

댐 홍수터와 수변구역을 연계한 통합형 수변생태벨트 적지 선정방안 연구 - 금강 수계 대청호 사례 연구 -

반권수·조명현*·강전경*·김이형**,+

K-water 물환경처

*넥서스환경디자인연구원

**공주대학교 건설환경공학부

Study on the Selecting of Suitable Sites for Integrated Riparian Eco-belts Connecting Dam Floodplains and Riparian Zone - Case Study of Daechong Reservoir in Geum-river Basin -

Gwonsoo Bahn·Myeonghyeon Cho*·Jeonkyeong Kang*·Leehyung Kim**,+

Dept. of Water Environmental Management, K-water, Korea

**Nexus Environment Design Centre, Korea*

***Dept. of Civil & Environmental Engineering, Kongju National University, Korea*

(Received : 23 October 2021, Revised : 31 October 2021, Accepted : 31 October 2021)

요약

수변생태벨트는 유역의 비점오염원을 저감시키고 생태적인 연결성과 건강성을 증진할 수 있는 효율적인 기법이다. 국내에서도 수변생태벨트 조성 및 관리를 위한 법적 제도를 운영 중이나 비점오염물질 제어, 생물서식처 등 완충 기능에 유리한 하천, 호소 내의 홍수터는 제외되어 개선이 필요하다. 이에 따라 본 연구에서는 금강 수계 대청댐 유역을 대상으로 댐 호소의 소단위별로 댐 홍수터와 수변구역의 수질, 생태계 특성을 종합적으로 평가하는 통합형 수변생태벨트 적지 선정방안을 제시하고 분석하였다. 먼저 GIS로 대청댐 유역을 138개 소단위로 구분하고 홍수터와 인접한 수변구역을 분석하였다. 통합형 수변생태벨트 적지 선정에 영향을 미치는 생태계, 수질 영향 관련 16개의 평가인자를 선정하고 AHP분석으로 인자별 중요도에 대한 가중치를 설정하였다. 소단위에 제내·외지별, 인자별 가중치를 적용한 통합 평가를 실시하여 적지 우선 순위를 도출하였다. GIS 적지 분석을 통해 도출된 대상지들이 실제 조성에 적합한 지역인지 타당성을 판단하기 위해 5개 대상지에 대한 토지이용, 오염원, 생태적인 연계성 등에 대한 현장 검증을 시행한 결과 모든 대상지가 적정함을 확인할 수 있었다. 본 연구를 통해 제시된 수변생태벨트 적지 분석 기법은 향후 통합적인 수변관리 정책 설정시 유용한 도구로써 적용될 수 있을 것이다. 단, 대상 댐별 특성과 현안에 따라 다양한 평가인자와 항목별 가중치 적용이 필요할 수 있다. 그리고 통합형 수변생태벨트 지역에 대해 그린-블루네트워크(Green-Blue Network) 측면을 고려한 세부적인 보전·복원방안 마련과 생태계서비스 측면의 평가 및 관련 법, 제도 측면의 상호 연계, 개선방안 등에 대해서도 추가적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

핵심용어 : 댐 저수지, 생태적 연결성, 비점오염, 수변완충지대, 유역관리

Abstract

The riparian eco-belt is an efficient technique that can reduce non-point pollution sources in the basin and improve ecological connectivity and health. In Korea, a legal system for the construction and management of riparian eco-belts is in operation. However, it is currently excluded that rivers and floodplains in dam reservoir that are advantageous for buffer functions such as control of non-point pollutants and ecological habitats. Accordingly, this study presented and analyzed a plan to select a site for an integrated riparian eco-belt that comprehensively evaluates the water quality and ecosystem characteristics of each dam floodplain and riparian zone for the Daechong Dam basin in Geum River watershed. First, the Daechong

*To whom correspondence should be addressed.

Dept. of Civil & Environmental Engineering, Kongju National University, Professor
E-mail: leehyung@kongju.ac.kr

- Gwonsoo Bahn Dept. of Water Environmental Management, K-water, Korea / Senior manager(populus76@kwater.or.kr)
- Myeonghyeon Cho Nexus Environment Design Centre, Korea / General Manager (chomh819@naver.com)
- Jeonkyeong Kang Nexus Environment Design Centre, Korea / Assistant Manager (kjk7690@naver.com)
- Leehyung Kim Dept. of Civil and Environ. Eng, Kongju National University, Korea / Professor (leehyung@kongju.ac.kr)

Dam basin was divided into 138 sub-basin with GIS, and the riparian zone adjacent to the dam floodplain was analyzed. Sixteen evaluation factors related to the ecosystem and water quality impact that affect the selection of integrated riparian eco-belt were decided, and weights for the importance of each factor were set through AHP analysis. The priority of site suitability was derived by conducting an integrated evaluation by applying weights to sub-basin by floodplains and riparian zone factors. In order to determine whether the sites derived through GIS site analysis are suitable for actual implementation, five sites were inspected according to three factors: land use, pollution sources, and ecological connectivity. As a result, it was confirmed that all sites were appropriate to apply integrated riparian eco-belt. It is judged that the riparian eco-belt site analysis technique proposed through this study can be applied as a useful tool when establishing an integrated riparian zone management policy in the future. However, it might be necessary to experiment various evaluation factors and weights for each item according to the characteristics and issues of each dam. Additional research need to be conducted on elaborated conservation and restoration strategies considering the Green-Blue Network aspect, evaluation of ecosystem services, and interconnection between related laws and policy and its improvements.

Key words : *Dam reservoir, Ecological Connectivity, Non-point pollution, Riparian buffer, Water basin management*

1. 서 론

전 세계적 인 기후변화는 태풍, 홍수, 가뭄의 빈도 또는 강도를 증가시키고 있다. 이러한 현상들은 강우 패턴에 큰 영향을 미치며 강우 패턴의 변화는 유출에 큰 변화를 초래한다(Mendlik and Gobiet, 2016). 강우 이후 하천, 호소 혹은 하구로 흐르는 유출과정에서 지표면의 토사 또는 지하수에 축적된 고농도의 질소, 인과 같은 영양물질은 수질 오염을 가중시키고 유역 수생태계의 건강성을 취약하게 만든다(MOE, 2016).

유역에서의 농경지는 작물 수확과 생산에 필요한 자연적인 질소가 적기 때문에 비료, 퇴비 등의 인공적 자원에 크게 의존한다(Ribaudo et al., 2011). 농경지에 적절한 양의 양분이 투입되면 환경에 큰 영향을 미치지 않으나 과잉으로 공급된 비료와 퇴비의 영양물질은 토양에 축적되거나 강우시 유출수와 함께 하천, 호소, 지하수로 흘러들어 수질 오염의 주요 원인이 되고 있다(Su et al., 2013). 1980년대 이후 양분종합관리(INM, Integrated Nutrient Management)가 도입되었고 농경지의 합리적 시비관리로 화학비료 사용량이 개선되었으나(Parris, 2011) 한국은 여전히 OECD 회원국 중 많은 양의 비료, 퇴비를 투입하고 있으며 농경지로부터 유출된 질소와 인이 주변 수계의 수질에 영향을 미치고 있다(OECD, 2020).

국내에서 4대강 수계로 유입되는 오염물질 대부분은 토지에 기인한 비점오염원의 형태로 지표 및 지하유출 과정을 통해 수계로 배출되고 있기에 사후관리가 쉽지 않다(GRWMC, 2020a). 토지에 기반한 비점오염원 관리를 위하여 환경부는 수질오염총량제, 지류총량제, 비점오염관리지역 지정제 등의 제도를 도입하고(Bae, 2014; MOE, 2018) 다양한 수질개선사업을 추진하고 있음에도 불구하고 넓은 토지계에서 발생하는 오염물질의 효율적인 관리는 여전히 어려운 실정이다(GRWMC, 2020a). 댐 호소는 풍부하고 깨끗한 상수원의 확보 및 공급을 위해 상시 수질 오염원에 대한 예방과 개선을 필요로 한다. 그러나 국내 댐 호소의 수변과 상류 지역 대부분에서는 농경지, 축산시설 등

이 불규칙적으로 분산되어 있고 비중이 높아 오염원 방지를 위한 사전예방적이고 친환경적인 관리대책이 필요하다(K-water, 2019).

본 연구의 대상지인 대청호 유역의 경우, 최근 3년간 수역의 오염물질 농도가 지속적으로 상승하고 2015년 이후 연간 54~119일 수준으로 조류경보가 지속되는 등 수질 관리에 어려움이 있는 것으로 나타났다(MOE, 2019). 대청호 상류는 수질에 영향을 미치는 점오염원 배출원이나 대도시, 산업단지가 크게 존재하지 않음에도 불구하고 비점오염원에 의한 지속적인 수질오염과 녹조발생이 우려되고 있다(Choi et al., 2020). 이러한 현상은 수변구역 등 제내지와 댐 홍수터 내 경작지 전반에서 기인한 비점오염원의 형태로 지표 및 지하유출 과정을 통해 수계로 배출되는 양이 많으며 이에 대한 관리가 필요함을 시사한다. 특히 댐 저수구역 홍수터 내 허가 및 무단 경작은 호소의 수질에 직접적인 영향을 주기도 하며 수위 상승시 침수되어 토양 내 양분이 용출되기도 한다(Choi et al., 2020). 대청댐의 저수구역 내 홍수터는 약 3.8km²이며 상시만수위인 76.5m 이상 범위에 한해 수물민들에 대한 경작허가가 이루어지고 있으나 76.5m 이하의 일부 지역에서도 무단 경작이 성행하고 있다(GRWMC, 2020b).

국내에서는 유역 내 토지관리 기반의 수질 보전 및 개선을 위해 4대강 수계별 물관리 및 주민지원 등에 관한 법률(약칭 4대강 수계법)에 따라 하천, 호소 경계로부터 최소 300m에서 1km 이내의 지역을 수변구역으로 지정하고 물환경보전법에 의해 하천, 호소 경계 1km 이내의 지역을 수변생태구역으로 지정할 수 있도록 정하고 있다(MOE, 2018). 그러나 4대강 수계에 지정되어 있는 수변구역의 경우 하천의 생태적 측면과 획일적 너비 설정의 문제점이 제기된 바 있다(HRWMC, 2007). 수변생태구역은 상수원 보호와 함께 생물종의 보전과 복원, 비점오염물질 저감 등 보다 통합적인 수변관리 정책으로 볼 수 있지만 현재까지 지정 사례가 없으므로 제도의 취지와 실효성을 강화할 필요가 있다(Song and Kim, 2018). 그리고 현행 두 제도에서는 물과 맞닿아 홍수와 가뭄피해 저감, 비점오염물질 제

어, 생물서식처 등 완충 기능에 유리한 하천, 호소 내의 홍수터는 제외되어 물관리일원화 등 정책 변화에 맞추어 수변관리 전반의 개선방안이 필요하다(K-water, 2020). 즉, 현행 수변생태벨트 제도의 한계를 개선하고 수변완충지대로써 본질적인 기능인 수역과 육역 간의 물질순환, 상호작용 제고를 위해서는 실제 하천, 댐 호소변 물가부터 토지 이용이 이뤄지는 수변공간 전반에 대한 관리체계 개선이 필요하다.

그간 국내에서 효율적인 수변구역 관리와 수변생태벨트 조성 적지 선정을 위한 다양한 연구가 진행되었으나 주로 제내지 수변구역 등에 국한하여 수질오염 부하량 저감을 위한 토지매수 및 조성 우선순위 도출 위주의 연구가 진행되었다(Choi and Jung, 2000; Choi and Lee, 2001; MOE, 2010; Choe et al., 2010; Bahn and Oh, 2010; NRWMC, 2015; Hong et al., 2014; Shim et al., 2014; Seo, 2019). 댐 홍수터와 같은 제외지를 포함하는 통합형 수변생태벨트를 위해서는 공간적 범위를 확대한 적지 분석 절차와 방법론이 제시되어야 한다. 그리고 통합형 수변생태벨트 목적에 부합하는 오염원 정화, 생물 서식처 효과를 증진하기 위해서 기존 적지 분석기법에서 미흡하게 고려되었던 적정 너비, 경사, 생물종, 생태적 연결성 등의 다양한 기능을 고려한 적지 분석 방법이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 댐 유역을 대상으로 댐 홍수터와 인접한 수변지역을 통합적으로 다루고 수질, 생태계를 균형있게 고려하는 그린-블루 네트워크(Green-Blue Network) 측면의 통합형 수변생태벨트 적지 선정방안을 제시하고자 하였다. 호소 경계로부터 획일적 거리인 수변구역 관리의 대안으로써 댐 홍수터와 인접 수변구역에 대해 실질적인 집수구역인 소단위 중심의 종합적인 평가를 통해 실효성이 높은 수변생태벨트 적지 범위를 도출하는 방안을 연구하였다.

2. 연구방법

2.1 연구범위

본 연구의 공간적 범위는 Figure 1과 같이 금강 수계 대청댐 유역을 대상으로 하였다. 대청댐은 대전광역시 대덕구 신탄진동의 국가하천 금강에 위치한 다목적 댐으로 1981년에 완공되었으며 유역면적 4,134km², 저수면적 72.8km²이며 총저수용량은 1.49km³이다. 댐으로 형성된 대청호는 국내에서 소양호, 충주호에 이어 저수량이 세 번째로 큰 인공호이다. 대청호의 계획홍수위는 EL. 80.0m, 상시만수위는 EL. 76.5m이다(K-water, 2019). 팔당호와 함께 우리나라 전체 인구의 약 70%에 원수를 공급하는 중요한 상수원으로 특별대책지역, 상수원보호구역, 수변구역 지정 관리 등에도 불구하고 매년 녹조 대발생 및 수질 악화 등으로 집중적인 비점오염원 관리대책이 필요하다(GRWMC, 2018). 본 연구는 2020년 5월부터 2021년 5월까지 진행하였다.

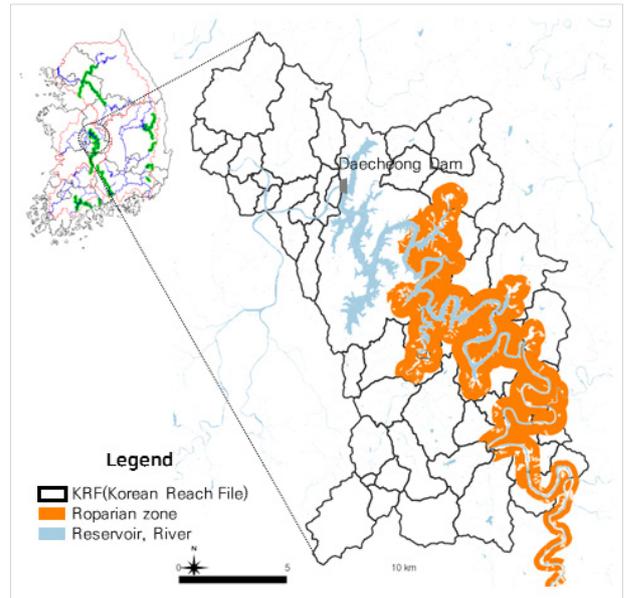


Fig. 1. Map showing the study area

2.2 연구방법

광범위한 면적의 댐 유역 특성상 전체적인 전수조사가 어려우므로 효율적인 적지 분석을 위해서 Figure 2와 같이 GIS기법을 활용한 단계별 분석을 시행하였다.

제내·외지 공간적 범위 설정, 제내·외지 평가인자 검토 및 기준 설정, 소단위별 적지 평가 및 통합형 수변생태벨트 후보지 도출, 통합형 수변생태벨트 후보지 현장 검증 순으로 4단계로 진행하였다.

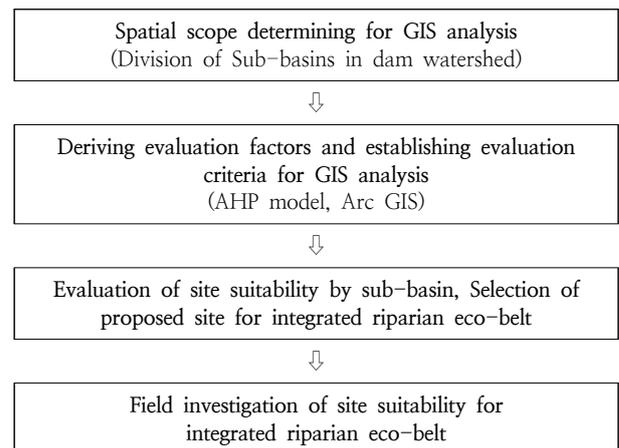


Fig. 2. Research process

1) 제내·외지 공간적 범위 설정

본 연구에서는 기존에 제내지 수변구역의 매수토지에 추진 중인 수변생태벨트 뿐만 아니라 제외지인 댐 저수구역 내 홍수터의 특성을 반영한 통합형 수변생태벨트 지역 설정 방안을 제시하고자 하였으며 이를 Figure 3과 같이 개념적으로 표현하였다. 광범위한 댐 유역의 효율적인 공간범위

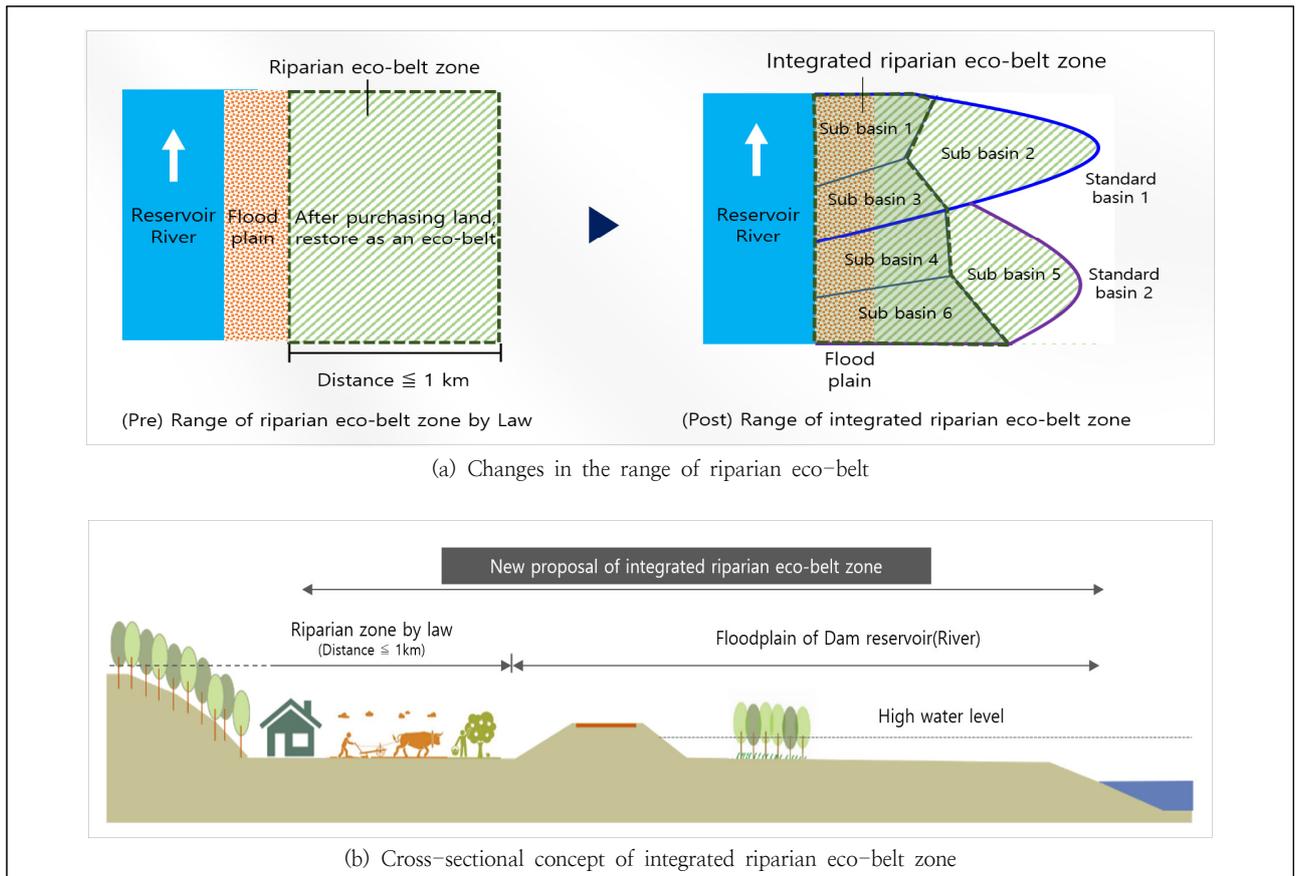


Fig. 3. Concept of integrated riparian eco-belt that connects floodplain with riparian zone

설정 및 평가를 위해서는 GIS기법이 유용하며 본 연구에서는 Arc GIS 9.3.3 프로그램을 활용하였다. 오염원 관리와 수생태계 보전, 복원을 위해서는 유역 차원의 접근방식 (Kim et al., 2000; Shim et al., 2014)이 유용하며 GIS로 제내·외지를 통합적으로 평가하기 위해서는 이를 포함하는 공통적인 공간적 범위가 필요하므로 수변구역의 기본 관리단위로 소권역을 더 세분화한 소유역, 소단위를 적용하였다 (K-water, 2020; Bahn et al., 2020; Bahn, 2021). Arc GIS 9.3.3을 이용하여 해당 수치지도의 등고선에서 수치표고모델(DEM)을 작성한 후 소유역, 소단위로 분할하였다. 소유역은 유역환경조사, 수질모델링 등에 필요한 배수구역 단위를 설정하기 위하여 단위유역을 세분화한 유역이다 (NIER, 2019).

제내지는 셀단위로 표현되는데 반해 댐 저수구역 내 홍수터는 물가를 따라 불연속적인 선형으로 나타나고 있으므로 연속 수치지형도에서 중분류 토지피복도의 내륙수 경계와 연속 수치지형도의 계획홍수위 경계 비교를 통해 부정형의 SHP 파일형식으로 추출하여 활용하였다.

2) 제내·외지 평가인자 검토 및 기준 설정

제내·외지의 공간적 연계와 수변생태벨트 기능에 영향을 미치는 다양한 인자를 도출하기 위해 최근 5년간의 선행연구 및 관련 문헌 10여편 이상을 조사하였으며 언급된 빈도,

중요도 등을 감안하여 주요 인자들을 도출하였다.

도출된 인자는 적용 목적, 유역 여건 등에 따라 다양한 수준이 적용될 수 있으므로 평가인자로 적용에 앞서 인자별 가중치 설정이 필요하다. 본 연구에서는 Saaty(1980, 2001)에 의해 개발된 다기준 의사결정방법의 하나인 계층분석과정 (Analytic Hierarchy Process, AHP)을 적용하였다. AHP 기법은 계량적 접근이 어려운 분야의 의사결정을 하는 경우, 각각의 항목에 가중치를 주고 이를 바탕으로 계량화하여 보여주는 방법으로서 다양한 분야의 의사결정 과정에서 널리 사용되고 있는 기법이다(Kim and Kang, 2008). 분석과정에서 두 차례의 집단심층면접(Focus Group Interview, FGI)을 실시하였다(Hong et al., 2014). 전문가 포커스그룹 구성은 물환경분야 전문가 20인을 구성하였으며 4대강 수변구역관리 기본계획, 수변생태벨트 조성 업무 등에 직접적으로 참여했던 전문가를 중심으로 선정하였다. 1차 집단심층면접에서는 의사결정 계층구조의 구성과 인자별 적정성, 가중치 설정을 위해 설문지를 실시하였으며 2차 집단심층면접에서는 평가 모형을 통해 제시된 인자별 가중치와 평가기준(안)에 대한 타당성을 검증하기 위하여 실시하였다.

3) 소단위 평가 및 통합 우선순위

제내·외지 각 평가인자별로 소단위ID에 대한 평가를 식1과 같이 산정하였다. 이때 제내지(X)는 소단위별로 공간 범

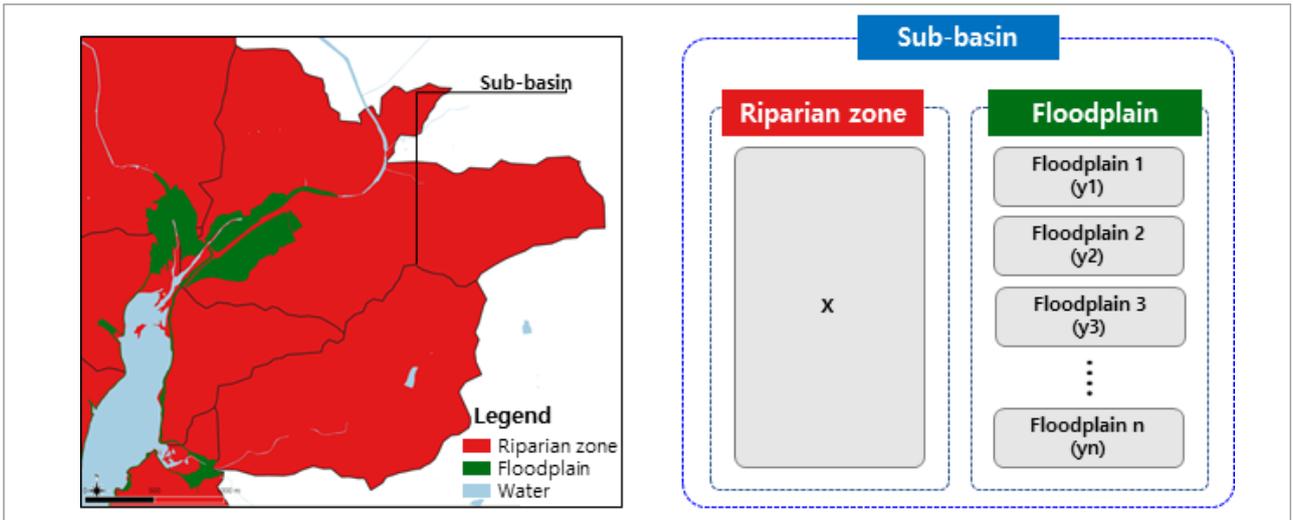


Fig. 4. Process of deriving priorities for integrating floodplain and riparian zone in a sub-basin

위와 특성을 구분하여 분석이 가능하므로 평가인자별 점수에 가중치를 적용하여 산정하였으나 제외지의 홍수터(Y)는 동일 소단위 내에서도 비연속적으로 다양하게 분포하고 있기 때문에 소단위 내 홍수터들의 평가인자별 점수를 합산한 평균값에 가중치(w)를 적용하여 식 2와 같이 산정하였다.

제내·외지 통합 우선순위는 앞서 도출한 제내·외지별 우선순위 중요도 가중치를 적용하여 Figure 4와 같이 동일 소단위ID별 제내·외지 평가점수를 합산하여 산정하였다.

소단위별 영향인자에 대한 평가점수 = X + Y (식 1)

$$Y(\text{제외지 평가}) = \frac{(y_1 + y_2 + \dots + y_n)}{n} \times w \quad (\text{식 2})$$

4) 통합형 수변생태구역 적지 현장 검증

제내·외지 통합 평가 결과, 상위 순위 소단위에 속한 지역을 댐 홍수터와 수변구역을 연계한 통합형 수변생태벨트 적지 후보지로 도출하였다. GIS 분석으로 도출된 후보지들이 실제 조성이 가능한 지역인지와 적정성 여부를 검증하기 위해 현장조사를 추가적으로 실시하였다. 우선순위가 높은 일부 후보지를 대상으로 통합형 수변생태벨트 조성 여건인 홍수터와 주변 수변구역의 토지이용 실태, 오염원 현황, 수변구역 토지 매수·복원 현황과 접근성 등을 확인하였다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 제,내외지 공간적 범위 설정

Arc GIS 9.3.3 프로그램을 사용하여 제외지 홍수터와 제내지 모두를 아우를 수 있는 통합적 공간적 범위로서 소단위를 138개 도출하였다. 소단위는 오염총량관리를 위해 소유역을 지류별, 유하시간별, 물의 흐름, 산맥 등에 따라 더 세분화한 면적 단위이다(NIER, 2019). 제외지인 홍수터는

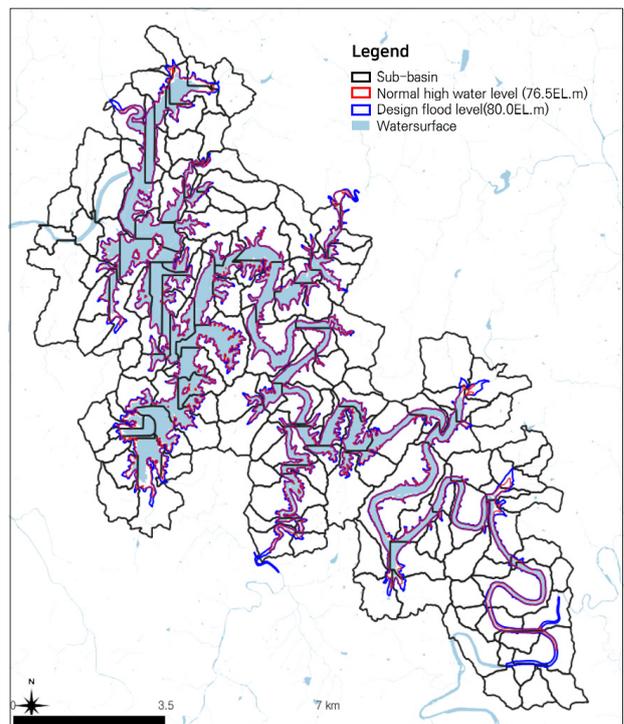


Fig. 5. Division of Sub-basins for analysis

연속 수치지형도 및 저수구역 측량자료를 활용하여 상시만수위와 계획홍수위의 경계를 비교하여 Figure 5와 같이 약 9,285,973㎡의 면적을 홍수터 범위로 산정하였다.

3.2 제,내외지 평가인자 검토 및 기준 설정

1) AHP 구조모형 설정 및 평가인자 선정

댐 호소 내 홍수터와 수변구역을 연계한 통합형 수변생태벨트 적지 우선 순위 설정에 초점을 맞추어 평가인자 우선순위 결정 모형을 Figure 6과 같이 구성하였다. 이는 AHP 구조 모형의 제1계층이며 연구의 목적이다.

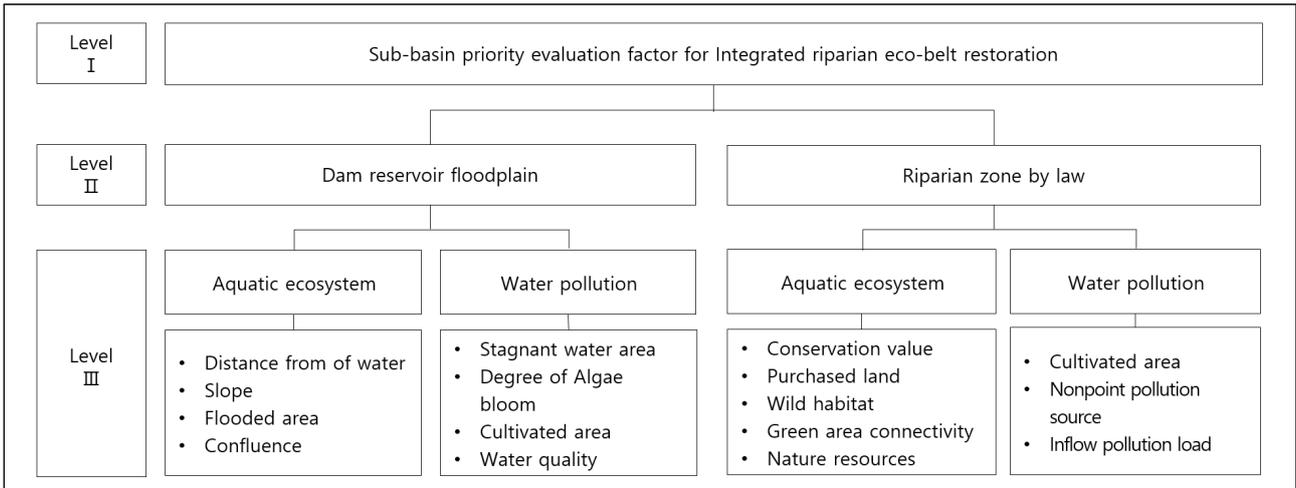


Fig. 6. AHP model for deriving weights for integrated riparian eco-belt site analysis

제2계층은 통합형 수변생태벨트로서 대상지 고유의 특성을 균형있게 반영하기 위해 제외지와 제내지 두 가지 측면에서 접근하였다. 제3계층은 기존 수계별 수변구역관리 기본계획과 최근 5년간 연구된 관련 문헌에서 제시된 주요 항목을 통해 제내·외지별 평가를 위한 총 16개 주요 평가인자를 도출하여 분류하였다. 본 연구의 목적이 수변생태벨트 생태계, 수질 보전기능의 균형있는 작동임을 감안하여 제외지와 제내지 내에서 생태계 분야와 수질 분야별 평가인자들을 분류하되 분야별 가중치는 균등하게 적용하였다.

제외지의 생태계 관련 평가인자는 수역으로부터 거리, 경사, 침수지역, 합류부 4개 인자를 선정하였으며 수질 관련 평가인자는 정체수역, 녹조빈번지역, 경작지 현황, 수질 현황 등 4개 인자를 선정하였다. 제내지의 수생태계 관련 평가인자는 보전가치평가, 매수토지 현황, 생물서식처, 연계가능 녹지, 연계 가능 자원 등 5개 인자를 선정하였으며 수질 관련 평가인자는 경작지 현황, 비점오염원 발생부하량,

오염 유입부하량 등 3개 인자를 선정하였다.

2) 설문조사 및 평가인자별 기준 설정

제내·외지별 우선순위 결과를 바탕으로 가중치를 고려한 배점 기준을 산정하기 위해 수변생태벨트 관련 포커스그룹 20인을 대상으로 설문조사를 통해 제내·외지 각 평가인자별 중요도에 대한 AHP 분석을 시행하였다.

댐 호소내 홍수터와 수변구역 등을 연계한 통합형 수변생태구역 설정 우선순위 결정을 위해 선정된 평가 인자에 대한 설문 결과를 토대로 쌍대비교 행렬을 작성하고 표준화 행렬 과정을 통해 각 평가인자의 가중치(상대적 중요도)를 Table 1과 같이 산정하였다.

제외지와 제내지 간의 가중치 산정결과 제외지(0.505)가 제내지(0.495)보다 다소 높게 나타났으나 거의 대등한 수준으로 확인되어 통합형 수변생태벨트로서 연계하고자 하는 취지에 부합되는 결과로 판단되었다. 제외지의 수생태계

Table 1. Relative weight by sub index

Category	High weight	Factors of appraisal		Low weight	Final weight (Rank)	CR
Dam reservoir floodplain	0.505	Aquatic ecosystem	Distance from of water level	0.261	0.132 (2)	0.09
			Slope	0.127	0.064 (4)	
			Flooded area	0.225	0.114 (3)	
			Confluence	0.387	0.195 (1)	
		Water pollution	Stagnant water area	0.106	0.054 (4)	0.01
			Degree of Algae bloom	0.233	0.118 (3)	
			Cultivated area	0.352	0.178 (1)	
		Water quality	0.308	0.156 (2)		
Riparian zone (Inland)	0.495	Aquatic ecosystem	Conservation value	0.297	0.147 (1)	0.04
			Purchased land	0.165	0.082 (4)	
			Wild habitat	0.235	0.116 (2)	
			Green area connectivity	0.184	0.091 (3)	
			Nature resources	0.119	0.059 (5)	
		Water pollution	Cultivated area	0.245	0.121 (3)	0.00
			Nonpoint pollution source	0.351	0.174 (2)	
			Inflow pollution load	0.404	0.200 (1)	

관련 하위 평가인자 간 상대적 중요도를 평가한 결과, 합류부(0.387)가 가장 높게 나타났으며 경사(0.127)가 가장 낮게 나타났다. 이는 하천, 호소와 지천이 만나는 합류부에 일반적으로 넓고 비옥한 토질의 홍수터가 발달하여 인위적인 토지이용 및 생태계 교란 빈도가 높음을 의미한다. 수역으로부터 거리(0.261)는 두 번째로 높게 나타났는데 거리 정도에 따른 생물 서식처, 종다양성에 미치는 영향이 큼을 시사한다. 제외지의 수질 관련 하위 평가인자간 상대적 중

요도를 평가한 결과, 경작지 현황(0.352)이 가장 높게 나타났으며 정체수역(0.106)이 가장 낮게 나타났다. 이는 홍수터 내 과도한 유, 무단 경작행위가 호소 내 수질 보전에 미치는 영향이 크므로 수변생태벨트로의 조성, 관리 필요성이 높음을 의미한다.

제내지의 수생태계 관련 하위 평가인자 간 상대적 중요도를 평가한 결과, 보전가치평가(0.297)가 가장 높게 나타났으며 연계 가능 자원(0.119)이 가장 낮게 나타났다. 보

Table 2. Evaluation factors, criteria, and weights for integrated riparian eco-belt

Factors of Appraisal		Standard Score Criteria			Weights	
Dam reservoir floodplain	Aquatic ecosystem	Distance from of water	Distance from the normal water level to the designed flood level	50m ~	5	0.132
				20m ~ 50m	3	
				Under 20m	1	
		Slope	Average slope	Under 12%	5	0.064
				12% ~ 25%	3	
				25% ~	1	
	Flooded area	Area of flooded area	10,000m ² ~	5	0.114	
			5,000m ² ~ 10,000m ²	3		
			Under 5,000m ²	1		
	Confluence	Confluence(inflow) area	To be included	5	0.195	
	Water pollution	Stagnant water area	Average of flow velocity	Under 0.02 m/s	5	0.054
				0.02 m/s ~	3	
		Degree of Algae bloom	Number(cells/ml) of harmful green algae cells	1,000 cells/ml ~	5	0.118
				Under 1,000 cells/ml	3	
		Cultivated area	Area of cultivated land	50,000m ² ~	5	0.178
20,000m ² ~ 50,000m ²				3		
Under 20,000m ²	1					
Water quality	Total ratio(mg/L) of BOD, TN, TP	3.7 mg/L ~	5	0.156		
		3.2 mg/L ~ 3.7 mg/L	3			
		Under 3.2 mg/L	1			
Riparian zone (Inland)	Conservation value	Priority of restoration (3rd quintile)	High	3	0.147	
			Middle	2		
			Low	1		
	Purchased land	Area of purchased land	50,000m ² ~	3	0.082	
			10,000m ² ~ 50,000m ²	2		
			Under 10,000m ²	1		
	Wild habitat	Number of habitats	2 ~	3	0.116	
			1	2		
			0	1		
	Green area connectivity	Area of connectable green zone	1,500,000m ²	3	0.091	
			1,000,000m ² ~ 1,500,000m ²	2		
			Under 1,000,000m ²	1		
	Nature resources	Number of linkable natural resources	2 ~	3	0.059	
			1	2		
			0	1		
Water pollution	Cultivated area	Area of cultivated land	300,000m ²	3	0.121	
			150,000m ² ~ 300,000m ²	2		
			Under 150,000m ²	1		
	Nonpoint pollution source	Top ranking(land-use area × source unit value)	Top 30%	3	0.174	
			30% ~ 50%	2		
			50% ~ 100%	1		
Inflow pollution load	Top ranking(pollution load × delivery ratio)	Top 30%	3	0.200		
		30% ~ 50%	2			
		50% ~ 100%	1			

전가치평가는 대상지의 현재 상태에 대해 보전할 것인지, 복원할 것인지 등을 평가하여 대상 지역의 잠재성을 도출하는 것으로 댐 유역에서 복원이 필요한 지역을 추출하는데 유용한 평가인자이다. 수질 관련 하위 평가인자간 중요도는 오염 유입부하량(0.404)이 가장 높게 나타났으며 경작지 현황(0.245)이 가장 낮게 나타났다. 광범위하고 다양한 토지이용이 이루어지는 제내지에서 오염 유입부하량이 큰 지역에 수변생태벨트 조성 필요성이 높음을 의미하는 것이다.

평가인자별 최종 가중치는 제외지 및 제내지별 중요성 가중치 결과값에 하위 평가인자별 중요성 가중치를 각각 적용하여 산정하였다. 제외지의 수생태계 관련 평가인자는 합류부(0.195), 수역으로부터 거리(0.132), 침수지역(0.114), 경사(0.064) 순으로 나타났다. 수질 관련 평가인자는 경작지 현황(0.178), 수질 현황(0.156), 녹조빈번지역(0.118), 정체수역(0.054)순으로 나타났다.

제내지의 수생태계 관련 평가인자는 보전가치평가(0.147), 생물서식처(0.116), 연계 가능 녹지(0.091), 매수토지 현황(0.082), 연계 가능 자원(0.059) 순으로 나타났다. 제내지의 수질 관련 평가인자는 오염 유입부하량(0.200), 비점오염원 발생부하량(0.174), 경작지 현황(0.121) 순으로 나타났다.

일관성 지수(CR) 산정 결과, 제외지의 수생태계, 수질 관련 일관성 지수는 각각 0.09, 0.01, 제내지의 수생태계, 수질 관련 일관성 지수는 각각 0.04, 0.00으로 적정 기준 수치인 0.1보다 낮게 산정되어 중요성 가중치로서 일관성을 확보한 것으로 나타났다.

앞서 도출된 평가인자와 가중치를 이용하여 포커스그룹 2차 집단 심층면접을 통해 Tabel 2와 같이 평가기준(안)을 제시하였다. 인자별 평가내용은 문헌연구와 포커스그룹 의견을 수렴하여 설정하였다. 각 평가인자별 GIS 분석시 소단위간 상대적인 수준 차이를 확인하기 위해 인자별 3~5점 만점 기준, 3단계 척도로 점수화하였다. 제외지 홍수터에서는 소단위 내에서 면적의 비중이 낮으며 평가인자별 다수의 홍수터 속성을 합산, 평균해야 하므로 분석결과 수준의 상대적인 변별력을 높이기 위해 인자별 5점 만점을 적용하였으며, 제내지에서는 각 평가인자별 속성에 대한 객관적인 비교, 분석이 용이하므로 3점 만점을 적용하였다.

3.3 소단위별 제내·외지 통합 평가

GIS를 활용하여 제내·외지별 평가인자 및 기준에 따라 소단위별 분석을 시행하였다. 제외지의 경우, 소단위ID 133과 ID134가 4.947점으로 가장 높았으며 ID123(4.819), ID112(4.635), ID136(4.635), ID86(4.327), ID115(4.323) 등 순으로 평가되었다. 제내지의 경우, 소단위ID15가 2.772점으로 가장 높았으며 ID86(2.713), ID90(2.707), ID63(2.682), ID78(2.656), ID133(2.654) 등 순으로 평가되었다. 각 소단위 평가결과와 상대적인 분포를 확인하기 위해 5개 등급으로 분류하여 제외지, 제내지별로 도면화하였다

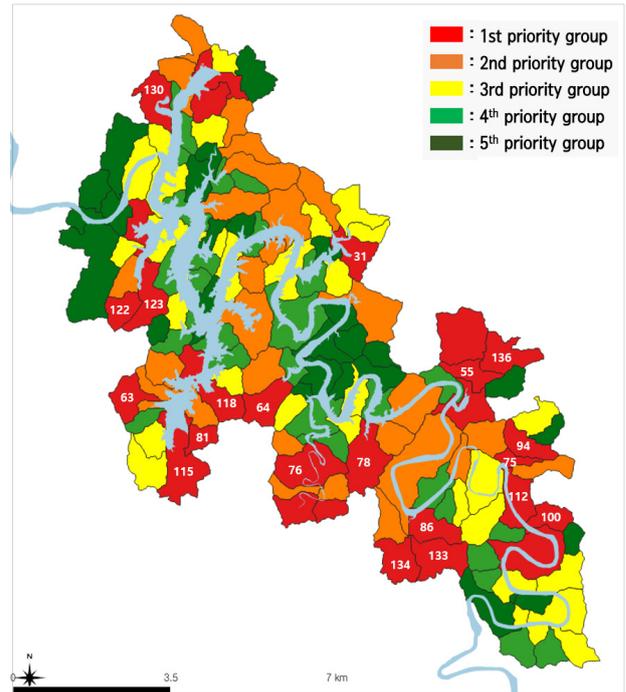


Fig. 7. Evaluation results for integrated riparian eco-belts

(Appendix 1, 2). 각 분류 등급은 전체 138개 소단위를 5분위로 개소수를 설정하였으며, 1순위 등급은 1~28위, 2순위 등급은 29~56순위 등으로 구분하였다.

제내·외지별 평가결과를 바탕으로 동일 소단위ID 기준 제내·외지 통합평가를 통해 우선순위를 도출하였는데 소단위 ID133이 7.601점으로 가장 높았으며 ID123(7.326), ID86(7.04), ID134(6.853), ID115(6.801), ID130(6.747) 등 순으로 평가되었다. 제내·외지 통합 우선순위는 앞서 도출한 제내·외지별 우선순위 중요성 가중치 반영 결과를 바탕으로 동일 소단위ID의 제내·외지 점수를 합산하여 산정하였으며 합산 점수가 가장 높은 점수부터 우선순위를 재산정하였다. 통합형 수변생태벨트 적지로서 각 소단위별 평가결과 순위의 상대적인 분포를 확인하기 위해 5개 등급으로 분류하여 Figure 7과 같이 도면화하였으며 상위 20순위는 Table 3과 같다.

본 연구에서 제시하는 댐 통합형 수변생태벨트의 범위는 기존 「물환경보전법」과 「4대강 수계법」에서 각각 제시하고 있는 수변생태구역, 수변구역의 범위와 「댐건설 및 주변지역지원 등에 관한 법률」에서 제시하고 있는 댐 저수구역 내 홍수터의 범위를 아우를 수 있는 공간적 범위로 볼 수 있다. 이는 대청호 일원의 실질적인 토지이용, 수질, 수생태계 영향과 배수구역 단위를 고려한 실질적인 수변완충기능 작용에 유리한 후보지역을 도출한 것이다.

3.4 통합형 수변생태벨트 후보지 현장 검증

적지 분석을 통해 도출된 대상지들에 대해 실제 조성 가능한 지역인지 타당성 판단을 위해 현장검증을 시행하였

Table 3. Top 20 sub-basins in the evaluation for integrated riparian eco-belts

Rank	Sub-basin ID	Evaluation		
		Dam reservoir floodplain	Riparian zone(Inland)	Total
1	133	2,654	4,947	7,601
2	123	2,507	4,819	7,326
3	86	2,713	4,327	7,040
4	134	1,906	4,947	6,853
5	115	2,478	4,323	6,801
6	130	2,476	4,271	6,747
7	112	2,045	4,635	6,680
8	78	2,656	3,843	6,499
9	136	1,758	4,635	6,393
10	81	2,098	4,235	6,333
11	100	2,566	3,659	6,225
12	63	2,682	3,383	6,065
13	64	2,450	3,531	5,981
14	31	2,499	3,403	5,902
15	75	2,241	3,659	5,900
16	118	2,239	3,575	5,814
17	55	1,490	4,279	5,769
18	94	2,041	3,660	5,701
19	122	2,416	3,260	5,676
20	76	1,818	3,843	5,661

다. 상위 20위 순위 내 대상지 중 현장 접근이 용이한 소단위 ID94, ID100, ID115, ID133, ID136 등 5개 지역을 대상으로 오염원 현황, 기 매수 현황, 기 복원 현황 등을 조사하였다.

소단위ID94는 충청북도 옥천군 안남면 연주리 431-4 일원으로 지방하천인 안남천이 대청호에 유입되는 구간에 220,000m²의 넓은 홍수터가 형성되어 조사료, 감자, 옥수수 등의 경작이 이루어지고 있는 지역이다. 수변구역인 대상지 상류에 대규모 농경지와 축산단지가 분포하고 있으며 강우시 홍수터의 잦은 침수로 인해 비점오염원 유출이 큰 지역으로 파악되었다. 소단위ID 94 현황은 Table 4와 같다.

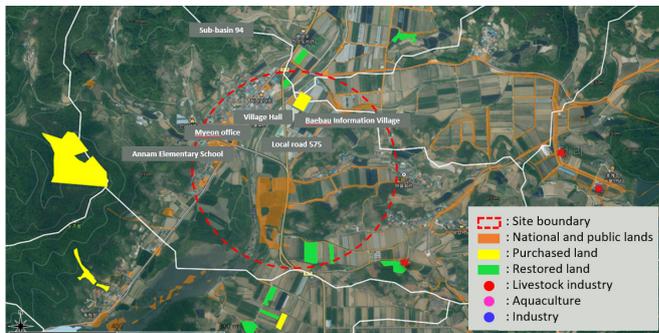
소단위ID100은 충청북도 옥천군 안남면 지수리 1112 일

원에 소하천이 합류하는 29,000m² 규모의 홍수터로 대규모 조사료 재배와 밭 농사, 비닐하우스 재배 등이 이루어지는 지역이다. 소하천 주변에 매수토지 및 기조성 녹지가 분포하여 홍수터와 연계한 수변생태벨트 조성시 비점오염원 저감과 생태축 연결 측면에서 유리한 것으로 파악되었다. 소단위ID 100 현황은 Table 5와 같다.

소단위ID115는 대전광역시 동구 신상동 291-2일원에 61,000m²의 홍수터로 2개의 소하천이 대상지로 합류되어 강우시 상류 부유물 및 밭농사 지역의 비점오염원들이 집중적으로 유입되는 지역으로 확인되었다. 대상지 주변은 상수원보호구역으로 토지매수가 활발히 이루어지고 있으며 댐 홍수터와 연계한 수변생태벨트 조성에 적합한 것으로

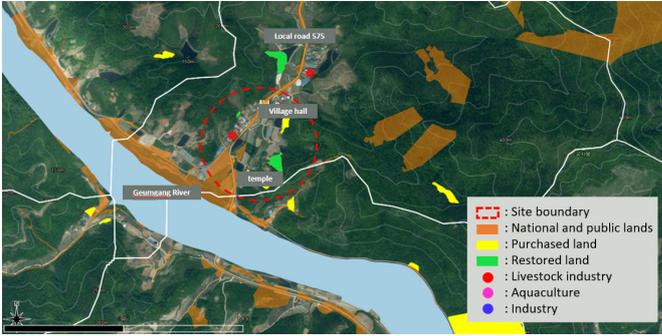
Table 4. On-site investigation results for major proposed sites(1)

sub-basin ID	ID 94	Location	431-1, Yeonju-ri, Annam-myeon, Okcheon-gun, Chungcheongbuk-do
--------------	-------	----------	---



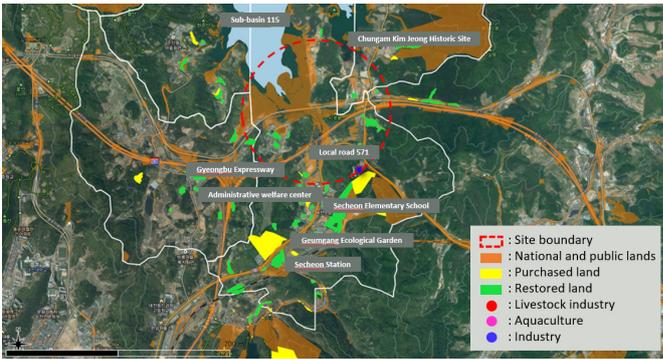
Large-scale areas can be secured, and many neighboring national and public lands, purchased land, and restored lands are located. Local road 575 is located adjacent to it, and many factors that can be connected to local residents such as Annam Elementary School, Annam-myeon Office, and Yeonju 1-ri Village Hall are located. There are no resources that can be linked to each other, but Baebau Clean Information Village is adjacent and large-scale agricultural land and livestock houses appear as surrounding pollutants.

Table 5. On-site investigation results for major proposed sites(2)

sub-basin ID	ID 100	Location	1112, Jisu-ri, Annam-myeon, Okcheon-gun, Chungcheongbuk-do
			

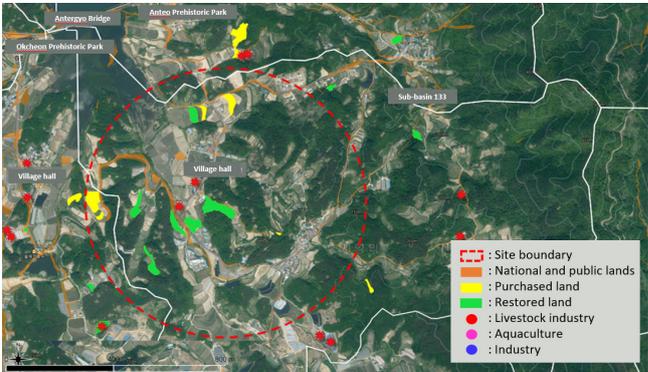
There is a limit to securing the area of the target site for large-scale construction, and a number of national and public lands adjacent to the target site are spreaded, but some of the purchased land and restored sites are located. Adjacent Local Road 575 is located, and Jisu 2-ri Village Hall and related history can be linked. Agricultural land and livestock pollutants are located as nearby pollutants.

Table 6. On-site investigation results for major proposed sites(3)

sub-basin ID	ID 115	Location	292-2, Sinsang-dong, Dong-gu, Daejeon
			

Although there is a limit to the area for large-scale construction, many neighboring national and public lands, purchased lands, and restored lands are distributed. Adjacent Gyeongbu Expressway, Local Road 571, and Secheon Station are located, and Daecheong-dong Administrative Welfare Center and Secheon Elementary School can be linked. The resources that can be linked include Geumgang Ecological Madang and Chungam Kimjeong Historic Site, and large-scale agricultural lands are located as nearby pollutants.

Table 7. On-site investigation results for major proposed sites(4)

sub-basin ID	ID 133	Location	529-5, Seoktan-ri, Donggi-myeon, Okcheon-gun, Chungcheongbuk-do
			

Large-scale areas can be secured, but the area of neighboring national and public lands is not large. Adjacent purchased lands and restored lands are located, and nearby Anteo Bridge is located, but major roads are insufficient. Adjacent Seoktan 2-ri Village Hall and Namgok-ri Village Hall are located, and Okcheon Pre-historic Park and Anteo Pre-historic Park are located as linked resources. Large-scale agricultural land and livestock pollutants are distributed as surrounding pollutants.

Table 8. On-site investigation results for major proposed sites(5)

sub-basin ID	ID 136	Location	Hyeonri 66, Annae-myeon, Okcheon-gun, Chungcheongbuk-do

It is possible to secure a large-scale area that can be restored, but the area of neighboring national and public lands are insignificant. A number of adjacent purchased land are located, National Route 37, 575 and 502 are located, and nearby Annae-myeon Community Center, Hyeonri Village Hall, and Guided Elementary School are located. Sinchon Hanul Village Multipurpose Experience Center is located as a linkable resource, and it is an area where large-scale agricultural land and livestock pollutants are distributed.

파악되었다. 대전 도심에서 10분 이내에 위치하여 생태교육, 관광을 위한 활용가치도 높은 것으로 파악되었다. 소단위ID 115 현황은 Table 6과 같다.

소단위ID133은 충청북도 옥천군 동이면 석탄리 529-5일원으로 담수기능을 하는 안터교로 인해 220,000m²의 대규모 홍수터가 형성되어 있다. 5개의 소하천과 인근 농수로를 통해 주변 농경지, 축산 오염원이 대상지로 유입되어 비점오염원 저감을 위한 대책이 필요한 지역으로 확인되었다. 또한 안터교 주변의 불법 낚시로 인해 쓰레기 투기가 빈번하고 생태계 교란 우려가 높으며 석탄리 일원은 운문산반딧불이(*Luciola unmunisana*)가 출현하는 지역으로 청정자연환경 보전을 위해 홍수터와 수변구역을 연계한 서식공간 복원이 필요한 것으로 파악되었다. 소단위ID 133 현황은 Table 7과 같다.

소단위ID136은 충청북도 옥천군 안내면 현리 66일원으로 지방하천인 안내천과 월외천이 유입되며 홍수터 면적이 207,000m²로 넓은 지역이다. 홍수터에 지속적인 농경행위가 대규모로 이루어지고 있으며 주변에 축산계 오염원이 분포하고 있다. 수변구역 내 다수의 매수토지와 기조성 녹지가 분포하고 있으며 37번 국도, 575번 지방도 등 접근성이 양호하고 주민자치센터, 마을회관 등이 입지하여 주민참여 기반의 수변생태벨트 조성과 관리체계 구축에도 유리할 것으로 파악되었다. 소단위ID 136 현황은 Table 8과 같다.

현장조사 결과, 모든 소단위 지역의 홍수터 내에 비점오염원인 경작지가 넓게 분포하고 있었으며 수변구역인 제내지에 기매수토지 및 복원지역이 분포하고 있었다. 그리고 대상지 내의 물리, 생태적인 연계 가능성과 접근성 등도 양호하여 GIS를 통한 통합형 수변생태벨트 적지 분석 결과의 적정함과 활용성을 확인할 수 있었다.

단, 각 대상지별 토지이용, 수계, 지형, 오염원의 종류, 생태 경관 및 사회문화적인 특성이 다양할 수 있으므로 실제

로 통합형 수변생태벨트 조성을 추진 시에는 세부적인 현장 조사, 분석을 통해 대상지별 맥락에 맞는 계획, 설계가 이루어져야 할 것으로 판단되었다. 또한 대상지별 수변생태벨트의 지속가능한 복원 및 보전관리를 위해서는 계획-실행-운영 전 과정에 관계기관 지역주민들이 협력하는 상생협력체계 구축으로 아이디어 공유와 소통이 필요할 것이다. 이를 통해 관계기관, 주민참여 관리, 생태-문화 자원 활성화로 마을 공동체, 홍수터 친환경 보전 및 일자리, 소득 창출이 가능할 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 금강 수계 대청댐 유역을 대상으로 댐 호소의 소단위별 제외지 댐 홍수터와 제내지 수변구역의 수질, 생태계 특성을 종합적으로 평가하는 통합형 수변생태벨트 적지 선정방안을 제시하고 분석하였다.

먼저 GIS 기반의 통합적 공간 범위로서 대청댐 유역을 138개 소단위로 구분하고 9,285,973m²의 홍수터 범위를 대상으로 분석을 실시하였다. 관련문헌 연구와 포커스 그룹을 대상으로 한 설문을 통해 생태계, 수질 영향 관련 제내·외지별 8개씩 총 16개의 평가인자를 선정하고 AHP 분석으로 인자별 중요도에 대한 가중치를 설정하였다. 제외지는 수역으로부터 거리, 경사, 침수지역, 합류부, 정체 수역, 녹조빈번 지역, 경작지 현황, 수질 현황 등 8개 인자를 선정하였다. 제내지는 보전가치평가, 매수토지 현황, 생물서식처, 연계 가능 녹지, 연계 가능 자원, 경작지 현황, 비점오염원 발생부하량, 오염 유입부하량 등 8개 인자를 선정하였다.

제내·외지별, 인자별 소단위에 대한 분석 후 가중치를 적용하여 통합 평가를 실시하였다. 통합형 수변생태벨트 적지로서 각 소단위별 평가결과 우선순위의 상대적인 분포를 확인하기 위해 5개 등급으로 분류하여 도면화하였으며 적

지 상위 순위를 도출하였다.

적지 분석을 통해 도출된 대상지들에 대해 실제 조성이 가능한 지역인지 타당성 판단을 위해 5개 대상지에 대한 현장 검증을 시행하였다. 모든 대상지의 홍수터 내에 비점 오염원인 경작지가 넓게 분포하고 수변구역인 제내지에 기매수토지 및 복원지역이 분포하였으며 물리, 생태적인 연계 가능성 및 접근성 등도 양호하여 GIS분석으로 도출한 통합형 수변생태벨트 조성 적지 분석 기법이 적정함을 확인할 수 있었다.

본 연구의 결과는 향후 물관리, 하천관리 관리 일원화 등 정책변화에 따른 통합적 수변관리 정책 설정시 유용한 기법으로 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

단, 본 연구결과를 보다 실효성있게 적용하기 위해서는 다양한 현장 여건에 대한 조사가 병행되어야 할 것이다. 대상 댐별 특성과 현안에 따라 다양한 평가인자와 항목별 가중치 적용이 필요할 수 있으며 GIS분석 결과에 대해 상세한 현장 평가를 통한 상호확인 과정도 필요하다. 그리고 본 연구를 통해 도출된 통합형 수변생태벨트 지역에 대해 그린-블루네트워크(Green-Blue Network) 측면을 고려한 세부적인 보전·복원방안 마련과 더불어 생태계서비스 측면의 평가 모니터링 및 기존 4대강 수계법, 하천법, 댐건설법 등 관련 법, 제도 측면의 상호 연계, 개선방안 등에 대해서도 추가적인 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 금강수계관리위원회의 2020년도 금강수계 환경기초조사사업 지원을 받아 연구되었습니다.

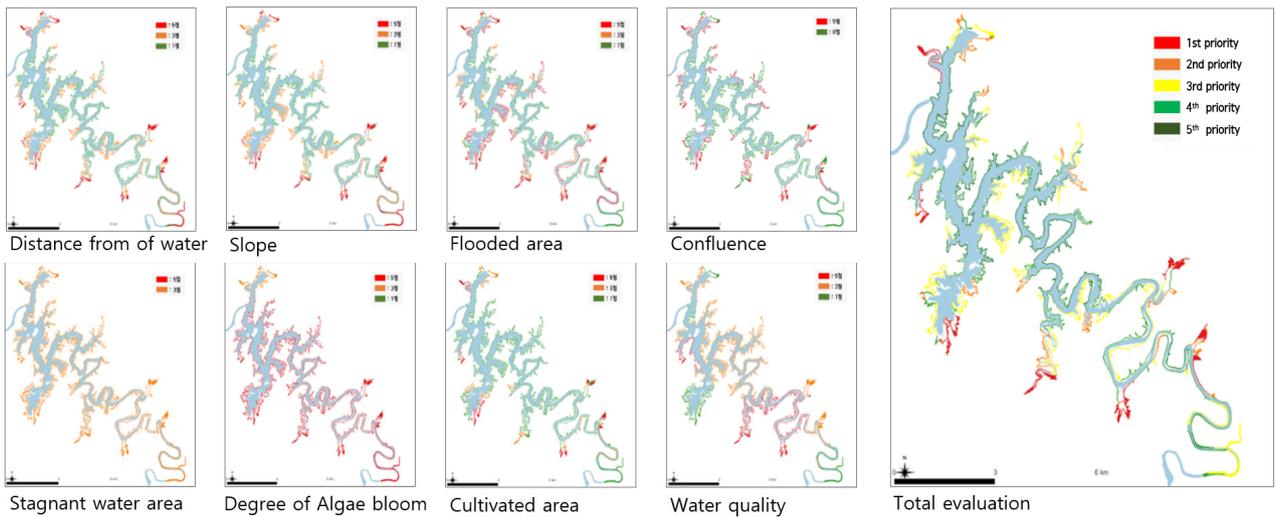
References

- Bae, MS (2014). The Environmental Friendly Development Plan of Daecheong-ho Region, *Chungbuk research institute, research report*. pp. 103-112. [Korean Literature]
- Bahn GS, Lee KH, Uh CH and Cho MH (2020). A Study on the Sustainable Restoration and Management of Dam Lakes and Riverside Buffer Zones: *Proceedings of the Conference of the Korean Society of Environmental Restoration Technology*. [Korean Literature]
- Bahn GS (2021). Analyzing Suitability and Effects of Riparian Eco-belt in Dam floodplains for Ecological Watershed Management. *PhD thesis, Korea University*. [Korean Literature]
- Bahn SH, Oh CH (2010). A Development of Landscape Ecological Model for Priority Setting Green Space on Riparian Zone. *In Proceedings of the academic presentation of the Korean Society of Environmental Ecology*. pp. 113-117. [Korean Literature]
- Choi HS, Jeon MS and Kim LH (2020). Effect of Cultivation Activity in Daecheong Lake Flood Control Site on Water Quality. *J. of Wetlands Society*. 22(1), pp. 49-58. [Korean Literature]
- Choe SJ, Bae MG & Park CS (2010). A study on the selection of priority areas for management for the creation of a waterfront ecological belt. *In Proceedings of the Korean Institute of Landscape Architecture Conference*, pp. 80-86. [Korean Literature]
- Choi JY, Jung YJ (2000). Research on the creation and management of waterside green areas for water quality improvement. *KEI Basic Research Report*, 2000, 1-85. [Korean Literature]
- Choi JY, Lee JH (2001). A study on the creation and management of waterfront green spaces in urban areas. *KEI Basic Research Report*, 2001, 1-99. [Korean Literature]
- Geum River Watershed Management Committee (GRWMC). (2017). A Study on the Improvement of Water Quality Improvement Effect by Land Purchase in the Geumgang River: *research report*. [Korean Literature]
- Geum River Watershed Management Committee (GRWMC). (2020a). A study on dam inflow floodplain for improvement of water quality and revitalization of riparian ecological zone: *research report*. [Korean Literature]
- Geum River Watershed Management Committee (GRWMC). (2020b). A Study on the Agricultural Impact and Management Plan of the Daecheong Reservoir: *research report*. [Korean Literature]
- Geum River Watershed Management Committee (GRWMC). (2018). The 3rd Geum River Waterfront Area Management Basic Plan(2019-2023). [Korean Literature]
- Han River Watershed Management Committee(HRWMC). (2007). A master plan for the riparian management in the Han river basin.
- Hong JP, Lee JW, Choi OH, Son JD, Choi DG and An DM (2014). A Study on Land Acquisition Priority for Establishing Riparian Buffer Zones in Korea. *J. of the Korean Society for Environmental Restoration Technology*. 17(4), pp. 29-41. [Korean Literature]
- Kim GS and Kang SW (2008). An Analysis on the Factor for the Economic Cooperation in the Yellow-Sea Region Using AHP. *J. of Distribution and Management Research*, 11(4): pp. 133-149. [Korean Literature]
- Kim KG. et al. (2000). A research on the environmentally sound and sustainable development for the Northern district of Gyeonggi-do, UNDP, ROK/96/007. Seoul National University, Ministry of Science and

- Technology, Korea Land Corporation. [Korean Literature]
- K-water. (2019). A study on the installation and management of non-point pollution reduction facilities in Yongdam reservoir basin. [Korean Literature]
- K-water. (2020). A research for the riparian ecological belt model in the aspect of integrated water management: Final Report. [Korean Literature]
- Mendlik, T., and Gobiet, A. (2016). Selecting climate simulations for impact studies based on multivariate patterns of climate change. *Climatic change*. 135, pp. 381-393.
- Ministry of Environment(MOE). (2010). A study on the rational adjustment plan for the waterfront area of the Han River. [Korean Literature]
- Ministry of Environment(MOE). (2016). The 2nd Water Environment Management Basic Plan (2016-2025). [Korean Literature]
- Ministry of Environment(MOE). (2018). A report on the results of specific audits for the waterside ecological belt creation project. [Korean Literature]
- Ministry of Environment(MOE). (2019). Algae management policy direction presentation report. [Korean Literature]
- Nakdong River Watershed Management Committee (NRWMC). (2015). A study on the selection of priority project sites for the creation of a waterfront ecological belt. [Korean Literature]
- National Institute of Environmental Research(NIER). (2019). Total Wate Pollution Load Management Guideline. [Korean Literature]
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). (2020). Environmental performance of agriculture - indicators. OECD Agriculture Statistics (database), <https://doi.org/10.1787/ac0b4422-en>
- Osmond, D. L., Gilliam, J. W., and Evans, R. O. (2002). Riparian buffers and controlled drainage to reduce agricultural nonpoint source pollution. *North Carolina Agric. Res. Serv. Tech. Bull.*, 318.
- Parris, K. (2011). Impact of agriculture on water pollution in OECD countries: Recent trends and future prospects. *Int. J. Water Resour.* 27, pp. 33-52.
- Peterjohn, W. T. and Correll, D. L. (1984). Nutrient dynamics in an agricultural watershed: observations on the role of a riparian forest. *Ecology*, 65(5), pp. 1466-1475.
- Ribaudo, M., Jorge D., LeRoy H., Michael L., Roberto M., and James W. (2011). Nitrogen in agricultural systems: Implications for conservation policy. *USDA-ERS economic research Report*. 127.
- Ryu J, Cho J, Kim IJ, Mun Y, Moon JP, Kim NW, Kim SJ. and Lim KJ. (2011). Enhancement of SWAT-REMM to simulate reduction of total nitrogen with riparian buffer. *Transactions of the ASABE*. 54, pp. 1791-1798.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw, pp. 3-35.
- Saaty, T. L. (2001). *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process*(2nd ed.). Pittsburgh: RWS Publications, 84.
- Seo JY (2019). Basic Research on Mid-to-Long-term Management Plan of Purchased Land by Evaluating Ecological Function of Waterfront Area of Geum River. *Journal of Environmental Science International*, 28(3), 371-384. [Korean Literature]
- Song IH and Kim IJ (2018). Determining widths of riparian ecosystem zone for water quality and ecosystem conservation - A case study for the Jinwee stream. *Rural Planning*, 24(2), pp. 21-29. [Korean Literature]
- Shim YJ, Cha JY, Park YS, Lee DJ, Seo YH, Hong JP and Cho DG (2014). A Study on the Land Purchase Priority Measurement of the Riparian Areas in Yeongsan and Seomjin River Basin - Focusing on the Riparian Areas of the Juam Lake. *J. of the Korean Society for Environmental Restoration Technology*, 17(1), pp. 173-184. [Korean Literature]
- Su, X., Wang, H., and Zhang, Y. (2013). Health risk assessment of nitrate contamination in groundwater: A case study of an agricultural area in Northeast China. *Water resources management*. 27, pp. 3025-3034.
- Google Earth (2021). <https://earth.google.com>
- Land Purchase Information System(LPIS) (2021). <https://land.me.go.kr>
- Environmental Geographic Information Service(EGIS) (2021). <https://egis.me.go.kr/map>
- National Law Information Center(NLIC) (2021). <https://www.law.go.kr>
- Water Environment Information System(WEIS) (2021). <https://www.water.or.kr>

Appendix 1. The evaluation results of each factor of dam floodplains in Sub-basin(from 1st to 20th)

Priority	Sub-basin ID	Distance from of water	Slope	Flooded area	Confluence	Stagnant water area	Degree of Algae bloom	Cultivated area	Water quality	Total
1	133	0.66	0.32	0.57	0.975	0.162	0.59	0.89	0.78	4.947
2	134	0.66	0.32	0.57	0.975	0.162	0.59	0.89	0.78	4.947
3	123	0.66	0.192	0.57	0.975	0.162	0.59	0.89	0.78	4.819
4	112	0.66	0.32	0.57	0.975	0.162	0.59	0.89	0.468	4.635
5	136	0.66	0.32	0.57	0.975	0.162	0.59	0.89	0.468	4.635
6	86	0.396	0.32	0.57	0.975	0.162	0.59	0.534	0.78	4.327
7	115	0.66	0.32	0.57	0.975	0.162	0.59	0.89	0.156	4.323
8	55	0.66	0.32	0.57	0.975	0.162	0.59	0.534	0.468	4.279
9	130	0.66	0.192	0.57	0.975	0.162	0.354	0.89	0.468	4.271
10	81	0.66	0.32	0.57	0.975	0.162	0.59	0.178	0.78	4.235
11	69	0.396	0.32	0.57	0.975	0.162	0.59	0.89	0.156	4.059
12	81	0.66	0.32	0.342	0.975	0.162	0.59	0.178	0.78	4.007
13	136	0.66	0.32	0.57	0.975	0.162	0.59	0.178	0.468	3.923
14	62	0.396	0.192	0.57	0.975	0.162	0.59	0.178	0.78	3.843
15	76	0.396	0.192	0.57	0.975	0.162	0.59	0.178	0.78	3.843
16	78	0.396	0.192	0.57	0.975	0.162	0.59	0.178	0.78	3.843
17	134	0.66	0.32	0.114	0.975	0.162	0.59	0.178	0.78	3.779
18	55	0.66	0.32	0.342	0.975	0.162	0.59	0.178	0.468	3.695
19	94	0.66	0.32	0.57	0	0.162	0.59	0.89	0.468	3.66
20	138	0.66	0.32	0.57	0	0.162	0.59	0.89	0.468	3.66



Appendix 2. The evaluation results of each factor of riparian zone in Sub-basin(from 1st to 20th)

Priority	Sub-basin ID	Conservation value	Purchased land	Wild habitat	Green area connectivity	Nature resources	Cultivated area	Nonpoint pollution source	Inflow pollution load	Total
1	15	0.441	0.164	0.232	0.273	0.177	0.363	0.522	0.6	2.772
2	86	0.441	0.164	0.232	0.273	0.118	0.363	0.522	0.6	2.713
3	90	0.294	0.246	0.232	0.273	0.177	0.363	0.522	0.6	2.707
4	63	0.294	0.164	0.348	0.273	0.118	0.363	0.522	0.6	2.682
5	78	0.441	0.164	0.116	0.273	0.177	0.363	0.522	0.6	2.656
6	133	0.441	0.164	0.232	0.273	0.059	0.363	0.522	0.6	2.654
7	40	0.441	0.246	0.348	0.273	0.059	0.363	0.522	0.4	2.652
8	100	0.294	0.164	0.232	0.273	0.118	0.363	0.522	0.6	2.566
9	123	0.294	0.164	0.232	0.273	0.059	0.363	0.522	0.6	2.507
10	113	0.147	0.246	0.232	0.273	0.118	0.363	0.522	0.6	2.501
11	31	0.294	0.164	0.348	0.273	0.177	0.121	0.522	0.6	2.499
12	48	0.147	0.246	0.348	0.273	0.118	0.242	0.522	0.6	2.496
13	115	0.441	0.246	0.348	0.273	0.059	0.363	0.348	0.4	2.478
14	130	0.441	0.164	0.116	0.273	0.118	0.242	0.522	0.6	2.476
15	24	0.441	0.164	0.348	0.091	0.177	0.121	0.522	0.6	2.464
16	64	0.294	0.164	0.116	0.273	0.118	0.363	0.522	0.6	2.45
17	101	0.294	0.164	0.232	0.273	0.118	0.242	0.522	0.6	2.445
18	122	0.294	0.164	0.232	0.182	0.059	0.363	0.522	0.6	2.416
19	109	0.441	0.164	0.116	0.273	0.177	0.121	0.522	0.6	2.414
20	131	0.441	0.164	0.116	0.273	0.177	0.121	0.522	0.6	2.414

