종이제품의 청정생산을 위한 LCA기법의 적용

황용우[*1]† · 조병묵[*2] · 김형진[*3] · 박광호[*1]

Application of Life Cycle Assessment for Cleaner Production of Paper Products

Yong Woo Hwang[*1] · Byoung Muk Jo[*2] · Hyoung Jin Kim[*3] · Kwang Ho Park[*1]

ABSTRACT

In this study, Life Cycle Assessment method has been carried out the Corrugated board box in considering environmental aspects by quantifying the environmental emission and assessing its environmental impact potential. The system boundary in this study is selected from cradle to gate stage(raw material acquisition, raw material production and product manufacturing) of the paper product. To evaluate the environmental impact potential, impact categories are divided into 8 categories. As a results, abiotic resource depletion of the impact categories has the largest contribution to the total impact potential as 31.02% of total, Next were continued ecotoxicity having a contribution of 27.17%. In the life cycle, environmental impacts from law material production stage were contributed largely as 80.78%.

1. 서 론

제지산업은 우리나라의 산업발전과 공업화를 이끌어온 대표적인 산업 중의 하나였으며, 지류의 사용이 산업에서 차지하는 비중이 점점 커짐에 따라 지류의 생산 및 폐기

*1 : 인하대학교 환경공학과 (Department of Environmental Engineering, Inha University, Incheun 402-751, Rep. of Korea)

*2 : 강원대학교 제지공학과 (Department of Paper Science and Engineering, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Rep. of Korea)

*3 : 국민대학교 임산공학과 (Department of Forest Products, Kookmin University, Seoul 136-702, Rep. of Korea)

† Corresponding author: e-mail; hwangyw@inha.ac.kr

시에 발생하는 각종 환경오염물질의 증가라는 불가피한 현상이 야기되었다. 이에 오염배출원의 최소화, 폐기물 재활용 및 자원화, 공정의 친환경성 향상 등의 목적을 종합적으로 지원할 수 있는 평가기법들과 의사결정도구들이 활용되어지고 있다. 또한, 천연자원으로부터 원료를 추출하고 제품을 생산하여 수명이 다한 후에 최종적으로 생태계에 폐기될 때까지의 모든 과정에서 환경오염물질을 원천적으로 방지하고 최소화하여 환경보전과 제조원가 절감을 병행 실현하는 사전 예방적 개념, 즉 청정생산기술의 개념이 최근 산업계에 확산되고 있다. 이러한 청정생산과 관련된 기술 및 제도로는 환경친화적인 제품설계(Design for Environment: DfE)기술, LCA(Life Cycle Assessment), 환경성적표지제도, 환경친화기업 지정제도 등이 있다[1]. 여기서, LCA는 어떤 제품, 공정, 활동에 사용된 물질, 에너지 그리고 환경에 배출된 폐기물을 정량화하고, 이에 대한 환경영향을 평가하여 환경 개선을 위한 기회를 찾아 평가하는 일련의 과정으로, LCA를 수행함으로써 인간활동의 다양한 국면에서 환경부하를 저감하는 방향으로 의사결정을 유도하기 위한 판단자료를 제공할 수 있다. 본 연구에서는 종이제품에 LCA기법을 적용해 봄으로써, 종이제품의 생산으로 인하여 야기되는 환경영향을 구체적 수치로 제시하고, 실질적인 청정생산이 가능하도록 환경적으로 개선 가능한 부분을 도출해 보고자 하였다. 이는 향후 환경을 고려한 설계를 위한 중요한 자료가 됨은 물론 제품의 구매결정에 결정적인 동기를 부여하게 될 친환경 제품에 대한 환경성적표시제도 등을 위한 기반자료가 될 수 있을 것이다.

2. 연구방법 및 결과

LCA를 수행하기 위해서는 Fig. 1과 같이 일반적으로 목적 및 범위설정, 목록분석, 영향평가, 결과해석 등의 4단계를 거치게 된다. LCA 수행단계별 방법은 국제표준화기구(International Organization for Standardization, ISO) 14000s 규격이 완성되기 이전부터 국내외 관련 연구자들에 의해 많은 연구가 진행되어 왔다. ISO규격을 기본으로 하여 지난 2002년 3월에 환경부에 고시된 "환경성적표지 작성지침 및 인증기준"을 토대로 LCA를 수행하였다[2), 3)].

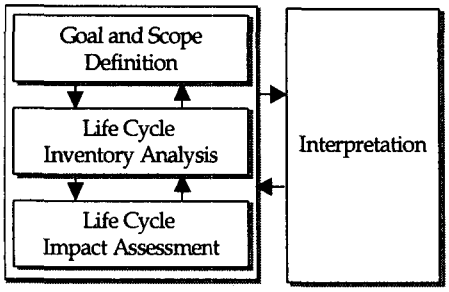

Fig. 1. LCA framework

2.1 목적 및 범위설정

본 연구에서는 종이제품 중 골판지상자를 대상으로 원료취득, 원료생산, 제품생산, 유통 및 사용, 폐기 및 재활용단계까지의 전과정에서 발생하는 환경부하 및 영향을 분석하고자 한다. 대상 제품의 전과정에 걸친 각 단계별 환경부하를 평가함으로써, 친환경성 향상을 위한 생산공정 내 종합적인 환경관리시스템 구축자료로 사용될 수 있을 것이다. 또한 원료취득부터 폐기 및 재활용단계까지의 각 단계별 평가를 수행하고, 평가 결과를 바탕으로 각 단계별 개선이 이루어졌을 경우의 평가 결과와 기존 평가 결과와 비교하여, 개선여부에 대한 평가 및 대안을 제시함으로써 청정생산을 위한 개선 방향제시에 도움을 줄 것이다.

또한, 연구대상인 골판지상자의 기능단위(Functional Unit, f.u.)는 골판지 상자 1개(규격 : 0.535m^2)로 하였으며, 연구범위는 Fig 2에 나타낸 바와 같다. Fig. 2에 나타낸 바와 같이 펄프를 제조하기 위한 원료취득단계, 골판지포장재의 원료인 라이너지와 골심지를 제조하는 원료생산단계, 골판지포장재를 제조하는 제품생산단계, 유통 및 사용단계, 폐기 및 재활용단계 등으로 나눌 수 있다. 그러나, 유통 및 사용단계의 경우, 유통망을 파악하기에는 시간적으로 부족하고, 본 연구의 LCA목적이 제품 생산공정 및 단계의 청정화를 위한 개선제시인 것을 감안하면, 개선의 여부를 평가하기가 비교적 어려운 유통 및 사용단계는 본 연구에서 고려하지 않았다. 또한, 폐기 및 재활용단계의 경우 모든 재활용 경로를 파악하기에는 시간적 어려움이 있기 때문에 본 연구에선 고려하지 못하였지만, 이에 대한 고려는 추후 수행할 것이다.

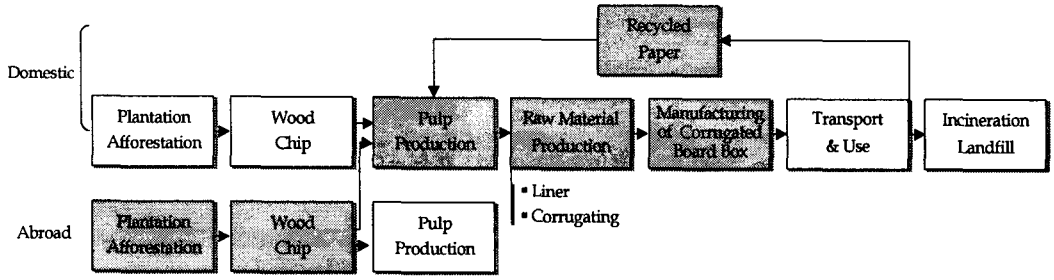

Fig. 2. Life cycle of paper products and system boundary

2.2 목록분석

2.2.1 원료 취득단계

골판지상자를 제조하기 위하여 라이너지와 골심지가 주원료로 사용되며, 라이너지와 골심지를 생산하기 위하여 펄프가 사용된다. 펄프의 제조는 목재를 조림 및 벌목 작업을 통하여 목재칩을 생산하고 목재칩으로부터 펄프를 생산하게 된다. 따라서 골판지상자의 원료취득단계는 조림 및 벌목 작업부터 펄프제조까지의 과정을 설정하였다. 골판지상자 1개가 생산되기 위하여 사용되는 라이너지는 192.6 g이 사용되고, 기존의 문헌[4), 5)]을 참고하여 라이너지 192.6 g을 생산하기 위한 펄프의 양은 33.7 g의 펄프를 필요로 한다. 이러한 자료들을 토대로 원료취득단계의 목록분석을 수행하였다.

2.2.2 원료 생산단계

골판지 상자를 생산하기 위해 원료로 사용되는 라이너지와 골심지를 생산하기 위한 단계로서, 원료 생산단계도 마찬가지로 라이너지와 골심지의 제조공정과 기존 문헌[4), 5)]을 참고로 하여 라이너지 192.6 g과 골심지 122.8 g을 생산하기 위한 투입·배출물을 산출하였다. 라이너지는 원료로서 주원료인 펄프(UKP)와 폐지를 사용되며, 라이너 192.6 g 당 펄프(UKP) 33.7 g, 폐지 196.45 g을 사용하는 것으로 나타났다. 또한 골심지의 원료로는 폐지를 100% 이용하는 것으로 나타났으며. 이들 수치를 이용하여 목록분석을 수행하였다.

2.2.3 제품 제조단계

국내 A사를 대상으로 골판지 상자 제조공정 상에서 투입되는 물질을 정량화하여 Table 1에 나타내었으며. 이를 이용하여 골판지 상자의 제조공정에 대한 목록분석을 수행하였다.

Table 1. Input materials in manufacturing of corrugated board box

f.u. ; Corrugated board box ($0.535m^2$)

	Substances	Quantity	Unit
Raw material	Liner	192.6	g
	Corrugating	122.8	g
Sub-material	Starch	23.95	g
	Sodium Hydroxide	0.439	g
	Borax	0.439	g
	Water	86.4	mL
	Ink	431	mg
Energy	Electricity	18.511	kw
	Bunker C유	9.27	mL
	Light oil	0.326	mL

2.2.4 폐기 및 재활용단계

골판지상자 생산 공정에서 발생하는 파지와 제품 사용 후 발생하는 폐기물에 대한 처리 및 재활용에 대한 LCA 수행은 폐기단계와 재활용단계의 두 부분으로 구분할 수 있는데, 이에 대한 LCA를 수행하기 위해 폐기 및 재활용단계의 현황 및 단계의 경로 파악해야 하는데, 이는 현재 수행 중인 상태이다.

2.3 영향평가

상기의 목록분석 결과를 바탕으로, LCIA방법 중 Korean ecoindicator를 이용하여 영향평가를 수행하여 Fig. 3에 나타내었다. 영향평가 결과 자원고갈에 대한 수치가 1.05E-05(Person · year/f.u.)로 영향범주 중 가장 큰 31.02%를 차지하였다. 다음으로 생태독성이 9.24E-06(Person · year/f.u.)로 27.17%를 차지하였다. 또한, 각 단계별 즉 원료취득단계, 원료생산단계, 제품생산단계를 비교한 결과 라이너지와 골심지를 생산하는 원료생산단계가 모든 영향범주에 가장 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다.

골판지상자에 대한 환경영향평가 결과 가장 큰 비중을 차지하는 자원고갈의 경우 coal과 Natural gas에 의한 영향이 큰 것으로 나타났고, 지구온난화의 경우 CO_2, 생태독성의 경우 PAH's 등에 의한 영향이 큰 것으로 나타났다.

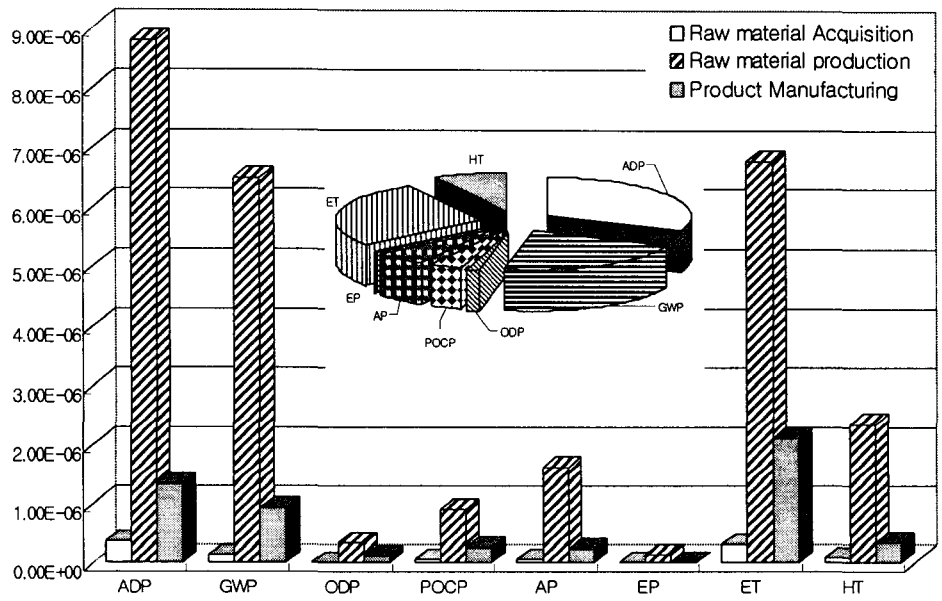

Fig. 3. Environmental impact potential in life cycle of Corrugated board box

인용문헌

1. 황용우 외, "환경전과정평가(Environmental Life-Cycle Assessment)", 시그마프레스, (1998)
2. International Organization for Standardization, ISO 14040 Environmental management -Life cycle assessment- Principles and framework(1997).
3. 환경부, "환경성적표지작성지침 및 인증기준"(2002)
4. 제지·지류포장산업 LCA연구위원회, "제지·지류포장산업 전과정평가(LCA) 연구"(2001.12).
5. 박광호, 황용우, 조병묵, 이학래, 김형진, "LCA기법을 이용한 지류제품의 잠재적 환경부하 평가" 한국공업화학회, 응용화학, 제5권, 제1호, pp. 287~290(2001. 5).