

2020년도 시민과학폴씨 1기
최종 결과보고서

시민과학을 통한 도시 빛 공해와 매미 울음,
별의 가시성 관계 분석

2020.12.

[별빛을 품은 도시]

배정은·박현진·이세희·정민하
(국민대학교 산림환경시스템학과)



재단법인 숲과나눔

동아사이언스

시민과학을 통한 도시 빛 공해와 매미 울음, 별의 가시성 관계 분석

[별빛을 품은 도시]

배정은·박현진·이세희·정민하(국민대학교 산림환경시스템학과)

1. 서론

지나친 인공조명으로 인해 야간에도 낮처럼 밝은 상태가 유지되어 발생하는 빛 공해가 사람과 동·식물에 큰 피해를 주고 있다. 빛 공해는 단순히 밤하늘의 별을 볼 수 없는 데만 머무르지 않고 사람들에게는 수면 장애와 스트레스 발생, 유방암 등의 질병을 일으킨다(성찬용과 김영재, 2020). 동물에는 번식능력과 개체수 감소 등을 유발하며, 식물에는 휴면유도지연과 낙엽 지연, 성장 저하 등을 발생시킨다. 도시화·산업화가 진행될수록 빛 공해로 인한 피해의 범위와 정도가 증가하고 있어서 도시 생태계와 인간 삶의 질에 적합한 조명환경관리가 날로 중요해지고 있다.

지나치게 밝은 인공조명은 도시 생태계 교란 요인이며, 빛 공해라는 환경오염에 해당하지만, 과도하게 사용되는 인공조명은 우리의 일상 속에서 크게 심각한 환경문제로 인식되지 못하고 있다. 도시 지방자치단체와 국가 차원에서 빛 공해의 심각성에 대해 인식할 수 있도록 적극적인 교육·홍보 대책이 필요하고, 빛 공해 방지를 위한 제도와 정책 마련이 시급하다. 이에 앞서 통합적이고 실효적인 빛 공해 대응방안 마련을 위해 빛 공해의 원인과 정도, 이로 인한 다양한 생태적 영향 등에 관한 체계적인 연구·조사도 선행되어야 한다.

해외의 Globe at Night 프로그램은 시민과학자들이 밤하늘의 별의 밝기를 측정하고 온라인으로 관찰결과를 제출하도록 하여 빛 공해에 대한 대중의 인식을 높일 수 있는 국제 시민과학 캠페인이다. 지난 12년 동안 이 프로그램에 180개 국가의 시민이 참여하였고, 18만 건 이상의 측정이 이루어진 가장 성공적인 빛 공해 인식 캠페인이라고 할 수 있다. 그뿐만 아니라 Globe at Night 웹 사이트의 데이터베이스는 빛 오염이 박쥐의 먹이 습관에 어떤 영향을 끼치는지와 같은 다양한 연구에도 활용되고 있다.

빛 공해로 인해 다양한 생물 종이 피해를 보고 있다. 특히, 철새류는 큰 건물에서 나오는 밝은 빛에 의해 방향을 잘못 찾을 수 있다. 미국의 어류 및 야생동물 관리국(U.S. Fish and Wildlife Service)에 의하면 매년 약 4~5백만 마리에서 천만 마리의 새들이 큰 건물에서 나오는 빛을 쫓아가다가 부딪쳐서 죽는다고 한다. 또한, 빛 공해는 우리나라의 큰 이슈인 녹조현상에도 영향을 끼친다. 호수 주위에 세워진 가로등에 의해 물벼룩 같은 동물성 플랑크톤이 성장에 방해를 받지만, 동물성 플랑크톤은 조류를 먹고 성장하기 때문에 녹조현상이 발생할 수 있다.

빛 공해는 생태계뿐만 아니라 인간의 건강에도 여러 피해를 준다고 알려져 있다. 국제암연구기구(IARC)에 따르면 빛 공해는 사람의 신체 리듬을 파괴하기 때문에 발암물질로 볼 수 있다. 또한, 편두통을 유발하고 어린이들의 경우 글쓰기를 배우는 과정에 어려움을 호소할 수 있다는 연구결과도 있다. 실험용 쥐를 이용한 연구에서는 우울증을 유발하는 요인으로 작용할 수 있다는 사실과 행동 양상 및 면역기능에 영향을 끼친다는 사실을 입증하였고, 이러한 결과가 인간에게도 적용이 된다고 설명하고 있다(도정근 등, 2014).

해외에서는 일찍이 과도한 인공조명을 공해로 명시하고 관련법을 제정해 규제하고 있다. 호주의 경우 지나친 인공조명으로 인한 빛 공해를 불법행위로 간주하는 환경보호법을 제정해 관리하고

있다. 미국 애리조나주는 옥외조명의 정도에 따라 전등갓을 씌우도록 규제하고 있다. 또한, 캘리포니아주는 구역의 성격에 따라 조도와 조명시간을 제한하고, 기술적 규제뿐만 아니라 에너지 저감 대책도 세우고 있다.

해외에 비해 국내에서는 빛 공해에 대한 대처가 부족한 상황이다. 국제공동연구팀이 2016년에 전 세계 빛 공해 실태를 분석한 연구결과, 우리나라는 주요 20개 국가 중 빛 공해 순위 2위를 기록했다. 빛 공해가 심각한 수준이지만 일반 시민들은 빛 공해의 심각성에 대해 아직 인식하지 못하고 있다. 실제로 서울시 거주자를 대상으로 한 연구에 따르면 야간조명으로 인한 피해에 대한 대처는 다소 소극적인 편이라고 응답하였다. 응답자의 51%는 빛 공해 피해에 대한 대처 필요성을 인식하지 못하거나 자체적으로 해결하는 편이라고 응답했다(박재은과 천상현, 2018). 인공조명에 의한 빛 공해 방지법이 2012년도에 제정되었지만, 빛 공해 중요성의 인식이 부족하고 각 지방자치단체에서 빛 공해 전문가가 부족한 상황이다. 아울러, 빛 공해 방지를 위한 제도적 장치가 마련되지 않고 있으며, 홍보 부족과 함께 인식이 부족하여 빛 공해 방지 관련 예산도 미미한 상황이다.

본 연구의 목적은 우리 주변에서 쉽게 볼 수 있는 생물이 빛 공해로 인해 활동 양상이 변하고 있음을 사람들에게 인식시키는 것이다. 시민과학에 의한 모니터링 조사와 분석으로 빛 공해의 심각성을 흥미로운 방식으로 알려 사람들에게 빛 공해가 더는 먼 나라의 이야기가 아닌 일상의 환경문제라는 것을 알리고자 한다. 우리 주변에서 쉽게 볼 수 있는 야생동물 중 매미를 빛 공해 지표종이라고 할 수 있다. 7~8월 여름이 되면 도시에서는 저녁에도 시끄러운 매미 울음소리를 들을 수 있다. 이는 도시 온도가 올라가고 인공조명으로 인해 매미가 인공 빛을 햇빛으로 착각해서 생기는 결과로 알려져 있다(이민지, 2019). 특히 산림지역과는 다르게 도시지역에서는 여러 종류의 매미 중 말매미(*Cryptotympana dubia*)를 쉽게 볼 수 있다. 말매미가 도시에 많은 이유는 크게 세 가지가 있다. 첫 번째, 도시의 열섬현상으로 도시가 산림지역보다 평균 기온이 높아 매미의 개체수를 늘리기에 좋은 환경이다. 두 번째, 도시에는 말매미의 천적이 없다. 세 번째, 우리가 도시에 주로 심는 가로수(벚나무, 버즘나무 등)는 말매미가 가장 선호하는 나무다. 이러한 세 가지 이유로 인해 말매미의 개체수가 점점 도시에서 늘어나고 있다. 또한, 말매미는 매미 종 중에서 가장 몸집이 크고, 가장 오랫동안 크게 우는 종이다. 기온이 높고 일사량이 많을수록 더욱 오랫동안 크게 울기 때문에(기경석 등, 2016), 여름철 야간의 말매미 울음소리는 사람들의 수면을 방해하는 대표적인 원인이다.

이를 배경으로 매미를 본 연구의 대상 생물종으로 선정하였다. 그리고 시민과학자들에게 조도계와 데시벨 측정기를 나눠주고 주변 환경의 매미를 직접 관찰하도록 했다. 이를 통해 사람들에게 잃어버린 별빛을 되찾고, 매미의 생체리듬을 회복시키고 빛 공해에 대한 경각심을 일깨워야 한다는 의미를 전하고자 하였다. 자연과 인간의 조화를 추구하는 인류 공동의 목표 아래 빛 공해를 주제로 연구를 진행하였다. 또한, 시민과학자를 통해 모아진 데이터를 바탕으로 공간적, 통계적 분석을 통해 유의미한 결과를 내하고자 하였다. 이 연구에서는 첫 번째로 우리나라 전국적인 빛 공해 조도(Lx)와 별 밀도 등급의 연관성을 분석하였다. 두 번째로 우리나라 전국적인 빛 공해 조도(Lx)와 야간의 매미 울음소리(dB)의 연관성을 분석하였다. 세 번째로 위성에서 나타나는 빛 공해 지도와 실제 측정 위치의 빛 공해 정도를 파악하고, 끝으로 시민교육의 일환으로 빛 공해에 대해 인식하며 별자리와 도시 생태계를 관찰하고자 하였다.

지금 당장에는 사용하고 있는 가로등이나 전광판 등을 끌 수는 없다. 하지만 인공조명이 주는 피해를 인식하는 것과 인식하지 못하는 것과는 유의미한 차이가 있다. 이 연구는 현재 인공조명과 관련한 빛 방사 허용 기준이 잘 지켜지고 있는지 확인하며, 더 나아가 개인과 기업, 국가가 빛 공해 저감을 위해 어떠한 노력을 할 수 있는지를 검토해볼 수 있는 교육적인 의의가 있다. 또한, 시민 인식 전환과 집단 지성을 통한 해결방안 모색도 매우 중요하다. 시민들이 빛 공해의

심각성을 인식하는 것만으로도 현 상황에서는 큰 진전으로 기대되어 빛 공해의 심각성을 알리고 시민들이 함께 참여하는 시민과학 연구를 진행하였다.

2. 본론

1) 재료 및 방법

빛 공해 정도를 알기 위해 도시 환경에서 밤에 우는 매미와 별자리를 관찰하였다. 다음은 본 연구에서 진행한 자료수집 방법과 시민과학자로부터 제공받은 데이터를 정리한 것이다.

(1) 매미 관찰

소요산 매미(*Leptosemia takanonis*)처럼 야간에도 우는 습성을 가진 매미는 제외하고 시민과학자가 도시에서 쉽게 관찰할 수 있는 참매미(*Oncotympana fuscata*)와 말매미를 대상으로 하였다. 오후 9시에 밤에 우는 매미를 찾아 관찰을 진행했다. 매미가 울지 않으면 별자리만 관찰하고 매미가 운다면 조도계와 데시벨 측정기를 활용한다. 매미가 우는 지점에서 1m 정도 떨어져 매미의 울음소리를 데시벨로 측정하고 기록한다. 또한, 매미가 우는 지점에서 주변에 가장 밝은 광원을 향해 조도를 측정하고 기록한다. 참매미와 말매미는 야간에 울 때 빛 공해뿐만 아니라 습도와 기온의 영향도 받으므로 위치, 조도, 데시벨 데이터와 함께 습도와 온도 데이터도 기록한다.

(2) 별자리 관찰

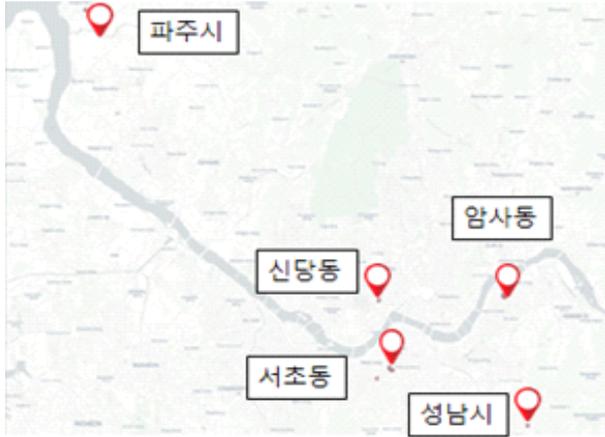
본 연구에서는 빛 공해가 심각할수록 별의 가시성이 떨어진다는 것을 전제로 하므로 별의 가시성 판단이 중요한 요소로 작용한다. 또한, 도시 지역별로 빛 공해 정도를 알기 위해 비교 가능할 정도로 정량적으로 수치화된 가시성 수치가 필요하다. 따라서 별 가시성의 수치화를 위해 자율적으로 별 밀도 등급을 제시하였다. 연구 기간인 여름의 별자리를 대상으로 하고 관찰이 용이하도록 찾기 쉬운 여름철 대 삼각형을 기준으로 별 밀도 등급을 책정하였다. 여름철 대 삼각형을 구성하는 별자리는 백조자리의 테네브, 거문고자리의 베가, 독수리자리의 알타이르만 관찰 가능하면 별 밀도 등급 1단계로 책정했다. 테네브, 베가, 알타이르를 포함해서 각 별자리의 2등성과 3등성만 관찰 가능하면 별 밀도 등급 2단계로 책정했다. 마지막으로 3등성 이하의 별들도 모두 관찰 가능하면 별 밀도 등급 3단계로 책정했다.

별자리의 관찰은 달빛의 영향을 적게 받는 오후 9시에 실시하고 해당 시간의 밤하늘의 별 밀도 등급을 기록한다. 이와 함께 관찰한 위치에 그대로 서서 조도계로 주변의 가장 밝은 광원의 조도를 기록한다. 관찰 후에는 데이터 검증을 위해 스마트폰의 별자리 촬영에 적합한 애플리케이션 Night Cap으로 관찰된 밤하늘을 촬영한다. 밤하늘을 촬영할 때는 카메라를 밤하늘에 비춘 뒤 ISO 값을 조절하면서 별이 가장 잘 보이는 값을 찾아서 촬영한다. 별자리 관찰은 시민과학자들이 흥미로운 방식으로 빛 공해를 판단할 수 있다는 점에서 의의가 있다.

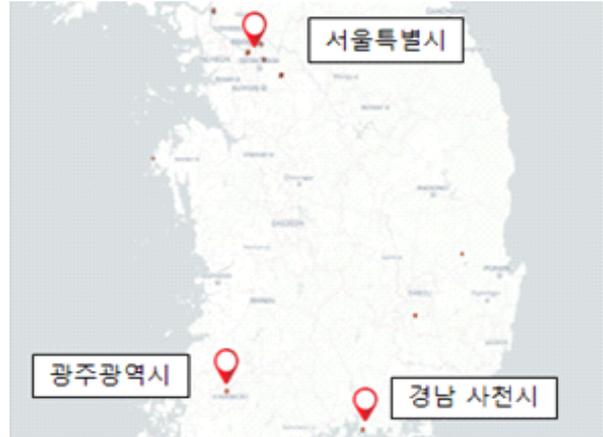
(3) 시민과학 데이터

시민과학자들이 3개월 동안 활동하여 총 99건의 별자리 관찰데이터와 27건의 매미 관찰데이터가

수집되었다. 별자리 관측데이터는 시민과학자들의 거주지인 서울 및 수도권 지역을 비롯해 광주광역시와 경남 사천시, 충남 태안군과 경북 청도군에서 자료가 수집되었다. 매미 관찰데이터는 서울을 비롯한 수도권 지역에서만 수집되었는데 서울의 경우 신당동과 서초동, 암사동에서 수집되었고, 경기도의 경우 파주시와 성남시에서 수집되었다. 시민과학자들의 모니터링 결과를 바탕으로 QGIS 프로그램을 활용해 위치 자료를 지도화하고 지역별 빛 공해 지도와 비교하여 빛 공해와 별자리 관측 정도의 관계를 분석하였다. 또한, 야간의 매미 울음소리 데시벨과 조도의 관계, 별 밀도 등급과 조도의 관계를 분석하였다.



[그림 1] 매미 관찰 지역

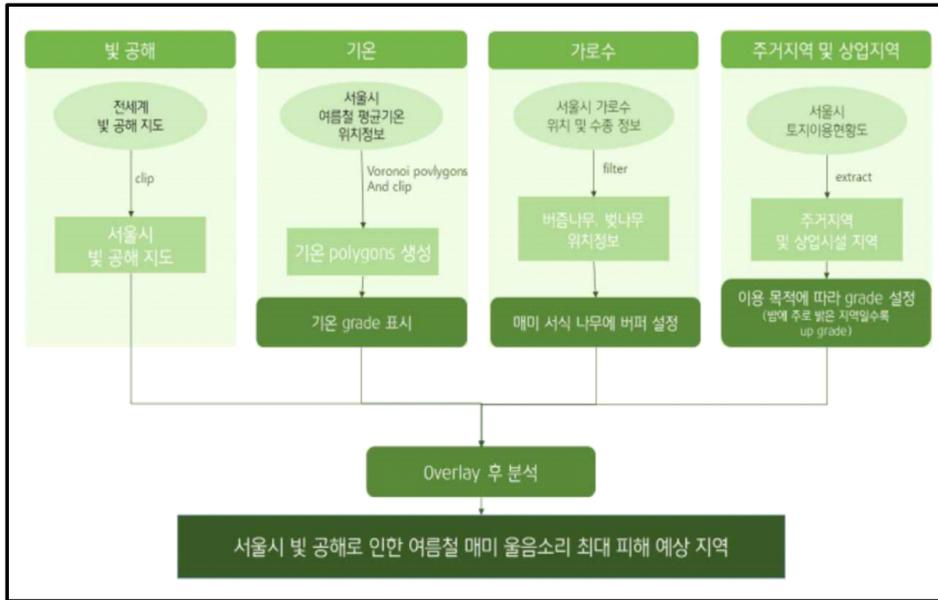


[그림 2] 별자리 관찰 지역

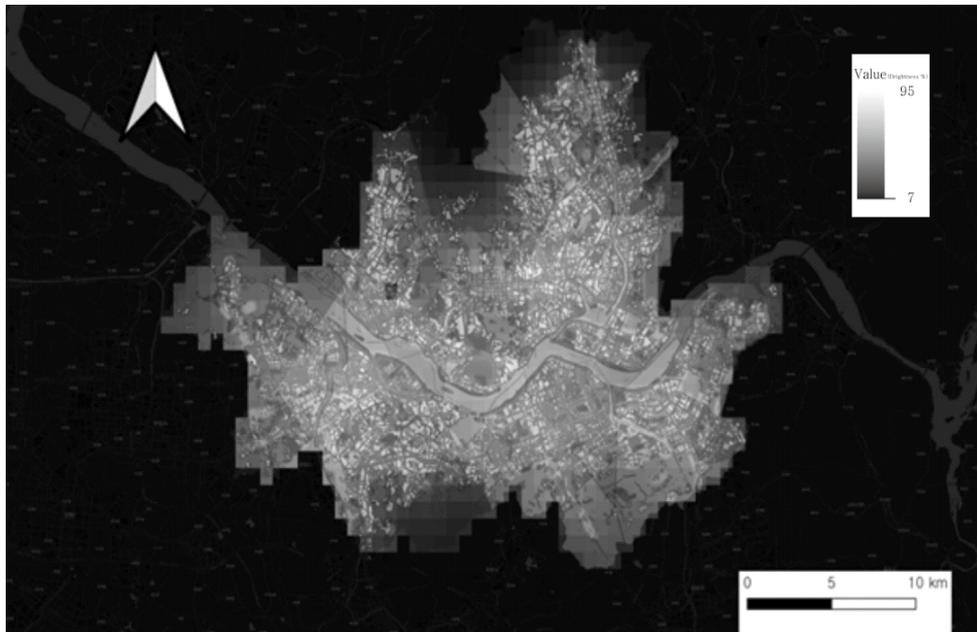
2) 매미 관찰데이터 분석결과

(1) 선행연구

연구 참고자료로 서울시를 대상으로 빛 공해로 인한 여름철 매미 울음소리 피해지역을 예측해보았다. 빛 공해 지도와 기온 데이터, 가로수 위치정보(은행나무, 벚나무 등), 토지이용 현황 데이터를 중첩하여 피해 예상지역을 예측하였다. [그림 4]에서 밝은 부분일수록 저녁에 매미가 많이 울 확률이 높은 지역이다. 그 결과, 주 예상 피해지역은 양천구와 구로구, 영등포구 사이의 지역과 송파구와 동대문구, 서초구로 나타났다.



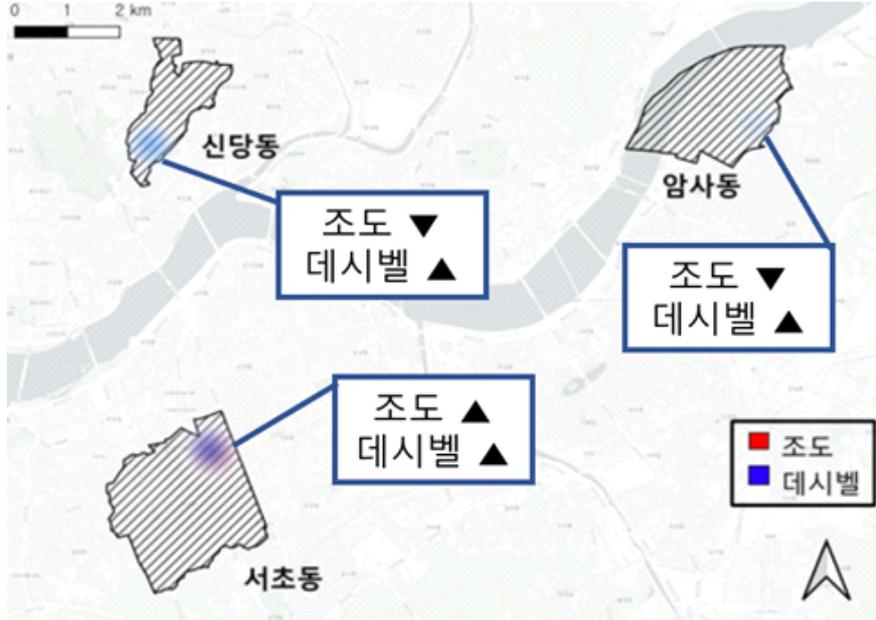
[그림 3] 빛 공해로 인한 여름철 매미 울음소리 피해 예상지역 분석 흐름도



[그림 4] 빛 공해로 인한 야간 매미 울음소리 피해 예상도

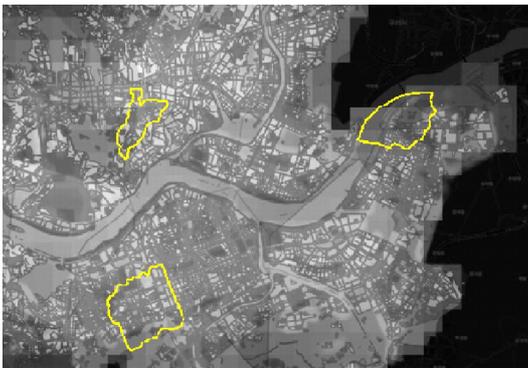
(2) 서울시 매미 관찰데이터 분석

[그림 5]는 위 선행연구와의 비교를 위해 서울시에서만 수집된 시민과학 데이터를 활용하여 지도화한 것이다. 조도와 데시벨 값을 중첩하고, 그 정도를 각각의 다른 지역의 데이터와 서로 비교할 수 있게 작성하였다. 보라색이 진할수록 인공조도의 영향이 커서 매미가 야간에 우는 지역일 확률이 높은 지역으로 볼 수 있다.

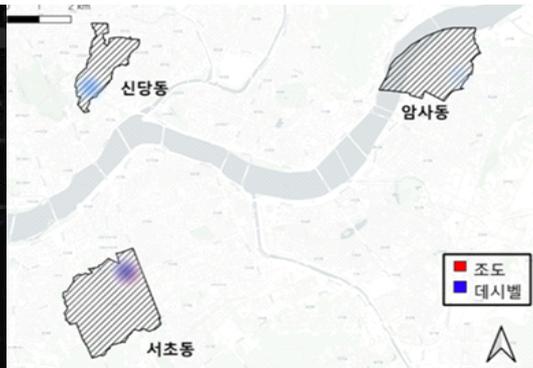


[그림 5] 서울시 매미 관찰데이터(가중치: 조도(빨강), 데시벨(파랑))

(3) 선행연구와의 비교분석



[그림 6] 서울 조사 지역 위성 사진

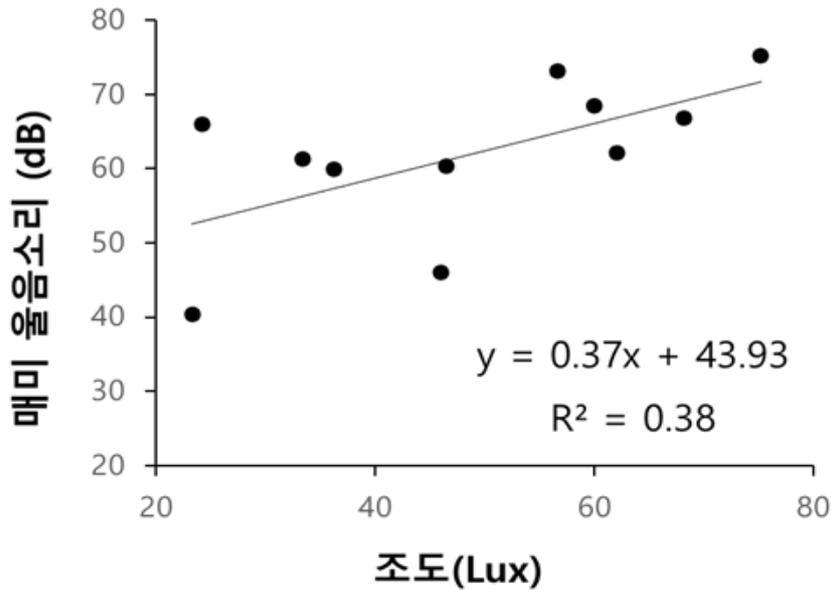


[그림 7] 서울 지역의 조도, 데시벨 관계

서울시 내에서 수집된 데이터 위치는 신당동과 암사동, 서초동이다. 해당 지역을 선행연구 자료와 비교 분석하였다. 아래 선행연구의 자료를 보면 세 지역 중 서초동과 신당동, 암사동 순으로 가장 밝은 것으로 나타나는 것을 알 수 있다. 이와 비슷하게 본 연구의 매미 관찰데이터 분석에서도 시각적으로 서초동과 신당동, 암사동 순으로 나타났다. 이처럼 관찰된 결과가 선행연구 결과와 다소 연관이 있는 것으로 보이며, 밤에 우는 매미는 선행연구에서 고려한 환경요소들에 영향을 받을 것으로 추측된다.

(4) 인공조도와 매미 울음소리 간 상관관계 분석

전국에서 수집한 매미 관찰데이터를 통계적으로 분석하였다. 데이터 수집 과정에서 20 Lux 이하의 데이터는 관찰과 기록 과정에 오류가 생기는 등 신뢰도가 낮을 수 있어 분석에서 제외하였다. 조도 값과 매미 울음소리 데시벨 값의 상관관계를 분석한 결과, 유의미한 양의 상관관계가 나타났다($p < 0.05$). 즉, 조도가 높을수록 야간의 매미 울음소리 크기가 커지는 경향을 보였다.



[그림 8] 조도(20 Lux 이상)와 매미 울음소리 간 상관관계

3) 별자리 관찰데이터 분석결과

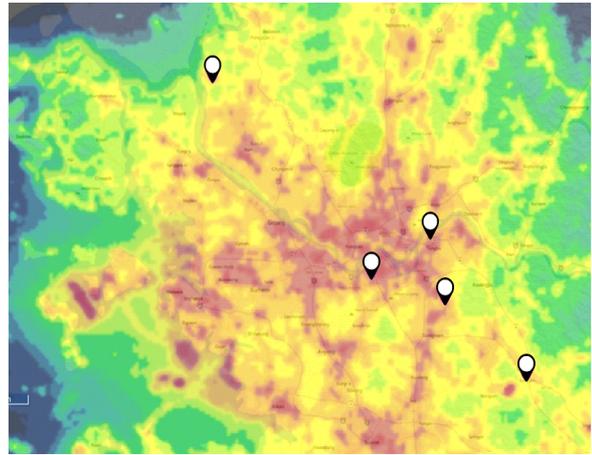
(1) 광해(light pollution) 지도와 비교분석

총 99건의 별자리 자료가 수집되었다. [그림 9]와 [그림 11]은 별 밀도 등급을 조도로 나눈 값들을 지도상에 열 지도(heat map) 형태로 나타낸 것이다. 두 지도에서 위치 표시된 지역이 밝을수록 빛 공해의 영향을 받지 않고 하늘이 잘 보임을 의미한다. [그림 9]에서는 성남시가 가장 밝다. 광해 지도와 비교해보았을 때, 북부지역은 광해 지도와 다른 양상을 보인다. 파주시와 광주시는 빛 공해의 정도가 낮음에도 불구하고 [그림 9]의 성남시보다 흐리게 보인다. [그림 11]에서는 경남 사천시가 가장 밝게 나타났다. 광해 지도와 비교해보았을 때, 영천시를 제외하고, 비슷한 양상을 보인다. 별자리 데이터 분석결과와 빛 공해 지도가 다른 양상을 보이는 원인은 별의 가시성에 영향을 끼치는 조도 외의 다른 요소들(미세먼지, 습도 등)에 의한 영향으로 추측된다. 또한, 빛 공해 지도가 한순간을 기록한 것이기 때문에 빛 공해 데이터값이 시기에 따라 변할 수도 있다.

전체적으로 수도권 지역이 남부지역보다 빛 공해 정도가 심한 것을 알 수 있다. [그림 10]과 [그림 12]를 살펴보면 도시지역의 빛 공해가 더욱 심각한 것을 확인할 수 있다.



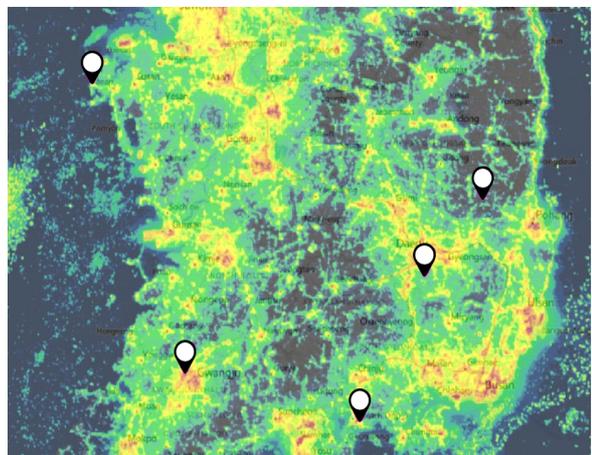
[그림 9] 별 밀도/조도 지도 (북부)



[그림 10] 빛 공해 지도 (북부)



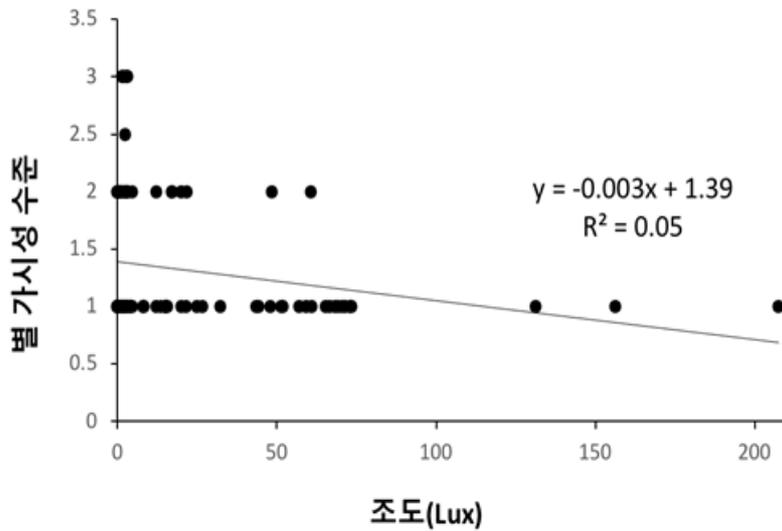
[그림 11] 별 밀도/조도 지도 (남부)



[그림 12] 빛 공해 지도 (남부)

(2) 인공조도와 별자리 관찰결과 간 상관관계

주변 지역 조도 값과 별의 가시성 수준(즉, 별 밀도 등급)의 상관관계를 분석한 결과, 유의하지 않았지만($p > 0.05$), 음의 상관관계를 확인하였다. 즉, 조도 값이 클수록 별의 가시성 수준이 떨어지는 양상을 보인다. 유의하지 않은 결과를 나타내는 원인은 데이터 개수와 관찰자 간 측정 편차, 별의 가시성에 영향을 주는 조도 외의 다른 요소에 의한 영향으로 추측된다.



[그림 13] 조도와 별 가시성 수준 간 상관관계

3. 결론

전국에서 도시화율이 가장 높은 곳은 단언컨대 서울이다. 이 연구에서는 말매미와 참매미가 다른 도시에 비해 서울에서 빛 공해의 영향을 크게 받을 것으로 예상하고 서울을 중심으로 빛 공해로 인한 매미 울음소리 피해 예상지역을 조사하였다. 서울 암사동과 신당동, 서초동 순으로 빛 공해 영향이 덜할 것이라는 분석결과를 얻을 수 있었다. 코로나-19 상황과 8월 장마, 9월 태풍 등 악천후 속에서 시민과학 연구를 진행하기에는 어려움이 있었다. 그런 점을 감안하면 양적 자료는 적지만 질적으로는 유의미한 연구결과라고 판단된다. 주요 연구결과로 조도와 별 밀도 등급 간의 상관관계는 유의미하지 않았지만, 조도와 매미 울음소리 데시벨의 관계에서는 유의미한 양의 상관관계를 도출할 수 있었다.

1) 연구의 의의

빛 공해를 쉽게 확인할 수 있는 지표를 밤하늘의 별자리와 도시 속 생태계에서 찾아보고자 했다. 시민과학을 통한 연구를 통해 밤하늘 별자리와 함께 매미의 울음소리로 빛 공해의 심각성을 인식하는데 중요한 결과를 도출하고자 했다.

앞서 강조한 내용과 같이 빛 공해는 여러 공해 중 우리가 잘 인식하지 못하는 공해 중 하나이다. 본 연구는 시민들에게 빛 공해의 심각성을 인식하게 하는 동시에 빛 공해에 대한 적극적인 홍보를 위한 연구 자료로 활용될 수 있다. 빛 공해의 심각성을 모두가 알게 된다면 도시의 안전성을 해치지 않는 선에서 인공적인 빛의 사용과 방사량을 줄이고 에너지를 절약하도록 장려할 수 있다. 이에 따라 빛 공해로 인한 도시 내 생물 다양성 감소와 생태계 교란을 막는 데에 기여할 수 있다. 또한, 빛 공해는 생태계뿐만이 아니라 인간에게도 뇌 활동 저하 등의 부정적인 영향을 끼치는데, 이러한 문제도 빛 공해 저감을 통해 완화할 수 있다. 더 나아가 빛 공해 저감에 성공한다면, 도시에서도 별이 빛나는 하늘을 보는 것 또한 기대해 볼 수 있다. 그리고 국가 차원에서 빛 공해 대응책을 마련하게 하여 에너지 절약에 따른 온실가스 저감 등 기후변화에도 대응할 수 있다.

시민과학자와의 연구는 특별한 의미가 있다. 그것은 바로 직접 찾아가기 어려운 지역의 조사와

미처 알지 못했던 지역의 한계성을 시민과학자들의 참여로 해소할 수 있다는 점이다. 따라서 시민이 있는 다양한 지역의 빛 공해 정도를 효율적으로 현장 모니터링하고 연구할 수 있다. 또한, 시민과학을 통해 많은 사람들이 빛 공해로 인한 영향을 인식하고 이를 확인하는 연구에 함께 참여할 수 있다. 그리고 ‘지구 사랑 탐사대’라는 유치원·초등학생 자녀를 둔 가정단위의 시민과학자들과 함께 연구를 진행하는 것은 참여형 현장교육의 형태로 교육적인 측면에서의 긍정적 효과도 기대된다.

2) 연구의 한계 및 향후 방향

길어진 장마로 인해 연구를 진행하는 동안 관찰 활동이 쉽지 않았다. 매미가 울지만 곳은 날씨로 인해 하늘에 있는 별자리 관측이 어려운 날이 대다수였다. 총 99건의 별자리 관찰데이터와 27건의 매미 데이터를 얻을 수 있었지만, 충분한 데이터 수집에 어려움이 있었다. 데이터 수가 많지는 않았기에 각 요인 간의 통계 분석에도 한계가 있었던 것으로 판단된다.

향후, 매미 울음소리의 데시벨을 측정할 때 외부요인의 영향을 적게 받는 방법에 대한 고민도 필요하다. 시민과 함께 유의미한 결과를 이끌어 가는 프로토콜과 방법 구상도 중요하다. 이러한 과정 속에서 시민과학자들과 함께 표준화된 데이터 수집이 가능하며, 사회·환경문제 해결을 위한 집단 지성이 효과적으로 발휘될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 연구를 도와주신 지구 사랑 탐사대의 건담 패밀리, 달, 별, 반짝 반딧불이, 밤톨 탐험대, 자연사랑 패밀리, 지구 사랑 패밀리, 하하 사랑, 해달별팀과 동아사이언스 관계자님, 재단법인 숲과나눔의 풀씨 시민과학 프로젝트 담당자님, 국민대학교 산림환경시스템학과 강완모 교수님, 여러 조교님들께 감사의 말씀을 올린다.

참고문헌

- 구진희 외 7인, 2012, 「도심지역에 서식하는 매미 울음소리의 음질 특성」, 「한국소음진동공학회」, 22(9): 825-829
- 기경석, 김윤재, 2018, 「도시와 산림지역 매미과 번식울음 차이 연구」, 「한국환경생태학회지」, 32(6): 698-708
- 기경석 외 3인, 2016, 「도심지 열대야 및 빛공해에 의한 매미 울음 영향」, 「한국환경생태학회지」, 30(4): 724-729
- 기경석 외 5인, 2018, 「매미과 울음 시작 및 종료에 영향을 미치는 환경요인」, 「한국환경생태학 회지」, 32(3): 342-350
- 김윤재 외 2인, 2018, 「한국 중부지역 도시와 산림에 서식하는 매미과 번식울음 특성 차이 연구」, 「한국환경생태학회 학술논문연구집」
- 도정근 외 3인, 2014, 「광공해가 마우스의 행동양상과 면역에 미치는 영향」, 「한국과학영재교육학회」, 6(2): 70-80
- 박계은, 천상현, 2018, 「서울시 거주자 중심의 체감 빛 공해 평가 및 인식조사」, 「한국공간디자인학회」, 13(6): 335-346
- 생활환경정보센터, “빛 공해의 영향”, https://iaqinfo.nier.go.kr/leinfo/light_influence.do.
- 성찬용, 김영재, 2020, 「덕유산국립공원 빛공해 현황 및 빛공해가 공원 생태계에 미치는 잠재적 영향」, 「한국환경생태학회」, 34(1): 63-71
- 이민지, 2019, 「매미소리에 영향을 미치는 야간조명과 기상요인에 관한 연구」, 「계명대학교대학원 환경과학과 석사학위논문」
- 이상범, 2010, 「야간조명으로 인한 생태계 영향 평가방안에 관한 연구: 해외 사례를 중심으로」, 「한국환경정책평가연구원 기초연구보고서」, 1-81
- 이은일, 「빛공해 인체 및 생태 위해성 평가기술과 위해성 평가시스템 개발」, 「고려대학교」
- 전라남도 「인공조명에 의한 빛공해 환경영향평가 최종보고서」, 「한국광기술원」
- 조세현 외 5인, 2016, 「매미는 물리적 환경에 어떻게 반응하는가에 대한 실험과 교육적 고찰」, 「한국환경교육학회 학술대회 자료집」
- 조재상 외 4인, 2016, 「광공해의 현실과 실용적 해결방안」, 대학환경상 공모 수상집」, 131-153
- 지평식 외 3인, 2018, 「인공조명에 의한 빛 공해 현황 및 분석에 대한 연구」, 「대한전기학과 산업전기위원회 정기총회 및 추계학술대회」
- F. Falchi et al., 2016, “Supplement to: The New World Atlas of Artificial Night”, <https://advances.sciencemag.org/content/2/6/e1600377>
- J. Hazell, A. J. Wilkins, 1990, “A contribution of fluorescent lighting to agoraphobia”, *Psychological Medicine* 20: 591-596
- U.S Fish&Wildlife Service(USFWS), <https://www.fws.gov/birds/about-us/timeline.php>