

작업환경을 통합한 전과정평가 기법에 관한 연구

김익, *홍기정, *고지연, *허탁

(환경마크협회, *건국대학교 화학생명공학부)

A Study on the Integration of Working Environment into Life Cycle Assessment

Ik Kim, *Ki-jung Hong, *Ji-yeon Gho, *Tak Hur

(Korea Environmental Labelling Association,
*School of Chemical and Biological Engineering, Konkuk University)

ABSTRACT

A conventional life cycle assessment (LCA) framework mainly evaluates the environmental impacts associated with inputs and outputs from/to external environment of a product system. However the inputs and outputs generated from a facility influence not only the external environment but also the working environment. Therefore, this study developed the methodology that could integrate the working environment into a conventional LCA framework. It established the general requirements for adjusting the levels of the system boundary and category indicators in order to integrate appropriately the impacts of both the working environment and the external environment which have the different characteristics. Thus, this study introduced Input Output Analysis (IOA) technique in order to extend the system boundary to the life cycle of a product system, and applied the category indicator such as the number of Disability Adjusted Life Years (DALY), the Potentially Affected Fraction (PAF) and Lost Work Days (LWD) in order to assess the impacts of end point level. A case study of a petrochemical company in Korea was provided as an example for illustrating the feasibility of the methodology developed in this study.

Key Words : Life Cycle Assessment (LCA), External Environment, Working Environment, Input Output Analysis(IOA), Occupational Health & Safety

요 약 문

일반적으로 전과정평가는 제품시스템의 전과정에서 사업장으로 들어오거나 사업장에서 배출되는 물질들을 정량화하고 이들이 외부환경에 미치는 잠재적인 영향을 평가하는 환경성평가 도구이다. 하지만 사업장에서 배출되는 물질들은 작업장의 외부환경 뿐만 아니라 작업환경에도 영향을 미친다. 이에 따라 본 연구에서는 전과정평가의 기본골격에 작업환경을 통합하여 평가할 수 있는 방법론을 개발하였다. 본 방법론에서는 서로 다른 특성을 가지는 작업환경과 외부환경의 영향을 적절하게 통합하기 위하여 시스템경계와 범주지표의 수준을 동일하게 맞출 수 있는 일반요건을 설정하였다. 시스템경계의 수준을 동일하게 하기 위하여 산업연관분석(IOA)기법을 도입하였고, 범주지표의 수준을 동일하게 조정하기 위하여 DALY, PAF, LWD와 같은 종말점 수준의 범주지표를 활용하였다. 개발한 방법론에 대한 이해를 돕기 위하여 국내에서 생산된 석유화학 제품을 중심으로 사례연구를 수행하였다.

주제어 : 전과정평가, 외부 환경, 작업장 환경, 산업연관분석 (IOA), 작업장 보건 안전

1. 서 론

전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)는 주어진 제품시스템의 외부환경(external environment)으로부터 투입되는 원자재, 에너지 등과 외부환경으로 나가는 배출물들을 정량화하고 이들이 외부환경에 미치는 잠재적인 영향을 평가하는 도구이다. 즉, 일반적으로 LCA에서는 제품 시스템 내부의 작업환경(working environment)에서 나타나는 근로자의 건강과 안전에 대해서는 고려하지 않고 있다. 하지만, 전과정평가에서 작업환경을 고려해야 한다는 주장은 지속적으로 제기되어 왔다. 실제로, Ann-Beth Antonsson et. al(1995)은 제품시스템이 외부환경에 미치는 영향을 줄이기 위한 노력이 작업환경에 부정적인 영향을 줄 수 있을 뿐만 아니라 그 반대로 성립된다. 따라서 LCA에서 작업환경을 고려하는 것은 잘못된 최적화(false optimization)를 줄일 수 있을 것이라고 주장하였다. 또한, Jose Potting et. al(1997)은 LCA에서 외부환경과 작업환경의 경계를 구분하는 것은 매우 인위적(artificial)이다. 왜냐하면 제품시스템의 전과정에서 배출되는 유해물질은 외부환경으로 배출되어 생태계와 인체에 영향을 미칠 뿐만 아니라 작업장 내부의 근로자에게도 영향을 미칠 수 있기 때문이다. 이외에도 Bengtsson et. al(1996)은 LCA는 장기간 동안 인간복지에 영향을 미치는 모든 측면을 평가하는 것이기 때문에 작업장에서 근로자에게 미치는 영향은 고려되어야 한다고 주장하였다.

위에서 언급한대로 전과정평가의 기본골격에 작업환경을 통합하여 평가하는 것은 매우 중요하다. 이에 본 연구에서는 이들을 통합하여 평가할 수 있는 방법론을 제안하고 사례연구를 통하여 수행자들의 이해를 돕고자 한다.

2. 기존 방법론에 대한 벤치마킹

작업환경을 전과정평가에 통합하는 연구는 1990년

대 중반에 네덜란드를 비롯한 서부유럽을 중심으로 활발하게 연구되어 7개 정보의 방법론이 개발되었다. 이들은 수집할 데이터의 유형에 따라 크게 노출유형(exposure type)과 효과유형(effect type)으로 구분할 수 있는데 EDIP¹⁾, IVL²⁾은 가장 널리 알려진 방법론이다. 전자는 노출유형의 데이터를 수집하고 이들이 임계치(threshold limit value)를 초과한 시간을 기준으로 작업환경성을 평가한다. 반면에 후자는 직업병과 작업사고의 정도와 같은 효과유형의 데이터를 수집한 후에 이를 토대로 작업손실시간(workday lost)를 계산한 결과를 기준으로 작업환경성을 평가한다. 실제로 전자는 인체에 미치는 영향이 아닌 노출시간으로 잠재적인 작업환경성을 평가하기 때문에 end-point level의 영향을 평가하지 못한다는 단점이 있지만, 사전예방(front of pipe)의 개념이 도입되었다는 점에서 장점을 가지고 있다. 반면에 후자는 인체에 미치는 실제 영향인 작업손실시간을 중심으로 평가하기 때문에 end-point level에서 영향을 평가할 수 있다는 장점을 가지고 있지만 사후처리(end of pipe)의 개념이 도입된 방법이라는 단점을 가지고 있다.

3. 제안된 방법론

본 연구에서는 위에서 언급된 방법론들의 장점들을 반영하여 작업환경을 전과정평가 기법에 통합한 환경성평가 기법을 개발하였다. 또한 개발된 방법론은 작업장의 내부환경인 작업환경과 작업장의 외부환경을 모두 포괄한다는 점에서 총환경성평가(Total Environmental Assessment, TEA) 기법이라고 명명하였다.

3.1 일반 요건

외부환경성을 평가하기 위하여 필요한 데이터는 공정으로 투입되는 물질과 배출물들에 대한 정보인 반면에 작업환경을 평가하기 위해 필요한 데이터는 사업장에서의 노출과 화재, 폭발 등으로 인하여 발생하는 근로자의 안전사고와 직업병에 대한 정보이다. 이처럼

1) EDIP Environmental Design of Industrial Products

2) IVL The Swedish Environmental Research Institute

데이터의 특성이 서로 상이하기 때문에 이들은 통합한 평가를 수행하기 위해서는 동일한 수준에서 평가할 수 있는 기준과 일반요건을 정의하여야 한다. 이에 본 연구에서는 Table 1과 같이 기준으로 시스템경계와 범주지표를 설정하였다. 시스템경계에 대한 일반요건으로 제품시스템의 전과정(entire life cycle)을 고려해야 하며 이를 위한 대안으로 IOA 기법을 적용하는 것을 제안하였다. 또한 범주지표(category indicator)의 수준은 end point level을 정의하고 이를 위한 대안으로는 Eco-indicator 99 방법론에서 제안한 인간건강 측면에 대한 end point 지표인 DALY와 생태계 건강 범주에 대한 지표인 PAF 및 본 연구에서 개발한 작업환경 측면의 지표인 LWD를 제안하였다.

Table 1. General requirements and alternatives proposed

Criteria	General requirements	Alternatives	
		Life Cycle Assessment	Working Environment
System boundary	entire life cycle	IOA ³⁾	IOA
Category indicator	end point	DALY ⁴⁾ , PAF ⁵⁾	LWD ⁶⁾

3.2 전과정 목록분석

제품시스템 전과정에서의 야기되는 외부환경영향을 평가하기 위하여 투입물 및 대기/수계배출물, 폐기물에 대한 데이터범주를 선정하였다. 또한, 작업환경 영향중에서 작업장 보전에 대한 영향을 평가하기 위하여 유해인자(물리적, 화학적)별 유소견자수에 대한 데이터를, 작업장 안전에 대한 평가를 위하여 재해등급별 직업병자수에 대한 데이터범주를 정의하였다. 이러한 데이터범주에 대한 전과정목록표를 구축하기 위하

여 일반요건에서 정의한 바대로 Top-down 방식을 도입한 IOA 기법을 활용하여 목록표를 구축한다. IOA 기법은 산업군간의 무한으로 거래되는 재화의 흐름을 무한등비급수를 활용하여 해결하는 거시경제학의 이론이다. 하지만 경제적 가치가 없는 폐기물의 흐름에 대해서는 IOA를 활용하여 데이터를 수집하기 어렵기 때문에 기존의 하위흐름 LCI DB를 활용하는 "hybrid method"를 제안한다.

IOA 기법을 활용한 상위흐름에 대한 Cradle to gate DB 구축

IOA기법을 활용한 LCI DB 구축 절차는 크게 2단계로 구분할 수 있다. 먼저, 최종수요(Y)를 Leontief 승수(A)인 (I-A)⁻¹과 곱하여 최종 수요 1단위를 생산하는데 각 산업군별로 유발되는 총 생산유발효과(X)를 산출한다. 다음으로 X를 산업군별 환경강도계수(P)와 곱하여 산업군별 총배출량(M)을 산출한다.

$$X = A \cdot Y \dots\dots\dots (1)$$

$$M = X \cdot P \dots\dots\dots (2)$$

여기서, 0 tier⁷⁾에서 최종수요가 결정된다면 동일 산업군내의 제품들은 기능단위별 DB가 동일하다는 단점이 있어 제품별 특성을 전혀 반영하기 어렵다. 이를 해결하기 위한 대안으로 1st tier⁸⁾ 또는 2nd tier에서 최종수요를 결정하고 이를 활용하여 DB를 구축하는 방안을 제안한다. 즉, 최종제품 생산공정에 대한 Gate to gate 목록표의 기술계 투입물들인 부품, 소재, 에너지 등을 각각 1st tier에서의 최종수요로 정의하고 각각에 대하여 Leontief 승수와 곱하고 이들을 합함으로써 0 tier 접근법이 가지는 문제점을 보완할 수 있다.

한편, 산업군별 M을 산정하기 위하여 필요한 산업

3) IOA Input Output Analysis
 4) DALY the number of Disability Adjusted Life Years
 5) PAF the Potentially Affected Fraction
 6) LWD Lost Work Days
 7) 0 tier 최종 제품을 생산하는 단계를 의미함.
 8) 1st tier 최종제품의 생산공정에 투입되는 부품 및 소재를 생산하는 공정을 의미함.

Fig. 1 Scheme of modified Eco-Indicator 99 methodology

군별 P를 산출하기 위하여 식(3)과 같이 산업군별로 국내 총 환경강도(TA)를 산업군별 국내 총생산(GDP)로 나누어서 계산하였다. 즉, 대기배출물 범주의 TA는 대기배출물별 국내 총 배출량이며, 작업장 보전은 산업군별 유해인자별 국내 총 유소견자수, 작업장 안전은 산업군별 재해등급별 직업병자수이다.

$$P_i = \frac{TA_{ijk}}{GDP_k} \dots\dots\dots (3)$$

여기서, i는 배출물, j는 데이터범주, k는 산업군을 의미한다.

3.3 전과정영향평가

제품시스템의 전과정에서 야기되는 잠재적인 환경영향은 Fig. 1과 같이 외부환경과 작업환경으로 구분하여 평가하고 이들을 통합한다.

외부환경성은 Eco-indicator 99 방법론의 절차에 따르는 반면에 작업환경에 대해서는 위해성평가의 기본절차에 준하여 본 연구에서 개발하였다.

Fig. 1과 같이 작업환경영향은 작업장 보전과 작업장 안전의 범주로 구분한다. 먼저 작업장 보전의 경우, 작업환경영향을 평가하기 위하여 경로인자(fate factor)와 노출인자(exposure factor), 효과인자(effect factor) 등의 특성화인자를 개발하여야 한다. 경로인자는 유해인자별로 유소견자 판정을 받은 근로자가 실제 직업병으로 발전할 가능성을 나타낸 것이다. 또한, 경로인자는 직업병 판정을 받은 사람이 1등급부터 14등급까지의 재해등급 중에서 특정 재해등급을 받을 가능성을 나타낸 것이다. 효과인자는 1등급부터 14등급의 재해등급별로 근로손실일수를 나타낸 것으로써 근로자의 피해의 경중을 간접적으로 나타낸 지표이다. 이들 인자를 개발하기 위하여 필요한 관련 자료는 산업안전공단으로부터 수집하였다.

즉, 목록분석 결과인 유해인자별 유소견자의 수와 fate factor⁹⁾를 곱함으로써 산업군별 유해인자별 직업병자 수가 산출된다. fate 분석결과를 exposure factor¹⁰⁾와 곱하여 재해등급별 직업병자수를 산출한다. 마지막으로 exposure 분석결과를 effect factor¹¹⁾와 곱하여 총 근로손실일수(LWD)를 산출한다. 이상과 같은 근로자 보건 영향범주는 근로자의 직업병이 아니

9) Fate factor 산업군별 유해인자별 유소견자가 실제 직업병으로 발전할 확률

10) Exposure factor 직업병자로 판정받은 사람이 14개의 재해등급들 중 몇 등급 판정을 받을지에 대한 확률

11) Effect factor 사망을 포함한 14개 재해등급별 근로손실일수로 산업안전관리공단에서 발표함.

Fig. 2 Process tree on GPPS production system of company A

라 직업병으로 발전할 가능성이 있는 유소전자 데이터를 활용하여 작업환경영향 지표인 근로손실일수를 산출하기 때문에 사전예방적인 접근법이라고 할 수 있다.

작업장 안전의 경우, 목록분석 결과인 산업군별 재해등급별 재해자수에 effect factor를 곱하여 총 근로손실일수를 산출한다. 즉, 이는 실제 직업병을 중심으로 작업환경영향의 지표인 근로손실일수를 산출하기 때문에 사후처리의 개념이 도입된 것이다. 따라서 향후 지속적인 연구를 통하여 사전예방 접근법으로 발전시켜야 할 여지를 가지고 있다.

작업장 보건과 안전 영향범주별로 정규화를 수행하기 위하여 정규화기준을 산출하였다. 이는 작업장 보건 또는 작업장 안전범주에서 야기되는 총 근로손실일수를 근로자 총수로 나눈 것으로 근로자 1인당 근로손실일수를 의미한다. 따라서, 정규화 기준으로 총 근로손실일수로 표현된 특성화결과를 나누면 몇 명의 근로자에게 미치는 영향이라는 유형으로 결과가 산출된다.

4. 사례 연구

4.1 GPPS에 대한 전과정평가

본 연구의 목적은 GPPS(General Purpose Polystyrene)에 대한 총 환경영향을 파악하여 환경측면의 주요이슈를 규명하는 것이다. 이를 위하여 환경성평가의 정량적인 기준인 기능단위(functional unit)를 GPPS 1ton 생산으로 정의하였고, 시스템경계는 cradle to gate로 설정하였다.

한편, 전과정목록분석을 위하여 Fig. 2와 같이 GPPS 생산공정(0 tier)을 하나의 단위공정으로 정의하고 GPPS 생산공정으로 투입되는 1st tier의 기술계 투입물에 대하여 IOA 분석 기법을 활용하여 cradle to gate 목록표를 구축하고 하위흐름에 대해서는 기존의 LCI DB를 연결하여 gate to grave 목록표를 작성한 후에 이들을 통합하여 전과정 목록표를 작성하였다.

Table 2. The LCI results and the contributions per direct/indirect life cycle stage

Group	Name	Unit	Total	Direct	Indirect	Contribution (direct/total)
Emission to air	CO ₂	kg	1.06E+04	2.56E+03	7.98E+03	24.22%
	CH ₄	kg	9.52E-01	2.21E-01	7.27E-01	23.22%
	NO _x	kg	3.10E+01	7.56E+00	2.33E+01	24.41%
	SO ₂	kg	1.75E+00	5.00E+00	1.24E+01	28.66%
Emission to water	BOD	kg	1.13E+01	2.69E+00	8.51E+00	23.92%
	COD	kg	9.82E+00	2.32E+00	7.46E+00	23.58%
	SS	kg	6.28E+00	1.50E+00	4.75E+00	23.91%
Toxic substance	formaldehyde	kg	8.76E-04	3.94E-04	4.79E-04	44.98%
	carbon tetrachloride	kg	6.51E-04	2.93E-04	3.56E-04	44.98%
	benzene	kg	7.11E-03	3.20E-03	3.89E-03	44.98%
Occupational Health	vibration	pe	1.22E-06	2.84E-07	9.33E-07	23.22%
	noise	pe	2.11E-04	3.22E-05	1.78E-04	15.27%
	spec. chemical	pe	2.83E-06	6.74E-07	2.14E-06	23.84%
	metal & heavy metal	pe	1.67E-06	3.99E-07	1.27E-06	23.84%
Occupational Safety	death	pe	3.59E-05	4.33E-06	3.14E-05	12.06%
	MOD ¹²⁾ (I)	pe	4.99E-07	1.04E-07	3.93E-07	20.77%
	MOD (XIV)	pe	6.82E-05	1.08E-05	5.72E-05	15.81%

여기서 0 tier와 1st tier에서의 투입물과 배출물을 직접 환경부하(direct environmental load)로 2nd tier 이하에서의 투입물과 배출물을 간접환경부하(indirect environmental load)로 정의하였다. Table 2는 hybrid method를 활용하여 구축된 GPPS 제품시스템에 대한 전과정목표 및 직·간접환경부하량을 나타낸 것이다. 이에 따르면, 주요 배출물별로 직접환경부하량이 약 10~40% 정도를 차지하여 간접환경부하에 비하여 부하량이 상대적으로 낮음을 확인할 수 있었다. 이는 IOA 기법을 활용하여 entire life cycle을 고려하였기 때문에 간접환경부하량이 상대적으로 크게 나타난 것으로 풀이할 수 있다. 실제로 이산화탄소의 경우에 기존의 LCI 결과에서는 3.04ton이 발생하는 것으로 파악되어 hybrid에 의한 결과의 약 30% 정도의 수준인 것으로 분석되었다. 또한, 기존에 고려되지 않았던 작업환경 범주의 결과를 세부적으로 보면, 소음에 의한 유소견자가 2.11E-04명으로 작업장 보건문제를 야기하는 유해인자들 중에서 가장 크게 나타났으며, 작업장 안전의 경우에 사망자가 3.59E-05명, 1등급 판정자가 4.99E-07명, 14등급 판정자가 6.82E-05명으로 조사되었다.

Table 3은 주요 투입물별 부하량 및 기여도를 나

Fig. 3 Total environmental effects on the external and working environment

타낸 것이다. 이에 따르면 GPPS의 원료인 SM에 의한 기여도가 모든 파라미터에서 90% 이상을 차지하는 것을 확인할 수 있었다. 즉, Table 2와 3으로부터 SM의 상위흐름에서의 총환경부하량을 줄이는 것이 중요할 것으로 여겨진다.

다음으로 Fig. 1의 영향평가 방법론을 활용하여

12) MOD Magnitude of Disability 즉, 재해등급을 의미함.

Table 3. The LCI results and the contributions per major inputs of GPPS

Name	Unit	Total	SM		Energy		Others	
			Amount	%	Amount	%	Amount	%
CO ₂	kg	1.06E+04	1.05E+04	99.05	9.12E+01	0.86	8.98E+00	0.08
CH ₄	kg	9.52E-01	9.21E-01	96.75	2.75E-02	2.89	3.42E-03	0.36
NO _x	kg	3.10E+01	3.07E+01	99.02	2.72E-01	0.88	3.24E-02	0.10
SO ₂	kg	1.75E+00	1.69E+00	96.98	4.49E-02	2.57	7.82E-03	0.45
formaldehyde	kg	8.76E-04	8.33E-04	95.05	3.49E-05	3.98	8.44E-06	0.96
carbon tetrachloride	kg	6.51E-04	6.19E-04	95.05	2.59E-05	3.98	6.27E-06	0.96
benzene	kg	7.11E-03	6.76E-03	95.05	2.83E-04	3.98	6.85E-05	0.96
BOD	kg	1.13E+01	1.11E+01	99.07	8.80E-02	0.78	1.69E-02	0.15
COD	kg	9.82E+00	9.71E+00	98.82	9.94E-02	1.01	1.63E-02	0.17
SS	kg	6.28E+00	6.08E+00	96.94	1.77E-01	2.81	1.53E-02	0.24
vibration	pe	1.22E-06	1.21E-06	98.98	1.08E-08	0.88	1.65E-09	0.14
Noise	pe	2.11E-04	1.95E-04	92.57	1.39E-05	6.58	1.78E-06	0.84
spec. chemical	pe	2.83E-06	2.74E-06	96.89	6.78E-08	2.40	2.00E-08	0.71
metal/heavy metal	pe	1.67E-06	1.65E-06	98.68	1.28E-08	0.76	9.26E-09	0.55
Death	pe	3.59E-05	3.41E-05	95.06	1.62E-06	4.51	1.52E-07	0.42
MOD (I)	pe	4.99E-07	4.73E-07	94.83	2.38E-08	4.77	1.97E-09	0.39
MOD (XIV)	pe	6.82E-05	6.65E-05	97.41	1.59E-06	2.33	1.81E-07	0.27

GPPS 시스템의 외부환경과 작업환경에 미치는 잠재적 환경영향을 파악하였다. Fig. 3에 따르면, 외부환경에 의한 영향이 전체의 70.2%, 작업환경에 의한 영향은 29.8%를 차지하여 외부환경에 의한 영향이 상대적으로 큰 것으로 파악되었다. 외부환경영향이 작업환경에 비해 지배적인 이유는 전과정에서 배출되는 이산화탄소로 인해 야기되는 지구온난화로 인하여 인간

건강에 미치는 영향이 크게 반영되었기 때문으로 풀이된다. 반면에 작업환경영향이 상대적으로 낮은 이유는 기업들이 환경문제보다는 작업장의 안전과 보전에 대해 보다 철저한 관리가 이루어지고 있는 것에 기인된다고 할 수 있으며, 0 tier에서 작업장 안전과 보건관련 사고를 고려하지 못한 것도 그 원인이 될 수 있을 것으로 여겨진다.

Fig 4는 Hybrid method에 의한 전과정평가 결과와 기존의 LCA에서 도출된 주요 투입물별 환경영향 기여도를 비교분석한 것이다. 먼저, 두 방법론에서 GPPS의 원료인 SM을 생산하는 전과정에서 야기되는 환경영향이 약 98% 이상을 차지하여 지배적인 것으로 파악되어 목록분석 결과와 동일함으로 확인할 수 있었다. 또한, 두 방법론으로부터 도출된 주요 투입물별 환경영향 기여도의 경향이 동일한 것으로 분석되었다. 이 결과로부터 본 연구에서 제안한 hybrid method의 타당성을 입증할 수 있었다.

5. 요약

Fig. 4 Comparison of environmental impact per major inputs between hybrid LCA and conventional LCA

전과정평가에서 작업환경을 고려하는 것은 중요하

다. 이에 본 연구는 LCA에서 고려하지 않았던 작업 환경 영향을 통합한 환경성평가 기법을 개발하고 방법론의 적용에 대한 이해를 돕고자 사례연구를 수행하였다. 본 방법론의 특징은 제품시스템의 IOA 분석기법을 활용하여 cradle to gate 데이터베이스를 구축하고 LCI DB를 활용하여 gate to grave 데이터베이스를 구축하는 hybrid method를 적용한 점과 작업장 보전에 대하여 사전예방 개념으로 접근하기 위하여 유소견자의 개념을 도입하였다는 점이다. 또한, 이제까지 전혀 시도된 바가 없는 작업환경성평가에 필요한 fate factor와 exposure factor를 개발하였다는 점이다. 하지만, top-down 방식에 의하여 전과정목록표를 구축하기 때문에 데이터에 대한 불확실성 분석이 반드시 선행되어야 하지만 본 연구에서는 이를 반영하지 못하였기 때문에 이에 대한 보완이 필요할 것으로 여겨진다.

또한, 본 방법론을 활용하여 대표적인 석유화학 제품인 GPPS를 대상으로 사례연구를 수행한 결과 주원료인 SM를 생산하는 전과정에서 야기되는 환경영향이 약 98%정도로 지배적임을 확인할 수 있었으며, 작업환경영향에 비하여 외부환경영향이 상대적으로 크게 나타나고 있음도 확인할 수 있었다. 이러한 결과를 GPPS에 대한 LCA 수행결과와 비교분석한 결과, hybrid method에 의해서 산출된 파라미터별 목록결과가 LCA결과에 비하여 상대적으로 많은 것으로 파악되었지만, 전과정영향평가의 결과로부터 주요 투입물별 환경영향 기여도의 경향이 동일함을 확인할 수 있었다. 이로부터 본 연구에서 제안한 방법론의 타당성을 입증하였다. 끝으로 제안된 방법론은 향후에 보다 세분화된 산업군별 환경강도계수의 개발 및 작업환경에 대한 fate factor, exposure factor의 보완, 작업장 안전에 대한 사전예방 개념으로의 접근 등을 시도함으로써 보다 체계적인 방법론으로 발전될 수 있을 것으로 여겨진다.

참고문헌

- 1) Ann-Beth Antonsson and Helene Carlsson, Two methods to integrate work environment in LCA, Proceedings of the 3rd International Workshop on Life Cycle Assessment and the Working Environment, 1994
 - 2) Malin Nilsson and Ann-beth Antosson, Introduction on why and how to integrate work environment in Life cycle assessment, Occupational Hygiene, Vol. 4(3-6), pp.215-221, 1998
 - 3) Jos Potting, Birgitte Torgius Mller and Allan Astrup Jensen Sborg, LCANET Theme Report Work Environment and LCA, Centre of Environmental Science(CML), Leiden University, 1997
 - 4) Ann-Beth Antonsson and Helene Carlsson, The basis for a method to integrate work environment in life cycle assessments, Journal of Cleaner Production, Vol. 3, No. 4, pp. 215-220, 1995
 - 5) Input-output tables, The Bank of Korea, 1995
 - 6) Sangwon Suh, An Inventory ESTIMATE Tool for Flows using Input-Output Techniques, CML, Leiden University, 2001
- 1) Ann-Beth Antonsson and Helene Carlsson, Two methods to integrate work environment in LCA, Proceedings of the 3rd International Workshop on Life Cycle Assessment and the Working