

야간 위성영상을 이용한 국립공원 탐방 성수기와 비수기의 빛공해 특성 분석^{1a}

조우² · 성찬용^{3*} · 기경석⁴

Characterizing light pollution in national parks during peak and off-peak tourist seasons using nighttime satellite images^{1a}

Woo Cho^{2*}, Chan-Yong Sung^{3*}, Kyong-Seok Ki⁴

요 약

본 연구에서는 국립공원 탐방 성수기와 비수기에 따른 빛공해 특성 차이 분석을 목적으로 하였다. 우리나라 21개 국립공원 중 북한산과 무등산국립공원을 제외한 19개 국립공원의 빛공해는 2012년 10월(성수기)과 2013년 1월(비수기)에 촬영된 VIIRS(Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) 센서의 DNB(Day and Night Band) 영상 중 구름과 달빛이 없는 시기에 촬영된 영상을 이용하여 추정하였고, bootstrapping 회귀 분석을 이용하여 각 시기별로 어떠한 사회경제적, 정책적 요인이 국립공원 빛공해 수준에 영향을 미치는지 분석하였다. 국립공원 빛공해 특성은 탐방 성수기와 비수기에 따라 다르게 나타났다. 탐방 성수기에는 국립공원 내부의 야간 조명보다 공원 인근 조명이 국립공원 내부의 빛공해 수준에 더 큰 영향을 주었고 비수기에는 공원 인근보다 공원 내부에 의한 영향이 더 큰 것으로 분석되었다. 탐방 성수기에 국립공원 인근 야간 조명 영향이 더 크게 나타난 원인은 공원 인근의 숙박 및 레크리에이션 시설의 야간 조명이 대기 중에서 산란되어 국립공원 내부로 침입하는 스카이글로우현상(sky glow effect)으로 판단된다. 이 결과는 국립공원 빛공해의 피해를 줄이기 위해서는 국립공원 내부 뿐 아니라 특별히 탐방 성수기 동안 인근 지역의 야간 조명을 규제하여야 한다는 것을 시사해준다.

주요어: 야간 조명, VIIRS DNB, 스카이글로우현상

ABSTRACT

In this paper, we examined factors that influenced light pollution in Korean national parks during peak and off-peak tourist seasons. Cloud-and moonlight-free nighttime satellite images that were collected during October 2012(for peak season) and January 2013(for off-peak season) by the Day and Night Band (DNB) of the Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) sensor were used to estimate the levels of light pollution in 19 national parks (excluding the Bukhansan and Mudeungsan National Parks). Bootstrapping regression analyses were conducted to examine the effects of socioeconomic and policy factors on light pollution in the study national parks for peak and off-peak tourist seasons, separately. The characteristics of light pollution in the national parks varied by season. During the peak tourist season, light pollution in the national parks were

1 접수 2014년 7월 9일, 수정 (1차: 2014년 8월 13일, 2차: 2014년 8월 20일), 게재확정 2014년 8월 21일

Received 9 July 2014; Revised (1st: 13 August 2014, 2nd: 20 August 2014); Accepted 21 August 2014

2 상지대학교 관광학부 관광개발전공 Dept. of Tourism Development, Sangji Univ., Wonju(220-702), woocho@sangji.ac.kr

3 계명대학교 환경계획학과 Dept. of Environmental Planning, Keimyung Univ., Daegu(704-701), cysungg@kmu.ac.kr

4 상지대학교 친환경식물학부 Dept. of Horticulture & Landscape Architecture, Sangji Univ., Wonju(220-702), ecokks@sangji.ac.kr

a 이 논문은 2013년도 상지대학교 교내 연구비 지원에 의한 것임.

* 교신저자 Corresponding author: cysungg@kmu.ac.kr

affected more by night lights nearby the parks than those within in the parks, while in the off-peak season, light sources in the parks were more important. Scattering of light emitted from hotels and other recreational facilities outside the parks that led to the sky glow effect can be attributed to the greater impact of night lights nearby the parks during the peak season. This result suggests that regulating light pollution nearby the park areas is needed to mitigate light pollution in the national parks, especially in a peak tourist season.

KEY WORDS: NIGHT ARTIFICIAL LIGHT, VIIRS DNB, SKY GLOW EFFECT

서론

최근 야간의 과도한 인공 조명 사용으로 발생하는 빛공해가 사회적인 문제가 되고 있다. 빛공해란 인공 조명 사용으로 인해 과도한 빛 또는 비추고자 하는 영역 밖으로 누출된 빛이 주변 환경에 피해를 주는 상태를 뜻한다(Park, 2012). 빛공해 문제는 천문 관측의 어려움에서 처음 인식되기 시작되었으나 최근에는 빛공해로 인한 도시 거주민의 건강 문제, 자연 생태계의 교란 등의 문제로 확대되고 있다(Longcore and Rich, 2004; Miller, 2006). 빛공해는 도시 거주민의 수면을 방해할 뿐 아니라 장기간 노출되면 수면을 조절하는 호르몬인 멜라토닌의 분비가 억제되고 면역체계와 체온조절 기능에 영향을 미쳐 유방암 등 각종 질병을 일으킨다(Kloog *et al.*, 2008).

빛공해에 노출되면 인간과 마찬가지로 야생동물도 멜라토닌 분배가 억제되어 생활 습성 및 번식 주기가 교란된다(Navara and Nelson, 2007). 대부분의 비행성 곤충은 주광성이어서 야간에 인공 조명 주위로 몰려드는데 빛공해가 심한 지역에 서식하는 많은 야행성 조류와 파충류들은 야간 조명 근처에서 빛에 이끌려 몰려오는 곤충들을 잡아먹는 방식으로 포식 습성을 변경하는 것으로 알려져 있다(Longcore and Rich, 2004). 관련 연구에 따르면 중부 유럽에 서식하는 푸른 박새(blue tit)의 수컷은 빛공해가 심한 지역에서 아침에 더 일찍 울기 시작하고 암컷들은 더 빨리 알을 낳는다(Kempnaers *et al.*, 2010). 일반적으로 푸른 박새 암컷들은 아침에 일찍 우는 성숙한 수컷을 선호하는데 야간 조명으로 수컷들이 아침에 우는 시간을 혼란하면 암컷이 새끼를 키울 능력이 부족한 미성숙한 수컷을 선택할 확률이 높아진다. 또한 암컷이 알을 일찍 낳아 번식기보다 너무 이른 계절에 새끼를 낳아 키우게 되면 충분한 양의 먹이를 구하기 어려워져 결과적으로 번식에 성공할 확률이 낮아진다. 영국에서 서식하는 한 박쥐 종의 경우 자연 지역보다 조명이 있는 지역에서 해가 진 후 더 늦게 활동을 시작할 뿐 아니라 포식 위험 때문에 조명이 있는 곳을 피해 이동하는 경향을 보여 빛공해가 박쥐의 먹이 활동 시간을 감소시키고 이동에 따른 에너지 소

모량을 증가시키는 것으로 조사되었다(Stone *et al.*, 2009).

한국에서도 빛공해의 심각성을 인식하여 여러 빛공해 실태에 대한 연구가 수행되었지만 이들 연구는 대부분 인간들이 거주하는 도시 지역에만 초점을 맞추고 있을 뿐(Ahn and Kim, 2004; Kong and Kim, 2010), 야생동식물의 서식·생육지에 대한 빛공해 연구는 거의 없는 실정이다. 야생동식물 서식·생육지의 빛공해 실태에 대한 연구가 이루어지지 않은 이유 중 하나로는 현장 조사의 어려움을 들 수 있다. 우리나라는 야생동식물 서식·생육지가 대부분 산지에 위치하여 조사원의 접근이 쉽지 않고 특히 야간 조사에는 안전사고의 위험이 따르는 것이 제약 요인이었다.

최근 개발된 위성 센서로 촬영한 영상을 활용하면 야간에 접근이 쉽지 않은 야생동식물 서식·생육지의 빛공해 정도를 측정하는 것이 가능한 것으로 알려지고 있다. 일반적으로 위성 센서는 지표면에서 반사 또는 복사된 태양 에너지를 감지하지만 몇몇 센서들은 야간의 인공 조명으로부터 방출된 낮은 강도의 에너지를 감지하도록 설계·운영되고 있다(Elvidge *et al.*, 2013). 초창기 야간 위성 센서는 주로 군사적 목적의 첩보위성으로 개발되었지만 점차 토지이용의 변화(Ma *et al.*, 2012)나 도시지역 빛공해 모니터링(Chalkias *et al.*, 2006)과 같은 학술적 목적으로 활용 범위가 넓어지는 추세이다.

본 연구에서는 지난 2011년 발사된 Visible Infrared Imaging Radiometer Suite(VIIRS) 센서의 Day and Night Band(DNB)에서 촬영한 야간 위성영상을 활용하여 우리나라의 대표적인 야생동식물 서식·생육지라 할 수 있는 국립공원 내 빛공해 수준을 측정하고 이를 바탕으로 국립공원 빛공해에 영향을 미치는 사회경제적, 정책적 요인들을 분석하고자 하였다. 국립공원은 야생동식물의 서식·생육지이기도 하지만 많은 사람들이 방문하는 우리나라 주요 관광지이기도 하다. 이는 국립공원 내 빛공해 수준은 공원 탐방객에 의해 크게 영향을 받는다는 것을 의미한다. 본 연구에서는 국립공원 빛공해에 영향을 미치는 요인을 국립공원 탐방객이 많은 가을 단풍철과 탐방객이 적은 겨울철에 대해 각각 분석하여 계절별 차이를 비교해보고 그 결과를 바탕으로 국립공원 빛공해를 완화할 수 있는 정책적 대안을 찾아보고자 하였다.

연구방법

1. 연구대상지

본 연구는 우리나라 21개 국립공원 중 북한산국립공원과 2013년 새로 지정된 무등산국립공원을 제외한 19개 국립공원을 대상으로 하였다(Figure 1). 북한산국립공원은 빛공해 수준이 다른 공원과 비교해 월등히 높게 나타나(북한산국립공원의 빛공해 수준이 무등산을 제외한 20개 국립공원의 빛공해 수준의 평균보다 표준편차의 4배 이상 컸다.), 이를 통계적인 이상값(outlier)으로 간주하고 연구 대상지에서 제외하였다. 19개 연구 대상 국립공원 중 4개소는 해상-해안형으로 국립공원 지정 면적이 바다를 포함하고 있다. 바다 지역은 야간 조업을 하는 어선의 조명 등 육지 지역과는 빛공해가 다른 양상으로 나타날 수 있기 때문에 본 연구에서는 연구대상지를 육상 지역으로 한정하였다. 현행 국립공원 구역은 2011년 구역 재조정에 의해 확정되었는데 이 때 기존 국립공원 구역 중 개발로 훼손된 지역이 국립공원 구역에서 제척되었다. 하지만 이 때 제척된 구역 중 상당수가 국립공원 내부에 위치해 있어 국립공원 빛공해에 실질적인 영향을 미치고 있다고 판단되어 본 연구에서는 19개 국립공원 내 육지 지역 중 2011년 국립공원 재조정 이전 즉 2010년 현재 국립공원 구역으로 지정된 지역을 공간적 범위로 설정하였다.

국립공원 빛공해는 탐방객 수에 영향을 받을 것으로 판단되었기 때문에 1년 중 단풍 관람을 위한 탐방객이 가장 많은



Figure 1. The nineteen study national parks

가을철 중 한 달(2012년 10월)과 탐방객이 가장 적은 겨울철 중 한 달(2013년 1월)의 빛공해 특성을 각각 분석하여 국립공원 빛공해의 계절적 차이를 비교해 보았다. 2010년 현재 19개 국립공원 중 해상-해안형 국립공원의 바다 지역을 제외한 육지 지역만의 총 면적은 3,814.3km²이었다. 2012년 한 해 동안 4,000만 명이 넘는 탐방객이 19개 연구대상 국립공원을 방문하였고 탐방객이 가장 많은 달은 단풍 절정기인 10월, 가장 적은 달은 2월(1월은 두 번째로 적은 달)로 조사되었다(KNPS, 2013).

2. 변수 측정

19개 국립공원 내 야간 빛공해 수준은 미국 국립해양대기청(US National Oceanic and Atmospheric Administration)에서 운영 중인 위성 원격탐사 센서인 VIIRS 센서의 DNB 밴드 영상을 이용하여 측정하였다(Figure 2). VIIRS 센서는 Suomi NPP 위성에 탑재된 위성센서로 이 센서의 밴드 중 하나인 DNB 밴드는 가시광선과 근적외선 영역인 0.4-0.7 μ m 대역의 전자기 에너지를 742m의 공간해상도로 감지한다(Elvidge *et al.*, 2013). 다른 위성 센서들과 달리 DNB 밴드는 매우 적은 양의 에너지도 감지할 수 있어 야간의 인공적인 빛을 감지하는 데 적합하다. 본 연구에서는 탐방객이 빛공해에 미치는 영향을 살펴보기 위해 월별 탐방객이 가장 많은 10월(2012년

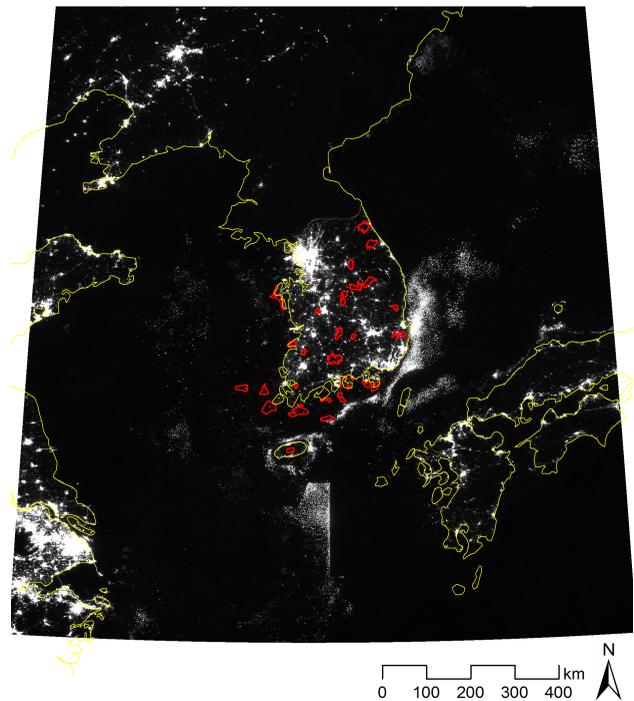


Figure 2. Average brightness values of VIIRS DNB nighttime image taken in October 2012

10월 11일부터 23일까지)과 두 번째로 적은 1월(2013년 1월 1일부터 1월 31일까지)에 촬영된 DNB 영상의 전자기 에너지량(electromagnetic energy)으로 빛공해 수준을 측정하였다. 일반적으로 빛공해는 인간에 의해 만들어진 인위적인 빛에 의한 영향만 의미한다. 따라서 해당 기간에 촬영된 모든 DNB 영상 중 달빛이 없는 그믐이면서 구름이 없는 시기에 촬영된 모든 영상들의 픽셀값들을 평균하여 지점의 빛공해를 측정하였다(Baugh *et al.*, 2013). 조사 기간 중 야간 빛공해에 영향을 줄 수 있는 산불은 없었다. 문헌 조사 결과 2012년 4월 18일 계룡산국립공원에서 산불이 났었지만 해지기 전 진화가 완료되어(KNPS, 2014) 야간 영상에 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다. DNB 영상은 전자기 에너지량을 14bit의 무단위로 감지하여 기록하지만 위성 발사 전 지상에서 측정한 환산계수를 이용하면 단위면적 당 에너지양으로 환산할 수 있다(Baugh *et al.*, 2013). 본 연구에서는 DNB 밴드의 픽셀값을 $\mu W/m^2/sr$ 의 단위의 에너지양으로 환산한 다음 각 국립공원에 포함된 픽셀들의 평균값을 계산하여 국립공원 내 빛공해 수준(light pollution in the national park)을 측정하였다.

본 연구는 국립공원 빛공해에 영향을 주는 사회경제적·정책적 요인으로 국립공원 내 육지지역 면적(land area)과 국립공원 육지지역 면적 대비 마을지구 면적비(percent village area), 각 분석 시점 별 국립공원 인근 5km의 빛공해 수준(night light intensity in the 5km buffer)을 가정하였다. 국립공원 내 육지면적은 2010년 현재 지정·고시된 국립공원 지역 중 육지지역의 면적, 마을지구 면적비는 국립공원 내 육지면적 중 자연마을지구와 집단마을지구로 지정된 면적의 비율을 의미한다. 국립공원 인근 5km 지역의 빛공해 수준은 국립공원 경계에서부터 5km 이내의 버퍼 지역 내 포함된 VIIRS DNB 밴드의 픽셀값의 평균을 분석 시점별로 각각 계산하여 측정하였다(Table 1).

3. 통계 분석

위에서 측정한 세 가지 변수를 독립변수로 하고 국립공원

내 빛공해 수준을 종속변수로 하는 회귀분석을 분석 시점별로 각각 실시하였다. 사전 분석 결과 회귀분석으로 추정된 예측값과 관측값의 차이인 잔차가 정규분포를 갖지 않은 것으로 나타나 회귀분석의 기본 가정을 충족시키지 못하였다. 따라서 일반적인 t-검정 대신 비모수기법의 하나인 bootstrapping 기법을 이용하여 각 독립변수의 유의성을 검정하였다. Bootstrapping 기법은 수집된 표본으로부터 표본과 같은 크기의 새로운 표본을 복원 추출을 통하여 여러 번 생성하고 각각의 표본으로부터 검정하려는 통계량의 경험적인 확률분포를 만들어 신뢰구간을 도출하는 컴퓨터 의존적인 검정 방법이다(Efron and Tibshirani, 1993; Sung, 2012).

본 연구에서는 4,999개의 bootstrapping 표본을 생성하여 각 회귀계수의 신뢰구간을 유의수준 10%, 5%, 1%에서 각각 도출하였다. Bootstrapping 통계검정은 통계분석 언어인 R의 'boot' 패키지를 이용하여 실시하였다(Canty and Ripley, 2009).

결과 및 고찰

1. 분석 결과

분석 결과 2012년 10월과 2013년 1월의 두 시기에 대한 회귀모형 모두 국립공원 내 빛공해 수준에 높은 설명력을 보였다. 두 회귀모형의 결정계수(R^2)는 2012년 10월 데이터가 0.807, 2013년 1월 데이터가 0.607으로 계산되어 회귀모형이 국립공원 내 빛공해 수준의 변이를 60~80% 정도 설명하는 것으로 분석되었다(Table 2). 본 연구에서 설정한 회귀모형은 두 시기 모두에서 높은 설명력을 보이기는 하지만 개별 독립변수의 영향은 두 시기에 다른 양상으로 나타났다. 단풍절정기인 10월에는 국립공원 인근 5km 지역의 빛공해 수준이 유의수준 5%에서 국립공원 내 빛공해 수준에 통계적으로 유의미한 영향을 미쳤고 국립공원 내 육지지역 면적은 유의수준 1%에서 유의미한 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

마을지구 면적비는 유의수준 10%에서만 유의미하여 국립공원 내 빛공해에 상대적으로 적은 수준의 영향을 주는 것으

Table 1. Description of the variables used in the study

Variables	Descriptions
Dependent variable	
night light intensity in the national park	mean pixel radiance of cloud and moonlight free VIIRS DNB images in the national park ($\mu W/m^2/sr$)
Independent variables	
land area	land area designated as the national park in 2010 (km^2)
percent village area	proportion of the area designated as village districts to the total land area in the national park (%)
night light intensity in the 5km buffer	mean pixel radiance of cloud and moonlight free VIIRS DNB images in the 5 km buffer from the national park ($\mu W/m^2/sr$)

로 나타났다. 반면 탐방객이 적은 1월의 경우 마을지구 면적 비만 유의수준 5%에서 국립공원 내 빛공해 수준에 통계적으로 유의미하게 영향을 미쳤고, 다른 두 변수는 유의수준 10%에서만 유의미한 영향을 주는 것으로 분석되었다. 기대했던 바와 같이 마을지구 면적비와 인근 5km 지역 빛공해 수준 변수에 대한 회귀계수는 두 시기 모두 양의 부호를 갖는 것으로 계산되어 국립공원 내 마을이 많을수록 그리고 인근 지역의 빛공해가 심할수록 국립공원 내 빛공해도 심해진다는 것을 알 수 있었다. 국립공원 내 육지지역 면적에 대한 회귀계수는 두 시기 모두 음의 값을 갖는 것으로 나타나 국립공원으로 보호받는 면적이 넓을수록 국립공원 내 빛공해가 완화되는 효과가 있다는 것을 알 수 있었다.

이와 같은 결과는 탐방객이 많은 10월에는 국립공원 내부 마을지구에서 발생하는 빛공해보다 탐방객을 위한 숙박 위락 시설들이 밀집해 있는 국립공원 인근 지역의 빛공해가 국립공원 내부 빛공해에 더 큰 영향을 미치기 때문이라 할 수 있다. 인근지역 빛공해의 영향이 큰 원인으로는 sky glow현상이라 추측되는데 이것은 지표면에서 방출된 빛이 대기 중 수증기나 미세먼지 등에 의해 산란되어 주변 지역으로 전파되는 현상으로 안개나 구름이 많이 낀 날 도시의 밤하늘이 밝게 보이는 현상이 sky glow 현상의 대표적인 예이다(Kyba *et al.*, 2011).

국립공원 내 육지지역 면적의 회귀계수가 음의 부호를 갖는다는 결과 또한 sky glow 현상으로 인근 지역으로부터의 빛공해가 국립공원 내부로 침투하여 빛공해를 일으킨다는 설명을 뒷받침 해 준다. 즉 국립공원 면적이 넓으면 국립공원 경계지역은 외부로부터 전파된 빛공해에 의해 오염되더라도 인근의 빛공해의 영향을 받지 않는 내부의 빛공해 청정지역이 충분히 넓기 때문에 공원의 평균 빛공해 수준이 낮아지게

된다. 탐방객이 많지 않은 1월의 경우 국립공원 인근 5km의 빛공해 수준이나 공원 내 육지지역 면적의 영향이 크지 않았다. 이는 국립공원 인근의 숙박시설에서 방출되는 빛공해가 10월만큼 심하지 않아 국립공원 내부로 침투해 들어오는 빛공해의 절대량이 많지 않았기 때문에 국립공원 면적에 상관없이 상대적으로 넓은 면적의 빛공해 청정지역이 형성되었기 때문이라 판단된다. 탐방객 수가 적은 시기에는 공원 내 마을에서 방출되는 빛의 세기와 관계있는 마을지구의 규모가 국립공원의 빛공해 수준을 결정하는 주요인으로 나타났다.

2. 결론 및 제언

본 연구의 결과 국립공원의 빛공해가 국립공원 내부 뿐 아니라 국립공원 인근 지역의 야간 조명에 영향을 받는다는 것을 보여준다. 외부로부터의 영향은 특히 국립공원 탐방객이 많은 시기에 더 큰 것으로 나타났는데 이 결과는 이 시기에 공원경계 밖에 개발된 숙박 위락시설의 야간 조명이 강하게 영향을 미쳤기 때문으로 판단된다. 또한 탐방객이 많은 시기에는 국립공원 면적이 넓을수록 인근 숙박 위락시설의 야간 조명에 영향을 받지 않는 빛공해 청정지역이 넓어지는 것으로 분석되어 국립공원이 빛공해로부터 야생동식물 서식·생육지를 보호하는 데 큰 역할을 하고 있음을 보여준다.

마지막으로 본 연구는 위성 영상에서 감지된 야간 전자기 에너지를 이용하여 빛공해를 측정하였다는 것을 밝혀두고자 한다. 우리나라 국립공원이 대부분 야간에 접근이 쉽지 않은 산지에 위치해 있어 위성 영상을 활용한 관측이 유용하다 판단되지만, 일반적으로 빛공해는 지표면에 있는 인간과 야생 동물들에게 감지되는 야간 조명을 의미하여 위성 데이터로 측정된 빛공해와는 차이가 있을 수 있다. 또한 DNB 영상의

Table 2. Bootstrapping confidence intervals (CIs) of regression coefficients for October 2012 and January 2013 light pollution in the national parks

Variables	Coefficients	90% CI		95% CI		99% CI	
		Lower bound	Upper bound	Lower bound	Upper bound	Lower bound	Upper bound
October 2012							
Intercept	4.2422						
land area	-0.0092	-0.0195	-0.0048	-0.0242	-0.0036	-0.0406	-0.0002
percent village area	0.9250	0.1235	1.423	-0.1307	1.4778	-1.1049	1.6461
Night light intensity in the 5km buffer	0.2656	0.1834	0.6963	0.00824	0.7319	-0.0238	0.79
January 2013							
Intercept	5.6470						
land area	-0.0089	-0.019	-0.001	-0.0205	0.0023	-0.0276	0.0136
percent village area	1.1274	0.438	1.759	0.236	1.957	-1.19	3.056
Night light intensity in the 5km buffer	0.1333	0.0169	0.2693	-0.0353	0.3332	-0.2023	0.4703

공간해상도가 742m로 주간 위성 영상에 비해 낮아 지형이나 토지이용 규제에 의한 좁은 공간에 나타나는 빛공해 수준의 차이를 정밀하게 분석하기 못하는 한계가 있다.

본 연구의 결과로부터 다음과 같은 정책적 시사점을 도출하였다. 첫째, 국립공원 인근지역의 숙박 위락시설의 개발을 억제하고 기개발된 시설에 대해서는 야간 인공 조명 밝기를 규제하는 등의 제도 개선이 필요하다. 둘째, 국립공원 탐방객들의 주요 탐방 시기 야생동식물의 생태 등을 고려한 보다 구체적인 빛공해 관리제도 제정이 요구된다. 우리나라에서도 빛공해의 심각성을 인식하여 지난 2012년 「인공조명에 의한 빛공해 방지법」이 제정되어 시행되고 있다(Park, 2012). 그러나 빛공해에 대한 연구의 대부분은 도시 지역에만 초점을 맞추고 있을 뿐 핵심 야생동식물 서식·생육지에 대한 빛공해 실태에 대한 조사는 거의 이루어지지 않은 실정이다. 국립공원을 비롯한 주요 야생동식물 서식·생육지들은 대부분 단풍 절정기인 10월이 탐방 성수기인데 이 시기는 사마귀나 귀뚜라미 등 알로 겨울을 나는 곤충들과 관박쥐, 산양 등의 번식기로 외부로부터 영향에 더 민감한 시기이다(Song *et al.*, 1984; Lelito and Brown, 2008). 따라서 국립공원에 서식하는 특정 야생동물이 번식기를 맞았을 때는 그 종의 서식지 주변 지역의 조명의 밝기는 일정 수준 이하로 낮추는 등 국립공원 내 생태계 특성을 고려한 맞춤형 빛공해 규제 제도 도입 등 세심한 공원관리가 필요한 시점이라 판단된다.

REFERENCES

- Ahn, H.T., and J.T. Kim(2004) Light pollution survey of outdoor lighting in shopping complex. *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers* 18(5): 16-26. (in Korean with English abstract)
- Baugh, K., F.C. Hsu, C. Elvidge and M. Zhizhin(2013), Nighttime lights compositing using the VIIRS Day-Night band: preliminary results. *Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network* 35, Manoa, Hawaii, pp. 70-86.
- Canty, A. and B. Ripley(2009), R package 'boot' (Version 1.2-41). <http://cran.r-project.org/web/packages/boot/boot.pdf>.
- Chalkias, C., M. Petrakis, B. Psiloglou and M. Lianou(2006) Modelling of light pollution in suburban areas using remotely sensed imagery and GIS. *Journal of Environmental Management* 79(1): 57-63.
- Efron, B. and R.J. Tibshirani(1993) *An Introduction to the Bootstrap*. Chapman & Hall, New York. 456pp.
- Elvidge, C.D., K.E. Baugh, M. Zhizhin, F.-C. Hsu (2013) Why VIIRS data are superior to DMSP for mapping nighttime lights, *Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network* 35, Manoa, Hawaii, pp.62-69.
- Kempenaer, B., P. Borgström, P. Loës, E. Schlicht and M. Valcu(2010) Artificial night lighting affects dawn song, extra-pair siring success, and lay date in songbirds. *Current Biology* 20(19): 1735-1739.
- Kloog, I., A. Haim, R.G. Stevens, M. Barchana and B.A. Potnov(2008) Light at night co-distributes with incident breast but not lung cancer in the female population of Israel. *Chronobiology International* 25(1): 65-81.
- KNPS(2013) Statistics of the Korean national parks. <http://www.knps.or.kr/front/portal/stats/statsList.do?menuNo=7070020>. (in Korean)
- KNPS(2014) Forest fire in the national parks. <http://www.knps.or.kr/public/main/contents.do?menuNo=7030063>. (in Korean)
- Kong, H.J. and J.T. Kim(2010) Light pollution of outdoor lighting in coastal area - Focused on Busan city. *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers* 24(6): 18-26. (in Korean with English abstract)
- Kyba, C.C.M., T. Ruhtz, J. Fischer and F. Hölker(2011) Cloud coverage Acts as an amplifier for ecological light pollution in urban ecosystems. *PLoS ONE* 6(3): e17307.
- Lelito, J.P and W.D. Brown(2008) Mate attraction by females in a sexually annibalistic praying mantis 63(2): 313-320.
- Longcore, T. and C. Rich(2004) Ecological light pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment* 2: 191-198.
- Ma, T., C. Zhou, T. Pei, S. Haynie and J. Fan(2012) Quantitative estimation of urbanization dynamics using time series of DMSP/OLS nighttime light data: A comparative case study from China's cities. *Remote Sensing of Environment* 124: 99-107.
- Miller, M.W.(2006) Apparent effects of light pollution on singing behavior of American robins. *Condor* 108(1): 130-139.
- Navaro, K.J. and R.J. Nelson(2007) The dark side of light at night: physiological, epidemiological, and ecological consequences. *Journal of Pineal Research* 43(3): 215-224.
- Park, J.W.(2012) An overview of the "Light Pollution Prevention Act" and its legal significance. *Environmental Law Review* 34(2): 227-270. (in Korean with English abstract)
- Song D.J., C.S. Park, S.Y. Choe and K.M. Choe(1984) Seasonal variation in breeding activity and return to estrus after parturition or induced abortion in Korean native goats. *Journal of Animal Science and Technology* 26(4): 350-356.
- Stone E.L., G. Jones and S. Harris(2009) Street lighting disturbs commuting bats. *Current Biology* 19(13): 1123-1127.
- Sung, C.Y.(2012) Evaluating the efficacy of a local tree protection policy using LiDAR remote sensing data. *Landscape and Urban Planning* 104(1): 19-25.