韓國環境復元技術學會誌 24(1) : 69～80(2021)
J. Korean Env. Res. Tech. 24(1) : 69～80(2021)
DOI : https://doi.org/10.13087/kosert.2021.24.1.69
ISSN 1229-3032

# 카메라트래핑을 활용한 광교신도시 내 도시형 생태통로 모니터링*

박일수[1] · 김휘문[1] · 김성열[1] · 박 찬[2] · 송원경[3]

[1] 단국대학교 환경원예 · 조경학과 대학원 학생 ·
[2] 서울시립대학교 조경학과 교수 · [3] 단국대학교 환경원예·조경학부 교수

# Monitoring Urban Ecological corridors in Gwanggyo New Town Using Camera Trapping*

**Park Il-Su[1] · Kim, Whee-Moon[1] · Kim, Seoung-Yeal[1] · Park, Chan[2] and Song, Won-Kyong[3]**

[1] Dept. of Environmental Horticulture and Landscape Architecture, Dankook University, Student,
[2] Dept. of Landscape Architecture, University of Seoul, Professor,
[3] School of Environmental Horticulture and Landscape Architecture, Dankook University, Professor.

## ABSTRACT

The new town in Korea, developed as a large-scale housing plan, has created urban ecological corridors to provide habitat and movement routes to wildlife and to promote natural ecological flow. This study aimed to investigate the use of wildlife in 10 ecological corridors in Gwanggyo New Town through camera trap technology and confirm effectiveness by identifying environmental factors affecting the use of wildlife's urban ecological corridors. Our researchers installed 20 unmanned sensor cameras at each the entrance and exit of the ecological corridors, and monitored urban wildlife for 10 weeks. According to the monioring results, the main species in Gwanggyo New Town were identified not only raccons, cats, water deer, korean hare and avain but also magpies, dove, eurasian tree sparrow, ring-necked pheasant, and eurasian jay. The number of uses ecological corridors of urban residents was 801(13.49%), as high as that of urban wildlife (1,140, 19.20%), which was judged to have

* 본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 도시생태 건강성 증진 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다.(2019002760001)

**First author** : Park, Il-Su, Dept. of Environmental Horticulture and Landscape Architecture, Dankook University. Student, 119, Dandae-ro, Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungnam 330-714, Korea,
Tel : +82-41-550-6273, E-mail : koreai159i@naver.com

**Corresponding author** : Song, Won-Kyong, School of Environmental Horticulture and Landscape Architecture, Dankook University. Professor, 119, Dandae-ro, Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungnam 330-714, Korea,
Tel : +82-41-550-3636, E-mail : wksong@dankook.ac.kr

**Received** : 18 January, 2021. **Revised** : 15 February, 2021. **Accepted** : 8 February, 2021.

disturbed the use of ecological corridors by wildlife. However, most dominant species of urban wildlife are nocturnal so that, it was judged that they share home range with urban residents at a time interval. In addition, according to the correlation analysis results between the mammal using rate of the urban ecological corridors and environmental factors(ecological corridor-specific length, ecological corridor-specific width, cover degree, shielding degree, connected green area, separation of movement routes, and presence of streetlights), environmental factors were not statistically significant. However, the more the area of green space connected to ecological corridors, the more increasing the mammal using rate of ecological corridor($r=0.71$, $p<0.05$). Therefore, the area of green space connected to the ecological corridors that is associated with rate of wildlife using corridors should be considered as a priority when developing an urban ecological corridors. In the future, this study will extend the observation period of the ecological corridors and continuously accumulate data by adding the number of observation cameras. Furthermore, it is expected that the results of this study can be used as basic data for the standards for urban ecological corridors installation.

**Key Words :** *Urban ecosystem, Urban species home range, Landscape ecology, Ecological network, Suwon city*

## I. 서 론

우리나라는 수도권의 과밀화된 산업 인프라 및 인구의 불균형 해소, 그리고 주거 시장 안정 등을 위해 과거부터 신도시 건설 계획을 적극 수립·활용하였다(Kim *et al.*, 2007). 그러나 대규모 택지 개발에 따른 건축 용지 증가 및 시가지를 잇는 도로망 확충은 필연적으로 자연경관에 대한 훼손과 생물종 서식처 네트워크 단절 및 로드킬, 생물다양성 손실 등을 가져오는 등 기존 자연생태계 내 야생동물에게 직간접적 교란을 야기했다(Underhill and Angold, 2000; Erritzøe *et al.*, 2003; Červinka *et al.*, 2015).

도시 개발 등 인간 활동으로 인한 부정적 영향을 제어하고 자연적인 생태계 흐름을 촉진하기 위해 도시 생태통로(Urban ecological corridors)의 개념이 도시생태계에 도입되었다(Smith *et al.*, 2015). 생태통로는 본래 야생동물 보호 목적을 달성하기 위해 고립된 서식지를 연결하는 단일적 기능으로 제안되었으나(Jongman *et al.*, 2004; Corlatti *et al.*, 2009), 도시 생태통로는 도시지역의 인위적 생태 환경에서 자연 서식지 및 오픈스페이스 또는 거주민과의 격리 등의 다기능 방향을 갖는 선형 또는 리본형의 이질적인 생태 경관 의미로 발전되었다(Noss and Harris, 1986; Peng *et al.*, 2017).

국내에서는 생태통로를 종의 이동 및 생태통로 설치 지역 특성을 고려하여 지하 통로형(파이프형, 박스형, 아치형)과 교량형(도로상부형, 도로하부형), 경사로형(계단형) 등으로 분류하며(ME, 2010), 도시 생태통로는 이용 형태에 따라서 산책로연결형, 이동로형, 산책로-생물이동로 혼합형으로도 구분하고 있다(Song, 2006; Huh, 2014). 이처럼 우리나라는 도시 및 도로 개발로 인한 야생동물 서식처 단절과 생물종 개체 수 보전을 위해 1994년 분당 불곡산에 설치한 육교형 생태통로를 시작으로(Korea Land Corporation, 1997) 환경부에서 1998년, 과거 반달가슴곰 출현 지역인 전남 구례군 861번 지방국도 지리산 시암재 지역에 길이 15m, 폭 6m, 높이 5m의 육교형 생태통로 조성 이후 현재까지 진행되고 있다(ME, 2010). 이후 개발 압력에

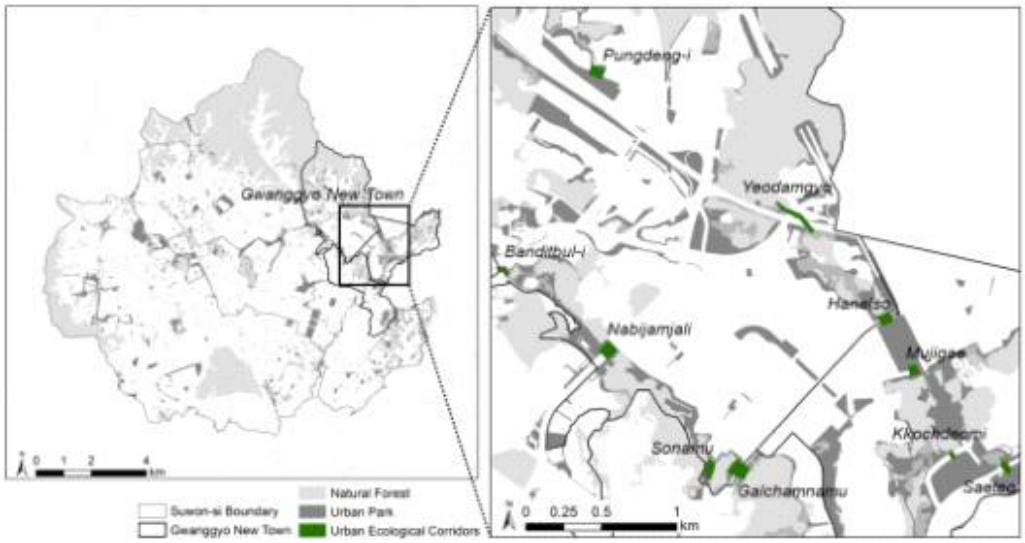


**Figure 1.** Urban Ecological Corridors in Gwanggyo New Town

대한 생물종 및 서식처 보호에 대한 인식이 범국민적으로 확대되어, 「자연환경보전법」, 「야생동식물보호법」, 「도로법」 등 관련 법규에 따라 산림 개발 시 생태통로 설치를 의무화하고 설치 기준을 규정함에 따라, 2020년 09월 25일 기준 전국에 529개소의 생태통로가 조성되었다(NIE, 2020).

뿐만 아니라, 「자연환경보전법」에 의거하여 생태통로를 조성 후 3년간 계절별 1회 이상, 흔적 및 카메라 트랩 조사 등을 적용한 생물종을 모니터링 하도록 권고하여 국립공원 등 국내 주요 생태축에 위치한 생태통로에서는 생태적 효과를 주기적으로 검증하고 있다. 실제로 국립공원 내 설치된 생태통로의 개수 및 야생동물 이용률은 최근 2014년 9곳 2,056회에서 2019년 14곳 7,921회, 생태통로를 이용하는 종도 28종에서 37종까지 증가되었다(KNPS, 2016). 국립공원 인근 도로 로드킬 역시 2006년 1,441건에서 2014년 290건까지 크게 감소하여 생태통로의 필요성과 효과가 입증된 바 있다(KNPS, 2013).

그러나 생물종 이용에 관한 모니터링이 보고된 국내 주요 생태통로는 국립공원 등 관리 주체 및 서식지 보호 필요성이 명확한 대상지에 국한되어 있으며, 2014년 기준 전국 생태통로 중 175개소(42%)는 생태통로 모니터링 시설이 전무하거나, 140개소(34%)는 모니터링 시설 여부에 대한 기록조차 없는 것이 현실이다(Woo *et al.*, 2015). 또한, 국내 529개소 생태통로 가운데 307개소는 왕복 3-16차선 도로를 잇는 산책로형 혹은 산책로-생물이동로 복합형 도시 생태통로로서 대규모 신도시 건설로 인해 조성된 도시 생태통로의 실효성에 대한 의문이 여전히 남아 있다(NIE, 2020). 이처럼 최근 신도시 개발과 함께 조성되는 생태통로는 경제, 생태적 여건의 복합적인 상호 관계가 고려되어 도시와 생태계가 공존하는 최적의 효율성을 갖도록 개발되어야 한다. 그러나 아직 도시 생태통로를 조성할 때 수반되는 비용 대비, 실제 이를 이용하는 야생동물의 이용행태에 대한 정보 수집이 미흡하여 도시 생태통로의 생태적 가치 평가나 기존 생태통로와 차별화된 설치 기준 등이 제시되지 못한 것이 현실이다(Adam *et al.*, 2009; Cho, 2016).

따라서 본 연구는 신도시 건설로 조성된 도시 생태통로에서 카메라 트래핑을 통해 생물종 이용 현황을 파악하고, 도시 생태통로 이용에 영

**Table 1.** Main environmental variables of the urban ecological corridors in Gwanggyo new town

| No | Urban Ecological Corridors | Physical Elements | | | | | | Environmental Elements | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Length(m) | Width(m) | Vegetation Cover rate(%) | Shielding rate with road | Sidewalk | Street light installation | Connection type | Connection green area(㎡) |
| 1 | Pungdeng-i | 58 | 95 | 50 | 8 | Not division | install | Green - Green | 1078.01 |
| 2 | Bandisbul-i | 69 | 31 | 34 | 1 | Not division | install | Disconnection - Green | 361.77 |
| 3 | Nabijamjali | 71 | 100 | 69 | 7 | Not division | Not installed | Green - Green | 3742.37 |
| 4 | Sonamu | 47 | 120 | 76 | 4 | Not division | Not installed | Green - Green | 2705.07 |
| 5 | Galchamnamu | 74 | 102 | 69 | 2 | Not division | Not installed | Green - Green | 3938.21 |
| 6 | Haneulso | 66 | 87 | 46 | 6 | Not division | install | Green - Green | 2862.61 |
| 7 | Mujigae | 62 | 63 | 44 | 6 | Not division | install | Green - Green | 3204.16 |
| 8 | Yeodamgyo | 237 | 32 | 75 | 9 | division | Not installed | Green - Green | 5375.62 |
| 9 | Saeteo | 52 | 50 | 57 | 7 | division | Not installed | Green - Green | 5714.12 |
| 10 | Kkochdeomi | 32 | 40 | 55 | 8 | division | Not installed | Disconnection - Green | 2571.48 |

향을 미치는 환경적 요인을 함께 확인하고자 한다. 나아가 본 연구를 토대로 도시 생태통로 설치 기준 및 활성화를 위한 기초 자료로 활용되고자 연구를 수행하였다.

## Ⅱ. 연구방법

### 1. 연구대상지

도시 생태통로의 생물종 이용 현황 및 특성을 확인하기 위해 경기도 수원시 영통구 이의동, 원천동, 하동 및 용인시 수지구 상현동 일대를 포함하는 광교신도시 내 도시 생태통로 10개소(풍뎅이, 반딧불이, 나비잠자리, 소나무, 갈참나무, 하늘소, 무지개, 여담교, 새터, 꽃더미)를 연구 대상지로 선정하였다(Fig 1; Table 1). 광교신도시 내 생태통로 10개소는 2007년 신도시 준공 당시 함께 계획돼, 1,803억원의 사업비를 활용하여 2012년 조성된 국내 대표적인 대규모 밀집 도시 생태통로이다. 광교신도시 생태통로는 야생동물 이동 이외에 거주민 이용을 함께 고려하여 설계된 상호 복합적인 인공 구조물이다. 또한 해당 생태통로의 야생동물을 위한 생태적인 역할에 대해 언론 및 환경단체, 주민 등에 의해 조성 이후 7년간 약 50건 이상 지속적으로 실효성에 대한 의문이 제기되고 있어, 연구적 가치 및 시기적 적절성이 충분하다고 판단하여 광교신도시 내 생태통로를 대상지로 선정하였다.

### 2. 도시 생태통로 야생동물 이용실태

야생동물의 출현 또는 서식처 확인을 위해 보편적으로 족흔 또는 배설물, 굴 등의 생물종에 대한 흔적을 조사하거나, 무인 센서 카메라를 활용하여 미확인 생물종에 대한 움직임을 탐지하는 카메라 트래핑 기술이 활용되고 있다. 우

리는 도시 생태통로를 이용하는 생물종 모니터링을 위해 광교신도시 내 조성된 생태통로에서 입구-출구별로 각 한 대씩 생태통로별 2대, 총 20대의 무인 센서 카메라(TRAIL CAMERA HC 801A, China)를 설치하고, 2019년 09월 23일부터 2019년 12월 02일까지 약 10주간 모니터링을 수행하였다. 무인 센서 카메라는 도시 생태통로를 이용하는 야생동물의 모든 개체를 최대한 확인하기 위해 생태통로의 입구와 출구가 가장 잘 식별되도록 시야각이 확보되는 수목에 설치하였으며(Chung *et al.*, 2014), 국립공원 생태통로를 모니터링하는 기준과 동일하게 설치하였다. 카메라가 설치된 수목은 수목 자체가 흔들려 카메라 센서의 오작동을 방지하기 위해 흉고직경 20cm 이상 교목에 설치하였으며(Chung *et al.*, 2014), 센서 시야각 내 영상 취득에 영향을 끼칠 것으로 판단되는 수목 가지들은 생태계 훼손을 최소화하는 범위 내에서 정리하여 모니터링을 수행했다(Rovero *et al.*, 2010).

설치된 무인 센서 카메라는 야생동물의 움직임이 포착되는 순간 10초 영상을 촬영하도록 설정하였으며 야생동물 동일 개체에 대한 중복 촬영 방지를 위해 데이터가 1회 취득된 이후, 5분 동안 미확인 물체의 움직임이 감지되더라도 촬영되지 않도록 설정하였다(Choi and Choi, 2007; Treves *et al.*, 2010). 카메라 트랩 데이터는 2주 간격으로 메모리카드와 배터리를 교체하면서 수집하였으며, 취득된 영상은 실험실에서 직접 연구자가 육안으로 감독분류하여 종 동정을 수행했다.

### 3. 도시 생태통로 이용에 영향을 미치는 요인

야생동물, 특히 포유류의 도시 생태통로 이용에 영향을 미치는 요인을 확인하기 위해 생태통로의 물리적 요소 및 주변 환경 요소와의 관계를 확인하였다. 생태통로 내 물리적 요소의 경우, 생태통로 조성 시 적용된 설계도면과 현장조사를 통해 생태통로 길이 및 폭, 식피율, 포유류 이동로와 보행자 구분 여부, 가로등 설치 여부, 도로와의 차폐율 등을 파악하였다. 차폐율은 전문가 현장조사를 통해 생태통로 내 식재 및 시설물을 통한 분리 정도를 토대로 10점 척도로 평가하였다.

또한 생태통로 주변 환경 요소에 따른 포유류 이용 특성을 파악하기 위해 경관생태학 관점에서 각 생태통로가 주변 패치와의 연결 특성과 생태통로와 연결된 녹지 면적을 확인하였다. 코리더의 연결 유형은 녹지지역-단절지역, 녹지지역-녹지지역 2가지 유형으로 구분하였다. 광교신도시 내 도시 생태통로 및 연결 녹지 면적은 2018년 기준 항공정사영상을 활용하였으며, ArcMap 10.5(ESRI, USA)를 통해 추출하였다. 생태통로 물리적, 환경적 요인과 포유류 이용 특성 간의 관계를 확인하고자 피어슨 상관분석 및 t 검정을 함께 수행하였으며 통계 분석을 위해 R 3.5.2와 R Studio 3.5.1을 활용하였다.

## Ⅲ. 결과 및 고찰

### 1. 광교신도시 생태통로 야생동물 이용 특성

카메라 트래핑 기술을 활용하여 광교신도시 내 도시 생태통로 내 설치된 10개소를 모니터링한 결과, 10주간 총 5,935개의 영상을 취득하였다. 센서 오작동을 제외한 1,140개(19.20%)의 영상만이 도시 생물종의 움직임을 포착하였다. 도시 생태통로를 이용하는 종으로는 너구리 개체 수가 498회로 최다였으며, 그 이외에 고양이 130회, 고라니 93회, 멧토끼 33회, 개 16회, 청설모 8회, 다람쥐 2회 순으로 포유류 총 7종이 확인되었다(Table 2). 조류도 까치 276회, 물까치 87회, 집비둘기 63회, 참새 40회, 멧비둘기 38회, 꿩 28회, 어치 21회, 박새 19회, 노랑턱멧새 5회, 직박구리 3회, 청딱따구리 1회 순으로 11종이 확인되었다. 도시 내부에 이미 적응한 까치나 비둘기를 제외한 조류 종은 포유류만큼이나 경관생태학 관점에서 패치와 패치를 잇는

**Table 2.** Current Status of Urban Species Using Urban Ecological Corridors

| Species | | Urban ecological corridor | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Pung deng-i | Bandis bul-i | Nabi jamjali | Sonamu | Galcha mnamu | Haneulso | Mujiga e | Yeodam gyo | Saeteo | Kkoch deomi |
| mammal | *Hydropotes inermis* | 5 | | 1 | 4 | 4 | 9 | 3 | 18 | 42 | 7 |
| | *Nyctereutes procyonoides* | 9 | 27 | 6 | 78 | 47 | 62 | 35 | 88 | 135 | 11 |
| | *Canis familialis* | 1 | 3 | | 2 | | | 1 | | 9 | |
| | *Felis catus* | 4 | 1 | | 13 | 9 | | 6 | 77 | 13 | 7 |
| | *Lepus coreanus* | 30 | | | | | 3 | | | | |
| | *Sciurus vulgaris* | | | | 8 | | | | | | |
| | *Tamias sibiricus* | | | | 1 | | | | | | 1 |
| | sub Total | 49 | 31 | 7 | 106 | 61 | 76 | 46 | 184 | 201 | 26 |
| avian | *Pica pica* | 29 | 2 | | 12 | 12 | 12 | 34 | 46 | 129 | |
| | *Cyanopica cyana* | | | | | 8 | | | 3 | 76 | |
| | *Garrulus glandarius* | | | | 4 | 3 | | | | 10 | 4 |
| | *Phasianus colchicus* | 1 | | | 2 | 19 | | 3 | 1 | 1 | 1 |
| | *Columba livia domestica* | 1 | 1 | | | 4 | 37 | | | 20 | |
| | *Streptopelia orientalis* | | | | 3 | 12 | | 4 | 12 | 6 | 1 |
| | *Microscelis amaurotis* | | | | | 1 | | | | 2 | |
| | *Picus canus* | | | | | | | | 1 | | |
| | *Parus major* | | | | | | 3 | 2 | 3 | 11 | |
| | *Emberiza elegans* | | | | | | | | 1 | 3 | 1 |
| | *Passer montanus* | | | | | | | 40 | | | |
| | sub Total | 35 | 3 | 0 | 24 | 63 | 55 | 87 | 70 | 270 | 12 |
| Unidentified | | 3 | | | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 14 | 5 |
| **Total** | | 83 | 34 | 7 | 130 | 124 | 131 | 133 | 255 | 471 | 38 |
| *Homo Sapiens* | | 18 | 110 | 46 | 90 | 261 | 47 | 34 | 11 | 127 | 57 |

자연적 환경의 통로가 중요하다고 알려져 있어 (Thornton *et al.*, 2011), 해당 도시 생태통로가 조류에게도 이동 통로 이외에 먹이 사냥, 휴식, 목욕 등의 방법으로 다양하게 야생동물들이 공유하며 활용함을 확인하였다.

대부분의 도시 생태통로에서 30개체 이상 야생동물 출현이 확인되었으나, '나비잠자리'에서는 다른 도시 생태통로들에 비해 가장 적은 포유류 7개체(고라니 1개체, 너구리 6개체)만이 10주간 확인되었다. '나비잠자리'는 도시민 이용이 동일 기간 46명으로 전체 평균 82.8명 대비 높진 않았으며, 연결 녹지 면적, 폭 역시 평균치 이상으로, 야생동물 출현에 교란을 미치는 영향이 크진 않다고 판단하였으나, 해당 생태통로가 연암공원(북서)-혜령공원(남동)의 인위적으로 조성된 공원과 공원을 연결하고 시민들이 직접적으로 이용하는 체육시설이 함께 조성되어 이러한 영향을 미친 것으로 판단된다. 따라서 향후 연구에서는 야생동물의 도시 생태통로 이용에 영향을 미치는 물리적인 환경 요인 이외에 생태통로 주

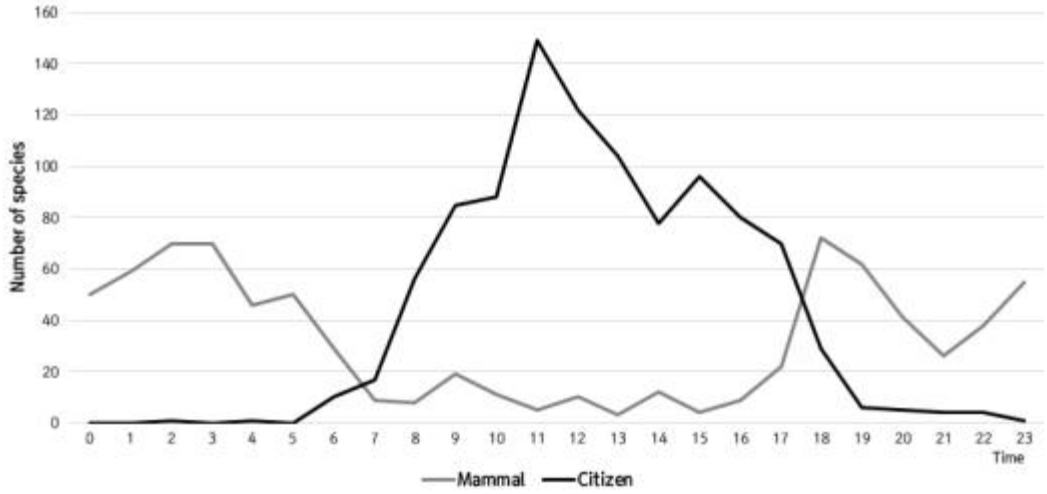


**Figure 2.** Identified mammals and urban residents as a result of camera trapping in Gwanggyo new town urban ecological corridor

변 환경에 대한 사회·경제적 요인도 함께 고려하여 평가하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

반대로 전체 취득된 영상 중 801개(13.49%)는 사람의 움직임이 확인되어, 도시 생태통로를 이용하는 생물종 만큼 거주민의 이용 또한 상대적으로 큰 차이가 없음을 확인하였다. 따라서, 거주민의 생태통로 이용이 야생동물 생태통로 이용에 영향을 미치는지 확인하기 위해 10개 생태통로 중 거주민이 가장 많이 확인된 갈참나무다리와 거주민이 가장 적게 확인된 여담교에 대해 시간대별 거주민, 포유류의 출현 특성을 확인하였다. 갈참나무다리는 거주민의 평균 주간(09-17시) 이용이 약 26.10회로 가장 높았으며, 동일 시기 포유류는 평균 0.55회(야간 평균 3.73회)로 확인되어 포유류의 주간 시기에 생태통로 이용이 없는 것으로 확인되었다. 여담교는 주간 거주민 평균 이용이 약 1.44회로 거의 없었으나, 동일 시기 포유류는 주간 시기에도 약 4.22회(야간 평균 9.73회)로 확인되어 거주민의 생태통로 이용 교란이 도시 생물종의 생태통로 이용에 영향을 끼친 것으로 해석된다. 그러나, 해당 도시생태계를 우점하는 포유류는 야행성 생활특성을 보여, 도시민과 시간적 차이를 두어 생태통로 및 행동권을 공유하며 생활하는 것으로 판단되었다(Fig 2). 이는 도시생태계에서 우점하고 있는 포유류들의 주요 출현 시기 및 야간 시간대에 도시 거주민의 생태통로 이용을 일시적으로 제한하는 방안도 고려하여 도시 야생동물의 생태통로 이용을 증진시켜 도시생태계 건강성에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

결과적으로 연구 기간 내 한주 당 각 도시 생태통로를 이용하는 포유류는 평균 14.06회, 조류는 6.91회로 조사되었다. 연구 대상지와 타 도시 생태통로에서 수행된 야생동물 모니터링 결과 간 상대적인 비교를 통해 본 대상지의 생태통로의 생태적 가치를 평가하는 것이 바람직하지만, 유사한 도시 생태통로에서 수행된 경험적 선행 연구가 미흡한 한계가 있어 모니터링 결과에 대한 직접적인 비교가 어려웠다. 따라서 국립공원 생태통로 14개소에서 2006년부터 2015년까지 야생동물 이용률이 종합된 모니터링 결과를 본 연구와 비교하였다(KNPS, 2016). 본 연구 대상지와 국립공원 생태통로는 3-4분기에 야생동물 이용률이 가장 높았던 연구 시기, 그리고 포유류 우점종이 고라니, 너구리, 다람쥐, 청설모로 본 연구 대상지와 우점종에 한해서는 차

이가 없음을 확인하였다.

국립공원 생태통로는 한 주 포유류 이용률이 평균 10.85회로 오히려 본 연구 대상지의 도시 생태통로에서 더 높은 생물종 이용 횟수가 확인되었다(KNPS, 2016). 그러나 두 생태통로 유형 간 생물종 모니터링을 위해 사용된 센서, 민감도, 촬영 간격 등의 기계 시스템 간 차이뿐만 아니라, 내부종의 민감도 차이 등 대상지 간 환경적 차이가 크기 때문에 단순히 수치를 상대적으로 비교하는 것은 어려운 한계가 있다. 그럼에도 불구하고, 본 연구는 도시생태계 내 보편적인 우점종을 상대로 모니터링한 결과로 도시 생태통로를 이용하는 야생동물 출현 데이터를 취득하였다는 점에서 가치 있는 결과라 판단하였다. 또한 최근 해당 생태통로의 조성에 대한 실효성에 대한 의문이 많았으나, 조성 후 7년이 지난 시점에서 도시생태계에서 연결고리 또는 서식지 역할로서 자리를 잡은 것으로 판단된다.

그러나 본 연구에서 취득된 카메라 트랩 데이터의 단 19.20%만이 야생동물의 움직임 포착하여 해당 데이터를 분류하는데 시간적 비효율성의 한계가 있었다. 최근 국내·외 카메라 트래핑 기술을 통한 모니터링 연구에서는 센서 기술의 발전에 따라 움직임 판독 이외에 적외선 온도 변화를 함께 감지하여 탐지 오분류의 한계를 극복하고 있다(Apps and McNutt, 2018). 또한 머신러닝(Muchine learning) 기법을 이용한 카메라 트래핑의 유의미한 데이터에 대한 자동화 분류 기술(Swanson *et al.*, 2016; Tabak *et al.*, 2018; Schneider *et al.*, 2020)이 제안되고 있어 향후 연구에서는 이러한 최신 기술이 적용된 카메라 및 차세대 융합기술을 접목하여 카메라 트래핑 연구 프로세스에 대한 전반적인 효율성을 높일 필요가 있다.

## 2. 도시 생태통로 이용에 영향을 미치는 요인 분석

도시 생태통로 포유류 이용률과 생태통로별 길이, 폭, 식피율, 차폐율, 연결녹지 면적과의 상관성을 각각 확인하였다. 도시 생태통로 10곳의 생태통로 길이와 포유류 이용률과의 피어슨 상관분석을 수행하기 앞서 모집단이 정규분포를 따르지 않아($w=0.58$, $p<0.01$), 길이 변수에 영향을 미치는 여담교를 길이 변수에서 제외하고 분석을 수행하였다. 생태통로의 길이($r=-0.23$, $p=0.54$), 너비($r=-0.25$, $p=0.48$) 변수는 길고 넓을수록 포유류의 이용률이 감소하는 경향을 보였으나, 유의한 수준은 아니었다. 특히 대상지와 동일한 육교형 생태통로의 경우, 최소 너비가 5-6.8m 이상으로 조성해야 국내 주요 육상종 생태통로 이용에 무리가 없는 것으로 파악된 것과 반대되는 결과를 보였는데(ME, 2010; Choi *et al.*, 2012), 대상지 내 도시 생태통로가 최소 너비 31m 이상의 규격으로 조성되었기 때문에 포유류 이용에 큰 영향을 미치지 않은 것으로 해석된다. 또한 폭이 넓어짐에 따라 1대의 카메라가 갖는 시야각 범위를 넘어서는 경우가 발생할 수 있어, 오히려 폭이 더 좁은 도시 생태통로에서 포유류가 포착되는 경우가 더 많았던 것으로 판단되어 향후 연구에서는 카메라 시야각 범위를 고려하여 카메라를 설치해야 할 것으로 판단된다.

반대로 식피율($r=0.37$, $p=0.28$)과 차폐도($r=0.28$, $p=0.41$)는 높을수록 포유류의 도시 생태통로 이용률이 높아졌으나 이 역시, 통계적으로 유의한 수준은 아니었다. 그럼에도 불구하고, 식피율과 차폐도가 높은 도시 생태통로에서 포유류의 이용률이 높다는 점은 도시민과 함께 생태통로를 공유하는 관점에서 볼 때, 식피율과 차폐도의 증가는 포유류의 생태통로 이용률 증가뿐만 아니라, 시민의 시야에서도 포유류를 차단할 수 있는 긍정적인 요소라 생각된다. 또한, 생태통로와 연결된 녹지 면적이 클수록 포유류의 생태통로 이용률이 유의하게 증가하였으며($r=0.71$, $p<0.05$), 도시 생태통로의 식피율, 차폐도보다 연결 녹지의 면적이 넓은 것이 도시생태계 내 생태통로 조성 시 포유류 이용에 가장 효과적인 것으로 확인되었다. 이는 기존 녹지의

물리적 패치 면적이 클수록 연결성인 높아지는 경관생태학 연구들과 상응되는 결과로 (Mazerolle and Villard, 1999; Watling and Donnelly, 2006; Prugh *et al.*, 2008), 향후 도시 생태통로 조성 시, 야생동물의 이용 측면에서 연결되는 녹지가 단절되지 않고, 면적이 가장 우선시 고려되어야 할 조건으로 판단되었다.

또한 대상지 내 야생동물의 이동로가 구분된 생태통로는 10개소 중 3개소(여담교, 새터다리, 꽃더미다리)였으며, 3개소는 연구기간 평균 137.0회의 포유류 방문이 확인되었다. 반대로, 이동로 구분이 없는 7개소는 평균 53.71회로 이동로가 분리된 생태통로에서 약 2.55배 포유류 이용 횟수가 더 많았으나, 통계적으로 유의한 평균 차이는 확인되지 않았다(t=1.46, p=0.27). 또한 가로등이 설치된 4개(풍덩이, 반딧불이, 하늘소, 무지개) 생태통로는 연구기간 평균 50.50회의 포유류 방문이 확인되었다. 그러나 가로등이 미설치된 생태통로는 가로등 설치 대비 약 1.93배에 달하는 평균 97.5회의 포유류가 확인된 특징이 있어 일반적으로 야행성을 갖는 대상지 우점 포유류에게 가로등 유무가 생태통로 이용에 어느 정도 영향을 미친 것으로 판단되나, 유의한 평균 차이는 확인되지 않았다(t=-1.36, p=0.22). 마지막으로 대상지 생태통로 10개소 중 2개소(반딧불이, 꽃더미)의 연결 유형은 기존 참조 녹지와 연결되지 않고, 산책로 등 인공 구조물에 의해 단절된 상황이었다. 연결이 단절된 생태통로 2개소는 연구 기간 평균 28.50회의 포유류가 확인되었으나, 공원 및 산림 등 녹지와 연결된 생태통로 8개소는 평균 91.25회의 포유류가 확인되어 약 3.20배에 달하는 차이를 보였으나, 출현 개체 평균 수 간 차이는 확인되지 않은 특징이 있다(t=1.23, p=0.25).

결과적으로 연결 녹지 면적을 제외한 모든 도시 생태통로의 환경적 요인이 도시 포유류의 생태통로 이용에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다. 이는 해당 연구가 10주간 10개의 도시 생태통로에서 수행된 점은 통계적 비교를 위한 표본의 한계가 있었던 것으로 판단된다. 본 연구 대상지와 같이 도심 내 밀집되어 조성된 생태통로의 부재로 인하여 향후 연구에서는 본 연구의 대상지 내 주기적인 야생동물 출현 데이터 수집을 통하여 야생동물의 생태통로 이용 특성을 도출하여 보완되어야 할 것으로 판단된다.

## V. 결 론

본 연구는 도시 생태통로를 대상으로 카메라트래핑을 수행, 야생동물의 이용 횟수를 파악하고 해당 생태통로의 조성 효과 및 가치에 대한 실효성을 확인하였다. 나아가 도시 생태통로를 이용하는 야생동물의 출현에 영향을 미치는 환경 요인들 간의 관계를 해석하였다.

10주간 10개소의 도시 생태통로를 모니터링한 결과, '나비잠자리'를 제외한 도시 생태통로에서 야생동물의 출현 분포가 균형 있게 확인되었으며, 특히 너구리 및 고양이, 그리고 고라니가 광교 신도시 내 도시 생태통로를 우점 및 행동권을 공유하고 있는 것으로 확인되었다. 특히 본 연구를 통해 확인된 도시 생물종의 출현은 광교신도시 등 주요 도시 내 생태통로 조성에 대한 의문점을 일정 수준 해소했다고 생각된다. 이와 같은 문제 제기는 기존 도시 생태계 내 생태통로를 지속적으로 모니터링한 연구가 부재했기 때문으로 판단되며 향후 연구 및 국가, 지자체 단위에서 도시생태계 내 조성된 생태통로에 대한 주기적인 모니터링을 수행하여 국민들에게 결과를 함께 공유하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 또한 생태통로 모니터링 이외에 주요 출현종에 대한 안내판 조성, 야행성 생물종의 이용 시간 을 고려한 생태통로 주변 산책로 개방 시간 제한 등의 여러 방법을 통해 도시 생태계 내 건강성 유지 및 증가를 위해 실생활에 적용할 수 있는 정책적 제언이 필요할 것으

로 판단된다.

또한 도시 생태통로의 야생동물 이용에 미치는 영향 인자를 파악하고자, 생태통로의 길이, 폭, 식피율, 야생동물 이동로의 구분 여부, 가로등 설치 여부, 차폐율, 연결 녹지 면적 등을 확인한 결과, 생태통로 연결 녹지 면적을 제외한 나머지 환경 요인들은 통계적으로 유의한 결과를 도출하지 못하였다. 이는 향후 도시 내 생태통로 조성 시 우선적으로 야생동물이 서식할 수 있는 기존 녹지들과의 연결성을 고려해야 함을 의미하였으나, 10주 간 모니터링이 수행된 점은 도출된 결과에 대해 통계적인 해석을 함에 있어 다소 아쉬운 표본의 한계를 갖고 있다고 판단된다. 따라서 향후 연구에서는 계절 간 차이, 연간 차이를 확인하기 위해 도시 생태통로에 대한 모니터링 기간 연장이 필요할 것으로 보이며, 도시 생태통로의 공간적 차이에 따른 상대적인 비교를 위해 생태통로 주변 이외에 기존 참조 생태계를 함께 모니터링하여 전체 도시 생물종 가운데 실제 생태통로를 이용하는 생물종 비율에 대한 파악도 필요할 것으로 판단된다.

## References


Adam TF · PC Anthony · B Andrew. 2009. Comparison of Methods of Monitoring Wildlife Crossing Structures on Highways. The Journal of Wildlife Management. 73(7) : 1213-1222.

Apps, PJ and JW McNutt. 2018. How camera traps work and how to work them. African Journal of Ecology. 56(4) : 702-709.

Červinka, J · J Riegert · S Grill and M Šálek. 2015. Large-scale evaluation of carnivore road mortality: the effect of landscape and local scale characteristics. Mammal Research. 60(3).

Cho, HJ. 2016. Analysis of Animal Usage of Eco-bridge and Ecoduct Using an Infrared CCTV at the Baekdudaegan Mountain Range, Korea. Ecology and Resilient Infrastructure. 3(3) : 177-181.

Choi, TY and HM Choi. 2007. Trace picture book of wild animals. Dolbegae,

Choi, TY · BG Yang · DG Woo. 2012. The Suitable Types and Measures of Wildlife Crossing Structures for Mammals of Korea. Journal of Environmental Impact Assessment. 21(1) : 209-218. (in Korean)

Chung, CU. · JY Cha · YC Kim · SC Kim · GH Kwon · HJ Lee. 2014. Monitoring Efficiency Evaluation of Camera Trapping in Terrestrial Mammals. The Korea Society For Environmental Restoration and Revegetation Technology. 17(3) : 65-74. (in Korean)

Corlatti, L · K Hacklander and F. Frey-roos. 2009. Ability of Wildlife Overpasses to Provide Connectivity
and Prevent Genetic Isolation. Conservation Biology. 23(3) : 548-556.

Erritzøe, J · TD Mazgajski and L Rejt. 2003. Bird Casualties on European Roads – A Review. Acta Ornithologica 38(2) : 77 - 93.

Huh YS. 2014. Evaluation and Activation Plan of Urban Eco-corridors for Linkage of Seoul's North and South Green Network. Seoul National University Master Thesis. (in Korean)

Jongman, RHG · M Külvik and Ib Kristiansen. 2004. European ecological networks and greenways. 68 : 305-319.

Kim, CH · CS Lee and YS Woo. 2007. Study on Compact City Model for Sustainable New Town Development in Korea. Korea Planning Association. 42(2) : 49-68. (in Korean with English summary)

KNPS(Korea National Park Service). 2016.

National park wildlife roadkill and ecological pathway monitoring. (in Korean)

KNPS(Korea National Park Service). 2013. National Park Wildlife Roadkill Reduction Report. (in Korean)

Korea Land Corporation. 1997. Bundang New Town Development History. (in Korean)

Mazerolle, MJ and MA Villard. 1999. Patch characteristics and landscape context as predictors of species presence and abundance: A review. Ecoscience. 6 : 117- 124.

ME(Ministry of Environment). 2010. Guidelines for Design and Management of Wildlife Crossing Structures in Korea. (in Korean)

NIE(National Institute of Ecology). 2020. Ecological Corridors map services. https://wildlifecrossing.nie.re.kr/mapservice/MapserviceList.do (in Korean)

Noss, RF and LD Harris. 1986. Nodes, networks, and MUMs: Preserving diversity at all scales. Environmental Management. 10 : 299-309.

Peng, J · H Zhao and Y Liu. 2017. Urban ecological corridors construction: A review. Acta Ecologica Sinica. 37(1) : 23-30.

Prugh, LR · KE Hodges · ARE Sinclair and JS Brashares. 2008. Effect of habitat area and isolation on fragmented

animal populations. PNAS. 105(52) : 20770-20775.

Rovero F · M Tobler · J Sanderson. 2010. Camera trapping for inventorying terrestrial vertebrates. Manual on field recording techniques and protocols for All Taxa Biodiversity Inventories and Monitoring. The Belgian National Focal Point to the Global Taxonomy Initiative. 100-128.

Smith, DJ. · R. Ree. · C. Rosell. 2015. Wildlife crossing structures. Handbook of Road Ecology. 172-183.

Schneider, S · S Greenberg · GW Taylor and SC Kremer. 2020. Three critical factors affecting automated image species recognition performance for camera traps. Ecology and Evolution. 10(7) : 3503-3517.

Song, IJ. 2006. Analysis on the Effect of Ecological Corridor in Seoul and Construction of Management Maunal. Seoul Development Institute. (in Korean)

Swanson, A · M Kosmala · C Lintott · R Simpson · A Smith and C Packer. 2016. Snapshot Serengeti, high-frequency annotated camera trap images of 40 mammalian species in an African savanna. Scientific Data 2. 150026.

Tabak, MA · MS Norouzzadeh · DW Wolfson · SJ Sweeney · KC Vercauteren · NP Snow · JM Halseth · PA Di Salvo · JS Lewis · MD White · B Teton · JC Beasley · PE Schlichting · RK Boughtion · B Wight · ES Newkirk · JS Ivan · EA Odell · RK Brook · PM Lukacs · AK Moeller · EG Mandevillev · J Clune and RS Miller. 2018. Machine learning to classify animal species in camera trap images Applications in ecology. Methods in Ecology and Evolution. 10(4) : 585-590.

Thronton, DH · LC Branch and ME Sunquist. 2011. The influence of landscape, patch, and within-patch factors on species presence and abundance: a review of focal patch studies. Landscape Ecology in Review. 26 : 7-18.

Treves, A · P Mwima · AJ Plumptre · S Isoke. 2010. Camera-trapping forest–woodland wildlife of western Uganda reveals how gregariousness biases estimates of relative abundance and distribution. Biological Conservation, 143(2) : 521-528.

Underhill, JE · PG Angold. 1999. Effects of roads on wildlife in an intensively modified

landscape. Environmental Reviews. 8(1) : 21-39.

Watling, JI and MA Donnelly. 2006. Fragments as Islands: a Synthesis of Faunal Responses to Habitat Patchiness. Conservation Biology. 20(4) : 1016-1025.

Woo, DG · TY Choi · HS Seo · DH Lee · YS Park · HB Park · HG Moon · JG Cha · SM Lee · HY Park · BS Seo · JG Jung · JJ Park · SG Lee · YJ Park · GY Cheon · KA Kim · JM Kim and JC Choi. 2015. A study on analysis of habitat fragmentation and improvement of wildlife passage effectiveness. National Institute of Ecology. (in Korean with English summary)