



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士學位論文

사례기반추론을 이용한 강박스교량의
환경부하 산정모델 개발

Development of Environmental Load Estimation Model
of Steel Box Bridges Using Case-Based Reasoning



2017年 2月

韓國海洋大學校 大學院

土木環境工學科

全 敏 英

본 논문을 전민영의 공학석사 학위논문으로 인준함.

위원장 이 재 하



위원 경 갑 수



위원 박 진 은



2017년 02월 06일

한국해양대학교 대학원

목 차

List of Tables	iv
List of Figures	v
Abstract	viii
1. 서 론	1
1.1 연구의 배경.....	1
1.2 연구의 동향.....	2
1.3 연구목적 및 범위.....	3
1.4 연구의 구성.....	3
2. 환경부하 산정모델 개발을 위한 자료 분석 및 DB 구축	6
2.1 개요.....	6
2.2 대상교량의 제원 및 특성.....	6
2.2.1 대상교량의 제원.....	6
2.2.2 대상교량의 특성.....	10
2.3 표준 공종 분류 체계 정립.....	12
2.4 소결.....	14
3. 강박스교량의 환경부하 분석	15
3.1 LCI DB.....	15

3.2	각 교량별 환경부하 산정	20
3.3	평균과 표준편차	25
3.4	소결	26
4.	강박스교량의 상관성 분석	27
4.1	영향요인	27
4.2	상관성 분석	27
4.2.1	상관성 분석	27
4.2.2	상세 상관성 분석	31
4.3	소결	34
5.	사례기반추론을 이용한 환경부하 산정모델	35
5.1	사례기반추론에 기초한 모델 구축 방법	35
5.1.1	사례기반추론	35
5.1.2	유전자 알고리즘	37
5.2	환경부하 산정 모델	40
5.2.1	사례기반추론에 기초한 환경부하 추정	40
5.2.2	사례기반추론에 기초한 환경부하 산정 모델 검증	45
5.3	소결	50
6.	결론 및 향후 연구	51
6.1	결론	51

6.2 향후 연구..... 52

참고문헌..... 53



List of Tables

Table 2.1	Data for 120 of steel box bridge.....	7
Table 2.2	Construction condition for 120 of steel box bridge.....	11
Table 2.3	Examples of classification systems for standard works based on level of 4 steps.....	13
Table 3.1	Corresponding factor and unit of characteristic value of LCI DB.....	17
Table 3.2	Weighting values of environmental load for 8 items.....	18
Table 3.3	Weighting values of environmental load for 120 of steel box bridge.....	22
Table 5.1	A method of retrieving similar cases of CBR.....	37
Table 5.2	A method of granting index of similarity.....	42
Table 5.3	Learning case.....	45
Table 5.4	Verification case.....	45
Table 5.5	Weighting values of impact factor.....	46
Table 5.6	Result of basic requirement analysis model.....	48
Table 5.7	Result of CBR model.....	48

List of Figures

Fig. 1.1 Flowchart of research.....	5
Fig. 3.1 Framework of environmental load database.....	20
Fig. 3.2 Comparison of environmental load for 120 steel box bridges.....	21
Fig. 3.3 The average value and standard deviation for 8 items of environmental load.....	25
Fig. 4.1 Correlation analysis between construction cost and environmental load.....	28
Fig. 4.2 Correlation analysis between material cost and environmental load.....	28
Fig. 4.3 Correlation analysis between material cost associated with LCI DB and environmental load.....	29
Fig. 4.4 Correlation analysis between deck areas and environmental load.....	29
Fig. 4.5 Correlation analysis between length and environmental load.....	29
Fig. 4.6 Correlation analysis between number of span and environmental load.....	30
Fig. 4.7 Correlation analysis between width and environmental load.....	30
Fig. 4.8 Correlation analysis between number of road	

and environmental load.....	30
Fig. 4.9 Details correlation analysis between construction cost and environmental load.....	31
Fig. 4.10 Details correlation analysis between material cost and environmental load.....	32
Fig. 4.11 Details correlation analysis between material cost associated with LCI DB and environmental load.....	32
Fig. 4.12 Details correlation analysis between deck areas and environmental load.....	32
Fig. 4.13 Details correlation analysis between length and environmental load.....	33
Fig. 4.14 Details correlation analysis between number of span and environmental load.....	33
Fig. 4.15 Details correlation analysis between width and environmental load.....	33
Fig. 4.16 Details correlation analysis between number of road and environmental load.....	34
Fig. 5.1 4 steps of case-based reasoning.....	36
Fig. 5.2 Composition of genetic algorithm.....	38
Fig. 5.3 Case learning using genetic algorithm.....	39
Fig. 5.4 Process of CBR model.....	41
Fig. 5.5 Input variables and input variable form of CBR model.....	42

Fig. 5.6 basic requirement analysis of deck areas..... 47

Fig. 5.7 basic requirement analysis of length..... 47

Fig. 5.8 Comparison of CBR model
and basic requirement analysis model..... 49



Development of Environmental Load Estimation Model of Steel Box Bridges Using Case-Based Reasoning

Jeon, Min Yeong

Department of Civil and Environmental Engineering
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

Abstract

Recently, interest for environmental pollution in various fields is on the increase, and the researches on the life cycle assessment of environmental performance assessment method for calculating the environmental loads are currently more performed. In this study, we build the data for 204 of steel bridge designed after 2000 year, and the 120 of bridge which were selected to from obtained results were calculated the environmental loads at the planning stage based on the life cycle assessment. Based on this, the environmental load estimation model was developed by using case-based reasoning. This study in future is renewing the DB of the environmental load model cases based on the developed model from this study, and is improving the accuracy of the developed models by adding an additional analysis of new cases.

KEY WORDS : Steel box bridge 강박스교량; Case-based reasoning 사례기반추론; Environmental load 환경부하; Correlation analysis 상관성분석; Planning stage 기획단계.

제 1 장 서론

1.1 연구의 배경

현재 세계적으로 환경오염에 대한 관심이 꾸준히 증가하는 추세이고 그에 따라 많은 국가에서 환경오염에 대한 대책을 마련하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 그 중 지구온난화는 범세계적인 관심사로 주목되고 있으며, 지구온난화의 주된 원인은 화석연료의 연소 과정 중에서 발생하는 이산화탄소라고 밝혀지고 있다. 미국의 월드워치 연구소에 따르면 세계적으로 전체 GNP의 1/10이 주택과 오피스의 건설 또는 운용에 투입되며 매년 약 30억 톤의 원재료가 건축물에 사용되고 있으며 또한 세계 에너지 소비의 약 40%가 건물분야에서 소비되고 있다고 한다.

SOC 시설물의 경우 다양한 자재가 투입되고 복잡한 공정과정을 거쳐 건설되어 환경에 미치는 영향이 적지 않을 것은 많은 연구에서 이미 입증되었다. 토목구조물의 경우 기획단계, 설계단계, 유지보수단계를 거치는 생애주기의 장기간에 걸쳐 지구에 큰 환경부하를 초래한다. 이에 친환경성을 평가하기 위한 환경성능인증제도가 현재 많은 국가에서 실시되고 있으나 현재 사용되고 있는 평가기법들은 정성적인 방법에 근거하고 있어 국가 정책결정이나 경제성에 입각한 투자 우선순위의 결정 등에 사용하기에는 한계가 있다. 이러한 문제를 극복하기 위하여 각 국가에서 전과정평가(Life cycle assessment, LCA)에 의한 정량적 평가기법의 정립 및 개발에 주력하고 있으며 조만간 전과정평가기법은 종래의 평가기법을 대체할 것으로 전망되고 있다. 여기서 전과정평가란 공정 시스템 전과정에서 발생하는 환경오염물질에 대하여 객관적으로 정량화하여 환경에 미치는 영향에 대한 위해성을 평가하는 방법이다.

1.2 연구의 동향

기존의 연구 동향을 보면, 국내에서는 LCA의 방법론과 이를 적용하는 측면에서 지속적인 연구가 이루어지고 있으며, LCA 방법론에 대한 연구는 일찍이 1995년부터 시작되어 LCA의 개론과 외국의 영향평가 방법론에 대한 사례들을 분석한 연구 자료들이 국내에 발간되기 시작하였다.

건설 사업에서의 환경부하 측정 및 평가와 관련된 방법론은 두 가지가 있으며, 첫째는 전과정을 대상으로 산업연관분석을 사용하는 간접적인 환경부하 추정 방식이고, 둘째는 건설단계(혹은 해체단계)에서 건설자원을 사용한 직접적인 환경부하 추정방식이다. 최근 연구사례들을 살펴보면 최두성 등(2012)은 공동주택을 대상으로 산업연관분석법을 이용하여 건설단계에서 투입되는 자재에 대한 CO₂ 배출량을 산출하였고 설계조건별 투입자재에 대한 민감도 분석을 통해 주요자재를 선정하여, 주요자재만을 이용한 공동주택의 CO₂ 배출량 예측 방법을 제시하였다. 이철 등(2014)은 고속철도를 대상으로 건설단계에서 발생하는 환경부하 특성을 분석하기 위하여 전과정평가를 적용하였다. 대표 노선을 선정하여 분야별(토목, 궤도, 건축 및 전철전력/신호통신분야) 1km 당 투입되는 자재량 및 에너지 소비량을 산출하였으며, 국내 전과정목록(Life cycle inventory database, LCI DB)와의 연계를 통해 환경부하량을 산정하였다.

건축물 또는 SOC 시설물에 대한 환경부하량 산정 및 LCA와 관련된 해외 선행 연구들은 건축물을 대상으로 환경부하량을 산정하고 비교분석한 사례연구들이 주로 선행되었으며, SOC 시설물 중에서는 도로, 교량, 댐 등을 대상으로 형식별 또는 공법별 환경부하를 비교한 연구들이 일부 선행되었다.

강교량에 대한 최근 국내 연구 동향을 조사하면 정지영 등(2010)은 교량의 폐기 및 재활용 단계를 고려한 환경적합성평가를 실시하였다. 김상호 등(2011)은 1개의 대상교량을 선정하여 강교량 구조물의 대표적인 전과정평가 방법인 직접조사법과 간접추계법을 사용하여 자재 생산 공정, 유류 사용 공정, 운반 공정에 대해 환경영향을 CO₂ 환산 배출량으로 나타내었다. 또한 전찬혁 등(2014)은 교량구조, 교량형식, 시공유형, 작업형태, 일일 작업 단위 등 총 6단계로 구분하는

W.B.S(Work breakdown structure)를 바탕으로 구분하여 주요 투입자재 및 물량을 산출하고 이처럼 구성된 W.B.S 중에 시공유형 중 강거더 상부공의 제작에 대한 CO₂ 배출량을 분석하였다.

1.3 연구목적 및 범위

현재까지 진행된 LCA 관련 기존 연구에서는 업체별로 분석방법을 개별 기준에 맞춰 적용하여 결과 값에 대한 일관성이 결여되어 있으며 기존의 원단위 방법을 이용한 환경부하 산정법은 한정된 특정구간의 자료를 기반으로 하고 있어 데이터 신뢰도 확보가 미흡한 실정이다. 또한 기획 및 기본설계 등의 사업초기 단계에서의 설계 대안별 신속한 환경부하 평가와 비교가 불가능하며 사업단계별 다양한 설계 대안에 대한 환경부하 평가 체계가 미흡하다.

본 연구에서는 도로사업 기획 시 비교노선안에 대한 신속한 환경부하 비교를 위한 기획단계 환경부하 추정모델을 개발하는 것을 목표로 하였으며 그 중 다양한 도로구조물 가운데 강박스교량을 대상으로 프로젝트 수행단계별 사용가능한 정보의 수준에 따라 강박스교량의 환경부하 산정의 정확도 향상을 위하여 사례기반추론(Case-based reasoning, CBR)을 이용하여 프로젝트 기획단계에서의 강박스교량의 환경부하 산정모델을 구축하고자 한다. 또한 기획단계 환경부하 산정 모델 검증을 통하여 신뢰성을 확보하였다. 본 연구에서 제시한 모델을 바탕으로 강박스교량의 환경부하 추정 시 오차범위를 최소화 할 수 있는 기초 자료를 제공하고자 한다.

1.4 연구의 구성

1장에서는 사례기반추론을 이용한 강박스교량의 환경부하 산정모델 개발에 관한 본 연구의 배경과 연구 동향, 연구 목적 및 범위에 대하여 기술하였다.

2장에서는 본 연구와 관련하여 기본 자료를 조사하였다. 기본 자료 분석과 대상 교량의 제원 및 특성, 본 연구에서 정립한 표준공종분류체계에 대하여 기술하였다.

3장에서는 강박스교량의 환경부하량을 산정하기 위하여 먼저 LCI DB에 대하여 기술하였다. LCI DB를 투입 자재와 연계하여 각 교량별 환경부하량을 산정하는 방법에 대하여 기술하였으며 LCI DB의 8가지 영향범주의 평균과 표준편차에 대하여 분석하고 기술하였다.

4장에서는 강박스교량의 영향요인 후보군을 결정하고 이를 바탕으로 각 영향요인과 환경부하량과의 상관성 분석을 실시하였으며, 상세 상관성 분석을 실시하고 기술하였다.

5장에서는 사례기반추론과 유전자 알고리즘에 대하여 기술하였다. 3장의 강박스교량의 환경부하 산정자료와 4장에서 실시한 환경부하 영향요인에 기초하여 본 연구의 모델 구축방법을 기술하였다. 또한 사례 DB로부터 사업 초기단계에 획득할 수 있는 환경부하 영향요인을 재검토하여 이를 반영할 수 있는 환경부하 예측모델로서 사례기반추론에 기초한 환경부하 추정 방법을 제시하였고, 사례기반추론에 기초한 환경부하 산정 모델 검증을 실시하여 제안모델의 타당성을 검증하였다.

6장에서는 강박스교량의 환경부하 산정 모델 개발에 관한 연구에서 얻어진 결론에 대해 정리하였다.

본 연구의 구성 및 흐름도는 Fig 1.1과 같다.

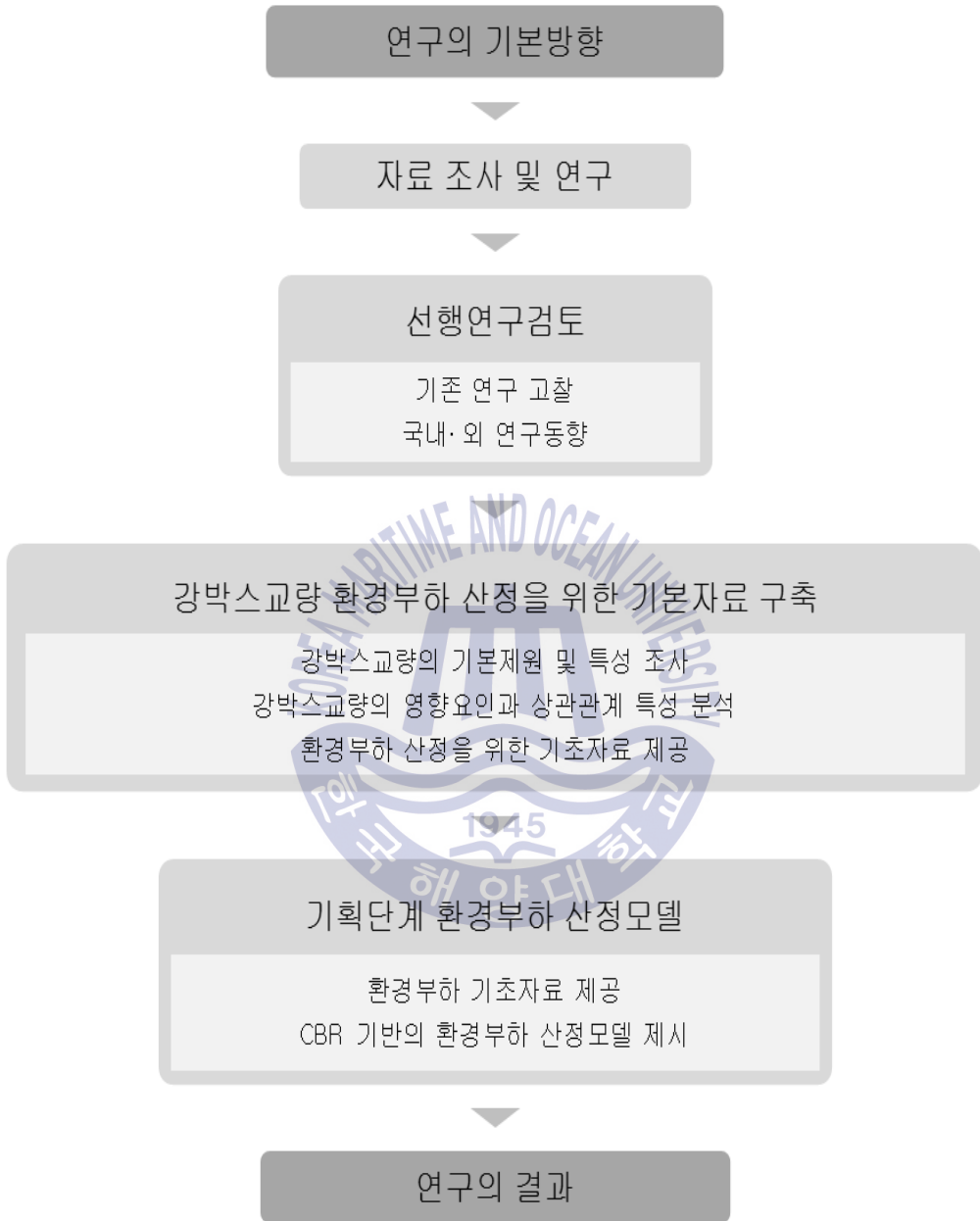


Fig 2.1 Flowchart of research

제 2 장 환경부하 산정모델 개발을 위한 자료 분석 및 DB 구축

2.1 개요

환경에 대한 국가적 관심이 높아지는 가운데 국내 SOC 시설물의 환경부하량에 관한 데이터와 이를 평가하는 방법에 대한 기준은 미비한 실정이다. 환경부하를 산정하기에 앞서 이 장에서는 강박스교량의 환경부하 산출을 위한 기본자료 구축의 일환으로 2000년 이후 설계된 강박스교량의 수량 및 단가산출서, 내역산출서 등의 설계 내역서를 분석하여 강박스교량의 기본적인 제원 특성 등을 조사하고자 한다. 그리고 EBS 프로그램(Event breakdown system for construction program, EBS 프로그램)을 통한 내역서 분석을 실시하였다. 또한 강박스교량의 환경부하 산정을 위한 기초자료를 제공하여 효율적이고 타당한 환경부하 산정 모델 구축을 위한 기본 자료를 제시하고자 한다.

2.2 대상교량의 제원 및 특성

2.2.1 대상교량의 제원

본 연구에서는 2000년 이후 설계된 204개의 강교량에 대하여 기본 제원과 내역서, 도면, 수량산출서를 수집 및 활용하여 분석하였다. 그 중 환경부하를 산출하기 위하여 120개 강박스교량을 선정하여 대상교량으로 사용하였다. Table 2.1은 120개 강박스교량의 기본 제원으로 경간수, 최대경간장, 연장, 폭원, 상부면적, 준공년도에 대하여 나타내었다.

Table 2.1 Data for 120 of steel box bridge

No.	교량명	경간수	최대경간장	연장	폭원	상부면적	준공년도
1	삼화2교	4	55	210	11.4	2394	2004.3.
2	차산IC교	3	60	160	20.9	3344	2004.3.
3	창현1교	11	50	530	20.9	11077	2004.3.
4	창현2교	6	60	310	20.9	6479	2004.3.
5	원곡천교	10	50	480.725	20.9	10047.152	2003.1.
6	논강교	6	50	280.37	20.9	5859.733	2003.1.
7	장국교	8	50	380	20.9	7942	2005.8.
8	요천 2교	7	47.5	332.5	20.9	6949.25	2005.8.
9	금 곡 교	9	50	450	20.9	9405	2005.8.
10	호계1교	6	65	362	22.52	8152.24	2008.12.
11	예곡교	1	50	50	22.3	1115	2008.12.
12	초곡교	8	70	495	20.9	10345.5	2004.1.
13	감천교	8	50	386.3	20.9	8073.67	2004.1.
14	서부 IC교	1	50	50	21	1050	2004.1.
15	아천교	6	55	320.7	20.9	6702.63	2004.1.
16	신용 IC교	2	45	90	20.9	1881	2004.1.
17	어모교	6	45	247.5	24.9	6162.75	2004.1.
18	어모IC-C교	2	40	80	7.9	632	2004.1.
19	어모IC-E교	5	47.5	228	7.9	1801.2	2004.1.
20	신성교	3	60	160	27	4320	2004.7.
21	마차1교	4	55	200	23.675	4735	2007.1.
22	이동1교	12	55	635	20.9	13271.5	2007.11.
23	이동2교	5	50	240	21.24	5097.6	2007.11.
24	농소RA-A교	8	50	440	12.4	5456	2007.11.
25	농소RA-B교	5	50	230	11.9	2737	2007.11.
26	망덕육교	5	55	210	7.45	1564.5	2007.11.
27	장덕교	2	55	105	20.9	2194.5	2005.9.
28	곡교천2교	9	70	514.6	20.9	10755.14	2004.9.
29	용두1교	2	45	90.1	24.9	2243.49	2004.9.
30	용두2교	3	55	119.2	20.9	2491.28	2004.9.
31	성북교	1	55	55	20.9	1149.5	2009.1.
32	신구교	3	50	135	20.9	2821.5	2009.1.
33	주야천1교	1	60	60	20.9	1254	2009.1.
34	주산교	3	60	150	20.9	3135	2009.1.
35	창암교	4	60	210	20.9	4389	2009.1.
36	두명1교	1	55	55	20.9	1149.5	2005.11.
37	읍내A교	2	40	80	15.8	1264	2005.11.
38	읍내B교	7	50	300	15.8	4740	2005.11.
39	읍내C교	5	50	240	15.8	3792	2005.11.
40	상하2교	7	45	265	25.24	6688.6	2008.3.

41	궁촌교	5	60	235	25.24	5931.4	2008.3.
42	상하RA-A교	4	50	180	8.07	1452.6	2008.3.
43	궁촌RA-A교	1	50	50	13.9	695	2008.3.
44	궁촌RA-B교	1	30	30	8.07	242.1	2008.3.
45	궁촌RA-D교	4	50	175	8.07	1412.25	2008.3.
46	대촌RA-A교	1	50	50	14.07	703.5	2008.3.
47	성황Ra-E교	3	45	115	7.9	908.5	2005.10.
48	답운교	1	45	45	17.9	805.5	2004.12.
49	광덕천교	3	60	160	11.4	1824	2004.12.
50	차동2교	4	45	170	21.14	3593.8	2004.12.
51	녹천1교	4	47.5	175	24.85	4348.75	2004.12.
52	녹천2교	2	45	90	22.24	2001.6	2004.12.
53	선암교	7	47	329	20.9	6876.1	2005.5.
54	고곡교	8	40	300	21.07	6321	2005.5.
55	안림1교	4	50	180	20.9	3762	2005.5.
56	안림천교	11	65	560	20.9	11704	2005.5.
57	양촌교	3	55	145	21.24	3079.8	2003.12.
58	도곡교	2	50	100	20.9	2090	2008.3.
59	마지1교	3	58	150	11.4	1710	2004.10.
60	응암1교	7	50	195	11.4	2223	2004.10.
61	응암2교	6	60	340	11.5	3910	2004.10.
62	천동1교	7	65	435	11.4	4959	2004.10.
63	용두교	6	50	300	21	6300	2001.3.
64	오석교	1	40	40	21	840	2001.3.
65	문산교	1	50	50	21	1050	2001.3.
66	사암IC교	1	45	45	24	1080	2001.3.
67	사암교	1	50	50	8	400	2001.3.
68	일람교	1	58	58.1	21	1220.1	2006.7.
69	온석ic교	3	50	145.2	21	3049.2	2006.7.
70	양문RA-A교	4	55	205	11.4	2337	2003.1.
71	양문RA-B교	5	50	245	11.4	2793	2003.1.
72	고부1교	3	45	115	20.9	2403.5	2003.12.
73	대평1교	3	67	167	11.4	1903.8	2005.4.
74	대평2교	1	50	50	20.9	1045	2005.4.
75	용기I.C교	3	50	120	7.9	948	2005.7.
76	연탄고가교	5	50	230.23	18.5	4259.255	2005.7.
77	대치천교	2	52.592	105.184	16.297	1714.1836	2006.7.
78	도계교	4	45	170	20.9	3553	2006.5.
79	도계육교	1	55	55	24.4	1342	2007.1.
80	광하교	4	49	184	12.4	2281.6	2007.12.
81	광석교	4	55	210	12.4	2604	2007.12.
82	미천교	4	55	200	12.4	2480	2007.12.
83	RAMP-H교	1	55	55	7.9	434.5	2008.6.

84	RAMP-I교	1	55	55	7.9	434.5	2008.6.
85	진전천교	7	55	320	23.34	7468.8	2004.6.
86	신기교	4	50	195	36	7020	2004.6.
87	남포I/C교	1	45	45	24.15	1086.75	20011..
88	창동교	8	55	370	20.9	7733	20011..
89	명천교	1	50	50	20.9	1045	2001.1.
90	명천1교	1	50	50	27.9	1395	2001.1.
91	평산교	3	40	120	20.9	2508	2001.1.
92	내추1교	3	55	135.18	11.9	1608.642	2003.1.
93	내추2교	7	60	350.42	11.9	4169.998	2003.1.
94	RAMP-C교	1	50	50	7.9	395	2006.10.
95	효현대교	17	65	872.5	11.4	9946.5	2002.6.
96	효현Ra-A교	9	45	405	7.9	3199.5	2002.6.
97	효현Ra-B교	6	50	285	7.9	2251.5	2002.6.
98	부지 2교	3	60	160	21.57	3451.2	2002.6.
99	형산강교	14	57.5	745	29.4	21903	2002.6.
100	내남IC-2교	1	40	40	26	1040	2002.6.
101	성지교	3	45	115	20.9	2403.5	2003.9.
102	효문교	2	40	80	20.9	1672	2003.9.
103	무지교	6	45	270	20.9	5643	2005.10.
104	울문교	4	48	144	20.9	3009.6	2005.10.
105	성내육교	1	40	40	9.9	396	2002.7.
106	연리육교	1	40	40	9.9	396	2002.7.
107	화개1육교	1	65	65	21.07	1369.55	2007.8.
108	옥산1육교	5	55	240	20.9	5016	2007.8.
109	옥산RA-A교	2	45	90	7.9	711	2007.8.
110	옥산RA-D교	1	40	40	7.9	316	2007.8.
111	상좌원교	5	58	267	21	5607	2006.7.
112	군서2교	1	40.2	40.2	20.9	840.18	2002.1.
113	하동1교	1	45.2	45.2	20.9	944.68	2002.1.
114	오동교	6	55	310.5	22.8	7079.4	2002.1.
115	용정1교	3	60	165	20.9	3448.5	2003.1.
116	도림2교	1	45.15	45.15	20.9	943.635	2003.1.
117	대흥교	3	49	139	20.9	2905.1	2006.10.
118	외산RA-B교	5	60	260.74	7.9	2059.846	2008.12.
119	외산RA-E교	5	60	260.74	7.9	2059.846	2008.12.
120	토당C교	4	55	200	7.9	1580	2003.12.

2.2.2 대상교량의 특성

본 연구에서 사용한 120개의 강박스교량의 제원을 정리하면 다음과 같다. 먼저 단경간은 30개, 2경간은 10개, 3경간은 19개, 4경간은 16개, 5경간은 12개, 6경간은 10개, 7경간 이상의 교량은 23개이다. 최대경간장은 30~70m까지 분포하며 50m의 교량이 가장 많이 분포한다. 폭원은 20.9m가 가장 많이 분포하며 주로 4차로의 교량을 대상교량으로 선정하였다. 기초의 형식은 직접기초, 말뚝기초, 혼합기초로 분류하였으며 고르게 분포한다. 사례 DB의 구축현황은 Table 2.2와 같다.



Table 2.2 Construction condition for 120 of steel box bridge

속성		사례수	속성		사례수
교량형식	Steel Box Girder	120	경간수	1	30
				2	10
				3	19
				4	16
				5	12
				6	10
				7이상	23
계		120	계		120

속성		사례수	속성		사례수
기초형식	직접	48	가설 위치	육상	66
	말뚝	38		하상	54
	혼합	34			
계		120	계		120

속성		사례수
차로수	1차로	18
	2차로	23
	3차로	1
	4차로	71
	5차로	4
	6차로	2
	8차로	1
계		120

2.3 표준 공중 분류 체계 정립

국내 도로공사는 표준화된 공중분류체계가 확정되어 있지 않아, 국도건설공사 설계실무요령, 통합건설정보 분류체계, 토목공사수량 산출기준, 실적공사비 체계, 도로공사 표준시방서에서 개별적으로 공중분류체계를 제시하고 있다. 관련 지침별로 제시되고 있는 공중분류체계가 개별적으로 사용될 경우 환경부하 산정모델 개발 시 수집 데이터에 대하여 효율적으로 활용이 어려울 것으로 판단하여 표준 공중 분류 체계를 정립하였다.

국내 도로 관련 공중분류체계의 분석을 실시한 결과 대분류는 구조물공의 강 교량으로 정립하고 중분류 이하는 CBS(Cost breakdown structure)와 연계가 가능하도록 국도건설공사 설계실무요령을 기반으로 적용시켜 본 연구에서는 관리의 편리성과 적정성 측면에서 분류레벨을 4단계로 분류하여 Level 4단계의 표준공중분류체계를 정립하였다. Level 1단계는 구조물인 강박교량을 나타내었으며 Level 2단계는 대표공중, Level 3단계는 세부공중 그리고 Level 4단계는 세부공중의 규격으로 정립하였다.

본 연구에서는 120개의 대상 교량의 내역서를 세부적으로 확인 및 분석하여 위하여 EBS 프로그램을 사용하였다. EBS 프로그램이란 건설 업무 중 공사비 산출 작업을 프로그램화 하여 기초 단가(재료비, 노무비, 경비), 중기 단가, 일위대가(호표, 산출근거), 직접 공사비, 간접 공사비, 소요 자원 명세서 등을 작성할 수 있는 공사비 내역 작성 프로그램이다. 각 공사에 대해 일위대가 및 산출근거에 대한 내용을 확인할 수 있다는 장점이 있고 소요자원과 주요 자원에 대한 집계는 쉽기 때문에 본 연구에서는 EBS 프로그램을 활용하였다.

각 대상 교량의 환경부하량을 산정하기 위하여 수집한 EBS 프로그램 파일에서 교량별 소요 자원 산출 내역과 제원 및 개요를 분석하였다. 또한 대상 교량의 환경부하량 산정을 위하여 대상 교량 내역서상의 소요자재 및 장비의 투입 자원 비용을 산출하였고, 자재, 장비, 에너지 사용량을 Level 4단계의 표준공중분류체계에 맞추어 정리하였다. Table 2.3은 표준공중분류체계 중 일례를 나타내었다.

Table 2.3 Examples of classification systems for standard works based on level of 4 steps

Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
강교	거푸집	합판거푸집	합판거푸집(3회,0~7m)
			합판거푸집(3회,7-10M)
			합판거푸집(3회,10-13M)
			합판거푸집(3회,13-16M)
			합판거푸집(4회,0~7m)
			합판거푸집(6회,0~7m)
		목재원형거푸집	목재원형거푸집(3회0~7m)
			목재원형거푸집(3회7~10m)
			목재원형거푸집(3회10~13m)
			목재원형거푸집(3회13~16m)
		강재거푸집	강재거푸집 (COPING)
			강재원형거푸집 (0~7m,D2.2m)
	강재원형거푸집 (7~10m)		
	강재원형거푸집 (10~13m)		
	무늬거푸집	무늬거푸집(0~7m)	
		무늬거푸집(7~10m)	
	유로폼(20회)	유로폼(20회)	
	철근가공조립	현장 가공 및 조립	철근가공조립 (보통)
			철근가공조립 (복잡)
			철근가공조립 (매우복잡)
	공장 가공	철근가공 (보통)	
		철근가공 (복잡)	
	철근인상작업	H=30m미만	
	강교	제작 및 가설	강교 제작
강교 운반			
강교 가설			
가벤투 제작 및 가설	가벤투 제작 및 가설		

		크레인 가설	크레인 가설
		강교 도장	강교 내부 도장 (공장)
			강교 SPLICE 도장 (공장)
			내외부볼트및너트도장(현장)
			내부볼트 및 SPLICE 도장 (현장)
			강교 외부 도장 (공장)
			강교 외부 도장 (현장)
			외부 포장면 도장 (공장)
			강교비파괴 검사
		강교비파괴검사비 (자분탐상, M.T)	
		강교비파괴검사비 (초음파탐상, U.T)	

2.4 소결

본 장에서는 타당한 환경부하 산정 모델 구축을 위한 기본 데이터를 수집하였다. 2000년 이후 설계된 204개의 강교량 중 120개의 강박스교량을 대상교량으로 선정하였으며, 내역서 등을 바탕으로 기본 제원에 대하여 조사하였다.

- (1) 대상 교량은 120개의 강박스교량으로 경간수, 기초형식, 가설위치 등은 고루 분포함을 알 수 있다. 또한 주로 4차로의 교량을 대상으로 하였다.
- (2) 국토건설공사 설계실무요령을 참고하여 Level 4 단계의 표준공종분류체계를 정립하였으며, EBS 프로그램의 내역을 바탕으로 대상 교량의 소요자재 및 장비의 투입자원 비용을 산출하고 자재 및 에너지 사용량을 정리하였다.

제 3 장 강박스교량의 환경부하 분석

3.1 LCI DB

LCI DB란 제품 기능단위의 생산에 필요한 원자재의 채취 및 소재/부품가공, 수송, 제품사용, 폐기까지의 제품 시스템으로 투입되는 자원의 양과 제품시스템에서 환경으로 버려지는 배출물과 폐기물의 발생량을 목록화한 데이터이다. LCA를 수행하고자 하는 시설물을 대상으로 해당 시설물에 투입되는 에너지 및 원료, 배출되는 부산물, 오염물질 등의 종류와 양을 파악하여 정량화하는 과정 중 정립하는 database라고도 한다. 본 연구에서는 국가 LCI DB 개발 시 사용되는 LCI DB 표준지침서에 따라 구축된 LCI DB를 사용하였다.

다양한 자재가 투입되는 시설물의 LCA 수행을 위해서는 자재별 LCI DB가 구축되어 있어야 하나, 구축되어 있는 국내 LCI DB 중 시설물에 투입되는 자재 및 장비에 적용 가능한 LCI DB는 약 60여개 정도로 전체 자재에 대한 LCA 수행에는 어려움이 있다. ISO 14040에 따르면 LCA 수행 시 영향평가 결과의 신뢰도 확보를 위해 Cut-off 수준을 완제품의 총 중량 대비 95% 또는 99%에 해당하는 투입물질까지 고려하도록 하고 있다.

시공단계의 경우 실시설계보고서, 일위대가 목록, 중기사용 내역서, 소요자원 집계표 등 건설 시 투입된 자재투입량 및 장비사용량을 산정할 수 있는 기초데이터를 수집하여 투입 및 배출물의 종류와 양을 정량화 한다. 운영단계의 경우 도로의 영업소, 관리동, 도로의 기능을 유지하기 위한 관리, 정비 차량을 포함하여 운영 및 유지관리를 위해 투입 및 배출되는 물질의 종류와 양을 정량화 한다.

LCI DB의 영향평가 방법론으로는 Mid-point 방법과 End-point 방법이 있다.

Mid-point 방법은 환경오염물질에 대하여 환경 문제별 즉 8대 영향범주별로 구분하여 가중치를 적용하는 방법으로 가중치 적용 시 주관적 요소가 개입이 가능한 방법론이다. End-point 방법은 환경오염물질이 환경에 미치는 영향에 의해서 보호대상 즉, 인간건강 및 생태계에 미치는 영향을 중심으로 재조합시켜 배출 물질별로 구체적인 환경영향지수를 제시할 수 있는 방법론이다. 본 연구에서는 일반적으로는 8대 영향범주별 구분이 가능하며, 가중치 적용이 가능한 Mid-point 방법을 활용한다. 여기서 8대 영향범주란 자원고갈(Abiotic Resources depletion, ADP), 산성화(Acidification, AP), 부영양화(Eutrophication, EP), 지구온난화(Global warming, GWP), 오존층파괴(Ozone layer depletion, ODP), 광화학산화물생성(Photochemical oxidant formation, POCP), 생태계독성(Eco-toxicological impacts, TETP), 인간독성(Human toxicological impact, HTP)을 말한다.

LCI DB를 분석하고자하는 환경영향의 범주별로 분류화, 특성화, 정규화, 가중화 등의 과정을 거쳐 영향해석을 실시한다. 분류화란 목록분석의 결과를 영향 범주별로 분류하는 과정으로 예상되는 환경영향의 유형을 토대로 목록분석 결과로 도출된 투입물과 산출물을 해당 영향범주에 연결시키고 영향범주로 모으는 과정이다. 특성화란 분류된 목록의 영향범주 내에서의 단위를 통일하는 과정으로 영향범주별로 분류된 항목들이 각각의 영향범주에 미치는 영향을 정량화하는 과정이다. 영향범주에서 주어진 목록항목의 기여도를 특성화 시켜주는 특성화 계수(Characterization factor)를 정량화하는 수단으로 사용하여 영향의 정도를 정량화하여 파악하는 과정이다. 특성화 값에서의 8대 영향범주와 상응인자의 단위는 Table 3.1과 같다.

Table 3.1 Corresponding factor and unit of characteristic value of LCI DB

영향범주		상응인자 (단위)
자원범주 (Natural Resources)	자원고갈 (Abiotic Resources Depletion)	ADP (Uj/Dj = 1/yr)
생태계범주 (Ecosystem)	지구온난화 (Global Warming)	GWP(gCO ₂ -eq/g)
	오존층파괴 (Ozone Layer Depletion)	ODP (g CFC11-eq/g)
	산성화 (Acidification)	AP(gSO ₂ -eq/g)
	부영양화 (Eutrophication)	EP(gPO ₄ -eq/g)
	광화학산화물생성 (Photochemical Oxidant Formation)	POCP(gC ₂ H ₄ - eq/g)
	생태독성 (Eco-Toxicological Impacts)	ECA(m ³ water/g) ECT (kg soil/g)
인간범주 (Human)	인간독성 (Human Toxicological Impact)	HCA (kg body wt/kg)
		HCW (kg body wt/kg)

정규화란 각 영향범주별로 전체 환경 부하 합산을 위하여 영향범주별로 단위를 통일하는 과정이다. 특성화 단계에서 구한 영향범주별 값을 정규화 값으로 나누어 구하고 정규화 단계를 통해 제품생산과 관련된 환경오염의 상대적인 기여도를 알 수 있다. 각 영향범주별로 영향정보의 단위를 동일하게 함으로써 각각의 영향범주에 관계되는 영향 크기의 해석을 동일한 지표로 가능하게 하기 위하여 정규화 과정이 필요하다. 가중화란 시간적, 사회적 특성에 맞는 영향범

주별 가중치를 적용하는 과정이다. 특성화 값을 가지고 사회적 중요도를 감안하여 영향범주간의 상대적인 중요도를 결정하기 위하여 가중화 값으로 변환한다. 가중치 부여 방법은 특성화 결과(C_i)에 영향범주 i 의 상대적 중요도(V_i)를 곱하여 계산하며 식 (1)과 같다.

$$I_i = C_i \cdot V_i \quad (1)$$

시스템 전체 환경영향(T_i)은 모든 영향범주의 환경영향의 합으로 나타낼 수 있으며 식 (2)와 같다.

$$T_i = \sum_i I_i = \sum_i (C_i \cdot V_i) \quad (2)$$

해외의 경우, 특성화 값을 지표로 삼아 시설물의 환경부하를 산출하고 평가하는 경우가 많으나 본 연구에서는 국내 강박스교량의 전체 환경영향을 산정하기 위하여 동일한 Eco-point 단위를 갖는 가중화 값을 사용하였다. 국내 LCI DB, 국가 LCI DB, 해외 LCI DB의 47가지 항목을 사용하였으며, 본 연구에서 사용된 47가지 LCI DB의 가중화 값은 Table 3.2와 같다.

Table 3.2 Weighting values of environmental load for 8 items

DB Name	Unit	Weighting values								
		ADP	AP	EP	GWP	ODP	POCP	TETP	HTP	TOTAL
		Eco-point	Eco-point	Eco-point	Eco-point	Eco-point	Eco-point	Eco-point	Eco-point	Eco-point
시멘트	kg	9.64E-06	5.11E-07	1.75E-09	4.94E-05	1.02E-07	1.54E-05	1.32E-07	1.51E-06	7.66E-05
도료_아크릴계	ton	4.47E-01	4.44E-03	1.54E-03	4.75E-02	2.17E-04	1.06E-03	3.39E-04	3.26E-03	5.05E-01
도료_에폭시계	ton	2.21E-01	2.02E-02	8.33E-03	1.84E-01	1.85E-04	4.10E-03	2.03E-04	7.48E-03	4.45E-01
도료_우레탄계	ton	4.32E+01	9.49E-01	2.98E-01	2.02E+01	8.59E-01	2.63E+00	1.69E+00	1.28E+01	8.26E+01
도료_수용성 에멀전계	ton	6.38E-02	5.92E-04	1.71E-05	1.68E-02	7.23E-04	2.19E-03	6.72E-04	7.50E-03	9.24E-02
레미콘	m ³	1.36E-02	6.38E-04	2.38E-04	2.24E-02	2.74E-04	6.05E-03	2.08E-04	3.84E-03	4.71E-02
EPS	kg	1.90E-04	4.14E-06	3.68E-07	1.02E-04	5.00E-07	4.25E-05	1.21E-06	1.19E-04	4.60E-04
산소	ton	1.60E-02	7.66E-04	4.53E-04	2.59E-02	8.20E-08	2.17E-03	1.82E-06	9.47E-04	4.62E-02
선재	ton	1.21E-01	1.64E-02	3.46E-03	4.95E-01	5.12E-04	2.30E-03	1.44E-03	1.33E-02	6.54E-01

스테인레스강	kg	2.15E-04	4.17E-06	4.54E-07	1.68E-04	8.93E-06	7.51E-07	2.45E-04	3.32E-04	9.74E-04
알루미늄 판	kg	2.39E-04	8.15E-06	3.57E-06	1.02E-04	1.49E-06	1.45E-05	3.33E-06	1.32E-04	5.03E-04
에폭시접착제	kg	1.01E-04	4.44E-06	1.89E-06	4.38E-05	3.39E-07	5.43E-06	2.45E-06	1.03E-05	1.69E-04
아크릴에멀전 접착제	kg	8.77E-05	3.14E-06	2.07E-06	4.46E-05	2.04E-07	3.16E-06	9.60E-06	8.58E-06	1.59E-04
열연코일	ton	9.57E-02	1.31E-03	4.64E-06	9.11E-02	2.56E-05	2.84E-02	3.18E-04	4.63E-04	2.38E-01
LDPE	kg	3.73E-04	1.44E-07	1.09E-07	9.70E-05	2.19E-07	2.14E-05	3.35E-07	2.14E-06	4.94E-04
철근	kg	1.72E-05	4.02E-07	3.13E-09	2.28E-05	6.23E-08	2.00E-06	3.95E-07	1.22E-06	4.41E-05
형강	kg	2.11E-05	1.20E-06	5.13E-07	2.24E-05	1.71E-07	1.93E-06	3.37E-07	2.60E-06	5.02E-05
탄소강	kg	1.12E-04	1.73E-06	6.78E-08	1.22E-04	1.32E-07	4.12E-06	1.23E-05	5.03E-06	2.57E-04
황동봉	kg	7.98E-05	6.72E-06	2.16E-06	9.40E-05	1.40E-09	1.15E-05	3.66E-04	4.33E-05	6.04E-04
후판	ton	7.88E-02	2.54E-03	1.02E-03	4.45E-02	3.36E-04	1.80E-02	1.94E-04	5.48E-03	1.51E-01
경유	kg	2.44E-04	1.26E-07	2.77E-08	3.55E-06	7.52E-10	7.03E-08	4.40E-10	1.53E-08	2.48E-04
전기	kWh	1.60E-05	7.57E-07	4.52E-07	2.58E-05	8.18E-11	2.16E-06	2.65E-12	7.85E-09	4.52E-05
휘발유	kg	2.46E-04	1.68E-07	9.35E-09	4.33E-06	1.53E-09	1.08E-07	8.96E-10	2.78E-08	2.51E-04
공업용수	ton	2.10E-05	2.56E-07	1.26E-07	6.42E-06	1.95E-11	5.35E-07	4.32E-10	2.77E-07	2.87E-05
순환골재	kg	7.82E-07	2.94E-09	9.76E-11	7.78E-07	1.66E-08	1.76E-08	1.25E-08	2.30E-07	1.84E-06
PET 필름	kg	2.59E-04	7.35E-06	8.08E-06	2.14E-04	7.90E-06	5.51E-06	4.85E-03	1.19E-01	1.24E-01
모래	m ³	1.43E-04	9.93E-06	5.57E-06	2.01E-04	1.33E-06	6.75E-07	8.58E-07	4.22E-05	4.05E-04
합판	m ³	2.17E-02	3.76E-03	2.05E-02	4.26E-02	3.62E-04	1.06E-03	1.51E-02	7.21E-03	1.12E-01
타일	kg	1.67E-05	1.73E-07	4.25E-09	1.84E-05	6.48E-08	9.95E-08	1.98E-07	6.01E-07	3.62E-05
자갈	m ³	3.70E-04	1.55E-07	4.29E-08	5.90E-04	2.37E-07	5.94E-07	1.68E-07	8.15E-06	9.69E-04
아스팔트	kg	1.49E-11	5.78E-07	3.55E-07	1.12E-05	4.89E-07	1.61E-06	1.88E-05	2.70E-06	3.57E-05
PVC	kg	4.32E-08	5.14E-06	2.39E-06	1.04E-04	2.03E-08	1.55E-05	9.23E-06	1.94E-05	1.56E-04
규산소다	kg	5.82E-10	4.70E-06	8.56E-06	8.34E-05	7.32E-07	2.63E-06	3.67E-04	8.63E-05	5.54E-04
프로판가스	kg	3.68E-11	3.15E-06	1.89E-06	3.56E-05	4.16E-06	9.38E-06	8.72E-05	1.59E-05	1.57E-04
아세틸렌	kg	3.57E-10	9.43E-06	2.20E-05	1.22E-04	6.02E-07	9.04E-06	7.83E-04	1.02E-04	1.05E-03
아스콘	ton	8.34E-04	1.13E-04	1.77E-04	3.37E-03	3.45E-05	1.17E-04	7.75E-03	1.77E-03	1.42E-02
신축이음 F-No.50	m	7.68E-03	4.10E-04	1.50E-04	1.16E-02	2.71E-05	1.09E-03	2.95E-05	4.73E-04	2.15E-02
신축이음 F-No.80	m	9.85E-03	5.02E-04	2.01E-04	1.44E-02	3.01E-05	1.45E-03	3.13E-05	5.23E-04	2.70E-02
신축이음 M-No.50	m	9.59E-03	4.14E-04	1.83E-04	1.11E-02	2.84E-05	1.68E-03	2.24E-05	4.76E-04	2.34E-02
신축이음 M-No.80	m	1.15E-02	5.07E-04	2.38E-04	1.42E-02	2.84E-05	1.94E-03	2.24E-05	4.77E-04	2.90E-02
락볼트 D25 2.5m	set	1.17E-03	1.14E-06	6.75E-07	1.21E-03	1.65E-06	1.26E-05	3.25E-05	4.66E-05	2.48E-03
락볼트 D25 3.0m	set	1.40E-03	1.36E-06	8.10E-07	1.46E-03	1.98E-06	1.51E-05	3.90E-05	5.59E-05	2.97E-03
락볼트 D25 3.5m	set	1.63E-03	1.59E-06	9.45E-07	1.70E-03	2.31E-06	1.76E-05	4.55E-05	6.52E-05	3.47E-03

락볼트 D25 4.0m	set	1.87E-03	1.82E-06	1.08E-06	1.94E-03	2.64E-06	2.02E-05	5.20E-05	7.45E-05	3.96E-03
락볼트 D25 5.0m	set	2.33E-03	2.27E-06	1.35E-06	2.43E-03	3.30E-06	2.52E-05	6.51E-05	9.31E-05	4.95E-03
락볼트 D25 6.0m	set	2.80E-03	2.72E-06	1.62E-06	2.91E-03	3.96E-06	3.02E-05	7.81E-05	1.12E-04	5.94E-03
락볼트 D25 8.0m	set	3.73E-03	3.63E-06	2.16E-06	3.88E-03	5.28E-06	4.03E-05	1.04E-04	1.49E-04	7.92E-03

3.2 각 교량별 환경부하량 산정

본 연구에서 정립한 Level 4 단계의 표준공종분류체계에 EBS 프로그램 상의 내역서와 수량산출서, 단가산출서를 바탕으로 120개 대상 교량에 대하여 투입 자재와 에너지 사용량을 정리하였다. 이를 토대로 자재 내역과 사용가능한 47가지 LCI DB를 연계시켜 각 교량별로 자재 수량과 LCI DB에서의 기본 단위 당의 환경부하량 가중화 값을 곱하여 환경부하량을 산정하였다. 이를 강박스교량의 사례별로 데이터베이스화하여 기획단계 환경부하 예측 모델의 사례 데이터베이스로 활용하였다. 환경부하 사례 데이터베이스 구축 절차는 Fig 3.1과 같다.

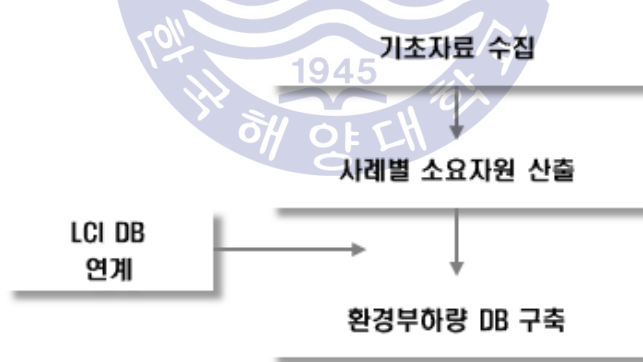


Fig 3.1 Framework of environmental load database

각 교량에 대하여 환경부하량 DB를 구축하였으며, 그 결과를 Fig 3.2에 나타내었다. Fig 3.2는 120개 강박스교량의 전체 자재에 대한 환경부하를 가중화 값으로 산정하여 나타낸 그래프이다. Table 3.3은 120개의 강박스교량의 환경부하 가중화 값을 나타내었다.

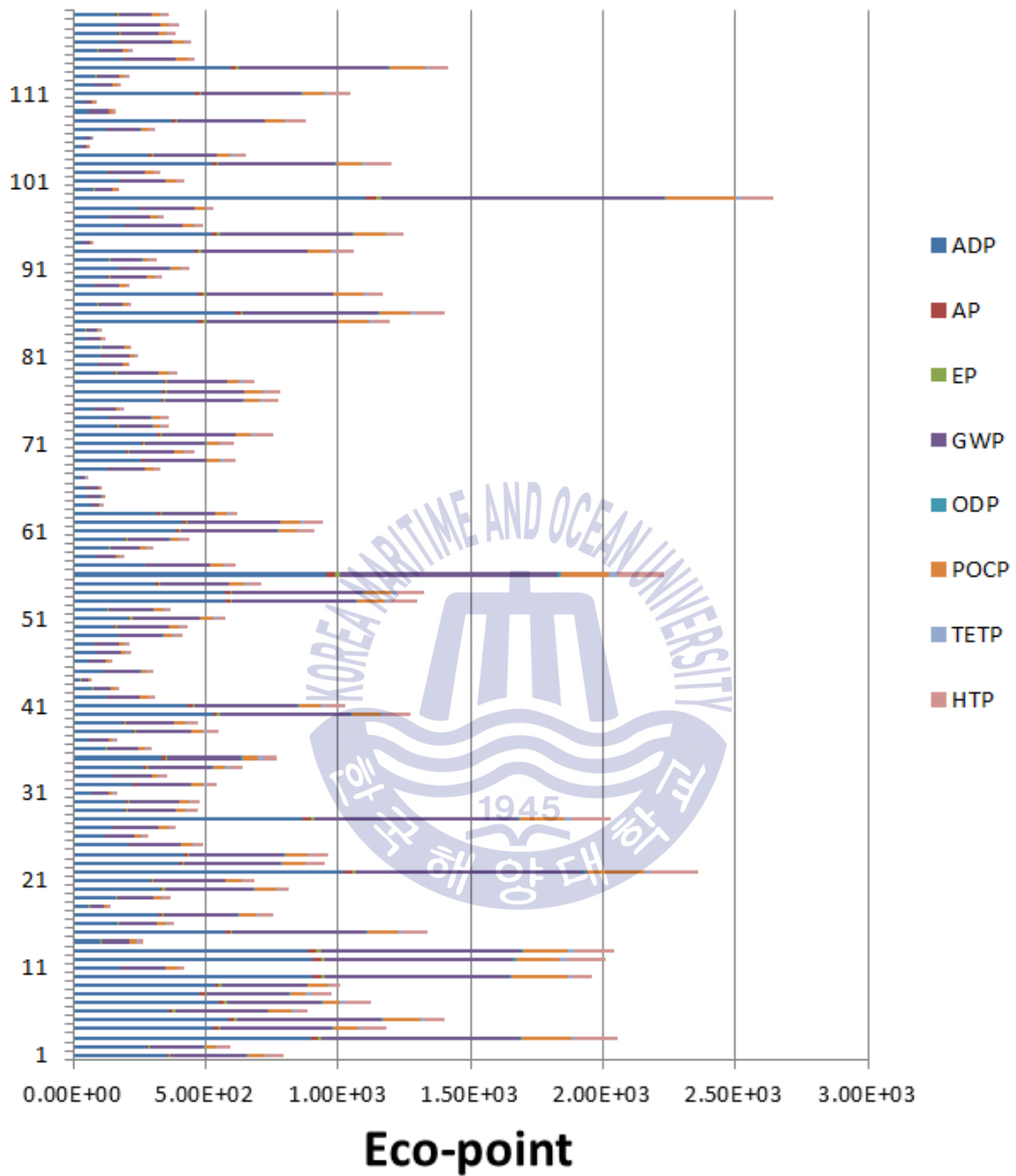


Fig 3.2 Comparison of environmental load for 120 of steel box bridge

Table 3.3 Weighting values of environmental load for 120 of steel box bridge

No.	Weighting values								
	ADP	AP	EP	GWP	ODP	POCP	TETP	HTP	TOTAL
	Eco-point	Eco-point	Eco-point	Eco-point	Eco-point	Eco-point	Eco-point	Eco-point	Eco-point
1	3.50E+02	1.13E+01	4.06E+00	2.85E+02	4.18E+00	6.96E+01	6.23E+00	6.25E+01	7.93E+02
2	2.74E+02	8.42E+00	3.70E+00	2.03E+02	2.97E+00	4.93E+01	5.02E+00	4.45E+01	5.91E+02
3	8.96E+02	2.91E+01	1.11E+01	7.49E+02	1.07E+01	1.83E+02	1.63E+01	1.60E+02	2.05E+03
4	5.27E+02	1.71E+01	8.58E+00	4.19E+02	5.94E+00	1.01E+02	1.08E+01	8.92E+01	1.18E+03
5	5.86E+02	2.12E+01	1.25E+01	5.45E+02	4.80E+00	1.43E+02	1.37E+01	7.26E+01	1.40E+03
6	3.61E+02	1.33E+01	8.26E+00	3.50E+02	3.13E+00	9.20E+01	8.08E+00	4.64E+01	8.82E+02
7	5.47E+02	1.74E+01	1.26E+01	3.56E+02	5.98E+00	6.78E+01	2.04E+01	9.27E+01	1.12E+03
8	4.78E+02	1.52E+01	1.02E+01	3.10E+02	5.19E+00	5.85E+01	1.65E+01	8.00E+01	9.73E+02
9	5.33E+02	1.68E+01	1.21E+01	3.21E+02	2.13E+00	7.42E+01	1.17E+01	3.45E+01	1.00E+03
10	9.03E+02	3.22E+01	1.39E+01	6.99E+02	5.31E+00	2.15E+02	8.68E+00	8.23E+01	1.96E+03
11	1.78E+02	6.25E+00	2.95E+00	1.59E+02	1.67E+00	4.42E+01	3.18E+00	2.52E+01	4.20E+02
12	9.03E+02	2.99E+01	1.69E+01	7.12E+02	9.82E+00	1.60E+02	2.57E+01	1.49E+02	2.01E+03
13	8.85E+02	3.01E+01	1.73E+01	7.58E+02	1.00E+01	1.67E+02	2.47E+01	1.50E+02	2.04E+03
14	9.93E+01	3.58E+00	2.05E+00	1.07E+02	1.15E+00	2.53E+01	3.18E+00	1.75E+01	2.60E+02
15	5.71E+02	1.96E+01	1.14E+01	5.04E+02	6.40E+00	1.12E+02	1.73E+01	9.71E+01	1.34E+03
16	1.62E+02	5.72E+00	3.59E+00	1.42E+02	1.92E+00	3.07E+01	5.30E+00	2.91E+01	3.81E+02
17	3.20E+02	1.10E+01	7.31E+00	2.83E+02	3.89E+00	6.26E+01	1.11E+01	5.89E+01	7.57E+02
18	5.54E+01	2.08E+00	1.19E+00	5.49E+01	6.26E-01	1.07E+01	1.64E+00	9.50E+00	1.36E+02
19	1.56E+02	5.27E+00	3.13E+00	1.36E+02	1.89E+00	3.07E+01	4.86E+00	2.85E+01	3.67E+02
20	3.24E+02	1.27E+01	6.97E+00	3.36E+02	2.55E+00	8.71E+01	6.26E+00	3.84E+01	8.14E+02
21	2.88E+02	9.00E+00	5.21E+00	2.69E+02	2.58E+00	6.39E+01	8.02E+00	3.96E+01	6.85E+02
22	1.02E+03	3.20E+01	1.60E+01	8.61E+02	1.18E+01	2.18E+02	2.32E+01	1.77E+02	2.36E+03
23	3.96E+02	1.34E+01	6.94E+00	3.66E+02	4.34E+00	9.09E+01	8.66E+00	6.50E+01	9.51E+02
24	4.15E+02	1.36E+01	6.92E+00	3.56E+02	4.57E+00	8.59E+01	9.15E+00	6.87E+01	9.60E+02
25	2.07E+02	6.81E+00	3.55E+00	1.84E+02	2.34E+00	4.51E+01	4.72E+00	3.50E+01	4.89E+02
26	1.22E+02	4.01E+00	2.32E+00	1.02E+02	1.48E+00	2.49E+01	3.14E+00	2.22E+01	2.83E+02
27	1.52E+02	5.94E+00	3.97E+00	1.60E+02	1.56E+00	3.79E+01	3.99E+00	2.30E+01	3.88E+02
28	8.63E+02	3.10E+01	1.69E+01	7.67E+02	9.59E+00	1.69E+02	2.50E+01	1.45E+02	2.03E+03
29	1.91E+02	7.09E+00	5.16E+00	1.80E+02	2.33E+00	4.04E+01	6.33E+00	3.49E+01	4.67E+02
30	2.00E+02	7.26E+00	4.15E+00	1.85E+02	2.12E+00	4.23E+01	5.78E+00	3.24E+01	4.78E+02
31	6.74E+01	2.34E+00	1.42E+00	6.16E+01	8.33E-01	1.36E+01	2.79E+00	1.25E+01	1.63E+02
32	2.27E+02	7.64E+00	4.04E+00	2.04E+02	2.68E+00	4.51E+01	9.71E+00	4.04E+01	5.40E+02
33	1.53E+02	5.06E+00	3.01E+00	1.30E+02	1.67E+00	2.79E+01	5.67E+00	2.51E+01	3.52E+02
34	2.65E+02	9.37E+00	8.74E+00	2.39E+02	2.96E+00	5.03E+01	1.40E+01	4.52E+01	6.35E+02
35	3.34E+02	1.16E+01	1.01E+01	2.78E+02	3.77E+00	5.78E+01	1.79E+01	5.76E+01	7.70E+02
36	1.18E+02	4.19E+00	2.41E+00	1.15E+02	1.38E+00	2.58E+01	5.33E+00	2.12E+01	2.94E+02
37	6.44E+01	2.32E+00	1.53E+00	6.37E+01	8.53E-01	1.41E+01	3.00E+00	1.29E+01	1.63E+02
38	2.23E+02	7.73E+00	4.47E+00	2.08E+02	2.83E+00	4.49E+01	1.05E+01	4.33E+01	5.45E+02
39	1.86E+02	6.62E+00	3.92E+00	1.81E+02	2.41E+00	4.03E+01	8.57E+00	3.67E+01	4.66E+02
40	5.24E+02	1.87E+01	1.02E+01	4.92E+02	6.56E+00	1.09E+02	1.51E+01	9.73E+01	1.27E+03
41	4.32E+02	1.52E+01	7.95E+00	3.93E+02	5.26E+00	8.57E+01	1.22E+01	7.83E+01	1.03E+03
42	1.26E+02	4.47E+00	2.42E+00	1.18E+02	1.59E+00	2.65E+01	3.51E+00	2.35E+01	3.06E+02
43	6.81E+01	2.52E+00	1.63E+00	6.86E+01	9.31E-01	1.56E+01	2.23E+00	1.37E+01	1.73E+02
44	2.48E+01	9.47E-01	5.72E-01	2.66E+01	3.38E-01	5.91E+00	7.90E-01	4.99E+00	6.49E+01
45	1.22E+02	4.62E+00	2.46E+00	1.22E+02	1.50E+00	2.45E+01	3.46E+00	2.24E+01	3.04E+02
46	6.30E+01	2.16E+00	1.15E+00	5.33E+01	7.75E-01	1.13E+01	1.90E+00	1.16E+01	1.45E+02
47	8.58E+01	3.15E+00	1.30E+00	8.56E+01	1.14E+00	1.98E+01	4.82E+00	1.61E+01	2.18E+02
48	8.39E+01	3.08E+00	1.90E+00	8.35E+01	1.12E+00	1.85E+01	3.11E+00	1.69E+01	2.12E+02
49	1.70E+02	6.01E+00	3.94E+00	1.56E+02	2.08E+00	3.40E+01	6.38E+00	3.13E+01	4.10E+02

50	1.55E+02	6.31E+00	4.82E+00	1.92E+02	1.79E+00	3.89E+01	6.89E+00	2.74E+01	4.33E+02
51	2.02E+02	8.91E+00	9.77E+00	2.53E+02	2.27E+00	5.02E+01	1.10E+01	3.51E+01	5.73E+02
52	1.24E+02	5.55E+00	5.41E+00	1.66E+02	1.60E+00	3.50E+01	6.21E+00	2.42E+01	3.68E+02
53	5.71E+02	1.86E+01	1.06E+01	4.68E+02	6.77E+00	9.94E+01	2.11E+01	1.05E+02	1.30E+03
54	5.71E+02	1.91E+01	1.05E+01	4.88E+02	6.60E+00	1.07E+02	1.92E+01	1.02E+02	1.32E+03
55	3.08E+02	1.04E+01	5.95E+00	2.60E+02	3.59E+00	5.52E+01	1.09E+01	5.53E+01	7.10E+02
56	9.53E+02	3.26E+01	1.78E+01	8.27E+02	1.16E+01	1.78E+02	3.35E+01	1.78E+02	2.23E+03
57	2.73E+02	8.08E+00	2.97E+00	2.29E+02	2.39E+00	5.35E+01	6.88E+00	3.76E+01	6.13E+02
58	7.86E+01	2.81E+00	1.83E+00	7.42E+01	9.49E-01	1.62E+01	2.72E+00	1.42E+01	1.92E+02
59	1.31E+02	4.43E+00	2.47E+00	1.10E+02	1.50E+00	2.50E+01	3.99E+00	2.27E+01	3.01E+02
60	1.91E+02	6.51E+00	3.53E+00	1.61E+02	2.09E+00	3.57E+01	6.82E+00	3.21E+01	4.39E+02
61	3.86E+02	1.24E+01	5.91E+00	3.65E+02	3.76E+00	6.83E+01	1.17E+01	5.84E+01	9.12E+02
62	4.11E+02	1.42E+01	7.47E+00	3.45E+02	4.59E+00	7.86E+01	1.34E+01	7.03E+01	9.44E+02
63	3.14E+02	1.01E+01	6.97E+00	2.03E+02	1.57E+00	4.44E+01	9.92E+00	2.53E+01	6.15E+02
64	5.95E+01	1.65E+00	1.55E+00	3.17E+01	3.54E-01	6.18E+00	3.66E+00	7.30E+00	1.12E+02
65	5.74E+01	2.14E+00	1.90E+00	4.22E+01	3.58E-01	8.75E+00	2.25E+00	6.00E+00	1.21E+02
66	5.17E+01	1.93E+00	1.67E+00	3.82E+01	3.37E-01	7.56E+00	2.00E+00	5.60E+00	1.09E+02
67	2.36E+01	8.19E-01	7.11E-01	1.61E+01	1.42E-01	3.50E+00	7.51E-01	2.27E+00	4.79E+01
68	1.35E+02	4.87E+00	2.55E+00	1.26E+02	1.54E+00	2.88E+01	3.87E+00	2.33E+01	3.26E+02
69	2.57E+02	8.94E+00	4.13E+00	2.31E+02	2.98E+00	5.20E+01	8.31E+00	4.61E+01	6.10E+02
70	1.96E+02	6.85E+00	4.80E+00	1.69E+02	2.30E+00	3.67E+01	6.24E+00	3.44E+01	4.57E+02
71	2.54E+02	8.95E+00	6.18E+00	2.28E+02	3.16E+00	4.95E+01	7.99E+00	4.70E+01	6.06E+02
72	3.14E+02	1.07E+01	7.99E+00	2.76E+02	4.68E+00	5.55E+01	1.26E+01	7.04E+01	7.52E+02
73	1.62E+02	5.22E+00	1.94E+00	1.29E+02	1.87E+00	2.97E+01	4.02E+00	2.81E+01	3.61E+02
74	1.40E+02	4.96E+00	2.10E+00	1.42E+02	1.97E+00	3.42E+01	3.86E+00	2.93E+01	3.59E+02
75	8.31E+01	2.82E+00	1.52E+00	7.02E+01	9.50E-01	1.58E+01	2.45E+00	1.43E+01	1.91E+02
76	3.31E+02	1.14E+01	5.88E+00	2.90E+02	3.74E+00	6.38E+01	1.00E+01	5.65E+01	7.72E+02
77	3.34E+02	1.10E+01	5.86E+00	2.91E+02	4.04E+00	6.76E+01	8.78E+00	5.98E+01	7.82E+02
78	3.39E+02	1.03E+01	5.14E+00	2.22E+02	3.34E+00	4.61E+01	8.94E+00	5.07E+01	6.86E+02
79	1.55E+02	4.82E+00	2.59E+00	1.60E+02	1.54E+00	3.86E+01	3.85E+00	2.31E+01	3.89E+02
80	9.68E+01	3.53E+00	1.96E+00	8.31E+01	4.79E-01	1.79E+01	2.05E+00	7.63E+00	2.13E+02
81	1.09E+02	4.08E+00	2.69E+00	9.47E+01	5.02E-01	1.97E+01	2.70E+00	8.20E+00	2.42E+02
82	9.81E+01	3.64E+00	2.09E+00	8.77E+01	4.23E-01	1.87E+01	2.13E+00	6.97E+00	2.20E+02
83	4.78E+01	1.82E+00	1.09E+00	4.70E+01	5.62E-01	9.57E+00	1.39E+00	8.40E+00	1.18E+02
84	4.38E+01	1.64E+00	9.46E-01	4.10E+01	5.04E-01	8.19E+00	1.27E+00	7.55E+00	1.05E+02
85	4.70E+02	1.86E+01	1.09E+01	4.98E+02	4.18E+00	1.18E+02	1.10E+01	6.30E+01	1.19E+03
86	6.09E+02	2.04E+01	1.07E+01	5.09E+02	7.47E+00	1.14E+02	1.78E+01	1.12E+02	1.40E+03
87	8.72E+01	3.35E+00	2.14E+00	8.90E+01	7.79E-01	2.16E+01	2.46E+00	1.19E+01	2.18E+02
88	4.71E+02	1.79E+01	1.06E+01	4.80E+02	4.00E+00	1.13E+02	1.16E+01	6.10E+01	1.17E+03
89	8.30E+01	3.24E+00	2.17E+00	8.55E+01	7.53E-01	2.07E+01	2.63E+00	1.17E+01	2.10E+02
90	1.29E+02	5.05E+00	3.04E+00	1.36E+02	1.22E+00	3.32E+01	3.67E+00	1.87E+01	3.31E+02
91	1.69E+02	6.53E+00	3.94E+00	1.83E+02	1.62E+00	4.34E+01	4.54E+00	2.46E+01	4.37E+02
92	1.30E+02	4.88E+00	3.81E+00	1.20E+02	1.56E+00	2.49E+01	4.90E+00	2.36E+01	3.13E+02
93	4.54E+02	1.66E+01	9.14E+00	4.01E+02	4.50E+00	8.99E+01	1.24E+01	6.84E+01	1.06E+03
94	2.85E+01	1.14E+00	1.01E+00	2.97E+01	2.73E-01	7.11E+00	9.39E-01	4.10E+00	7.28E+01
95	5.23E+02	1.92E+01	8.89E+00	5.04E+02	4.01E+00	1.21E+02	9.37E+00	6.00E+01	1.25E+03
96	1.95E+02	7.70E+00	3.88E+00	2.05E+02	1.53E+00	4.60E+01	3.96E+00	2.32E+01	4.86E+02
97	1.38E+02	5.39E+00	2.73E+00	1.43E+02	1.05E+00	3.15E+01	2.79E+00	1.59E+01	3.41E+02
98	2.46E+02	7.62E+00	3.58E+00	1.97E+02	1.58E+00	4.61E+01	3.75E+00	2.37E+01	5.29E+02
99	1.10E+03	4.10E+01	1.91E+01	1.07E+03	8.43E+00	2.60E+02	1.99E+01	1.26E+02	2.64E+03
100	7.50E+01	2.57E+00	1.60E+00	6.78E+01	5.72E-01	1.60E+01	1.59E+00	8.56E+00	1.74E+02
101	1.76E+02	6.26E+00	3.34E+00	1.60E+02	2.12E+00	3.48E+01	4.82E+00	3.15E+01	4.19E+02
102	1.32E+02	4.76E+00	2.62E+00	1.29E+02	1.61E+00	2.92E+01	3.65E+00	2.38E+01	3.27E+02
103	5.21E+02	1.75E+01	9.01E+00	4.40E+02	6.52E+00	9.44E+01	1.49E+01	9.69E+01	1.20E+03
104	2.84E+02	9.63E+00	5.07E+00	2.42E+02	3.07E+00	5.17E+01	8.48E+00	4.58E+01	6.49E+02
105	2.90E+01	9.10E-01	7.43E-01	1.79E+01	3.18E-01	3.31E+00	1.22E+00	5.00E+00	5.84E+01
106	3.91E+01	1.17E+00	8.76E-01	2.34E+01	4.23E-01	4.24E+00	1.53E+00	6.63E+00	7.74E+01

107	1.27E+02	4.56E+00	2.69E+00	1.16E+02	1.46E+00	2.69E+01	3.51E+00	2.17E+01	3.05E+02
108	3.70E+02	1.28E+01	7.10E+00	3.29E+02	4.50E+00	7.38E+01	1.05E+01	6.70E+01	8.75E+02
109	6.47E+01	2.37E+00	1.43E+00	6.14E+01	8.33E-01	1.45E+01	1.87E+00	1.23E+01	1.59E+02
110	3.32E+01	1.25E+00	8.25E-01	3.48E+01	4.51E-01	8.20E+00	1.02E+00	6.63E+00	8.63E+01
111	4.59E+02	1.52E+01	8.36E+00	3.76E+02	5.39E+00	8.29E+01	1.53E+01	8.29E+01	1.04E+03
112	7.21E+01	2.63E+00	1.73E+00	7.07E+01	6.52E-01	1.72E+01	1.95E+00	9.95E+00	1.77E+02
113	7.91E+01	3.15E+00	2.15E+00	8.64E+01	8.08E-01	2.12E+01	2.32E+00	1.23E+01	2.07E+02
114	5.92E+02	2.21E+01	1.34E+01	5.62E+02	4.63E+00	1.38E+02	1.26E+01	7.01E+01	1.42E+03
115	1.88E+02	7.18E+00	4.76E+00	1.83E+02	1.49E+00	4.40E+01	4.97E+00	2.35E+01	4.57E+02
116	8.71E+01	3.42E+00	2.58E+00	9.02E+01	8.75E-01	2.16E+01	2.60E+00	1.31E+01	2.22E+02
117	1.72E+02	6.92E+00	2.56E+00	1.91E+02	1.53E+00	4.61E+01	2.90E+00	2.29E+01	4.45E+02
118	1.68E+02	5.69E+00	2.60E+00	1.44E+02	1.93E+00	3.23E+01	4.13E+00	2.88E+01	3.87E+02
119	1.70E+02	5.81E+00	2.70E+00	1.48E+02	1.98E+00	3.33E+01	4.22E+00	2.95E+01	3.95E+02
120	1.60E+02	5.42E+00	2.72E+00	1.27E+02	1.66E+00	3.02E+01	8.40E+00	2.52E+01	3.61E+02



3.3 평균과 표준편차

Fig 3.3은 120개 강박스교량에서 환경부하 가중화 값인 자원고갈, 산성화, 부영양화, 지구온난화, 오존층파괴, 광화학산화물생성, 생태계독성, 인간독성의 8 가지 영향범주의 평균과 표준편차를 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 자원 고갈의 평균이 2.76E+02로 가장 큰 값을 갖는 것을 알 수 있다. 그 다음으로 지구온난화 2.43E+02, 광화학산화물생성 5.57E+01, 인간독성 4.37E+01, 산성화 9.57E+00, 생태계독성 7.81E+00, 부영양화 5.41E+00, 오존층파괴 2.89E+00 순으로 나타난다. 표준편차도 역시 자원고갈이 2.38E+02로 가장 큰 값을 가지며 평균과 같은 순서로 나타난다. 8가지 영향범주 중 자원고갈과 지구온난화가 대상 교량에서 큰 영향을 미치나 각 교량의 체원에 따라 값의 변동 폭이 크므로 표준편차 역시 크게 나타남을 알 수 있다.

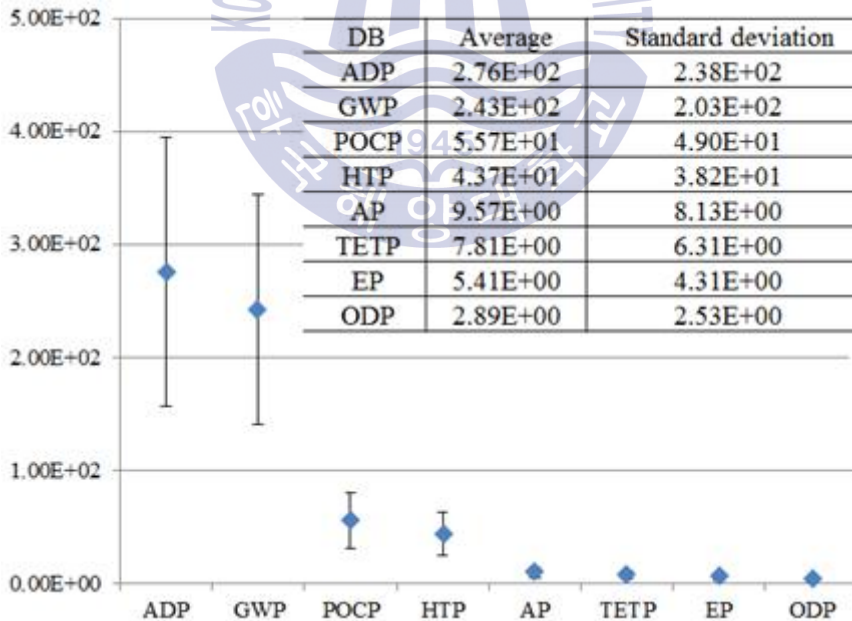
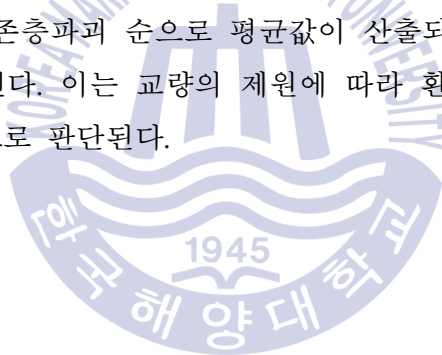


Fig 3.3 The average value and standard deviation for 8 items of environmental load

3.4 소결

본 장에서는 강박스교량의 기본적인 자료를 바탕으로 환경부하를 분석하였다. 환경부하량에 가장 중요한 LCI DB에 대해 기술하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) LCI DB는 자원범주, 생태계범주, 인간범주로 나누어 8가지 영향범주를 가지며 이를 각 사례별 소요자원 산출 내역에 연계시켜 환경부하량 DB를 구축한다.
- (2) 120개의 대상 교량에 대해 8가지 환경영향범주의 평균과 표준편차를 계산한 결과 자원고갈, 지구온난화, 광화학산화물생성, 인간독성, 산성화, 생태계독성, 부영양화, 오존층파괴 순으로 평균값이 산출되며 표준편차 또한 마찬가지로의 순서를 가진다. 이는 교량의 제원에 따라 환경부하량의 값이 큰 차이를 보이기 때문으로 판단된다.



제 4 장 강박스교량의 상관성 분석

4.1 영향요인

구축된 120개 강박스교량의 기본 데이터를 바탕으로 상관성 분석을 실시하기 위하여 영향요인 후보군을 도출하였다. 기획단계에서는 대안노선을 비교하여 최적노선을 선정하고, 구조물의 위치 및 형식을 선정한다. 이 단계에서 이용할 수 있는 가용정보는 대단히 제한적이며, 가용정보로는 교량의 연장, 폭원, 차로수, 상부면적, 가설위치 등이 있다.

상관성 분석을 실시하기 위한 영향요인을 경제적 요인과 교량의 기본 제원적 요인으로 나누었다. 경제적 요인은 공사비, 재료비, LCI DB 연계 금액이고 교량의 기본 제원적 요인은 상부면적, 연장, 경간수, 폭원, 차로수로 선정하였다.

4.2 상관성분석

4.2.1 상관성분석

Fig 4.1~Fig 4.8는 위의 기술한 경제적 요인과 교량의 기본 제원적 요인의 8 가지 영향요인 후보군을 각각 환경부하량과의 상관성 분석을 실시하여 나타낸 그래프이다.

Fig 4.1과 같이 공사비와 환경부하량과의 상관성 분석을 실시한 결과 추세선 식은 $y = 1E - 07x + 56.456$ 이 얻어지며 결정계수 R^2 는 0.8971로 높은 상관성을 갖는 것을 알 수 있다. Fig 4.2와 같이 재료비와 환경부하량과의 상관성 분석을 실시한 결과는 추세선 식은 $y = 2E - 07x + 109.13$, 결정계수 $R^2 = 0.8543$, Fig 4.3의 LCI DB 연계 금액과 환경부하량과의 상관성 분석을 실시한 결과 추세선 식

은 $y = 3E-07x + 73.107$, 결정계수 $R^2 = 0.8568$ 로 나타난다. 이를 통하여 경제적 영향요인의 경우 환경부하량과 높은 상관관계에 있다는 것을 알 수 있다.

이에 비하여 교량의 기본 제원적 영향요인은 Fig 4.4의 상부면적에서 결정계수 $R^2 = 0.8745$ 로 공사비, 재료비, LCI DB 연계 금액과 비슷한 수준의 결정계수 값을 가지며 그 외 연장, 경간수, 폭원, 차로수에 대해서는 결정계수 값이 비교적 작은 것을 알 수 있다. 특히 폭원과 차로수의 경우 결정계수 R^2 값이 0.1662, 0.1425로 환경부하량과 매우 낮은 상관관계를 갖는 것을 알 수 있다.

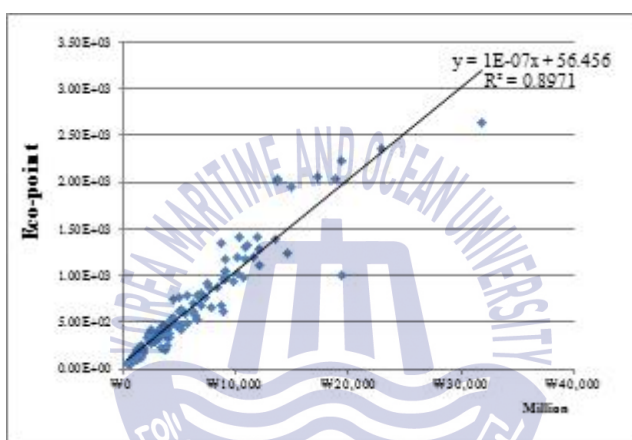


Fig 4.1 Correlation analysis between construction cost and environmental load

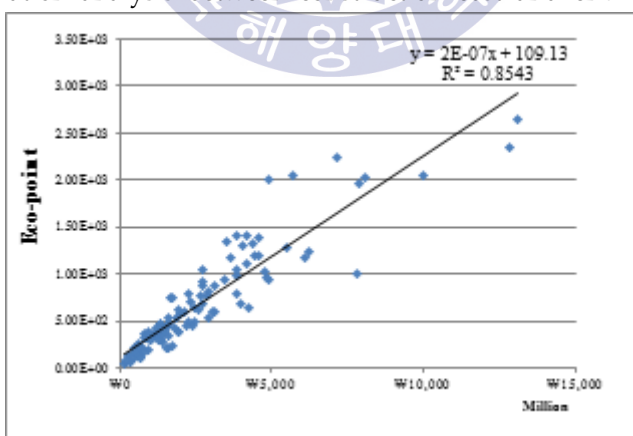


Fig 4.2 Correlation analysis between material cost and environmental load

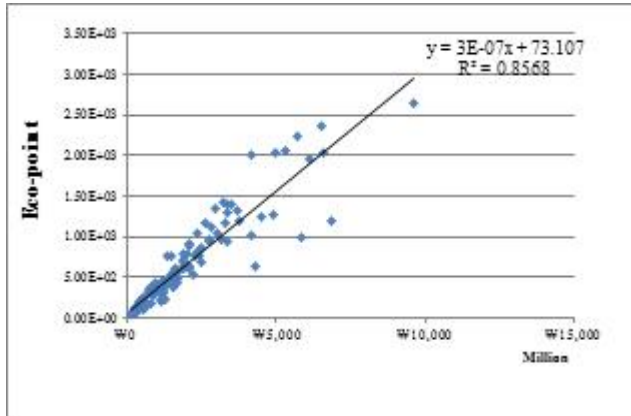


Fig 4.3 Correlation analysis between material cost associated with LCI DB and environmental load

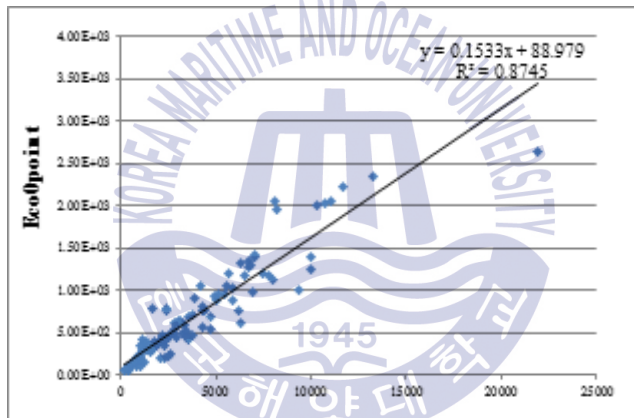


Fig 4.4 Correlation analysis between deck areas and environmental load

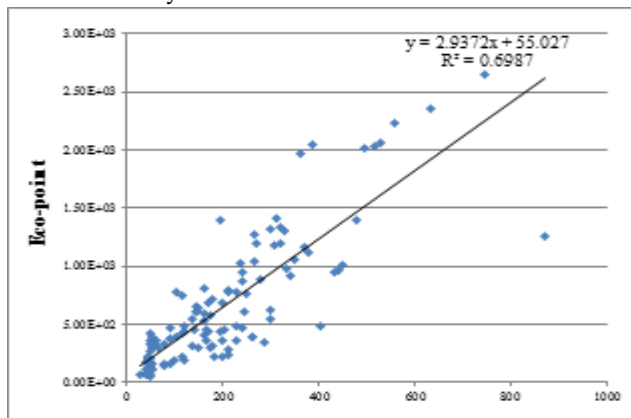


Fig 4.5 Correlation analysis between length and environmental load

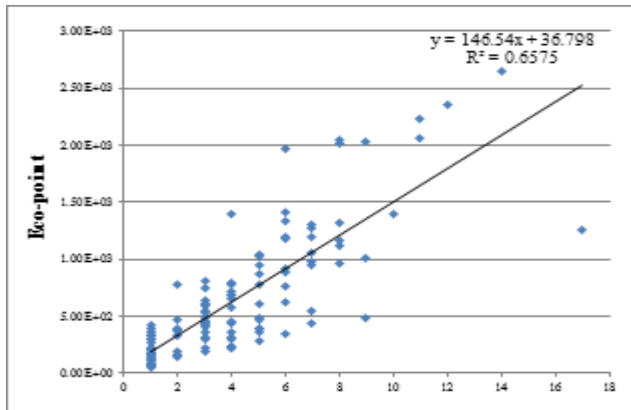


Fig 4.6 Correlation analysis between number of span and environmental load

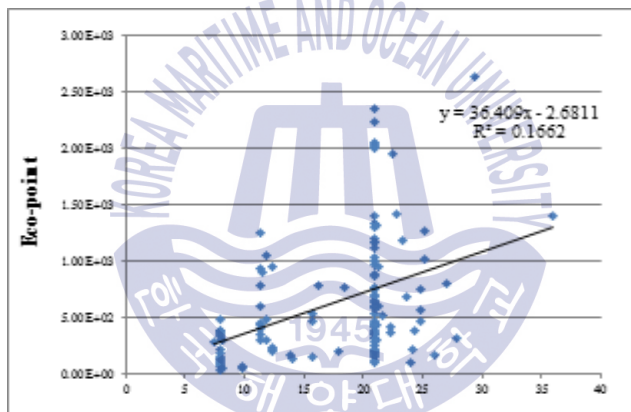


Fig 4.7 Correlation analysis between width and environmental load

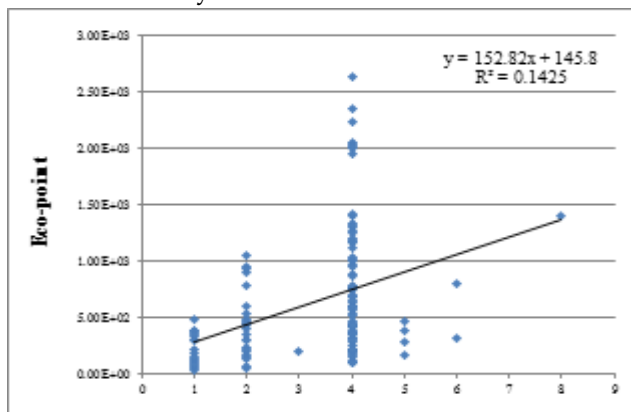


Fig 4.8 Correlation analysis between number of road and environmental load

4.2.2 상세 상관성분석

위의 기술한 영향요인과 강박스교량의 환경부하량의 보다 명확한 관계를 알 고자 Fig 4.1~Fig 4.8에 나타난 추세선 식을 사용하여 상세 상관성 분석을 실시 하였다. 그림에서 얻어진 추세선 식의 x 값에 120개의 대상 교량의 환경부하량을 입력하여 실측치와 예측치 간의 상관분석을 실시하였다. x 축과 y 축의 단위는 모두 환경부하량 가중화 값의 단위인 Eco-point이다.

Fig 4.9~Fig 4.16은 상세 상관성 분석을 실시한 결과를 나타낸다. 상관성 분석에서 결정계수 R^2 의 값이 큰 공사비, 재료비, LCI DB 연계 금액, 상부면적의 경우 Fig 4.9~Fig 4.12에서 알 수 있듯이 분포가 매우 선형적으로 나타난다. 이에 반하여 상관성 분석 결과 결정계수 R^2 의 값이 비교적 작은 연장, 경간수, 폭원, 차로수의 경우 비선형적으로 그래프가 넓게 분포함을 알 수 있다.

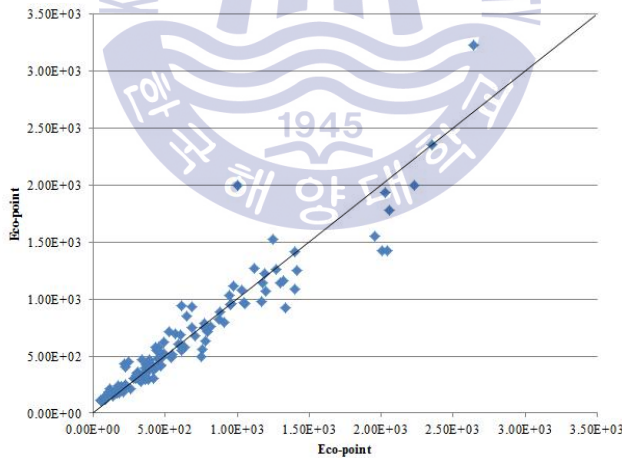


Fig 4.9 Details correlation analysis between construction cost and environmental load

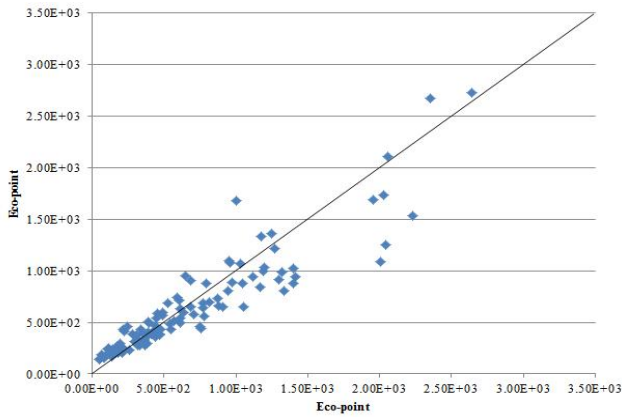


Fig 4.10 Details correlation analysis between material cost and environmental load

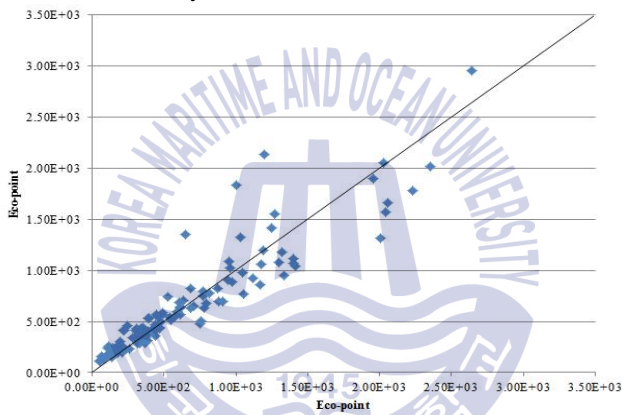


Fig 4.11 Details correlation analysis between material cost associated with LCI DB and environmental load

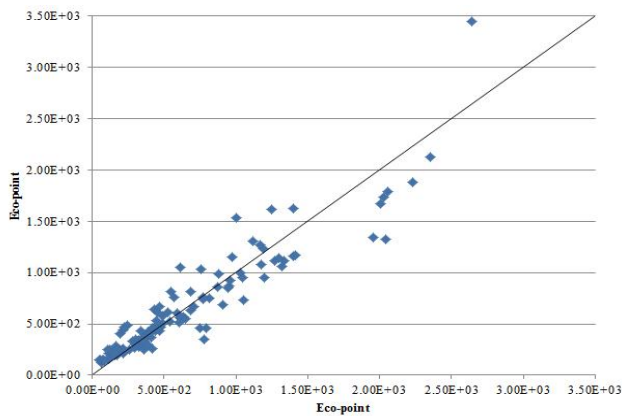


Fig 4.12 Details correlation analysis between deck areas and environmental load

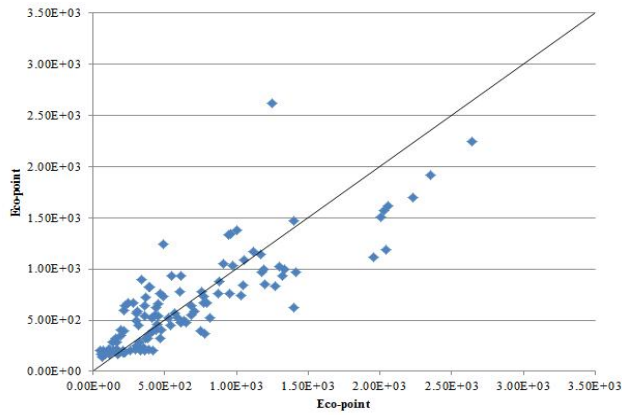


Fig 4.13 Details correlation analysis between length and environmental load

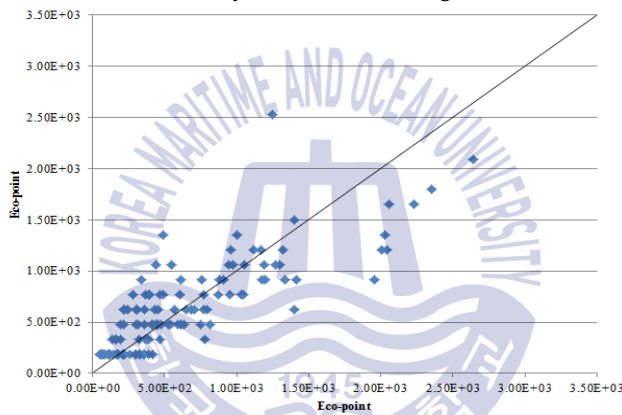


Fig 4.14 Details correlation analysis between number of span and environmental load

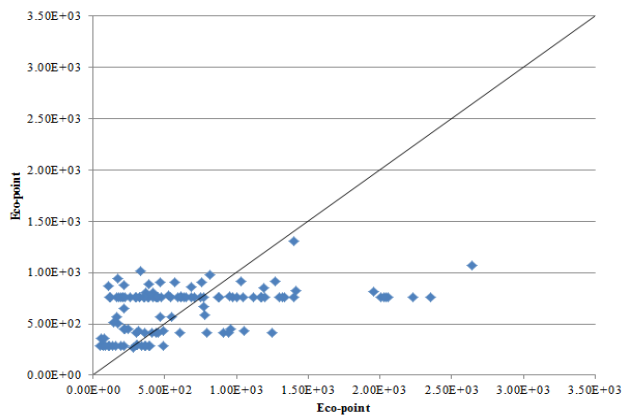


Fig 4.15 Details correlation analysis between width and environmental load

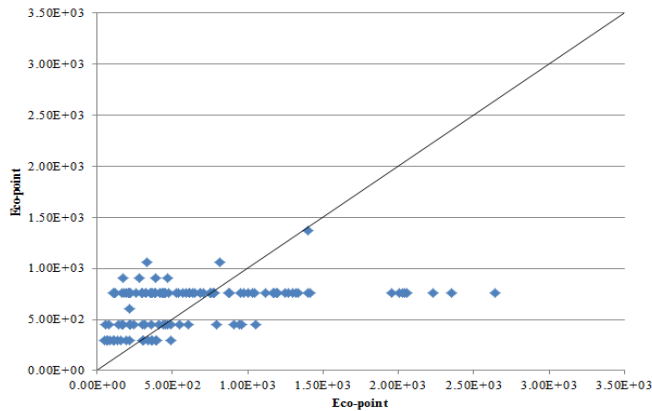


Fig 4.16 Details correlation analysis between number of road and environmental load

4.3 소결

본 장에서는 강박스교량의 상관성 분석을 실시하였다. 영향요인 후보군을 선정하였으며 각각의 영향요인에 대하여 환경부하량과의 상관성 분석과 상세 상관성 분석을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 기획단계에서의 가용정보는 대단히 제한적이며, 교량의 연장, 폭원, 차로수, 상부면적 등이 있다.
- (2) 상관성분석의 결과 공사비, 재료비, LCI DB 연계 금액, 상부면적의 경우 결정계수 R^2 의 값이 0.5 이상으로 환경부하량과 높은 상관관계를 갖는다고 할 수 있으며, 연장, 경간수, 폭원, 차로수의 경우 환경부하량과 낮은 상관관계를 갖는다. 상세 상관성 분석에서도 마찬가지로의 결과를 확인할 수 있다.

제 5 장 사례기반추론을 이용한 환경부하 산정 모델

5.1 사례기반추론에 기초한 모델 구축방법

5.1.1 사례기반추론

본 연구에서는 환경부하 산정 모델을 개발하기 위하여 사례기반추론(Case-Based Reasoning, CBR)을 바탕으로 모델을 제작하였다. 사례기반추론이란 과거에 있었던 사례들의 결과를 바탕으로 새로운 사례의 결과를 예측하는 기법이다. Kolodner, J는 사례기반추론 기법을 '새로운 요구에 부응하기 위해 과거 해를 적용시키고, 새로운 상황을 설명하기 위해 과거 사례를 사용하고, 새로운 해를 평가하기 위해 과거 사례를 사용하거나 새로운 문제에 대한 유용한 해를 도출하기 위해 과거 사례로부터 추론하는 것이다.'라고 정의하고 있다. (Kolodner, J. 1993)

이와 같이 사례기반추론의 기본적인 아이디어는 인간이 사고하는 과정에서 과거의 문제에 사용되었던 해결책을 새로운 문제의 해결을 위해서 사용하는 것이다. 즉, 사례기반추론은 전혀 새로운 해결안을 제시하는 혁신적인 기법이라기 보다는 과거의 유사한 사례로부터 해결방안을 도출하는 추론기법이다.

사례기반추론의 처리과정은 문제해결에 있어 기존 사례를 활용하는 사람의 의사결정 과정과 유사하다. 예를 들어 우리가 새로운 문제에 부딪혔을 때, 우리는 새로운 사례와 유사한 기존 사례를 생각하고, 다양한 방면에서 신규사례와 유사사례를 비교하여 최적의 대안을 제시할 수 있다. 즉, 기존 경험과 이와 관련된 처리 결과를 비교하여 새로운 문제에 대한 처리방법을 결정할 수 있다.

사례기반추론에서 사례(Case)는 핵심 부분이며, 사례베이스(Case Base)는 이

러한 사례들을 집적한 것이다. 또한 사례베이스(Case Base)에 내재된 값은 인위적으로 만들어진 것이 아닌, 과거에 발생한 실제 값을 사용하고 새로운 문제 해결에 있어서 주어진 조건에 적합한 과거 사례를 적용하거나 유추, 또는 변형하는 과정을 통하여 보다 개선된 해결안을 제시한다.

사례기반추론은 일반적으로 조회(Retrieve), 재사용(Reuse), 수정(Revise), 저장(Retain)의 4단계로 구성된다. 조회(Retrieve)단계는 구축된 조회사례 데이터베이스에서 가장 유사한 사례들을 조회하는 단계이다. 재사용(Reuse)단계는 문제를 해결하기 위해 조회된 사례를 이용하여 분석하는 단계이다. 수정(Revise)은 가장 유사한 사례를 추출한 이후에 새로운 문제의 특성을 반영하기 위하여 기존의 해를 수정하는 과정이다. 저장(Retain)은 문제해결에 적용된 새로운 해결책을 향후의 새로운 문제에 사용할 수 있도록 사례 데이터베이스에 저장하는 단계이다. Fig 5.1은 사례기반추론의 프로세스를 나타내었다.

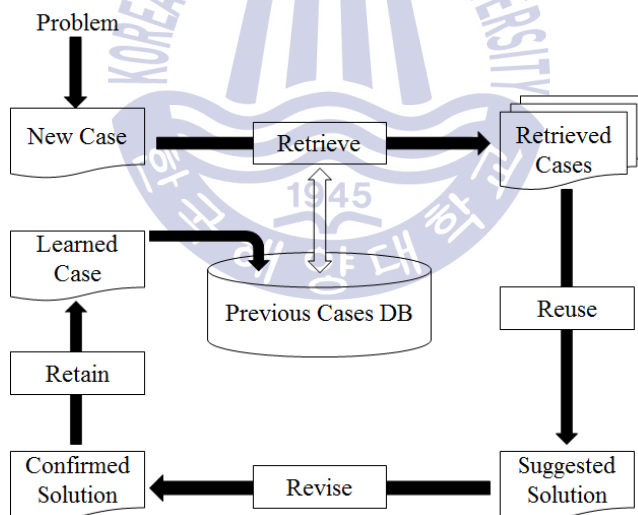


Fig 5.1 4 steps of case-based reasoning

사례기반추론을 이용하기 위해서는 일반적으로 과거의 사례와 사례들 사이의 유사 정도를 측정하기 위한 유사도 척도가 준비되어야 한다. 사례기반추론의

정확도에 가장 큰 영향을 주는 유사사례 조회방법은 귀납적 조회방법(Inductive retrieval method), 지식기반 조회방법(Knowledge-based retrieval method), 최근접 추출방법(Nearest-neighbor retrieval method)의 3가지로 구분할 수 있으며, 이 세 가지 방법을 조합하여 사용하기도 한다. Table 5.1은 사례기반추론의 유사사례 조회방법 3가지를 나타내었다.

Table 5.1 A method of retrieving similar cases of CBR

유사사례 조회방법	상 세 내 용
귀납적 조회방법	의사결정 맵을 작성하는 추론알고리즘에 의해 분석 조회속도가 빠름 사례 데이터가 누락될 경우 유사사례 조회 불가능
지식기반 조회방법	기존의 분야별 지식을 적용 규칙기반 시스템과 유사
최근접 추출방법	사례 데이터베이스에서 일정한 유사성 척도 산정 유사한 사례를 추출한 후 가중 합계하여 대응시킴 사례의 수가 증가할수록 조회시간이 증가함 사례의수가 적을수록 유리

5.1.2 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘은 1970년대 초 Holland에 의해 본격적으로 연구되기 시작한 학문으로서 자연 유전학 및 자연 도태의 원리(The genetics and natural selection)에 근거한 최적화 기법의 일종이다. 이것은 해공간을 확률적으로 탐색하는 것과 동시에 개체간의 체계적 정보교환을 통하여 주위 환경에 가장 적절한 해를 구하는 방법이다.

자연 진화의 법칙인 적자생존과 자연도태의 원리를 토대로 최적의 해를 찾는 알고리즘으로서, 두 개의 부모 유전자로부터 그들 자손의 유전자를 형성하는 유성생식과 자연환경에서 일어나는 진화원리를 흉내 내는 것을 모태로 발전한 문제해결 방식이다. 주로 복잡한 문제해결 과정에서 점진적으로 문제를 개선해 나가는 방법을 이용한다.

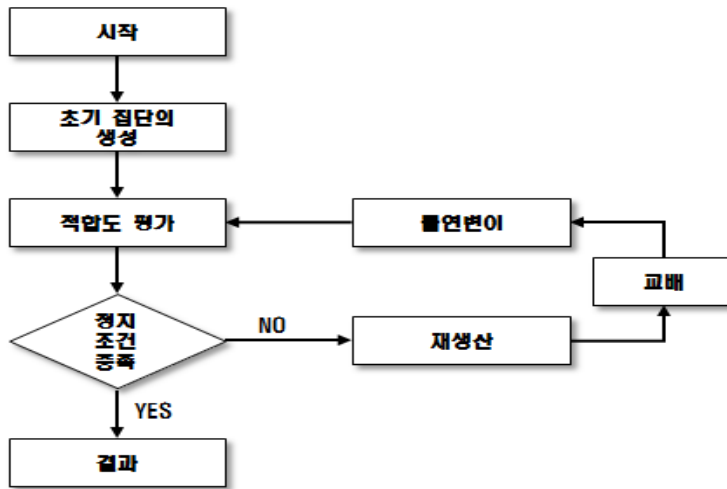


Fig 5.2 Composition of genetic algorithm

Fig 5.2는 유전자 알고리즘의 구성이다. 유전자 알고리즘은 적합도 평가, 재생산, 교배, 돌연변이의 4단계를 거치게 된다. 초기단계에 해가 될 수 있는 개체들은 해공간 내에서 무작위로 선택되거나 경험적인 방식을 이용하여 선택된다. 선택된 개체들은 적합도 평가를 통해 선별되는 과정을 거치게 되며 재생산과정에서 적합도가 높게 평가된 개체들을 선택하여 다음 세대에 전이하고, 그렇지 못한 개체들은 소멸시킨다. 적합도 평가에서 선택된 개체들은 교배를 통해 재결합되고 유전정보 교환과정을 통해 돌연변이에서 새로운 개체를 만들어낸다. 진화가 거듭될수록 적합도가 높은 개체들로 변화하게 되고, 최적의 해로 수렴하게 되며, 한 세대 동안 이러한 과정을 거친 집단은 다시 평가되어 최적의 해가 발견될 때까지 반복된다.

유전자알고리즘에서 해를 도출하는 과정은 한 개의 해를 위한 과정보다는 집단을 단위로 추출하며, 도출되는 결과가 결정적이기 보다는 확률적이라는 특성을 가지고 있다. 본 연구에서는 유전자 알고리즘을 영향요인에 대한 가중치를 산정하는데 적용하였으며, 적용방법은 Fig 5.3과 같다.

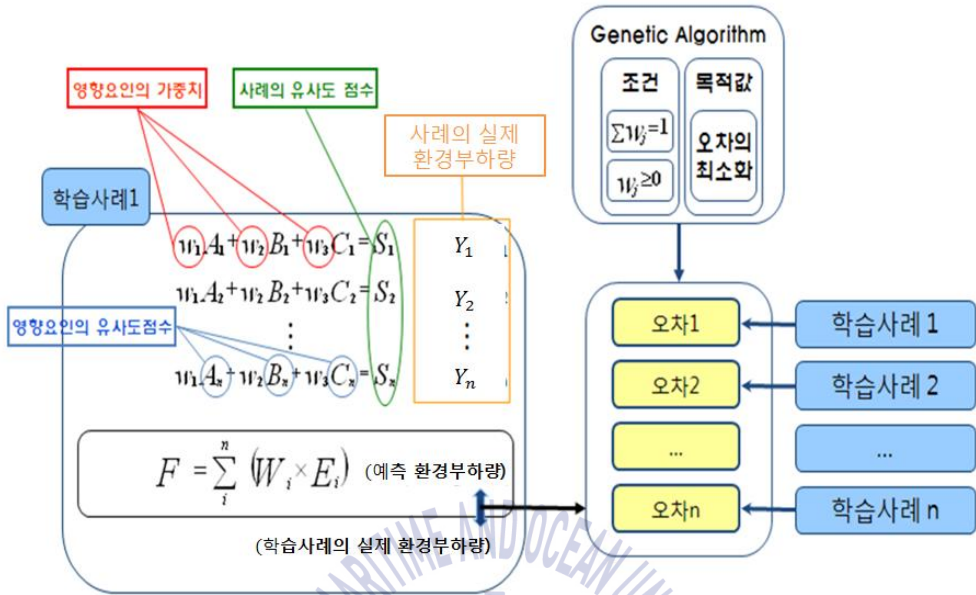


Fig 5.3 Case learning using genetic algorithm

유전자 알고리즘을 이용하여 추정 편차를 최소화하는 환경부하량 영향요인에 대한 가중치를 산정하기 위한 과정은 그림과 같다. 먼저 기존 사례를 바탕으로 Case Base를 구성하고, 가중치를 산정하기 위한 학습의 과정을 다음과 같이 수행한다. 환경부하량 영향요인에 대한 유사도 점수에 각 영향요인의 중요도인 가중치를 곱하여 신규(학습)사례에 대한 Case Base에 저장되어 있는 각 사례와의 유사도 점수를 산정한다. 이때 각 영향요인에 대한 가중치는 학습과정을 통하여 신규사례에 대한 추정된 환경부하량의 편차를 최소화하고자 하는 목적함수를 만족시키기 위한 변수(Changing cells)로 설정한다. 가장 유사도가 높은 \$n\$개의 사례에 대한 환경부하량(solution)에 유사도 점수를 이용하여 가중 평균값을 신규(학습)사례의 추정 환경부하량으로 한다. 추정 환경부하량과 신규(학습)사례의 실제 환경부하량과 비교를 통하여 환경부하량 추정편차를 구한다. 이러한 과정을 반복하여 각 신규사례의 환경부하량을 예측하고 추정편차를 구하는 학습과정을 수행하며 이러한 학습의 과정에서 모든 신규학습사례에 대한 추정 환경부하량 편차 평균값을 최소화하는 것을 목적 함수로 설정한다. 유전자

알고리즘을 이용하여 목적함수를 만족시키는 환경부하량 추정 영향요인에 대한 가중치를 산정한다.

5.2 환경부하 산정 모델

5.2.1 사례기반추론에 기초한 환경부하 추정

기존 환경영향평가 단계에서의 LCA 기반 환경부하 평가 방법들은 상세설계 결과를 기반으로 원단위 데이터를 활용하고 있다. 따라서 가용한 정보가 제한된 기획단계나 기본설계, 실시설계 초기단계에서의 환경부하평가가 어려워 신속한 대안 선택이 필요한 사업초기 단계의 의사결정에 한계가 있다.

사업이 추진됨에 따라 단계별로 주요 설계사항에 대한 여러 대안들을 검토하게 되는데 현재는 환경부하량에 대한 분석은 미흡한 상황이다. 그러한 원인으로서는 현재 환경부하 산정 방법에서 상세설계 정보를 바탕으로 물량을 산출하여 환경부하량 산정에 필요한 주요 자재 및 에너지 사용량에 대한 수량 정보가 필요하나, 기획단계에서 이를 파악할 수 없어 환경부하량 산정이 불가능하다. 또한 실시설계단계에서 상세 물량 정보로 환경부하를 산정하여 설계 대안별 환경부하 비교 시 상당한 시간 및 인력이 소요되어 잦은 설계대안의 변경에 따른 환경부하에 따른 의사결정 대응이 매우 어렵다.

이를 개선하기 위하여 본 연구에서는 사업 초기 단계에서의 가용한 정보를 기반으로 보다 신뢰성 있는 환경부하량 추정을 지원하기 위해 기획단계에 적용할 수 있는 사례기반추론을 활용한 환경부하 평가모델을 구축하고자 한다.

강박스교량의 경우 예비타당성 조사단계에서 의사결정 시 이용할 수 있는 가용정보는 대단히 제한적이며 연장, 폭원, 차로수, 가설위치(육상/하상) 등을 꼽을 수 있다. 본 연구에서는 강박스교량의 가용정보 수준 및 특성에 따라 CBR I, CBR II로 두 가지의 모델을 제안하고자 한다. CBR I은 기획단계(예비타당조사)에서 연장, 폭원, 차로수 등 일부 정보만을 바탕으로 환경부하량 추정을 위한 용도로 사용될 수 있으며, CBR II는 타당성 조사 및 기본설계단계에서 연

장, 폭원, 차로수, 가설위치, 경간수, 하부공간면적 등의 좀 더 상세 정보를 이용하여 보다 신뢰성 있는 환경부하량 산정을 위한 용도로 사용될 수 있다. CBR 모델의 프로세스는 Fig 5.4와 같다.

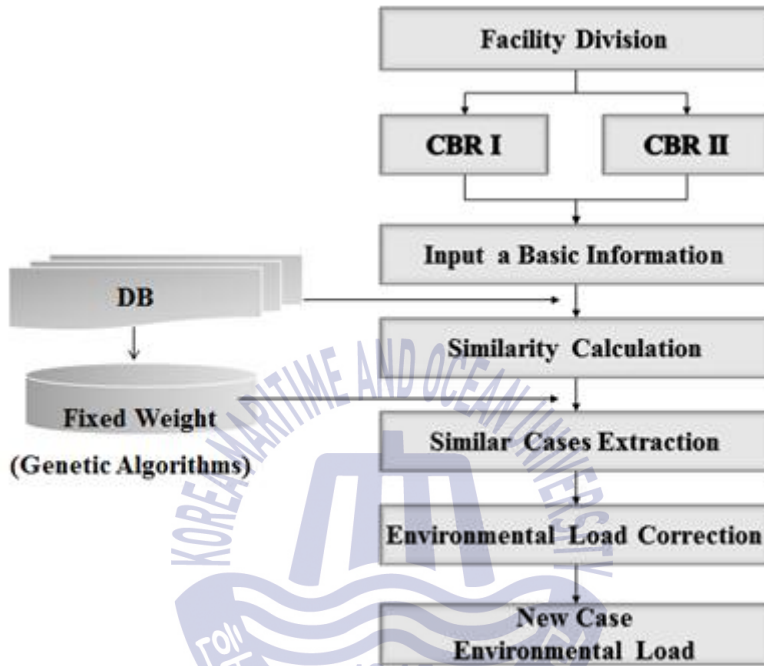


Fig 5.4 Process of CBR model

본 연구에서 모델은 사업수행단계별 가용 정보가 다르다는 점을 반영하여 두 가지로 구축하였다. CBR I 모델은 과업기본구상 단계 시 획득할 수 있는 기본적인 정보를 모델의 영향인자로 선정하였고, 입력변수는 연장, 폭원, 상부면적, 차로수를 사용하였다. CBR II 모델은 설계 초기단계 시 획득할 수 있는 세부적인 정보를 모델의 영향인자로 선정하였고, 입력변수는 CBR I 모델의 입력변수인 연장, 폭원, 상부면적, 차로수에 가설위치, 경간수, 최대경간장, 교각높이, 기초형식을 추가하여 9가지 입력변수를 사용하였다. Fig 5.5는 본 연구에서 개발한 CBR 모델의 입력변수와 입력변수의 data 형태를 나타내었다.

사례베이스의 유사도 점수 부여는 다음과 같다. 각 영향요인별 유사도 점수에 각 영향요인의 가중치를 부여하여 가중치가 부여된 각 영향요인의 유사도 점수를 합계하였다.

$$S_i = \sum_j^n (I_j \times w_j) \quad (3)$$

여기서,

S_i : 사례 i 의 유사도 점수

I_j : 영향요인 j 의 유사도 점수

w_j : 영향요인 j 의 가중치

환경부하량 보정에는 유사도 산정기준에 따라 상위 유사사례를 추출하고 추출된 유사사례의 실제 환경부하량을 신규사례(추정하고자 하는 사례)에 적합하도록 교량의 환경부하량이 상부면적에 비례하는 특성을 이용하여 추출된 상위 유사사례의 환경부하량을 상부면적 비율로 보정한다.

$$E_i = \sum_i^n (R_i \times C_i) \quad (4)$$

여기서,

E_i : 유사사례 i 로부터 신규사례에 대한 추정 환경부하량

C_i : 유사도 점수가 상위인 유사사례 i 의 환경부하량

R_i : 신규사례의 유사사례 i 에 대한 상부면적 비율

신규 환경부하량 예측은 가중평균값을 적용한다. 신규 환경부하량을 추정하기 위하여 추출된 상위 유사사례의 보정 환경부하량에 유사도 점수의 가중치를 곱한다.

$$W_i = \frac{S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (5)$$

여기서,

W_i : 추출된 유사사례 i 의 유사도 가중치

n : 추출된 유사사례의 수

신규 환경부하량 추정은 가중 평균값을 적용한 추정 환경부하량의 합이다.

$$F = \sum_i^n (W_i \times E_i) \quad (6)$$

여기서,

F : 신규사례에 대한 추정 환경부하량



5.2.2 사례기반추론에 기초한 환경부하 산정모델 검증

구축된 사례 DB 중 기획단계 환경부하 산정 모델은 120개의 분석대상 사례 교량 중 임의로 10개를 제외하며, 5개는 학습사례(속성정보가중치의 최적화)로 사용하고 나머지 5개는 모델의 검증에 사용하였다. 그리고 남은 110개의 교량은 CBR 모델의 조회사례DB로 이용하였다.

Table 5.3은 학습사례의 현황, Table 5.4는 검증사례 현황을 나타내었다. 학습사례와 검증사례는 각 영향요인이 다양하게 분포되도록 선정하였다.

Table 5.3 Learning case

	연장	폭원	상부면적	차로수	가설위치	경간수	최대경간장	교각 높이	기초 형식	공사비	Cut-off	환경부하량
1	80	7.9	632	1	하상	2	40	19.251	1	₩919,554,849	89.23%	1.36E+02
2	135	20.9	2821.5	4	하상	3	50	11.229	3	₩4,297,679,183	91.60%	5.40E+02
3	170	21.14	3593.8	4	육상	4	45	20.051	3	₩5,183,464,054	80.84%	4.33E+02
4	50	27.9	1395	6	육상	1	50	1	1	₩2,213,404,661	86.61%	3.31E+02
5	200	7.9	1580	1	육상	4	55	1	2	₩2,809,754,160	89.83%	3.61E+02

Table 5.4 Verification case

	연장	폭원	상부면적	차로수	가설위치	경간수	최대경간장	교각 높이	기초 형식	공사비	Cut-off	환경부하량
1	200	23.675	4735	4	하상	4	55	15.3523	3	₩6,935,349,497	78.37%	6.85E+02
2	105	20.9	2194.5	4	하상	2	55	10.5911	1	₩4,093,510,750	88.09%	3.88E+02
3	150	11.4	1710	2	하상	3	58	10.91	3	₩2,734,183,778	86.82%	3.01E+02
4	230.23	18.5	4259.255	4	하상	5	50	5.4	2	₩7,276,809,337	86.48%	7.72E+02
5	872.5	11.4	9946.5	4	하상	17	65	19.3403	1	₩14,687,037,761	76.39%	1.25E+03

Table 5.5는 영향요인별 가중치를 나타낸다. 유전자 알고리즘을 이용하여 CBR I 모델의 영향요인별 가중치를 산정해본 결과 상부면적과 연장이 0.33으로 높게 나타났으며, 폭원 0.17, 차로수 0.16 순으로 나타난다. CBR II 모델의 영향요인별 가중치는 가설위치가 0.21, 기초형식이 0.21로 높게 나타나며 그 다음으로 상부면적이 0.18의 값을 가지며 최대경간장, 경간수 순으로 나타난다.

Table 5.5 Weight of impact factor

구분	연장	폭원	상부 면적	차로수	가설 위치	경간수	최대 경간장	교각 높이	기초 형식
CBR I	0.333331	0.174756	0.333332	0.158581	-	-	-	-	-
CBR II	0.064441	0.024579	0.182654	0.019128	0.212351	0.102966	0.167987	0.01552	0.210375

CBR 모델과 비교 분석하기 위하여 영향요인 중 상대적으로 상관성이 높은 상부면적과 연장에 대하여 원단위분석 모델을 제작하였다. 120개 대상 교량 중 CBR 모델에 검증사례로 쓰인 5개의 교량을 제외한 115개 교량의 환경부하를 상부면적과 연장으로 각각 나누어 회귀분석을 실시하였다. Fig 5.6은 상부면적에 대해 원단위분석을 실시한 그래프이다. 추세선 식은 $y = 0.1533x + 88.979$ 이며 결정계수 R^2 은 0.8745이다. Fig 5.7은 연장에 대해 원단위분석을 실시한 그래프이다. 추세선 식은 $y = 2.9372x + 55.027$ 이며 결정계수 R^2 은 0.6987이다.

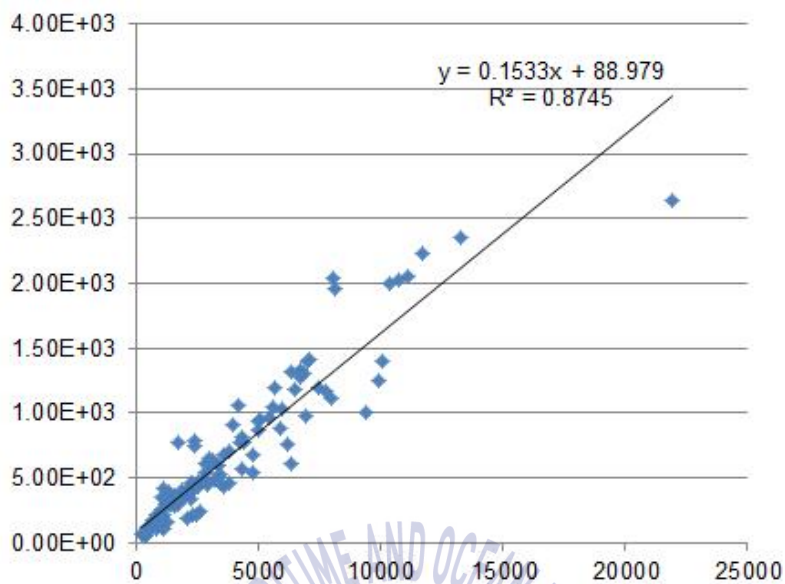


Fig 5.6 basic requirement analysis of deck areas

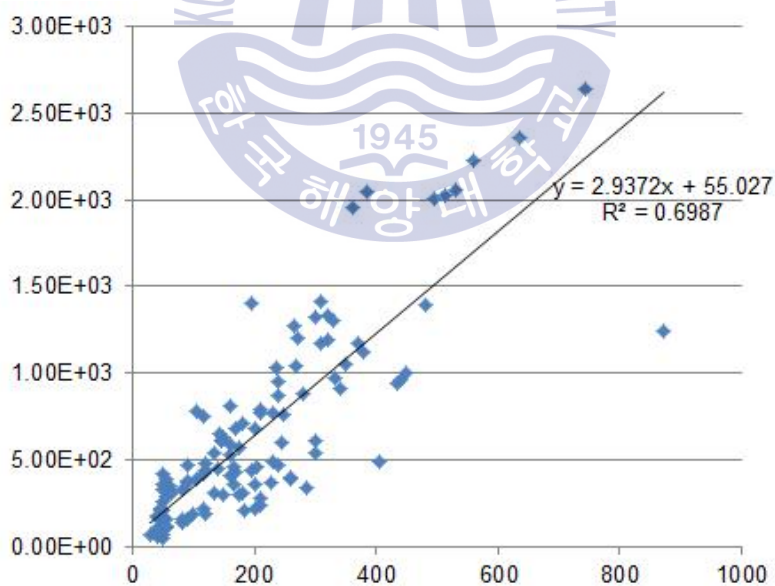


Fig 5.7 basic requirement analysis of length

Table 5.6 Result of basic requirement analysis model

검증 사례	실제 환경부하량	원단위분석 모델					
		연장			상부면적		
		예측값	정확도	오차율	예측값	정확도	오차율
1	6.85E+02	6.84E+02	99.90%	-0.10%	9.21E+02	134.45%	34.45%
2	3.88E+02	3.59E+02	92.60%	-7.40%	4.27E+02	110.01%	10.01%
3	3.01E+02	5.13E+02	170.52%	70.52%	3.33E+02	110.50%	10.50%
4	7.72E+02	7.88E+02	102.04%	2.04%	8.28E+02	107.31%	7.31%
5	1.25E+03	2.99E+03	238.84%	138.84%	1.93E+03	154.77%	54.77%
평균오차율		43.78%			23.41%		
편차		63.23%			20.68%		

Table 5.7 Result of CBR model

검증 사례	실제 환경부하량	CBR 모델					
		CBR I			CBR II		
		예측값	정확도	오차율	예측값	정확도	오차율
1	6.85E+02	8.29E+02	120.97%	20.97%	8.17E+02	119.28%	19.28%
2	3.88E+02	4.84E+02	124.64%	24.64%	4.53E+02	116.86%	16.86%
3	3.01E+02	3.47E+02	115.32%	15.32%	3.48E+02	115.58%	15.58%
4	7.72E+02	7.72E+02	100.02%	0.02%	7.34E+02	95.13%	-4.87%
5	1.25E+03	1.76E+03	140.99%	40.99%	1.60E+03	127.83%	27.83%
평균오차율		20.39%			16.88%		
편차		14.86%			12.06%		

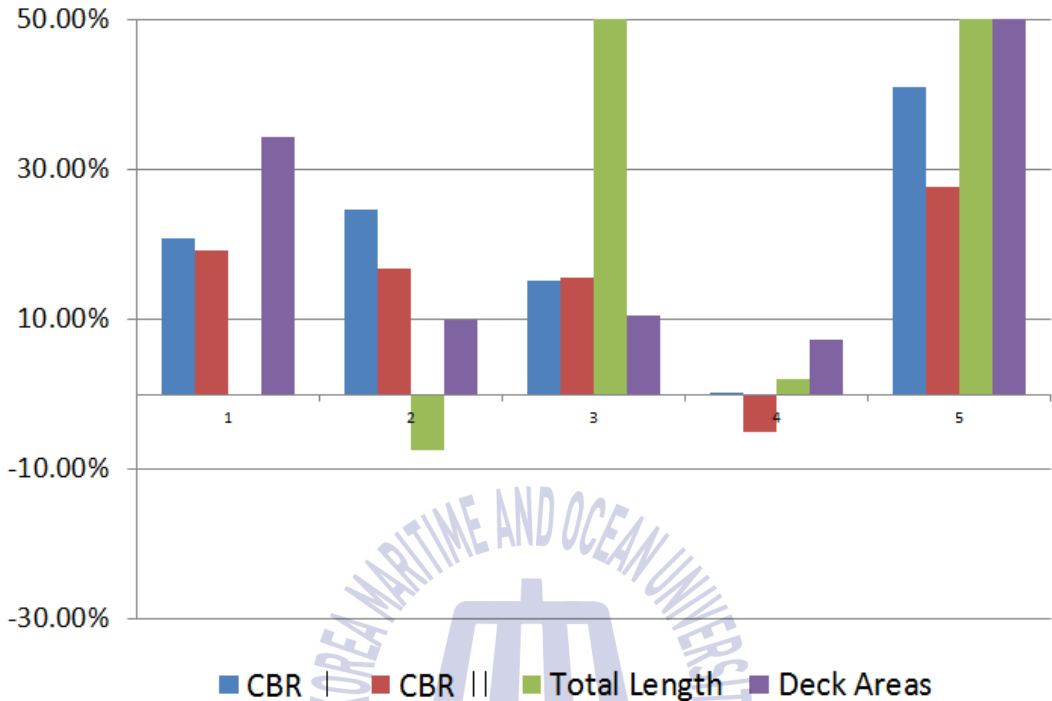


Fig 5.8 Comparison of CBR model and basic requirement analysis model

Table 5.6은 원단위분석 모델의 결과이고, Table 5.7은 CBR 모델의 검증 결과이다. Fig 5.8은 CBR 모델과 원단위분석 모델의 결과값의 비교이다. 본 연구에서 제시한 사례기반추론 모델과 환경부하량과의 상관관계가 높은 요인을 이용한 회귀분석 모델의 예측값을 비교하였다. 본 연구에서 제시한 CBR I 모델은 평균 오차율 20.39%, CBR II 모델은 평균 오차율 16.88%로 두 모델 모두 신뢰도 25% 이내에 들어오며, 원단위분석 모델보다 더 나은 신뢰도를 보인다. 현재 환경부하량의 추정에 대한 정확도와 관련한 연구나 기준이 정립되어 있지 않기 때문에 본 연구에서는 AACE(Association for the advancement of engineering)에서 기획단계 공사비 추정 모델의 정확도로 권장하고 있는 $\pm 25\%$ 의 오차를 목표로 하였다.

5.3 소결

본 장에서는 사례기반추론을 이용한 강박스교량의 환경부하 산정 모델에 대하여 기술하였다. 사례기반추론과 유전자알고리즘의 기본 내용을 정리하였으며, 환경부하 산정 모델의 개요 및 검증 결과를 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) CBR I 모델에서 영향요인 가중치는 상부면적, 연장, 폭원, 차로수 순으로 가중치가 큰 값을 갖는다. CBR II 모델에서는 가설위치, 기초형식, 상부면적, 최대경간장, 경간수, 연장, 폭원, 교각높이 순으로 가중치가 큰 값을 갖는다.
- (2) 원단위분석 모델과 CBR 모델의 검증 결과 CBR I 모델의 평균오차율은 20.39%, CBR II 모델의 평균오차율은 16.88%로 두 모델 모두 신뢰도 25% 이내에 들어오며, CBR I 모델의 편차는 14.86%, CBR II 모델의 편차는 12.06%로 신뢰도 15% 이내이다. 이는 상부면적과 연장에 대한 원단위분석 모델보다 더 나은 신뢰도를 보인다.

제 6 장 결론 및 향후 연구

6.1 결론

본 연구에서는 강박스교량을 대상으로 환경부하 산정을 위한 기초자료를 제공하는 것을 목적으로 기존 설계도서 및 내역서, 수량산출서에 기초하여 환경부하량을 산정하고 영향요인과의 상관성 분석을 실시하였다.

또한 사례기반추론을 이용한 기획단계에서의 강박스교량의 환경부하 산정 모델을 제시하고 검증하였다.

이상의 연구과정에 의해 도출된 결론은 다음과 같다.

- (1) 강박스교량의 형식, 폭원, 차로수, 경간수, 교각높이 등의 기본 제원에 관한 자료 및 분석 결과는 향후 강박스교량의 기본 설계 시 단면 제원 등의 결정 과정 중의 기초 자료로서 활용될 수 있을 것으로 판단된다.
- (2) 본 연구에서 산정한 환경부하량과 환경부하 산정 모델을 기초로 향후 설계될 강박스교량의 예상 환경부하량을 추정할 수 있으므로 추후 기획단계에서 환경오염에 대한 대책을 마련할 수 있을 것으로 판단된다.
- (3) 사업 기본 구상단계에서 얻을 수 있는 기본적인 영향요인을 사용한 CBR I 모델보다 예비타당성 조사 및 설계 초기 단계에서 얻을 수 있는 세부적 영향요인을 사용한 CBR II 모델의 환경부하 오차율이 더 낮으므로 CBR II 모델의 신뢰도가 높은 것을 알 수 있다.

6.2 향후 연구

본 연구에서 구축한 CBR 모델의 사례 DB에 쓰인 교량의 수가 110개로 많은 사례베이스가 구축되었다고 할 수 없기 때문에 추후 연구에서 사례데이터를 추가 및 보완하여 환경부하 산정 모델의 성능을 지속적으로 검증하고 정확도를 향상시키면 사업추진 의사결정 과정에서 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단한다. 본 연구에서 제시한 환경부하 산정 모델의 실무 적용성에 대한 분석과 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다. 환경부하 산정 모델을 사용하는 사용자의 사용성과 실무 적용성이 중요하므로 모델의 신뢰성이 더 개선되어야 할 것으로 판단한다.



참고문헌

1. 국토해양부, 2008. *국토건설공사 설계실무요령*. 국토해양부.
2. 김상호, 최문석, 조광일, 윤지현, 2011. *강교량 구조물의 환경적합성에 관한 전과정평가*. 대한토목학회논문집 A, 제31권, 제4호, pp.269-278.
3. 이시영, 변순주, 박상길, 조규혁, 2008. *전과정평가(LCA)를 이용한 공공시설 물에서의 환경부하량에 따른 환경영향평가에 관한 연구*. 대한토목학회지, Vol.56, No.5, pp.47-53.
4. 이철, 이재영, 정우성, 황용우, 2014. *LCA를 이용한 고속철도 건설단계에서의 환경부하 특성에 관한 연구*. 한국철도학회논문집, Vol.17 No.3, pp.178-185.
5. 전찬혁, 신의철, 최진웅, 홍성남, 박선규, 2014. *21m 모듈러 강거더교량의 CO2 배출량 분석*. 한국구조물진단유지관리공학회 학술발표대회 논문집, 제 18권, 제2호, pp.59-62.
6. 정민선, 경갑수, 전은경, 권순철, 2011. *사례기반추론을 이용한 강박스거더교의 개략공사비 산정 및 검증*. 한국강구조학회 논문집, Vol.23, No.5, pp.557-568.
7. 정지영, 조광일, 최문석, 노형민, 김상호, 2010. *교량의 폐기 및 재활용 단계를 고려한 환경적합성 평가*. 한국강구조학회 학술대회 발표집, 2010-06, pp.43-44.
8. 최두성, 전홍찬, 안준영, 2012. *주요자재 선정을 통한 공동주택 건설단계에서의 환경부하 배출량 예측*. 대한건축학회 논문집, Vol.28 No.6, pp.237-246.
9. 홍태훈, 지창윤, 정광복, 2012. *전과정평가(LCA) 방법을 이용한 건축물에 대한 환경영향 평가 방법*. 한국건설관리학회 논문집, 제13권, 제5호, pp.84-93.
10. Chikada, T., Inoue, T., Kuwahara, M., 1999. *Life Cycle CO₂ Emission Concerning Housing and Daily Life*. Building Simulation-Conference.

International Building Performance Simulation Association, Vol.6, No.2, pp. PB-08.

11. Collings, D., 2006. *An environmental comparison of bridge forms*. Proceedings-Institution of Civil Engineers Engineering Sustainability, Vol.159, No.4, pp,163-168.
12. Florida Department of Transportation, 2011. *Pavement Type Selection Manual*. Florida Department of Transportation, USA.
13. Junnila, S., Horvath, A., 2003. *Life-Cycle Environmental Effects of an Office Building*. Journal of infrastructure systems, Vol.9, No.4, pp.157-166.
14. Koichiro Nakatsu, Hitoshi Furuta, Kyosuke Takahashi, Ken Ishibashi, Masahiro Uchida, 2013. *Effectiveness of Optimization for Bridge Maintenance Planning*. Proceedings of International Symposium on Steel Structures 2013, KSSC, 2013-11, pp.184-185.
15. Kolodner, J., 1993. *Case-Based Reasoning*, Morgan Kaufmann Publisher, Inc.
16. Tilche, A., Galatola, M., 2008. *Life Cycle Assessment in the European Seventh Framework Programme for Research*. International Journal of Life Cycle Assessment, Ecomed Publishers, Vol.13, No.2, pp. 166-167.
17. Young, S. B., 2003. *Life Cycle Assessment in Canada*. International Journal of Life Cycle Assessment, Ecomed Publishers, Vol.8, No.6, pp. 321-322.