Journal of Wetlands Research
Vol. 25, No. 1, February 2023, pp. 64-73

ISSN 1229-6031 (Print) / ISSN 2384-0056 (Online)
DOI https://doi.org/10.17663/JWR.2023.25.1.64

생태하천 복원사업 우선순위 선정에 대한 연구: 한강하구를 중심으로

백선욱* · 이준학* · 이승민* · 이하늘* · 김형수** · 김수전**†

*인하대학교 스마트시티공학과
**인하대학교 사회인프라공학과

Priority Determination of the Projects for Ecological Restoration of the Stream : Case Study for Han River Estuary

Seonuk Baek* · Junhak Lee* · Seungmin Lee* · Haneul Lee* · Hung Soo Kim** · Soojun Kim**†

*Department of Smart City Engineering, Inha University, Korea
**Department of Civil Engineering, Inha University, Korea
(Received : 12 January 2023, Revised : 3 February 2023, Accepted : 16 February 2023)

요 약

2022년 이전에는 하천 관리 주체가 이원화되어 생태하천 복원사업을 계획 및 시행하는 과정에서 많은 혼선이 발생하였다. 이로 인해 하천 수생태계 건강성이 확보되지 못하였다. 그러나 2022년 환경부가 생태하천 복원사업을 주관하게 되며, 하천 수생태계 건강성 확보는 복원사업에서 필수적인 요소가 되었다. 따라서 본 연구에서는 기수역과 람사르 습지가 위치하여 하천 수생태계 건강성 확보가 필수적인 한강하구 지역을 대상으로 복원사업이 필요한 하천 구역을 선정하였다. 우선, 생태하천 복원사업의 세부 조사항목을 기반으로 하천의 물리적, 화학적, 공간/인문학적, 수생태계 건강성 평가지수를 산정하였다. 산정된 평가지수에 순위정렬(ranking), 스케일 재조정(re-scaling), z 점수(z-score), t 점수(t-score) 표준화(normalization) 방법을 적용하였으며, 도출된 값을 비교·분석하였다. 이후 각 평가지수에 엔트로피 가중치 방법(entropy weight method)을 적용하였다. 해당 과정을 통해 한강하구 지역 내에서 수생태계 건강성 확보를 목적으로 복원사업이 요구되는 하천(목감천, 안양천 등)을 선정하였다. 본 연구의 결과는 생태하천 복원사업의 우선순위를 선정하는 과정에서 기초연구 자료로 활용될 수 있을 것이다.

핵심용어 : 수생태계 건강성, 표준화 방법, 엔트로피 가중치 방법

Abstract

Before 2022, there was a lot of confusion in the process of planning and implementing the projects for ecological restoration of the stream due to dualization the principal agent of stream management. Because the Ministry of Environment took charge of the project in 2022, securing the health of aquatic ecosystem of stream became an essential factor in the project. Therefore, in this study, the streams that require the project for ecological restoration was selected in Han River estuary, where it is essential to secure the health of the stream aquatic ecosystem as blackish water zone and Ramsar wetland are located. Physical, chemical, spatial/humanistic, health of aquatic ecosystems evaluation indexes were calculated based on the detailed facts and figures of the project for ecological restoration of the stream in the beginning. Ranking, re-scaling, z-score, and t-score normalization methods were applied to the calculated evaluation index, and the values were compared and analyzed. After that, the entropy weight method was applied to each evaluation index. Through this process, the streams(Mokgamcheon, Anyangcheon

† To whom correspondence should be addressed.
Department of Civil Engineering, Inha University, Korea
E-mail: sk325@inha.ac.kr

• **Baek, Seonuk** Department of Smart City Engineering, Inha University, Korea / Master's Course (uk9509@nate.com)
• **Lee, Junhak** Department of Smart City Engineering, Inha University, Korea / Master's Course (junhag8159@nate.com)
• **Lee, Seungmin** Department of Smart City Engineering, Inha University, Korea / Master's Course (oozz1187@gmail.com)
• **Lee, Haneul** Department of Smart City Engineering, Inha University, Korea / Ph.D. Candidate (haneul6802@naver.com)
• **Kim, Hung Soo** Department of Civil Engineering, Inha University, Korea / Professor (sookim@inha.ac.kr)
• **Kim, Soojun** Department of Civil Engineering, Inha University, Korea / Professor (sk325@inha.ac.kr)

etc.) that require the project for ecological restoration were selected for the purpose of securing the health of the aquatic ecosystem in Han River estuary. The result of this study can be used as basic research data in the process of selecting the priority determination of the projects for ecological restoration of the stream.

Key words : Aquatic Ecosystem Health, Normalization Method, Entropy Weight Method

1. 서 론

우리나라는 많은 하천이 분포하는 지역으로 물관리(water management) 과정에서 하천 환경 관리는 매우 중요한 부분이다. 그러나 2018년까지 국토교통부(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, MOLIT)와 환경부(Ministry of Environment, ME)로 하천관리 주체가 이원화(dualized system)되어 효율적인 하천관리가 진행되지 못 하였다(Kim et al., 2021). 또한, 여가 공간 확보에 중점을 둔 국토교통부와 하천의 생태학적 가치 확보에 중점을 둔 환경부의 견해 차이가 존재하였다. 이로 인해 2021년까지 생태하천 복원사업은 국토교통부와 환경부로 분리되어 진행되었다. 결과적으로 생태하천 복원사업의 지향점인 수생태계 건강성이 확보되지 못한 채 생태하천 복원사업이 시행되었다(Ahn., 2012; Ahn et al., 2014; Roh et al., 2019; Yoon., 2022).

2022년 환경부가 생태하천 복원사업을 주관하게 되며, 하천의 수생태계 건강성 확보라는 사업의 방향성이 제시되었다. 따라서 수생태계 건강성 확보는 생태하천 복원사업에 있어 필수적인 요소가 되었다. 그러나 수생태계 건강성 확보를 중점으로 한 생태하천 복원사업의 명확한 매뉴얼(manual)이 존재하지 않으며, 해당 부분이 반영된 연구 또한 미비한 실정이다(Kwak et al., 2008). 따라서 하천의 수생태계 건강성 확보 방안을 도출하기 위해서는 생태하천 복원사업에 대한 다양한 연구가 필요하다.

생태하천 복원에 대한 연구사례를 살펴보면, Kang(2014)은 낙동강 유역을 대상으로 SWAT모형과 A1B 기후변화 시나리오를 활용하여 기후변화와 관련된 수생태계 취약구간을 선정하였다. 이를 통해 낙동강 내에서 수생태계 건강성이 가장 취약한 상위 10개 지점을 제시하였다. 해당 연구는 기후변화 시나리오를 활용하여 향후 하천 수생태계에 미칠 영향을 분석하였으나, 과거로부터 현재까지의 하천 변화추세가 고려되지 못 하였다. Lee(2021)는 생태학적 지표로서 활용 가능한 자료를 파악하였으며, 다른 연구에서 공통적으로 제시하고 있는 지표를 기반으로 생태하천 복원사업에 대한 하천 생태지표 시계열 변화를 분석하였다. 이를 통해 생태하천 복원사업 전후를 기점으로 하천의 생태학적 평가를 수행하였다. 즉, 생태하천 복원사업 이후 생물 다양성이 감소한다는 경향을 파악하였다. 해당 연구에서는 생태하천 복원사업이 시행된 생태하천을 대상으로 연구를 수행하였으나, 하천 훼손에 대한 명확한 요인을 제시하지 못 하였다. Cho et al. (2013)는 울산시 도심 하천을 대상으로 생태하천 복원사업에 따른 동물상 서식실태 조사를 수행하였으며, Choe et al.(2010)는 경기도 수원천을 대상으로 생태하천 복원사업 이후의 식생변화를 분석하였다. 해당 연구들은 생태하천 복원사업 이후의 생태학적 변화 및 식생변화에 따른 하천 관리방안을 제안하였으나, 생태하천 복원사업을 평가하는 과정에서 하천의 복합적인 요인을 고려하지 못 하였다. Choi et al.(2012)은 하천복원 정책 및 사업을 분석하여 복원계획 요인을 도출하였다. 이후 계층화 분석방법(analytic hierarchy process, AHP)을 활용하여 요인들의 상대적 중요도와 우선순위를 평가하였다. 또한, Lim et al.(2015)는 델파이 기법(delphi method)과 계층화 분석방법(AHP)을 적용하여 하천 복원 시 기대되는 하천기능과 각 기능의 하위 요인을 도출하였으며, 해당 기능과 하위 요인 간의 상대적 중요도 및 우선순위를 파악하였다. 해당 연구들은 하천 복원 시 고려해야 될 요인들의 상대적 중요도 및 우선순위를 파악하였으나, 비교적 객관적이고 정량적인 가중치 산정 기법이 적용되지 못 하였다. Kim et al.(2015)은 대전천을 대상으로 생태하천 복원 전후의 토지피복 상태와 정규식생지수(normalized difference vegetation index, NDVI), 지표면 온도(land surface temperature, LST)를 활용하여 분석을 수행하였다. 결과적으로 생태하천 복원사업 전후의 지표특성 변화를 파악하였다. 또한, Kim et al.(2015)은 섬진강 수계에 해당되는 경천을 대상으로 하천의 구조적, 생태학적 측면에서 전과정 평가(life cycle assessment)를 수행하였다. 이를 통해 하천정비가 환경에 미치는 영향을 정량적으로 제시하였다.

선행연구에서는 하천의 공간적 특성을 기반으로 생태하천 복업사업을 평가하였으나, 평가과정에서 하천 수생태계에 영향을 미치는 다른 요인(물리적 요인, 화학적 요인 등)이 고려되지 못 하였다. 또한, 평가지수 산정과정에서 활용된 지표의 단위가 상이한 점을 고려하지 못 하였으며, 이로 인해 명확한 평가지수가 도출되지 못 하였다.

따라서 본 연구에서는 '하천의 수생태계 훼손 진단 매뉴얼'에서 제시된 바와 같이 2018년~2021년 하천 자료를 기반으로 각 하천의 물리적, 화학적, 공간 및 인문학적, 수생태계 건강성 측면이 고려된 4가지 평가지수를 산정하였다. 또한, 신뢰성이 확보된 평가지수를 도출하고자 표준화(normalization) 방법을 적용하였다. 이후 환경부의 새로운 패러다임(paradigm)인 수생태계 건강성 확보에 가장 적합한 하천지점을 선정하고자 표준화(normalization) 방법이 적용된 평가지수에 엔트로피 가중치 방법(entropy weight method)을 적용하였다. 이를 통해, 하천의 수생태계 건강성 확보를 중심으로 생태하천 복원사업이 요구되는 구역을 확인하였다.

2. 연구방법

2.1 표준화(normalization) 방법

지표를 활용하여 지수를 산정하는 경우 지표의 범위와 통계단위가 상이하기 때문에 각 지표에 내포된 의미를 명확하게 도출하고 평가할 수 있는 표준화(normalization) 과정이 선행되어야 한다(Lee et al., 2003; Choi et al., 2018). 따라서 본 연구에서는 각 지표들의 상대적 크기를 비교하고자 표준화(normalization) 과정의 대표적인 방법인 순위 정렬(ranking), 스케일 재조정(re-scaling), z 점수(z-score), t 점수(t-score) 방법을 활용하였다(Kim et al., 2007; Kim et al., 2019).

2.1.1 순위 정렬(Ranking) 방법

순위 정렬(ranking) 방법이란 자료를 오름차순(ascending order)으로 정렬하여 순위를 측정하는 방법이다. 표준화(normalization) 과정이 매우 간단하며, 자료의 비율척도(ratio scale)와는 무관하게 등간격(equal interval)을 활용하여 점수를 환산하는 방법이다(Nam et al., 2013).

$$Ranking = Rank(x_i) \tag{1}$$

여기서, x_i는 해당 변수의 값을 의미한다.

2.1.2 스케일 재조정(Re-scaling) 방법

스케일 재조정(re-scaling) 방법이란 변수의 최댓값과 최솟값을 활용하여 변수 값을 모두 0~1 사이로 동일한 범위 내에 존재하도록 표준화(normalization)하는 방법이다. 해당 방법은 지표 내에서 값의 순위에 따라 정렬되므로 상대적 크기에 대한 비교가 용이하며, 음수가 발생하지 않는다는 장점이 존재한다(Jung et al., 2020).

$$Re-scaling = \frac{x_i - \min(x_i)}{\max(x_i) - \min(x_i)} \tag{2}$$

여기서, x_i는 해당 변수의 값, $\min(x_i)$은 최솟값, $\max(x_i)$은 최댓값을 의미한다.

2.1.3 Z 점수(Z-score) 방법

z 점수(z-score) 방법이란 평균과 단위가 다른 자료들의 평균을 0, 표준편차는 1로 전환시킨 후, 해당 자료의 분포가 평균으로부터 표준편차의 몇 배 정도나 떨어져 있는지를 파악하는 방법이다(Song et al., 2019). 즉, 자료의 평균과 표준편차 값을 통해 해당 변량을 표준화(normalization)하는 방법이다(Kim et al., 2018).

$$Z-score = \frac{x_i - \mu}{\sigma} \tag{3}$$

여기서, x_i는 해당 변수의 값, μ은 평균, σ은 표준편차를 의미한다.

2.1.4 T 점수(T-score) 방법

t 점수(t-score) 방법이란 z 점수(z-score) 값에 10을 곱하고 50을 더해주어 평균을 50, 표준편차를 10인 분포로 전환하는 방법이다. t 점수(t-score)는 주로 20~80 사이의 값을 갖게 되어 직관적으로 해당 값의 수준을 파악할 수 있고, 100점 단위와 유사한 결과를 도출할 수 있다는 장점이 존재한다.

$$T-score = 10 \times \left(\frac{x_i - \mu}{\sigma} \right) + 50 \tag{4}$$

여기서, x_i는 해당 변수의 값, μ은 평균, σ은 표준편차를 의미한다.

2.2 엔트로피 가중치 방법(Entropy weight method)

관측자료 및 기초 통계자료를 종합하여 지표를 산정할 경우, 선정된 지표가 해당 지수에 미치는 영향을 분석하는 과정은 매우 중요하다. 또한, 각 지표가 해당 지수에 미치는 영향의 정도가 상이하기 때문에 지표들 사이의 상대적 중요도를 정량화하는 과정이 필요하다. 가중치 산정방법에는 분석적 계층화 과정(AHP), 스윙방법(swing weight method, SW), 델파이법(delphi method), 엔트로피 가중치 방법(entropy weight method) 등이 있다.

분석적 계층화 과정(AHP) 방법은 간단한 구조와 민감도 분석이 가능하며, 일관적인 논리가 입증된다는 장점이 있다(Koo et al., 2015; Han et al., 2022). 그러나 다수의 질문과 비율에 대한 척도로만 측정이 가능하다. 스윙방법(SW)은 사전에 순위를 명확하게 하여 의사결정자들로 하여금 일관적인 판단을 할 수 있도록 만드는 장점이 존재한다(Kim et al., 2007). 그러나 의사결정자의 판단의 일관성을 확인할 수는 없다는 단점이 존재한다. 델파이법(delphi method)은 다수의 전문가 집단을 구성하여 의견이 수렴될 때까지 설문을 실시하여 응답을 집계하는 방식으로 직관적인 예측 방법이다(Lee et al., 2016). 엔트로피 가중치 방법(entropy weight method)이란 섀넌(Shannon)의 정보이론(information theory)에 기반을 두며, 지표의 속성정보를 활용하여 가중치가 산정되는 방법이다(Kim et al., 2015; Joo et al., 2019; Lee et al., 2021). 해당 가중치 산정방법은 의사결정자의 주관적인 요소를 배제하고 속성정보를 활용하여 객관적인 가중치 산정이 가능하다는 장점이 있다(Lee et al., 2015; Ha et al., 2019; Lee et al., 2022).

따라서 본 연구에서는 신뢰성이 낮고 의사결정의 편이가 발생할 수 있는 가중치 산정방법을 사용하는 대신 객관적인 평가를 통해 신뢰성 있는 지표선정이 가능한 엔트로피 가중치 방법(entropy weight method)을 활용하였다. 엔트로피 가중치 방법(entropy weight method)을 통해 지표별 가중치를 산정하는 절차는 다음과 같다. 우선, 각 지표별로 구축된 값을 행렬로 구성한 후에 지표별 속성정보를 표준화(normalization)한다. 또한, 표준화(normalization)된 지

표에 기초하여 각 속성별 엔트로피를 산정한 후 최종적으로 지표간의 가중치를 결정한다. 해당 과정에 대한 실제 산정 방법은 다음과 같다.

첫째, 각 지표별 속성정보를 Eq. (5)와 같이 행렬(D)로 구성한다.

$$D = \begin{bmatrix} x_{1,1} & \cdots & x_{1,j} & \cdots & x_{1,n} \\ \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{i,1} & \cdots & x_{i,j} & \cdots & x_{i,n} \\ \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{m,1} & \cdots & x_{m,j} & \cdots & x_{m,n} \end{bmatrix} \quad (5)$$

둘째, 각 지표별 속성정보를 Eq. (6)와 같이 표준화(normalization) 결과($p_{i,j}$)로 나타낸다.

$$p_{i,j} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}} \quad (6)$$

$$(i = 1,2,\cdots,m; j = 1,2,\cdots,n)$$

셋째, 각 속성별 엔트로피(E_j)를 Eq. (7)과 같이 산정한다.

$$E_j = -k\sum_{i=1}^{m} p_{ij} \log p_{ij} \quad (7)$$

$$\left(k = \frac{1}{\log m}; j = 1,2,\cdots,n\right)$$

넷째, 다양성(d_j) 정도를 고려하여 지표간의 가중치를 산정한다.

$$d_j = 1 - E_j \quad (7)$$

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^{n} d_j} \quad (8)$$

$$(j = 1,2,\cdots,n)$$

3. 대상지역 선정 및 평가지수 구축

3.1 대상 지역

본 연구에서는 한강하구 내에 위치하는 2개 중권역과 15개 표준유역을 대상지역으로 선정하였다. 해당 지역에는 하천의 담수와 바다의 해수가 혼합되는 기수역(blackish water zone)이 존재하며, 버드나무, 말똥게와 같은 담수 및 해수에 서식하는 동·식물이 같은 공간에서 공존하며 서식한다. 이와 같이 대상지역 내에는 다채로운 생태계가 분포되어 있으며, 습지로서 중요성을 인정받은 람사르습지(장항습지)가 해당 지역 내에 위치하고 있다. 결과적으로 해당 지역은 생태하천의 건강성 확보가 필수적인 지역이다. 그러나 한강하구 인근에는 대도시(서울특별시)가 근접해 있으며, 이로 인해 하천에 분포된 야생 동·식물 서식처의 훼손이 빈번하게 발생하고 있다. 따라서 본 연구에서는 한강하구 하천에 위치하는 야생 동·식물의 서식처를 보호하고자 각 생태하천의 수생태계 건강성을 평가 및 비교하였다. 또한, 수생태계 건강성 확보를 목적으로 생태하천 복원사업이 요구되는 하천을 파악하였다.

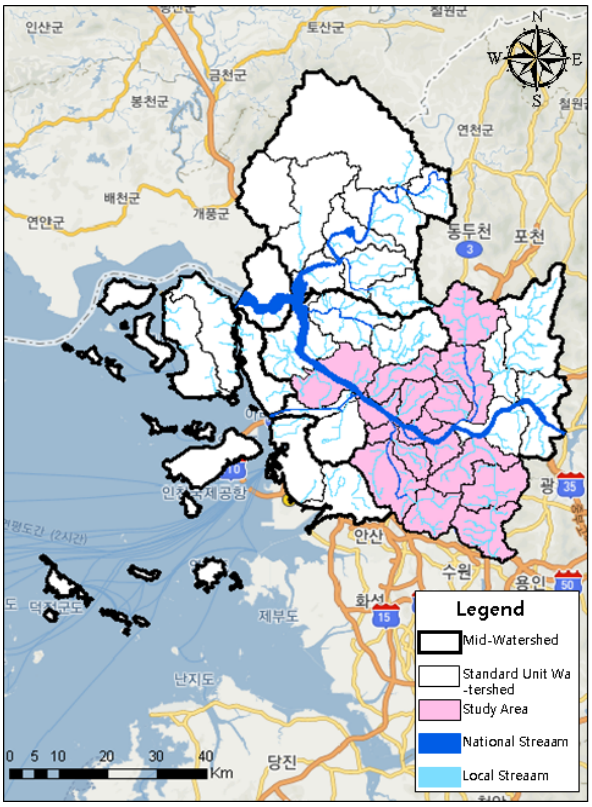

Fig. 1. Study area (Han River estuary).

3.2 평가지수 구축

3.2.1 물리적 평가지수

하천의 수자원 활용과 홍수피해 방지를 위해서는 물리적 평가지수가 반드시 고려되어야 한다(Kim et al., 2008). 따라서 본 연구에서는 일정 시간 동안 지면으로 내린 강우, 눈, 서리, 우박 등의 수량을 단위면적당 깊이로 표시한 강수량(precipitation)과 하천의 물리적 성질에 직접적인 영향을 미치는 물의 온도인 수온(water temperature) 지표를 통해 하천의 물리적 평가지수를 구성하였다. 환경부 '하천의 수생태계 훼손 진단 매뉴얼'에 기반하여 해당 지표는 기상청 기상자료개방포털(http://data.kma.go.kr)과 환경부 물환경정보시스템(water environment information system, WEIS)에서 제공하는 2018년부터 2021년까지의 강수량 및 수온 자료를 활용하였다. 결과적으로 강수량 및 수온 자료를 통해 각 하천의 물리적 특성에 영향을 미치는 평가지수를 산정하였다.

3.2.2 화학적 평가지수

생태하천의 환경 및 생태학적 기능을 유지하기 위해서는 일정 수준 이상의 수질이 반드시 확보되어야 된다(Jung et al., 2002; Park et al., 2006; Kim et al., 2015). 따라서 본 연구에서는 '생태하천 복원 조사·평가 및 진단 매뉴얼'에 기초하여 물환경정보시스템에서 제공하는 2018년부터 2021년까지의 수질 자료를 통해 화학적 평가지수를 구축하였다. 지표는 환경부 하천의 수질 평가과정에서 반드시 고려해야 하는 생물화학적 산소요구량(BOD), 화학적 산소 요구량(COD), 용존 산소량(DO), 부유 물질량(SS), 수소 이온 농도(pH), 대장균군(MPN) 자료를 활용하였다. 결과적으로 본 연구에서는 각 하천의 수질 변화를 파악하고자 복원사업의 수질 평가과정에서 반드시 고려해야 될 항목을 기반으로 화학적 평가지수를 산정하였다.

3.2.3 공간 및 인문학적 평가지수

생태하천의 인문, 지리학적 특성을 파악하고자 공간 및 인문학적 평가지수를 산정하였다. 해당 평가지수는 환경부에서 제공하는 GIS 기반의 효율적인 유역 및 수질관리를 목적으로 하천 흐름 특성, 연결 관계, 위상 관계 등의 정보를 포함하는 하천 네트워크 공간자료인 KRF(korean reach file) 범위를 기준으로 산정하였다. 각 하천별로 분포된 서식 및 수변환경의 건강성을 확인하고자 '하천의 수생태계 훼손 진단 매뉴얼'에 기반하여 물환경정보시스템에서 제공하는 2018년부터 2021년까지의 서식 및 수변환경 건강성 평가등급 자료를 활용하였다. 또한, 하천 오염을 유발시키는 오염원 및 시설물 현황을 파악하고자 환경공간정보서비스(environmental geographic information service, EGIS)에서 제공하는 2021년 세분류 토지피복도를 활용하였다. 결과적으로 해당 지수를 통해 각 생태하천의 서식 및 수변환경 건강성을 파악하였으며, 생태하천의 훼손을 유발하는 오염원 및 시설물을 확인하였다.

3.2.4 수생태계 건강성 평가지수

수생태계 건강성 평가지수는 부착돌말류, 저서성 대형무척추동물, 어류 지표를 통해 산정하였다. 해당 지표는 '하천의 수생태계 훼손 진단 매뉴얼'에 기반하여 물환경정보시스템에서 제공하는 2018년부터 2021년까지의 부착돌말류, 저서성 대형무척추동물, 어류 자료를 활용하였다. 특히 어류는 장기간의 환경 영향을 나타내는 생물로서, 비교적 오래 살고 이동성이 크기 때문에 광범위한 서식처 조건을 대표하며, 하천환경의 종합적인 평가에 이용된다. 따라서 본 연구에서는 해당 지역의 어류 종의 밀도를 기점으로 하천 수생태계 건강성 평가에 활용되는 부착류돌말류, 저서성 대형무척추동물 밀도를 파악하였다. 결과적으로 해당 지수를 통해 생태하천 복원사업에서 중점적으로 고려해야 될 부분인 생태하천 수생태계 건강성 변화를 확인하였다.

4. 표준화(normalization) 방법 및 가중치 방법 적용

4.1 표준화(normalization) 방법 적용

객관적인 평가 결과를 도출하고자 구축된 평가지표에 순위정렬(ranking), 스케일 재조정(re-scaling), z 점수(z-score), t 점수(t-score) 표준화(normalization) 방법을 적용하였다. 표준화(normalization) 방법이 적용된 결과는 Table. 1을 통해 확인할 수 있으며, 표에 기재된 값(결과)을 통해 각 표준화(normalization) 방법에 따라 값의 범위가 다르게 산정된 것을 파악하였다.

순위 정렬(ranking) 방법을 적용한 경우 자료의 분포 특성이 전혀 반영되지 못 하였으며, z 점수(z-score) 방법을 적용한 경우 음수 값이 도출되었다. 이로 인해 값의 수준을 직관적으로 파악하지 못 하였다. 또한, t 점수(t-score) 방법을 적용한 경우 값의 범위가 크기 때문에 추후 가중치 산정 과정에서 올바른 값이 도출되지 못 할 것이라고 판단하였다. 따라서 이후 엔트로피 가중치 산정 과정에서는 스케일 재조정(re-scaling) 방법이 적용된 값을 활용하였다.

Table 1. Comparison of normalization methods

	Ranking	Re-Scaling	Z-score	T-score
1	-174658.33	0.00	-3.41	15.87
2	-49025.83	0.00	-2.84	21.55
3	-42550.00	0.00	-2.73	22.67
4	-40466.67	0.00	-2.59	24.10
5	-39440.91	0.00	-2.57	24.22
6	-37118.18	0.00	-2.51	24.85
7	-9666.67	0.00	-2.21	27.88
8	-9233.33	0.00	-2.10	28.98
9	-6041.67	0.00	-2.08	29.70
10	-4726.00	0.00	-2.03	29.80
⋮	0.⋮	⋮	⋮	⋮

① Ranking : -174658.33 ~ 270091.67
② Re-scaling : 0.00 ~ 1.00
③ Z-score : -3.41 ~ 3.84
④ T-score : 15.87 ~ 88.40

4.2 엔트로피 가중치 방법 적용

물리적, 화학적, 공간 및 인문학적, 수생태계 건강성 평가지수를 구성하는 각 평가지표 자료를 취합하였으며, 스케일 재조정(re-scaling) 방법을 적용하여 각 지표의 값을 0~1사이 값으로 변환하였다. 이후 표준화(normalization)된 값($p_{i,j}$)에 엔트로피 가중치 방법을 적용하여 지표별로 부여된 가중치(w_j)를 확인하였다(Table. 2). 수생태계 건강성 평가지수의 경우, 어류 평가지표가 '0.46'으로 가장 높은 가중치가 부여되었으며, 부착돌말류 평가지표가 '0.21'로 가장 낮

은 가중치가 부여되었다. 어류 평가지표의 경우 상대적으로 편차가 크고, 부착돌말류 평가지표의 경우 편차가 상대적으로 작기 때문에 이와 같은 결과가 도출되었다.

4.3 생태하천 복원사업 우선순위 선정

가중치가 적용되었을 때 복원사업이 요구되는 하천 구역을 파악하고자 가중치가 적용된 평가지표 값을 합산하여 각 지점(24개)에 대한 평가지수 값을 도출하였다(Table 3). 이후 Table 3에 기재된 평가 점수(Sum) 값을 내림차순(descending order)으로 정렬하여 복원사업이 요구되는 하천구역(상위 10개)을 확인하였다(Table 4).

위와 같이 각 평가지수에 가중치만 적용된 경우, 수생태계 건강성 확보라는 측면에서 적합한 결과가 도출되지 못하였다고 판단하였다. 따라서 수생태계 건강성 평가지수에 더 많은 중요도가 부여되었을 때의 우선순위를 확인하고자 4분위수(quartile) 및 자연재해저감 종합계획의 '투자우선순위 결정' 부분을 활용하였다. 먼저 각 평가지수(4개) 값을 내림차순(descending order)으로 정렬한 후 4분위수를 적용하였다. 이후 1사분위수(상위 25%)에 1점, 2사분위수(상위 50%) 구간에 0.75점, 3사분위수(상위 75%) 구간에 0.50점, 4사분위수 (상위 100%) 구간에 0.25점을 부여하였다(Table 5).

또한, 물리적, 화학적, 공간 및 인문학적 평가지수를 '기본적 평가항목'으로, 수생태계 건강성 평가지수를 별도의 '부가적 평가항목'으로 분류하였다. 이후 수생태계 건강성 평가지수에 더 많은 중요도를 부여하고자 '부가적 평가항

Table 2. Entropy weight given to each indicator

Index	Indicators	Weight
Physical Evaluation Index	Water Temperature	0.40
	Precipitation	0.60
Chemical Evaluation Index	BOD	0.14
	COD	0.12
	DO	0.30
	SS	0.19
	pH	0.13
	MPN	0.12
Spatial/Humanistic Evaluation Index	Land Cover Map	0.19
	Riparian Vegetation Health Assessment Grade	0.81
Health of Aquatic Ecosystems Evaluation Index	Epilithic Diatoms	**0.21**
	Benthic Macroinvertebrates	**0.33**
	Fish	**0.46**

Table 3. Value given to evaluation index

	Physical Evaluation Index	Chemical Evaluation Index	Spatial/Humanistic Evaluation Index	Health of Aquatic Ecosystems Index	Sum
1	0.00	0.61	1.00	0.38	**1.99**
2	0.53	0.64	0.42	0.06	**1.65**
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
24	0.35	0.65	0.80	0.41	**2.21**

Table 4. Priority of the project (value applied only weight)

Priority	Value	Restoration Project District
1	2.91	Gaebong-dong, Guro-gu, Seoul, Republic of Korea
2	2.54	Sindaebang-dong, Dongjak-gu, Seoul, Republic of Korea
3	2.53	Mok-dong, Yangcheon-gu, Seoul, Republic of Korea
4	2.50	Samseong-dong, Gangnam-gu, Seoul, Republic of Korea
5	2.47	Hannam-dong, Yongsan-gu, Seoul, Republic of Korea
6	2.32	Sageun-dong, Seongdong-gu, Seoul, Republic of Korea
7	2.30	Dangjeong-dong, Gunpo-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea
8	2.21	Yangpyeong-dong, Yeongdeungpo-gu, Seoul, Republic of Korea
9	2.14	Singok-dong, Uijeongbu-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea
10	2.10	Gumi-dong, Bundang-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea
⋮	⋮	⋮

Table 5. Applying quartile to evaluation index

Score	Physical Evaluation Index	Chemical Evaluation Index	Spatial/Humanistic Evaluation Index	Health of Aquatic Ecosystems Index
1.00	0.75	0.76	0.95	1.00
	0.70	0.74	0.94	1.00
	0.66	0.65	0.88	0.80
	0.60	0.64	0.83	0.80
	0.57	0.64	0.79	0.71
	0.57	0.63	0.77	0.69
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
0.25	0.29	0.45	0.35	0.43
	0.24	0.44	0.28	0.42
	0.24	0.44	0.18	0.42
	0.27	0.41	0.13	0.42
	0.15	0.40	0.13	0.36
	0.00	0.38	0.06	0.29

Table 6. Value given to evaluation index (giving more evaluation value to the health of aquatic ecosystems index)

No.	Health of Aquatic Ecosystems Index	Physical Evaluation Index	Chemical Evaluation Index	Spatial/Humanistic Evaluation Index	Sum
1	1.00	0.50	1.00	1.00	3.50
2	1.00	0.25	0.75	0.50	2.50
3	1.00	0.50	1.00	0.50	3.00
4	1.00	0.25	0.75	0.50	2.50
5	1.00	0.25	1.00	1.00	3.25
6	1.00	0.75	0.75	0.25	2.75
7	0.75	0.75	0.50	0.75	2.75
8	0.75	0.75	0.50	0.25	2.25
9	0.75	1.00	0.75	0.50	3.00
10	0.75	1.00	0.50	1.00	3.25
11	0.75	0.25	0.25	1.00	2.25
12	0.75	1.00	0.50	0.75	3.00
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	

Table 7. Priority of the project (giving more importance to the health of aquatic ecosystems index)

Priority	Value	Restoration Project District
1	3.50	Gaebong-dong, Guro-gu, Seoul, Republic of Korea
2	3.25	Dangjeong-dong, Gunpo-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea
3	3.25	Gaebong-dong, Guro-gu, Seoul, Republic of Korea
4	3.00	Sageun-dong, Seongdong-gu, Seoul, Republic of Korea
5	3.00	Hannam-dong, Yongsan-gu, Seoul, Republic of Korea
6	3.00	Yangpyeong-dong, Yeongdeungpo-gu, Seoul, Republic of Korea
7	2.75	Dangjeong-dong, Gunpo-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea
8	2.75	Seoksu-dong, Manan-gu, Anyang-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea
9	2.50	Gayang-dong, Gangseo-gu, Seoul, Republic of Korea
10	2.50	Beopgot-dong, Ilsanseo-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea
⋮	⋮	⋮

목'을 기준으로 '기본적 평가항목'의 값을 합산하여 평가점수(Sum)를 도출하였다(Table 6). 앞선 과정과 동일하게 해당 평가점수를 내림차순(descending order)으로 나열하였으며, 수생태계 건강성 평가지수에 더 많은 중요도가 부여되었을 때 복원사업이 요구되는 하천 구역(상위 10개)을 확인하였다(Table 7).

4.4 생태하천 복원사업 우선순위 비교

결과적으로 평가지수에 가중치만 적용된 경우와 수생태계 건강성 평가지수에 더 많은 중요도가 부여된 경우의 복

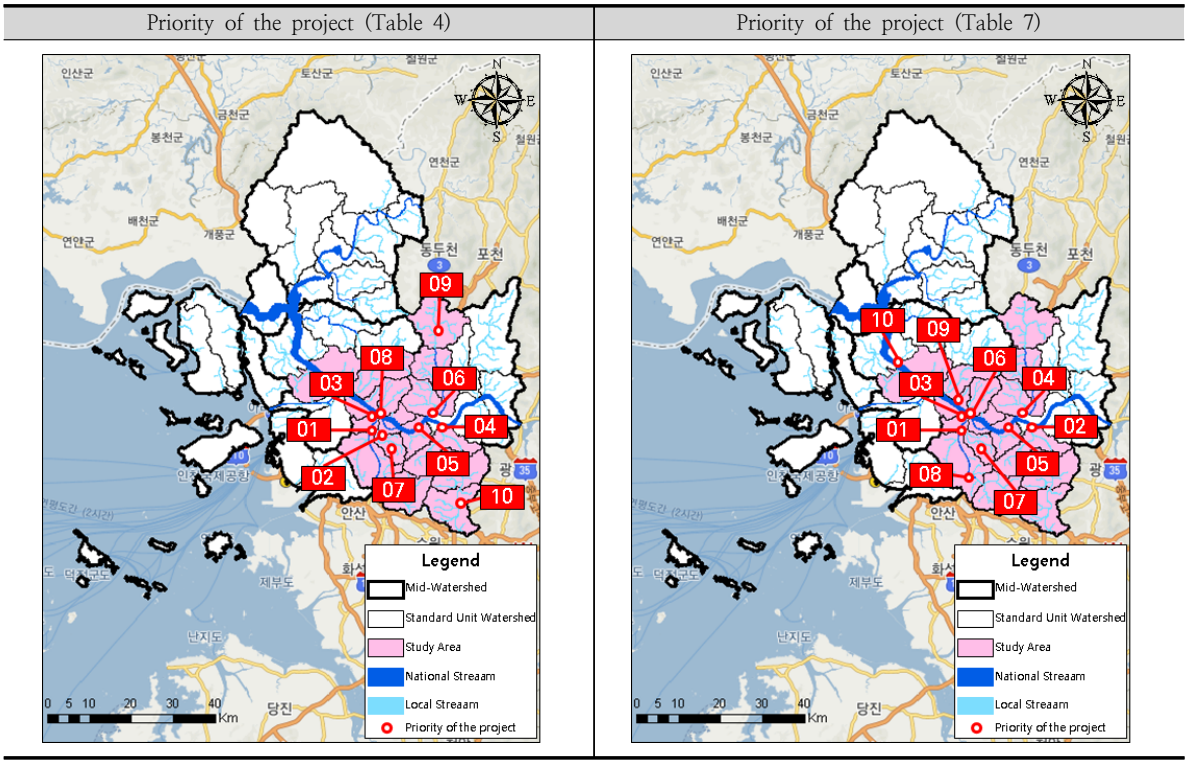

Fig. 2. Comparison of the priority of project (Table 4 and Table 7).

원사업 우선순위가 다르게 나타났음을 확인하였다(Fig. 2). 이를 통해 복원사업에 있어 물리적, 화학적, 공간/인문학적, 수생태계 건강성과 같은 하천의 다양한 요소가 동일선상에서 고려된다면 수생태계 건강성이 확보라는 측면에서 유의미한 결과가 도출되지 못할 것으로 판단하였다. 또한, '부가적 평가항목'(수생태계 건강성)에 부여된 평가점수가 동일하더라도 '기본적 평가항목'(물리적, 화학적, 공간 및 인문학적 평가지수)에 부여된 평가점수에 따라 최종 평가점수가 다르게 산정된 것을 확인하였다. 따라서 하천의 수생태계뿐만 아니라 직·간접적으로 영향을 미치는 요소들(물리적, 화학적, 공간/인문학적 요소)까지도 반드시 고려해야 될 필요가 있다고 판단하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 한강하구 지역을 대상으로 수생태계 건강성 확보를 중점으로 생태하천 복원사업이 필요한 하천을 파악하고자 물리적 평가지수, 화학적 평가지수, 인문/사회학적 평가지수, 수생태계 건강성 평가지수를 산정하였다. 또한, 평가지수의 신뢰성을 확보하고자 순위 정렬(ranking) 방법, 스케일 재조정(re-scaling) 방법, z 점수(z-score) 방법, t 점수(t-score) 표준화(normalization) 방법을 활용하였다. 표준화된 값을 비교한 결과, 가중치 산정에 용이한 표준화(normalization) 방법으로 스케일 재조정(re-scaling) 방법이 가장 적합하다고 판단하였다. 또한, 비교적 객관적인 가중치를 추정하고자 평가지표에 엔트로피 가중치 방법(entropy weight method)을 적용하였다. 이를 통해 복원사업이 요구되는 하천 지점으로 '목감천, 도림천, 안양천, 탄천 지점 등'을 선정하였다. 그러나 해당 결과만으로 생태하천 복원사업의 목적인 수생태계 건강성 확보가 다소 어려울 것으로 판단하였다. 따라서 4분위수(quartile) 및 자연재해저감 종합계획의 '투자우선순위 결정' 부분을 활용하여 수생태계 건강성 평가지수에 더 많은 중요도를 부여하였다. 해당 과정을 수행한 결과, 복원사업이 요구되는 하천 지점으로 '목감천, 탄천, 안양천, 청계천 지점 등'을 선정하였다.

위와 같은 연구 결과를 통해 수생태계 건강성 확보를 중점으로 복원사업을 시행할 경우, 하천의 다양한 요소가 동일선상에서 고려된 기존 방법과 다른 결과가 도출되었음을 확인하였다. 이를 통해 복원사업에서 '수생태계 건강성 확보'가 중요해진 현재 우선순위를 재정립 할 필요가 있다고 판단하였다. 또한, 본 연구 결과와 더불어 향후 하천 수생태계 건강성 확보라는 측면에서 체계적이고 명확한 방법이 제시된다면 하천 본연의 생태학적 가치를 되살릴 수 있을 것으로 판단하였다. 마지막으로 생물측정망 자료(부착돌말류, 저서성 대형무척추동물, 어류 자료 등)의 경우, 관측 시기로 인해 자료 부재의 문제가 존재하였다. 이로 인해 한강하구 내에서 평가하지 못한 구역이 존재하였다. 추후 관측 시기에 대한 문제와 자료 부재에 대한 해결 방안이 제시된다면 보다 명확한 연구결과가 도출될 수 있을 것으로 판단하였다.

감사의 글

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2020R1F1A1076003 11).

References

Ahn, HK., Lee, DJ. (2014) The classification of instream habtats for ecological river restoration, *Ecology and Resilient Infrastructure*, 1(2), pp. 82-93. [Korean Literature] [DOI https://doi.org/10.17820/eri.2014.1.2.082]

Ahn, KS. (2012) A study on improvement of overlapping functions of thc national water management policy, *Korean Society and Public Administration*, 23(3), pp. 183-208. [Korean Literature]

Cho, HJ, Kang, H.S. (2013) The investigation of faunal habitat based on ecological rostoration of urban streams in Ulsan, *J of the Korea Society of Environmental Restoration Technology*, 16(5), pp. 1-17. [Korean Literature] [DOI https://doi.org/10.13087/kosert.2013.16.5.001]

Choe, IH., Han, BH., Ki, KS. (2010) The change of riverside vegetation by construction of ecological stream in Suwoncheon, Gyeonggi province, *Korean Journal of Environment and Ecology*, 24(6), pp. 723-734. [Korean Literature]

Choi, OH., Ahn, TM. (2012) A Study on Priority of Planning Factors for Stream Restoration Applied AHP, *J of the Korea Society of Environmental Restoration Technology*, 15(4), pp. 51-60. [Korean Literature] [DOI https://doi.org/10.13087/kosert.2012.15.4.051]

Choi, CH., Kim, YS., Kim, JS., Kim, DH., Kim, JW., Kim, HS. (2018) Indicator development and evaluation of storm and flood resilience using big data analysis: (2) evaluation of resilience, *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, 18(4), pp. 109-123. [Korean Literature] [DOI https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2018.18.4.97]

Ha, JH., Park, HS., Chung, GH. (2019) Snow vulnerability analysis in Jeolla-do, South Korea using entropy theory, *J of The Korean Society of Hazard Mitigation*, 19(5), pp. 263-271. [Korean Literature] [DOI https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2019.19.5.263]

Han, DG., Kim, DH., Kim, KH., Wang, WJ., Jung, JW., Kim, HS. (2022) Mega Flood Inundation Analysis and the Selection of Optimal Shelters, *Water*, 14(7), 1031. [DOI https://doi.org/10.3390/w14071031]

Joo, HJ., Jun, HD., Lee, JH., Kim, HS. (2019) Assessment of a Stream Gauge Network Using Upstream and Downstream Runoff Characteristics and Entropy, *Entropy*, 21(7), pp. 673. [DOI https://doi.org/10.3390/e21070673]

Jung, JT., Kim, JH., Park, SY., Park, JH (2002) A Study on the Evaluation to Water Quality Environmental Capacity for Streams using Concentration Ratio, *J of Korean Society of Environment Administration*, 8(2), pp. 145-150. [Korean Literature]

Jung, SK., Jun, KW. (2020) A Study on the Health Vulnerability Assessment of Particle Matter in Incheon, *J of The Korean Society of Hazard Mitigation*, 20(1), pp. 31-40. [Korean Literature] [DOI https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2020.20.1.31]

Kang, HS. (2014) Eco-river restoration and river management in response to climate change, *KSCE J of Civil and Environmental Engineering Research*, 34(1), pp. 155-165. [Korean Literature] [DOI https://doi.org/10.12652/Ksce.2014.34.1.0155]

Kim, DH., Hong, SJ., Kim, JW., Han, DG., Hong, IP., Kim, HS. (2015) Water Quality Analysis of Hongcheon River Basin Under Climate Change, *J of Wetlands Research*, 17(4), pp. 348-358. [Korean Literature] [DOI https://doi.org/10.17663/JWR.2015.17.4.348]

Kim, DH., Choi, CH., Kim, JS., Bae, YH., Kim, HS. (2018) Analysis of Heavy Rain Damage Considering Regional Characteristics, *J of The Korean Society of Hazard Mitigation*, 18(4), pp. 311-320. [Korean Literature] [DOI https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2018.18.4.311]

Kim, HJ., Yoon, KS. (2021) Development of integrated hydraulic structure management technique for future, *J of the Korean Society of Civil Engineers*, 69(3), pp. 60-64. [Korean Literature]

Kim, JE., Park, JY., Lee, JH., Kim, TW. (2019) Socioeconomic vulnerability assessment of drought using principal component analysis and entropy method, *J of Korea Water Resources Association*, 52(6), pp. 441-449. [Korean Literature] [DOI https://doi.org/10.3741/JKWRA.2019.52.6.441]

Kim, JY., Jang, DH. (2015) An applications of remote sensing data for the land surface characteristics analysis of ecological stream restoration area in Daejeon stream, *J of the association of Korean geographers*, 4(2), pp. 231-240. [Korean Literature]

Kim, MK., Kim, HJ., Park, JC. (2008) Development of the GIS-based Stream Hydromorphological Structure Assessment System for Small and Midium-size Streams, *J of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 11(2), pp. 93-107. [Korean Literature]

Kim, SG., Ko, KY. (2015) Assessment of eco-stream improvement in structural & ecological aspects, *J of the Korean Society for Environmental Technology*, 16(1), pp. 46-52. [Korean Literature]

Kim, SJ., Yoon, YC., Kim, BH., Kang, HJ. (2007) Development of national intellectual capital index in regional context :

re-scaling normalization technique approach, *J of Industrial Economics and Business*, 20(3), pp. 979-1006. [Korean Literature]

Kim, SJ., Kim, YS., Kang, NR., Kim, HS. (2015) Application of the Entropy Method to Select Calibration Sites for Hydrological Modeling, *Water*, 7(12), pp. 6719-6735. [DOI https://doi.org/10.3390/w7126652]

Kim, YJ., Shim, J.S. (2009) A Study on Development of the Measure of Effects for Pallets Standardization, *J of Korean Society of Transportation*, 27(1), pp. 97-105. [Korean Literature]

Koo, JK., Jung, MJ., Bak, HB., Kim, SH. (2015) Analysis of the Importance of Management Elements of the Green Campus in Korea, *J of Korean Society for Environmental Education*, 28(2), pp. 92-102. [Korean Literature] [DOI https://doi.org/10.17965/kjee.2015.28.2.92]

Kwak, JW., Jung, JT., Kim, HS., Ahn, KS. (2008) Characteristics Analysis of Water Quality for A Small Stream in Urban Watershed, *J of Wetlands Research*, 10(2), pp. 129-141. [Korean Literature]

Lee, CH., Seo, WS. (2016) Extracting the skill level for human resource in the field of science and technology using the delphi technique, *J of Engineering Education Research*, 19(6), pp. 32-37. [Korean Literature]

Lee, HS. (2021) Time series analysis of changes in ecological indicators of streams after stream restoration projects, *J of Geography (Jirihak Nonchong)*, 67, pp. 97-113. [Korean Literature]

Lee, JS., Kim, TJ., Kim, KW. (2003) An empirical evaluation of local government website with z-score, *The Korea Spatial Planning Review*, 38, pp. 8-141. [Korean Literature]

Lee, MJ., Kim, HS., Kwak, JW., Kim, JS., Kim, SJ. (2021) Chaotic Features of Decomposed Time Series from Tidal River Water Level, *Applied Sciences*, 12(1), pp. 199-217. [DOI https://doi.org/10.3390/app12010199]

Lee, SH., Kang, JE., Bae, HJ., Yoon, DK. (2019) Vulnerability assessment of the air pollution using entropy weights : focused on ozone, *J of The Korean Association of Regional Geographers*, 21(4), pp. 751-763. [Korean Literature]

Lee, SM., Choi, YJ., Lee, EK., Ji, JW., Yi, JE. (2022) Development for rainfall classification based on local flood vulnerability using entropy weight in Seoul metropolitan area, *J of Korea Water Resources Association*, 55(4), pp. 267-278. [Korean Literature] [DOI https://doi.org/10.3741/JKWRA.2022.55.4.267]

Lim, JH., Lee, HC., Kim, JS., Kim, KH., Han, SP. (2015) A Study on Determining Priority of the Important Factors on Functions of River Spatial Restoration, *Korean review of crisis and emergency management*, 11(4), pp. 209-227. [Korean Literature]

Nam, KP., Kim, CH. (2013) Study on sensitivity of different standardization methods to climate change vulnerability index, *J of Environmental Impact Assessment*, 22(6), pp. 677-693. [Korean Literature] [DOI https://doi.org/10.14249/eia.2013.22.6.677]

Park, SJ., Sung, YD., Jung, KS. (2006) A Correlation Analysis of the River Naturalness and Water Quality for Biological Habitat Evaluation, *J of Korea Water Resources Association*, 39(8), pp. 637-644. [Korean Literature] [DOI https://doi.org/10.3741/JKWRA.2006.39.8.637]

Roh, EK., Bae, SH. (2019) An analysis on the change of water resource management policy: focusing on the establishment of the water management act, *J of Governance Studies*, 14(2), pp. 137-166. [Korean Literature] [DOI https://doi.org/10.16973/jgs.2019.14.2.005]

Song, YS., Lee, HS., Jung, DH., Yoo, DG., Park, MJ. (2019) Development of regression equation for drought occurrence using standard score method: focused on Asia, *J of The Korean Society of Hazard Mitigation*, 19(7), pp. 519-527. [Korean Literature] [DOI https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2019.19.7.519]

Yoon, IJ. (2022) Legal and institutional considerations for unifying river management.- Focusing on the roles of the state, local governments, and public institutions -, *Local Government Law Journal*, 22(1), pp. 137-166. [Korean Literature] [DOI https://doi.org/10.21333/lglj.2022.22.1.003]