creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

정 재 준 교수 지도

석사학위 청구논문

야간 위성영상을 이용한 전국 시가화 지역의 확대 분석

2024

성신여자대학교 대학원

지리학과

장 수 연

야간 위성영상을 이용한
전국 시가화 지역의 확대 분석

정 재 준 교수 지도

이 논문을 석사학위논문으로 제출함

2023년 11월

성신여자대학교 대학원
지리학과
장 수 연

인 준 서

장수연의 석사학위 논문으로 인준함

2023년 11월

심사위원장 이 자 원 (서명 또는 인)

심 사 위 원 방 경 (서명 또는 인)

심 사 위 원 정 재 주 (서명 또는 인)

성신여자대학교 대학원

논문개요

도시적 토지이용으로 구분될 수 있는 도로, 건축물 등으로 구성된 시가화 지역은 산업화·도시화에 따라 꾸준히 증가하고 있다. 이러한 시가화 지역은 지적공부나 토지이용도, Landsat 위성영상 등 현존하는 다양한 데이터를 통해 추출하고 변화를 파악할 수 있으나, 한반도 전역에 대해 동일한 시기의 데이터를 얻는 것은 한계가 있다. 따라서 위성영상 중 야간위성영상을 활용하는 방법을 모색할 수 있다.

본 연구에서는 선행연구를 기반으로 야간 위성영상을 이용하여 2014년에서 2022년 사이 전국 지역별 빛세기 변화를 파악하고, 시가화 지역을 추출하여 시계열적 변화를 고찰하였으며, 분석한 결과는 다음과 같다.

첫째, 전국 시도별 빛세기 현황 분석 결과, 시도별 빛 총량은 모든 지역에서 증가하였으며, 지역별로 빛세기 증가량과 증가율의 차이가 존재하였다. 야간 인공조명의 영향을 가장 많이 받는 도시지역을 대상으로 시도별 도시지역 면적과 빛세기와의 관계를 분석한 결과에서는 시도별 도시면적이 2014년 대비 2022년에 큰 변화는 없었으나 전체 시도별 빛 총량은 증가하였으며, 해당 시기 모두 도시 면적과 빛 총량과의 관계는 높은 수준이었다.

또한, 전처리 과정이 수행된 DNB 영상자료를 바탕으로 시도별 야간 빛세기가 증가하거나 감소한 화소의 공간분포를 분석한 결과, 대부분 지역에서 증가한 화소가 분포하고 있었으며, 지역별 화소 변화율에서도 대부분 지역에서 큰 증가를 경험했다.

둘째, 전국 시군구별 빛세기 현황 분석 결과, 2014년 대비 2022년 증가량에서 대부분 지역이 증가한 것으로 나타났으나, 증가율에서는 지역별로 큰 차이가 보였다.

2014년 대비 2022년 증가량 상위 20%에 해당하는 40개 지역 중 경기도 평택시가 가장 큰 증가량을 보였으며, 그 뒤로 경기도 화성시, 충청북도 청주시, 전라남도 여수시, 인천광역시 중구 순으로 큰 증가량을 보였다. 2014년 대비 2022년 증가율에서 상위 20%에 해당하는 40개 지역에서는 강원도 인제군과 화천군, 경상북도 영양군이 가장 큰 증가율을 보인 지역으로 나타났으며, 각각 200% 이상의 증가율을 보였다.

또한 시군구별 빛세기 증감량에서 2014년 대비 2022년 가장 큰 증가량으로 나타난 경기도 평택시와 그 다음 순으로 도출된 화성시를 대상으로 야간 위성영상과 같은 화소의 크기로 산출하여 도면화한 결과, 각 지역별로 산업 및 공업단지와 시가화 지역을 중심으로 빛세기가 강하게 나타나는 것으로 파악할 수 있었다.

셋째, 야간 위성영상으로도 시가화 지역을 파악할 수 있는 가능성을 확인하였다. MCD12Q1 영상 자료를 통해 2014년과 2022년의 시가화 지역을 추출하고 그 변화를 파악할 수 있으며, 야간 위성영상 자료와 MCD12Q1의 시가화 지역과의 비교를 통해 시가화 지역의 변화를 파악할 수 있었다.

MCD12Q1에서 추출된 시가화 지역 면적과 전처리가 수행된 SNPP-VIIRS DNB 영상자료를 바탕으로 국지적 공간 통계지수인 Getis-Ord's Gi와 Moran I 핫스팟 분석을 통해 추출된 핫스팟 지역의 면적을 비교하여 전국 시가화 지역의 변화를 분석한 결과, MCD12Q1 시가화 지역 면적은 2014년 및 2022년 Getis-Ord's Gi(유의수준 99%)을 통해 도출된 핫스팟 지역의 면적과 가장 유사한 것으로 나타났으며, 인천광역시와 경기도, 그리고 경상남도를 제외한 다른 지역에서 7㎢ 미만의 면적 차이를 보였다.

야간 위성영상을 활용하여 동일한 시기의 국지적 영상추출을 통해 시가화 지역 확대의 시계열적 분석이 가능한 것으로 판단된다. 또한, 시가화 지

역 추출 및 변화를 확인할 수 있는 다양한 자료들의 한계점을 보완하는 방법으로 제시할 수 있어 야간 위성영상은 시가화 지역을 설명할 수 있는 공간적 대안자료로서의 성격을 지닌다고 볼 수 있다.

주요어(Keyword) : 야간 위성영상, 야간조명데이터, SNPP-VIIRS, DNB, 빛세기, 시가화 지역, MODIS, 핫스팟 분석

목 차

논문개요

Ⅰ. 서론 ····· 1

1. 연구배경 및 목적 ····· 1

2. 연구의 범위 및 방법 ····· 3

Ⅱ. 선행연구 검토 ····· 6

1. 야간 위성영상자료의 개념 및 종류 ····· 6

2. 야간 위성영상을 활용한 사회·경제적 연구 ····· 13

Ⅲ. 전국 빛세기 현황 분석 ····· 16

1. 전국 시도별 빛세기 현황 ····· 16

2. 전국 시군구별 빛세기 현황 ····· 29

Ⅳ. 시가화 지역 추출 및 변화 분석 ····· 42

1. MCD12Q1를 활용한 시가화 지역 추출 ····· 42

2. VIIRS-DNB와 MCD12Q1 비교를 통한 시가화 지역 추출 ·· 47

Ⅴ. 결론 ····· 53

1. 결론 및 시사점 ····· 53

2. 한계점 및 향후 연구과제 ····· 55

참고문헌

ABSTRACT

<표 목 차>

<표 1> DMSP-OLS 특징 ····· 7
<표 2> Version 4 DMSP-OLS Nighttime Lights Time Series ···· 8
<표 3> SNPP-VIIRS DNB 특징 ····· 9
<표 4> SNPP-VIIRS Nighttime Lights Time Series ····· 12
<표 5> 야간 위성영상 자료를 활용한 사회·경제적 선행연구 15
<표 6> 2014년 시도별 빛세기 기술통계 ····· 20
<표 7> 2022년 시도별 빛세기 기술통계 ····· 20
<표 8> 2014년~2022년 빛 총량 및 빛세기 변화 ····· 21
<표 9> 2014년 대비 2022년 지역별 화소 변화율 ····· 27
<표 10> 2014년, 2022년 상위 20개 지역의 빛 총량 ····· 29
<표 11> 2014년, 2022년 면적당 빛세기 상위 20개 지역 ····· 32
<표 12> 2014년-2022년 상위 20% 지역 빛세기 증가 현황 ··· 35
<표 13> MCD12Q1 시가화 지역 면적 및 증가율 ····· 45
<표 14> MCD12Q1 시가화 면적과 핫스팟 지역의 면적 ····· 47
<표 15> MCD12Q1 시가화 면적과 핫스팟 지역의 면적차 ···· 48

[그 림 목 차]

[그림 1] 연구 흐름도 ····· 5
[그림 2] DMSP-OLS 영상자료 ····· 6
[그림 3] SNPP-VIIRS 영상자료 ····· 6
[그림 4] EOG 월평균 DNB 영상자료 타일 ····· 10
[그림 5] 2014년~2022년 월별 총량 값 ····· 17
[그림 6] 2014년~2022년 4, 5, 10, 11월별 총량 값 ····· 17
[그림 7] 2014년 데이터 (4, 5, 10, 11월 평균) ····· 18
[그림 8] 2022년 데이터 (4, 5, 10, 11월 평균) ····· 18
[그림 9] 시도별 빛의 총량 ····· 19
[그림 10] 2014년 도시면적과 빛 총량의 관계 ····· 23
[그림 11] 2022년 도시면적과 빛 총량의 관계 ····· 23
[그림 12] 배경 잡음 분석 단면 ····· 24
[그림 13] 2014년 인공조명 강도 ····· 24
[그림 14] 2022년 인공조명 강도 ····· 24
[그림 15] 2022년-2014년 화소별 인공조명 강도의 차 ····· 25
[그림 16] 2014년 대비 2022년 지역별 화소 변화율 ····· 26
[그림 17] 2014년 시군구 면적당 빛세기 ····· 31
[그림 18] 2022년 시군구 면적당 빛세기 ····· 31
[그림 19] 2014년-2022년 빛세기 증감 변화 ····· 34
[그림 20] 2014년-2022년 빛세기 증감률 변화 ····· 34
[그림 21] 경기도 평택시 2014년 야간 위성영상 ····· 37

[그림 22] 경기도 평택시 2022년 야간 위성영상 ····· 37
[그림 23] 경기도 평택시 2014년-2022년 빛세기 증감 ····· 38
[그림 24] 경기도 화성시 2014년 야간 위성영상 ····· 39
[그림 25] 경기도 화성시 2022년 야간 위성영상 ····· 39
[그림 26] 경기도 화성시 2014년-2022년 빛세기 증감 ····· 40
[그림 27] 2014년 MCD12Q1 시가화 지역 ····· 44
[그림 28] 2022년 MCD12Q1 시가화 지역 ····· 44
[그림 29] 2014년 세종특별자치시 시가화 지역 ····· 46
[그림 30] 2014년, 2022년 세종특별자치시 시가화 지역 ····· 46
[그림 31] 2014년, 2022년 서울특별시 시가지 범위 비교 ····· 50
[그림 32] 2014년, 2022년 세종특별자치시 시가지 범위 비교 · 50

Ⅰ. 서론

1. 연구 배경 및 목적

도시화는 인구의 도시 집중과 이에 따른 지역적, 사회적 변화 양상을 일컫는 개념으로 사회·경제적 측면에서 지리학을 비롯한 여러 학문 분야의 연구 주제이다. 지리학적으로는 도시화, 교외화, 역도시화, 재도시화 등 도시의 공간적 구조 변화가 주요한 연구 대상이 되기도 한다.

도시화는 인구와 관련해서는 도시 인구 및 인구밀도의 증가를 의미하고, 사회·경제적으로는 도시성(urbanism)이 증가하거나 산업 및 토지이용이 도시적 성격으로 변화하는 것을 의미하며, 물리적으로는 도시적인 지표 공간의 확대를 의미한다(정재준, 2001). 물리적 측면에서 도시지역의 범위는 행정구역 체계상 도시로 구분된 지역으로 구분되기도 하지만 실제 행정체계 중 도시지역 내에서도 녹지와 같은 토지이용이 존재하고 행정체계 중 비도시 지역에서도 건축물, 도로 등 인공적인 토지이용이 존재한다.

행정체계에서의 도시와 비도시적 이분법적인 구분을 벗어나 도시적 토지이용으로 구분될 수 있는 도로, 건축물 등으로 구성된 시가화 지역은 산업화·도시화에 따라 꾸준히 증가하고 있다. 이에 따라 지적공부나 토지이용도를 활용하여 도시적 토지이용의 범위를 파악할 수 있다. 우리나라에서는 지적공부상 대지나 공장용지 등 지목으로 도시적 토지이용의 범위를 파악할 수 있는 방법이 있으나, 토지의 지목과 실제 토지 이용 현황이 일치하지 않을 뿐만 아니라 지목의 변경 또한 토지이용 변화만큼 유동적이지 않아 지적공부로 시가화 지역을 파악하는 것은 한계가 있다. 또한 토지이용도를 이용할 수도 있으나 토지이용도의 경우 토지이용도의 구축 시기가 부

정기적이기에 이 역시 시가화지역의 변화를 파악하는데 한계가 있다.

도시적 토지이용을 파악할 수 있는 다른 방법으로 위성영상을 이용하는 방법이 있다. 대표적으로 Landsat 위성영상을 이용한 토지피복분류 등을 예로 들 수 있다. 토지피복분류에 대한 연구는 지난 20-30년 동안 꾸준히 진행되어 왔으며 이를 이용하여 도시적 토지이용 현황을 파악할 수 있다.

도시의 토지이용조사에 원격탐사 자료를 이용한 연구로는 안철호(1984), 박호명·백태명(2009)연구 등이 있다. 안철호(1984) 연구에서는 Landsat 자료를 이용하여 1979년과 1983년의 도시 범위를 추출한 후, 서울의 도시 확장을 분석하였고, 박호명·백태명(2009) 연구에서는 Landsat 자료를 이용하여 부산지역의 토지이용 및 토지피복 변화와 건폐지역의 확장을 분석하였다. 위성영상 분류기법에서는 도시적 토지이용의 범주를 시가화 지역으로 구분한다.

우리나라의 시가화 지역을 파악하기 위한 대표적인 방법으로는 환경부의 토지피복도 제작을 들 수 있다. 환경부의 토지피복도 제작 중 위성영상 분류 기법을 사용한 대분류 토지피복도는 약 10년 단위로 제작되었다. 환경부의 대분류 토지피복도 제작은 전국을 시가화・건조 지역, 농업지역, 산림지역 초지, 습지, 나지, 수역의 7가지로 구분하여 제작되고 있으며 1990년대 말, 2000년대 말, 2010년대 말 3시기에 대해 구축되었다.

하지만 위성영상분류 방법은 시가화지역의 변화를 시계열적으로 분석하기에는 한계가 있다. 위성영상 분류에 대표적으로 사용되는 Landsat 위성영상의 경우에도 한반도 전역에 대해 동일한 시기의 영상을 얻는 것이 현실적으로 어렵다. 이론적으로 연중 24회 정도 촬영되는 Landsat 위성영상의 경우 영상분류에 이용될 수 있는 영상이 2-3회에 지나지 않으며 전국에 걸쳐 13매의 위성영상이 필요하다는 점을 고려할 때, 임의 시점 간 시가화 지역의 변화를 파악하는데 어려움이 있다. 따라서 위성영상 중 야간

위성영상을 활용하는 방법을 모색할 수 있다.

야간 위성영상자료는 인간의 활동과 경제발전 수준을 대리하는 자료로서 많은 연구에 활용되고 있다. Landsat 데이터와 비교하여 야간 위성영상 자료는 도시와 마을의 빛을 감지할 수 있어 도시화 과정에서의 도시 범위 및 확장을 감지하는데 유용하다(Herao et al., 2012; 주뢰 외, 2016). 이러한 야간 위성영상은 최근 인문적 현상의 발달과정과 인간-환경 사이 상호작용 등의 해석을 위한 목적으로 인공위성 영상자료가 사회과학 분야에서도 활용되고 있다(Rindfuss and Stern, 1998; 유다현·김민호, 2019)

따라서 본 연구는 같은 시기의 일정하게 수집되는 야간 위성영상 자료를 통해 전국 빛세기 현황을 시계열적으로 분석하고 MODIS 자료를 바탕으로 시가지를 추출하여 야간 위성영상 자료와 비교하고자 한다. 이를 위해 크게 2가지의 하위 연구 목적을 가진다.

첫째, 야간 위성영상을 대상으로 월별 총량 값을 검토하여 연간 빛세기[1] 데이터를 구축하고, 이를 활용하여 구역통계를 통해 전국 시도별, 시군구별 빛세기 현황을 분석한다. 또한 야간 위성영상 자료의 연구 범위 시기 간 빛세기 차를 통해 시계열적 빛세기 변화를 도출한다.

둘째, 야간 위성영상 자료와 MODIS 지면피복 분류자료인 MCD12Q1을 비교하여 시가지 지역을 추출하고, 그 변화를 파악한다.

2. 연구의 범위 및 방법

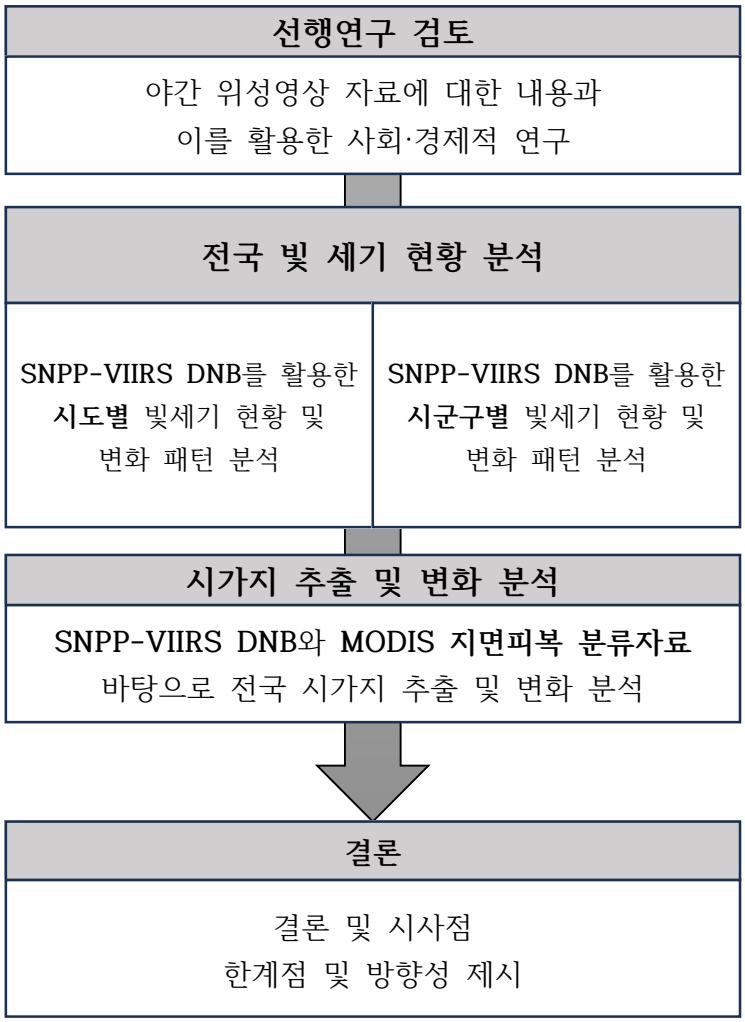
본 연구에서는 야간 위성영상의 빛세기 정도를 나타내는 야간조명데이터 값을 활용하여 지역별 빛세기 증가에 대해 시계열적으로 분석하고, 야간

1) 야간에 발생하는 인공조명 세기를 의미

위성영상자료와 MCD12Q1 영상자료와의 비교를 통한 시가지 추출 및 변화를 도출하기 위해 야간 위성영상의 빛세기 증가 정도와 MCD12Q1를 활용하였다.

우리나라는 국토지리정보원, 통계청 등을 통해 다른 나라에 비해 국토통계의 공간 현황 자료가 비교적 잘 구축이 되어있고 일반에 공개되어 있어 쉽게 구득할 수 있다는 장점이 있기에 이와 같은 사항들을 종합적으로 고려하여 연구의 공간적 범위를 대한민국으로 선정하였다. 또한, 본 연구에서 사용되는 야간 위성자료는 미국해양대기청(National Oceanic and Atmostpheric Administration, NOAA)에서 제공하는 Suomi-NPP위성의 VIIRS센서의 관측자료로, 제공되는 자료 중 'vcmslcfg' 자료를 사용하였다. 'vcmslcfg'는 2014년부터 2023년 6월까지의 자료를 제공하고 있어 연구의 시간적 범위는 2014년부터 2022년으로 선정하였고, 2014년, 2022년의 자료를 대표로 선정하여 분석을 수행하였다. 또한 시가지 추출 및 변화를 파악하기 위해 미항공우주국(NationalAeronautics and Space Administration, NASA)의 Terra/Aqua 위성에 탑재된 MODIS 지면피복분류 데이터를 통해 야간 위성영상과의 비교분석을 수행하였다.

본 연구는 총 5장으로 구성되어있으며, 연구 흐름도는 다음 [그림 1]과 같다. 1장에서 연구의 배경 및 목적을 서술하고 연구의 범위 및 방법을 설정하였다. 2장에서는 야간 위성영상 자료의 개념 및 종류와 야간 위성영상을 활용한 연구를 살펴보고, 야간 위성영상을 활용한 도시 연구를 검토하였다. 3장에서는 야간 위성영상을 분석하기 위한 전처리 과정과 이를 통해 구축한 데이터를 바탕으로 전국 시도 및 시군구별 빛세기 현황을 분석하였다. 4장에서는 앞서 3장에서 분석한 내용을 바탕으로 야간 위성영상과 MODIS 자료를 비교 분석하여 시가지 추출 및 변화를 파악하였고, 마지막 5장은 본 연구의 결론 및 한계점을 서술하였다.


선행연구 검토
야간 위성영상 자료에 대한 내용과
이를 활용한 사회·경제적 연구
전국 빛 세기 현황 분석
SNPP-VIIRS DNB를 활용한
시도별 빛세기 현황 및
변화 패턴 분석
SNPP-VIIRS DNB를 활용한
시군구별 빛세기 현황 및
변화 패턴 분석
시가지 추출 및 변화 분석
SNPP-VIIRS DNB와 MODIS 지면피복 분류자료
바탕으로 전국 시가지 추출 및 변화 분석
결론
결론 및 시사점
한계점 및 방향성 제시

[그림 1] 연구 흐름도

Ⅱ. 선행연구 검토

1. 야간 위성영상 자료의 개념 및 종류

야간 위성영상이란 일광, 월광 등 자연광이 아닌 야간에 쓰이는 인공조명을 수집한 영상자료이다.

미국해양대기청(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)에서 제공하는 야간 위성영상은 인공위성에 탑재된 센서에 의하여 자료가 수집된다. 크게 2가지 종류의 야간 위성영상 자료가 제공이 되고 있으며, 과거 1992부터 2013년까지 운용되었던 DMSP(Defense Meteorological Satellite Program) 위성에 탑재된 OLS(Operational Linescan System)센서 자료와 2012년부터 현재까지 운용되고 있는 SNPP(Suomi National Polar-orbiting Partnership) 위성의 VIIRS(Visible Infrared Imaging Radiometer Suite)센서 자료가 있다(그림 2, 3).

[그림 2] DMSP-OLS 영상자료

[그림 3] SNPP-VIIRS 영상자료

1960년대 초에 미국 공군은 약 450해리(약 830km) 고도에서 운용되는 인공위성 DMSP를 기상자료 수집을 위해 발사하였고, DMSP에 탑재된 OLS 센서를 통해 전 세계 차원의 야간 위성영상이 수집되기 시작하였다.[2] DMSP-OLS는 구름에 의해 반사된 저수준의 월광을 관측하는 목적으로 개발되었으나, 도시의 조명시설에서 방출된 인공조명 강도에 관한 정보를 제공할 수 있는 것으로 보고되었다(Croft, 1978; 김민호, 2020b). DMSP에 탑재된 OLS센서는 0.5-0.9㎛의 파장대를 지니고 있어 인공조명을 식별하는 데 유용하기에 도시 관련 연구뿐 아니라 인구 등 사회경제적 지표의 추정 연구에 이용되었다(김민호·조영국, 2019; Sutton et al., 2001; Yi et al., 2016). 하지만 이와 같은 유용성에도 불구하고 DMSP-OLS 영상의 명목 해상도 1km로서 공간 분해능이 상대적으로 낮고 센서 노후화에 따른 보정을 위해 부가적인 전처리 과정이 수반되어야 한다(Townsend and Bruce, 2010; 김민호, 2020a). 그리고 이 자료에 내재한 번짐 현상(blooming effect)과 픽셀포화(pixel saturation)는 사회경제적 지표의 추정 결과에 오류를 초래할 수도 있다(Elvidge et al., 2014; 김민호, 2020a). DMSP-OLS의 특징은 <표 1>와 같다.

<표 1> DMSP-OLS 특징

공간해상도		30 arc second (약 1㎞)
관측 폭		3,000㎞
관측 범위	**위도**	N75˚~ S65˚
	경도	W180˚~ E180˚
밴드		0.5 ~ 0.9㎛
파일 포맷		GeoTIFF

2) DMSP_users_guide(USAF, 1974)

DMSP-OLS의 공간해상도는 30 arc second로 약 1km의 공간해상도를 나타내고 관측 폭은 3,000km이다. 관측 범위는 위도 서경 180°에서 동경 180°, 북위 75°에서 남위 65°에 해당하는 지표 범위를 포괄하며, 인공조명의 와트 단위 절대 에너지양을 단위가 없는 0~63 범위의 값으로 변환하는 방식을 통해 6비트 방사 해상도의 DMSP-OLS 연간 자료가 제작되었다(김민호, 2017). 기간별로 OLS센서를 탑재하여 임무 수행을 위해 발사된 DMSP 인공위성은 F10, F12, F14, F15, F16, F18이며, 임무 수행 기간[3]은 다음 <표 2>와 같다.

<표 2> Version 4 DMSP-OLS Nighttime Lights Time Series

	F10	F12	F14	F15	F16	F18
1992	O	-	-	-	-	-
1993	O	-	-	-	-	-
1994	O	O	-	-	-	-
1995	-	O	-	-	-	-
1996	-	O	-	-	-	-
1997	-	O	O	-	-	-
1998	-	O	O	-	-	-
1999	-	O	O	-	-	-
2000	-	-	O	O	-	-
2001	-	-	O	O	-	-
2002	-	-	O	O	-	-
2003	-	-	O	O	-	-
2004	-	-	-	O	O	-
2005	-	-	-	O	O	-
2006	-	-	-	O	O	-
2007	-	-	-	O	O	-
2008	-	-	-	-	O	-
2009	-	-	-	-	O	-
2010	-	-	-	-	-	O
2011	-	-	-	-	-	O
2012	-	-	-	-	-	O
2013	-	-	-	-	-	O

3) NOAA, https://ngdc.noaa.gov/eog/dmsp/downloadV4composites.html

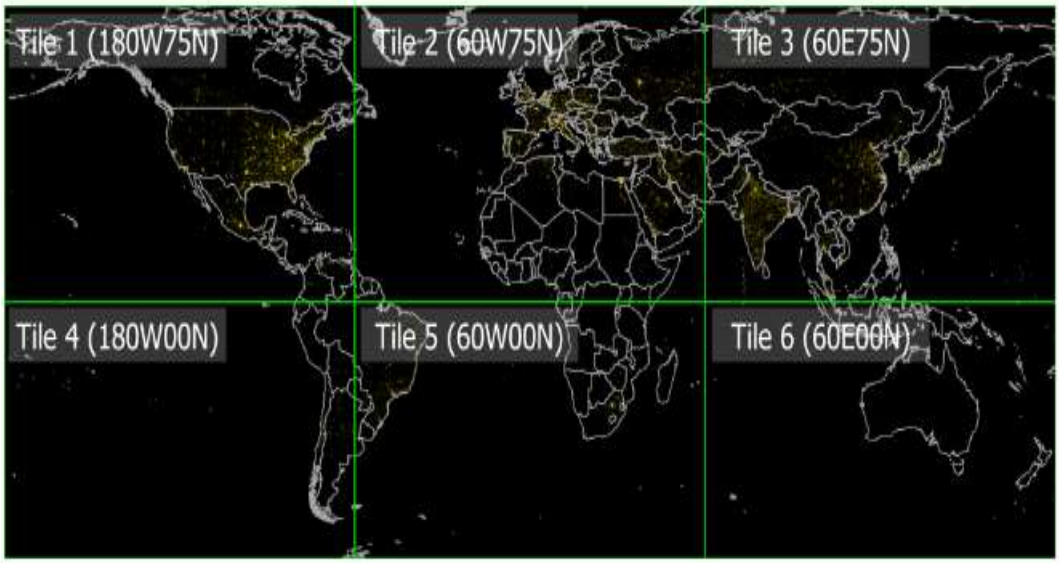
최근 들어 2014년 초에 임무가 종료된 DMSP-OLS를 대체하기 위해 미국 항공우주국(NASA)은 Suomi National Polar-orbiting Partnership (SNPP) 인공위성을 운영하고 있다. SNPP 위성에는 휘스크브룸 방식으로 지표를 스캐닝하여 자료를 획득하는 Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) 센서가 탑재되어 있으며, 주간뿐 아니라 야간에도 지표를 관측한다. 이 센서는 지표에서 반사된 가시광부터 열적외 파장대역의 전자기 복사에너지를 22개 분광밴드로 기록한다(NOAA, 2014; 김민호, 2021a). 또한 nWatt/㎠/sr 단위로 야간 인공조명 세기를 기록한 Day/Night Band (DNB) 영상자료를 수집한다(NOAA, 2014; Wang et al., 2017; 김민호, 2021a). SNPP-VIIRS DNB의 특징은 <표 3>의 내용과 같다.

<표 3> SNPP-VIIRS DNB 특징

공간해상도		15 arc second (약 450m)
관측 폭		3,000㎞
관측 범위	**위도**	N75˚~ S65˚
	경도	W180˚~ E180˚
밴드		0.5 ~ 0.9㎛
파일 포맷		GeoTIFF

VIIRS 센서에 의해 수집되는 DNB 영상자료는 약 0.7㎛를 중심으로 하는 분광대역의 빛 에너지 강도를 저장하는데, 이 자료는 지표의 인공 구조물에 부착된 조명시설에서 방출된 빛세기(nighttime light, NTL)에 관한 정보를 제공하는 것으로 알려져 있다(Wang et al., 2017; 김민호, 2021a). 또한, SNPP-VIIRS DNB는 DMSP-OLS 보다 향상된 공간해상도와 방사해상도로 야간에 지표를 관측한다. 해당 영상의 측정시간은 일몰 이후 약

오전 01시 30분까지 이며(정시윤·전병운, 2020), 공간해상도는 약 500m이고 14비트 방사 해상도로 인공조명시설에서 방출되는 와트 단위로 절대 빛세기를 기록한다(유다현·김민호, 2019). 최근 일 단위 DNB 영상자료를 월평균으로 제공하고 있다. 월평균 DNB 영상자료는 미국 Colorado School of Mines (CSM)의 Payne Institute for Public Policy (PIPP) 내 Earth Obsevation Group (EOG)를 통해 공개되고 있으며(EOG, 2021), 월평균 DNB 자료는 약 3000km의 관측 폭으로 서경 180°에서 동경 180°, 북위 75°에서 남위 65°의 범위를 포괄하고, 6개 타일로 나누어 GeoTIFF 형식으로 제공되고 있다. 각 타일 영상 자료에 대한 내용은 [그림 4][4]과 같다.



[그림 4] EOG 월평균 DNB 영상자료 타일

[그림 4]와 같이 EOG에서 공개되고 있는 월평균 DNB 영상자료는 전 세계 관측된 영상을 6개 타일로 구분하여 제공되고 있다. 대한민국은 3번 타

4) EOG, https://eogdata.mines.edu/products/vnl/

일에 속하는데, 해당 타일 영상자료는 대한민국뿐만 아니라 중국, 일본, 인도, 지역 등을 포괄하고 있다.

VIIRS DNB 영상은 구름, 월광, 미광(迷光, stray light), 번개 등 자연적 요인에 의한 영향이 제거된 원천 자료를 평균하여 제작되며, 이 자료는 월평균 인공조명의 세기에 관한 정보를 제공한다(김민호, 2020a). 미광은 인공위성의 센서 시스템 내부로 유입되는 미량의 태양 복사에너지를 의미하는 일종의 잡음(noise)으로서 이는 감지기가 기록한 인공 빛 에너지 세기를 교란한다(Mills et al., 2013; Lee and Cao, 2016; 김민호, 2020a).

인공조명 세기의 월평균 자료는 미광이 제거된 영상과 미광을 보정한 영상자료인 'vcm (VIIRS cloud mask)' 과 'vcmsl (VIIRS cloud mask with stray light)'이라는 두 가지 형식의 영상자료로 제공하고 있다. 미광이 제거된 'vcmcfg' 버전은 미광의 영향을 받는 모든 데이터를 제외한 영상자료로, 미광에 의해 오염된 픽셀이 제거되었기 때문에 누락된 픽셀이 많이 존재할 수 있다(Chen and Cai, 2019). 미광이 보정된 'vcmslcfg' 버전은 Mills *et al*, 2013 연구에서 제시한 미광 보정 절차를 통해 왜곡된 픽셀을 보정한 데이터로, 관계식을 적용하여 화소 값을 보정하였다. 2023년 11월 현재까지의 SNPP-VIIRS의 임무 수행 기간[5]은 <표 4>와 같다.

'vcmcfg' 버전의 경우 SNPP-VIIRS가 운영된 2012년도부터 현재까지 자료를 모두 제공하지만 기상이나 구름의 영향을 효율적으로 제거하지 못하여 그 정확도가 2014년도부터 현재까지 제공되고 있는 'vcmslcfg'와 비교하였을 때 정교하지 못하다는 단점이 있다(김상우·남진, 2022). 이에 본 연구에서 SNPP-VIIRS DNB 'vcmslcfg'를 활용하여 연구를 진행하고자 한다.

5) NOAA, https://ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download_ut_mos.html

<표 4> SNPP-VIIRS Nighttime Lights Time Series

월/년	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
01	-	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
02	-	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
03	-	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
04	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
05	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
06	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
07	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	-
08	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	-
09	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	-
10	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	-
11	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	-
12	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	-

또한 SNPP-VIIRS 월평균 DNB 영상자료는 제작하는 과정에서 대기를 구성하는 물질과 극단파의 전자기 복사에너지 간 상호작용에 따라 매우 낮은 수준의 에너지가 배경 잡음으로 기록될 수 있으며, 이를 보정하는 과정에서 음의 복사휘도가 저장된 화소가 나타날 수 있다(NOAA, 2014; 김민호, 2021a). 이러한 화소는 중국뿐 아니라 한반도를 포괄한 영상에서도 보고되었다(Shi et al., 2014; 김민호, 2020a). 그리고 월평균 DNB 영상자료에는 미미한 양이지만 인공의 조명시설이 부재한 지역에서도 야간 조도가 기록될 수도 있어(Elvidge et al., 2017; 김민호, 2021a) 시계열 변화 분석 시 제거되어야 한다.

2. 야간 위성영상을 활용한 사회·경제적 선행연구

최근 국내외에서 야간 위성영상 자료를 활용한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 주로 사회·경제적 지표의 대리 변수로서 사용되었으며, 이 외에도 자연재해와 전쟁, 에너지 소비, 등 추정을 위한 변수로 사용되었다. <표 5>은 야간 위성영상 자료를 활용한 사회·경제적 선행연구의 연구내용이다.

야간 위성영상 자료는 인간 활동을 반영하는 지표로, 해당 데이터를 활용한 연구들은 대부분 인간의 경제활동, 도시화, 환경, 등 추정 등 다양한 연구주제로 진행되었다.

국내에서 사회·경제적 지표의 대리변수로서 사용된 연구로는 주뢰 외(2016)와 김민호(2021a) 연구 등이 있다.

주뢰 외(2016)의 연구는 우리나라 중부지방을 대상으로 NPP-VIIRS 데이터와 국지적 공간연관성통계량(Getis and Ord's Gi*, local Moran's I, and Lee's Si*)을 통해 시가지를 추출한 후, 이를 참조 데이터와 비교 검토하였다. 실제 시가지보다 과장될 수 있는 야간 조명의 특성을 고려하여 야간 밝기 값을 그대로 사용하는 경우와 제곱을 통해 값 간의 편차를 더 크게 한 경우를 분석하였다.

김민호(2021a)에서는 코로나-19의 전국적 확산에 따라 국내에서 발생한 야간 인공조명 세기의 시공간적 변화 패턴을 고찰하는 것을 목적으로, 2019년, 2020년, 2021년 3월 SNPP-VIIRS DNB 영상자료를 활용하여 코로나-19의 전국적 확산과 맞물린 야간 인공조명의 광역시도별 시공간 변화를 분석하였다.

김민호(2020b) 연구에서는 SNPP-VIIRS DNB 영상자료와 토지피복도를 활용하여 시가지에서 방출된 야간 인공조명 강도가 인구예측에 미치는 영향을 고찰하고자 하였다. 이를 위해 시가지 피복 또는 모든 피복유형에 해

당하는 화소의 인공조명 강도를 각각 도출한 후 이들을 설명변수로 구성한 단순회귀모형에 기반한 남한 광역시도의 인구추정 결과를 비교하였다.

정시윤·전병운(2020) 연구에서는 공간 빅데이터, 공공 Wi-Fi AP와 야간 위성영상과 같은 새로운 지리 데이터를 활용하여 2018년 대구광역시의 도시 활력을 평가하고, 도시 활력을 측정하기 위한 대리변수로 공간 빅데이터, 공공 Wi-Fi AP, SNPP-VIIRS DNB를 통합하여 활용할 수 있는 가능성을 제시하고자 하였다. 김상우·남진(2022) 연구에서는 연구에서는 인구사회·산업경제·물리환경의 지표를 활용하는 기존의 방법에 야간 위성영상인 SNPP-VIIRS DNB를 사용하여 도시의 성장과 쇠퇴를 분석하였고, 기존의 도시 성장 및 쇠퇴 분석 방법을 보완할 수 있는 방법으로 야간 위성영상 자료를 제시하였다.

국외 연구에서는 Elvidge *et al*(1997)과 Shi *et al*(2014) 등이 있으며, Elvidge *et al*(1997) 연구에서는 DMSP-OLS 야간 데이터를 사용하여 21개국에 대해 국내총생산(GDP), 전력소비량 및 인구와의 상관관계 분석하였고, Shi *et al*(2014) 연구에서는 중국의 국내 총생산과 전력 소비를 추정 및 DMSP-OLS 데이터와의 비교를 통해 SNPP-VIIRS 야간 조명 데이터의 능력 평가하고자 하였다.

Savory DJ(2017)의 연구에서는 DMSP-OLS 영상 자료를 통해 2000년부터 2013년까지 아프리카의 도시화 변화를 시계열로 분석하였으며, Satheendran *et al*(2022) 연구에서는 2012년부터 2020년까지 SNPP-VIIRS DNB 데이터를 활용하여 인도 남서부 주 중 하나인 케랄라(Kerala) 지역의 야간 조명 범위와 도시지역 정량적 평가 및 시각화 분석을 수행하였다.

본 연구는 이러한 국내외 선행연구를 바탕으로 전국 빛세기 현황 분석 및 시가화 지역 추출과 확대에 관한 분석을 수행하였다.

<표 5> 야간 위성영상 자료를 활용한 사회·경제적 선행연구

저자 (연도)	야간 위성영상 자료	연구 내용
주뢰 외 (2016)	SNPP-VIIRS DNB	우리나라 중부지방을 대상으로 NPP-VIIRS 데이터와 국지적 공간연관성통계량을 통해 시가지를 추출한 후, 참조 데이터와 비교 검토
김민호 (2020b)	SNPP-VIIRS DNB	야간 인공조명 강도와 토지피복을 이용한 남한의 광역시도 인구추정
김민호 (2021a)	SNPP-VIIRS DNB	코로나-19의 전국적 확산에 따라 국내에서 발생한 야간 인공조명 세기의 시공간적 변화 패턴을 고찰
정시윤·전병운 (2020)	SNPP-VIIRS DNB	대구시를 도시민의 다양한 시공간적 활동을 측정할 수 있는 공간 빅데이터, Wi-Fi AP, 야간 위성영상을 활용하여 도시 활력을 분석
김상우·남진 (2022)	SNPP-VIIRS DNB	우리나라를 배경으로 야간조명데이터를 통해 도시의 성장과 쇠퇴를 분석, 기존 방법을 보완할 수 있는 방법을 야간조명데이터로 제시
Elvidge *et al* (1997)	DMSP-OLS	야간조명데이터와 국내총생산(GDP) 및 인구의 관계 분석
Shi *et al* (2014)	DMSP-OLS / SNPP-VIIRS DNB	중국의 국내 총생산과 전력 소비를 추정 및 SNPP-VIIRS 야간 조명 데이터의 능력 평가, DMSP-OLS 데이터와의 비교
Savory DJ (2017)	DMSP-OLS / SNPP-VIIRS DNB	아프리카 도시화의 시간적 패턴 분석
Satheendran *et al* (2022)	SNPP-VIIRS DNB	2012년부터 2020년까지 인도 남서부 주 중 하나인 케랄라(Kerala)의 야간 조명 범위와 도시 지역 정량적 평가 및 시각화

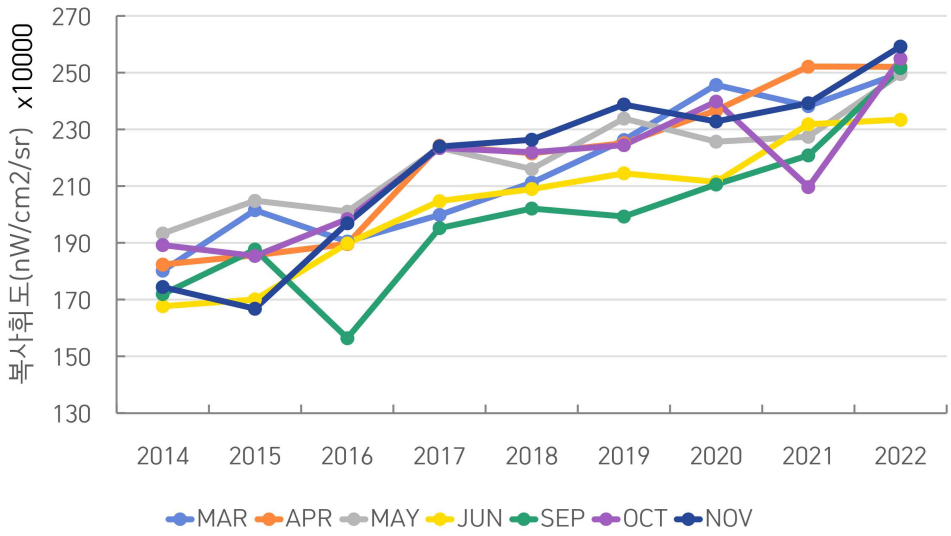
Ⅲ. 전국 빛세기 현황 분석

1. 전국 시도별 빛세기 현황

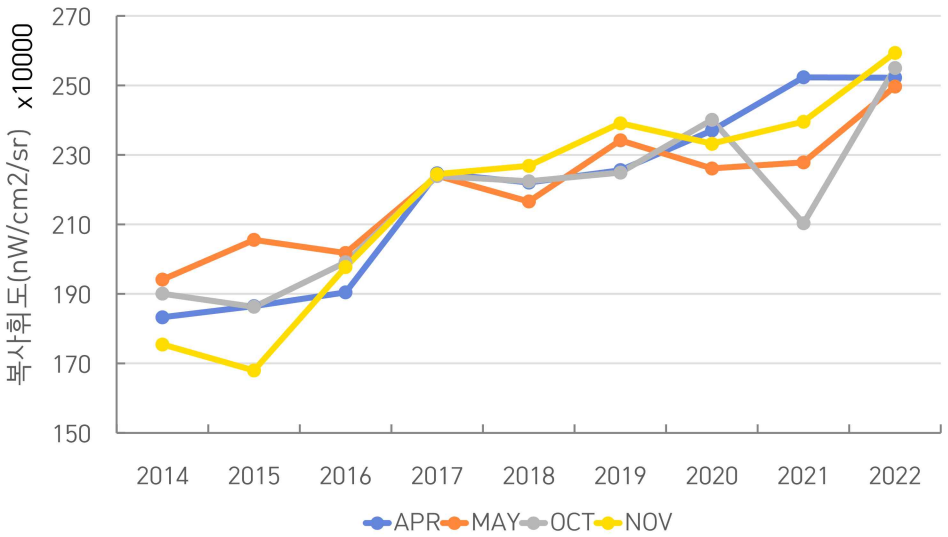
본 연구는 2014년부터 2022년까지 모든 월별 DNB 데이터를 아시아 전역이 포함된 3번 타일로 데이터를 내려받아 대한민국 국지영상으로 추출하였다. 그리고 계절성 및 설지반사(雪地反射)를 고려하여 연간 데이터를 구축하였다.

일반적으로 여름철 많은 양의 구름은 인공위성으로 수집되는 빛의 양을 적어지게 만들 위험이 있는 반면(Elvidge et al., 2017), 겨울철 야외 장식조명의 증가는 다른 계절에 비해 인공위성으로 수집되는 빛의 양이 증가시킬 가능성이 있다. 이는 계절에 따라 데이터 수집 값이 상이하다는 것을 의미하기에 계절성을 보완하기 위하여 2014년부터 2022년까지 전체 월별 데이터 총량 값을 검토하였다(그림5, 6).

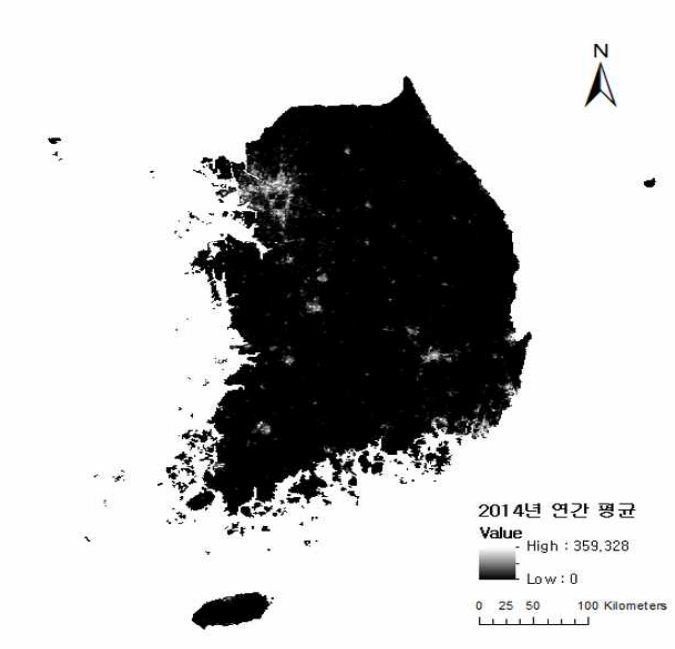
월별 데이터 총량 값 검토 결과, 인공조명의 사용 시간이 길고, 설지반사의 영향이 있는 겨울철(12,1,2,3월)과, 다른 달에 비해 많은 양의 구름으로 현저히 낮은 빛의 양이 나타나는 여름철(6,7,8,9월)에 해당하는 데이터를 일괄적으로 제거하였으며, 남은 4,5,10,11월, 네 달의 평균치를 사용하여 2014년과 2022년의 연간 데이터를 생성하였다(그림 7, 8).



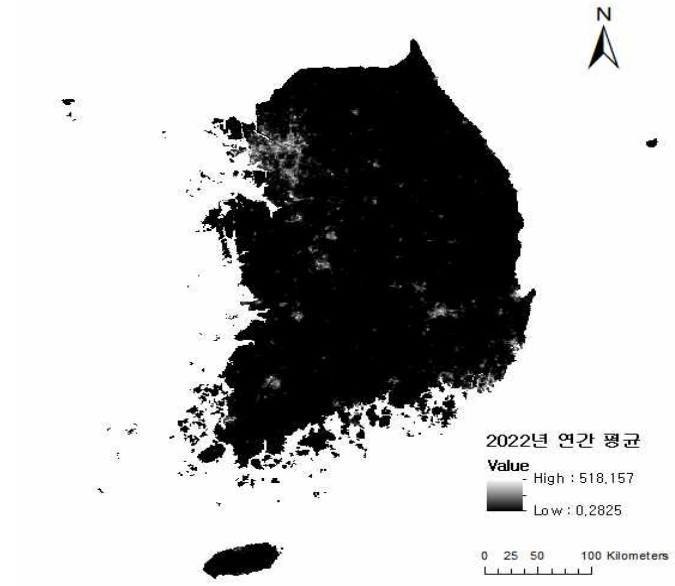
[그림 5] 2014년~2022년 월별 총량 값



[그림 6] 2014년~2022년 4, 5, 10, 11월 월별 총량 값



[그림 7] 2014년 데이터 (4, 5, 10, 11월 평균)

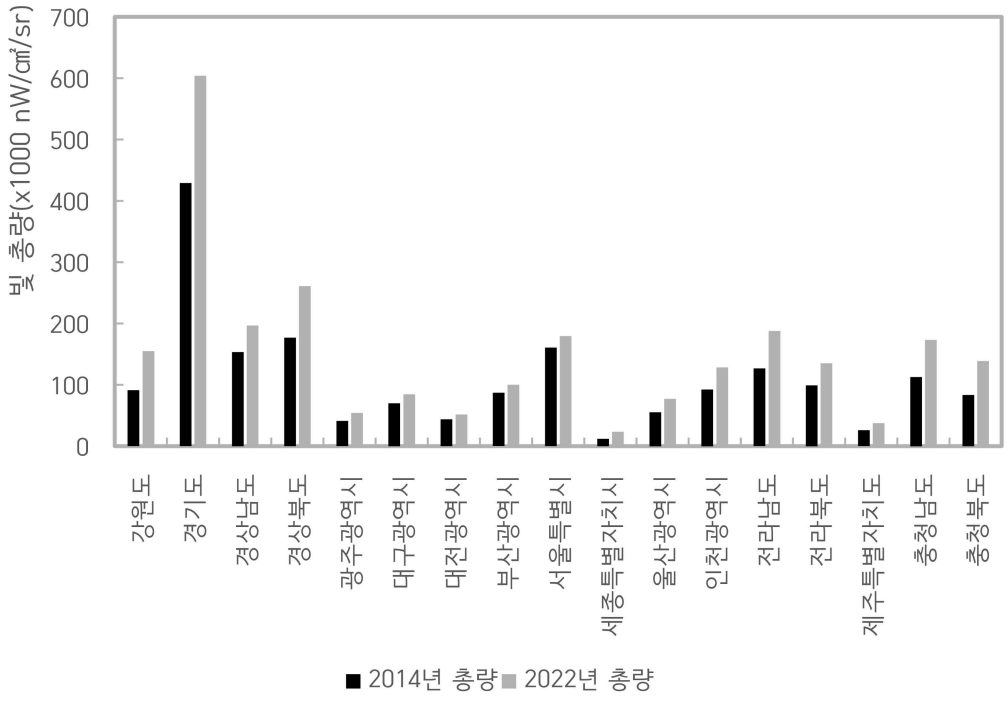


[그림 8] 2022년 데이터 (4, 5, 10, 11월 평균)

구축한 연간 데이터를 바탕으로 구역통계를 적용하여 2014과 2022년의 전국 시도별 빛 총량 변화와 기초 통계량을 도출하였다. [그림 9]와 <표 6>, <표 7>는 시도별 빛의 총량 변화 및 구역통계를 적용한 기초 통계량을 제시한 것이다.

2014년부터 2022년까지 시도별 빛 총량은 전체 지역에서 증가한 것으로 나타났다. 특히 경기도는 2014년과 2022년 사이에 175,027nW/㎠/sr 높아져 가장 큰 증가 수준을 보였다. 그 뒤로 경상북도, 강원도, 전라남도 순으로 큰 증가가 나타났다.

대전광역시의 최솟값은 2022년 시도별 빛 총량 최솟값에서 가장 높은 수치였으나, 2014년과 2022년 사이 7,863nW/㎠/sr 늘어나 전체 시도별 빛 총량에서 가장 낮은 증가 수준을 보인 지역이었다.



[그림 9] 시도별 빛의 총량

<표 6> 2014년 시도별 빛세기 기술통계

시도명	최소	최대	평균	표준편차	총합
서울	2.4	359.3	45.2	25.2	160,637
부산	0.6	177.2	21.0	22.6	86,922
대구	0.4	109.0	13.8	19.0	70,016
인천	0.1	203.2	16.2	22.0	92,606
광주	0.6	137.0	14.4	19.1	41,008
대전	0.4	120.6	14.1	18.2	43,755
울산	0.2	281.5	9.3	18.0	55,592
세종	0.5	64.0	4.5	6.2	12,079
경기	0.1	143.5	7.3	12.3	428,893
강원	0.0	82.5	0.9	3.4	1,192
충북	0.0	116.3	1.9	5.2	3,654
충남	0.1	220.7	2.4	6.2	112,922
전북	0.0	169.0	2.2	5.9	9,387
전남	0.0	345.4	1.9	7.1	126,691
경북	0.0	134.9	1.6	4.8	176,942
경남	0.0	168.2	2.6	7.1	153,598
제주	0.1	84.4	2.5	5.8	25,843

<표 7> 2022년 시도별 빛세기 기술통계

시도명	최소	최대	평균	표준편차	총합
서울	3.2	385.1	50.5	27.6	179,438
부산	1.2	241.9	24.1	25.2	100,033
대구	0.9	146.5	16.7	22.3	84,718
인천	0.3	291.4	22.4	30.5	128,192
광주	1.1	130.6	19.1	22.0	54,446
대전	0.8	151.3	16.6	20.1	51,618
울산	0.6	223.3	12.9	23.7	77,346
세종	1.1	112.9	8.8	13.0	23,639
경기	0.5	518.2	10.3	16.3	603,920
강원	0.3	110.9	1.6	4.2	154,942
충북	0.4	122.3	3.2	7.2	139,042
충남	0.4	351.0	3.7	9.2	173,323
전북	0.4	129.5	3.0	7.0	134,990
전남	0.3	479.3	2.8	10.3	187,919
경북	0.3	157.0	2.4	5.8	260,820
경남	0.3	154.8	3.3	7.4	196,837
제주	0.5	87.2	3.7	6.5	37,563

가장 큰 폭의 증가가 나타난 경기도의 최솟값은 2014년 대비 2022년에 0.4nW/㎠/sr 증가하였고, 최댓값은 374.7nW/㎠/sr 증가했으며, 전체 빛의 총량 또한 175,027nW/㎠/sr로 약 40.8% 증가하였다. 그러나 시도별 빛 총량 변화율로 살펴보면 지역별로 빛 총량 증가량과는 다르게 현저한 차이를 확인할 수 있다.

2014년과 2022년 사이의 시도별 빛세기 변화를 파악하기 위해 빛세기 증가량과 증가율을 계산하였다. 다음 <표 8>는 그 결과를 제시한 것이다.

<표 8> 2014년~2022년 빛 총량 및 빛세기 변화

시도명	빛 총량 (nW/㎠/sr)		2014-2022년 빛세기 변화	
	2014년	2022년	빛세기 증가량 (nW/㎠/sr)	빛세기 증가율 (%)
서울	160,637	179,438	18,801	11.7
부산	86,922	100,033	13,111	15.1
대구	70,016	84,718	14,701	21.0
인천	92,606	128,192	35,586	38.4
광주	41,008	54,446	13,438	32.8
대전	43,755	51,618	7,863	18.0
울산	55,592	77,346	21,755	39.1
세종	12,079	23,639	11,560	95.7
경기	428,893	603,920	175,027	40.8
강원	1,192	154,942	63,749	69.9
충북	3,654	139,042	55,388	66.2
충남	112,922	173,323	60,401	53.5
전북	9,387	134,990	35,603	35.8
전남	126,691	187,919	61,229	48.3
경북	176,942	260,820	83,878	47.4
경남	153,598	196,837	43,239	28.2
제주	25,843	37,563	11,720	45.4

2014년 대비 2022년 빛의 총량 변화율에서는 세종특별자치시가 95.7%로 가장 큰 증가율을 보였다. 다음 강원도(69.9%), 충청북도(66.2%), 충청남도(53.5%) 순으로 높은 증가율이 나타났다.

2014년~2022년 빛 총량에서 가장 큰 증가 수준을 보인 경기도는 40.8% 증가율을 보였으며, 강원도 보다 낮은 변화율이 도출되었다.

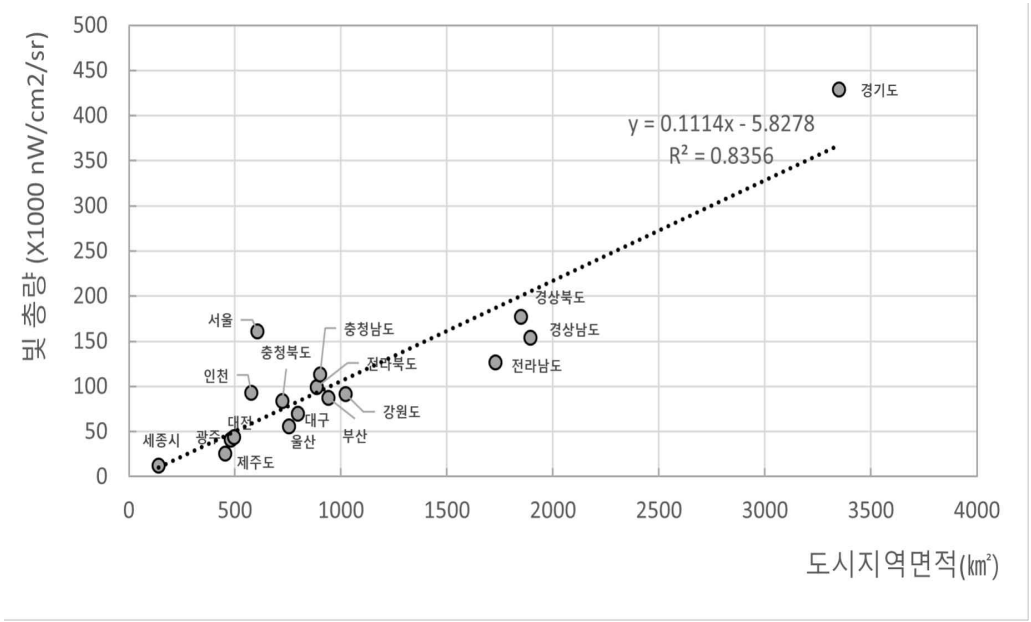
충청북도와 충청남도는 빛 총량과 빛 총량 변화율 모두 비슷한 패턴을 보였다. 충청북도와 충청남도의 2014년 대비 2022년 빛 총량이 경상북도, 강원도, 전라남도 다음으로 높은 증가 수준을 보였는데, 빛 총량 변화율에서도 강원도 다음으로 높은 증가율로 도출되었다.

또한 본 연구는 야간 인공조명의 영향을 가장 많이 받는 시도별 도시지역을 대상으로 2014년~2022년 도시지역 면적과 빛 총량과의 관계를 분석하였다. 통계청에서 제공하고 있는 도시지역 면적 통계자료는 시기별로 시도와 시군구별 도시지역 면적에 대한 수치를 ㎡ 단위로 제공하고 있다.

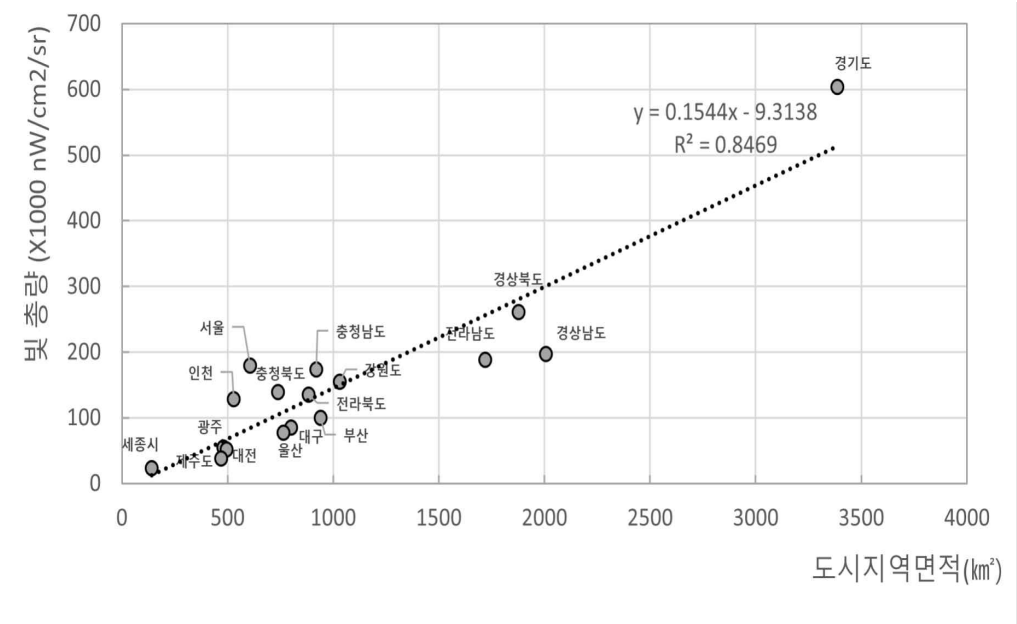
따라서 본 연구는 도시지역과 빛세기와의 관계를 분석을 위해 2014년과 2022년 시도별 도시지역 면적 단위를 ㎢로 환산하여 사용하였다.

단위 환산이 수행된 도시지역 면적을 바탕으로 시도별 전체 면적 대비 빛의 증감과 도시면적 증감을 확인하고, 도시지역과 빛세기와의 관계를 분석하였다.

시도별 도시지역 면적과 빛세기의 관계를 분석한 결과는 다음 [그림 10], [그림 11]과 같다. 분석 결과, 각 시기별로 도시 면적의 큰 변화는 없었으나 전체 시도별 빛 총량은 2014년과 2022년 사이 시기에 모두 증가한 것을 확인할 수 있었다. 또한 산포도 기울기를 살펴보면 2014년과 2022년 두 시기 모두 도시 면적과 빛 총량의 관계는 높은 수준이며, 두 시기 사이에 도시 면적과 빛 총량과의 관계가 더 높아진 것으로 나타났다.



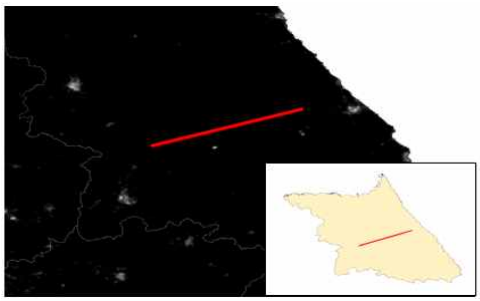
[그림 10] 2014년 도시면적과 빛 총량의 관계



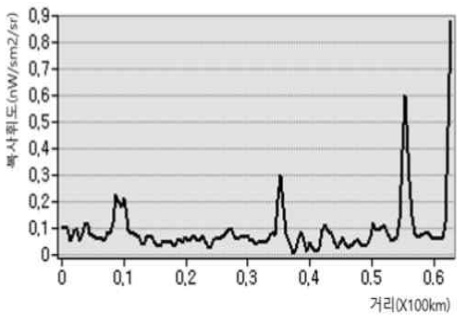
[그림 11] 2022년 도시면적과 빛 총량의 관계

월평균 DNB 영상자료에는 미미한 양이지만 인공 조명시설이 부재한 지역에서도 야간 조도가 기록될 수도 있어(Elvidge et al., 2017; 김민호, 2021a) 시계열 변화 분석 시 제거되어야 한다. 월평균 DNB 영상에 나타날 수 있는 배경 잡음을 조사하기 위해 본 연구는 김민호(2021a)연구를 참고하여 [그림 12]에 나타난 바와 같이 강원도 지역 중 시가지가 부재한 지역을 대상으로 설정한 단면의 화소별 복사휘도를 추출하여 분석하였다.

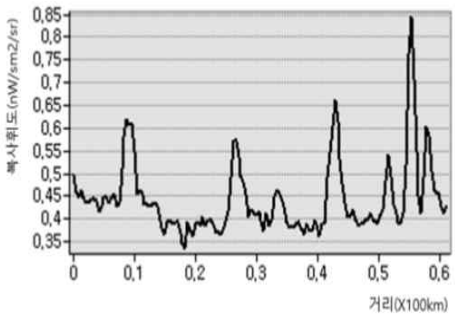
[그림 13]와 [그림 14]와 과 같이 2014년, 2022년 각각에서 모두 0.9nW/㎠/sr 이하의 인공조명 강도가 확인되었다. 이에 본 연구는 0.9nW/㎠/sr를 배경 잡음 임계값으로 설정하여 그 이하의 인공조명 세기를 갖는 화소를 분석에서 제외하였다.



[그림 12] 배경 잡음 분석 단면

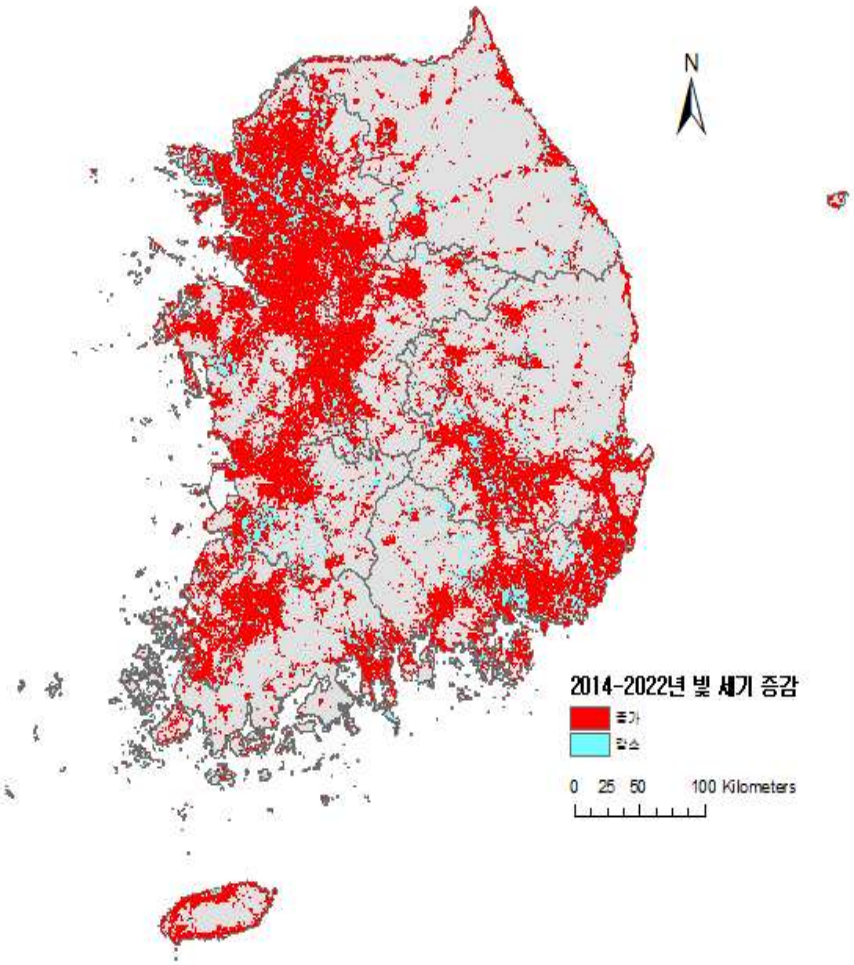


[그림 13] 2014년 인공조명 강도



[그림 14] 2022년 인공조명 강도

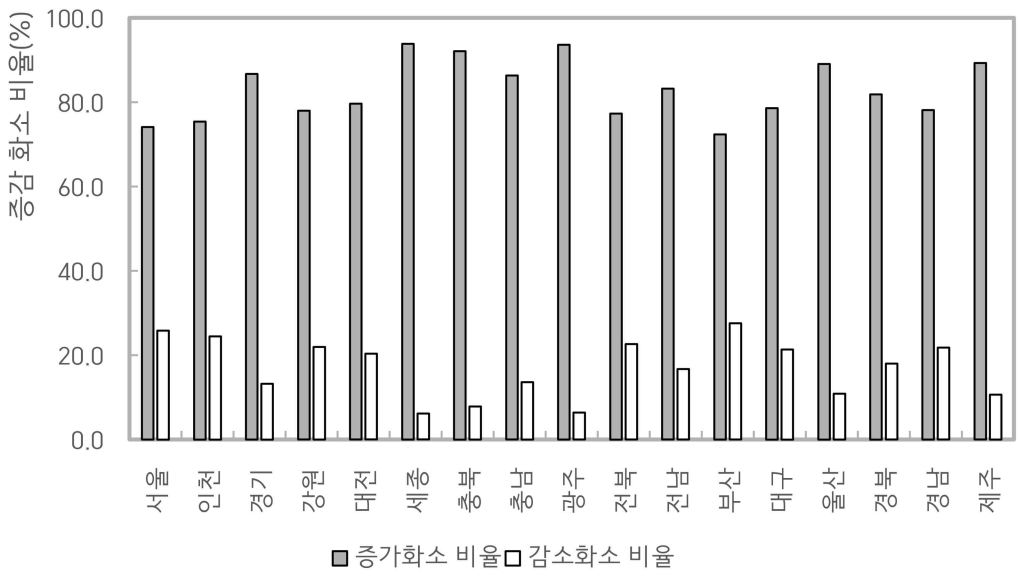
전처리가 모두 수행된 영상자료를 바탕으로 시도별 야간 빛세기가 증가하거나 감소한 화소 변화를 공간분포로 나타내었다(그림 15). 2014년에서 2022년 시기 간 인공조명 강도의 변화가 한 눈에 뚜렷한 차이는 찾아보기 어려웠으나 대부분 지역에서 증가한 화소가 분포하고 있었다.



[그림 15] 2022년-2014년 화소별 인공조명 강도의 차

2022년-2014년 화소별 인공조명 강도 차를 살펴보면, 증가한 화소가 83.1%로 대부분임을 알 수 있지만 감소한 화소가 16.9%를 차지하고 있으며, 모든 화소가 증가한 것은 아닌 것으로 나타났다.

2014년 대비 2022년 지역별 총 화소에 대한 빛세기 증가 화소와 감소 화소의 비율 변화는 다음 [그림 16]과 <표 9>와 같다. 2014년과 2022년 사이에 모든 화소에서 감소한 화소보다 증가한 화소의 비율이 월등히 높았다. 특히 세종특별자치시와 충청북도, 광주광역시는 2014년 대비 2022년에 증가를 경험한 화소 비율이 90% 이상으로 높은 수준의 증가율을 보였다. 이외에도 제주특별자치도, 울산광역시, 경기도, 전라남도, 경상북도 순으로 80% 이상의 야간 빛세기가 증가한 화소의 비율로 나타났다.



[그림 16] 2014년 대비 2022년 지역별 화소 변화율

<표 9> 2014년 대비 2022년 지역별 화소 변화율

권역	시도명	증가화소 비율(%)	감소화소 비율(%)	권역별 증감 비율(%)	
				증가율	감소율
수도권	서울	74.1	25.9	84.8	15.2
	인천	75.4	24.5		
	경기	86.7	13.2		
충청권	대전	79.6	20.3	88.3	11.7
	세종	93.9	6.1		
	충북	92.1	7.8		
	충남	86.3	13.6		
호남권	광주	93.6	6.4	81.2	18.7
	전북	77.3	22.6		
	전남	83.2	16.7		
영남권	부산	72.4	27.6	80.3	19.6
	대구	78.6	21.4		
	울산	89.1	10.9		
	경북	81.9	18.0		
	경남	78.1	21.8		
강원권	강원	78.0	22.0	78.0	22.0
제주권	제주	89.3	10.7	89.3	10.7

권역별 화소의 변화율을 살펴보면, 가장 큰 증가율을 보인 지역은 제주권이며, 그 뒤로 충청권과 수도권 순으로 야간 빛세기가 증가한 화소의 비율이 높았다.

본 연구는 전국 시도별 빛세기 현황 분석 위해 야간 위성영상 자료를 월별 총량 값으로 검토하고 2014년과 2022년 데이터로 구축하였다. 구축된 연간 데이터를 바탕으로 전국 시도별 빛세기 현황을 분석하였고, 분석 결과를 정리한 내용은 다음과 같다.

첫째, 시도별 빛의 총량 분석 결과, 2014년과 2022년 사이 빛의 총량은 전국 모든 지역에서 증가하였다. 가장 큰 증가 수준을 보인 지역은 경기도였으며, 대전광역시의 경우 시도별 빛 총량의 최솟값에서 가장 높은 수준

이었으나 전체 빛 총량에서는 가장 낮은 증가수준을 보인 지역이었다.

둘째, 2014년 대비 2022년 시도별 빛세기 변화 분석 결과 빛의 총량 비교와는 다른 결과가 도출되었다. 빛세기 변화율이 가장 큰 지역은 세종특별자치시가 95.7%로 가장 큰 증가율을 보였다. 세종특별자치시는 빛의 총량에서는 크게 증가하지 않았지만 2014년 대비 2022년 빛세기 변화율에서는 다른 지역보다 월등히 높은 수준의 증가율을 보였다.

셋째, 야간 인공조명의 영향을 가장 많이 받는 도시지역을 대상으로 시도별 도시지역 면적과 빛세기와의 관계를 분석한 결과, 각 시도별로 2014년과 2022년 사이에 도시 면적의 큰 변화는 없었으나 전체 시도별 빛 총량은 증가하였고, 해당 시기 모두 도시 면적과 빛 총량과의 관계는 높은 수준이었으며, 2014년보다 2022년에 관계가 더 높아진 것으로 나타났다.

넷째, 인공조명 세기를 갖는 화소를 바탕으로 지역별 화소 변화를 분석하였다. 인공 조명이 부재한 지역에서도 빛세기가 기록될 수 있기에 본 연구는 전처리 과정이 수행된 DNB 영상자료를 바탕으로 시도별 야간 빛세기가 증가하거나 감소한 화소의 공간분포를 분석하였다. 분석결과, 대부분 지역에서 증가한 화소가 분포하고 있었으며, 지역별 화소 변화율에서도 모든 지역별 화소에서 큰 증가를 경험했다. 특히 세종특별자치시, 충청북도, 광주광역시는 2014년 대비 2022년 사이 증가 화소 비율이 90% 이상으로 야간 인공조명 세기가 크게 증가하였다.

2. 전국 시군구별 빛세기 현황

본 연구는 앞서 시도별 빛세기 현황 분석을 바탕으로 229개의 시군구별 빛세기 현황도 조사하였다. 비교적 자세한 지역별 빛세기 현황을 조사하기 위하여 시군구별 빛세기 시계열적 변화를 분석하였다. 월별 총량 값을 바탕으로 구축된 2014년과 2022년 데이터를 통해 도출된 각 시기별, 시군구별 빛 총량을 구역통계를 적용하여 분석하였다. 다음 <표 10>는 빛 총량이 많은 상위 20개 지역을 추출한 결과이다.

<표 10> 2014년, 2022년 상위 20개 지역의 빛 총량

시군구명	2014년 빛 총량 (nW/㎠/sr)	시군구명	2022년 빛 총량 (nW/㎠/sr)
경상남도 창원시	45,917	경기도 화성시	54,273
경기도 화성시	34,699	경기도 평택시	52,224
충청북도 청주시	34,156	충청북도 청주시	50,272
경기도 용인시	30,575	경상남도 창원시	44,405
경기도 고양시	30,555	경기도 용인시	41,647
경기도 수원시	29,028	전라남도 여수시	38,180
경상북도 포항시	28,905	경기도 고양시	37,186
전라남도 여수시	24,275	경상북도 포항시	36,943
경기도 성남시	23,807	경기도 수원시	32,111
경기도 평택시	23,801	충청남도 천안시	30,693
경기도 파주시	22,133	인천 중구	30,561
충청남도 천안시	21,932	울산 울주군	28,760
경기도 남양주시	20,847	경기도 파주시	28,415
경상북도 구미시	20,739	경상남도 김해시	27,017
경기도 안산시	19,394	인천 서구	27,012
전라북도 전주시	19,263	전라북도 전주시	25,986
경상남도 김해시	18,854	경기도 남양주시	25,976
인천 중구	18,651	경상북도 경주시	25,975
울산 울주군	18,312	경기도 성남시	25,613
전라남도 광양시	17,398	경기도 김포시	24,502

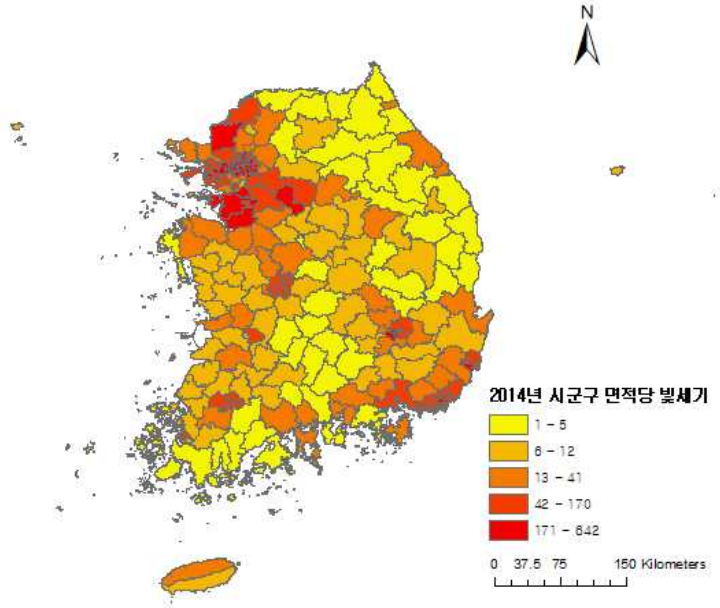
빛 총량이 가장 많은 상위 20개 지역을 추출한 결과, 2014년 빛 총량은 경기도에 해당하는 지역들이 총 8개 지역으로 가장 많이 포함되었다. 경상남도 창원시가 45,917nW/㎠/sr로 가장 큰 빛 총량을 보였으며, 다음 경기도 화성시와 충청북도 청주시는 비슷한 수치를 보였고, 그 뒤로 경기도 용인시, 고양시, 수원시 순으로 빛 총량이 큰 수준이었다.

2022년에는 경기도 화성시가 빛 총량이 가장 큰 지역으로 도출되었다. 경기도 화성시는 2014년에 두 번째로 큰 지역이었으나, 19,574W/㎠/sr 증가하여 2022년엔 빛의 총량이 가장 큰 지역으로 보여졌다.

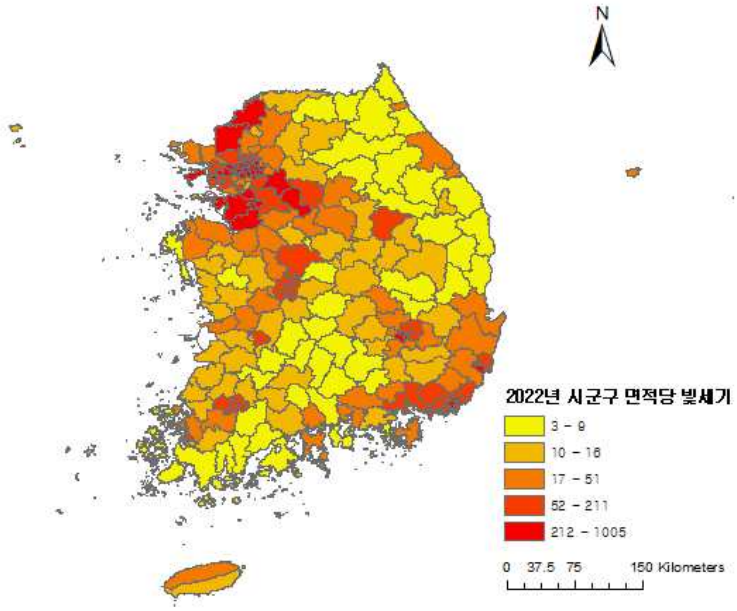
경기도 화성시 뒤로 경기도 평택시가 두 번째로 큰 지역으로 도출되었다. 경기도 평택시는 2014년에 빛 총량 10위에 해당하던 지역이었으나 2022년에 2위까지 빛 총량이 증가하여 상위 20개의 지역 안에서는 가장 큰 증가 수준을 보였다.

2014년 빛 총량 상위 20개 지역에는 포함되지 않았지만 2022년에 새롭게 포함된 지역들도 있었다. 인천 서구와 경기도 김포시 그리고 경상북도 경주시가 이에 해당되는 지역이었다. 인천 서구와 경기도 김포시 그리고 경상북도 경주시의 2014년 빛 총량은 각각 15,824와 14,772 그리고 17,229로 2022년 빛 총량과 비교하였을 때, 인천 서구와 경상북도 경주시는 70% 이상 증가하였고, 경기도 김포시는 약 40% 증가하였다.

본 연구는 전체 229개의 시군구 지역을 비교적 쉽게 비교하기 위하여 시군구 행정구역 내 빛 총량을 면적 값으로 나누어 단위면적 당 빛세기 값을 시기별로 비교하였다. [그림 17]과 [그림 18]은 그 결과를 제시한 것이다.



[그림 17] 2014년 시군구 면적당 빛세기



[그림 18] 2022년 시군구 면적당 빛세기

시군구 면적 당 빛세기 값 비교 결과, 2014년과 2022년 시기에 대부분 수도권 지역이 면적당 빛세기가 높은 것으로 나타났다. 면적당 빛세기를 지역별로 비교하기 위해 2014년과 2022년 각각 시기의 면적당 빛세기가 큰 상위 20개 지역을 추출하여 <표 11>에 제시하였다.

2014년 면적당 빛세기 상위 20개 중 대구광역시 중구와 부산광역시 연제구, 동구를 제외한 나머지 지역은 모두 수도권 지역이었다. 수도권 지역 중 경기도 화성시가 가장 높은 것으로 나타났으며, 서울특별시 중구, 경기도 파주시, 평택시 순으로 면적당 빛세기가 큰 것으로 확인되었다.

<표 11> 2014년, 2022년 면적당 빛세기 상위 20개 지역

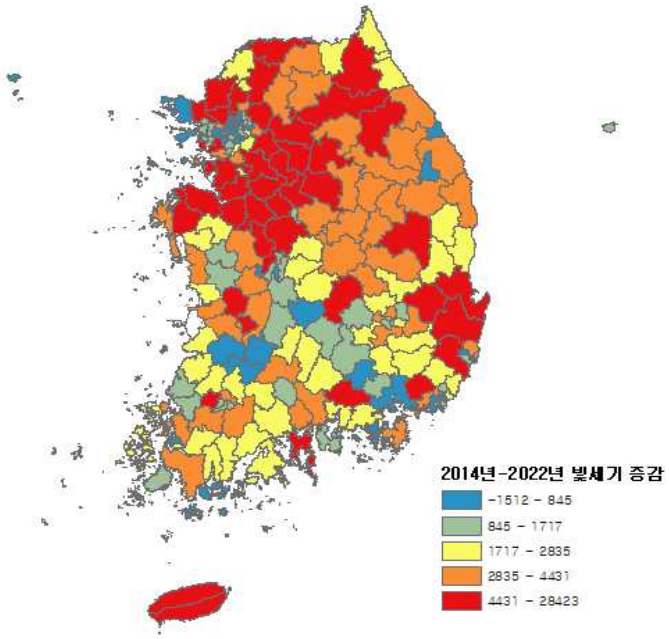
2014년		2022년	
시군구명	면적당 빛세기 (nW/㎠/sr)	시군구명	면적당 빛세기 (nW/㎠/sr)
경기도 화성시	642.5	경기도 화성시	1,005.0
서울 중구	579.4	경기도 평택시	893.4
경기도 파주시	517.6	경기도 파주시	664.6
대구 중구	434.2	서울 중구	591.4
경기도 평택시	407.2	경기도 이천시	569.4
경기도 이천시	388.7	대구 중구	529.4
서울 영등포구	348.2	서울 동대문구	397.2
서울 마포구	344.5	서울 성동구	392.0
서울 동대문구	343.3	서울 영등포구	380.7
서울 양천구	341.9	서울 송파구	374.6
부산 연제구	341.3	서울 양천구	363.7
서울 용산구	323.3	서울 강남구	353.7
서울 송파구	314.8	서울 마포구	351.4
서울 성동구	313.1	인천 미추홀구	350.0
서울 강남구	311.5	부산 연제구	346.3
인천 미추홀구	310.9	서울 광진구	334.4
서울 광진구	303.8	서울 용산구	334.0
부산 동구	295.5	서울 구로구	329.0
서울 동작구	285.4	서울 중랑구	326.7
인천 부평구	282.5	대구 서구	324.7

2022년 면적당 빛세기 상위 20개 지역 중 대구광역시 중구는 2014년과 2022년 면적당 빛세기 상위 20개에 포함되었으나, 부산광역시 동구는 2022년 결과에 포함되지 않았으며, 대구광역시 서구가 2022년 상위 지역 20개에 새롭게 등장하였다. 2022년 면적당 빛세기 결과는 대구광역시 중구, 서구와 부산광역시 연제구를 제외한 면적당 빛세기 상위 20개 지역은 모두 수도권 지역이었다.

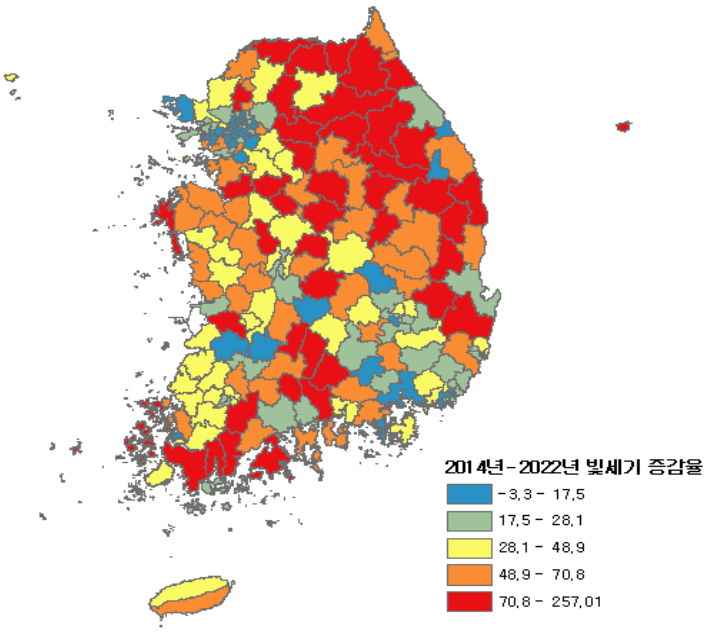
또한, 2022년 면적당 빛세기에서 2014년과 같이 경기도 화성시가 가장 높은 빛세기를 나타낸 지역으로 확인되었다. 그 뒤로 경기도 평택시, 파주시, 서울특별시 중구, 경기도 이천시 순으로 높은 빛세기를 가진 지역으로 나타났으며, 서울특별시 동대문구, 성동구, 영등포구, 송파구, 양천구, 강남구 등 서울특별시 자치구에 해당하는 지역들이 분포하였다.

본 연구는 2014년에서 2022년 사이 빛세기의 변화를 확인하기 위해 해당 시기의 시군구별 빛세기 증감량과 증감율을 분석하였다(그림 19, 20).

2014년에서 2022년 사이 증감량과 증감률은 2014-2022 빛세기 증감 데이터와 함께 비교하면 큰 차이가 나타났으며, 앞서 분석한 면적당 빛세기 분포와도 확연한 차이가 나타났다. 가장 큰 증가 수준이 나타나면서 높은 증가율을 보인 지역은 수도권 지역이 아닌 강원도 및 경상도 일부 지역이었다. 다음 <표 12>는 2014년 대비 2022년 각각 빛세기 증가 및 증가율이 큰 지역 순으로 상위 20%에 해당하는 40개 지역을 추출한 결과이다.



[그림 19] 2014년-2022년 빛세기 증감 변화



[그림 20] 2014년-2022년 빛세기 증감률 변화

<표 12> 2014년-2022년 상위 20% 지역 빛세기 증가 현황

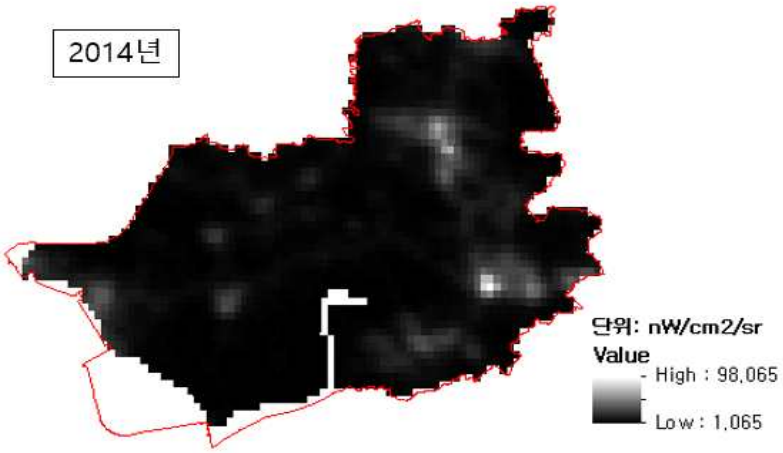
시군구명	빛세기 증가량 (nW/㎠/sr)	시군구명	빛세기 증가율 (%)
경기도 평택시	28,423	강원도 인제군	257.0
경기도 화성시	19,574	강원도 화천군	219.3
충청북도 청주시	16,116	경상북도 영양군	200.1
전라남도 여수시	13,905	경상북도 울릉군	144.6
인천광역시 중구	11,910	강원도 영월군	142.6
세종특별자치시	11,554	전라남도 고흥군	140.6
경상북도 경주시	11,203	경상북도 봉화군	137.6
인천광역시 서구	11,188	경상북도 예천군	131.9
경기도 용인시	11,072	전라남도 신안군	129.9
울산광역시 울주군	10,448	전라남도 강진군	128.2
충청북도 충주시	9,619	강원도 평창군	126.1
충청남도 아산시	9,264	경상남도 하동군	124.0
충청남도 천안시	8,761	충청북도 괴산군	121.4
충청남도 서산시	8,596	강원도 철원군	120.7
경기도 양주시	8,503	경기도 평택시	119.4
경기도 안성시	8,316	경상남도 함양군	117.3
경상남도 김해시	8,163	충청북도 단양군	115.4
경기도 시흥시	8,058	강원도 홍천군	114.5
경상북도 포항시	8,038	강원도 양구군	108.3
경상남도 진주시	7,846	전라남도 화순군	104.9
강원도 원주시	7,846	경기도 가평군	104.6
충청남도 당진시	7,502	강원도 횡성군	103.9
경기도 김포시	7,273	전라남도 장흥군	103.9
전라북도 전주시	6,723	경기도 여주시	102.4
경기도 고양시	6,631	경기도 양평군	101.2
경기도 포천시	6,476	경상북도 울진군	100.6
경기도 여주시	6,335	전라남도 해남군	96.9
경기도 파주시	6,282	경상북도 청송군	96.7
경상북도 김천시	6,259	충청북도 진천군	96.4
인천광역시 연수구	6,240	세종특별자치시	95.7
경기도 이천시	6,017	강원도 양양군	95.0
제주도 제주시	5,924	경상남도 산청군	87.7
울산광역시 남구	5,871	충청북도 충주시	85.6
제주도 서귀포시	5,797	전라남도 구례군	83.9
전라북도 익산시	5,755	경상남도 고성군	83.3
충청북도 음성군	5,725	전라북도 김제시	81.5
강원도 인제군	5,691	충청북도 보은군	81.5
강원도 홍천군	5,654	충청북도 영동군	78.4
경기도 광주시	5,466	전라북도 장수군	76.4
충청북도 진천군	5,445	충청남도 태안군	76.4

2014년 대비 2022년 증가량에서 상위 20%에 해당하는 40개 지역 중 경기도 평택시가 가장 큰 증가량을 보였다. 경기도 평택시의 증가량은 28,423nW/㎠/sr로 40위에 해당하는 충청북도 진천군과 5배 이상 높게 차이 나는 것을 확인할 수 있었다. 그 뒤로 경기도 화성시, 충청북도 청주시, 전라남도 여수시, 인천광역시 중구 순으로 큰 증가량을 보였다.

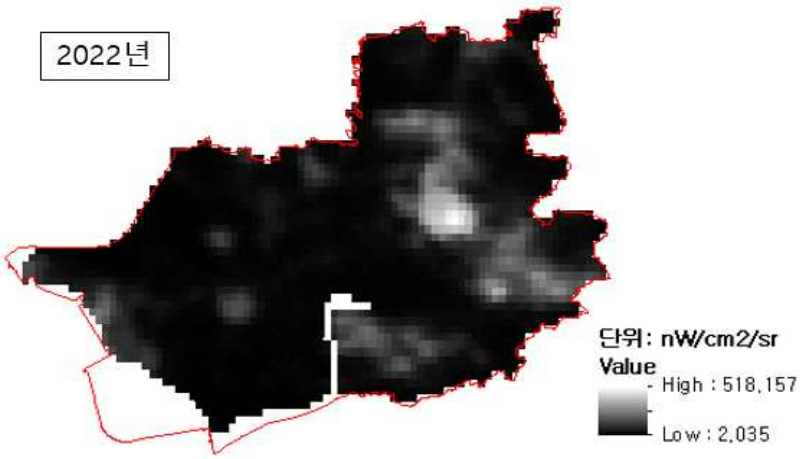
2014년 대비 2022년 증가율에서는 상위 40개 지역 중 강원도 인제군과 화천군, 경상북도 영양군이 가장 큰 증가율을 보인 지역으로 나타났으며, 각각 200% 이상의 증가율을 보였다.

강원도 인제군은 2014년 대비 2022년 빛세기 증가율이 257%로 가장 큰 증가율을 보인 지역이었으나, 증가량에서는 37위로 낮은 증가량을 보였다. 강원도 화천군과 경상북도 영양군은 강원도 인제군 다음으로 빛세기 증가 가율이 높은 지역으로 도출되었으나, 증가량에서는 상위 20%안에 포함되지 않았다.

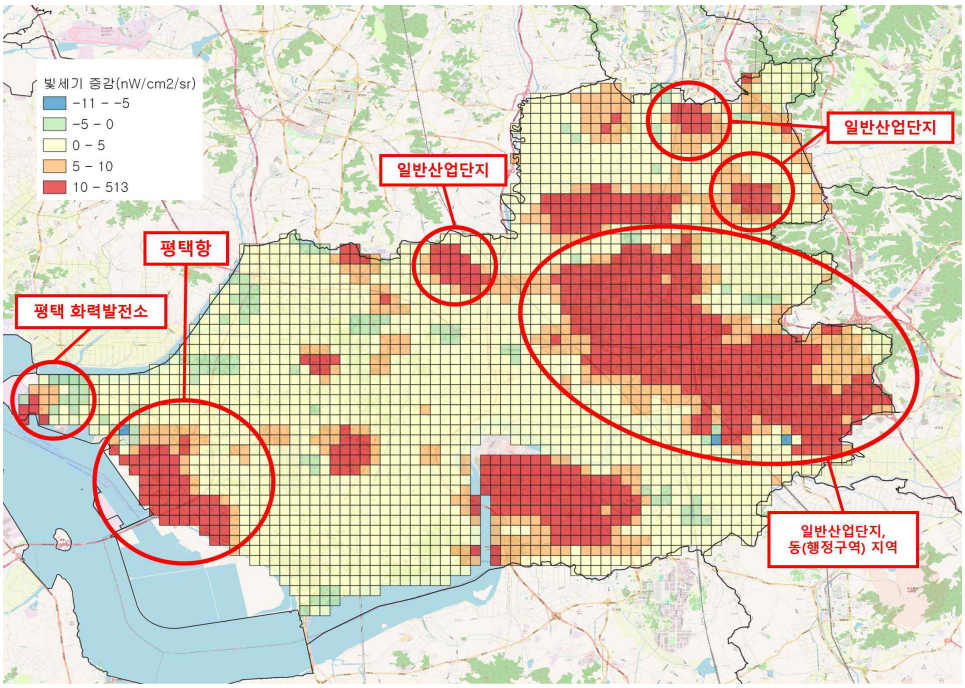
가장 큰 빛세기 증가량 변화를 보였던 경기도 평택시를 대상으로 추출한 2014년과 2022년 사이 야간 위성영상은 다음 [그림 21]과 [그림 22]에 제시하였고, [그림 23]는 야간 위성영상과 같은 픽셀 크기의 격자로 산출하여 나타낸 결과이다.



[그림 21] 경기도 평택시 2014년 야간 위성영상



[그림 22] 경기도 평택시 2022년 야간 위성영상

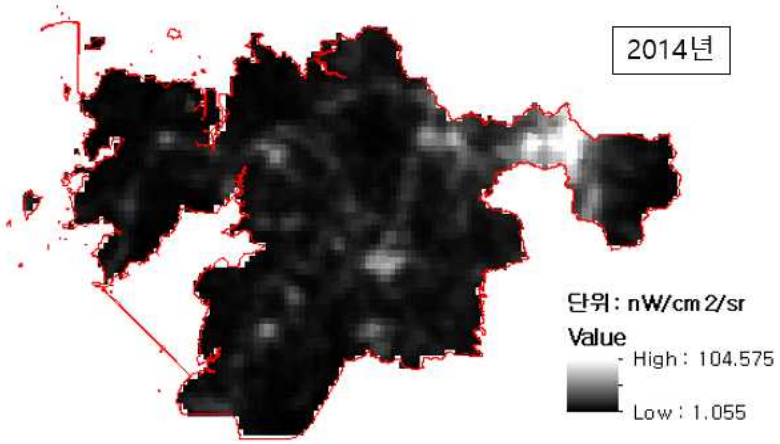


[그림 23] 경기도 평택시 2014년-2022년 빛세기 증감

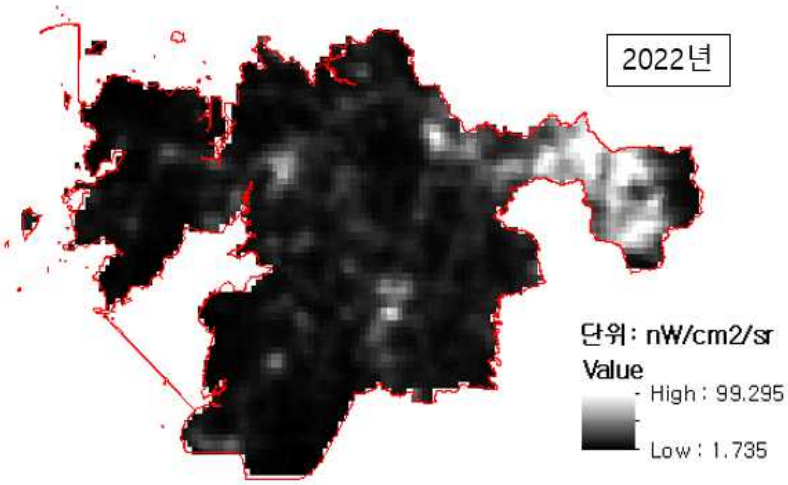
결과를 통해 알 수 있듯이 경기도 평택시는 동부 지역과 서부 지역 일부의 빛세기 최대값이 크게 증가하였고, 빛세기 변화가 눈에 띄게 확대되어 증가하였음을 알 수 있었다.

경기도 평택시의 빛세기 증가가 크게 나타난 동부 지역은 산업단지가 주로 분포되어 있고 국내 도시지역 행정구역 단위인 동 지역의 영향이 큰 것으로 확인되었으며, 서부 지역은 평택 화력발전소와 평택항이 빛세기 증가에 영향이 있는 것으로 파악되었다.

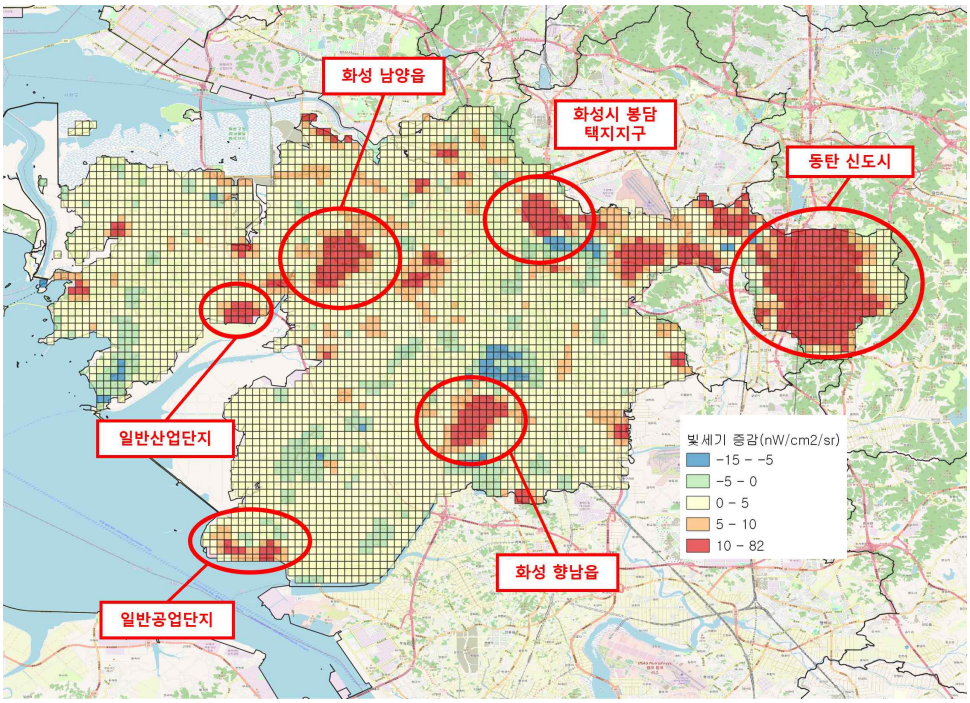
또한 평택시 다음으로 큰 빛세기 증가량으로 나타난 경기도 화성시의 야간 위성영상은 [그림 24]과 [그림 25]이며, 야간 위성영상의 픽셀과 같은 크기의 격자로 산출하여 나타낸 결과는 [그림 26]와 같다.



[그림 24] 경기도 화성시 2014년 야간 위성영상



[그림 25] 경기도 화성시 2022년 야간 위성영상



[그림 26] 경기도 화성시 2014년-2022년 빛세기 증감

경기도 화성시의 야간 위성영상 비교 결과, 최대값은 소폭 감소하였지만, 동부 지역의 빛세기가 강하게 증가한 것으로 나타났다. 빛세기 증가가 크게 나타난 화성시의 동부 지역은 도시지역 행정구역인 동 지역이 위치하고 있으며, 특히 산업단지를 포함하고 있는 동탄 신도시가 빛세기 증가에 큰 영향을 있는 것으로 파악되었다. 화성시청 소재지인 화성시 남양읍은 도심으로서 역할을 기대하고 있는 지역으로 빛세기가 증가한 지역임을 확인하였고, 화성시 봉담읍 택지지구와 그 외 일반산업단지 및 일반공업단지 또한 2014년 대비 2022년에 크게 증가했음을 알 수 있었다.

본 연구는 시도별, 시군구별 시계열적 빛세기 증감 패턴 분석을 통해 2014년과 2022년 사이에 지역별 빛세기 증가 양상이 다르게 나타나는 것을 확인하였다.

시도별 증가량에서 경기도가 월등히 큰 증가 수준이었고, 시군구별 증가량에서 또한 경기도 평택시와 화성시가 다른 지역에 비해 월등히 큰 빛세기 증가량을 보이고 있었으며, 상위 20%의 40개 지역 안에 13개의 지역이 경기도에 해당하였다. 그러나 증가율에서는 시도별 증가율과는 큰 차이가 나타났다. 시도별 빛세기 증가율에서 압도적으로 높은 증가율을 보인 세종특별자치시는 시군구별 증가율에서 상위 20% 지역 중 30위에 해당하는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구는 시도별 빛세기 현황 분석을 바탕으로 비교적 자세한 지역별 빛세기 현황을 조사하기 위해 시군구별 빛세기 현황 분석을 수행하였다. 시도 및 시군구별 빛세기 현황에서는 대부분 지역이 2014년과 2022년 사이에서 증가한 것으로 확인할 수 있었다. 그러나 시도 및 시군구별 시계열적 빛세기 변화를 조사한 결과, 시군구 빛세기 증가량 및 증가율 결과는 전국 시도별 현황과 비슷한 양상이 보이나 증가율에서는 차이가 있었다. 그 예로, 세종특별자치시의 경우, 시도별 빛세기 증가율에서 월등히 높은 수치를 보였지만 시군구별 증가율에서 상위 20%에 해당하는 40개 지역 중 30위 수준에 해당하는 것을 확인하였다.

한편, 시군구별 빛세기 증감량에서 2014년 대비 2022년 가장 큰 증가량으로 나타난 경기도 평택시와 그 다음 큰 증가로 도출된 화성시를 대상으로 야간 위성영상과 같은 화소 크기의 격자로 산출하여 도면화한 결과, 각 지역별로 산업 및 공업단지와 시가화 지역을 중심으로 빛세기가 강하게 나타났으며, 2014년과 2022년 사이 큰 증가를 보였다.

다음 4장은 야간 위성영상과 MODIS 지면피복 분류자료인 MCD12Q1과의 비교분석을 통해 시가화 지역을 추출하고 변화를 분석하였다.

Ⅳ. 시가화 지역 추출 및 변화 분석

1. MCD12Q1 자료를 활용한 시가화 지역 추출

시가화 지역을 추출하고 변화 패턴을 파악하기 위해 4장 분석에서는 SNPP-VIIRS DNB자료와 MODIS 지면피복 분류자료를 활용하였다.

MODIS 센서 자료는 미항공우주국 (National Aeronautics and Space Administration, NASA)에서 운용하고 있는 Terra/Aqua 위성에 탑재된 MODerate resolution Imaging Spectroradiometer(MODIS)센서를 통해 수집된 자료를 의미한다.

MODIS는 영상보정, 대기, 육지, 극지, 해양 등의 관측에 중요한 약 40개의 자료(MOD1~MOD40)를 생산하는데, 다중 데이터의 유형을 지원할 수 있고 간편하고 구현이 쉬운 HDF_EOS (Hierarchical Data Format)형태로 제공된다(홍석영 외, 2012; 나상일 외, 2020). 그 중 MCD12Q1 product는 MODIS Terra 및 Aqua 반사율을 감독분류하여 International Geosphere Biosphere Programme (IGBP), University of MarylanD (UMD), Leaf Area Index/fractionof Photosynthetically Active Radiation (LAI/fPAR), Net Primary Production (NPP), Plant Functional Type (PFT) 5가지 유형의 토지피복도 형태로 제공하고 있다(나상일 외, 2020). 본 연구는 한반도뿐만 아니라 전 지구 규모의 지면피복 분류 연구에 가장 널리 사용되고 있는 방식이자, 17개의 항목으로 분류된 IGBP 유형의 영상자료를 이용하였다(김란희 외, 2016).

IGBP 유형으로 분류된 영상자료는 높은 정확도로 식별되며, 17개 분류항목 중 시가화 지역은 13번 항목에 해당한다. 여기서 시가화 지역 항목은

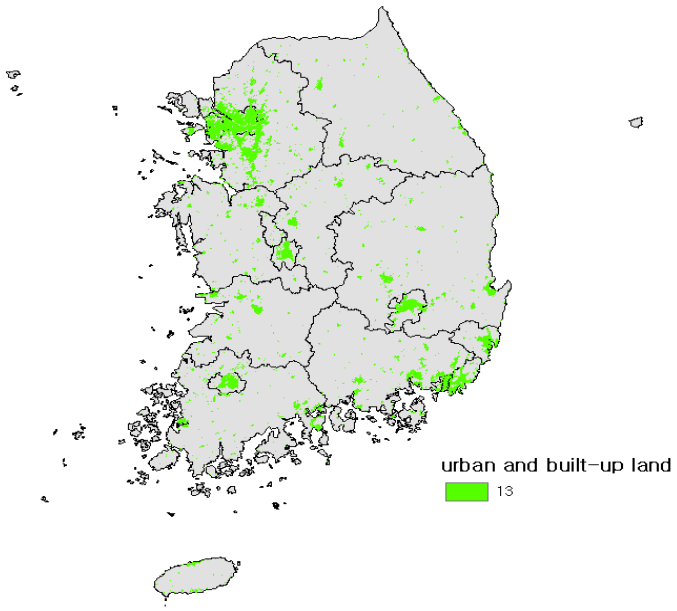
건물 및 기타 인공 구조물로 덮인 토지를 의미한다.

본 연구는 시가화 지역(urban and built-up land)을 대상으로 야간 위성영상과 비교 분석을 위해 2014년과 2022년 450m 기준 래스터로 제작하여 분석에 이용하였다.

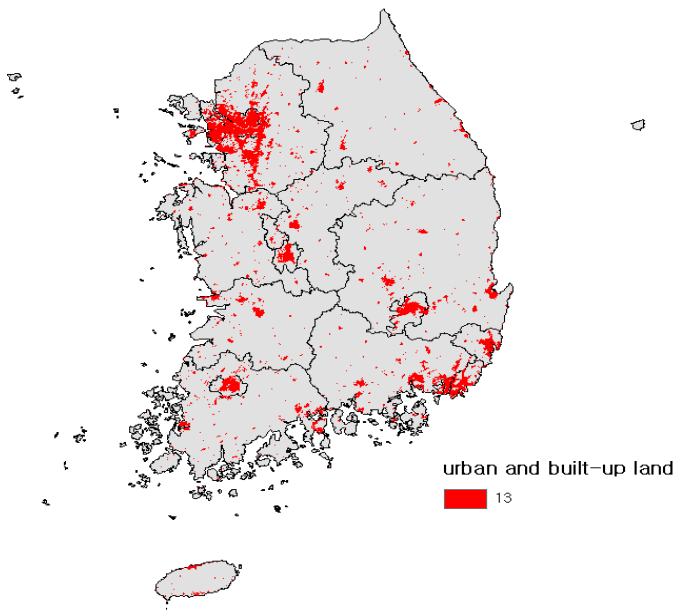
본 연구는 전국을 대상으로 야간 위성영상과 MODIS 지면피복 분류 자료의 비교 분석을 통해 시가화 지역을 추출하고 변화를 고찰하였으며, 분석과정은 크게 두 단계로 설명할 수 있다. 첫째, MODIS 지면 피복 분류를 통해 시가화 지역을 추출하고 변화를 파악한다. 둘째, 야간 위성영상을 바탕으로 공간 통계적 기법을 활용하여 2014년과 2022년의 전국 핫스팟 지역을 도출하고, 각 시기별 MCD12Q1와 비교하여 변화를 파악한다.

이를 위해, 2014년과 2022년 MCD12Q1를 각 시기별로 시가화 지역에 해당하는 픽셀만을 구축하고, 2014년과 2022년의 DNB 영상을 이용하여 공간 자기상관분석을 실시하였다. 국지적 공간 통계지수인 Local Moran I와 Local Getis-Ord's Gi를 활용하여 야간 빛세기 핫스팟을 도출한 결과와 MCD12Q1에서 도출된 시가화 지역과의 비교를 통해 2014년과 2022년의 전국 시가화 지역 변화를 고찰하였다.

시가화 지역 추출을 위해 먼저 MODIS 지면피복 분류자료인 MCD12Q1에서 시가화 지역에 해당하는 13번 항목만을 추출하였다. 2014년과 2022년 각각 시기의 영상자료에서 추출하였으며, 다음 [그림 27]와 [그림 28]에 그 결과를 제시하였다.



[그림 27] 2014년 MCD12Q1 시가화 지역



[그림 28] 2022년 MCD12Q1 시가화 지역

또한, MODIS 지면피복 분류 자료에서 구역통계를 적용하여 시도별 시가화 지역에 해당하는 물리적 면적을 도출하였으며, 다음 <표 13>이 그 결과이다.

본 연구는 MCD12Q1 자료를 통해 2014년 대비 2022년 시도별 시가화 지역의 분포를 확인하고 면적을 계산하였다.

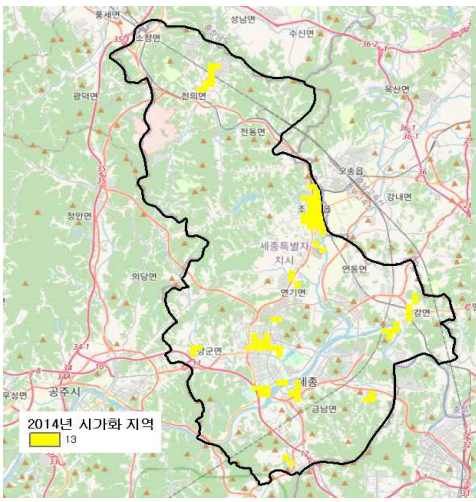
전국 시도별 시가화 지역은 2014년 대비 2022년 대부분 지역에서 증가하였다. 시가화 지역이 가장 넓은 지역은 경기도이며, 면적은 약 100㎢가 증가하였다. 그러나 세종시특별자치시의 경우, 2014년과 2022년 사이의 시가화 지역 면적의 차이는 10㎢로 다른 시도 면적에 비해 큰 증가 수준은 아니었지만, 면적의 증가율은 63.2%로 가장 큰 증가율을 보인 지역으로 도출되었다.

<표 13> MCD12Q1 시가화 지역 면적 및 증가율

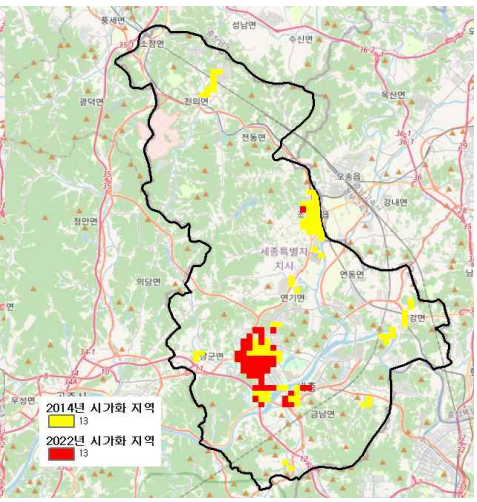
시도명	시가화 지역 면적(㎢)		2014년-2022년 시가화 지역 면적 증가율(%)
	2014년	2022년	
서울	497	497	0.0
부산	335	340	1.6
대구	261	266	1.7
인천	299	306	2.1
광주	190	195	2.7
대전	166	168	1.2
울산	180	185	2.8
세종	15	25	63.2
경기도	1,346	1,436	6.7
강원도	255	261	2.1
충청북도	210	219	4.1
충청남도	282	298	5.9
전라북도	261	268	2.3
전라남도	440	447	1.4
경상북도	433	444	2.6
경상남도	524	545	4.0
제주도	87	88	1.2

본 연구는 비교적 자세한 시가지 변화를 파악하기 위해 본 연구는 세종특별자치시를 대상으로 2014년과 2022년 시가화 지역의 화소 변화를 분석하였다.

다음 [그림 29]는 MCD12Q1 자료를 바탕으로 세종특별자치시의 2014년 시가화 지역을 제시한 것이고, [그림 30]은 세종특별자치시의 2014년과 2022년을 함께 나타낸 것이다. 2014년 대비 2022년 세종특별자치시의 시가화 지역의 화소는 56% 증가로 큰 변화가 있는 것을 파악하였다.



[그림 29] 2014년 세종특별자치시 시가화 지역



[그림 30] 2014년, 2022년 세종특별자치시 시가화 지역

2. VIIRS-DNB와 MCD12Q1 비교를 통한 시가화 지역 추출

본 연구는 야간위성영상과 MODIS 토지피복 분류자료를 비교하여 2014년과 2022년의 전국 시가화 지역 변화를 고찰하였다. 이를 위해 야간 영상자료를 대상으로 국지적 공간 통계지수인 Local Moran I와 Local Getis-Ord's Gi를 활용하여 도출된 빛세기가 강한 핫스팟 지역의 면적을 계산하여 MCD12Q1 자료에서 도출한 시가화 지역 면적과 비교하였으며, 분석 결과는 다음 <표 14>와 <표 15>와 같다.

<표 14> MCD12Q1 시가화 면적과 도출된 핫스팟 지역의 면적

시도	2014년 시가지 면적 (㎢)				2022년 시가지 면적 (㎢)			
	MCD12Q1 [6]	Gi_95%[7]	Gi_99%[8]	M_I [9]	MCD12Q1	Gi_95%	Gi_99%	M_I
서울	496.9	495.7	495.9	569.2	496.9	494.9	495.9	561.9
부산	334.5	321.4	327.6	449.6	339.8	323.2	332.3	438.0
대구	261.2	258.2	260.0	334.1	265.7	262.2	264.5	338.4
인천	299.5	288.0	289.0	434.8	305.8	293.4	294.4	440.8
광주	189.9	189.3	190.6	191.4	195.0	193.2	195.6	213.8
대전	166.1	165.6	166.7	224.8	168.1	167.7	168.7	228.2
울산	180.4	177.2	179.4	236.1	185.5	183.3	184.5	263.5
세종	15.4	16.0	17.0	51.4	25.1	26.1	26.7	84.4
경기	1345.8	1313.8	1330.2	2199.8	1436.1	1399.3	1419.3	2479.8
강원	255.4	249.7	255.6	277.0	260.8	254.3	261.0	310.8
충북	210.2	202.1	208.2	251.7	218.9	210.8	216.9	374.4
충남	281.9	269.7	275.8	331.7	298.5	282.3	292.4	421.2
전북	261.4	256.6	261.2	316.7	267.5	263.5	267.3	338.4
전남	440.2	423.4	433.4	380.5	446.5	427.5	439.0	401.2
경북	432.7	423.4	433.1	581.4	443.9	431.5	444.3	666.0
경남	524.3	494.3	507.7	592.9	545.3	511.9	528.5	594.5
제주	86.9	82.8	85.7	88.1	87.9	84.2	86.7	102.7

6) MCD12Q1에서 추출한 시가화 지역의 면적
7) Local Getis-Ord's Gi에서 추출된 유의수준 95% 핫스팟 지역의 결과 면적

<표 15> MCD12Q1 시가화 면적과 도출된 핫스팟 지역의 면적 차이

시도	2014년 MCD12Q1 면적과 차이 (㎢)			2022년 MCD12Q1 면적과 차이 (㎢)		
	Gi 95%[10]	Gi 99%[11]	Moran I[12]	Gi 95%	Gi 99%	Moran I
서울	1.2	1.0	-72.3	2.0	1.0	-65.0
부산	13.1	6.9	-115.0	16.6	7.5	-98.2
대구	3.0	1.2	-72.9	3.5	1.2	-72.7
인천	11.5	10.5	-135.3	12.4	11.3	-135.1
광주	0.6	-0.6	-1.4	1.8	-0.6	-18.8
대전	0.5	-0.6	-58.7	0.4	-0.6	-60.1
울산	3.2	1.0	-55.7	2.2	1.0	-78.0
세종	-0.6	-1.6	-36.0	-1.0	-1.6	-59.3
경기도	32.0	15.6	-853.9	36.8	16.8	-1043.7
강원도	5.7	-0.2	-21.7	6.5	-0.2	-50.0
충북	8.1	2.0	-41.5	8.1	2.0	-155.5
충남	12.2	6.1	-49.8	16.2	6.1	-122.7
전북	4.8	0.2	-55.3	4.0	0.2	-70.9
전남	16.8	6.9	59.7	19.0	7.5	45.4
경북	9.3	-0.4	-148.6	12.4	-0.4	-222.1
경남	30.0	16.6	-68.6	33.4	16.8	-49.2
제주	4.1	1.2	-1.2	3.7	1.2	-14.8

분석결과, MCD12Q1 시가화 지역 면적은 2014년 및 2022년 Getis-Ord's Gi(유의수준 99%)을 통해 도출된 핫스팟 지역의 면적과 가장 유사한 것으로 나타났으며, 인천광역시와 경기도, 그리고 경상남도를 제외한 다른 지역에서 7㎢ 미만의 면적 차이를 보였다.

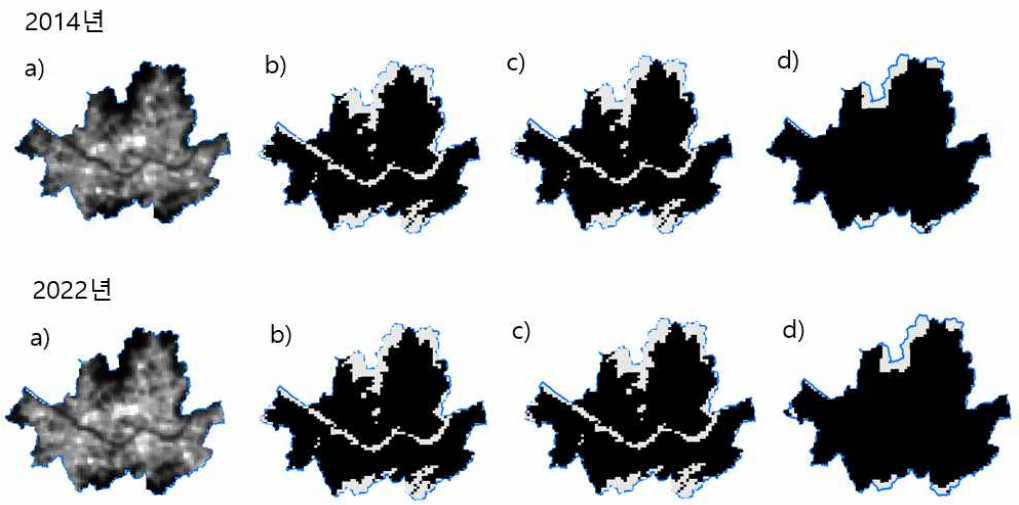
Moran I 공간 통계를 적용하여 가장 빛세기가 강한 지역인

8) Local Getis-Ord's Gi에서 추출된 유의수준 99% 핫스팟 지역의 결과 면적
9) Local Moran I에서 추출된 HH(High-High) 지역의 면적
10) MCD12Q1 시가화 지역 면적과 Local Getis-Ord's Gi(유의수준 95%)에서 추출된 결과 면적과의 차이
11) MCD12Q1 시가화 지역 면적과 Local Getis-Ord's Gi(유의수준 99%)에서 추출된 결과 면적과의 차이
12) MCD12Q1 시가화 지역 면적과 Local Moran I에서 추출된 결과 면적과의 차이

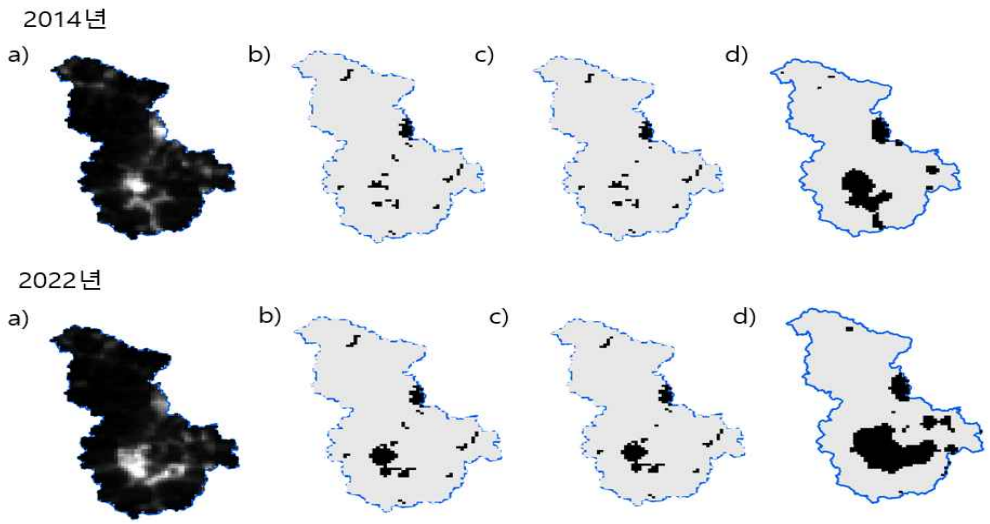
HH(High-High)지역 결과의 경우, 2014년에는 광주광역시와 제주특별자치도를 제외한 대부분의 지역에서 MCD12Q1 시가화 지역 면적과 큰 차이가 나타났다. 특히 경기도는 MCD12Q1 시가화 지역 면적보다 853.9㎢ 적은 것으로 나타나 가장 큰 차이로 도출되었으며, 부산광역시, 인천광역시, 경상북도 지역은 모두 100㎢ 이상 면적의 차이를 보였다.

2022년 결과에서 또한 마찬가지로 경기도가 2014년과 같이 가장 큰 차이를 보였으며, 1043.7㎢ 더 낮은 수준의 면적으로 도출되었다. 이에 따라 본 연구는 시가화 지역을 추출하기 위해서 Moran I와 Getis-Ord's Gi를 비교하였을 때, Moran I는 지면피복 분류 자료보다 시가화 지역이 더 넓은 면적으로 추출되기 때문에 Getis-Ord's Gi 통계량을 활용하는 것이 면적의 변화가 크게 나타나지 않기에 더 적합한 것으로 파악하였다.

다음 [그림 31]과 [그림 32]은 서울특별시와 세종특별자치시를 대상으로 추출된 야간 위성영상과 MCD12Q1와 앞서 분석을 수행했던 핫스팟 분석을 통해 도출된 시가화 지역의 범위를 비교한 것이다.



[그림 31] 2014년, 2022년 서울특별시 시가지 범위 비교;
a) DNB 데이터; b) MCD12Q1 데이터; c) 국지적 Getis-Ord's Gi 핫스팟 분석결과(유의수준 95%); d) 국지적 Moran I 핫스팟 분석 결과



[그림 32] 2014년, 2022년 세종특별자치시 시가지 범위 비교;
a) DNB 데이터; b) MCD12Q1 데이터; c) 국지적 Getis-Ord's Gi 핫스팟 분석결과(유의수준 95%); d) 국지적 Moran I 핫스팟 분석 결과

서울특별시와 세종특별자치시의 각 시기별 4개의 영상을 비교한 결과, 야간 위성영상에서 강한 빛세기 정도를 나타내는 화소의 분포와 비슷한 양상을 보였다. [그림 31]의 서울특별시 야간 인공조명 정도를 나타낸 a) DNB 데이터와 b) MCD12Q1에서 추출한 시가화 지역, 그리고 c)에 해당하는 Getis-Ord's Gi 핫스팟 결과의 차이는 크게 나타나지 않았으나 d) 국지적 Moran I 핫스팟 분석 결과와는 큰 차이가 존재하였다. Moran I 핫스팟 분석 결과는 다른 영상과 달리 비교적 넓은 범위를 HH지역, 즉 빛세기가 강장 핫스팟 지역으로 도출되었으며, 2014년과 2022년의 결과에서는 미세한 차이가 존재하나, 큰 변화를 발견하기 어려웠다.

세종특별자치시의 경우, 2014년보다 2022년의 DNB 데이터에서 빛세기가 강한 지역이 더욱 넓어진 것을 확인할 수 있었다. 이에 따라 MCD12Q1 영상자료에도 각 시기에 시가화 지역이 증가한 것으로 도출되었으며, 핫스팟 분석 결과에서도 각각 2014년보다 2022년에 증가한 것으로 확인되었다.

본 연구는 4장 시가화 지역 추출 및 변화 분석을 통해 크게 두 가지로 분석 결과를 정리할 수 있다.

첫째, MCD12Q1 영상 자료를 통해 2014년과 2022년의 시가화 지역을 추출하고 그 변화를 파악할 수 있다.

MCD12Q1 제품을 IGBP 유형으로 분류된 영상자료를 바탕으로 13번 항목에 해당하는 시가화 지역을 추출하였으며, 각 시기에 시도별 시가화 지역의 면적을 비교한 결과, 서울특별시의 시가화 지역의 면적은 2014년과 2022년 사이 차이가 없었으며, 해당 지역을 제외한 대부분 지역에서 시가화 지역의 면적이 증가한 것으로 도출되었다. 시도별 시가화 지역 중 특히 세종특별자치시의 경우 면적이 크게 증가한 것은 아니나 증가율은 63.2%로 가장 높은 수준으로 시가화 지역 면적이 증가하였다.

둘째, 야간 위성영상 자료와 MCD12Q1의 시가화 지역과의 비교를 통해

시가화 지역의 변화를 파악할 수 있었다.

MCD12Q1 시가화 지역 면적과 2014년 및 2022년 Getis-Ord's Gi(유의수준 95%, 99%), 그리고 Moran I를 통해 도출된 핫스팟 지역의 면적과 비교하였으며, Getis-Ord's Gi 핫스팟 분석 결과가 MCD12Q1 시가화 지역 면적과 가장 유사한 것으로 나타났다. 2014년 및 2022년 Getis-Ord's Gi 핫스팟 분석(유의수준 99%)결과에서 인천광역시와 경기도, 그리고 경상남도를 제외한 다른 지역에서 7㎢ 미만의 면적 차이로 나타났다. 그러나 Moran I 공간 통계 결과의 경우, 2014년과 2022년 모든 시기에서 MCD12Q1 시가화 지역 면적과 큰 차이를 보였으며, 특히 경기도 면적의 차이가 가장 큰 것으로 도출되었다.

Ⅴ. 결론

1. 결론 및 시사점

본 연구는 우리나라를 대상으로 시가화 지역의 변화를 파악하고자 하였다. 우리나라의 시가화 지역의 변화를 시계열적으로 분석하기 위한 대표적인 방법으로 환경부에서 제공하고 있는 토지피복도 등이 있으나, 해당 위성영상자료는 동일한 시기에 동일한 지역의 영상자료를 구득하는데 어려움이 있다. 따라서 이러한 한계점을 보완하기 위해 본 연구는 위성영상 중 야간 위성영상을 활용하는 방법을 제시하고자 했다. 이를 위해 야간 위성영상을 이용한 2014년에서 2022년 사이 전국 지역별 빛세기 변화를 파악하였고, 시가화 지역을 추출하여 시계열적 변화를 고찰하였으며, 분석한 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 전국 시도별 빛세기 현황 분석 결과, 시도별 빛 총량은 모든 지역에서 증가하였으며, 지역별로 빛세기 증가량과 증가율의 차이가 존재하였다. 2014년 대비 2022년 시도별 빛세기 변화 분석 결과, 빛의 총량 비교와는 다른 결과가 도출되었다. 빛세기 변화율이 가장 큰 지역은 세종특별자치시가 95.7%로 가장 큰 증가율을 보였으나, 빛 총량에서는 소폭 증가하였다. 야간 인공조명의 영향을 가장 많이 받는 도시지역을 대상으로 시도별 도시지역 면적과 빛세기와의 관계를 분석한 결과에서는 시도별 도시지역이 2014년 대비 2022년에 큰 변화는 없었으나 전체 시도별 빛 총량은 증가하였으며, 해당 시기 모두 도시 면적과 빛 총량과의 관계는 높은 수준이었다.

전처리 과정이 수행된 DNB 영상자료를 바탕으로 시도별 야간 빛세기가 증가하거나 감소한 화소의 공간분포를 분석한 결과, 대부분 지역에서 증가

한 화소가 분포하고 있었으며, 지역별 화소 변화율에서도 모든 지역별 화소에서 큰 증가를 경험했다.

둘째, 전국 시군구별 빛세기 현황 분석 결과, 2014년 대비 2022년에 대부분 지역에서 증가하였고, 증가율에서는 지역별로 큰 차이가 보였다.

2014년 대비 2022년 증가량 상위 20%에 해당하는 40개 지역 중 경기도 평택시가 가장 큰 증가량을 보였으며, 그 뒤로 경기도 화성시, 충청북도 청주시, 전라남도 여수시, 인천광역시 중구 순으로 큰 증가량을 보였다. 2014년 대비 2022년 증가율에서 상위 20%에 해당하는 40개 지역 중 강원도 인제군과 화천군, 경상북도 영양군이 가장 큰 증가율을 보인 지역으로 나타났으며, 각각 200% 이상의 증가율을 보였다.

또한 시군구별 빛세기 증감량에서 2014년 대비 2022년 가장 큰 증가량으로 나타난 경기도 평택시와 그 다음 큰 증가로 도출된 화성시를 대상으로 야간 위성영상과 격자로 산출하여 도면화한 결과, 각 지역별로 산업 및 공업단지와 시가화 지역을 중심으로 빛세기가 강하게 나타난 것으로 파악할 수 있었다.

셋째, 야간 위성영상으로도 시가화 지역을 파악할 수 있는 가능성을 확인하였다. MCD12Q1 영상 자료를 통해 2014년과 2022년의 시가화 지역을 추출하고 그 변화를 파악할 수 있으며, 야간 위성영상 자료와 MCD12Q1의 시가화 지역과의 비교를 통해 시가화 지역의 변화를 파악할 수 있었다.

MCD12Q1에서 추출된 시가화 지역 면적과 전처리가 수행된 SNPP-VIIRS DNB 영상자료를 바탕으로 국지적 공간 통계지수인 Getis-Ord's Gi와 Moran I 핫스팟 분석을 통해 추출된 핫스팟 지역의 면적을 비교하여 전국 시가화 지역의 변화를 고찰하였다. 해당 분석의 결과로, MCD12Q1 시가화 지역 면적은 2014년 및 2022년 Getis-Ord's Gi(유의수준 99%)을 통해 도출된 핫스팟 지역의 면적과 가장 유사한 것으로 나타

났으며, 인천광역시와 경기도, 그리고 경상남도를 제외한 다른 지역에서 7㎢ 미만의 면적 차이를 보였다. 그러나 Moran I 공간 통계 결과의 경우, 2014년과 2022년 모든 시기에서 MCD12Q1 시가화 지역 면적과 큰 차이를 보였다.

야간 위성영상은 동일한 시기에 전 지구적인 스케일의 자료를 비교적 효율적으로 이용할 수 있다는 장점이 있으며, 야간 위성영상 자료를 바탕으로 시가지 추출 및 시가지 변화를 파악할 수 있는 것으로 확인된다.

2. 한계점 및 향후 연구과제

본 연구는 야간 위성영상을 활용하여 지역별 빛세기 현황을 시계열적으로 분석했다는 것과 시가화 지역 추출 및 변화를 확인했다는 것에서 의의가 있다.

지적공부나 토지이용도를 활용하여 도시적 토지이용의 범위를 파악할 수 있으나 토지의 지목과 실제 토지 이용 현황이 일치하지 않을 뿐만 아니라 지목의 변경 또한 토지이용 변화만큼 유동적이지 않아 지적공부로 시가화 지역을 파악하는 것은 한계가 있고, 토지이용도를 이용할 수 있으나 구축 시기가 부정기적이기에 시가화 지역의 변화를 파악하는데 한계가 있다.

시가화 지역 추출 및 변화를 파악하기 위해 국내에서 제공하는 환경부 토지피복도와 같은 위성영상분류 방법도 있으나, 동일한 시기의 한반도 전역에 해당하는 영상을 얻는 것은 현실적으로 어려움이 있다. 따라서 위성영상 중 야간 위성영상을 활용하여 시가화 지역을 파악하고 변화를 분석할 수 있으며, 시가화 지역 추출 및 변화를 확인할 수 있는 다양한 자료들의 한계점을 보완하는 방법으로 제시할 수 있고, 각 지역의 빛세기는 시가화

지역을 설명할 수 있는 공간적 대안자료로서의 성격을 지닌다고 볼 수 있다. 그러나 지역별 빛세기 현황에서 야간 위성영상의 음의 화소 값과 구름 부재일 수 등 데이터에 영향을 미치는 다양한 요인을 함께 고려하여 자료를 구축하고 분석할 필요가 있을 것으로 보인다. 또한 야간 위성영상을 활용하여 분석 결과를 해석할 시, 단순히 빛의 증감 및 화소 변화 외에 연구 지역에서 도출된 빛세기가 영향을 미치는 지리적 요인들을 충분히 검토하고 살펴볼 필요성이 제기된다.

참고 문헌

국내문헌

김란희·김현우·이재희·이승훈, 2016, “위성자료를 이용한 북한지역 토지피복 및 식생 변화 추청”, 국토연구원, 90, 117-128.

김민호, 2017, “DMSP OLS 야간 영상을 이용한 중국 랴오닝 성 도시화의 시계열 분석”, 한국지도학회지, 17(3), 85-96.

김민호, 2020a, “북한 지역의 SNPP VIIRS DNB 야간영상에 나타난 이례적 복사도 분포의 시공간적 특성”, 한국지도학회지, 20(1), 81-92.

김민호, 2020b, “야간 인공조명 강도와 토지피복을 이용한 남한의 광역시도 인구추정”, 한국지도학회지, 20(2), 13-24.

김민호, 2021a, “코로나바이러스감염증-19 대유행에 따른 광역시도별 야간 인공조명 강도의 시공간 변화”, 국토지리학회지, 55(2), 183-192.

김민호, 2021b, “코로나바이러스감염증-19 대유행에 따른 서울특별시 자치구의 야간 인공조명 세기 변화”, 한국지도학회지, 21(2), 105-116.

김민호·조영국, 2019, “DMSP-OLS 야간영상자료를 이용한 접경지역의 경제성장과 시가지 면적의 시계열 변화 패턴 추정: 중국 지린성을 사례로,” 한국경제지리학회지, 22(4), 458-471.

김상우·남진, 2022, "NPP-VIIRS 야간조명데이터를 활용한 도시성장 · 쇠퇴 분석", 제3회 대한민국도시포럼 학술대회 논문집, 12-27.

나상일·안호용·박찬원·홍석영·소규호·이경도, 2020, “시계열 마스크 맵이 논벼 NDVI와 단수와의 관계에 미치는 영향, 대한원격탐사학회, 36(5), 725-733.

박호명·백태명, 2009, “원격탐사와 GIS를 이용한 부산광역시 도시화지역

의 확산과정과 토지이용 특성에 관한 연구", 한국지리정보학회지, 12(2), 23-33.

안철호, 1984, "위성(LANDSAT) 데이터로부터 서울 도심지역 변화 추출", 한국층략학회, 2(1), 5-16.

유다현·김민호, 2019, "야간인공위성 영상자료 블루밍 현상의 공간패턴에 관한 연구: DMSP/OLS와 SNPP/VIIRS DNB 영상자료를 대상으로", 국토지리학회지, 53(2), 203-212.

정시윤·전병운, 2020, "공간 빅데이터와 야간 위성영상을 활용한 도시 활력 평가: 대구시를 사례로", 한국지리정보학회지, 23(4), 217-233.

정재준, 2001, 首都圈의 都市成長 分析 및 豫測을 위한 셀룰라 오토마타 모델링 = Cellular automata modeling for the analysis and prediction of urban growth in Seoul metropolitan area, 서울대학교 박사학위논문.

주뢰·조대헌·전창우·이소영, 2016, "NPP-VIIRS 야간 위성영상과 국지적 공간 통계를 이용한 시가지 추출 가능성 평가", 한국도시지리학회지, 19(3), 145-163.

홍석영·허지나·이지민·민병걸·이충근·김이현·이경도·김선화·김건엽·심교문, 2012, "MODIS NDVI와 기상자료를 이용한 우리나라 벼 수량 추정", 대한원격탐사학회, 28(5), 509-520.

국외문헌

Croft, T.A., 1978 Nighttime images of the earth from space, *Scientific American*, 239, 68-79.

Chen, M. L., Cai, H. Y., 2019, VIIRS/DNB Monthly and Yearly

Nighttime Light Dataset in Beijing-Tianjin-Hebei Region (2013-2018)[J]. *Journal of Global Change Data & Discovery*, 3(4):376-381.

Elvidge, C. D., Baugh K.E., Kihn E.A., Kroehl H.W., Davis E.R., Davis C.W., 1997, Relation between satellite observed visible-near infrared emissions, population, economic activity and electric power consumption, *International Journal of Remote Sensing*, 18(6), 1373-1379.

Elvidge, C.D., Hsu, F.C., Baugh, K., and Ghosh, T., 2014, National trends in satellite observed lighting: 1992-2012, in Weng, Q., ed., Global Urban Monitoring and Assessment through Earth Observation, CRC Press, Boca Raton, 97-120.

Elvidge, C. D., Baugh, K., Zhizhin, M., Hsu, F.C., and Ghosh, T., 2017, VIIRS night-time lights, *International Journal of Remote Sensing* 38: 5860-5879.

Herao, W., Xinqi, Z., Tao, Y., 2012, Overview of Researches Based on DMSP/OLS Nighttime Light Data, *PROGRESS IN GEOGRAPHY* 1, 11-18.

Lee, S., and Cao, C., 2016, Soumi NPP VIIRS Day/Night Band Stray Light Characterization and Correction Using Calibration View Data, *Remote Sensing* 8(2), 138.

Mills, S., Weiss, S., and Liang, C., 2013, VIIRS day/night band (DNB) stray light characterization and correction, Proc. SPIE 8866, Earth Observing Systems XVIII, 88661P.

NOAA National Geophysical Data Center, 1996, Nighttime AFGWC Defense Meteorological Satellite Program(DMSP) Simple Format Users' Guide.

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), 2014. Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) Imagery Environmental Data Record (EDR) user's guide (Version 1.1).

Rindfuss, R.R. and P.C. Stern, 1998, Linking remote sensing and social science: the need and the challenges, in Liverman, D., E.F. Rindfuss, and P.C. Stern (eds.), People and Pixels: Linking Remote Sensing and Social Science, *National Academic Press*, Washington, D.C., U.S.A.

Satheendran, S. S., Chandran, S. S., & Mathew, J. C., 2022. The Evolution of Lighting in South-West India from Night-Time Lights: 2012 – 2020. *Spatial Information Research*, 30(2), 261-277.

Savory, D. J., Andrade-Pacheco, R., Gething, P. W., Midekisa, A., Bennett, A., & Sturrock, H. J., 2017, Intercalibration and Gaussian process modeling of nighttime lights imagery for measuring urbanization trends in Africa 2000 – 2013, *Remote Sensing*, 9(7): 713.

Shi, K., Yu, B., Huang, Y., Hu, Y., Yin, B., Chen, Z., Chen, L., and Wu, J., 2014. Evaluating the ability of NPP-VIIRS nighttime light to estimate the gross domestic product and the electric power consumption of China at multiple scales: A comparison with DMSP/OLS data. *Remote Sensing*, 6: 1705-1724.

Sutton, P., Roberts, D., Elvidge, C., and Baugh, K., 2001, Census from Heaven: an estimate of the global human population using night-time satellite imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 22(16), 3061-3076.

Sutton, P. C., Elvidge, C. D., & Ghosh, T. (2007). Estimation of gross domestic product at sub-national scales using nighttime satellite

imagery. *International Journal of Ecological Economics & Statistics*, 8(S07), 5-21.

Townsend, A.C., and Bruce, D.A., 2010, The use of night-time lights satellite imagery as a measure of Australia's regional electricity consumption and population estimation, *International Journal of Remote Sensing*, 31, 4459-4480.

USAF (United States Air Force), 1974. DMSP_users_guide.

Wang, Z., Xiong, X., Fulbright, J., and Lei, N., 2017. VIIRS day/night band radiometric calibration stability using the Moon. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122: 5616-5624.

Yi, K., Zeng, Y., and Wu, B., 2016, Mapping and evaluation the process, pattern and potential of urban growth in China, *Applied Geography*, 71, 44-55.

인터넷 자료

EOG (Earth Observation Group), 2021, Nighttime light, Pyane Institute for Public Policy, Colorado Scool of Mines, U.S., URL:

https://eogdata.mines.edu/products/ (최근 접속일: 2023년 11월 20일).

USGS (United States Geological Survey), MODIS/Terra+Aqua Land Cover Type Yearly L3 Global 500 m SIN Grid, MCD12Q1, URL: https://lpdaac.usgs.gov/products/mcd12q1v061/ (최근 접속일: 2023년 12월 3일).

NOAA National Geophysical Data Center, 2012. Version 4 DMSP-OLS

Nighttime Lights Time Series. [Online] Available at: https://ngdc.noaa.gov/eog/dmsp/downloadV4composites.html (최근 접속일: 2023년 11월 12일).

ABSTACT

An Analysis of the Expansion of Urbanized Areas in Korea Using Night Satellite Images

Suyeon Jang
Department of Geography
Graduate School of
Sungshin University

Urbanized areas consisting of roads and buildings that can be classified as urban land use are steadily increasing with industrialization and urbanization. These urbanized areas can be extracted through various existing data such as cadastral study, land use, and Landsat satellite images, but there is a limit to obtaining data of the same period for the entire Korean Peninsula. Therefore, it is possible to find a method of using satellite images at night.

In this study, based on previous studies, the change in light intensity by region across the country between 2014 and 2022 was identified using night satellite images, and time-series changes were considered by extracting urbanized areas, and the results of the analysis are as follows.

First, as a result of analyzing the current status of light intensity by city and province across the country, the total amount of light by city

and province increased in all regions, and there was a difference in the amount of increase and rate of increase in light intensity by region. According to the analysis of the relationship between urban area area area and light intensity by city and province in urban areas affected the most by artificial lighting at night, there was no significant change in the urban area by city and province in 2022 compared to 2014, but the total amount of light by city and province increased, and the relationship between urban area and total amount of light was high at all times.

In addition, as a result of analyzing the spatial distribution of pixels whose night light intensity increased or decreased by city and province based on the DNB image data, which was pre-processed, pixels were distributed in most regions, and pixel change rates by region also experienced a large increase in most regions.

Second, as a result of analyzing the current status of light intensity by city, county, and district across the country, it was found that most regions increased in 2022 compared to 2014, but there was a big difference between regions in the growth rate.

Of the 40 regions in the top 20% of the increase in 2022 compared to 2014, Pyeongtaek-si, Gyeonggi-do, showed the largest increase, followed by Hwaseong-si, Gyeonggi-do, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do, Yeosu-si, Jeollanam-do, and Jung-gu, Incheon. In the 40 regions that are in the top 20% of the 2022 growth rate compared to 2014, Inje-gun, Hwacheon-gun, Gangwon-do, and Yeongyang-gun, Gyeongsangbuk-do showed the largest growth rate, and each showed an increase of more than 200%.

In addition, Pyeongtaek-si, Gyeonggi-do, which showed the largest increase in light intensity in 2022 compared to 2014, and Hwaseong-si, which was derived in that order, were calculated and drawn with the same pixel size as night satellite images.

Third, the possibility of identifying the urbanized area was also confirmed with night satellite images. Through the MCD12Q1 image data, it is possible to extract the urbanized areas of 2014 and 2022 and identify the changes, and the change in the urbanized area could be identified by comparing the night satellite image data with the urbanized area of MCD12Q1.

Based on the SNPP-VIIRS DNB image data that was pre-processed with the area of the urbanized area extracted from MCD12Q1, the change in the urbanized area across the country was analyzed by comparing the area of the local spatial statistics index Getis-Ord's Gi and Moran I hotspot analysis. The area of the MCD12Q1 urbanized area was found to be most similar to the area of the hotspot area derived through Getis-Ord's Gi (significant level 99%) in 2014 and 2022, with an area difference of less than 7㎢ in other regions except Incheon, Gyeonggi-do, and Gyeongsangnam-do.

It is judged that time-series analysis of the expansion of an urbanized area is possible through local image extraction of the same period using night satellite images. In addition, as it can be presented as a way to supplement the limitations of various data that can confirm the extraction and change of an urbanized area, night satellite images can be seen as having a characteristic as a spatial alternative data that can

explain an urbanized area.

Keywords: Night Satellite Images, Nighttime Light Data, SNPP-VIIRS, DNB, Light Intensity, Urbanization Area, MODIS, Hotspot Analysis