



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2011-0098102  
(43) 공개일자 2011년09월01일

(51) Int. Cl.

G06Q 50/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2010-0017545

(22) 출원일자 2010년02월26일

심사청구일자 2010년02월26일

(71) 출원인

경희대학교 산학협력단

경기도 용인시 기흥구 서천동 1 경희대학교 국제 캠퍼스내

(72) 발명자

유창규

경기도 용인시 기흥구 서천동 경희대학교국제캠퍼스 공과대학 471-3호

김용수

경기도 용인시 기흥구 서천동 경희대학교국제캠퍼스 공과대학 275호

(74) 대리인

특허법인다나

전체 청구항 수 : 총 10 항

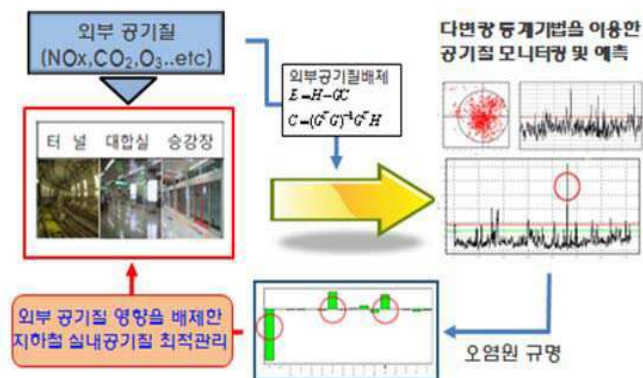
(54) 지하 실내 공기질 모니터링 방법 및 지하 실내 공기질 제어 시스템

### (57) 요약

본 발명은 지하 실내 공기질 모니터링 방법 및 지하 실내 공기질을 제어하기 위한 시스템에 관한 것이다.

본 발명의 지하 실내 공기질 제어 시스템으로서, 실내 변수를 측정하는 실내센서와, 실외 변수를 측정하는 실외 센서를 포함하는 복수의 센서와, 상기 복수의 센서에 의한 변수들을 입력변수로 하는 실내 공기질 함수 모듈과, 실외 센서에 의한 측정값을 입력변수로 포함하는 실외 오염도 함수를 포함하며, 실내 공기질 함수값이 제1 공기 질 기준범위에 따라 운전 모드신호를 출력하는 제어부와, 상기 운전모드신호에 따라 실외 공기를 정화하여 실내로 유입시키는 환기모드 또는 실내 공기를 흡입하여 정화한 후 실내로 순환시키는 순환모드로 동작되는 순환모드로 동작되는 공기조화부를 포함하는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도3



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 CS070160

부처명 서울시정개발연구원

연구관리전문기관

연구사업명 2007년 기술기반구축(핵심) 특정과제사업

연구과제명 지하 역사 및 터널의 인공지능형 공기질 제어 및 관리시스템 개발

기여율

주관기관 경희대학교 산학협력단

연구기간 2007년 12월 01일 ~ 2012년 11월 30일

---

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

지하 실내 공기질 모니터링 방법으로서,

공기질에 대한 공정변수의 측정값을 수집하는 측정 데이터 수집 단계와,

상기 수집된 측정 데이터 중 실외 공기질 영향을 배제하기 위해 데이터를 선별하고, 선별된 데이터로 주성분 분석법에 의해 주요변수를 설정하는 단계와,

상기 설정된 주요변수에 따른 통계적 상한치가 설정된 공기질 모델을 결정하는 모델링 단계와,

상기 측정 데이터와 공기질 모델의 상한치를 비교하여 공기질을 판단하는 공기질 판단단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 지하 실내 공기질 모니터링 방법.

### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 공기질을 판단 후, 설정된 주요변수 중 기여도가 큰 원인변수를 선정하는 기여도 분석단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 지하 실내 공기질 모니터링 방법.

### 청구항 3

제1항에 있어서,

상기 판단된 공기질에 따른 등급으로 분류하여 표시하는 디스플레이 단계를 더 포함하고,

상기 디스플레이 단계는 페이스 차트 모니터링 기술을 이용하여 공기질을 인간의 얼굴 상태에 매칭하여 표시하는 것을 특징으로 하는 지하 실내 공기질 모니터링 방법.

### 청구항 4

지하 실내 공기제어 시스템으로서,

실내 변수를 측정하는 실내센서와, 실외 변수를 측정하는 실외센서를 포함하는 복수의 센서와,

상기 복수의 센서에 의한 변수들을 입력변수로 하는 실내 공기질 함수 계산모듈과, 실외 센서에 의한 측정값을 입력변수로 포함하는 실외 오염도 함수 계산모듈을 포함하며, 실내 공기질 함수값이 제1 공기질 기준범위에 따라 운전 모드신호를 출력하는 제어부와,

상기 운전모드신호에 따라 실외 공기를 정화하여 실내로 유입시키는 환기모드 또는 실내 공기를 흡입하여 정화한 후 실내로 순환시키는 순환모드로 동작되는 순환모드로 동작되는 공기조화부를 포함하는 것을 특징으로 하는 지하 실내 공기제어 시스템.

### 청구항 5

제4항에 있어서,

상기 제어부는,

상기 계산된 실내 공기질 함수값이 제1 공기질 범위를 벗어날 경우,

실외 오염도 함수값이 제1 오염도 기준범위를 벗어났으면, 상기 공기 조화부에 순환모드로 동작하도록 신호를 출력하는 것을 특징으로 하는 지하 실내 공기제어 시스템.

### 청구항 6

제4항에 있어서,

상기 제어부는,

상기 계산된 실내 공기질 함수 값이 제1 공기질 범위를 벗어날 경우,

실외 오염도 함수값이 제1 오염도 기준범위 내에 존재하면, 상기 공기조화부에 환기모드로 동작하도록 신호를 출력하는 것을 특징으로 하는 지하 실내 공기제어 시스템.

#### 청구항 7

제4항에 있어서,

경보 알람부를 더 포함하고,

상기 제어부는,

상기 계산된 실내 공기질 함수값이 제2 공기질 기준범위를 벗어날 경우,

상기 실외 공기의 오염도 함수값이 제2 오염도 기준 이내일 경우, 상기 경고 알람부에 실내출입 제한을 알리도록 하는 신호를 출력하는 것을 특징으로 하는 지하 실내 공기제어 시스템.

#### 청구항 8

제4항에 있어서,

상기 복수의 센서는

온도센서, 습도센서, 풍속센서, 실내  $PM_{10}$ , 실내  $PM_{2.5}$ 을 측정하는 먼지센서, 실외  $PM_{10}$  을 측정하는 먼지센서와, 유동인구수를 카운트 하기 위한 감지센서를 포함하는 것을 특징으로 하는 지하 실내 공기제어 시스템.

#### 청구항 9

제8항에 있어서,

상기 실내 센서는 온도센서, 습도센서, 풍속센서, 실내  $PM_{10}$ , 실내  $PM_{2.5}$ 을 측정하는 먼지센서, 유동인구수를 카운트 하기 위한 감지센서를 포함하고,

상기 실외 센서는 실외  $PM_{10}$  을 측정하는 먼지센서를 포함하는 것을 특징으로 하는 지하 실내 공기제어 시스템.

#### 청구항 10

제9항에 있어서,

상기 실내 변수는 온도값, 습도값, 풍속값, 실내  $PM_{10}$ 값, 실내  $PM_{2.5}$ 값, 실내  $PM_{10}$ 과 실내  $PM_{2.5}$ 의 비율값을 포함하고,

상기 실외 변수는 실외  $PM_{10}$  값, 실외  $PM_{10}$ 과 실내  $PM_{10}$ 의 비율값을 포함하는 것을 특징으로 하는 지하 실내 공기 제어 시스템.

### 명세서

#### 기술분야

[0001] 본 발명은 지하 실내 공기질 모니터링 방법 및 지하 실내 공기질을 제어하기 위한 시스템에 관한 것이다.

#### 배경기술

[0002] 대기오염이 심각해지는 오늘날 공기질을 모니터링하고 이를 진단하는 시스템 및 방법은 현대 사회에서 매우 중요한 기술로 부각되고 있다.

[0003] 특히, 지하터미널, 지하쇼핑센터 또는 지하철 역사 등과 같은 특수한 공간의 경우, 한정된 공간 내에 많은 사람들이 운집되어 있고 다른 공간에 비하여 발생된 오염물질이 공간 내부에 그대로 정체되어 있을 가능성이 높기 때문에 이용자의 건강 및 편의를 위하여 공기질을 실시간으로 감시하여 보다 정확하고 간편하게 공기질을 진단

할 수 있는 기술의 개발이 요구되고 있는 실정이다.

- [0004] 그러나 오염물질의 양과 농도 변화를 측정하고 이를 종합하여 실시간 오염도를 파악하는 것은 복잡하고 어려운 과정에 속하며, 다양한 상관관계를 가지고 있는 공정변수들로 이루어진 공기질을 정확하고 간편하게 진단하는 것은 쉽지 않다는 문제점이 있었다.
- [0005] 즉, 종래에는 지하 역사 등과 같은 지하공간의 공기질을 진단하기 위한 방법으로서, 각각의 공정변수마다 유의 구간을 설정하고, 실시간으로 측정되는 변수가 유의 구간을 벗어나는지 여부에 따라 공정 이상유무를 판단하는 단변수 모니터링 기법을 이용한 시스템을 주로 사용하였다.
- [0006] 그러나 이와 같은 종래의 단변수 공기질 모니터링 시스템은 모든 가능한 공정변수의 값을 모두 수집하기 때문에 불필요한 정보까지 수집함으로써 효율성이 떨어질 수 있다는 문제점이 있었으며, 나아가 각 공정변수 간에 긴밀한 상관관계를 가지고 있는 경우에 이를 전혀 고려하지 못한다는 한계점을 가지고 있었다.
- [0007] 도 1은 2개의 변수를 각각 모니터링하는 단변량 모니터링 시스템에 따라 얻어진 결과와 두 변수의 상관관계를 고려한 다변량 모니터링 시스템에 따라 얻어진 결과를 나타내는 그래프이다. 도 1에 나타난 바와 같이, 두 변수( $y_1$ ,  $y_2$ )는 각각 그림의 수평축( $y_1$ )과 수직축( $y_2$ )에 표시되어 있고, 모니터링의 상한/하한 설정치가 표시되어 있다.
- [0008] 즉, 단변량 모니터링 방법은 상한/하한을 가진 직사각형의 모니터링 지역을 가지고 있고, 실제로는 두 개의 변수가 연관이 되어서 도 1에 나타난 바와 같은 타원형의 모니터링 지역을 가진다.
- [0009] 그러나 이와 같은 단변량 통계 분석을 이용하는 경우, 점 ㊸에 해당하는 공기질은 실제 시스템에서는 정상범위인 타원형의 모니터링 지역 밖에 존재하므로 비정상을 나타내지만, 단변량 차트의 경우, 정상범위인 상한/하한치 내에 존재하므로 정상이라고 판명된다. 또한, 점 ㊹에 해당하는 공기질의 경우, 실제 시스템에서는 정상을 나타내지만, 단변량 차트의 경우, 이상상태로 판명되어 잘못된 결과를 보이게 된다. 이와 같이 어떤 단변량 차트도 효과적으로 비정상 공기질(㊸)을 탐지하지 못하고, 실제 공정에서는 정상이지만, 단변량 모니터링 차트에서는 변수들 사이의 관계를 고려하지 못하는바, 비정상으로 탐지된다는 문제가 있었다.
- [0010] 따라서 종래 단변량 통계분석을 이용한 공기질 모니터링 시스템은 지하공간에서 측정되는 공정변수 모두를 고려하여야 하기 때문에 감시에 따른 번거로움이 커질 수 있는 동시에 공정변수 간의 상관관계를 고려하지 못한다는 한계성을 가지고 있었다.
- [0011] 또한, 지하 역사의 실내 공기는 실외 공기질에 의해 오염정도등의 영향이 지배적이므로, 실내 공간만의 대기 오염물질을 모니터링하여 그로 인한 정확한 공기조화 방안을 도출해야 하는바, 이를 보완할 수 있는 신뢰성 높은 공기질 모니터링 시스템 및 방법 그리고 공기제어 시스템의 개발이 요구되고 있다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

- [0012] 본 발명은 상술한 기술개발의 필요성을 충족시키기 위하여 창출된 것으로서, 공정변수의 상관관계를 고려한 일반적인 다변량 분석방법을 이용하여 실외 공기질의 영향을 배제한 상태로 보다 용이하게 실내 공기질을 모니터링할 수 있는 공기질 모니터링 시스템 및 그 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0013] 또한, 상기와 같은 방법 및 시스템에 의해 모니터링 된 실내 공간의 공기조화를 제어하기 위한 시스템을 제공하는데 다른 목적이 있다.

### 과제의 해결 수단

- [0014] 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 지하 실내 공기질 모니터링 방법으로서, 공기질에 대한 공정변수의 측정값을 수집하는 측정 데이터 수집 단계와, 상기 수집된 측정 데이터 중 실외 공기질 영향을 배제하기 위해 데이터를 선별하고, 선별된 데이터로 주성분 분석법에 의해 주요변수를 설정하는 단계와, 상기 설정된 주요변수에 따른 통계적 상한치가 설정된 공기질 모델을 결정하는 모델링 단계와, 상기 측정 데이터와 공기질 모델의 상한치를 비교하여 공기질을 판단하는 공기질 판단단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0015] 또한, 본 발명의 지하 실내 공기질 모니터링 방법에 있어서, 상기 공기질을 판단 후, 설정된 주요변수 중 기여도가 큰 원인변수를 선정하는 기여도 분석단계를 더 포함하는 것을 특징으로 한다.

- [0016] 또한, 본 발명의 지하 실내 공기질 모니터링 방법에 있어서, 상기 판단된 공기질에 따른 등급으로 분류하여 표시하는 디스플레이 단계를 더 포함하고, 상기 디스플레이 단계는 페이스 차트 모니터링 기술을 이용하여 공기질을 인간의 얼굴 상태에 매칭하여 표시하는 것을 특징으로 한다.
- [0017] 한편, 본 발명의 지하 실내 공기질 제어 시스템으로서, 실내 변수를 측정하는 실내센서와, 실외 변수를 측정하는 실외센서를 포함하는 복수의 센서와, 상기 복수의 센서에 의한 변수들을 입력변수로 하는 실내 공기질 함수 모듈과, 실외 센서에 의한 측정값을 입력변수로 포함하는 실외 오염도 함수를 포함하며, 실내 공기질 함수값이 제1 공기질 기준범위에 따라 운전 모드신호를 출력하는 제어부와, 상기 운전모드신호에 따라 실외 공기를 정화하여 실내로 유입시키는 환기모드 또는 실내 공기를 흡입하여 정화한 후 실내로 순환시키는 순환모드로 동작되는 순환모드로 동작되는 공기조화부를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0018] 또한, 본 발명의 지하 실내 공기질 제어 시스템에서, 상기 제어부는, 상기 계산된 실내 공기질 함수값이 제1 공기질 범위를 벗어날 경우, 실외 오염도 함수값이 오염도 기준범위를 벗어났으면, 상기 공기 조화부에 순환모드로 동작하도록 신호를 출력하는 것을 특징으로 한다.
- [0019] 또한, 본 발명의 지하 실내 공기질 제어 시스템에서, 상기 제어부는, 상기 계산된 실내 공기질 함수 값이 제1 공기질 범위를 벗어날 경우, 실외 오염도 함수값이 오염도 기준범위 내에 존재하면, 상기 공기조화부에 환기모드로 동작하도록 신호를 출력하는 것을 특징으로 한다.
- [0020] 또한, 본 발명의 지하 실내 공기질 제어 시스템에서, 경보 알람부를 더 포함하고, 상기 제어부는, 상기 계산된 실내 공기질 함수값이 제2 공기질 기준범위를 벗어날 경우, 상기 실외 공기의 오염도 함수값이 제2 오염도 기준 이내일 경우, 상기 경고 알람부에 실내출입 제한을 알리도록 하는 신호를 출력하는 것을 특징으로 한다.
- [0021] 또한, 본 발명의 지하 실내 공기질 제어 시스템에서, 상기 복수의 센서는 온도센서, 습도센서, 풍속센서, 실내 PM<sub>10</sub>, 실내 PM<sub>2.5</sub>을 측정하는 먼지센서, 실외 PM<sub>10</sub> 을 측정하는 먼지센서와, 유동인구수를 카운트 하기 위한 감지 센서를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0022] 또한, 본 발명의 지하 실내 공기질 제어 시스템에서, 상기 실내 센서는 온도센서, 습도센서, 풍속센서, 실내 PM<sub>10</sub>, 실내 PM<sub>2.5</sub>을 측정하는 먼지센서, 유동인구수를 카운트 하기 위한 감지센서를 포함하고, 상기 실외 센서는 실외 PM<sub>10</sub> 을 측정하는 먼지센서를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0023] 또한, 본 발명의 지하 실내 공기질 제어 시스템에서, 상기 실내 변수는 온도값, 습도값, 풍속값, 실내 PM<sub>10</sub>값, 실내 PM<sub>2.5</sub>값, 실내 PM<sub>10</sub>과 실내 PM<sub>2.5</sub>의 비율값을 포함하고, 상기 실외 변수는 실외 PM<sub>10</sub> 값, 실외 PM<sub>10</sub>과 실내 PM<sub>10</sub>의 비율값을 포함하는 것을 특징으로 한다.

### 발명의 효과

- [0024] 상기와 같은 본 발명은 실내 공기질에 영향을 많이 끼치는 외부 공기질의 영향을 배제하기 때문에 실내 공간의 공기질에 대하여 정확한 모니터링과, 공기질 변동에 따른 원인을 발생시킬 수 있는 변수를 정확하게 찾아낼 수 있는 장점이 있다.
- [0025] 특히, 다변량 통계 분석방법(주성분 분석법)을 통해 실내 공기질을 모니터링 하므로 복잡한 차원의 공기질 변동 변수를 간편하게 체크할 수 있는 효과가 있다.
- [0026] 따라서, 지하철 역사, 지하 쇼핑센터, 지하 터미널 등과 같은 공간의 공기질의 상태판단에 폭넓게 적용될 수 있는 잇점이 있다.

### 도면의 간단한 설명

- [0027] 도 1은 2개의 변수를 각각 모니터링하는 단변량 모니터링 시스템에 따라 얻어진 결과와 두 변수의 상관관계를 고려한 다변량 모니터링 시스템에 따라 얻어진 결과를 나타내는 그래프
- 도 2 주성분 분석을 기하학적으로 해석한 그래프
- 도 3은 본 발명의 일 예에 따른 공기질 모니터링 시스템에서 다변량 통계 모델을 이용한 지하역사 공기질의 통합 모니터링 기술을 나타낸 도면
- 도 4a 및 도 4b는 지하역사의 승객 수와 공기질의 상관관계를 나타낸 것으로서, 도 4a는 지하역사의 시간에 따

른 승객 수를 나타낸 그래프이고, 도 4b는 지하철역사의 시간에 따른 PM<sub>10</sub>의 농도를 나타낸 그래프

도 5는 X 역 지하 역사의 다변량 공기질 모니터링을 이용한 공기질 분석 결과

도 6은 지하철역사의 실내 공기질의 일반적인 다변량 통계 모니터링 분석 결과를 보이는 그래프

도 7은 본 발명의 실시예에 따른 외부 공기질의 영향을 배제한 다변량 통계 모니터링 분석 결과를 보이는 그래프

도 8은 인공지능형 클러스터링 기술을 이용한 지하 역사의 공기질 위해성 진단방법을 설명하기 위한 도면

도 9는 본 발명의 실시예에 따른 지하 실내 공기질을 제어하기 위한 시스템을 설명하기 위한 블록도

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0028] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시 예를 가질 수 있는 바, 특정 실시 예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0029] 제1, 제2 등과 같이 서수를 포함하는 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되지는 않는다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.
- [0030] 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제2 구성요소는 제1 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제1 구성요소도 제2 구성요소로 명명될 수 있다.
- [0031] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다.
- [0032] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함한다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0033] 이제 본 발명의 실시 예에 따른 지하실내 공기질 모니터링 방법 및 지하실내 공기질 제어시스템에 대하여 도면을 참고하여 상세하게 설명하고, 도면 부호에 관계없이 동일하거나 대응하는 구성 요소는 동일한 참조 번호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기도 한다.
- [0034] 본 실시예에 따른 지하실내 공기질 모니터링 방법은 공정변수의 측정값을 수집하는 데이터 수집에서 시작한다.
- [0035] 여기서, 상기 공정변수란 공기질에 영향을 미칠 수 있는 모든 변수를 포괄하는 의미로서, 공기질에 직접 또는 간접적으로 영향을 미칠 수 있는 모든 변수를 포함할 수 있으며, 본 발명에 따른 공정변수가 상기 예시된 것에 제한되는 것은 아니다.
- [0036] 상기와 같은 공정변수는 공기질을 모니터링 하고자 하는 특정한 공간에 설치된 별도의 센서 등에 의하여 측정될 수도 있으며, 사용자가 직접 측정하여 입력할 수도 있으며, 공기질에 영향을 미칠 수 있는 다양한 공정변수의 값을 측정할 수 있는 모든 측정 및 감지 수단이 이에 포함될 수 있다.
- [0037] 또한, 상기 공정변수의 수는 특별히 제한되는 것은 아니며, 공기질을 진단하기 위하여 가능한 모든 공정변수를 고려할 수 있다.
- [0038] 즉, 공기질에 영향을 미칠 수 있는 모든 공정변수의 측정값을 데이터로 수집하여 공기질 진단에 이용할 수 있다. 상기 공정변수의 측정값은 실시간으로 수집될 수 있으며, 다수의 구역에서 측정한 값의 평균값을 이용하거나 공기질을 판단하기에 적합한 일부 특정구역에서만 측정한 값을 이용하는 것도 가능하다.
- [0039] 또한, 공정변수의 측정값을 수집함에 있어서, 센서 등에 의하여 감지된 측정값을 데이터신호로 전송 받아 저장할 수 있으며, 이에 한정되는 것은 아니고, 이용자에 의해 직접 입력 받거나 다른 다양한 데이터 수집방법을 통

하여 공정변수의 측정값을 데이터로 수집할 수 있다.

- [0040] 한편, 다변량 분석방법이란, 변수들 간의 인과관계를 규명 또는 분석하거나 변수들 간의 상관 관계를 이용하여 변수를 축약하거나 개체들을 분류하는데 관련된 분석방법을 의미한다.
- [0041] 본 발명에 따른 공기질 모니터링 시스템의 주요변수 설정부는 이와 같은 다변량 분석방법에 따라 인과관계를 갖거나 상관 관계를 가지는 다양한 변수들을 주요변수로 새롭게 설정함으로써 각 공정변수의 상관관계 등을 고려하여 보다 효율적인 방법으로 공기질을 모니터링하고, 진단할 수 있다.
- [0042] 상기 다변량 분석방법에는, 변수들 간의 인과관계를 규명하거나 분석하는 다중 회귀 분석방법 또는 다변량 분산 분석방법 등과, 변수들 간의 상관 관계를 이용하는 주성분 분석방법 또는 요인 분석방법 등이 있다.
- [0043] 본 발명에서는 다양한 공정변수들 간의 상관관계가 긴밀하고 큰 공기질을 모니터링하기 위한 것이므로 상기 다변량 분석방법 중에서도, 공기질에 영향을 미칠 수 있는 다양한 공정변수들을 축약하여 보다 낮은 차원으로 간편하고 정확하게 모니터링할 수 있는 변수 축약방법을 이용하는 것이 바람직하며, 변수 축약 방법 중 고차원의 다양한 변수들을 축약시켜 저차원의 새로운 변수에 따라 분석하는 주성분 분석을 이용하는 것이 보다 바람직하다.
- [0044] 다만, 본 발명에 따른 공기질 모니터링 시스템이 상기 예시된 다변량 분석방법을 사용한 경우에 한정되는 것은 아니고, 본 발명의 목적에 따라 공기질에 영향을 미칠 수 있는 다양한 공정변수들의 상관관계 또는 인과관계를 고려하여 보다 간편하고 정확하게 공기질을 모니터링할 수 있도록 새로운 주요 변수를 제공하는 모든 다변량 분석방법들이 이에 포함될 수 있다.
- [0045] 상기 주성분 분석(principal component analysis; PCA)방법은 기존의 데이터 압축과 정보추출을 목적으로 계량 분석화학(chemometrics) 분야에서 개발된 것으로 고차원의 데이터로부터 공분산을 최대화하는 방향으로 변수들의 조합으로 이루어진 주요 직교성분을 구하는 방법이다.
- [0046] 즉, 다변량 자료에 존재하는 비정규성(abnormality)이나 이상치(outliers: 측정된 변수들 면에서 다른 개체들과 상이한 개체)를 발견하기 위하여 변수들의 상관 관계를 고려하여 상관관계가 존재하지 않는 새로운 변수에 해당하는 주성분을 구하여 고차원의 데이터를 보다 낮은 차원의 데이터 줄여 통계분석을 보다 용이하게 해주는 분석 방법이다.
- [0047] 도 2는 주성분 분석을 기하학적으로 해석한 그래프로서, 주성분 분석을 이용하는 경우, 3차원 상의 공정변수 데이터를 주성분 분석에 의하여 직교하는 2차원의 주성분으로 변환하므로 데이터의 정보 손실은 최소화하면서 2차원 상에서 용이하게 정보처리와 해석을 할 수 있다는 것을 알 수 있다.
- [0048] 나아가, 원 변수의 차원을 줄이기 때문에 모든 공정변수의 데이터를 일일이 모니터링하지 않아도 새로운 주성분에 따라 모니터링함으로써 보다 신속하고 간편하게 공기질을 진단할 수 있으므로 다수의 공정변수들이 서로 높은 상관 관계를 가지고 있는 공기질을 모니터링하는데 있어서 보다 효과적으로 사용될 수 있다.
- [0049] 즉, 상관관계가 강한 공정변수 데이터의 특성을 이용하여 공정변수의 정보 손실을 최소화하면서 공정변수의 차원을 줄이는 축소모델 공간을 찾고, 이 공간으로 데이터를 투영시킴으로써 차원이 줄어든 주성분을 가지고 보다 효율적으로 공기질을 모니터링할 수 있다.
- [0050] 따라서 주성분 분석방법을 이용하는 경우, 주요변수는 공분산이 최대가 되는 공정변수들의 조합으로 이루어진 주성분이 된다.
- [0051] 여기서,  $m$ 개의 센서를 통해 측정된  $n$ 개의 공정변수 샘플로 이루어진 데이터 행렬  $X \in \mathbb{R}^{n \times m}$ 은 주성분 분석에 의하여 모델 추정치와 잔차로 분해될 수 있으며, 이는 하기 수학적식 1과 같이 나타낼 수 있다.
- [0052] [수학적식 1]
- $$X = TP^T + E$$
- [0053]
- [0054] 여기서,  $T \in \mathbb{R}^{n \times p}$ 는 스코어(score)행렬,  $P \in \mathbb{R}^{m \times p}$ 는 로딩(loading)행렬,  $E \in \mathbb{R}^{n \times m}$ 는 잔차(residual)행렬을 나타내며,  $p$ 는 축소모델 공간의 차원을 나타낸다.
- [0055] 따라서 주성분 분석을 통하여 본래의 공정변수의 차원을 보다 간단한 차원으로 축소시킬 수 있는데, 여기서, 상

기 주요변수에 따른 통계적 상한치가 설정된 공기질 모델을 수립한다.

[0056] 상기 공기질 모델이란, 공기질을 모니터링하고 진단하기 위하여 공기질을 판단하기 위한 기준이 되는 통계적 상한치가 설정된 모델을 의미하는 것으로서, 전역 모델 및 국지적 모델을 포함하는 것이 바람직하다.

[0057] 전역 모델은 주요변수를 통하여 수립된 포괄적인 공기질 모델로서, 공기질에 따라 분류되거나 시간에 따라 별도로 분류되지 않고, 일정 기간 내에 측정된 공기질을 진단한 모델이다. 반면에 상기 전역 모델에서 변화된 자료는 일정한 수의 군집으로 나누어 질 수 있는데, 예를 들면, 일정 지역에 따라 공기질을 다르게 판단하는 국지적 모델로 분류될 수 있다.

[0058] 각각의 국지적 모델은 해당 영역의 공기질 상태를 모니터링하는데 사용되며, 국지적 모델에 따라 진단된 공기질 상태를 전역 모델에서 얻어진 대기 오염상태와 비교하여 가장 근접한 상태를 나타내는 국지적 모델을 선정하여 사용할 수 있다.

[0059] 수립된 공기질 모델의 통계적 상한치는 하기의 수학적 식 2와 같이 공기질 정상상태에서 나타날 수 있는  $100(1-\alpha)\%$ 의 신뢰도를 갖는 통계적 상한치(Upper limit)와 수학적 식 3과 같이 Q 에 대한  $100(1-\alpha)\%$ 의 신뢰도를 갖는 통계적 상한치를 설정하게 된다.

[0060] [수학적 식 2]

$$T_{\lim}^2 = \frac{p(n-1)}{n-p} F(p, n-1; \alpha)$$

[0061]

[0062] [수학적 식 3]

$$Q_{\lim} = \theta_1 \left[ \frac{c_a \sqrt{2\theta_2 h_o^2}}{\theta_1} + 1 + \frac{\theta_2 h_o (h_o - 1)}{\theta_1^2} \right]$$

[0063]

[0064] 여기서,  $\theta_j = \frac{m}{P+1} Q_{jj}^j, j=1,2,3$  이며,  $Q_{jj}$  는 샘플 공분 행렬의 i 번째 대각원소,

$h_o = 1 - 2\theta_1 \theta_3 \sqrt{3\theta_2^2}, c_a$  는 n이 매우 큰 값을 가질 경우 p 값이  $\alpha$  일 때의 t 값이다.

[0065] 앞서 선정된 측정 변수들로부터 측정된 새로운 측정값 x에 대하여 수학적 식 4의 가중 스코어 제곱합과 수학적 식 5의 잔차 제곱합을 계산하여,

[0066] [수학적 식 4]

$$T^2 = t^T A^{-1} t$$

[0067]

[0068] [수학적 식 5]

$$Q = e^T e$$

[0069]

[0070] 와 같이 나타낸다.

[0071] 수학적 식 2의 공기질 정상상태에서 나타날 수 있는  $100(1-\alpha)\%$ 의 신뢰도를 갖는 통계적 상한치와 수학적 식 3의 Q에 대한  $100(1-\alpha)\%$ 의 신뢰도를 갖는 통계적 상한치와 비교하고, 상한치가 측정값보다 크면  $100(1-\alpha)\%$ 의 신뢰수준에서 현재의 공정이 정상상태라는 것을 확인 할 수 있다.

[0072] 그러나 위의 다변량 통계 모니터링 시스템은 통계 모니터링 모델 개발을 위한 신뢰성 있는 데이터 구축의 중요한 단계가 필요하다. 하지만 앞서 기술한 바와 같이 지하 역사의 실내 공기질은 외부 공기질의 영향을 많이 받기 때문에 이 외부 공기질을 배제하기 위한 기술 개발이 시급하며, 이는 다변량 통계 모니터링 시스템 구축이라

는 기술 개발에 앞서 이루어져야 할 목표라 할 수 있다.

[0073] 외부 공기질의 영향을 배제하기 위하여, Kano 등에 의해 제시된 external information 기법을 적용하였다. 공정 변수는 크게 두 가지로 나눌 수 있는데, 공정에 크게 영향을 미치는 external 변수와 설정된 external 변수에 의해 영향을 받는 main 변수로 나뉘어 진다. 또 main 변수는 external 변수에 의해 영향을 받는 부분과 받지 않는 부분, 이렇게 두 부분으로 나뉘게 된다. 모니터링 관점에 있어서, 앞서 설정된 external 변수는 결점이나 이상 작동이 아니기 때문에 main 변수에 영향을 미치는 즉, main 변수에 있어서 external 변수에 의해 영향을 받는 부분을 제거해 주어야 한다. 보다 상세하게는 m개의 센서를 통해 얻은 k개의 샘플로 이루어진 데이터 행렬  $X \in \mathbb{R}^{n \times m}$  는 외부 공기질 관련 오염변수와 같은  $m_g$ 개의 외부 변수와 외부 공기질에 영향을 받는 실내 공기질 오염 변수인  $m_h(m-m_g)$ 의 메인 변수로 나뉘게 된다. 즉, 오리지널 데이터 X 는 수학식 6과 같이 H 행렬과 G 행렬로 나뉘게 된다.

[0074] [수학식 6]

[0075] 
$$X = [H \ G]$$

[0076] 여기서 H행렬은 메인 변수로 이루어져 있고, G 행렬은 외부 변수에 의한 부분이다. 상기 H행렬은 다시 외부 변수에 의해 영향을 받는 부분과 받지 않는 부분으로 나누는데, 외부 변수에 의해 영향을 받는 부분은 G 부분과 회귀 계수인 C의 곱에 의해 계산된다. 상기 회귀 계수인 C는 하기 수학식 7에 의해 계산되며, 외부 변수에 영향을 받지 않는 부분 E는 수학식 8에 의해 계산된다.

[0077] [수학식 7]

[0078] 
$$C = (G^T G)^{-1} G^T H$$

[0079] [수학식 8]

[0080] 
$$E = H - GC$$

[0081] 즉, 메인 데이터 행렬인 H는 GC와 E 부분으로 나뉘게 되고, 여기서 E 부분은 외부 공기질의 영향을 배제한 실내 공기 오염물질 변수들에 관련된 부분이라 할 수 있다.

[0082] 도 3은 외부 공기질의 영향을 배제한 실내 공기질의 통합 모니터링 기술을 간략하게 도시한 것으로서, 외부 공기질의 영향을 미치는 변수들을 배제한 후, 배제된 부분을 다변량 통계 모니터링 기술을 이용하여 현재의 공기질 상태를 규명한다.

[0083] 한편, 본 발명에 따른 공기질 모니터링 시스템은 공기질의 비정상 상태에 대한 기여도가 큰 원인변수를 선정하는 기여도 분석단계를 추가로 포함하는 것이 바람직하다.

[0084] 즉, 기여도 분석은 공기질을 판단하여 공기질이 비정상적으로 나타나는 경우, 공기질의 비정상상태에 기여하는 정도가 큰 원인변수를 파악함으로써 어떤 변수들에 이상이 생겼는지 용이하게 관찰할 수 있도록 해준다. 예를 들면, 공기질이 비정상상태로 판단된 경우, 각 공정변수의 측정값을 확인하여 기설정된 통계적 상한치를 넘어서는 정도가 큰 공정변수를 공기질 오염에 대한 기여도가 큰 원인변수로 선정할 수 있다. 여기서, 통계적 상한치를 넘어서는 정도를 판단하는 기준은 사용자가 임의로 결정할 수 있으며, 각 공정변수에 따라 적절한 범위로 설정할 수 있다.

[0085] 따라서 상기 기여도 분석에 따라 원인변수를 선정하면, 사용자는 공정상황의 변화 추이를 살펴보면서 정상적인 상태와 비교하여 결론을 도출할 수 있다. 이와 같은 기여도 분석단계를 추가로 포함하는 경우, 공기질의 오염상태에 대한 정확한 결과를 직접적으로 보여주는 것은 아니라도 가능한 원인들에 대한 정보를 제공하기 때문에 공정을 진단하는데 드는 시간과 노력을 크게 줄일 수 있다는 장점이 있다.

[0086] 뿐만 아니라, 본 발명에 따른 공기질 모니터링 방법은 공기질에 따른 등급으로 분류하여 표시하는 디스플레이 단계를 추가로 포함하는 것이 바람직하다. 즉, 다변량 통계 모니터링 기술과 감성모델을 연계하여 지하철 내 쾌적감을 모델링할 수 있다. 감성은 인간 개개인이 가지고 있는 경험의 구조로서 여러 가지 감성 요소가 복합적으로 조합되고, 하나의 이미지와 합치되어 나타나는 고도의 체험감으로 표현되는 것이므로 공기질과 감성을 연관시키는 데이터의 모델링이 가능하며, 상기 디스플레이 단계는 페이스 차트 모니터링(face chart monitoring)기술을 이용하여 공기질을 인간의 얼굴 상태에 매칭시킬 수 있다. 이와 같이 인간의 얼굴 상태를 통하여 현재의

공기질을 표시하는 경우, 현재의 공기질에 대한 지표관리 및 운전조건을 보다 용이하게 파악할 수 있도록 이용자에게 편의를 제공할 수 있다.

[0087] [실시예]

[0088] 이하, 하기 실시예를 참고하여 본 발명에 따른 공기질 모니터링 방법에 대해서 보다 구체적으로 설명하도록 한다.

[0089] 본 발명의 일 실시예에 따른 공기질 모니터링 방법을 이용하여 국내의 X역에서 측정된 대기 오염 데이터를 분석하였다. 상기 대기 오염 데이터는 2007년 10월부터 2008년 4월까지의 약 7개월의 데이터베이스를 형성하고 있으며, 본 실시예에서는 측정변수로서, 7개의 변수(외기 PM<sub>10</sub>, 온도, 습도, 풍속, 승강장 PM<sub>10</sub>, 승강장 PM<sub>2.5</sub>, 승객 수)가 선정되었으며, 본 발명에서는 외부공기질 PM<sub>10</sub>과 승강장 PM<sub>10</sub> ratio 값과 승강장 PM<sub>10</sub>과 승강장 PM<sub>2.5</sub>의 ratio를 포함하여 총 9개의 변수에 대하여 적용하였다.

[0090] 도 4는 지하 역사의 다변량 공기질 모니터링의 필요성을 나타내기 위해 승객 수와 공기질 농도와의 상관 관계를 나타낸 것으로 일주일 동안의 시간에 따른 승객 수 변화와 시간에 따른 PM<sub>10</sub> 농도를 나타낸다. 여기서 보듯이 승객 수와 지하 역사의 공기질(PM<sub>10</sub> 농도)과는 비슷한 경향성을 파악할 수 있고, 이는 매우 큰 상관 관계가 있음을 알 수 있다. 다른 공기질 농도인 PM<sub>2.5</sub>, CO<sub>2</sub>, NOx 등도 비슷한 관계를 나타냈다. 이러한 상관 관계로부터 지하 역사의 효율적인 공기질 모니터링은 기존의 단변량 모니터링이 아닌 다변량 모니터링이 필요하다는 것을 알 수 있다.

[0091] 도 5는 95% 허용오차 범위의 다변량 모델에 의한 학습데이터의 분산도로서, 약 2/3 이상의 측정치가 모델에 의해 설명이 가능하다. 분산도 또한 스크린 도어 설치 전/후의 국지적 모델의 필요성을 나타내며, 95%의 통계적 상한치가 설정되어 있기 때문에 본 분산도를 이용하여 모니터링이 가능하다. 95% 통계적 상한치인 분산도를 보면, 스크린 도어 설치 전/후의 데이터가 양분되어 위치하는 것을 볼 수 있으며, 95% 통계적 한계치 바깥에 위치하는 점들은 오염된 상태를 나타내는 것으로 확인가능하다.

[0092] 도 6은 지하 역사의 실내 공기질에 외부 공기질이 미치는 영향을 알아보기 위해 실시한 일반적인 다변량 통계 모니터링 분석 결과의 하나로, 변수들의 상관 관계를 알 수 있고, 이를 이용하여 관리 방안 모색이 가능하다. (a) 스크린 도어 설치 전의 상관 관계를 살펴보면, 온도와 습도 변수가 상관 관계가 높고, 특히, 외기 PM<sub>10</sub>과 승강장 PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> 변수의 상관 관계가 매우 깊은 것을 알 수 있다. 그러나 (b)의 스크린 도어 설치 후의 상관 관계를 살펴봤을 때, 스크린 도어의 설치 효과에 의해 외부 공기질과의 상관 관계는 보이지 않으며, 승강장 내의 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 변수만 상관 관계가 있는 것으로 나타났다. 하지만 흔히 알려진 것과는 다르게, 실내 공기질에 승객들의 거동에 의한 영향은 없는 것으로 나타났다.

[0093] 그러나, 도 7과 같이 외부 공기질을 배제하였을 경우, 도면상 좌측의 스크린 도어 설치 전의 분석 결과를 살펴보면, 외부 공기질 배제 전의 결과와 마찬가지로, 승강장 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 변수의 상관 관계가 존재하며, 외부 PM<sub>10</sub> 변수가 승강장 PM 농도에 영향을 주는 것으로 나타났다. 그러나 도면상 우측의 스크린 도어 설치 후의 분석 결과를 보면, 일반적인 다변량 분석 결과와는 다르게 승강장 PM<sub>10</sub>과 승강장 PM<sub>2.5</sub> 변수의 상관 관계가 존재하며, 승강장의 PM농도는 또한 승객에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다.

[0094] 따라서, 외부 공기질을 배제하지 않은 경우와 배제한 경우의 결과가 다르게 나타났으며 그 분석 결과는 외부 공기질을 배제하였을 경우, 그 상관관계가 더 정확하게 나타나 지하 역사의 실내 공기질 모니터링의 정확한 관리 방안을 도출할 수 있다. 따라서, 도 8과 같이 상기 모니터링 정보를 이용하여 현재 운전상태에 적합한 제어 법칙을 유도하는데 이용할 수 있을 것으로 사료된다. 이 방법은 공정 모니터링 정보와 인공지능 기술에 기초하여 현재 운전 상태에 가장 적합한 제어 방법을 유도하는 관리 제어기술의 개발로서, 통계 공간상의 상태를 다변량 클러스터링 기법을 이용하여 급격한 공정 이상 및 이상의 종류를 진단할 수 있는 방법론에 적극적으로 활용할 수 있다. 앞서 진술한 본 발명의 효과로 공기질을 관리하는 운전자, 지하철 및 지하 역사, 터널을 이용하는 승객들에게 현재의 지하철 공기질을 실시간으로 정확하게 전달하는 편의를 제공함으로써, 지하철 이용 승객들에게 안전과 신뢰감을 안겨줄 수 있을 것으로 사료된다.

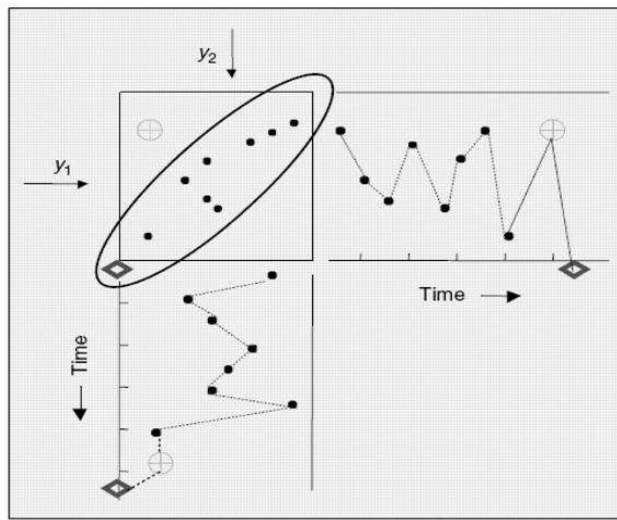
[0095] 한편, 본 발명의 실시예로서 도 9와 같은 지하실내 공기질 제어 시스템이 개시된다.

[0096] 본 실시예에 따른 지하 실내 공기질 제어 시스템은 실내 변수를 측정하는 실내센서인 온도센서(110), 습도센서

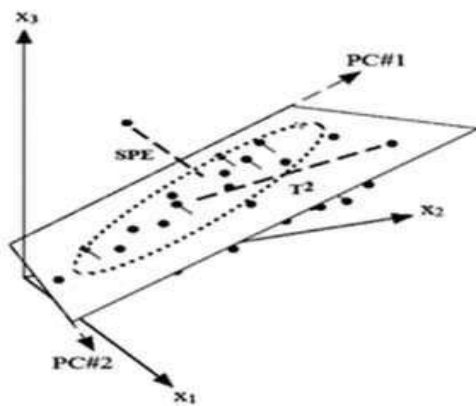


도면

도면1



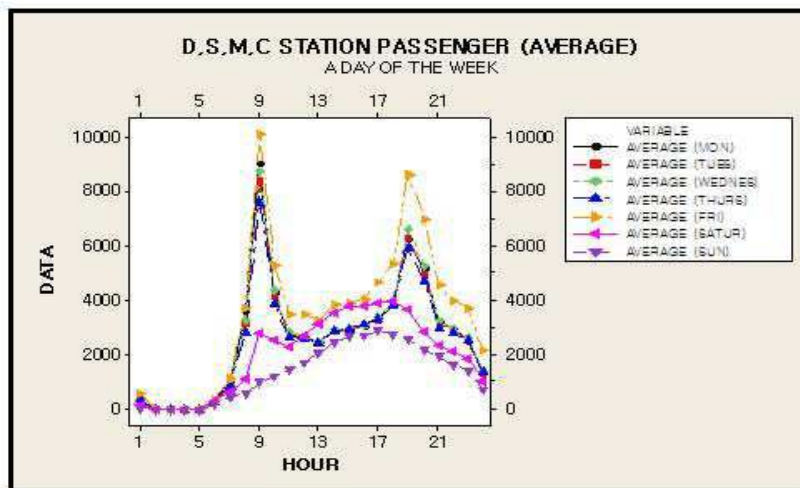
도면2



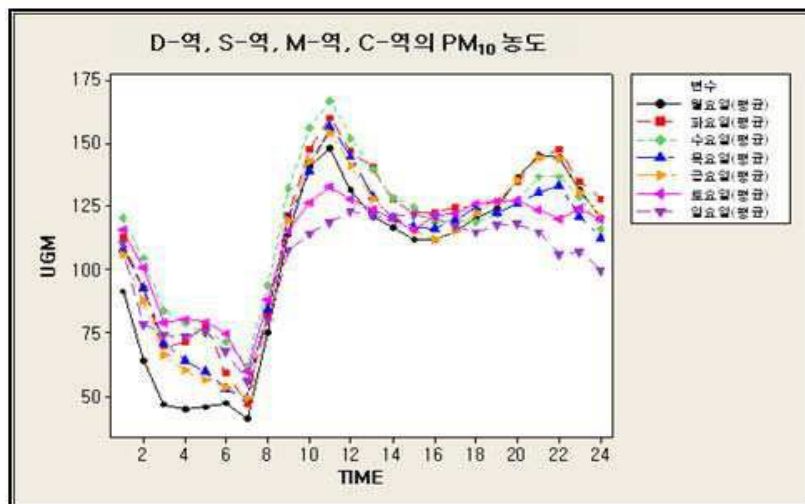
도면3



도면4a

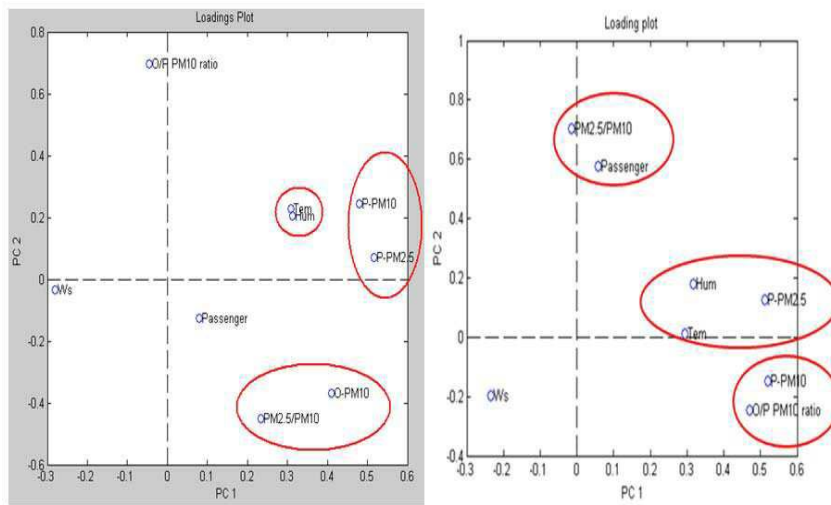


도면4b

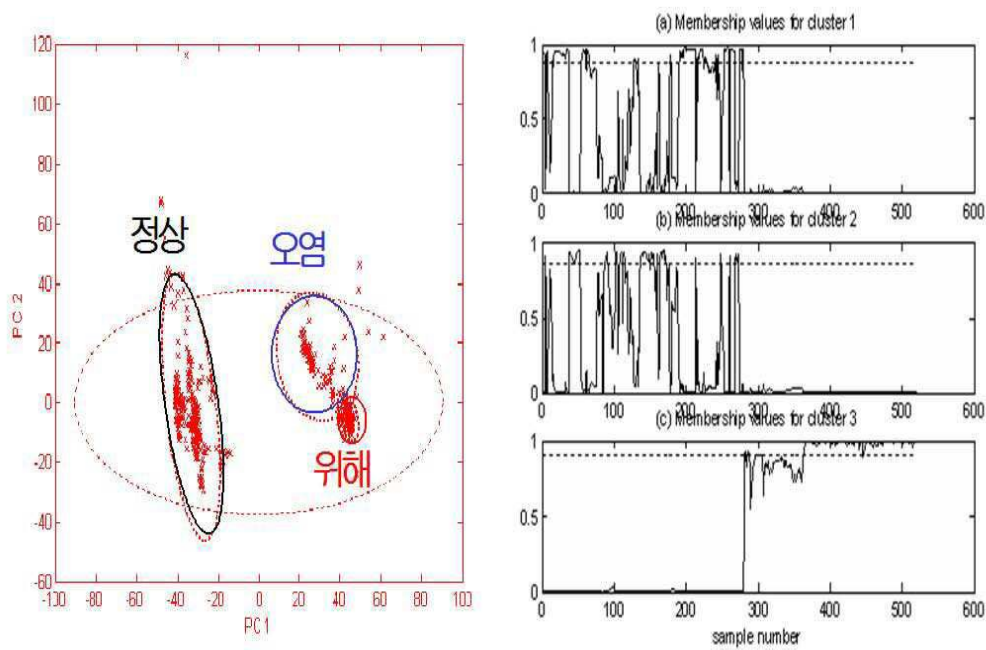




도면7



도면8



도면9

