

AHP-PROMETHEE 기법을 활용한 하천교량 위험성 분석 방법 개발: 미호강 유역을 대상으로*

Development of a River Bridge Risk Assessment Using the AHP-PROMETHEE Method: A Case Study of Miho River Basin

이종소 Lee Jongso**, 표희진 Pyo HeeJin***, 이상은 Lee Sangeun****

Abstract

With the increase in both frequency and intensity of extreme rainfall caused by climate change, the risk of damage to people and infrastructure is also growing. This study aims to develop a risk assessment method for river bridges that considers both climate-related factors and the spatial characteristics of the structures. A multi-criteria decision making approach combining the Analytic Hierarchy Process (AHP) and Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE) has been applied to ensure an objective and quantitative evaluation of risk.

The assessment framework includes ten indicators across three categories: functional adequacy, exposure characteristics, and spatial vulnerability. The relative weights of these indicators were determined through expert surveys. Using this method, eight high-risk bridges were initially selected from 41 bridges in the Miho River basin. Field surveys were then carried out to examine the actual risk factors, and three bridges were finally identified as the most high-risk.

The proposed AHP-PROMETHEE based approach offers a practical and transparent tool for decision making. It may also be extended to other infrastructure management such as levees and steep slopes in future climate adaptation and maintenance planning.

Keywords: Climate Change, River Bridges, Multi-Criteria Decision Making, Risk Assessment, Infrastructure Management

I. 서론

최근 기후변화로 인해 자연재해의 빈도와 강도가 증가하면서 대규모 인명 및 시설물 피해가 빈번히 발생

하고 있다. 2021년 기록적인 폭우로 독일과 벨기에 등 유럽에서 최소 240명이 사망하고 53조 2,700억 원 이상의 경제적 피해가 발생했으며, 미국에서도 허리케인 아이다로 90명 이상의 사망자와 약 80조

* 본 논문은 “이종소, 이상은, 유현지, 표희진, 신진욱, 김진수, 선종완. 2023. 기후위기 적응을 위한 기반시설 관리 개선방안 연구: 하천교량을 중심으로. 세종: 국토연구원” 내용을 기초로 작성되었음.

** 국토연구원 부연구위원(제1저자) | Associate Research Fellow, Korea Research Institute for Human Settlements | jslee@krihs.re.kr

*** 국토연구원 전문연구원/서울시립대학교 도시공학과 박사과정 | Senior Researcher, Korea Research Institute for Human Settlements / Ph.D. student, University of Seoul | pyo0224@krihs.re.kr

**** 국토연구원 연구위원(교신저자) | Research Fellow, Korea Research Institute for Human Settlements | Corresponding Author | selee@krihs.re.kr

5,300억 원 이상의 피해가 발생하는 등 국제적으로 심각한 영향을 초래하였다(Kramer and Ware 2021). 국내에서도 2020년 집중호우로 38개 시군구가 특별 재난지역으로 선포되었고(행정안전부 2020a, 2020b, 2020c), 2022년 수도권 집중호우로 큰 피해를 입는 등 재해 대응의 시급성이 부각되고 있다(김준성, 이종소, 표희진, 구형수 외 2022).

우리나라의 기후변화 시나리오의 경우 기온 및 강수량과 함께 극한기후지수가 모두 증가할 것으로 전망하고 있는 가운데(국립기상과학원 2021), 정부는 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」, 「지속 가능한 기반시설 관리 기본법」 등을 개정하고, 최근에는 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」(이하 탄소중립기본법)을 제정하여 시설물 관리주체에게 기후위기 적응 대책 수립을 의무화하였다(탄소중립기본법 제41조).

그러나 현행 시설물 유지관리 체계는 여전히 기후변화로 심화된 재난 리스크를 충분히 반영하지 못하는 한계를 나타내고 있다. 특히 하천교량의 경우 설계 단계에서 여유고·경간장을 확보하도록 규정하고 있지만, 유지관리 단계에서는 이러한 기후변화 요인이 고려되지 않고 있어 현실적인 리스크 관리에 어려움을 겪고 있다(이종소, 이상은, 신진욱, 유현지 외 2023). 실제 최근 발생한 하천교량 붕괴사고의 대부분은 집중호우 시 부족한 통수단면적과 여유고로 인해 발생하였으며, 유지관리 단계에서 주변 지역의 토지이용, 인구 밀집도, 위험지역 여부와 같은 사회적 요소를 함께 고려하지 않는 점 또한 문제점으로 지적되고 있다.

기후변화와 시설물 리스크 평가 관련 선행연구는 국내외적으로 활발히 이루어져 왔다. 국내의 경우 기후변화 취약시설물 리스크 평가방법(임치성, 김동주, 황경란, 신병길 외 2021; 정규정, 정일원, 김영민, 김원술 외 2019), 홍수 대비 SOC 시설물 리스크 평가 기술 개발(김원, 백용, 임상훈, 이종현 외 2021) 등의

연구가 수행되었으며, 국외에서는 기후변화에 따른 기반시설의 취약성과 정책적 가이드를 개발한 연구(OECD 2018; Karagiannis, Turksezer, Alfieri and Krausmann 2019)가 진행되었다. 그러나 기존 연구들은 개별 시설물의 리스크를 주로 평가했을 뿐, 시설물의 공간적 분포와 주변 지역 특성을 결합한 종합적 분석은 여전히 미흡한 실정이다. 국내에서도 사면 및 급경사지 등에 대한 공간적 연구는 시도되었지만(이석민, 윤형미 2022), 시설물 특성과 공간정보를 통합한 체계적 접근은 부족한 상황이다. 일부 국외 연구에서는 GIS를 활용하여 기반시설의 공간적 취약성 분석이 이루어지고 있으며(Ryan, Hawchar, Naughton and Stewart 2021), 국내 연구는 그 필요성과 방향성을 제시하기도 하였다(김진수 2018).

우리나라 하천교량 중 준공 후 20년 이상 경과한 노후 교량은 전체의 절반 이상을 차지하여 향후 관리 비용과 위험도가 급격히 증가할 것으로 전망되며, 실제로 최근 집중호우로 인한 교량 붕괴가 잦아지고 있어 선제적 대응이 필요하다고 할 수 있다. 따라서 기후위기 적응 관점에서 하천교량의 특성과 공간분포를 함께 고려한 위험성 평가 방법을 개발하고 이를 통해 고위험 하천교량을 합리적이고 객관적으로 선정할 필요가 있다.

이러한 배경에서 본 연구는 하천교량을 대상으로 기후변화 요인과 시설물의 공간적 특성을 종합적으로 반영하여 위험성 분석 방법을 개발하고자 한다. 특히 본 연구는 다양한 평가기준 간 상대적 중요도를 계량화하고 합리적 의사결정을 지원하기 위해 AHP와 PROMETHEE를 연계하여 위험성을 객관적이고 정량적으로 평가하고자 한다.

AHP와 PROMETHEE를 연계하게 되면 복잡한 의사결정 상황에서 대안 평가 및 우선순위 결정을 보다 효과적으로 수행할 수 있으며 우리나라에서도 도로사업 투자우선 순위 평가, 주거지원 우선순위 결정,

노후 공동주택 재건축 및 리모델링 우선순위 분석 등 연구에도 적용된 바 있다(김정화, 최기주 2010; 봉인식, 최혜진 2019; 유승민, 권오경, 최윤기 2019).

즉, 하천교량의 위험성을 평가하는 다양한 지표들을 체계적으로 구조화하고, 평가 항목 간의 상대적 중요도를 객관화하며, AHP-PROMETHEE 연계 기법을 이용하여 하천교량의 위험성을 효과적으로 평가하고 고위험 시설물을 합리적으로 선정하고자 한다.

II. 방법론 설정

본 연구는 하천교량의 속성정보를 구축하고 분석하여, 고위험 하천교량을 객관적이고 합리적으로 결정하는데 목적이 있다. 교량의 상태와 특성은 시설별로 다를 뿐 아니라 속성 간 중요성은 사람마다 다른 가치 판단을 갖고 있어 학술적으로 정확하게 파악하는 것은 매우 힘들다. 또한 사람마다 위험을 바라보는 시각, 관심사, 지식의 수준이 다르기 때문에 이는 위험성 판단에 큰 영향을 준다.

이에 본 연구에서는 <그림 1>과 같이 쌍대비교 방법인 AHP와 우선순위 결정 방법인 PROMETHEE를 연계하여 고위험 하천교량을 선별하고자 하였다. 먼저 AHP의 장점인 유연성을 활용하여 효과적으로 계층을 구조화하고 전문가 설문조사를 통해 평가 기준

별 가중치를 도출하고자 한다. AHP를 통해 도출된 평가기준별 가중치와 평가기준인 하천교량의 속성정보를 PROMETHEE에 적용하여 각 하천교량별 위험성에 대한 비교우위를 검토하고 마지막으로 분석 결과를 바탕으로 한 현장조사 및 검증을 통해 최종적으로 고위험 하천교량을 선정하고자 한다.

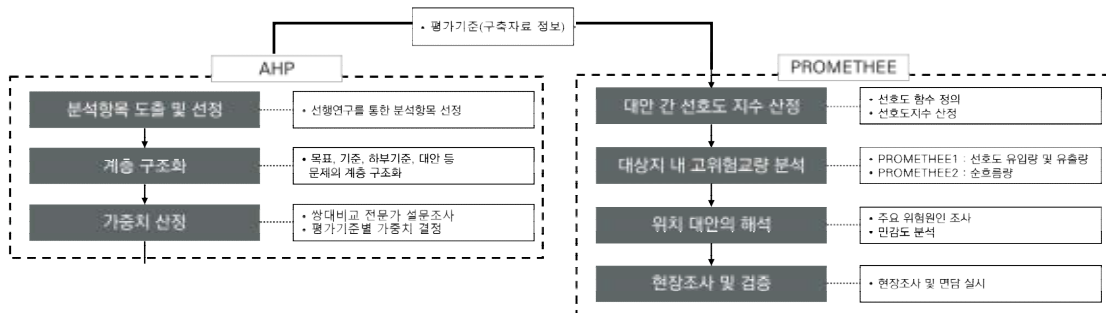
III. AHP를 활용한 위험성 분석항목 도출 및 가중치 산정

1. 분석항목 선정

분석항목 선정을 위해 교량 시설물 안정성 평가와 관련된 국내외 선행연구를 종합적으로 살펴본 결과 주로 구조적 취약성과 외부환경에 따른 영향도 그리고 피해를 고려할 경우 주변환경 여건, 교량의 위치, 피해 여부 등을 추가적으로 반영하는 것으로 분석되었다.

국외의 평가 기준을 살펴보면 미연방 고속도로 관리국(Federal Highway Administration)은 Bridge Inspector's Reference Manual을 개발하여 구조적 성능뿐 아니라 기능성, 사용성, 사용자 측면의 편의를 고려하고 있으며(박경수, 박상훈, 김종명, 박상일 외 2016), 미국 토목학회(American Society of Civil Engineers)는 용량, 구조상태, 재정조달, 유지관리 등

그림 1 연구 방법 및 흐름도



자료: 이종소, 이상은, 유현지, 표희진 외(2023)의 <그림 4-1>을 재구성.

8가지를 평가요소로 두고 있다(ASCE 2017). 또한 영국 토목공학회(Institution of Civil Engineers)의 경우 각 시설군별 상태 등급, 인프라 네트워크 용량, 지속 가능성 등을 평가하였다(박기태, 이종석, 황지현, 이빛나 외 2014).

국내의 경우에는 구조적 안전성 평가와 함께 피해 발생 가능성, 외적 환경요인, 경제성 등 다양한 요인을 평가에 포함하고 있는 것으로 분석되었다. 송재준, 박홍석, 박경훈, 주봉철 외(2013)와 강형택, 이일근(2013)은 상태 및 내구성 등 구조적 안정성 평가와 함께 교량연장 부족, 여유고 부족 등의 피해발생 가능성, 교통량, 주변환경 등의 외적환경 요인을 평가기준에 포함하였으며, 박병철, 이재준, 박승범(2004)은

가설연도, 최소경간장, 수충부 위치여부, 합류부 위치여부 등을 평가기준에 포함하였다. 또한 이희현, 신병길, 이영일, 김영민(2019)에서는 취약도와 영향도로 구분하여 중소규모 교량의 성능평가 기준을 제시하였다.

이러한 선행연구를 종합적으로 검토하여 본 연구에서는 구조적 취약성과 관련된 기능 적합성, 외부환경과 관련된 노출특성, 피해 고려를 위한 공간 취약성 3가지를 주 분석영역으로 설정하였으며, 연구 적합성, 대표성, 자료 가용성 등을 고려하여 <표 1>과 같이 10가지 항목을 세부 분석지표로 선정하였다. 기능 적합성은 교량등급, 연장부족 위험도, 여유고 부족 위험도, 가설연도로 선정해 교량이 안정적으로 기능할 수 있는가를 평가하고자 하였으며, 노출특성은 교통량,

표 1 교량시설 위험성 분석지표 종합 및 분류

분석영역	세부 분석항목	설명	기준값 또는 조건	단위
A. 기능 적합성	A-1. 교량등급	• 교량 안전등급	안전등급	-
	A-2. 교량연장 부족 위험도	• 계획하중 대비 교량연장 부족 정도	$\frac{\text{연장부족에 따른 위험도}}{1 - \frac{\text{교량연장}}{\text{계획하중(원하중)}}} \times 100\%$ 1)	%
	A-3. 교량여유고 부족 위험도	• 기준여유고 대비 미확보여유고 부족 정도	$\frac{\text{여유고부족에 따른 위험도}}{\frac{\text{미확보여유고의 크기}}{\text{홍수량 크기에 따른 기준여유고}}} \times 100\%$ 2)	%
	A-4. 가설연도	• 하천횡단 교량의 시설기준이 강화된 이후 건설되었는지 여부	2008년 이후 준공 여부	-
B. 노출 특성	B-1. 교통량	• 교량수해 시 교통피해 정도	교량구간의 교통량을 1만 대 별로 분류하여 교량수해 시 발생하는 피해를 교통량별로 점수 부여 (건설교통부 2004:420)	대
	B-2. 토지의 노출	• 주거, 상업, 공업, 녹지지역의 영향도	교량 인근지역에 포함된 용도지역별 토지 면적	㎡
	B-2-1. 주거지역	• 해당공간이 주거지역에 위치할 경우 교량 인근지역에 포함된 총면적		
	B-2-2. 상업 및 업무지역	• 해당공간이 상업 및 업무지역에 위치할 경우 교량 인근지역에 포함된 총면적		
	B-2-3. 공업지역	• 해당공간이 공업지역에 위치할 경우 교량 인근지역에 포함된 총면적		
	B-2-4. 녹지지역	• 해당공간이 녹지지역에 위치할 경우 교량 인근지역에 포함된 총면적		
C. 공간 취약성	B-3. 거주인구 노출	• 거주인구의 피해 가능성	교량 인근지역에 거주하는 총인구	명
	C-1. 피해 및 위험지역	• 교량 주변의 공간적 잠재 위험도	과거 피해지역과 위험지역(자연재해위험개선지구, 자연재해저감종합계획 상 위험지구)의 면적	㎡
	C-3. 도로 분포	• 교량 주변의 잠재적 교통피해 위험도	교량 인근지역에 포함된 도로 연장	m
	C-4. 위치적 조건	• 하천교량의 위치적 수해 위험성	수충부 또는 합류부에 위치하고 있는지 여부	-

자료: 이종소, 이상은, 유현지, 표희진 외(2023)의 <표 4-3>을 재구성.

1) 건설교통부, 2004, 404를 참조.

2) 건설교통부, 2004, 407을 참조.

토지의 노출, 거주인구 노출로 피해 발생 시 교량이 위험에 노출된 정도를 평가하고자 하였다. 그리고 공간 취약성은 피해 및 위험지역, 도로의 분포, 교량의 위치적 조건으로 다른 공간에 비해 피해 가능성이 높은가를 평가하기 위해 분석 항목으로 선정하였다.

2. 계층의 구조화

다기준에서 AHP를 대안 선택문제에 적용하기 위해서는 전반적인 목표, 평가기준, 하부기준, 대안 등으로 계층화 작업이 필수적이다(최숙자, 고수경, 김정희, 이상이 2006). 기후위기 적응 및 공간정보를 고려한 교량시설 위험도 분석을 목적으로 <그림 2>와 같이 기능적합성, 노출특성, 공간취약성 3가지를 1단계 기준으로 설정하였으며, 1단계 기준을 토대로 2단계 평가 기준을 구체화하였다. 2단계 기준에서 기능적 적합성은 교량등급, 교량 연장부속 위험도, 교량 여유고 위험도, 가설연도로, 노출 특성은 교통량, 토지 노출, 거주인구 노출로, 공간 취약성은 피해 및 위험지역, 도로 분포, 위치적 조건으로 세분화하였다. 또한 2단계 평가 기준 중 토지의 노출의 경우 용도별 특성에 따라 피해정도가 다를 수 있기 때문에 주거, 상업 및 업무, 공업, 녹지 등 지역으로 세분화하여 3단계 평가기준을 설정하였다.

3. 평가기준의 가중치 산출

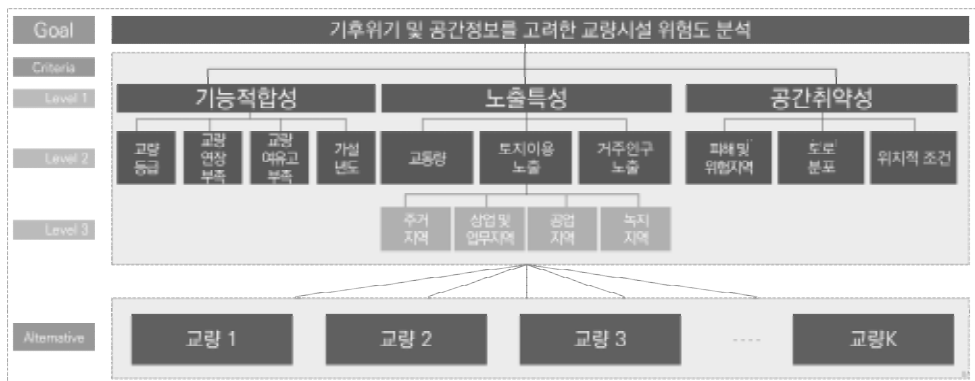
가중치를 산출하기 위해 교량 및 구조 전문가 16인, 수공학 및 수자원 전문가 26인, 재난 및 방재 전문가 20인 등 관련 전문가 총 62인을 대상으로 쌍대비교 설문조사를 실시하였으며, 설문조사 결과를 토대로 가중치를 산출하였다. 평가기준 간 중요도를 비교하기 위해 9점 척도에 따라 상대적 중요도를 판단할 수 있도록 설문조사서를 작성하고 이메일을 통해 설문지를 발송하였다.

설문조사 결과를 취합한 뒤 일관성 지수(Consistency Index: CI), 일관성 비율(Consistency Ratio: CR)을 순차적으로 계산하여 일관성 조건 충족 여부를 <식 1>에 따라 확인하였으며, 일관성 비율이 0.2 이하일 경우 설문조사 응답 수준이 용납할 수준이라고 판단(김준호, 박종연, 강신희, 최솔지 2015)됨에 따라 일관성 지수가 0.2 이하인 47명의 응답자의 설문조사 결과를 활용하여 가중치를 산출하였다.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \quad CR = \frac{CI}{RCI} \quad \langle \text{식 1} \rangle$$

여기서, $\lambda_{\max}$ 는 최대 고유값, n 은 행렬의 차원, RCI 는 난수지수를 각각 의미한다.

그림 2 교량시설 위험성 분석을 위한 계층구조화



자료: 이종소, 이상은, 유현지, 표희진 외(2023)의 <그림 4-2>를 재구성.

비교행렬의 일관성 비율을 충족한 응답자의 결과를 기하평균하여 각 계층별 가중치(L)를 산정하였으며, 전체 가중치로 환산한 가중치(G)를 산정하였다.

〈표 2〉의 주 분석영역 기준 가중치 산정 결과를 살펴보면 기능적합성(50.1%), 공간취약성(25.8%), 노출특성(24.1%) 순으로 가중치가 높게 도출되었으며, 이는 교량의 위험성을 판단 함에 있어 공간취약성과 노출특성을 고려하더라도 교량의 구조적 안전 상태를 가장 중요하게 판단하고 있음을 알 수 있다. 기능 적합성은 교량등급, 교량여유고 부족 위험도, 가설연도, 교량연장 부족 위험도 순으로, 노출특성은 교통량, 거주인구 노출, 토지의 노출 순으로, 공간취약성은 피해 및 위험지역, 위치적 조건, 도로분포의 순으로 가중치가 도출되었다.

표 2 교량시설 위험성 분석지표의 가중치 산정 결과

평가항목	항목 내 중요도(L)	전체 중요도(G)
기능 적합성		50.1%
교량등급	35.6%	17.9%
교량연장 부족 위험도	17.5%	8.8%
교량여유고 부족 위험도	26.9%	13.4%
가설연도	20.1%	10.0%
노출특성		24.1%
교통량(대)	53.8%	13.0%
토지의 노출(㎡)	19.7%	4.7%
(주거지역)	(36.2%)	(1.7%)
(상업업무지역)	(25.9%)	(1.2%)
(공업지역)	(29.2%)	(1.4%)
(녹지지역)	(8.7%)	(0.4%)
거주인구 노출(명)	26.5%	6.4%
공간취약성		25.8%
피해 및 위험지역(㎡)	58.1%	15.0%
도로분포(m)	13.5%	3.5%
위치적 조건	28.4%	7.3%

자료: 이종소, 이상은, 유현지, 표희진 외(2023)의 〈표 4-4〉를 재구성.

IV. AHP-PROMETHEE 기법을 활용한 하천교량 시설의 위험성 분석

1. 대상지역 선정 및 자료 구축

본 연구에서는 하천교량의 위험성 분석을 위해 미호강 유역을 대상지역으로 선정하였다. 미호강 유역은 충청북도와 세종특별자치시 일대에 위치하며, 기후변화로 인한 홍수 및 집중호우에 따른 피해가 반복적으로 발생하고 있는 지역이다.

연구대상으로 선정된 교량은 〈그림 3〉과 같이 41개소로, 하천기본계획 보고서에 따른 횡단 도로교량 총 74개소 중 국토교통부의 시설물 통합정보 관리시스템과 도로 교량 및 현황 정보시스템에서 관리되지 않는 시설물은 제외하였다.

〈표 3〉과 같이 세부 평가항목인 교량의 안전등급, 연장, 여유고, 교통량, 토지 및 인구, 피해지역 등의 자료를 구축하였으며, 교량 주변 거주인구, 도로 분포, 피해 및 위험지역 정보의 경우 GIS 분석을 통해 구축하였다.

그림 3 대상유역 및 하천교량 위치도



표 3 교량 시설물 평가항목 및 자료출처

평가항목	자료출처
교량 안전등급	- 국도교통부 시설물통합정보관리시스템(https://www.fms.or.kr)의 안전등급 - 국도교통부 도로 교량 및 현황정보시스템(https://bti.kict.re.kr)의 안전등급
교량연장, 여유고	- 미호천 하천기본계획(변경) (국도교통부 2018) - 미호천 상류권역(I) 하천기본계획(변경) (국도교통부 2019a) - 미호천 최상류권역 하천기본계획(변경) (국도교통부 2019b)
교량 가설연도	국도교통부 도로 교량 및 현황정보시스템(https://bti.kict.re.kr)의 준공연도
교통량	- 교통량 정보제공시스템(https://www.road.re.kr)의 교통량 - 국도교통부 도로 교량 및 현황정보시스템(https://bti.kict.re.kr)의 교통량 - 청주시 주요 교차로 교통량 조사자료(청주시, 2022) - 세종특별자치시 교통정보현황(http://tdata.sejong.go.kr)
토지 이용	국가공간정보포털(http://data.nsdi.go.kr)의 토지이용현황도
거주인구	국토지리정보원(https://www.ngii.go.kr/)의 격자단위인구분포
피해 및 위험지역	- 국가공간정보포털(http://data.nsdi.go.kr)의 자연재해/재해위험지구 - 공공데이터포털(https://www.data.go.kr/)의 침수흔적도 - 제2차 세종특별자치시 자연재해저감종합계획 (세종특별자치시 2021) - 제2차 청주시 자연재해저감종합계획 (청주시 2019) - 진천군 자연재해저감종합계획 (진천군 2022) - 음성군 풍수해저감종합계획 (음성군 2013)
도로 분포	국가공간정보포털(http://data.nsdi.go.kr)의 도로중심선

자료: 이종소, 이상은, 유현지, 표희진 외(2023)의 <표 4-5>를 참조.

2. AHP-PROMETHEE 기법을 활용한 미호강 유역 내 고위험 하천교량 분석

AHP를 통해 도출된 가중치를 구축한 자료와 결합하여 PROMETHEE 기법에 적용하였다. PROMETHEE I은 각 교량의 선호도 유입량과 유출량을 평가하여 하나의 대안이 다른 대안과의 우열관계(선호, 무차별, 비교불가)를 판단하며, PROMETHEE II로는 선호도 순 흐름량을 산정하여 상대적 우월성을 판별해 PROMETHEE I의 비교불가인 경우에도 적용이 가능해 비교 우선순위 도출이 가능하다.

PROMETHEE I의 선호도 유입량 $\varphi^+(x_s)$ 과 선호도 유출량 $\varphi^-(x_s)$ 의 두 가지 지표는 <식 2>와 같다.

$$\varphi^+(x_s) = \frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M \pi(x_s, x_i); \quad \varphi^-(x_s) = \frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M \pi(x_i, x_s) \quad \langle \text{식 2} \rangle$$

선호도 유입량은 대안 x_s 가 M-1개의 나머지 대안을 평균적으로 지배하는 정도를 나타내며, 값이 클수록

대안 x_s 가 타 대안에 비해 우월함을 의미하고 선호도 유출량은 대안 x_s 가 M-1개의 나머지 대안에게 평균적으로 지배받는 정도를 나타내며, 값이 클수록 대안 x_s 가 타 대안에 비해 열등함을 의미한다(이상은, 이병재, 이종소, 김슬예 2017).

PROMETHEE II는 <식 3>과 같이 선호도의 유입량과 유출량 차이인 순흐름량을 기초로 하며 단일 선호도 순흐름량을 이용하기 때문에 본 연구에서는 PROMETHEE II를 활용해 전체 대안을 대상으로 상대적 우월성을 분석하였다.

$$\varphi(x_s) = \varphi^+(x_s) - \varphi^-(x_s) \quad \langle \text{식 3} \rangle$$

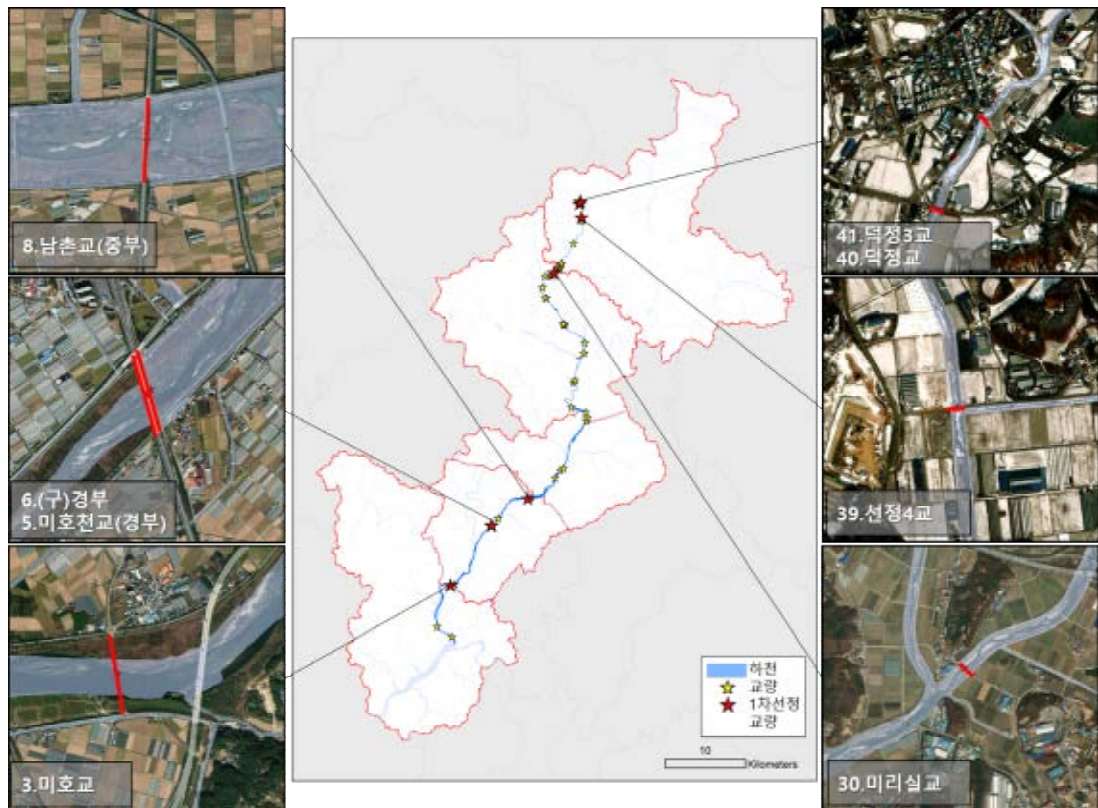
브뤼셀 자유대학에서 연구 또는 교육용으로 보급한 Visual PROMETHEE를 활용하여 자료를 구축하고 분석을 실시하였다.

우선적으로 <표 4>, <그림 4>와 같이 미호강 유역 내 총 41개의 하천교량 중 상위 20%에 해당하는 8개

표 4 교량별 선호도 지수 산정 및 위험분석 결과

Rank	교량명	φ (순흐름량)	φ^+ (선호도 유입량)	φ^- (선호도 유출량)	위험요인
1	Bridge8: 남촌교(중부)	0.3315	0.3904	0.0589	낮은 안전등급, 넓은 피해 및 위험지역 면적 등
2	Bridge41: 덕정3교	0.2461	0.3768	0.1307	연장 및 여유고 부족, 넓은 피해 및 위험지역 면적 등
3	Bridge6: (구)경부	0.2243	0.3056	0.0813	낮은 안전등급, 높은 교통량, 주변지역의 인구밀도 넓은 피해 및 위험지역 면적 등
4	Bridge40: 덕정교	0.2112	0.3056	0.0944	낮은 안전등급, 여유고 부족
5	Bridge5: 미호천교(경부)	0.2000	0.3079	0.1079	높은 교통량, 주변지역의 인구밀도, 넓은 피해 및 위험지역 면적 등
6	Bridge39: 선정4교	0.1910	0.3231	0.1321	낮은 안전등급, 연장 및 여유고 부족, 넓은 피해 및 위험지역 면적 등
7	Bridge30: 미리실교	0.1856	0.3096	0.124	연장 및 여유고 부족, 넓은 피해 및 위험지역 면적
8	Bridge3: 미호교	0.1569	0.2366	0.0797	낮은 안전등급, 여유고 부족

그림 4 AHP-PROMETHEE를 활용한 상위 20% 고위험 하천교량 선정



자료: 이종소, 이상은, 유현지, 표희진 외(2023)의 <그림 4-12>를 참고.

의 교량을 고위험 교량으로 우선 선정하였다. 이후 각 교량의 높은 선호도 지수에 영향을 미친 주요 원인을 분석한 결과, 교량별로 다음과 같은 특성을 나타내었다. 먼저 남촌교(중부)는 교량의 안전등급이 낮고 피해 및 위험지역 면적이 매우 넓은 것으로 나타났다. 덕정3교와 미리실교의 경우 연장 및 여유고의 위험도가 높게 평가되었으며, 이와 더불어 피해 및 위험지역의 면적 또한 넓은 특성을 보였다. (구)경부 교량은 낮은 안전등급과 함께 높은 교통량 및 주변지역의 인구 밀집도가 위험성 증가 요인으로 분석되었으며, 피해 및 위험지역 면적 또한 넓었다.

덕정교는 안전등급이 낮을 뿐 아니라 교량의 여유고 부족으로 인한 위험도가 상대적으로 높은 것으로 평가되었다. 미호천교(경부)는 교통량과 주변지역 인구가 많아 피해 발생 시 영향이 클 것으로 예상되며, 피해 및 위험지역 면적 또한 넓게 나타났다. 선정4교는 낮은 안전등급, 연장 및 여유고에 대한 위험도와 더불어 피해 및 위험지역 면적까지 넓어 위험성이 높은 교량으로 분석되었다.

마지막으로 미호교는 낮은 안전등급과 여유고 위

험도가 높은 특성을 보여 피해 가능성이 큰 것으로 분석되었다.

3. 현장조사 및 검증을 통한 고위험 하천교량 선정

본 연구에서 AHP-PROMETHEE 기법을 활용하여 미호강 유역의 하천교량 41개 중 우선적으로 고위험으로 평가된 8개 교량에 대해 현장조사 및 검증을 추가 수행하였다. 이는 평가자료만으로는 실제 교량의 위험성을 완벽히 반영하기 어려운 한계를 보완하기 위함이다. 현장조사 결과, 남촌교(중부), 덕정3교, (구)경부, 미호천교(경부), 선정4교 등 5개 교량은 다음의 이유로 고위험 대상에서 제외하였다.

남촌교(중부)와 (구)경부, 미호천교(경부)는 실제 피해지역 대부분이 논밭으로 인명피해 위험이 적고, 관리주체가 보수·보강을 통해 여유고를 충분히 확보한 것을 확인하였으며, 덕정3교와 선정4교의 경우 <그림 5>와 같이 하천정비 공사와 하도준설 등을 통해 통수단면 확보 및 교량 안정성이 향상된 것으로 확인되었다. 현장조사 당일 덕정3교는 통수단면적 확

그림 5 덕정3교, 선정4교 현장조사 결과 사진(23년 10월 16일)



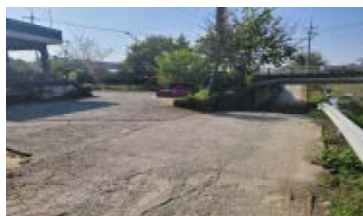
(a) 덕정3교 준설 작업 상황



(b) 선정4교 제방고 공사 현황

자료: 저자 촬영.

그림 6 고위험 하천교량 현장조사 결과 사진 (23년 10월 16일)



(a) 덕정교 제방 현황



(c) 미호교 현황

자료: 저자 촬영.



(b) 미리실교 퇴적 현황



(d) 미호교 구조안전 위험사설물 현황

보 및 제방 관련 공사를 진행하고 있었으며, 선정4교 역시 하도준설을 통한 통수단면적 확보 및 제방고 관련 공사를 진행하고 있었다. 공사 수행 담당자 면담 결과 위험요인 제거를 위해 선제적으로 공사를 진행하고 있는 것으로 확인되었다.

최종적으로 덕정교, 미리실교, 미호교 등 3개 교량을 고위험 하천교량으로 선정하였다. 덕정교는 하도 준설이 일부 이루어지고 있었으나 <그림 6>과 같이 여유고가 부족한 상황에서 교량으로 인한 좌안 제방이 낮아지는 문제가 있어 홍수 시 하천 범람 가능성이 높았다. 미리실교는 여유고와 경간장이 부족한 상황에서 교각 사이의 심각한 퇴적으로 통수단면이 크게 감소하고 있으며, 인근 지역 산업단지 조성이 예정되어 있어 대비가 필요할 것이라 판단되었다. 마지막으로 미호교의 경우 구조안전 위험시설물로 지정되어 있었으며 이는 최근 정밀안전점검 시 중대한 결함이 발생한 것으로 나타났다. 또한 우안의 배후지역은 국가산업단지계획(안)에 해당하는 지역으로 위험 관리 필요성이 높을 것으로 판단되었다.

V. 결론

본 연구는 기후변화로 인해 증가하는 재난 리스크에 대응하기 위해 하천교량의 위험성을 평가하고 고위험 하천교량의 우선순위를 합리적으로 결정하기 위한 방법론을 제시하였다. 이를 위해 AHP와 PROMETHEE를 연계한 다기준의사결정 기법을 활용하여 하천교량의 기능적합성, 노출특성, 공간취약성 등을 종합적으로 평가하였으며, 연구를 통해 다음과 같은 성과를 도출하였다.

첫째, 하천교량의 위험성 평가를 위해 기능적합성, 노출특성, 공간취약성 등 세 가지 주요 분석영역을 설정하고, 이를 10개의 세부 지표로 구조화하여 평가 체계를 정립하였다. 특히, 전문가 설문조사를 통해 평

가항목 간 상대적 중요도를 객관적으로 계량화한 결과, 기능적합성 항목이 전체 가중치의 절반 이상을 차지하여 교량의 구조적 안전성을 우선적으로 고려하는 경향이 나타났다.

둘째, AHP로 산정된 가중치를 PROMETHEE 기법과 결합하여 미호강 유역 내 총 41개 하천교량을 평가하였으며, 이 중 상위 20%인 8개의 교량을 고위험 하천교량으로 우선 선정하였다. 각 교량의 위험성을 선호도 지수로 정량화하고, 주요 위험요인을 명확히 분석함으로써 객관적인 의사결정 근거를 제공하였다.

셋째, 선정된 고위험 교량을 대상으로 추가적인 현장조사 및 검증을 통해 최종 고위험 교량을 선정하였다. 현장조사 결과 일부 교량은 위험요인 제거를 위해 공사를 진행하는 등 대책을 수립하고 있어 고위험 대상에서 제외되었고, 덕정교, 미리실교, 미호교 등 3개 교량은 여유고 부족, 통수단면 부족, 구조안전 위험시설물 지정 등의 이유로 최종적으로 선정되었다. 이를 통해 본 연구에서 제시한 AHP-PROMETHEE 기반의 고위험 하천교량 평가체계는 객관적인 자료로 유용하게 활용할 수 있다고 판단되었다.

결론적으로 본 연구는 정량적 분석인 AHP-PROMETHEE를 통해 1차적으로 고위험 교량을 선별하고, 현장검증을 통해 실제 교량의 현황을 반영한 최종 고위험 하천교량을 선정하는 방법을 제안하였다. 이러한 방법은 하천교량 관리 우선순위 결정에 실질적 기초자료로 활용이 가능하며, 제방, 급경사지 등 다른 기반시설 유지관리 정책 수립 시에도 활용할 것으로 기대된다.

• 참고문헌

References

1. 강형택, 이일근. 2013. 교량 개축우선순위 결정방법 연구. 화성: 한국도로공사 도로교통연구원.
Kang Hyeong-Taek and Lee Il-Keun. 2013. *Research*

- on Prioritization Methodology for Highway Bridge Rehabilitation*. Hwaseong: Korea Expressway Corporation Research Institute.
2. 공공데이터포털. 침수흔적도. https://www.data.go.kr/data/1510_1791/openapi.do (2023년 10월 5일 검색). Public Data Portal. Flood Mark. <https://www.data.go.kr/data/15101791/openapi.do> (accessed October 5, 2023).
3. 국가공간정보포털. 자연재해/재해위험지구, 토지이용현황도, 도로중심선. <http://data.nsd.go.kr> (2023년 10월 4일 검색). National Spatial Information Portal. Natural Disaster/Hazard Risk Zone, Land Use Status Map, Road Centerline. <http://data.nsd.go.kr> (accessed October 4, 2023).
4. 국립기상과학원. 2021. 남한상세 기후변화 전망보고서. 제주: 국립기상과학원. National Institute of Meteorological Sciences. 2021. *South Korea Detailed Climate Change Projections Report*. Jeju: National Institute of Meteorological Sciences.
5. 국토교통부. 2004. 교량수해예방을 위한 기본계획 수립 및 기본설계 용역 종합보고서. 세종: 국토교통부. Ministry of Land, Infrastructure and Transport. 2004. *Comprehensive Report on the Establishment of Basic Plan and Preliminary Design for Bridge Flood Damage Prevention*. Sejong: Ministry of Land, Infrastructure and Transport.
6. 국토교통부 대전지방국토관리청. 2018. 미호천 하천기본계획(변경) 보고서. 대전: 국토교통부 대전지방국토관리청. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Daejeon Regional Construction and Management Administration. 2018. *Miho Stream River Master Plan (Revised)*. Daejeon: Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Daejeon Regional Construction and Management Administration.
7. _____. 2019a. 미호천 상류권역(I) 하천기본계획(변경) 보고서. 대전: 국토교통부 대전지방국토관리청. _____. 2019a. *River Master Plan (Revised) for the Upper Miho Stream Basin (I)*. Daejeon: Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Daejeon Regional Construction and Management Administration.
8. _____. 2019b. 미호천 최상류권역 하천기본계획(변경) 보고서. 대전: 국토교통부 대전지방국토관리청. _____. 2019b. *River Master Plan (Revised) for the Uppermost Miho Stream Basin*. Daejeon: Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Daejeon Regional Construction and Management Administration.
9. 국토교통부 도로 교량 및 터널 현황정보시스템. <https://bti.kict.re.kr> (2023년 9월 15일 검색). Ministry of Land, Infrastructure and Transport Bridge and Tunnel Information System. <https://bti.kict.re.kr> (accessed September 15, 2023).
10. 국토교통부 시설물통합정보관리시스템. <https://www.fms.or.kr> (2023년 9월 15일 검색). Ministry of Land, Infrastructure and Transport Facility Management System. <https://www.fms.or.kr> (accessed September 15, 2023).
11. 국토지리정보원. 격자단위인구분포. <https://www.ngii.go.kr/> (2023년 10월 4일 검색). National Geographic Information Institute. Gridded Population Distribution. <https://www.ngii.go.kr/> (accessed October 4, 2023).
12. 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법. 2024. 법률 제20514호(2024.10.22. 일부개정) *Framework Act on Carbon Neutrality and Green Growth for Coping with Climate Crisis*. 2024. Law no.20514(Partial Amendment on October 22, 2024).
13. 김원, 백용, 임상훈, 이종현, 김지성, 백종대, 김진환, 정승현, 송재인. 2021. 기후변화 대비 사회기반시설 안전도 확보 기술 개발. 고양: 한국건설기술연구원. Kim Won, Baek Yong, Lim Sang-Hoon, Lee Jong-Hyun, Kim Ji-Seong, Baek Jong-Dae, Kim Jin-Hwan, Jeong Seung-Hyun and Song Jae-In. 2021. *Development of Technologies to Secure Social-Infrastructure Safety Against Climate Change*. Goyang: Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology.
14. 김정화, 최기주. 2010. 도로사업투자우선순위 평가의 PROMETHEE 기법 도입 방안 연구. 국토연구 67권: 73-86. Kim Junghwa and Choi Keechoo. 2010. An introduction to PROMETHEE technique for highway investment priority decision. *The Korea Spatial Planning Review* 67: 73-86.
15. 김준성, 이종소, 표희진, 구형수, 이상은. 2022. 기후위기 시대 도시침수 예방대책: 2022년 수도권 집중호우의 교훈. 국토이슈리포트 67호. 세종: 국토연구원. Kim Jun-Seong, Lee Jong-So, Pyo Hee-Jin, Koo Hyung-Su and Lee Sang-Eun. 2022. Urban flood prevention measures in the era of climate crisis:

- Lessons from the 2022 heavy rainfall in the Seoul metropolitan area. *KRIHS Issue Report* no.67. Sejong: Korea Research Institute for Human Settlements.
16. 김준호, 박종연, 강신희, 최솔지. 2015. 우선순위 설정을 위한 AHP 기법 활용 사례. *근거와가치* 1권, 1호: 35-40. Kim Jun-Ho, Park Chong-Yon, Kang Shin-Hee and Choi Sol-Ji. 2015. An overview of the analytic hierarchy process. *Evidence & Value* 1, no.1: 35-40.
 17. 김진수. 2018. 국가 주요 시설물의 관리체계 개선을 위한 입법 및 정책 과제. 서울: 국회입법조사처. Kim Jin-Su. 2018. *Legislative and Policy Tasks for Improving the Management System of Major National Facilities*. Seoul: National Assembly Research Service.
 18. 박경수, 박상훈, 김종명, 박상일, 박준원, 장성근, 하경수, 백현일. 2016. 사회기반시설의 자산관리 기반구축 및 촉진 방안 연구 최종보고서. 안양: 국토교통과학기술진흥원. Park Kyung-Soo, Park Sang-Hoon, Kim Jong-Myung, Park Sang-Il, Park Jun-Won, Jang Seong-Geun, Ha Kyung-Soo and Baek Hyeon-Il. 2016. *Development of Promotion of Infrastructure Asset Management (Final Report)*. Anyang: Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement.
 19. 박기태, 이종석, 황지현, 이빛나, 김용수, 박광순, 이종건, 최상호. 2014. SOC시설물 성능평가기술 개발 기획 최종보고서. 안양: 국토교통과학기술진흥원. Park Ki-Tae, Lee Jong-Seok, Hwang Ji-Hyun, Lee Bit-Na, Kim Yong-Soo, Park Kwang-Soon, Lee Jong-Geon and Choi Sang-Ho. 2014. *Planning of Performance Evaluation Technology Development (Final Report)*. Anyang: Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement.
 20. 박병철, 이재준, 박승범. 2004. 수량화방법II를 이용한 홍수 취향 교량 판별에 관한 연구. *대한토목학회* 24권, 6호 : 1293-1300. Park Byung-Cheol, Lee Jae-Joon and Park Seung-Bum. 2004. A study on the classification of vulnerable bridges to flood using quantification theory type II. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 24, no.6: 1293-1300.
 21. 봉인식, 최해진. 2019. 주거지원 우선순위 결정을 위한 PROMETHEE 모형의 적용 가능성에 대한 탐구: 경기도 적용 사례를 중심으로. *주택도시금융연구* 4권, 2호: 5-25. Pong In Shik and Choi Hye Jin. 2019. An assessment of housing conditions and affordability using PROMETHEE method: A case study of Gyeonggi-do. *Journal of Housing and Urban Finance* 4, no.2: 5-25.
 22. 세종 빅데이터 홈페이지. <http://tdata.sejong.go.kr:8080/ingecep/launcher/dashboard> (2023년 10월 5일 검색) Traffic Big Data Analysis System. [http://tdata.sejong.go.kr:8080/ingecep/launcher/ dashboard](http://tdata.sejong.go.kr:8080/ingecep/launcher/dashboard) (accessed October 5, 2023).
 23. 세종특별자치시. 2021. 제2차 세종특별자치시 자연재해 저감종합계획. Sejong Special Self-Governing City. 2021. *The 2nd Comprehensive Plan for Natural Disaster Risk Reduction in Sejong*.
 24. 송재준, 박홍석, 박경훈, 주봉철, 구현분, 선종환, 권민재. 2013. 국토 교량 기능개선 사업 우선순위 선정 연구. 고양: 한국건설기술연구원. Song Jae-Jun, Park Hong-Seok, Park Kyung-Hoon, Joo Bong-Cheol, Gu Hyeon-Bon, Seon Jong-Hwan and Kwon Min-Jae. 2013. *A Study on the Prioritization of Bridge Function Improvement Projects in Korea*. Goyang: Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology.
 25. 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법. 2021. 법률 제17946호(2021.3.16. 일부개정). *Special Act on the Safety Control and Maintenance of Facilities*. 2021. Law no.17946 (Partial Amendment on March 16, 2021).
 26. 유승민, 권오경, 최윤기. 2019. PROMETHEE-AHP 기법을 이용한 노후 공동주택의 재건축과 리모델링 사업선택요소 선정에 관한 연구. *한국건설관리학회 논문집* 제20권 제3호: 77-85. Yoo Seung-Min, Kwon Oh-kyung and Choi Yoon-ki. 2019. A study on reconstruction and remodeling's selection factors of old apartment houses using PROMETHEE-AHP. *Korean Journal of Construction Engineering and Management* 20 no.3: 77-85.
 27. 음성군. 2013. 음성군 풍수해저감종합계획. Eumseong-Gun. 2013. *Comprehensive Plan for Flood and Storm Disaster Risk Reduction in Eumseong-Gun*.
 28. 이상은, 이병재, 이종소, 김슬예. 2017. 도시 침수지역 및 영향권 분석을 통한 재난안전 정책지원 시스템 구현(II). 세종: 국토연구원. Lee Sang-Eun, Lee Byung-Jae, Lee Jong-So and Kim Seul-Ye. 2017. *Development of the Urban Flooding Risk Prevention System(II)*. Sejong: Korea

- Research Institute for Human Settlements.
29. 이석민, 윤형미. 2022. 기후변화에 따른 서울시 산사태 관리 개선방안. 서울: 서울연구원.
Lee Suk-Min and Yoon Hyung-Mi. 2022. *Measures to Improve Landslide Management in Seoul in Response to Climate Change*. Seoul: The Seoul Institute.
30. 이종소, 이상은, 유현지, 표희진, 신진욱. 2023. 기후위기 적응을 위한 기반시설 관리 개선방안 연구: 하천교량을 중심으로. 세종: 국토연구원.
Lee Jong-So, Lee Sang-Eun, Yoo Hyun-Ji, Pyo Hee-Jin and Shin Jin-Uk. 2023. *Study on Improving Infrastructure Maintenance for Adaptation to Climate Crisis: Focusing on River Bridges*. Sejong: Korea Research Institute for Human Settlements.
31. 이종소, 이상은, 신진욱, 유현지, 표희진. 2023. 기후위기 적응을 위한 도로교량의 성능평가 개선 필요성. 국토이슈리포트 73호. 세종: 국토연구원.
Lee Jong-So, Lee Sang-Eun, Shin Jin-Uk, Yoo Hyun-Ji and Pyo Hee-Jin. 2023. The Need to Improve Performance Evaluation of Road Bridges for Climate Crisis Adaptation. *KRIHS Issue Report* no.73. Sejong: Korea Research Institute for Human Settlements.
32. 이희현, 신병길, 이영일, 김영민. 2019. 위험도 지수 기반 중소규모 교량 성능평가 우선순위 결정 방안 제안. 한국구조물진단유지관리공학회 23권, 6호: 70-76.
Lee Hee-Hyun, Shin Byoung-Gil, Lee Young-il and Kim Young-Min. 2019. Suggestion of priority decision method for performance evaluation based on risk index for small and medium sized bridges. *Journal of The Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection* 23, no.6: 70-76.
33. 임치성, 김동주, 황경란, 신병길, 박경수, 오홍섭, 이승우, 김동현, 유형주, 이승연, 방영준. 2021. 기후변화에 따른 시설물 안전관리체계 개선방안 연구. 진주: 국토안전관리원.
Lim Chi-Seong, Kim Dong-Ju, Hwang Gyeong-Ran, Shin Byeong-Gil, Park Kyung-Su, Oh Hong-Seop, Lee Seung-Oh, Kim Dong-Hyun, Yoo Hyeong-Joo, Lee Seung-Yeon and Bang Young-Jun. 2021. *A Study on Improving the Safety Management System for Facilities in Response to Climate Change*. Jinju: Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation.
34. 정규정, 정일원, 김영민, 김원술, 장석준, 남우석, 김태현, 장훈, 정휘철, 정선희, 박선주, 권현한, 김동주, 소병진, 이주현, 김태웅. 2019. 시설물 기후변화 리스크 평가 및 관리 방안 기초연구. 진주: 국토안전관리원.
Jeong Kyu-Jeong, Jeong Il-Won, Kim Young-Min, Kim Won-Sul, Jang Seok-Jun, Nam Woo-Seok, Kim Tae-Hyun, Jang Hoon, Jeong Hwi-Cheol, Jeong Sun-Hee, Park Sun-Joo, Kwon Hyun-Han, Kim Dong-Joo, So Byeong-Jin, Lee Joo-Heon and Kim Tae-Woong. 2019. *Preliminary Study on Climate Change Risk Assessment and Management Measures for Infrastructure Facilities*. Jinju: Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation.
35. 지속가능한 기반시설 관리 기본법. 2022. 법률 제18564호 (2021.12.7. 일부개정).
Framework Act on Sustainable Infrastructure Management. 2022. Law no.18564 (Partial Amendment on December 7, 2021).
36. 진천군. 2022. 진천군 자연재해저감종합계획.
Jincheon-Gun. 2022. *Comprehensive Plan for Natural Disaster Risk Reduction in Jincheon-Gun*.
37. 청주시. 2019. 제2차 청주시 자연재해저감종합계획.
Cheongju City. 2019. *The Second Comprehensive Plan for Natural Disaster Risk Reduction in Cheongju City*.
38. _____. 2022. 2022년 청주시 주요 교차로 교통량 조사자료. 청주: 청주시청.
Cheongju City. 2022. *2022 Traffic Volume Survey of Major Intersections in Cheongju City*. Cheongju: Cheongju City Hall.
39. 최숙자, 고수경, 김정희, 이상아. 2006. 계층화분석법(AHP)을 이용한 건강보험급여확대상병 우선순위 결정. 보건행정학회지 16권 1호: 73-94.
Choi Sook-Ja, Ko Su-Kyung, Kim Jung-Hee and Lee Sang-Yi. Priority setting for expanding health insurance benefit package using analytic hierarchy process. *Korean Journal of Health Policy and Administration* 16, no.1: 73-94.
40. 한국건설기술연구원. 교통량 정보제공시스템. <https://www.road.re.kr> (2023년 10월 4일 검색).
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology. Traffic Monitoring System. <https://www.road.re.kr> (accessed October 4, 2023).
41. 행정안전부. 2020a. 안성·철원·충주·제천·음성·천안·아산 7개 시군 특별재난지역 선포, 8월 7일. 보도자료.
Ministry of the Interior and Safety Press Release. 2020a. Declaration of Special Disaster Areas for 7 Cities and Counties: Anseong, Cheorwon, Chungju, Jecheon, Eumseong, Cheonan, and Asan, August 7. Press release.

42. _____. 2020b. 곡성·구례·나주·담양·영광·장성·함평·화순·남원·하동·합천 11개 시·군 특별재난지역 선포, 8월 13일. 보도자료.
- _____. 2020b. Declaration of Special Disaster Areas for 11 Cities and Counties: Gokseong, Gurye, Naju, Damyang, Yeonggwang, Jangseong, Hampyeong, Hwasun, Namwon, Hadong, and Hapcheon, August 13. Press release.
43. _____. 2020c. 20개 시군구, 36개 읍면동 특별재난지역 선포(3차), 8월 24일. 보도자료.
- _____. 2020c. Declaration of Special Disaster Areas for 20 Cities, Counties, and Districts, and 36 Towns, Townships, and Neighborhoods (3rd Announcement), August 24. Press release.
44. American Society of Civil Engineers(ASCE). 2017. *2017 Infrastructure Report Card*. Virginia: Reston.
45. Kramer, K. and Ware, J. 2021. *Counting the cost 2021: A year of climate breakdown (December 2021)*. London: Christian Aid.
46. Karagiannis, G. M., Turksezer, Z. I., Alfieri, L. Feyen, L. and Krausmann, E. 2019. *Climate Change and Critical Infrastructure- Floods*. Brussels: Joint Research Centre(JRC)
47. The Organisation for Economic Co-operation and Development(OECD). 2018. *Climate-resilient Infrastructure: policy perspectives*. Paris: OECD Publishing.
48. Ryan, P. C., Hawchar, L., Naughton, O. and Stewart M. G. 2021. *CIViC: Critical Infrastructure Vulnerability to Climate Change (Research Report no.369)*. London: Construction Industry Research and Information Association(CIRIA).

- 논문 접수일: 2025. 6. 30.
- 심사 시작일: 2025. 7. 15.
- 심사 완료일: 2025. 8. 19.

요약

기후변화에 따른 극한강우의 빈도 및 강도가 증가함에 따라 인명 및 시설물 피해가 증가하는 가운데 본 연구는 하천교량을 대상으로 기후변화 요인과 시설물의 공간적 특성을 종합적으로 반영하여 위험성 분석 방법을 개발하고자 한다. 이를 위해 다양한 평가기준 간 상대적 중요도를 계량화하고 합리적 의사결정을 지원하기 위해 AHP와 PROMETHEE를 연계하여 위험성을 객관적이고 정량적으로 평가하고자 하였다. 평가 기준은 기능적합성, 노출특성, 공간취약성의 세 가지 영역과 총 10개 지표로 구성되었으며, 전문가 설문조사를 통해 가중치를 산정하였다. 이후 PROMETHEE를 적용하여 미호강 유역 내 41개 교량 중 고위험 교량 8개소를 1차적으로 선정하였다. 또한 현장조사를 통해 선정된 교량의 실제 위험요인을 검토하였으며, 이를 통해 최종적으로 3개의 고위험 하천교량을 도출하였다.

본 연구에서 제시한 AHP-PROMETHEE 기반의 고위험 하천교량 분석체계는 의사결정 시 객관적인 자료로 유용하게 활용할 수 있을 것으로 판단되며, 향후 제방, 급경사지 등 다른 기반시설 유지관리 정책 수립시에도 활용 가능할 것으로 기대된다.

- 주제어: 기후위기, 하천교량, 다기준의사결정, 위험성 평가, 기반시설 관리