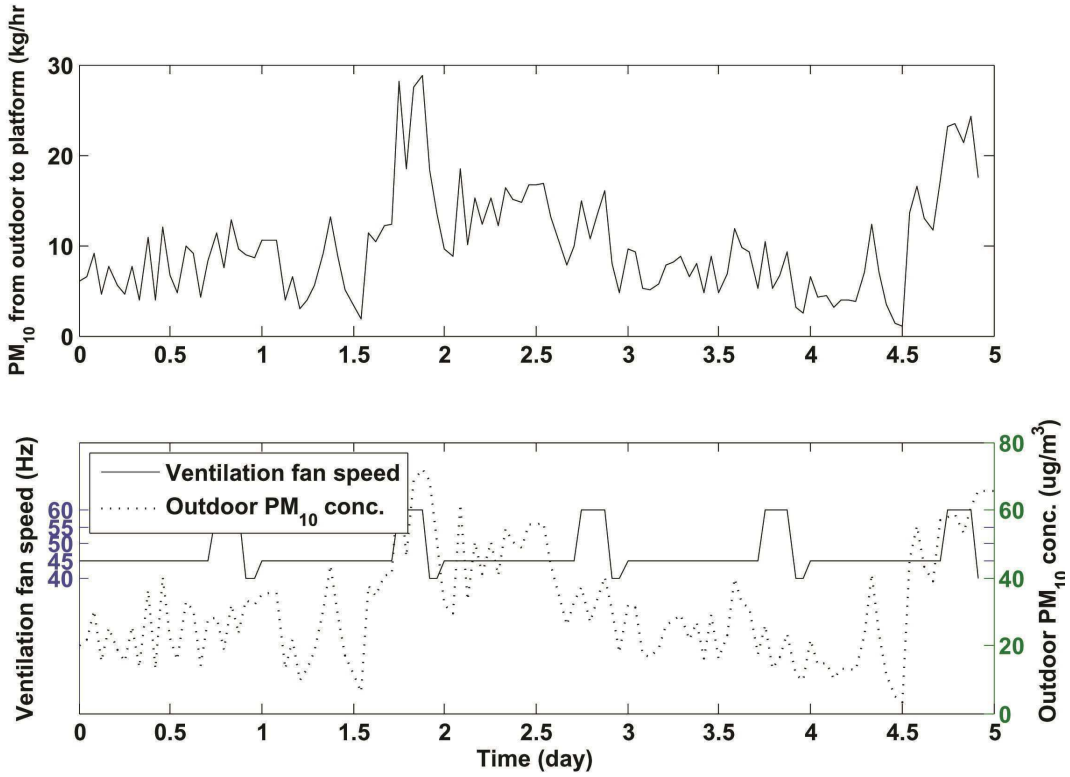

160
140
120
100
80
60
40
20
0
0
1
2
3
4
5
Time (day)
PM10 in outdoor air (ug/m3)
Unhealthy for sensitive group
Moderate

(b)

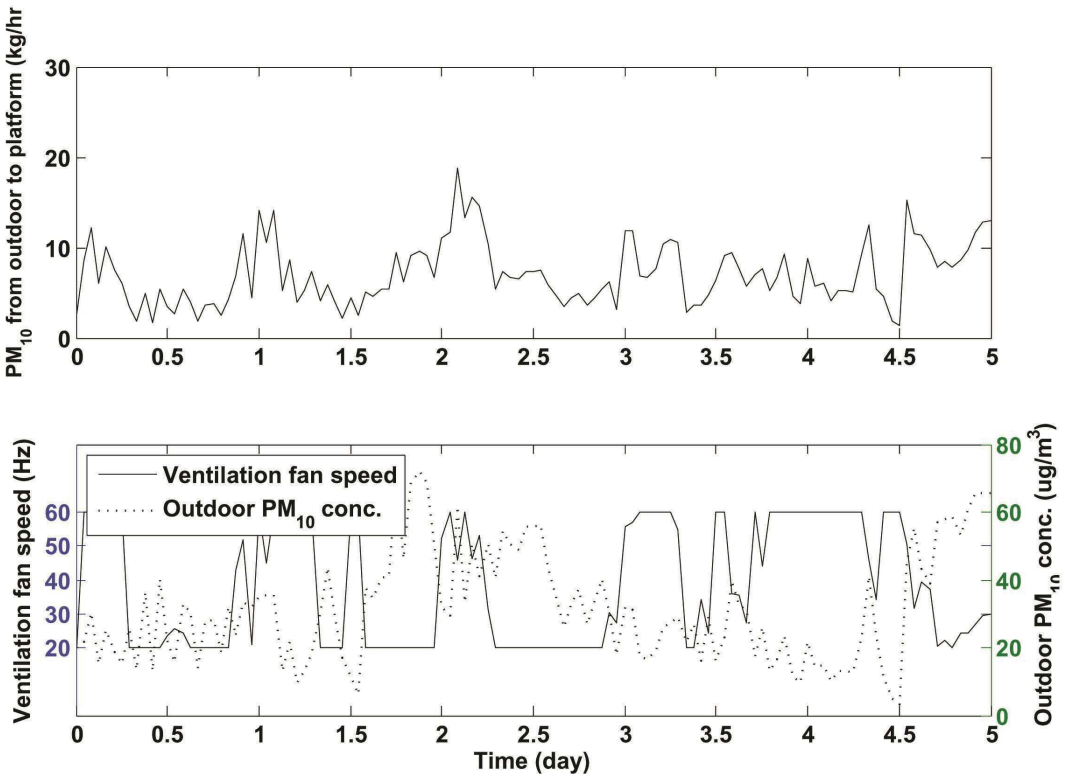
도면4


역사내 미세물질
농도 변화
400
지하철 주기
500
셋- 포인트
300
Gd1
Yd1
Gd2
Yd2
uFF1
uFF2
uFB
+
u
GP
Yu
+
역사 미세물질
농도

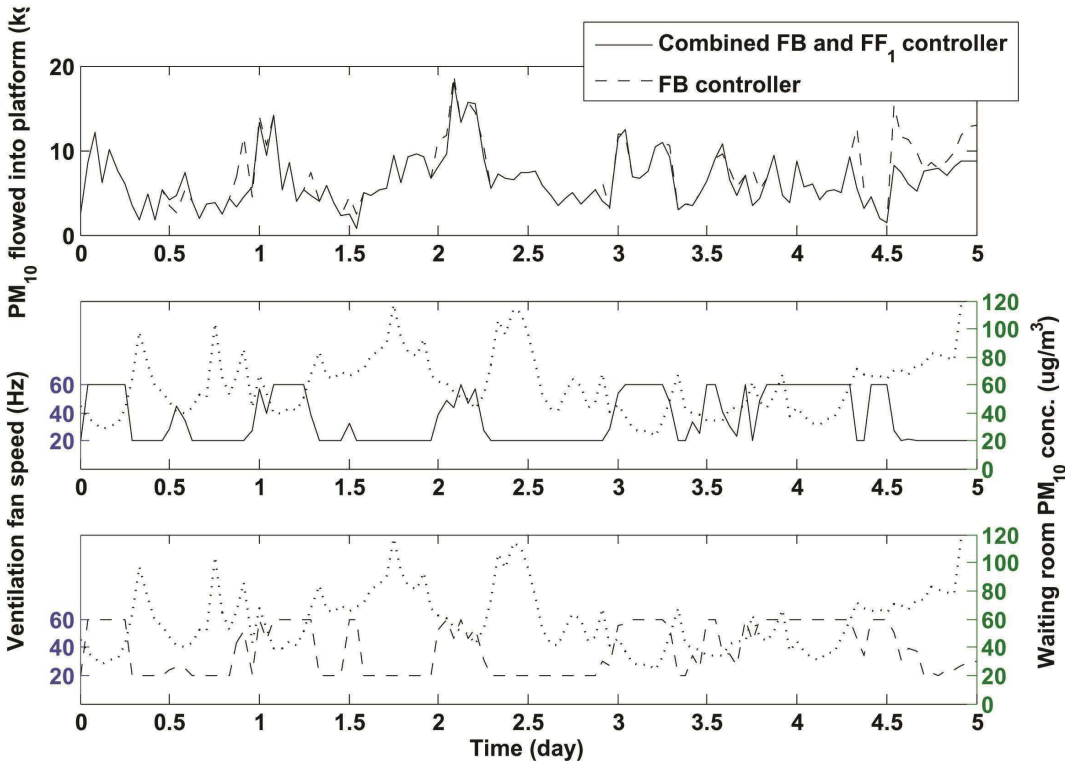
도면5a


PM10 from outdoor to platform (kg/hr
Ventilation fan speed (Hz)
Outdoor PM10 conc. (ug/m3)
Ventilation fan speed
Outdoor PM10 conc.
Time (day)

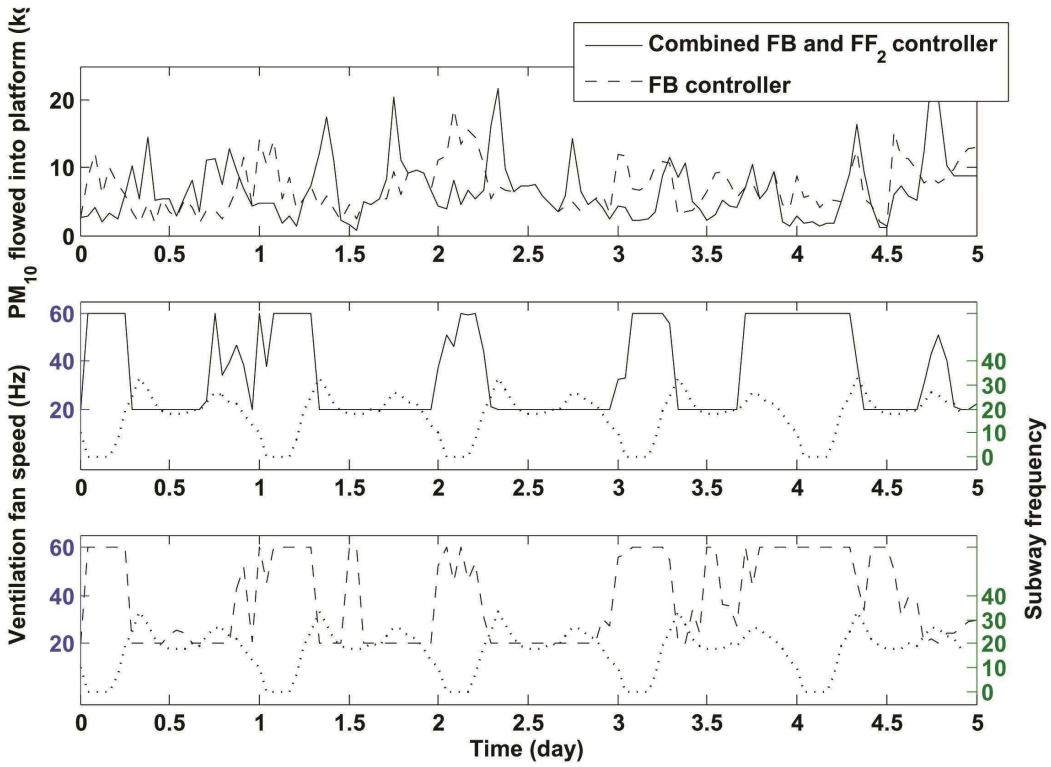
도면5b


PM10 from outdoor to platform (kg/hr
Ventilation fan speed (Hz)
Outdoor PM10 conc. (ug/m3)
Ventilation fan speed
Outdoor PM10 conc.
Time (day)

도면6a


Combined FB and FF1 controller
FB controller
PM10 flowed into platform (kg
Ventilation fan speed (Hz)
Waiting room PM10 conc. (ug/m3)
Time (day)

도면6b


Combined FB and FF2 controller
FB controller
PM10 flowed into platform (kg
Ventilation fan speed (Hz)
Subway frequency
Time (day)