

전과정 평가에 의한 하천 호안 공법의 환경성 평가에 관한 연구

Study on the Environmental Quality Assessment of River Revetment Technique by Life-Cycle-Assessment

김 국 일* / 안 원 식**
Kim, Kook Il / Ahn, Won Sik

Abstract

This study was performed to evaluate the environmental qualities of the revetment construction methods and the river-facility materials using Life-Cycle-Assessment(LCA) for the nature-friendly design of close-to-nature river. The investigation results on the environmental qualities of energy and materials used to the close-to-nature river plan showed that the environmental impacts per unit weight increased in the order of gasoline > diesel > cement > wood. The environmental impacts per unit area of revetment construction method exhibited that the environmental loadings increased in the order of gabion > revetment > cribwork. In addition, it was observed that the environmental impact was reduced by improving the materials of zinc-galvanized wire.

The model basin investigated in this study was the 0.3km² area of river improvement works in Kyung stream, which is a tributary to the Seomjin river and the second regional stream. The research was conducted based on the 30years by life expectancy of artificial facilities. For the comparisons of revetment techniques with respect to the environmental qualities, the method resulted in the highest environmental loadings. The method using ready-mixed concrete ranked second in the environmental loadings of revetment techniques. The present results of this study are expected to play a beneficial role in the nature-friendly design of close-to-nature river by quantitatively identifying the environmental quality of total procedures (i.e., combination of techniques, selection of river-facility materials, maintenance of river-facility) applied to close-to-nature river plan.

keywords : Life Cycle Assessment, river improvement projects, river revetment technique

요 지

본 연구는 자연형 하천 설계시 하천의 친환경적 설계를 고려하고자 전과정평가(Life-Cycle-Assessment, 이하 LCA)에 의해 하천호안에 사용되는 공법과 그 공법에 사용되는 재료의 환경성을 평가하였다. 자연형 하천에 적용되는 에너지 및 기초자재의 환경성을 검토한 결과 단위중량당 가솔린, 디젤, 시멘트, 원주목 순으로 환경영향이 발생하는 것으로 나타났고, 단위면적에 적용된 호안공법의 환경성을 비교한 결과 돌망태공법, 옹벽공법, 방틀공법 순으로 환경부하가 큰 것으로 분석되었다. 또한 돌망태공법의 전기아연도금철선의 소재를 개선하였을 경우 저감되는 환경영향을 분석하였다. 본 연구에 적용된 대상구역은 섬진강의 지류인 지방하천인 경천의 하천정비구역 0.3km²로 선정하

* 수원대학교 토목공학과 대학원 박사수료
(kookil@dbeng.co.kr)

** 수원대학교 토목공학과 교수
Professor, Dept. of Civil Engineering, University of Suwon, Kyunggido, 445-743, Korea
(wsan@suwon.ac.kr)

였으며, 인공시설물 예상 수명 30년을 기준으로 연구를 수행하였다. 시범구역의 호안공법의 환경성을 평가한 결과 돌담태를 적용한 공법이 환경부하가 가장 크게 나타났으며, 이후 레미콘을 사용한 공법 순으로 분석되었다. 자연형 하천 설계시 적용되는 호안공법의 선정시 본 연구의 결과를 이용할 수 있을 것으로 판단되며 이에 따라 환경친화적 자연형 하천 설계에 이바지 할 것으로 기대된다.

핵심용어 : 전과정평가, 하천정비, 하천호안공법

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

도시의 산업화, 공업화와 더불어 사회가 발달함에 따라 하천의 기능과 역할도 변화되고 있으며, 특히 치수, 이수 정책 및 수질관리의 개념이 달라지고 있다. 과거 단순히 용수공급의 이수기능과 홍수, 가뭄 등의 위험에 대비한 치수기능으로서 역할을 해온 하천은 자연보전기능, 친수기능, 공간기능이라는 다양한 환경기능으로서 녹색의 숲과 푸른 물에 대한 도시민들의 욕구증대와 함께 그 역할이 점차 증대되고 있는 실정이다(김동찬, 박익수, 1999). 이러한 변화는 산업화 이후 여러 환경 문제가 주요 이슈로 대두되고, 환경에 대한 관심이 증가함에 따라 1970년대 독일과 스위스에서 시작된 "Naturnaher Wasserbau (친자연형 하천공법)"을 시작으로 1980년대를 전후하여 독일, 스위스, 영국, 미국, 일본과 같은 선진국들에서 광범위하게 이루어지고 있다(정동양, 1996).

우리나라의 경우 1980년대 중반 일본을 통해 자연형 하천의 개념이 소개되었고 그 후 1990년대에 들어 본격적으로 논의되어지기 시작하였으며, 2000년대에 들어 '자연친화적 하천관리지침(건설교통부, 2002a)' 및 '하천 설계기준(건설교통부, 2002b)'이 개정되고, '자연친화적 공법 적용 의무화(건설교통부, 2004)'가 추진되는 등 하천환경정비사업의 제도적·기술적 기반이 마련되어 활발하게 이루어지고 있는 실정이며 자연형하천 설계의 경우 콘크리트 토목자재를 나무, 돌, 흙과 같은 자연재료를 사용하는 것으로 규정하고 있으나 이에 대한 설계 지침이나 치수안정성 문제 때문에 보다 지속적인 모니터링 및 연구가 필요한 실정이다(건설교통부, 2002b). 따라서 본 연구에서는 하천 환경 정비사업에 있어 하천 호안공법에 사용되는 하천시설자재에 대한 LCA를 수행하여 지속가능한 하천 설계의 방향을 제안하고, LCA를 이용한 8가지 범주(자원고갈, 지구온난화, 광화학물 생성, 산성화, 오존층파괴, 부영양화, 생태독성, 인간독성)로 환경전반에 걸쳐 평가 분석하고자 한다. 이에 따라 모니터링의 질적 향상도모와 하천연구의 중요한 기

초자료로 활용이 가능할 것으로 판단되며, LCA를 통해 각 영향범주별로 환경성을 파악하는 것이 가능하여 이후 하천유지보수에 있어서 친환경적 공법 선정에 도움이 될 것이다.

1.2 연구범위 및 방법

본 연구에서는 LCA를 이용하여 하천호안구조물이 갖는 환경적 영향을 분석하여 개선 가능한 분야에 대해 전반적으로 검토하였으며, 또한 향후 하천환경 정비사업에서 고려해야하는 사항들을 검토하였다. 현재 일반적으로 적용되고 있는 자연형호안 공법들의 환경영향을 살펴본 후 경천에 사용된 호안공법 일부구간에 대해 수량산출서를 분석하여 LCA를 수행하였으며, 하천시설자재의 투입 및 시공시 투입되는 에너지사용에 의한 환경 배출물은 IPCC 배출계수를 적용하였다. 다음의 Table 1은 액체화석연료의 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 기후변화에 관한 정부간 패널) 탄소배출계수 예를 나타낸 것이며 표로부터 단위연료당 탄소배출량을 확인하여 증장비에 의한 시공시에 연료별 탄소배출계수를 확인할 수 있으므로 이를 기초로 사용하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 LCA 연구동향

LCA는 1960년대 후반 미국과 유럽을 중심으로 일반 소비재를 대상으로 연구개발이 활발해지고 환경평가나 재사용문제가 촉발되면서 이론이 구축되기 시작하였고, 1969년 미국 코카콜라사(W.E.프랭클린)에 의해 각종재료의 음료용기제작시 환경 및 자원에 대한 LCA를 최초로 수행하였다. 1970년대에 세계적인 오일과동여파로 에너지 소모량에 관한 연구 및 REPA(Resource & Environmental Profile Analysis)에 의해 태양에너지효과/대기 오염물질 절감효과 등에 대한 분석이 수행되어졌다. 1980년대에는 유럽을 중심으로 연구소 및 기업에서 LCA 연구가 시작되고, 80년대 후반기부터 SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry)에서 중점적으로 연구가 되었다(안중우, 2002).

Table 1. IPCC carbon emission factor

Fuel Classification		Carbon Emission Factor		
		(Kg C/GJ)	Ton C/TOE	
Liquefied Fossil Fuel	First-order Fuel	Crude Oil	20.00	0.829
		NGL	17.20	0.630
	Second-order Fuel	Gasoline	18.90	0.783
		Aviation Gasoline	18.90	0.783
		Kerosene	19.60	0.812
		Aviation Fuel	19.50	0.808
		Light Oil	20.20	0.837
		Heavy Oil	21.10	0.875
		LPG	17.20	0.713
		Naphtha	20.00	0.829
		Bitumen	22.00	0.912
		Lubricating Oil	20.00	0.829
		Petroleum Coke	27.50	1.140
		Refinery Feedstock	20.00	0.829

특히, 80년대에는 일본 화학경제연구소의 에너지 분석으로 인해 LCA가 발달하기 시작하였다. 1992년에는 라이덴 대학(네덜란드)의 부설 연구기관인 CML에서 전과정평가의 방법론 지침서를 발간하고, 분야별 전문가로 구성된 작업그룹이 조직되었다. 1993년 EPA 매뉴얼의 간행으로 본격적으로 발전하기 시작하였다. 또한 일본은 1995년 LCA일본포럼을 통해 공동 LCA방법의 확립이나 공동자료기반의 구축, 적용방법론의 확립, 일반 시민, 산업계 등으로 확대, 보급 활동체제의 확립 등의 필요성을 주장했다. 국내에서는 1997년 한국전과정평가 학회가 설립되었고 1999년에 산업자원부 산하 국가청정생산지원센터(NCPC)가 지정되어 2003년에 산업자원부 국가 LCI 종합정보망 구축 및 LCA 소프트웨어를 배포하기 시작하였다(한국생산기술연구원, 2004).

현재 LCA 적용사례는 제품 및 서비스 분야 뿐만 아니라 인프라 시설에 까지 확대되고, 특히 CO₂와 관련해서 많은 연구가 진행되고 있다.

현재의 경우 다양한 건축자재 및 수송에 관한 연구가 진행되고 있으며, 토목의 하천시설물 분야까지 확대하여 친환경적인 자연형하천 설계에 이용하려는 노력이 진행되고 있다.

2.2 LCA 구조 및 절차

2.2.1 LCA 기본구조

LCA는 대상 시스템의 전과정(Life Cycle ; 원료획득, 운송, 생산, 사용, 폐기 및 재활용)에 대한 투입물과 산출물의 정량적 목록을 작성하고, 잠재적 환경영향을 평가하여 환경성과를 개선시키기 위한 대안을 검토하는 일련의 과정을 뜻한다. ISO 14000시리즈의 기술적 근간

을 이루고 있어 정량적 결과에 대한 신뢰성이 높고 방법론이 표준화, 규격화되어있으며, 최근 도로, 교량, 철도 등 인프라시설과 하천, 생태산업단지 등 보다 큰 규모의 시스템을 대상으로 한 연구가 활발하게 진행 중에 있다(ISO 14040, 1997).

LCA의 구조는 상호 연관된 네 가지의 요소로 구성되어 있다. 따라서, LCA를 수행하기 위해서는 각각의 과정에서 필요한 자료와 절차, 방법 등을 정립할 필요성이 있다. ISO 14040시리즈에서 규정하고 있는 LCA의 실시 순서는 Table 2에 제시한 바와 같이 크게 목적 및 범위 설정(Goal and Scope Definition), 목록분석(Inventory Analysis), 영향평가(Impact Assessment), 결과해석(Interpretation)의 4단계와 보고(Reporting) 및 검토(Critical Review)로 구성된다(산업자원부, 2004).

2.2.2 LCA 절차

LCA분석은 유입되는 원료와 에너지에 대한 고려로부터 시작된다. 이러한 유입으로부터 전과정분석이 수행되는데 Fig. 1과 같이 원재료파악, 재료, 운송, 사용, 폐기 등을 고려해야 한다. 또한 일련의 과정을 걸쳐 나온 유출물(대기방출물, 수질오염물, 부산물, 기타폐기물)에 대하여 고려하는 단계를 거치게 되며, 영향범주를 고려하여 LCA분석이 수행된다. LCA분석의 흐름도는 다음의 Fig. 1과 같다.

2.2.3 전과정 영향평가 방법론

영향평가는 목록분석에서 얻어진 각 환경부하항목에 대한 결과를 영향범주로 구분하여 공정별 에너지 및 자원 소비량, 환경오염부하량 등을 기술적, 정량적으로 나타내고 평가하는 단계이다. ISO에서 제시하고 있는 영

Table 2. Components and Phases of an LCA

phases	LCA Analysis	Contents	Frame of LCA Analysis
1	Goal and Scope Definition	<ul style="list-style-type: none"> Environment assessment Construction and operation steps 	
2	Inventory Analysis	<ul style="list-style-type: none"> Data collection : amount of input material and energy Computation of the inventory 	
3	Impact Assessment	<ul style="list-style-type: none"> Using the results of inventory analysis Assesment of potential environmental impact 	
4	Interpretation	<ul style="list-style-type: none"> Identification of the main flows contributing to the impacts 	

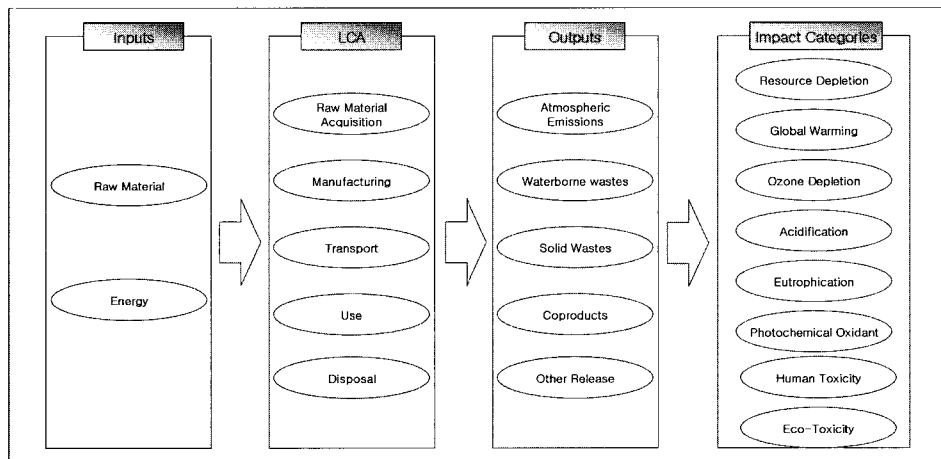


Fig. 1. Life Cycle Stages

향평가 단계는 목록항목을 영향범주에 배정하는 분류화 (Classification), 특성화 인자를 통한 영향범주 내에서 목록항목의 환경영향을 나타내는 특성화(Characterization), 지역적·시간적인 기준을 설정하는 정규화 (Normalization) 및 영향범주별 상대적 중요도를 부여하는 과정인 가중치 부여(Valuation)로 구분할 수 있다 (ISO 14042, 2000).

본 연구에서의 하천분야 LCA분석은 한국형 환경영향평가지수 방법론을 적용하여 8가지 환경영향범주에 대해서 환경전반에 걸쳐 평가하고 분석하였으며 연구에

적용된 전과정평가 산출식은 Table 3과 같다. 환경지수 (E·I)로 표현되는 Table 3과 같은 산출식은 산업자원부(2004)의 Life Cycle Assessment 14040 실무지침시리즈에 제시되어 있는 특성화, 정규화, 가중치부여 단계에서의 각 산정식으로부터 기인한 것으로써 각 단계의 최종 결과라 할 수 있다.

하천정비 사업에 적용된 공법에 대해 LCA를 수행한 후 영향별로 환경성을 파악하였으며, 이러한 LCA 분석을 통한 환경성 평가 결과는 향후 친환경적 하천정비를 위한 공법선정에 도움이 될 수 있을 것이다.

Table 3. Environment Indicator Equation

$E \cdot I = \sum (LCI \text{ result} \times C_i \times 1/N_i \times W_i)$	
	<p>E·I =Environment Indicator LCresult=input-output inventory results Ci : characterization factor Ni : ith normalization results, (pe·yr)/fu here, pe·yr : annual population equiralent, fu : functional unit Wi = weighting factor = Ni/Ti × fi here, Ni/Ti : Reduction Factor fi : Relative Significance Factor</p>

Table 4. Results of LCA on Materials

Category	E · I	Diesel(1kg)	Gasoline(1kg)	Cement(1kg)	Remicon(1kg)	Wood(1kg)	Gravel(1kg)
Total	Pt	2.68E-04	2.71E-04	8.21E-05	2.94E-05	6.52E-05	1.34E-06
Abiotic Resource Depletion	Pt	2.44E-04	2.46E-04	7.17E-06	4.87E-06	2.84E-05	4.23E-07
Global Warming	Pt	3.55E-06	4.34E-06	4.48E-05	7.87E-06	1.84E-05	4.54E-07
Ozone Depletion	Pt	7.52E-10	1.53E-09	1.02E-07	1.20E-07	1.36E-08	1.45E-09
Photo-chemical Oxidant Creation	Pt	3.22E-08	4.25E-08	1.52E-05	2.53E-06	1.39E-06	1.01E-08
Acidification	Pt	1.26E-07	1.68E-07	5.67E-07	1.60E-07	7.21E-06	8.40E-08
Eutrophication	Pt	2.77E-08	3.99E-08	3.83E-07	8.57E-08	2.31E-06	3.89E-08
Human toxicity	Pt	7.95E-08	1.11E-07	8.46E-07	1.73E-07	3.73E-06	4.43E-08
Eco-toxicity	Pt	2.02E-05	2.04E-05	1.31E-05	1.36E-05	3.71E-06	2.84E-07

2.2 LCA에 의한 환경성평가

하천 토목구조물에 일반적으로 사용되는 하천시설자재의 환경성을 Table 4에 정리하였다.(환경부, 산자부 LCI DB 참조) Table에서 보는 바와 같이 1kg에 대한 시멘트의 환경영향은 8.21E-05Pt로 나타났고, 레미콘의 환경영향은 2.94E-05Pt, 원주목의 경우는 6.52E-05Pt, 자갈은 1.34E-06Pt의 환경영향이 있는 것으로 분석되었다. 하천호안에 적용되는 하천시설자재 중 레미콘과 시멘트의 경우 대부분 기계화 시공이 이루어지고 있는 상황을 고려한다면 증장비 사용에 의한 2차적인 환경영향이 발생하는 것으로 나타났다.

기존의 하천 시설물은 물론 현재 다양한 토목공사 및 하천정비에 사용되는 자재의 환경성을 살펴보면 에너지원으로 사용되는 경유와 휘발유의 경우 전체 환경영향 가운데 자원고갈과 생태독성이 차지하는 비율이 가장 높게 나타났으며, 시멘트의 경우 지구온난화, 광화

학산화물생성, 생태독성의 비율이 높게 나타났으며, 레미콘의 경우 생태독성 및 지구온난화, 자원고갈의 순으로 환경에 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 원주목의 경우는 자원고갈, 지구온난화의 환경영향이 대부분을 차지하는 것으로 분석되었고, 자갈은 전체 환경부하중 지구온난화, 자원고갈, 생태독성에 환경영향을 미치는 것으로 분석되었다. Fig. 2에서 레미콘의 경우 시멘트와 자갈, 물의 혼합재료이므로 시멘트보다 작은 환경영향이 발생하였다.

3. 연구대상유역 적용 및 분석

3.1 하천 호안 공법의 환경성 평가

현재 사용되고 있는 하천호안공법에 대한 환경성 평가를 고찰하기 위하여, Table 5와 같은 식생매트 (Vegetation mat : 1 method), 친환경 돌망태(Eco Gabion : 2 method), 옹벽(Retaing wall : 3 method)과, 원주목이 사용되는 방틀공(Crip work : 4 method)에 관해 각각 단위면적당(m²) 환경성을 선행 분석하였다. 본 연구에 적용된 수량은 해당 지역의 토질 등의 여건에 따라 다소 차이가 날 수 있으며, 식생매트와 옹벽 등이 갖는 치수안정성이 동일하다고 말할 수는 없다. 그러나, 단위면적당 각 호안공법이 갖는 환경영향을 규명함으로써 하천호안 설계에 참고가 될 수 있을 것으로 판단된다. Table 5에 제시한 4가지 호안공법의 단위면적당(m²) LCI DB와 LCA 프로그램을 이용하여 산정한 공법별 특성화 결과는 Fig. 3에 제시하였다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 저수호안의 특성화된 환경영향을 각 공법별로 분석한 결과 자원고갈 영향범주에서는 2공법, 3공법이 크게 나타났으며, 오존층 파괴 영향범주는 3공법, 2공법, 4공법 순으로 환경영향이 크

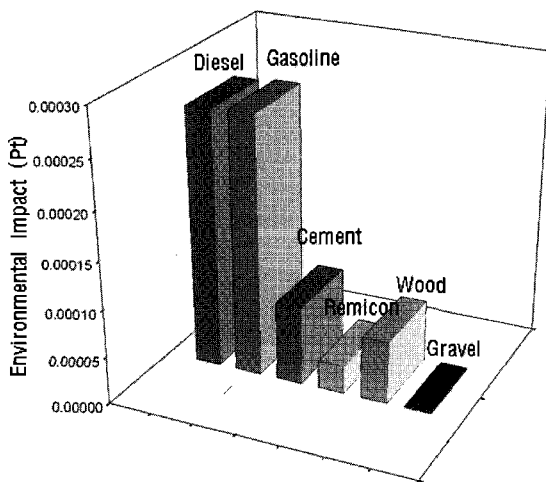


Fig. 2. Results of LCA on Materials

Table 5. Life Cycle inventory and LCI DB

materials	Unit	Vegetation mat (1 method)	Eco Gabion (2 method)	Retaing wall (3 method)	Crip work (4 method)	LCI DB link	Data Reference
Diesel	kg	0.19	0.65	2.19		Diesel	Ministry of Commerce, Industry and Energy
sand	ton			1.87		sand I	IDEMAT2001
Eco-Mat	kg	0.55		0.4		HPP	Ministry of Commerce, Industry and Energy
Fixed-Pin	kg	0.82				Electric Steel Manufacture	Ministry of Environment Republic of Korea
Graval	ton		0.51		0.49	graval I	IDEMAT2001
Wire	kg		5.05			Electrolytic Galvanized Iron	Ministry of Environment Republic of Korea
Concrete	m ³			0.18		Remicon	Ministry of Commerce, Industry and Energy
PVC	kg			3		PVC	Ministry of Commerce, Industry and Energy
Gasoline	kg			0.02		Gasoline	Ministry of Commerce, Industry and Energy
Main Pile	kg				73.80	pitch pine I	IDEMAT2001
Stainless-Steel	kg				4.47	Electric Section Steel	Ministry of Environment Republic of Korea

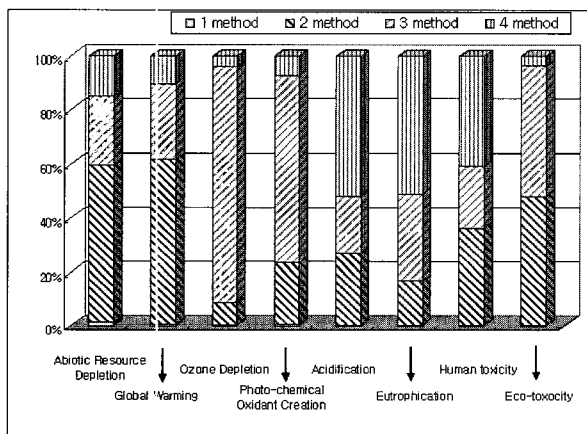


Fig. 3. Characterization of Techniques

게 나타나는 것으로 분석되었다.

각 공법 환경영향에 정규화 가중치 단계를 거쳐 전 과정평가를 수행한 결과 Table 6에서 보는 바와 같이 2공법인 친환경돌망태의 환경성이 매우 큰 것으로 분석되었고, 이후 3공법, 4공법 순으로 분석되었다. 콘크리트 호안 옹벽인 3공법이 2공법인 친환경 돌망태보다 환경성이 좋게 평가된 것은 돌망태를 둘러싸고 있는 철선의 재질(전기아연도금철선)에 의한 환경부하가 크기 때문이며, 철선의 재질 변경을 통한 공정 개선이 요구된다.

Table 7은 친환경 돌망태중 전기아연도금 철선의 환경부하가 큰 것으로 분석되어 철선 소재를 대체하여 분

Table 6. The Results of weighting on Revetment

Impact category	E · I	Vegetation mat (1 method)	Eco Gabion (2 method)	Retaing wall (3 method)	Crip work (4 method)	LCA Results
Total	Pt	3.99E-04	2.70E-02	1.67E-02	5.74E-03	
Abiotic Resource Depletion	Pt	2.46E-04	9.28E-03	4.06E-03	2.37E-03	
Global Warming	Pt	9.49E-05	1.03E-02	4.65E-03	1.68E-03	
Ozone Depletion	Pt	1.90E-07	5.03E-06	5.35E-05	2.48E-06	
Photo-chemical Oxidant Creation	Pt	9.56E-06	3.55E-04	1.07E-03	1.08E-04	
Acidification	Pt	3.40E-06	2.96E-04	2.44E-04	5.79E-04	
Eutrophication	Pt	1.87E-06	6.25E-05	1.20E-04	1.92E-04	
Human toxicity	Pt	2.70E-06	2.68E-04	1.68E-04	3.02E-04	
Eco-toxicity	Pt	4.01E-05	6.42E-03	6.37E-03	5.01E-04	

Table 7. The Results of Environment on Alternative Revetment with Eco GABION

Impact category	E · I	Eco GABION (2 method)	ALT 1	ALT 2	LCA Results
Total	Pt	2.70E-02	2.35E-03	1.28E-03	
Abiotic Resource Depletion	Pt	9.28E-03	9.96E-04	4.52E-04	
Global Warming	Pt	1.03E-02	8.99E-04	4.59E-04	
Ozone Depletion	Pt	5.03E-06	8.53E-07	1.60E-06	
Photo-chemical Oxidant Creation	Pt	3.55E-04	3.51E-05	6.00E-06	
Acidification	Pt	2.96E-04	9.01E-05	5.27E-05	
Eutrophication	Pt	6.25E-05	2.97E-05	2.47E-05	
Human toxicity	Pt	2.68E-04	5.82E-05	3.04E-05	
Eco-toxicity	Pt	6.42E-03	2.44E-04	2.58E-04	

석한 경우이며, ALT 1 은 스테인레스(X10Cr13 ; 볼트, 너트, 포크 등을 만드는 소재용)로 소재를 변경 하였을 경우이며, ALT 2 는 전기로 형강제품으로 철선을 가공하여 사용했을 경우의 환경영향을 나타낸 것이다. 기술적으로 전기아연도금철선을 대체할 수 있는지의 여부는 추후 논의 되어야 하며, 전기아연도금철선의 환경부하가 크게 작용하는 것으로 분석되어 대체소재의 개발이 필요할 것으로 판단된다.

3.2 대상구역 개요

본 연구의 대상구역으로는 지방하천인 경천(L=1.5km, 양안 : 3.0km)을 선정하였다. 경천은 섬진강의 지류이며, 전라북도 순창군 순창읍 순화리 ~ 남계리 지내에 위치하고 있으며, 유역면적은 134.56km², 유역연장은 20.53km인 하천이다. 경천의 자연형사업 연혁을

살펴보면 1992년에 경천 하천정비 기본계획이 완료되었고, 1999년에 하천환경관리계획 및 실시설계가 수행되었다. 이어서 2002년 하천환경정비공사 및 모니터링이 수행되었고, 2005년 현재 사후모니터링이 수행되고 있다(건설교통부, 2005). 다음의 Fig. 4는 시범구역인 경천 현황을 나타내고 있다.

3.3 대상구역의 호안공법 환경성 평가

하천구조물은 한번 공사 후 일정기간 지속성을 갖기 때문에 하천구조물에 사용된 하천시설소재의 내구연한을 30년으로 적용하여 전과정평가를 수행하였으며, 시설물의 유지보수율은 내구연한 동안 15%로 산정하였다. 본 연구에 적용된 하천의 호안공법은 Fig. 4에 제시된 바와 같이 4개 공법이며, 대상호안 전체에 대한 환경영향 및 각 기능단위 하천호안의 환경영향을 정량화

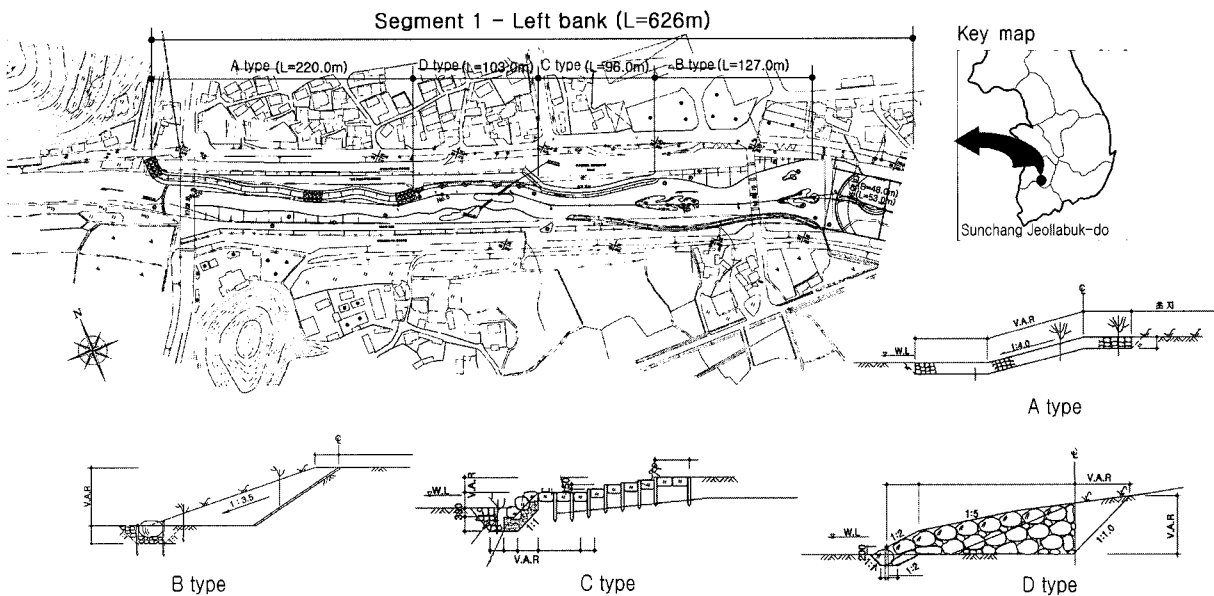


Fig. 4. Status of The Gyeong Stream on Test Basin

하였다. A공법의 경우 돌망태, B공법의 경우 원주목과 잡석, C공법의 경우 원주목, 잡석, 받침석, 콘크리트를 사용되었으며, D공법의 경우는 원주목, 사석, 밀다짐돌이 주로 사용되었다. 실제 설계에 적용된 호안시설물의 유형별 투입 물량은 Table 8과 같다.

Table 8의 4개 공법에 대한 수량과 일위대가를 검토하여 호안 1m 공사시 투입되는 하천시설자재 및 에너지의 환경영향을 정량화(특성화)한 결과를 Table 9에 제시하였으며, 특성화결과 자원고갈 및 지구온난화는 A공법에서 환경영향이 큰 것으로 분석되었으며, 오존층 파괴 및 광화학물 생성 영향범주에서는 C공법이 환경영향이 큰 것으로 분석되었다.

Fig. 5는 공법별 특성화 결과를 백분율로 도시한 것

으로, A 공법의 경우 돌망태에 사용되는 사석이 자원 고갈범주에 영향을 미치고, 망태와 뚜경의 철근 및 시공시 중장비의 사용이 지구온난화와 생태독성범주에 영향을 크게 미치는 것으로 나타났다. C공법의 경우 타공법과는 다르게 콘크리트의 사용이 포함되어 이에 대한 영향이 오존층파괴, 광화학물생성, 생태독성범주에 영향을 미치는 것으로 분석되었다. C공법의 경우 A공법에 비해, 자갈 및 레미콘의 자재사용을 줄이고, 원주목과 같은 자연재료를 사용함으로써 시공상의 에너지 사용 등의 저감으로 인해 환경영향이 적은 것으로 분석되었다. B공법과 D공법은 대체적으로 환경부하가 적어 친환경적인 공법인 것으로 분석되었다.

이와 같이 다른 자연형 하천설계나 환경성평가와 분

Table 8. The amount of materials according to different types of Revetments

Category	Size	unit	type			
			A method	B method	C method	D method
Grubbing		m ³	1,102	278	135	31
Backfilling		m ³	144	93	-	13
Surplus Soil		m ³	959	185	135	26
rip-rap	#8-0.45×0.95×9.5	m ³	1,710	-	-	-
	#8-0.45×0.95×10.50	m ³	42	-	-	-
Cover	#8-0.45×950	EA	448	-	-	-
Boulder Stone		m ³	-	-	-	234
Main Pile	∅100×1,000	EA	-	-	1,253	1,040
Fixed Pile	∅60×1,000	EA	-	1,448	-	-
Banking Compaction		m ³	2,130	-	-	-
Concrete	40-180-8	m ³	-	-	77	-
Form works	4 Sheet	m ²	-	-	94	-
Dog Tooth Stone	∅300mm±20%	m ³	-	-	5	-
Rubble Stone		m ³	-	151	85	-
Support Stone	600×600×250±10%	EA	-	-	1,408	-
Foot Protection Stone	∅400mm	EA	-	724	-	173
Revetment Length	667.71	m	180	289.71	94	104

Table 9. Characterization of Techniques

Impact category	Unit	A method	B method	C method	D method
Abiotic Resource Depletion	1/yr	3.24E+03	1.70E+02	2.01E+03	8.00E+02
Global Warming	g CO ₂ -eq/g	6.37E+05	2.40E+04	4.10E+05	1.09E+05
Ozone Depletion	g CFC-11-eq/g	3.92E-03	3.20E-04	3.30E-02	1.33E-03
Photo-chemical Oxidant Creation	g ethylene-eq/g	1.73E+02	9.50E+00	7.93E+02	4.93E+01
Acidification	g SO ₂ -eq/g	1.82E+03	3.91E+02	2.78E+03	1.95E+03
Eutrophication	g PO ₄ ⁻³ -eq/g	1.91E+02	4.44E+01	3.20E+02	2.15E+02
Human toxicity	g 1,4-DCB-eq/g	2.96E+03	4.60E+02	3.69E+03	2.30E+03
Eco-toxicity	g 1,4-DCB-eq/g	6.23E+03	1.48E+02	8.43E+03	6.24E+02

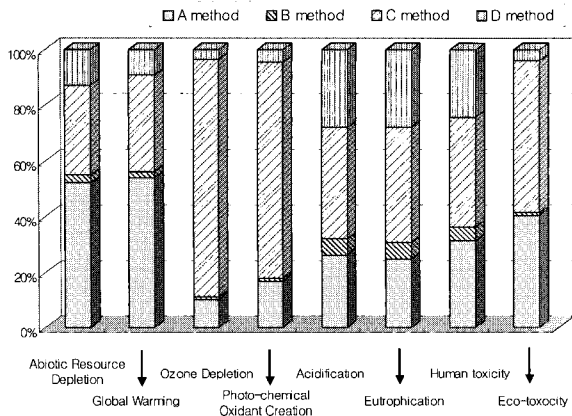


Fig. 5. Characterization of Techniques

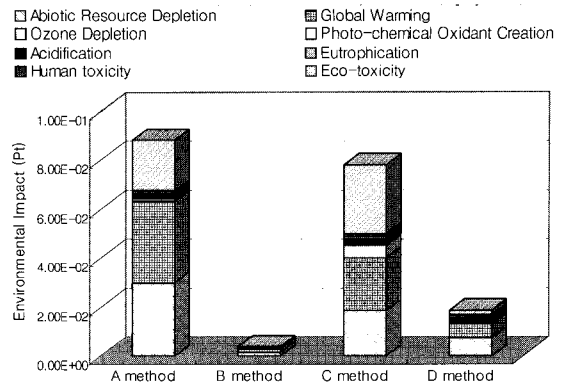


Fig. 6. The Results of weighting on Revetment in length of one meter

Table 10. The Results of weighting on Revetment in length of one meter

Category	A method		B method		C method		D method	
	E · I(Pt)	(%)	E · I(Pt)	(%)	E · I(Pt)	(%)	E · I(Pt)	(%)
Total	8.84E-02	100.00	4.05E-03	100.00	7.82E-02	100.00	1.88E-02	100.00
Abiotic Resource Depletion	3.00E-02	33.94	1.57E-03	38.77	1.87E-02	23.91	7.43E-03	39.52
Global Warming	3.32E-02	37.56	1.25E-03	30.86	2.14E-02	27.37	5.68E-03	30.21
Ozone Depletion	2.82E-05	0.03	2.30E-06	0.06	2.37E-04	0.30	9.56E-06	0.05
Photo-chemical Oxidant Creation	1.09E-03	1.23	6.00E-05	1.48	5.00E-03	6.39	3.11E-04	1.65
Acidification	1.65E-03	1.87	3.53E-04	8.72	2.51E-03	3.21	1.77E-03	9.41
Eutrophication	5.53E-04	0.63	1.29E-04	3.19	9.27E-04	1.19	6.24E-04	3.32
Human toxicity	1.18E-03	1.33	1.83E-04	4.52	1.47E-03	1.88	9.17E-04	4.88
Eco-toxicity	2.07E-02	23.42	4.92E-04	12.15	2.80E-02	35.81	2.08E-03	11.06

석결과와는 다르게 사석이나 원주목같은 친자연형호안의 경우에도 자원고갈과 지구온난화 등에 큰 영향을 미치기 때문에 이에 대한 사용도는 다른 호안들과 지속적으로 비교·검토하여야 할 것으로 판단된다. 또한 각 하천의 특성에 맞는 물리적 요소를 고려하여 설계된 공법간의 비교는 다소 무리일 수 있으나, 하천의 특성 및 치수의 목적에 부합된 자연형 하천설계가 더욱더 요구될 것으로 판단된다.

호안 1m당으로 일반화시켜서 공법별 환경영향을 분석하여 Table 10과 Fig. 6에 제시하였다.

전체 공법의 환경영향지수의 총합은 1.89E-01이며, 이중 A공법이 8.84E-02Pt, B공법이 4.05E-03 Pt, C공법이 7.82E-02Pt, D공법이 1.88E-02Pt로 나타났다. 공법별로 환경영향지수를 분석해보면 A공법의 경우 환경영향이 큰 범주는 지구온난화 37.56%, 자원고갈이 33.94%, 생태독성이 23.42%로, A공법 전체 환경영향 가운데 94.91%를 차지하는 것으로 분석되었다. 또한 C

공법의 경우 생태독성이 35.81%, 지구온난화가 27.37%, 자원고갈이 23.91 %로 나타나 C공법 전체 환경영향 가운데 87.08%를 차지하는 것으로 분석되었다.

환경영향지수가 가장 작게 나타난 B공법의 경우 환경에 악영향을 미치는 철근이나 시멘트와 관련된 공정이 없고, 기계화하여 시공되지도 않기 때문에 타 공법에 비해 가장 작은 값을 가지는 것으로 나타나 동일한 자연형공법이라 하더라도 시공상의 고려(인력 또는 기계)도 충분히 고려해야 하는 것으로 나타났다.

4. 결론

전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA) 기법을 이용하여 하천 시설물의 하나인 호안에 대한 환경영향을 정량적으로 분석, 평가하였으며, 섬진강 유역의 경천을 대상으로 사례 연구를 수행한 결과는 다음과 같다.

- 1) 하천시설자재에 대한 환경영향을 검토한 결과 역

체화석연료가 하천시설자재보다 3배정도 큰 악영향을 미칠 수 있는 것으로 나타났으므로 기계화 시공이 이루어지는 경우 2차적인 환경영향이 발생할 수 있는 것으로 나타났다. 또한, 에너지원으로 사용되는 경유와 휘발유의 경우 전체 환경영향 가운데 자원고갈과 생태독성, 하천시설자재의 경우에는 자원고갈, 지구온난화, 생태독성의 비율이 높게 나타났다.

- 2) 단위면적당 호안공법을 비교한 결과 친환경 돌망태, 옹벽, 방틀공, 자연식생매트 순으로 환경영향이 큰 것으로 분석되었고, 친환경 돌망태의 전기아연도금 철선의 환경영향이 크게 나타나 하천에 적용되는 대체소재의 개발이 필요할 것으로 판단된다.
- 3) 공법별 가중치 결과 환경영향지수의 총합은 1.89E-01이며 이중 A공법이 8.84E-02 Pt(46.66%), B공법이 4.05E-03 Pt(2.14%), C공법이 7.82E-02 Pt(41.28%), D공법이 1.88E-02 Pt(9.92%)로 나타났다. 이는 대상유역에 적용된 호안공법별 전과정평가 결과를 나타내는 것으로써 돌망태를 사용하는 A공법의 환경영향이 가장 큰 것으로 분석되어, 향후 이에 대한 환경부하 저감방안이 연구되어야 할 것으로 판단된다. 또한, 콘크리트를 사용하는 C공법이 환경부하가 크게 발생하는 것으로 분석되었으며 환경영향이 가장 큰 A공법의 경우 지구온난화 37.56%, 자원고갈이 33.94%, 생태독성이 23.42%로, A공법 전체 환경영향 가운데 94.92%를 차지하는 것으로 분석되었다.

본 연구에서 국내 처음으로 하천설계에 LCA를 도입한 결과, 자연형 하천 설계 및 하천정비시 친환경적인 하천시설자재의 선정에 기여할 것으로 판단되고, 또한 하천시설자재가 친환경적인 자연재료라고 해도 시공시 사용되는 건설장비의 영향이 반드시 고려되어야 하는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

건설교통부 (2002a). **자연친화적 하천관리지침**

건설교통부 (2002b). **하천설계기준**

건설교통부 (2005). **경천 시범 하천환경정비사업 사후 모니터링 보고서**

구자공 (1997). **"전과정평가(LCA) 규격동향 및 기업의 대응방안."** 현대환경리포트 통권 제 2호

김동찬, 박익수 (1999). "생태환경복원을 위한 하천자연도 평가기준에 관한 연구." **한국정원학회지**, 제17권, 제3호, pp. 123-135.

산업자원부 (1999). **환경친화적 산업기반 구축을 위한 환경경영 표준화사업-한국형 환경영향평가지수 개발 1차년도 중간보고서**

산업자원부 (2004). **Life Cycle Assessment 14040 실무지침시리즈**

서성원, 황용우 (1998). "주거용 건축물의 전과정에 따른 CO₂ 배출량 평가." **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제18권, 제II-5호, pp. 521-529.

안중우 (2002). "전과정 평가(Life Cycle Assessment : LCA)" **한국피엔지소식지**

정동양 (1996). "독일·스위스의 근자연형 하천계획." **한국수자원학회지**, 제29권, 제2호, pp. 39-43.

최시중, 이동률 (2005). "지속가능한 수자원 개발과 관리를 평가하기 위한 지표." **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제38권, 제9호, pp. 779-789.

한국생산기술연구원 국가청정생산지원센터 (2004). **국가 LCI Database 구축 방법론 및 관리·보급 확산 방안**

환경부/건기원 (2001). **국내여건에 맞는 자연형 하천공법의 개발 연구보고서**

Goedkoop, M. J. (1995). *"De Eco-indicator 95"*, Eindrapportage(final report, identical to this, but in Dutch), NOH report 9514; Pre consultants; Amersfoort(NL), ISBN 90-72130-77-4

ISO (1998). *Life cycle assessment, ISO 14040 - Principles and framework.*

ISO (1998). *Life cycle assessment, ISO 14042 - Life cycle assessment.*

(논문번호:07-14/접수:2007.02.07/심사완료:2007.06.21)