

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2023-0140831
(43) 공개일자 2023년10월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06Q 50/26 (2012.01) B64C 39/02 (2023.01)
G01W 1/10 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G06Q 50/26 (2013.01)
B64C 39/024 (2023.01)
(21) 출원번호 10-2022-0039572
(22) 출원일자 2022년03월30일
심사청구일자 2022년03월30일

(71) 출원인
창원대학교 산학협력단
경상남도 창원시 의창구 창원대학교 20(퇴촌동)
(72) 발명자
송봉근
경상남도 창원시 의창구 창원대학교 20-1, 창원대
학교 85호관 606호(퇴촌동)
박경훈
경상남도 창원시 성산구 원이대로 774, 304동
1205호(상남동, 성원아파트)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
양성보

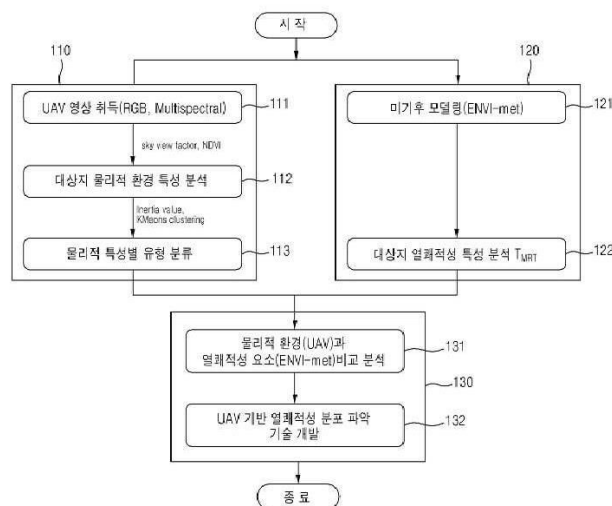
전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 발명의 명칭 무인항공기 기반 도시지역 물리적 공간 유형별 열환경 특성 분석 방법 및 장치

(57) 요약

무인항공기 기반 도시지역 물리적 공간 유형별 열환경 특성 분석 방법 및 장치가 제시된다. 본 발명에서 제안하는 무인항공기 기반 도시지역 물리적 공간 유형별 열환경 특성 분석 방법은 열환경 특성 분석을 위한 대상지에 대하여 무인항공기 기반 NDVI(Normalized Different Vegetation Index) 및 SVF(Sky View Factor) 특성에 따라 물리적 환경 유형을 분류하는 단계, 미기후 모델링(ENVI-met)을 활용하여 상기 대상지의 열 쾌적성 특성을 분석하는 단계 및 상기 분류된 물리적 환경 유형 및 상기 분석된 열 쾌적성 특성을 비교하여 무인항공기 기반 열 쾌적성 분포를 분석하는 단계를 포함한다.

대표도



(52) CPC특허분류

G01W 1/10 (2013.01)

G06T 17/05 (2013.01)

B64U 2101/30 (2023.01)

G06T 2207/10036 (2013.01)

(72) 발명자

변지혜

부산광역시 해운대구 해운대로76번길 55, 108동
2101호(재송동, 센텀이편한세상아파트)

김성현

경상남도 양산시 회현1길 4, 302호(교동, 창조아파트)

박건웅

경상남도 창원시 진해구 냉천로 257, 417동 1405
호(자은동, 자은프라임)

이수아

경상남도 창원시 마산회원구 양덕서5길 15, 101동
1703호(양덕동, 양덕 코오롱하늘채)

이호인

부산광역시 사하구 하신번영로 400, 111동 1802호
(하단동, 하단동에스케이뷰아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1345345159

과제번호 2020-0114

부처명 교육부

과제관리(전문)기관명 한국연구재단

연구사업명 학문균형(창의·도전연구)

연구과제명 드론 영상 기반 도시 옥외 공간의 열 쾌적성 분석 기술 개발

기 여 율 1/1

과제수행기관명 창원대학교

연구기간 2019.06.01 ~ 2022.05.31

명세서

청구범위

청구항 1

열환경 특성 분석을 위한 대상지에 대하여 무인항공기 기반 NDVI(Normalized Different Vegetation Index) 및 SVF(Sky View Factor) 특성에 따라 물리적 환경 유형을 분류하는 단계;

미기후 모델링(ENVI-met)을 활용하여 상기 대상지의 열 쾌적성 특성을 분석하는 단계; 및

상기 분류된 물리적 환경 유형 및 상기 분석된 열 쾌적성 특성을 비교하여 무인항공기 기반 열 쾌적성 분포를 분석하는 단계

를 포함하는 열환경 특성 분석 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 열환경 특성 분석을 위한 대상지에 대하여 무인항공기 기반 NDVI(Normalized Different Vegetation Index) 및 SVF(Sky View Factor) 특성에 따라 물리적 환경 유형을 분류하는 단계는,

물리적 환경 유형을 분류하기 위해 무인항공기를 통해 다중분광영상과 광학영상을 촬영하여 무인항공기 영상을 수집하는

열환경 특성 분석 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 수집된 무인항공기 영상의 RGB 및 다중분광영상은 S/W를 이용하여 정사영상으로 제작하고, SVF 분석을 위해 광학영상을 활용하여 DSM(Digital Surface Model)을 제작하는

열환경 특성 분석 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 열환경 특성 분석을 위한 대상지에 대하여 무인항공기 기반 NDVI(Normalized Different Vegetation Index) 및 SVF(Sky View Factor) 특성에 따라 물리적 환경 유형을 분류하는 단계는,

상기 제작된 무인항공기 영상에 기초하여 NDVI 및 SVF 특성을 산출하며, 상기 NDVI 및 SVF 특성에 따라 토지이용 및 피복 유형과 건물 및 수목이 밀집된 정도를 대상지의 물리적 환경 유형 분류 인자로 활용하는

열환경 특성 분석 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 NDVI는 단위가 없는 복사값으로서 근적외 및 적색 밴드 영역에서의 반사값을 통해 산출되고,

상기 SVF는 지표면 관측 지점에서 하늘이 보이는 면적의 비율을 분석하여 건물이 밀집된 정도 등을 나타내는 지표로서 도시 형태학 데이터를 필요로 하고, 무인항공기 고해상도 RGB 영상 기반 DSM을 활용하여 지형 분석(Terrain analysis) 기능을 통해 산출되며,

물리적 환경 유형 분류에는 파이썬(python) 기반 이너시아(Inertia) 분석을 통해 물리적 환경 유형 군집 수를 도출한 후 K-means clustering을 수행하여 물리적 환경 유형을 분류하는

열환경 특성 분석 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 미기후 모델링(ENVI-met)을 활용하여 상기 대상지의 열 쾌적성 특성을 분석하는 단계는,

미기후 모델링(ENVI-met)을 활용한 시뮬레이션 결과 중 인체의 열적 감각에 영향을 미치는 복사에너지의 측정 및 표현을 위한 열 쾌적성(T_{MRT}) 자료를 추출하고, 래스터(raster) 데이터로 변환하여 대상지 열 쾌적성 특성을 분석하는

열환경 특성 분석 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 미기후 모델링(ENVI-met)을 활용하여 상기 대상지의 열 쾌적성 특성을 분석하는 단계는,

상기 미기후 모델링 시뮬레이션에서 물리적 환경 요인에 대한 입력 파일(.IN)은 무인항공기의 RGB 광학 영상 및 현장조사를 통해 건물 형태, 높이, 식생 수고 및 종, 피복 재질을 입력하여 구축하고, 시뮬레이션 조건 파일(.CF)은 좌표와 격자 크기, 초기 풍속 및 풍향, 기온을 설정하여 구축하는

열환경 특성 분석 방법.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 분류된 물리적 환경 유형 및 상기 분석된 열 쾌적성 특성을 비교하여 무인항공기 기반 열 쾌적성 분포를 분석하는 단계는,

미기후 모델링(ENVI-met)을 활용한 시뮬레이션에서 추출된 열 쾌적성(T_{MRT})를 이용하여 모델링값과 예측값의 오차에 대한 분포도를 제작하고, 물리적 환경 유형과 시간대별 열 쾌적성(T_{MRT}), NDVI 및 SVF에 따른 시간대별 시간대별 열 쾌적성(T_{MRT}) 분포를 분석하는

열환경 특성 분석 방법.

청구항 9

열환경 특성 분석을 위한 대상지에 대하여 무인항공기 기반 NDVI(Normalized Different Vegetation Index) 및 SVF(Sky View Factor) 특성에 따라 물리적 환경 유형을 분류하는 물리적 환경 유형 분류부;

미기후 모델링(ENVI-met)을 활용하여 상기 대상지의 열 쾌적성 특성을 분석하는 열 쾌적성 특성 분석부; 및

상기 분류된 물리적 환경 유형 및 상기 분석된 열 쾌적성 특성을 비교하여 무인항공기 기반 열 쾌적성 분포를 분석하는 열 쾌적성 분포 분석부

를 포함하는 열환경 특성 분석 장치.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 물리적 환경 유형 분류부는,

물리적 환경 유형을 분류하기 위해 무인항공기를 통해 다중분광영상과 광학영상을 촬영하여 무인항공기 영상을 수집하는

열환경 특성 분석 장치.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 물리적 환경 유형 분류부는,

상기 수집된 무인항공기 영상의 RGB 및 다중분광영상은 S/W를 이용하여 정사영상으로 제작하고, SVF 분석을 위해 광학영상을 활용하여 DSM(Digital Surface Model)을 제작하는

열환경 특성 분석 장치.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 물리적 환경 유형 분류부는,

상기 제작된 무인항공기 영상에 기초하여 NDVI 및 SVF 특성을 산출하며, 상기 NDVI 및 SVF 특성에 따라 토지이용 및 피복 유형과 건물 및 수목이 밀집된 정도를 대상지의 물리적 환경 유형 분류 인자로 활용하는

열환경 특성 분석 장치.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 NDVI는 단위가 없는 복사값으로서 근적외 및 적색 밴드 영역에서의 반사값을 통해 산출되고,

상기 SVF는 지표면 관측 지점에서 하늘이 보이는 면적의 비율을 분석하여 건물이 밀집된 정도 등을 나타내는 지표로서 도시 형태학 데이터를 필요로 하고, 무인항공기 고해상도 RGB 영상 기반 DSM을 활용하여 지형 분석(Terrain analysis) 기능을 통해 산출되며,

물리적 환경 유형 분류에는 파이썬(python) 기반 이너시아(Inertia) 분석을 통해 물리적 환경 유형 군집 수를 도출한 후 K-means clustering을 수행하여 물리적 환경 유형을 분류하는

열환경 특성 분석 장치.

청구항 14

제9항에 있어서,

상기 열 쾌적성 특성 분석부는,

미기후 모델링(ENVI-met)을 활용한 시뮬레이션 결과 중 인체의 열적 감각에 영향을 미치는 복사에너지의 측정 및 표현을 위한 열 쾌적성(T_{MRT}) 자료를 추출하고, 래스터(raster) 데이터로 변환하여 대상지 열 쾌적성 특성을 분석하는

열환경 특성 분석 장치.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 열 쾌적성 특성 분석부는,

상기 미기후 모델링 시뮬레이션에서 물리적 환경 요인에 대한 입력 파일(.IN)은 무인항공기의 RGB 광학 영상 및 현장조사를 통해 건물 형태, 높이, 식생 수고 및 종, 피복 재질을 입력하여 구축하고, 시뮬레이션 조건 파일(.CF)은 좌표와 격자 크기, 초기 풍속 및 풍향, 기온을 설정하여 구축하는

열환경 특성 분석 장치.

청구항 16

제14항에 있어서,

상기 분석하는 열 쾌적성 분포 분석부는,

미기후 모델링(ENVI-met)을 활용한 시뮬레이션에서 추출된 열 쾌적성(T_{MRT})를 이용하여 모델링값과 예측값의 오차에 대한 분포도를 제작하고, 물리적 환경 유형과 시간대별 열 쾌적성(T_{MRT}), NDVI 및 SVF에 따른 시간대별 시간대별 열 쾌적성(T_{MRT}) 분포를 분석하는

열환경 특성 분석 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 무인항공기 기반 도시지역 물리적 공간 유형별 열환경 특성 분석 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 매년 여름철 반복되고 있는 폭염, 도시열섬 등 도시기후변화 문제의 발생 원인으로 도시의 인공피복재질 증가 등의 물리적 환경변화가 중요한 원인으로 작용하고 있다.

[0003] 도시 열환경 문제의 원인을 규명하고, 지속적인 개선대책을 마련하기 위해서는 정밀하고, 다양한 도시공간의 물리적 환경 요인이 고려된 열환경 특성을 파악하는 것이 필요하다.

[0004] 도시지역의 물리적 환경 고려 열환경 특성 파악에는 현장측정, 위성영상 기반 원격탐사, 미기후 모델링 등이 활용되고 있으나, 위성영상을 활용할 경우, 대부분 중, 저해상도로 도시지역의 정밀한 물리적 환경 요인에 따른 열환경 특성 분석에 한계가 있다.

[0005] 기후 모델링 활용 시 실제 공간과 유사하게 구현한 입력자료 구축에 한계가 있어 정확한 열환경 예측에 한계가 있으며, 현장측정은 광범위한 도시지역의 열환경 분석에는 한계가 있다.

[0006] 최근 무인항공기 및 센서 기술이 발달하면서 도시지역의 정밀한 물리적 공간요인을 파악하는데 유용하게 활용되고 있다.

[0007] 이러한 측면에서 도시 열환경 분야에서도 고해상도 무인항공기 영상을 기반으로 한 연구가 다수 이루어지고 있으나 무인항공기 기반의 정밀한 물리적 공간을 고려하여 도시지역의 열환경 특성을 파악한 연구는 부족하다. 특히, 사람이 실제 옥외공간에서 느끼는 열 쾌적성에 대한 특성을 파악한 연구는 부재한 실정이다.

[0008] 따라서, 고해상도 무인항공기 영상자료를 활용한 물리적 공간 특성 파악과 기후 모델링을 활용한 열 쾌적성 분석을 실시하여 물리적 공간 유형에 따른 열 쾌적성 분포 파악 기술 개발이 필요하다.

선행기술문헌

비특허문헌

[0009] (비특허문헌 0001) An, S.M., Son, H.G., Lee, K.S. and Yi, C.Y. 2016. A study of the urban tree canopy mean radiant temperature mitigation estimation. Journal of KILA 44(1):93- 106 (안승만, 손학기, 이규석, 이채연. 2016. 도시림의 여름철 평균복사온도 저감 추정 연구. 한국조경학회지 44(1):93-106).

(비특허문헌 0002) Song, B.G. and Park, K.H. 2019. A study on the relationship between land cover type and urban temperature - focused on Gimhae city -. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 22(2):65-81 (송봉근, 박경훈. 2019. 토지피복유형 특성과 도시 온도의 관계 분석 - 김해시를 대상으로 -. 한국지리정보학회지 22(2): 65-81).

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 고해상도 무인항공기 영상자료를 활용한 물리적 공간 특성 파악과 미기후 모델링을 활용한 열 쾌적성 분석을 실시하여 물리적 공간 유형에 따른 열 쾌적성 분포를 파악하기 위한 방법 및 장치를 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

- [0011] 일 측면에 있어서, 본 발명에서 제안하는 무인항공기 기반 도시지역 물리적 공간 유형별 열환경 특성 분석 방법은 열환경 특성 분석을 위한 대상지에 대하여 무인항공기 기반 NDVI(Normalized Different Vegetation Index) 및 SVF(Sky View Factor) 특성에 따라 물리적 환경 유형을 분류하는 단계, 미기후 모델링(ENVI-met)을 활용하여 상기 대상지의 열 쾌적성 특성을 분석하는 단계 및 상기 분류된 물리적 환경 유형 및 상기 분석된 열 쾌적성 특성을 비교하여 무인항공기 기반 열 쾌적성 분포를 분석하는 단계를 포함한다.
- [0012] 본 발명의 실시예에 따른 열환경 특성 분석을 위한 대상지에 대하여 무인항공기 기반 NDVI(Normalized Different Vegetation Index) 및 SVF(Sky View Factor) 특성에 따라 물리적 환경 유형을 분류하는 단계는 물리적 환경 유형을 분류하기 위해 무인항공기를 통해 다중분광영상과 광학영상을 촬영하여 무인항공기 영상을 수집한다.
- [0013] 본 발명의 실시예에 따른 수집된 무인항공기 영상의 RGB 및 다중분광영상은 영상접합 S/W를 이용하여 정사영상으로 제작하고, SVF 분석을 위해 광학영상을 활용하여 DSM(Digital Surface Model)을 제작한다.
- [0014] 본 발명의 실시예에 따른 열환경 특성 분석을 위한 대상지에 대하여 무인항공기 기반 NDVI(Normalized Different Vegetation Index) 및 SVF(Sky View Factor) 특성에 따라 물리적 환경 유형을 분류하는 단계는 상기 제작된 무인항공기 영상에 기초하여 NDVI 및 SVF 특성을 산출하며, 상기 NDVI 및 SVF 특성에 따라 토지이용 및 피복 유형과 건물 및 수목이 밀집된 정도를 대상지의 물리적 환경 유형 분류 인자로 활용한다.
- [0015] 본 발명의 실시예에 따른 NDVI는 단위가 없는 복사값으로서 근적외 및 적색 밴드 영역에서의 반사값을 통해 산출되고, 상기 SVF는 지표면 관측 지점에서 하늘이 보이는 면적의 비율을 분석하여 건물이 밀집된 정도 등을 나타내는 지표로서 도시 형태학 데이터를 필요로 하고, 무인항공기 고해상도 RGB 영상 기반 DSM을 활용하여 지형 분석(Terrain analysis) 기능을 통해 산출되며, 물리적 환경 유형 분류에는 파이썬(python) 기반 이너시아(Inertia) 분석을 통해 물리적 환경 유형 군집 수를 도출한 후 K-means clustering을 수행하여 물리적 환경 유형을 분류한다.
- [0016] 본 발명의 실시예에 따른 미기후 모델링(ENVI-met)을 활용하여 상기 대상지의 열 쾌적성 특성을 분석하는 단계는 미기후 모델링(ENVI-met)을 활용한 시뮬레이션 결과 중 인체의 열적 감각에 영향을 미치는 복사에너지의 측정 및 표현을 위한 열 쾌적성 인자 T_{MRT} 자료를 추출하고, 래스터(raster) 데이터로 변환하여 대상지 열 쾌적성 특성을 분석한다.
- [0017] 본 발명의 실시예에 따른 미기후 모델링(ENVI-met)을 활용하여 상기 대상지의 열 쾌적성 특성을 분석하는 단계는 상기 미기후 모델링 시뮬레이션에서 물리적 환경 요인에 대한 입력 파일(.IN)은 무인항공기의 RGB 광학 영상 및 현장조사를 통해 건물 형태, 높이, 식생 수고 및 종, 피복 재질을 입력하여 구축하고, 시뮬레이션 조건 파일(.CF)은 좌표와 격자 크기, 초기 풍속 및 풍향, 기온, 시뮬레이션 시간을 설정하여 구축한다.
- [0018] 본 발명의 실시예에 따른 분류된 물리적 환경 유형 및 상기 분석된 열 쾌적성 특성을 비교하여 무인항공기 기반 열 쾌적성 분포를 분석하는 단계는 미기후 모델링(ENVI-met)을 활용한 시뮬레이션에서 추출된 열 쾌적성(T_{MRT})를 이용하여 모델링값과 예측값의 오차에 대한 분포도를 제작하고, 물리적 환경 유형과 시간대별 열 쾌적성(T_{MRT}), NDVI 및 SVF에 따른 시간대별 시간대별 열 쾌적성 (T_{MRT}) 분포를 분석한다.
- [0019] 또 다른 일 측면에 있어서, 본 발명에서 제안하는 무인항공기 기반 도시지역 물리적 공간 유형별 열환경 특성 분석 장치는 열환경 특성 분석을 위한 대상지에 대하여 무인항공기 기반 NDVI(Normalized Different Vegetation Index) 및 SVF(Sky View Factor) 특성에 따라 물리적 환경 유형을 분류하는 물리적 환경 유형 분류부, 미기후 모델링(ENVI-met)을 활용하여 상기 대상지의 열 쾌적성 특성을 분석하는 열 쾌적성 특성 분석부 및 상기 분류된 물리적 환경 유형 및 상기 분석된 열 쾌적성 특성을 비교하여 무인항공기 기반 열 쾌적성 분포를 분석하는 열 쾌적성 분포 분석부를 포함한다.

발명의 효과

- [0020] 본 발명의 실시예들에 따른 무인항공기 기반 도시지역 물리적 공간 유형별 열환경 특성 분석 방법 및 장치를 통해 도시지역의 인구 유동이 많은 광장, 공원 등 개활지역에 대해 열 쾌적성을 고려한 계획 수립이 가능하고, 매년 여름철 반복되는 폭염, 열대야 현상에 대해 신속하고 정확한 원인 규명에 활용 가능하며 국가재난 및 안전관

리 시 중요한 기초자료로 활용 가능하다.

도면의 간단한 설명

[0021]

도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 무인항공기 기반 도시지역 물리적 공간 유형별 열환경 특성 분석 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 무인항공기 기반 도시지역 물리적 공간 유형별 열환경 특성 분석 장치의 구성을 나타내는 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 물리적 공간 유형별 열환경 특성 분석을 위한 대상지를 나타내는 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 ENVI-met 모델링의 IN 파일을 나타내는 도면이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 UAV 영상을 활용한 물리적 요인 파악을 위해 NDVI와 SVF를 제작한 결과를 나타내는 도면이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 파이썬(python) 기반 이너시아(inertia)를 분석한 결과를 나타내는 그래프이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 K-평균 클러스터 분석 결과를 나타내는 도면이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 클러스터 유형별 NDVI 및 SVF의 박스 플롯을 나타내는 도면이다.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 클러스터 유형별 단면 모식도를 나타내는 도면이다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 NVI-met 활용 연구대상지 공원 내 T_{MRT} 모델링 결과를 나타내는 도면이다.

도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 물리적 공간 유형과 시간대별 T_{MRT} 특성 분석 결과를 나타내는 도면이다.

도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 물리적 공간요인인 NDVI와 SVF에 따른 시간대별 T_{MRT} 분포를 분석한 결과를 나타내는 도면이다.

도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 커널밀도에서 밀집도가 낮은 지점의 위치를 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0022]

도시화에 따른 시가화지역의 면적 증가는 기존 산림 및 초지 등 자연적 공간을 아스팔트와 콘크리트 등 인공적인 피복재질로 변화시켰다. 이로 인해 도시지역의 여름철 기온은 교외 지역보다 2℃ 이상 높은 도시열섬현상이 빈번하게 발생하고 있으며, 도시지역에 거주하는 시민들은 폭염 및 열대야 등 다양한 도시 열환경 문제에 노출되고 있는 실정이다. 개발밀도가 높은 대도시에서는 도시열섬 및 열환경 문제를 지속적으로 개선하기 위해 도시 열환경 문제가 발생하는 원인을 규명하고 이를 통해 정책과 제도적인 기반을 마련하는 등 다양한 방안을 시도하고 있다.

[0023]

현재까지 국내외적으로 도시 열환경 문제 원인 규명 및 완화 대책 수립을 위한 다양한 연구가 이루어지고 있다. 선행연구들을 살펴보면, 도시 물리적 환경요소와 기후환경과의 상호 관련성에 관한 연구, 도시기후 형성 요소를 고려한 공간 유형 분류, 기후 모델링 활용 도시 열 쾌적성 개선 연구 등 현장측정, 위성영상 기반 원격탐사, 미기후 모델링 등 다양한 분석 도구를 활용한 연구가 진행되고 있다. 그러나, 도시 열환경 문제의 원인을 규명하고, 지속적인 개선대책을 마련하기 위해서는 정밀하고, 다양한 도시공간의 물리적 환경 요인이 고려된 열환경 특성을 파악하는 것이 필요하지만 선행연구에서는 이러한 부분에서 한계점이 있다. 위성영상을 활용한 연구의 경우, 대부분 중저해상도로 도시지역의 정밀한 물리적 환경 요인에 따른 열환경 특성 분석에 한계가 있다. 다음으로 기후 모델링을 활용한 연구는 실제 공간과 유사하게 구현한 입력자료 구축에 한계가 있어 정확한 열환경 예측에 한계가 있으며, 대상영역 및 모델링 시간이 늘어날수록 열 쾌적성 예측에 과도한 시간이 소요된다는 단점이 있다. 또한, 현장측정 기반 연구의 경우 정밀한 물리적 환경은 고려할 수 있지만 측정지점 주변에 국한되어 열환경 분석이 가능하기 때문에 광범위한 도시지역의 열환경 분석에는 한계가 있다.

[0024]

한편, 최근 UAV(Unmanned Aerial Vehicle) 및 센서 기술이 발달하면서 도시지역의 정밀한 물리적 환경 요인(도시 말해, 공간 요인)을 파악하는데 유용하게 활용되고 있다. 이는 기존 중저해상도인 위성영상 활용의 한계점을 개선할 수 있으며, UAV는 시간 및 지역에 대한 제약을 극복할 수 있어 조사자가 원하는 시간과 대상지에 대해 손쉽게 정보를 취득할 수 있는 장점이 있다. 이러한 장점을 활용하여 방재, 측량, 방송 등 다양한 분야에 적용

되고 있으며, 도시 열환경 분야에서도 고해상도 UAV 영상을 기반으로 한 연구가 다수 이루어지고 있다. 하지만 UAV 기반의 정밀한 물리적 공간을 고려하여 도시지역의 열환경 특성을 파악한 기술은 부족한 상태이며, 특히 사람이 실제 옥외공간에서 느끼는 열 쾌적성에 대한 특성을 파악한 기술은 부재하다. 도시 열환경을 개선하기 위해서는 도시의 물리적 공간요인에 따라 실제 사람이 느끼는 열 쾌적성에 대한 정밀한 규명이 중요하며, 이를 통해 도시 공간계획 방안 마련이 필요하다.

- [0025] 따라서, 본 발명의 실시예에서는 경상남도 창원시를 대상으로 고해상도 UAV 영상자료를 활용한 물리적 공간요인 및 유형 분류와 기후 모델링을 활용한 열 쾌적성 분석을 실시하여 물리적 공간 유형에 따른 열 쾌적성 특성을 도출하였고, 도시 열 쾌적성 개선을 위한 방안을 제안하였다. 이하, 본 발명의 실시 예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.
- [0027] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 무인항공기 기반 도시지역 물리적 공간 유형별 열환경 특성 분석 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.
- [0028] 본 발명에서 제안하는 무인항공기 기반 도시지역 물리적 공간 유형별 열환경 특성 분석 방법은 열환경 특성 분석을 위한 대상지에 대하여 무인항공기 기반 NDVI(Normalized Different Vegetation Index) 및 SVF(Sky View Factor) 특성에 따라 물리적 환경 유형을 분류하는 단계(110), 미기후 모델링(ENVI-met)을 활용하여 상기 대상지의 열 쾌적성 특성을 분석하는 단계(120) 및 상기 분류된 물리적 환경 유형 및 상기 분석된 열 쾌적성 특성을 비교하여 무인항공기 기반 열 쾌적성 분포를 분석하는 단계(130)를 포함한다.
- [0029] 단계(110)에서, 열환경 특성 분석을 위한 대상지에 대하여 무인항공기 기반 NDVI(Normalized Different Vegetation Index) 및 SVF(Sky View Factor) 특성에 따라 물리적 환경 유형을 분류한다.
- [0030] 먼저, 무인항공기 영상(RGB, 다중 스펙트럼(Multispectral) 등)을 취득하고(111), 이때, 물리적 환경 유형을 분류하기 위해 무인항공기를 통해 다중분광영상과 광학영상을 촬영하여 무인항공기 영상을 수집한다.
- [0031] 본 발명의 실시예에 따른 수집된 무인항공기 영상의 RGB 및 다중분광영상은 영상접합 S/W를 이용하여 정사영상으로 제작하고, SVF 분석을 위해 광학영상을 활용하여 DSM(Digital Surface Model)을 제작한다.
- [0032] 다음으로, 대상지에 대한 물리적 환경 특성 분석을 수행하고(112), 이후 물리적 특성별 유형 분류를 수행한다(113).
- [0033] 본 발명의 실시예에 따른 열환경 특성 분석을 위한 대상지에 대하여 무인항공기 기반 NDVI(Normalized Different Vegetation Index) 및 SVF(Sky View Factor) 특성에 따라 물리적 환경 유형을 분류하는 단계(110)에서는 상기 제작된 무인항공기 영상에 기초하여 NDVI 및 SVF 특성을 산출하며, 상기 NDVI 및 SVF 특성에 따라 토지이용 및 피복 유형과 건물 및 수목이 밀집된 정도를 대상지의 물리적 환경 유형 분류 인자로 활용한다.
- [0034] 본 발명의 실시예에 따른 NDVI는 단위가 없는 복사값으로서 근적외 및 적색 밴드 영역에서의 반사값을 통해 산출되고, 상기 SVF는 지표면 관측 지점에서 하늘이 보이는 면적의 비율을 분석하여 건물이 밀집된 정도 등을 나타내는 지표로서 도시 형태학 데이터를 필요로 하고, 무인항공기 고해상도 RGB 영상 기반 DSM을 활용하여 지형 분석(Terrain analysis) 기능을 통해 산출되며, 물리적 환경 유형 분류에는 파이썬(python) 기반 이너시아(Inertia) 분석을 통해 물리적 환경 유형 군집 수를 도출한 후 K-means clustering을 수행하여 물리적 환경 유형을 분류한다.
- [0035] 단계(120)에서, 미기후 모델링(ENVI-met)을 활용하여 상기 대상지의 열 쾌적성 특성을 분석한다. 본 발명의 실시예에 따른 미기후 모델링(ENVI-met)을 활용한 시뮬레이션을 수행하고(121), 시뮬레이션 결과 중 인체의 열적 감각에 영향을 미치는 복사에너지의 측정 및 표현을 위한 열 쾌적성(T_{MRT}) 자료를 추출하고, 래스터(raster) 데이터로 변환하여 대상지 열 쾌적성 특성을 분석한다(122).
- [0036] 본 발명의 실시예에 따른 미기후 모델링(ENVI-met)을 활용하여 상기 대상지의 열 쾌적성 특성을 분석하는 단계(120)에서는 상기 미기후 모델링 시뮬레이션에서 물리적 환경 요인에 대한 입력 파일(.IN)은 무인항공기의 RGB 광학 영상 및 현장조사를 통해 건물 형태, 높이, 식생 수고 및 종, 피복 재질을 입력하여 구축하고, 시뮬레이션 조건 파일(.CF)은 좌표와 격자 크기, 초기 풍속 및 풍향, 기온을 설정하여 구축한다.
- [0037] 단계(130)에서, 분류된 물리적 환경 유형 및 상기 분석된 열 쾌적성 특성을 비교하여 무인항공기 기반 열 쾌적성 분포를 분석한다. 본 발명의 실시예에 따른 미기후 모델링(ENVI-met)을 활용한 시뮬레이션에서 추출된 열 쾌

적성(T_{MRT})을 이용하여 모델링값과 예측값의 오차에 대한 분포도를 제작하여 비교 분석하고(131), 물리적 환경 유형과 시간대별 열 쾌적성(T_{MRT}), NDVI 및 SVF에 따른 시간대별 시간대별 열 쾌적성(T_{MRT}) 분포를 분석한다(132).

- [0039] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 무인항공기 기반 도시지역 물리적 공간 유형별 열환경 특성 분석 장치의 구성을 나타내는 도면이다.
- [0040] 본 발명에서 제안하는 무인항공기 기반 도시지역 물리적 공간 유형별 열환경 특성 분석 장치(200)는 물리적 환경 유형 분류부(210), 열 쾌적성 특성 분석부(220) 및 열 쾌적성 분포 분석부(230)를 포함한다.
- [0041] 본 발명의 실시예에 따른 물리적 환경 유형 분류부(210)는 열환경 특성 분석을 위한 대상지에 대하여 무인항공기 기반 NDVI(Normalized Different Vegetation Index) 및 SVF(Sky View Factor) 특성에 따라 물리적 환경 유형을 분류한다.
- [0042] 먼저, 무인항공기 영상(RGB, 다중 스펙트럼(Multispectral) 등)을 취득하고, 이때, 물리적 환경 유형을 분류하기 위해 무인항공기를 통해 다중분광영상과 광학영상을 촬영하여 무인항공기 영상을 수집한다.
- [0043] 본 발명의 실시예에 따른 수집된 무인항공기 영상의 RGB 및 다중분광영상은 영상접합 S/W를 이용하여 정사영상으로 제작하고, SVF 분석을 위해 광학영상을 활용하여 DSM(Digital Surface Model)을 제작한다.
- [0044] 다음으로, 본 발명의 실시예에 따른 물리적 환경 유형 분류부(210)는 대상지에 대한 물리적 환경 특성 분석을 수행하고, 이후 물리적 특성별 유형 분류를 수행한다.
- [0045] 본 발명의 실시예에 따른 물리적 환경 유형 분류부(210)는 상기 제작된 무인항공기 영상에 기초하여 NDVI 및 SVF 특성을 산출하며, 상기 NDVI 및 SVF 특성에 따라 토지이용 및 피복 유형과 건물 및 수목이 밀집된 정도를 대상지의 물리적 환경 유형 분류 인자로 활용한다.
- [0046] 본 발명의 실시예에 따른 NDVI는 단위가 없는 복사값으로서 근적외 및 적색 밴드 영역에서의 반사값을 통해 산출되고, 상기 SVF는 지표면 관측 지점에서 하늘이 보이는 면적의 비율을 분석하여 건물이 밀집된 정도 등을 나타내는 지표로서 도시 형태학 데이터를 필요로 하고, 무인항공기 고해상도 RGB 영상 기반 DSM을 활용하여 지형 분석(Terrain analysis) 기능을 통해 산출되며, 물리적 환경 유형 분류에는 파이썬(python) 기반 이너시아(Inertia) 분석을 통해 물리적 환경 유형 군집 수를 도출한 후 K-means clustering을 수행하여 물리적 환경 유형을 분류한다.
- [0047] 본 발명의 실시예에 따른 열 쾌적성 특성 분석부(220)는 미기후 모델링(ENVI-met)을 활용하여 상기 대상지의 열 쾌적성 특성을 분석한다. 본 발명의 실시예에 따른 미기후 모델링(ENVI-met)을 활용한 시뮬레이션을 수행하고, 시뮬레이션 결과 중 인체의 열적 감각에 영향을 미치는 복사에너지의 측정 및 표현을 위한 열 쾌적성(T_{MRT}) 자료를 추출하고, 래스터(raster) 데이터로 변환하여 대상지 열 쾌적성 특성을 분석한다.
- [0048] 본 발명의 실시예에 따른 열 쾌적성 특성 분석부(220)는 상기 미기후 모델링 시뮬레이션에서 물리적 환경 요인에 대한 입력 파일(.IN)은 무인항공기의 RGB 광학 영상 및 현장조사를 통해 건물 형태, 높이, 식생 수고 및 종, 피복 재질을 입력하여 구축하고, 시뮬레이션 조건 파일(.CF)은 좌표와 격자 크기, 초기 풍속 및 풍향, 기온을 설정하여 구축한다.
- [0049] 본 발명의 실시예에 따른 열 쾌적성 분포 분석부(230)는 분류된 물리적 환경 유형 및 상기 분석된 열 쾌적성 특성을 비교하여 무인항공기 기반 열 쾌적성 분포를 분석한다. 본 발명의 실시예에 따른 미기후 모델링(ENVI-met)을 활용한 시뮬레이션에서 추출된 열 쾌적성(T_{MRT})을 이용하여 모델링값과 예측값의 오차에 대한 분포도를 제작하여 비교 분석하고, 물리적 환경 유형과 시간대별 열 쾌적성 (T_{MRT}), NDVI 및 SVF에 따른 시간대별 시간대별 열 쾌적성(T_{MRT}) 분포를 분석한다.
- [0051] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 물리적 공간 유형별 열환경 특성 분석을 위한 대상지를 나타내는 도면이다.
- [0052] 본 발명의 실시예에서는, 도 3에 도시된 바와 같이 경상남도 창원시 성산구 도심지역 내 위치한 용지문화 공원(35° 13' 53N, 128° 41 '05" E)을 대상으로 물리적 공간 유형별 열환경 특성 분석을 수행하였다. 본 발명의 실

시에에 따른 대상지가 위치한 창원시는 2013년부터 2019년까지 여름철 평균 기온이 25℃도 이상으로 기온이 매우 높은 지역이며, 장복산, 불모산, 정병산 등 고도 500m 이상의 산지로 둘러싸인 분지 지형이다. 또한, 계획도시 특성상 도시지역이 확연하게 구분되는 특성을 가지고 있기 때문에 이러한 공간적인 특성으로 여름철 도시열섬 현상이 빈번하게 발생되고 있다. 대상지인 용지문화공원은 면적이 약 80,000㎡이고, 왕복 10차선 도로를 사이에 두고 있다. 공원 내부는 약 3m 이내의 수목이 공원 가장자리에 식재되어 있고, 중앙에는 초지가 분포하고 있다. 용지문화공원 중 왼쪽에 위치한 공원(A)는 자갈로 이루어진 보행로가 덮여 있다. 오른쪽에 위치한 공원(B)은 남쪽으로 주차장과 공연 무대가 설치되어 있고, 아스팔트와 보도블록, 대리석 등 다양한 토지피복재질로 덮여있다. 또한 북쪽으로는 조형물과 우레탄 바닥으로 이루어진 소규모 놀이터, 벤치 등 휴식공간이 마련되어 있다. 공원 주변으로 위쪽과 아래쪽은 관공서, 왼쪽은 호수공원, 오른쪽은 3층 높이의 단독주택건물이 위치하고 있다.

[0053] 본 발명에서는 물리적 공간 유형을 분석하기 위해 UAV의 다중분광영상과 광학영상을 촬영하였다. 본 발명의 실시예에 따른 촬영시간은 2020년 8월 21일 12-14시에 실시하였으며, 측정 당시 기상온도 풍속 0.8m/s, 기온 31.1℃로 맑은 날씨에 실시하였다. 다중분광 영상 촬영에는 3DR社の 3DR Solo에 탑재한 Rededge M 다중분광 카메라를 이용하였다. 3DR Solo의 경우 방사보정을 위해 비행 전 캘리브레이션 패넌을 촬영한 후 비행하였으며, 촬영은 고도 100m(GSD: 7.4cm/px), 중복도 75% 조건으로 촬영하였다. 광학영상 촬영에는 DJI社の Inspire 1 기체에 Zenmuse X3 카메라를 활용하였으며, 고도 150m(GSD: 6.5cm/px), 중복도 90% 조건으로 영상을 촬영하였다. 수집된 RGB 및 다중분광 촬영 이미지는 PIX4D mapper S/W를 이용하여 정사영상으로 제작하였으며, SVF 분석을 위해 광학영상을 활용하여 DSM(Digital Surface Model)을 제작하였다.

[0054] 도시지역의 열 쾌적성에 영향을 미치는 물리적 공간 유형은 토지이용 및 토지피복 유형과 건물 및 수목의 밀집도, 배치형태 등이 있다. 이에 따라, 본 발명에서는 제작된 무인항공기 영상을 기반으로 식생지수 NDVI(Normalized Different Vegetation Index)와 SVF(Sky View Factor)를 제작하여 토지이용 및 피복 유형과 건물 및 수목이 밀집된 정도를 대상지의 물리적 공간 유형 분류 인자로 활용하였다. 식생지수 NDVI는 -1~1의 단위가 없는 복사값으로 근적외 및 적색 밴드 영역에서의 반사값을 통해 산출되며, 아래 식 1을 활용하여 제작할 수 있다:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (1)$$

[0055] 다음으로 SVF는 지표면 관측 지점에서 하늘이 보이는 면적의 비율을 분석하여 건물이 밀집된 정도 등을 나타내는 지표로써 도시 형태학 데이터가 필요하다. 본 발명에서는 UAV 고해상도 RGB 영상 기반 DSM(예를 들어, 공간 해상도 6.8cm/px)을 기초자료로 하여 SAGA GIS S/W의 지형 분석(Terrain analysis) 기능을 통해 SVF를 제작하였다.

[0057] 여기서, NIR은 근적외선 영역(820~860nm), Red는 적색영역(663~673nm)에서 촬영된 다중분광 영상(예를 들어, 공간 해상도 6.8cm/px)을 활용하였다. 제작된 NDVI, SVF는 공간 해상도가 6.8cm/px로 고해상도이기 때문에 2×2m로 분석되는 ENVI -met 모델링 결과와 비교에 한계가 있으므로 본 발명에서는 물리적 공간 유형 분류 시 활용되는 영상의 공간 해상도를 2m로 변환하여 활용하였다. 유형 분류에는 파이썬(python) 기반 이너시아(Inertia) 분석을 실시하여 적정 물리적 공간 유형 군집 수를 도출한 후 K-means clustering을 실시하여 물리적 환경 유형을 분류하였다.

[0059] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 ENVI-met 모델링의 IN 파일을 나타내는 도면이다.

[0060] 본 발명에서는 ENVI-met 시뮬레이션을 활용하여 본 발명의 실시예에 따른 대상지의 열 쾌적성을 분석하였다. 분석 범위는 공원 주변 지역까지 포함하여 가로 430m, 세로 230m로 설정하였고, 격자 간격은 2m로 가로 215개, 세로 115개, 수직으로 30개의 격자로 제작하였다. ENVI-met 시뮬레이션에서 물리적인 요인에 대한 입력자료인 입력 파일(.IN)은 무인항공기의 RGB 광학 영상과 현장조사를 통해 건물 형태 및 높이, 식생 수고 및 종, 피복 재질 등을 입력하여 구축하였다. 시뮬레이션 조건인 구성 파일(Configuration file)(.CF)은 표 1와 같이 좌표와 격자 크기, 초기 풍속 및 풍향, 기온 등을 설정하였다.

[0061] <표 1>

Contents	
location	35° 13' 48" N, 128° 40' 48" E
grid size	2m × 2m × 2m
telescoping	20% / 2m
wind speed	0.6 m/s
wind direction	225°
temperature	24℃~38℃

[0062]

[0063] 여기서 초기 기상은 인근 기상대 자료를 활용하였다. 모델링 시간은 05시부터 다음날 05시까지 24시간으로 설정하였다. 시작 시간을 05시로 설정한 것은 종래기술에 따른 모델링 안정화 시간을 고려하여 설정하였다. 시뮬레이션 결과 중 10시부터 16시까지 2시간 간격으로 1.4m 높이에서 인체의 열적 감각에 영향을 미치는 복사에너지의 객관적인 측정 및 표현이 가능한 T_{MRT} 자료를 추출하였고, ArcGIS Pro S/W를 통해 래스터(raster) 데이터로 변환하여 대상지 열 쾌적성 특성을 분석하였다.

[0065] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 UAV 영상을 활용한 물리적 요인 파악을 위해 NDVI와 SVF를 제작한 결과를 나타내는 도면이다.

[0066] 본 발명의 일 실시예에 따른 UAV 영상을 활용하여 물리적 요인을 파악하기 위해 NDVI와 SVF를 제작한 결과는 도 5와 같다. 도 5(a)는 NDVI 제작 결과이고, 도 5(b)는 SVF를 제작 결과이다.

[0067] 본 발명의 일 실시예에 따른 NDVI는 최소 -0.57에서 최대 0.95까지의 값을 보였으며, 수목이 밀집된 지역은 NDVI가 0.8 이상으로 가장 높은 것으로 나타났고, 초지도 0.6~0.8 정도의 NDVI 값을 보였다. 반면, 아스팔트와 화강암, 대리석 등 인공적인 토지피복 재질은 NDVI가 0.2 이하로 낮은 것으로 나타나 수목과 뚜렷한 차이를 보였다.

[0068] 본 발명의 일 실시예에 따른 SVF의 경우 최소 0에서 최대 1까지의 값을 보였다. 수목이 밀집되고 건물 등 인공 구조물이 인접한 지역에서는 SVF가 0.4 이하로 낮은 것을 확인하였고, 그 외 오픈 스페이스는 SVF가 0.8 이상으로 높은 것으로 확인하였다.

[0070] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 파이썬(python) 기반 이너시아(inertia)를 분석한 결과를 나타내는 그래프이다.

[0071] NDVI와 SVF를 이용하여 물리적 공간 유형의 수를 결정하기 위해 파이썬(python) 기반 이너시아(inertia)를 분석한 결과를 도 6에 도시하였다. 이때, RGB, 다중 스펙트럼 센서(Multi-spectral sensor)에서 촬영된 영상의 공간 해상도가 상이하기 때문에 UAV 영상 공간 해상도는 2m로 변환하여 사용하였으며, 분석결과 이너시아가 500 이하인 4개의 군집이 최적의 물리적 공간 유형의 수로 판단하였다. 따라서 군집의 수를 4개로 설정하여 K-평균 클러스터(means cluster) 분석을 실시하였다.

[0073] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 K-평균 클러스터 분석 결과를 나타내는 도면이다.

[0074] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 클러스터 유형별 NDVI 및 SVF의 박스 플롯을 나타내는 도면이다.

[0075] 도 7 및 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 K-평균 클러스터(means cluster) 분석결과이다.

[0077] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 클러스터 유형별 단면 모식도를 나타내는 도면이다.

[0078] 도 9에는 클러스터 유형별 단면 모식도를 제시하였다. 클러스터 1은 NDVI의 평균값이 0.78, SVF의 평균값이 0.87로 주로 수목 주변 지역에 위치하는 유형으로 분류되었다.

[0079] 클러스터 2는 NDVI의 평균이 0.26, SVF의 평균이 0.71로 나타났으며, NDVI가 낮은 비 식생 지역이면서 개활지 공간에 해당하는 것으로 확인되었다. 클러스터 3은 NDVI가 0.82, SVF가 0.61로, 토지피복재질이 식생지역이면서

인공 구조물 또는 수목과 인접한 지역으로 나타났다. 클러스터 4는 NDVI 0.72, SVF 0.31로 대부분 초지이면서 인공 구조물 또는 수목과 매우 인접한 지역으로써 천공이 거의 보이지 않는 지역으로 분류되었다. NDVI와 SVF 기반 4개 군집 유형으로 군집분석결과 물리적 유형 특성 중 식생과 비 식생의 토지피복 특성은 클러스터 1, 3, 4와 클러스터 2 유형의 NDVI 특성으로 분류되었으며, 수목과 인공 구조물의 인접 정도에 따른 차폐 정도 등의 특성은 클러스터 1~4로 갈수록 SVF 값이 낮아지는 경향을 통해 개발지부터 인공 구조물 및 수목과 매우 인접한 지역에 대한 특성을 적절히 반영한 것으로 판단된다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 NVI-met 활용 대상지 공원 내 T_{MRT} 모델링 결과를 나타내는 도면이다.

도 10은 본 발명의 실시예에 따른 ENVI-met 활용 대상지 공원 내 1.4m 높이에 대한 TMRT 모델링 결과이다. 10시는 대상지 대부분 지역이 65~70℃의 범위를 가지는 것으로 나타났으며, 수목이 밀집된 지역은 45℃ 이하로 주변 공간과 비교하여 약 20℃ 이상 낮은 것을 확인하였다. 12시의 경우 10시 모델링 결과와 유사하게 대상지 대부분 지역이 65~70℃의 범위로 분석되었고, 수목 밀집지역은 50~55℃로 10시와 비교하여 약 10℃ 높게 예측되었다. 14시는 대상지 전체 평균복사온도가 70℃ 이상으로 매우 높게 예측되었으며, 수목 밀집지역 또한 55~60℃로 오전 시간과 비교하여 다소 높아진 것을 확인할 수 있었다. 마지막으로 16시는 14시와 대상지 대부분의 평균복사온도는 70℃ 이상으로 비슷하게 예측되었고, 인공 구조물 및 수목 밀집지역은 50~55℃로 다소 낮아진 것을 확인하였다. 10~16시 ENVI-met 모델링 활용 열 쾌적성 분석결과 수목 고밀집 지역의 TMRT가 최대 30℃ 이상의 차이를 가지는 것으로 분석되었다. 이것은 도시립 캐노피가 일평균 5℃, 태양에너지 입사량 및 지표면 조건에 따라 최대 33℃의 T_{MRT} 저감이 가능하다고 개시한 종래기술에서의 결과와 유사하게 수목 밀집지역이 평균복사온도 저감에 기여하는 것으로 판단된다. 또한, 표 2 결과에서 제시한 바와 같이 본 발명에서는 16시의 평균복사온도 예측 결과 수목 밀집지역과 그 외 지역의 차이가 19.6℃로 오후 시간대 중 가장 큰 것으로 도출되었다.

<표 2>

Physical spatial type	Average T_{MRT} (°C)			
	10h	12h	14h	16h
Dense trees area	42.8	51.9	55.4	53.4
Other areas	65.8	66.8	72.4	73.0
Difference	23.0	14.9	17.0	19.6

이것은 여름철 도시 산림에 의한 냉각 효과 분석결과 17시에 산림과 도시와의 기온 차이가 가장 크게 분석된 종래기술에서 개시한 바와 같이 태양 고도가 가장 높은 14시 이후 낮아지는 16시 이후에 수목 밀집지역의 열환경 저감 효과가 더욱 두드러지는 것으로 판단된다.

도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 물리적 공간 유형과 시간대별 T_{MRT} 특성 분석 결과를 나타내는 도면이다.

물리적 공간 유형과 시간대별 T_{MRT} 특성 분석결과는 도 11 및 표 3와 같다.

<표 3>

		cluster 1	cluster 2	cluster 3	cluster 4
Average T_{MRT} (°C)	10h	64.21	65.30	63.50	63.64
	12h	65.81	66.84	65.81	66.26
	14h	71.37	72.24	71.13	71.34
	16h	72.10	72.38	71.20	70.87
Average NDVI		0.78	0.26	0.82	0.72
Average SVF		0.87	0.71	0.61	0.31

10시는 T_{MRT} 가 클러스터 1 / 64.2℃, 클러스터 2 / 65.3℃, 클러스터 3 / 63.5℃, 클러스터 4 / 63.6℃로 클러스터 2 유형이 가장 높은 것으로 분석되었다. 12시는 최대 66.8℃(클러스터 2), 최소 65.8℃(클러스터 1, 3)로 나타났으며, 클러스터 2 유형이 T_{MRT} 가 가장 높은 것을 확인하였다. 다음으로 14, 16시의 경우 유형별 T_{MRT} 평균 값이 70℃이상으로 오전 시간대와 비교하여 약 5℃이상 높은 것을 확인하였다.

한편, 오전 시간대의 분석결과와 동일하게 클러스터 2유형이 14시 72.2℃, 16시 72.3℃로 가장 높은 평균복사온

도를 가지는 것으로 나타났다. 이러한 이유는 물리적 공간 특성 중 SVF가 높을수록 유입되는 태양복사에너지 증가함에 따라 평균복사온도가 증가한 것으로 판단되며, 클러스터 2유형과 유사하게 0.7 이상의 SVF를 가지는 클러스터 1 유형과 비교하였을 때 SVF가 높은 조건에서는 NDVI가 증가할 경우 평균복사온도가 감소하는 경향을 보이는 것으로 판단된다.

[0094] 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 물리적 공간요인인 NDVI와 SVF에 따른 시간대별 T_{MRT} 분포를 분석한 결과를 나타내는 도면이다.

[0095] 도 12는 물리적 공간요인인 NDVI와 SVF에 따른 시간대별 T_{MRT} 분포를 분석한 결과이다. NDVI, SVF 두 인자 모두 10시(63℃), 12시(63℃), 14시(67℃), 16시(70℃) 이상에서 밀집도가 높아지는 경향을 보이는 것을 확인하였다. 그리고 NDVI와 SVF가 밀집되는 경향을 보인 NDVI, SVF 값은 모두 0.6 이상으로 높은 것으로 나타나 개활지이면서 식생으로 이루어진 클러스터 1과 같은 유형이 시간대별 열 쾌적성 변화 패턴과 비슷한 경향을 보이는 것을 확인하였다. 따라서 UAV 기반 대상지 내 열 쾌적성 분포 파악 시 클러스터 1 유형에 대해 분석이 가능할 것으로 판단된다.

[0097] 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 커널밀도에서 밀집도가 낮은 지점의 위치를 나타내는 도면이다.

[0098] 커널밀도에서 밀집도가 낮은 지점의 위치는 도 13과 같다. 대부분 수목이 밀집되어있는 공간에서 T_{MRT} 와의 상관관계가 낮은 경향을 보였다. 그 이유는 본 발명에서 90° 각도에서 촬영된 UAV 영상 기반의 NDVI, SVF를 활용하였기 때문에 지면에서 1.4m 높이에서 모델링되는 ENVI-met 결과와 비교 시 1.4m 높이 이상에 위치하는 수관 등에 의해 가려지는 지점에 대한 데이터 취득이 어려운 UAV 촬영 한계에서 비롯된 것으로 판단된다. 따라서 향후 UAV 영상 취득이 어려운 지점에 대해 지상 LiDAR 및 어안렌즈를 활용한 지표면에서의 SVF 데이터 등 3차원 물리적 환경 데이터를 수집하여 UAV 영상 기반 물리적 유형의 정확도 보정 시 클러스터 3, 4 유형에 대한 열 쾌적성 분포 파악이 가능할 것으로 판단된다. 또한 UAV 영상 촬영 시 고도, 중복도, 촬영 각도 등의 다양한 조건에서의 영상 수집을 실시하여 도시지역 물리적 환경 유형 분류를 위한 최적 조건을 도출할 수 있을 것이다.

[0099] 본 발명의 실시예에 따른 열 쾌적성 분포 분석 결과 도심지역 내 개활지 및 식생으로 이루어진 공간 유형에 대해 UAV 영상 기반 열 쾌적성 분포 파악 가능성을 확인하였으며, 수목과 인접한 지역이 개활 공간에 비해 열적으로 쾌적한 것으로 도출되었다. 이를 통해 도시계획 단계에서 광장, 쉼터, 공원 조성 시 경관적인 측면에서의 인공피복재질(대리석, 화강암, 목재데크 등) 활용은 인간 열 쾌적성 측면에서는 단점으로 작용할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서, 도시계획 단계에서 개활 공간은 잔디 및 수목 등 자연피복재질을 고려하여 공간을 조성할 필요가 있으며, 인공피복재질 활용 시 수목, 건물과의 인접성 등을 고려한 공간계획이 이루어져야 할 것으로 판단된다. 나아가 UAV 영상 촬영으로 신속하게 도시지역 지표면 부근의 물리적 환경을 고려한 열 쾌적성을 파악 가능한 기술 개발은 실질적이고 체감할 수 있는 도시기후 현상 규명 및 재난 및 안전관리 시 중요한 기초자료로 활용 가능할 것으로 판단된다.

[0100] 본 발명의 실시예에 따른 도시지역 내 공원을 대상으로 UAV 영상 기반 물리적 공간 유형을 분류하고, ENVI-met 열 쾌적성 결과와의 비교를 통해 물리적 공간 유형에 따른 열 쾌적성 특성을 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

[0101] 본 발명의 실시예에 따른 물리적 공간 유형은 총 4개 유형으로 분류되었고, 지표면 토지피복 재질과 수목 및 인공 구조물의 인접 정도에 따라 물리적 공간 유형 특성이 나타났다. ENVI-met 열 쾌적성 결과는 수목 고밀집 지역의 T_{MRT} 가 최대 30℃ 이상의 차이를 가지는 것으로 분석되었으며, 16시의 T_{MRT} 예측 결과 수목 밀집지역과 그 외 다른 지역의 차이가 19.6℃로 오후 시간대 중 가장 큰 것으로 도출되었다. 따라서 16시 이후에 수목 밀집지역의 열환경 저감 효과가 낮 시간대와 비교하여 상대적으로 높은 것으로 판단되며, 수목의 밀도가 높은 도시숲에 의한 주간 일사차단 효과를 확인한 결과 수목 밀집 유형이 열 쾌적성(T_{MRT}) 저감에 기여하는 것으로 판단된다. 마지막으로 물리적 공간 유형과 시간대별 열 쾌적성 특성 분석결과 NDVI가 높고, SVF가 높은 공간 유형에 대해 UAV 활용 시 시간대별 열 쾌적성 변화 패턴과 유사한 경향을 보이는 것을 확인하였다. 그러나, 수목 및 인공 구조물 등이 밀집된 지역에 대해서는 상대적으로 UAV 기반 물리적 환경 유형과 상관관계가 낮은 것으로 나타났다.

- [0102] 결론적으로 본 발명의 실시예에 따르면, UAV 영상 기반 NDVI, SVF를 활용하여 물리적 환경 유형 분류 시 NDVI, SVF가 높은 개활지에 대해 열 쾌적성 분포 파악이 가능한 것으로 나타났으며, 수목이 밀집된 지역이 열 쾌적성 저감에 효과가 있는 것을 확인하였다. 그러므로 열 쾌적성을 고려한 도시계획 시 인구 유동이 많은 광장, 공원 등의 개활지 공간에 대해 경관적인 측면을 우선적으로 고려하여 콘크리트, 대리석 등 인공적인 피복재질로 조성하는 것은 공간을 활용하는 인간의 열 쾌적성 측면에서 단점으로 작용할 수 있는 것으로 판단된다. 따라서, 잔디, 수목 등 자연피복재질로 조성하는 방안을 고려할 필요가 있을 것으로 판단되며, 인공피복재질을 활용할 경우 SVF(수목 및 건물과의 인접성)를 고려하여 공간계획이 이루어져야 할 것으로 판단된다. 나아가 여름철 도시 주변 산림에 의한 열환경 저감 효과 정량화를 목적으로 수행한 결과 등을 참고하여 수종별 열 쾌적성 저감 효과를 정량화할 경우 보다 체감할 수 있는 도시열섬 저감 계획기법을 개발할 수 있고, 실질적이고 체감할 수 있는 도시기후 현상 규명 및 재난·안전관리 시 중요한 기초자료로 활용 가능할 것으로 판단된다.
- [0103] 이와 같이, 본 발명에서는 도시지역 내 공원을 대상으로 UAV 영상 기반 물리적 공간 유형을 분류하고, ENVI-met 열 쾌적성 결과와의 비교를 통해 물리적 공간 유형에 따른 열 쾌적성 특성을 분석하였다.
- [0104] 본 발명의 실시예에 따르면 물리적 공간 유형은 UAV 기반 NDVI(Normalized Different Vegetation Index) 및 SVF(Sky View Factor) 특성에 따라 4개 유형으로 분류하였다. ENVI-met 열 쾌적성 결과는 수목 밀집지역의 열 쾌적성(T_{MRT})가 그 외 지역보다 최대 30℃이상의 차이를 보였으며, 오후 시간대 중에서는 수목 밀집지역과 다른 지역의 T_{MRT} 차이가 16시에 19.6℃로 가장 큰 것으로 나타났다. UAV 기반 물리적 공간 유형과 시간대별 열 쾌적성 특성 분석결과 NDVI가 높고, SVF가 높은 공간 유형에 대해 UAV 활용 시 시간대별 열 쾌적성 변화 패턴과 유사한 경향을 보이는 것을 확인하였으나, 수목 및 인공 구조물 등이 밀집된 지역에 대해서는 상대적으로 UAV 기반 물리적 환경 유형과 상관관계가 낮은 것으로 나타났다. 결론적으로 개활지 및 식생으로 이루어진 공간 유형에 대해 UAV 영상 기반 열 쾌적성 분포 파악 가능성을 확인하였으며, 수목 인접지역이 개활지보다 열적으로 쾌적한 것으로 도출되었다.
- [0105] 따라서, 도시계획 단계에서 개활 공간은 잔디 및 수목 등 자연피복재질을 고려하여 조성할 필요가 있으며, 인공 피복재질 활용 시 수목, 건물과의 인접성 등을 고려한 공간계획이 이루어져야 할 것으로 판단된다. 향후 지상 LiDAR 및 현장측정 기반 UAV 영상 보정을 통해 신속 정확한 도시기후 현상 규명 및 열 쾌적성을 고려한 도시계획 수립이 가능할 것으로 판단된다.
- [0107] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성요소는, 예를 들어, 프로세서, 콘트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPA(field programmable array), PLU(programmable logic unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리 요소(processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 콘트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(processing configuration)도 가능하다.
- [0108] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 가상 장치(virtual equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치에 구체화(embody)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.
- [0109] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등

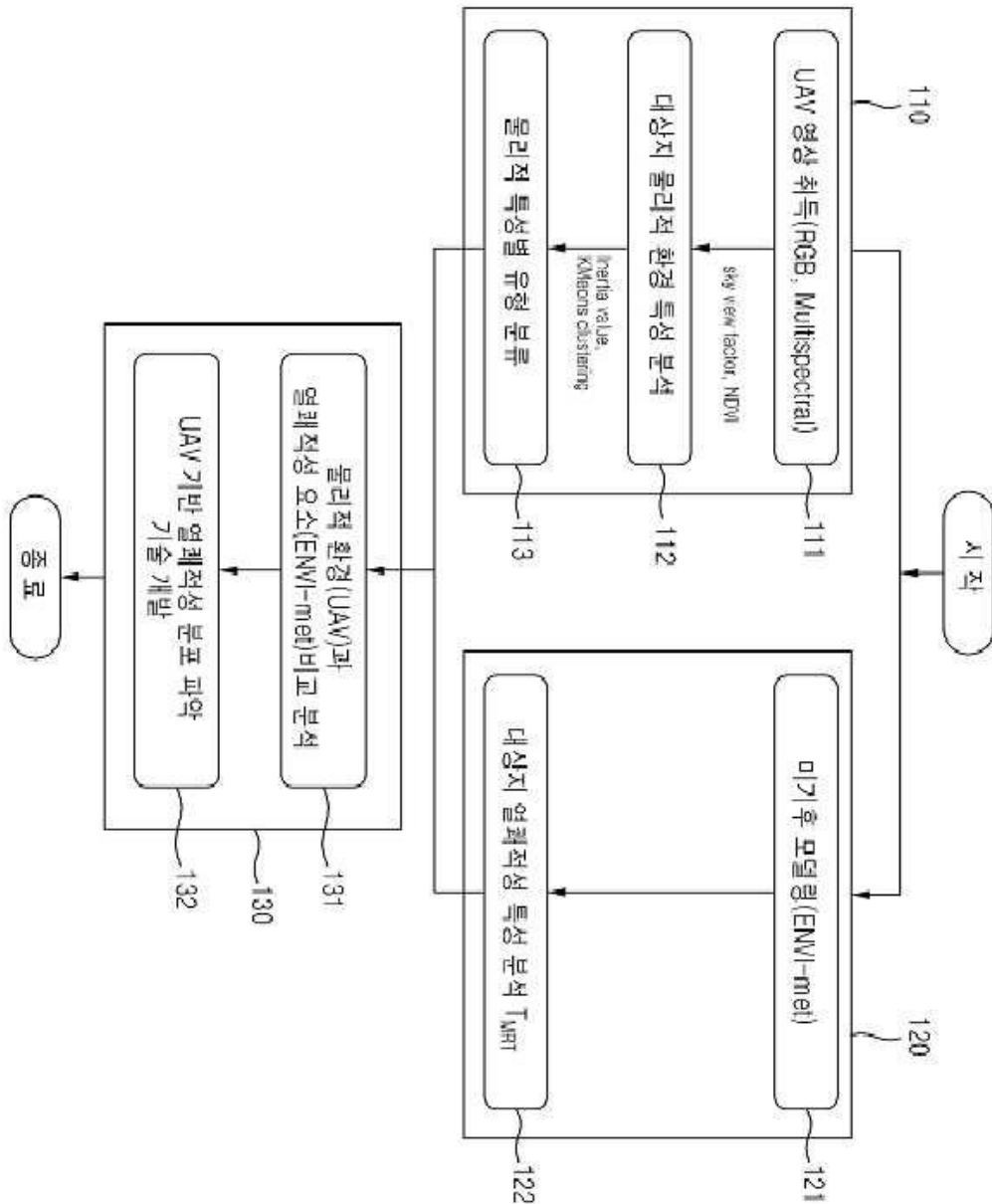
을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다.

[0110] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

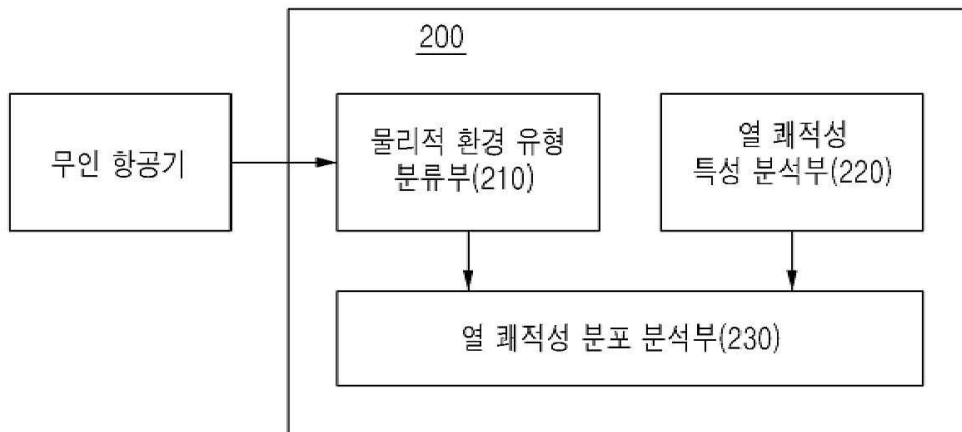
[0111] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

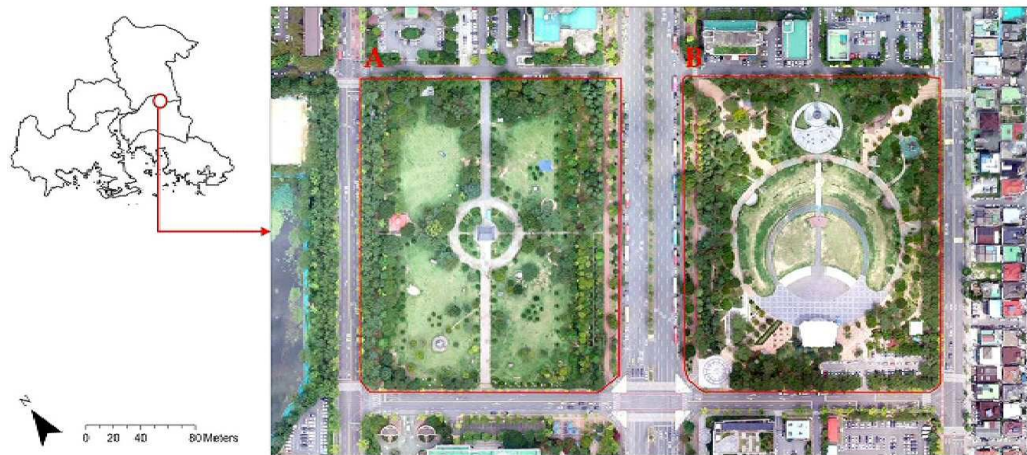
도면1



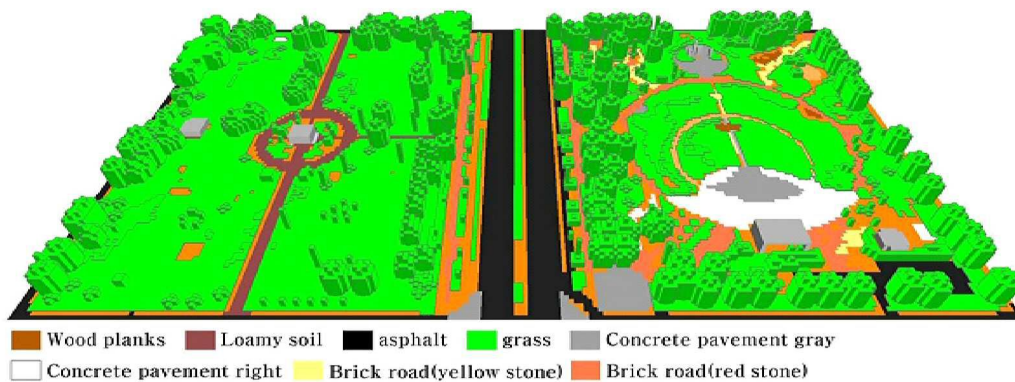
도면2



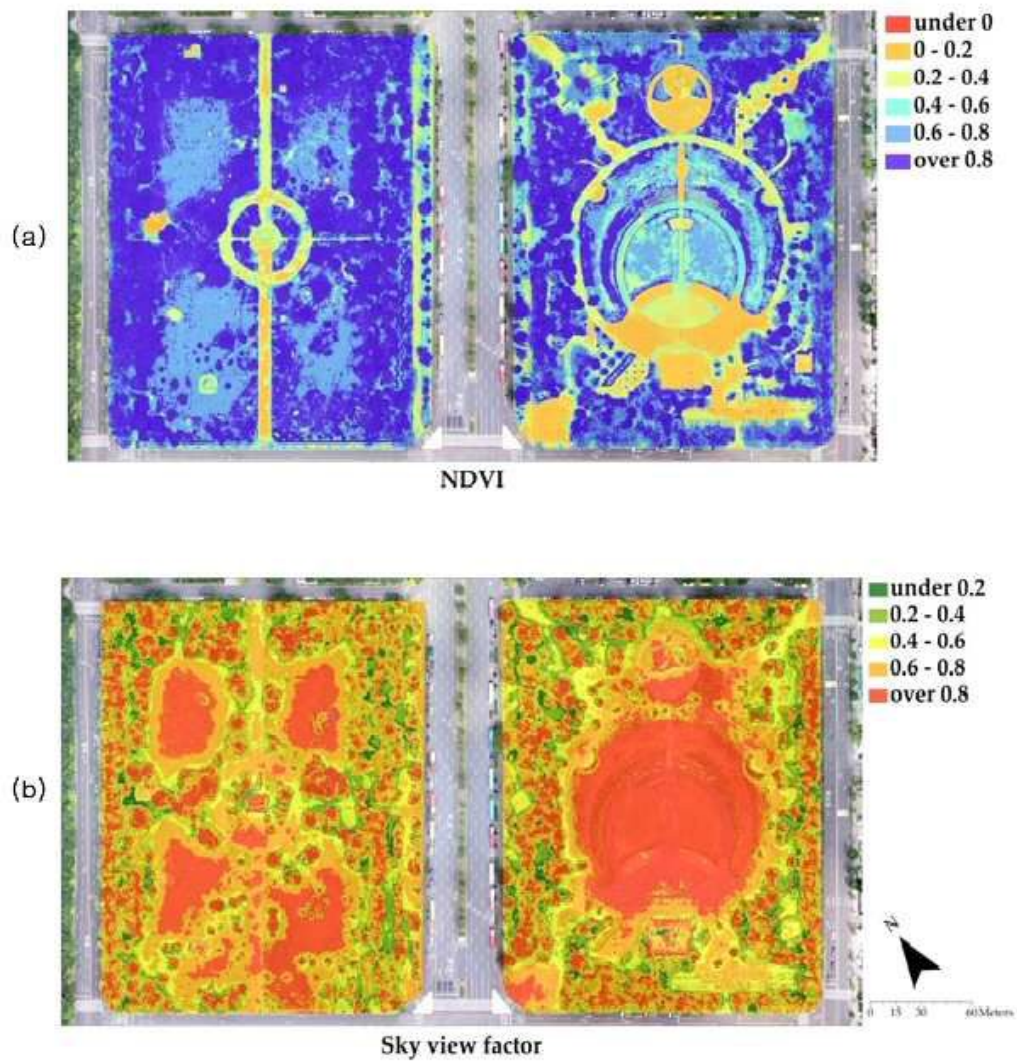
도면3



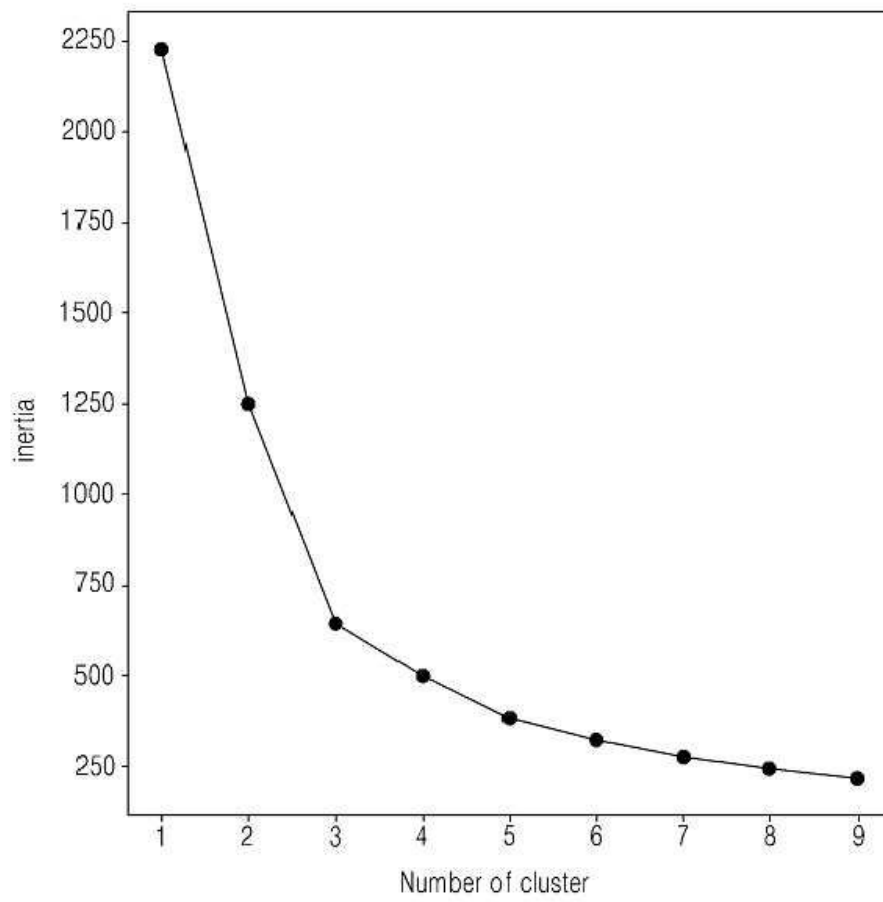
도면4



도면5



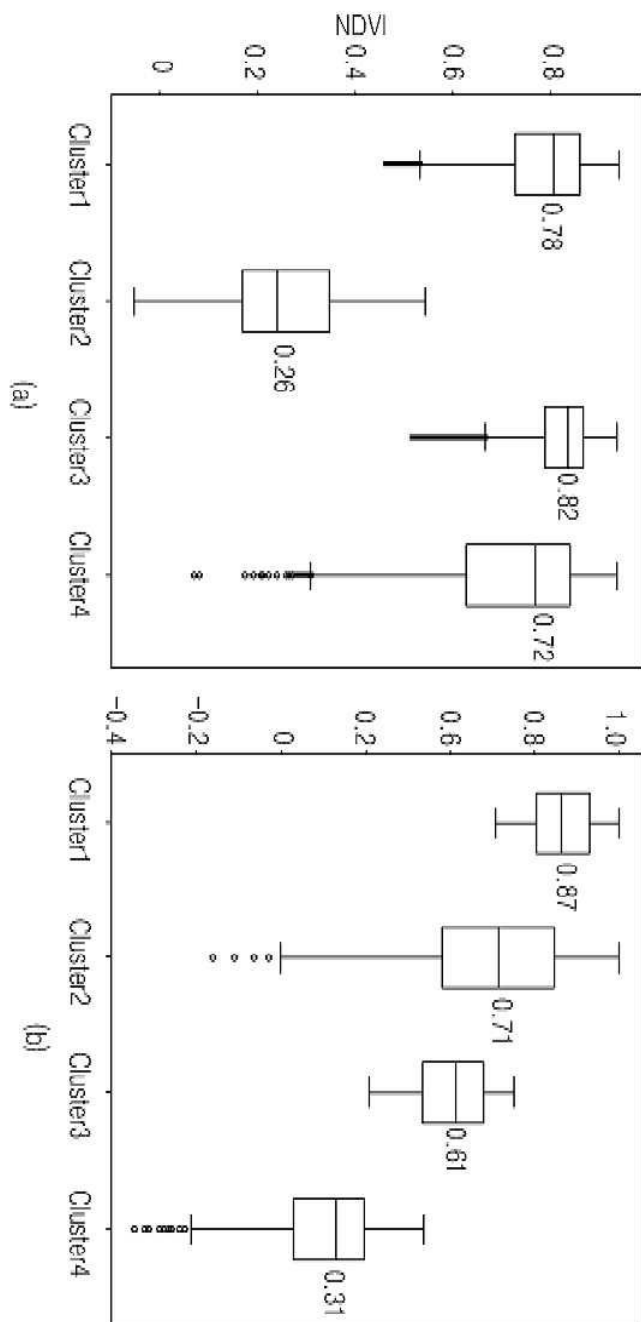
도면6



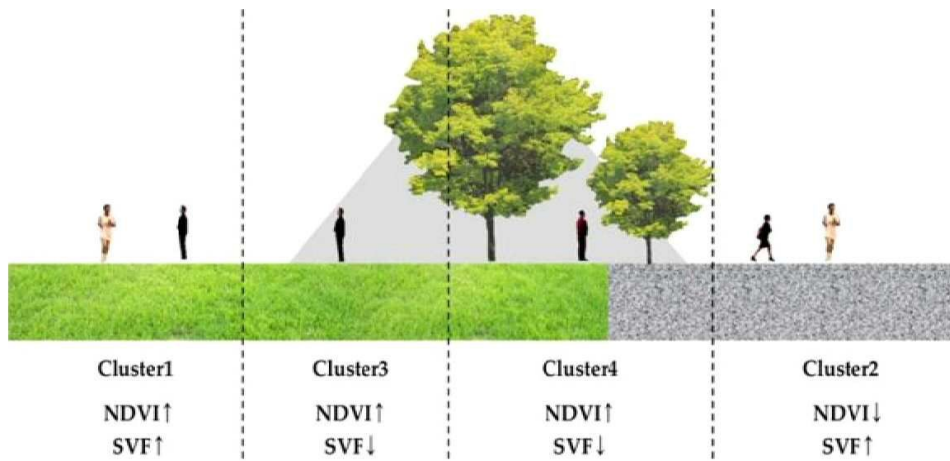
도면7



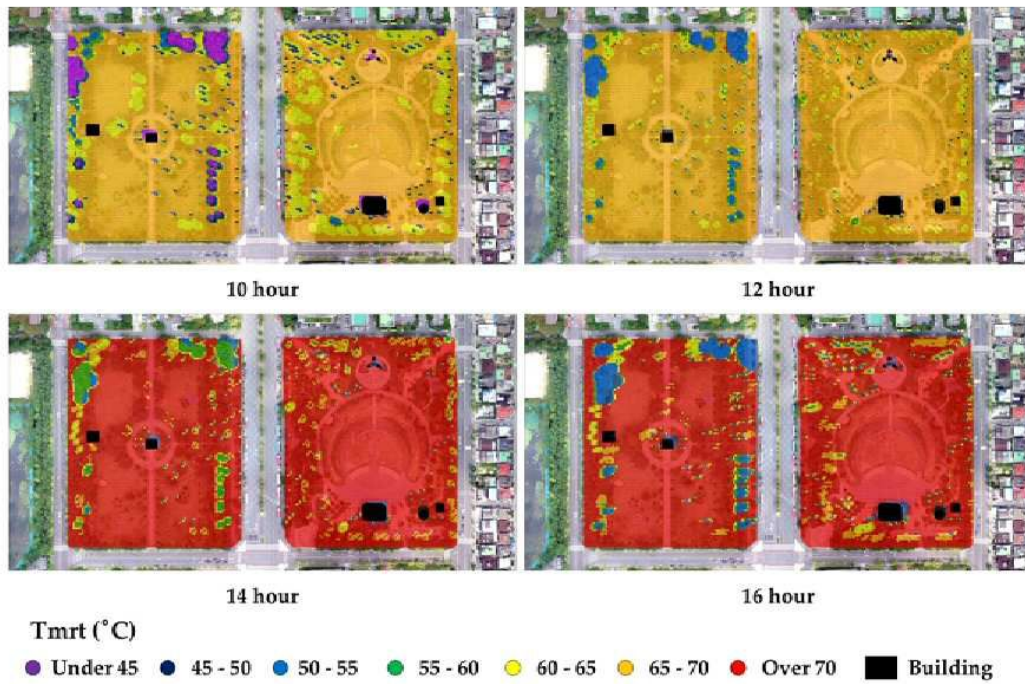
도면8



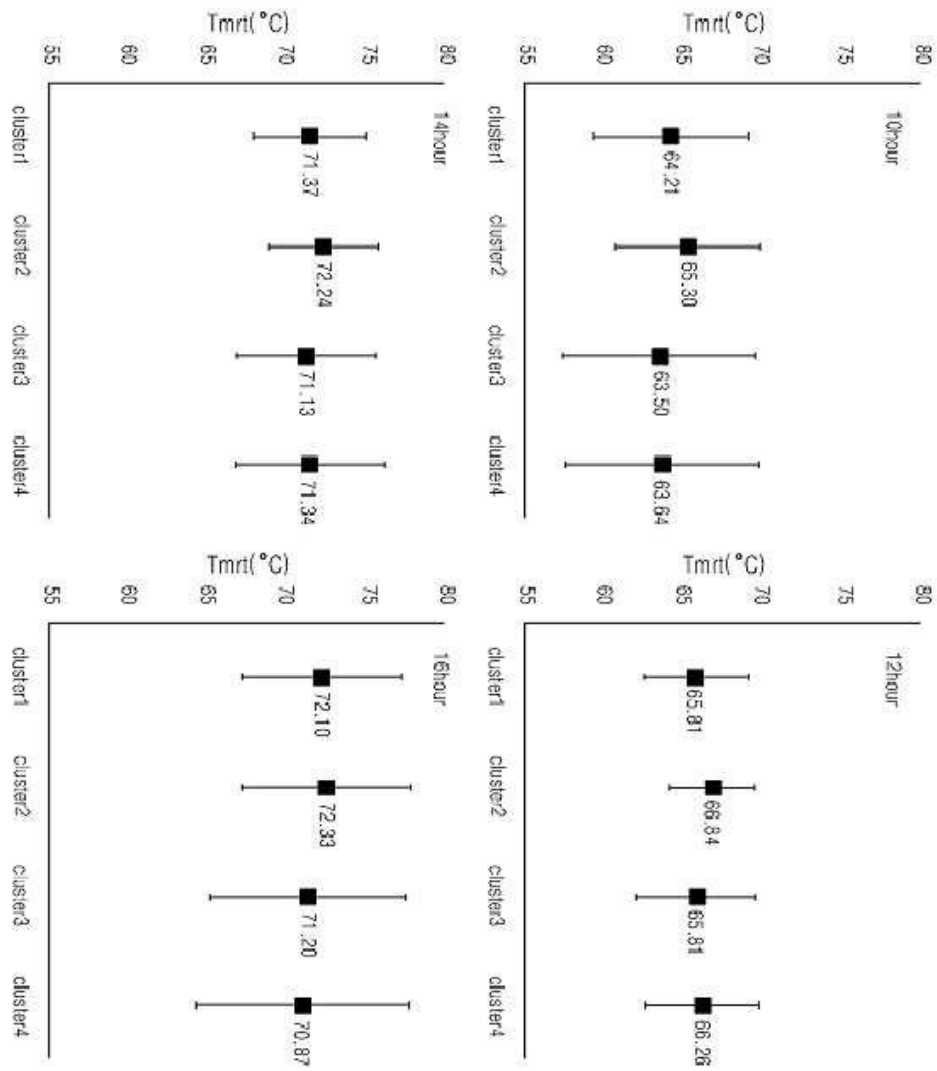
도면9



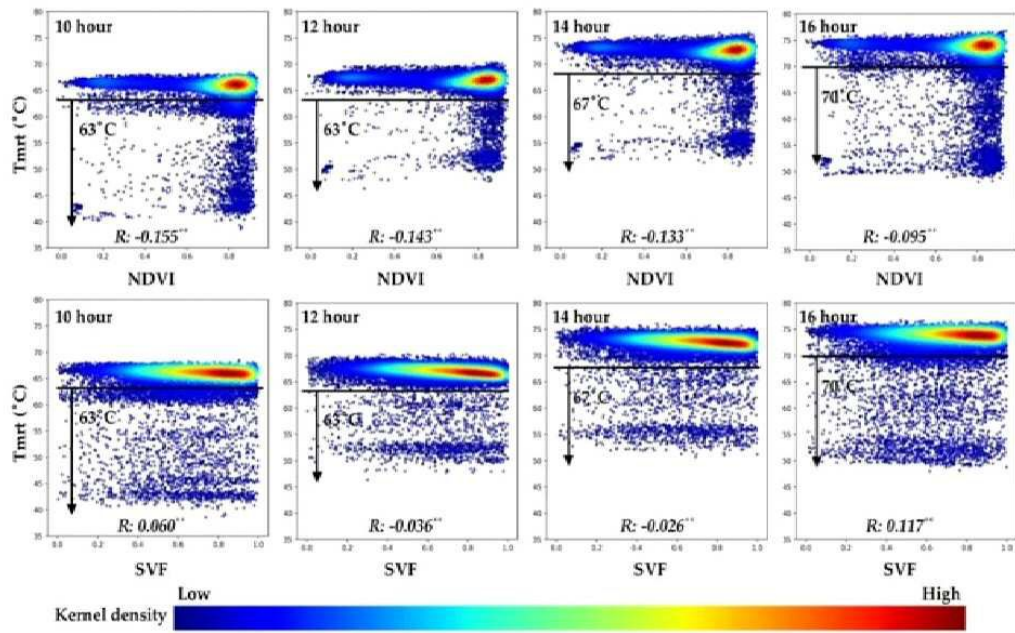
도면10



도면11



도면12



도면13

