



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 원 저작자를 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 권리와 책임은 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)



조경학석사 학위논문

관찰카메라와 환경DNA 방법을 활용한
도시 내 습지의 조류 다양성 분석

Analysis of bird diversity in urban wetland
using camera trapping and eDNA metabarcoding

2023년 8월

서울대학교 환경대학원

환경조경학과

박지윤

관찰카메라와 환경DNA 방법을 활용한
도시 내 습지의 조류 다양성 분석

지도교수 송영근

이 논문을 조경학석사 학위논문으로 제출함
2023년 4월

서울대학교 환경대학원
환경조경학과
박지윤

박지윤의 석사 학위논문을 인준함
2023년 6월

위 원장 _____ (인)

부위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

관찰카메라와 환경DNA 방법을 활용한 도시 내 습지의 조류 다양성 분석

서울대학교 환경대학원 환경조경학과
박지윤

위 논문은 서울대학교 및 환경대학원 환경조경학과 학위논문
관련 규정에 의거하여 심사위원의 지도과정을 충실히
이수하였음을 확인합니다.

2023년 8월

위 원장 _____ (서울대학교 환경대학원 교수)

부위원장 _____ (서울대학교 사범대학 교수)

위 원 _____ (서울대학교 환경대학원 교수)

초 록

관찰카메라와 환경DNA 방법을 활용한 도시 내 습지의 조류 다양성 분석

박지윤

서울대학교 환경대학원 환경조경학과

생물다양성의 주요한 위협으로 간주되는 도시생태계는 인간 활동의 영향을 받으며 빠르게 변화하기에 이를 체계적으로 관리하기 위한 지속적인 모니터링을 필요로 한다. 조류는 종 다양성이 풍부하고 환경조건의 변화를 잘 나타내어 지역의 생물다양성을 파악하는 데에 많이 이용되는 분류군으로 전통적인 현장 조사 방식을 통하여 조사되어왔다. 그러나 현장 조사 방식의 한계점으로 인하여 이를 보완하는 모니터링 방법의 필요성이 대두되면서 다양한 분류군에 대한 검증이 요구되고 있다. 본 연구는 훼손의 위험이 있는 도시 내 녹지를 대상으로 관찰카메라와 환경DNA 메타바코딩을 활용한 모니터링을 동시에 진행하여 생태계 모니터링 방법에 따른 조류상 결과를 비교하고 도시생태계에 적합한 모니터링 방식을 제안하는 것을 목적으로 한다.

서울시 북한산국립공원 내에 위치한 진관동 습지를 대상으로 촬영된 영상을 분석하여 종을 관찰하는 관찰카메라 모니터링과 생물이 환경으로 방출한 유전물질(DNA)을 검출하는 환경DNA 방법을 동시에 진행하였다. 총 6대의 관찰카메라를 설치하여 2022년 1월부터 6월까지 163일 동안 관찰카메라 모니터링을 진행하였고, 2022년 2월부터 6월까지 매달 1회의 환경DNA 샘플링을 시

행하였다. 그 결과 총 15,154개의 영상과 120개의 환경DNA 샘플을 취득하였으며, 총 23과 55종의 조류의 서식이 확인되었다. 그중 관찰카메라 모니터링을 통하여 확인된 종은 총 20과 47종이고, 환경DNA 분석을 통하여 검출된 종은 총 12과 15종이다.

관찰카메라 모니터링은 현장 조사 방식의 시간적 한계를 보완하며 비교적 정확한 동정이 가능하나 촬영 범위 내에 개체가 촬영되어야 한다는 공간적인 한계가 있다. 환경DNA 방법은 현장 조사 방식이 지닌 시공간적인 한계를 보완한다는 장점이 있으나 유전적으로 유사한 종을 명확하게 구분해내지 못한다는 단점이 있다. 두 가지의 모니터링 방법을 함께 이용할 경우, 상호 간의 보완이 가능하며, 모두 한 번의 조사로 목표한 분류군 외의 결과를 얻을 수 있다는 장점이 있어 빠르게 변화하는 도시생태계의 생물다양성을 효과적으로 판단할 수 있다. 이를 바탕으로 취득한 생물다양성 데이터를 이후 복원 및 보전 계획의 근거로 이용하기에 효과적일 것으로 판단된다.

주요어: 관찰카메라, 환경DNA, 조류 다양성, 도시 습지

학 번: 2021-23002

목 차

제1장 서론

1절. 연구 배경	11
2절. 이론적 배경	14
1. 현장 조사 방식의 모니터링	14
2. 관찰카메라를 활용한 모니터링	15
3. 환경DNA를 활용한 모니터링	15
3절. 연구 목적 및 의의	17

제2장 연구 방법

1절. 연구 대상지	18
2절. 현장 조사 방식의 모니터링	19
1. 과거 문헌조사	19
2. 목견 조사	19
3절. 관찰카메라를 활용한 모니터링	20
4절. 환경DNA 메타바코딩을 활용한 모니터링	21

제3장 연구 결과

1절. 모니터링 방법에 따른 진관동 습지 조류 다양성 분석	26
1. 과거 문헌조사 결과	26
2. 목견 조사 결과	28
3. 관찰카메라 모니터링 결과	30
4. 환경DNA 모니터링 결과	33
2절. 계절에 따른 진관동 습지 조류 다양성 분석	35
3절. 수생태계에 따른 진관동 습지 조류 다양성 분석	37

제4장 결론 및 고찰

1절. 모니터링 방법에 따른 조류 다양성 결과 비교	39
2절. 도시생태계에 적합한 생물다양성 모니터링 방법	44
참고문헌	48
부록	55

표 목 차

[Table 1] Pros and cons of biological monitoring methods	17
[Table 2] Feature of camera trapping zone at Jingwan-Dong Wetland. Aquatic ecosystem types are lotic ecosystem (stream) out of the study site range, shallow and deep lentic ecosystem inside the study site range. Main targeting fauna is forest bird or water bird.	20
[Table 3] The schedule of field survey in Jingwan-Dong Wetland (Jan–Jun, 2022).	22
[Table 4] Feature of eDNA sampling point divided by aquatic ecosystem at Jingwan-Dong Wetland. Aquatic ecosystem types are lotic ecosystem (stream), shallow and deep lentic ecosystem.	23
[Table 5] Detailed information of MiBird primers and 2nd PCR primers from Ushio et al.(2018)	25
[Table 6] The result of traditional field survey (point count census) at Jingwan-Dong Wetland (Jan–Jun, 2022).	29
[Table 7] The number of raw videos by camera trapping at Jingwan-Dong Wetland (05.Jan–16.Jun, 2022).	30
[Table 8] The result of camera trapping at Jingwan-Dong Wetland (Jan–Jun, 2022).	31
[Table 9] The number of eDNA samples at Jingwan-Dong Wetland (Jan–Jun. 2022).	34

[Table 10] The result of eDNA sampling at Jingwan-Dong Wetland (Jan-Jun, 2022).	34
[Table 11] The number and rate of videos that filmed birds species by camera trapping at Jingwan-Dong Wetland (05.Jan–16.Jun, 2022).	42
[Table 12] The sampling volume and the number of detected species at each eDNA sampling point at Jingwan-Dong Wetland (Jan–Jun, 2022).	43
[Table 13] The suspected species that detected through eDNA samplibng and similar species that included same family at Jingwan-dong wetland (Jan–Jun, 2022).	43
[Table 14] The suspected species that detected through eDNA samplibng and similar species that included same family at Jingwan-dong wetland (Jan–Jun, 2022).	47

그 름 목 차

[Figure 1] Location, land cover map and pictures of study area, Jingwan-Dong Wetland in Seoul city, South Korea.	18
[Figure 2] Location of environmental DNA (eDNA) sampling point in Jingwan-Dong Wetland. eDNA sampling point with camera trapping (green dot) and eDNA sampling point without camera trapping (pink dot).	22
[Figure 3] eDNA sampling at Jingwan-Dong Wetland.	23
[Figure 4] The fluctuation of number of avian species and individuals at Jingwan-Dong Wetland (2006, 2009, 2011, 2013 and 2016).	27
[Figure 5] The part of avian species living at Jingwan-dong wetland from camera trapping (Jan-Jun, 2022).	32
[Figure 6] The result of ecological monitoring using camera trapping and eDNA at Jingwan-Dong Wetland (Jan-Jun, 2022).	36
[Figure 7] The result of camera trapping and eDNA sampling divided by Aquatic ecosystem at Jingwan-Dong Wetland (Jan-Jun, 2022).	38
[Figure 8] The suspected species that identified through camera trapping at Jingwan-dong wetland (Jan-Jun, 2022).	42
[Figure 9] The Family result of eDNA sampling divided by Aquatic ecosystem at Jingwan-Dong Wetland (Jan-Jun, 2022).	47

제 1장 서론

1절. 연구 배경

■ 도시생태계의 확장 및 생물다양성의 감소

산업혁명 이후 인간의 활동으로 인한 환경변화가 빠르게 이루어지면서 자연 생태계는 훼손되고 환경은 오염되었다. 육지 면적의 약 75%가 인간 활동의 영향을 받고 있으며 (Venter et al., 2016) 무분별한 개발과 확산으로 녹지가 감소하여 야생동물들의 서식처는 점차 줄어들고 생물다양성은 위협받고 있다 (박창석 외., 2007; Riordan and Rundel, 2014). 생물다양성 보전은 20세기 후반부터 국제 정책의 한 분야로 부상하며 중요성을 인정받았고 (Kowarik, 2011) 생물다양성협약(CBD; Convention on Biological Diversity)과 국가생물다양성 전략 등 국제적인 협력을 통하여 강화되고 있다.

인간 활동으로 인한 영향을 지속적으로 받으며 빠르게 변화하는 도시생태계는 생물다양성의 주요한 위협으로 간주된다. 많은 도시 지역은 자연적으로 생물종이 풍부한 지역에 설립되었기에 (Kuhn et al., 2004; Dearborn and Kark, 2010) 보전에 대한 윤리적인 책임을 수반한다. 도시의 생물다양성을 보전하고 증진하는 것은 생태계서비스 측면에서의 복지와 공중 보건 등 사회적인 관점에서도 중요하다 (Kowarik, 2011). 도시생태계의 생물다양성을 보전하기 위해 서는 체계적인 관리가 필요하며, 환경의 변화에 민감하게 반응하는 주요 생물 종에 대한 모니터링과 생물다양성 변화 예측 등이 필수적이다 (김휘문 외., 2020). 이에 따라 자연생태계와는 다른 도시생태계만의 특성을 고려한 생물다양성 모니터링 방법이 요구되고 있다 (박창석 외., 2007).

■ 도시생태계에서 조류종 연구가 가지는 의의

육상생태계를 대표하는 조류는 일반적인 생태학 연구의 대상종으로 이용되며 각종 생물학적 이론의 기반이 되는 분류군이다 (Konishi, M. et al., 1989). 분포 범위가 넓으며 비교적 관찰이 용이한 조류는 야외에서의 동정이 쉽고, 풍부한 종 다양성을 바탕으로 환경의 변화를 잘 나타낸다 (Temple and Wiens, 1989). 또한 식생 구조와 식물 및 곤충의 종 다양성과 연관성을 보여 (Morrison et al., 1990; Singer et al., 2012) 지역의 생물다양성 및 서식지 변화 평가에 많이 이용된다 (Bibby, 1999; 이후승 외., 2022). 최근에는 조류를 대상으로 다양한 다양성 지수들을 활용하여 서식 환경을 평가하고 보호지역을 선정하는 등의 생태계 보호 관리방안에도 활용되고 있다 (Barik et al., 2022).

토지이용에 따른 도시의 구성과 구조는 도시생태계에 많은 영향을 미치며 (Marzluff et al., 2012) 도시생태계에 서식하는 생물은 자연생태계와는 다른 방식으로 환경과 상호작용한다 (Gil and Brumm, 2013). 도시에 서식하는 생물종들의 종 풍부도는 도시 내 녹지공간을 평가하기에 유용하며 (Beninde et al., 2015), 도시의 생물다양성 및 생태계서비스 평가 연구는 이를 활용하여 독자적으로 진행되어왔다 (Elmqvist et al., 2013) 조류는 도시 환경에서도 쉽게 마주 할 수 있는 생물군으로, 계절에 따라 이동하는 이주성 종들을 포함하여 높은 종 풍부도를 보인다. 또한 농촌과 도시의 격차와 같은 환경의 변화에 대처할 수 있는 능력을 지니고 있어 도시생태학 연구의 모델로 많이 이용되어왔다 (Murgui and Hedblom, 2017; Plummer et al., 2020). 따라서 도시에 서식하는 조류군집에 영향을 미치는 요인에 대한 이해도는 다른 분류군에 비해 높은 편이며 (Plummer et al., 2020), 이를 바탕으로 도시의 생물다양성 보전을 위한 연구들이 진행되고 있다.

■ 새로운 생태계 모니터링 방법의 필요성

생물다양성 현황 파악 등 생태계에 대한 기본적인 정보는 환경계획 및 관리 정책 수립의 기반이 된다. 생물다양성의 평가는 주로 종을 중심으로 한 다양성과 풍부도, 균등도 등의 지수를 통해 이루어지고 있으며 (이후승 외., 2022) 국립공원 및 보호지역 지정 등 생태계를 보호하려는 노력으로 이어진다 (Sun C. et al., 2019). 다양한 유형의 생태계에 서식하는 생물의 다양성을 파악하고 지속적으로 보전·관리하기 위해서는 장기적인 모니터링을 통한 감시와 데이터 축적이 필요하다 (Lawton et al., 1998; 안승표 외., 2018). 그러나 기술 및 재정적 역량과 데이터의 유용성, 품질 등 생물다양성 모니터링을 위한 핵심 조건이 충족되지 않는 경우가 많으며 이로 인한 데이터의 부족이 문제가 되고 있다 (Stephenson, 2020).

가장 널리 이용되는 전문가에 의한 현장 조사 방식의 모니터링은 동식물종의 분포와 개체수 등 생물다양성의 특정 측면을 조사하는 가장 정확한 방법이다 (Petrov et al., 2015). 그러나 관찰 시기와 조사 시간대, 서식 환경으로의 접근성 등 시공간적인 한계가 있으며 종의 행동·생태적 특성과 같은 다양한 요인의 영향을 받는다. 또한 조사 진행 과정에서 발생할 수 있는 안전사고의 위험성과 생태계 침입으로 인한 교란의 가능성이 존재한다 (송영근 외., 2019). 이에 효과적이고 지속가능한 모니터링 방법의 필요성이 대두되었으며, 기술의 발전을 통한 새로운 방법들이 부상하였다. 현장 조사 방식과의 비교를 통하여 유효성을 입증한 새로운 모니터링 방법들은 실질적인 이용과 효율적인 결과 도출을 위하여 다양한 분류군에 대한 적용 및 품질 개선 등의 검증이 요구되고 있다.

2절. 이론적 배경

1. 현장 조사 방식의 모니터링

전통적으로 생태계 모니터링은 목견 조사와 흔적 조사, 청음 조사 등 조사자가 현장에서 생물종을 동정하는 방식으로 진행되었다. 목견 조사는 생물을 눈으로 직접 확인하여 종을 동정하는 방식이고, 흔적 조사는 생물이 남긴 족적 및 배설물 등 종의 특징이 담긴 흔적을 이용하여 종을 동정하는 방식으로 주로 포유류를 대상으로 하는 생태조사에서 많이 이용되고 있다. 청음 조사는 생물종이 내는 소리를 이용하여 종을 동정하는 방식으로 양서·파충류 및 조류를 대상으로 하는 생태계 모니터링에서 부수적으로 이용되는 방식이다.

동물을 대상으로 하는 현장 조사는 선 조사법 (Leopold A., 1933)과 점 조사법 (Ralph C., 1993) 등의 방법으로 진행된다. 선 조사법은 사전에 선정한 경로를 따라 걸으며 관찰되는 종과 개체수, 출현 위치를 기록하는 연속적인 방식의 조사법이고 점 조사법은 시야가 확보된 지점에서 일정 시간 머무르며 관찰되는 종과 개체수를 기록하는 비연속적인 방식의 조사법이다.

현장에서 직접 관찰하는 방식의 모니터링은 높은 정확도와 개체수 반영 등의 장점이 있지만 조사자 개인의 역량에 의존하며 많은 시간과 노력을 요구한다는 단점을 지니고 있다 (Table 1). 프로그램을 이용한 서식 적합성 평가 등 모니터링 이전 과정에 대한 발전은 진행되어왔으나, 제한적인 인력과 동시조사의 한계, 조사자에 따라 일관적이지 않은 결과 등 모니터링 방법 자체에 대한 단점은 여전히 존재한다. 특히 멸종위기종과 같이 서식 개체수가 적거나 서식 환경 및 개체의 생태적인 특성으로 인하여 직접 목견하기 힘든 종들의 경우, 정확한 서식 실태를 반영하기 어려우며, 효율적이고 지속적인 모니터링의 필요성이 대두되면서 새로운 모니터링 방법의 이용과 검증이 요구되고 있다 (Lawton et al., 1998; Basset et al., 2000).

2. 관찰카메라를 활용한 모니터링

조사자가 현장에서 직접 관찰하는 방식의 생태계 모니터링이 지난 단점을 보완하기 위하여 관찰카메라와 음향기기 등 다양한 장비를 이용한 조사가 이루어지고 있다. 장비를 사용하여 진행되는 생태계 모니터링은 많은 양의 데이터를 저렴하게 수집할 수 있으며 관찰 시기와 조사 시간대에 의한 영향을 최소화하고 서식지 간섭을 감소시켜 장기적이고 연속적인 모니터링이 가능하다는 장점이 있다 (Nichols and Karanth. 2011). 현장 조사 방식의 모니터링 결과와의 비교를 통하여 그 유효성을 입증하며 새로운 조사 기법으로 인정받고 있으나 수집된 데이터를 분석하고 종을 동정하는 과정에서 큰 비용이 든다는 단점이 있다 (Table 1). 최근 AI를 활용하여 데이터를 정제하는 연구들이 진행되고 있으나 (Norouzzadeh, et al., 2018) 분류군에 따라 연구의 진행 정도는 편차를 보이고 있으며 여전히 전문 인력의 절대적인 노력을 기반으로 한다.

조류를 대상으로 관찰카메라와 음향기기를 이용한 연구는 종 다양성을 중심으로 진행되며 조류의 생태적인 특성에 따른 결과의 유효성이 검증됨에 따라 앞으로의 생태계 모니터링에 있어서 주목받는 방법으로 자리 잡고 있다 (유승화 외., 2018; Laneng et al., 2021).

3. 환경DNA를 활용한 모니터링

효율적인 생태계 모니터링의 진행과 정확한 결과 도출을 위하여 DNA 기반의 조사 방법이 권장됨에 따라 환경DNA 방법의 적용과 검증이 요구되고 있다 (Krishnamurthy and Francis, 2012; Minamoto et al., 2012). 환경DNA는 생물이 텔, 분비물 등을 통해 환경으로 방출한 유전물질(DNA)로 종에 대한 정보를 포함하고 일정 시간 이후 자연분해되는 특징을 지니고 있어 시간적 개념을 반영한 생물학적 모니터링에 이용될 수 있다 (Taberlet et al., 2012; Fukumoto et al., 2015; Jo et al., 2019; 송영근 외., 2019). 환경DNA를 활용한 모니터링은 수환경 및 토양, 공기 등의 환경 매체로부터 취득한 샘플에서 미량의 DNA를 추

출하여 종에 대한 정보를 검출해내는 방식으로 진행된다. 환경DNA 연구는 시료로부터 추출한 DNA를 증폭하는 방식에 따라 특정 종에 대한 프라이머를 이용하여 PCR 실험을 진행하는 종 단위의 연구와 메타바코딩을 활용한 분류군 단위의 연구로 나누어진다. 환경DNA 메타바코딩을 활용한 생물다양성 연구는 분류군별 범용 프라이머의 개발과 다양한 플랫폼(e.g. Illumina, Ion Torrent)의 상용화로 활발히 진행되고 있다. 어류 범용 프라이머인 MiFish의 개발을 통하여 (Miya et al., 2015) 국내외에서 다양한 유형의 수생태계를 대상으로 생물다양성 연구가 진행되었다 (송영근 외., 2019; 김가우 외., 2021). 육상 생물종에 관한 환경DNA 연구의 가능성이 확인됨에 따라 (Rodgers and Mock, 2015) 포유류 범용 프라이머 MiMammal (Ushio et al., 2017)과 조류 범용 프라이머 MiBird (Ushio et al., 2018), 양서류 범용 프라이머 Amph16S (Sakata et al., 2021) 등 지속적인 프라이머 개발을 통한 생물다양성 연구 역시 국내외에서 진행되며 (Harper et al., 2019; Leempoel et al., 2020; 김휘문 외., 2020; 김용환 외., 2021) 환경DNA 분야의 확장을 도모하고 있다.

환경DNA를 활용한 연구는 기존의 현장 조사 방식에 비하여 시공간적 제한이 적어 적은 노력으로 넓은 대상지를 커버할 수 있다. 또한 일정 시간 동안 잔존하는 DNA의 특성에 따라 과거의 생물상 모니터링이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 연구 방법 및 결과 도출 등 전반적인 과정에 대한 표준이 마련되어 있지 않은 것과 같이 새로운 분야의 연구가 지니는 단점이 있다 (Table 1). 또한 생물 분류군에 따른 연구 진행 정도와 결과에 대한 신뢰성의 편차가 있으며, 개체수 및 바이오매스 등의 정확한 생물 정보에 대한 반영이 어려워 추가적인 연구들이 필요한 상황이다.

[Table 1] Pros and cons of biological monitoring methods

method	Pros	Cons
field survey	Individuals and biomass can be reflected	Limitation of temporal range Limitation of spatial range Dependent on the researcher's ability to identify
observation camera	Expansion of temporal range Individuals and biomass can be reflected	Limitation of spatial range Dependent on the researcher's ability to identify
eDNA	Expansion of temporal range Expansion of spatial range	Individuals and biomass can be limited Lack of standards due to lack of research

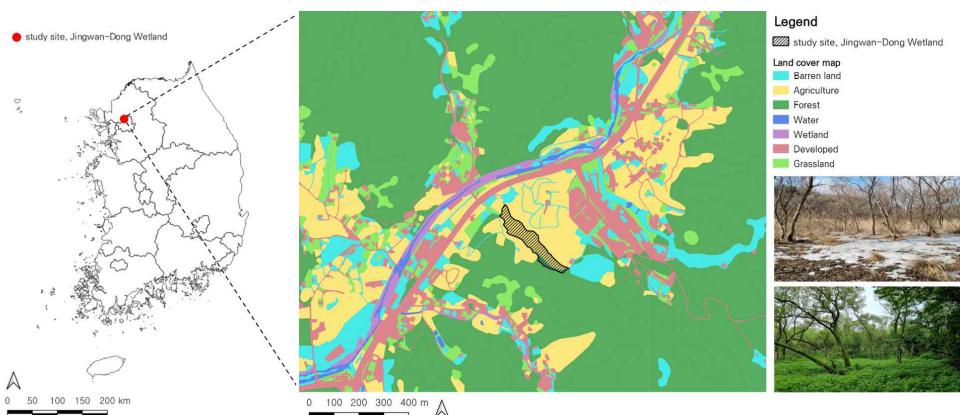
3절. 연구 목적 및 의의

본 연구는 훼손의 위험이 있는 도시 습지를 대상으로 관찰카메라와 환경 DNA를 활용한 모니터링을 동시에 진행하여 생태계 모니터링 방법에 따른 조류상 결과 비교를 목적으로 한다. 전통적인 현장 조사 방식의 단점을 보완하는 두 모니터링 방법의 비교를 통하여 도시생태계에 적합한 효율적인 모니터링 방법을 제안할 수 있다. 서식 환경의 다양성과 생물다양성이 풍부한 도시 내 습지를 대상으로 관찰카메라 모니터링을 진행하여 그 효율성을 검증하고, 고밀도로 취득한 기초데이터를 제공하여 환경관리 및 복원계획 수립에 기여할 수 있다. 도시생태계 건강성의 지표가 되는 조류종을 대상으로 환경DNA 메타바코딩을 적용하여 기존에 연구가 제한적으로 진행되었던 분류군으로의 연구 확장과 기술의 유효성을 검증함에 의의가 있다.

제 2장 연구 방법

1절. 연구 대상지

본 연구는 서울시 은평구 북한산국립공원 내의 진관동 습지를 대상으로 진행된다 (Figure 1). 산림생태계와 수생태계가 만나는 지역에 위치한 진관동 습지는 면적 $16,639m^2$ 의 산림 습원으로, 과거 경작지로 이용되었던 지역이었으나 경작이 멈춘 후 고마리, 갈대, 부들, 벼드나무 등 습지 식물들이 유입되어 형성된 묵논습지이다 (북한산국립공원, 2013). 2002년 12월 30일 서울시는 조류, 곤충류, 양서·파충류 등 풍부한 생물다양성을 근거로 이 지역을 생태계 경관보전지역으로 지정하였다 (서울특별시, 2003). 그러나 진관동 습지는 개인 사유지로 조경수 식재 및 개발에 따른 훼손 위험이 있으며, 습지 내부 연못의 매립과 벼드나무림의 증가로 인한 육화 진행, 인근 초지 지역의 이용변화 등 환경변화에 (김지석 외., 2016) 대한 지속적인 모니터링과 보호 관리 노력이 필요한 지역이다 (황보연 외., 2014).



[Figure 1] Location, land cover map and pictures of study area, Jingwan-Dong Wetland in Seoul city, South Korea.

2절. 현장 조사 방식의 모니터링

1. 과거 문헌조사

새로운 방식의 생태계 모니터링을 진행하기에 앞서 진관동 습지에 서식하는 조류종을 파악하기 위해 과거 문헌조사를 실시하였다. 습지 관리방안 및 서식 생물종 보호 관리방안 마련을 위하여 진행되었던 황보연 외. (2014)와 김지석 외. (2016)을 참고하여 2006년부터 2016년까지 진관동에 서식하는 조류 종목록을 파악하였다. 2006년과 2009년, 2011년의 결과는 황보연 외. (2014)와 김지석 외. (2016) 중 더 많은 개체수를 보고한 결과를 따랐으며 2013년은 황보연 외. (2014)의 결과, 2016년은 김지석 외. (2016)의 결과를 반영하였다. 조류 종목록은 법정보호종 (국립생태원, 2022)과 기후변화 생물지표종 (국립생물자원관, 2019)으로 구분하여 확인하였다.

2. 목견 조사

진관동 습지에 서식하는 조류의 현황 파악을 위하여 2022년 1월 5일과 2월 16일, 3월 16일, 4월 20일, 5월 5일, 6월 16일 총 6차례의 현장 조사를 진행하였다. 월별 1회 오전 9시부터 2시간 동안 쌍안경을 이용한 현장 조사 방식의 목견 조사와 청음 조사를 병행하여 진행하였다. 산림 및 식재된 목재가 많으며 갈대 등의 키가 큰 습지 식생으로 인하여 시야가 제한되고 습지 내부로의 접근성이 좋지 않은 점 등을 통하여 점 조사법을 이용한 조사를 진행하였다. 현장에서 바로 동정하기 어려운 좋은 사진 촬영 후 한국의 새 (이우신 외., 2020)를 활용하여 종 동정을 진행하였다.

3절. 관찰카메라를 활용한 모니터링

진관동 습지 내에 서식하는 조류종을 조사하기 위하여 무인 센서 카메라 (BTC-6PXD, Browning, USA) 설치를 통한 관찰카메라 모니터링을 진행하였다. 습지 외부의 유수환경과 습지 내부의 깊고 얕은 정수환경 등 수생태계의 유형에 따라 관찰될 것으로 예측되는 조류종을 분류하였고 촬영 구역을 구분하여 최소 30m 간격으로 관찰카메라를 설치하였다 (Table 2). 설치된 관찰카메라는 생물의 움직임이 감지되면 10초간의 동영상을 촬영하는 방식으로 설정하였고 행동이 빠른 조류의 특성을 고려하여 영상이 촬영된 시간 이후 지체되는 시간 없이 24시간 구동하여 관찰 모니터링을 진행하였다.

2022년 1월 5일과 2월 16일, 3월 16일, 4월 20일, 5월 5일, 6월 16일 총 6차례의 현장 조사를 통해 겨울철, 봄철, 여름철 조류를 관찰하기 위한 카메라 설치 및 SD 카드 수거를 진행하였다. 촬영된 영상은 생물종이 촬영된 영상과 촬영되지 않은 영상을 구분하여 분석을 진행하였다. 생물종이 촬영된 영상은 한국의 새 (이우신 외., 2020)를 활용하여 목견 및 소리를 통하여 종 동정을 진행하였으며, 일부 종은 서울대학교 행동생태 및 진화학 연구실과 전남대학교 동물행동생태 연구실에 자문을 구하여 동정하였다.

[Table 2] Feature of camera trapping zone at Jingwan-Dong Wetland. Aquatic ecosystem types are lotic ecosystem (stream) out of the study site range, shallow and deep lentic ecosystem inside the study site range. Main targeting fauna is forest bird or water bird.

Zone	Aquatic ecosystem			Main fauna	
	Lotic	Shallow lentic	Deep lentic	Forest bird	Water bird
A	○ (stream)			○	
B			○		○
C		○		○	○
D		○		○	○
E			○		○
F		○		○	

4절. 환경DNA를 활용한 모니터링

■ 환경DNA 샘플링

2022년 2월 16일과 3월 16일, 4월 20일, 5월 5일, 6월 16일 총 5회에 걸쳐 진관동 습지 내 수환경에서의 환경DNA 취득을 위한 현장 조사와 진행하였다 (Table 3). 환경DNA 샘플링 지점은 카메라 트래핑을 진행하는 지점과 카메라 트래핑을 진행하지 않는 지점으로 구분하여 총 15지점에서 진행하였다 (Figure 2). 대상지 전반에 걸친 환경DNA 샘플링 진행을 위하여 오픈소프트웨어인 QGIS 내의 Random point 기능을 사용하여 대상지 내에 임의의 지점을 생성하였고, 지점 간의 최소 단위를 30m로 지정하여 카메라 트래핑이 진행되지 않는 환경DNA 샘플링 후보 지점을 선정하였다. 선정된 후보 지점은 습지 내부와 습지화 지역, 육지화 지역으로 구분되어있는 대상지의 특징을 반영하여 배분하였고 현장 상황을 반영하여 수환경이 존재하는 지점을 재선정하여 환경DNA 샘플링을 진행하였다 (Table 4).

각 샘플링 지점에서 30mL 일회용 주사기와 Sterivex $0.45\mu m$ filter (Merck, Germany), 일회용 장갑을 이용하여 환경DNA 샘플링을 진행하였다 (Figure 3). 각 지점당 3~5개의 필터를 사용하여 샘플링을 진행하였고 필터당 5~9번의 필터링을 통하여 환경DNA를 취득하였다. 취득한 시료는 각각 따로 밀봉하여 샘플 간의 교차 오염 가능성을 최소화하였고 아이스박스를 이용하여 연구실로 운반 후. DNA의 분해 등 외부 영향으로 인한 오염을 최소화하기 위하여 DNA 추출 전까지 -20°C 냉동고에 보관하였다.

[Table 3] The schedule of field survey in Jingwan-Dong Wetland (Jan-Jun, 2022).

Method	Field survey date					
	22.01.05	22.02.16	22.03.16	22.04.20	22.05.05	22.06.16
Observation survey	○	○	○	○	○	○
Camera trapping	Installation	Check and collecting SD card				
eDNA sampling	-	○	○	○	○	○



[Figure 2] Location of environmental DNA (eDNA) sampling point in Jingwan-Dong Wetland. eDNA sampling point with camera trapping (green dot) and eDNA sampling point without camera trapping (pink dot).

[Table 4] Feature of eDNA sampling point divided by aquatic ecosystem at Jingwan-Dong Wetland.
 Aquatic ecosystem types are lotic ecosystem (stream), shallow and deep lentic ecosystem.

Zone	Aquatic ecosystem			Camera trapping	
	Lotic ecosystem	Shallow lentic	Deep lentic	With	Without
A	○ (stream)			○	
B			○	○	
C		○		○	
D		○		○	
E			○	○	
F		○		○	
11		○			○
12		○			○
13		○			○
14		○			○
15			○		○
16			○		○
17			○		○
18	○ (stream)				○
19	○ (stream)				○



[Figure 3] eDNA sampling at Jingwan-Dong Wetland.

■ 환경DNA 추출

Sterivex 필터를 이용하여 취득한 환경DNA를 추출하는 과정은 DNeasy Blood and Tissue Kit (QIAGEN, Germany)를 이용하여 직접 진행하였다. 냉동 고에 보관해두었던 필터의 아래쪽을 parafilm을 이용하여 밀봉한 후 proteinase K $20\mu l$ 와 Buffer AL $200\mu l$, PBS $220\mu l$ 를 혼합한 시약을 각각 투여하고 필터의 위쪽을 parafilm을 이용하여 밀봉한 채로 56°C 에서 30분 동안 incubation을 진행하였다. incubation을 마친 필터는 밀봉하였던 parafilm을 제거한 후 1.5ml tube를 장착하여 50ml conical tube에 넣고 6000g 에서 1분 30초 동안 centrifuge하였다. 1.5ml tube로 spindown된 시료에 99% ethanol $200\mu l$ 를 혼합한 후 spinculum으로 옮겨 6000g 에서 1분 동안 centrifuge하였다. spinculum에 Buffer AW1 $500\mu l$ 를 투여하고 6000g 에서 1분 동안 centrifuge한 후 Buffer AW2 $500\mu l$ 를 투여하여 20000g 3분 동안 centrifuge하였다. 이후 1.5ml tube로 시료를 옮겨 Buffer AE $200\mu l$ 을 투여하고 1분 동안 실온에 두어 반응한 후 6000g 에서 1분 동안 centrifuge하였다. 총 5차례의 현장 조사를 통해 얻은 필터에서 추출한 DNA 샘플 120개는 NGS 분석 전까지 -20°C 냉동고에 보관하여 오염의 가능성을 최소화하였다.

■ 차세대 염기서열(NGS) 메타바코딩 분석

추출한 DNA를 증폭하기 위하여 Ushio et al.(2018)에서 제안한 범용 프라이머인 MiBird를 이용하여 2단계 PCR을 진행하였다. Ushio et al.(2018) 연구 방법을 참고하여 low density 개선을 위해 6개의 랜덤 염기(N)가 결합된 MiBird-mix 프라이머를 사용하여 Miseq 시퀀싱 분석을 진행하였다. Illumina 사의 Nextera index kit를 사용하여 표적 영역을 증폭시키기 위한 1차 PCR를 먼저 진행하였다. $2x$ KAPA HiFi HotStart ReadyMix (KAPABiosystems, USA) $6.0\mu l$ 과 MiBird-mix 프라이머 ($5\mu M$ primer F/R) 각각 $0.7\mu l$, 멸균된 증류수 $2.6\mu l$, 진관동 습지에서 취득하여 추출한 DNA $2.0\mu l$ 의 혼합물 $12\mu l$ 을 이용하여

PCR을 진행하였다. 94°C에서 3분 동안 초기 DNA 변성을 진행한 후 DNA 변성을 위하여 98°C에서 20초, 65°C에서 Annealing 15초, 프라이머 신장을 위하여 72°C에서 15초의 과정을 35회 반복 수행한 후, 5분 동안 72°C를 유지하다 2차 PCR 전까지 4°C에서 보관하였다. 1차 PCR 산물을 정제하여 진행한 2차 PCR은 2x KAPA HiFi HotStart ReadyMix 12 μ l와 2차 PCR 프라이머 (5 μ M primer F/R, Table 5) 각각 1.4 μ l, 멸균된 증류수 7.2 μ l, 1차 PCR 산물 2.0 μ l의 혼합물 24 μ l로 진행하였다. 95°C에서 3분 동안 초기 DNA 변성을 진행한 후 DNA 변성을 위하여 98°C에서 20초, Annealing과 신장을 위하여 72°C에서 15초의 과정을 12회 반복 수행한 후, 5분 동안 72°C를 유지하다 4°C에서 보관하였다. 2차 PCR 산물을 정제한 후 Illumina사의 sequencing chemistry ver3을 사용하여 Miseq 장비의 600 cycle mode로 염기서열분석을 진행하였다. Miseq 분석 결과 도출된 FASTA 파일은 Ushio et al.(2018)의 방법을 이용하여 각 시료별 염기서열과 구축되어있는 생물종 유전자 정보 DB와의 매칭을 수행하였다. DB와의 비교를 통하여 각 시료별 생물종 목록과 리드수 (total read), identity 등을 도출하였다.

[Table 5] Detailed information of MiBird primers and 2nd PCR primers from Ushio et al.(2018)

Primer name	Information
MiBird-U-F	ACACTTTCCCTACACGACGCTTCCGATCT NNNNNN GGGTTGGTAAATCTTGTGCCAGC
MiBird-U-R	GTGACTGGAGTTCAGACGTGTGCTTCCGATCT NNNNNN CATAGTGGGTATCTAACCCCAGTTG
2 nd PCR-F	AATGATACGGCGACCACCGAGATCTACAC XXXXXXXX ACACTTTCCCTACACGACGCTTCCGATCT
2 nd PCR-R	CAAGCAGAAGACGGCATACGAGAT XXXXXXXX GTGACTGGAGTTCAGACGTGTGCTTCCGATCT

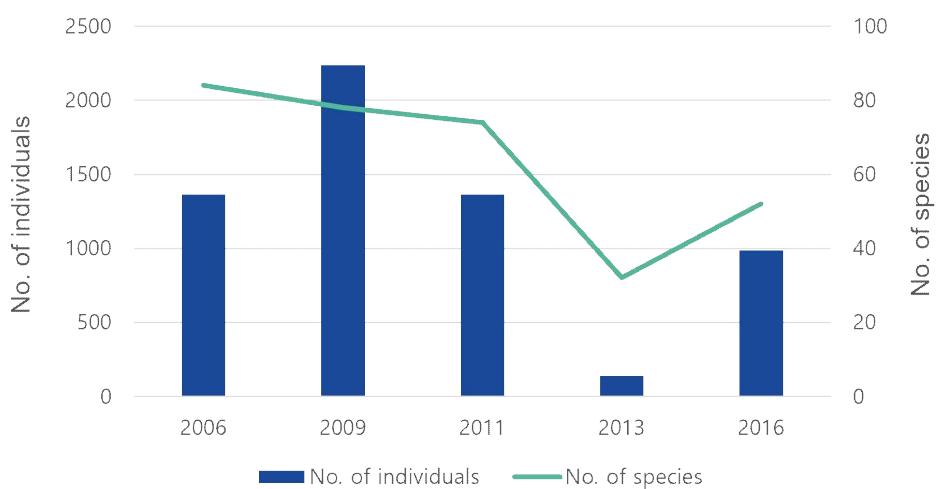
제 3장 연구 결과

1절. 모니터링 방법에 따른 진관동 습지 조류 다양성 분석

1. 과거 문현조사 결과

과거 진관동 습지에 서식하던 조류종에 대하여 문현조사를 진행한 결과, 법 정보호종인 원앙과 참매, 붉은배새매, 새매, 독수리, 새호리기, 황조롱이, 흰목 물떼새, 두견이, 수리부엉이, 까막딱다구리와 기후변화 생물지표종인 해오라기, 흰날개해오라기, 중대백로, 쇠백로, 왜가리, 뼈꾸기, 소쩍새, 제비, 산솔새, 박새, 꾀꼬리, 큰부리까마귀 등 총 35과 97종이 확인되었다. 그중 톱새는 20과 34종으로 가장 많았고 여름철새 18과 33종, 겨울철새 9과 17종, 나그네새 8과 14종 순으로 많이 관찰되었다. 도래 현황이 2가지로 나타난 노랑배진박새는 겨울철새와 나그네새 모두 포함하여 계산하였다.

진관동 습지에 서식하는 생물상의 변화를 확인하기 위하여 조류종의 종수와 개체수를 시간의 변화에 따라 비교하였다 (Figure 4). 종수와 개체수 모두 시간이 지남에 따라 전반적으로 감소하는 추세를 보이며, 그중 2013년의 결과가 눈에 띄게 차이가 나는 것을 확인할 수 있다. 황보연 외. (2014)와 김지석 외. (2016)을 모두 활용한 다른 시기와 달리 2013년의 조류상은 황보연 외. (2014)의 결과만을 반영하여 이러한 차이를 보인 것으로 판단된다. 과거 문현조사를 진행한 결과, 전반적으로 황보연 외. (2014)의 결과가 김지석 외. (2016)에 비하여 적은 개체수가 관찰된 것으로 확인되었다. 이는 목견 조사를 진행한 조사자에 따라 서식 개체수의 차이가 나타날 수 있다는 것을 의미하며 전통적인 현장 조사 방식의 목견 조사를 통한 생태계 모니터링은 조사자 개인의 역량에 따라 결과가 바뀔 수 있음을 의미한다.



[Figure 4] The fluctuation of number of avian species and individuals at Jingwan-Dong Wetland (2006, 2009, 2011, 2013 and 2016).

2. 목견 조사 결과

2022년 1월부터 6월 사이 진관동 습지에서 점 조사법으로 진행된 목견 조사 결과, 법정보호종인 붉은배새매와 기후변화 생물지표종인 청둥오리, 뼈꾸기, 박새, 큰부리까마귀를 포함하여 총 14과 22종이 관찰되었다 (Table 7). 조사 시기에 따라 1월에는 6과 11종, 2월 5과 9종, 3월 6과 6종, 4월 7과 10종, 5월 9과 13종, 6월 9과 12종이 관찰되었으며 그중 텃새가 9과 17종으로 가장 많았으며, 여름철새는 4과 4종, 겨울철새는 1과 1종이다.

2006년부터 2016년까지의 현장 조사에서는 발견되지 않았던 청둥오리가 추가적으로 관찰되었으며, 과거 문헌조사 결과와 결합하여 진관동 습지에 서식하거나 서식 가능성이 있는 조류종 목록을 도출하였다. 이는 관찰카메라와 환경DNA를 활용한 진관동 습지의 조류상 분석의 데이터베이스로 활용하였다.

[Table 6] The result of traditional field survey (point count census) at Jingwan-Dong Wetland (Jan-Jun, 2022).

Scientific name	Korean name	Migrant status	Observation period					
			Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
<i>Anas poecilorhyncha</i>	흰뺨검둥오리	Res				○		
<i>Anas platyrhynchos</i>	청둥오리 (c)	Res			○			
<i>Accipiter soloensis</i>	붉은배새매 (*, II)	SV						○
<i>Phasianus colchicus</i>	꿩	Res			s	s	s	s
<i>Streptopelia orientalis</i>	멧비둘기	Res	○		○	s	○	s
<i>Cuculus canorus</i>	빼꾸기 (c)	SV					s	s
<i>Eurystomus orientalis</i>	파랑새	SV					○	s
<i>Picus canus</i>	청딱다구리	Res	s		s			
<i>Dendrocopos major</i>	오색딱다구리	Res	s			s	s	s
<i>Hypsipetes amaurotis</i>	직박구리	Res	○	○	○	○	○	○
<i>Turdus hortulorum</i>	되지빠귀	SV				s		
<i>Paradoxornis webbianus</i>	붉은머리오목눈이	Res					○	○
<i>Poecile palustris</i>	쇠박새	Res	○				○	
<i>Parus ater</i>	진박새	Res		○				
<i>Parus varius</i>	곤줄박이	Res	○	○				
<i>Parus major</i>	박새 (c)	Res	○	○			○	
<i>Emberiza elegans</i>	노랑턱멧새	Res		○				
<i>Fringilla montifringilla</i>	되새	WV	○	○				
<i>Garrulus glandarius</i>	어치	Res	○	○		s	s	s
<i>Cyanopica cyanaus</i>	물까치	Res				s	○	s
<i>Pica pica</i>	까치	Res	s	s		s	○	s
<i>Corvus macrorhynchos</i>	큰부리까마귀 (c)	Res	○	○	○	s	○	s
Number of species			11	9	6	10	13	12

1. Res; Resident, SV; Summer Visitor, WV; Winter Visitor, PM; Passage Migrant

2. *; Korean natural monument, II ; Endangered species category II by designated by Ministry of Environment, c; Climate-sensitive biological indicator species

3. ○; Point count, s; Sound identification

3. 관찰카메라 모니터링 결과

2022년 1월 5일부터 6월 16일까지 161일 동안 진관동 습지에서 관찰카메라 모니터링을 진행한 결과 총 15,154개의 영상이 촬영되었다 (Table 8). 전체 관찰 기간 동안 촬영된 영상을 분석한 결과 법정보호종인 원앙, 참매와 기후변화 생물지표종인 해오라기, 중대백로, 왜가리, 청둥오리, 뼈꾸기, 산솔새, 박새, 큰부리까마귀를 포함하여 총 20과 47종이 관찰되었다 (Table 9, Figure 5). 촬영 시기에 따라 1월에는 11과 19종, 2월 12과 21종, 3월 12과 23종, 4월 13과 26종, 5월 17과 26종, 6월 7과 9종이 관찰되었으며 그중 텃새는 14과 24종, 겨울철새는 6과 9종, 여름철새는 6과 8종, 나그네새는 4과 7종이다. 도래 현황이 2가지로 나타난 노랑배진박새는 겨울철새와 나그네새 모두 포함하여 계산하였다. 과거 문헌조사와 목견 조사 결과로 도출한 진관동 습지 조류상 데이터베이스와 비교하였을 때, 총 91.5%의 일치율을 보였으며 흰등밭종다리와 칡때까치, 진홍가슴이 새롭게 발견되었다.

[Table 7] The number of raw videos by camera trapping at Jingwan-Dong Wetland (05.Jan-16.Jun, 2022).

zone	Camera trapping Period				
	22.01.05 – 22.02.16	22.02.16 – 22.03.16	22.03.16 – 22.04.20	22.04.20 – 22.05.05	22.05.05 – 22.06.16
A	412	1,273	135	203	1,969
B	-	747	1,639	104	97
C	-	832	634	70	114
D	-	-	174	179	1,760
E	-	-	800	-	1,846
F	-	-	1,472	47	647
Total	412	2,853	4,824	603	6,437
			15,154		

[Table 8] The result of camera trapping at Jingwan-Dong Wetland (Jan-Jun, 2022).

Scientific name	Korean name	Migrant status	Observation period					
			Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
<i>Nycticorax nycticorax</i>	해오라기 (c)	SV					○	
<i>Butorides striata</i>	검은땡기해오라기	SV					○	
<i>Ardea alba alba</i>	중대백로(대백로) (c)	WV		○				
<i>Ardea cinerea</i>	왜가리 (c)	Res		○	○	○		
<i>Aix galericulata</i>	원앙 (*)	Res			○	○		
<i>Anas poecilorhyncha</i>	흰뺨검둥오리	Res		○	○	○		
<i>Anas platyrhynchos</i>	청둥오리 (c)	Res		○	○	○		
<i>Accipiter gentilis</i>	참매 (*, II)	WV	○					
<i>Buteo buteo</i>	말뚱가리	WV		○				
<i>Phasianus colchicus</i>	꿩	Res	○	○	○	○	○	
<i>Streptopelia orientalis</i>	멧비둘기	Res	○	○	○	○		
<i>Cuculus canorus</i>	빼꾸기 (c)	SV				s	s	
<i>Picus canus</i>	청딱다구리	Res			○	○		
<i>Dendrocopos major</i>	오색딱다구리	Res	○		○			
<i>Dendrocopos leucotos</i>	큰오색딱다구리	Res		○				
<i>Dendrocopos kizuki</i>	쇠딱다구리	Res				○		
<i>Motacilla cinerea</i>	노랑할미새	SV			○			
<i>Anthus gustavi</i>	흰등발종다리	PM				○		
<i>Anthus hodgsoni</i>	횡등새	PM				○		
<i>Hypsipetes amaurotis</i>	직박구리	Res	○	○	○	○	○	
<i>Lanius tigrinus</i>	칡때까치	SV				○		
<i>Troglodytes troglodytes</i>	굴뚝새	Res	○		○			
<i>Luscinia calliope</i>	진홍가슴	PM				○		
<i>Phoenicurus auroreus</i>	딱새	Res	○			○		
<i>Zoothera dauma</i>	호랑지빼귀	SV				○		
<i>Turdus hortulorum</i>	되지빼귀	SV			○	○	○	
<i>Turdus eunomus</i>	개똥지빠귀	WV				○		
<i>Turdus naumanni</i>	노랑지빼귀	WV	○	○	○			
<i>Paradoxornis webbianus</i>	붉은머리오목눈이	Res	○	○	○	○	○	
<i>Phylloscopus occipitalis</i>	산솔새 (c)	SV					○	
<i>Aegithalos caudatus</i>	오목눈이	Res		○				
<i>Poecile palustris</i>	쇠박새	Res	○	○	○	○	○	
<i>Periparus venustulus</i>	노랑배진박새	WV, PM		○	○			
<i>Parus varius</i>	곤줄박이	Res	○	○	○			
<i>Parus major</i>	박새 (c)	Res	○	○	○	○	○	

[Table 8] The result of camera trapping at Jingwan-Dong Wetland (Jan-Jun, 2022). (continued)

Scientific name	Korean name	Migrant status	Observation period					
			Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
<i>Emberiza tristrami</i>	흰배멧새	PM				○		
<i>Emberiza chrysophrys</i>	노랑눈썹멧새	PM	○	○	○			
<i>Emberiza rustica</i>	쑥새	WV	○	○	○			
<i>Emberiza elegans</i>	노랑턱멧새	Res	○	○	○	○	○	
<i>Emberiza spodocephala</i>	촉새	PM			○			
<i>Fringilla montifringilla</i>	되새	WV	○	○	○	○		
<i>Carduelis sinica</i>	방울새	Res			○	○		
<i>Eophona migratoria</i>	밀화부리	WV	○	○	○			
<i>Garrulus glandarius</i>	어치	Res	○	○	○	○		
<i>Cyanopica cyanus</i>	물까치	Res	○	○	○	○	s	s
<i>Pica pica</i>	까치	Res	s	s	s	○	s	s
<i>Corvus macrorhynchos</i>	큰부리까마귀 (c)	Res	s	s	s	○	s	s
Number of species			19	21	23	26	26	9

1. Res; Resident, SV; Summer Visitor, WV; Winter Visitor, PM; Passage Migrant

2. *; Korean natural monument, II ; Endangered species category II by designated by Ministry of Environment, c; Climate-sensitive biological indicator species

3. ○; Camera trapping, s; Sound identification through video from camera trapping



[Figure 5] The part of avian species living at Jingwan-dong wetland from camera trapping (Jan-Jun, 2022).

4. 환경DNA 모니터링 결과

2022년 2월부터 6월까지 진관동 습지에서 진행된 환경DNA 샘플링을 통하여 총 120개의 샘플을 취득하였다 (Table 10). 2월과 3월에는 날씨의 영향으로 습지의 대부분이 얼어있어 환경DNA를 취득하기 어려웠으며 5월과 6월에는 관찰 카메라 모니터링이 진행되지 않는 구역에서도 환경DNA를 취득하여 진관동 습지 전반에 대한 샘플링을 진행하였다. 취득한 환경DNA를 이용하여 NGS 분석을 진행한 결과 법정보호종인 원앙과 기후변화 생물지표종인 왜가리, 검은이마직박구리, 박새를 포함하여 총 12과 15종이 검출되었다 (Table 11). 조사 시기에 따라 2월에는 조류종이 검출되지 않았으며 3월에는 2과 2종, 4월 7과 8종, 5월 5과 6종, 6월 8과 9종이 검출되었으며 그중 덧새는 9과 10종, 여름철새 3과 3종, 겨울철새와 나그네새는 각각 1과 1종이다. 과거 문헌조사와 목견 조사 결과로 도출한 진관동 습지 조류상 데이터베이스와 비교하였을 때, 총 53.3%의 일치율을 보였다.

[Table 9] The number of eDNA samples at Jingwan-Dong Wetland (Jan-Jun. 2022).

Point	Sample collection date				
	22.02.16	22.03.16	22.04.20	22.05.05	22.06.16
A	-	3	3	-	3
B	-	3	3	5	5
C	3	3	3	3	3
D	-	-	-	-	3
E	-	-	3	5	5
F	-	-	3	3	3
11	-	-	-	5	3
12	-	-	-	3	3
13	-	-	-	3	4
14	-	-	-	3	3
15	-	-	-	3	3
16	-	-	-	3	3
17	-	-	-	3	-
18	-	-	-	3	3
19	-	-	-	3	4
Total	3	9	15	45	48
			120		

[Table 10] The result of eDNA sampling at Jingwan-Dong Wetland (Jan-Jun, 2022).

Scientific name	Korean name	Migrant status	Observation period				
			Feb	Mar	Apr	May	Jun
<i>Butorides striata</i>	검은댕기해오라기	SV				○	○
<i>Ardea cinerea</i>	왜가리 (c)	Res			○	○	
<i>Aix galericulata</i>	원앙 (*)	Res			○		
<i>Tadorna tadorna</i>	흑부리오리	WV			○	○	○
<i>Phasianus colchicus</i>	꿩	Res					○
<i>Columba livia</i>	집비둘기	Res			○	○	
<i>Pycnonotus sinensis</i>	검은이마작박구리 (c)	Res			○		○
<i>Ficedula zanthopygia</i>	흰눈썹황금새	SV					○
<i>Paradoxornis webbianus</i>	붉은머리오목눈이	Res				○	○
<i>Poecile palustris</i>	쇠박새	Res					○
<i>Parus major</i>	박새 (c)	Res			○		○
<i>Emberiza pusilla</i>	쇠붉은뺨멧새	PM		○			
<i>Passer montanus</i>	참새	Res		○		○	
<i>Sturnus cineraceus</i>	찌르레기	SV			○		○
<i>Pica pica</i>	까치	Res			○		
Number of species			0	2	8	6	9

1. Res; Resident, SV; Summer Visitor, WV; Winter Visitor, PM; Passage Migrant

2. *; Korean natural monument, c; Climate-sensitive biological indicator species

2절. 계절에 따른 진관동 습지 조류 다양성 분석

2022년 1월부터 6월까지 진관동 습지에서 관찰카메라와 환경DNA를 활용하여 진행한 모니터링 결과, 총 23과 55종이 확인되었다 (Figure 6). 1월에는 낮은 온도로 인하여 습지가 얼어 환경DNA 샘플링을 진행할 수 없었으며 관찰카메라 모니터링을 통하여 총 12과 19종이 관찰되었다. 2월에는 환경DNA 샘플링이 진행되었으나 조류종이 검출되지 않았으며 관찰카메라 모니터링을 통하여 총 12과 20종이 관찰되었다. 3월에는 총 15과 26종이 확인되었으며 그 중 관찰카메라와 환경DNA를 통해 모두 관찰된 종은 없다. 4월에는 총 18과 31종이 확인되었으며 관찰카메라와 환경DNA를 통하여 모두 확인된 종은 4과 4종이다. 5월에는 총 19과 32종이 확인되었으며 관찰카메라와 환경DNA를 통하여 확인된 종은 2과 3종이다. 6월에는 총 14과 19종이 확인되었으며 그 중 관찰카메라와 환경DNA를 통하여 모두 확인된 종은 3과 3종이다.

진관동 습지에 서식하는 조류종을 모니터링 방법에 따라 비교한 결과, 전체 관찰 기간 동안 관찰카메라에서만 관찰된 종은 총 19과 40종으로 법정보호종인 참매와 기후변화 생물지표종인 해오라기, 중대백로, 청둥오리, 뼈꾸기, 산솔새, 큰부리까마귀를 포함한다. 월별로 관찰카메라 모니터링에서만 관찰된 조류는 1월 12과 19종이고, 2월 12과 20종, 3월 14과 23종, 4월 12과 22종, 5월 15과 25종, 6월 7과 10종이다. 전체 관찰 기간 동안 환경DNA를 활용한 모니터링에서만 확인된 종은 총 7과 7종으로 기후변화 생물지표종인 검은이마직박구리를 포함한다. 월별로 환경DNA를 활용한 모니터링에서만 관찰된 조류는 3월 2과 2종, 4월 4과 4종, 5월 3과 3종, 6월 6과 6종이다. 그중 진관동 습지 조류상 데이터베이스에 있는 종은 참새와 찌르레기, 흰눈썹황금새로 서식 가능성이 충분한 종으로 판단된다.

Family	Scientific name	English name	Migrant status	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
Ardeidae	<i>Nycticorax nycticorax</i>	해오라기 (c)	SV						
	<i>Butorides striata</i>	검은머리해오라기	SV						
	<i>Ardea alba alba</i>	중대백로(대백로) (c)	WV						
	<i>Ardea cinerea</i>	왜가리 (c)	Res						
Anatidae	<i>Aix galericulata</i>	위왕 (*)	Res						
	<i>Anas poecilorhyncha</i>	한반점검둥오리	Res						
	<i>Anas platyrhynchos</i>	정동오리 (c)	Res						
	<i>Tadorna tadorna</i>	죽부리오리	WV						
Accipitridae	<i>Accipiter gentilis</i>	점매 (*, II)	WV						
	<i>Buteo buteo</i>	말똥가리	WV						
Phasianidae	<i>Phasianus colchicus</i>	꿩	Res						
Columbidae	<i>Sturnopelia orientalis</i>	멧비둘기	Res						
Cuculidae	<i>Cuculus canorus</i>	怍구기 (c)	SV						
Coraciidae	<i>Eurystomus orientalis</i>	파랑새	SV						
Picidae	<i>Picus canus</i>	청백다구리	Res						
	<i>Dendrocopos major</i>	오색백다구리	Res						
	<i>Dendrocopos leucotos</i>	큰오색딱다구리	Res						
	<i>Dendrocopos kizuki</i>	쇠딱다구리	Res						
Motacillidae	<i>Motacilla cinerea</i>	노랑발미새	SV						
	<i>Anthus gustavi</i>	황등발총다리	PM						
	<i>Anthus hodgsoni</i>	횡등새	PM						
Pycnonotidae	<i>Hypsipetes amaurotis</i>	작백구리	Res						
	<i>Pycnonotus sinensis</i>	검은미마작백구리	Res						
Laniidae	<i>Lanius tigrinus</i>	칠때까치	SV						
Troglodytidae	<i>Troglodytes troglodytes</i>	골독새	Res						
Muscicapidae	<i>Luscinia calliope</i>	진홍가슴	PM						
	<i>Phoenicurus auroreus</i>	딱새	Res						
	<i>Ficedula zanthopygia</i>	황금샘활금새	SV						
Tiuidae	<i>Zosterops dauma</i>	호랑지怍구	SV						
	<i>Turdus hortulorum</i>	도자怍구	SV						
	<i>Turdus eunomus</i>	개똥지怍구	WV						
	<i>Turdus naumanni</i>	노랑지怍구	WV						
Paradoxornithidae	<i>Paradoxornis webbianus</i>	붉은머리오목눈이	Res						
Phylloscopidae	<i>Phylloscopus occipitalis</i>	산솔새 (c)	SV						
Aegithalidae	<i>Aegithalos caudatus</i>	오목눈이	Res						
Paridae	<i>Poecile palustris</i>	쇠박새	Res						
	<i>Periparus venustulus</i>	노랑배진박새	WV, PM						
	<i>Parus varius</i>	곤충박이	Res						
	<i>Parus major</i>	박새 (c)	Res						
Emberizidae	<i>Emberiza tristrami</i>	흰배멧새	PM						
	<i>Emberiza chrysophrys</i>	노랑눈썹멧새	PM						
	<i>Emberiza rustica</i>	숙새	WV						
	<i>Emberiza elegans</i>	노랑턱멧새	Res						
	<i>Emberiza pusilla</i>	쇠뿔은뺨멧새	PM						
	<i>Emberiza spodocephala</i>	총새	WV, PM						
Fringillidae	<i>Fringilla montifringilla</i>	도새	WV						
	<i>Carduelis sinica</i>	방울새	Res						
	<i>Eophona migratoria</i>	밀화무리	WV						
Passeridae	<i>Passer montanus</i>	참새	Res						
Sturnidae	<i>Sturnus cineraceus</i>	찌르레기	SV						
Dicruridae	<i>Garrulus glandarius</i>	어치	Res						
	<i>Cyanopica cyana</i>	물까치	Res						
	<i>Pica pica</i>	까치	Res						
	<i>Corvus macrorhynchos</i>	큰부리까마귀 (c)	Res						

[Figure 6] The result of ecological monitoring using camera trapping and eDNA at Jingwan-Dong Wetland (Jan-Jun, 2022).

*: Korean natural monument,
II : Endangered species category II
by designated by Ministry of Environment
c: Climate-sensitive biological indicator species

3절 수생태계에 따른 진관동 습지 조류 다양성 분석

관찰카메라와 환경DNA를 활용하여 진관동 습지 내에 서식하는 조류종을 수 생태계 유형에 따라 구분한 결과는 다음과 같다 (Figure 7). 환경의 유형에 따라 서식하는 조류종을 분류하기 위하여 관찰카메라의 경우, 소리 동정의 결과는 반영하지 않았다. 유수환경에서 관찰카메라를 통하여 관찰한 종은 17과 31 종이고 환경DNA를 통하여 관찰한 종은 6과 7종이며 두 방법 모두 확인된 종은 4과 5종이다. 얇은 정수환경에서 관찰카메라를 통하여 관찰한 종은 14과 25종이고 환경DNA를 통하여 관찰한 종은 8과 9종이며 두 방법 모두 확인된 종은 4과 4종이다. 깊은 정수환경에서 관찰카메라를 통하여 관찰한 종은 13과 20종이고 환경DNA를 통하여 관찰한 종은 6과 7종이며 두 방법 모두 확인된 종은 2과 2종이다.

조류종은 서식 환경에 따라 크게 산새와 물새로 분류할 수 있는데 물새를 대표할 수 있는 백로과(*Ardeidae*)와 오리과(*Anatidae*)의 경우, 관찰카메라와 환경DNA를 활용한 모니터링 모두 수생태계의 유형과 관계없이 관찰되었다. 수 환경으로의 접근이 적은 생태적인 특성을 보여 산새를 대표할 수 있는 딱다구리과(*Picidae*)와 솔딱새과(*Muscicapidae*)의 경우, 유수환경을 위주로 관찰되었다. 딱따구리과의 경우, 관찰카메라를 활용한 모니터링에서는 유수환경과 얇은 정수환경에서 관찰되었으나 환경DNA를 활용한 모니터링에서는 검출되지 않았다. 이는 수환경으로 방출되는 DNA가 적어 검출되지 않은 것으로 판단된다.

환경DNA를 활용한 모니터링에서만 검출된 7종 중 5종은 깊은 정수환경에서 검출되었다. 이는 생물종이 환경으로 방출한 DNA를 검출해내는 환경DNA 방 법이 가진 특징으로, DNA의 유실 가능성이 큰 유수환경과 수환경으로의 DNA의 축적이 비교적 적은 얇은 정수환경에 비하여 깊은 정수환경이 많은 환경 DNA를 보유하고 있음을 의미한다.

Family	Scientific name	English name	Migrant status	Camera trapping	Both	eDNA
Ardeidae	<i>Nycticorax nycticorax</i>	해오라기 (c)	SV	[light green]		
	<i>Butorides striata</i>	검은댕기해오라기	SV	[dark green]		
	<i>Ardea alba alba</i>	중대백로(대백로) (c)	WV	[light green]	[light green]	
Anatidae	<i>Ardea cinerea</i>	왜가리 (c)	Res	[pink]	[light green]	[dark green]
	<i>Aix galericulata</i>	월영 (*)	Res	[pink]	[light green]	
	<i>Anas poecilorhyncha</i>	흰발검둥오리	Res	[light green]	[dark green]	
	<i>Anas platyrhynchos</i>	청둥오리 (c)	Res	[light green]	[dark green]	
Accipitridae	<i>Tadorna tadorna</i>	죽부리오리	WV			
	<i>Accipiter gentilis</i>	참매 (*, II)	WV	[pink]		
	<i>Buteo buteo</i>	말풀가리	WV	[light green]	[dark green]	
Phasianidae	<i>Phasianus colchicus</i>	꿩	Res			
Columbidae	<i>Streptopelia orientalis</i>	멧비둘기	Res	[pink]	[dark green]	
	<i>Columba livia</i>	집비둘기	Res			
Picidae	<i>Picus canus</i>	청딱다구리	Res	[light green]		
	<i>Dendrocopos major</i>	오색딱다구리	Res	[pink]		
	<i>Dendrocopos leucotos</i>	큰오색딱다구리	Res			
	<i>Dendrocopos kizuki</i>	쇠딱다구리	Res			
Motacillidae	<i>Motacilla cinerea</i>	노랑할미새	SV	[pink]		
	<i>Anthus gustavi</i>	흰등발종다리	PM	[light green]		
	<i>Anthus hodgsoni</i>	형동새	PM	[pink]		
Pycnonotidae	<i>Hypsipetes amaurotis</i>	작박구리	Res			
	<i>Pycnonotus sinensis</i>	검은이마진박구리	Res			
Laniidae	<i>Lanius tigrinus</i>	칠때까치	SV	[light green]		
Troglodytidae	<i>Troglodytes troglodytes</i>	굴뚝새	Res	[pink]		
Muscicapidae	<i>Luscinia calliope</i>	진홍가슴	PM	[pink]		
	<i>Phoenicurus auroreus</i>	딱새	Res			
	<i>Ficedula zanthopygia</i>	흰눈썹황금새	SV			
Turdidae	<i>Zoothera dauma</i>	호랑지빠귀	SV	[light green]		
	<i>Turdus hortulorum</i>	되자빠귀	SV	[pink]	[dark green]	
	<i>Turdus cinnamomeus</i>	개똥지빠귀	WV	[pink]		
	<i>Turdus naumanni</i>	노랑지빠귀	WV	[pink]	[dark green]	
Paradoxornithidae	<i>Paradoxornis webbianus</i>	붉은머리오목눈이	Res			
Phylloscopidae	<i>Phylloscopus occipitalis</i>	신술새 (c)	SV	[light green]		
Aegithalidae	<i>Aegithalos caudatus</i>	오목눈이	Res	[pink]	[dark green]	
Paridae	<i>Poecile palustris</i>	쇠박새	Res			
	<i>Periparus venustulus</i>	노랑배진딱새	WV, PM	[pink]		
	<i>Parus varius</i>	곤줄비이	Res	[dark green]		
	<i>Parus major</i>	딱새 (c)	Res	[pink]	[dark green]	
Emberizidae	<i>Emberiza tristrami</i>	흰배딱새	PM	[pink]		
	<i>Emberiza chrysophrys</i>	노랑눈썹딱새	PM	[light green]	[dark green]	
	<i>Emberiza rustica</i>	숙새	WV	[light green]	[dark green]	
	<i>Emberiza elegans</i>	노랑턱딱새	Res	[light green]	[dark green]	
	<i>Emberiza pusilla</i>	쇠뿔은뺨딱새	PM			
	<i>Emberiza spodocephala</i>	촉새	WV, PM	[pink]		
Fringillidae	<i>Fringilla montifringilla</i>	되새	WV	[pink]	[dark green]	
	<i>Carduelis sinica</i>	방울새	Res			
	<i>Lophophanes migratoria</i>	밀화부리	WV	[pink]		
Passeridae	<i>Passer montanus</i>	참새	Res			
	<i>Sturnus cinereus</i>	찌르레기	SV			
Dicruridae	<i>Garrulus glandarius</i>	어치	Res	[pink]	[dark green]	
	<i>Cyanopica cyanaus</i>	물까치	Res	[light green]	[dark green]	
	<i>Pica pica</i>	끼치	Res	[light green]	[pink]	
	<i>Corvus macrorhynchos</i>	큰부리까마귀 (c)	Res			

[Legend] Observed at lotic ecosystem
 [Light green] Observed at shallow lentic ecosystem
 [Dark green] Observed at deep lentic ecosystem

*: Korean natural monument,
 II: Endangered species category II
 by designated by Ministry of Environment
 c: Climate-sensitive biological indicator species

[Figure 7] The result of camera trapping and eDNA sampling divided by Aquatic ecosystem at Jingwan-Dong Wetland (Jan-Jun, 2022).

제 5장 결론 및 고찰

1절. 모니터링 방법에 따른 조류 다양성 결과 비교

본 연구는 생물다양성 및 환경변화의 지표로 흔히 사용되는 조류종 조사를 보다 효율적으로 진행하기 위하여 두 가지의 모니터링 방법을 동시에 진행하였다. 그 결과 총 23과 55종의 조류가 진관동 습지에 서식하는 것을 확인하였다. 관찰카메라 모니터링을 통하여 총 20과 47종이 관찰되었으며 환경DNA 방법을 통하여 총 12과 15종이 검출되었다.

진관동 습지의 조류상 데이터베이스를 만들기 위하여 진행한 목견 조사의 경우, 과거 문헌조사에 비하여 비교적 적은 종을 관찰하였다. 전체 관찰종 중 철새가 77.3%, 여름철새 18.2%, 겨울철새 4.5%로 계절에 따른 철새의 비율이 현저히 적게 나타났다. 이는 겨울철 습지로의 접근성이 낮아 작은 산새류를 목견하기 어려운 점과 우거진 여름의 식생으로 인하여 종을 목견하기 어려운 점이 원인으로 보인다. 더불어 솔새과 등 소리를 이용하여 동정하는 경우가 많은 종의 확인이 적어 결과에 영향을 미친 것으로 보인다. 이처럼 목견 조사는 연구자의 능력에 따라 결과가 상이할 수 있으며 환경적인 요인의 영향이 크다고 볼 수 있다. 이러한 현장 조사 방식의 단점을 보완하기 위하여 관찰카메라와 환경DNA를 활용한 모니터링 결과를 비교 분석하였다.

과거 문헌조사와 목견 조사 결과로 도출한 진관동 습지 조류상 데이터베이스와 비교하였을 때, 새롭게 발견된 종은 총 7과 7종으로 혹부리오리, 집비둘기, 흰등밭종다리, 검은이마직박구리, 진홍가슴, 칡때까치, 쇠붉은뺨멧새이다. 그중 흰등밭종다리와 진홍가슴, 칡때까치 3종은 관찰카메라 모니터링을 통하여 관찰하였고, 혹부리오리, 집비둘기, 검은이마직박구리, 쇠붉은뺨멧새 4종은 환경DNA 방법을 통하여 확인하였다. 새로운 모니터링 방법을 통하여 새롭게 관찰된 종들에 대하여 이들이 실제로 진관동 습지에 서식하는지에 대한 의문

이 제기할 수 있으며 이에 대한 검증이 필요하다.

관찰카메라 모니터링은 현장 조사 방식의 모니터링에 비하여 시간적 한계가 없고, 소리 동정과 육안 동정을 동시에 진행 가능하여 높은 정확성을 보인다. 그러나 카메라 범위 내에 종을 동정할 수 있는 수준으로 개체가 촬영되어야 확인 및 동정할 수 있다는 공간적인 한계가 있다. 또한 크기가 작은 산새류의 경우 영상 해상도 등의 문제로 종 동정을 위한 특징을 잡아내기가 어려우며 움직임이 감지되고 촬영이 진행되기까지 걸리는 시간으로 인하여 움직임이 빠른 조류는 촬영이 되지 않는다는 단점이 있다. 이를 바탕으로 관찰카메라를 통하여 새롭게 관찰된 종들을 다시 살펴볼 필요가 있다. 관찰카메라를 통하여 관찰된 진홍가슴은 수컷 1개체로 동정에 필요한 특징이 정확하게 확인되었으나 칡때까치의 경우, 날아가는 모습이 촬영되어 다른 종과 혼동될 가능성�이 있다 (Figure 8). 흰등발종다리는 유사하게 생긴 종이 많은 할미새과에 속하는 종으로 자문을 구하여 동정하였음에도 불구하고 동정의 정확성에 대한 의구심은 사라지지 않는다 (Figure 8). 본 연구에서는 토새 51%, 겨울철새 19%, 여름철새 17%, 나그네새 15%로 계절에 따른 철새의 비율이 낮게 나타났다. 이는 1월 5일부터 6월 16일까지의 촬영본을 분석하여 결과에 반영하였기에 6월에 대한 데이터가 부족하여 여름철새 및 나그네새의 비율이 낮게 나온 것으로 판단된다. 그러나 진관동 습지 조류상 데이터베이스와 도래현황에 따른 비율은 비슷하게 분석되었기에 전반적인 계절상을 반영하였다고 할 수 있다.

관찰카메라를 활용한 모니터링을 진행하며 취득한 15,154개의 영상 중 생물 종이 촬영된 영상을 분류한 결과, 총 59%의 취득률이 확인되었다. 시기에 따라 영상 취득률을 분류한 결과, 5월에서 6월이 45%로 가장 낮았으며 1월과 2월이 82%로 가장 높게 나타났다 (Table 12). 이는 계절에 따라 식생이 성장하여 관찰카메라 내에 감지되는 식생의 영향이 큰 것으로 확인된다.

본 연구에서는 기존 연구가 많이 진행되지 않았던 조류종에 환경DNA 방법을 적용하여 환경DNA 메타바코딩 분석을 적용하였다. 그 결과 도출된 조류종

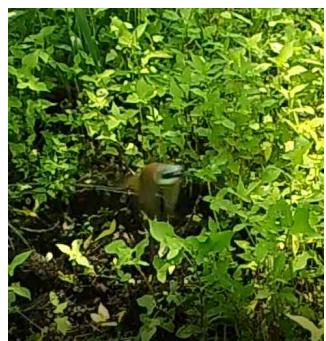
목록은 토생 67%, 여름철새 20%, 나그네새와 겨울철새 각각 7%로 나타났다. 이를 통하여 환경DNA를 활용한 모니터링에서도 조류의 계절성을 반영함을 확인하였다. 또한 1L 이하의 sampling volume 내에서는 sampling volume이 검출 종 수에 큰 영향을 미치지 않음을 확인할 수 있다 (Table 13). 이를 통하여 환경DNA 방법을 적용한 생물다양성 연구는 어류, 포유류뿐만 아니라 조류에서도 적은 양의 환경 시료를 이용하여 생물종을 비교적 쉽게 검출해낼 수 있다는 장점이 확인되었다. 그러나 눈으로 생물종을 확인할 수 없는 DNA를 활용한 연구 특성상, 기준의 데이터베이스 및 생물종의 생태적 특성 등을 바탕으로 정확하게 분류되었는지 확인이 필요하다. 본 연구에서 환경DNA 방법으로 추가 확인된 4종 중에서 혹부리오리와 검은이마직박구리, 쇠붉은뺨멧새는 도래 현황과 서식 환경 등의 기준을 통하여 진관동 습지에 서식하기 어려운 종으로 판단된다. 이는 환경DNA가 지난 한계점으로 적응방산의 방식으로 진화를 거듭한 조류의 특성에 따라 같은 과에 속하는 다른 종의 DNA가 잘못 검출되었을 가능성이 있다 (Table 14). 집비둘기의 경우, 도시 내 습지라는 진관동 습지의 특성에 따라 서식 가능성이 있으나 앞서 언급한 3종과 같이 같은 과에 속하는 다른 종의 DNA가 잘못 검출되었을 가능성이 있다 (Table 14). 따라서 조류종의 생물다양성을 판단하기 위하여 환경DNA 메타바코딩을 적용하기 위해서는 보다 정확한 유전학적 분류가 필요할 것으로 보인다. 조류종에 특화된 locus 선택과 지역에 맞는 생물종 DB 구축 등을 바탕으로 효율성이 높은 범용 프라이머의 개발을 통한 지속적인 연구가 필요하며 수환경과의 접촉 시간이 적은 산새류 검출을 위하여 토양 및 다른 환경 매체를 이용한 프라이머 개발 역시 필요할 것으로 보인다.

[Table 11] The number and rate of videos that filmed birds species by camera trapping at Jingwan-Dong Wetland (05.Jan-16.Jun, 2022).

zone	Camera trapping Period				
	22.01.05 – 22.02.16	22.02.16 – 22.03.16	22.03.16 – 22.04.20	22.04.20 – 22.05.05	22.05.05 – 22.06.16
A	338 / 412	888 / 1,273	108 / 135	102 / 203	807 / 1,969
B	-	373 / 747	885 / 1,639	65 / 104	17 / 97
C	-	665 / 832	494 / 634	52 / 70	70 / 114
D	-	-	82 / 174	177 / 179	864 / 1,760
E	-	-	688 / 800	-	793 / 1,846
F	-	-	1,207 / 1,472	29 / 47	362 / 647
Total	82%	68%	71%	71%	45%
	59% (9,066 / 15,154)				



Luscinia calliope



Lanius tigrinus



Anthus gustavi

[Figure 8] The suspected species that identified through camera trapping at Jingwan-dong wetland (Jan-Jun, 2022).

[Table 12] The sampling volume and the number of detected species at each eDNA sampling point at Jingwan-Dong Wetland (Jan-Jun, 2022).

Zone	Feb		Mar		Apr		May		Jun	
	volume	species								
A	-	-	900mL	1	900mL	4	-	-	900mL	4
B	-	-	210mL	0	480mL	4	150mL	5	150mL	5
C	900mL	2	750mL	3	750mL	4	300mL	2	900mL	4
D	-	-	-	-	-	-	-	-	570mL	4
E	-	-	-	-	330mL	6	420mL	3	390mL	3
F	-	-	-	-	570mL	2	720mL	2	870mL	1
11	-	-	-	-	-	-	150mL	2	810mL	3
12	-	-	-	-	-	-	360mL	1	540mL	5
13	-	-	-	-	-	-	450mL	2	420mL	4
14	-	-	-	-	-	-	300mL	1	510mL	2
15	-	-	-	-	-	-	900mL	4	420mL	3
16	-	-	-	-	-	-	300mL	3	900mL	3
17	-	-	-	-	-	-	900mL	3	-	-
18	-	-	-	-	-	-	900mL	4	900mL	2
19	-	-	-	-	-	-	900mL	2	900mL	4

[Table 13] The suspected species that detected through eDNA sampling and similar species that included same family at Jingwan-dong wetland (Jan-Jun, 2022).

Scientific name	Korean name	Migrant status	Observation period				
			Feb	Mar	Apr	May	Jun
<i>Anas poecilorhyncha</i>	흰뺨검둥오리	Res		○	○○	○	
<i>Anas platyrhynchos</i>	청둥오리 (c)	Res		○○	○	○	
<i>Tadorna tadorna</i>	흑부리오리	WV			●		●
<i>Streptopelia orientalis</i>	멧비둘기	Res	○	○	○○	○○	○
<i>Columba livia</i>	집비둘기	Res			●	●	
<i>Hypsipetes amaurotis</i>	직박구리	Res	○○	○○	○○	○○	○○
<i>Pycnonotus sinensis</i>	검은이마직박구리 (c)	Res			●		●
<i>Emberizastrisrami</i>	흰배멧새	PM			○		
<i>Emberizachrysophrys</i>	노랑눈썹멧새	PM	○	○			
<i>Emberizarustica</i>	쑥새	WV	○	○			
<i>Emberizaelegans</i>	노랑턱멧새	Res		○	○	○	
<i>Emberiza pusilla</i>	쇠붉은뺨멧새	PM		●			

○; identified through point count census

○○; identified through camera trapping,

●; detected through eDNA sampling

2절. 도시생태계에 적합한 생물다양성 모니터링 방법

본 연구는 서울이라는 대도시 내에 위치한 북한산국립공원의 진관동 습지를 대상으로 진행되었다. 산림생태계와 습지생태계가 만나 다양한 서식 환경이 형성되며 풍부한 생물다양성을 지니고 있지만 인간의 활동으로 인하여 훼손의 위험성을 지닌 도시 습지를 대상으로 모니터링 방법에 따른 조류상 결과를 비교하였다. 빠르게 변화하는 도시생태계의 생물상을 비교적 효율적으로 파악하기 위하여 기존의 현장 조사 방식의 단점을 보완하는 두 가지의 모니터링 방법을 활용하였다.

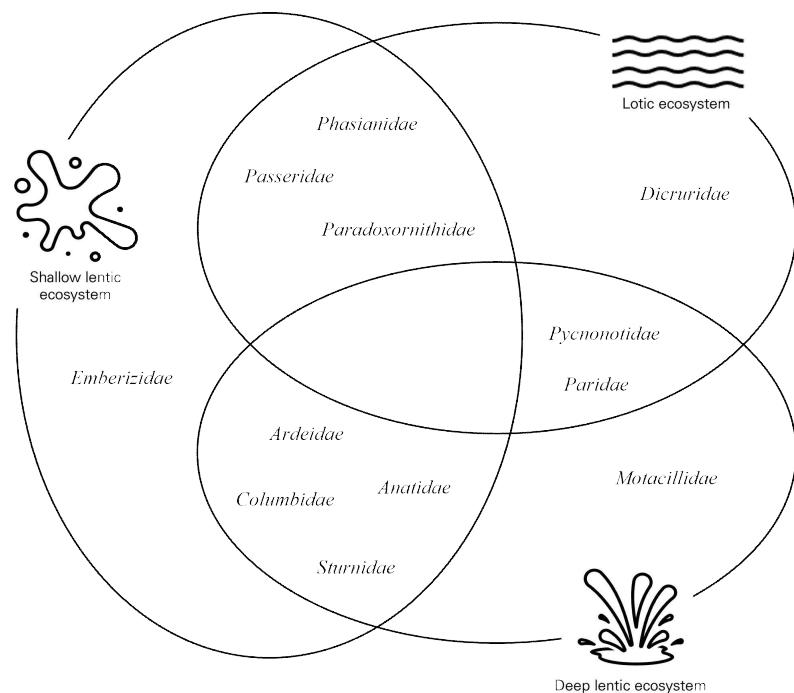
비교적 좁은 면적에서 고밀도로 진행된 관찰카메라 모니터링을 통하여 지난 10년간의 데이터베이스에는 없던 3과 3종의 새로운 조류종을 관찰하였다. 수생태계의 유형과 습지의 단계에 따라 분류한 구역에 맞추어 설치된 6대의 관찰카메라를 통하여 24시간 동안 진행된 촬영을 바탕으로 취득한 영상을 분석하여 진행되었다. 이는 현장 조사 방식의 모니터링이 지난 시간적인 한계를 보완할 수 있었으나 접근 가능한 지역에만 카메라를 설치할 수 있고 일정 각도 내에 촬영된 종만을 분석할 수 있다는 공간적인 한계는 여전히 지니고 있다. 현장 조사 방식과 마찬가지로 개체수를 측정할 수는 있었으나 화면 내에서 움직이는 종과 화면 밖에서 소리로 들리는 종, 그림자로 확인되는 종 등의 부정확한 면이 있어 본 연구에서는 반영하지 않았다. 그러나 관찰카메라를 활용한 모니터링의 경우, 비교적 정확한 종 동정이 가능하고 전체 생태계를 대상으로 진행되어 목표하지 않은 분류군의 정보를 추가적으로 얻을 수 있다. 본 연구에서는 조류종 외에도 총 7과 8종의 포유류를 관찰하였다 (Table 15). 이는 특정 분류군의 전문가가 현장에 동행해야 하는 현장 조사 방식과 달리 촬영된 영상을 분석하는 관찰카메라 모니터링이 지난 장점으로 한 번의 조사를 통하여 다양한 분류군의 많은 정보를 취득할 수 있음을 확인하였다. 이렇게 도출한 종목록은 현장 조사 방식에 비하여 확장된 것이라 말할 수 있으며,

추후 대상지에 대한 환경관리계획 및 복원계획의 근거로 이용될 수 있다. 또한 방법 자체의 유효성이 검증되었기에 다른 모니터링 방법을 이용할 때 필요한 데이터베이스로 이용될 수 있다.

조류종을 대상으로 15개의 샘플링 지점에서 취득한 샘플을 활용하여 환경DNA 메타바코딩 분석을 통해 진관동 습지에 서식하는 조류상을 파악하였다. 환경DNA 연구는 주로 눈으로 확인하기 어려운 수환경에 서식하는 어류를 대상으로 진행되었으며 이에 대한 연구는 충분히 진행되어 유효성이 검증된 상태이다. 그러나 육상 생태계에 대한 연구는 거대한 포유류를 중심으로 진행되고 있어, 본 연구는 부족하게 진행되었던 조류종에 대한 환경DNA 연구의 확장이 될 수 있으며 취득한 환경DNA 결과는 추후 연구의 데이터베이스로 이용될 수 있다. 본 연구를 통하여 환경DNA 메타바코딩을 활용한 연구는 특정 종을 제외하고는 과 단위의 분류가 가능한 것으로 확인되었다. 본 연구에서는 유수환경에서 6과, 얕은 정수환경에서 8과, 깊은 정수환경에서 6과의 조류가 검출되었는데 (Figure 9), 이는 서식 환경에 따른 대표적인 종들의 서식을 환경DNA로 확인할 수 있음을 시사한다. 도시에서 녹지는 주로 인간의 영향으로 인하여 훼손되거나 새롭게 창조되는 경우가 많으며 정확한 생물종목록보다는 특정 종들의 서식 또는 각 대상지 간의 우선순위를 파악할 필요가 있다. 이때 환경DNA를 활용하여 과 단위의 종목록을 도출할 경우, 적은 노력과 비용으로 많은 대상지를 수치적으로 비교할 수 있으며 이를 기준으로 복원 및 보전 계획을 수립할 수 있다. 또한 본 연구에서 사용한 범용 프라이머인 MiBird는 포유류 범용 프라이머인 MiMammal을 발전시킨 것으로 한 번의 분석을 통하여 조류뿐만 아니라 포유류의 검출까지 가능한 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 총 6과 7종의 포유류를 검출하였다 (Table 15). 따라서 환경DNA를 활용한 메타바코딩 연구는 개체수 및 바이오매스 등이 필요하지 않은 도시생태계의 연구에서 다양한 분류군을 한 번에 조사하여 활용하기에 적합할 것으로 판단된다.

도시에서 이루어지는 생태계 모니터링은 데이터 이용자의 요구와 관련이 있으며 어떠한 목표를 지니고 진행된다. 이에 보다 효율적으로 생태계 모니터링을 진행하고 성공적으로 이끌기 위해서는 사전 목표 설정과 정확한 모니터링 과정 설정이 필요하다. 본 연구에서 진행한 관찰카메라 모니터링의 경우, 현장 조사 방식과 비교하였을 때 새로운 종을 추가적으로 관찰하며 비교적 적은 노력으로 많은 양의 데이터를 생성하고 품질을 개선하였다. 그러나 여전히 새롭게 관찰된 종들에 대한 신뢰성의 문제가 있기에 이를 증명하기 위한 추가적이고 세밀한 모니터링이 필요할 것으로 보인다. 환경DNA의 경우, 상대적으로 저조한 결과를 도출해내며 그 장점이 명확하게 드러나지 않았다. 이는 더 많은 용량의 수환경 샘플링 및 샘플링 지점 선정 과정의 보완, 다양한 환경 매체의 이용 등 계획 과정의 보완을 통하여 개선될 수 있을 것으로 보인다. 특히 일련의 과정이 표준화되어 있지 않은 환경DNA 연구의 문제를 보완하기 위하여 본 연구와 같이 다양한 환경에서 다양한 분류군을 대상으로 진행된 결과들이 보고되고 수집될 필요가 있다.

본 연구에서 진행한 두 가지의 모니터링 방법은 현장 조사가 지닌 한계를 보완함과 동시에 상호 간의 보완이 가능하다. 관찰카메라 모니터링의 정확성과 환경DNA 방법의 확장성을 바탕으로 지역 생물다양성의 현황 파악, 지역 간의 비교를 통한 우선순위 도출 등 이용자의 데이터 활용 목적에 따라 모니터링 방법을 혼합하여 이용할 수 있다. 또한 두 방법 모두 다양한 분류군의 모니터링 결과를 한 번에 취득할 수 있기에 비용적인 측면에서 효율적이며 이는 빠르게 변화하는 도시생태계의 생물다양성을 보다 효과적으로 파악하여 이후 복원 및 보전 계획의 근거로 이용하기에 효과적일 것으로 판단된다.



[Figure 9] The Family result of eDNA sampling divided by Aquatic ecosystem at Jingwan-Dong Wetland (Jan-Jun, 2022).

[Table 14] The suspected species that detected through eDNA samplibng and similar species that included same family at Jingwan-dong wetland (Jan-Jun, 2022).

Scientific name	Korean name	Observation period				
		Feb	Mar	Apr	May	Jun
<i>Felis catus</i>	고양이	◎	◎	◎	◎	◎
<i>Canis lupus familiaris</i>	개	◎		◎	●	●
<i>Nyctereutes procyonoides</i>	너구리			◎		◎●
<i>Hydropotes inermis</i>	고라니	◎	◎	◎	◎	◎●
<i>Sus scrofa</i>	멧돼지	◎●	◎	◎●	◎●	◎●
<i>Mustela sibirica</i>	족제비	◎	◎	◎	◎	
<i>Sciurus vulgaris</i>	청설모		◎	◎	◎●	
<i>Muridae sp.</i>	미동정쥐과	◎		◎	◎	◎
<i>Apodemus agrarius</i>	등줄쥐				●	●
<i>Mus musculus</i>	집쥐	●	●	●	●	●

◎; identified through camera trapping,

●; detected through eDNA sampling

참고문헌

[국내 문헌]

(1) 단행본

이우신, 구태희, 박진영. 『한국의 새』 (LG상록재단, 2020).

(2) 보고서

국립생물자원관. 2019. 우리 주변 생활 속 기후변화 생물지표종

국립생태원. 2022. 기관별 국가보호종 전체 종목록

김지석, 차두원. 물자리. 2016. 북한산국립공원 진관동습지 관리 방안 마

련을 위한 간담회. 국립공원을 지키는 시림의 모임

박창석, & 오규식. (2007). 도시생태네트워크 구축을 위한 토지이용계획

연구. 기본연구보고서, 2007, 1–308

북한산국립공원. 2011–2013. 북한산국립공원 자원모니터링 보고서 (제

2기 자원모니터링)

서울특별시. 2003. 서울의 환경 (2003 환경백서)

(3) 학회지 및 간행논문

김가우, & 송영근. (2021). 환경 DNA 기술을 이용한 국내 담수어류종

탐지 가능성–경기도 민물고기생태학습관 중심으로. 환경영향평가,

30(1), 1–12.

김용환, 한윤하, 박지윤, 김호결, 조수현, & 송영근. (2021). 환경 DNA

메타바코딩을 활용한 멧돼지 및 육상 포유류 출현 모니터링–경기도

양평군 일대를 중심으로. 한국환경복원기술학회지 (환경복원기술),

24(6), 133–144.

- 김휘문, 김성열, 박일수, 이현정, 김경태, 김영, ... & 송원경. (2020). 도시 내 육상 생물종 모니터링을 위한 환경 DNA 리뷰 및 적용. *한국환경복원기술학회지 (환경복원기술)*, 23(2), 69–8
- 송영근, 김종희, 원수연, & 박찬. (2019). 환경 DNA 메타바코딩 기술을 활용한 수생태계 어류종 군집조사의 가능성—도시 생태하천 초기분석 자료를 중심으로. *한국환경복원기술학회지 (환경복원기술)*, 22(6), 125–138.
- 안승표, 이재민, & 김동성. (2018). 야생동물 모니터링을 위한 모바일 플랫폼 설계 및 구현. *한국통신학회 학술대회논문집*, 765–766.
- 유승화, 한현진, 김동원, & 주우영. (2018). 산림성 조류의 번식기 음성 녹음을 이용한 조류군집 평가. *한국환경생태학회지*, 32(1), 39–46.
- 이후승, 혀학영, 권영수, & 채희영. (2022). 계통적 다양성 분석을 통한 금강산-설악산 조류의 생태적 유사성 연구. *국립공원연구지*, 13(1), 105–112.
- 황보연, 손수곤, 이기태, 지형우, & 정상욱. (2014). 북한산국립공원내 진관동습지의 조류현황과 보호관리방안. *국립공원연구지*, 5, 1–9.

[국외 문헌]

(1) 단행본

- Elmqvist, T., Fragkias, M., Goodness, J., Güneralp, B., Marcotullio, P. J., McDonald, R. I., ... & Wilkinson, C. (2013). *Urbanization, biodiversity and ecosystem services: challenges and opportunities: a global assessment*. Springer Nature.
- Gil, D., & Brumm, H. (2013). *Avian urban ecology*. OUP Oxford.
- Leopold, A. (1933). *Game Management*. Charles Scribner's Sons.

New York, 481.

- Marzluff, J. M., Bowman, R., & Donnelly, R. (2012). Avian ecology and conservation in an urbanizing world. Springer Science & Business Media.
- Murgui, E., & Hedblom, M. (2017). Ecology and conservation of birds in urban environments. Cham: Springer.
- Nichols, J. D., & Karanth, K. U. 2011. Camera traps in animal ecology: methods and analyses (Vol. 271). A. F. O'Connell (Ed.). New York: Springer.
- Ralph, C. J. (1993). Handbook of field methods for monitoring landbirds (Vol. 144). Pacific Southwest Research Station.

(2) 학회지 및 간행논문

- Barik, S., Saha, G. K., & Mazumdar, S. (2022). Influence of land cover features on avian community and potential conservation priority areas for biodiversity at a Ramsar site in India. Ecological Processes, 11(1), 1–15.
- Basset, Y., Novotny, V., Miller, S. E., & Pyle, R. (2000). Quantifying biodiversity: experience with parataxonomists and digital photography in Papua New Guinea and Guyana. BioScience, 50(10), 899–908.
- Beninde, J., Veith, M., & Hochkirch, A. (2015). Biodiversity in cities needs space: a meta-analysis of factors determining intra-urban biodiversity variation. Ecology letters, 18(6), 581–592.
- Bibby, C. J. (1999). Making the most of birds as environmental indicators. Ostrich, 70(1), 81–88

- Dearborn, D. C., & Kark, S. (2010). Motivations for conserving urban biodiversity. *Conservation biology*, 24(2), 432–440.
- Fukumoto, S., Ushimaru, A., & Minamoto, T. (2015). A basin-scale application of environmental DNA assessment for rare endemic species and closely related exotic species in rivers: A case study of giant salamanders in Japan. *Journal of Applied Ecology*, 52(2), 358–365.
- Harper, L. R., Handley, L. L., Carpenter, A. I., Ghazali, M., Di Muri, C., Macgregor, C. J., ... & Hänfling, B. (2019). Environmental DNA (eDNA) metabarcoding of pond water as a tool to survey conservation and management priority mammals. *Biological conservation*, 238, 108225.
- Jo, T., Arimoto, M., Murakami, H., Masuda, R., & Minamoto, T. (2019). Particle size distribution of environmental DNA from the nuclei of marine fish. *Environmental science & technology*, 53(16), 9947–9956.
- Konishi, M., Emlen, S. T., Ricklefs, R. E., & Wingfield, J. C. (1989). Contributions of bird studies to biology. *Science*, 246(4929), 465–472.
- Kowarik, I. (2011). Novel urban ecosystems, biodiversity, and conservation. *Environmental pollution*, 159(8–9), 1974–1983.
- Krishna Krishnamurthy, P., & Francis, R. A. (2012). A critical review on the utility of DNA barcoding in biodiversity conservation. *Biodiversity and conservation*, 21(8), 1901–1919.
- Kuhn, I., R. Brandl, and S. Klotz. 2004. The flora of German cities is naturally species rich. *Evolutionary Ecology Research* 6:749–

764.

- Laneng, L. A., Nakamura, F., Tachiki, Y., & Vairappan, C. S. (2021). Camera-trapping assessment of terrestrial mammals and birds in rehabilitated forest in INIKEA Project Area, Sabah, Malaysian Borneo. *Landscape and Ecological Engineering*, 17(2), 135–146.
- Lawton, J. H., Bignell, D. E., Bolton, B., Bloemers, G. F., Eggleton, P., Hammond, P. M., ... & Watt, A. D. (1998). Biodiversity inventories, indicator taxa and effects of habitat modification in tropical forest. *Nature*, 391(6662), 72–76.
- Leempoel, K., Hebert, T., & Hadly, E. A. (2020). A comparison of eDNA to camera trapping for assessment of terrestrial mammal diversity. *Proceedings of the Royal Society B*, 287(1918), 20192353.
- Minamoto, T., Yamanaka, H., Takahara, T., Honjo, M. N., & Kawabata, Z. I. (2012). Surveillance of fish species composition using environmental DNA. *Limnology*, 13(2), 193–197.
- Miya, M., Sato, Y., Fukunaga, T., Sado, T., Poulsen, J. Y., Sato, K., ... & Iwasaki, W. (2015). MiFish, a set of universal PCR primers for metabarcoding environmental DNA from fishes: detection of more than 230 subtropical marine species. *Royal Society open science*, 2(7), 150088.
- Morrison, M. L., Ralph, C. J., Verner, J., & Jehl Jr, J. R. (1990). Avian foraging: theory, methodology and applications. Los Angeles: Cooper Ornithological Society.
- Norouzzadeh, M. S., Nguyen, A., Kosmala, M., Swanson, A., Palmer, M. S., Packer, C., & Clune, J. (2018). Automatically identifying,

- counting, and describing wild animals in camera-trap images with deep learning. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(25), E5716–E5725.
- Petrou, Z. I., Manakos, I., & Stathaki, T. (2015). Remote sensing for biodiversity monitoring: a review of methods for biodiversity indicator extraction and assessment of progress towards international targets. *Biodiversity and conservation*, 24, 2333–2363.
- Plummer, K. E., Gillings, S., & Siriwardena, G. M. (2020). Evaluating the potential for bird-habitat models to support biodiversity-friendly urban planning. *Journal of Applied Ecology*, 57(10), 1902–1914.
- Riordan, E. C., & Rundel, P. W. (2014). Land use compounds habitat losses under projected climate change in a threatened California ecosystem. *PLoS one*, 9(1), e86487.
- Rodgers, T. W., & Mock, K. E. (2015). Drinking water as a source of environmental DNA for the detection of terrestrial wildlife species. *Conservation Genetics Resources*, 7(3), 693–696.
- Sakata, M. K., Kawata, M. U., Kurabayashi, A., Kurita, T., Nakamura, M., Shirako, T., ... & Minamoto, T. (2021). Development and evaluation of PCR primers for environmental DNA (eDNA) metabarcoding of Amphibia. *bioRxiv*.
- Singer, M. S., Farkas, T. E., Skorik, C. M., & Mooney, K. A. (2012). Tritrophic interactions at a community level: effects of host plant species quality on bird predation of caterpillars. *The American Naturalist*, 179(3), 363–374.

- Stephenson, P. J. (2020). Technological advances in biodiversity monitoring: applicability, opportunities and challenges. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 45, 36–41.
- Sun, C., Koenig, H. J., Uthes, S., Chen, C., Li, P., & Hemminger, K. (2020). Protection effect of overwintering water bird habitat and defining the conservation priority area in Poyang Lake wetland, China. *Environmental Research Letters*, 15(12), 125013.
- Taberlet, P., Coissac, E., Hajibabaei, M., & Rieseberg, L. H. (2012). Environmental dna. *Molecular ecology*, 21(8), 1789–1793.
- Temple, S. A., & Wiens, J. A. (1989). Bird populations and environmental changes: can birds be bio-indicators. *American Birds*, 43(2), 260–270.
- Ushio, M., Fukuda, H., Inoue, T., Makoto, K., Kishida, O., Sato, K., ... & Miya, M. (2017). Environmental DNA enables detection of terrestrial mammals from forest pond water. *Molecular Ecology Resources*, 17(6), e63–e75.
- Ushio, M., Murata, K., Sado, T., Nishiumi, I., Takeshita, M., Iwasaki, W., & Miya, M. (2018). Demonstration of the potential of environmental DNA as a tool for the detection of avian species. *Scientific reports*, 8(1), 1–10.
- Venter, O., Sanderson, E. W., Magrach, A., Allan, J. R., Beher, J., Jones, K. R., ... & Watson, J. E. (2016). Sixteen years of change in the global terrestrial human footprint and implications for biodiversity conservation. *Nature communications*, 7(1), 1–11.

부록

[Appendix 1] The result of traditional field survey at Jingwan-Dong Wetland from 2006 to 2016 (2006, 2009, 2011, 2013 and 2016).

Scientific name	Korean name	Migrant status	Observation period				
			2006	2009	2011	2013	2016
<i>Nycticorax nycticorax</i>	해오라기 (c)	SV	3		1		1
<i>Butorides striata</i>	검은땡기해오라기	SV	2	1			2
<i>Ardeola bacchus</i>	흰날개해오라기 (c)	PM	1				
<i>Egretta alba alba</i>	중대백로 (c)	SV	3	3	2	2	2
<i>Egretta garzetta</i>	쇠백로 (c)	SV	4	1	3		
<i>Ardea cinerea</i>	왜가리 (c)	Res	2	2	2	1	3
<i>Aix galericulata</i>	원앙 (*)	Res	5		4		2
<i>Anas poecilorhyncha</i>	흰뺨검둥오리	Res	7	3	6	2	6
<i>Accipiter gentilis</i>	참매 (*, II)	WV	1	1			
<i>Accipiter soloensis</i>	붉은배새매 (*, II)	SV	1	1	1		
<i>Accipiter gularis</i>	조롱이	Res	3		1		
<i>Accipiter nisus</i>	새매 (*, II)	WV	1	1	1		
<i>Buteo buteo</i>	말똥가리	WV	1	4	1		3
<i>Aegypius monachus</i>	독수리 (*, II)	WV		1	2		
<i>Falco subbuteo</i>	새호리기 (II)	SV	2		1		
<i>Falco tinnunculus</i>	황조롱이 (*)	Res	1	1	1	1	1
<i>Phasianus colchicus</i>	꿩	Res	11	27	8	1	16
<i>Charadrius dubius</i>	꼬마물떼새	SV		2	2		
<i>Charadrius placidus</i>	흰목물떼새 (II)	Res		2	1		
<i>Tringa glareola</i>	빽빽도요	PM	2	4	4		
<i>Actitis hypoleucos</i>	깜작도요	SV	1	1			
<i>Streptopelia orientalis</i>	멧비둘기	Res	56	84	46	4	82
<i>Cuculus micropterus</i>	검은등뼈꾸기	SV	3	3	1	1	
<i>Cuculus canorus</i>	뼈꾸기 (c)	SV	3	4	5	1	5
<i>Cuculus saturatus</i>	벙어리뼈꾸기	SV		1	1		
<i>Cuculus poliocephalus</i>	두견이 (*)	SV	2				
<i>Bubo bubo</i>	수리부엉이 (*, II)	Res	1				
<i>Otus scops</i>	소쩍새 (c)	SV	1	3	1		1
<i>Ninox scutulata</i>	솔부엉이	SV	1	4			
<i>Caprimulgus indicus</i>	쪽독새	SV	1	1			
<i>Alcedo atthis</i>	물총새	SV	2	1	2		
<i>Eurystomus orientalis</i>	파랑새	SV	4	3	7	2	3
<i>Upupa epops</i>	후투티	SV	1				
<i>Picus canus</i>	청딱다구리	Res	4	9	4	1	7
<i>Dendrocopos major</i>	오색딱다구리	Res	5	14	13	1	7

[Appendix 1] The result of traditional field survey at Jingwan-Dong Wetland from 2006 to 2016 (2006, 2009, 2011, 2013 and 2016). (continued)

Scientific name	Korean name	Migrant status	Observation period				
			2006	2009	2011	2013	2016
<i>Dryocopus martius</i>	까막딱다구리 (*, II)	Res	1		1		1
<i>Dendrocopos leucotos</i>	큰오색딱다구리	Res	2	2			2
<i>Dendrocopos nanus</i>	아풀쇠딱다구리	Res	1	2	1		1
<i>Dendrocopos kizuki</i>	쇠딱다구리	Res	8	10	17	1	5
<i>Hirundo rustica</i>	제비 (c)	SV	4	2		3	
<i>Cecropis daurica</i>	귀제비	SV	2				
<i>Motacilla cinerea</i>	노랑할미새	SV	2	5	4	1	
<i>Motacilla alba leucopsis</i>	알락할미새	SV	1		1		
<i>Anthus hodgsoni</i>	힝등새	PM	4	6	4		2
<i>Anthus rubescens</i>	밭종다리	WV		1	2		
<i>Hypsipetes amaurotis</i>	직박구리	Res	53	82	102	7	84
<i>Lanius bucephalus</i>	때까치	Res	6	9	2		2
<i>Troglodytes troglodytes</i>	굴뚝새	Res	2	2			2
<i>Prunella montanella</i>	멧종다리	WV	3	7			
<i>Erithacus cyane</i>	쇠유리새	SV	2	1			
<i>Tarsiger cyanurus</i>	유리딱새	PM	5	9	2		
<i>Phoenicurus auroreus</i>	딱새	Res	4	8	5	1	3
<i>Saxicola torquata</i>	검은딱새	SV			2		
<i>Zoothera dauma</i>	호랑지빠귀	SV	1	4	2		
<i>Turdus hortulorum</i>	되지빠귀	SV	5	3	1	2	12
<i>Turdus pallidus</i>	흰배지빠귀	SV	1	4	1	2	7
<i>Turdus eunomus</i>	개똥지빠귀	WV		4	3		1
<i>Turdus naumanni</i>	노랑지빠귀	WV	5	9	7		8
<i>Paradoxornis webbianus</i>	붉은머리오목눈이	Res	482	809	365	36	123
<i>Horornis borealis</i>	휘파람새	PM					2
<i>Cettia squameiceps</i>	숲새	SV	1	1			
<i>Phylloscopus inornatus</i>	노랑눈썹솔새	PM		5	1		1
<i>Phylloscopus borealis</i>	쇠솔새	PM	1	10	1		
<i>Phylloscopus occipitalis</i>	산솔새 (c)	SV	2	8	18	3	1
<i>Ficedula zanthopygia</i>	흰눈썹황금새	SV	2	1	5		4
<i>Ficedula mugimaki</i>	노랑딱새	PM	3	2	1		1
<i>Cyanoptila cyanomelana</i>	큰유리새	SV	3	2	2	2	
<i>Muscicapa griseisticta</i>	제비딱새	PM	4	2			
<i>Muscicapa latirostris</i>	쇠솔딱새	PM	3		1		
<i>Aegithalos caudatus</i>	오목눈이	Res	5	35	25		16
<i>Poecile palustris</i>	쇠박새	Res	33	35	54	2	19
<i>Parus ater</i>	진박새	Res	42	63	18		37
<i>Periparus venustulus</i>	노랑배진박새	WV, PM					1

[Appendix 1] The result of traditional field survey at Jingwan-Dong Wetland from 2006 to 2016 (2006, 2009, 2011, 2013 and 2016). (continued)

Scientific name	Korean name	Migrant status	Observation period				
			2006	2009	2011	2013	2016
<i>Parus varius</i>	곤줄박이	Res	7	5	40	2	4
<i>Parus major</i>	박새 (c)	Res	42	63	92	5	37
<i>Sitta europaea</i>	동고비	Res	2	2	4	2	
<i>Certhia familiaris</i>	나무발발이	WV	3				
<i>Emberiza tristrami</i>	흰배멧새	PM	3	12	12		8
<i>Emberiza chrysophrys</i>	노랑눈썹멧새	PM		1			
<i>Emberiza rustica</i>	쑥새	WV	192	261	68		7
<i>Emberiza elegans</i>	노랑턱멧새	Res	79	170	113	1	35
<i>Emberiza spodocephala</i>	촉새	PM			1		
<i>Emberiza rutila</i>	꼬까참새	PM	2	7			
<i>Fringilla montifringilla</i>	되새	WV	20	24	18		14
<i>Carduelis sinica</i>	방울새	Res	2		3		
<i>Carduelis spinus</i>	검은머리방울새	WV		6			
<i>Pyrrhula pyrrhula</i>	멋쟁이	WV			2		
<i>Carpodacus roseus</i>	양진이	WV	5				
<i>Uragus sibiricus</i>	긴꼬리홍양진이	WV	2	7			
<i>Coccothraustes coccothraustes</i>	콩새	WV	15	63	37		20
<i>Eophona migratoria</i>	밀화부리	WV		1			40
<i>Passer montanus</i>	참새	Res	29	36	39	35	194
<i>Sturnus cineraceus</i>	찌르레기	SV	3		2		
<i>Oriolus chinensis</i>	꾀꼬리 (c)	SV	5	5	11	2	6
<i>Garrulus glandarius</i>	어치	Res	4	14	15	1	18
<i>Cyanopica cyanus</i>	물까치	Res	15	4	6		33
<i>Pica pica</i>	까치	Res	63	133	108	6	53
<i>Corvus corone</i>	까마귀	Res	13	11	4	1	
<i>Corvus macrorhynchos</i>	큰부리까마귀 (c)	Res	31	88	17	4	60
Number of species			84	78	74	32	52
Number of individuals			1365	2238	1365	136	987

1. Res; Resident, SV; Summer Visitor, WV; Winter Visitor, PM; Passage Migrant

2. *; Korean natural monument, II ; Endangered species category II by designated by Ministry of Environment, c; Climate-sensitive biological indicator species