하천습지의 수문생태적 특성 분석 -금강 왕진지구를 사례로-

홍승원* · 박미옥** · 구본학****

*상명대학교 졸업자 **나사렛대학교 ***상명대학교

An Analysis of Hydrological and Ecological Characteristics of River Wetlands -Case Study of Wangjin District in Geumgang River-

SeungWon Hong^{*} ⋅ MiOk Park^{**} ⋅ BonHak Koo^{***†}

*Garduate School, Sang Myung University, Korea,

**Korea Nazarene University

***Sang Myung University

(Received: 11 August 2023, Revised: 13 October 2023, Accepted: 27 October 2023)

요 약

본 연구는 하천습지의 교란 과정을 근현대 지도와 항공사진을 근거로 분석하고, 왕진지구 주변 수문생태 영향권의 토지피복과 NDVI 변화를 분석하였다. 왕진나루에는 안정된 모래톱이 형성되어 제내지 농경지와 자연스럽게 연결되어 있었으나 대홍수와 제방축조, 경지정리 및 하천종합관리로 모래톱과 하천습지가 소멸된 이후 인위적인 대체습지와 생태공원이 조성되고 하중도 형태의 모래톱이 다시 생성되었다. 수문생태영향권 토지피복 변화는 농업지역의 논·밭이 2013년 36.3%에서 2022년 22.9%로 감소하였는데 면적으로는 814,476㎡로 가장 많은 변화가 있는 것으로 나타났다. 시간이 경과됨에 따라 토지피복유형은 초지화가 진행되고 있는 것으로 확인되었다. 식생지수 변화를 계절별 변화를 종합해보면 전반적으로 식생지수의 변화량은 봄철(3월)이 가장 크고, 그다음은 여름철(6월)이며 수역을 제외하고는 가을철(9월)의 변화의 폭이 가장 적은 것으로 나타났다. 토지이용별로는 대체습지에서 39.1% 향상, 하중도 38.2% 향상, 생태공원 44.3% 향상, 농업지역 35.6% 향상, 수역 -8.1% 감소 등 전반적으로 식생지수(NDVI)가 증가되었다.

핵심용어 : 토지피복, 식생지수, 생활권습지, 모래톱, 생태공원

Abstract

This study analyzed the disturbance process of river wetlands based on modern and contemporary maps and aerial photographs, and analyzed land cover and NDVI changes in the hydro-ecological impact zone around the Wangjin District. A stable sandbar was formed near Wangjinnaru and was naturally connected to the agricultural land within inland, but after the sandbar and river wetland were destroyed due to heavy floods, embankment construction, land readjustment, and comprehensive river management, artificial replaced wetlands and ecological parks were created, and sandbars in the form of river island were restored again. The change in land cover in the hydro-ecological impact zone showed that rice paddies and fields in agricultural areas decreased from 36.3% in 2013 to 22.9% in 2022, with the largest change in area to 814,476m². It was confirmed that the land cover was undergoing vegetation over time. Since the vegetation condition is good, a healthy food

Department of green smart, sangmyeong University, Seoul, Korea

E-mail: ecoculture@smu.ac.kr

- SeungWon Hong Garduate School, Sang Myung University / Ph.D. (hosw5830@hanmail.net)
- MiOk Park Korea Nazarene University, Seoul, Korea / Professor (ecoflower@kornu.ac.kr)
- BonHak Koo Sang Myung University, Seoul, Korea / Professor (ecoculture@smu.ac.kr)

[†]To whom correspondence should be addressed.

chain is formed in the waterfront ecosystem, which can be expected to be biodiversity-positive. Summarizing seasonal changes in the vegetation index, the overall change in the vegetation index was the largest in spring (March), followed by summer (June), and the change in autumn (September) was the smallest except for water. By land use, the overall vegetation index (NDVI) increased, including 39.1% improvement in alternative wetlands, 38.2% improvement in load, 44.3% improvement in ecological parks, 35.6% improvement in agricultural areas, and -8.1% decrease in water.

Key words: landcover, NDVI, living area, sandbar, ecological park

1. 서 론

우리나라의 1960년대 이후 급격한 산업화와 도시화의 발전, 그리고 인구의 증가에 따라 도시하천을 중심으로 하천수량의 감소, 하천수의 오염, 하천 공간의 황폐화가 심해졌다. 1990년대 초반까지 우리나라에서는 홍수로 인한 피해의 경감과 경제발전에 필요한 각종 용수를 확보하기 위하여 하천의 여러 가지 기능 중에서 이수와 치수 기능만을 강조한 결과 하천의 모습은 인공적으로 많이 변하였고 동·식물의 서식 환경에도 영향을 주었다. 이와 같은 변화에 따른역기능을 최소화하고 환경적으로 건전한 하천 정비의 필요성이 대두되고 국민의 생활수준 향상과 문화 및 정서적 욕구 증가에 따라 하천환경에 대한 관심이 증대되면서 종합계획이 수립되고 관련 법령이 제개정되었다.

우리나라 수자원장기종합계획은 1965년 1차수자원종합 개발 10년계획 수립을 시작으로 현재까지 총 4차례의 본 계획과 4차례의 수정계획을 수립·시행해 왔다. 2001년 4차 수자원장기종합계획과 2006년 4차 수자원장기종합계획「1 차 수정계획」, 2010년 4차 수자원장기종합계획「2차 수정 계획」, 2016년「3차 수정계획」수자원장기종합계획 수정계 획이 수립·시행되었다. 2009년~2012년까지 4대 주요 강을 대상으로 하도정비, 준설, 다기능 보 설치 등 하천종합개발 (국토해양부, 2009)이 실시된 결과, 자연 하천습지가 상당 부분 훼손되어 한강 하천습지는 29.5% 감소, 낙동강 44.8% 감소, 금강 33.4%, 영산강 52.6%로 각각 감소하였 고, 훼손된 습지에 대하여 보상차원으로 조성된 하천 대체 습지는 총 147개소, 면적 12,567,378㎡로서, 각각 한강 22 개소(면적 2,764,355㎡), 낙동강 49개소(5,421,050㎡), 금 강 32개소(2,578,533㎡), 영상강 44개소(1,803,440㎡)에 이른다(환경부, 2014). 나아가 수량관리와 수질관리로 각각 운영되던 물관리를 통합하기 위해 물관리일원화를 위한 정 부조직법 시행(2018)과 물관리기본법 제정(2019)으로 하천 관리가 일원화되고, 수자원장기종합계획을 대체하는 물관 리 최상위계획인 국가물관기본계획이 수립되었다.

하천종합개발 사업들은 수리수문 등 수량관리와 수질관리, 하천생물에 집중되어 있어, 모래톱과 같은 자연발생 습지나 천변습지를 포함한 하천습지가 소멸되는 등 하천 생태계에 대한 보전 관리 노력은 상대적으로 미흡했다. 이러한문제점을 해결하기 위한 해답으로서 훼손되었거나 소멸된하천습지에 대한 보상전략으로서 대체습지와 생태공원 등의 생태적 토지이용을 조성하고 있다. 하천습지는 닫힌 공

간이 아니라 연속적으로 연결된 열린공간이며, 하천변을 따 라 연속된 코리더를 형성한다. 하천습지는 그 자체로 자연 의 한 요소로서, 습지발달 과정에서 자연형성과정과 문화적 형성과정에 의해 형성되며 생태적 의미와 함께 역사적 의미 를 함축하고 있다(Convention on Wetlands, 2008; Maltby 1991). 하천습지는 그 분포가 매우 광범위하고, 하천의 역동 적인 특성과 인류 문명사회의 발달과정에 의한 영향을 받아 끊임없는 변화와 회복을 반복하고 있다. 하천습지의 기능과 가치는 다양하여 홍수 시 갑자기 불어난 물의 배수로 기능 을 하고, 토사와 물을 저장하여 유속을 늦추고 유출량을 저 감시키며 하류의 홍수도달시간을 완화하여 홍수량을 저감 시킴으로써 유역 및 하류에 미치는 홍수 피해를 감소시키는 등 홍수조절 기능을 하며(Acreman and Holden, 2013), 지 표수를 저장하여 수자원 공급원으로 기능하고, 지하수의 저 장 및 충전을 통해 수자원을 확보하는 등 하천과 유역 내 물 순환시스템 유지에 기여한다(Novitzki et al., 1997). 또한 하천습지는 유속을 완만하게 조절하며 침전물을 여과하고, 과잉 공급된 영양물질을 비롯한 오염물질을 제거하며 여과 와 분해 과정을 통해 수질개선에 기여한다(Shutes, 2001; Zedler, 2003; 안창혁 등, 2012; 강성규 등, 2019).

하천습지는 습지를 기반으로 생활하는 야생생물에게 최적 의 서식처를 제공하며, 수환경적응도가 높은 절대습지식생 (Obligate Wetland Plants, OBL), 상대습지식생(Facultative Wetland Plants, FACW) 식물들의 생육환경을 제공한다 (USFWS,1988; 구본학,2002). 영양분과 먹이의 공급 기능 을 하여 물속에서의 미생물 활동과 습지식물의 성장, 수서 곤충이나 어패류에게 먹이를 제공하고 물새나 양서파충류, 소형 포유동물의 먹이가 됨으로써 습지생태계의 다양한 생 물상을 유지하게 한다. 하천습지 식생은 뿌리의 작용으로 토양을 결속하고 보호하여 유수나 파도의 침식으로부터 토 양을 보호하고 유실을 방지하며 토양침식을 조절하여 토양 안정화에 기여한다. 또 나아가 습지는 물과 함께 독특한 경 관을 만들어내고, 문화적 가치와 함께 생명력이 넘치는 역 동적인 공간이다(Clarkson et al., 2014). 이렇게 수문학적 으로나 생태학적으로 중요한 기능을 하는 하천습지가 매우 빠른 속도로 훼손되거나 소멸되고 있어 하천습지 현황 파악 과 보전 관리를 위한 연구들이 진행되고 있으며(박의준 등, 2005; 김정욱 등, 2017), 특히 하천습지에 생태적 수문학적 영향을 끼치는 유역 내 영향권을 포함한 접근이 중요하다.

이러한 관점에서 본 연구는 자연형성과정에 의해 형성되어 온 하천습지 및 주변 수문생태영향권의 발달과정과 훼

손과정을 규명하고, 훼손된 하천습지의 보상전략으로 조성 복원된 대체습지와 생태공원, 자연발생된 모래톱 등 하천습 지 및 영향권의 수문학적 생태학적 현황을 진단하기 위해 수행되었다. 이러한 연구결과는 하천습지 및 수문생태영향 권의 건전한 발달을 위한 수문생태적 관리를 위한 근거를 제공할 수 있을 것이다.

2. 연구 범위 및 방법

본 연구는 하천습지 및 주변 영향권의 수문학적 생태학적 현황과 영향을 진단하기 위해 연구대상지를 금강 왕진지구 (금강하구둑 기점 58.8km~61.8km, 면적 6,078천㎡)로 선 정하였다. 왕진지구는 2009년부터 시행된 하천종합개발로 훼손된 하천습지의 보상전략으로 대체습지와 생태공원과 하도내 모래톱으로 형성된 하중도 및 주변 수문생태영향권 (백제보~왕진교 구간과 양안 제내지 0.5km 이내의 구역)을 포함한다(Fig. 1). 행정구역은 충남 청양군 청남면 왕진·중산 리와 충남 부여군 부여읍 자왕·저석리이며, 오래전부터 백제 왕도인 부여와 청양을 연결하는 교통요지로서 왕진나루 뱃 길이 연결되어 있었다. 임선빈(2020)의 연구에 의하면 금강 은 여름철 수위가 평상시보다 최대 8m 높아지며, 20세기 초 까지만 해도 금강 하류지역은 7~800톤의 대형선박이 강경 까지 운행이 가능했고, 강경에서 규암까지는 100석 정도의 선박, 규암 위로는 50석 적재한도의 선박만 운행이 가능하 였다. 왕진나루는 규암보다 상류에 있기 때문에 50석 정도 의 선박규모가 이용되었을 것으로 추정할 수 있다.

하천습지 주변 수문생태적 영향권은 하천습지 발달과정과 관리, 활용, 기능 및 생태계서비스 형성에 큰 영향을 끼치는 요인이 된다. 영향권 내 식생의 침입 및 발달과정에 영향을 끼치는 환경요인 중에서도 NDVI값과 밀접한 관련이 있는 토지이용에 따른 변화를 분석하기 위해 왕진지구수문생태영향권을 토지이용별로 5개 권역으로 구분하였다. 제외지는 하천종합정비사업으로 훼손된 습지를 대체하기위해 조성된 대체습지, 자연발생적으로 퇴적되어 조성된 모래톱으로 형성된 하중도, 하천종합정비사업으로 하천변 식생대와 모래톱 등을 정비하여 조성한 생태공원, 수역으로구분하였고, 양안 제내지 농업지역은 수변구역 지정 기준을 준용하여 하천구역 경계로부터 0.5km이내를 기준으로 생태적으로 차단될 수 있는 도로와 물리적인 구조물을 따라경계를 설정하여 수문생태영향권 범위로 하였다(Fig.1).

하천습지의 시계열적 변화는 근대적 측량이 시작된 1910 년대 이후, 해방 이후(1945년), 지도현대화(1970년대) 이후로 구분하여 10년 단위로 분석하였다. 1910년대 이후부터 지도현대화가 진행된 1970년대까지는 옛 지형도와 항공사진으로 분석하였고, 지도현대화 이후인 1974년부터 하천정비사업이 추진된 2014년까지의 지형도를 분석하였다. 지형도는 국토교통부 국토지리정보원에서 구축한 국토정보맵(https://map.ngii.go.kr/ms/map/NlipMap.do)에서 종이지도 형태로 제공하는 1/50,000 지형도(통합지도검색, 역

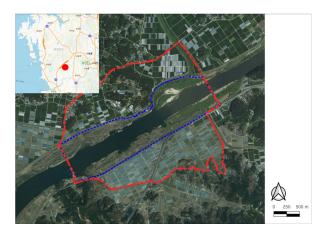


Fig. 1. Location map

사지도)에 수치지형도를 중첩하여 10년 단위로 근현대 지도와 비교 분석하였다. 항공사진은 국토정보맵에서 제공하는 1954년 및 1966년 항공사진을 취득하여 촬영시기별로 비교하였다. 분석자료는 가능한 한 정량화하였으며 정량화가 어렵거나 미흡한 부분은 정성적 방법으로 습지현황을 분석하였다.

수문생태 영향권의 토지피복분류와 NDVI변화는 하천정 비사업 추진 이후의 급격한 변화를 나타낸 2013년~2022년 의 변화를 분석하였다. 토지피복분류는 환경부 환경공간정 보서비스(egis.me.go.kr)에서 제공하는 2013년, 2015년, 2022년 토지피복지도(중분류)를 분석하였으며, 하천대체습 지 조성 후 2014년~2022년의 연도별 NDVI는 USGS (https://www.usgs.gov)에서 제공하는 Landsat8 영상을 취득하여 식생지수를 산정하여 변화량과 변화율을 산출하 였다. 단. 계절적 차이에 의한 오류를 최소화하고 일관성있 는 분석을 위해 토지피복도 제작시기와 기상환경을 고려하 여 매년 3월, 6월, 9월의 영상을 분석하였다. NDVI값 정확 도를 높이기 위해 수문생태영향권(면적 6.078천㎡)의 영상 자료를 격자(30×30m) 단위로 구분하여 6,796개로 분할하 여 격자단위로 RAW데이터를 추출하고 데이터 전처리를 수행 한 후 데이터와 영상을 비교하여 5개 권역 내의 데이 터를 선별하였다. 다시 데이터를 판독하여 특이 데이터를 영상자료와 대조하여 구름의 영향으로 NDVI값이 상대적 으로 작게 나타난 경우는 데이터 신뢰성이 낮아 제외시켰 다. NDVI값 신뢰도를 높이고 계절별로 분석하기 위하여 촬영된 시기 중 매년 계절별로 3월, 6월, 9월의 영상을 채 택하여 같은 계절끼리 변화를 비교 분석하였다. NDVI 값 은 근적외선 밴드인 밴드 4번과 RED밴드인 밴드 5번을 활 용하여 산정하였다. 구체적으로 NDVI 및 변화량, 변화율 은 다음과 같이 Eqn.1~3 산출하였다.

$$NDVI = \frac{Band4(NIR) - Band5(RED)}{Band4(NIR) + Band5(RED)}$$
 Eqn. 1

Amount of Change = NDVI(2022) - NDVI(2014)Eqn. 2

$$\textit{Ratio of Change} = \frac{\textit{NDVI}(2022) - \textit{NDVI}(2014)}{\textit{NDVI}(2022)} \times 100$$

Egn. 3

위성영상은 QGIS 반자동 분류 플러그인인 SCP를 활용하여 대기보정을 실시하였다. 현지답사를 통한 검증은 3회(1차: 2023.02.27., 2차: 2023.04.21., 3차 2023.05.27.) 실시하였으며, 습지현황은 지상부 사진과 함께 드론(MAVIC2 ENTERPRISE DUAL)을 이용하여 촬영 후 정사보정을 거쳐 정사영상을 통해 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 대상지 현황

3.1.1 토지이용 및 동식물

왕진지구의 전체적인 토지이용을 파악하기 위해 현지를 답사하고 드론으로 촬영하여 정사영상과 열화상을 분석하였다(Fig. 2). 제외지측은 하천 대체습지, 하중도, 생태공원, 수역으로 나뉘고, 제내지측은 농업지역과 산림지역과 논으로 구성되었으며 비닐하우스 영농을 하고 있다. 농업지역중 우안 구간은 주택이 71호로 가장 많이 분포되었으며, 농장(2동), 회관(2동) 등이 분포하고 있었다. 또한, 산림지역에 묘지가 102기 분포한 것으로 조사되었다. 열화상을 통해 농업지역 도로와 시설물, 나지, 하중도 일부 모래 노출지, 대체습지 내 나지 등에서 열반응이 높게 나타나 식생이나 물의 영향을 상대적으로 적게 받고 있었다.

하천습지 좌안 구역에는 버드나무림, 줄군락 등이 우점하

고 있으며, 갈대, 물억새, 마름, 환삼덩굴이 군락을 이루고 있고, 외래종으로는 미국가막사리, 망초류 등이 출현하였 다. 우안 구역에는 애기부들, 부들, 갈대, 흰꽃여뀌, 올랭이 고랭이, 선버들, 황새냉이 등의 군락이 우점하고 있고, 외래 종은 노란꽃창포, 미국가막사리가 출현하였다. 동물상은 물 환경정보시스템(http://water.nier.go.kr) 및 국토해양부와 대전지방국토관리청(2011)의 각 전문분야별 모니터링 자료 를 분석하였다. 야생동물은 멸종위기야생생물과 천연기념 물로 지정된 수달과 삵, 국제적으로는 IUCN에 의해 '취약 (VU)'으로 등재되었으나 국내에서는 유해야생동물로 지정 된 고라니 등이 관측되었다. 조류는 멸종위기야생생물 1급 으로서 IUCN 취약(VU) 등급으로 등재된 흰꼬리수리, 멸 종위기야생생물 II급이며 천연기념물인 큰고니, 멸종위기야 생생물 II급인 흰목물떼새와 큰기러기 등이 관측되었다. 양 서·파충류로는 멸종위기 2급인 금개구리 집단서식지가 발 견되었고, 표범장지뱀도 출현하였다. 어류는 담수와 해수를 왕래할 수 있는 가숭어, 숭어 등이 출현하였다.

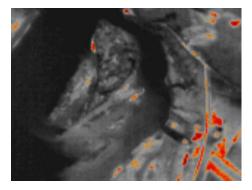
3.1.2 수위변화

왕진지구 하천습지는 하천 유량에 따라 침수되기도 하고 유량이 적을 경우는 건조하여 식생 환경이나 수생태계에 영향을 미치게 된다. 유량 측정자료가 설치되어 지속적으로 수위를 관리하고 있는 백제보 상류지점 수위는 보 상류 왕 진지구의 하천 수위의 차이가 미세하기 때문에 왕진지구 하천습지의 수위와 밀접하게 연관되어 있다.

4대강 보개방 모니터링 종합분석보고서(2022)에 의하면 2016~2022년 백제보 상류지점의 월평균 수위는 평균 EL2.0 m (1.4~2.9 m)로서 단기적으로는 관리행태에 따라



@Orthophoto



bthermography

①replacement wetland, ②sandbar(river island), ③ecological park, ④river channel, ⑤agriculture Fig. 2. Drone image analysis (photo: 2023.04.21. 17:00)

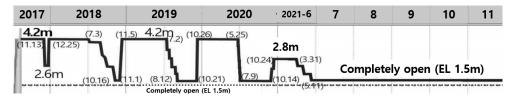


Fig. 3. Water level change

관리수위가 다르게 운영되었다. 담수 시점인 2012년 12월 부터 관리수위 EL4.2m를 유지하고 있었으며, 수문 개방기간 (2018. 10. 16~11. 1, 2019. 8. 12.~10. 21, 2020. 7. 9~10. 14, 2021. 5. 11~12. 19)에는 일시적으로 수위가저하되었고, 2021. 3. 31.에는 수문을 완전 개방하여 EL1.5m로 관리 운영되었다. 2021. 12. 22부터 수문을 부분 개방하여 평균 수위 EL2.3m를 유지하고 있다(Fig. 3). 수위변동에 따라 하중도와 대체습지의 면적에서 차이가 있을 수 있으나 왕진지구의 경우 백제보에 인접한 상류구간으로서 백제보 운영에 따라 수위관리가 이루어지고 있으며

홍수기 외에는 수위변동 폭이 크지 않으므로 토지피복이나 NDVI에 미치는 영향이 크지 않을 것으로 판단된다.

3.2 왕진지구 수문지형 변화

3.2.1 1910년대 ~ 지도현대화(1950,60년대) 이전

우리나라에서 근대적 측량법에 의해 제작된 초기의 지도는 1910년부터 1917년까지 3차에 걸쳐 근대적 측량법에 의해 측도하고 축척 1:50,000로 제작되었다. 왕진지구 하천습지의 원형은 2차와 3차 지도에 포함되어 있다(Fig. 4). 1910년에 측도하여 1913년에 제판된 2차 지도는 흑백이고

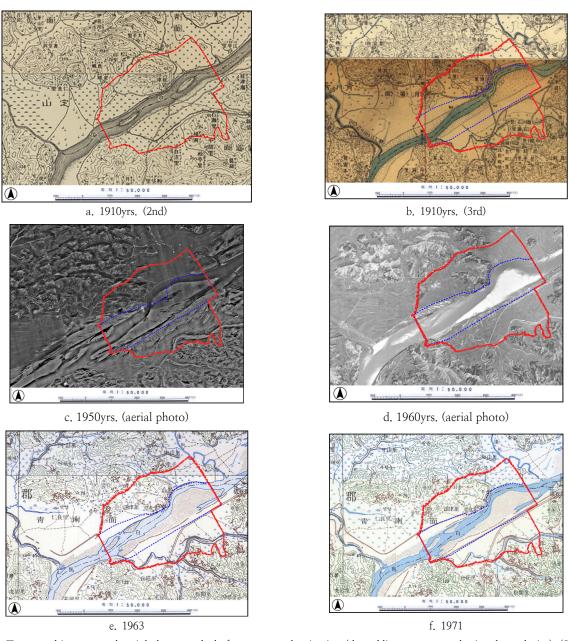


Fig. 4. Topographic maps and aerial photographs before map modernization (dotted lines are currently river boundaries). (Source: Land Information Map)

Topographic maps of the 1910s (a,b), aerial photos of the 1950s-1960s (cd), topographic maps of 1963 (e) and 1971 (f)

(Fig. 4-a), 1915년에 측도하여 1916년에 제판된 3차 지도는 강, 도로 등 주요 지형을 채색한 지도이다(Fig. 4-b). 1910년대 왕진나루 양안에는 안정화된 모래톱이 크게 형성되어 내측 농경지와 자연스럽게 연결되어 있었고, 하중도가발달해 있다. 2차와 3차지도에서 금강하도의 변화와 모래톱과 하중도의 변화를 확인할 수 있고 우안쪽으로 청양군의 잉화달천과 좌안쪽으로 부여군의 자왕천 흐름이 일부변경된 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 1910~1915년 사이에 대규모 홍수와 일부 경지정리가 있었음을 추정할 수 있다. 해방이후에는 1958년 육군본부 산하 측지부대에서 지도제작 업무를 착수하였고, 이후 1961년 내무부 산하 국립건설연구소로 이관되어 1961년~1963년 군용지도를 일부 개정한 축척 1:50,000 지형도를 민수용으로 공급하였다.

1950,60년대 항공사진은 1915년 이후 하천습지의 변화가심하지 않음을 알 수 있고, 1963년과 1971년 지형도는 왕진리 금강 상하류에 오래전부터 안정되어 있던 모래톱이변형된 것을 확인할 수 있다. 좌안측 백사장에 물골이 나있고, 하류쪽 모래톱이심하게 교란된 것으로 보아 이전에 대홍수가 있었던 것으로 추정 되며, 일부구간에서 제방이 축조된 것을 확인할 수 있다.

3.2.2 지도 현대화 이후(1974~2014)

1967년~1974년간 남한 전지역을 대상으로 축척 1:25,000 지형도를 제작하였는데, 현대적 지도제작기술을 활용한 최초의 지도이다(Fig. 5). 1977년에는 이전에 교란되었던 모래톱이 다시 안정화된 상태로 보이며, 좌안 농경

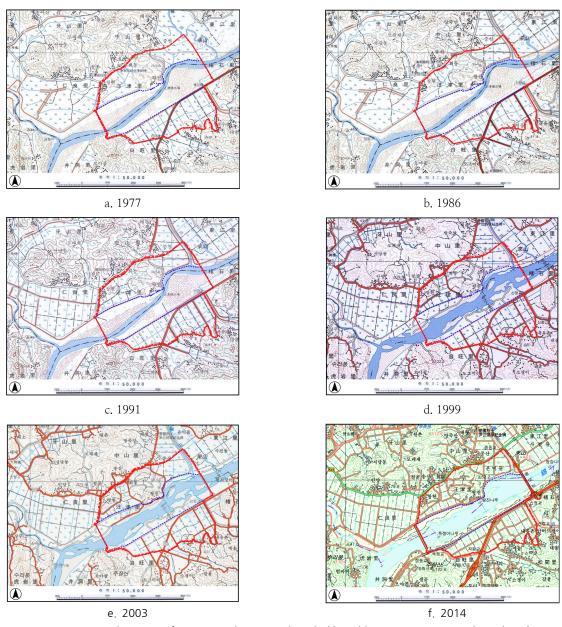


Fig. 5. Topographic maps after map modernization(1974). (dotted lines are current river boundaries) (Source: Land Information Map)

지 경리정리로 자왕천이 직강화되었다. 1980년 금강중류 대청댐이 준공되어 하천 유량이 일정부분 인위적으로 조절 되었다. 1986년 경지정리와 제방 축조로 인하여 잉화달천 이 직강화되고 금강과 연결되었던 하천습지는 제방으로 단 절되었다.

1991년 우안의 왕진리 앞뜰에도 경지정리가 시행되었고, 1999년 지도를 보면 왕진리 일대에 골재채취가 진행되어 많은 양의 모래톱이 단기간내에 사라지게 되었다. 2002년 당초 왕진나루 위치보다 약 1km 상류지점에 왕진나루 기능을 대체하는 왕진교가 건설되어 오랫동안 안정적이던 모래톱이 상당부분 교란된 것을 확인할 수 있다. 2012년 왕진지구 하류 2km 지점에 백제보 설치와 하도준설로 보관리수위 EL4.2m(종전 EL1.5m 내외)로 담수되어 수천년 역

사를 간직한 왕진지구 은빛 모래톱과 하천습지가 상당부분 소멸되거나 침수되었다.

3.3 토지피복

토지피복 대분류 시가화건조지역은 2013년에 3.3%에서 2015년 5.9%, 2022년 6.2%로 증가하였다. 농업지역은 2013년에 54.6%에서 2015년 40.8%, 2022년 39.9%로 감소하였다. 산림지역은 2013년에 7.0%에서 2015년 6.1%, 2022년 5.8%로 감소되었다. 초지는 2013년에 4.3%에서 2015년 15.2%, 2022년 16.6%로 증가하여 시간이 경과됨에 따라 초지화가 진행되고 있는 것으로 확인되었다. 습지는 2013년에 9.2%에서 2015년 6.6%, 2022년 8.2%로 감소하였고, 나지는 2013년에 3.5%에서 2015년 3.1%, 2022

Table 1. Yearly Change of Landcover type

Class 1	Class 2	2013		2015		2022	
		Area(m²)	Ratio(%)	Area(m²)	Ratio(%)	Area(m²)	Ratio(%)
Used Area	Residential Area	72,063.8	1.2	19,117.1	0.3	18,374.3	0.3
	Commercial	_	_	10,408.7	0.2	11,541.0	0.2
	Industrial	14,542.7	0.2	-	_	_	_
	Public facilities	7,447.3	0.1	45,889.4	0.8	67,805.0	1.1
	Transportation Area	106,115.5	1.7	278,932.7	4.6	276,634.9	4.6
	Recreation area	_	_	3,235.2	0.1	3,235.2	0.1
		200,169.3	3.3	357,583.1	6.0	377,590.4	6.2
Agricultural Land	Rice Paddy	1,420,046.9	23.4	1,172,968.7	19.3	1,110,932.7	18.3
	Field	785,300.3	12.9	292,121.8	4.8	281,117.2	4.6
	Facilities cultivation site	1,089,034.7	17.9	976,300.5	16.1	973,095.2	16.0
	Other cultivate	24,956.9	0.4	39,630.6	0.7	59,583.8	1.0
		3,319,338.8	54.6	2,481,021.6	40.8	2,424,728.9	39.9
Forest	Deciduous Forest	203,597.6	3.3	190,877.4	3.1	185,762.0	3.1
	Coniferous Forest	179,553.5	3.0	143,490.4	2.4	140,095.7	2.3
	Mixed Forest	43,792.9	0.7	36,639.2	0.6	23,873.6	0.4
		426,944.0	7.0	371,007.0	6.1	349,731.3	5.8
	Natural Meadow	151,777.8	2.5	_	_	-	_
Grass	Artificial Meadow	111,153.9	1.8	921,838.1	15.2	1,007,480.9	16.6
		262,931.7	4.3	921,838.1	15.2	1,007,480.9	16.6
Wetland	Inland wetlands	556,167.8	9.2	400,164.4	6.6	501,404.8	8.2
Barren	Artificial barren	-	-	-	-	51,160.8	0.8
	Natural barren	154,788.1	2.5	13,945.7	0.2	3,439.2	0.1
	Other B.	55,361.4	0.9	176,729.7	2.9	_	_
		210,149.5	3.4	190,675.4	3.1	54,600.0	0.9
Water	Inland Water	1,102,479.7	18.1	1,355.891.2	22.3	1,362,644.7	22.4
Total		6,078,180.9	100.0	6,078,180.9	100.0	6,078,180.9	100.0



Fig. 6. Landcovers of 2013, 2015, 2022 yrs. (Level 2)

년 0.1%로 감소하였다. 수역은 2013년에 18.1%에서 2015년 22.3%, 2022년 22.4%로 증가하였다.

토지피복 중분류(Fig. 6 및 Table 1)에서는 주거지역이 2013년 1.2%에서 2022년 0.3%로 0.9% 감소하였고 교통 지역은 2013년 1.7%에서 4.6%로 약 2.9% 증가하였으며 면적은 176,267㎡ 증가하였다. 이는 백제보 개통으로 인하 여 도로가 증가하였고, 생태공원 내 도로와 주차시설이 신 설되면서 교통지역이 증가한 것으로 판단하였다. 논·밭이 2013년 36.3%에서 2022년 22.9%로 13.4% 감소하였으며 면적으로는 814,476㎡ 감소하였다. 논·밭이 인공초지와 내 륙습지로 변화되었다. 침엽수림은 2013년 3.0%에서 2022 년 2.3%로 0.7% 감소하였으며 혼효림이 2013년 0.7%에서 2022년 0.4%로 0.3% 감소하였고 활엽수림도 0.2% 감소하 였다. 도로개설 등 교통지역 생성으로 산림이 소폭 감소되 었기 때문이다. 인공초지는 2013년 1.8%에서 2022년 16.6%로 14.8% 증가하였으며 면적으로는 899,571㎡ 증가 하였다. 변화된 내용은 하천구역내 생태공원과 논·밭이 인 공초지로 변화된 것이다. 자연초지는 2013년 2.5%에 151,778㎡가 전체 감소되었는데 감소 면적 모두 인공초지 로 변화되었다. 초지를 기반으로 서식하는 생물종이 수변생 태계 내에서 건강한 먹이 사슬을 형성하여 생물종다양성 향상을 기대할 수 있다. 기타나지가 0.9%(55,361㎡) 전체 감소하였고, 인공나지가 0.8% 증가하였다. 내륙수역은 2013년 18.1%에서 2022년 22.4%로 4.3% 증가하였으며 면적 261,362㎡ 증가하였다. 변화요인은 주로 하도변 내륙 습지가 침수되어 내륙수역으로 변화된 것으로 판단된다.

토지피복도(중분류) 분석 결과를 종합해보면 왕진지구 수 문생태 영향권 중심으로 시간이 경과됨에 따라 나지와 생태 공원 내 전·답이 초지화가 진행되고 있음을 알 수 있었다.

3.4 식생지수(NDVI)

5개권역(6,078천㎡)의 영상자료를 격자(30×30m) 단위로 구분하여 6,796개로 분할하여 하천습지 조성 후 2014년부터 2022년까지 연도별 식생지수 변화량과 변화율을 산출하였다. 단, 2014년 3월 영상은 제공되지 않아 본 연구에서는 분석하지 않았다. 권역별 격자수 결과는 대체습지가 489개(7.2%), 하중도 32개(0.5%), 생태공원 767개(11.3%), 수역 1,493개(22.0%), 농업지역 4,015개(59.0%)로 나타났다(Fig. 7).

연도별 NDVI 변화를 살펴보면(Table 2, Fig. 8a) 2016 년 여름, 2018년 봄, 2020년 봄 등 감소 추세도 나타나고 있으나 전체적으로 완만한 증가 경향을 보이고 있다. 권역 별로도 유사한 흐름이어서 대체습지 변화량은 0.1781, 변화율 39.1%로서 완만한 증가 추세를 보이고 있다. 하중도는 변화량 0.1850, 변화율 38.2%, 생태공원은 변화량 0.1941, 변화율 44.3%, 농림지역은 변화량 0.1216, 변화율 35.6%로서 완만하게 증가하였다. 반면에 수역은 변화량 -0.1032, 변화율 -8.05%로서 거의 변화가 없으나 미세하게 감소하는 추세로서 이는 수역 내 수생식물과 조류 등의

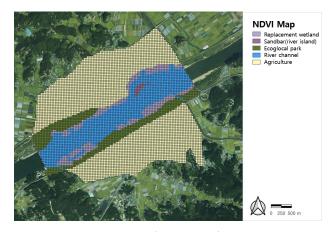


Fig. 7. NDVI analysis grid (30m × 30m) in Wangjin district

Table 2. Seasonal Change of NDVI (2014–2022)

Tuble 2, occasional Ghange of 145 v1 (2011 2022)										
Yr. Mon.	Replacemen t wetland	point bar (river island)	ecological park	Water	Agriculture					
2014. 6.	0.2776	0.2992	0.2435	0.0903	0.2194					
2014. 9.	0.3589	0.4436	0.3239	-0.0284	0.3318					
2015. 3.	0.2078	0.2541	0.2026	0.0438	0.2153					
2015. 6.	0.2492	0.2222	0.2255	0.0853	0.2036					
2015. 9.	0.3144	0.3979	0.2820	0.0506	0.2972					
2016. 3.	0.3147	0.3709	0.2639	-0.0162	0.3086					
2016. 6.	0.1183	0.1344	0.1281	-0.0373	0.1345					
2016. 9.	0.1918	0.1803	0.1718	0.1031	0.2249					
2017. 3.	0.2813	0.3138	0.2384	0.0278	0.2667					
2017. 6.	0.3254	0.3302	0.2542	0.0301	0.2193					
2017. 9.	0.3470	0.3977	0.3268	0.1594	0.3126					
2018. 3.	0.1108	0.1088	0.1232	-0.0252	0.1271					
2018. 6.	0.3415	0.3319	0.2935	0.1081	0.2324					
2018. 9.	0.3171	0.3591	0.2937	0.0681	0.2856					
2019. 3.	0.2754	0.2793	0.2635	0.0267	0.2421					
2019. 6.	0.4108	0.4374	0.3237	0.0089	0.2365					
2019. 9.	0.4391	0.5148	0.3860	0.0755	0.3421					
2020. 3.	0.1327	0.1312	0.1469	-0.0180	0.1397					
2020. 6.	0.4307	0.4518	0.3505	0.0150	0.2496					
2020. 9.	0.3628	0.3998	0.3399	0.0506	0.3169					
2021. 3.	0.2866	0.3110	0.2570	0.1065	0.2446					
2021. 6.	0.4079	0.4369	0.3245	0.1059	0.2237					
2021. 9.	0.4439	0.4895	0.3878	0.0760	0.3322					
2022. 3.	0.3947	0.4450	0.3492	0.0657	0.3078					
2022. 6.	0.3737	0.3886	0.2937	0.1227	0.2528					
2022. 9.	0.4557	0.4842	0.4376	-0.0129	0.3410					

영향을 받은 것으로 판단된다.

계절적으로는(Fig. 8-b,c,d) 봄철(3월)에는 대체습지 변화량 0.1869(변화율 47.4%), 하중도는 변화량 0.1909(42.9%), 생태공원은 변화량 0.1466(42.0%), 수역은 변화량 0.0219(33.3%), 농림지역은 변화량 0.0925(30.1%)로서 전체적으로는 완만하게 증가하는 추세이다. 2018년과 2020년에 감소추세를 보였고, 2020년 이후에는 증가속도가 점차 가속화되는 경향이었다. 여름철(6월)에는 대체습지 변화량 0.1171(29.7%)로, 하중도 변화량 0.1909(32.8%), 생태

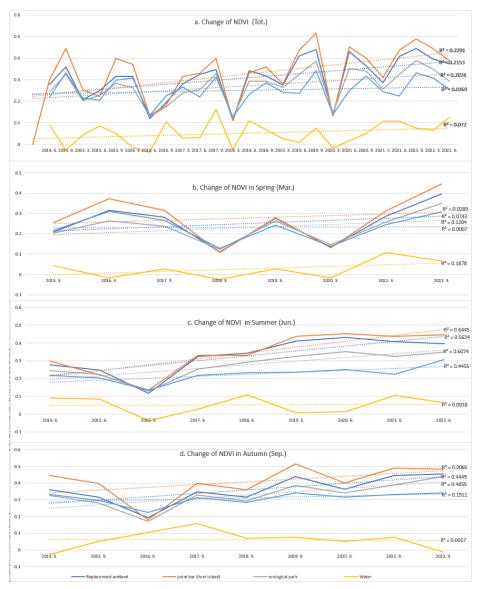


Fig. 8. Seasonal Change of NDVI

공원 변화량 0.1057(30.3%), 수역 변화량 -0.0246(-37.4%), 농림지역 변화량 0.0884(28.7%)로서 수역을 제외한 다른 형태의 토지이용에서는 완만하게 증가하는 추세이다. 2016년에 일시적으로 감소하였다가 2019년까지 증가추세를 보였고, 그 이후로는 거의 변화가 없이 일정한 흐름으로 나타났다. 가을철(9월) 대체습지 변화량 0.0968(21.2%), 하중도 변화량 0.0406(8.4%), 생태공원 변화량 0.1137(26.0%), 수역 변화량 0.0155(17.2%), 농림지역 변화량 0.0092(2.7%)로서 변화가 미미하였고, 2016년 감소하다가 2017년 이후로는 큰 변화없이 완만한 추세이다.

왕진지구 수문생태 영향권에 대하여 2014년~2022년 간 식생지수 변화 분석 결과를 종합해 보면, 대체습지가 39.1% 향상, 하중도 38.2% 향상, 생태공원 44.3% 향상, 농업지역 35.6% 향상, 수역 -8.1% 감소하는 등 전반적으로 식생지수가 향상되었다. 수역의 경우 수중 식생 등의 변화에 영향을 받아 일부 증감이 나타났다.

4. 결론 및 제언

본 연구 결과를 요약하면, 먼저 왕진나루에는 안정된 모 래톱이 형성되어 제내지 농경지와 자연스럽게 연결되어 있었으나 대홍수와 제방축조, 경지정리 및 하천종합관리로 모 래톱과 하천습지가 소멸된 이후 인위적인 대체습지와 생태 공원이 조성되고 하중도 형태의 모래톱이 다시 생성되었다. 모래톱이나 자갈 퇴적된 지형에 식생이 침입하여 종 수와 종구성, 종다양도 등 하천생태계의 구조와 기능 변화를 나타낸다(우효섭, 2009; 김원과 김시내, 2019). 하천의 물리적 구조와 수리수문 특성상 홍수기와 갈수기 빠른 유속과수위변동으로 하천의 하도와 가장자리 등 대규모 모래톱과하천습지가 발달되고 있으며 이를 기반으로 식생이 정착하거나 다양한 동물의 서식처가 되고 있다. 하천변식생은 일반적으로 토사침식의 억제 및 유속 감소, 야생동물의 서식처등의 역할을 하고 있는 것으로 알려져 있다.

하천에서 식생의 밀도가 증가하면 홍수터, 둔치, 제방 등 에서 번성하여 홍수의 유속저감, 수층의 완화, 뿌리에 의한 침식저감 및 토양의 응집 등으로 경사면을 보호한다. 사주 식생은 수달 등의 야생동물의 삶터로 이용될 수 있고, 다른 한편으로 하천변 교목의 성장으로 인한 유속의 변화와 흐 름의 정체 등은 하천의 통수능을 저하시흐름에 대한 저항 을 증가시켜 유속을 감소시키고 흐름의 방향을 변경하며, 유사를 효율적으로 차단하거나 분급을 일으킨다(Shimizu and Tsujimoto, 1994; Tsujimoto, 1999). 급경사면에서는 비가 올 경우 식생 뿌리의 흡수 능력이 증가하여 토양에 과 도한 수분이 흡수되고 이는 사면안정에 영향을 줄 수 있다. 하천에 발달한 습지, 모래톱 등의 서식공간에는 물새류를 비롯하여 표범장지뱀, 삵, 수달 등 멸종위기종이 서식하고 (환경부, 2022), 그외에도 멸종위기종 흰수마자를 비롯하여 고유종 5종이 발견되었고, 모래톱에서는 해오라기, 검은댕 기해오라기, 황로, 큰기러기, 후투티, 꼬마물떼새, 흰목물떼 새, 청다리도요 등이 서식하고 있었으며, 식물구계학적 특 징종으로 왕버들, 시무나무, 물질경이 등이 발견되는 등 동 식물 서식환경을 제공하고 있다(구본학 등, 2007).

토지피복도 분석 결과, 대체습지를 중심으로 시간이 변화 함에 따라 토지피복이 초지화가 진행되고 있다는 것을 알 수 있었다. 따라서 왕진지구 수문생태 영향권내에서의 식생 활력이 좋아지는 등 훼손되었던 하천습지는 역동적인 하천 공간에 대하여 그 기능에 따라 수질 및 생물다양성 측면의 보전관리를 위한 공간과 현명한 습지의 이용 및 관리 차원 에서의 친환경적 생태공원의 활용, 그리고 경관적 측면에서 토지피복 변화를 고려한다면 좋은 정책제안 자료로 사용될 수 있을 것이다. 계절별, 구역별 식생지수 변화는, 대체습지 에서는 3월의 변화율이 47.4%로 가장 많게 나타났고 6월, 9월순으로 나타났다. 하중도의 경우도 3월의 변화율이 42.9%로 가장 많았으며, 6월, 9월순이고 9월의 변화율은 8.2%로 적은 편이다. 생태공원은 3월의 변화율이 42.0%로 가장 많았으며, 6월, 9월 순으로 나타났다. 수역은 9월의 변화가 가장 많았으며, 3월, 6월 순이다. 농업지역은 3월의 변화가 가장 많고, 6월, 9월 순으로 나타났다. 계절별 변화 를 종합해보면 수역을 제외하고는 전체 구역에서 3월에 변 화가 많은 것으로 나타났고, 다음은 6월, 9월 순으로 나타 나, 전반적으로 식생지수의 변화량은 봄철(3월)이 가장 크 고, 그 다음은 여름철(6월)이며 수역을 제외하고는 가을철 (9월)의 변화의 폭이 가장 적은 것으로 나타났다.

식생지수 변화는, 대체습지는 3월의 변화율이 47.4%로 가장 많게 나타났고 6월, 9월 순으로 나타났다. 하중도의 경우도 3월의 변화율이 42.9%로 가장 많았으며, 6월, 9월 순이고 9월의 변화율은 8.2%로 적은 편이다. 생태공원은 3월의 변화율이 42.0%로 가장 많았으며, 6월, 9월 순으로 나타났다. 수역은 9월의 변화가 가장 많았으며, 3월, 6월 순이다. 농업지역은 3월의 변화가 가장 많고, 6월, 9월 순으로 나타났다. 계절별 변화를 종합해보면 수역을 제외하고 는 전체 구역에서 3월에 변화가 많은 것으로 나타났고, 다

음은 6월, 9월 순으로 나타나, 전반적으로 식생지수의 변화는 봄철(3월)이 가장 많이되고, 그 다음은 여름철(6월) 이며 수역을 제외하고는 가을철(9월)의 변화의 폭이 가장 적은 것으로 나타났다. 한편으로 식생지수가 향상되었다는 것은 식생활력도가 좋아졌다는 해석(김상욱 등, 2002; 조상호 등, 2020)이 있는 바 이 부분에 대한 더 구체적인 연구를 통해 규명해야 할 것이다.

사 사

이 논문은 2023년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구 재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임

(No.2021R1I1A3056493)

This research was supported by Basic Science Research Program Through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education (No.2021R1I1A3056493)

References

Acreman, M, Holden, J. 2013. How Wetlands Affect Floods. Wetlands 33, pp. 773 – 786.

Clarkson, BR, Ausseil, AGE and Gerbeaux, P. 2014. Wetland ecosystem services. In book: Ecosystem services in New Zealand (pp.192–202). Chapter: Wetland ecosystem services. Publisher: Manaaki Whenua Press. Editors: John R Dymond

Maltby, E. 1991. Wetlands and Their Values. In Wetlands. Edited by M. Finlayson and M. Moser. International Waterfowl and Wetlands Research Bureau. pp.8–26.

Novitzki, RP, Smith, RD and Fretwell, JD. 1997. Restoration, Creation, and Recovery of Wetlands: Wetland Functions, Values, and Assessment. National Water Summary on Wetland Resources, United States Geological Survey Water Supply Paper 2425.

Ramsar Convention. 2018. GLOBAL WETLAND OUTLOOK.

Shutes, RBE. 2001. Artificial wetlands and water quality improvement. Environment International 26, pp. 441–447.

Spruce, J, Wu, R. and Berry, R (1996). GIS Techniques for Evaluating Wetland Maps Derived from Remotely Sensed Data.

Tsujimoto, T. 1999. Fluvial processes in streams with vegetation. Journal of Hydraulic Research 37(6): 789–803.

Tsujimoto, T. 2001. Change in channel morphology and riparian vegetation. Lecture notes of the 37th summer seminar on hydraulic engineering." Course A, Committee on Hydra

- U.S. Fish and Wildlife Service. 1988. National list of plant species that occur in wetlands: 1988 national summary. Biological Report 88(24).
- USGS(https://www.usgs.gov)
- Zedler, PH. 2003. Vernal pools and the concept of "isolated wetlands". Wetlands, 23(3), pp. 597-607.
- Seong-gyu Kang, Lee Dong-ryul, Choi Si-joong. 2019. Consideration of appropriate sulfur range for river ecosystem restoration: Han River basin case. Journal of the Korean Wetlands Society 21(1):1~8.
- Gu Bonhak. 2002. Research on wetland type classification and drawing methods. Seoul National University Graduate School doctoral thesis.
- Koo Bon-hak, Lee Wan-ok, Lee Han-soo. 2007. Management plan for sandbar vegetation in rivers. Korea Water Resources Corporation.
- National land information map(https://map.ngii.go.kr/ms/map/NlipMap.do
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. 2009. Comprehensive river development 2009–2012.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Daejeon Regional Construction and Management Agency. 2011. Geumgang River Basin River Basic Plan (Geumgang, Mihocheon, Gapcheon, Yudeungcheon) Report.
- Sangwook Kim, Jongcheol Jeong. 2002. Investigation of the ecological influence zone of the DMZ using vegetation index. Journal of the Korean Geographic Information Society 5(4): 24–34.
- Kim Won, Kim Sinae. 2019. Analysis of the current status of vegetation increase in medium-sized rivers. Journal of the Korean Society of Water Resources. 52(S-2): 875-885. https://doi.org/10.3741/JKWRA.2019.52.S-2.875
- Jeong-wook Kim, Bo-eun Lee, Jae-geun Kim, Seung-hyeon Oh, Jae-won Jeong, Myeong-jin Lee, and Hyeong-su Kim. 2017. Functional evaluation of Gangcheon alternative wetland using modified hydrogeomorphological method. Journal of the Korean

- Wetland Society 19(3):318-326
- Water environment information system(water.nier.go.kr) Park Mi-ok. 2022. Analysis of rice paddy wetland distribution characteristics according to topographical environment, Journal of the Korean Wetland Society 24(2): 93–101.
- Mi-ok Park, Soon-hyo Kwon, Seung-jun Baek, Ju-young Seo, Bon-hak Koo. 2022. Analysis of changes in land cover type within the environmental factors and ecological influence zone of Mukpaddy Wetland. Journal of the Korean Wetland Society 24(4): 331–344.
- Eui-Jun Park, Seong-Hwan Kim, Gwang-Seong Yoon 2005. Topographic landscape of river wetlands upstream of major rivers in Korea: the case of river wetlands upstream of the Yeongsan River. Journal of National Geography 39(4): 469–478.
- Chang-hyuk Ahn, Jae-hyung Kwon, Jin-cheol Joo, Ho-myeon Song, Gyeong-je Cho 2012. Analysis of water quality influencing factors in Hwapo Stream with weirs and wetlands. Journal of the Korean Society of Environmental Engineering 34(6): 421–429.
- Woo Hyo-seop. 2008. White river? Green river? Water for future 41(12): 38-47.
- Seonbin Lim. 2020. Values and prospects of the Geumgang River Basin Chungcheongnam-do Confucian cultural zone. Chungcheongnam-do: Chungcheongnam-do History and Culture Research Institute.
- Cho Sang-ho, Lee Geun-sang, and Hwang Ji-wook. 2020. Drone-based vegetation index analysis considering vegetation vitality. Journal of the Korean Geographic Information Society 23(2): 21~35.
- Environmental spatial information service(egis.me.go.kr) Ministry of Environment. 2014. Monitoring of alternative wetlands by water system.
- Ministry of Environment, 2022. Comprehensive analysis report on four major river weir opening monitoring ('17.6~'21.12)