



강교량의 기획단계에서의 환경부하 평가 및 영향요인에 관한 연구

전민영¹ · 경갑수^{2*} · 이성진³ · 류성진¹

¹석사과정, 한국해양대학교, 건설공학과, ²교수, 한국해양대학교, 건설공학과, ³박사과정, 한국해양대학교, 건설공학과

Life Cycle Assessments and Effect Factors in the Planning Stage of Steel Bridge

Jeon, Min Yeong¹, Kyung, Kab Soo^{2*}, Lee, Sung Jin³, Ryu, Seong Jin¹

¹Master Student, Dept. of Civil Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan, 49112, Korea

²Professor, Dept. of Civil Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan, 49112, Korea

³Doctor Student, Dept. of Civil Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan, 49112, Korea

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 most performed. It is expected to have a significant influence on the environment, since SOC infrastructures are go through a variety of materials, manufacturing process, however it is judged that researches and measures for environmental pollution is insufficient. In this study, we build the data for 204 of steel bridge designed after 2000 year, and the 100 of bridge which were selected to from obtained results were calculated the environmental loads at the planning stage based on the life cycle assessment. In addition, standard classification systems in work type for steel bridges were established. Based on this, the basic design data and input materials for the bridges are applied to the LCI DB, and the environmental load for required material is evaluated and is shown as Eco-point. Environmental loads obtained from this study, it is judged that can be utilized as a basic data for the process of the life cycle assessment in future steel bridge design.

Keywords - Environmental impact, Steel bridge, Life cycle assessment, Planning stage, Correlation analysis

1. 서론

현재 전세계적으로 환경오염에 대한 관심은 증가하는 추세이고 많은 국가에서 환경오염을 줄이려는 노력을 꾸준히 하고 있다. SOC 시설물은 다양한 종류의 자재를 사용하며 복잡한 공정과정을 거치기 때문에 환경에 많은 영향을 미치지만 아직까지는 환경오염에 대한 대책 및 그에 따른 연구가 부족한 것으로 판단된다.

국외에서는 SOC 시설물의 특성을 고려한 기획 및 설계 초기단계, 유지관리 단계에서 설계 대안에 대한 환경부하량 및

환경경제성을 평가하고 환경부하를 최소화할 수 있는 의사 결정 도구에 관한 연구가 많이 진행되고 있다^{[1],[2],[3],[4],[5]}.

그러나 국내에서는 현재 이러한 의사 결정 도구가 마련되지 않았기 때문에 SOC 시설물의 환경 성능지표 개발에 관한 연구와 SOC 시설물 관련 LCI DB(Life Cycle Inventory Database) 구축 지원 기술 개발이 필요한 실정이다.

기존의 국내 연구 동향을 보면, 강교량의 적정공사비에 관한 연구^[6]는 있으나 강교량의 환경부하에 관한 연구는 극히 적었다. Jung *et al.* (2010)^[7]의 연구에서는 교량의 폐기 및 재활용 단계를 고려한 환경적합성평가를 실시하였다. Kim *et al.* (2011)^[8]의 연구에서는 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 Jeon *et al.* (2014)^[9]의 연구에서는 교량구조, 교량형식, 시공유형, 작업형태, 일일 작업 단위 등 총 6단계로 구

Note.-Discussion open until August 31, 2016. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on November 10, 2015; revised December 15, 2015; approved on December 28, 2015.

Copyright © 2016 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-51-410-4464 Fax. +82-51-410-4460

E-mail. kyungks@kmou.ac.kr

분하는 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.

이러한 국내 기존 연구와는 차별성을 두기 위하여 이 연구에서의 연구 범위는 다수의 강박스교량을 대상으로 하였으며, 강교량의 환경부하에 관한 기본 LCI DB를 구축하는 것과 강교량의 기획단계에서의 환경부하 평가에 초점을 두었다. 그리고 국토건설공사 설계실무요령^[10]의 강교량 수량내역서 공종을 사용하여 표준공종 분류체계를 정립하였으며, 자원고갈(Abiotic Depletion Potential, ADP), 산성화(Acidification Potential, AP), 부영양화(Eutrophication Potential, EP), 지구온난화(Global Warming Potential, GWP), 오존층파괴(Ozone Depletion Potential, ODP), 광화학산화물생성(Photochemical Ozone Creation Potential, POCP), 생태계독성(Terrestrial Ecotoxicity Potential,

TETP), 인간독성(Human Toxicity Potential, HTP)의 8 가지 항목^[11]으로 환경부하량 값을 Eco-point로 산정하였다. 이러한 것을 기반으로 이 연구에서는 SOC 시설물 중 강교량에 대해 기획단계에서의 전과정평가를 실시하여 환경부하량을 산출하고 이를 바탕으로 강교량의 환경부하에 관한 기본 LCI DB를 구축하고자 한다.

2. 표준 공종 체계 정립

2.1 Level 4 단계의 표준공종체계 정립

이 연구에서는 2000년 이후 설계된 100개 강교량에 대해 각 교량의 경간수, 경간구성, 최대경간장, 연장, 폭원, 상부면적, 사업구간 등을 조사하여 대상교량에 대한 기본 데이터를 구축하였다. Table 1은 100개의 강교량 기본 데이터에 대한 일례를 나타내었다. 100개의 강교량에 대한 기본 데이터

Table 1. Data for 100 of steel bridge

No.	Bridge Name	Number of Span	Max. Span Length (m)	Lengths (m)	Widths (m)	Deck Areas (m ²)	Completion year
1	A1	1	55	55	20.9	1149.5	2009.01
2	A2	3	50	135	20.9	2821.5	2009.01
3	A3	1	60	60	20.9	1254	2009.01
4	A4	3	60	150	20.9	3135	2009.01
5	A5	4	60	210	20.9	4389	2009.01
⋮							
99	A99	11	50	530	20.9	11077	2004.03
100	A100	6	60	310	20.9	6479	2004.03

Table 2. Examples of classification systems for standard works based on level of 4 steps

Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	
Steel Bridge	Fabrication of Steel Bridge	Fabrication and Erection	Fabrication	
			Transportation	
			Erection	
		Fabrication and Erection of Construction Bent	Crane Erection	Fabrication and Erection of Construction Bent
				Crane Erection
		Painting	Inside Painting (Factory)	
			Splice Painting (Factory)	
			Painting of Bolts and Nuts (Field)	
			Painting of Inside Bolts and Splices (Field)	
			Outside Painting (Factory)	
	Non-destructive Inspection	Outside Painting (Field)		
		Painting of Outside Bolts and Splices (Factory)		
		Painting of Outside Bolts and Splice (Field)		
		R.T.		
		M.T.		
	U.T.			

를 바탕으로 각 강교량별 환경부하량을 산출하기에 앞서서 국도건설공사 설계실무요령을 참고하여 Level 4 단계의 표준공중분류체계를 정립하였다. Level 1단계는 구조물인 강교량, Level 2단계는 공중, Level 3단계는 세부공중 그리고 Level 4단계는 규격으로 정립하였다. Table 2에 강교량별 표준공중분류체계의 일례를 나타내었다.

이 연구에서는 100개의 대상 강교량의 내역서를 확인하기 위하여 EBS 프로그램(Event Breakdown System for Construction Program)을 사용하였다. 각 강교량별 환경부하량을 산정하기 위하여 EBS 프로그램에서 100개의 강교량을 대상으로 소요 자원 산출 내역과 각 교량의 제원 및 개요를 분석하였다. 또한 대상 교량의 환경부하량 산정을 위하여 강교량 내역서상의 소요자재, 장비 및 투입자원 비용을 산출하였고, 자재, 장비, 계약단가/경비 사용 내역을 Level

4 단계의 표준공중 분류체계에 맞추어 각 교량별로 정리하였다. 여기서 계약단가/경비 사용 내역이란 EBS 프로그램 내역서 상에서 자재와 장비의 내용 중 금액은 존재하지만 불명확한 금액에 대한 내용을 나타내기 위하여 명시하였다.

3. 강교량 기획단계에서의 환경부하량 분석

3.1 가용가능한 DB의 환경부하량 값

연구에서는 환경부하량 산정에 가용가능한 국내 DB 및 해외 LCI DB 중 34가지를 사용하였다. 각 LCI DB별 기본단위당 자원고갈, 산성화, 부영양화, 지구온난화, 오존층파괴, 광화학산화물생성, 생태계독성, 인간독성의 8가지 항목의 환경부하량 값은 Table 3과 같다.

Table 3. Weighting values of environmental load for LCI DB of 34 kinds

DB	DB Name	Unit	Weighing Value									
			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	
Nation DB	Portland Cement_type 1	kg	9.636E-06	5.111E-07	1.751E-09	4.939E-05	1.024E-07	1.536E-05	1.319E-07	1.507E-06	7.664E-05	
	Paint_Acryl type	ton	4.469E-01	4.440E-03	1.538E-03	4.748E-02	2.166E-04	1.057E-03	3.387E-04	3.263E-03	5.052E-01	
	Paint_Epoxy type	ton	2.206E-01	2.021E-02	8.326E-03	1.841E-01	1.854E-04	4.103E-03	2.034E-04	7.476E-03	4.452E-01	
	Paint_Urethan type	ton	4.317E+01	9.489E-01	2.975E-01	2.023E+01	8.585E-01	2.627E+00	1.688E+00	1.277E+01	8.259E+01	
	Paint_Emulsion type	ton	6.383E-02	5.923E-04	1.705E-05	1.683E-02	7.233E-04	2.194E-03	6.718E-04	7.499E-03	9.236E-02	
	Remicon 25-240-15	m ³	1.355E-02	6.381E-04	2.376E-04	2.235E-02	2.744E-04	6.047E-03	2.077E-04	3.841E-03	4.715E-02	
	EPS	kg	1.904E-04	4.137E-06	3.679E-07	1.020E-04	5.002E-07	4.245E-05	1.206E-06	1.192E-04	4.603E-04	
	Oxygen	ton	1.604E-02	7.662E-04	4.532E-04	2.586E-02	8.203E-08	2.170E-03	1.818E-06	9.472E-04	4.624E-02	
	Wire Rod	ton	1.214E-01	1.635E-02	3.455E-03	4.953E-01	5.117E-04	2.302E-03	1.436E-03	1.331E-02	6.541E-01	
	Stainless Steel	kg	2.153E-04	4.168E-06	4.540E-07	1.684E-04	8.925E-06	7.514E-07	2.448E-04	3.317E-04	9.745E-04	
	Aluminum Strip	kg	2.387E-04	8.151E-06	3.572E-06	1.019E-04	1.490E-06	1.452E-05	3.325E-06	1.315E-04	5.032E-04	
	Epoxy Adhesive	kg	1.007E-04	4.444E-06	1.886E-06	4.377E-05	3.389E-07	5.433E-06	2.454E-06	1.033E-05	1.694E-04	
	Acrylic Emulsion Adhesive	kg	8.772E-05	3.143E-06	2.073E-06	4.456E-05	2.038E-07	3.162E-06	9.595E-06	8.582E-06	1.590E-04	
	Hot Rolled Steel Coil	ton	1.162E-01	1.698E-03	4.641E-06	9.105E-02	2.564E-05	2.843E-02	3.180E-04	4.629E-04	2.382E-01	
	LDPE	kg	3.726E-04	1.437E-07	1.089E-07	9.695E-05	2.185E-07	2.135E-05	3.351E-07	2.135E-06	4.938E-04	
	Electric Steel Deformed Bars	kg	1.720E-05	4.017E-07	3.125E-09	2.280E-05	6.227E-08	1.997E-06	3.952E-07	1.217E-06	4.408E-05	
	Electric Steel Sections	kg	2.105E-05	1.204E-06	5.130E-07	2.236E-05	1.713E-07	1.932E-06	3.368E-07	2.604E-06	5.017E-05	
	Carbon Steel	kg	1.119E-04	1.730E-06	6.784E-08	1.219E-04	1.318E-07	4.122E-06	1.227E-05	5.032E-06	2.572E-04	
	Brass Bar	kg	7.980E-05	6.717E-06	2.157E-06	9.400E-05	1.401E-09	1.151E-05	3.663E-04	4.327E-05	6.038E-04	
	Steel Plates	ton	7.878E-02	2.542E-03	1.024E-03	4.453E-02	3.357E-04	1.801E-02	1.940E-04	5.479E-03	1.509E-01	
	Light Fuel Oil	kg	2.442E-04	1.264E-07	2.771E-08	3.552E-06	7.515E-10	7.027E-08	4.398E-10	1.531E-08	2.480E-04	
	Electricity	kWh	1.600E-05	7.573E-07	4.520E-07	2.578E-05	8.179E-11	2.164E-06	2.651E-12	7.852E-09	4.516E-05	
	Gasoline	kg	2.462E-04	1.681E-07	9.354E-09	4.331E-06	1.532E-09	1.079E-07	8.962E-10	2.778E-08	2.508E-04	
	Industrial Water_Jeonbuk	ton	2.104E-05	2.564E-07	1.258E-07	6.422E-06	1.947E-11	5.353E-07	4.316E-10	2.772E-07	2.866E-05	
	Recycled Aggregate	kg	7.824E-07	2.943E-09	9.759E-11	7.781E-07	1.656E-08	1.763E-08	1.246E-08	2.300E-07	1.840E-06	
	Polyethylene Terephthalate Film	kg	2.549E-04	7.345E-06	8.082E-06	2.141E-04	7.902E-06	5.508E-06	4.846E-03	1.190E-01	1.243E-01	
	Domestic DB	Sand	m ³	1.434E-04	9.93E-06	5.566E-06	2.014E-04	1.328E-06	6.748E-07	8.584E-07	4.222E-05	4.054E-04
		Plywood	m ³	2.168E-02	3.759E-03	2.050E-02	4.264E-02	3.616E-04	1.061E-03	1.508E-02	7.210E-03	1.123E-01
Tile		kg	1.669E-05	1.728E-07	4.249E-09	1.837E-05	6.475E-08	9.952E-08	1.980E-07	6.007E-07	3.620E-05	
Foreign Country DB	Asphalt	kg	1.488E-11	5.776E-07	3.545E-07	1.117E-05	4.885E-07	1.606E-06	1.881E-05	2.699E-06	3.571E-05	
	Polyvinyl Chloride	kg	4.315E-08	5.140E-06	2.385E-06	1.041E-04	2.026E-08	1.545E-05	9.225E-06	1.939E-05	1.558E-04	
	Sodium Silicate	kg	5.815E-10	4.701E-06	8.558E-06	8.339E-05	7.315E-07	2.632E-06	3.673E-04	8.625E-05	5.536E-04	
	Liquefied Petroleum Gas	kg	3.679E-11	3.148E-06	1.888E-06	3.561E-05	4.156E-06	9.382E-06	8.720E-05	1.585E-05	1.572E-04	
Acetylene	kg	3.565E-10	9.431E-06	2.204E-05	1.222E-04	6.023E-07	9.039E-06	7.828E-04	1.020E-04	1.048E-03		

환경부하량 산정 값으로는 특성화 값과 가중화 값이 있으나, 이 연구에서는 각 LCI DB별로 환경부하량 값의 단위를 Eco-point로 맞추어 상대적 비교가 쉽도록 가중화 값을 사용하였다.

3.2 각 교량별 환경부하량 산정

연구에서 정립한 Level 4 단계의 표준공종분류체계에 EBS 프로그램의 내역서를 바탕으로 각 교량별 자재, 장비, 계약단가/경비 사용 내역을 정리하였다. 이를 토대로 자재 내역과 가용가능한 34개의 LCI DB를 연결시켜 각 교량별로 자재 수량과 LCI DB에서의 기본단위당의 환경부하량 가중화 값을 곱하여 LCI DB의 금액순위 및 환경부하량의 순위를

나타내었다.

Table 4에 1개 교량에 대한 환경부하량 값을 분석한 사례를 나타내었는데, 가장 많은 비율을 차지하는 것은 후판, 철근, 레미콘, 경유, 형강 등의 순으로 나타났다. 금액순위와 환경부하량 순위는 거의 유사하지만 몇몇 LCI DB에 대해서는 순위가 크게 변화하는 것도 나타났다. 그러나 100개의 대상교량 전체적으로는 대체로 유사한 순위가 나타났다. 이와 같은 방법으로 각 교량별로 환경부하량을 산정한 후, 100개 강교량별 전체 자원에 대한 환경영향 가중화 값을 비교하였다.

Fig. 1은 100개 강교량의 환경부하량을 비교한 그래프이다. Table 5에 100개의 강교량에서 각 자재를 LCI DB 34개와 연결시킨 후 34개 항목에 대한 금액별 비중의 평균을 나타내었다. 후판, 철근, 레미콘의 순으로 자재 금액별 비중이

Table 4. Calculation examples of environmental load for sample bridge

DB Name	Quantity	Cost	Total		Cost		Ranking	Eco-Point		Ranking	Cost	
			Eco-point	%	Cumulative %	%		Cumulative %	%		Cumulative %	
Steel Plates	851.21	₩553,284,019	1.28.E+02	30.76	30.76	1	28.16	28.16	1	36.25	36.25	
Electric Steel Deformed Bars	368,329.53	₩366,204,936	1.62.E+01	20.36	51.13	2	3.56	31.71	5	23.99	60.24	
Remicon 25-240-15	2,603.63	₩136,967,304	1.23.E+02	7.62	58.74	3	26.91	58.62	2	8.97	69.21	
Light Fuel Oil	61,604.70	₩120,834,287	1.53.E+01	6.72	65.46	4	3.35	61.97	6	7.92	77.13	
Electric Steel Sections	80,360.71	₩102,446,913	4.03.E+00	5.70	71.16	5	0.88	62.85	8	6.71	83.84	
Wire Rod	51.22	₩93,565,708	3.35.E+01	5.20	76.36	6	7.34	70.20	4	6.13	89.97	
Plywood	127.70	₩46,039,105	1.43.E+01	2.56	78.92	7	3.14	73.34	7	3.02	92.98	
Paint_Epoxy type	4.02	₩29,681,416	1.79.E+00	1.65	80.57	8	0.39	73.73	10	1.94	94.93	
Oxygen	18.38	₩23,586,984	8.50.E-01	1.31	81.88	9	0.19	73.92	14	1.55	96.47	
Paint_Urdthan type	1.33	₩13,025,832	1.10.E+02	0.72	82.61	10	24.13	98.05	3	0.85	97.33	
Liquefied Petroleum Gas	8,490.55	₩12,116,014	1.34.E+00	0.67	83.28	11	0.29	98.35	12	0.79	98.12	
Paint_Acryl type	2.51	₩10,987,930	1.27.E+00	0.61	83.89	12	0.28	98.62	13	0.72	98.84	
Carbon Steel	5,953.49	₩3,567,378	1.53.E+00	0.20	84.09	13	0.34	98.96	11	0.23	99.07	
Portland Cement_type 1	43,530.97	₩3,068,933	3.34.E+00	0.17	84.26	14	0.73	99.69	9	0.20	99.27	
Hot Rolled Steel Coil	2.67	₩2,910,617	6.36.E-01	0.16	84.42	15	0.14	99.83	15	0.19	99.46	
Stainless Steel	96.80	₩2,579,795	9.43.E-02	0.14	84.56	16	0.02	99.85	19	0.17	99.63	
Sodium Silicate	490.45	₩1,332,343	2.71.E-01	0.07	84.64	17	0.06	99.91	16	0.09	99.72	
EPS	231.43	₩1,155,009	1.07.E-01	0.06	84.70	18	0.02	99.93	18	0.08	99.80	
Gasoline	636.33	₩1,058,851	1.60.E-01	0.06	84.76	19	0.03	99.97	17	0.07	99.87	
Asphalt	1,780.00	₩979,000	6.36.E-02	0.05	84.82	20	0.01	99.98	20	0.06	99.93	
Acetylene	56.65	₩566,518	5.94.E-02	0.03	84.85	21	0.01	100.00	21	0.04	99.97	
PVC	0.00	₩346,500	0.00.E+00	0.02	84.87	22	0.00	100.00	25	0.02	99.99	
Brass Bar	24.24	₩113,928	1.46.E-02	0.01	84.87	23	0.00	100.00	22	0.01	100.00	
Sand	5.80	₩42,416	2.35.E-03	0.00	84.88	24	0.00	100.00	23	0.00	100.00	
Epoxy Adhesive	3.10	₩4,649	5.25.E-04	0.00	84.88	25	0.00	100.00	24	0.00	100.00	
Aluminum Strip	0.00	₩0	0.00.E+00	0.00	84.88	26	0.00	100.00	26	0.00	100.00	
Paint_Emulsion type	0.00	₩0	0.00.E+00	0.00	84.88	27	0.00	100.00	27	0.00	100.00	
Electricity	0.00	₩0	0.00.E+00	0.00	84.88	28	0.00	100.00	28	0.00	100.00	
Tile	0.00	₩0	0.00.E+00	0.00	84.88	29	0.00	100.00	29	0.00	100.00	
Acrylic Emulsion Adhesive	0.00	₩0	0.00.E+00	0.00	84.88	30	0.00	100.00	30	0.00	100.00	
LDPE	0.00	₩0	0.00.E+00	0.00	84.88	31	0.00	100.00	31	0.00	100.00	
Industrial Water	0.00	₩0	0.00.E+00	0.00	84.88	32	0.00	100.00	32	0.00	100.00	
Recycled Aggregate	0.00	₩0	0.00.E+00	0.00	84.88	33	0.00	100.00	33	0.00	100.00	
PET Film	0.00	₩0	0.00.E+00	0.00	84.88	34	0.00	100.00	34	0.00	100.00	
Total		₩1,526,466,385	4.56.E+02	84.88	-	-	100.00	-	-	100.00	-	

큰 것을 알 수 있었으며 거의 대부분의 교량에서 후판의 금액 비중이 가장 큰 것으로 나타났다. 금액별 비중이 대체로 유사한 순위로 나타났지만 몇몇 교량에서는 철근, 레미콘, 형강이 1순위로 나타났다. 이것은 각 교량마다 내역서 상 정확한 자재 수량을 알 수 없는 경우가 있기 때문으로 판단되며, 이들 편차를 줄이기 위해서는 향후 상세설계단계의 연구에서 수량산출서 등에 대한 정밀한 분석이 필요할 것으로 판단된다.

Fig. 2에 100개 강교량에서 환경부하량 가중화 값인 자원고갈, 산성화, 부영양화, 지구온난화, 오존층파괴, 광화학산화물생성, 생태계독성, 인간독성의 8가지 항목의 평균과 표준편차를 나타내었다. Fig. 2에서 알 수 있듯이 강교량의 환경부하량에서 자원고갈과 지구온난화의 Eco-point가 가장 크게 나타나며 그 외 6가지 항목은 Eco-point가 작게 나타나는 것을 알 수 있다.

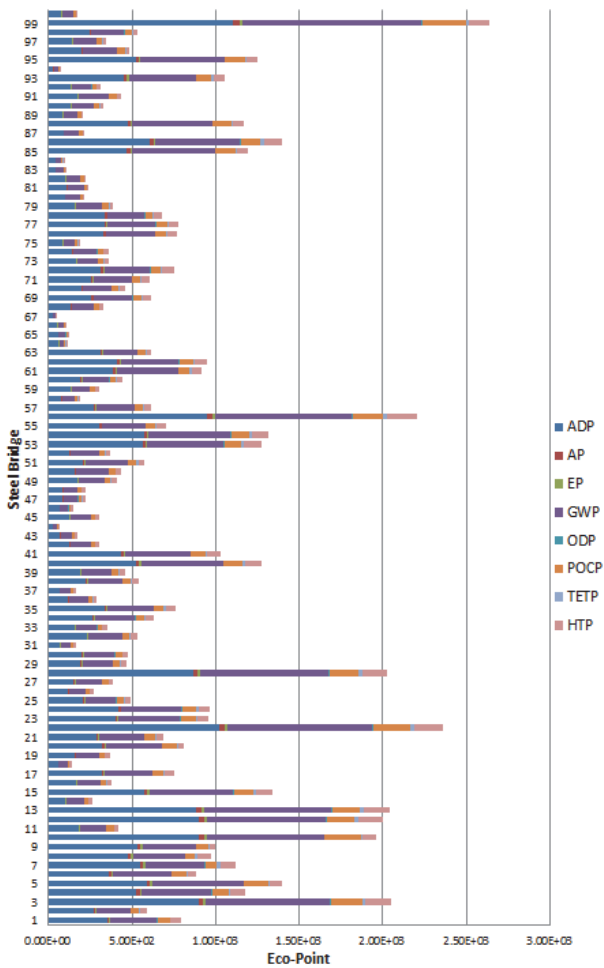


Fig. 1. Comparison of environmental load for 100 steel bridges

3.3 DB별 환경부하량 평균과 표준편차

100개 강교량의 LCI DB별 환경부하량 평균과 표준편차를 조사하기 위하여 100개 교량의 환경부하량 값을 각 교량의 상부면적으로 나누어 단위면적당으로 계산하였다. LCI DB 별 평균을 계산하여 상위 10개 항목을 나타내었으며 평균과 표준편차는 Fig. 3과 같이 나타난다.

Table 5. Average of cost ratio for each item of 100 steel bridge based on LCI DB of 34 kinds

Materials	Average (%)
Total associated with DB	87.33
Steel Plates	36.52
Electric Steel Deformed Bars	14.26
Remicon 25-240-15	9.75
Electric Steel Sections	8.83
Light Fuel Oil	5.44
Wire Rod	3.87
Plywood	1.93
Paint_Acryl type	1.25
Paint_Epoxy type	1.21
Oxygen	0.80
Paint_Urethan type	0.62
Portland Cement_type 1	0.61
Stainless Steel	0.53
Liquefied Petroleum Gas	0.30
Aluminum Strip	0.29
Carbon Steel	0.16
Sand	0.16
Hot Rolled Steel Coil	0.16
PVC	0.13
LDPE	0.09
Asphalt	0.08
Gasoline	0.08
EPS	0.07
PET Film	0.07
Sodium Silicate	0.06
Acetylene	0.04
Brass Bar	0.02
Epoxy Adhesive	0.00
Electricity	0.00
Industrial Water	0.00
Paint_Emulsion type	0.00
Tile	0.00
Acrylic Emulsion Adhesive	0.00
Recycled Aggregate	0.00
Etc	12.67
Total	100.00

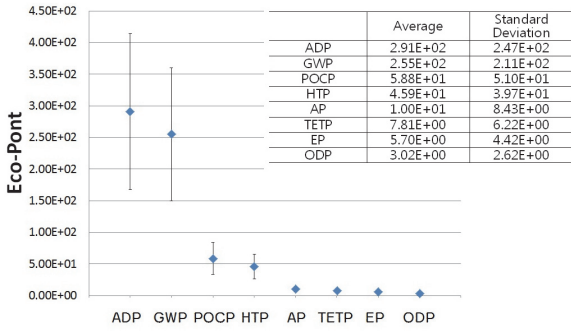


Fig. 2. The average value and standard deviation for 8 items of environmental load

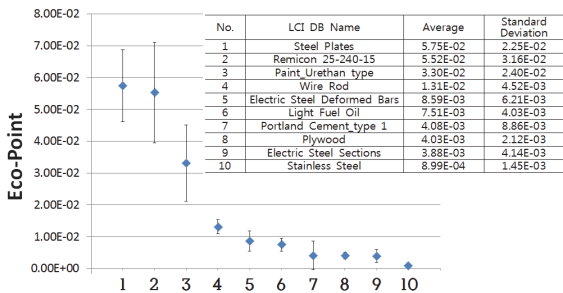


Fig. 3. The average value and standard deviation for 10 upper level in LCI DB

Fig. 3에 나타난 것과 같이 후판, 레미콘, 도로_우레탄계, 선재, 철근, 경유, 시멘트, 합판, 형강, 스테인리스강 순으로 평균이 높은 것을 알 수 있다. 후판, 레미콘, 도로_우레탄계의 평균값은 다른 LCI DB에 비해 상당히 높게 나타났지만 표준편차 또한 크다는 것을 알 수 있다. 이는 교량의 제원 특성에 의한 영향으로 판단된다. 몇몇 교량의 경우 EBS 프로그램 내역서상에 정확한 자재가 기입되어 있지 않았기 때문 이므로 향후 추가적인 자료조사가 더 필요할 것으로 판단된다. 그 외 상위 10개 항목에 속한 선재, 철근, 경유, 시멘트, 합판, 형강, 스테인리스강은 표준편차가 매우 적은 것을 알 수 있다. 이는 환경부하량을 산정한 100개 교량에서 거의 비슷한 비율을 갖는 것으로 볼 수 있으므로, 내역서 상 미기재된 부분이 없는 것으로 판단된다.

4. 강교량 기획단계에서의 영향인자

4.1 영향인자 후보군 도출

구축된 강교량 100개의 기본 데이터를 토대로 상관성 분

석을 실시할 영향인자 후보군을 도출하였다. 이것은 강교량 시공 시 환경부하는 소요되는 자재와 장비사용량에 따른 연료소모량을 기반으로 한다. 100개 대표사례의 환경부하량에 대한 영향인자는 기획단계에서 도출할 수 있는 순공사비, 재료비, 연장, 폭원, 경간구성, 가설위치, 차로수, 경간수, 상부면적 등을 후보군으로 선정하였다.

이 가운데 연구에서는 순공사비, 재료비, LCI DB연계된 자재금액의 금액적인 부분의 영향요인과 상부면적, 연장, 경간수, 폭원, 차로수의 강교량 기본 데이터에서 알 수 있는 영향요인으로 나누어 상관성 분석을 실시하였다.

4.2 상관성 분석

Fig. 4~11에 위에 기술한 8가지 영양인자를 각각 환경부하량과의 상관성 분석을 나타내었다.

Fig. 4와 같이 공사비와 환경부하량과의 상관성 분석을 실시한 결과 결정계수 R²의 값이 0.8895로 높은 상관성을 나타낸다. Fig. 5와 Fig. 6의 재료비와 LCI DB연계된 자재

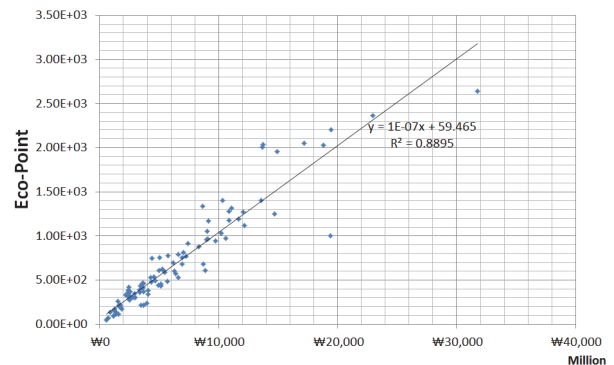


Fig. 4. Correlation analysis between construction cost and environmental load

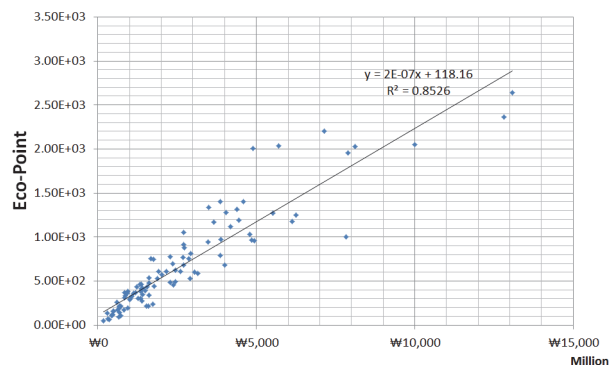


Fig. 5. Correlation analysis between material cost and environmental load

금액 또한 결정계수 R²의 값이 각각 0.8526, 0.8841로 높은 상관성을 나타낸다. 이를 통해 금액적 영향요인은 강교량의 환경부하량 산정값에 매우 큰 영향을 미친다는 결과를 얻을 수 있다.

강교량의 기본 데이터에서 알 수 있는 영향인자인 상부면적, 연장, 경간수와 환경부하량 사이의 상관성 분석을 실시하였다. Fig. 7, Fig. 8 및 Fig. 9에서 나타낸 것과 같이 결정

계수 R²의 값은 각각 0.8669, 0.6946, 0.6465로 높은 상관성을 갖는 것을 알 수 있다. 그러나 Fig. 10 및 Fig. 11에 나타난 폭원, 차로수와 환경부하량 값 사이의 상관성은 결정계수 R²의 값이 각각 0.1541, 0.1341로 낮은 상관성을 갖는 것으로 나타났다. 이로부터 공사비, 재료비, LCI DB연계된 자재금액, 상부면적, 연장, 경간수는 환경부하 산정에 있어 많은 영향을 미치지만 폭원, 차로수는 환경부하 산정에 영향이

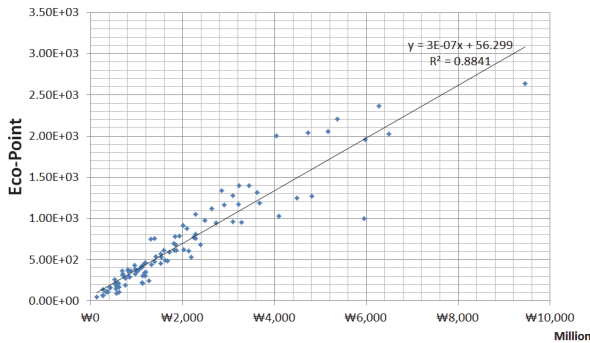


Fig. 6. Correlation analysis between material cost associated with LCI DB and environmental load

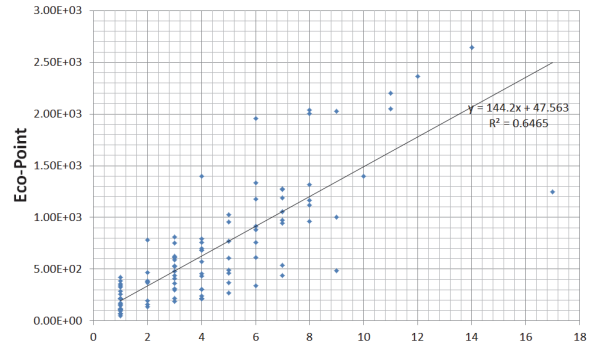


Fig. 9. Correlation analysis between number of span and environmental load

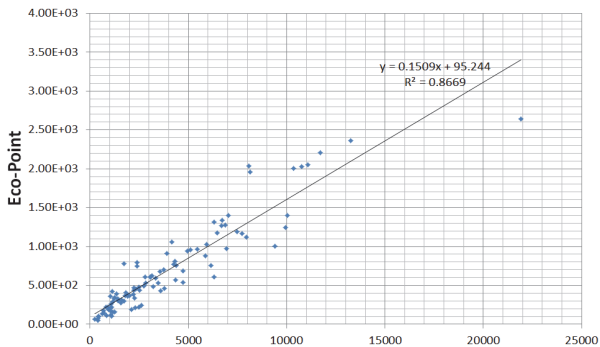


Fig. 7. Correlation analysis between deck areas (m²) and environmental load

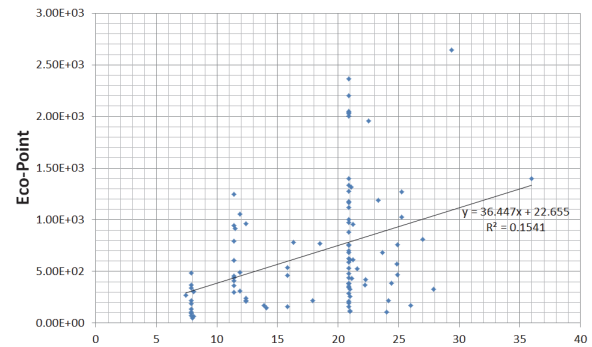


Fig. 10. Correlation analysis between width and environmental load

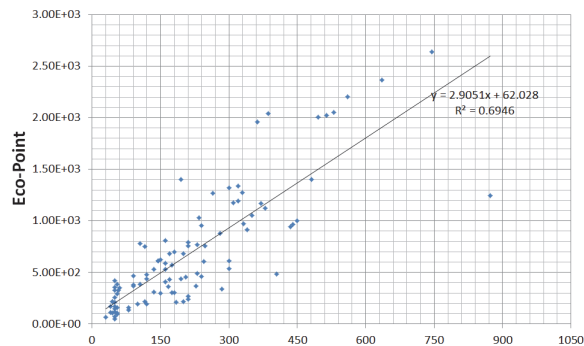


Fig. 8. Correlation analysis between length (m) and environmental load

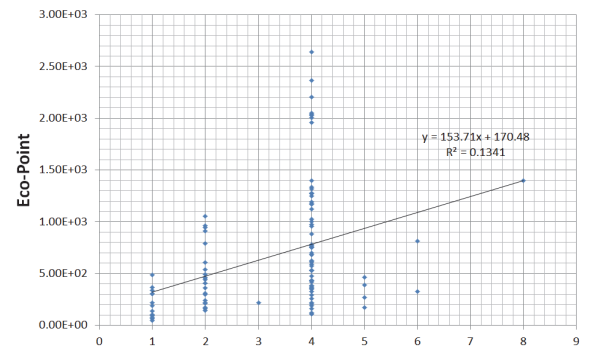


Fig. 11. Correlation analysis between number of road and environmental load

적은 것을 알 수 있다.

4.3 영향인자별 상관/회귀분석

상관성 분석을 통하여 각각의 영향요인이 강교량의 환경부하량 산정 값에 보다 명확한 관계를 알고자 각각의 영향요인의 상관성 분석 결과(Fig. 4~9)에서 상세 상관성 분석을 실시하였다. Fig. 10~11의 폭원과 차로수는 결정계수의 값이 작고 환경부하 산정에 큰 영향이 없는 것으로 판단하여 상세 상관성분석을 실시하지 않았다.

Fig. 12에 이 연구에서 고려한 8가지 영향요인 중 공사비와 환경부하량 간의 상관성 분석을 실시한 후(Fig. 4의 경

우) 얻어진 추세선 수식($y=1E-07x+59.465$)의 x값에 100개 대상 강교량의 환경부하량 값을 입력하여 실측치와 예측치와의 상관/회귀분석을 실시하였다. x축과 y축은 모두 환경부하량의 값으로 단위는 Eco-Point를 갖는다.

Fig. 13~17도 같은 방법으로 재료비, LCI DB연계 자재금액, 상부면적, 연장, 경간수의 영향요인을 각각 상세 상관성 분석을 실시하였다.

상관성 분석에서 결정계수 R²의 값이 큰 공사비, 재료비, LCI DB연계 자재금액, 상부면적의 경우 Fig. 12~15에서 알 수 있듯이 각각의 값이 매우 선형적으로 나타낸다. 그러나 상관성 분석 결과 결정계수 R²의 값이 작은 연장, 경간수

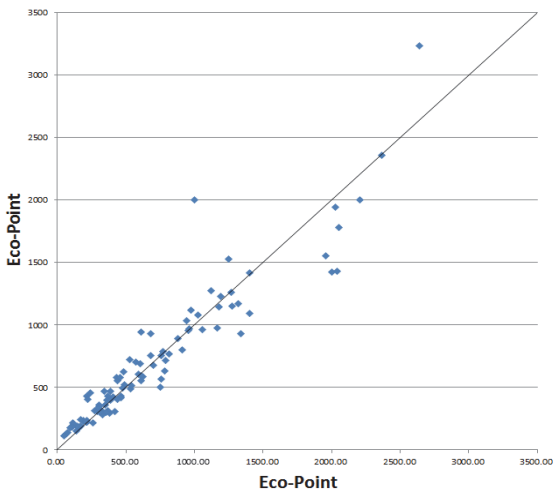


Fig. 12. Details correlation analysis between construction cost and environmental load

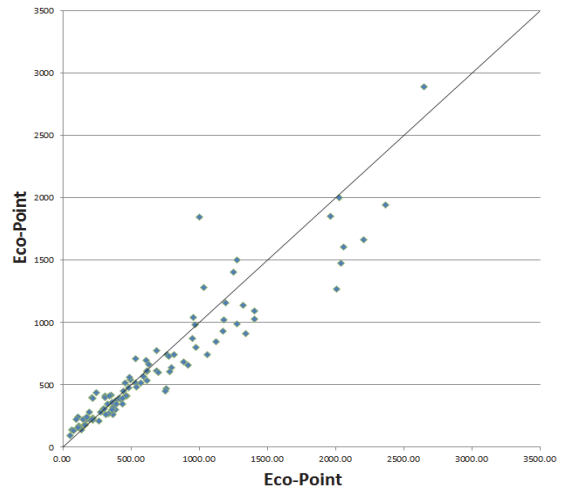


Fig. 14. Details correlation analysis between material cost associated with LCI DB and environmental load

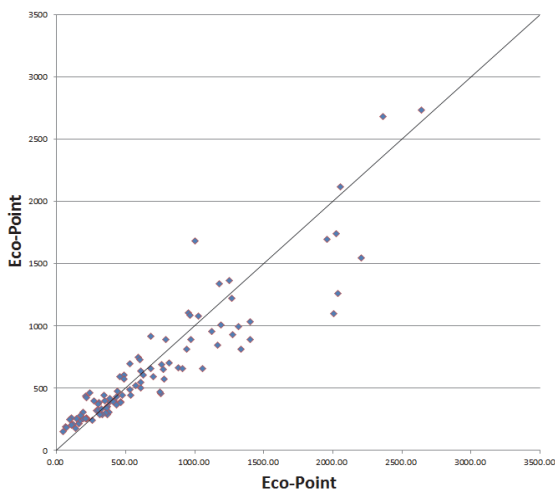


Fig. 13. Details correlation analysis between material cost and environmental load

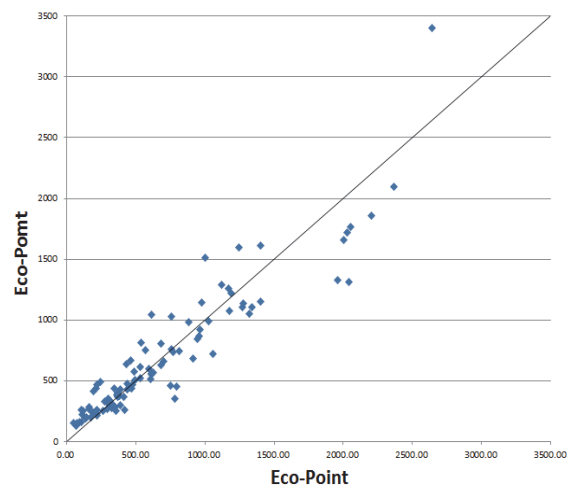


Fig. 15. Details correlation analysis between deck areas and environmental load

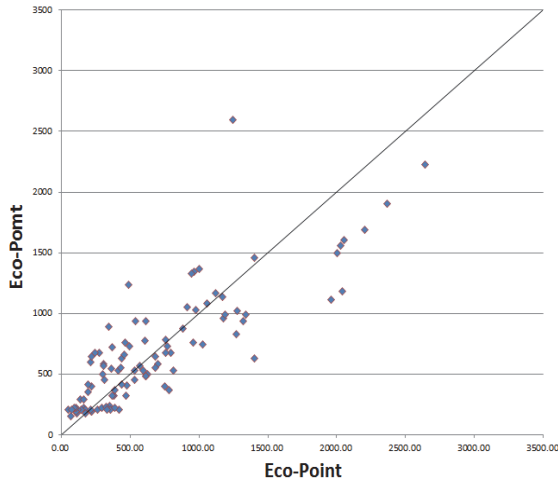


Fig. 16. Details correlation analysis between length and environmental load

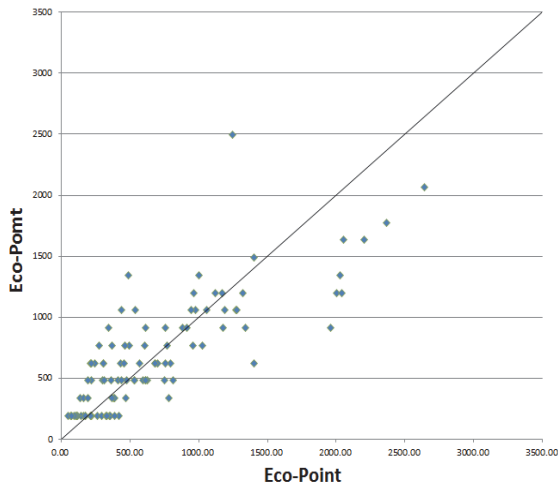


Fig. 17. Details correlation analysis between number of span and environmental load

의 경우 Fig. 16~17에서 알 수 있듯이 각각의 값이 넓게 분포하는 것을 알 수 있다. 이는 결정계수 R^2 이 낮은 영향요인인 경우 환경부하량 산정 값에 있어 적은 영향을 미친다는 것을 보다 정확히 나타낸다.

5. 결론

이 연구는 SOC 시설물 중 강교량의 기획단계에서의 전과 정평가를 실시하여 환경부하량을 산출하고 이를 바탕으로 강교량의 환경부하에 관한 기본 LCI DB를 구축하고자 실시

하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 강교량의 경우, 공장에서 제작되어 현장에 가설되기 때문에 강재 사용량과 환경부하량이 매우 밀접한 관계가 있을 것으로 판단되며, 이 연구에서는 자재 금액별 비중 분석을 통해 후판이 차지하는 비율이 가장 높다는 결과를 얻을 수 있었다.
- (2) 100개 교량에서 환경부하량 가중화 값인 자원고갈, 산성화, 부영양화, 지구온난화, 오존층파괴, 광화학산화물생성, 생태계독성, 인간독성의 8가지 항목의 평균과 표준편차의 계산 결과를 통해 자원고갈과 지구온난화의 영향이 가장 큰 것을 알 수 있었다.
- (3) 34가지의 LCI DB 중 후판, 레미콘, 도로_우레탄계, 선재, 철근, 경유, 시멘트, 합판, 형강, 스테인리스강 순으로 환경부하량에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.
- (4) 환경부하량과 각 영향인자와의 상관성 분석을 실시한 결과, 공사비, 재료비, LCI DB연계된 자재금액, 상부면적은 환경부하 산정에 있어 많은 영향을 미치지만 연장, 경간수, 폭원, 차로수는 환경부하 산정에 영향이 적은 것으로 판단된다.

환경부하를 최소화할 수 있는 의사 결정 도구를 마련하는 것은 세계적인 추세에 맞추어 국내에서도 꼭 필요한 연구라고 생각되며 향후 더 많은 강교량의 LCI DB 분석을 통한 환경부하량 산출이 필요할 것으로 판단된다. 추후 연구에서는 대상 교량의 수를 더 늘려 CBR(Case Based Reasoning) 모델을 제작할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설기술연구사업의 연구비지원(15SCIP-C085707-02)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌(References)

- [1] Tilche, A., and Galatola, M. (2008) Life Cycle Assessment in the European Seventh Framework Programme for Research (2007-2013), *International Journal of Life Cycle Assessment*, Ecomed Publishers, Vol.13, No.2, pp.166-

- 167.
- [2] Young, S.B. (2003) Life Cycle Assessment in Canada, *International Journal of Life Cycle Assessment*, Ecomed Publishers, Vol.8, No.6, pp.321-322.
- [3] Chikada, T., Inoue, T., and Kuwahara, M. (1999) Life Cycle CO₂ Emission Concerning Housing and Daily Life, *Proceedings of Building Simulation Conference*, International Building Performance Simulation Association, Vol.6, No.2, PB-08.
- [4] Nakatsu, K., Furuta, H., Takahashi, K., Ishibashi, K., and Uchida, M. (2013) Effectiveness of Optimization for Bridge Maintenance Planning, *Proceedings of the 7th International Symposium on Steel Structures*, KSSC, pp. 184-185.
- [5] Florida Department of Transportation (2011) *Pavement Type Selection Manual*, FDOT, USA.
- [6] 정민선, 경갑수, 전은경, 권순철(2011) 사례기반추론을 이용한 강박스거더교의 개략공사비 산정 및 검증, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, Vol.23, No.5, 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).
- [7] 정지영, 조광일, 최문석, 노형민, 김상효(2010) 교량의 폐기 및 재활용 단계를 고려한 환경적합성평가, 2010년 한국강구조학회 학술발표대회 논문집, 한국강구조학회, pp. 43-44.
- Jung, J.Y., Cho, K.I., Choi, M.S., Rho, H.M., and Kim, S.H. (2010) A Study LCA Considering Recycle and Demolition Processes of Bridge, *Proceedings of Annual Conference Korean Society of Steel Construction*, KSSC, pp. 43-44 (in Korean).
- [8] 김상효, 최문석, 조광일, 윤지현(2011) 강교량 구조물의 환경적합성에 관한 전과정평가, 대한토목학회논문집 A, 대한토목학회, 제31권, 제4A호, pp.269-278.
- Kim, S.-H., Choi, M.-S., Cho, K.-I., and Yoon, J.-H. (2011) Life Cycle Assessment of Steel Box Girder Bridge, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers A*, KSCE, Vol.31, No.4A, pp.269-278 (in Korean).
- [9] 전찬혁, 신의철, 최진웅, 홍성남, 박선규(2014) 21m 모듈러 강거더 교량의 CO₂ 배출량 분석, 한국구조물진단유지관리공학회 가을 학술발표대회논문집, 한국구조물진단유지관리공학회, pp.59-62.
- Jeon, C.H., Shin, U.C., Choi, J.W., Hong, S.N., and Park, S.K. (2014) Analysis of CO₂ Emissions About 21m Modular Steel Girders Bridge, *Proceedings of Annual Fall Conference of Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, KSMI, pp.59-62 (in Korean).
- [10] 국토해양부(2008) 국토건설공사 설계실무 요령, 국토해양부.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2008) *National Highway Construction Design Handbook*, MLTM, Korea (in Korean).
- [11] 홍태훈, 지창윤, 정광복(2012) 전과정평가(LCA) 방법을 이용한 건축물에 대한 환경영향 평가 방법, 한국건설관리학회논문집, 한국건설관리학회, 제13권, 제5호, pp.84-93.
- Hong, T.-H., Ji, C.-Y., and Jeong, K.-B. (2012) Environmental Impact Assessment of Buildings Based on Life Cycle Assessment (LCA) Methodology, *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, Korea Institute of Construction Engineering and Management, Vol. 13, No.5, pp.84-93 (in Korean).

요 약 : 최근 들어 다양한 분야에서 환경오염에 대한 관심이 높아지고 있으며 환경부하를 산출하는 환경적합성평가방법인 전과정평가에 관한 연구는 현재 많이 진행되고 있다. 그러나 SOC 시설물은 다양한 자재, 공정과정을 거치기 때문에 환경에 많은 영향을 미칠 것으로 예상되나 아직까지는 환경오염에 대한 대책 및 연구가 부족한 것으로 판단된다. 본 연구에서는 2000년 이후 설계된 204개 강교에 대한 데이터를 구축하였으며, 그 중 100개 교량을 대상으로 기획단계에서의 전과정평가를 실시하여 환경부하량을 산출하였다. 또한 강교에 대한 표준 공중 분류체계를 정립하였고, 이를 바탕으로 교량의 기본 설계 자료와 투입자재에 LCI DB를 적용하여 소오자재별 환경부하량을 산정하고 이를 Eco-point 값으로 나타내었다. 본 연구에서 도출된 환경부하량은 향후 강교의 설계에서 전과정평가 과정에 대한 기초자료로서 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 환경부하, 강교, 전과정평가, 기획단계, 상관성분석
