



국제 우주정거장 촬영 야간 이미지 데이터를 활용한 빛지도 제작과 빛공해 진단기법

김정아*, 천상현**

A Methodology to Produce Light Pollution Map and Diagnose Urban Nightlight Conditions Using International Space Station Nighttime Image Data

Jung-A Kim*, Sang-Hyun Cheon**

본 연구는 국토교통부 국토교통기술 촉진연구사업의 연구비 지원(18CTAP-C129890-02)에 의해 수행되었습니다.

요 약

최근 과도한 야간조명의 사용으로 인해 발생하는 빛공해가 사회적 문제로 대두되면서, 빛공해 피해를 최소화하기 위한 시도들이 지속되고 있다. 현재 국내에서 사용되고 있는 빛공해 진단방법은 주로 국소지역의 광원을 조사하는 직접 측정 방식이다. 본 연구에서는 서울시 전역의 빛공해 실태를 파악하는 기법 개발을 목적으로 국제 우주정거장(International Space Station)에서 촬영되는 야간 조명 이미지 데이터를 사용하여 서울시 빛지도를 제작하고 이를 활용하여 서울시의 빛공해 실태를 진단하고자 한다. 연구의 결과 업무시설 밀집지역과 상업 활성화 지역이 서울시 내 가장 밝은 곳으로 나타났으며, 대형 체육시설 또한 서울시내 빛을 유발하는 주요 요소인 것으로 확인되었다. 본 연구는 현재 국내에서는 잘 알려지지 않은 ISS이미지 데이터를 사용하여 서울시 빛공해의 현황을 고찰하고, 빛공해 지도를 제작할 수 있는 새로운 방법론을 제안했다는 것에 그 의미가 있다.

Abstract

Recently, light pollution has become a serious environment issue caused by excessive uses of artificial light. Central and local governments have made efforts to manage light pollution and mitigate light pollution damages. Developing methods to diagnose light pollution is critical to effectively monitor light pollution conditions in Seoul. This study develops a methodology to create a map that presents the status of light pollution in Seoul, using International Space Station(ISS) night-time images. Through the map, we evaluated the areas that show high levels of light intensity and found out local characteristics of light intensity; Commercial area, office building concentrated area, and large sports facilities. The result of study provides basic understanding to present a new way for monitoring light pollution in urban sites.

Keywords

light pollution, international space station nighttime images, image processing, light pollution map

* 홍익대학교 과학기술연구소
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6885-7340>
** 홍익대학교 도시공학과 교수(교신저자)
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3236-1391>

· Received: Nov. 19, 2018, Revised: Dec. 19, 2018, Accepted: Dec. 22, 2018
· Corresponding Author: Sanghyun Cheon
Dept. of Urban Design and Planning, Korea,
Tel.: +82-2-320-3112, Email: scheon@gmail.com

I. 서 론

야간의 과도한 인공조명 사용으로 인한 빛공해가 사회적 문제로 대두되면서 빛공해 피해를 최소화하고 이를 관리하기 위한 시도들이 지속적으로 이루어지고 있다. 환경부는 2013년 빛공해 방지법을 제정하여 빛공해를 관리하고자 하였으며, 이에 따라 각 지방자치단체는 매 5년 마다 인공조명 실태를 파악하고 적절한 규제정책을 마련해야 한다. 지속적이고 체계적인 빛공해 관리를 위하여 도시 내에서 발생하는 빛의 공간적 분포 패턴을 파악할 수 있는 도시 빛지도 제작 방법의 고찰이 필요한 시점이다.

현재 해외 연구를 중심으로 인공위성 이미지를 활용하여 빛공해의 현황 및 변화를 도출하고자 하는 시도가 지속적으로 논의되고 있으며[1][2], 인공위성 데이터가 계속해서 발전되고 있음에 따라 활용도가 더욱 높아질 것으로 기대된다. 그러나 현재 연구에 활용되고 있는 인공위성 이미지 데이터는 공간해상도가 15arc-sec로 중부지역(UTM-52N) 기준 약 412.2m*412.2m의 공간 해상도를 가지고 있기 때문에 주거 단지나 가로 등 작은 공간단위에서의 빛공해 진단은 어렵다는 한계가 있다.

이를 극복하기 위해 드론, 항공, 헬기 등을 통해 상향광을 직접 촬영하고, 해당 이미지 데이터를 활용하여 세밀한 공간단위에서 빛공해를 진단하는 방법들이 언급되고 있으나, 직접 촬영 방법은 조사 측정 과정에서 시간과 비용이 많이 든다는 단점이 있다.

국제 우주정거장(ISS) 이미지 데이터는 우주정거장에서 우주인이 카메라로 촬영한 사진 데이터로, 연구자가 드론이나 헬기를 활용하여 조사 측정할 것과 유사하게 사용가능하다. 공간해상도는 사진에 따라 상이하나 선행연구를 통해 스페인 마드리드 기준 최대 20-40m의 공간해상도를 가진 야간조명도 데이터를 생성할 수 있는 것으로 확인되었다[3]. 이는 직접 촬영을 하지 않고도 고수준의 공간해상도를 가진 데이터를 얻을 수 있다는 장점이 있다. ISS 데이터는 원격탐사 데이터와 직접 촬영 데이터의 간극을 메울 수 있어 그 활용성이 매우 높을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 국내에서는 잘 알려지지 않은 ISS

이미지 데이터를 활용하여 서울시 빛지도를 세밀한 공간단위에서 구현하는 것이 그 목적이다. 이를 위해 첫째, ISS 이미지 데이터의 특징을 파악하고, 둘째, 이미지 프로세싱 기법을 통해 통계분석에 사용할 수 있는 데이터베이스 구축 방법론을 소개하며, 마지막으로 인공위성 데이터의 공간해상도 문제를 극복한 세밀한 공간단위의 서울시 빛지도를 생성하고, 이를 활용하여 서울시 빛의 공간 분포상태를 진단하고자 한다.

II. 관련 연구

2.1 국내 연구동향

2005년 국내 빛공해 관련 이슈가 사회적으로 떠오르면서 빛공해 진단과 관리를 위한 다양한 시도가 진행되었다. 국내 빛공해 측정 및 진단 기법 개발은 측정 장비를 사용하여 도시 내 빛공해 피해 지역의 실태를 정량적으로 조사하는 기법이 대표적으로 진행되고 있다[4]-[7]. 또한, 2014년 환경부의 ‘빛공해 방지 종합계획’에서는 헬리 캠을 이용한 상향광 측정 및 평가방법의 개발을 언급하면서 국내의 빛공해 측정 및 진단기법에 대한 연구의 관심이 증대되고 있다.

직접 측정을 통한 빛공해 진단기법의 경우 조도계와 휘도계를 이용하여 피해지역을 실측하는 방법이 대표적으로 언급되었다. 주로 주거지역에서의 공간조명이나 광고조명 등으로 인한 피해가 발생하였을 때 피해지역의 연직면 조도, 광원의 수평조도, 광원의 휘도 값을 측정하여 빛공해 실태를 파악하였다[8][9]. 이와 함께, 디지털 카메라를 이용하여 지역 내 휘도를 측정하고 이를 분석하여 빛공해 실태를 파악하고자 하는 시도가 있었다[10][11]. 이 중, [10]의 경우 가로의 광원을 대상으로 어안렌즈를 사용하여 휘도 값을 측정함으로써 3차원의 입체적 빛지도를 제작하고자 하였다.

한편 국소 지역의 빛공해 측정이 아닌 인공위성에서 수집되는 원격탐사 데이터를 활용하여 광범위한 지역의 빛공해를 진단하고자 하는 시도들이 일부 진행되었다. 그러나 대부분의 연구들은 주로 생태지역의 빛공해를 진단하거나[12][13], 시 또는 국

가 차원의 빛공해 변화를 도출하고자 하는 연구로 [14][15], 도시 지역 내 빛공해를 심도 있게 고찰하고자 하는 시도는 없었다.

2.2 해외 연구동향

해외의 경우 90년대부터 미국 해양 대기청인 NASA(National Aeronautics and Space Administration)의 인공위성 DMSP(Defense Meteorological Satellite Program)에 탑재된 OLS(Operational Linescan System) 센서를 통해 전 세계 차원의 야간조명 영상을 촬영하였고, 해당 영상을 활용한 빛공해 연구가 진행되었다[16][17]. DMSP-OLS 데이터의 큰 공간 해상도와 일정 빛의 값이 넘어갈 경우 값이 포화되는 문제가 제기되면서, 2011년 이후 Suomi-NPP위성을 통해 수집되는 VIIRS(Visible Infrared Imaging Radiometer Suite)-DNB(Day and Night Band) 데이터를 이용한 빛공해 연구가 시작되었다[18]-[21].

또한, 국제 우주정거장에서 촬영된 ISS 야간 이미지 데이터(픽셀 당 약 20~40미터)와 야간 항공사진을 활용한 연구(픽셀 당 1미터까지 구현)가 진행되고 있다[3][22]-[24]. [3]의 연구에서는 ISS 야간 사진이미지 프로세싱 기법과 구축된 데이터베이스를 활용한 빛공해 진단법을 소개하고 있으며, 2011년에 촬영된 스페인 마드리드를 대상으로 이미지 프로세싱 방법론을 활용하여 ISS를 이미지데이터를 공간 데이터베이스로 구축하였다.

이 외에도 지상 실측장비를 이용하여 데이터를 구축하고 원격탐사 데이터와 통합하여 빛공해를 등급화하려는 시도 등[25], 국내에 비해 더욱 다양한 방법론을 적극적으로 활용하는 움직임을 보이고 있다.

2.3 본 연구의 차별성

국내의 빛공해 진단 연구의 경우, 해외 연구에 비해 조도계와 휘도계 등 측정 장비를 사용한 빛공해 진단이 주를 이루고 있다. 측정 조사방법은 빛공해 피해 지역의 실태를 정밀하게 관찰할 수 있다는 장점이 있으나, 조사의 과정에서 시간과 노력이 많이 소요되기 때문에 도시 전역을 대상으로 빛공해 진단을 수행하기에는 어려움이 있다.

도시 전역의 빛공해 진단기법의 필요성이 언급되고 있음에도 불구하고, 현재까지 인공위성 데이터나 항공사진 등 도시 공간 전역 차원의 빛공해 진단 기법에 대한 논의는 아직 충분이 이루어지지 않은 실정이다. 해외에서 논의되고 있는 방법론을 활용하여 국내 빛공해 실태에 대한 진단을 시도하는 연구가 필요하다.

이에 본 연구에서는 [3]의 방법론에 따라 ISS 야간 이미지를 활용하여 서울시 빛지도를 제작하고 서울시 전역의 빛공해 실태를 진단하였다. 이를 통해 서울시 내 빛공해를 세밀한 공간단위에서 진단할 수 있는 가능성과 방법론을 제시하였다는 것이 그 차별성이 있다.

III. 연구의 범위 및 방법

3.1 사용 데이터

서울시 빛지도를 제작하기 위하여 NASA Gateway to Astronaut Photography of Earth에서 제공하고 있는 ISS 이미지 데이터를 사용하였다. ISS 이미지 내에는 도시에서 발생하는 상향광이 주로 촬영된다. 일반적으로 도시 내 상향광이 많이 발생하는 지역일수록 그렇지 않은 지역에 비해 빛공해 발생 위험이 높다는 것을 직접적으로 유추할 수 있다.

그러나 현재 NASA Gateway에서 다운로드 가능한 이미지는 JPEG 포맷으로 이미지 정보의 손실로 인해 이미지 프로세싱에 사용하기에 적합하지 않다. 이미지 프로세싱을 수행하기 위하여 이미지의 원본 파일인 RAW 파일을 취득할 필요가 있다. 본 연구에서는 해당 기관에 직접 이메일로 연락한 후 취득 가능한 서울시 RAW데이터를 모두 취득하여 비교 분석 하였다.

ISS 이미지는 국제 우주정거장에서 우주인들이 직접 촬영한 사진이미지 데이터로 우주정거장이나 우주인의 위치에 따라 이미지가 달라진다. 분석에 사용하기 위해서는 비교적 각도 왜곡이 심하지 않고 가능한 위성 데이터처럼 지표면에서 직각을 이룬 상태에서 찍힌 이미지여야하며, 흔들림이나 빛 번짐이 적어야 한다. 또한, 사진의 특성상 피사체와 렌즈 간 간격 차이에 의해 원근 왜곡이 발생하고,

중심부에서 외부로 갈수록 어두워지는 비네팅 현상과 같은 문제가 발생할 수 있기 때문에 해당 오차를 최소화 할 수 있는 이미지를 사용해야 한다.

이미지 내 오류로 인한 왜곡과 오차를 줄이기 위하여 본 연구에서는 NASA Gateway 로부터 취득한 서울시 야간 이미지를 육안으로 비교하고 가장 오차 및 왜곡이 적은 이미지를 선별하였다. 이미지 선정 기준은 “서울 및 수도권이 사진의 중심부에 위치하고 있는지에 대한 여부”와 “촬영 각도가 직각에 가까운가에 대한 여부”로 설정하였다.

총 2003, 2004, 2005, 2010, 2011, 2013년도의 이미지가 수집되었으며, 이미지 관련 정보는 표 1에 제시되어 있다. 촬영시간은 그리니치 표준시간으로 나타나 있다. 2003년과 2010년의 경우 대한민국 기준으로 오후 7-9시, 2004년에는 자정 경 촬영되었으며, 이들을 제외한 나머지 사진들 모두 새벽시간 대(약 오전 3-4시 경)에 촬영되었다.

표 1. RAW 데이터 취득이 가능한 ISS이미지 목록
Table 1. List of ISS images capable of acquiring RAW

Image name	Date	Time (GMT)	Camera	Focal length(mm)
ISS006-E-25329	2003.02.09	11:43:10	Kodak DCS760c	58
ISS010-E-12103	2004.12.25	16:16:28	Nikon D1	58
ISS010-E-18047	2005.02.16	18:55:01	Nikon D1	-
ISS026-E-12327	2010.12.23	10:27:18	Nikon D3S	180
ISS027-E-14796	2011.04.19	18:25:56	Nikon D3S	200
ISS037-E-5385	2013.10.03	19:29:48	Nikon D3S	50
ISS037-E-5371	2013.10.03	19:29:10	Nikon D3S	50

일반적으로 초점거리(Focal length)가 짧을수록 화각이 넓어지기 때문에 하나의 사진 안에 더 넓은 범위를 촬영할 수 있다. 2010년과 2011년에 촬영된 사진은 사진 안에 주로 수도권이나 서울시만 촬영된 반면, 2003, 2004, 2005, 2013년에 촬영된 사진들의 경우 동해안과 서해안 모두 포함되어 촬영되었

다. 사진 안에 많은 영역이 담길수록 한 픽셀이 나타내는 공간의 범위가 커진다는 단점이 있으나, 서울시가 중앙에 위치할 가능성이 높아지기 때문에 서울시의 이미지가 왜곡될 확률이 적어질 것이다.

이에 본 연구에서는 이미지 중 가장 최근에 촬영되었고, 다른 사진들에 비해 서울시 중앙부에 위치한 ISS037-E-5371을 분석에 사용하였다. ISS037-E-5371과 ISS037-E-5385는 같은 날 같은 위치에서 촬영된 사진이나 ISS037-E-5385에 비해 ISS037-E-5371의 흔들림이 적어 해당 이미지를 분석에 사용하였다(그림 1 참조).



그림 1. 분석에 사용한 ISS이미지(ISS037-E-5371)
Fig. 1. ISS image used for analysis(ISS037-E-5371)

3.2 자료의 구축 방법

ISS RAW 이미지를 계량분석이 가능한 공간 데이터로 구축하기 위해서는 총 3단계의 작업이 필요하다. 첫째, Bayer matrix 생성을 통해 이미지의 컬러 채널을 분리하고, 픽셀 값을 보간하여 단일 컬러 채널의 래스터 이미지를 재생산한다. 둘째, 포화도와 노출도 조절을 통해 래스터 값을 스케일링하고, 마지막으로 스케일링 된 래스터 이미지에 공간정보를 부여하여 이를 공간데이터베이스로 구축한다. 이미지 프로세싱을 통해 구축되는 ISS공간데이터베이스는 픽셀 당 빛 밝기 값(Digital Number)을 나타낸다. 그림 2는 단계 별 생성되는 이미지의 포맷과 해당 파일을 활용한 이미지 프로세싱 내용을 도식화한 것이다.

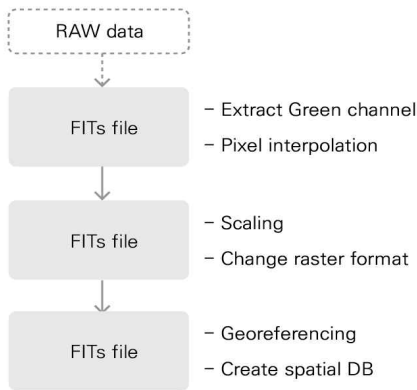


그림 2. 이미지 프로세싱의 흐름도
Fig. 2. Flowchart of image processing

일반적으로 디지털 카메라에서 사용하는 단일 영상 센서는 화소 당 하나의 색상만을 가진 영상을 제공하며 색상 보간이라는 영상 처리를 통해 완전한 색상 영상으로 복원된다. RAW 이미지를 이미지 프로세싱에 사용하기 위해서는 CFA(Color Filter Array)를 이용하여 단일 채널 컬러로 구성 픽셀 값을 보간해야 한다[3]. CFA란 Red, Green, Blue 중 하나의 색상 신호만을 통과시키는 화소 필터가 이차원의 배열로 구성되는 것을 의미하며 대표적으로 Bayer matrix가 있다(그림 3 참조). 일반적으로 사람의 눈은 녹색에 민감하게 반응하므로 대부분의 매트릭스 배열은 두 개의 녹색채널과 한 개의 적색, 청색 채널로 이루어져 있다[26].

IV. 결 과

4.1 Bayer matrix의 생성과 채널 분리

RAW 이미지 파일은 이미지의 원본 파일로 카메라 압축 및 정보의 손실이 없는 상태의 이미지 파일이다. 즉, RAW 포맷은 픽셀 당 파라미터 값 등이 정해지지 않은 채 형상에 감지된 빛의 세기에 대한 정보만을 가지고 있기 때문에 해당 데이터를 분석에 사용하기 위해서는 디지털 프로세싱 과정이 필요하다.

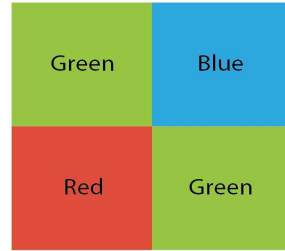


그림 3. 베이어 매트릭스
Fig. 3. Bayer matrix

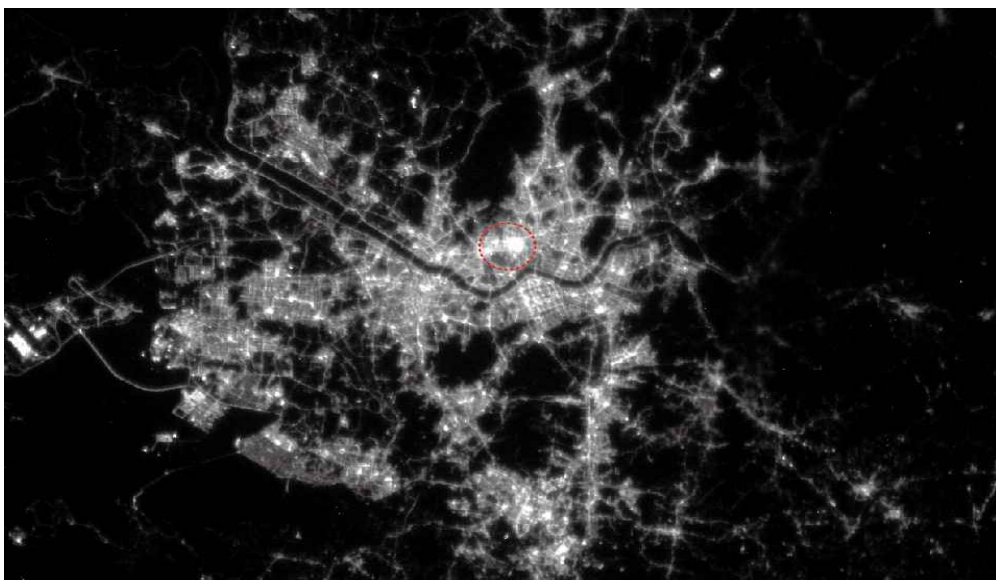


그림 4. Green 채널이 분리된 이미지
Fig. 4. Image extracted with green channel

본 연구에서는 IRIS 프로그램을 사용하여 2013년 RAW 이미지의 Bayer Matrix를 생성한 후, 녹색채널을 분리하여 단일 컬러 채널의 래스터 파일을 생성하였다. 녹색 채널은 다른 두 개의 컬러 채널에 비해 이미지 내 더 많은 픽셀을 보유하고 있으며 파장대 또한 사람의 시각도 곡선과 유사하여 분석에 사용하기 적합하다. R과 B채널이 분리된 이미지는 R과 B채널의 값으로 이루어져 있던 픽셀의 값이 없는 상태이므로, 2차 곡선을 활용하여 추정하는 Quadratic 방법을 통해 해당 채널 값을 보간 하였다.

채널 분리 및 보간이 완료된 이미지는 Flexible Image Transport System(FITs) 파일 포맷으로 저장된다(그림 4 참조).

4.2 Image scaling과 래스터 파일 생성

4.1의 과정을 통해 생성된 이미지를 확인한 결과, 서울시 동쪽 부분의 빛 번짐 현상과 중구-동대문구로 추정되는 지역에 포화된 픽셀이 대거 발견되었다. 데이터베이스 구축을 위해 픽셀의 포화도 문제

를 해결하고, 노이즈를 제거하는 등 이미지 오차를 줄이는 작업이 필요하다.

FITs 파일은 일반적으로 공간 데이터베이스 구축을 위해 사용하는 ArcGIS 프로그램에서는 취급할 수 없는 파일 포맷이다. 이미지에 공간좌표를 부여하기 위하여 ArcGIS 프로그램에서 사용가능한 래스터 포맷으로 변경해야 한다. 이를 위해 래스터 파일 포맷 중 메타 정보를 모두 포함한 무손실 압축 기법을 적용하며, 공간좌표 부여를 통해 공간 래스터 파일의 형태로도 저장이 가능한 TIFF 포맷으로 변경하였다.

본 연구에서는 위의 작업을 수행하기 위하여 FITs 파일을 가공할 수 있는 프로그램 중 직관적으로 확인 가능하고, 이미지 보정이 가능한 FITs Liberator를 사용하였다(그림 5 참조).

FITs Liberator은 Adobe Photoshop Add-in 중 하나로 FITs 파일의 오프셋 교정 및 스케일링을 가능하게 한다. 또한, 래스터 이미지의 픽셀감도를 최대 32bit까지 설정할 수 있어 픽셀 값 간 차이를 더욱 세밀하게 나눌 수 있다는 장점이 있다.

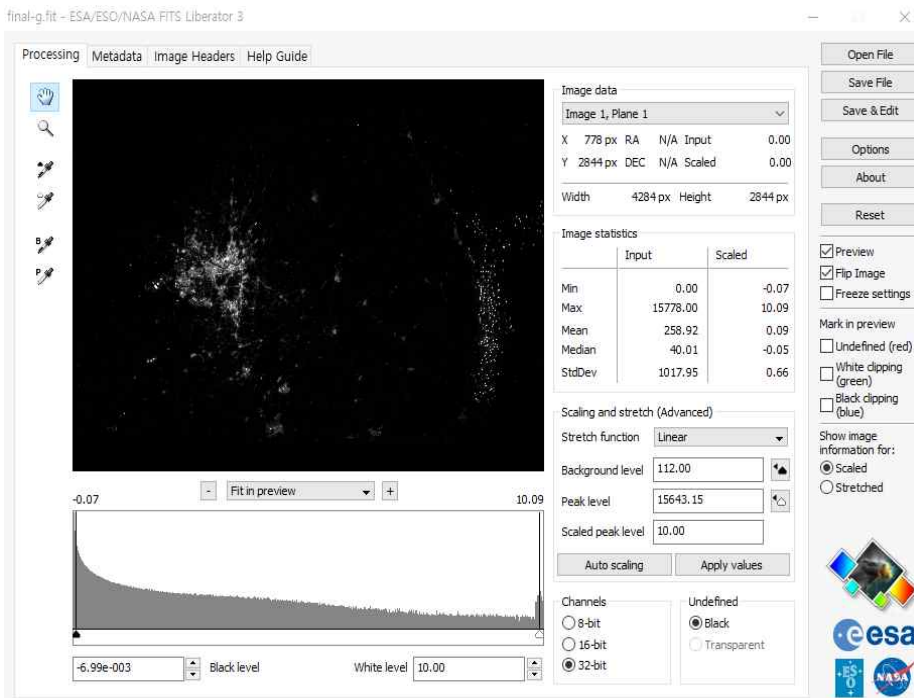


그림 5. FITs Liberator
Fig. 5. FITs liberator

본 연구에서는 FITs Liberator를 사용하여 이미지를 정제하고 이미지의 값 범위를 재설정 후 포화도 문제를 해결하였다. 이를 위해 ①이미지의 배경 값(Background값)의 범위를 설정한 후 background 값과 노이즈를 제거하고 ②정제된 픽셀 값의 범위를 바탕으로 래스터 값을 re-scaling하였다. ③마지막으로 스케일링 작업이 완료된 이미지는 Adobe Photoshop상에서 노출도를 하향 조절하여 픽셀 포화도 문제를 해결한 후 파일 포맷을 변경하여 ArcGIS에서 취급 및 이미지 공간프로세싱이 가능한 TIFF 파일을 생성하였다.

이 때 Background의 범위는 빛이 전혀 사용되지 않는 심해지역으로 설정하였으며, 스케일링의 방법에는 래스터 값들 간 차에 가중치를 주지 않은 선형(Linear) 스케일링 방법을 활용하였다.

4.3 Georeferencing

4.2의 과정을 통해 도출된 이미지를 공간데이터베이스로 사용하기 위해서는 이미지에 공간정보를 입력하는 과정이 필요하다. 본 연구에서는 ArcMap 10.5를 이용하여 참조 데이터와 1:1 위치 매칭을 통해, 이미지의 공간좌표를 부여하였다. 참조 데이터는 서울시 도로명 주소 전자지도의 도로 데이터와 건물 데이터를 사용하였다.

좌표계는 참조 데이터의 투영좌표계인 PCS_ITRF_2000으로 비교적 구분이 명확한 도로와 대형 건물의 위치를 참조하여 1:1 위치 매핑을 수행하였다. 도로망을 중심으로 서울시 내 총 100여개의 데이터 포인트를 매칭한 후, 건물을 참조하여 다시 50여개의 데이터 포인트를 매칭하였다. Georeferencing이 완료된 이미지는 ArcCatalog의 Define Project 툴을 활용하여 래스터에 공간 정보를 부여하였다.

V. 결과 검증

5.1 서울시 빛지도 생성 기초통계

본 연구의 과정을 통해 도출된 서울시 ISS 빛지도의 기초통계 및 분포도는 표 2와 그림 6에 제시되어 있다. 지도 값의 범위는 0부터 1까지 Digital

Number 형태의 값으로 나타나며, 1에 가까울수록 밝은 값을 나타낸다. 서울시 ISS 빛지도는 총 81553개의 그리드(Grid)로 이루어져 있으며 공간해상도는 약 86.9m*86.9m인 것으로 확인되었다. 해당 공간단위는 상암 월드컵 경기장의 약 1/8, 잠실 올림픽주 경기장의 약 1/7, 잠실야구장의 약 1/4 배 등 대규모 체육시설의 보다 현저히 작은 크기로, 그리드 당 평균 12개의 다세대 주택 및 연립주택이 들어가고 있는 것을 확인하였다. 한 그리드의 규모는 소규모 블록보다 작으므로 이는 ISS 이미지를 활용한 서울시 빛 지도를 활용하면 비교적 세밀한 공간단위로 서울시 빛 현황을 비교·분석 가능하다는 것을 의미한다.

완성된 서울시 빛지도의 DN 값 분포와 기초통계 분석 결과, 서울시 전반적으로 빛의 분포는 값이 커질수록 분도수가 적어지는 분포를 근사적으로 보이고 있음을 확인할 수 있다. 이 중, DN 값이 0인 그리드는 총 28개, DN 값이 1인 그리드는 총 89개인 것으로 확인되었다.

표 2. 서울시 빛 밝기 DN 값 기초통계
Table 2. Descriptive statistics of the light brightness DN value in Seoul

	DN value		DN value
min	0	1 st quater	0.124
mean	0.310	median	0.304
max	1	3 st quater	0.447
sd	0.215		

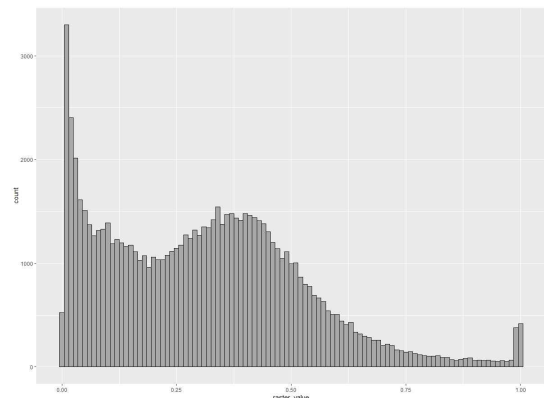


그림 6. 빛 밝기 DN 값 분포

Fig. 6. Distribution of the light brightness DN value

일반적으로 빛의 분포는 녹지나 주거용지에 비해 상업용지에서 더욱 많이 발생되므로, 지역 별 빛의 분포 차를 확인하기 위해 본 연구에서는 용도지역 별 빛 밝기 DN 값의 기초통계 분석을 추가로 수행하였다. 용도지역 별 빛 밝기 DN 값의 분포는 표 3에 제시되어 있다.

표 3. 서울시 용도지역 별 빛 밝기 DN 값 기초통계
Table 3. Descriptive statistics of the light brightness DN value by zoning system in Seoul

	Green area	Exc.res area	Gen.res area	Quasi.res area	Quasi.ind area	Com. area
Count	37135	1385	47828	4391	3385	6206
Min	0	0.032	0.012	0.029	0.031	0.029
Max	1	1	1	1	1	1
Mean	0.163	0.229	0.401	0.516	0.413	0.618
Sd	0.150	0.148	0.174	0.200	0.144	0.211

용도지역 중 DN 값의 평균이 가장 낮은 곳은 자연녹지지역으로 대부분의 DN 값이 0.2 이하인 것으로 확인되었다. 그러나 월드컵 경기장이 위치해있는 상암동 일대에서 DN 값이 1로 밝은 지역이 있음을 확인하였다. DN 값 평균이 가장 높은 지역은 상업지역으로 DN 평균값은 0.618로 확인되었다.

도시 내 빛 밝기 DN 값을 높이는 주원인은 상업 활동인 것으로 유추할 수 있었다. 일례로 주거지 내 상업 활동 가능 여부에 따라 빛 밝기 평균 DN 값에 차이를 보였다. 상업 활동이 거의 불가능한 전용주거지역의 DN 평균값은 약 0.229로 일반 주거지역의 평균값인 0.401에 비해 57% 수준인 것으로 확인되었다. 또한, 상업 활동이 활발하게 가능한 준주거지역의 DN 평균값은 0.516으로 일반주거지역보다 평균 0.115 높은 것으로 확인되었다.

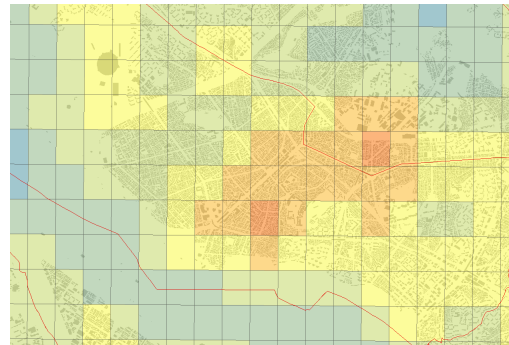
5.2 데이터 공간해상도 비교

연구의 결과로 도출된 ISS 이미지 데이터의 해상도 우수성 확인을 위해 기존 빛공해 측정 연구에서 주로 사용되는 Suomi-NPP 위성에서 수집되는 VIIRS - DNB 데이터와 공간해상도를 비교 확인하였다. 서울시 내 VIIRS 그리드는 총 3810개, ISS 그리드는 총 81553개로, 셀 개수로 확인하였을 때 서울

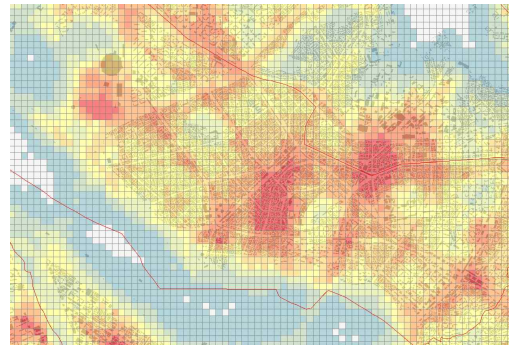
시 기준 약 21.4배 조밀한 해상도를 가진 것을 확인할 수 있다. ITFR_2000좌표계를 기준으로 셀의 넓이 비교를 수행한 결과, VIIRS 데이터의 경우 약 168,941.48m², ISS 데이터의 경우 7,551.61m²로 약 22배 차이를 보였다.

마포구를 중심으로 두 데이터의 공간해상도를 비교한 결과를 그림 7에 제시하였다. 마포구 내 VIIRS 그리드는 총 117개 ISS 그리드는 총 3329개로 집계되었다. 이처럼 ISS 데이터를 활용하면 인공 위성 데이터에 비해 보다 세부적인 공간단위에서 분석이 가능한 것을 확인하였다.

일례로 홍대 상권 및 주변지역의 빛공해 심각 지역을 진단할 경우, VIIRS 데이터는 약 1-2개의 그리드 안에 모든 지역이 들어가는 것을 확인할 수 있다. 반면, ISS 이미지는 지역 내 약 20여개의 셀이 포함되기 때문에 지역 내부의 빛공해의 고저를 파악할 수 있다는 이점이 있다.



(a) VIIRS 마포구



(b) ISS 마포구

그림 7. VIIRS와 ISS공간해상도 비교

Fig. 7. Comparing spatial resolution between VIIRS and ISS

VI. 토론 및 결론

6.1 서울시 빛 공간분포 진단

서울시 빛지도의 공간분포를 확인한 결과, 일반적으로 서울시 내 도로를 따라 빛 밝기가 높은 픽셀들이 주로 분포하고 있음을 확인하였다. 또한, 종로-을지로 일대, 강남, 여의도 일대를 중심으로 지역 내 빛의 세기가 높은 그리드들이 응집하여 분포하고 있는 패턴을 보였다. 이미지의 촬영 시각이 약 새벽 4시이기 때문에 도로 조명의 세기가 상대적으로 더 과도해 보이는 것으로 사료된다. 그러나 기존 연구에 따르면 도로의 가로등 조명은 빛방사량이 가장 심한 시설물 중 하나이다[22]. 서울시 ISS 빛지도를 통해 빛공해를 진단한 결과는 다음과 같다.

① 서울시 내 최대 빛 세기 지역

DN 값이 0.9 이상으로 빛이 높게 뿜어져 나오는 지역으로는 업무시설 밀집 지역인 강남-논현-선릉-압구정-청담 일대, 영등포 일대와 상업시설 밀집지역인 명동-동대문 일대, 이태원 일대, 홍대-신촌 일대, 잠실 일대, 수유-노원 일대인 것으로 확인되었다. 이 외에도, 서울시 내 사거리 및 오거리 등 거

대 교차점을 중심으로 DN 값이 높게 분포하고 있었으며, 목동 야구장, 잠실 올림픽 경기장, 상암 월드컵 경기장 등 거대 체육시설이 입지한 지역과 김포공항 역시 값이 0.9 이상으로 높은 값을 보이는 것을 확인하였다(그림 7참조).

② 서울시 내 상위 빛 DN 값 지역과 특징

서울시 평균으로부터 2표준편차(σ)인 0.74 이상 값을 보이는 지역들은 주로 일반 상업지역 및 근린 상업지역 용도인 것으로 나타났는데, 강남-선릉역 일대 도로를 중심으로 형성된 일반상업 지역과 명동-종로-을지로 내 일반상업지역과 중심상업 지역이 대표적으로 확인되었다.

이 외에도 각 지역의 상업시설이 밀집해 있는 일반상업지역에서 0.74값이 넘는 그리드가 소규모 응집되어 있음을 확인하였다. 그러나 홍대 일대의 경우 다른 지역과는 다르게 제2종 일반주거지역 및 제3종 일반주거지역을 중심으로 0.74 이상의 DN 값을 보이는 그리드들이 다수 분포하고 있는 것으로 확인되었다. 이는 압구정 가로수길 일대, 왕십리 일대에서도 비슷한 현상을 보였다. 또한, 유통 상업지역인 가락시장 일대에서도 0.74이상의 그리드가 대규모로 응집되어 분포하고 있는 것을 확인하였다.

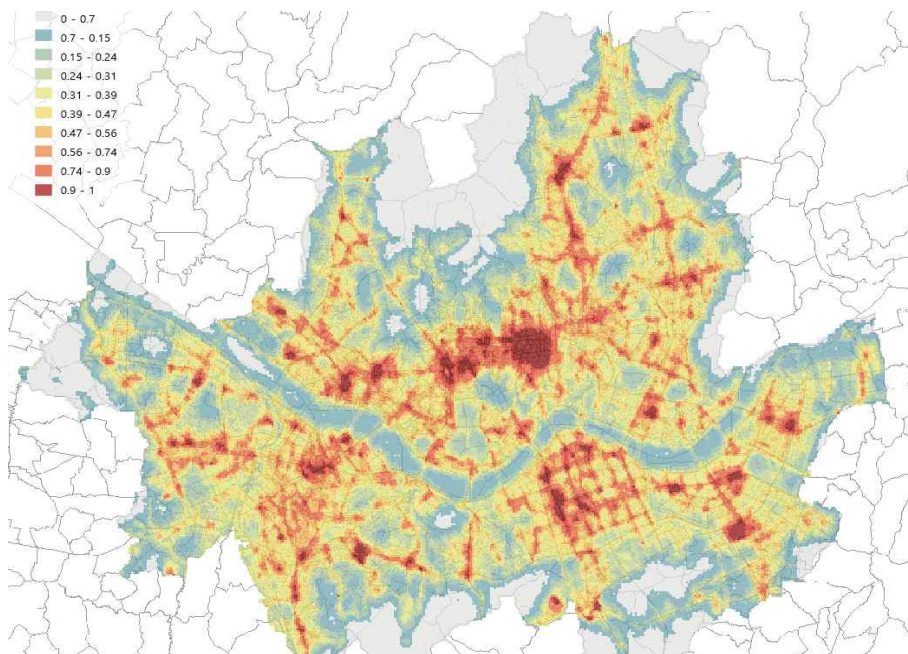


그림 8. 서울시 빛지도
Fig. 8. Light map in Seoul

③ 주상혼재 지역의 빛 문제

Light pollution map[27]의 기준에 따라 서울시 내 녹지 지역을 제외한 대부분의 지역이 빛공해 오염 지역으로 간주되고 있음을 고려하였을 때, 주거지역 임에도 불구하고 높은 수준의 빛 밝기를 보이는 지역에 대한 추가적 고찰이 필요하다. 특히 주거지역의 상업화는 거주민으로 하여금 빛공해 노출에 대한 위험을 증가시킬 가능성이 있다. 실제로 주거지역 내 서울시 평균으로부터 1표준편차(σ)인 0.52 이상 값을 보이는 지역은 대부분 근린생활시설 밀집지인 것으로 나타났다. 주거지역 내 상업시설에 대한 조명관리에 대한 검토가 필요할 것으로 사료된다.

6.2 연구의 시사점 및 한계

ISS 이미지 데이터에 기초한 본 연구의 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 공간데이터 베이스 구축 및 통계분석이 가능한 서울시 야간 이미지 데이터는 2003년부터 2013년 사이 총 7개의 이미지 취득이 가능한 것으로 확인되었다. 둘째, 7개의 이미지 중 가장 최근에 찍힌 2013년의 야간 이미지를 활용하여 구축된 ISS 서울시 빛 밝기 지도는 약 86.9m*86.9m의 공간해상도를 가진 것으로 확인되었다. 서울시의 빛 공간 분포를 확인한 결과, 주로 도로 밀집지역, 상권 활성화 지역, 오피스 밀집지역이 다른 지역에 비해 밝기가 월등히 밝은 것을 알 수 있었으며, 이 중 일반주거지역에서의 상업 활동 또한 지역의 밝기를 높이는 주요 요소인 것으로 나타났다.

본 연구는 이미지 프로세싱 방법을 활용하여 도시 내 빛공해를 진단할 수 있는 새로운 지도 구축 방법론을 제시했다는 것에 그 의의가 있다. 본 연구의 결과물을 활용하면 서울시의 빛공해 발생 위험 지역을 약 80m수준의 공간단위로 도출할 수 있으며 이는 대형 건물보다 작은 수준으로 단지, 보행가로, 대로 등 조밀한 공간단위의 빛공해 진단을 가능하게 한다.

최근 환경부와 지자체를 중심으로 빛공해 관리에 대한 관심이 증대되고 있는 바, 연구의 방법론과 결과는 현재 운영되고 있는 조명관리지역을 지속적으로 모니터링하고 이를 수정 및 보완할 수 있는 기

초 자료로써 활용될 수 있을 것이다. 이와 더불어 인구, 고용인구, 유동인구, 지가, 임대료, 영업신고 인허가 건수 등 다양한 사회경제 지표들을 나타내는 변수들과 실제 토지이용, 도시시설 등 도시 건조 환경을 나타내는 변수들을 함께 활용하면 빛공해의 유발 원인을 파악할 수 있을 것으로 기대된다.

그러나 이미지의 수치 값은 절대적 수치가 아닌 Digital Number로 상대적 수치이기 때문에 값이 높은 지역이 빛공해 오염지역인지 아닌지에 대한 명확한 판단 기준으로는 사용할 수 없다. 또한, ISS 이미지 데이터는 정기적으로 수집되는 데이터가 아닌 특정 시점에 찍힌 사진이기 때문에 연도 별 비교가 어렵다는 한계가 있다. 아울러 촬영시간대가 다름에 따라 시간대 별 조명의 쓰임새가 다를 수 있다. 일례로, 오후 11시에서 새벽 1시는 사람들의 야간활동이 활발하게 이루어지기 때문에 대부분의 지역에서 야간조명을 사용하고 있을 것이나, 새벽 3시에서 5시는 사람들의 야간활동이 적어지기 때문에 도로 등 공공조명의 세기가 상대적으로 클 수 있다. 시간에 따른 빛지도 해석에 유의할 필요가 있다.

이러한 ISS 이미지의 단점은 현재 빛공해 측정을 위해 사용되고 있는 데이터들과 연계하여 사용할 경우 상당 수준 극복 될 수 있을 것이다. 예를 들어 인공위성을 통해 수집되는 DMSP-OLS 및 VIIRS 데이터와 연계하여 통합 데이터베이스를 구축하여 사용할 경우 데이터 값을 유지하면서도 세밀한 공간 단위의 데이터로 재생성 할 수 있어 정량적 수치분석이 가능한 고 해상도의 공간데이터 베이스를 구축할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 인공위성 데이터는 정기적으로 수집되는 데이터이며, ISS 이미지도 촬영 시기는 일정하지 않으나 현재 2018년 2월 한국의 ISS 야간이미지가 추가로 공개되는 등 꾸준히 업데이트되기 때문에, 두 데이터를 통합하여 사용할 경우 지속적이고 안정적인 데이터베이스의 구축이 가능해질 것으로 기대된다. 이는 항공장비를 활용하여 직접 이미지를 촬영하지 않더라도 해당 이미지와 유사한 수준의 고 해상도 이미지 취득할 수 있어 광역 수준의 빛공해 진단을 수행하기 위해 필요한 시간과 비용을 절감할 수 있다는 장점이 있다.

이와 더불어 지상에서 차량을 이용하여 야간 하늘의 밝기를 직접 측정할 수 있는 SQM(Sky Quality Meter)를 함께 활용하여 ISS 이미지의 DN 값과 복합적으로 연계하여 빛공해를 진단할 수 있을 것으로 사료된다. 향후 연구 방향으로 본 연구에서 제시된 바와 같이, 세밀한 공간단위에서 지역 내 빛 세기의 상대적 고저를 판별할 수 있는 장점을 가진 ISS 이미지 처리 기법과 다양한 조사방법의 장점을 상호 보완할 수 있는 빛공해 진단기법을 적극적으로 개발하는 것이 필요하다.

References

- [1] C. Kyba, S. Garz, H. Kuechly, A. S. de Miguel, J. Zamorano, J. Fischer, and F. Hlker, "High-resolution imagery of Earth at night: new sources, opportunities and challenges", *Remote Sensing*, Vol. 7, No. 1, pp. 1-23, Dec. 2014.
- [2] F. Falchi, P. Cinzano, D. Duriscoe, C. C. Kyba, C. D. Elvidge, K. Baugh, B. A. Portnov, N.A. Rybnikova, and R. Furgoni, "The new world atlas of artificial night sky brightness", *Science Advances*, Vol. 2, No. 6, pp. e1600377, Jun. 2016.
- [3] J. Zamorano, A. S. de Miguel, S. Pascual, S. Ramirez, J. G. Castano, P. Ramirez, and P. Challupner, "ISS nocturnal images as a scientific tool against light pollution", LICA report, Universidad Complutense de Madrid, Apr. 2011.
- [4] S. M. Yi and J. T. Kim, "Light Pollution of Street in Residential Area", *Proceedings of KIIEE Annual Conference*, Vol. 2004, No. 5, pp. 9-14, May 2004.
- [5] S. J. Chang, E. S. Oh, and A. S. Choi, "A Development of Street Lighting Fixtures and Operation Plan in Residential Areas", *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, Vol. 19, No. 4, pp. 17-23, Jun. 2005.
- [6] H. J. Kim and H. Kim, "Luminance Measurements of Outdoor Signboards for Illuminated Methods and Various Areas", *Proceedings of KIIEE Annual Conference*, pp. 162-163, May 2012.
- [7] Y. S. Seo, M. S. Oh, and H. S. Kim, "A Study on the Light Pollution Management of Media Facades through Luminance Analysis of Architectural Lightings", *Journal of The Korean Society of Living Environmental System*, Vol. 19, No. 6, pp. 689-696, Dec. 2012.
- [8] Y. S. Seo, M. S. Oh, and H. S. Kim, "A Study on the Light Pollution Management of Media Facades through Luminance Analysis of Architectural Lightings", *Journal of The Korean Society of Living Environmental System*, Vol. 19, No. 6, pp. 689-696, Dec. 2012.
- [9] H. M. Cho, M. K. Lee, S. J. Chang, and S. M. Kim, "Analysis on Luminance of Outdoor Signboards of Commercial Areas in Seoul at Night Considering Light Pollution", *Journal of The Korean Society of Living Environmental System*, Vol. 22, No. 4, pp. 583-589, Aug. 2015.
- [10] C. S. Kim, S. J. Lee, and T. W. Kang, "Light pollution status in urban site and a methodology to produce light map", *KIIT Magazine*, Vol. 11, No. 2, pp. 75-80, Dec. 2013.
- [11] S. D. Hong, E. J. Shin, H. S. So, I. K. Kim, K. H. Jo, and B. B. Jin, "Compatibility testing of mirrorless camera for the online luminance analysis service", *Proceedings of KIIEE Annual Conference, The Korean Institute of Illumination and Electrical Installation Engineers*, Vol. 2015, No. 5, pp. 69-69, May 2015.
- [12] W. Cho, C. Y. Sung, and K. S. Ki. "Characterizing light pollution in national parks during peak and off-peak tourist seasons using nighttime satellite images", *Korean J. Environ. Ecol.* Vol. 28, No. 4, pp. 484-489, Aug. 2014.
- [13] J. S. Kim, C. Y. Sung, and K. S. Ki. "Analysis of light pollution in the Mudeungsan National Park using VIIRS DNB images", *Proc. Korean Soc. Environ. Ecol. Con.* Vol. 26, No. 2, pp. 51, 2016.
- [14] B. H. Han, J. Y. Kim, and S. H. Lee, "Change

of Light Pollution by Land-use Change in Uijeongbu City, Gyeonggi-do", Proc. Korean Soc. Environ. Ecol. Con. Vol. 23, No. 1, pp. 107-108, Apr. 2014.

[15] M. H. Kim, "Outdoor Artificial Light Pollution Change in the Republic of Korea", Journal of the Korean Cartographic Association, Vol. 14, No.1, pp. 49-59, Mar. 2014.

[16] R. K. Nydegger, "Studying Light Pollution in and Around Tucson, AZ", 2013.

[17] O. Rabaza, F. Aznar-Dols, M. J. Mercado-Vargas, and A. Espn-Estrella, "A new method of measuring and monitoring light pollution in the night sky", Lighting Research & Technology, Vol. 46, No. 1, pp. 5-19, Jan. 2014.

[18] C. Cao and Y. Bai, "Quantitative analysis of VIIRS DNB nightlight point source for light power estimation and stability monitoring", Remote Sensing, Vol. 6, No. 12, pp. 11915-11935, Dec. 2014.

[19] N. A. Rybnikova and B.A. Portnov, "Outdoor light and breast cancer incidence: A comparative analysis of DMSP and VIIRS-DNB satellite data", International Journal of Remote Sensing, Vol. 38, No. 21, pp. 5952-5961, Oct. 2016.

[20] W. Nurbandi, F. Yusuf, R. Prasetya, and M.D. Afrizal, "Using Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) Imagery to identify and analyze light pollution", IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Vol. 47, No. 1, pp. e012040, Oct. 2017.

[21] K. Shi, B. Yu, Y. Hu, C. Huang, Y. Chen, Y. Huang, Z. Chen, and J. Wu, "Modeling and mapping total freight traffic in China using NPP-VIIRS nighttime light composite data", GIScience & Remote Sensing, Vol. 52, No. 3, pp. 274-289, Mar. 2015.

[22] H. U. Kuechly, C. C. Kyba, T. Ruhtz, C. Lindemann, C. Wolter, J. Fischer, and F. Holker, "Aerial survey and spatial analysis of sources of light pollution in Berlin, Germany", Remote

Sensing of Environment, Vol. 126, pp. 39-50, Sep. 2012.

[23] C. Dou, X. Zhang, H. Guo, C. Han, and M. Liu, "Improving the geolocation algorithm for sensors onboard the ISS: effect of drift angle", Remote Sensing, Vol. 6, No. 6, pp. 4647-4659, May 2014.

[24] R. Navas and D. Lombaa, "Collaborative georeference of ISS night images for light pollution and energy consumption studies", In Proceedings of Jornadas Ibericas de Infra-estructuras de Datos Espaciais, 2014.

[25] D. Rosenfeld, G. Liu, X. Yu, Y. Zhu, J. Dai, X. Xu and Z. Yue, "High-resolution (375 m) cloud microstructure as seen from the NPP/VIIRS satellite imager", Atmospheric Chemistry and Physics, Vol. 14, No. 5, pp. 2479-2496, Mar. 2014.

[26] Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Color_filter_array. [accessed: Nov. 03, 2018]

[27] Lightpollutionmap, <http://lightpollutionmap.o=info>. [accessed: Oct. 31, 2018]

저자소개

김 정 아 (JungA Kim)



2016년 2월 : 홍익대학교
도시공학과(공학사)
2018년 2월 : 홍익대학교
도시계획과(공학석사)
2018년 3월 ~ 현재 :
홍익대학교 과학기술연구소
연구원

관심분야 : 빅데이터

천 상 현 (SangHyun Cheon)



1995년 2월 : 한양대학교
도시공학과(공학사)
2007년 : UC Berkeley
도시 및 지역계획박사
2013년 8월 ~ 현재 :
홍익대학교 교수
관심분야 : 빅데이터, 지역경제