Journal of Korean Society of Steel Construction
Vol.30, No.6, pp.373-381, December, 2018

ISSN(print) 1226-363X ISSN(online) 2287-4054
DOI http://dx.doi.org/10.7781/kjoss.2018.30.6.373

표준물량을 이용한 Steel Box Girder교의 환경부하량 산정 모델에 관한 연구

이성진[1] · 경갑수[2*] · 박진은[3] · 전민영[4]

[1]박사후연구원, 한국해양대학교, 건설공학과, [2]교수, 한국해양대학교, 건설공학과, [3]연구교수, 한국해양대학교, LINC+사업단, [4]박사과정, 한국해양대학교, 건설공학과,

A Study on Environmental Load Estimation Model of Steel Box Girder Bridge using Standard Quantity

Lee, Sung Jin[1], Kyung, Kab Soo[2*], Park, Jin Eun[3], Jeon, Min Yeong[3]

[1]Post Doctor, Dept. of Civil Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan, 49112, Korea
[2]Professor, Dept. of Civil Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan, 49112, Korea
[3]Research Professor, LINC+ Cooperation, Korea Maritime and Ocean University, Busan, 49112, Korea
[4]Doctor course, Dept. of Civil Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan, 49112, Korea

Abstract - With global climate change and many environmental pollution problems, many countries are making efforts to reduce environmental pollution through international policies and activities. In the domestic construction industry, various studies are carried out through the Life Cycle Assessment (LCA) technique in relation to environmental policy. In this study, the environmental load assessment model using the existing case based reasoning was upgraded. In addition, environmental load estimation model using standard quantity was constructed to evaluate the environmental load with only basic design information at the design phase. The validated standard quantity based on environmental load evaluation model was compared with the existing environmental load assessment model. The absolute average error rate is very small, which is considered to be highly reliable.

Keywords - Environmental Load, Steel Bridge, LCA, Design phase, Standard Quantity

1. 서 론

전세계적으로 기후변화 및 환경오염에 대한 많은 문제가 발생하여 많은 국가들이 '리우회의', '교토의정서', '파리협정' 등과 같은 국제적인 정책 및 활동을 통하여 환경오염을 줄이려는 노력을 기울이고 있다[1].

국내에서도 이러한 국제적인 정책 및 활동에 발맞추기 위하여 다양한 방법으로 노력하고 있다. 국토교통부에서는 '탄소배출량 산정 가이드라인'을 발행하였으며[2], 산업통상자원부에서는 Korea Indicator 환경성 지표 방법론을 구축하였다. 건설산업 분야에서도 국내외 환경 정책과 관련하여 다양한 연구들을 수행하고 있으며[3],[4],[5], 특히 전과정평가(Life Cyle Assessment, LCA)기법을 통한 연구가 활발히 진행되었다[6],[7],[8],[9],[10].

현재 일반적으로 SOC 시설물의 환경부하에 대한 평가는 환경부, 환경산업기술원에 의해 개발된 TOTAL(Tool for Type Ⅲ labelling and LCA)이라는 소프트웨어를 사용하고 있는데, 국내 다른 LCA 소프트웨어에 비해 사용법이 비교적 간단하다고 알려져 있다. TOTAL을 이용한 환경부하량 산정 절차는 설계자료 및 내역서 자료를 이용하며, 도출된 자재수량에 적용 가능한 LCI DB를 매칭 후 프로그램을 이용하여 환경부하량에 대한 특성화, 가중화 값을 도출한다. 그러나 설계자료 및 내역서 등의 많은 자료를 필요로 하기 때문에 사업의 기획단계 또는 설계 초기단계에서의 환경부하에 대한 평가가 이루어지기 어렵다.

이 연구에서는 SOC 시설물 중 강교량 설계가 진행됨에 따라 가용할 수 있는 정보를 바탕으로 환경부하량을 산정하는 모델을 구축하는 것을 목표로 하였다. 선행연구[11]에서는 사업 초기단계에서 제한된 정보를 바탕으로 신뢰성 있는 환경부하량의 추정을 지

Note.-Discussion open until June 30, 2019. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on October 26, 2018; revised November 20, 2018; approved on November 21, 2018.
Copyright ⓒ 2018 by Korean Society of Steel Construction
*Corresponding author.
Tel. +82-51-410-4464 Fax. +82-51-403-3762
E-mail. kyungks@kmou.ac.kr

원하기 위하여, 기존에 설계가 완료된 사례에 대한 환경부하량 DB를 바탕으로 신규 대상 시설물과 유사한 사례를 추출하고 이를 기반으로 신규 시설물의 환경부하량을 추정하는 사례기반추론(CBR, Case Based Reasoning)을 이용한 환경부하량 산정모델을 구축하였다.

사례기반추론을 이용하여 사업 초기 기획 및 기본설계단계의 강교량 환경부하량 예측모델을 구축하기 위하여 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)을 활용하였다. 유전자 알고리즘은 최소의 예측오차를 얻기 위하여 사례의 유사도 산정 및 유사사례의 추출에 필요한 속성별 가중치를 산정하는 방안이다.

이 연구에서는 기존에 구축된 기획단계에서의 사례기반추론에 기반한 환경부하량 산정 모델을 향상시켜 선행연구[11]에서 산정된 환경부하량과 비교분석하여 개선모델을 평가하였다. 그리고 설계단계에서의 표준물량 기반의 환경부하량 산정 모델을 구축하였으며, 이를 기획단계 환경부하량 산정모델과의 비교를 통하여 모델의 개선성을 검증하였다.

환경부하량 LCI DB는 사용가능한 국내 LCI DB, 국가 LCI DB 및 해외 LCI DB 중에 강교량 환경부하량 산정에 부합하는 122가지 LCI DB를 이용하였다.

2. 사례기반추론 기반 환경부하량 산정 모델

기획단계에서의 사례기반추론 환경부하량 산정 모델을 구축하기 위하여 환경부하량 사례 데이터는 2000년 이후에 설계 완료된 일반국도의 신설 및 확·포장공사 234개 사업을 대상으로 데이터를 수집하였다[12]. 이 중 사용가능한 130개 강교량의 기본 데이터를 이용하여 모델을 구축하였다.

기본 데이터로는 경간수, 경간구성, 최대경간장, 연장, 폭원, 상부면적, 행정구역 등이 있다. 각 강교량을 대상으로 내역서, EBS 파일, 수량산출서, 설계보고서 등을 분석하였으며 사례 DB 구축 현황을 Table 1에 나타내었다. Table 1에 나타낸 바와 같이 130개 강교량은 모두 steel box girder형식이며, 그 외 영향인자들인 경간수, 차로수, 기초형식, 가설위치 등은 매우 다양한 것을 알 수 있다.

CBR 기반 환경부하 평가모델은 수집한 설계 자료를 활용하고, 설계 사례별로 환경부하량을 산정하여 부하특성 분석을 통해 영향요인을 도출한다. 영향요인별로 유사도 평가방법에 따라 유사도 점수를 산출하여 신규 사례의 환경부하량을 추정할 수 있다. 또한 유사도 점수 산정 시 사례학습을 통한 영향요인별 유사도 평가방법을 유전자 알고리즘을 활용하여 최적화하였다.

최종 산정된 영향요인별 가중치를 Table 2에 나타내었다. 입력변수 중 연장, 폭원, 상부면적, 최대경간장, 하부높이는 숫자로 나타내었으며, 차로수, 가설위치, 경간구성, 기초형식, 행정구역은 문자열로 나타내었다. 문자열의 경우, 대조되는 두 사례의 특성이 완전히 일치하는 경우 100점을 부여하고 불일치하는 경우 0점을 부여하였다. 숫자의 경우 두 수간의 거리에 의해 그 유사성이 결정되어 점수를 부여하게 된다.

모델은 사업수행단계별 가용 정보가 다르다는 점을 반영하여 2가지 모델로 구축하였다. CBR Ⅰ 모델은 사업 기본구상 단계 시 획득할 수 있는 가장 기본적인 정보를 모델의 영향요인으로 선정하였다. CBR Ⅱ 모델은 사업 예비타당성 조사 및 설계 초기단계 시 획득할 수 있는 세부적인 정보를 모델의 영향요인으로 선정하였다.

선행연구[11]에서 CBR Ⅱ 모델의 영향요인은 행정구역을 제외한 9가지로 선정하여 환경부하량을 산정하였으나, 이 연구에서는 행정구역을 포함한 10가지 영향요인을 사용하여 환경부하량을 산정하였다. 영향요인이 증가함에 따라 영양요인별 가중치를 다시 최적화하였다. 또한 사용가능한 LCI DB의 수 및 강교량 사례 DB의 수가 증가하였다.

사례기반추론을 활용한 환경부하량 개산 예측모델은 영향요인의 속성값이 다양하게 분포되도록 구성하여 학습사례 10개, 검증사례 4개를 선정하였다. 사례기반추론 모델과의 비교를 위하여 학습사례 및 검증사례 DB를 제외한 116개의 사례를 바탕으로 강교량의 환경부하량을 산정하여 검증하였다. 검증사례로 사용한 강

Table 1. Collection status of steel bridge database

Property		No. of Cases	Property		No. of Cases	Property		No. of Cases
Type	STB	130	No. of span	1	26	Lanes	One	16
				2	13		Two	24
				3	19		Three	1
				4	16		Four	82
				5	15		Five	4
				6	13		Six	2
				7 more	28		Seven	1
Total		130			130			130
Foundation type	Spread	49	Erection location	on land	70			
	Pile	41		on water	60			
	Spread/pile	40						
Total		130			130			

Table 2. Weights and input forms of environmental load estimation model using CBR

Division	Weights by influencing factors									
CBR Ⅰ	Total length	Width	Deck area	Number of lanes	-					
	0.00067	0.42130	0.47587	0.10216						
CBR Ⅱ	Total length	Width	Deck area	Number of lanes	Erection location	Number of span	Maximum span length	Pier height	Foundation type	administrative district
	0.03555	0.14272	0.12580	0.11996	0.11992	0.11050	0.00945	0.15167	0.09180	0.09264
forms	number	number	number	text	text	text	number	number	text	text

교량은 선행연구[11]와의 비교를 위하여 선행연구[11]에서 검증에 사용한 4개의 강교량을 대상으로 하였다.

일반적으로 환경부하량 산정에서는 특성치와 가중치를 사용한다. 특성치는 투입재료의 목록분석을 실시한 후 분류된 목록의 영향범주 내에서 단위를 통일한 값으로서 각 항목이 다른 단위를 갖는다. 가중치는 각 영향범주별 환경부하량의 합산을 위하여 특성치를 정규화시켜 8가지 항목의 단위를 Eco-point로 통일한 값이다. 해외 연구에서는 환경부하 자료로 특성치 값을 많이 이용하는 추세이나, 이 연구에서는 국내 강교량에 대한 환경부하량을 각각 산정하고 이를 비교하는 것을 목적으로 하므로 가중치를 사용하였다[13].

5개 검증사례에 대한 선행연구[11]와 이 연구의 환경부하량 실제값과 비교한 결과를 Table 3에 나타내었다. 선행연구[11]에서 제시한 사례기반추론 환경부하 CBR Ⅰ 모델의 절대평균 오차율은 15.26%이며, 오차범위가 0.00% ~ +24.74%까지인 것으로 나타났다. 가용 정보가 보다 구체화된 CBR Ⅱ 모델에서는 절대 평균 오차율이 14.14%로 나타났으며, 오차범위는 −4.92% ~ +19.27%까지로 나타나 CBR Ⅰ 보다 더욱 정확한 추정 결과를 나타내었다.

영향요인을 재산정하고 LCI DB 및 사례 수를 증가시킨 이 연구에서의 CBR Ⅰ 및 CBR Ⅱ 의 절대 평균 오차율은 8.66%, 5.45%로 나타났다. 모두 선행연구[11]의 오차율보다 더 좋은 신뢰도를 가지는 것으로 나타났다. 그리고 기존의 기획단계 공사비 예측(AACE의 기획단계 공사비 예측모델)의 하한값 −15% ~ 30%, 상한값 +20% ~ 50%와 비교한 결과, 이 연구에서 제시한 사례기반추론 모델의 신뢰도는 적절한 것으로 판단된다. 향후 사용가능 사례 DB 및 LCI DB의 개수가 축적됨에 따라 사례기반추론 기반의 환경부하량 산정 모델의 오차율의 신뢰도가 보다 향상될 것으로 예상된다.

Table 3. Compare result of environmental load estimation model using CBR

Division	Actual environmental load (eco-point)	Existing research CBR model				Improved CBR model			
		CBR Ⅰ		CBR Ⅱ		CBR Ⅰ		CBR Ⅱ	
		Estimated load (Eco-point)	Error (%)	Estimated load (Eco-point)	Error (%)	Estimated load (Eco-point)	Error (%)	Estimated load (Eco-point)	Error (%)
Case 1	6.85E+02	8.29E+02	21.02	8.17E+02	19.27	7.57E+02	10.51	6.82E+02	-0.44
Case 2	3.88E+02	4.84E+02	24.74	4.53E+02	16.75	4.25E+02	9.54	3.60E+02	-7.22
Case 3	3.01E+02	3.47E+02	15.28	3.48E+02	15.61	3.16E+02	4.98	3.12E+02	3.65
Case 4	7.72E+02	7.72E+02	0.00	7.34E+02	-4.92	6.98E+02	-9.59	6.91E+02	-10.49
Average error ratio		15.26%		14.14%		8.66%		5.45%	
Maximum		0.00%		-4.92%		-9.59%		-0.44%	
Minimum		24.74%		19.27%		10.51%		3.65%	

3. 표준물량 기반 환경부하량 산정 모델

표준물량 기반 환경부하량 산정 모델은 대표공종의 단위물량을 이용하는 환경부하량 개산 예측 방법론이다. 강교량의 표준물량 기반 환경부하량 산정 모델의 전체 프로세스를 Fig. 1.에 나타내었다. 표준물량 기반 환경부하량 산정 모델은 강교량의 상부공, 하부공, 기초공의 대표 공종별 표준물량 DB, 공종별 소요되는 단위자원의 자재 DB, 환경부하량 LCI DB로 구성된다. 입력정보에 따라 표준물량 DB로부터 대표공종의 물량을 구하고, 자재 DB를 활용하여 전체 소요 자원량을 산정한 후, LCI DB 연계를 통해 강교량 전체의 환경부하량을 산정하는 프로세스이다. Fig. 1.에 나타낸 바와 같이 각 DB를 구축하기 위하여 국토 도로건설 프로젝트의 수량산출서, 내역서, 실시설계 보고서, 설계도면 등의 강교량에 대한 기초 설계 자료를 수집하였다.

표준물량 DB의 표준단면을 선정하기 위해서 13건의 사례에 대해 4차로, 20.9m의 대표단면을 가지는 상부공을 대상으로 환경부하량을 산출하고, 강교량의 부위별/공종별 환경부하 특성을 분석하였다. Table 4에 표준단면을 선정하기 위한 강교량의 분석사례를 나타내었다. Table 4에 나타낸 바와 같이 경간구성 및 연장, 가설위치, 기초형식 등이 다양한 강교량을 대상으로 표준단면의 대표물량을 선정하였다.

대표공종에 대한 소요자원의 단위물량은 '국토건설 설계실무요령(2016)'을 바탕으로 산출하여 자재 DB를 구축하였으며[14], 표준단면에서의 공종 특성 및 물량단위를 고려하여 공종별 단위

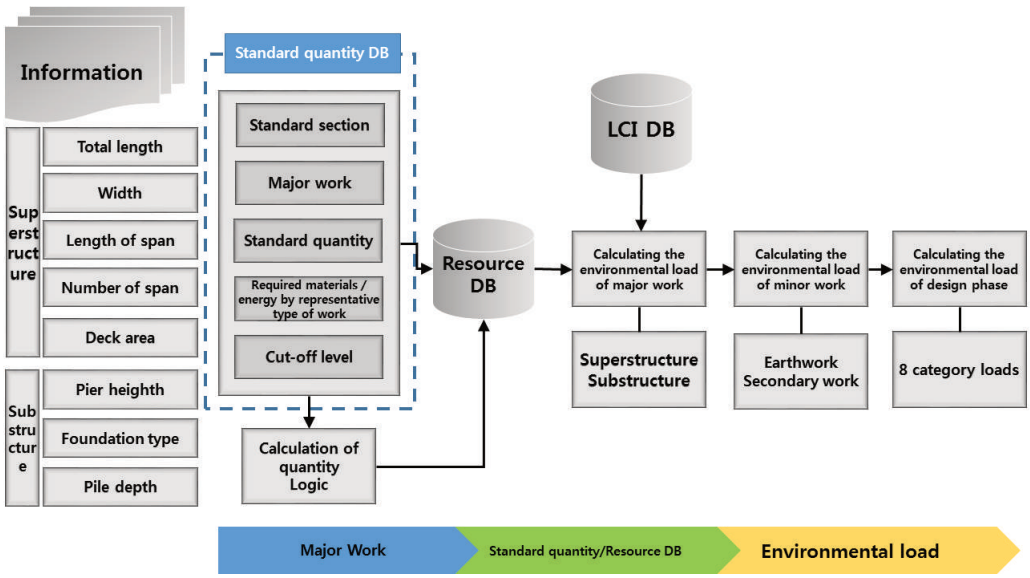

Fig. 1. Process of environmental load estimation model of steel box girder bridge using standard quantity

Table 4. Basic data collection status of design phase model

No.	No. of span	Span configuration	Length(m)	Deck area(m^2)	Erection location	No. of lanes	Foundation type
1	1	50	50	1045.0	on land	4	spread
2	1	50	50	1045.0	on land	4	pile
3	2	2@50	100	2090.0	on land	4	spread/pile
4	3	40+50+45	135	2821.5	on water	4	spread/pile
5	3	40+50+40	130	2717.0	on land	4	spread/pile
6	4	40+2@50+40	180	3762.0	on water	4	spread/pile
7	6	(40+2@50)+(2@50+40)	280.37	5859.7	on land	4	spread/pile
8	7	45+2@50+45+40+50+40	320	6688.0	on water	4	spread
9	8	4@46.5+4@50	386.3	8073.7	on water	4	pile
10	8	(40+3@50)@2	380	7942.0	on water	4	spread
11	9	9@50	450	9405.0	on water	4	spread
12	10	(40+4@50)+(4@50+40}	480.725	10047.1	on land	4	spread
13	11	40+5@50+4@50+40	530	11077.0	on water	4	spread

물량을 산정하였다.

앞서 기술한 바와 같이 표준물량 기반 환경부하량 산정 모델은 대표공종의 표준물량을 이용하여 소요 자원량을 산정하고 이를 LCI DB와 연계하여 전체 시설물의 환경부하량을 산정하는 방법이다.

강교량의 대표공종을 선정하기 위하여 상부공의 공종별 환경부하량 점유비율 분석하여 Fig. 2.에 나타내었다. 상부공의 공종별 환경부하량을 분석한 결과, 자재비-후판, 강교, 자재비-레미콘, 자재비-철근 순으로 전체 환경부하량 비율이 큰 것을 알 수 있었다. 상부공의 전체 공종 중 상위 8개 공종이 전체 환경부하량의 99.25%를 차지하였다. 강교량의 특성상 후판과 도료의 수량이 크므로 환경부하량에서도 마찬가지로 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

하부공의 공종별 환경부하량 점유비율을 Fig. 3.에 나타내었다. 하부공의 공종별 환경부하량을 분석한 결과, 자재비-레미콘, 자재비-철근, 강관파일공의 순으로 비율이 큰 것을 알 수 있다. 상부공과 마찬가지로 하부공 전체 공종 중 상위 8개 공종이 전체 환경부하량의 99.98%를 차지하였다. 이상의 결과를 바탕으로 하여 강교량 상부공 및 하부공의 대표공종을 상위 8개 공종으로 선정하였으며, 이 중 상부공의 대표공종을 Table 5에 나타내었다.

Table 6에는 상부공 중 강교제작에 대한 자원 DB 일례를 나타내었다. Table 5에서 표준물량으로부터 만들어진 logic에 의해 산출된 대표공종의 물량을 Table 6의 자재 DB의 단위물량과 LCI DB의 환경부하량을 연계하여 최종 환경부하량을 산정한다.

강교량 설계단계에서의 표준물량에 기반한 환경부하량 산정 모델을 검증하기 위하여 각 교량에 대한 내역서를 분석하였다. 그리고 직접 산출한 환경부하량과 이 연구에서 구축된 모델을 통해 산정된 환경부하량을 비교하여 검증을 실시하였다. 표준물량을

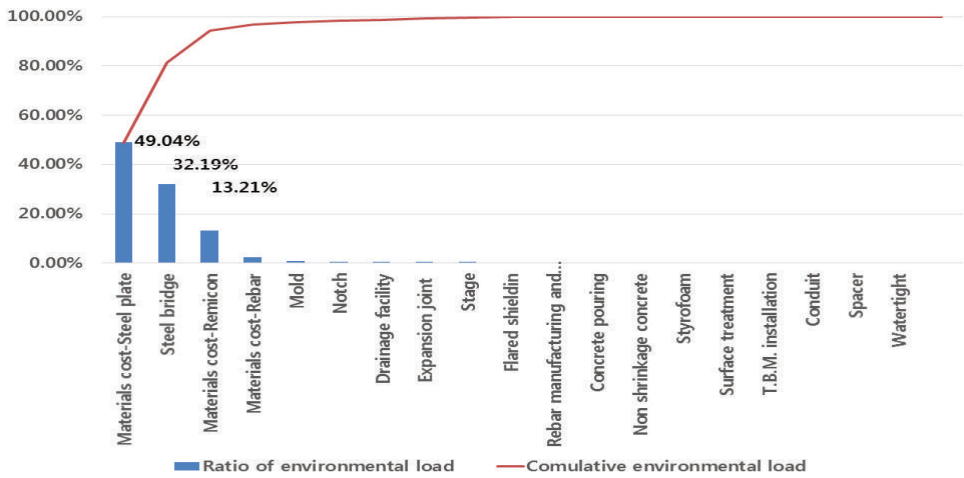

Fig. 2. Ratio of superstructure work

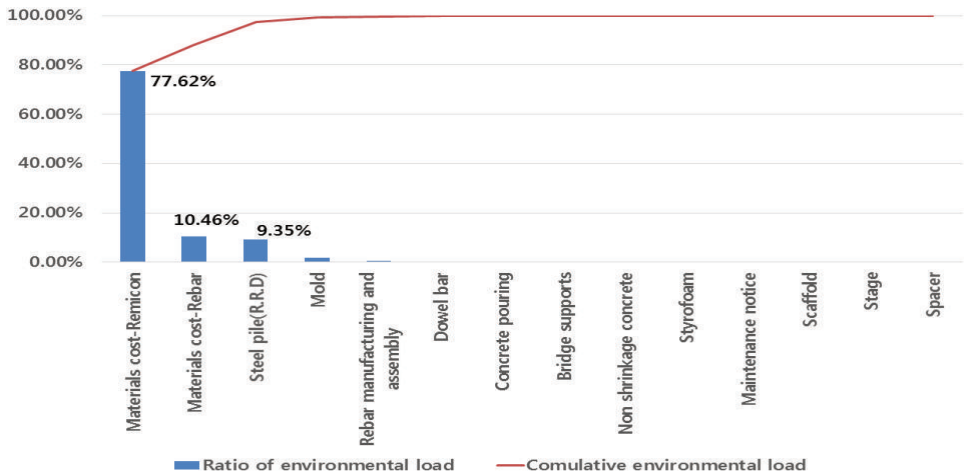

Fig. 3. Ratio of substructure work

Table 5. Superstructure major work type of steel bridge

Major work		Standard	Unit	Standard quantity unit
Steel box girder	Production		ton	ton/area
	Transportation		ton	ton/area
	Construction		ton	ton/area
	Painting of steel bridge	Outside painting, factory	m^2	m^2/area
		Internal painting, field	m^2	m^2/area
		Internal painting, factory	m^2	m^2/area
		Connection plate painting, factory	m^2	m^2/area
		Outside bolt painting, field	m^2	m^2/area
		Internal bolt painting, field	m^2	m^2/area
		Outside pavement painting, factory	m^2	m^2/area
Rebar manufacturing and assembly	Rebar processing and assembly		ton	ton
Stage	Timber	Deck finisher	work/m^3	work/m^3/length
		4times	work/m^3	work/m^3/length
Mold	Plywood form	3times, 0-7m	m^2	m^2/length
Concrete pouring	Concrete pouring	Rebar, Pumpcar	m^2	m^2/length
Major Materials	Rebar		ton	ton
	Remicon		m^3	m^3/length
	Steel plate		ton	ton
Surface treatment	Slab curing		m^2	m^2
	Deck finisher		m^2	m^2
Bridge deck pavement	Asphalt pavement		m^2	m^2

Table 6. Example of superstructure work(production of steel bridge) resource DB

Major work		Resource DB			
Type of work	Unit	Resource	Stand	Unit quantity	LCI DB
Production	ton	Round bar	16M/M 1.580KG/M SS41	0.007954	Rebar
		Rebar(SD30A)	D=16m/m-32m/m	0.0004845	Rebar
		ㄱ Section steel	100x100x10M/M 14.90KG/M	0.000009	Section steel
		Welding rod (For mild steel)	3.2㎜ KSE4301	28	Wire rod
		Oxygen	99% 6000Ⅼ(gas) 40Ⅼ	2.5	Oxygen
		Propane gas	standard	10	LPG
		Scrap iron		0.1003117	Rebar
		Stud	D22*150	20.0216226	Wire rod
Transportation	ton	Diesel	Low sulfur(0.1%)	5.6324888	Diesel
Construction	ton	Rebar(SD30A)	D=16m/m-32m/m	0.0001048	Rebar
		Ordinary wire	#8 4.0M/M 10.1M/KG	0.1309477	Wire rod
		High tension bolt	M22x80mm (Nuts with washers)	31.1737147	Wire rod
		scaffolding log	360mm without larch=3-6cm	0.0818423	N/A
		Safety footrest	300x3000weight=18kg(PSP substitute)	0.0130948	N/A
		Diesel	Low sulfur(0.1%)	31.9218645	Diesel

Table 7. Verification examples of the design phase model

Division	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6	Case 7	Case 8	Case 9	Case 10
Length (m)	150.0	90.0	320.0	332.5	380.0	500.0	80.0	170.0	50	50
Width (m)	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	21.14	21.0	20.9
Max. Span length(m)	60	45	55	47.5	50	70	40	45	50	50
Abutment height(m)	7.800	10.905	11.31	8.403	8.712	8.540	8.888	6.908	11.00	12.339
Pier height(m)	7.000	10.335	11.040	9.995	8.903	10.042	8.368	20.051	-	-
Foundation type	pile	pile	compound	spread	spread	compound	pile	compound	pile	spread
Foundation depth(m)	10.475	10.000	11.541	-	-	6.500	9.000	18.750	9.000	-

Table 8. Analysis result of environmental load estimation model using standard quantity and unit model

Verification example	Actual environmental load (eco-point)	Unit model		Design phase model	
		Estimation load (Eco-point)	Error (%)	Estimation load (Eco-point)	Error (%)
Case 1	6.189E+02	6.356E+02	2.70%	6.546E+02	5.77%
Case 2	4.311E+02	3.524E+02	-18.26%	4.329E+02	0.42%
Case 3	1.340E+03	1.204E+03	-10.15%	1.341E+03	0.07%
Case 4	1.235E+03	4.231E+02	-65.74%	1.248E+03	1.05%
Case 5	1.431E+03	6.268E+02	-56.20%	1.417E+03	-0.98%
Case 6	2.009E+03	1.864E+03	-7.22%	1.921E+03	-4.38%
Case 7	3.389E+02	2.004E+02	-40.87%	3.789E+02	11.80%
Case 8	6.939E+02	4.338E+02	-37.48%	7.458E+02	7.48%
Case 9	2.665E+02	1.219E+02	-54.26%	2.619E+02	-1.73%
Case 10	2.646E+02	3.593E+02	35.79%	2.593E+02	-2.00%
Average error ratio		32.87%		3.57%	
Minimum		-65.74%		-4.38%	
Maximum		35.79%		11.80%	

Fig. 4. Compare result of environmental load estimation model using standard quantity and unit model

이용한 환경부하량 산정 모델을 검증하기 위한 대상교량은 환경부하량 영향요인의 속성값이 다양하게 분포되도록 10개의 강교량을 이용하였다. 선정된 대상 검증교량 정보를 Table 7에 나타내었다.

10개의 검증사례에 대한 환경부하 실제값과 설계단계 모델의 예측값을 분석한 결과를 Table 8 및 Fig. 4.에 나타내었다. 실무에서 간편하게 사용하는 단위면적당(eco-point /m^2) 환경부하량을 통계적 방법에 의해 산출하여 적용하는 원단위 산정 방법으로 산출한 평균 절대오차율은 32.87%이며, 오차범위는 −65.74%에서 +35.79%까지인 것으로 나타났다. 설계단계에서의 표준물량 기반 모델에서의 평균 절대오차율은 3.57%이며, 오차범위는 −4.38% ~ +11.80%까지인 것으로 나타났다. 설계단계에서의 표준물량 기반 환경부하량 산정 모델은 앞서 검증한 사례기반추론 기반의 CBR Ⅰ 및 Ⅱ 모델에서의 오차율 8.66%, 5.45% 보다 정확성이 더 향상된 것을 알 수 있다.

4. 결 론

이 연구는 SOC 시설물 중 강교량에 대해서 초기의 가용정보만으로 효율적인 환경부하량을 산출하고자 사례기반추론 기반 환경부하량 산정 모델 및 표준물량 기반 환경부하량 산정 모델을 구축하였다. 구축된 모델들을 이용하여 환경부하량을 산정한 결과는 다음과 같다.

(1) 개선된 CBR Ⅰ 모델을 사용하여 환경부하량을 산출하였을 시, 내역서를 분기하여 계산되어진 실제의 환경부하량과의 평균오차는 8.66%로 나타났다. CBR Ⅱ 모델의 경우 5.45%의 평균오차를 나타내었다.

(2) 상부공의 대표공종을 분석한 결과, 상위 8개의 공종이 전체 환경 환경부하량의 99.25%를 차지하는 것으로 나타났다. 하부공의 경우 또한 상위 8개의 공종이 99.98%의 환경부하량을 차지하였다.

(3) 표준물량 기반 환경부하량 산정 모델을 이용하여 환경부하량을 산정한 결과, 평균오차는 3.57%로 나타났으며, 상부면적이나 연장에 대한 원단위 환경부하 산정 방법보다 오차율이 적게 나타났으므로 본 연구에서 구축한 환경부하량 산정 모델이 신뢰도가 훨씬 높은 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설기술연구사업의 연구비지원(17SCIPC08571104000000)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌(References)

[1] 환경부(2016) 교토의정서 이후 신 기후체제 파리협정 길라잡이, 환경부.
Ministry of Environment (2016) *Guide for Paris Agreement, the New Climate Framework After the Kyoto Protocol*, ME, Korea (in Korean).

[2] 국토해양부(2011) 시설물별 탄소배출량 산정 가이드라인.
Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2011) *Guidelines for Estimating Carbon Emissions by Facility*, MLTM, Korea (in Korean).

[3] 권석현(2008) 건설사업의 환경경제성 평가모델 개발, 박사학위논문, 중앙대학교.
Kwon, S.-H. (2011) *Development of Assessment Model for Environmental Economics of Construction Projects*, Ph.D. Dissertation, Chung-Ang University, Korea (in Korean).

[4] 김병수(2011) 토공장비 조합에 따른 공사기간 및 이산화탄소 배출량의 상관성 분석, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제31권, 제4D호, pp.603-611.
Kim, B. (2011) Correlation Analysis on the Duration and CO_2 Emission Following the Earth-Work Equipment Combination, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers D*, KSCE, Vol.31, No.4D, pp.603-611 (in Korean).

[5] 전진구, 김병수(2012) ZigBee 센서를 활용한 건설장비의 CO_2 배출량 측정방법, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제32권, 제2D호, pp.167-174.
Chun, J.-K., and Kim B.-S. (2012) The Measurement Method of CO_2 Emission for Construction Equipment Using ZigBee Sensor, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol.32, No.2D, pp.167-174 (in Korean).

[6] 문진석(2009) 도로건설공사의 환경요인 전과정평가(LCA) 분석 및 사례 연구, 석사학위논문, 경상대학교.
Moon, J.-S. (2009) *LCA Analysis and Case Study of Environment Factors for Highway Construct Project*, Master's Thesis, Gyeongsang National University, Korea (in Korean).

[7] 문진석, 주기범, 서명배, 강인석(2014) 전과정평가기법에 의한 도로건설공사 환경부하량 평가 연구, 한국건설관리학회논문집, 한국건설관리학회, 제15권, 제6호, pp.83-91.
Moon, J., Ju, K., Seo, M., and Kang, L. (2014) Evaluation of Environmental Stress for Highway Construction Project by Life Cycle Assessment Method, *Korea Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, Vol. 15, No.6, pp.83-91 (in Korean).

[8] 민성규(2013) LCA 분석을 활용한 공항포장의 환경부하 저감 방안 수립을 위한 연구, 석사학위논문, 서울과학기술대학교.
Min, S.-G. (2013) *A Study on the Establishment of an*

Environmental-Load Reduction Plan for Airport Pavement, Master's Thesis, Seoul National University of Science & Technology, Korea (in Korean).

[9] 박진영, 김병수(2018) 초기 설계단계의 가용정보를 활용한 도로 배수공종의 LCA기반 환경부하량 산정모델, 한국건설관리학회지, 한국건설관리학회, 제19권, 제3호, pp.70-78.
Park, J.Y., and Kim, B.S. (2018) LCA Based Environmental Load Estimation Model for Road Drainage Work Using Available Information in the Initial Design Stage, *Construction Engineering and Management*, KICEM, Vol. 19, No.3, pp.70-78 (in Korean).

[10] 조남호, 윤원건, 이완렬, 김경주(2016) LCA 기반 PSC 교량의 환경부하 특성분석에 대한 연구, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제36권, 제2호, pp.297-305.
Cho, N., 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*, KSCE, Vol.36, No.2, pp.297-305 (in Korean).

[11] Jeon, M.-Y., Kyung, K.-S., Lee, S.-J., and Park, J.-E. (2018) Development of an Environmental Load Estimation Model in the Planning Stage of Steel Box Girder Bridges, *International Journal of Steel Structures*, KSSC, Vol.18, No. 1, pp.69-78.

[12] 정민선, 경갑수, 전은경, 권순철(2011) 사례기반추론을 이용한 강박스거더교의 개략공사비 산정 및 검증, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제23권, 제5호, pp.557-568.
Jung, M.S., Kyung, K.S., Jeon, E.K., and Kwon, S.C. (2011) Computation and Verification of Approximate Construction Cost of Steel Box Girder Bridge by Using Case-Based Reasoning, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.23, No.5, pp.557-568 (in Korean).

[13] 전민영, 경갑수, 이성진, 류성진(2016) 강교량의 기획단계에서의 환경부하 평가 및 영향요인에 관한 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제28권, 제1호, pp.13-22.
Jeon, M.Y., Kyung, K.S., Lee, S.J., and Ryu, S.J. (2016) Life Cycle Assessments and Effect Factors in the Planning Stage of Steel Bridge, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.28, No.1, pp.13-22 (in Korean).

[14] 국토교통부(2016) 국도건설공사 설계실무 요령, 국토교통부.
Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2016) *Highway Construction Design Handbook*, MOLIT, Korea (in Korean).

요 약 : 전세계적으로 기후변화 및 많은 환경오염에 대한 문제가 발생하여 많은 국가들이 국제적인 정책과 활동을 통하여 환경오염을 줄이려는 노력을 기울이고 있다. 국내 건설산업에서도 환경 정책과 관련하여 전과정평가(Life Cyle Assessment, LCA)기법을 통한 다양한 연구들을 수행하고 있다. 본 연구에서는 먼저 기존의 구축된 사례기반추론을 이용한 환경부하량 평가 모델을 향상하였다. 또한 설계단계에서 기본적인 설계 정보만으로 환경부하량을 평가할 수 있는 표준물량 기반 환경부하량 평가 모델을 구축하였으며 이를 검증하였다. 검증된 표준물량 기반 환경부하량 평가 모델을 기존의 환경부하량 평가 모델과 비교한 결과, 절대 평균 오차율이 매우 작게 나타나 신뢰성이 높은 것으로 판단된다.

핵심용어 : 환경부하, 강교량, 전과정평가, 설계단계, 표준물량