

LCA에 있어 영향정량화 인자의 산정과 적용

맹승주 · 윤성한 · 이동훈

(서울시립대학교 환경공학과)

A Consideration on the Development of the Impact Assessment Methodology in LCA

Seung-joo Maeng, Sung-han Yoon, Dong-hoon Lee

(Dept. of Environmental Engineering, University of Seoul)

ABSTRACT

The purpose of LCA is to quantify resources, energy consumption and environmental loads for environmental improvement and to pursuit finally the sustainable development and balance of ecosystem.

Because strategies for environmental protection are different from each country depending on the environmental situation, these must be considered in LCA standardization of each country.

Theories of impact quantification criteria were examined and the degree of environmental impact was calculated on the basis of level of each impact category.

Impact quantification criteria calculated on the basis of Korea environmental level were different from each criterium calculated by each method and environmental level of each country. High criteria could be obtained in the case of highly polluted region. Therefore, if impact quantification criteria is standardized uniformly regardless of environmental level of each country, it could be underestimated for improving properly the regional environment.

Children diaper was analyzed as a case study for LCA and environmental loads were unified to make environment load index using impact quantification criteria on the basis of environmental level of Korea.

요 약 문

환경오염 정도에 따라 각국의 환경보호정책이 달라지기 때문에, LCA의 표준화에도 각국의 환경오염 정도를 고려해야 한다. 본 논문은 이러한 생각을 바탕으로 국내 환경오염정도과 환경기준을 이용하여 영향 정량화 인자를 개발하였다.

환경부하의 카테고리별 가중치와 카테고리내 영향항목의 가중치를 이용하여 영향정량화 인자를 계산한 결과, 수질오염 등 지역적 환경오염의 정량화인자가 비교적 높은 값을 나타내었다.

구해진 정량화 인자를 이용하여 종이기저귀와 천기저귀 목록분석자료의 영향평가에 적용한 결과, 종이기저귀가 더 환경을 오염시키는 것으로 평가되었다.

I. 서 론

제품의 생산 및 소비과정에서 필연적으로 발생하는 자원·에너지 소비 및 환경오염부하를 정성적·정

량적으로 평가해서 이를 저감시키거나 개선시키고자 하는 기술적·정책적 장치로서 LCA(Life Cycle Assessment)가 소개되면서 국제적으로 이의 방법론을 연구개발하고 보급하려는 노력이 활발히 진행되고 있다¹⁾.

LCA에서 영향평가는 자원소비와 환경부하를 정량적으로 평가하는 단계로, 이러한 평가에서 영향범주간의 상호비교가 필요한 가치평가(Valuation)는 공학적으로 정량화하기 어려운 사회과학적 요소가 내재되어 있어 표준화가 필요하다.

세계 각국에서는 EcoPoint, ELU(Environmental Load Unit) 등과 같은 영향정량화 인자를 개발하여 이들을 LCA에 적용함으로써 제품이나 서비스에 대한 종합적인 환경부하 평가를 실시하고 있다.

이러한 배경을 바탕으로 본 연구의 주요 목적은 LCA방법론과 평가방법 등을 검토하여 환경에 영향을 미치는 개개의 영향범주를 통합하고 정량화하기 위한 영향정량화 인자를 산정하여 LCA목록분석에 적용함으로써 전체적인 환경부하 평가의 도구로서 LCA의 효용성을 점진하는 것이다.

II. 영향평가방법

1. 기존의 영향평가 방법

LCA에 적용되는 영향평가방법에는 스위스식 한계량 접근방법, 스위스의 에코포인트법, EPS법, 덴마크방법, 네덜란드방법, 독일방법, SETAC방법 등이 있다.

국내에서는 한계량 방법을 적용, 국내 환경기준을 이용하여 대기/수질오염물질 범주내의 가중치를 산정한 연구¹⁾, 공업진흥청의 LCA기법을 이용한 Case Study에서 부하당량당 중요도순위를 산정하여 적용한 예와 전과정평가용 국내정규화값 결정 등의 연구³⁾가 있다.

2. 영향정량화 인자산정 방법

본 연구에서 영향정량화 인자의 산정에 이용된 방법은 환경기준과 현재의 수준을 비교한 스위스와 네덜란드에서 개발된 생태적 희소성 판단법(Ecological Scarcity Weighting Method)을 이용하여 계산하였다. 각 자원/환경부하의 영향정량화 인자(Environment Load Unit, ELU/kg)는 다음의 식으로 산정하였다.

$$ELU/kg_i = \frac{W_{Si}}{\sum(W_{Sj} \times TQ_j)} \times W_{Oj} \times c \cdots Eq.1$$

- 단, W_{Si} : 영향범주내 i항목의 가중치
 W_{Oj} : 영향범주 j의 가중치
 TQ_i : 영향범주내 i항목의 연간소비(부하)량
 c : 단위 보정상수(10^{15})

Eq. 1에 사용된 각 인자의 의미와 산정기준은 다음과 같다.

- ① W_{Si} : 각 영향범주(대기오염, 자원고갈 등)내의 환경부하(대기오염범주내의 NO_x , SO_x , TSP 등)간의 가중치로써, 각 범주내의 가중치 산정기준은 다음과 같다.
 - 에너지소비 : 석유, 석탄, 프로판/도시가스, 전력의 발열량당 판매가 기준
 - 자원고갈 : 소비되는 자원의 가채량과 연간 자원소비량의 비
 - 대기/수질 오염물질 : 환경기준과 현재 한국 환경연감상의 대기오염도
- ② W_{Oj} : 각 영향범주(대기오염, 자원고갈 등)간의 가중치로 권상준의 「소도시의 환경영향평가 모형의 개발에 관한 연구」²⁾중의 “환경영향평가 요소 항목 설문조사 결과표” 자료를 인용하였다.
- ③ TQ_i : 일정 지역(국내)내에서의 소비(부하)량
- ④ ELU(Environmental Loading Unit)/kg : 환경영향정량화 인자로 목록분석에서 작성된 환경부하(kg)당 환경영향지수를 나타낸다.

전체적으로 Eq. 1로 산정한 영향정량화 인자는 각 환경부하의 영향범주내 가중치와 영향범주간 가중치의 곱에 연간 환경부하량으로 나누어지는 형태이다.

그러므로 이 영향정량화 인자는 일정 지역(본 연구에서는 국내로 한정)안에서 배출되는 환경부하의 역수형태를 표현하고 있어, 연간 부하량이 적을수록, 각 가중치가 클수록 정량화 인자가 커진다. 각 단계별 산정방법은 아래와 같다.

① 각 영향 범주내의 가중치 산정

영향 범주내의 가중치는 에너지소비, 자원소비, 대기/수질 오염물질, 폐기물로 구분하여 산정하였다. 각 범주내의 기준항목 1.00에 대한 비로 계산하였다.

② 각 범주별 가중치 산정

Table. 1. Environment Load Unit

구분	항목	가중치		소비량/배출량(kg) (TQi)	ELU/kg*
		항목 (W _{Si})	구분 (W _{Oj})		
에너지 소비	석 유	1.00	0.159	2,100,325,500,000	50.08
	석 탄	0.53		1,020,756,100,000	26.54
	천연가스	1.13		126,542,780,000	56.59
	전 력	0.63		620,030,320,000	31.55
	합 계	3.29		3,867,654,700,000	41.11
자원 고갈	용 수	1.00	0.215	27,600,000,000,000	7.79
	광물자원	0.030		650,000,000,000	0.23
	삼림자원	0.033		923,126,000	0.26
	합 계	1.06		28,250,923,126,000	-
대기 오염	SO _x	1.00	0.202	1,445,810,000	81480.96
	NO _x	0.46		1,121,544,000	37036.80
	CO	0.18		1,529,634,000	14814.72
	TSP	0.64		385,611,000	51851.52
	합 계	2.28		4,482,599,000	-
수질 오염	BOD	1.00	0.250	430,856,300	259094.21
	COD	1.15		379,231,400	297958.34
	SS	0.15		652,876,600	38864.13
	합 계	2.30		1,462,964,300	-
폐기물		1.00	0.174	49,518,100,000	3513.87

* 에너지소비의 단위는 ELU/MJ

설문조사 자료(참고문헌 2)를 인용하여 각 범주간의 가중치 산정결과를 산정하였다. 이 설문결과에서 전문가항목은 환경관련 공무원과 민간 사업체의 환경전문가 52명의 설문결과이고, 시민은 청주시 주변 지역에 거주하는 주민 50명에게 설문조사를 실시한 결과이다. 천연자원, 대기질, 수질, 폐기물, 자연계 요소의 값을 영향범주의 가중치(W_{oj})로 산정하였다.

③ 환경부하량(소비량/배출량) 산정

우리나라의 1년간 에너지소비 및 환경부하량(TQi)은 각 통계자료의 수치를 인용하여 산정하였다.

3. 영향정량화인자 산정결과

Eq. 1을 이용하여 구한 각 항목의 영향정량화 인자(ELU/kg)를 Table 1에 나타내었다. 표에 나타난 바와 같이 에너지소비 및 자원고갈은 0.23~56.59의 범위로 산정되었고 대기/수질오염은 15,000~290,000

정도의 값으로 큰 차이를 보이고 있다. 배출량이 가장 적은 수질오염 범주의 영향정량화 인자가 가장 큰 것으로 나타났는데, 이는 영향정량화 인자에 배출량이 가장 큰 비중을 차지하기 때문이다.

4. 기존 영향정량화 인자와의 비교

각국의 영향정량화 인자를 SO_x를 1로 상대화하여 Table 2에 나타내었다. 우리나라의 환경부하 등을 이용하여 산정된 영향정량화 인자를 비교해 보면, Table 2에 나타난 바와 같이 광역적 문제인 에너지 소비 등은 비교적 낮고 국지적 문제인 SO_x나 COD는 비교적 높게 나타났다. 각 인자는 산정방식과 지역적인 환경수준과 기준 등에 따라 큰 차이를 나타낸다. 영향정량화 인자는 국내의 환경오염현황과 기준을 바탕으로 산정되었기 때문에 이는 우리나라의 환경수준을 나타낸 것이라고 할 수 있다.

Table. 2. Comparison of each Impact Quantification Criteria

항목		지표		스웨덴	절대 ELP/kg	본연구 ELU/kg
		SimaPro2.0	미그로스			
에너지소비		0.00049	0.0178	4.000	0.0042	0.0005
CO ₂		0.00015	0.0156	0.890	0.0015	-
프레온	지구온난화	-	1956.5	3034.100	592.1220	-
	오존층파괴			12.500	14.8666	-
SO _x		1.0000	1.0000	1.000	1.0000	1.0000
NO _x		0.3034	18.2609	2.200	0.9619	0.4600
COD		-	1.6522	0.016	0.7814	3.6637
일반폐기물		0.0047	0.0965		0.0035	0.0432

그런데 이와 같이 다른나라와 비교할 때 상이하므로 어떠한 인자를 적용하느냐에 따라 영향평가를 수행할 때 전혀 다른 결과가 나타나게 된다.

III. LCA 사례연구

위에서 산정한 영향정량화 인자를 기존에 국내에서 수행된 목록분석자료에 적용하여 전체적인 LCA를 수행하였다.

기존에 연구된 자료는 영향정량화 인자를 적용하지 않아서 개개의 영향범주에 대한 목록분석 단계에 그치고 있어 본 연구에서는 이를 바탕으로 전체적인 환경부하지수(Environment Load Index)를 산정하여

종합적인 영향평가를 실시하였다. 환경부하지수는 영향정량화 인자인 환경부하 원단위(Environment Load Unit)에 목록분석의 환경부하를 곱하여 산출하였다.

사례연구로서 종이거저귀와 천거저귀의 환경성 검토자료¹⁾에 영향정량화 인자를 적용하였다. 이 연구는 종이거저귀 및 천거저귀에 대하여 1,000회 사용당 원료채취, 제조, 사용, 폐기 등 각 Life Cycle 단계에서의 ①자원소비 및 사용, ②에너지소비, ③물소비, ④쓰레기발생량, ⑤대기오염부하량, ⑥수질오염부하량을 산정하였다. 종이거저귀와 천거저귀의 총괄목록표를 Table 3에 나타내었다.

Table 3을 보면, 에너지소비, 폐기물은 종이거저

Table. 3. Inventory of Paper Diaper and Cloth Diaper

구분	조사 항목	단위	종이거저귀 Life Cycle(1,000회 사용기준)					천거저귀 Life Cycle(1,000회 사용기준)				
			자원채취/원료제조	부품제조	사용	회수/폐기	합계	자원채취/원료제조	부품제조	사용	회수/폐기	합계
에너지소비		MJ	15,191	14,677			29868	5,451	622	16,551		22,624
자원 고갈	용수	kg	3,600.0	1,050.0	790.0		5440.0	70.0		10,000.0		10,180.0
	목재	kg	87.7				87.7					0.0
대기 오염	SO _x	kg	0.428	0.671			1.099	0.089		0.948		1.037
	NO _x	kg	0.181	0.340			0.521	0.037		0.542		0.579
	CO	kg	0.541	0.623			1.164	0.312		0.039		0.351
	TSP	kg	0.911	0.193			1.104	0.021		0.193		0.214
수질 오염	BOD	kg	0.730		0.311		1.041	0.003		0.853		0.856
	COD	kg	0.203		0.557		0.760	0.025		1.909		1.934
	SS	kg	0.713		0.988		1.701	0.169		2.545		2.714
폐기물		kg	-	6.44		193.2	199.64	-	1.71		25.1	26.81

출전 : 김선희, LCA의 방법론 및 적용에 관한 연구, 서울시립대학교 박사학위논문, 1994.

귀가 많고 수질오염은 천기저귀가 비교적 높게 나타났다. 그러나 이러한 목록분석 자료만으로는 대상제품의 환경부하를 정량화할 수 없다. 이때 필요한 것이 영향정량화 인자로서 각 환경부하에 이 인자를 곱하여 산정한 환경부하를 Fig. 1과 2에 나타내었다.

Fig. 1과 Fig. 2에 나타난 바와 같이, 종이기저귀와 천기저귀에 대한 환경영향지수를 산정한 결과, 종이기저귀는 제조생산단계에서의 에너지소비부하와 폐기시의 폐기물에 의한 부하가 높고, 천기저귀는 사용단계에서 세탁에 의한 에너지소비와 수질오염부하가 높은 것으로 나타났다.

Fig. 1. ELU for Impact Category of Paper Diaper

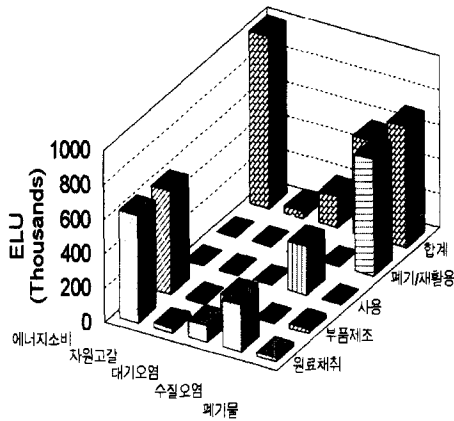
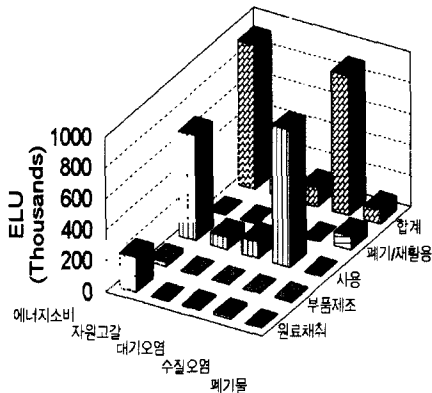


Fig. 2. ELU for Impact Category of Cloth Diaper



전체 환경부하지수를 산정한 결과, 종이기저귀의 환경영향지수는 2.72×10^6 ELU, 천기저귀의 환경영

향지수는 2.13×10^6 ELU로 종이기저귀의 환경부하가 약 1.3배 높음을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 연구는 LCA의 영향평가에서 사용되는 기존에 적용된 이론을 고찰하고, 각 영향범주의 특징에 의하여 영향정량화 인자를 선정하여 유아용 기저귀에 적용하였다. 본 연구에 대한 결론은 다음과 같다.

LCA가 실제 환경영향을 평가하기 위하여는 각 영향범주로 목록화된 Inventory를 하나의 환경부하단위로 통합하는 것이 필요하고, 이를 위하여 각 영향범주의 특징에 맞는 영향정량화 인자를 선정하여 적용하여야 한다.

본 연구에서 산정된 영향정량화 인자를 외국의 정량화인자와 비교하면, 선정방식과 각국의 환경수준 등에 따라 큰 차이를 나타냈으며, 지역적 환경문제(수질오염 등)의 정량화인자가 비교적 높았다.

그러므로, 각 국가의 환경수준이 상이한 상황에서 정량화인자를 단일안으로 표준화하면 LCA의 본래 목적인 환경영향 저감효과가 적어질 것으로 생각된다.

본 연구에서 산정된 영향정량화 인자를 적용하여 유아용 기저귀의 환경부하평가를 수행한 결과, 기존의 영향범주별로만 평가된 환경부하를 단일 단위로 통합하여 평가할 수 있었다. 그 결과 종이기저귀의 환경부하지수(ELU)가 천기저귀 보다 높은 것으로 나타났다.

LCA의 궁극적인 목표는 자원·에너지소비 및 환경오염부하를 최소화할 수 있는 개선점을 찾아 지속가능한 발전과 생태계의 균형을 도모하는 데 있다. 따라서 향후 LCA에 관한 연구는, 본 연구에서 산정한 영향정량화 인자를 적용하여 어느 Life-Cycle 단계의 환경부하를 저감시키는 것이 전체적인 환경부하 저감에 효과적인가를 평가하는 개선평가에 초점을 맞추어야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) 김선희, LCA의 방법론 및 적용에 관한 연구, 1994.
- 2) 권상준, 소도시의 환경영향평가 모형의 개발에 관한

- 연구, 환경정책, 제2권 제1호, 1994.
- 3) 정연하 등, 전과정평가용 국내정규화값 결정, 대한환경공학회지, 19권, 2호, 1997.
 - 4) 永田 勝也 et al, 統合化指標お用したPE ボトルのライフサイクルアセスメント, 第6回日本廢棄物學會發表會講演論文集, 1995.
 - 5) Sukehiro GOTOH, Methology for Assessing Environmental Load, Proceedings of International Conference on EcoBalance, Japan, 1994
 - 6) Swen-Olof Ryding et al., The EPS System - A Joint Scientific and Industrial Effort to Develop a Sustainability- Based Managerial Tool for Life Cycle Design of Products, Proceedings of International Conference on EcoBalance, Japan, 1994
 - 7) Kenichiro Yamaguchi, Incorporation of Multimedia Models into LCA Classification, Proceedings of International Conference on EcoBalance, Japan, 1994