



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0033466
(43) 공개일자 2024년03월12일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G06Q 50/26 (2024.01) G01N 15/00 (2024.01)
G01W 1/02 (2022.01) G06F 16/909 (2019.01)
G06F 17/18 (2006.01) G06Q 50/10 (2012.01)

(52) CPC특허분류

G06Q 50/26 (2024.01)
G01D 21/02 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2022-0112140

(22) 출원일자 2022년09월05일

심사청구일자 2022년09월05일

(71) 출원인

국립부경대학교 산학협력단

부산광역시 남구 용소로 45, 부경대학교내 (대연동)

(72) 발명자

김재진

부산광역시 남구 용소로 45, 충무관 4313호실(대연동, 부경대학교 대연캠퍼스)

왕장운

부산광역시 남구 용소로 45, 충무관 4313호실(대연동, 부경대학교 대연캠퍼스)

(74) 대리인

남진필, 박종수, 정지향, 차상윤

전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 도시 대기환경 분석 시스템 및 이를 이용한 도시 대기환경 분석 방법

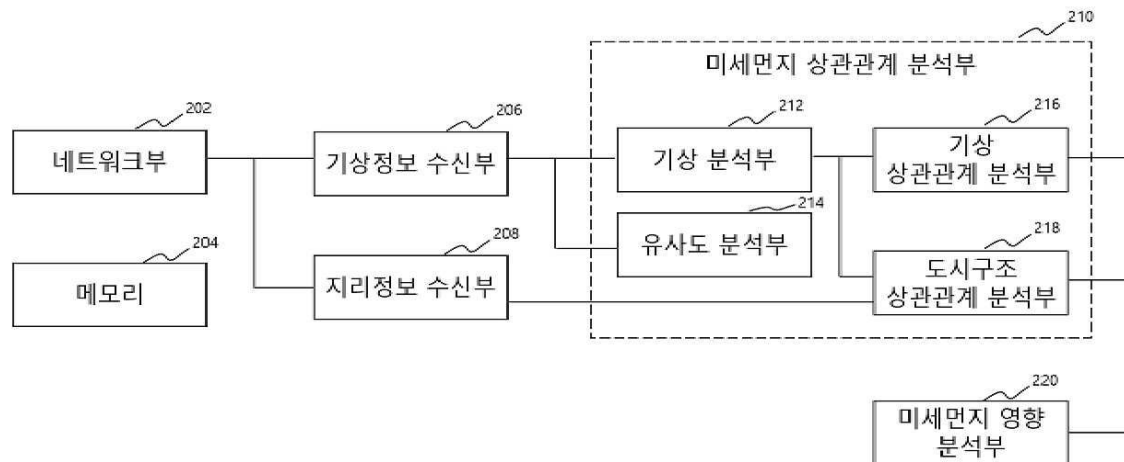
(57) 요약

본 발명은 도시 대기환경 분석 시스템 및 이를 이용한 도시 대기환경 분석 방법에 관한 것으로, 본 발명에 따른 도시 대기환경 분석 시스템은 도시의 적어도 하나 이상의 지역에 대한 건물 정보와 도로 정보를 수신하는 지리정보 수신부, 상기 각 지역에 대한 기상 정보 및 미세먼지 정보를 수신하는 기상정보 수신부, 상기 수신된 기상 정

(뒷면에 계속)

대표도 - 도2

130



보 및 미세먼지 정보를 기초로 상기 각 지역에 대해 기상 인자별 특성 및 미세먼지의 농도 특성을 각각 분석하는 기상 분석부, 상기 기상 분석부에서 수신된 기상 인자별 특성 및 미세먼지의 농도 특성을 기초로 상기 각 지역에 대해 기상 인자와 미세먼지 농도 사이의 상관관계를 각각 분석하는 기상 상관관계 분석부, 상기 수신된 건물 정보와 도로 정보를 기초로 상기 각 지역에 대해 일정 영역에 대한 도시 구조 매개수를 산출하고, 산출된 각 지역의 도시 구조 매개수와 해당 지역의 미세먼지 농도 사이의 상관관계를 분석하는 도시구조 상관관계 분석부 및 상기 기상 상관관계 분석부와 도시구조 상관관계 분석부에서 분석된 분석 정보를 기초로 상기 각 지역에 대해 해당 지역의 미세먼지 농도에 영향을 주는 영향 요인을 산출하는 미세먼지 영향 분석부를 포함한다.

(52) CPC특허분류

G01W 1/02 (2022.01)
G06F 16/909 (2019.01)
G06F 17/18 (2013.01)
G06Q 50/10 (2015.01)
G01N 2015/0096 (2013.01)
G01W 2203/00 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1365003566
과제번호	KMI2021-03511
부처명	기상청
과제관리(전문)기관명	한국기상산업기술원
연구사업명	스마트시티기상기후융합기술개발
연구과제명	스마트시티 기상 서비스를 위한 역학적 기상분석·예측시스템 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	부경대학교 산학협력단
연구기간	2021.05.01 ~ 2024.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

도시의 적어도 하나 이상의 지역에 대한 건물 정보와 도로 정보를 수신하는 지리정보 수신부;

상기 각 지역에 대한 기상 정보 및 미세먼지 정보를 수신하는 기상정보 수신부;

상기 수신된 기상 정보 및 미세먼지 정보를 기초로 상기 각 지역에 대해 기상 인자별 특성 및 미세먼지의 농도 특성을 각각 분석하는 기상 분석부;

상기 기상 분석부에서 수신된 기상 인자별 특성 및 미세먼지의 농도 특성을 기초로 상기 각 지역에 대해 기상 인자와 미세먼지 농도 사이의 상관관계를 각각 분석하는 기상 상관관계 분석부;

상기 수신된 건물 정보와 도로 정보를 기초로 상기 각 지역에 대해 일정 영역에 대한 도시 구조 매개수를 산출하고, 산출된 각 지역의 도시 구조 매개수와 해당 지역의 미세먼지 농도 사이의 상관관계를 분석하는 도시구조 상관관계 분석부; 및

상기 기상 상관관계 분석부와 도시구조 상관관계 분석부에서 분석된 분석 정보를 기초로 상기 각 지역에 대해 해당 지역의 미세먼지 농도에 영향을 주는 영향 요인을 산출하는 미세먼지 영향 분석부를 포함하는 도시 대기환경 분석 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 수신된 미세먼지 정보를 기초로 상기 각 지역의 미세먼지 농도 사이의 시간적 유사도 및 공간적 유사도를 분석하는 유사도 분석부를 더 포함하는 도시 대기환경 분석 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 유사도 분석부는

상기 각 지역의 미세먼지 농도 사이의 피어슨 상관계수(Pearson correlation coefficient, R)를 산출하여, 시간을 기준으로 비교 지역 사이의 미세먼지 농도 변화 경향이 일치하는 지 여부를 분석하는 도시 대기환경 분석 시스템.

청구항 4

제2항에 있어서, 상기 유사도 분석부는

상기 각 지역의 미세먼지 농도 사이의 발산계수(Coefficient Of Divergence, COD)를 산출하여, 비교 지역의 미세먼지 농도가 공간적으로 일치하는 지 여부를 분석하는 도시 대기환경 분석 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 지리정보 수신부는

공간정보시스템(Geographic Information System)으로부터 상기 각 지역에 대한 건물 정보를 수신하고, 환경 공간정보 서비스(Environmental Geographic Information Service)로부터 상기 각 지역에 대한 도로 정보를 수신하는 도시 대기환경 분석 시스템.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나 이상의 지역은 상기 도시에 대기질 측정장치가 설치된 대기질 측정지역에 해당하는 도시 대기환경 분석 시스템.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 기상 인자별 특성은 해당 지역에 대해 일별, 월별 및 연별로 산출된 주풍향, 풍향의 빈도, 풍속 크기의 빈도, 평균 풍속, 풍속 변동 및 평균 기온 가운데 적어도 하나 이상을 포함하고,

상기 미세먼지의 농도 특성은 해당 지역에 대해 일별, 월별 및 연별로 산출된 평균 미세먼지(PM10) 농도 및 평균 초미세 먼지(PM2.5) 농도 가운데 적어도 하나 이상을 포함하는 도시 대기환경 분석 시스템.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 기상 상관계수 분석부는

풍속과 미세먼지(미세먼지 및 초미세먼지) 농도 사이의 상관계수를 산출하고, 기온과 미세먼지(미세먼지 및 초미세먼지) 농도 사이의 상관계수를 산출하는 도시 대기환경 분석 시스템.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 도시 구조 매개수는 도로면적비 및 건물부피비를 포함하되,

상기 도시구조 상관계수 분석부는 해당 지역의 일 지점을 중심으로 수평 $x \text{ km} \times y \text{ km}$ 영역에서 도로가 차지하는 도로면적비를 산출하고, 수평 $x \text{ km} \times y \text{ km}$ 영역과 연직 $z \text{ m}$ 높이의 공간에서 건물이 차지하는 건물부피비를 산출하는 도시 대기환경 분석 시스템.

(여기에서, n 은 자연수(설정 값), z 는 자연수(설정 값))

청구항 10

제9항에 있어서, 상기 도시구조 상관계수 분석부는

각 지역의 도로면적비와 평균 미세먼지(PM10) 농도의 상관계수 및 도로면적비와 평균 초미세 먼지(PM2.5) 농도의 상관계수를 각각 산출하고,

각 지역의 건물부피비와 평균 미세먼지(PM10) 농도의 상관계수 및 건물부피비와 평균 초미세 먼지(PM2.5) 농도의 상관계수를 각각 산출하는 도시 대기환경 분석 시스템.

청구항 11

제1항에 있어서, 상기 미세먼지 영향 분석부는

상기 기상 상관계수 분석부에서 산출된 상관계수를 기초로 양 또는 음의 상관관계를 갖는 기상 인자 및 상기 도시구조 상관계수 분석부에서 산출된 상관계수를 기초로 양 또는 음의 상관관계를 갖는 도시 구조 매개수를 이용

하여 해당 지역의 미세먼지 농도에 영향을 주는 영향 요인을 산출하는 도시 대기환경 분석 시스템.

청구항 12

지리정보 수신부가 도시의 적어도 하나 이상의 지역에 대한 건물 정보와 도로 정보를 수신하는 단계;

기상정보 수신부가 상기 각 지역에 대한 기상 정보 및 미세먼지 정보를 수신하는 단계;

기상 분석부가 상기 수신된 기상 정보 및 미세먼지 정보를 기초로 상기 각 지역에 대해 기상 인자별 특성 및 미세먼지의 농도 특성을 각각 분석하는 단계;

기상 상관관계 분석부가 상기 기상 분석부에서 수신된 기상 인자별 특성 및 미세먼지의 농도 특성을 기초로 상기 각 지역에 대해 기상 인자와 미세먼지 농도 사이의 상관관계를 각각 분석하는 단계;

도시구조 상관관계 분석부가 상기 수신된 건물 정보와 도로 정보를 기초로 상기 각 지역에 대해 일정 영역에 대한 도시 구조 매개수를 산출하고, 산출된 각 지역의 도시 구조 매개수와 해당 지역의 미세먼지 농도 사이의 상관관계를 분석하는 단계; 및

미세먼지 영향 분석부가 상기 기상 상관관계 분석부와 도시구조 상관관계 분석부에서 분석된 분석 정보를 기초로 상기 각 지역에 대해 해당 지역의 미세먼지 농도에 영향을 주는 영향 요인을 산출하는 단계를 포함하는 도시 대기환경 분석 방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

유사도 분석부가 상기 수신된 미세먼지 정보를 기초로 상기 각 지역의 미세먼지 농도 사이의 시간적 유사도 및 공간적 유사도를 분석하는 단계를 더 포함하는 도시 대기환경 분석 방법.

청구항 14

제12항에 있어서,

유사 지역 추정부가 해당 도시 지역 내에서 상기 분석된 지역의 미세먼지 농도에 영향을 주는 영향 요인의 값과 동일 또는 기 설정된 범위의 요인 값을 갖는 지역을 검색하는 단계를 더 포함하는 도시 대기환경 분석 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 도시 대기환경 분석 시스템 및 이를 이용한 도시 대기환경 분석 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 도시 지역의 지리 정보, 기상 정보 및 미세먼지 농도 정보를 기초로 도시 지역의 대기환경 특성을 분석할 수 있는 도시 대기환경 분석 시스템 및 이를 이용한 도시 대기환경 분석 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 미세먼지(Fine Particulate Matter)는 대기오염물질의 하나로 사람의 눈에 보이지 않을 정도로 작은 먼지를 말한다. 미세먼지는 지름 $10\mu\text{m}$ 이하인 PM 10과 지름 $2.5\mu\text{m}$ 이하인 PM2.5로 구분될 수 있다. 미세먼지는 자동차나 발전소 등에서 발생하는 배출 물질이 주요 원인이며, 사람 또는 동물이 호흡과정에서 미세먼지가 폐에 들어가면 폐 기능 저하, 폐 질환, 심장 질환 등을 일으킬 수 있다. 특히 초미세먼지(PM2.5)는 폐포를 통해 혈관에 직접 침투할 수 있다는 점에서 문제가 된다.

[0003] 먼지의 발생원인은 자연적인 원인과 인위적인 원인으로 구분되나, 인위적인 발생이 대부분이다. 인위적인 발생

원은 대부분 연료 연소에 의해 발생되며, 보일러나 자동차, 발전시설 등의 배출물질이 주요 발생원이다. 그 외 공사장, 도로 등에서 비산되는 먼지도 많은 양을 차지한다.

[0004] 미세먼지(PM2.5)는 자동차, 화력발전소 등에서 배출된 1차 오염물질의 대기 중 반응에 의한 2차 오염물질 생성이 주요 발생원이며, 주로 황산염, 질산염, 유기탄소 등으로 구성되어 있다.

[0005] 특히, 국내외적으로 난방용 연료사용이 증가하는 겨울철에는 오염물질 배출이 증가하여 고농도 현상 발생이 증가한다. 국내뿐만 아니라 국외에서 유입된 오염물질도 국내 대기에 영향을 미친다. 연구 결과에 의하면 대기오염물질 중 30~50% 내외가 국외에서 유입된 것으로 추정된다.

[0006] 도심지의 경우 도로에서 배출되는 오염물질에 의해 건물 내 실내 공기질이 영향을 받는다는 사실이 많은 연구를 통해 밝혀졌다. 도로의 차량에서 배출되는 오염물질이 도로 주변의 건물 내 실내 미세먼지 농도에 많은 영향을 끼칠 수 있다. 실제 도시 지역 내에는 도로와 건물이 다양하고 복잡한 형태로 배치되어 있다. 이러한 도시 내 구조는 대기 흐름과 오염물질의 확산에 큰 요인이 된다. 미세먼지가 도시 인구에 미치는 영향을 분석한 연구들을 통해 도시 대기환경 모니터링에 대한 중요성이 대두되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 한국 출원특허: 10-2021-0002461 (2021.01.08)

(특허문헌 0002) 한국 출원특허 10-2020-0131762 (2020.10.13)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 도시 지역의 지리 정보, 기상 정보 및 미세먼지 농도 정보를 기초로 도시 지역의 대기환경 특성을 분석할 수 있는 도시 대기환경 분석 시스템 및 이를 이용한 도시 대기환경 분석 방법을 제공한다.

[0009] 본 발명은 도시 지역의 미세먼지 농도에 대한 외부로부터의 유입에 의한 기여여부와 국지적 오염 발생에 의한 기여여부에 판단 근거를 제공할 수 있는 도시 대기환경 분석 시스템 및 이를 이용한 도시 대기환경 분석 방법을 제공한다.

[0010] 본 발명은 도시 지역의 지리적 구조가 해당 지역의 미세먼지 농도에 미치는 영향을 분석할 수 있는 도시 대기환경 분석 시스템 및 이를 이용한 도시 대기환경 분석 방법을 제공한다.

[0011] 본 발명은 대상 지역의 도시 설계 및 환경 관련 정책 결정에 근거로 활용할 수 있는 미세먼지 분석 결과를 제공하는 도시 대기환경 분석 시스템 및 이를 이용한 도시 대기환경 분석 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0012] 본 발명에 따른 도시 대기환경 분석 시스템은 도시의 적어도 하나 이상의 지역에 대한 건물 정보와 도로 정보를 수신하는 지리정보 수신부, 상기 각 지역에 대한 기상 정보 및 미세먼지 정보를 수신하는 기상정보 수신부, 상기 수신된 기상 정보 및 미세먼지 정보를 기초로 상기 각 지역에 대해 기상 인자별 특성 및 미세먼지의 농도 특성을 각각 분석하는 기상 분석부, 상기 기상 분석부에서 수신된 기상 인자별 특성 및 미세먼지의 농도 특성을 기초로 상기 각 지역에 대해 기상 인자와 미세먼지 농도 사이의 상관관계를 각각 분석하는 기상 상관관계 분석부, 상기 수신된 건물 정보와 도로 정보를 기초로 상기 각 지역에 대해 일정 영역에 대한 도시 구조 매개수를 산출하고, 산출된 각 지역의 도시 구조 매개수와 해당 지역의 미세먼지 농도 사이의 상관관계를 분석하는 도시 구조 상관관계 분석부 및 상기 기상 상관관계 분석부와 도시구조 상관관계 분석부에서 분석된 분석 정보를 기초로 상기 각 지역에 대해 해당 지역의 미세먼지 농도에 영향을 주는 영향 요인을 산출하는 미세먼지 영향 분석부를 포함한다.

[0013] 일 실시예에서, 도시 대기환경 분석 시스템은 상기 수신된 미세먼지 정보를 기초로 상기 각 지역의 미세먼지 농도 사이의 시간적 유사도 및 공간적 유사도를 분석하는 유사도 분석부를 더 포함할 수 있다.

- [0014] 일 실시예에서, 상기 유사도 분석부는 상기 각 지역의 미세먼지 농도 사이의 피어슨 상관관계수(Pearson correlation coefficient, R)를 산출하여, 시간을 기준으로 비교 지역 사이의 미세 먼지 농도 변화 경향이 일치하는 지 여부를 분석할 수 있다.
- [0015] 일 실시예에서, 상기 유사도 분석부는 상기 각 지역의 미세먼지 농도 사이의 발산계수(Coefficient Of Divergence, COD)를 산출하여, 비교 지역의 미세 먼지 농도가 공간적으로 일치하는 지 여부를 분석할 수 있다.
- [0016] 일 실시예에서, 상기 지리정보 수신부는 공간정보시스템(Geographic Information System)으로부터 상기 각 지역에 대한 건물 정보를 수신하고, 환경 공간정보 서비스(Environmental Geographic Information Service)로부터 상기 각 지역에 대한 도로 정보를 수신할 수 있다.
- [0017] 일 실시예에서, 상기 적어도 하나 이상의 지역은 상기 도시에 대기질 측정장치가 설치된 대기질 측정지역에 해당할 수 있다.
- [0018] 일 실시예에서, 상기 기상 인자별 특성은 해당 지역에 대해 일별, 월별 및 연별로 산출된 주풍향, 풍향의 빈도, 풍속 크기의 빈도, 평균 풍속, 풍속 변동 및 평균 기온 가운데 적어도 하나 이상을 포함하고, 상기 미세먼지의 농도 특성은 해당 지역에 대해 일별, 월별 및 연별로 산출된 평균 미세 먼지(PM10) 농도 및 평균 초미세 먼지(PM2.5) 농도 가운데 적어도 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [0019] 일 실시예에서, 상기 기상 상관관계 분석부는 풍속과 미세먼지(미세먼지 및 초미세먼지) 농도 사이의 상관관계수를 산출하고, 기온과 미세먼지(미세먼지 및 초미세먼지) 농도 사이의 상관관계수를 산출할 수 있다.
- [0020] 일 실시예에서, 상기 도시 구조 매개수는 도로면적비 및 건물부피비를 포함하되, 상기 도시구조 상관관계 분석부는 해당 지역의 일 지점을 중심으로 수평 $x \text{ km} \times y \text{ km}$ 영역에서 도로가 차지하는 도로면적비를 산출하고, 수평 $x \text{ km} \times y \text{ km}$ 영역과 연직 $z \text{ m}$ 높이의 공간에서 건물이 차지하는 건물부피비를 산출할 수 있다.
- [0021] 일 실시예에서, 상기 도시구조 상관관계 분석부는 각 지역의 도로면적비와 평균 미세 먼지(PM10) 농도의 상관관계수 및 도로면적비와 평균 초미세 먼지(PM2.5) 농도의 상관관계수를 각각 산출하고, 각 지역의 건물부피비와 평균 미세 먼지(PM10) 농도의 상관관계수 및 건물부피비와 평균 초미세 먼지(PM2.5) 농도의 상관관계수를 각각 산출할 수 있다.
- [0022] 일 실시예에서, 상기 미세먼지 영향 분석부는 상기 기상 상관관계 분석부에서 산출된 상관관계수를 기초로 양 또는 음의 상관관계를 갖는 기상 인자 및 상기 도시구조 상관관계 분석부에서 산출된 상관관계수를 기초로 양 또는 음의 상관관계를 갖는 도시 구조 매개수를 이용하여 해당 지역의 미세먼지 농도에 영향을 주는 영향 요인을 산출할 수 있다.
- [0023] 본 발명에 따른 도시 대기환경 분석 방법은 지리정보 수신부가 도시의 적어도 하나 이상의 지역에 대한 건물 정보와 도로 정보를 수신하는 단계, 기상정보 수신부가 상기 각 지역에 대한 기상 정보 및 미세먼지 정보를 수신하는 단계, 기상 분석부가 상기 수신된 기상 정보 및 미세먼지 정보를 기초로 상기 각 지역에 대해 기상 인자별 특성 및 미세먼지의 농도 특성을 각각 분석하는 단계, 기상 상관관계 분석부가 상기 기상 분석부에서 수신된 기상 인자별 특성 및 미세먼지의 농도 특성을 기초로 상기 각 지역에 대해 기상 인자와 미세먼지 농도 사이의 상관관계를 각각 분석하는 단계, 도시구조 상관관계 분석부가 상기 수신된 건물 정보와 도로 정보를 기초로 상기 각 지역에 대해 일정 영역에 대한 도시 구조 매개수를 산출하고, 산출된 각 지역의 도시 구조 매개수와 해당 지역의 미세먼지 농도 사이의 상관관계를 분석하는 단계 및 미세먼지 영향 분석부가 상기 기상 상관관계 분석부와 도시구조 상관관계 분석부에서 분석된 분석 정보를 기초로 상기 각 지역에 대해 해당 지역의 미세먼지 농도에 영향을 주는 영향 요인을 산출하는 단계를 포함한다.
- [0024] 일 실시예에서, 도시 대기환경 분석 방법은 유사도 분석부가 상기 수신된 미세먼지 정보를 기초로 상기 각 지역의 미세먼지 농도 사이의 시간적 유사도 및 공간적 유사도를 분석하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0025] 일 실시예에서, 도시 대기환경 분석 방법은 유사 지역 추정부가 해당 도시 지역 내에서 상기 분석된 지역의 미세먼지 농도에 영향을 주는 영향 요인의 값과 동일 또는 기 설정된 범위의 요인 값을 갖는 지역을 검색하는 단계를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0026] 이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명에 따른 도시 대기환경 분석 시스템 및 이를 이용한 도시 대기환경 분석 방법은 도시 지역의 지리 정보, 기상 정보 및 미세먼지 농도 정보를 기초로 도시 지역의 대기환경 특성을 분석할

수 있다.

[0027] 본 발명에 따른 도시 대기환경 분석 시스템 및 이를 이용한 도시 대기환경 분석 방법은 도시 지역의 미세먼지 농도에 대한 외부로부터의 유입에 의한 기여여부와 국지적 오염 발생에 의한 기여여부에 판단 근거를 제공할 수 있다.

[0028] 본 발명에 따른 도시 대기환경 분석 시스템 및 이를 이용한 도시 대기환경 분석 방법은 도시 지역의 지리적 구조가 해당 지역의 미세먼지 농도에 미치는 영향을 분석할 수 있다.

[0029] 본 발명에 따른 도시 대기환경 분석 시스템 및 이를 이용한 도시 대기환경 분석 방법은 대상 지역의 도시 설계 및 환경 관련 정책 결정에 근거로 활용할 수 있는 미세먼지 분석 결과를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0030] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 도시 대기환경 분석 시스템을 설명하는 도면

도 2는 도 1의 도시 대기환경 분석 시스템의 구성을 나타내는 도면

도 3은 분석 대상 지역의 위성사진과 해당 지역의 세분류 토지 피복분류에 따른 분포의 일 예를 나타내는 도면

도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 분석 대상 지역 내 지상 기상 측정소에서 측정된 바람을 기초로 산출된 바람 장미도 그래프의 일 예를 나타내는 도면

도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 분석 대상 지역 내 지상 기상 측정소에서 측정된 풍속과 기온의 월별, 연도별 분포를 그래프로 나타낸 도면

도 6은 본 발명의 실시 예에 따른 분석 대상 지역 내 지상 대기질 측정소에서 측정된 미세먼지의 농도와 초미세먼지의 농도를 측정소별 분포 그래프로 나타낸 도면

도 7은 본 발명의 실시 예에 따른 분석 대상 지역 내 지상 대기질 측정소에서 측정된 평균 미세먼지 농도와 평균 초미세먼지 농도를 월별, 연도별 그래프로 나타낸 도면

도 8은 본 발명의 실시 예에 따른 분석 대상 지역 내 지상 대기질 측정소에서 측정된 미세먼지 농도와 초미세먼지 농도의 상관관계와 공간변이도 분포를 그래프로 나타낸 도면

도 9는 본 발명의 실시 예에 따른 분석 대상 지역 내 지상 측정소에서 측정된 풍속, 기온과 미세먼지 농도, 초미세먼지 농도 간의 상관관계를 그래프로 나타낸 도면

도 10은 본 발명의 실시 예에 따른 분석 대상 지역 내 지상 측정소에서 측정된 계절별 미세먼지의 농도를 오염 장미도 그래프로 나타낸 도면

도 11은 본 발명의 실시 예에 따른 분석 대상 지역 내 지상 측정소에서 측정된 계절별 초미세먼지의 농도를 오염 장미도 그래프로 나타낸 도면

도 12는 본 발명의 실시 예에 따른 분석 대상 지역 내 지상 대기질 측정소에서 측정된 미세먼지 농도, 초미세먼지 농도와 도시 구조 매개수 간의 상관관계를 그래프로 나타낸 도면

도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 도시 대기환경 분석 방법을 설명하는 흐름도

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0031] 이하, 본 발명에 따른 도시 대기환경 분석 시스템 및 이를 이용한 도시 대기환경 분석 방법을 실시하기 위한 구체적인 내용을 설명하면 다음과 같다.

[0032] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 도시 대기환경 분석 시스템을 설명하는 도면이다.

[0033] 도 1을 참조하면, 도시 대기환경 분석 시스템(130)은 네트워크를 통해 지리정보 서버(110), 기상정보 서버(120) 등과 연결될 수 있다.

[0034] 지리정보 서버(110)는 공간정보시스템(Geographic Information System, GIS) 및 환경 공간정보 서비스(Environmental Geographic Information Service, EGIS)를 포함할 수 있다. 지리정보 서버(110)는 지리정보를 수집, 저장, 조작 및 분석하는 서버를 포함한다.

- [0035] 예를 들어, 지리정보 서버(110)는 지리정보 데이터베이스를 포함하며, 지리정보 데이터베이스는 행정경계, 도로, 건물의 형상 등 각종 지리현상의 위치, 형태 등을 나타내는 지도나 도면형태의 도형자료(Graphic Data), 인구수, 건물면적, 지명 등 공간상의 특성을 설명하는 숫자와 문자 형태의 속성자료(Descriptive or Attribute Data)를 포함한다.
- [0036] 도시 대기환경 분석 시스템(130)은 지리정보 서버(110)에 접속하여, 특정 지역에 대한 지리정보를 수신할 수 있다.
- [0037] 기상정보 서버(120)는 기상정보를 수집, 분석, 저장, 분배하는 서버를 포함한다. 기상정보 서버(120)는 기상 관측장치가 설치된 기상 관측소 및 대기질 측정장치가 설치된 대기질 측정소에서 수신된 기상 정보 및 공기질 정보를 저장할 수 있다. 예를 들어, 기상정보 서버(120)는 종관기상관측소(Automated Synoptic Observing System, ASOS)에서 측정된 기상 정보, 도시대기측정소(Air Quality Monitoring System, AQMS) 또는 도로변대기질측정소(Road Air Quality Monitoring System, RAQMS)에서 측정된 공기질 정보를 수신하여 저장할 수 있다. 일 실시예에서, 기상정보는 기온, 풍속, 풍향, 상대 습도, 강수량 등을 포함할 수 있다. 공기질 정보는 미세먼지 농도, 초미세먼지 농도, 오존 농도, 기타 가스 농도(SO₂, NO_x, CO, CO₂, O₃, THC 등) 등을 포함할 수 있다.
- [0038] 도시 대기환경 분석 시스템(130)은 기상정보 서버(120)에 접속하여, 특정 지역에 대한 기상정보를 수신할 수 있다.
- [0039] 도시 대기환경 분석 시스템(130)은 수신된 기상정보를 기초로 각 지역에 대해 각 지역에 대해 기상 인자별 특성 및 미세먼지의 농도 특성을 각각 분석하고, 기상 인자와 미세먼지 농도 사이의 상관관계를 각각 분석할 수 있다. 또한, 도시 대기환경 분석 시스템(130)은 수신된 기상정보와 지리정보를 기초로 각 지역의 도시 구조 매개수와 해당 지역의 미세먼지 농도 사이의 상관관계를 분석할 수 있다. 해당 분석결과를 기초로, 도시 대기환경 분석 시스템(130)은 해당 지역의 미세먼지 농도에 영향을 주는 영향 요인을 산출할 수 있다.
- [0040] 도시 대기환경 분석 시스템(130)은 사용자의 제어에 따라 분석된 결과를 화면에 디스플레이할 수 있다.
- [0041] 이하에서는, 도시 대기환경 분석 시스템(130)에서 도시 지역의 지리 정보, 기상 정보 및 미세먼지 농도 정보를 기초로 도시 지역의 대기환경 특성을 분석하는 과정에 대해 설명하기로 한다.
- [0042] 도 2는 도 1의 도시 대기환경 분석 시스템의 구성을 나타내는 도면이다.
- [0043] 도 2를 참조하면, 도시 대기환경 분석 시스템(130)은 네트워크부(202), 메모리(204), 기상정보 수신부(206), 지리정보 수신부(208), 미세먼지 상관관계 분석부(210) 및 미세먼지 영향 분석부(220)를 포함하고, 미세먼지 상관관계 분석부(210)는 기상 분석부(212), 유사도 분석부(214), 기상 상관관계 분석부(216) 및 도시구조 상관관계 분석부(218)를 포함한다.
- [0044] 네트워크부(202)는 외부 네트워크와 연결되며, 외부 네트워크를 통해 지리정보 서버(110) 또는 기상정보 서버(120)에 접속할 수 있다. 메모리(204)는 도시 대기환경 분석 시스템(130)의 동작에 사용되는 데이터, 대기환경 특성 분석에 사용되는 데이터 또는 분석 결과 데이터를 저장할 수 있다.
- [0045] 기상정보 수신부(206)는 기상정보 서버(120)로부터 도시의 적어도 하나 이상의 지역에 대한 기상 정보(예를 들어, 기온, 풍속, 풍향, 상대 습도, 강수량 등) 및 미세먼지(예를 들어, 미세먼지(PM₁₀) 농도, 초미세먼지(PM_{2.5}) 농도) 정보를 수신한다. 일 실시예에서, 기상정보 수신부(206)는 사용자로부터 적어도 하나 이상의 분석 대상 지역(예를 들어, 도시의 일 지역)을 입력받고, 해당 분석 대상 지역에 대한 기상 정보 및 미세먼지 정보를 기상정보 서버(120)에 요청할 수 있다.
- [0046] 지리정보 수신부(208)는 지리정보 서버(110)에 상기 적어도 하나 이상의 분석 대상 지역에 대한 건물 정보와 도로 정보를 요청하고, 각 지역에 대한 건물 정보(예를 들어, 건물 면적, 건물 고도, 건물 위치 등)와 도로 정보(예를 들어, 도로 면적, 도로 위치 등)를 수신한다. 기상정보 수신부(206)와 지리정보 수신부(208)는 동일한 분석 대상 지역에 대한 정보를 각각 수신할 수 있다. 일 실시예에서, 지리정보 수신부(208)는 공간정보시스템(GIS)으로부터 건물 정보를 수신하고, 환경 공간정보 서비스(EGIS)로부터 도로 정보를 수신할 수 있다.
- [0047] 일 실시예에서, 해당 분석 대상 지역은 도시에서 기상관측장치 또는 대기질 측정장치가 설치된 측정지역에 해당할 수 있다. 예를 들어, 분석 대상 지역은 종관기상관측소(ASOS), 도시대기측정소(AQMS) 또는 도로변대기질측정소(RAQMS) 지역에 해당할 수 있다.
- [0048] 미세먼지 상관관계 분석부(210)는 기상 인자 및 도시 구조와 미세먼지 농도 사이의 상관관계를 분석한다.

- [0049] 기상 분석부(212)는 수신된 기상 정보 및 미세먼지 정보를 기초로 각 지역에 대해 기상 인자별 특성 및 미세먼지의 농도 특성을 각각 분석한다.
- [0050] 일 실시예에서, 기상 인자별 특성은 해당 지역에 대해 일별, 월별 및 연별로 산출된 주풍향, 풍향의 빈도, 풍속 크기의 빈도, 평균 풍속, 풍속 변동 및 평균 기온 가운데 적어도 하나 이상을 포함하고, 미세먼지의 농도 특성은 해당 지역에 대해 일별, 월별 및 연별로 산출된 평균 미세먼지(PM10) 농도 및 평균 초미세 먼지(PM2.5) 농도 가운데 적어도 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [0051] 이하에서는, 설명의 편의를 위해 기 설정된 기간(예를 들어, 최근 10년(2011년~2020년))동안 수원 ASOS(ASOS119)에서 측정된 매시간 평균 풍속, 풍향 및 기온과 8개의 수원 도시대기측정소 및 도로변대기측정소에서 측정된 매시간 미세먼지(PM10) 농도 및 초미세먼지(PM2.5) 농도를 기초로 기상 인자별 특성, 기상 인자와 해당 지역의 미세먼지 농도 사이의 상관관계 및 도시 구조 매개수와 해당 지역의 미세먼지 농도 사이의 상관관계를 분석하는 과정을 설명하기로 한다.
- [0052] 도 3은 분석 대상 지역의 위성사진과 해당 지역의 세분류 토지 피복분류에 따른 분포의 일 예를 나타내는 도면이다.
- [0053] 도 3을 참조하면, 도 3의 (a)는 붉은색 영역으로 표시되는 경기도 수원시 내에 위치한 지상 기상 측정소(ASOS, 붉은색 점)와 지상 대기질 측정소(AQMS 및 RAQMS, 노란색 점)의 위치를 나타내는 도면이다. 분석에 사용된 기상 정보는 수원 ASOS (ASOS 119)의 풍속, 풍향, 기온이고, 대기질 측정 자료는 수원시 내에 위치하는 8개소의 대기질 측정소에서 측정된 미세먼지 농도(PM10)와 초미세먼지 농도(PM2.5)이다. 도 3의 (b)는 경기도 수원시 주변의 세분류 토지피복 정보를 나타내는 도면이다. 일 실시예에서, 지리정보시스템(GIS)의 건물 고도 정보와 환경공간 정보서비스(EGIS)의 세분류 토지피복 정보를 이용하여 측정소 주변의 일정 영역에 대한 도시 구조 매개수를 산출할 수 있다.
- [0054] 도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 분석 대상 지역 내 지상 기상 측정소에서 측정된 바람을 기초로 산출된 바람 장미도 그래프의 일 예를 나타내는 도면이고, 도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 분석 대상 지역 내 지상 기상 측정소에서 측정된 풍속과 기온의 월별, 연도별 분포를 그래프로 나타낸 도면이다.
- [0055] 도 4를 참조하면, 2011년 1월 1일부터 2020년 12월 31일까지 수원 ASOS에서 측정된 풍향을 기초로 분석된 풍향 특성을 살펴볼 수 있다. 예를 들어, 수원 ASOS 지점의 주풍은 서풍과 서북서풍이었고, 두 풍향의 빈도는 각각 15.6%와 14.2%로 분석된다. 풍속 크기에 따른 구간별 빈도는 뷰포트 풍속계 구간을 기준으로 $1.5 \sim 3.3 \text{ ms}^{-1}$ (44.6%)와 $0.4 \sim 1.5 \text{ ms}^{-1}$ (40.0%)인 경우가 대부분을 차지하는 것으로 분석된다.
- [0056] 도 5를 참조하면, 2011년 1월 1일부터 2020년 12월 31일까지 수원 ASOS 풍속과 기온의 월별, 연별 변동 특성을 살펴볼 수 있다.
- [0057] 도 5의 (a)를 참조하면, 2011년부터 2020년까지 수원 ASOS 풍속을 월별로 분석한 결과, 봄철에 평균 풍속이 높은 경향이 나타났고, 월별 평균 풍속은 1.9 ms^{-1} (10월)~ 2.4 ms^{-1} (4월) 사이에 분포하는 것으로 분석된다.
- [0058] 풍속과 동일한 방식으로 수원 ASOS 기온을 월별로 분석한 결과, 평균 기온의 분포는 여름에 높고 겨울에 낮은 경향이 뚜렷하게 나타났고, 월 평균기온은 -1.7°C (1월)~ 27.0°C (8월) 사이의 범위를 갖는 것으로 분석된다.
- [0059] 도 5의 (b)를 참조하면, 월별로 분류된 기온 자료 내에서의 변동 크기는 여름에 작고 봄과 가을에 상대적으로 크게 나타나는데, 이는 봄과 가을에 나타나는 큰 일교차가 각 월별 기온의 변동폭에 반영된 것으로 분석될 수 있다.
- [0060] 도 5의 (c) 및 도 5의 (d)를 참조하면, 풍속과 기온을 연별로 분류한 결과, 평균 풍속과 평균 기온은 각각 2.03 m s^{-1} (2013년)~ 2.18 ms^{-1} (2020년), 12.9°C (2011년)~ 14.5°C (2016년) 사이에서 변동하는 것으로 분석되고, 뚜렷한 연변화 경향은 나타나지 않는 것으로 분석된다.
- [0061] 도 6은 본 발명의 실시 예에 따른 분석 대상 지역 내 지상 대기질 측정소에서 측정된 미세먼지의 농도와 초미세먼지의 농도를 측정소별 분포 그래프로 나타낸 도면이고, 도 7은 본 발명의 실시 예에 따른 분석 대상 지역 내 지상 대기질 측정소에서 측정된 평균 미세먼지 농도와 평균 초미세먼지 농도를 월별, 연도별 그래프로 나타낸 도면이다.
- [0062] 도 6은 2011년 1월 1일부터 2020년 12월 31일까지 수원시 내에 위치하는 7개 도시대기측정소[신풍동 AQMS(식별

ID : 131111), 인계동 AQMS(131112), 광교동 AQMS(131113), 영통동 AQMS(131114), 천천동 AQMS(131115), 고색동 AQMS(131117), 호매실동 AQMS(131118)]와 도로변대기측정소[동수원AQMS (131116)]에서 측정된 미세먼지(PM10) 농도 및 초미세먼지(PM2.5) 농도의 상자 그림(box plot)을 나타낸다.

[0063] 분석 기간동안 도시대기측정소의 평균 미세먼지(PM10) 농도와 초미세먼지(PM2.5) 농도의 범위는 각각 $40.3 \mu\text{gm}^{-3}$ (호매실동 AQMS)~ $55.3 \mu\text{gm}^{-3}$ (동수원 AQMS)와 $21.9 \mu\text{gm}^{-3}$ (호매실동 AQMS)~ $25.6 \mu\text{gm}^{-3}$ (동수원 AQMS)으로 분석된다. 평균 미세먼지 농도는 호매실동 AQMS 지점에서 가장 낮았고, 동수원 AQMS 지점에서 가장 높은 것으로 분석된다.

[0064] 미세먼지(PM10) 농도와 초미세먼지(PM2.5) 농도의 표준편차 범위는 각각 $25.4 \mu\text{gm}^{-3}$ (호매실동 AQMS)~ $35.7 \mu\text{gm}^{-3}$ (동수원 AQMS)와 $15.5 \mu\text{gm}^{-3}$ (호매실동 AQMS)~ $20.5 \mu\text{gm}^{-3}$ (고색동 AQMS)으로 분석된다. 평균 미세먼지 농도가 낮은 측정 지역에서는 미세먼지 농도의 변동이 작고, 평균 미세먼지 농도가 높은 측정 지역에서는 변동이 큰 것으로 분석된다.

[0065] 도 7은 수원 시내에 위치하는 도시대기측정소의 월별, 연별 평균 미세먼지(PM10) 농도와 초미세먼지(PM2.5) 농도를 나타낸다. 초미세먼지(PM2.5) 농도 측정은 2015년 이후에 개시되었다.

[0066] 미세먼지(PM10)와 초미세먼지(PM2.5) 모두 7월부터 9월에 평균 농도가 낮고 겨울철에 평균 농도가 높은 경향이 나타나는 것으로 분석된다. 분석 기간 동안 미세먼지(PM10) 평균 농도와 초미세먼지(PM2.5) 평균 농도가 가장 높은 지점은 동수원 RAQMS(RAQMS 131116)로 월평균 미세먼지(PM10)와 초미세먼지(PM2.5)의 농도 범위는 각각 $34.8 \mu\text{gm}^{-3}$ (9월)~ $75.8 \mu\text{gm}^{-3}$ (3월)과 $14.0 \mu\text{gm}^{-3}$ (9월)~ $41.0 \mu\text{gm}^{-3}$ (3월)으로 분석된다.

[0067] 평균 농도가 가장 낮은 지점인 호매실동 AQMS(AQMS131118)의 월평균 미세먼지(PM10)와 초미세먼지(PM2.5) 농도 범위는 각각 $23.9 \mu\text{gm}^{-3}$ (9월)~ $49.7 \mu\text{gm}^{-3}$ (3월)과 $13.2 \mu\text{gm}^{-3}$ (9월)~ $30.5 \mu\text{gm}^{-3}$ (1월)로 분석된다. 전체적인 미세먼지의 연평균 농도는 시간에 따라 감소하는 경향이 나타나는 것으로 분석됐고 대부분의 측정 지점에서 2020년의 평균 농도가 가장 낮은 것으로 분석된다.

[0068] 다시 도 2를 참조하면, 유사도 분석부(214)는 기상정보 수신부(206)를 통해 수신된 미세먼지 정보를 기초로 각 지역의 미세먼지(미세먼지(PM10) 및 초미세먼지(PM2.5)) 농도 사이의 시간적 유사도 및 공간적 유사도를 분석한다.

[0069] 일 실시예에서, 유사도 분석부(214)는 각 분석 대상 지역의 미세먼지 농도 사이의 피어슨 상관계수(Pearson correlation coefficient, R)를 산출하여, 시간을 기준으로 비교 지역 사이의 미세먼지 농도 변화 경향이 일치하는 지 여부를 분석할 수 있다. 예를 들어, 유사도 분석부(214)는 시간을 기준으로 한 호매실동 AQMS의 미세먼지(PM10) 농도와 동수원 RAQMS의 미세먼지(PM10) 농도 사이의 피어슨 상관계수를 산출할 수 있고, 호매실동 AQMS의 초미세먼지(PM2.5) 농도와 동수원 RAQMS의 초미세먼지(PM2.5) 농도 사이의 피어슨 상관계수를 산출할 수 있다. 비교 지역 사이의 시간적인 미세먼지 농도 변화 경향이 일치할수록 피어슨 상관계수는 1에 근접한다. 유사도 분석부(214)는 비교 지역 사이의 피어슨 상관계수가 1에 근접할수록 미세먼지 농도 변화 경향이 일치하는 것으로 산출할 수 있다. 유사도 분석부(214)는 산출된 피어슨 상관계수 값을 기초로 0을 0% ~ 1을 100%로 하여 미세먼지 농도 변화 경향의 일치여부를 %로 산출할 수도 있다.

[0070] 일 실시예에서, 유사도 분석부(214)는 각 분석 대상 지역의 미세먼지 농도 사이의 발산계수(Coefficient Of Divergence, COD)를 산출하여, 비교 지역의 미세먼지 농도가 공간적으로 일치하는 지 여부를 분석할 수 있다. 비교 지역 사이의 미세먼지 농도가 공간적으로 일치할수록 발산계수는 0에 근접하고 미세먼지 농도가 다를수록 발산계수는 1에 근접한다.

[0071] 유사도 분석부(214)는 비교 지역 사이의 발산계수가 0에 근접할수록 미세먼지 농도가 공간적으로 일치하는 것으로 산출할 수 있다. 유사도 분석부(214)는 산출된 발산계수 값을 기초로 0을 100% ~ 1을 0%로 하여 미세먼지 농도 변화 경향의 일치여부를 %로 산출할 수도 있다.

[0072] 도 8은 본 발명의 실시 예에 따른 분석 대상 지역 내 지상 대기질 측정소에서 측정된 미세먼지 농도와 초미세먼지 농도의 상관관계와 공간변이도 분포를 그래프로 나타낸 도면이다.

[0073] 도 8을 참조하면, 분석기간 동안 미세먼지(PM10) 농도와 초미세먼지(PM2.5) 농도의 피어슨 상관계수의 범위는 각각 0.79~0.96과 0.80~0.94으로 분석되었다. 또한, 미세먼지(PM10) 농도와 초미세먼지(PM2.5) 농도의 발산계수

의 범위는 각각 0~0.16과 0~0.08로 분석되었다.

- [0074] 8개 대기측정 지점(대기측정소)의 미세먼지(PM10)과 초미세먼지(PM2.5)의 평균 상관계수는 각각 0.91와 0.87로 초미세먼지(PM2.5)에 비해 미세먼지(PM10) 농도가 지점들 간 시간 변동성이 더 유사하다고 볼 수 있다. 그러나, 초미세먼지(PM2.5)의 경우, 미세먼지(PM10)에 비해 농도 측정 개시일이 늦고 지점별 측정 개시일도 다르다. 또한, 분석에 사용된 초미세먼지(PM2.5) 농도의 데이터 수가 미세먼지(PM10) 농도에 비해 적어서 상관계수가 작은 것으로 분석된다. 동일 기간으로 비교 시 초미세먼지(PM2.5)의 상관계수가 더 높은 것으로 분석된다.
- [0075] 공간적 일치도를 반영하는 발산계수의 경우, 미세먼지(PM10) 농도에 비해 초미세먼지(PM2.5) 농도가 공간적 일치도가 더 높은 것으로 분석된다. 8개 대기측정 지점(대기측정소)의 미세먼지(PM10) 농도와 초미세먼지(PM2.5) 농도의 평균 발산계수는 각각 0.04과 0.02로 분석된다.
- [0076] 다시 도 2를 참조하면, 기상 상관관계 분석부(216)는 기상 분석부(212)에서 수신된 기상 인자별 특성 및 미세먼지의 농도 특성을 기초로 각 분석 대상 지역에 대해 기상 인자와 미세먼지 농도 사이의 상관관계를 각각 분석한다.
- [0077] 일 실시예에서, 기상 상관관계 분석부(216)는 풍속과 미세먼지(미세먼지(PM10) 및 초미세먼지(PM2.5)) 농도 사이의 상관계수를 산출하고, 기온과 미세먼지(미세먼지(PM10) 및 초미세먼지(PM2.5)) 농도 사이의 상관계수를 산출할 수 있다. 예를 들어, 기상 상관관계 분석부(216)는 풍속과 미세먼지(미세먼지(PM10) 및 초미세먼지(PM2.5)) 농도 사이의 피어슨 상관계수를 산출하고, 기온과 미세먼지(미세먼지(PM10) 및 초미세먼지(PM2.5)) 농도 사이의 피어슨 상관계수를 산출할 수 있다. 구현 예에 따라, 기상 상관관계 분석부(216)는 Spearman Rank (스피어만 순위 상관계수), Kendall Tau (켄달 Tau), 점 양분 상관계수(Point-biserial), 파이 계수(Phi) 등을 산출할 수도 있다. 기상 상관관계 분석부(216)는 산출된 상관계수를 기초로 기상 인자와 미세먼지 농도 사이의 상관관계를 각각 분석할 수 있다.
- [0078] 도 9는 본 발명의 실시 예에 따른 분석 대상 지역 내 지상 측정소에서 측정된 풍속, 기온과 미세먼지 농도, 초미세먼지 농도 간의 상관관계를 그래프로 나타낸 도면이다.
- [0079] 도 9의 (a)는 2011년부터 2020년까지 수원 ASOS (ASOS 119)의 시간 평균 풍속과 수원시 8개 대기측정 지점(대기측정소, 식별ID로 구분)의 미세먼지(PM10) 시간 평균 농도, 초미세먼지(PM2.5) 시간 평균 농도 간의 상관계수를 나타내고, 도 9의 (b)는 시간 평균 기온과 수원시 8개 대기측정 지점(대기측정소)의 미세먼지(PM10) 시간 평균 농도, 초미세먼지(PM2.5) 시간 평균 농도 간의 상관계수를 나타낸다.
- [0080] 전반적으로 측정 기상인자(풍속, 기온)와 미세먼지 농도 사이에는 약한 음의 상관관계(예를 들어, 상관계수가 마이너스)가 나타나는 것으로 분석되며, 미세먼지 농도는 풍속보다는 기온과의 음의 상관관계가 다소 강하게 나타나는 것으로 분석된다. 미세먼지(PM10)보다는 초미세먼지(PM2.5)의 농도가 풍속 및 기온과 음의 상관성이 더 강한 것으로 분석된다. 풍속보다 기온이 미세먼지 농도와의 상관관계가 비교적 높은 이유는 월별 분석에 나타나는 바와 같이, 기온이 높은 여름철에 미세먼지 농도가 낮은 경향이 비교적 뚜렷하고, 기온이 낮은 겨울철에 미세먼지 농도가 높은 경향이 비교적 뚜렷하기 때문인 것으로 분석된다.
- [0081] 측정 기상인자와 미세먼지 농도 간의 상관성을 계절에 따라 분석하면, 풍속과 미세먼지 농도는 모든 계절에서 음의 상관성이 나타나는 것으로 분석된다. 기온의 경우, 봄과 여름에는 -0.06과 0.16 사이의 상관 계수가 나타나는 것으로 분석되고, 가을에는 측정소에서 음의 상관 관계가 나타나는 것으로 분석되며(상관계수 범위: -0.29~-0.11), 겨울에는 양의 상관 관계가 나타나는 것으로 분석된다(상관계수 범위: 0.13~0.31)
- [0082] 도 10은 본 발명의 실시 예에 따른 분석 대상 지역 내 지상 측정소에서 측정된 계절별 미세먼지의 농도를 오염장미도 그래프로 나타낸 도면이고, 도 11은 본 발명의 실시 예에 따른 분석 대상 지역 내 지상 측정소에서 측정된 계절별 초미세먼지의 농도를 오염장미도 그래프로 나타낸 도면이다.
- [0083] 도 10과 도 11은 수원 ASOS(ASOS 119)에서 측정한 풍향 데이터와 수원 ASOS와 가장 가까운(직선 거리 750 m) 고색동 AQMS (AQMS 131117)에서 측정한 미세먼지(PM10) 농도 및 초미세먼지(PM2.5) 농도를 이용해 작성한 계절별 오염장미도를 나타낸다. 도 10의 (a)는 봄(3월~5월), (b)는 여름(6월~8월), (c)는 가을(9월~11월), (d)는 겨울(12월~2월)의 미세먼지(PM10) 농도를 이용하여 작성한 오염장미도를 나타낸다. 도 11의 (a)는 봄(3월~5월), (b)는 여름(6월~8월), (c)는 가을(9월~11월), (d)는 겨울(12월~2월)의 초미세먼지(PM2.5) 농도를 이용하여 작성한 오염장미도를 나타낸다.
- [0084] 모든 계절에서 서북서풍, 서풍 비율이 높았고 봄철에는 서풍, 여름철에는 동풍과 남풍, 겨울철에는 서북서풍 빈

도 증가가 뚜렷하게 나타나는 것으로 분석된다. 봄철과 겨울철에는 미세먼지 고농도의 빈도가 높게 나타났고, 여름철과 가을철에는 비교적 낮은 미세먼지 농도 빈도가 증가하는 것을 확인할 수 있다.

- [0085] 다시 도 2를 참조하면, 도시구조 상관관계 분석부(218)는 수신된 건물 정보와 도로 정보를 기초로 각 분석 대상 지역에 대해 일정 영역에 대한 도시 구조 매개수를 산출하고, 산출된 각 지역의 도시 구조 매개수와 해당 지역의 미세먼지 농도 사이의 상관관계를 분석한다.
- [0086] 일 실시예에서, 도시 구조 매개수는 사용자에 의해 미리 정의되어 저장될 수 있다. 일 실시예에서, 도시구조 상관관계 분석부(218)는 수평으로 $x(m) \times y(m)$, 연직으로 $z(m)$ 의 영역에서 건물이 차지하는 건물부피비와, 수평으로 $x(m) \times y(m)$ 영역에서 도로가 차지하는 도로면적비를 도시 구조 매개수로 산출할 수 있다. 여기에서, x, y, z 는 정수(integer)로 사용자에 의해 설정될 수 있다.
- [0087] 이하에서는 설명의 편의를 위해, 수원시의 8개 대기측정 지점(대기측정소)을 중심으로 수평으로 $2,000(m) \times 2,000(m)$, 연직으로 150 m의 영역에 대한 건물부피비와 도로면적비를 도시 구조 매개수로 산출하는 경우를 가정하여 설명하기로 한다.
- [0088] 도시구조 상관관계 분석부(218)는 각 지역의 도로면적비와 평균 미세먼지(PM10) 농도의 상관관계수 및 도로면적비와 평균 초미세 먼지(PM2.5) 농도의 상관관계수를 각각 산출하고, 각 지역의 건물부피비와 평균 미세먼지(PM10) 농도의 상관관계수 및 건물부피비와 평균 초미세 먼지(PM2.5) 농도의 상관관계수를 각각 산출한다. 일 실시예에서, 도시구조 상관관계 분석부(218)는 도시 구조 매개수와 미세먼지 농도 사이의 피어슨 상관관계수를 산출할 수 있다. 구현 예에 따라, 도시구조 상관관계 분석부(218)는 Spearman Rank (스피어만 순위 상관관계수), Kendall Tau (켄달 Tau), 점 양분 상관관계수(Point-biserial), 파이 계수(Phi) 등을 산출할 수도 있다. 도시구조 상관관계 분석부(218)는 산출된 상관관계수를 기초로 도시 구조 매개수와 해당 지역의 미세먼지 농도 사이의 상관관계를 분석할 수 있다.
- [0089] 도 12는 본 발명의 실시 예에 따른 분석 대상 지역 내 지상 대기질 측정소에서 측정된 미세먼지 농도, 초미세먼지 농도와 도시 구조 매개수 간의 상관관계를 그래프로 나타낸 도면이다.
- [0090] 도 12는 분석기간 동안 수원시 8개 도시대기측정소에서 측정한 미세먼지(PM10) 평균 농도, 초미세먼지(PM2.5) 평균 농도와 대기측정소를 중심으로 수평 $2 \text{ km} \times 2 \text{ km}$ 영역의 도로면적비, 해당 수평 영역과 연직 150 m 높이의 공간에서 건물이 차지하는 건물부피비 간의 상관관계수의 산점도를 나타낸다. 도 12의 (a)는 미세먼지(PM10) 평균 농도와 도로면적비 간의 상관관계 산점도, 도 12의 (b)는 미세먼지(PM10) 평균 농도와 건물 부피비 간의 상관관계 산점도, 도 12의 (c)는 초미세먼지(PM2.5) 평균 농도와 도로면적비 간의 상관관계 산점도, 도 12의 (d)는 초미세먼지(PM2.5) 평균 농도와 건물 부피비 간의 상관관계 산점도를 나타낸다.
- [0091] 측정소별 미세먼지(PM10) 평균 농도 및 초미세먼지(PM2.5) 평균 농도와 도로면적비(건물부피비)의 상관관계수는 각각 0.34(0.41)와 0.48(0.61)로 분석된다. 전반적으로 미세먼지(PM10) 농도보다는 초미세먼지(PM2.5) 농도가 도시 구조 매개수와 높은 상관관계에 있는 것으로 분석되었고, 도로면적비보다는 건물부피비와의 상관성이 다소 높은 것으로 분석되었다.
- [0092] 도로변에 설치되어 있는 동수원 RAQMS(도 12의 ㉔)의 미세먼지 평균 농도가 가장 높았고, 호매실동 AQMS (도 12의 ㉕)는 타지점에 비해 미세먼지 농도가 낮은 것으로 나타났다.
- [0093] 이들 두 지점의 데이터를 제외하고 분석을 수행한 결과, 미세먼지(PM10) 평균 농도 및 초미세먼지(PM2.5) 평균 농도와 도로면적비(건물부피비) 사이의 상관관계수는 각각 -0.15(-0.48)와 0.74(0.85)로 나타났다. 전반적으로 미세먼지(PM10) 농도보다는 초미세먼지(PM2.5) 농도가 도시 구조 매개수와 상관관계가 높은 것으로 분석되었고, 도로면적비보다는 건물부피비와의 상관성이 다소 높은 것으로 분석되었다.
- [0094] 분석 대상 지역을 수원시 내로 한정했을 때, 미세먼지(PM10)의 농도는 도로면적비의 영향을 거의 받지 않는 것으로 나타나는데, 미세먼지(PM10)의 농도는 도로 배출이나 건물에 의한 지상 풍속 감소의 영향을 받지 않고 수원시 외부로부터 유입되는 미세먼지(PM10) 농도의 영향을 받기 때문인 것으로 분석된다.
- [0095] 반면, 초미세먼지(PM2.5)의 농도는 도로 면적이 넓을수록(도로면적비가 클수록) 또한 건물이 차지하는 비율이 높을수록(건물부피비가 클수록) 농도가 높은 것으로 나타난다. 도로가 넓을수록 이동 오염원으로부터 직접 배출되는 초미세먼지(PM2.5)가 많고, 건물이 차지하는 비율이 높을수록 지상 풍속이 약해지면서 초미세먼지(PM2.5)의 농도가 높아질 수 있는데, 초미세먼지(PM2.5)의 농도는 이와 같이 해당 지역의 구조적 특성에 영향을 받기 때문인 것으로 분석된다.

- [0096] 다시 도 2를 참조하면, 미세먼지 영향 분석부(220)는 기상 상관계 분석부(216)와 도시구조 상관계 분석부(218)에서 분석된 분석 정보를 기초로 각 분석 대상 지역에 대해 해당 지역의 미세먼지 농도에 영향을 주는 영향 요인을 산출한다. 일 실시예에서, 미세먼지 영향 분석부(220)는 기상 상관계 분석부(216)에서 산출된 상관계수를 기초로 양 또는 음의 상관계수를 갖는 기상 인자 및 도시구조 상관계 분석부(218)에서 산출된 상관계수를 기초로 양 또는 음의 상관계수를 갖는 도시 구조 매개수를 이용하여 해당 지역의 미세먼지(PM2.5, PM10) 농도에 영향을 주는 영향 요인을 산출할 수 있다.
- [0097] 예를 들어, 특정 지역에 대해 풍속과 기온이 음의 상관계수를 갖고, 도로면적비가 양의 상관계수를 갖는 경우, 미세먼지 영향 분석부(220)는 해당 지역의 미세먼지(PM2.5, PM10) 농도를 악화하는 요인을 도로 면적으로 산출하고, 미세먼지(PM2.5, PM10) 농도를 줄이는 요인을 기온과 풍속으로 산출할 수 있다. 일 실시예에서, 미세먼지 영향 분석부(220)는 상관계수의 크기를 기초로 미세먼지(PM2.5, PM10) 농도에 영향을 주는 영향 요인의 영향 정도를 산출할 수 있다. 예를 들어, 미세먼지 영향 분석부(220)는 영향 요인의 상관계수의 크기가 제1 값 이상인 경우 영향 정도를 “상”, 제1 값 ~ 제2 값 사이인 경우 영향 정도를 “중”, 제2 값 이하인 경우 영향 정도를 “하”라고 산출할 수 있다.
- [0098] 디스플레이부(미도시)는 도시 지역의 지도를 화면에 디스플레이하고, 분석 대상 지역의 미세먼지 농도에 영향을 주는 영향 요인과 해당 영향 요인의 영향 정도를 화면에 디스플레이할 수 있다. 예를 들어, 디스플레이부(미도시)는 미세먼지 농도에 영향을 주는 영향 요인과 해당 영향 요인의 영향 정도를 지도의 해당 지역 위에 오버레이할 수 있다.
- [0099] 일 실시예에서, 도시 대기환경 분석 시스템(130)은 유사 지역 추정부(미도시)를 더 포함할 수 있다. 유사 지역 추정부(미도시)는 해당 도시 지역 내에서 상기 분석 대상 지역의 미세먼지(PM2.5, PM10) 농도에 영향을 주는 영향 요인의 값과 동일 또는 기 설정된 범위(제1 설정 범위)의 값을 갖는 지역을 검색할 수 있다. 유사 지역 추정부(미도시)는 분석 대상 지역 및 영향 요인의 값이 동일 또는 기 설정된 범위에 있는 것으로 검색된 지역을 연계하여 디스플레이부(미도시)에 디스플레이할 수 있다.
- [0100] 예를 들어, 유사 지역 추정부(미도시)는 수원시 내 기온과 풍속이 동일하다고 가정하는 경우, 수원시 내에서 제2 분석 대상 지역(예를 들어, 인계동 AQMS(131112))의 도시 구조 매개수(예를 들어, 도로면적비 및 건물부피비)와 동일한(또는, 기 설정된 오차 범위 내) 도시 구조 매개수를 갖는 다른 지역(수평 2 km×2 km 영역 및 해당 수평 영역과 연직 150 m 높이의 공간)을 검색하고, 제2 분석 대상 지역과 검색된 지역을 연계하여 디스플레이부(미도시)에 디스플레이할 수 있다. 즉, 유사 지역 추정부(미도시)는 해당 도시 내에서 제2 분석 대상 지역과 미세먼지 농도의 경향이 유사한 지역을 하나 이상 또는 전부 검색하여 디스플레이부(미도시)에 디스플레이할 수 있다. 다른 실시예에서, 유사 지역 추정부는 제1 설정 범위를 분석 대상 지역의 도시 구조 매개수 값에서부터 유사도 분석부(214)에서 분석 대상 지역의 미세먼지 농도와 시간적 유사도 또는 공간적 유사도(피어슨 상관계수 또는 발산계수)가 기 설정된 오차 범위 내인 지역의 도시 구조 매개수(예를 들어, 도로면적비 및 건물부피비) 값까지로 설정할 수도 있다.
- [0101] 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 도시 대기환경 분석 방법을 설명하는 흐름도이다.
- [0102] 도 13을 참조하면, 지리정보 수신부(208)는 도시의 적어도 하나 이상의 지역(분석 대상 지역)에 대한 건물 정보와 도로 정보를 수신하고(단계 S1310), 기상정보 수신부(206)는 해당 각 지역에 대한 기상 정보 및 미세먼지 정보를 수신한다(단계 S1320). 일 실시예에서, 도시 대기환경 분석 시스템은 사용자로부터 적어도 하나 이상의 지역을 분석 대상 지역으로 입력받을 수 있다. 도시 대기환경 분석 시스템은 지도에서 분석 대상 지역을 입력받을 수도 있고, 위도/경도 값을 입력 받을 수도 있고, 대기질 측정장치가 설치된 대기질 측정지역을 제공하고 해당 측정 지역 가운데 적어도 하나 이상의 지역을 입력받을 수도 있다.
- [0103] 기상 분석부(212)는 수신된 기상 정보 및 미세먼지 정보를 기초로 각 지역에 대해 기상 인자별 특성 및 미세먼지의 농도 특성을 각각 분석한다(단계 S1330). 기상 상관계 분석부(216)는 기상 분석부(212)에서 수신된 기상 인자별 특성 및 미세먼지의 농도 특성을 기초로 각 지역에 대해 기상 인자와 미세먼지 농도 사이의 상관계수를 각각 분석한다(단계 S1340).
- [0104] 도시구조 상관계 분석부(216)는 수신된 건물 정보와 도로 정보를 기초로 각 지역에 대해 일정 영역에 대한 도시 구조 매개수를 산출하고, 산출된 각 지역의 도시 구조 매개수와 해당 지역의 미세먼지 농도 사이의 상관계수를 분석한다(단계 S1350).
- [0105] 미세먼지 영향 분석부(220)는 기상 상관계 분석부(216)와 도시구조 상관계 분석부(218)에서 분석된 분석 정

보를 기초로 각 지역에 대해 해당 지역의 미세먼지 농도에 영향을 주는 영향 요인을 산출한다(단계 S1360).

[0106] 유사도 분석부(214)는 수신된 미세먼지 정보를 기초로 각 지역의 미세먼지 농도 사이의 시간적 유사도 및 공간적 유사도를 분석한다. 유사 지역 추정부(미도시)는 해당 도시 지역 내에서 분석된 지역의 미세먼지 농도에 영향을 주는 영향 요인의 값과 동일 또는 기 설정된 범위의 요인 값을 갖는 지역을 검색할 수 있다.

[0107] 기상 분석부(212), 유사도 분석부(214), 기상 상관관계 분석부(216), 도시구조 상관관계 분석부(218) 및 미세먼지 영향 분석부(220)의 분석 방법 및 동작은 도 2 내지 도 12에서 설명한 바와 같다.

[0108] 이상 본 발명의 실시예로 설명하였으나 본 발명의 기술적 사상이 상기 실시예로 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범주에서 다양한 도시 대기환경 분석 시스템 및 이를 이용한 도시 대기환경 분석 방법으로 구현할 수 있다.

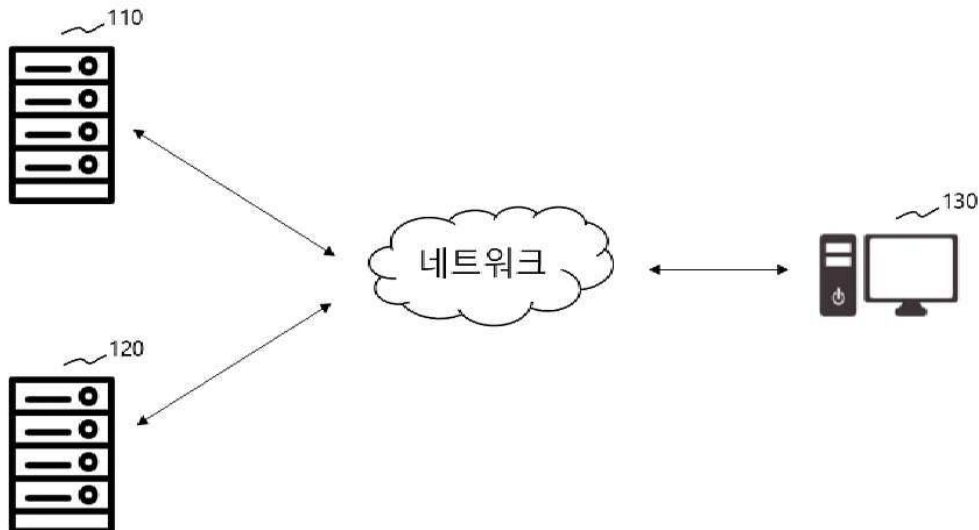
부호의 설명

[0109] 202 : 네트워크부 204 : 메모리
206 : 기상정보 수신부 208 : 지리정보 수신부
210 : 미세먼지 상관관계 분석부 212 : 기상 분석부
214 : 유사도 분석부 216 : 기상 상관관계 분석부
218 : 도시구조 상관관계 분석부 220 : 미세먼지 영향 분석부

도면

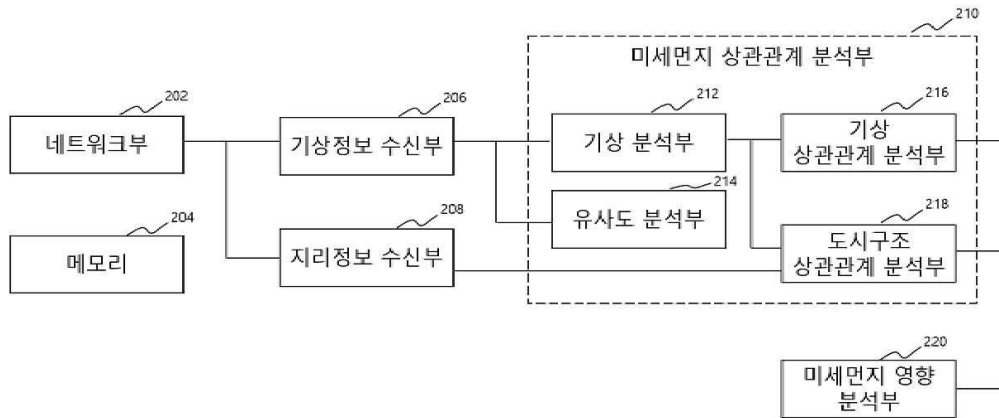
도면1

100



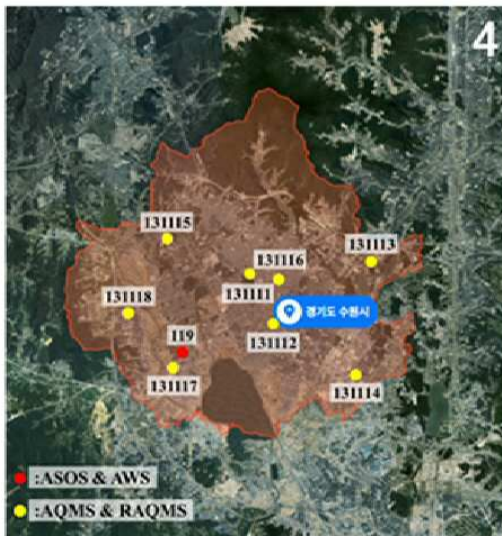
도면2

130



도면3

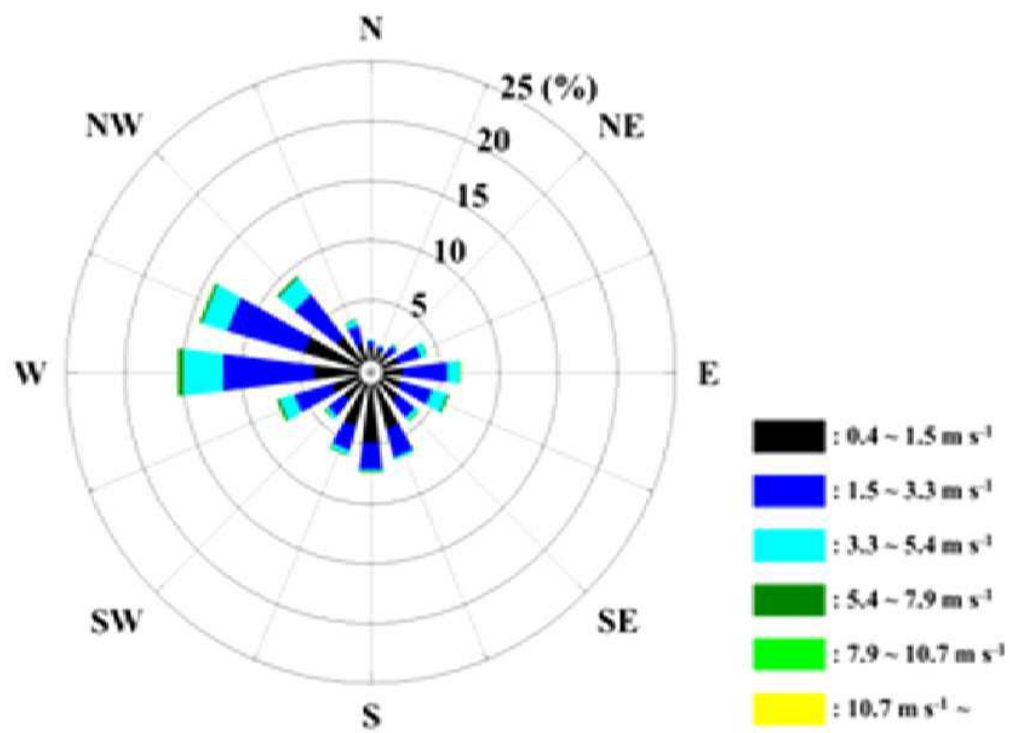
(a)



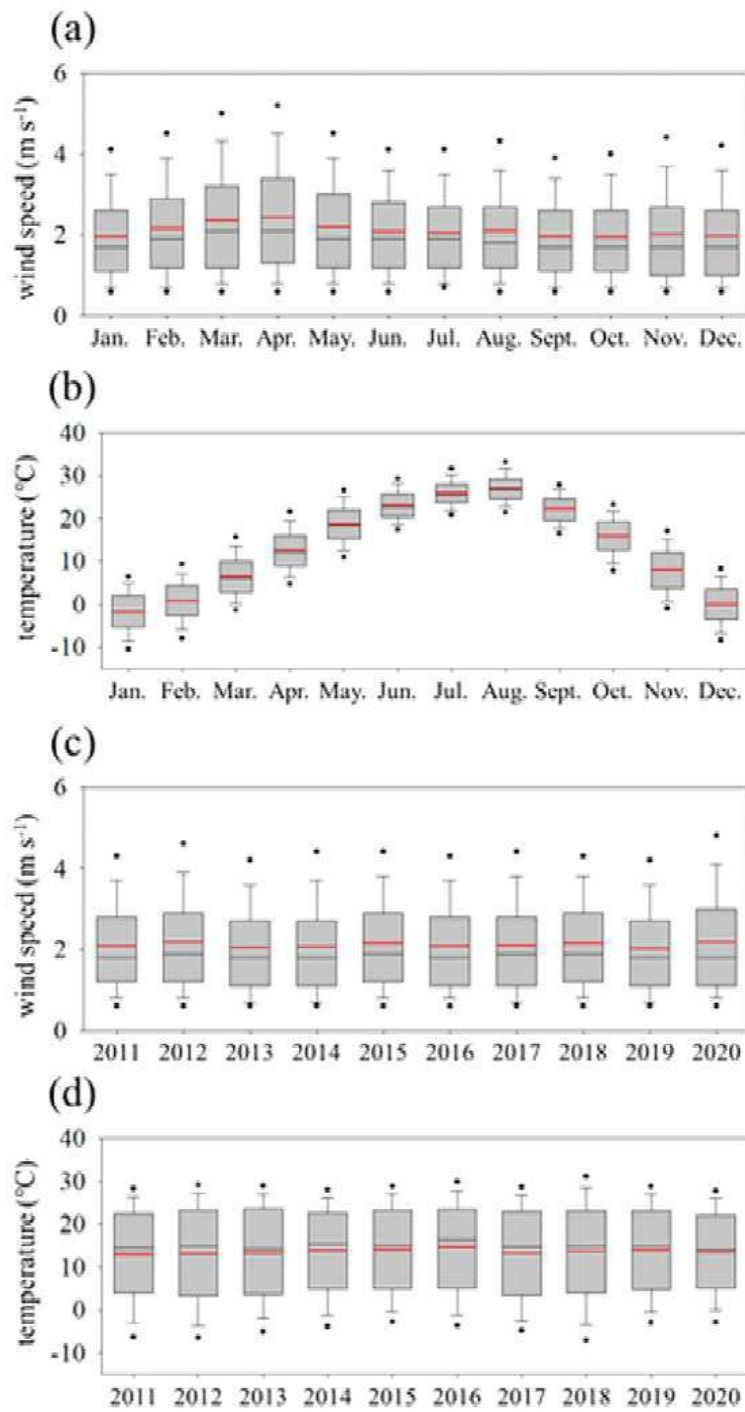
(b)



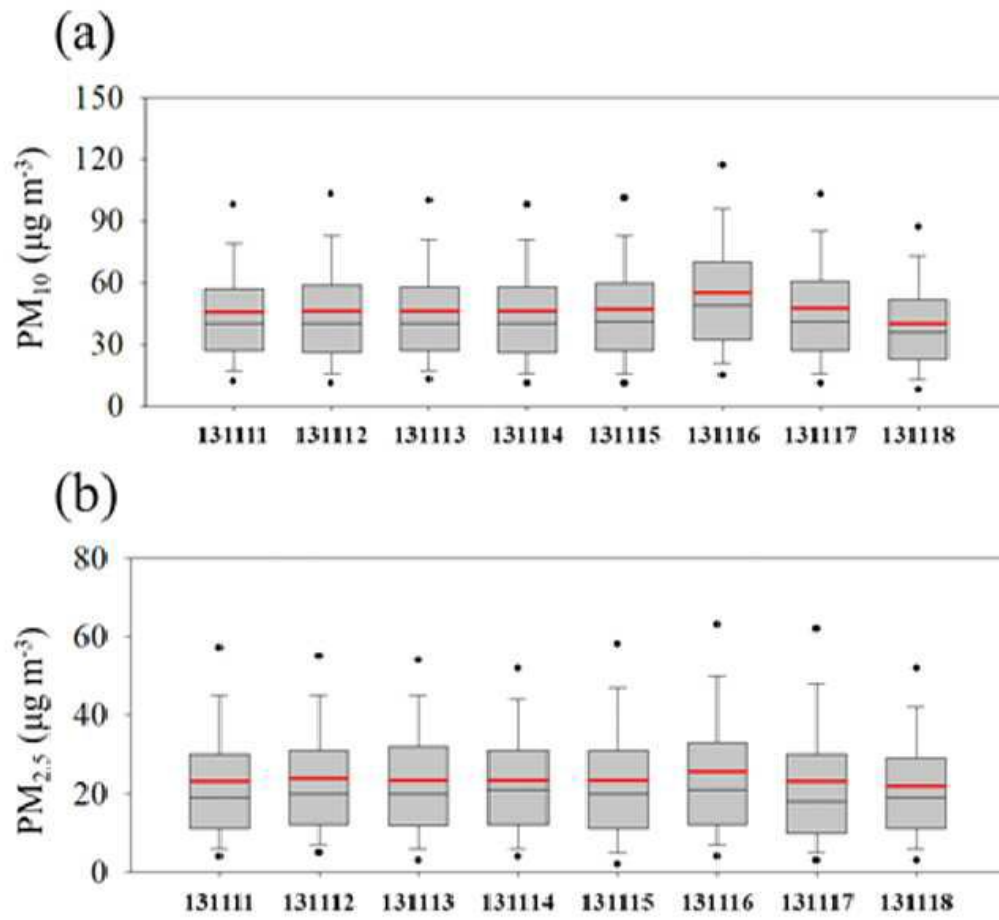
도면4



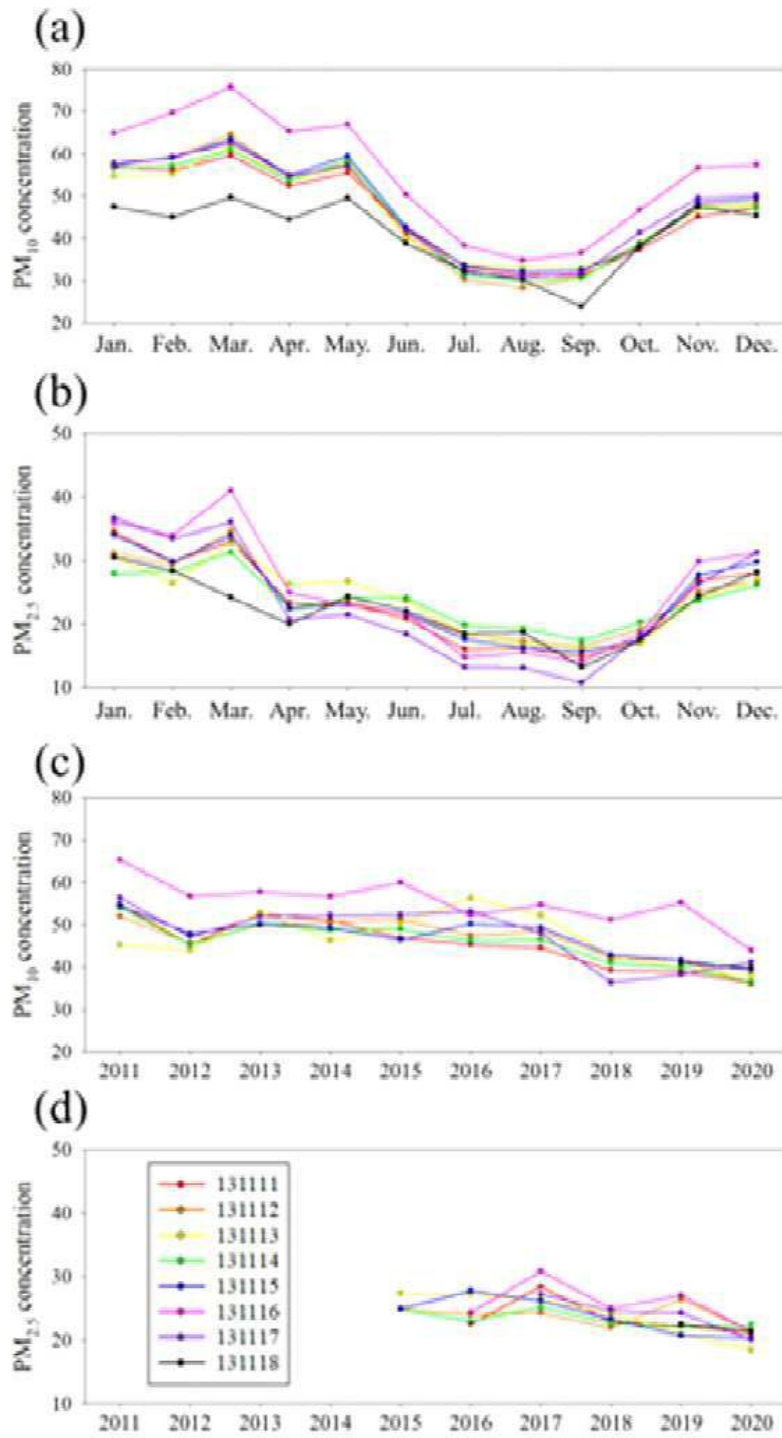
도면5



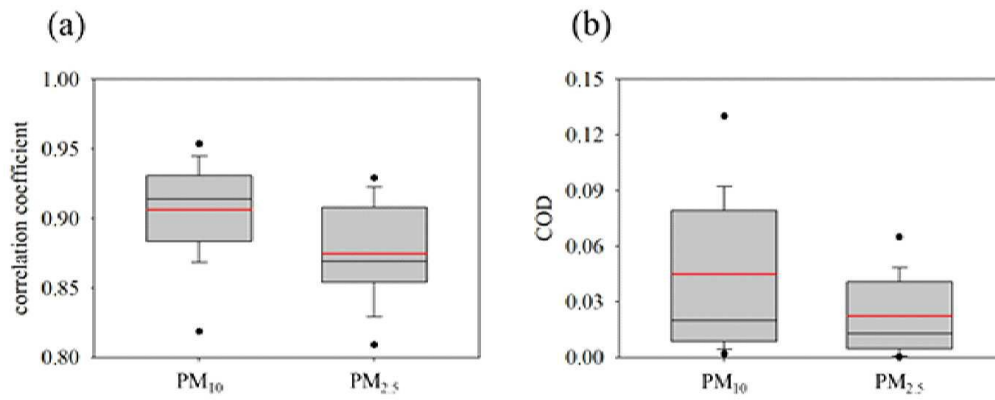
도면6



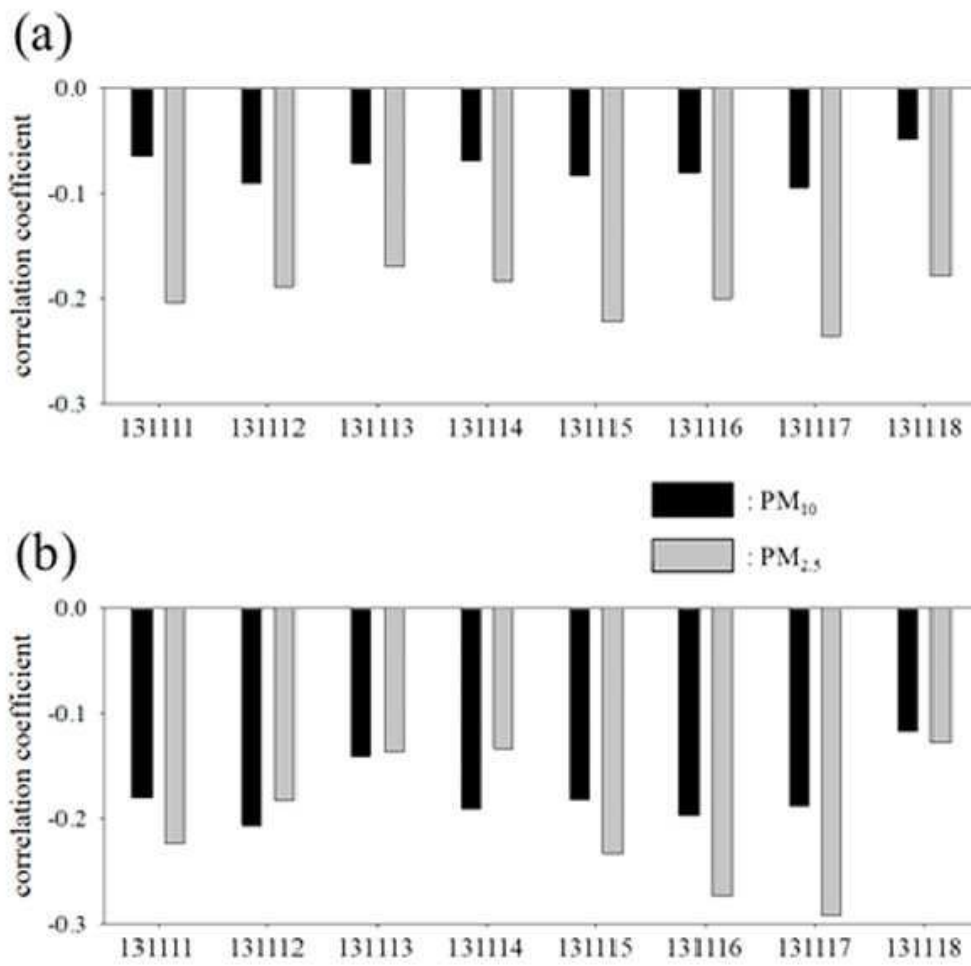
도면7



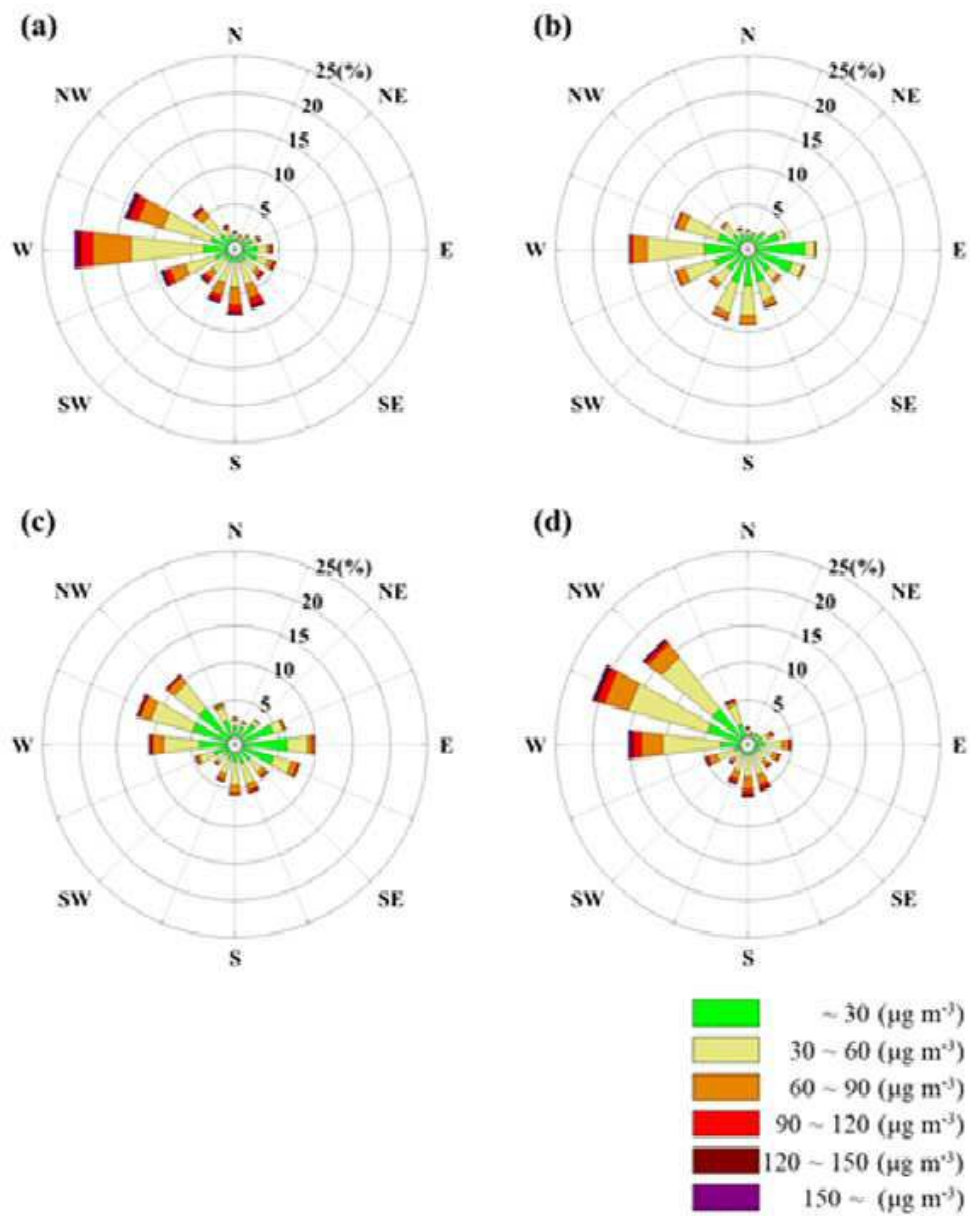
도면8



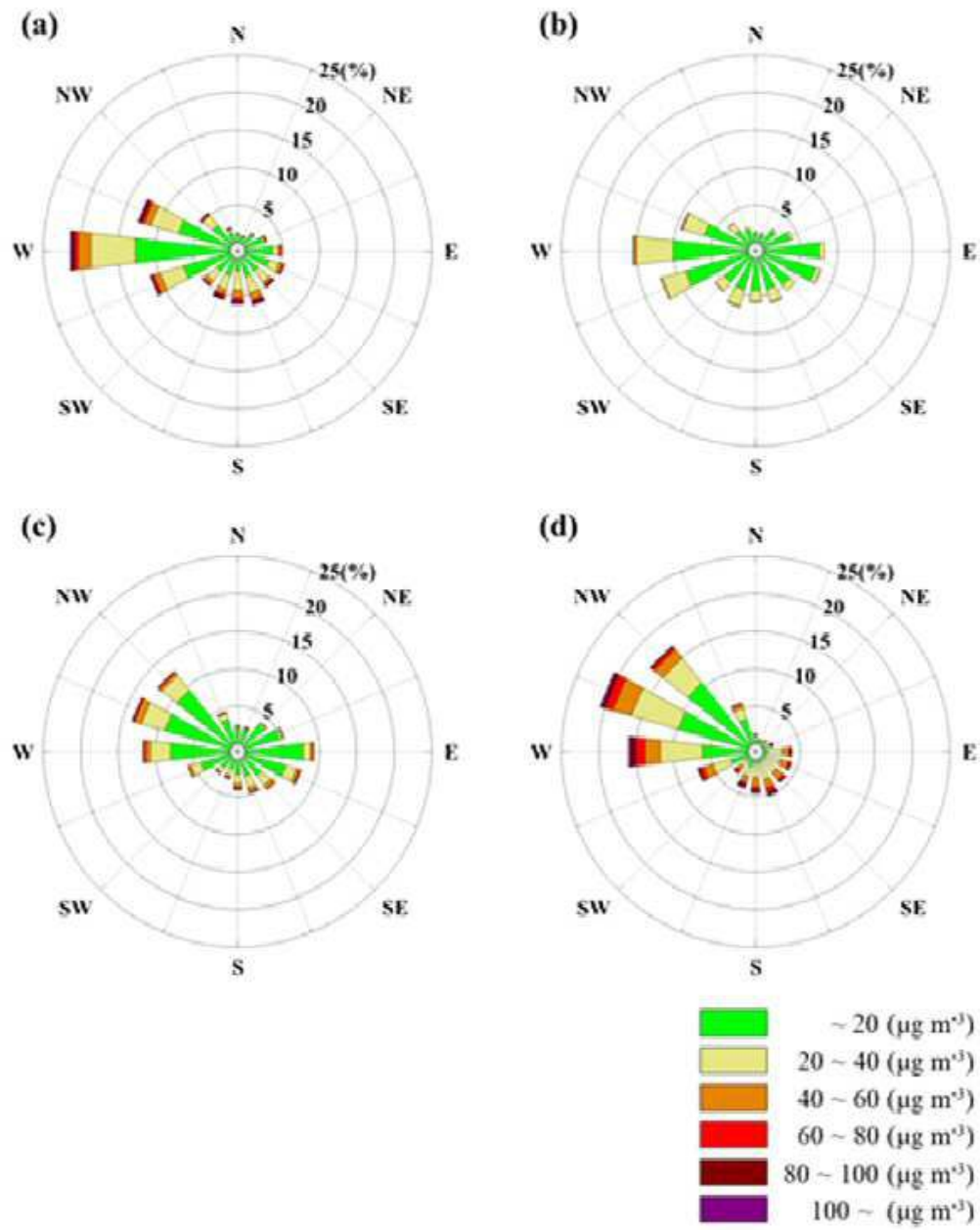
도면9



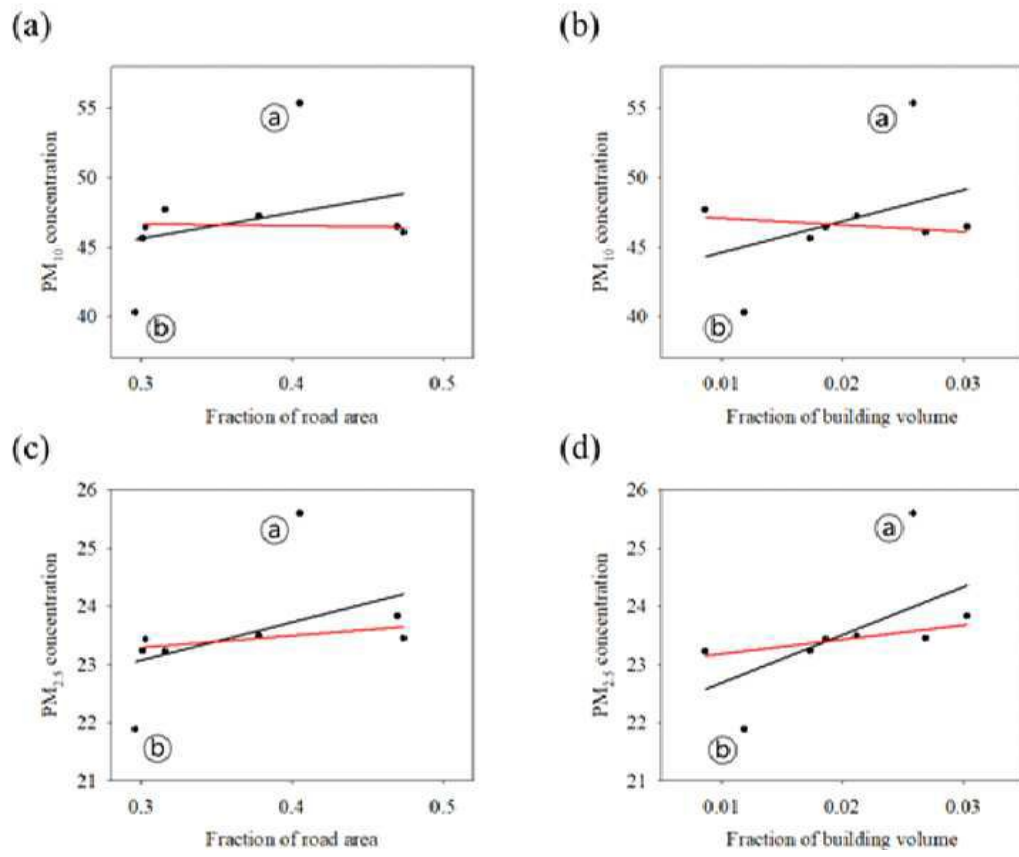
도면10



도면11



도면12



도면13

