

# 주성분 분석을 활용한 IPC 거더교의 환경부하량 영향요인 분석

김준수<sup>1</sup> · 전진구<sup>2</sup> · 김병수\*

<sup>1</sup>경북대학교 토목공학과 · <sup>2</sup>서경대학교 토목건축공학과

## Analysis of the Environmental Load Impact Factors for IPC Girder Bridge Using Principal Component Analysis

Kim, Joon-Soo<sup>1</sup>, Jeon, Jin-Gu<sup>2</sup>, Kim, Byung-Soo\*

<sup>1</sup>Department of Civil Engineering, Kyungpook National University

<sup>2</sup>Department of Architectural and Civil Engineering, SeoKyung University

**Abstract :** In the 21st century, the Earth has continued its efforts to reduce carbon emissions to overcome the crisis caused by climate change. The construction industry, which is a representative industry that produces large amounts of the environmental load during construction, should actively reduce the amount of the environmental load. From the planning stage of the construction facility, it is necessary to consider the environmental load such as route selection and structure type selection to reduce the environmental load. However, the environmental load can be estimated based on the input resource amount. However, in the planning stage, it is difficult to accurately calculate the environmental load due to lack of information on the construction amount. The purpose of this study is to select the environmental load factors for IPC girder bridges to be used in the environmental load estimation model in the planning stage. Specific information related to the environmental load was selected from a list of information available in the planning stage, reflecting the Life Cycle Assessment(LCA), correlation, principal components analysis and expert opinion. The list of selected planning stage information is 10 such as span length and bridge extension, and it is expected to be used as a basic data for the future development of environmental load estimation model.

**Keywords :** Environmental load, Impact Factor, IPC Girder Bridge, LCA, Principle Component Analysis

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

세계 각국은 2015년 프랑스 파리에서 개최된 제21차 유엔기후변화협약(UNFCCC : United Nations Framework Convention on Climate Change) 당사국총회에 다양한 형태의 이산화탄소 감축방안을 제출하였다(UNFCCC, 2016).

2012년 기준으로 한국의 이산화탄소 배출량은 세계 7위, 온실가스 누적배출량은 16위, 1인당 배출량 OECD 6위였다(Lho, 2018). 한국은 2030년 BAU (Business as Usual) 850.6백만 톤 대비 이산화탄소 배출량을 37%를 감축하기로

목표를 발표하였으며 탄소배출권 거래제와 같은 실천적 정책을 제시하였다.

한국의 건설 산업은 GDP의 17%를 차지하는 국가 기간산업으로 전체 재료소비의 약 48%, 에너지 소비 40%를 점유하고 있는 대량소비 산업이며 동시에 전체 이산화탄소 배출량의 42%를 발생하는 환경저해산업 중의 하나라고 할 수 있다(Nam et al., 2011).

이러한 문제를 해결하기 위해서 국토교통부에서는 주택사업 추진 시 친환경을 고려 할 수 있는 제도적 기반을 마련하였지만, 투입되는 자원과 에너지 소비가 큰 토목사업은 친환경 평가기준, 에너지효율등급제도와 같은 정책이 미비한 실정이다. 또한 대규모 토목사업 중 하나인 도로공사는 건설자재와 장비를 사용함에 따라 시공단계에서 높은 환경부하량이 발생한다. 환경부하란 시설물의 전생애주기 동안 지구환경에 영향을 미치는 인자(온실가스, 오존층파괴가스, 산성비원인 가스, 유해폐기물 등)들에 대한 지구환경 부담 정도를 정량화한 것으로써(Park & Kim, 2016) 건설산업에서 발생하는 환

\* Corresponding author: Kim, Byung-Soo, Department of Civil Engineering, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea  
E-mail: bskim65@knu.ac.kr  
Received July 11, 2018; revised August 27, 2018  
accepted August 28, 2018

경부하량을 감소시키기 위해서는 설계단계에서 친환경적인 공법, 자재, 장비 등이 적극적으로 활용되어야 한다. 또한 이를 위해서는 사업의 계획단계에서 환경경제성에 대한 검토가 선행되어야 할 것이다.

도로시설물 중 도로교의 계획단계에서 환경부하량을 평가하기 위해서는 투입되는 자원에 대한 수량 측, 공사물량이 파악되어야 한다. 하지만 이 단계에서 환경부하량에 영향을 주는 공사물량을 직접적으로 파악할 수 있는 특성정보는 충분하지 않다(Kwak, 2007). 따라서 본 연구에서는 도로 시설물의 계획단계에서 사용가능한 특성정보와 국도건설공사 사례 DB에 대하여 전과정 평가(Life Cycle Assessment, LCA)를 통해 산정한 환경부하량과의 상관성 분석과 주성분 분석을 실시하고, 이를 토대로 계획단계 가용정보 중 환경부하량에 대한 영향 요인을 도출하여 IPC 거더교량의 계획단계에서 환경부하량 의사결정 평가모델 개발 시 유용한 자료를 제시하고자 한다.

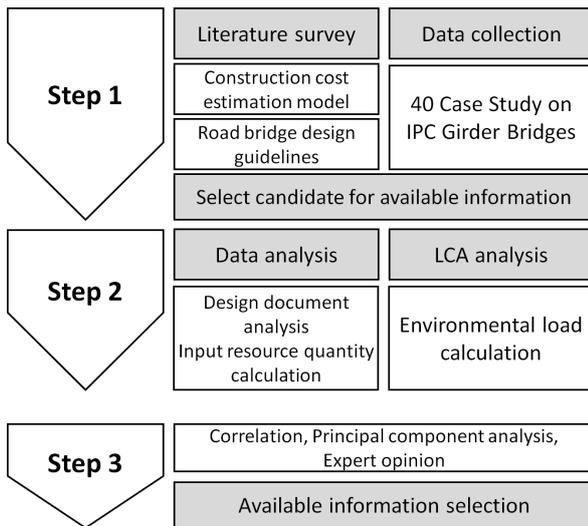


Fig. 1. Study Process

### 1.2 연구의 범위 및 방법

국토교통부가 발간한 도로교표준시방서(2016)에 명시된 도로교의 종류는 강교와 콘크리트교로 구분되어 있다. 그 중 본 연구에서는 외력에 의하여 발생된 응력에 대응하기 위하여 미리 인공적으로 내력을 준 콘크리트교의 프리캐스트콘크리트(precast Concrete)의 개량형인 IPC (Incrementally Prestressed Concrete) 거더 교량을 연구대상으로 선정하였다.

또한 본 연구에서 가정한 계획단계는 개략적인 노선이 결정된 후 수치지형도를 통해 IPC 거더교의 연장, 경간수 등을 추산할 수 있는 단계를 의미한다(Park & Kim, 2016).

연구의 방법은 (Fig. 1)과 같이 설계도서의 분석을 통해 투입되는 자원량(자재, 장비)을 파악하고 파악된 자원량을 토대로 LCA를 통해 환경부하량을 산출하였다.

계획단계에서 사용 가능한 IPC 거더교 특성정보는 도로 시설물의 계획단계에 관한 기존 연구문헌의 고찰을 통해 수집 후 후보 가용정보 목록을 선정하였다. 후보로 선정된 가용정보의 유의성을 판단하기 위하여 IPC 거더교량 사례를 LCA 분석 후 오픈소스 통계프로그램인 R을 활용하여 도출된 환경부하량과 후보 가용정보들과의 선형적 관계를 알아보는 상관분석을 실시하였다. 추가적으로 수집된 데이터의 총 변동을 설명할 수 있는 선형 조합을 찾아내는 주성분 분석을 실시하였다. 그리고 두 분석의 결과와 전문가 의견을 반영하여 IPC 거더교량의 환경부하량과 수집된 데이터의 변동을 설명할 수 있는 영향요인을 도출하였다.

### 1.3 기존 연구 고찰

최근 산업 전 분야에서 생애 주기 동안 발생하는 환경부하를 산정하는 연구가 활발히 진행되고 있으며 본 연구에서는 시설물을 대상으로 환경부하량을 산정하는 기존 연구를 (Table 1)과 같이 고찰하였다.

그 중 Kim and Chae (2010), Choi et al. (2012)은 주택 시공 시 전 생애주기 동안 발생하는 환경부하 평가방법 제안 및 투입되는 자재의 이산화탄소 원단위 데이터베이스를 구축 후 환경부하 배출량을 분석하였다.

토목 시설물의 경우는 Lee et al. (2008)은 댐의 비상여수로 설계 대안의 전 생애 주기 동안 발생하는 환경부하를 분석하였으며 Lee et al. (2014)은 국내 고속철도 노선을 대상으로 1km 건설 시 발생하는 환경영향 및 주요 영향인자를 전과정평가로 분석하였다.

NATM터널 및 도로교 종류 중 하나인 PSC교량을 대상으로 한 전 과정 평가 연구로 Lee et al. (2016), Cho et al. (2016)은 투입 자재 및 환경 범주별 환경부하량을 분석하였으며 Yun et al. (2017)은 설계초기단계의 소수 가용정보만으로 공종별 환경부하량을 효율적으로 산정할 수 있는 모델을 개발하였다.

국외연구의 경우는 공정 단계의 데이터를 통합하는 전과정 평가 방법을 활용하여 생애주기 동안 발생하는 온실가스를 정량화하는 방법을 연구(Cass & Mukherjee, 2011)하였으며 도로 건설공사의 소요되는 자재의 환경영향을 전과정 평가를 통해 분석(Chowdhury et al., 2010)되었다. 또한, 데이터가 불확실한 두 가지 설계대안의 LCA에 의한 환경영향평가에 대한 통계적 특성을 비교 지표를 이용하여 나타난 연구(Noshadravan et al., 2013)가 수행되었다.

또한, Guangli Du et al. (2018)과 Karmen Fifer Bizjak &

Stanislav Lenart (2018)은 교량의 설계 원안과 대안의 전과 정평가를 실시 후 환경부하량이 적은 공법을 선택하는 친환경 의사결정과 관련된 연구를 하였다.

국내의 경우는 시설물의 환경부하량을 산출하는 연구 진행이 활발하며 국외의 경우는 친환경 의사결정을 위한 전 과정 평가와 관련된 연구가 활발하지만 기존 연구결과들은 프로젝트의 계획단계에서 제한적인 정보를 기반으로 환경부하량을 추정하기에는 한계가 있다.

본 연구는 기존연구에서 다루지 않았던 IPC거더교량을 대상으로 가용정보가 제한적인 계획단계에서 환경부하량에 영향을 미치는 요인을 다양한 방법으로 분석하는 연구이므로 기존연구와 차별성이 있다.

Table 1. Research trends

Trend	Author
	Research content
Environment load calculation	Domestic
	Lee et al. (2008)
	LCA Analysis of the original and alternative in the Emergency Spill way of Dam
	Kim and Chae. (2010)
	Quantitative Evaluation of Carbon Dioxide and Environment load during life cycle of korean type house
	Choi et al. (2012)
	DB construction of major materials to measure and predict environmental load of apartment
	Lee et al. (2014)
	Analysis of environmental impacts and influencing factors on korean high-speed railway routes
	Lee et al. (2016), Cho et al. (2016)
	LCA assessment on the NATM tunnel and PSC bridge
	Yun et al. (2017)
	Estimation of environmental load using minimum information of PSC beam bridges in early design stage
	Oversea
Cass and Mukherjee (2011)	
CO2 Quantification each Type of Work using LCA	
Chowdhury et al., (2010)	
Analyze the environmental impacts of materials used in road construction projects by using LCA	
Noshadravan et al., (2013)	
Statistical analysis of environmental impact assessment by LCA of two design alternatives with uncertain data	
Decision making	Guangli D. et al (2018), Karmen F. B. & Stanislav L. (2018)
	LCA Analysis of Design original and alternatives for eco-friendly decision making

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 상관분석과 주성분분석

상관분석이란 서열척도, 등간척도, 비율척도로 측정된 두 변인 간에 상관관계가 존재하는지 알아보고, 그 정도를 측정하는 것이다. 상관관계는 원인과 결과의 관계를 나타내는 인과관계와 다르다. 상관분석은 두 변인 간의 선형적인 관계를 알아보는 것으로 정적상관과 부적상관 두 종류가 있다.

상관분석의 목적은 변인 간의 관계를 규명함으로써 주위 현상을 이해하고 해석한다. 상관관계 자체가 원인과 결과를 밝혀 주지는 못하지만 어떤 변인이 먼저 발생했는지를 알 수 있다면 인과관계의 가능성을 추정할 수 있다. 그리고 두 변인 사이의 충분한 관계가 있을 때 한 변인의 측정치에서 다른 변인의 측정치를 예측한다. 다만, 상관분석에서 상관계수의 크기로 변인 간의 관계의 정도와 두 변인 간의 변화 모양을 어느 정도 예측할 수 있다(Kim, 2016).

주성분분석이란 서로 상관성이 있는 다변량 데이터를 내포된 정보의 손실을 가능한 적게 해서 저차원의 데이터로 축약하는 다변량 비모수적 방법이다. 즉, 복잡한 데이터 세트를 단순화하기 위한 다변량 통계기법이다.

주성분은 각 변수에 가중치를 주어 합성하는 것에 의해 구하여진다. 그때 원래 변수가 가지고 있는 정보를 최대한 이용하여 개체간의 분산이 최대가 되도록 가중치를 붙인다. 원래의 변수가 가지고 있는 다수의 주성분이 존재하는 경우에는 각각의 주성분은 서로 상관 없이 독립, 즉 서로 다른 주성분간의 공분산이 0이 되도록 결정한다(Lee et al., 2013).

### 2.2 공사비추정모델과 계획단계의 가용정보

일반적으로 개략공사비 추정은 설계도면과 시방서가 준비되지 않는 상태에서 공사비를 예측하는 것이기 때문에 이전의 유사한 공사에서 얻을 수 있는 자료와 건설공사 참여자로부터 얻을 수 있는 가능한 정보를 토대로 견적자의 경험과 판단에 의해 수행된다(Kang, 2009). 하지만 공사비 추정모델은 개략적인 공사금액을 예측하는 개념견적, 예비견적, 예산견적을 포함하는 개념으로 설계가 시작되기 전에 프로젝트의 실행가능성을 알아보거나 설계의 초기단계 또는 진행단계에서 여러 설계대안의 경제성을 평가하고 설계단계의 원가계획 및 관리 업무의 기준을 위하여 수행된다(Kim, 2007).

IPC 거더교 계획단계의 가용정보를 활용하여 환경부하량에 대한 평가를 수행한 연구는 앞서 언급한 바와 같이 전무하다. 그래서 시설물의 계획단계에서 사용 가능한 정보에 대하여 많이 다루고 있는 공사비 추정 모델에 관한 문헌을 참조 후 계획단계의 가용 정보 목록을 작성하였다.

국토교통부(MLTMA, 2011)에 의하면 도로 시설물의 계획단

계에서 사용할 수 있는 정보 목록으로 발주처, 공사유형, 차로 수, 총도로폭, 차로폭, 총연장, 도로구분, 설계속도, 행정구역, 지역특성, 지형 등이 있다. 이 정보를 기본으로 하여 본 연구에 부합되도록 새롭게 추가하거나 제외하는 작업을 수행하였다.

Lee (2009)의 도로교량의 개략공사비 연구에 따르면 IPC 거더교의 부위별 공사비 비율구성을 분석해본 결과 거더 제작에 많은 공사비가 소요되는 것으로 나타났다. 그리고 본체공의 공사비 비율이 약 46%로 나타났으며, 하부공의 공사비 비율도 40%로써 큰 비중을 차지한다. 더불어 지역적 영향요인과, 부위별, 경간장, 육상/하상, 연장, 면적 등이 공사비 변동에 작용한다.

IPC 거더교의 상하부의 내용을 모두 포함하며 지역적 영향요인도 고려한 13개의 가용정보 후보를 선정했으며 목록들은 상부공종, 하부공종, 지역정보로 구분 후 <Table 2>와 같이 나타내었다.

Table 2. Available information candidate list (MLTMA, 2016)

Division		
Work related to upper (6)	Work related to bottom (4)	Information of local (3)
Upper area	Pier height	Ordering agency
Total length of bridge	length of bridge foundation	
Span length		Type of bridge foundation
Width	Abutment height	
Number of Road line		
Number of Span		

### 2.3 LCA에 의한 환경부하량 산정

본 연구에서 상관성 분석에 사용한 국토건설공사 사례 DB의 환경부하량은 LCA (Life Cycle Assessment)에 의하여 산출하였다.

LCA는 제품의 전 과정에 걸쳐 소모되는 자원과 에너지 및 발생하는 배출물의 양을 정량화하여, 환경에 미치는 영향을 종합적으로 평가하는 환경영향 평가 기법이다(ISO 14040, 2018).

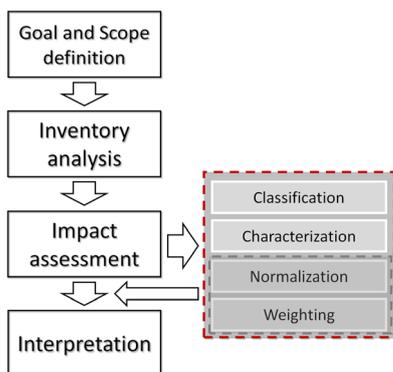


Fig. 2. LCA Component

환경관리 시스템을 구현도구인 LCA는 <Fig. 2>와 같이 목적 및 범위 정의(Goal & Scope Definition), 목록분석(Inventory Analysis), 영향 평가(Impact Assessment) 및 해석(Interpretation) 단계가 포함되어 있다.

그 중 정량적인 환경부하량 값의 산출은 목록분석과 영향평가에서 이루어진다. 목록분석은 투입자원과 에너지에 의해 배출되는 환경부하량을 산출하기 위해 투입자원과 에너지에 대한 기능단위 환경부하량을 산출하여 DB (Database)화한 LCI (Life Cycle Inventory) DB를 사용할 수 있다. 본 연구에서는 한국환경산업기술원에서 제공하는 국가 LCI DB와 국제적으로 공신력 있는 에코인벤트(Ecoinvent)에서 제공하는 LCI DB를 활용하였다.

한편, LCA의 정량적인 값을 산출하기 위해서는 목록분석의 결과로부터 산출된 투입물과 배출물은 분류화, 특성화, 정규화, 가중화로 구성된 영향평가를 거쳐 정량적인 값으로도 출되며 각 과정의 의미는 다음과 같다.

분류화는 목록분석에서 도출된 항목항목들을 해당 영향범주 주로 모으는 과정으로 분류화를 통해 LCA에서 고려할 환경영향범주가 결정된다. 환경영향범주는 LCA 수행목적에 따라 여러 가지 항목이 사용될 수 있으나 본 연구에서는 자원고갈, 지구온난화, 오존층파괴, 산성화, 광화학산화물생성, 부영양화, 생태독성, 인간독성만 고려하였다.

<Table 3>은 특성화 단계에서부터 가중화까지 각 단계별 산출 공식과 그 인지들에 대하여 서술하였다.

Table 3. Formula of impact assessment

Division	Contents
	Formula
Characterization	$C_{ij} = Load_i \times eqv_{ij}$ (2.1)
	$C_{ij}$ = the size of the effect of inventory $i$ on the environmental impact category $j$ , $Load_i$ = environmental load of inventory item $i$ , $eqv_{ij}$ = the correspondence of $i$ in the inventory items belonging to the $j$ impact category
	$C_j = \sum_i C_{ij} = \sum_j (Load_i \times eqv_{ij})$ (2.2)
Normalization	$C_j$ = characterization value of $j$ impact category, the correlation factor is the value that indicates how much the environmental load item has contributed to the environmental impact category.
	$N_j = \sum_k (Load_k \times C_{kj})$ (2.3)
	$N_j$ = normalization index of $j$ influence category, $Load_k$ = environmental load of $k$ inventory items, $C_{kj}$ = correspondence factors for $k$ inventory item of $j$ impact category
	$Norm_j = \frac{C_j}{N_j}$ (2.4)
Weighting	$Norm_j$ = normalization value of $j$ influence category
	$Impacts = \sum_j C_j \times w_j$ (2.5)
	$w_j$ = weighting coefficient of $j$ influence category

Table 4. Major statistical data of 40 cases IPC girder

A	B	C	D
Upper area	Over 1,000m <sup>2</sup>	27	61.5
	Below 2,000m <sup>2</sup>	4	10.0
Number of Span	Over 2,000m <sup>2</sup>	9	22.5
	Single Span	30	75.0
Span length	Multi Span	10	25.0
	Below 30m	2	5.0
	30m	16	40.0
	35m	6	15.0
	40m	13	32.5
Total length of bridge	45m	3	7.5
	30m	16	40.0
	35m	4	10.0
	40m	8	20.0
	45m	2	5.0
Width	Over 45m	10	25.0
	Below 20.9m	2	5.0
	20.9m	29	72.5
Number of Road line	Over 20.9m	9	22.5
	Below 4 line	2	5.0
	4 line	35	87.5
Type of bridge foundation	Over 4 line	3	7.5
	Pile foundation	22	55.0
	Spread foundation	10	25.0
Administrative district	Combined Foundation	8	20.0
	Chungbuk	7	17.5
	Chungnam	13	32.5
	Gyeongbuk	4	10.0
	Gyeongnam	5	12.5
	Gyeonggi	4	10.00
	Jeju	1	2.50
Jeonbuk	3	7.50	
Jeonnam	3	7.50	

A : Large classification  
 B : Sub classification  
 C : Case number  
 D : %

### 3. 영향요인도출

#### 3.1 IPC거더교 사례의 LCA결과

본 연구의 전과정 평가는 <Table 4>의 IPC거더교의 사례를 활용하여 <Fig. 3>과 같이 진행되었다. IPC 거더교량 40개의 환경부하량 분석을 목적 및 범위로 설정 후 설계도서 분석을 통하여 공중에 투입되는 물량에 소요되는 에너지와 자원을 산출하였다.

설계도서 분석에서 건설장비의 작업수량은 동일한 장비일 경우라도 건설공정과 사용용도에 따라 서로 상이하게 나타날 수 있으므로(Park et al., 2000) 이들에 대한 구분을 명확하게 하기 위하여 국토설계실무요령의 단가산출요령을 참조하였다. 또한, 공사비 내역을 분석하기 위해 설계내역 프로그램인 EBS (Event Break down System for construction)를

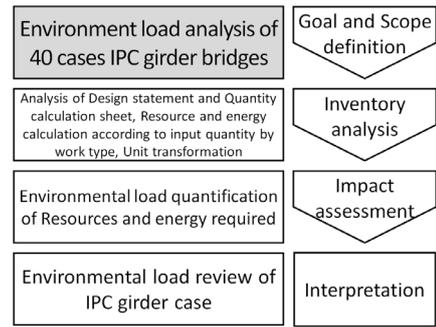


Fig. 3. Stages of LCA

사용하였고, 자료가 확보된 사례에 대해서는 EBS 프로그램을 활용하여 공종별 소요되는 에너지와 자원을 산출하였다. 그리고 산출된 에너지와 자재는 본 연구에서 활용한 LCI DB와 연계하였다.

본 연구에서 사용된 주요 LCI DB 목록은 산업통상자원부(Ministry of Trade, Industry and Energy)와 환경부(Ministry of Environment)에서 과거에 구축한 20개의 국가 LCI DB와 2005년 국토교통부(Ministry of Land, Infrastructure, and Transport)에서 구축한 4개의 국내 LCI DB와 해외 LCI DB인 ECO-invent DB를 활용하였다. 본 연구에서 필요한 DB가 없는 경우는 자체 구축하여 국토부의 승인을 받았다. <Table 5>는 LCI DB 중 주요 리스트를 나타내었다.

Table 5. Major LCI DB list and provenance

Div.	Materials	Standard	Provenance
A	Cements	Portland cement	Ministry of Trade, Industry and Energy
	Remicon	Remicon 25-240-15	
	Hot coil	Hot coil	
	Rebar	Electric process	
	Shape steel	Electric process	
	Gasoline	Gasoline	Ministry of Environment
	Air	Air	
	Wire rod	Wire rod	
	Epoxy bonding	Epoxy bonding	
	Diesel	Diesel	
B	Recycled aggregate	Recycled aggregate	Ministry of Environment
	Elastomeric bearing	Ministry of Environment	
C	Plywood	Plywood	Ministry of Land, Infrastructure, and Transport
	PVC	PVC	ECO-invent 2.2V
D	Sodium Silicates	Sodium Silicates	Ministry of Land, Infrastructure, and Transport
	Expansion equipment	Finger / Mosaic	

A : National LCI database  
 B : Domestic built LCI DB  
 C : Foreign LCI DB  
 D : Self built LCI DB

〈Table 3〉과 같은 방법으로 환경영향평가를 진행하였으며 정량적인 환경부하량 값을 산출 후 마지막 결과해석인 IPC 거더교의 환경부하량 영향요인 분석에 필요한 사례별 환경부하량을 정도를 확인하였으며 〈Table 6〉은 IPC사례의 전과정평가 결과를 정리한 것이다.

Table 6. Results of the environmental load calculation for case projects

PJT No.	Quantity of environmental load	PJT No.	Quantity of environmental load
	Eco-point		Eco-point
1	1.47E+02	21	1.76E+02
2	1.46E+02	22	1.07E+02
3	1.60E+02	23	1.94E+02
4	2.57E+02	24	2.36E+02
5	3.87E+02	25	1.09E+02
6	3.20E+02	26	2.21E+02
7	1.06E+02	27	1.82E+02
8	1.05E+02	28	1.47E+02
9	1.03E+03	29	3.92E+02
10	1.91E+02	30	1.41E+02
11	1.18E+02	31	1.90E+02
12	1.19E+02	32	1.24E+02
13	5.07E+02	33	8.09E+01
14	3.00E+02	34	2.38E+02
15	1.27E+02	35	1.42E+02
16	1.13E+02	36	2.24E+02
17	2.89E+02	37	1.37E+02
18	1.22E+02	38	1.22E+02
19	3.61E+02	39	1.09E+02
20	1.07E+02	40	1.14E+02

### 3.2 상관관계와 주성분 분석결과

가용정보 후보 목록과 전 과정평가를 통해 산출된 환경부하량과의 관계를 알아보기 위하여 특이 값이 포함된 정규분포가 형성되지 않아 유의 값을 얻기 어려운 상부면적, 경간 길이, 연장은 로그변환을 한 후 상관관계 분석을 실시하였다. 그 결과 Lee (2009)의 연구결과와 동일하게 환경부하량도 공사비와 마찬가지로 상부공중 가용정보에 선형적인 관계를 나타내는 것으로 나타났다.

〈Table 7〉에서와 같이 상부면적, 연장, 경간 길이, 폭원, 차로, 경간수 순으로 환경부하량 변동과 양의관계를 형성하고 있으므로 위의 가용정보의 입력값이 커질수록 환경부하량도 증가할 것으로 판단된다.

하지만 추후 진행될 계획단계 환경부하량 추정연구에서 상부공중 가용정보만으로 IPC 거더교량 전체를 설명하기에는 부족하다고 판단되었다. 추가적으로 주성분 분석을 실시하여 IPC 거더교량의 환경부하량을 설명 할 수 있는 가용정보를 도출하였다.

Table 7. Correlation analysis result

	A	B	C
Work related to upper (6)	Upper area	0.647	0.000
	Total length of bridge	0.584	0.000
	Span length	0.555	0.000
	Width	0.553	0.000
	Number of Road line	0.531	0.000
	Number of Span	0.504	0.001
Work related to bottom (4)	Pier height	0.492	0.001
	Length of bridge foundation	0.302	0.058
	Type of bridge foundation	0.222	0.168
Location Information (3)	Abutment height	0.011	0.947
	Ordering agency	0.309	0.052
	Administrative district	0.191	0.238
	Installation location	0.120	0.460

A : Available information  
 B : Pearson' s product moment correlation coefficient  
 C : Significance probability

주성분 분석의 개념은 수집된 데이터의 총 변동을 대부분 설명할 수 있는 변수 선형 조합을 찾아내는 것이다. 상관관계와 주성분 분석을 활용한다면 환경부하량과 IPC거더교량의 특성을 더 잘 나타낼 수 있는 가용정보 도출을 기대 할 수 있다.

〈Table 8〉과 같이 주성분 분석 후 도출된 KMO값이 0.62로 도출되어 결과값이 신뢰(Herry F., 1974)할 수 있다고 판단된다. 그리고 베리맥스 회전을 통하여 4개의 주성분이 도출되었으며 누적 분산은 75.41%이다. 이는 도출된 주성분들이 IPC 거더교량 40개 사례를 75.41%만큼 설명 할 수 있음을 뜻한다.

Table 8. Principal component analysis result

Available information	Principal component			
	1	2	3	4
Number of Span	0.919	0.038	0.059	0.031
Span length	0.259	0.574	-0.176	0.323
Total length of bridge	0.928	0.148	-0.057	0.239
Width	-0.035	0.927	0.171	0.000
Upper area	0.911	0.240	-0.025	0.203
Abutment height	-0.037	-0.057	-0.155	-0.591
Pier height	0.944	0.080	0.117	0.023
length of bridge foundation	0.822	-0.115	0.001	-0.144
Installation location	0.057	-0.030	-0.123	0.876
Number of Road line	0.030	0.930	0.142	-0.033
Type of bridge foundation	0.342	0.369	-0.276	-0.091
Administrative district	0.042	-0.013	0.901	0.024
Ordering agency	0.052	0.160	0.903	0.021
Eigen value	4.576	2.242	1.742	1.253
Variance%	35.12	17.25	13.40	9.64
Accumulate Variance%	75.41			
KMO	0.623			

〈Table 8〉에서와 같이 도출된 주성분 1의 유의미한 가용정보는 경간수, 연장, 상부면적, 교각높이, 하부총길이를 도출되었으며 주성분 2의 유의미한 가용정보는 폭원과 차로수로 도출되었다. 이는 상관관계 분석과 마찬가지로 상부공종 가용정보가 IPC 거더교의 많은 부분을 설명 할 수 있음을 한 번 더 확인 할 수 있다.

그리고 환경부하량과 상관관계 분석 시 선형적인 특성이 나타나지 않았던 지역적 가용정보인 행정구역, 발주청, 가설 위치는 주성분 3, 4에서 유의미한 가용정보로 도출되었다.

주성분 분석을 통하여 IPC 거더교를 설명 할 수 있는 교량 본체에 대한 가용정보와 지역적 가용정보가 고르게 도출되었지만 하부공종 가용정보인 교대높이와 기초형식은 유용한 결과 값이 도출되지 않았다.

Table 9. Selected available information list

A	B	C	D	E
Upper area	○	○		○
Total length of bridge	○	○		○
Span length	○	○		○
Width	○	○		○
Number of Road line	○	○		○
Number of Span			Add	○
Pier height		○	exclusion	
length of bridge foundation		○	exclusion	
Type of bridge foundation		○		○
Abutment height	○	○		○
Ordering agency			Add	○
Administrative district		○		○
Installation location		○	exclusion	

A : Available information  
 B : Correlation analysis  
 C : Principal component analysis  
 D : Expert opinion  
 E : Selected available information

### 3.3 전문가의견 및 영향요인도출

상관분석과 주성분 분석으로 IPC 거더교의 환경부하량 변동과 상관계수가 큰 상부공종 가용정보와 수집된 IPC 거더교의 데이터를 설명 할 수 있는 유의미한 상부, 하부공종 및 지역적 가용정보를 도출하였다.

도출된 가용정보는 통계적으로 신뢰성이 높다고 판단되지만 실무 및 현장에서의 신뢰성 여부는 별도의 검토가 필요하다고 판단하였다. 이에 도로 시설물 시공 경험이 있는 엔지니어를 대상으로 인터뷰를 실시 후 최종적으로 〈Table 9〉와 같이 IPC 거더교 환경영향요인을 선정하였다.

엔지니어와의 인터뷰를 통하여 기존 분석에서 교각 높이, 하부총길이, 발주청 정보를 제외하였고 교대높이, 기초형식

을 추가하였다. 교대높이와 기초형식이 추가된 이유와 다음과 같다.

교대 및 기초구조물 시공 시 투입되는 물량은 대부분 콘크리트와 철근이다. 〈Fig. 4〉와 같이 콘크리트와 철근은 전체 IPC 거더교량 환경부하량 중 73.12%를 차지한다. 교대 높이 및 기초형식에 따라 콘크리트와 철근의 물량이 증감되기 때문에 환경부하량도 증감될 것으로 판단된다.

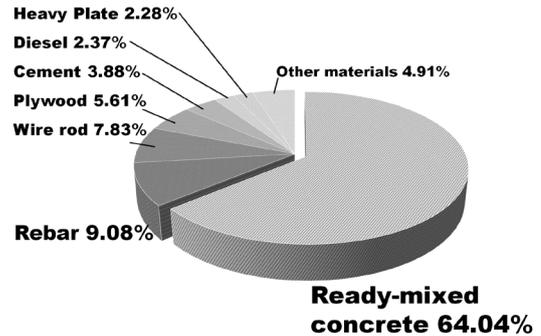


Fig. 4. Environmental load occupancy ratio of materials

교각높이, 하부 총길이, 발주청 정보가 인터뷰를 통해 제외된 이유는 다음과 같다.

교각높이의 경우는 단경간으로 제작된 IPC 거더교 일 경우 교각높이를 기입하지 못하고, 하부총길이의 경우는 현장시공 여건에 따라 설계변경 가능성이 높기 때문에 환경부하량 의 사결정 모델 결과값의 왜곡이 발생 할 수 있어 제외하였다.

행정구역과 달리 발주청이 제외된 이유는 행정구역은 지역적 특성이 반영되어 분석 시 긍정적으로 활용 될 수 있지만 담당하는 지역이 경상권, 강원권 등 광범위한 특성이 있는 발주청은 지역적 특성이 행정구역보다 반영도가 떨어지기 때문이다.

최종적으로 IPC 거더교량 환경부하량에 영향을 미치는 요인은 상부공종 6개, 하부공종 2개, 지역정보 2개로서 총 10개의 정보가 선정되었다.

### 4. 결론

IPC 거더교량의 계획단계 가용정보 중 환경부하량에 큰 영향을 주는 인자를 도출하기 위하여 40개의 사례를 수집하여 전과정 평가를 실시 후 사례DB를 구축하였다. 그리고 전과정 평가에 의해 도출된 환경부하량과 계획단계에서 추출 가능한 정보 목록과의 상관분석, 주성분분석, 전문가 인터뷰의 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, IPC 거더교량 계획단계에서 환경부하에 영향을 미칠 수 있는 가용정보는 상관관계분석을 통하여 상부면적, 연장, 경간길이, 폭원, 차로수, 경간수를 도출하였다. 둘째, 주

성분분석을 통하여 교각높이, 하부총길이, 가설위치, 행정구역, 발주청이 추가되었다. 셋째, 도로 시설물 시공 경험이 있는 엔지니어를 대상으로 인터뷰를 진행하여 실무 및 현장에서 유의미한 가용정보인 교대높이, 기초형식을 추가하고 무의미한 것으로 판단되는 교각높이, 하부총길이, 발주청을 제외하여 총 10개의 영향요인을 최종적으로 선정하였다.

본 연구에서 제시한 10개의 영향요인은 도로 시설물의 계획단계에서 환경부하량을 추정하기 위한 모델의 개발에 활용된다. 본 연구의 결과는 40개의 사례를 대상으로 분석하였기 때문에 자료수의 부족이라는 한계가 있다. 따라서 더 많은 사례 자료의 확보와 분석을 통해 연구 결과의 신뢰도를 높인다면 도로시설물의 계획단계에서 정확한 환경부하량의 추정을 통해 환경경제성을 평가할 수 있는 유용한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 건설기술 연구사업의 연구비지원(17SCIP-C085707-04)에 의해 수행되었습니다.

## Reference

- Cass, D., and Mukherjee, A. (2011). "Calculation of greenhouse gas emission for highway construction operations using a hybrid life cycle assessment approach : a case study for pavement operations." *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 137(11), pp. 1015-1025.
- Cho, N. H., Yun, W. G., Lee, W. R., and Kim, K. J. (2016). "An Analysis of the Characteristics of Environmental Impact for PSC Beam Bridges using Life Cycle Assessment." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 36(2), pp. 297-305.
- Choi, D. S., Chun, H. C., and Ahn, J. Y. (2012). "Prediction of Environmental Load Emissions from an Apartment House of Construction Phase through the Selection of Major Materials" *Journal of Architectural Institute of Korea*, 28(6), pp. 237-246
- Chowdhury, R., Apul, D., and Fry, T. (2010). "A life cycle based environmental impacts assessment of construction materials used in road construction." *Resources conservation recycling*, Elsevier Science B.V. Amsterdam, 54(4), pp. 250-255.
- Guangli Du, Lars Pettersson, Raid Karoumi (2018). "Soil-steel composite bridge: An alternative design solution for short spans considering LCA", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 189, No.10, pp.647-661
- Herry F. Kaiser (1974), "An index of Factorial Simplicity", *Journal of Psychometrika*, 39(1), pp.31-36
- ISO (International Organization for Standardization) 14040 (2018). [www.iso.org](http://www.iso.org)
- Kang, C. S. (2009). "Approximate cost estimating model for PSC BEAM bridge at the designing stage based on quantity of standard work." Master Thesis, Chungang University, Korea.
- Karmen Fifer Bizjak., and Stanislav Lenart (2018). "Life cycle assessment of a geosynthetic-reinforced soil bridge system-. A case study." *Journal of Geotextiles and Geomembranes*, 46(5), pp. 543-558.
- Kim, K. J (2007). *Construction Estimate of Theory and Reality*, Goomibook.
- Kim, S. H., and Chae, C. U. (2010). "A Study on the Estimation of the Environmental Load Intensity for the Life-cycle of Hanok." *Proceeding of The Korean Housing Association*, 4, pp. 332-337.
- Kim, S. W. (2016). *Basic Statistics*, Hakjisa.
- Kwak, S. N. (2007). *Cost prediction medel of planning and design phase using available information*, MSc Dissertation, Yonsei University, Korea.
- Lee, C., Lee, J. Y., Jung, W. S., and Hwang, Y. W. (2014). "A Study on the Characteristics of Environmental Impact in Construction Sector of High-Speed Railway using LCA." *Journal of the Korean Society for Railway*, 17(3), pp. 178-185.
- Lee, H. S. (2009). *A Study on Analysis Influencing Factor for Estimating Approximate Cost of Road Bridge*, Master Thesis, Kyungpook National University, Korea.
- Lee, J. H., Shim, J. A., and Kim, K. J. (2016). "Analysis of Environmental Load by Work Classification for NATM Tunnels," *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 32(2), pp. 307-315.
- Lee, S. Y., Byeon, S. W., Park, S. G., and Jo, K. H. (2008). "Environmental Assessment at Public Facilities Using the LCA ; A Case Study of the Construction Industry for Emergency Spillway of

- S-Dam.” *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 56(5), pp. 47–53.
- Lee, Y. S., Kim, D. Y., and Oh, H., Y. (2013). “Assessment of CO<sub>2</sub> Emissions of Vehicles in Highway Sections Using Principal Component Analysis.” *Journal of the Korean Society of Civil Engineerings*, 33(5), pp. 1981–1987.
- Lho, S. H. (2018). “Korean Application Plans for International Carbon Markets by Coping with the Paris Agreement.” *Journal of The Korean Society of Climate Change Research*, 9(1), pp. 91–102.
- Ministry of Land, Infrastructure, and Transport (2016). Road Bridge Standard Specification.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTMA) (2011). A Study on approximate cost estimating model in national highway and river project.
- Nam, H. J., Moon, J. H., Kim, K. G., and Kim, G. H. (2011). “An analysis of environmental factors and efficiency in the apartment housing projects – Focused on Energy and Environmental Load Reduction Factors.” *Journal of Architectural Institute of Korea*, 27(11), pp. 203–210.
- Noshadravan A., Wildnauer M., Gregory, J., and Kirchain, R. (2013). “Comparative pavement life cycle assessment with parameter uncertainty.” *Transportation Research Part D. Transport & Environment*, Elsevier Science B.V. Amsterdam, 25, pp. 131–138.
- Park, J. Y., and Kim, B. S. (2016). “A Study on Analysis of the Environmental Load Impact Factors in the Planning Stage for Highway Project.” *Journal of the Korean Society of Civil Engineering*, KSCE, 20(6), pp. 2162–2169.
- Park, K. H., Hwang, Y. W., Seo, S. W., and Park, J. H. (2000). “Environmental load evaluation through the life cycle of highway.” *Journal of the Korean Society of Civil Engineering*, KSCE, 20(3D), pp. 311–3214.
- UNFCCC. (2016). Aggregate Effects of the Intended Nationally Determined Contributions: an Update.
- Yun, W. G., Ha, J. K., and Kim, K. J. (2017). “An Analysis of the Characteristics of Standard Work and Design Information on Estimating Environmental Loads of PSC Beam Bridge in the Design Phase.” *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 37(4), pp. 705–716.

---

**요약** : 21세기 들어서 지구는 기후변화로 인한 위기를 극복하기 위해서 탄소배출량을 줄이기 위한 노력을 지속하고 있다. 시공과정에서 환경부하량을 많이 배출하는 대표적인 산업인 건설산업에서도 환경부하량을 줄여나가는 노력을 적극적으로 하여야 한다. 건설시설물 계획단계에서부터 환경부하량을 적게 배출하기 위한 노선선정, 구조형식선정 등 환경부하량을 고려한 계획이 적용되어야 한다. 하지만 환경부하량은 투입자원량에 근거하여 산정할 수 있는데 계획단계에서는 공사물량 정보가 부족하여 환경부하량의 정확한 산정이 어려운 실정이다. 본 연구는 IPC 거더교를 대상으로 계획단계에서 환경부하량 추정모델에 활용하기 위한 환경부하량 영향 요인을 선정하기 위한 연구이다. 계획단계에서 활용할 수 있는 정보목록 중 환경부하량과 관련이 있는 특성정보를 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA), 상관분석, 주성분 분석과 전문가 의견을 반영하여 선정하였다. 선정된 계획단계 정보 목록은 경간길이, 교량연장 등 10개이며 추후 환경부하량 추정모델 개발 시 유용한 기초자료로 사용될 것으로 기대된다.

**키워드** : 환경부하량, 영향요인, IPC거더교량, 전과정평가, 주성분분석

---