



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0102618
(43) 공개일자 2017년09월12일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F24F 11/00 (2014.01) B61B 1/02 (2006.01)
E21F 1/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
F24F 11/0001 (2013.01)
B61B 1/02 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0024917
(22) 출원일자 2016년03월02일
심사청구일자 2016년03월02일

(71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)
(72) 발명자
유창규
경기도 수원시 영통구 웰빙타운로 20, 8308동 20호(이의동, 호반가든하임)
김민정
경기도 수원시 영통구 봉영로1770번길 21, 212동 1701호(영통동, 신명한국아파트)
(74) 대리인
노철호

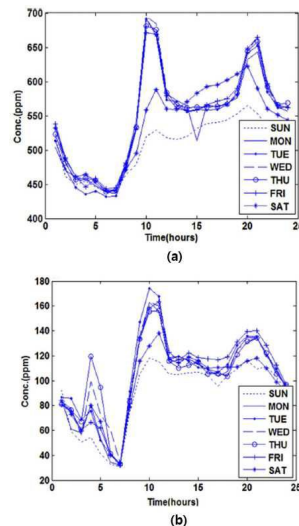
전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 지하역사 내 실내공기 환기 시스템의 제어방법

(57) 요약

지하역사 내 실내공기 환기 시스템의 제어방법이 개시된다. 본 발명의 일 측면에 따르면, 외부공기를 지하역사 내로 유입시켜 지하역사 내 실내공기를 희석시킴으로써 지하역사 내 실내공기질을 조절하는 환기 시스템의 제어 방법에 있어서, 일 단위의 전체 제어 시간을 복수개의 시간구간으로 분할하는 단계; 반복 동적 프로그래밍을 통해 분할된 각 시간구간에 대해 셋-포인트를 산출하는 단계; 및 산출된 각 셋-포인트를 환기 시스템의 각 시간구간에 대한 셋-포인트로 설정하는 단계;를 포함하는, 지하역사 내 실내공기 환기 시스템의 제어방법이 제공될 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

E21F 1/00 (2013.01)

F24F 11/0017 (2013.01)

F24F 11/006 (2013.01)

F24F 2011/0023 (2013.01)

F24F 2011/0073 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

외부공기를 상기 지하역사 내로 유입시켜 상기 지하역사 내 실내공기를 희석시킴으로써 상기 지하역사 내 실내 공기질을 조절하는 환기 시스템의 제어방법에 있어서,

일(day) 단위의 전체 제어 시간을 복수개의 시간구간으로 분할하는 단계;

반복 동적 프로그래밍(Iterative Dynamic Programming)을 통해 상기 분할된 각 시간구간에 대해 셋-포인트(set-point)를 산출하는 단계; 및

상기 산출된 각 셋-포인트를 상기 환기 시스템의 각 시간구간에 대한 셋-포인트로 설정하는 단계;를 포함하는, 지하역사 내 실내공기 환기 시스템의 제어방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 지하역사 내 실내공기질은, 일(day) 단위의 주기적 패턴을 가지고 변화되고,

상기 일 단위의 전체 제어 시간은, 4 내지 24개의 시간구간으로 분할되거나, 각 시간구간의 길이가 1 내지 8시간으로 분할되며,

상기 분할된 각 시간구간 중 어느 하나의 시간구간에 대해 산출된 셋-포인트는, 다른 하나의 시간구간에 대해 산출된 셋-포인트와 상이하게 설정되는, 지하역사 내 실내공기 환기 시스템의 제어방법.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 반복 동적 프로그래밍은, 평가지수()를 최소화하도록 상기 각 시간구간에 대해 셋-포인트를 산출하되,

상기 평가지수는, 외부공기의 오염물질 농도가 기 설정된 한계치 이하로 외부공기질이 적정 수준인 경우와, 외부공기의 오염물질 농도가 상기 한계치를 초과하여 외부공기질이 오염된 수준인 경우에 각각 상이하게 설정되는, 지하역사 내 실내공기 환기 시스템의 제어방법.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 평가지수는, 상기 외부공기질이 적정 수준인 경우 하기 수학적 식 1과 같이 설정되되,

(수학적 식 1)

$$J_1 = \sum_{k=0}^N (Q \cdot \text{energy}(k) \cdot L + R \cdot |CIAI(k) - a| \cdot L)$$

상기 수학적 식 1에서, J_1 은 평가지수, N 은 시간구간의 개수, Q 는 에너지 소비에 대한 가중치, $\text{energy}(k)$ 는 환기 시스템의 에너지 소비, L 은 시간구간의 간격, R 은 실내공기질 편차에 대한 가중치, $CIAI(k)$ 은 지하역사 내 미세먼지 농도, a 는 적절한 미세먼지 농도 범위의 평균을 나타내는 것인, 지하역사 내 실내공기 환기 시스템의 제어 방법.

청구항 5

청구항 3에 있어서,

상기 평가지수는, 상기 외부공기질이 오염된 수준인 경우 하기 수학적 식 2와 같이 설정되며,
(수학적 식 2)

$$J_2 = \sum_{k=0}^N (Q \cdot \text{energy}(k) \cdot L + R \cdot CIAI(k) \cdot L)$$

상기 수학적 식 2에서, J_2 는 평가지수, N 은 시간구간의 개수, Q 는 에너지 소비에 대한 가중치, $\text{energy}(k)$ 는 환기 시스템의 에너지 소비, L 은 시간구간의 간격, R 은 실내공기질에 대한 가중치, $CIAI(k)$ 은 지하역사 내 미세먼지 농도를 나타내는 것인, 지하역사 내 실내공기 환기 시스템의 제어방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 환기 시스템의 제어방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 외부공기를 지하역사 내로 유입시켜 역사 내 실내공기질을 제어하는 지하역사의 실내공기 환기 시스템에 있어서 시스템 효율 및 성능을 최적화시키기 위한 지하역사 내 실내공기 환기 시스템의 제어방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 많은 도시에서 도심의 교통 혼잡을 해결하기 위한 하나의 수단으로 지하철로를 통해 운행 가능한 지하철 시스템을 채용하고 있다. 현재 지하철은 가장 효율적인 대중교통수단 중 하나로 자리 잡고 있으며, 그 이용객 수나 이용 횟수가 증가됨에 따라 많은 사람들이 지하역사 내에서 보내는 시간도 늘어나고 있다. 이러한 배경에서 지하역사 내의 실내공기에 대한 관심도 점차 증대되는 추세이다.

[0003] 지하역사의 내에서는 이용객들의 잦은 이동, 지하철의 운행 등으로 인해 다량의 오염물질이 발생될 수 있으며, 이들 오염물질은 지하역사의 실내공기 중에 함유되어 이용객이나 역무원 등에게 부정적 영향을 끼칠 수 있다. 특히, 입경 $10\mu\text{m}$ 이하의 미세먼지(Particulate Matter, PMs)는 장기간 노출시 인체에 큰 영향을 미칠 수 있으며, 지하역사의 경우 선로(rail) 등에서 다량의 미세먼지가 발생될 수 있기 때문에 주의를 기울여 관리할 필요가 있다.

[0004] 대부분의 지하역사에서 미세먼지와 같은 공기 중의 오염물질은 자연 환기를 통해 충분히 배출될 수 없기 때문에, 많은 경우 실내공기질을 유지 및 제어하기 위한 환기 시스템이 채용되고 있다. 이러한 환기 시스템은 외부공기를 지하역사 내로 유입시켜 지하역사의 실내공기를 희석시킴으로써, 실내공기에 함유된 오염물질이나 미세먼지의 농도를 낮추는 방식으로 실내공기질을 제어하게 된다.

[0005] 지하역사 내의 실내공기질은 실내공기 중에 포함된 오염물질의 종류, 농도 등에 따라 판단될 수 있는데, 그 중 하나로 미세먼지 농도가 널리 사용되고 있다. 예컨대, 지하역사의 미세먼지 농도는 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 가 한계치로 설정될 수 있으며, 바람직하게는 $60\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 설정될 수 있다. 지하역사 내 환기 시스템 또한 이러한 미세먼지 농도에 기반하여 외부공기의 유입량을 조절함으로써, 목표하는 실내공기질(미세먼지 농도)을 달성할 수 있다. 즉, 환기 시스템은 설정된 셋-포인트(set-point, 예컨대, $70\mu\text{g}/\text{m}^3$)에 따라 외부공기를 유입시켜 실내공기를 희석시키게 된다.

[0006] 따라서 역사 내 실내공기질 수준을 높이기 위하여는 환기 시스템의 셋-포인트를 낮출 필요가 있다. 다시 말하면, 환기 시스템이 목표하는 미세먼지 농도를 낮춤으로써 보다 많은 양의 외부공기가 역사 내로 유입되고, 실내공기의 오염물질이 보다 적절한 수준으로 희석될 수 있다. 그러나 대부분의 환기 시스템은 팬(fan)을 통해 외부공기를 유입시키게 되므로, 상기와 같이 보다 많은 양의 외부공기를 유입시키기 위해서는 필연적으로 팬의 가동시간이 길어지고, 높은 에너지 소모로 이어지게 된다. 즉, 실내공기질을 높은 수준으로 유지하려면 필연적으로 환기 시스템의 에너지 소모가 증가하게 된다. 이는 다른 말로, 환기 시스템의 셋-포인트를 낮게 설정할수록 에너지 소모가 증가될 수 있음을 의미한다.

[0007] 그러나 지하역사 내 전체 시스템의 에너지 관리 전략이나 효율 측면에서 환기 시스템에 소모되는 에너지량은 저감될 필요성이 있다. 환기 시스템이 전체 지하역사 시스템에서 차지하는 에너지 소모량은 결코 무시할 수 없는 수준이며, 통상적으로 전체 에너지 소모량의 14~15%를 차지하는 것으로 알려져 있다. 따라서 에너지 및 실내공

기질의 2가지 상충되는 과제를 적절히 충족시켜, 환기 시스템의 에너지 소모를 줄이면서도 실내공기질을 적절한 수준으로 유지할 수 있는 최적화된 제어 전략이 요구되게 된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명의 실시예들은 환기 시스템의 에너지 소모를 줄이면서도 실내공기질을 적절한 수준으로 유지할 수 있는 지하역사 내 실내공기 환기 시스템의 제어방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명의 일 측면에 따르면, 외부공기를 상기 지하역사 내로 유입시켜 상기 지하역사 내 실내공기를 희석시킴으로써 상기 지하역사 내 실내공기질을 조절하는 환기 시스템의 제어방법에 있어서, 일(day) 단위의 전체 제어 시간을 복수개의 시간구간으로 분할하는 단계; 반복 동적 프로그래밍(Iterative Dynamic Programming)을 통해 상기 분할된 각 시간구간에 대해 셋-포인트(set-point)를 산출하는 단계; 및 상기 산출된 각 셋-포인트를 상기 환기 시스템의 각 시간구간에 대한 셋-포인트로 설정하는 단계;를 포함하는, 지하역사 내 실내공기 환기 시스템의 제어방법이 제공될 수 있다.

발명의 효과

[0010] 본 발명의 실시예들에 따른 환기 시스템의 제어방법은 분할된 각 시간구간에 대해 셋-포인트를 설정함으로써, 지하역사 실내공기의 주기적 일 변화를 환기 시스템의 제어에 반영하게 되며, 지하역사의 실내공기질을 적절한 범위 내로 유지하면서도, 환기 시스템에서 소모되는 에너지 소비량을 저감시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0011] 도 1은 지하역사 내 공기 오염물질의 일(day) 변화를 보여주는 그래프이다.

도 2는 외부 공기질이 적정 수준인 경우, 2가지 셋-포인트에 대한 환기 시스템의 에너지 소비 및 적절한 실내공기질 범위에 대한 편차를 보여주는 그래프이다.

도 3은 외부공기질이 오염된 수준인 경우, 2가지 셋-포인트에 대한 환기 시스템의 에너지 소비 및 지하역사 내 미세먼지 농도를 보여주는 그래프이다.

도 4는 외부 공기질이 적정 수준인 경우, 시험대상인 지하역사에 대해 본 실시예에 따른 환기 시스템의 제어방법을 적용하여 각 시간구간별로 셋-포인트를 설정한 결과이다

도 5는 외부 공기질이 적정 수준인 경우, 케이스 1 내지 3에 있어서 지하역사 내 평균 미세먼지 농도 및 에너지 소모를 비교한 결과이다.

도 6은 도 4에서 설정된 셋-포인트의 궤적(8 분할의 경우)에 대해, 외부로부터 유입되는 미세먼지 양, 외부공기의 미세먼지 농도 및 환기 팬의 스피드를 비교하여 보여주는 그래프이다.

도 7은 외부 공기질이 오염된 수준인 경우, 시험대상인 지하역사에 대해 본 실시예에 따른 환기 시스템의 제어방법을 적용하여 각 시간구간별로 셋-포인트를 설정한 결과이다.

도 8은 외부 공기질이 오염된 수준인 경우, 케이스 1 내지 3에 있어서 지하역사 내 평균 미세먼지 농도 및 에너지 소모를 비교한 결과이다.

도 9는 도 7에서 설정된 셋-포인트의 궤적(8 분할의 경우)에 대해, 외부로부터 유입되는 미세먼지 양, 외부공기의 미세먼지 농도 및 환기 팬의 스피드를 비교하여 보여주는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0012] 이하, 본 발명의 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 설명하도록 한다. 다만, 이하의 실시예들은 본 발명의 이해를 돕기 위해 제공되는 것이며, 본 발명의 범위가 이하의 실시예들에 한정되는 것은 아님을 알려준다. 또한, 이하의 실시예들은 당업계에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 발명을 보다 완전하게 설명하기 위해서 제공되는 것으로, 불필요하게 본 발명의 기술적 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 공지 구성에 대해서는 상세한 기술

을 생략하기로 한다.

- [0013] 도 1은 지하역사 내 공기 오염물질의 일(day) 변화를 보여주는 것으로, 도 1의 (a)는 이산화탄소 농도의 하루 동안의 변화, 도 1의 (b)는 미세먼지(PM₁₀) 농도의 하루 동안의 변화를 나타내고 있다. 도 1의 (a) 및 (b)에서 가로축은 시간(hour), 세로축은 농도(ppm)를 나타내며, 일주일 간의 데이터를 각 요일별로 구분하여 나타내고 있다.
- [0014] 도 1을 참조하면, 이산화탄소, 미세먼지 등 지하역사의 공기 오염물질은 주기적인 일(day) 변화 패턴을 가지는 것을 알 수 있다. 이러한 일 변화 패턴은 오염물질의 종류(즉, 이산화탄소 또는 미세먼지)나 각 요일별로 미소한 차이는 있으나, 대체적으로 일정한 경향을 보이고 있다. 즉, 이용객의 수나 지하철의 운행빈도가 잦은 일부 오전 시간대와 오후 시간대에 오염물질의 농도가 최대치를 보이며, 그 외의 시간대에서는 비교적 낮은 농도를 보이고 있다.
- [0015] 상기와 같이 지하역사 내 오염물질, 즉, 실내공기질은 주기적인 패턴을 가지고 하루 동안 변화될 수 있다. 따라서 환기 시스템의 최적화된 셋-포인트(set-point)를 설정함에 있어 이러한 실내공기질의 주기적인 일 변화 패턴이 고려될 필요가 있다. 여기서 상기의 셋-포인트는 지하역사 내 실내공기질을 유지 및 제어하기 위한 환기 시스템에 있어서, 환기 시스템이 목표하는 실내공기질의 척도를 의미할 수 있다. 예컨대, 상기의 셋-포인트는 미세먼지(PMs)의 농도를 기준으로 설정될 수 있다. 이하에서는 설명의 편의를 위해 상기의 셋-포인트가 미세먼지(PM₁₀) 농도를 기준으로 설정되는 경우를 중심으로 설명하도록 한다. 또한, 상기의 환기 시스템은 지하역사 내로 외부공기를 유입시켜 오염물질을 희석시키는 방식으로 실내공기질을 유지 및 제어하는 것으로, 자연 환기가 아닌 팬(fan) 등을 통해 공기의 강제적인 순환이나 유동을 일으킬 수 있는 시스템을 의미할 수 있다.
- [0016] 본 발명의 일 실시예에 따른 환기 시스템의 제어방법은 상기와 같은 실내공기질의 주기적 패턴을 환기 시스템의 셋-포인트 설정에 반영함으로써, 환기 시스템의 에너지 소모를 줄이면서도 실내공기질을 적절한 수준으로 유지할 수 있도록 한다.
- [0017] 구체적으로, 본 실시예에 따른 환기 시스템의 제어방법은 일(day) 단위의 전체 제어시간을 복수개의 시간구간으로 분할하는 단계를 포함할 수 있다. 예컨대, 본 단계에서는 전체 제어시간인 하루(24h)를 1시간씩 24개의 시간구간으로 분할하거나, 3시간씩 8개의 시간구간으로 분할할 수 있다.
- [0018] 다만, 상기에서 각 시간구간이 지나치게 긴 경우, 실내공기질의 주기적 일 변화 패턴이 셋-포인트 설정에 적절히 반영될 수 없다. 따라서 시간구간은 최소 4개 이상으로 분할되거나, 시간간격이 최대 6시간 이하로 분할될 수 있다. 또한, 셋-포인트의 변경이 지나치게 빈번하게 일어나면 시스템에 무리를 초래할 가능성이 있으므로, 시간구간은 최대 24개 이하로 분할되거나, 시간간격이 최소 1시간 이상으로 분할될 수 있다.
- [0019] 한편, 본 실시예에 따른 환기 시스템의 제어방법은 분할된 각 시간구간에 대해 환기 시스템의 셋-포인트를 각각 설정하는 단계를 포함할 수 있다. 이때, 상기의 셋-포인트는 각 시간구간마다 상이하게 설정되어도 무방하다. 즉, 본 실시예에 따른 환기 시스템의 제어방법은 환기 시스템의 셋-포인트를 일정한 고정값으로 설정하는 것이 아닌, 분할된 각 시간구간마다 셋-포인트를 설정하게 된다. 이는 일정한 고정값을 하나의 목표치로 셋-포인트가 설정되는 종래의 환기 시스템과 구별된다.
- [0020] 각 시간구간에서의 셋-포인트는 반복 동적 프로그래밍(Iterative Dynamic Programming, IDP) 기법을 통해 결정될 수 있다. IDP 기법은 평가지수(performance index)를 최소화하는 최적 제어값을 찾기 위한 방법으로 당업계에서 기 공지된 바 있으며, 그 개략적인 프로세스는 아래와 같다.
- [0021] 먼저, 전체 시스템의 시간(t_f)을 P조각의 시간구간으로 분할하고, 각 시간구간의 간격(L , $L=t_f/P$)을 구한다. 다음으로, 허용되는 제어동작의 수(M)와 격자점의 수(N)를 선택하고, 초기 제어동작(초기 제어값, $u(0)$), 제어동작의 간격 크기(r), 축소 인자(β) 등을 정하게 되며, 아래의 수학적 식 1을 통해 허용되는 제어동작(u)을 구한다.

수학적 식 1

$$u = u(0) + [(median\ value\ of\ m - n) \times r] \quad (m = 1, \dots, M)$$

[0022] 예컨대, 허용되는 제어동작(M)의 수가 5이고, 초기 제어동작($u(0)$)이 50이며, 제어동작의 간격 크기(r)가

5이면, 허용되는 제어동작(u)은 아래의 수학식 2와 같이 산출될 수 있다.

수학식 2

$$u = 50 + [(3 - m) \times 5] \quad (m = 1, \dots, 5)$$

[0024]

[0025] 다음으로, 초기 제어동작(초기 제어값)을 적용하여 각 시간구간에 대해 격자점(x-grid point)을 생성한다.

[0026] 또한, 시간 t_{f-L} 에서 t_f 에 대응되는 마지막 시간구간 P에서 시작하여 각각의 허용되는 제어동작(u)을 각 격자점에 적용하고, 평가지수를 최소화하는 제어값을 선택(저장)한다. 시간구간 P-1에서 마찬가지로 t_{f-2L} 에서 t_{f-L} 까지 각 격자점에 대해 허용되는 제어동작(u)을 적용하고, 마지막의 궤적과 가장 가까운 격자점을 찾는다. 다시 이전 단계인 시간구간 P에서 각 격자점에 선택된 제어값들을 이용해 평가지수를 최소화하는 제어값을 찾고 이를 선택(저장)한다.

[0027] 상기의 과정을 시간구간 P-2, P-3, ..., 1 단계까지 반복하고, 1 단계까지 왔을 때 평가지수를 최소화시키는 제어값을 선택(저장)한다.

[0028] 제어동작의 간격 크기(r)를 아래 수학식 3과 같이 줄여서 해의 정확도를 증가시킨다. 아래 수학식 3에서 j는 반복 횟수를 의미한다.

수학식 3

$$r^{(j+1)} = \beta \cdot r^{(j)}$$

[0029]

[0030] 상기에서 선택된 제어값을 초기 제어동작(초기 제어값)으로 사용하고, 다시 각 시간구간에 대해 격자점을 생성하는 단계로 돌아가서 상기의 과정을 반복한다.

[0031] 한편, 본 실시예에 따른 환기 시스템의 제어방법에 있어서, 상기와 같은 IDP 기법을 적용하기 위한 평가지수는 환기 시스템의 에너지 소모 및 실내공기질의 수준이 함께 고려되어야 한다. 다만, 환기 시스템의 가동에 따른 실내공기의 희석이나 정화 정도는 외부공기질에 의해 영향을 받을 수 있다. 즉, 본 실시예에서 전제하는 환기 시스템의 경우, 외부공기를 지하역사 내로 도입하여 실내공기를 희석시키는 방식으로 실내공기질을 제어하기 때문에 유입된 외부공기 중의 오염물질이 실내공기질에 영향을 끼칠 수 있다. 따라서 평가지수는 환기 시스템의 에너지 소모 및 실내공기질 뿐만 아니라, 외부공기질에 따른 영향이 함께 고려됨이 바람직하며, 이러한 측면에서 본 실시예에 따른 환기 시스템의 제어방법은 외부공기질의 수준에 따라 평가지수를 상이하게 구성할 수 있다.

[0032] 먼저, 외부공기질이 적정 수준인 경우를 살펴본다. 이 경우 환기 시스템을 통해 유입되는 외부공기 중의 오염물질은 지하역사 내 실내공기질에 미치는 영향이 상대적으로 작게 된다. 따라서 평가지수는 오염물질의 감소(즉, 실내공기질)보다 환기 시스템의 에너지 소모에 중점을 두어 설정될 필요가 있다. 한편, 외부공기질의 수준은 외부공기 중의 오염물질 농도에 기반하여 판단될 수 있다. 예컨대, 외부공기의 미세먼지(PM₁₀) 농도가 기 설정된 한계치 이하인 경우, 외부공기질은 적정 수준으로 평가될 수 있다.

[0033] 외부공기질이 적정 수준인 경우, 지하역사 내 실내공기질과 실내공기질의 적절한 범위 간의 편차(difference)가 평가지수에 사용될 수 있다. 이때, 상기의 범위는 소정범위의 미세먼지 농도를 기준으로 설정될 수 있다. 예컨대, 실내공기질의 적절한 범위는 60~80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 미세먼지(PM₁₀) 농도로 설정될 수 있다. 상기의 편차는 아래 수학식 4와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 4

$$d = |CIAI \text{ of station } PM_{10} - \text{average comfortable range}|$$

[0034]

[0035]

상기 수학식 4에서 d는 편차, 'CIAI of station PM₁₀'은 지하역사 실내공기의 미세먼지 농도, 'average comfortable range'는 적절한 실내공기질 범위의 평균값을 의미한다. 예컨대, 실내공기의 적절한 미세먼지 농도 범위가 60~80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 설정될 경우, 'average comfortable range'는 70($\mu\text{g}/\text{m}^3$)으로 계산될 수 있다. 참고로, 'CIAI'는 '통합실내공기질지수(Comprehensive Indoor Air-quality Index)'의 약자임을 알려준다.

[0036]

도 2는 외부 공기질이 적정 수준인 경우, 2가지 셋-포인트(55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (실선), 95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (점선))에 대한 환기 시스템의 에너지 소비(상측) 및, 적절한 실내공기질 범위에 대한 편차(하측)를 나타내고 있다. 가로축은 시간(day), 세로축은 소비되는 에너지(kWh) 또는 편차($\mu\text{g}/\text{m}^3$)를 의미한다.

[0037]

도 2에서 특정 시간구간에 대한 에너지 그래프의 면적(A_E)은 환기 시스템의 에너지 소비량을 나타낼 수 있다(상측 참조). 또한, 특정 시간구간에 대한 편차 그래프의 면적($A_{CIAI \text{ difference}}$)이 작다는 것은 역사 내 실내공기질이 기 설정된 적절한 수준(범위)에 근접하다는 것을 의미하게 된다(하측 참조). 따라서 편차에 대한 면적($A_{CIAI \text{ difference}}$)을 작게 하는 것이 실내공기질을 적절한 수준으로 유지하면서 환기 시스템의 에너지 소비와 균형을 맞출 수 있는 최적화 전략으로 고려될 수 있다. 즉, 결론적으로 외부공기질이 적정 수준인 경우, 평가지수는 아래의 수학식 5와 같이 설정될 수 있다.

수학식 5

$$J_1 = \sum_{k=0}^N (QA_E + RA_{CIAI \text{ difference}})$$

[0038]

$$= \sum_{k=0}^N (Q \cdot \text{energy}(k) \cdot L + R \cdot |CIAI(k) - 70| \cdot L)$$

[0039]

[0040]

상기 수학식 5에서 J_1 는 외부공기질이 적정 수준인 경우 IDP 적용을 위한 평가지수, Q는 에너지 소비에 대한 가중치, R는 편차에 대한 가중치, N은 시간구간의 개수, L은 시간구간의 간격(길이)을 나타낸다. 또한, energy(k)는 환기 시스템의 에너지 소비, CIAI(k)는 지하역사의 실내공기질 지수(미세먼지 농도)를 나타낸다.

[0041]

한편, 지상의 환경조건, 황사 등의 영향으로 외부공기질이 나쁜 경우, 환기 시스템을 통해 유입되는 외부공기 중의 오염물질은 지하역사 내 실내공기질에 큰 영향을 끼칠 수 있다. 따라서 이 경우 평가지수는 오염물질의 감소, 즉, 실내공기질을 중심으로 설정될 필요가 있다. 한편, 외부공기질의 수준은 전술한 바와 같이, 기 설정된 미세먼지 농도 등에 기반하여 분류될 수 있다.

[0042]

도 3은 외부공기질이 오염된 수준인 경우, 2가지 셋-포인트(55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (실선), 95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (점선))에 대한 환기 시스템의 에너지 소비(상측) 및, 지하역사 내 미세먼지 농도(하측)를 나타내고 있다. 도 3에서 가로축은 시간(day), 세로축은 에너지 소비(kWh) 또는 미세먼지 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)를 나타내며, 면적 A_E 는 에너지 소비량, 면적 A_{CIAI} 는 미세먼지 양을 나타낸다.

[0043]

도 3을 참조하면, 외부공기 중의 미세먼지 농도가 기 설정된 한계치를 초과하는 등으로 외부공기질이 부적절한 수준일 경우, 외부의 오염물질이 환기 시스템을 통해 지하역사 내로 유입되기 때문에, 외부공기질이 적정 수준인 경우(도 2 참조)와 비교하여, 실내공기의 미세먼지 농도가 높게 조성됨을 알 수 있다. 따라서 이 경우 에너지 소비보다는 면적 A_{CIAI} 를 줄여 미세먼지로 인한 위험요인을 최소화할 필요가 있다. 결국, 외부공기질이 오염된

수준일 경우, 평가지수는 A_E 및 A_{CIAI} 의 조합을 통해 하기 수학적식 6과 같이 나타낼 수 있다.

수학적식 6

$$J_2 = \sum_{k=0}^N (QA_E + RA_{CIAI})$$

$$= \sum_{k=0}^N (Q \cdot energy(k) \cdot L + R \cdot CIAI(k) \cdot L)$$

상기 수학적식 6에서 J_2 는 외부공기질이 오염된 수준인 경우 IDP 적용을 위한 평가지수, Q는 에너지 소비에 대한 가중치, R는 편차에 대한 가중치, N은 시간구간의 개수, L은 시간구간의 간격(길이)을 나타낸다. 또한, $energy(k)$ 는 환기 시스템의 에너지 소비, $CIAI(k)$ 는 지하역사의 실내공기질 지수(미세먼지 농도)를 나타낸다.

한편, 본 실시예에 따른 환기 시스템의 제어방법은 전술한 수학적식 5, 6에서 가중치인 Q, R를 상대적으로 증감시켜 에너지 저감 또는 실내공기질에 중점을 두도록 운용될 수 있다. 예컨대, 가중치 Q를 R에 대해 상대적으로 크게 설정하여 에너지 효율에 중점을 두거나, 가중치 R을 Q에 대해 상대적으로 크게 설정하여 실내공기질에 좀 더 중점을 두도록 시스템 운용될 수 있다.

끝으로, 본 실시예에 따른 환기 시스템의 제어방법은 분할된 각 시간구간에 대해 IDP 알고리즘을 통해 도출된 최적의 셋-포인트를 환기 시스템의 셋-포인트로 설정하는 단계를 포함할 수 있다. 이때, 각 시간구간의 셋-포인트는 다른 시간구간의 셋-포인트와 상이하게 설정될 수 있다. 즉, 본 실시예에 따른 환기 시스템의 제어방법은 환기 시스템의 실내공기질 목표치인 셋-포인트를 일정한 고정값으로 유지하지 않을 수 있으며, 각 시간구간별로 상이하게 셋-포인트를 설정할 수 있다. 또한, 이와 같은 셋-포인트의 궤적은 일(day) 단위의 주기를 가지고 적용될 수 있다.

이하에서는 서울 지하철 3호선의 한 지하역사를 대상으로 본 실시예에 따른 환기 시스템 제어방법을 적용한 결과를 살펴보기로 한다. 역사 중심부에 실시간 원격 모니터링 시스템을(real-time tele-monitoring system)를 설치하고 일정한 간격으로 실내공기 중 오염물질 농도를 수집하였으며, 미세먼지 농도는 β -레이 감쇠 방식의 SPM-613D를 이용하여 측정하였다. 또한, 외부의 미세먼지 농도가 $31\mu g/m^3$ 로 외부공기질이 적정 수준인 경우와, 외부의 미세먼지 농도가 $117\mu g/m^3$ 으로 외부공기질이 오염된 수준인 경우를 비교하였다.

환기 시스템의 성능은 평균 미세먼지 농도 및 에너지 소비 관점에서 평가되었으며, 다음과 같은 3가지 케이스에 대해 비교하였다. (1) 미리 설정된 스케줄에 따라 환기 팬 속도를 수동으로 조절하는 방식(케이스 1), (2) 환기 시스템을 사용하되 일정하게 고정된 셋-포인트에 따라 운용하는 방식(케이스 2), (3) 본 실시예에 따른 환기 시스템의 제어방법에 따라 각 시간구간별로 셋-포인트를 설정하여 운용하는 방식(케이스 3). 케이스 1은 메뉴얼 방식으로 오전 12시부터 오후 5시까지는 팬 스피드를 45 rpm으로, 오후 5시부터 다음날 오전 9시까지는 팬 스피드를 60 rpm으로, 오전 9시부터 오전 12시까지는 팬 스피드를 40 rpm으로 수동 조절하였다. 케이스 2는 종래 일반적인 환기 시스템의 운용 방식으로, 본 시험에서는 셋-포인트를 $70\mu g/m^3$ 으로 설정하였다. 또한, 케이스 3의 경우 전체 시간구간(1 day)을 8, 12 또는 24개의 시간구간으로 분할하여 도출된 결과를 비교하였다.

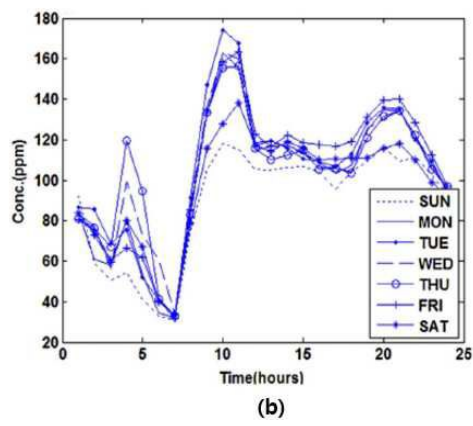
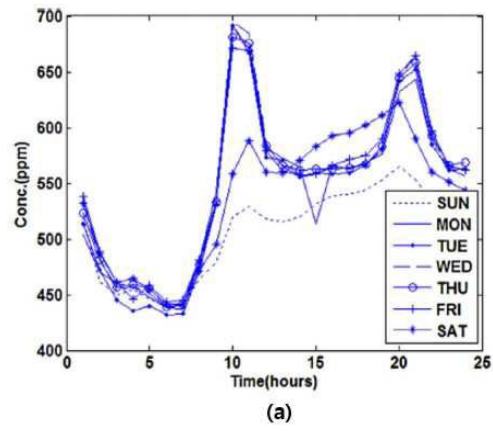
도 4는 외부 공기질이 적정 수준인 경우, 시험대상인 지하역사에 대해 본 실시예에 따른 환기 시스템의 제어방법을 적용하여 각 시간구간별로 셋-포인트를 설정한 결과이다(케이스 3). IDP 알고리즘을 위한 초기 셋-포인트는 $84\mu g/m^3$, 구역 크기는 5, 반복 횟수는 5, 축소 인자는 0.8로 적용하였다. 도 4에서 확인할 수 있듯이, 본 실시예에 따른 제어방법은 환기 시스템의 셋-포인트를 각 시간구간별로 상이하게 설정할 수 있으며, 이는 지하역사 내 실내공기질의 주기적 변화를 반영함으로써 에너지 및 실내공기질의 최적화를 가능하게 한다.

도 5는 외부 공기질이 적정 수준인 경우, 전술한 케이스 1 내지 3에 있어서 지하역사 내 평균 미세먼지 농도 및 에너지 소모를 비교한 결과이다. 이를 참조하면, 본 실시예에 따른 제어방법의 경우, 메뉴얼 방식(케이스 1)이나 고정된 셋-포인트의 환기 시스템(케이스 2)과 비교하여, 실내공기질은 적절한 범위($60\sim 80\mu g/m^3$) 내로 유지하면서 에너지 소비는 절감시키고 있음을 확인할 수 있다.

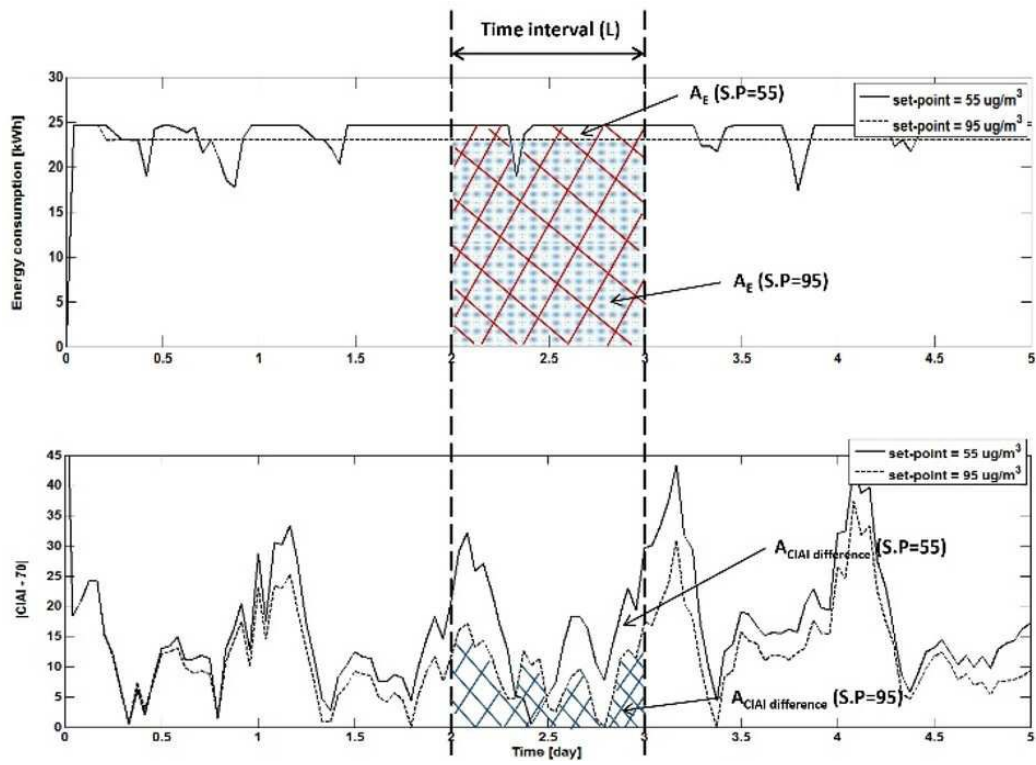
- [0053] 도 6은 도 4에서 설정된 셋-포인트의 궤적(8 분할의 경우)에 대해, 외부로부터 유입되는 미세먼지 양, 외부공기의 미세먼지 농도 및 환기 팬의 스피드를 비교하여 보여주는 그래프이다. 도 6의 상단 그래프는 실내공기의 미세먼지 농도(실선) 및 8분할의 경우에 설정된 셋-포인트 궤적(점선)을 나타내고 있으며, 중단 그래프는 외부로부터 지하역사 내로 유입되는 미세먼지 양, 하단 그래프는 환기 팬의 스피드(실선) 및 외부공기의 미세먼지 농도(점선)을 나타내고 있음을 알려준다.
- [0054] 도 6의 상단 그래프를 참조하면, 본 실시예에 따른 환기 시스템의 제어방법은 실내공기질의 주기적 일 변화를 고려하여 셋-포인트가 설정됨으로써, 에너지 소비를 절감시키고 있음을 알 수 있다. 즉, 상대적으로 실내공기질이 낮은(미세먼지 농도가 높은) 러시아워 시간대(오전 6시부터 9시, 오후 6시부터 9시)에 환기 시스템의 셋-포인트가 낮게 설정되고, 다른 시간대에서는 비교적 셋-포인트가 높게 설정될 수 있다.
- [0055] 한편, 도 6의 하단 그래프에서 좌측에 표시된 원 부위를 참조하면, 외부공기 중의 미세먼지 농도가 높을 경우, 이에 대응하여 팬 스피드가 낮아지고 에너지 소비가 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 또한, 우측에 표시된 원 부위를 참조하면, 외부공기가 적정 수준일 경우(즉, 미세먼지 농도가 낮은 경우), 역사 내부로 깨끗한 외부공기를 충분히 유입시키기 위해 에너지 소비가 다소 증가되더라도 팬 스피드가 높아짐을 알 수 있다. 결국, 본 실시예에 따른 환기 시스템의 제어방법은 실내공기질 뿐만 아니라 외부공기질에 대응하여도 20~60 Hz로 팬 스피드를 조절할 수 있음을 알 수 있다.
- [0056] 도 7은 외부 공기질이 오염된 수준인 경우, 시험대상인 지하역사에 대해 본 실시예에 따른 환기 시스템의 제어방법을 적용하여 각 시간구간별로 셋-포인트를 설정한 결과이며(케이스 3), 도 8은 외부 공기질이 오염된 수준인 경우, 케이스 1 내지 3에 있어서 지하역사 내 평균 미세먼지 농도 및 에너지 소모를 비교한 결과이다. 또한, 도 9는 도 7에서 설정된 셋-포인트의 궤적(8 분할의 경우)에 대해, 외부로부터 유입되는 미세먼지 양, 외부공기의 미세먼지 농도 및 환기 팬의 스피드를 비교하여 보여주는 그래프이다.
- [0057] 도 7 내지 9를 참조하면, 전술한 도 4 내지 6의 경우와 유사하게 외부공기질이 부적절한(오염된) 경우에도 본 실시예에 따른 환기 시스템의 제어방법은 역사 내 실내공기질을 적정 범위 내로 유지하면서 에너지 소비량을 저감시키고 있음을 알 수 있다. 다만, 이와 같이 외부공기질이 부적절한 경우에는 외부로부터 역사 내로 유입되는 미세먼지가 실내공기질에 상당한 영향을 미칠 수 있으므로, 전술한 도 4 내지 6의 경우와 비교하여 셋-포인트가 다소 높은 수준으로 설정되고 있음을 확인할 수 있다. 또한, 이러한 경우 에너지 소비에 앞서 실내공기질 유지에 중점을 두어야 하므로, 본 실시예에 따른 제어방법의 경우 매뉴얼 방식(케이스 1)에 비해 평균 미세먼지 농도를 낮게 제어하고 있다(도 8 참조).
- [0058] 이상에서 설명한 바, 본 발명의 실시예들에 따른 환기 시스템의 제어방법은 분할된 각 시간구간에 대해 셋-포인트를 설정함으로써, 지하역사 실내공기의 주기적 일 변화를 환기 시스템의 제어에 반영하게 되며, 지하역사의 실내공기질을 적절한 범위 내로 유지하면서도, 환기 시스템에서 소모되는 에너지 소비량을 저감시킬 수 있다.
- [0059] 이상, 본 발명의 실시예들에 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.

도면

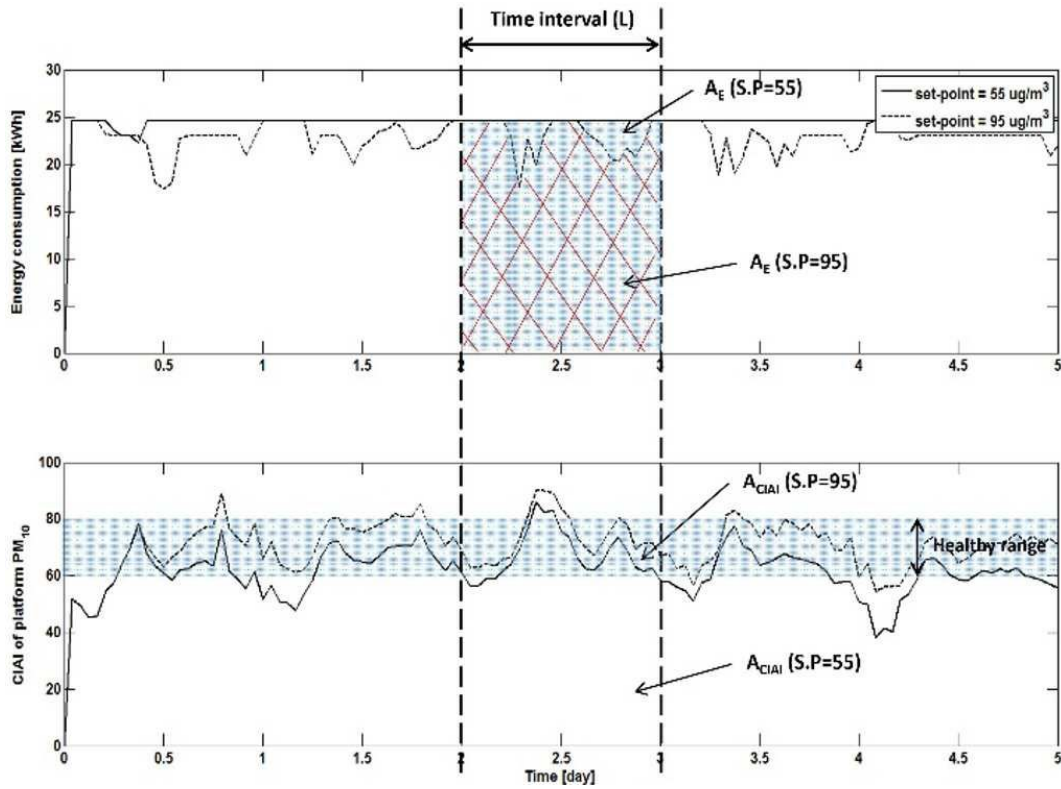
도면1



도면2



도면3



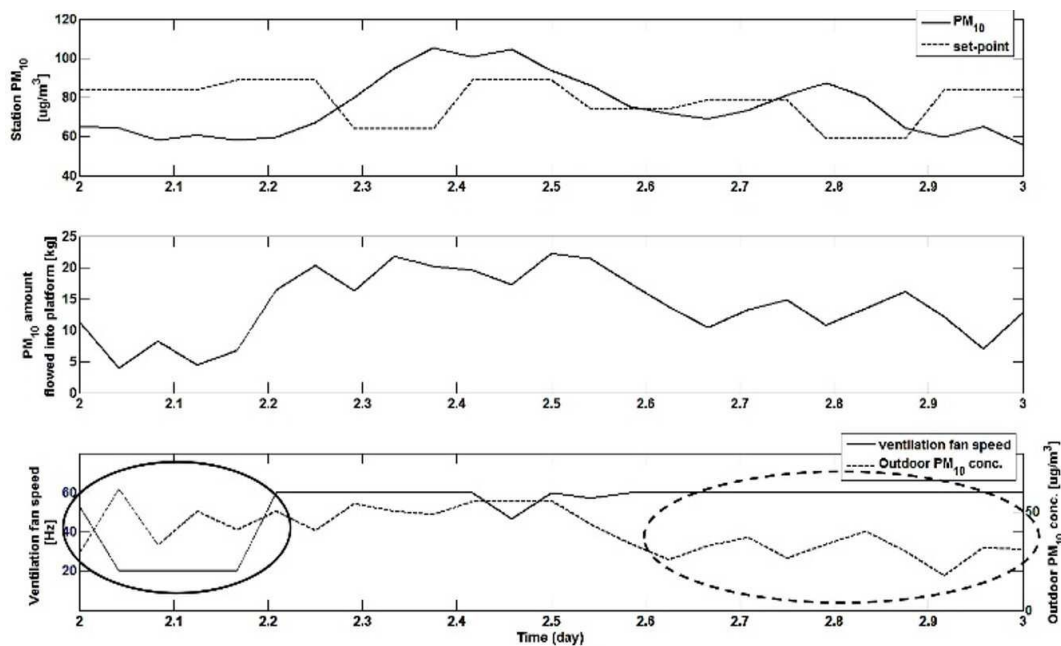
도면4

[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Time																							
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24
3-hour interval (i.e., 8-stage)	78			68			73			78			78			73			64			56		
2-hour interval (i.e., 12-stage)	74		69		54		54		64		79		74		69		64		69		54		74	
1-hour interval (i.e., 24-stage)	76	72	67	68	68	59	58	68	58	75	70	78	78	65	64	64	66	66	56	46	51	64	78	70

도면5

Configurations		Average station PM_{10} conc. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CIAI level of station PM_{10}	Ventilation energy consumption (kWh)
CASE 1	Manual	74.40	moderate	571
CASE 2	Fixed set-point (S.P = $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$)	72.18	moderate	561
CASE 3	8-stage IDP-based set-point	75.27	moderate	550
	12-stage IDP-based set-point	74.22	moderate	544
	24-stage IDP-based set-point	74.94	moderate	549

도면6



도면7

[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Time																							
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24
3-hour interval (i.e., 8-stage)	100			84			59			94			100			89			74			100		
2-hour interval (i.e., 12-stage)	81		98		93		59		74		89		95		95		85		69		82		104	
1-hour interval (i.e., 24-stage)	79	89	94	99	94	94	89	64	69	99	74	89	94	79	89	94	89	99	69	69	79	94	94	94

도면8

Configurations		Average station PM_{10} conc. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CIAI level of station PM_{10}	Ventilation energy consumption (kWh)
CASE 1	Manual	100.2	Unhealthy for sensitive group	571
CASE 2	Fixed set-point (S.P = $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$)	78.84	moderate	565
CASE 3	8-stage IDP-based set-point	81.04	moderate	545
	12-stage IDP-based set-point	80.86	moderate	536
	24-stage IDP-based set-point	81.82	moderate	539

도면9

