

LCA 기법을 이용한 소맥분 생산 공정의 환경 영향 평가

추덕성 · 권혁구 · 김종규* · 이장훈†

호서대학교 환경공학과, *가천의과학대학교 보건행정학과
(2007. 12. 18. 접수/2008. 2. 20. 채택)

Environmental Impacts Assessment of the Wheat Flour Production Process Using the Life Cycle Assessment Method

Duk Sung Chu · Hyuk Ku Kwon · Jong Geu Kim* · Jang Hoon Lee†

Department of Environmental Engineering, Graduate School Hoseo University, Asan 336-795, Korea
*Department of Health Administration, Gachon University of Medicine and Science, Incheon 406-799, Korea
(Received December 18, 2007/Accepted February 20, 2008)

ABSTRACT

The life cycle assessment method for environmental impact assessment was used, in this study, to assess the production process of wheat flour which is the most important material in the food industry. Environmental impact assessments were compared between that of the Ministry of Environment, Republic of Korea (method I) with that of the Ministry of Commerce, Industry and Energy (method II). Life cycle inventories (LCI) was performed using internal and external databases and the production statistics database of company S. The procedure of life cycle impact assessment (LCIA) was followed in terms of classification, characterization, normalization and weighting to identify the key issues. The impact categories of method I were divided into 8 categories with consideration of: abiotic resources depletion, global warming, ozone depletion, photochemical oxidant creation, acidification and eutrophication. The impact categories of method II were divided into 10 categories with consideration of: abiotic resources depletion, global warming, ozone depletion, photochemical oxidant creation, acidification, eutrophication, human toxicity, freshwater aquatic ecotoxicity, marine aquatic ecotoxicity and terrestrial ecotoxicity.

Keywords: life cycle assessment, wheat flour, life cycle impact assessment, impact category

I. 서 론

최근 종합 환경성을 평가하는 기법으로서 LCA(Life Cycle Assessment : 전과정평가)의 도입이 주목을 받고 있다. LCA란, 원재료의 조달로부터 설계, 제조, 사용, 재활용, 그리고 최종적인 폐기처분에 걸쳐, 제품이 사용하는 자원 및 에너지와 제품이 배출하는 환경부하를 정량적으로 추정하고 평가하여 전과정(Life-cycle)동안 발생하는 제품의 잠재적인 환경영향을 평가하는 방법으로 그 개념의 중요성 때문에 LCA 기법을 이용한 제품 및 사회기반시설에 등에 대한 많은 연구가 이루어

져 왔다.^{1,2)} 하지만 사람이 직접 섭취하고 인체에 직접적인 영향을 미치는 식품산업에 대해서는 2007년 2월 환경성적표지 인증제품인 (주)풀무원의 포장두부를 제외하고는 거의 미비한 상태이다.^{3,4)} 따라서 우리나라 식품산업에서 가장 중요한 원료의 하나인 소맥분에 대해 LCA기법을 이용하여 잠재적인 환경영향에 대해 평가하려 한다.

소맥분은 용도에 따라 강력분(제빵용), 중력분(제면용), 박력분(제과용) 등 3가지로 분류되며⁵⁾ 최근 청소년 및 청년층이 선호하는 식단을 보면 대부분 서구식 식단으로서 쌀 소비는 매년 감소하고 소맥분의 소비량은 매년 증가하고 있다.⁶⁾ 농림부 통계자료에 따르면 2005년 소맥의 수입량은 3,645,000 ton, 국내 생산량은 7,678 ton이며 소맥 1인당 소비량은 31.8 kg으로 소맥이 주식으로써 주요한 위치를 차지한다는 것을 알 수

†Corresponding author : Environmental Engineering Major,
Hoseo University
Tel: 82-41-540-5741, Fax: 82-41-540-5748
E-mail : jhlee@hoseo.edu

있다.⁷⁾

본 연구에서는 식품의 원료로 쓰이는 소맥분의 생산 공정을 대상으로, LCA를 수행하였으며, 산업자원부에서 제시한 환경영향평가 방법론과 환경부에서 제시한 환경영향평가 방법론을 비교 평가하여 보았다.

II. 연구방법 및 결과

소맥분 생산 공정에 대해 ISO 14040 series⁸⁻¹¹⁾ 기준에 맞추어 Fig. 1에 나타난 바와 같이 목적 및 범위의 정의, 목록분석, 영향평가, 결과해석 등 4단계로 나누어 수행하였다.

1. 목적 및 범위 정의

본 연구의 목적은 소맥분 생산 공정을 대상으로 LCA를 수행함으로써 환경영향을 정량화하고 잠재적인 환경영향 발생특성을 파악하고자 하였으며, 현재 LCA

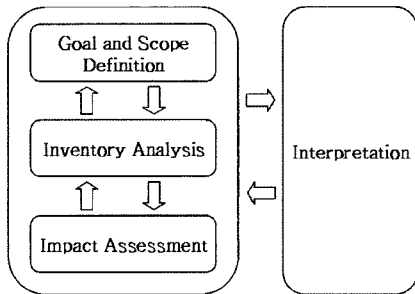


Fig. 1. LCA Framework based on ISO 14040.

의 연구가 미비한 식품산업에서의 기초자료로 활용되 고자 하는데 있다.

제품의 기능단위는 소맥분 1 kg으로 정하였고 기준 흐름은 전량 섭취하는 것으로 가정하여 기능단위와 동일한 소맥분 1 kg으로 정하였다. 제품의 시스템 경계는 소맥분을 생산하기 위한 정선공정, 제분공정, 포장공정 및 최종 제품 생산 후 사용단계와 폐기단계까지이며 Fig. 2에 나타내었다.

소맥분 생산 공정은 최종적인 산물로 소맥분과 소맥 피가 생산되며 그 외 환경적인 영향을 미치는 부산물이 발생하지 않는다. 또한 원재료가 투입되어 최종 생산 제품이 원재료와 같은 성분을 가지고 있는 것이 소맥분 생산 공정의 가장 큰 특징이다. 따라서 각 공정에 대해 목록분석 및 영향평가를 실시하였다.

정선공정은 원료인 밀을 분쇄하기 전에 왕겨, 지푸라기, 다른 곡류 등 이물을 제거하는 공정이며 제분공정은 밀을 분쇄하여 껍질을 분리하고 고운 가루로 만드는 공정이다. 포장공정은 제분공정을 지난 소맥분을 포장재 및 전력을 이용하여 포장하는 단계로서 포장재의 경우 20 kg용으로 kraft pulp가 사용되고 3 kg용으로 PE(Polyethylene) 필름이 사용되며 1 kg용으로 OPP (Orient Polypropylene) 필름의 총 3가지 재료가 쓰였다. 사용단계는 수송을 고려하였으며, 폐기단계는 2005년 환경부 통계자료¹²⁾를 적용하였다.

2. 목록분석(LCI)

목록분석을 수행하기 위하여 S기업의 생산통계자료를

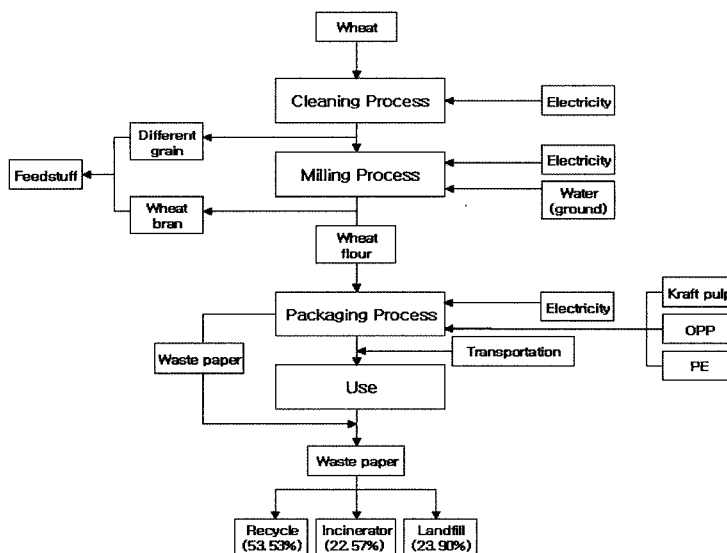


Fig. 2. System boundary of the wheat flour production process.

Table 1. Results of inventory analysis for each process

		Parameter	Unit	Cleaning	Milling	Packaging	Use	Waste	Total
Input	Resourcee	Oil(adsorbent)	kg	0.00E+00	0.00E+00	2.49E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.49E+00
		Coal	kg	7.03E-03	7.03E-03	9.03E-01	0.00E+00	4.39E-04	9.17E-01
		Sodium chloride(NaCl)	kg	5.70E-07	5.70E-07	1.08E-02	1.22E-09	-5.05E-05	1.07E-02
		Iron ore	kg	0.00E+00	0.00E+00	7.45E-03	3.34E-09	1.29E-05	7.46E-03
		Limestone	kg	1.82E-08	1.82E-08	3.33E-03	1.88E-08	-7.50E-04	2.58E-03
		Crude oil	kg	8.70E-04	8.70E-04	1.57E-04	1.44E-04	-7.52E-05	1.97E-03
		Bauxite(Al ₂ O ₃)	kg	2.20E-08	2.20E-08	7.43E-04	4.89E-10	6.88E-07	7.44E-04
		Wood	kg	9.99E-11	9.99E-11	1.80E-11	2.44E-15	7.59E-05	7.59E-05
		Lignite	kg	0.00E+00	0.00E+00	2.22E-05	0.00E+00	2.29E-06	2.45E-05
		Gravel	kg	0.00E+00	0.00E+00	1.14E-05	2.64E-17	1.25E-08	1.14E-05
Air	Carbon dioxide(CO ₂)	kg	1.95E-02	1.95E-02	6.17E+00	4.09E-05	4.77E-03	6.21E+00	
	Hydrocarbons	kg	4.03E-05	4.03E-05	3.35E-02	9.86E-10	2.19E-06	3.35E-02	
	Carbon monoxide(CO)	kg	1.94E-06	1.94E-06	3.35E-03	9.13E-08	-1.62E-07	3.35E-03	
	Vapor	kg	0.00E+00	0.00E+00	3.54E-11	1.80E-05	6.99E-04	7.17E-04	
	Hydrogen chloride(HCl)	kg	1.90E-10	1.90E-10	5.06E-04	4.70E-10	8.10E-08	5.06E-04	
	sulfur trioxide(SO ₃)	kg	6.52E-05	6.52E-05	1.35E-04	0.00E+00	4.73E-06	2.70E-04	
	Methane	kg	1.41E-05	1.41E-05	1.41E-04	3.90E-07	5.47E-05	2.24E-04	
	Nitrogen oxides(NO _x)	kg	4.77E-05	4.77E-05	5.44E-05	3.25E-07	-6.64E-06	1.44E-04	
	Particles	kg	0.00E+00	0.00E+00	8.14E-05	0.00E+00	0.00E+00	8.14E-05	
	Nitrogen dioxide(NO ₂)	kg	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.01E-05	1.01E-05	
Output	Water	Waste water	kg	0.00E+00	0.00E+00	1.62E-02	2.02E-04	5.24E-02	6.87E-02
		Water	kg	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.00E-02	2.00E-02
		Chloride(Cl ⁻)	kg	5.23E-05	5.23E-05	2.54E-03	3.89E-06	3.10E-06	2.65E-03
		COD	kg	3.68E-07	3.68E-07	1.34E-03	3.65E-08	-9.10E-06	1.33E-03
		Hydrocarbons	kg	0.00E+00	0.00E+00	5.78E-04	3.70E-10	-1.17E-09	5.78E-04
		Sodium ion(Na ⁺)	kg	9.28E-09	9.28E-09	5.16E-04	0.00E+00	5.44E-10	5.16E-04
		Dissolved organic matter	kg	0.00E+00	0.00E+00	4.73E-04	1.92E-12	4.00E-10	4.73E-04
		Dissolved solids	kg	1.26E-04	1.26E-04	2.28E-05	3.10E-09	7.56E-06	2.83E-04
		BOD	kg	5.16E-08	5.16E-08	1.67E-04	7.30E-09	-5.26E-07	1.67E-04
		Acid(H ⁺)	kg	0.00E+00	0.00E+00	1.68E-04	6.02E-10	-1.37E-05	1.54E-04
Waste	Hazardous wastes(domestic)	kg	5.38E-04	5.38E-04	9.70E-05	0.00E+00	1.80E-05	1.19E-03	
	Hazardous wastes(foreign)	kg	7.06E-08	7.06E-08	1.27E-08	0.00E+00	4.26E-09	1.58E-07	
	Industrial wastes(domestic)	kg	0.00E+00	0.00E+00	2.18E-04	2.62E-05	8.55E-04	1.10E-03	
	Industrial wastes(foreign)	kg	1.01E-02	1.01E-02	1.60E-03	5.64E-06	3.44E-05	2.18E-02	
	Unspecified wastes	kg	1.83E-03	1.83E-03	3.85E-03	3.83E-07	1.18E-04	7.63E-03	
Soil	Dust	kg	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.03E-11	1.03E-11	

수집하였으며, 이와 관련된 원료물질, 유틸리티, 폐기물에 대한 자료를 수집하였다. 또한 국내·외에 구축되어 있는 LCI DB(Life Cycle Inventory Database)¹³⁾와 관련 문헌 및 관련 전문가들의 검증을 통해 구축되어 국내에 기 보고된 자료^{14,15)}를 사용하여 목록 분석을 수행하였다.

S사의 생산통계자료의 수집결과 소맥분 생산량은 200,000 ton/yr이며 전력소비량은 정선공정 및 제분공정에서 8,000 MWh/yr, 포장공정에서 1,270 MWh/yr으로

조사되었다. 포장재는 Kraft pulp 1,140 ton/yr, PE 50 ton/yr, OPP 31 ton/yr가 사용되었으며 약 23 ton/yr의 폐지 및 폐플라스틱이 발생하였다. 사용단계는 운송을 고려한 경우 사용량을 이용하여 분석하였으며, 포장공정과 폐기단계에서의 처리방법은 2005년 환경부 통계자료를 참고하여 재활용 53.53%, 소각 22.57%, 매립 23.90%를 적용하여 분석하였다.

목록분석 결과는 각 단위 공정별 투입물과 산출물에 대한 물질수지의 대표적인 항목을 자원소모, 대기오염

물, 수질오염물, 폐기물, 토양오염물 등으로 구분하여 Table 1에 나타내었다.

3. 영향평가(LCIA)

전과정 목록분석 결과만으로는 비교대상 공정들의 상대적인 환경성 순위만 파악할 수 있을 뿐이며, 각 공정

자체의 환경성을 파악하기에는 곤란하다.¹⁵⁾ 전과정 영향평가는 전과정 목록분석 결과를 이용하여 환경에 미치는 영향을 종합적으로 평가하는 과정이다. 각 공정의 목록분석 결과를 바탕으로 잠재적인 환경영향을 파악하기 위하여 분류화 및 특성화 단계를 수행하였으며, 환경부에서 제시한 자원고갈, 지구온난화, 오존층파괴,

Table 2. Characterization factor source of impact category

Impact category		Characterization factor source
Method I	ARD	Guinee, 1995 with Modification for Crude Oil, Natural Gas, Hard Coal and Soft Coal, Reserve Basis
	GW	IPCC, 1994-1995, 100 years
	OD	WMO(World Metrological Organization), 1999
	POC	Derwent <i>et al.</i> , 1998(Updated in Jenkin & Hayman, 1999; Included Inorganic Substances Derwent <i>et al.</i> , 1996), in High NOx
	AD	Heijungs <i>et al.</i> , 1992(Updated with Hauschild & Wenzel)
	EP	Heijungs <i>et al.</i> , 1992(with some modifications)
Method II	ARD	1) EIA, International Energy Annual 2000, 2002 2) U.S. Geological Survey(USGS) 2001~2002
	GW	IPCC 1996
	OD	UNEP 2002
	POC	1) Approach : Problem Oriented Approach (CML, 1999) 2) POCP (Jenkin & Hayman, 1999; Derwent <i>et al.</i> , 1998; High Nox)
	AD	1) Approach : Problem Oriented Approach (CML, 1999) 2) AP (Hauschild & Wenzel (1998))
	EP	Heijung <i>et al.</i> , 1992
	HT	FAETP inf. (Huijbregts, 1999 & 2000)
	FAET	FAETP inf. (Huijbregts, 1999 & 2000)
	MAET	MAETP inf. (Huijbregts, 1999 & 2000)
	TET	TETP inf. (Huijbregts, 1999 & 2000)

ARD(Abiotic Resources Depletion), GW(Global Warming), OD(Ozone Depletion), POC(Photochemical Oxidant Creation), AD(Acidification), EP(Eutrophication), HT(Human Toxicity), FAET(Freshwater aquatic ecotoxicity), MAET(Marine aquatic ecotoxicity), TET(Terrestrial ecotoxicity).

Table 3. Normalization factor, relative significance factor and weighting factor of each impact category

Impact category	Impact category unit	Normalization factor	Normalization unit	Relative Significance factor	Weighting factor
ARD	1/yr	24.9	kg/person-yr ²	0.218	0.231
GW	kg CO ₂ -eq/kg	5530	kg CO ₂ -eq/person-yr	0.274	0.288
OD	kg CFC11-eq/kg	0.0407	kg CFC-eq/person-yr	0.171	0.292
POC	kg ethylene-eq/kg	10.3	kg C ₂ H ₄ -eq/person-yr	0.060	0.065
AD	kg SO ₂ -eq/kg	39.8	kg SO ₂ -eq/person-yr	0.034	0.036
EP	kg PO ₄₃ -eq/kg	13.1	kg PO ₄₃ -eq/person-yr	0.026	0.038
HT	kg 1.4 DCB eq./kg	1480	kg 1,4-DCB-eq/person-yr	0.074	0.105
FAET	kg 1.4 DCB eq./kg	1.5	kg 1,4-DCB-eq/person-yr	0.144	0.144
MAET	kg 1.4 DCB eq./kg	77500	kg 1,4-DCB-eq/person-yr	0.144	0.144
TET	kg 1.4 DCB eq./kg	1.63	kg 1,4-DCB-eq/person-yr	0.144	0.216

ARD(Abiotic Resources Depletion), GW(Global Warming), OD(Ozone Depletion), POC(Photochemical Oxidant Creation), AD(Acidification), EP(Eutrophication), HT(Human Toxicity), FAET(Freshwater aquatic ecotoxicity), MAET(Marine aquatic ecotoxicity), TET(Terrestrial ecotoxicity), DCB(Dichlorobenzene).

광화학 산화물생성, 산성화, 부영양화 등의 6가지 환경영향범주를 고려한 방법론(I)^{16,17}과 산업자원부에서 제시한 자원고갈, 지구온난화, 오존층과괴, 광화학 산화물생성, 산성화, 부영양화, 인간독성, 수계생태독성, 해양생태독성, 토양독성 등의 10가지 환경영향범주를 고려한 방법론(II)^{16,18}을 적용하여 영향평가를 수행하였다. 방법론(II)에서는 정규화 및 가중치 부여 단계까지 고려하며 산업자원부에서 구축한 한국형 지수를 이용하여 환경영향을 평가하였다. 각 방법론의 특성화 factor source를 Table 2에 나타내었으며 정규화 factor, 상대적 중요도 계수 및 가중치 부여 factor를 Table 3에 나타내었다.

환경부에서 제시한 방법론(I)을 이용하여 분류화 및 특성화를 수행한 후, 최종환경영향평가 지수를 도출하였다. 최종환경영향평가 지수는 6.25E+00이며, 각 공정별 환경영향에 대한 영향평가지수를 Table 4에 나타내었다. 산업자원부에서 제시한 방법론(II)을 이용하여 분류화, 특성화, 정규화 및 가중치 부여 단계를 수행한

결과 최종환경영향평가 지수는 특성화 단계에서 9.75E+00, 가중치 부여 단계에서 1.38E-04이며, 각 공정별 환경영향에 대한 영향평가지수를 Table 5와 Table 6에 나타내었다.

방법론(I)은 특성화 단계를 수행한 결과로서 Fig. 3과 Fig. 4에 정리하여 나타내었다. 그 결과 모든 공정이 지구온난화에 대한 영향이 가장 큰 것으로 나타났으며, 각 공정 중 포장공정에서 미치는 영향이 대부분인 것으로 나타났다.

Fig. 5에 방법론(II)의 특성화 단계까지 수행한 결과를 나타내었으며 정선, 제분 및 포장 공정에서는 지구온난화에 대한 환경영향이 사용 및 폐기 단계에서는 해양생태독성에 대한 환경영향이 큰 것으로 나타났다.

방법론(II)는 가중치 부여 단계까지 고려하며 Fig. 6에 나타내었다. 정선, 제분 및 포장 공정에서는 지구온난화에 대한 환경영향이 크며, 사용 단계에서는 자원고갈에 대한 환경영향이 큰 것으로 나타났다. 폐기 단계에서는 지구온난화 및 해양생태독성에 대한 환경영향

Table 4. Life cycle impact assessment of each process using the method I (Results of Characterization)

Method I	Cleaning	Milling	Packaging	Use	Waste	total	Impact category unit	Contribution
ARD	3.43E-05	3.43E-05	1.72E-02	3.01E-06	1.62E-06	1.73E-02	kg antimony-eq/kg	0.28%
GW	1.98E-02	1.98E-02	6.17E+00	4.95E-05	5.92E-03	6.22E+00	kg CO2-eq/kg	99.51%
OD	5.47E-13	5.47E-13	9.91E-14	1.65E-10	2.39E-10	4.05E-10	kg CFC 11-eq/kg	0.00%
POC	1.53E-05	1.53E-05	1.27E-02	4.27E-07	1.76E-06	1.27E-02	kg C2H4-eq/kg	0.20%
AD	8.56E-05	8.56E-05	6.18E-04	2.30E-07	6.47E-06	7.96E-04	kg SO2-eq/kg	0.01%
EP	6.23E-06	6.23E-06	4.26E-05	4.37E-08	1.08E-06	5.61E-05	kg PO43--eq/kg	0.00%
						Σ 6.25E+00		100.00%

ARD(Abiotic Resources Depletion), GW(Global Warming), OD(Ozone Depletion), POC(Photochemical Oxidant Creation), AD(Acidification), EP(Eutrophication).

Table 5. Life cycle impact assessment of each process using the method II (Results of characterization)

Method II	Cleaning	Milling	Packaging	Use	Waste	total	Impact category unit	Contribution
ARD	3.66E-05	3.66E-05	1.54E-02	3.72E-06	1.01E-07	1.54E-02	1/yr	0.16%
GW	1.98E-02	1.98E-02	6.17E+00	4.95E-05	2.96E-03	6.21E+00	kg CO2-eq/kg	63.74%
OD	4.56E-13	4.56E-13	1.96E-12	1.37E-10	9.96E-11	2.40E-10	kg CFC11-eq/kg	0.00%
POC	1.37E-05	1.37E-05	1.14E-02	4.27E-07	8.36E-07	1.14E-02	kg ethylene-eq/kg	0.12%
AD	8.56E-05	8.56E-05	5.91E-04	2.29E-07	3.22E-06	7.66E-04	kg SO2-eq/kg	0.01%
EP	6.23E-06	6.23E-06	4.26E-05	4.37E-08	4.34E-07	5.55E-05	kg PO43--eq/kg	0.00%
HT	6.17E-05	6.17E-05	2.86E-03	1.94E-04	-2.67E-05	3.15E-03	kg 1.4 DCB eq./kg	0.03%
FAET	1.41E-06	1.41E-06	9.19E-04	1.90E-05	-6.39E-06	9.35E-04	kg 1.4 DCB eq./kg	0.01%
MAET	8.58E-03	8.58E-03	3.37E+00	2.84E-03	1.16E-01	3.50E+00	kg 1.4 DCB eq./kg	35.94%
TET	3.93E-10	3.93E-10	1.21E-09	6.33E-08	6.06E-08	1.26E-07	kg 1.4 DCB eq./kg	0.00%
						Σ 9.75E+00		100.00%

ARD(Abiotic Resources Depletion), GW(Global Warming), OD(Ozone Depletion), POC(Photochemical Oxidant Creation), AD(Acidification), EP(Eutrophication), HT(Human Toxicity), FAET(Freshwater aquatic ecotoxicity), MAET(Marine aquatic ecotoxicity), TET(Terrestrial ecotoxicity), DCB(Dichlorobenzene).

Table 6. Life cycle impact assessment of each process using the method II (Results of weighting)

Method II	Cleaining	Milling	Packaging	Use	Waste	Total	Contribution
ARD	7.40E-08	7.40E-08	3.11E-05	7.52E-09	2.04E-10	3.12E-05	22.62%
GW	2.83E-07	2.83E-07	8.81E-05	7.07E-10	4.23E-08	8.87E-05	64.19%
OD	5.59E-13	5.59E-13	2.40E-12	1.69E-10	1.22E-10	2.94E-10	0.00%
POC	5.19E-09	5.19E-09	4.30E-06	1.62E-10	3.17E-10	4.32E-06	3.12%
AD	2.63E-09	2.63E-09	1.82E-08	7.05E-12	9.90E-11	2.35E-08	0.02%
EP	4.70E-10	4.70E-10	3.21E-09	3.29E-12	3.27E-11	4.19E-09	0.00%
HT	3.24E-10	3.24E-10	1.50E-08	1.02E-09	-1.40E-10	1.66E-08	0.01%
FAET	1.95E-08	1.95E-08	1.27E-05	2.63E-07	-8.83E-08	1.29E-05	9.35%
MAET	2.30E-09	2.30E-09	9.01E-07	7.61E-10	3.12E-08	9.37E-07	0.68%
TET	7.50E-12	7.50E-12	2.31E-11	1.21E-09	1.16E-09	2.40E-09	0.00%
					Σ	1.38E-04	100.00%

ARD(Abiotic Resources Depletion), GW(Global Warming), OD(Ozone Depletion), POC(Photochemical Oxidant Creation), AD(Acidification), EP(Eutrophication), HT(Human Toxicity), FAET(Freshwater aquatic ecotoxicity), MAET(Marine aquatic ecotoxicity), TET(Terrestrial ecotoxicity).

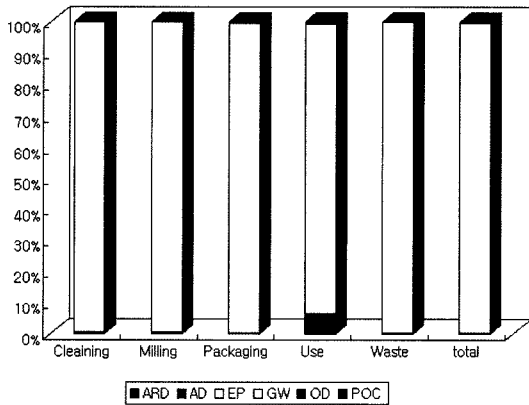


Fig. 3. The cumulative percentage effects of characterization of each process using the method I.



Fig. 5. The cumulative percentage effects of characterization of each process using the method II.

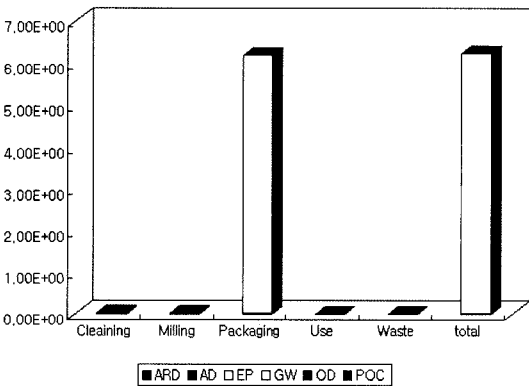


Fig. 4. Results of each process using the method I.

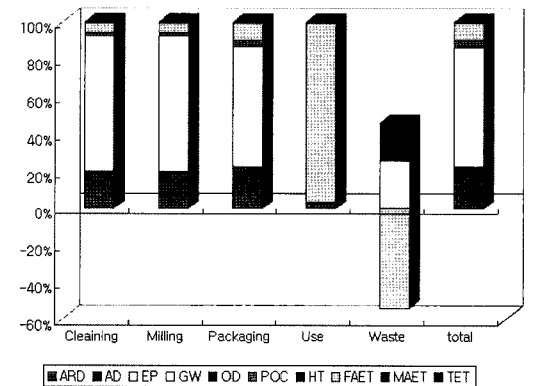


Fig. 6. The cumulative percentage effects of weighting of each process using the method II.

이 미치는 것으로 나타났으며, 자원고갈에 대한 환경영향은 (-)로 나타났다. 이는 폐기단계에서 폐기물질의

53.53%를 재활용하며 소각 후 발생하는 여열이 전기나 연료로 재활용되기 때문에 자원고갈에 대한 환경영향

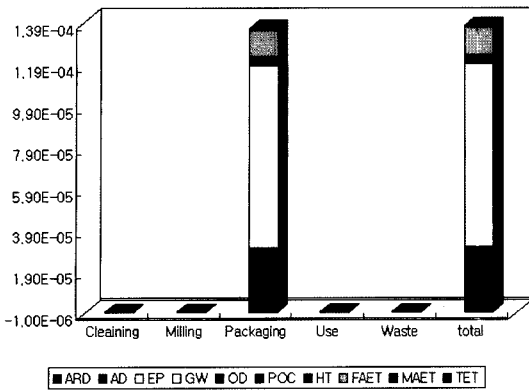


Fig. 7. Results of each process using the method II.

이 저감되어 나타난 결과로 판단된다.¹⁹⁾

Fig. 7에 나타난 바와 같이 각 공정에서 미치는 환경영향을 살펴보면 포장 공정에서 환경영향의 대부분을 차지하며, 지구온난화, 자원고갈, 해양생태독성 및 광화학 산화물 생성 등의 순으로 영향을 미치는 것으로 나타났다.

4. 전과정 해석

전과정 해석 단계는 전과정 평가의 최종 단계이며, 목록분석 및 영향평가의 결과를 바탕으로 각각의 환경영향에 미치는 주요인자(Key factor)를 규명하고 검토하는 단계이다.²⁰⁾ 주요인자는 환경영향 중에서 1% 이상의 기여도를 갖는 활동, 공정, 부품 및 전과정 단계를 뜻하며, 각 공정에서의 환경영향을 미치는 물질을 의미한다.²¹⁾

전과정 목록분석 결과를 바탕으로 분류화, 특성화 단계를 수행한 방법론(I)의 기여도 분석결과 지구온난화의 영향범주가 99.51%로 거의 대부분을 차지하였으며, 방법론(II)의 기여도 분석 결과 특성화 단계까지 수행한 경우 지구온난화 및 해양생태독성의 영향범주가 각각 63.74%, 35.94%로 나타났다.

가중치 부여단계를 수행한 결과 지구온난화, 자원고갈, 수계생태독성 및 광화학 산화물생성의 영향범주가 각각 64.19%, 22.62%, 9.35%, 3.12%로 나타났다. Table 7에 방법론(I)과 방법론(II)의 기여도 분석결과를 나타내었다.

주요인자 확인 결과 지구온난화는 CO₂, 해양생태독성은 Ba(water), 자원고갈은 natural gas, 수계생태독성은 Ba(water), 광화학 산화물생성은 Hydrocarbons으로 나타났으며, 주요인자는 환경영향을 저감하기 위한 방침이나 대책을 강구할 때 중요한 기초 자료가 될 것이다.²²⁾

Table 7. Contribution result of characterization and weighting

Impact category	Method(I)		Method(II)	
	Characterization	Characterization	Weighting	Weighting
ARD	0.28%	0.16%	22.62%	
GW	99.51%	63.74%	64.19%	
OD	0.00%	0.00%	0.00%	
POC	0.20%	0.12%	3.12%	
AD	0.01%	0.01%	0.02%	
EP	0.00%	0.00%	0.00%	
HT	-	0.03%	0.01%	
FAET	-	0.01%	9.35%	
MAET	-	35.94%	0.68%	
TET	-	0.00%	0.00%	

ARD(Abiotic Resources Depletion), GW(Global Warming), OD(Ozone Depletion), POC(Photochemical Oxidant Creation), AD(Acidification), EP(Eutrophication), HT(Human Toxicity), FAET(Freshwater aquatic ecotoxicity), MAET(Marine aquatic ecotoxicity), TET(Terrestrial ecotoxicity).

각 공정이 미치는 환경영향을 살펴보면 포장공정이 미치는 영향이 전체 공정의 대부분을 차지하였고 방법론(I)은 특성화 수행단계를 방법론(II)는 가중치 부여단계를 최종단계로 생각할 경우 두 방법론 모두 영향범주로는 지구온난화에 미치는 영향이 큰 것을 확인하였다.

III. 결 론

본 연구는 LCA기법을 이용하여 식품의 원료로 쓰이는 소맥분의 생산 공정에 대한 잠재적인 환경영향을 정량화 하였다. 국내·외 database 및 S 기업의 생산통계 자료를 바탕으로 전과정 목록 분석을 하였으며, 그 결과를 바탕으로 환경부 및 산업자원부에서 제시한 각각의 방법론으로 분류화, 특성화, 정규화, 가중치 부여 단계를 고려하여 전과정 영향평가를 수행하였다.

환경부에서 제시한 방법론(I)은 자원고갈, 지구온난화, 오존층파괴, 광화학 산화물생성, 산성화 및 부영양화 등 6가지 영향범주를 고려하였으며, 산업자원부에서 제시한 방법론(II)은 자원고갈, 지구온난화, 오존층파괴, 광화학 산화물생성, 산성화, 부영양화, 인간독성, 수계생태독성, 해양생태독성 및 토양생태독성 등 10가지 영향범주를 고려하였다.

방법론(I)의 최종환경영향평가 지수는 6.25E+00이며, 모든 공정이 지구온난화에 대한 영향이 가장 큰 것으로 나타났고, 각 공정 중 포장공정에서 미치는 영향이 대부분인 것으로 나타났다.

방법론(II)의 최종환경영향평가 지수는 특성화 단계에

서 9.75E+00, 가중치 부여 단계에서 1.38E-04로 나타났으며, 특성화 단계까지 수행한 결과 정선, 제분 및 포장 공정에서는 지구온난화에 대한 환경영향이 사용 및 폐기 단계에서는 해양생태독성에 대한 환경영향이 큰 것으로 나타났다. 가중치 부여 단계까지 고려할 경우 정선, 제분 및 포장 공정에서는 지구온난화에 대한 환경영향이 크며, 사용 단계에서는 자원고갈에 대한 환경영향이 큰 것으로 나타났다. 폐기 단계에서는 지구온난화 및 해양생태독성에 대한 환경영향이 미치는 것으로 나타났으며, 자원고갈에 대한 환경영향은 폐기단계에서 폐기물질의 53.53%를 재활용하며 소각 후 발생하는 여열이 전거나 연료로 재활용되기 때문에 자원고갈에 대한 환경영향이 저감(-)된다고 판단된다.

전과정 해석 단계는 목록분석 및 영향평가의 결과를 바탕으로 각각의 환경영향에 미치는 주요인자(Key factor)를 규명하고 검토하는 단계이다. 방법론(I)의 기여도 분석결과 지구온난화의 영향범주가 99.51%, 방법론(II)의 기여도 분석 결과 특성화 단계까지 수행한 경우 지구온난화 및 해양생태독성의 영향범주가 각각 63.74%, 35.94%, 가중치 부여단계를 수행한 결과 지구온난화, 자원고갈, 수계생태독성 및 광화학 산화물 생성의 영향범주가 각각 64.19%, 22.62%, 9.35%, 3.12%로 나타났다. 주요인자 확인 결과 지구온난화는 CO₂, 해양생태독성은 Ba(water), 자원고갈은 natural gas, 수계생태독성은 Ba(water), 광화학 산화물생성은 Hydrocarbons으로 나타났다.

본 연구결과 동일한 전과정 목록분석 결과를 바탕으로 전과정 영향평가를 수행하였지만, 각 방법론별 환경영향이 상당한 차이를 나타내었으며 이는 각 방법론마다 환경영향범주별 factor인 가중 정도가 다르기 때문이다.

그동안 제품 및 사회기반시설에 대한 연구는 많이 수행되어 왔지만 아직까지 식품산업에 대한 연구는 부족한 실정이며, 식품산업은 인체에 직·간접적으로 영향을 미치는 분야이기 때문에 보다 다양한 연구가 필요할 것으로 사료되고 본 연구가 기초자료로 활용되어져기를 기대한다.

참고문헌

- Kim, J. K., Park, Y. N., Chung, J. C. and Kang, H. B. : Environmental assessment using LCA for PET (polyethylene terephthalate) products. *Korean Journal of Environmental Health Society*, **25**(4), 80-90, 1999.
- Hwang, S. J. : LCA Guide to Practical, the First Edition, Sigma Press Since, 65-164, 2003.
- Kim, J. G. : A survey of the temperature control of refrigerators and freezers in retail food shops. *Korean Journal of Environmental Health Society*, **28**(2), 161-171, 2002.
- Environmental Declaration of Products, <http://www.edp.or.kr>
- Shin, S. N. and Kim, S. K. : Physicochemical properties of Korean raw noodle Flours. *Korean Journal of Food Science and Technology*, **37**(3), 418-424, 2005.
- Ministry of Agriculture & Forestry Republic of Korea : Agricultural & Forestry Statistical Yearbook 2005, 96-97, 2006.
- Kang, J. H. : Wheat Flour of Dinner Table in Korea, Korea Forum, November(medical essay), 180-183, 2005.
- ISO, ISO 14040, Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework, 1997.
- ISO, ISO 14041, Environmental Management - Life Cycle Assessment - Goal and Scope Definition and Inventory Analysis, 1998.
- ISO, ISO 14042, Environmental Management - Life Cycle Assessment - Impact Assessment, 1998.
- ISO, ISO 14043, Environmental Management - Life Cycle Assessment - Life Cycle Interpretation, 2000.
- Ministry of Environment Republic of Korea : Generation and Treatment of Waste in Korea 2005, 16-23, 2006.
- LCI database, <http://klcidb.koeco.or.kr/lci/main.asp>
- Jo, H. J., Hwang, Y. U. and Park, G. H. : Environmental assessment and development of program for flexible packages of synthetic resins using LCA methodology. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, **25**(10), 1289-1298, 2003.
- Park, G. H., Hwang, Y. U., Jo, B. M. and Kim, H. J. : Environmental impact evaluation for paper & pulp package products-Life cycle assessment case study. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, **25**(11), 1411-1419, 2003.
- Ministry of Environment Republic of Korea : Total version 3.0.0, 2006.
- Ministry of Environment Republic of Korea : Environmental Declaration of Products Guideline, 56-62, 2004.
- Ministry of Commerce, Industry and Energy : Environmental Management Standardization Project for Constructing Environmental-Friendly Industrial Structure, 15-18, 2003.
- Eom, J. Y., Lee, B. H. and Shin, P. W. : Development of depolymerization method on the recycling of waste flexible polyurethane foam. *Korean Journal of Environmental Health Society*, **28**(2), 41-49, 2002.
- Korea Accreditation Board : Life Cycle Assessment Theory and Guideline, 1999.
- Lee, K. M. and Atsushi, I. : Life Cycle Assessment ISO 14040 Series Practical Guideline, Eco-Product Research Institute Ajou University, 68-71, 2004.
- Brog, M., Paulsen, J. and Trinius, W. : Proposal of a method for allocation in building - related environmental LCA based on economic parameters. *International Journal of Life Cycle Assessment*, **6**(4), 219-230, 2001.