

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2022-0167590
(43) 공개일자 2022년12월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

F24F 11/63 (2018.01) F24F 110/64 (2018.01)
F24F 120/10 (2018.01) F24F 130/10 (2018.01)
F24F 140/00 (2018.01) F24F 8/00 (2021.01)
G05B 13/04 (2006.01) G06N 20/00 (2019.01)

(52) CPC특허분류

F24F 11/63 (2018.01)
F24F 8/00 (2021.01)

(21) 출원번호 10-2021-0076744

(22) 출원일자 2021년06월14일

심사청구일자 2021년06월14일

(71) 출원인

경희대학교 산학협력단

경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)

(72) 발명자

구준모

서울특별시 강남구 삼성로51길 37, 103-1405(대치동, 래미안 대치 팰리스(1단지))

(74) 대리인

특허법인 아이퍼스

전체 청구항 수 : 총 15 항

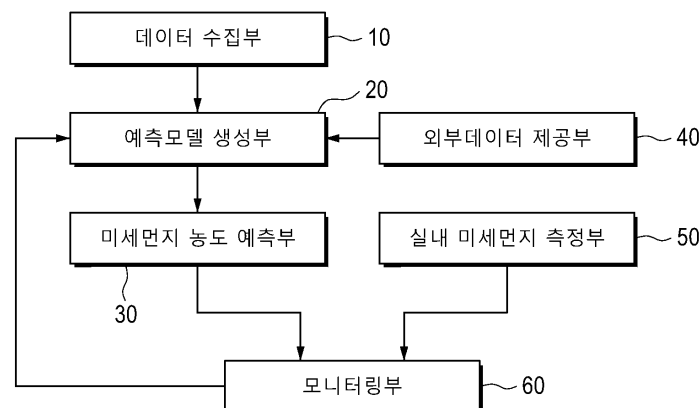
(54) 발명의 명칭 기계학습을 이용한 실내 미세먼지 농도 예측 시스템, 예측방법 및 이를 이용한 공기청정기 가동여부 판단 운영시스템

(57) 요약

본 발명은 기계학습을 이용한 실내 미세먼지 농도 예측 시스템, 예측방법 및 이를 이용한 공기청정기 가동여부 판단 운영시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는 미세먼지 관련 데이터를 실시간으로 측정, 수집하여 DB화하는 데이터수집부; 상기 데이터수집부에서 수집된 데이터를 기반으로 실내 미세먼지 농도 예측모델을 산출하는 예측모델생성부; 및 외부에서 제공되는 외부데이터를 기반으로 상기 예측모델생성부에서 생성된 예측모델을 통해 시간별 실내 미세먼지농도를 예측하는 미세먼지농도예측부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 기계학습을 이용한 실내 미세먼지 농도 예측시스템에 관한 것이다.

대표도 - 도1

100



(52) CPC특허분류

G05B 13/048 (2013.01)

G06N 20/00 (2021.08)

F24F 2110/64 (2018.01)

F24F 2120/10 (2018.01)

F24F 2130/10 (2018.01)

F24F 2140/00 (2018.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 20192410

과제번호 20192410

부처명 교육부, 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 한국연구재단(학술진흥)

연구사업명 원천기술개발사업/첨단융합기술

연구과제명 외기 미세먼지 실내 전달현상 규명 및 시간별 실내 미세먼지 농도 예측모델 개발(1/5)

기 여 율 1/1

과제수행기관명 경희대학교 산학협력단

연구기간 2019.08.20 ~ 2024.04.30

명세서

청구범위

청구항 1

실내 미세 먼지 예측시스템에 있어서,

미세먼지 관련 데이터를 실시간으로 측정, 수집하여 DB화하는 데이터수집부;

상기 데이터수집부에서 수집된 데이터를 기반으로 실내 미세먼지 농도 예측모델을 산출하는 예측모델생성부; 및
외부에서 제공되는 외부데이터를 기반으로 상기 예측모델생성부에서 생성된 예측모델을 통해 시간별 실내 미세먼지농도를 예측하는 미세먼지농도예측부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 기계학습을 이용한 실내 미세먼지 농도 예측시스템.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 미세먼지 관련 데이터는,

실내외 미세먼지농도 측정이력, 실내 미세먼지 농도 변화율 이력, 재실자수 이력, 재실자수 변화이력, 및 공기청정기의 가동이력 측정데이터인 것을 특징으로 하는 기계학습을 이용한 실내 미세먼지 농도 예측시스템.

청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 외부데이터는, 시간별 외기 미세먼지 농도 예보, 재실자 스케줄, 및 공기청정기 가동 스케줄인 것을 특징으로 하는 기계학습을 이용한 실내 미세먼지 농도 예측시스템.

청구항 4

제 3항에 있어서,

실시간으로 실내 미세먼지농도를 측정하는 실내 미세먼지측정부를 더 포함하고,

상기 미세먼지측정부에서 측정된 측정치와, 상기 예측부에서 예측된 실내 미세먼지농도 예측치를 대비하여 설정된 차이값 이상이 되는 경우, 상기 예측모델을 업데이트하는 것을 특징으로 하는 기계학습을 이용한 실내 미세먼지 농도 예측시스템.

청구항 5

제 3항에 있어서,

상기 예측모델생성부는 하기 수학적 2를 기반으로 예측모델을 산출하는 것을 특징으로 하는 기계학습을 이용한 실내 미세먼지 농도 예측시스템:

[수학적 2]

$$\frac{dC_{in}}{dt} = ACH \cdot (P + PO \cdot |\Delta R|) \cdot C_{out}(t) - (ACH + k) \cdot C_{in}(t) + \dot{S} \cdot R$$

상기 수학식 2에서, P는 침투계수 PO는 한사람이 문으로 출입했을 때 추가적으로 발생하는 입자침투효과, $\dot{S}$ 는 한 명의 재실인의 미세먼지 발생률, R 재실자수, ΔR 은 재실자 변화수이고, $C_{in}(t)$ 는 실내 미세입자 측정이력,

$C_{out}(t)$ 실외 미세입자 측정이력, $\frac{dC_{in}}{dt}$ 는 실내 미세먼지 농도 변화율 이력, ACH는 실내외 공기교환율이다.

청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 예측모델생성부는, 수학식 2에서 실내외 미세먼지농도 측정이력, 실내 미세먼지 농도 변화율 이력, 재실자수 이력, 재실자수 변화이력, 및 공기청정기의 가동이력 측정데이터를 대입하여, 최소제곱법을 통해 모델계수를 산정하는 것을 특징으로 하는 기계학습을 이용한 실내 미세먼지 농도 예측시스템.

청구항 7

제 6항에 있어서,

상기 모델계수는, $ACH \cdot P$, $ACH \cdot PO \cdot |\Delta R|$, $ACH + k$, $\dot{S}$ 인 것을 특징으로 하는 기계학습을 이용한 실내 미세먼지 농도 예측시스템.

청구항 8

제 7항에 있어서,

상기 미세먼지농도예측부는, 상기 모델계수가 반영된 수학식 2에 외부데이터인 시간별 외기 미세먼지 농도 예보, 재실자 스케줄, 및 공기청정기 가동 스케줄을 입력하여 상기 수학식 2를 적분하여 시간별 실내 미세먼지 농도 예측하는 것을 특징으로 하는 기계학습을 이용한 실내 미세먼지 농도 예측시스템.

청구항 9

미래의 실내먼지농도를 예측하여 공기청정기 가동여부 판단하고 운영하는 시스템에 있어서,

제 1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 따른 실내 미세먼지 농도 예측시스템; 및

상기 예측시스템의 미세먼지농도예측부에서 예측된 시간별 미세먼지 농도 예측치를 기반으로 상기 공기청정기의 가동여부를 판단하고, 운영하는 운영부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 실내 먼지예측모델을 이용한 공기청정기 가동여부 판단 운영시스템.

청구항 10

실내 미세 먼지 예측방법에 있어서,

데이터수집부에서, 실내외 미세먼지농도 측정이력, 실내 미세먼지 농도 변화율 이력, 재실자수 이력, 재실자수 변화이력, 및 공기청정기의 가동이력 측정데이터를 실시간으로 측정, 수집하여 DB화하는 단계;

예측모델생성부가 상기 데이터수집부에서 수집된 데이터를 기반으로 실내 미세먼지 농도 예측모델을 산출하는 단계; 및

외부에서 제공되는 시간별 외기 미세먼지 농도 예보, 재실자 스케줄, 및 공기청정기 가동 스케줄을 기반으로 상기 예측모델생성부에서 생성된 예측모델을 통해 시간별 실내 미세먼지농도를 예측하는 단계;를 포함하는 것을

특징으로 하는 기계학습을 이용한 실내 미세먼지 농도 예측방법.

청구항 11

제 10항에 있어서,

상기 미세먼지측정부에서 측정된 측정치와, 상기 예측부에서 예측된 실내 미세먼지농도 예측치를 대비하여 설정된 차이값 이상이 되는 경우, 상기 예측모델을 업데이트하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 기계학습을 이용한 실내 미세먼지 농도 예측방법.

청구항 12

제 10항에 있어서,

상기 예측모델을 산출하는 단계는, 하기 수학적식 2에서 실내외 미세먼지농도 측정이력, 실내 미세먼지 농도 변화율 이력, 재실자수 이력, 재실자수 변화이력, 및 공기청정기의 가동이력 측정데이터를 대입하여, 최소제곱법을 통해 모델계수를 산정하는 것을 특징으로 하는 기계학습을 이용한 실내 미세먼지 농도 예측방법:

[수학적식 2]

$$\frac{dC_{in}}{dt} = ACH \cdot (P + PO \cdot |\Delta R|) \cdot C_{out}(t) - (ACH + k) \cdot C_{in}(t) + \dot{S} \cdot R$$

상기 수학적식 2에서, P는 침투계수 PO는 한사람이 문으로 출입했을 때 추가적으로 발생하는 입자침투효과, $\dot{S}$ 는 한 명의 재실인의 미세먼지 발생률, R 재실자수, ΔR 은 재실자 변화수이고, $C_{in}(t)$ 는 실내 미세먼지 측정이력,

$C_{out}(t)$ 실외 미세먼지 측정이력, $\frac{dC_{in}}{dt}$ 는 실내 미세먼지 농도 변화율 이력, ACH는 실내외 공기교환율이다.

청구항 13

제 12항에 있어서,

상기 모델계수는, $ACH \cdot P$, $ACH \cdot PO \cdot |\Delta R|$, $ACH + k$, $\dot{S}$ 인 것을 특징으로 하는 기계학습을 이용한 실내 미세먼지 농도 예측방법.

청구항 14

제 13항에 있어서,

실내 미세먼지농도를 예측하는 단계에서, 상기 모델계수가 반영된 수학적식 2에 외부데이터인 시간별 외기 미세먼지 농도 예보, 재실자 스케줄, 및 공기청정기 가동 스케줄을 입력하여 상기 수학적식 2를 적분하여 시간별 실내 미세먼지 농도 예측하는 것을 특징으로 하는 기계학습을 이용한 실내 미세먼지 농도 예측방법.

청구항 15

미래의 실내미세먼지농도를 예측하여 공기청정기 가동여부 판단하고 운영하는 방법에 있어서,

제 10항 내지 제 14항 중 어느 한 항에 따른 예측방법에 따라 시간별 실내 미세먼지농도를 예측하는 단계; 및 운영부에 의해 미세먼지농도예측부에서 예측된 시간별 미세먼지 농도 예측치를 기반으로 상기 공기청정기의 가

동여부를 판단하고, 운영하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 실내 먼지예측모델을 이용한 공기청정기 가동여부 판단 운영방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 기계학습을 이용한 실내 미세먼지 농도 예측 시스템, 예측방법 및 이를 이용한 공기청정기 가동여부 판단 운영시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 도시화와 황사의 영향으로 대기 미세먼지 농도가 높은 한국 국민들의 미세먼지 노출량을 낮추기 위해, 하루의 대부분 시간을 보내는 실내 미세먼지 농도의 한계치를 정하여 관리하는 법이 제정되어 있다.

[0003] 미세먼지예측의 노출이 건강에 해롭다는 것은 잘 알려진 사실이다. 한국은 도시화 및 황사의 영향으로 미세먼지에 의한 외기 대기질 문제를 지속적으로 겪어오고 있다.

[0004] 국내에서는 대기환경보전법(CLEAN AIR CONSERVATION ACT)과 실내공기질관리법(INDOOR AIR QUALITY CONTROL ACT) 혹은 학교보건법(SCHOOL HEALTH ACT)을 통해 외기 및 실내 공기질 관리가 수행된다. 대기환경보전법에서는 외기 PM2.5, PM10 농도에 따라 미세먼지 경보를 발령하고 미세먼지 저감조치 등을 시행하며, 실내공기질 관리법 혹은 학교보건법에서는 실내공기질 관리 목표를 설정하고 이를 지키기 위해 실내 미세먼지 농도를 관리하도록 제정되어 있다. 사람들은 외기 미세먼지 문제가 심각한 날에는 실내에서 창과 문을 닫고 대부분의 시간을 보내는 것[9]으로 알려져 있어 실외 미세먼지 농도 뿐만 아니라 실내 미세먼지예측의 노출에 대한 관리지침까지 법령으로 제정되어 있다.

[0005] 최근 대기환경 관리를 강화하기 위해 2018 년 3 월 PM2.5 환경기준을 기존 세계보건기구 기준(WHO) IT-2 수준에서 선진국 수준인 WHO IT-3 수준으로 강화했다.

[0006] 이에 따라 미세먼지 예보 및 경보체계를 운영하며, 고농도 미세먼지 발생 시 되도록 외출을 삼가고 외출 시 마스크를 착용하는 등 외기 미세먼지예측의 노출을 줄이도록 가이드라인으로 제시하고 있다. 실내공기질 관리의 예로 대기오염으로 인한 건강문제에 취약한 초, 중, 고등학생이 생활하는 학교공간 내 실내 미세먼지 대응체계를 간단히 설명하면 다음과 같다.

[0007] 교육청에서는 앞서 설명한 대기환경보전법의 대기오염도 기준에 따른 PM2.5, PM10 예측결과에 따른 대기오염대응 매뉴얼을 마련하고 매뉴얼 내 가이드라인에 따라 실내 미세먼지 농도를 관리한다. 이에 따르면 실내 미세먼지 농도는 PM2.5, PM10 각 $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하를 유지함을 목표로 한다. 관리자는 실내 미세먼지 농도가 기준치를 넘길 것이 예상되고 그 원인이 과도한 외기 미세먼지 유입인 경우 공기 정화설비를 간헐적으로 가동하여 목표수준을 유지하게 한다. 이때 공기 정화설비의 지속적인 가동은 피하라고 제시하고 있다. 이 가이드라인을 효과적으로 준수하기 위해서는 실내 미세먼지 농도 관리자는 다음과 같은 문제에 대한 해답이 필요하다.

[0008] - 어떤 날에 실내 미세먼지 저감장치를 가동해야 하는가?

[0009] - 실내 미세먼지 농도를 기준치 아래로 유지하기 위해서는 공기청정기 등 미세먼지 저감장치를 언제 가동하고 정지해야 하는가?

[0010] 해답을 얻기 위해서는 미세먼지 저감장치 가동여부에 따라 실내와 외기 미세먼지 농도 간의 관계를 알아야 한다. 다음은 종래 공개된 실내외 미세먼지 농도 간 관계 관련 연구 문헌을 요약 정리했다.

[0011] Chen and Zhao는 외부 입자예측의 노출의 건강예측의 영향에 대한 심각성을 지적하며, 실내외 미세먼지 농도 간의 관계에 대한 기존 실험 및 모델링 연구에 대한 리뷰 논문을 게재하였다. 이들은 실내외 미세먼지 간의 관계를 설명하는 방법으로 실내외 농도비(I/O ratio), 침입계수(Infiltration factor), 침투계수(Penetration factor)를 이용한 연구에 대하여 자세히 리뷰하였다. 특히, I/O 비 및 침입계수는 실내 발생 입자의 영향 및 변화하는 외기의 미세먼지 농도 효과를 실시간으로 반영하기 어려워, 미세먼지의 침입, 제거, 발생효과를 고려한 동적 모델이 건물 외피를 통한 입자 침투기구를 기술하는데 가장 적합하다고 보고했다. 이들은 외부 바람환경은 매우 비정상적(Unsteady)이며 변화가 주기가 불규칙적이고 이로 인해 순간적인 미세먼지 유입예측의 영향도 크다고 기

재하고 있다.

- [0012] Martin and Graca는 도시에서의 외기 및 실내 PM2.5 발생 및 소멸원인, 건물 종류에 따른 실내외 I/O 비, 실내 PM2.5 수준을 예측하는 방법, 각국이 선정한 노출한계, 실내 PM2.5 노출 저감법 등에 대한 리뷰 논문을 작성했다. 여기서 한국은 선진국들과는 달리 몽고, 필리핀과 비슷한 수준의 상대적으로 느슨한 미세먼지 노출한계를 적용하고 있음을 보였는데, 이는 한국 내 외기 미세먼지 문제가 심각함을 보여준다. 그들은 실내 미세먼지 농도를 낮출 수 있는 다양한 해결책을 정리했는데, 강한 배기규제, 청정연료 사용, 도심 녹화 등과 함께 실내 공기청정기 사용을 제시했다.
- [0013] Pei 등은 실내 이동형 공기청정기 사용의 실내 미세먼지 농도저감 효과를 분석했으며, 한국은 이동형 공기청정기 사용율이 매우 높음을 보고했다. 이들은 특별히 사용자 조작의 저감효과에의 큰 영향을 준다고 강조했다.
- [0014] Choi and Kang 은 국내 11 개 거주공간에 대하여, 실내외 압력차를 10 Pa 로 고정한 상태에서 미세먼지의 침입계수를 평가하였다. 주어진 압력차는 일반적인 실내외 압력차 범위 0-5 Pa 을 상회하지만, 측정 산포가 낮은 정확한 측정이 가능했으며, 실내외 압력차가 일정하므로 각 공간 간의 외부 미세먼지 침입효과를 상대 비교할 수 있었다. 평균 침입계수는 0.65로 0.38-0.88의 분포를 보였다.
- [0015] Lin 등은 최근 최근 기계학습 유행과 함께 실내외 미세먼지 농도간의 관계를 이를 이용하여 분석하는 연구들이 크게 증가했는데, Wei et al.은 미세먼지를 포함한 실내공기질(IAQ) 예측 관련 기존 37 개 논문을 정리하여 리뷰 논문을 개제했다. 그는 물리적 모델은 비재실, 미세먼지 전달의 기전이 확실한 환경에 적합하고, 기계학습법 이용한 통계적 방법은 재실자가 있는 복잡하며 미세먼지 전달의 기전이 확실하지 않은 현장 예측에 많은 데이터가 가용할 때 더 적합하다고 보고했다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0016] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허 10-2019-0103661
(특허문헌 0002) 대한민국 공개특허 10-2017-0038422
(특허문헌 0003) 대한민국 등록특허 10-1278245
(특허문헌 0004) 대한민국 등록특허 10-213049

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0017] 따라서 본 발명은 상기와 같은 종래의 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로서, 본 발명의 실시예에 따르면, 실내외 미세먼지 농도이력을 이용하여 외기 미세먼지의 실내전달현상을 분석하여 전달기구를 규명하고, 이를 이용하여 미분방정식 형태의 지배방정식을 구성하여 미래의 외부 미세먼지 예보를 이용하여 실내 미세먼지 농도를 예측하는 방법을 제시하여 실내 미세먼지 농도 관리자가 활용할 수 있는 정보를 제공할 수 있는 기반 기술을 확보하는 것을 목적으로 한다.
- [0018] 본 발명의 실시예에 따르면, 연구 대상 공간의 실내외 미세먼지 농도를 공기청정기 가동여부에 따라 입자 크기별로 상세 측정을 하여 이들 간의 관계식을 얻고, 미세먼지 전달기구를 고려한 미분방정식의 계수를 결정하는 회색(Grey) 모델을 개발하여, 미세먼지 예보를 이용해 미래 실내공간 내 미세먼지 농도를 예측할 수 있는 방법을 제시하는 것을 목적으로 한다.
- [0019] 본 발명의 실시예에 따르면, 주어진 공간의 미세먼지 농도변화를 미리 예측하고 해당 공간의 공기질을 유지, 제어하기 위한 도구로 이용할 수 있는, 기계학습을 이용한 실내 미세먼지 농도 예측 시스템 및 예측방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0020] 한편, 본 발명에서 이루고자 하는 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0021] 본 발명의 제1목적은, 실내 미세 먼지 예측시스템에 있어서, 미세먼지 관련 데이터를 실시간으로 측정, 수집하여 DB화하는 데이터수집부; 상기 데이터수집부에서 수집된 데이터를 기반으로 실내 미세먼지 농도 예측모델을 산출하는 예측모델생성부; 및 외부에서 제공되는 외부데이터를 기반으로 상기 예측모델생성부에서 생성된 예측모델을 통해 시간별 실내 미세먼지농도를 예측하는 미세먼지농도예측부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 기계학습을 이용한 실내 미세먼지 농도 예측시스템으로서 달성될 수 있다.

[0022] 그리고 상기 미세먼지 관련 데이터는, 실내외 미세먼지농도 측정이력, 실내 미세먼지 농도 변화율 이력, 재실자수 이력, 재실자수 변화이력, 및 공기청정기의 가동이력 측정데이터인 것을 특징으로 할 수 있다.

[0023] 또한 상기 외부데이터는, 시간별 외기 미세먼지 농도 예보, 재실자 스케줄, 및 공기청정기 가동 스케줄인 것을 특징으로 할 수 있다.

[0024] 그리고 실시간으로 실내 미세먼지농도를 측정하는 실내 미세먼지측정부를 더 포함하고, 상기 미세먼지측정부에서 측정된 측정치와, 상기 예측부에서 예측된 실내 미세먼지농도 예측치를 대비하여 설정된 차이값 이상이 되는 경우, 상기 예측모델을 업데이트하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0025] 또한 상기 예측모델생성부는 하기 수학적 2를 기반으로 예측모델을 산출하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0026] [수학적 2]

$$\frac{dC_{in}}{dt} = ACH \cdot (P + PO \cdot |\Delta R|) \cdot C_{out}(t) - (ACH + k) \cdot C_{in}(t) + \dot{S} \cdot R$$

[0027]

[0028] 상기 수학적 2에서, P는 침투계수 PO는 한사람이 문으로 출입했을 때 추가적으로 발생하는 입자침투효과, $\dot{S}$ 는 한 명의 재실인의 미세먼지 발생률, R 재실자수, ΔR 은 재실자 변화수이고, $C_{in}(t)$ 는 실내 미세입자 측정이력,

$C_{out}(t)$ 실외 미세입자 측정이력, $\frac{dC_{in}}{dt}$ 는 실내 미세먼지 농도 변화율 이력, ACH는 실내외 공기교환율이다.

[0029] 그리고 상기 예측모델생성부는, 수학적 2에서 실내외 미세먼지농도 측정이력, 실내 미세먼지 농도 변화율 이력, 재실자수 이력, 재실자수 변화이력, 및 공기청정기의 가동이력 측정데이터를 대입하여, 최소제곱법을 통해 모델계수를 산정하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0030] 또한 상기 모델계수는, $ACH \cdot P$, $ACH \cdot PO \cdot |\Delta R|$, $ACH + k$, $\dot{S}$ 인 것을 특징으로 할 수 있다.

[0031] 그리고 상기 미세먼지농도예측부는, 상기 모델계수가 반영된 수학적 2에 외부데이터인 시간별 외기 미세먼지 농도 예보, 재실자 스케줄, 및 공기청정기 가동 스케줄을 입력하여 상기 수학적 2를 적분하여 시간별 실내 미세먼지 농도 예측하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0032] 본 발명의 제2목적은 미래의 실내먼지농도를 예측하여 공기청정기 가동여부 판단하고 운영하는 시스템에 있어서, 앞서 언급한 제 1목적에 따른 실내 미세먼지 농도 예측시스템; 및 상기 예측시스템의 미세먼지농도예측부에서 예측된 시간별 미세먼지 농도 예측치를 기반으로 상기 공기청정기의 가동여부를 판단하고, 운영하는 운영부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 실내 먼지예측모델을 이용한 공기청정기 가동여부 판단 운영시스템으로서 달성될 수 있다.

[0033] 본 발명의 제3목적은 실내 미세 먼지 예측방법에 있어서, 데이터수집부에서, 실내외 미세먼지농도 측정이력, 실내 미세먼지 농도 변화율 이력, 재실자수 이력, 재실자수 변화이력, 및 공기청정기의 가동이력 측정데이터를 실시간으로 측정, 수집하여 DB화하는 단계; 예측모델생성부가 상기 데이터수집부에서 수집된 데이터를 기반으로 실내 미세먼지 농도 예측모델을 산출하는 단계; 및 외부에서 제공되는 시간별 외기 미세먼지 농도 예보, 재실자 스케줄, 및 공기청정기 가동 스케줄을 기반으로 상기 예측모델생성부에서 생성된 예측모델을 통해 시간별 실내 미세먼지농도를 예측하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 기계학습을 이용한 실내 미세먼지 농도 예측방법으로서 달성될 수 있다.

[0034] 그리고 상기 미세먼지측정부에서 측정된 측정치와, 상기 예측부에서 예측된 실내 미세먼지농도 예측치를 대비하

여 설정된 차이값 이상이 되는 경우, 상기 예측모델을 업데이트하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0035] 또한 상기 예측모델을 산출하는 단계는, 하기 수학식 2에서 실내외 미세먼지농도 측정이력, 실내 미세먼지 농도 변화율 이력, 재실자수 이력, 재실자수 변화이력, 및 공기청정기의 가동이력 측정데이터를 대입하여, 최소제곱법을 통해 모델계수를 산정하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0036] [수학식 2]

$$\frac{dC_{in}}{dt} = ACH \cdot (P + PO \cdot |\Delta R|) \cdot C_{out}(t) - (ACH + k) \cdot C_{in}(t) + \dot{S} \cdot R$$

[0037]

[0038] 상기 수학식 2에서, P는 침투계수 PO는 한사람이 문으로 출입했을 때 추가적으로 발생하는 입자침투효과, $\dot{S}$ 는 한 명의 재실인의 미세먼지 발생률, R 재실자수, ΔR 은 재실자 변화수이고, $C_{in}(t)$ 는 실내 미세먼지 측정이력, $C_{out}(t)$ 실외 미세먼지 측정이력, $\frac{dC_{in}}{dt}$ 는 실내 미세먼지 농도 변화율 이력, ACH는 실내외 공기교환율이다.

[0039] 그리고 상기 모델계수는, $ACH \cdot P$, $ACH \cdot PO \cdot |\Delta R|$, $ACH + k$, $\dot{S}$ 인 것을 특징으로 할 수 있다.

[0040] 또한 실내 미세먼지농도를 예측하는 단계에서, 상기 모델계수가 반영된 수학식 2에 외부데이터인 시간별 외기 미세먼지 농도 예보, 재실자 스케줄, 및 공기청정기 가동 스케줄을 입력하여 상기 수학식 2를 적분하여 시간별 실내 미세먼지 농도 예측하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0041] 또한 본 발명의 제4목적은, 미래의 실내미세먼지농도를 예측하여 공기청정기 가동여부 판단하고 운영하는 방법에 있어서, 앞서 언급한 제3목적에 따른 예측방법에 따라 시간별 실내 미세먼지농도를 예측하는 단계; 및 운영부에 의해 미세먼지농도예측부에서 예측된 시간별 미세먼지 농도 예측치를 기반으로 상기 공기청정기의 가동여부를 판단하고, 운영하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 실내 먼지예측모델을 이용한 공기청정기 가동여부 판단 운영방법으로서 달성될 수 있다.

[0042] 본 발명의 실시예에 따른 기계학습을 이용한 실내 미세먼지 농도 예측 시스템 및 예측방법에 따르면, 실내외 미세먼지 농도이력을 이용하여 외기 미세먼지의 실내전달현상을 분석하여 전달기구를 규명하고, 이를 이용하여 미분방정식 형태의 지배방정식을 구성하여 미래의 외부 미세먼지 예보를 이용하여 실내 미세먼지 농도를 예측하는 방법을 제시하여 실내 미세먼지 농도 관리자가 활용할 수 있는 정보를 제공할 수 있는 기반 기술을 확보할 수 있다.

발명의 효과

[0043] 본 발명의 실시예에 따른 기계학습을 이용한 실내 미세먼지 농도 예측 시스템 및 예측방법에 따르면, 연구 대상 공간의 실내외 미세먼지 농도를 공기청정기 가동여부에 따라 입자 크기별로 상세 측정을 하여 이들 간의 관계식을 얻고, 미세먼지 전달기구를 고려한 미분방정식의 계수를 결정하는 회색(Grey) 모델을 개발하여, 미세먼지 예보를 이용해 미래 실내공간 내 미세먼지 농도를 예측할 수 있는 효과를 갖는다.

[0044] 본 발명의 실시예에 따른 기계학습을 이용한 실내 미세먼지 농도 예측 시스템 및 예측방법에 따르면, 주어진 공간의 미세먼지 농도변화를 미리 예측하고 해당 공간의 공기질을 유지, 제어하기 위한 도구로 이용할 수 있게 된다.

[0045] 한편, 본 발명에서 얻을 수 있는 효과는 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

[0046] 도면의 간단한 설명

도면의 간단한 설명

[0047] 본 명세서에 첨부되는 다음의 도면들은 본 발명의 바람직한 실시예를 예시하는 것이며, 발명의 상세한 설명과 함께 본 발명의 기술적 사상을 더욱 이해시키는 역할을 하는 것이므로, 본 발명은 그러한 도면에 기재된 사항에

만 한정되어 해석 되어서는 아니 된다.

도 1은 본 발명의 실시예에 따른 기계학습을 이용한 실내 미세먼지 농도 예측 시스템의 블록도,

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 기계학습을 이용한 실내 미세먼지 농도 예측방법의 흐름도,

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 측정대상공간의 개략도,

도 4는 10 μm 미만의 입자 직경에 대한 공칭 채널 및 입자 계수기 범위 표,

도 5a 내지 도 5d는 서로 다른 크기의 미세입자들의 실내외 농도 측정값 그래프(도 5a 내지 도 5d 내의 노랑색 음영처리 된 부분은 공기청정기가 작동한 시기),

도 6은 공기청정기 가동에 따른 각 측정 채널에서의 실내외 평균 미세먼지 농도비변화

도 7은 측정기간 중 실내 재실인원과 실내 이산화탄소 농도변화의 이력,

도 8a 내지 도 8d는 입자크기에 대한 결정된 모델계수 그래프 (a) P^* (b) k^* (c) PO^* (d) $\hat{S}$

도 9는 PM2.5 과 PM10 측정값을 이용한 수학적 2 형태의 모델(미분방정식과 도 9의 점선으로 보인 외기 미세먼지 농도를 입력값으로 이용하여 실내 미세먼지 농도를 계산한 값을 빨강색과 파란색의 파선으로 나타냄),

도 10은 측정값과 수학적 2를 이용해 얻은 적합치 간 오차분산의 최소제곱법을 이용해 얻은 모델 상수표

도 11은 측정값과 모델 적합치를 이용해 산정한 입자크기별 NMBE, CV(RMSE), R^2 값,

도 12는 PM2.5, PM10 농도 예측모델의 적합치를 이용한 성능지표를 계산한 표

도 13은 각 21 일 하루씩 예측한 값을 측정값과 비교하여 얻은 평가지표,

도 14의 각 열은 비재실의 경우(도 14 (a), (c))와 재실인이 있을 경우(도 14 (b), (d)) 각 항의 상대적인 효과를 비교

도 15는 공기청정기 비가동 및 가동 기간 동안의 실내외 평균 미세입자 농도를 비교한 그림,

도 16a 내지 도 16d는 실내외 미세먼지 입자농도와 공기청정기 가동여부에 따른 실내 미세먼지 예측값,

도 17은 전체 기간 중 실내 미세먼지 예측값 들을 이용해 산정된 각 입자 크기에서의 입자 제거효율,

도 18은 본 발명의 실시예에서 이용하는 실내 미세먼지 농도예측 시스템의 데이터 흐름도를 도시한 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0047] 이상의 본 발명의 목적들, 다른 목적들, 특징들 및 이점들은 첨부된 도면과 관련된 이하의 바람직한 실시예들을 통해서 쉽게 이해될 것이다. 그러나 본 발명은 여기서 설명되는 실시예들에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 오히려, 여기서 소개되는 실시예들은 개시된 내용이 철저하고 완전해질 수 있도록 그리고 통상의 기술자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 제공되는 것이다.

[0048] 본 명세서에서, 어떤 구성요소가 다른 구성요소 상에 있다고 언급되는 경우에 그것은 다른 구성요소 상에 직접 형성될 수 있거나 또는 그들 사이에 제 3의 구성요소가 개재될 수도 있다는 것을 의미한다. 또한 도면들에 있어서, 구성요소들의 두께는 기술적 내용의 효과적인 설명을 위해 과장된 것이다.

[0049] 본 명세서에서 기술하는 실시예들은 본 발명의 이상적인 예시도인 단면도 및/또는 평면도들을 참고하여 설명될 것이다. 도면들에 있어서, 막 및 영역들의 두께는 기술적 내용의 효과적인 설명을 위해 과장된 것이다. 따라서 제조 기술 및/또는 허용 오차 등에 의해 예시도의 형태가 변형될 수 있다. 따라서 본 발명의 실시예들은 도시된 특정 형태로 제한되는 것이 아니라 제조 공정에 따라 생성되는 형태의 변화도 포함하는 것이다. 예를 들면, 직각으로 도시된 영역은 라운드지거나 소정 곡률을 가지는 형태일 수 있다. 따라서 도면에서 예시된 영역들은 속성을 가지며, 도면에서 예시된 영역들의 모양은 소자의 영역의 특정 형태를 예시하기 위한 것이며 발명의 범주를 제한하기 위한 것이 아니다. 본 명세서의 다양한 실시예들에서 제1, 제2 등의 용어가 다양한 구성요소들을 기술하기 위해서 사용되었지만, 이들 구성요소들이 이 같은 용어들에 의해서 한정되어서는 안 된다. 이들 용어들은 단지 어느 구성요소를 다른 구성요소와 구별시키기 위해서 사용되었을 뿐이다. 여기에 설명되고 예시되는 실시예들은 그것의 상보적인 실시예들도 포함한다.

[0050] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 '포함한다(comprises)' 및/또는 '포함하는(comprising)'은 언급된 구성요소는 하나 이상의 다른 구성요소의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.

[0051] 아래의 특정 실시예들을 기술하는데 있어서, 여러 가지의 특정적인 내용들은 발명을 더 구체적으로 설명하고 이해를 돕기 위해 작성되었다. 하지만 본 발명을 이해할 수 있을 정도로 이 분야의 지식을 갖고 있는 독자는 이러한 여러 가지의 특정적인 내용들이 없어도 사용될 수 있다는 것을 인지할 수 있다. 어떤 경우에는, 발명을 기술하는 데 있어서 흔히 알려졌으면서 발명과 크게 관련 없는 부분들은 본 발명을 설명하는데 있어 별 이유 없이 혼돈이 오는 것을 막기 위해 기술하지 않음을 미리 언급해 둔다.

[0053] 이하에서는 본 발명의 실시예에 따른 기계학습을 이용한 실내 미세먼지 농도 예측 시스템의 구성, 기능 및 예측 방법에 대해 설명하도록 한다.

[0054] 먼저, 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 기계학습을 이용한 실내 미세먼지 농도 예측 시스템의 블록도를 도시한 것이고, 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 기계학습을 이용한 실내 미세먼지 농도 예측방법의 흐름도를 도시한 것이다.

[0055] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 기계학습을 이용한 실내 미세먼지 농도 예측 시스템(100)은 데이터수집부(10), 외부데이터 제공부(40), 예측모델생성부(20), 미세먼지농도예측부(30), 실내미세먼지측정부(50), 모니터링부(60) 등을 포함하여 구성될 수 있음을 알 수 있다.

[0056] 데이터수집부(10)는 미세먼지 관련 데이터를 실시간으로 측정, 수집, 정리하여 DB화하도록 구성된다(S1). 이러한 미세먼지 관련 데이터는, 실내외 미세먼지농도 측정이력, 실내 미세먼지 농도 변화율 이력, 재실자수 이력, 재실자수 변화이력, 및 공기청정기의 가동이력 측정데이터이다.

[0057] 그리고 예측모델생성부(20)는 데이터수집부(10)에서 수집된 데이터를 기반으로 실내 미세먼지 농도 예측모델을 산출하도록 구성된다(S2).

[0058] 구체적으로 예측모델생성부(20)는 하기 수학식 2를 기반으로 예측모델을 산출하게 된다.

[0059] [수학식 2]

$$\frac{dC_{in}}{dt} = ACH \cdot (P + PO \cdot |\Delta R|) \cdot C_{out}(t) - (ACH + k) \cdot C_{in}(t) + \dot{S} \cdot R$$

[0061] 상기 수학식 2에서, P는 침투계수 PO는 한사람이 문으로 출입했을 때 추가적으로 발생하는 입자침투효과, $\dot{S}$ 는 한 명의 재실인의 미세먼지 발생률, R 재실자수, ΔR 은 재실자 변화수이고, $C_{in}(t)$ 는 실내 미세먼지 측정이력,

$C_{out}(t)$ 실외 미세먼지 측정이력, $\frac{dC_{in}}{dt}$ 는 실내 미세먼지 농도 변화율 이력, ACH는 실내외 공기교환율이다.

[0062] 또한 예측모델생성부(20)는, 수학식 2에서 실내외 미세먼지농도 측정이력, 실내 미세먼지 농도 변화율 이력, 재실자수 이력, 재실자수 변화이력, 및 공기청정기의 가동이력 측정데이터를 대입하여, 최소제곱법을 통해 모델계수를 산정하게 된다.

[0063] 이러한 모델계수는, $ACH \cdot P$, $ACH \cdot PO \cdot |\Delta R|$, $ACH + k$, $\dot{S}$ 이다.

[0064] 그리고 미세먼지농도예측부(30)는 외부에서 제공되는 외부데이터(40)를 기반으로(S3) 예측모델생성부(20)에서 생성된 예측모델을 통해 시간별 실내 미세먼지농도를 예측하게 된다(S4).

[0065] 외부데이터는, 시간별 외기 미세먼지 농도 예보, 재실자 스케줄, 및 공기청정기 가동 스케줄이다. 미세먼지농도 예측부(30)는, 모델계수가 반영된 수학식 2에 외부데이터인 시간별 외기 미세먼지 농도 예보, 재실자 스케줄, 및 공기청정기 가동 스케줄을 입력하여 수학식 2를 적분하여 시간별 실내 미세먼지 농도 예측하게 된다.

[0066] 또한 실내 미세먼지측정부(50)는 실시간으로 실내 미세먼지농도를 측정하며, 모니터링부(60)는 미세먼지측정부에서 측정된 측정치와, 상기 예측부에서 예측된 실내 미세먼지농도 예측치를 대비하여 그 차이값을 모니터링하며(S5), 차이값이 설정된 차이값 이상이 되는 경우, 모델계수 또는 예측모델을 수정, 업데이트하게 된다(S6).

[0067] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 실내 미세먼지 농도 예측을 통한 공기청정기 가동여부 판단 운영시스템은, 앞서 언급한 예측시스템과, 예측시스템에 의해 예측된 실내 미세먼지 예측치를 기반으로 실내의 공기청정기의 가동여부를 판단하고 운영하는 운영부를 포함하여 구성될 수 있다.

[0069] 이하에서는 기계학습을 이용한 실내 미세먼지 농도 예측 시스템 및 예측방법을 도출하게 된 경위, 측정, 분석, 검증결과, 모델개발 과정 등에 대해 상세하게 설명하도록 한다.

[0070] 먼저, 실외에서 실내로 유입되는 미세먼지량을 정량적으로 기술하기 위해서 indoor/outdoor(I/O) ratio, 침입계수(Infiltration factor), 침투계수(Penetration factor) 세가지 지표를 사용한다.

[0071] I/O ratio 는 실내외의 미세먼지량의 단순한 비율로 나타낸다. 하지만, 이는입자크기에 따른 실내 미세먼지 실내 유입량 변화, 실내에 미세먼지 발생량 변화, 건물 외피 틈새(crack)의 모양 차이, 공기교환율 (air exchange rate) 차이 등에 따라 측정값에 큰 변화가 있어 실내외 미세먼지량 간의 관계를 기술하기 어려운 한계가 있다.

[0072] 침입계수는 평형상태에서 외부에서 유입된 미세먼지 중 실내에 부유하고 있는 부분만을 고려하기 때문에 실내 미세먼지 발생이 있거나 실내외 미세먼지 농도가 시간에 따라 변화하는 동적효과를 기술하는데 한계가 있다.

[0073] 침투계수는 실외 미세먼지 중 침기와 함께 실내로 유입되는 미세먼지량의 비율을 나타내며 정의상 0 ~ 1 사이의 값을 갖는다. 아래 수학적식 1은 질량보존법칙을 이용해 유도한 실내 미세먼지 농도 변화와 미세먼지 입자 침입, 실내 제거, 실내 생성률 간의 관계를 나타낸다.

[0074] [수학적식 1]

$$\frac{dC_{in}}{dt} = ACH \cdot P \cdot C_{out}(t) - (ACH + k) \cdot C_{in} + \dot{S}$$

[0075] 수학적식 1의 좌항은 실내 미세먼지 농도의 시간변화율을 나타내며, 오른쪽 첫 항은 침기(infiltration) 혹은 환기(ventilation)에 의해 실내로 유입되는 외부공기에 의해 실내로 유입되는 입자침투율, 두번째 항은 중력침강 혹은 공기청정기 등을 통해 실내 공기 중으로부터 제거되는 미세먼지 제거율, 그리고 마지막 항은 실내에서 발생하는 미세먼지의 생성률을 나타낸다.

[0077] 외부공기가 실내로 전달되면서 전달경로 중간에서 전혀 제거되지 않는 경우는 침투계수(P)는 1 이 되고, 매우 작은 틈을 통해 전달되며 실제 외부공기가 함유한 미세먼지량($ACH \cdot C_{out}$) 중 일부만 들어온다면 그 비가 침투계수가 된다. 실내 미세먼지의 제거율 중 ($ACH \cdot C_{in}$) 항은 실내에서 외부로 배출되는 공기는 그 공기 중 포함된 모든 입자를 가지고 나감을 의미하며, 침착률($ACH \cdot k$)은 중력침강, 표면침착, 공기청정기에 의한 제거 등에 의한 실내 미세먼지 농도 감소를 설명한다.

[0078] 실내 미세먼지는 재실자의 이동, 운동, 요리 등에 의해 실내에서 재비산하거나 발생할 수 있으며, 단위 시간, 단위 부피 당 생성률($\dot{S}$)을 고려한다. 여기서, 실내외 공기교환율을 나타내는 ACH는 실내외 온도차, 외부기상상태에 의해 시간에 따라 변화할 수 있는 값이며, 실내 특정 추적가스 농도의 시간변화이력을 이용하여 얻어진다. 여러 추적가스를 이용할 수 있으나 재실자가 있는 경우에는 이산화탄소 농도의 시간변화 이력을 통해 산정할 수도 있다. 하지만 공기교환율 산정은 일반적으로 꽤 긴 시간의 추적가스 이력을 받아 해당 구간에 대하여 평가하며, 순간적인 공기교환율을 고려하는 것은 어렵다. 외부 바람 환경이 매우 변동 주기가 다양하고 비정상적(unsteady)이며, 이에 따른 침기량의 변동도 매우 크다.

[0079] 본 발명의 실시예에서는 공기교환율, 침투계수, 침착률을 각각 따로 구하지 않고, $ACH \cdot P$, $ACH+k$ 를 각각 하나의 모델계수로 고려하고, 실내 미세먼지 생성률 ($\dot{S}$)과 함께 구했다.

[0080] 일반적으로 수학적식 (1)과 같은 미분방정식은 모든 모델 계수($ACH \cdot P$, $ACH+k$ 를), 초기 상태의 실내외 미세먼지

농도($C_{in,t}=0$, $C_{out,t}=0$), 시간별 생성률($\dot{S}$)과 외기 미세먼지 농도변화 이력($C_{out}(t)$)이 주어지면 시간에 따라 적분하여 실내 미세먼지 농도($C_{in}(t)$)를 얻는다. 즉, 모델계수 및 생성률이 정해지면, 미분방정식을 이용해 외기 미세먼지 변화 이력으로부터 관심대상인 실내 미세먼지 농도의 변화를 구할 수 있음을 의미한다.

[0081] 하지만, 이런모델계수는 미리 결정되어 있지 않아 측정을 통해 얻은 데이터로부터 모델계수를 결정해야 하며 이런 작업을 system identification(SI)이라 한다.

[0082] 본 발명의 실시예에서는 SI 를 통해 얻은 미분방정식을 이용해 외기 미세먼지의 실내 전달을 분석하고, 외기 미세먼지 예보를 이용하여 실내 미세먼지 농도를 예측한다.

[0084] 본 발명의 실험예에서, 미분방정식의 계수를 결정하기 위해, 외부에서 실내로의 미세먼지 유입 기전을 분석할 대상공간을 선정하였고, 실내외 미세먼지농도의 이력을 입자카운터(Model 11-A GRIMM Aerosol Technik, Ainring, Germany))를 이용해 2020 년 12 월 28 일-2021 년 1 월 20 일 기간 동안 측정했다.

[0085] 사용한 입자카운터는 0.25-32 μm 크기의 미세입자를 31 개의 크기채널로 나누어 입자의 개수 및 질량농도를 측정하며, 도 4에 도시된 바와 같이, 이를 이용한 누적 농도인 PM1, PM2.5, PM10 정보도 제공한다. 위 수학적 1의 모델계수는 1 월 측정데이터를 이용하여 각 채널별로 결정했으며, 관심있는 10 μm 이하는 23 개의 채널로 나뉜다. 실내 공기질 모니터인 IAQ station (Model CL1, Kweather Co. Ltd., Seoul, South Korea) 세 대를 이용해, 보정 후, 실내외 이산화탄소 농도 이력을 측정했다.

[0086] 도 3은 측정대상공간의 개략도를 도시한 것이다. 측정공간의 면적은 45m², 천장높이는 2.5m 이며 한쪽면은 창문이 그 반대면은 출입문이 있다. 내부에는 학습과 회의를 위한 가구들이 설치되어 있으며, 60m² 면적 공간 내 미세먼지를 제거할 수 있는 공기청정기(Model Bluesky, Samsung, Seoul, South Korea)가 설치되어 있음을 알 수 있다.

[0087] 실험은 가능한 한 재실자 행동에 영향을 주지 않도록 비지도식으로 진행되었다. 공기청정기 가동의 실내 미세먼지 농도에의 영향을 분석하기 위해 전체기간 중 일부는 공기청정기를 켜고, 나머지 부분은 공기청정기를 끈 상태로 실험을 진행했다. 재실자 수의 실내 미세먼지 농도를 파악하기 위해, 재실자가 자신의 재실여부, 창문개폐여부, 공기청정기 가동여부를 표기할 수 있는 엑셀 시트를 만들어 기록하여 시간별 재실자수를 파악했다.

[0088] 재실자가 오피스를 출입하면 실내외 공기교환이 증가해 외부 미세먼지를 실내로 유입할 수 있는 것과 실내 재실자에 의해 생성되는 미세먼지는 재실자 수에 비례한다는 가정을 도입하여 수학적 (1)을 아래 수학적 (2)와 같이 수정했다.

[0089] [수학적 2]

$$\frac{dC_{in}}{dt} = ACH \cdot (P + PO \cdot |\Delta R|) \cdot C_{out}(t) - (ACH + k) \cdot C_{in}(t) + \dot{S} \cdot R$$

[0090]

[0091] 여기서, PO, $\dot{S}$, R과 ΔR 은 각각 한사람이 문으로 출입했을 때 추가적으로 발생하는 입자침투효과, 한 명의 재실인의 미세먼지 발생 효과, 재실인수, 재실인 변화수를 의미한다.

[0092] 실내외 미세입자 측정이력($C_{in}(t)$, $C_{out}(t)$)과 실내 미세먼지 농도 변화율 이력($\frac{dC_{in}}{dt}$), 재실자수 이력(R) 및 그 변화이력(ΔR)을 입력 값으로 넣고, 이를 가장 잘 맞출 수 있는 모델 계수값($ACH \cdot P$, $ACH \cdot PO$, $ACH + k$, $\dot{S}$)을 최소제곱법을 이용해서 얻었으며, 이는 공개 통계소프트웨어인 R과 그 라이브러리인 DEoptim 및 minpack.lm 패키지를 사용했다.

[0093] 개발된 모델은 그 적합도와 예측 정확도를 검증해야 하는데 이에 대한 엄격한 기준이 제시되지 않았다. 개발된 실내 미세먼지 농도 예측모델의 적합도를 평가하기 위한 도구로 동적 건물에너지 시뮬레이션 모델의 정확도를 검증하기 위해 ASHRAE guideline 14에서 사용한 정규화된 평균경향오차(Normalized Mean Bias Error, NMBE),

표준오차 변동계수(Coefficient of Variation of the Root Mean Square Error, CV(RMSE)), 결정계수(R^2)를 이용했다.

[수학식 3]

$$NMBE = \frac{1}{\bar{m}} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n (m_i - s_i)}{n-1} \times 100 (\%)$$

[수학식 4]

$$CV(RMSE) = \frac{1}{\bar{m}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - s_i)^2}{n-1}} \times 100 (\%)$$

[수학식 5]

$$R^2 = \left(\frac{n \cdot \sum_{i=1}^n m_i \cdot s_i - \sum_{i=1}^n m_i \cdot \sum_{i=1}^n s_i}{\sqrt{(n \cdot \sum_{i=1}^n m_i^2 - (\sum_{i=1}^n m_i)^2) \cdot (n \cdot \sum_{i=1}^n s_i^2 - (\sum_{i=1}^n s_i)^2)}} \right)^2$$

여기서, m_i , s_i , $\bar{m}$, n 은 각각 측정값, 모델 적합치, 측정값 평균, 데이터 개수를 의미한다.

이들 지표는 건물 에너지 사용량을 평가하기 위해 사용하는 시뮬레이션 모델의 정확도를 평가하는데 사용되어 왔으며, 측정값과 모델 적합값을 이용해 얻은 각 평가지표의 값의 기준치가 제시되어 있다. 본 발명의 실시예에서는 실내 미세먼지 농도 예측모델을 이용하여 시간 경과에 따른 실내 미세먼지 농도 변화를 예측하는 것을 목표로 하므로 시뮬레이션 모델을 이용하여 시간 경과에 따른 에너지 사용량을 예측하는 경우와 매우 유사하다. 시간별 측정값과 모델 적합값을 이용할 경우 NMBE 절대값은 10%, CV(RMSE)는 30% 이내, R^2 는 0.75 이상의 조건을 모두 만족해야 한다. 실제 미세먼지 농도 측정 및 예측값은 5 분 미만 단위로 주어지므로 시간별 데이터를 이용하는 위의 조건은 완화될 수 있으나 구체적인 지침이 없으므로 시간별 데이터에 주어진 기준을 이용한다.

도 5a 내지 도 5d는 서로 다른 크기의 미세먼지입자들의 실내외 농도 측정값을 그려 비교했다. 도 5a 내지 도 5d 내의 노랑색 음영처리 된 부분은 공기청정기가 작동한 시기를 나타낸다. 공기청정기가 가동되지 않았을 때, 가장 작은 크기의 미세먼지 채널($0.265 \mu m$)에서는 실내 미세먼지 농도가 실외 미세먼지 농도가 비슷한 수준이며, 외부 미세먼지 농도 변화를 잘 따라간다.

미세먼지 입자크기가 커지면 실외 미세먼지 농도에 비하여 실내 미세먼지 농도가 크게 떨어지며, 외부 미세먼지 농도 변화를 추종한다. 가장 큰 측정 채널($9.250 \mu m$)에서는 대부분의 시간에서는 미세먼지 입자가 검출되지 않고 불연속적으로 입자가 검출된다.

공기청정기를 가동하면, 작은 미세먼지 입자에서는 미세먼지 농도가 크게 저감하는 것을 볼 수 있으며, 공기청정기 가동 시 외부 미세먼지가 상대적으로 높은 것을 감안하면, 공기청정기 비가동기에 비하여 실내 미세먼지 농도가 감소한다.

도 6은 공기청정기 가동에 따른 각 측정 채널에서의 실내외 평균 미세먼지 농도비변화를 보인다. 도 6에서 기호는 평균을 오차막대기는 표준편차를 나타낸다. 공기청정기 비가동시에는 가장 작은 미세먼지 입자 입경 채널에서는 그 비가 1 에 가까우며 입자 크기가 커짐에 따라 감소한다. 공기청정기 가동에 따라 모든 채널에서 실내외 먼지 농도비는 감소하며, 그 감소량은 작은 입경에서 더 크다. 이는 각 미세먼지 입자 크기에 따른 입자침투, 입자제거, 생성 기전의 균형으로 설명될 수 있으며, 수학적 2를 이용한 외부 미세먼지의 실내 전달 기전 분석은 이후 절에서 자세히 설명한다.

도 7은 측정기간 중 실내 재실인원과 실내 이산화탄소 농도변화의 이력을 보인다. 일반적으로 재실인원수 증가에 따라 이산화탄소 농도는 증가하며, 재실인원이 없어지면 실내 이산화탄소 농도가 감소하여 외부 이산화탄소 농도에 접근하며, 다시 재실인원이 생기면 실내 이산화탄소 농도가 높아지는 것을 확인할 수 있다. 실내 이산화

탄소 농도는 재실인원에 의한 생성향과 침기 혹은 환기에 의한 외기 이산화탄소 농도에 의한 희석에 의해 영향을 받는다. 측정결과를 보면 실내 이산화탄소 농도가 항상 변화하는 것처럼 보이는데, 이는 실제 재실인원이 변화하는 주기가 이산화탄소 농도가 정상상태에 이르는데 필요한 시간에 비하여 짧기 때문이다.

[0108] 앞서 언급한 도 5의 실내 먼지농도는 외부에서 침기 또는 환기와 함께 들어오는 입자침투, 실내에서의 중력침강, 표면흡착, 공기청정기 등에 의한 입자제거, 재실자에 의한 입자발생 효과의 균형에 의해 결정된다. 측정된 실내의 미세먼지 농도 이력과 재실자 정보를 수학적 식 2에 대입하여 좌우항의 균형을 가장 잘 맞출 수 있는 모델계수를 최소제곱법을 이용해 얻었다.

[0109] 모델 개발 시 공기청정기 가동여부는 입자침투와 입자발생에는 영향을 주지 않고 오직 입자제거항에만 영향을 주는 것으로 가정했다. 즉, 공기청정기 비가동기간의 데이터를 이용하여 얻은 모델상수 중 $P' = \frac{ACH \cdot P}{PO}$, $PO' = \frac{ACH \cdot PO \cdot |\Delta R|}{s}$, s 는 공기청정기 가동 기간에도 같은 것으로 놓고, $k' = \frac{ACH + k}{ACH}$ 항만 공기청정기 가동여부에 따라 변화하는 것으로 다루었다.

[0110] 결정된 모델계수를 도 8에 보였다. 외부 미세먼지 입자의 침입효과를 나타내는 P' 항은 $0.265 \mu m$ 채널과 $2 \mu m$ 근처에서 최대값을 갖는데, 이는 외부에서 유입되는 미세먼지 비율은 이들 크기에서 가장 많다는 것을 의미한다. 미세먼지 입경에 관계없이 침기량의 값은 일정하므로 도 8(a)의 P' 항의 변화 추이는 침투계수 P 의 추이와 같다. 약 $5 \mu m$ 이상의 미세먼지 입자들은 P' 항이 거의 0에 접근하며, 이는 해당 크기의 미세먼지 입자들은 실내로 효과적으로 침투하지 못한다는 것을 의미한다.

[0111] 도 8b의 k' 항은 입자크기에 따라 커진다. 공기청정기가 가동하지 않는 경우 이는 주로 중력침강에 의한 것으로 이해할 수 있다. 공기청정기를 가동하면 해당 계수의 크기가 매우 커지며 이에 따라 실내 미세먼지 농도가 낮아진다. 입자크기가 매우 커지면 그 값이 크게 변화하는데 이는 실제 실내 미세먼지 입자수가 작아 입자카운터의 입자 검출이 비연속적으로 되기 때문으로 판단한다.

[0112] 재실자의 출입에 따른 효과는 도 8c의 PO' 항으로 나타냈으며 주로 $1 \mu m$ 이상에서 큰 값을 갖는다. 실내 생성물 항인 s 는 수농도 기준으로 입자크기에 따라 점점 줄어들지만, 입자 질량 기준으로는 큰 입자 쪽 기여도가 더 크다.

[0113] 최소제곱법을 이용하여 모델계수를 결정할 때, 각 모델계수를 결정하기 위해 나머지 항의 효과를 고정하여 측정한 데이터가 아닌 비지도 방식의 실험 측정값을 이용하므로 각 효과가 서로 교락되어 있다. 이는 실내 미세먼지 농도를 증가시키는 입자침투효과, 출입에 의한 효과, 실내발생효과의 계수가 서로서로 영향을 받음을 의미한다.

[0114] 입자 카운터의 많은 채널을 이용해 얻은 정보는 해당 크기의 미세먼지 입자가 실내로 침입, 제거, 생성하는 영향을 자세히 분석할 수 있게 도와준다. 본 발명의 실시예에서 미세먼지 실내 농도예측은 PM2.5 및 PM10 예보를 이용한다. 앞서 언급한 결정된 모델상수는 각 입자크기 채널(도 4)에서의 데이터를 이용하지만 PM2.5 및 PM10 예보는 누적 미세먼지 농도를 의미한다. 앞서 언급한 예와 같이, 실내 공기질 관리를 위한 미세먼지 농도 제한도 실내 PM2.5($<35 \mu m^3$) 혹은 PM10($<75 \mu m^3$) 값으로 제시된다.

[0115] 따라서 PM2.5와 PM10 측정값을 이용해 수학적 식 2의 모델계수를 산정해야 한다. 도 9에 PM2.5과 PM10 측정값을 이용하여 수학적 식 2 형태의 모델들을 만들고, 이 미분방정식과 도 9의 점선으로 보인 외기 미세먼지 농도를 입력값으로 이용하여 실내 미세먼지 농도를 계산한 값을 빨간색과 파란색의 파선으로 나타냈다. PM2.5 적합치(빨간색 파선)는 측정값을 잘 따라가는데, PM10 적합치(파란색 파선)는 늘 PM2.5 적합치에 비하여 커야 하지만 이를 잘 만족시키지 못하는 구간들이 다수 보인다. 이를 개선하고자 PM10 데이터를 직접 이용하는 대신에, PM10-PM2.5 실내외 미세먼지 농도를 값을 이용해 모델을 만들고, PM2.5(Fine particles)적합치에 PM10-PM2.5(Coarse particles)값을 더해 PM10 값을 얻은 결과가 그림의 검정색 일점쇄선이다. PM10 값을 이용해 적합모델을 만들었을 경우보다 모델 정확도가 개선되며, 늘 $PM10 \geq PM2.5$ 조건도 만족한다.

[0116] 도 10은 측정값과 수학적 식 2를 이용해 얻은 적합치 간 오차분산의 최소제곱법을 이용해 얻은 모델 상수를 나타낸다. 앞서 여러 채널에 대해서 모델상수를 결정할 때의 특징이 누적 PM 모델에서도 그대로 나타난다.

[0117] 침투효과(P)는 초미세먼지(Fine particles) 쪽이 큰 입자(Coarse particles, CP) 쪽보다 높으며, 제거효과(k)는 CP 쪽이 높고 공기청정기를 가동했을 때 증가한다. 초미세먼지 쪽은 재실인 출입에 의한 영향(PO')이 작고 CP 쪽에서는 크다. 또한 재실인에 의한 미세먼지의 발생 혹은 재비산은 초미세먼지 쪽은 무시할 만하고 CP 쪽이

더 크다.

- [0119] 도 11에는 측정값과 모델 적합치를 이용해 산정한 입자크기별 NMBE, CV(RMSE), R^2 값을 정리해 나타냈다. 각 색으로 나타난 음영영역은 각 성능지표의 허용구간을 나타낸다. 먼저, NMBE 는 $\pm 10\%$ 이내를 만족해야 하는데 2.250 μm 채널을 제외한 모든 입자크기 영역에서 이를 만족하고 있다. CV(RMSE)는 30% 이내를 만족해야 하는데, 약 1 μm 보다 작은 입자는 이를 만족하지만 입자크기가 커지며 크게 증가하여 기준조건을 만족하지 못한다.
- [0120] 결정계수(R^2)도 CV(RMSE) 값과 비슷하게 1 μm 보다 작은 입자까지 0.75 이상의 조건을 만족한다. 따라서, 엄밀하게는 1 μm 보다 작은 입자까지는 주어진 ASHRAE Guideline 14 의 조건을 잘 만족하고 있음을 확인할 수 있다. 하지만 더 큰 입자의 경우 공기 중 부유하고 있는 입자의 수가 작아 입자의 검출이 간헐적(도 5d) 참조)이며, 미분방정식은 연속적인 값을 나타낸다는 한계와 NMBE 가 큰 입자에게도 매우 작게 유지된다는 점을 고려하면, 시간 평균값을 나타내는 값으로 적합치를 사용하는데 무리가 없다고 판단된다.
- [0121] PM2.5, PM10 농도 예측모델의 적합치를 이용한 성능지표를 계산하여 도 12에 나타냈다. 모델의 적합도 면에서 ASHRAE Guideline 14 의 기준을 모두 만족한다. 가이드라인에 따르면 개발된 실내 미세먼지 농도 예측모델과 외기 미세먼지 PM2.5, PM10 예보를 이용하여 미래의 실내 미세먼지 농도를 예측하면 예보의 불확실성을 논외로 하면, 외기 미세먼지 농도 변화에 따른 실내 미세먼지 농도변화를 예측해 공기청정기 운전여부 등을 결정하는 정보로 이용할 수 있다.
- [0122] 앞서 적합모델의 정확도는 모델과 모델을 개발할 때 사용한 데이터 간의 적합도를 평가하는 것으로, 모델 개발에 사용하지 않은 데이터를 예측하는 정확도를 의미하는 예측정확도와는 구분된다. 기계학습에서는 개발된 모델의 예측정확도를 확인하는 방법으로 k-fold 검증을 이용한다. 이 방법은 데이터를 k 개로 나누고 k-1 개의 데이터를 이용하여 모델을 개발하고 나머지 한 개를 테스트 데이터로 사용하는 것이다.
- [0123] 본 발명의 실시예에서는 모든 데이터를 측정한 날에 따라서 구분하여 총 k=21 개의 데이터로 구분하고, k-1=20 개의 데이터로 모델을 만들어, 모델개발에 사용하지 않은 나머지 데이터를 예측한 결과와 비교하여 앞서 제시한 ASHRAE guideline 14 에 부합하는지를 확인했다.
- [0124] ASHRAE guideline 14 는 실체는 모델의 적합도를 이용한 기준이지만 예측정확도를 평가하기 위해 k-fold 검증을 이용했다. 각 21 일 하루씩 예측한 값을 측정값과 비교하여 얻은 평가지표를 도 13에 보였다. ASHRAE guideline 14 는 예측정확도에 대한 평가를 요구하지는 않지만, 주어진 모델링 방법의 예측정확도 역시 조건을 만족하고 있음을 확인할 수 있어, 공기청정기 가동여부에 따라 각각 10 일정도의 측정값이 있으면 이를 이용하여 실내 미세먼지 농도 예측모델을 만들어 사용할 수 있음을 의미한다
- [0126] 도 14의 각 열은 비재실의 경우(도 14 (a), (c))와 재실인이 있을 경우(도 14 (b), (d)) 각 항의 상대적인 효과를 비교한 것이다. 공기청정기 비가동/가동 조건에 따라 데이터를 비재실 및 재실 조건으로 나누고 각 조건에서의 수학적 (2)에서 각 항의 크기의 평균을 이용해 비교했다.
- [0127] 각 효과의 크기의 합은 모든 경우에 100%이다. 비재실의 경우 재실자 출입에 의한 효과와 재실인에 의한 생성효과가 없다. 비재실 시에는 대부분의 미세먼지 영역에서는 입자제거효과가 입자침투효과에 비하여 조금 더 큰 비율의 영향을 보인다. 이는 비재실 중에는 시간이 지나감에 따라 실내 미세먼지 농도가 감소하는 효과를 줄 것이다. 3 μm 보다 큰 CP 들의 실내 평균입자 농도는 1 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ 보다 작아지며 7 μm 보다 큰 입자는 0.1 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ 보다도 작고 대부분의 시간에 0 이다. 입자제거효과는 실내 미세먼지 농도에 비례하므로 실내 미세먼지가 검출되지 않는 영역에서는 입자제거효과가 0 으로 평가되어 특히 9.250 μm 채널영역에서는 입자 침투효과가 매우 큰 것으로 과대 평가되었다.
- [0128] 하지만 실제 실내 미세먼지 농도는 거의 늘 0 이다. 재실조건에서는 모든 입자크기에서 제거효과가 다소 줄어들어 약 50% 정도의 영향을 준다. 초미세먼지 영역에서는 입자침투효과와 실내생성 및 재비산 효과 순으로 영향력이 크고 재실자 출입에 의한 효과는 상대적으로 작은 것으로 분석된다. CP 영역의 실내 미세먼지는 재실자의 출입효과 및 재실자에 의한 생성항의 효과가 대부분이고 침기와 함께 유입되는 미세먼지량은 상대적으로 무시할 수 있다.
- [0129] 도 14의 각 행을 비교하면 공기청정기 운영에 따른 미세먼지 제거항에의 영향을 분석할 수 있다. 전체 측정기간

에 입자제거항의 모델계수(k')를 공기청정기 작동여부에 따라 대입하여 샘플링 시간에서 계산한 각 항의 크기의 평균값을 이용하여 비교했다. 앞서 도 8에서 봤듯이 모델 상수 결정 시 k' 값이 매우 커져서 공기청정기 가동에 따라 입자제거항의 역할이 크게 증가할 것으로 기대했지만 매우 조금 증가함을 확인할 수 있다.

[0130] 이는 외부 미세먼지가 높을 때 공기청정기를 가동함에 따라 입자침투 효과도 커졌으며, 실내 미세먼지 농도가 낮아짐에 따라 k' 과 곱해지는 실내 미세먼지 농도의 크기가 작아졌기 때문이다. 결국 수식 2에서 네 개항의 순효과가 실내 미세먼지 농도 변화율을 결정하는데, 공기청정기 가동여부에 관계없이, 공기청정기 가동여부 전환기를 제외하고는, 실내 미세먼지 농도 변화율의 크기 변화가 크지 않기 때문이다. 특히, CP 영역에서 상대적으로 출입에 의한 미세먼지 농도 증가 효과가 크게 분석된 것은 실외 미세먼지 농도가 높았던 시기였던 부분과 실내 미세먼지 농도가 낮았기 때문에 같은 양이 전달되더라도 이에 의한 효과가 크기 때문으로 분석된다.

[0132] 도 15는 공기청정기 비가동 및 가동 기간 동안의 실내의 평균 미세먼지 농도를 비교한 그림이다. 공기청정기 비가동시에는 가동시에 비하여 외기 미세먼지 농도가 낮다. 공기청정기를 가동하지 않아도 미세먼지 평균농도는 모든 입자크기에서 외기보다 실내에서 더 낮다. 입자크기에 따라 실내의 평균 농도비는 더 낮아진다. 이는 큰 입자는 작은 입자에 비하여 실내로 전달되는 비율이 낮은 것을 의미한다. 공기청정기가 가동되면 실내 미세먼지 농도는 비가동시에 비해 더 낮아지며, 실제 공기청정기에 의해 실내에서 제거된 효과는 공기청정기 가동 시와 비가동 시의 실내 미세먼지 농도의 차이만큼이다.

[0133] 본 발명의 실시예에 따른 실내 미세먼지 농도 예측모델을 이용해서 공기청정기 비가동기 동안의 실내 공기청정기 가동할 경우의 예측값, 혹은 공기청정기 가동기 동안의 공기청정기 비가동을 가정한 예측값을 이용하면 해당 시기의 공기청정기 가동에 따른 실내 미세먼지 제거율을 산정할 수 있다.

[0134] 도 16에 실내외 미세먼지 입자농도와 공기청정기 가동여부에 따른 실내 미세먼지 예측값을 나타냈다. 공기청정기는 2021 년 1 월 11 일 정오에 비가동에서 가동 상태로 전환되었다. 실내 미세먼지 예측모델을 이용하여 전구간 공기청정기를 가동한 경우와 가동하지 않은 경우의 미세먼지 농도를 예측할 수 있다.

[0135] 그림에서 빨강 실선은 측정된 실내 미세먼지 농도를 나타내며, 파란색 파선은 공기청정기 비가동시 실내 미세먼지 농도 예측값으로 1 월 11 일 이전에는 두 선이 매우 가깝고, 이후 빨강선은 초록색 일점쇄선인 공기청정기 비가동시 실내 미세먼지 농도 예측값과 매우 가까운 것을 확인할 수 있다. 따라서 개발된 모델은 주어진 실외 미세먼지 농도 이력에 대하여 실내 미세먼지 농도를 예측하는 효과적인 도구로 사용할 수 있다.

[0136] 특히 도 16(c)-(d)는 실내 미세먼지 농도 한계값 기준으로 사용되는 PM2.5, PM10 의 실내외 미세먼지 농도 측정값과 모델을 이용한 공기청정기 가동여부에 따른 예측값을 비교한 결과이다. 빨강색의 실내 미세먼지 농도 측정값은 공기청정기비가동기에는 파란색 파선을 가동기에는 녹색 파선과 매우 가까이 있으며 변화하는 경향도 매우 유사함을 확인할 수 있다. 공기청정기가 비가동에서 가동상태로 전환되면 매우 빠른 시간 내에 실내 미세먼지 농도가 전시간 공기청정기 가동 상태를 가정한 예측값에 접근한다.

[0137] 이는 매우 유용한 성질인데, 굳이 공기청정기 가동 시간에 변화를 주며 공기청정기 가동시나리오를 고려하지 않고 전시간 공기청정기 가동 및 비가동 조건에 대한 실내 미세먼지 농도 예측값을 가지고 있다면, 공기청정기 비가동 조건 예측값에서 실내 미세먼지 농도가 허용한계치에 다가가면 공기청정기를 가동하도록 하면 바로 실내 미세먼지 농도가 저감되므로, 실내 미세먼지 농도 예측을 이용하여 공기청정기 가동여부를 결정해야 하는 문제에 대해 매우 단순한 답이 될 수 있다. 즉, 언제 공기청정기를 가동하며, 어느 시간에 작동을 시작하고 정지할지 결정해야 하는 문제에 대해서, 공기청정기 비가동 조건의 실내 미세먼지 농도 예측값이 한계치보다 높아지는 시점에서 공기청정기를 가동하고, 다시 농도 예측값이 한계치보다 낮아지는 지점에서 공기청정기를 정지하면 된다.

[0138] 공기청정기에 의한 실내 미세먼지 제거율을 아래의 수식 6과 같이 정의하면, 전체 기간 중 실내 미세먼지 예측값 들을 이용해 산정된 각 입자 크기에서의 입자 제거효율을 도 17에 나타냈다.

[0139] [수식 6]

$$\eta = \frac{C_{in}^{AP\ OFF} - C_{in}^{AP\ ON}}{C_{in}^{AP\ OFF}}$$

[0140]

[0141] 여기서, $C_{in}^{AP\ OFF}$ 와 $C_{in}^{AP\ ON}$ 은 각각 공기청정기 비가동 및 가동 조건에서의 실내 입자 농도를 나타낸다. 도 16의 음영 처리된 영역이 수학식 3의 분자항을 나타내며, 공기청정기에 의해 제거된 양을 나타낸다. 제거효율은 매우 작은 입자들에 대해서는 80%가 넘는 제거효율을 보이지만, 1-2 μm 근처에서는 제거효율의 저감이 뚜렷이 나타나며, 다시 증가하다 3 μm 부터는 입자크기에 따라 감소하는 것을 확인할 수 있다. PM2.5, PM10 의 경우 공기청정기 효율이 각각 86.4%와 86.0%로 분석되었다.

[0143] 도 18은 본 발명의 실시예에서 이용하는 실내 미세먼지 농도예측 시스템의 데이터 흐름을 정리해 보였다. 우선 실내외 미세먼지 농도, 이산화탄소 농도, 재실자 이력, 공기청정기 가동이력을 측정한 데이터를 정리하여 수학식 2를 이용하여 실내 미세먼지 농도 예측모델을 산출한다. 이를 그림의 점선의 경로로 나타냈다.

[0144] 준비된 실내 미세먼지 농도 예측모델에 외부에서 제공하는 시간별 외기 미세먼지 농도 예보, 재실자 스케줄, 공기청정기 가동 스케줄을 입력하여 수학식 2를 적분하면 시간별 실내 미세먼지 농도를 얻을 수 있다.

[0145] 이를 이용하여 공기청정기 가동여부 등을 판단하여 실내 공기질 유지를 위한정보로 활용한다. 실제 실내 미세먼지 농도 측정치를 피드백 받아 예측치와 차이가 크고 그 원인이 실내 미세먼지 농도 예측모델이 있는지 지속적으로 모니터링 한다. 오차의 원인이 예측모델에 있으면 모델상수 혹은 모델 방정식을 수정하여 예측 정확도를 높인다.

[0147] 또한, 상기와 같이 설명된 장치 및 방법은 상기 설명된 실시예들의 구성과 방법이 한정되게 적용될 수 있는 것이 아니라, 상기 실시예들은 다양한 변형이 이루어질 수 있도록 각 실시예들의 전부 또는 일부가 선택적으로 조합되어 구성될 수도 있다.

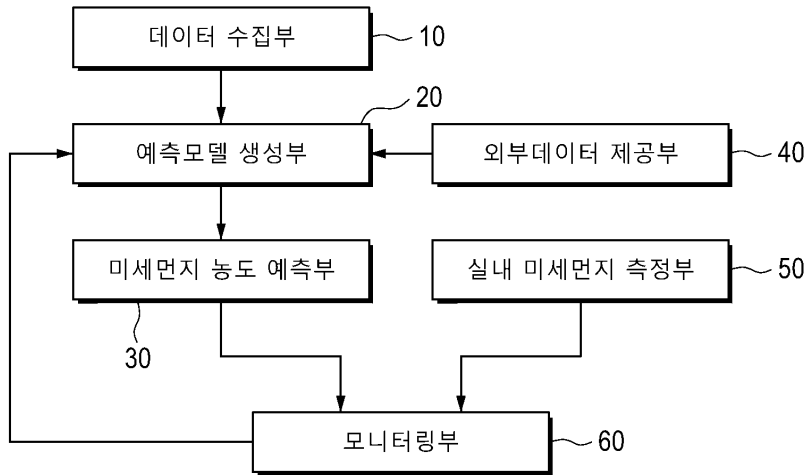
부호의 설명

- [0148]
- 10: 데이터수집부
 - 20: 예측모델생성부
 - 30: 미세먼지농도예측부
 - 40: 외부데이터
 - 50: 실내미세먼지측정부
 - 60: 모니터링부
 - 100: 기계학습을 이용한 실내 미세먼지 농도 예측 시스템

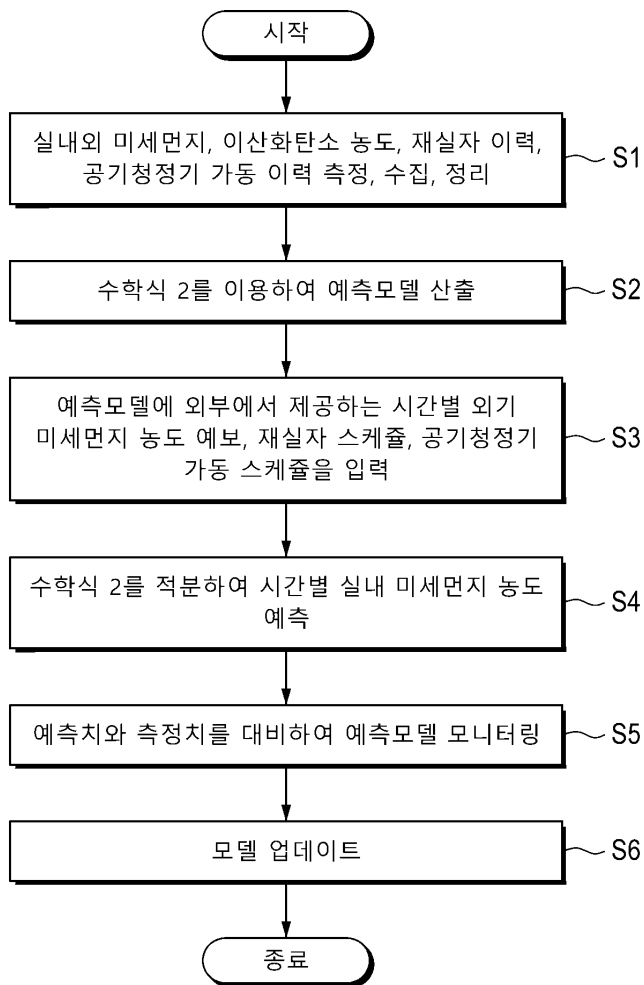
도면

도면1

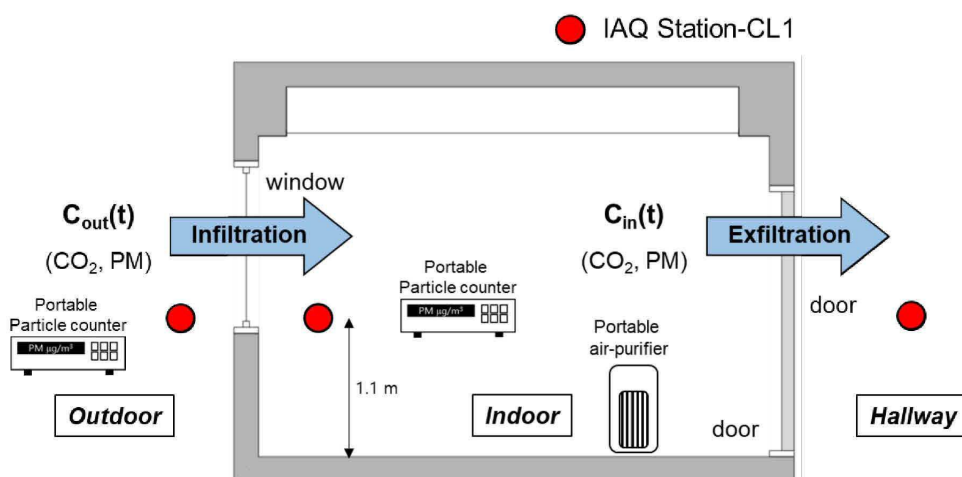
100



도면2



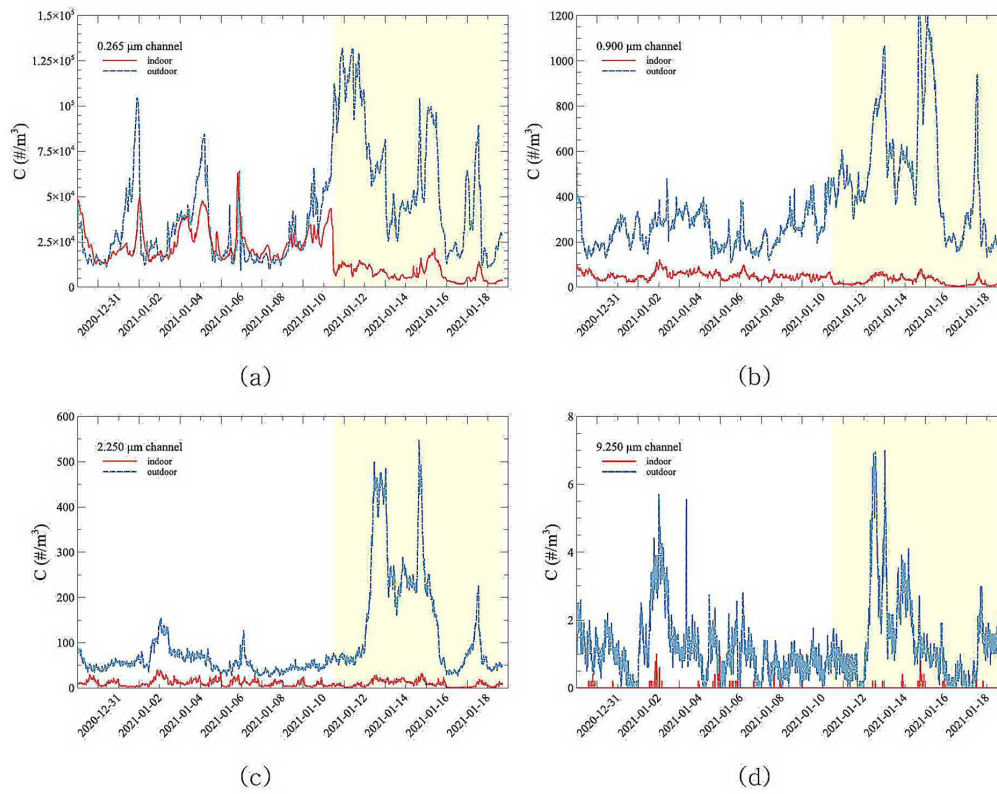
도면3



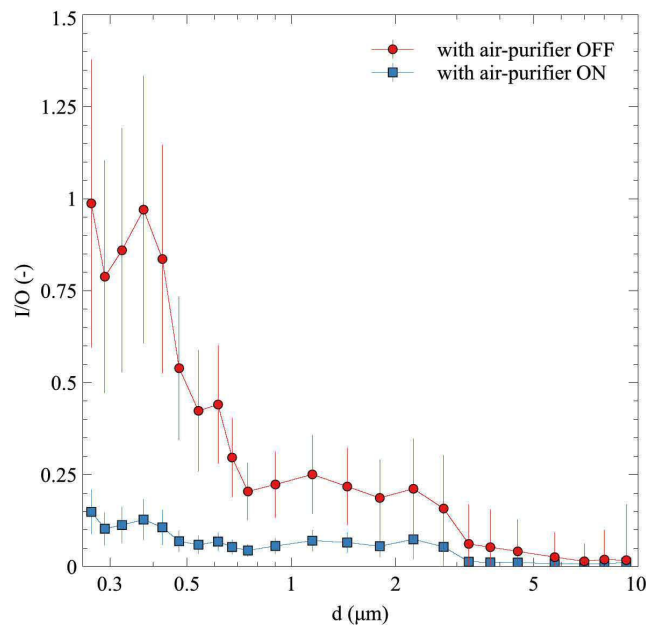
도면4

Nominal value (μm)	Range (μm)	Nominal value (μm)	Range (μm)
0.265	0.250-0.280	1.450	1.300-1.600
0.290	0.280-0.300	1.800	1.600-2.000
0.325	0.300-0.350	2.250	2.000-2.500
0.375	0.350-0.400	2.750	2.500-3.000
0.425	0.400-0.450	3.250	3.000-3.500
0.475	0.450-0.500	3.750	3.500-4.000
0.540	0.500-0.580	4.500	4.000-5.000
0.615	0.580-0.650	5.750	5.000-6.500
0.675	0.650-0.700	7.000	6.500-7.500
0.750	0.700-0.800	8.000	7.500-8.500
0.900	0.800-1.000	9.250	8.500-10.000

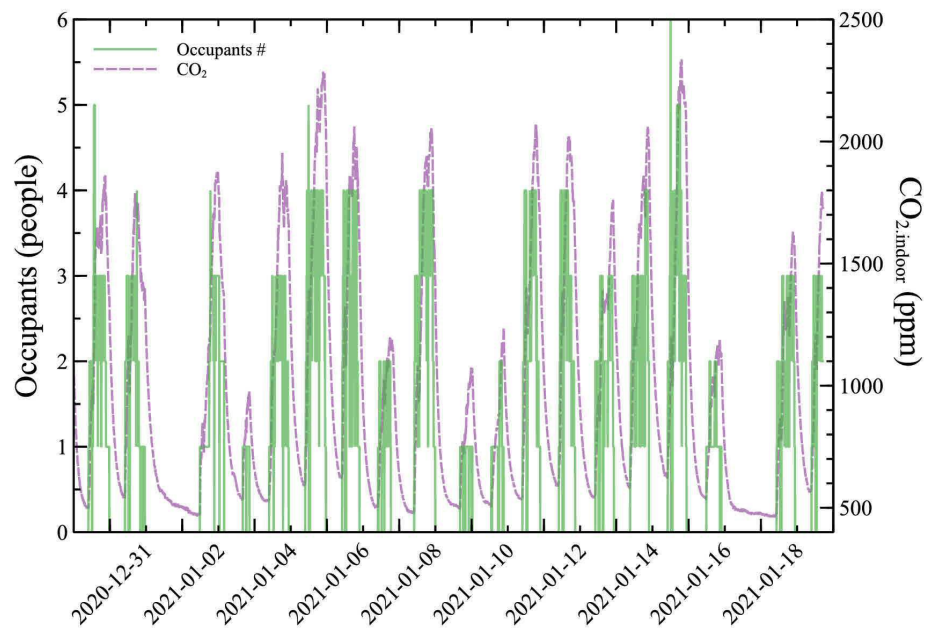
도면5



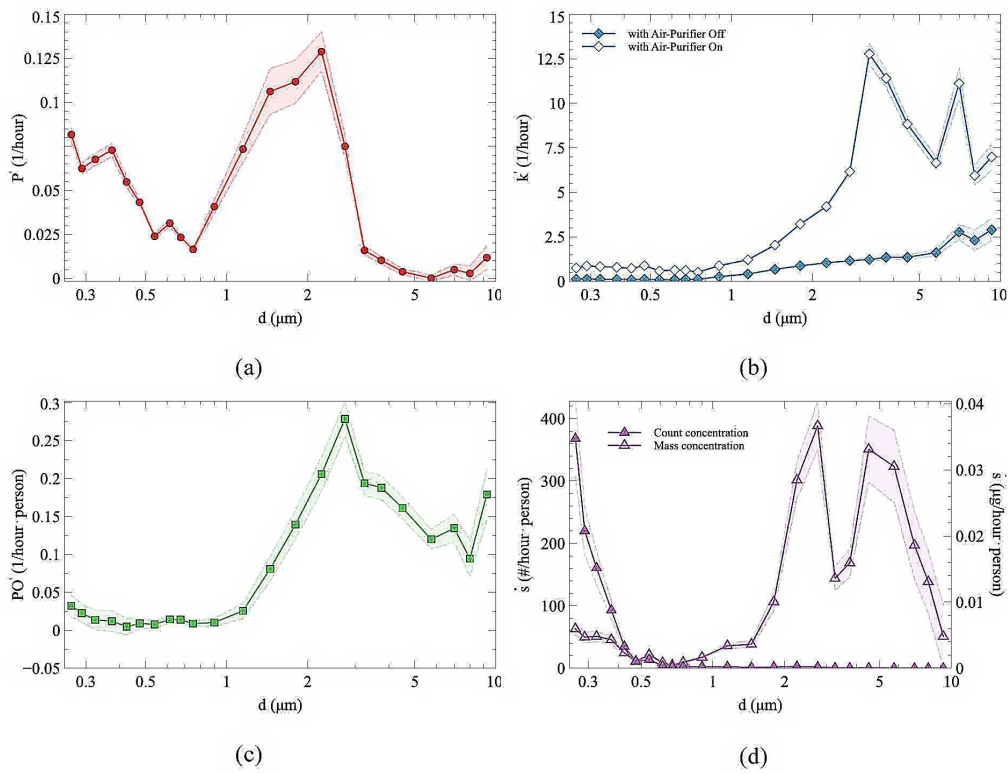
도면6



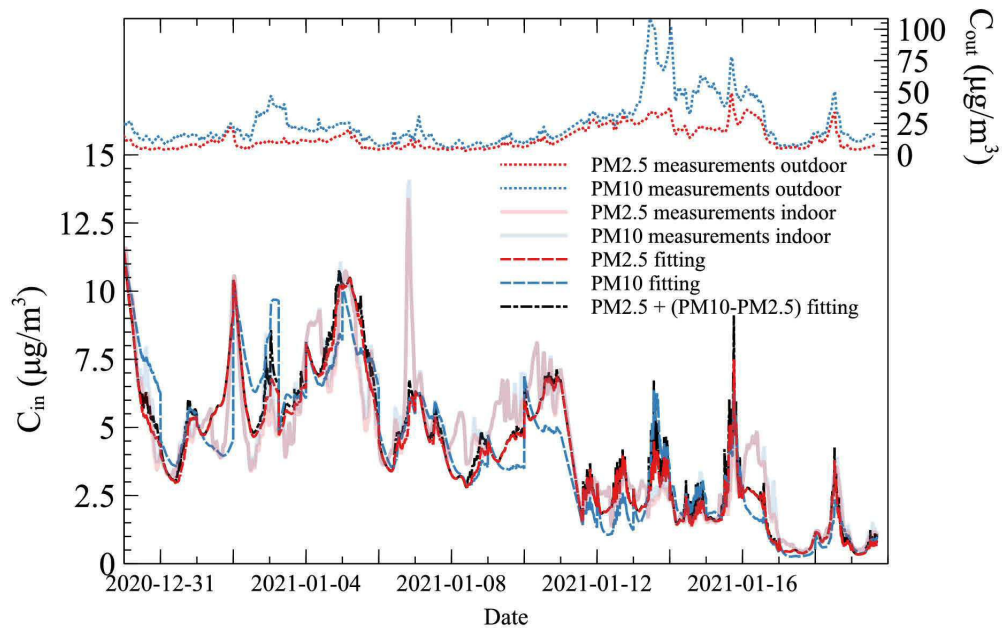
도면7



도면8



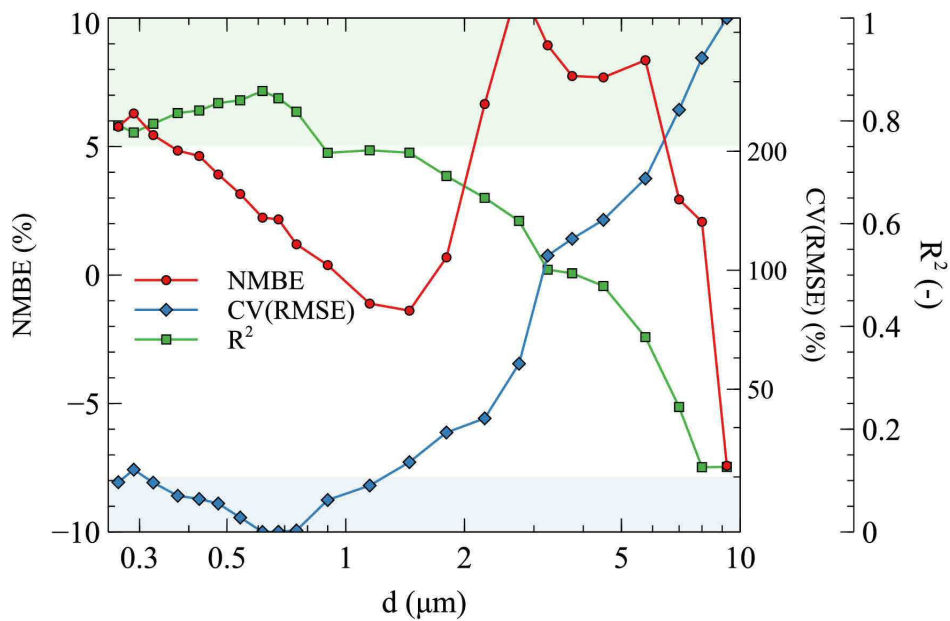
도면9



도면10

Term	Unit	PM2.5	PM10-PM2.5
P'	$\left(\frac{1}{\text{hour}}\right)$	8.536×10^{-2}	$7.054 \times 10^{-3} \pm 1.715 \times 10^{-3}$
$k'_{\text{AP off}}$	$\left(\frac{1}{\text{hour}}\right)$	1.482×10^{-1}	$1.412 \pm 1.510 \times 10^{-1}$
$k'_{\text{AP on}}$	$\left(\frac{1}{\text{hour}}\right)$	$1.096 \pm 1.573 \times 10^{-2}$	$5.210 \pm 2.087 \times 10^{-1}$
PO'	$\left(\frac{1}{\text{hour} \cdot \text{person}}\right)$	9.252×10^{-2}	$1.031 \times 10^{-1} \pm 1.069 \times 10^{-2}$
$\dot{s}$	$\left(\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3 \cdot \text{hour} \cdot \text{person}}\right)$	1.684×10^{-15}	$1.237 \times 10^{-1} \pm 1.963 \times 10^{-2}$

도면11



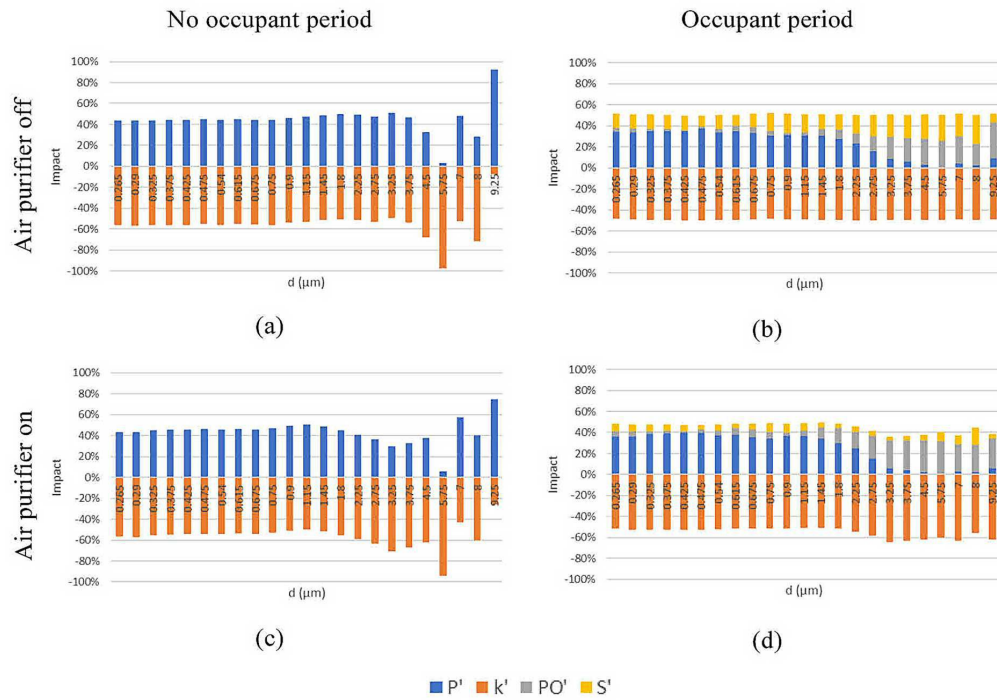
도면12

	NMBE (%)	CV(RMSE) (%)	R² (-)
PM2.5	4.59	24.9	0.819
PM10(PM10-PM2.5)	4.57	24.9	0.817

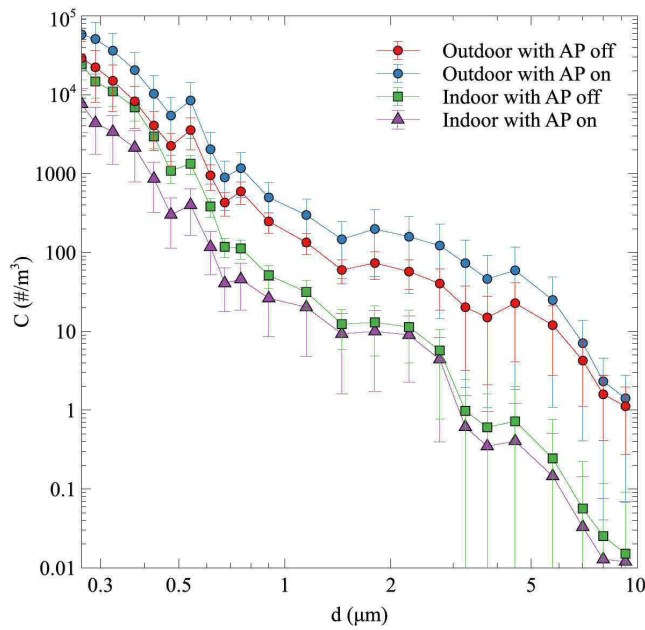
도면13

	NMBE (%)	CV(RMSE) (%)	R² (-)
PM2.5	3.798	28.3	0.779
PM10(PM10-PM2.5)	3.796	28.0	0.778

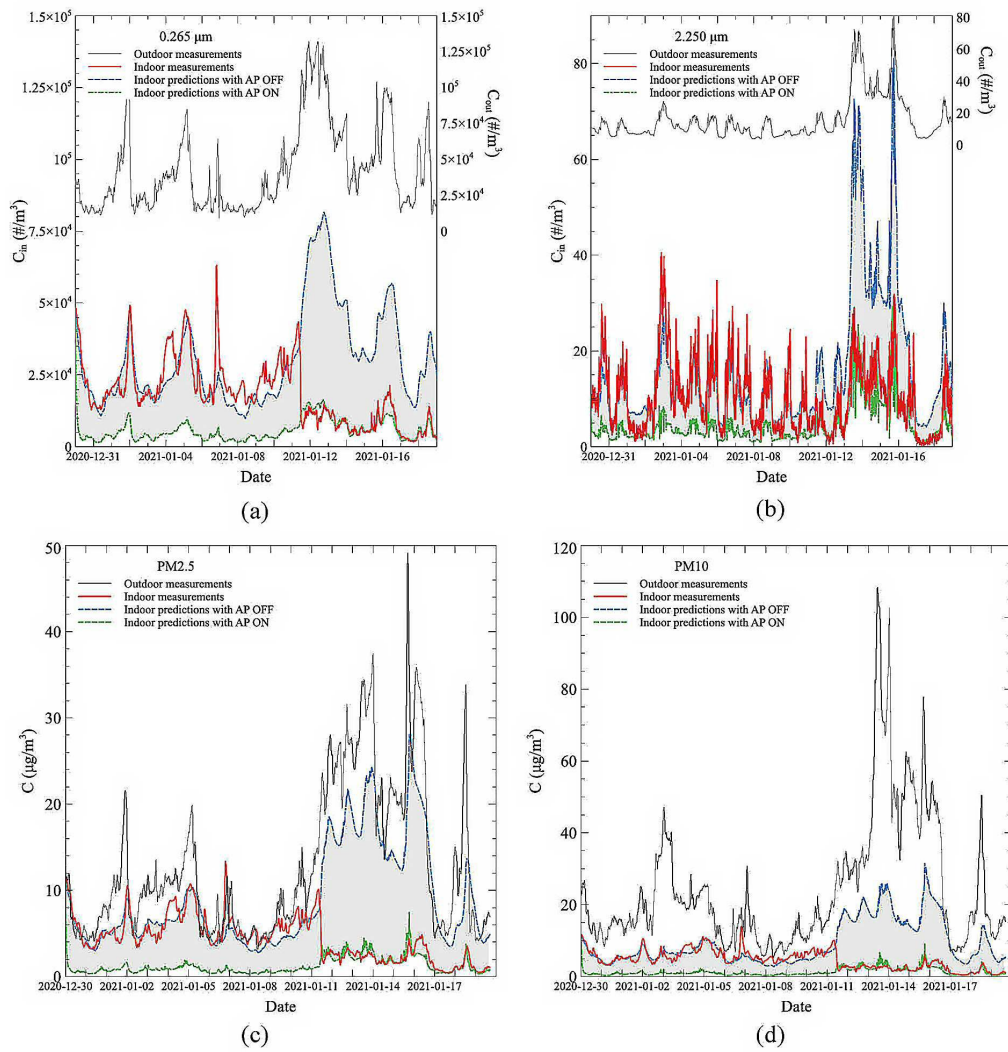
도면14



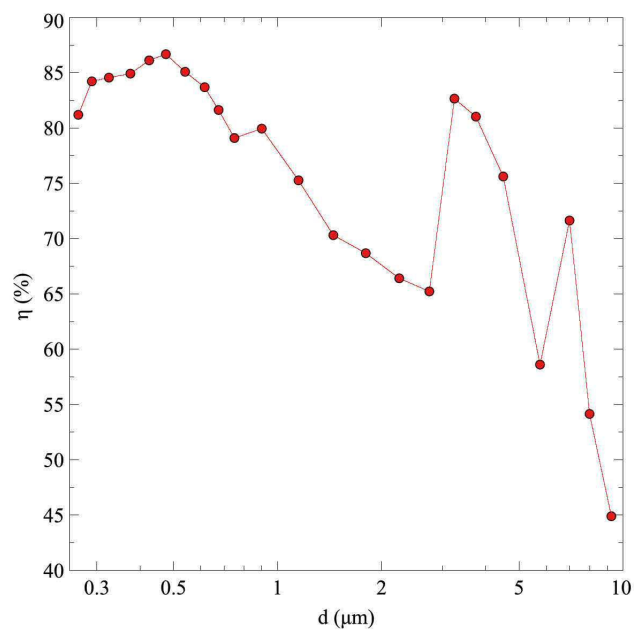
도면15



도면16



도면17



도면18

