

## 식품산업에 있어서 포장두부의 전과정평가 사례연구

황 태 연\* · 윤 성 이\*\*

### Case Study on the Life Cycle Assessment of the Packaged Bean-curd in Food Industry

Hwang, Tae-Yeon · Yoon, Sung-Yee

This study has been analyzed an execution example of the life cycle assessment on the packaged bean-curd of P company, the first case of the regular life cycle assessment on the processed foods in Korea and considered on the significance and directions of the life cycle assessment on the foods. It is possible to divide the potential environmental impact through the life cycle of the bean-curd into six categories and analyze the environmental impact on the production, use and disposal phases of the product. The values of each environmental impact have been quantified from the strength of the potential impact for the corresponding category of impact. In the future, it is expected that the result of the life cycle assessment will be increasingly used for many areas such as Climate Change Convention and ISO22000, etc. and it is required to promote a project to make database through the assessment on the individual corps or types of businesses for it from now on.

Key words : *life cycle assessment, packaged bean-curd, environmental assessment, climate change convention*

## I. 서 론

### 1. 식품산업의 특성

소비자의 인식이 향상됨에 따라 유기농 식품 또는 유기농 원료를 사용한 가공 식품에 대

---

\* 동국대학교 식품자원경제학과 대학원

\*\* 동국대학교 식품자원경제학과 교수

한 관심이 커지고 있으며, 이에 따라 유기농 시장이 점차 확대되고 있다. 이러한 소비자의 추세에 맞물려 가공식품의 구성 성분을 완전히 표시하는 완전표시제의 도입이 이뤄짐으로써 유기농 식품뿐 아니라 이를 원료로 하는 가공식품의 건전성을 확보하는 추세이다. 더불어 일부 식품 가공회사에서는 식품생산정보 공개제도를 통해 가공식품의 원료의 재배 또는 생육과정으로부터 가공까지의 이력을 소비자가 직접 확인해볼 수 있는 이력제를 도입함으로써 원료의 생산으로부터 제품 가공까지의 과정을 투명하게 관리하고 있다.

이는 소비자의 관심이 점차 제품의 한 가지 측면 또는 사용 과정에서의 측면만이 아니라 제품의 원료 채취로부터 제조 및 사용 과정과 폐기에 이르기까지의 전과정으로 확대되고 있는 추세를 반영한다고 해석할 수 있다. 이미 전자, 자동차, 화학 등 자연계의 자원을 채취하여 각종 제품을 생산하고 있는 산업계에서는 전과정평가를 통해 제품의 전과정에 걸친 환경영향을 최소화하기 위한 노력을 기울이고 있으며, 제품을 환경친화적으로 만들기 위한 다양한 방법론을 적용하고 있다.

이러한 추세는 웰빙을 넘어선 라이프스타일로 대두되고 있는 로하스(LOHAS, Lifestyles Of Health and Sustainability)의 확산으로 확인되고 있다. 즉, 자신과 가족의 신체적이고 정신적인 건강은 물론, 환경, 사회정의 및 지속가능한 소비에 높은 가치를 두고 생활하려는 사람이 증가하고 있다. 로하스 시장은 크게 지속가능한 경제, 건강한 라이프스타일, 대안 헬스케어, 생태적 라이프스타일, 자기계발의 5가지로 대분류할 수 있으며(LOHAS journal), 이 중에서 건강한 라이프스타일과 생태적 라이프스타일의 경우는 식품산업과의 연관성이 매우 높다.

그러나 식품산업에 있어서 앞에서 언급한 바와 같이 원료의 환경친화성과 안전성에 대한 관심이 집중되고 있으나 아직까지 전과정적 환경영향에 대한 논의와 연구는 활성화되어 있지 않은 편이다. 건강한 라이프스타일을 위한 소비적 측면에서의 관심은 집중되고 있으나, 생태적 라이프스타일을 위한 생산적 측면에서의 환경친화성에 대해서는 아직까지 관심이 미비하기 때문이다.

향후 식품을 비롯한 모든 산업에 있어 지속가능한 생산, 생태적 라이프스타일에 대한 관심이 당연시 될 것이며, 소비자는 로하스 라이프스타일을 기업은 지속가능경영을 향해 나아가게 될 것이다. 이러한 변화에 있어 특정 제품 또는 서비스와 관련된 원료 생산으로부터 제품 제조 및 사용과 폐기에 이르기까지의 전과정(Life cycle)에 걸쳐 잠재적 환경영향을 정량적으로 분석하는 작업이 필수적으로 수반되어야 할 것이며, 이 결과는 지속가능한 생산과 소비가 이루어질 수 있는 토대를 마련하는데 많은 기여를 하게 될 것이다.

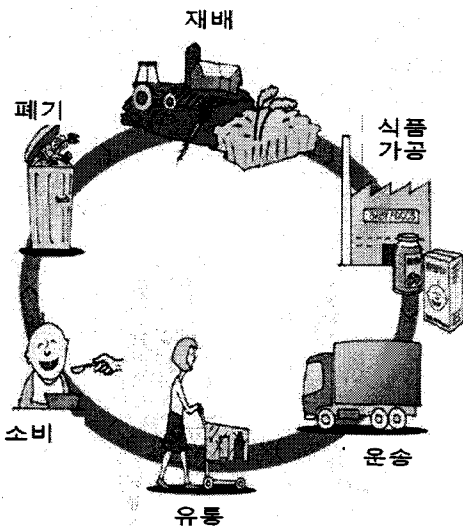
본 연구에서는 가공식품에 대한 본격적인 전과정평가의 국내 최초 사례인 P사의 포장두부 전과정평가의 수행 사례를 분석해보고, 식품에 대한 전과정평가의 의의와 향후 나아가야 할 점에 대해서 고찰하고자 한다.

## 2. 식품에 대한 전과정평가 동향

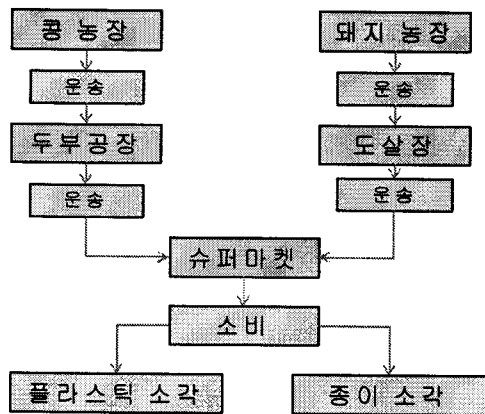
식품에 대한 전과정평가는 유럽을 중심으로 다양한 연구 결과가 발표되고 있다. 농업과 축산 분야에서의 작물 또는 가공된 식품에 대한 전과정평가 연구를 토대로 농축산업, 나아가 식품 분야의 지속가능성을 가능케함으로써 환경친화적인 식품 산업 전략을 수립하고자 하는 움직임에서 비롯된 것으로 보인다.

스웨덴은 식품산업의 생산방식별 환경성을 비교평가하고 친환경적인 발전방향을 모색하기 위해서 식품 및 농산품에 대한 전과정평가를 수행하고 이를 통해 축적된 전과정적 환경영향 정보를 토대로 SALSA models(Systems AnaLysis for Sustainable Agriculture)이라고 하는 농업의 지속가능성 분석 틀을 개발하고 이를 축산업에 적용하기 위해 관련 연구(Ulf Sonesson, 2005)를 수행한 바 있다.

돼지고기와 두부에 대한 비교 LCA를 수행한 사례(Susanne Håkansson et al., 2005)에서는 동일한 영양소를 공급하는데 있어서의 영양원으로서의 식품 간의 환경성을 비교한 바 있다.. 일일 권장 섭취량인 포화단백질 20g을 기능단위로 하여 이를 공급하는 육류 및 채소류 각각에 대하여 이를 대표하는 돼지고기와 두부에 대해 전과정평가를 수행함으로써 동일한 영양분을 섭취하기 위한 대안에 따른 전과정에 걸친 환경영향을 파악해 본 것이다.



<그림 1> 식품과 농업 분야 전과정 기반 연구 사례의 전과정 개념(Ulf Sonesson, 2005)



<그림 2> 두부 Vs. 돼지고기 비교 LCA를 위한 시스템 경계(Susanne Håkansson et al., 2005)

오스트리아에서는 곡류가공산업의 생태효율성(Eco-efficiency) 제고, 환경성과평가, 그리

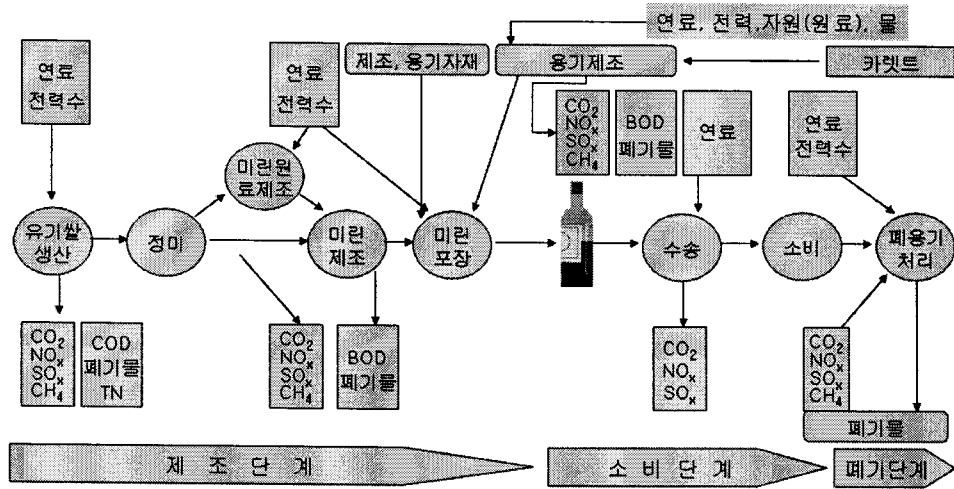
고 이에 대한 개선 및 의사결정을 위해 맥주, 빵, 카놀라유 등의 전과정평가를 수행한 사례 (Case Study of Life Cycle Assessment of Australian Grains, 2003)가 있으며, 덴마크에서는 작물, 우유 및 유제품, 채소, 육류 및 어류로 분류된 75개에 이르는 음식물 데이터베이스 (<http://www.lcafood.dk>)를 구축하여 공개하고 있다. 뉴질랜드에서는 농업이 주요 수출 주력 산업으로서 농산시스템에 대한 전략적인 의사결정 및 유럽 대비 뉴질랜드 농산 시스템의 환경성과 분석을 위한 기초 환경성 정보 구축을 위해 우유 제품에 대한 전과정평가(Claudine Basset-Mens et al. 2005)를 수행하였다.

〈표 1〉 식품 LCA 수행 사례

대상 제품	연구 취지	연구자
밀	방법론적 개념 수립을 위한 시범 연구. European Concerted Action(5개국)	EC DGVI, 1997
분유, 돼지고기, 대두유, 설탕, 감자전분	방법론적 개념 수립을 위한 시범 연구. 네덜란드 정부의 재정지원	Blonk, 1997
돼지, 양, 소고기	주요인자의 규명. 노르웨이 육류협회의 지원	Moller, 1997
토마토 케첩	스크리닝 LCA를 통한 주요인자의 규명 자체 연구	Andersson, et al., 1996
마아가린 외	제품의 환경적 성과를 커뮤니케이션에 이용하기 위해 환경적 수치화의 가능성 타진 스프레드 제조사의 지원	Krozer, et al., 1992
호밀빵과 햄	식품 산업을 위한 정보 제공	Weidema, et al., 1995
글라시 캔	식품과 포장의 복합적 평가	IÖW, 1992

기존 연구에만 그쳤던 전과정평가가 환경마케팅 측면에서 활용된 사례도 있다. 일본 다카라 주조의 조미술(유기본미림)이 그것이다. 다카라 주조는 제품의 전과정평가를 수행하여 EPD 인증취득을 하고, 그 결과를 제품의 친환경설계 및 평가에 반영하여 매년 제품의 환경성적과 환경성 개선 활동을 외부에 공개하고 있다.

가공 식품의 한 종류인 이 제품은 제품의 원료 재배로부터 시작하여 가공공정과 포장용기(병) 주입을 통해 제품으로 생산되어 운송을 거쳐 소비되는 일반적인 전과정을 거치게 된다. 소비가 완료된 후 폐기되는 용기(병)는 회수 후 처리를 거쳐 다시 제품의 생산에 투입되는 과정(<그림 3>)을 거치고 있다.



〈그림 3〉 유기분미린의 전과정 흐름도

다카라 주조는 전과정평가 연구를 통해 제품의 용기로 인한 환경영향 절감 필요성을 규명하였으며, 그 결과 용기로서 병의 기능은 그대로 유지한 채 병의 경량화를 실현함으로써 제조 단계와 폐기 단계에서의 에너지, 이산화탄소 및 폐기물의 발생량을 감축하였다. 이는 환경적 영향 뿐 아니라 제조원가의 절감에도 긍정적인 영향을 미쳤을 것으로 예상된다.

〈표 2〉 유기분미린의 병경량화에 의한 LCA 환경부하 삭감율

	제조단계	소비단계	폐기단계	라이프 사이클 전체
에너지 삭감율	3.2%	0.0%	33.0%	3.5%
CO <sub>2</sub> 삭감율	5.7%	0.0%	33.0%	6.2%
폐기물 삭감율	32.9%	0.0%	31.7%	31.9%

우리나라에서는 2007년 1월 P사에서 포장두부의 환경성적표지 인증을 취득한 사례가 가공식품에 대한 전과정평가가 본격적으로 이루어진 최초의 사례로 여겨진다. P사는 2006년 자체 공장 3개소에서 자사 브랜드로 생산되는 포장두부 전제품에 대한 전과정평가를 실시하고, 그 결과를 토대로 15개 제품의 환경성적표지를 인증받은 바 있으며, 자사 홈페이지 등을 통해 인증 사실을 홍보함으로써 제품의 환경적 신뢰도를 향상시키고자 하고 있다. 또한, 제품 전과정에 걸친 환경영향 분석을 통해 환경적 취약요소를 발굴하고 지속적인 개선을 시도하는 것으로 알려져 있다.

## II. 포장두부의 전과정평가

### 1. 대상 제품 및 시스템 개요

두부는 콩을 물에 담갔다가 갈아 그 액을 가열하여 비지를 짜내고 응고제를 첨가하여 굳힌 식품으로 한국을 비롯한 일본, 중국 등지에서 광범위하게 사용되는 가장 대중적인 콩 가공품으로 양질의 식물성 단백질이 풍부한 식품이다.(두산대백과사전)

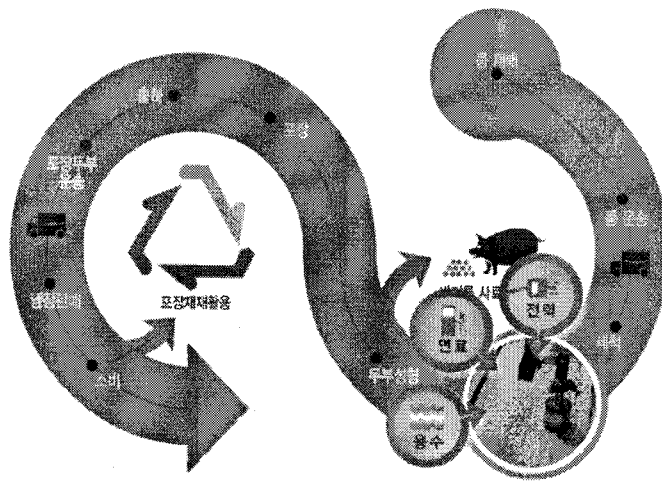
KS H 2501(두부) 및 ‘식품위생법’에 따른 식품공전의 ‘7-1 두부류’의 정의에 따르면 “두부”란 대두를 원료로 한 대두액에 응고제를 가하여 응고시킨 가공식품을 말하며, 그 중에서 본 연구의 사례로 선정된 제품은 포장두부이다. “포장두부”란 일정한 형태의 고형물을 합성수지 용기 등으로 밀봉 포장하여 열탕살균처리한 두부(환경부, 2006)를 말한다. 생활패턴의 변화에 따라 대도시를 중심으로 소비자가 대형 유통매장 또는 소규모 식품매장을 통해 대기업이 제조한 포장두부를 구매하는 경우가 늘고 있으며, 가장 폭넓게 소비되는 가공식품 중 하나이다.

대량생산을 위해 자동 공정화된 두부의 생산 공정은 다음과 같은 대공정으로 분류하여 요약할 수 있다.

〈표 3〉 포장두부 제조공정 요약(환경부, 2006)

공정명	설 명	
대두액 제조	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 원료투입 : 선별된 대두를 공정에 투입함</li> <li>- 세척 및 침지 : 대두를 세척조에 투입 후 불순물을 걸러내는 공정과 불리는 공정을 포함함.</li> <li>- 마쇄 및 증자, 여과 : 세척된 대두를 갈아서 부수는 공정과 콩즙을 끓이는 공정, 여과하는 공정을 포함함.</li> </ul>	
두부 제조	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 연두부, 순두부 : 대두액을 포장재에 충전하여 응고시키는 공정을 포함함</li> <li>- 연두부, 순두부를 제외한 나머지 두부 : 대두액에 응고제를 투입하여 응고시키는 공정과 응고된 두부를 규정된 크기로 압착 성형하는 공정, 성형된 두부를 절단하여 충전수에 보관하는 공정, 절단된 두부를 개별 포장하는 공정을 포함.</li> </ul>	
열탕 및 냉각, 선별	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 포장된 두부를 온수와 냉수로 처리하는 공정과 불량품을 선별하는 공정을 포함.</li> </ul>	
냉장보관	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 두부 완제품을 냉장 보관하는 공정</li> </ul>	
보조 공정	유틸리티	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 압축공기 제조, 공정수 제조, 스팀 제조, 가스 제조 등 제품생산을 지원하는 공정을 포함.</li> </ul>
	배출물 처리	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 공정 중에 발생하는 대기배출물, 수계배출물, 폐기물 처리공정을 포함.</li> </ul>

두부의 전과정은 콩 재배로부터 두유 제조 성형, 포장 및 출하, 유통을 거쳐 소비될 때까지의 다음과 같은 흐름을 가진다. 원료인 콩의 재배로부터 시작하여 두부를 생산하기 위해 전력, 연료, 용수 등이 투입되며, 생산된 두부를 포장하여 이를 소비자에게 전달하기까지 운송과 냉장판매를 거치게 된다. 이 과정에서도 역시 전력과 연료가 소비되며, 이로 인한 환경오염물질이 발생하게 된다.



〈그림 4〉 포장두부의 전과정(풀무원, 2007)

## 2. 기능 및 시스템 경계 설정

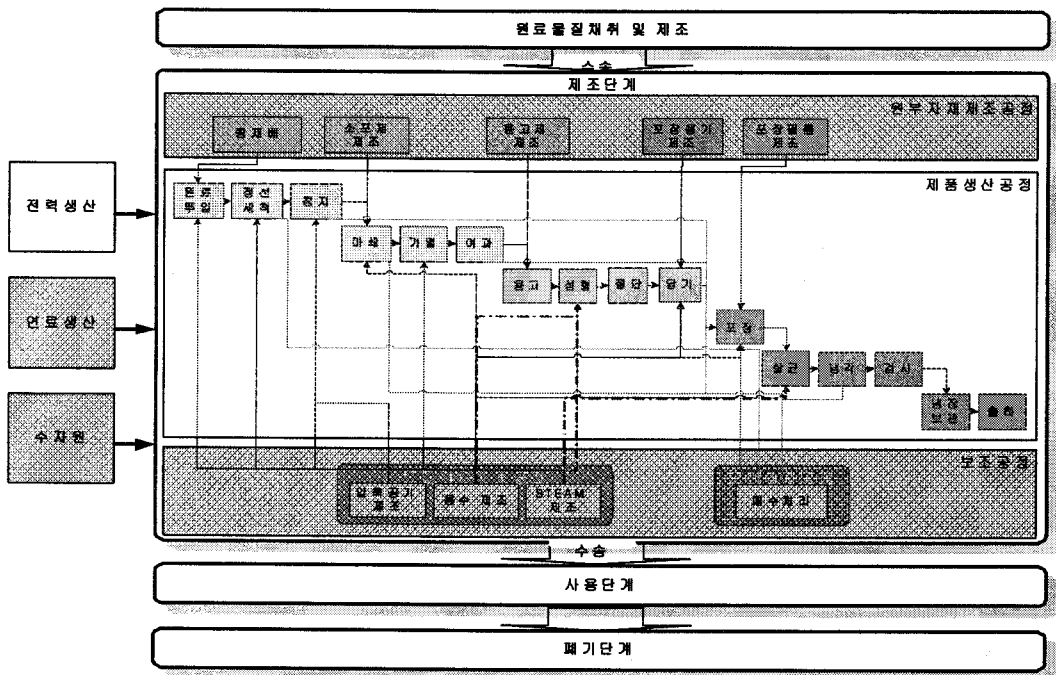
두부의 기능은 다양하게 표현할 수 있겠으나 식품으로서의 기능을 연구의 대상 기능을 정의하였다. 이러한 기능을 전달하기 위한 포장 두부 제품은 다양한 크기의 제품으로 판매될 수 있으므로 주요 내용물인 두부 100g을 전과정평가의 기능 단위로 설정하였다. 아래의 표는 두부 내용물 100g에 대한 상세정보이다.

〈표 25〉 포장두부 내용물 100g의 상세 정보

부피(Volume)				중량(Weight)				
내용적	길이	폭	높이	총중량	두부	충진수	용기	필름
(1)	(mm)	(mm)	(mm)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)
550	1	134	47	135.72	100	32.62	2.62	0.48

포장두부 제품의 전과정 흐름도는 다음과 같이 요약해 볼 수 있다. 원료물질 채취 및 제

조로부터 제품 제조, 사용, 폐기의 전체 과정을 연구의 범위로 하며, 아래 그림과 같은 하위 공정들로 구성된 시스템을 모델화하였다. 제품의 생산공정은 여러 개의 세분화된 단위공정들로 나누어 볼 수 있으며, 각 단위공정들마다 공정 특성에 따라 부자재 또는 포장재가 투입되게 된다. 원료인 콩을 비롯한 다른 자재들은 두부 제조 공정과는 별개의 회사 또는 농장에서 이루어지므로 별도로 분리하여 데이터 수집이 필요하다. 또한 국가 또는 지역 차원에서 공급되는 전력, 연료, 수자원이 제조 단계로 투입되게 된다. 생산된 제품은 사용과 폐기 과정을 거치게 되며, 각 단계 간의 수송이 이루어지고 있다.



〈그림 5〉 포장두부의 전과정 흐름 요약

제품의 제조 공정과 보조 공정의 투입물과 산출물을 분석하기 위해 2005년 7월부터 2006년 6월까지의 1년 간 실적을 취합하여 분석하였으며, 포장재 및 각종 부자재의 생산 공정 데이터 역시 동일한 기간 동안의 실적을 취합하여 분석하였다. 원료인 콩의 재배에 대해서는 2005년 1년간의 생산실적을 토대로 데이터를 생성하였다.

### 3. 데이터 사용 원칙

설정된 시스템 경계에 따라 다음과 같은 데이터 사용 원칙을 설정하여 시스템 경계 내의 모든 입출력물의 흐름을 정량화하여 분석을 수행하고자 하였다.



- 제품제조공정의 투입물은 제품 원료, 제품 제조 과정에 투입되는 보조물질, 공정에너지에 대해 세분화하여 데이터를 수집
- 일반적으로 공정의 청결을 유지하기 위해 사용되는 피복류와 설비에 투입되는 소모품은 제외
- 단위 공정별 투입량을 파악할 수 없는 유틸리티는 공장 전체에서의 사용량을 파악
- 주요공정별로 투입량을 산정하여 관리하고 있는 유틸리티에 대해서는 내부 보고문서에 근거하여 주요공정별 투입량을 산출
- 모든 유틸리티 공정에 대해서는 각 생산 공정별로 투입물과 산출물 데이터를 조사
- 국내에서 이루어지는 수송은 국가 데이터를 연결하여 수송 고려
- 해외로부터 수입되는 원료에 대한 수송은 수송이 이루어지는 지역이 해외에서 시작하여 국내로 연결되므로 지역적 경계의 설정이 모호하며, 이용할 수 있는 해외 운송 데이터베이스의 한계가 있기 때문에 지역에 대한 고려 없이 국가 운송 데이터베이스를 사용
- 생산라인의 유지보수를 위한 활동으로 인한 폐기물 및 에너지 사용량 증가에 따른 영향은 시스템 경계에는 포함되어 있지만 별도로 고려하여 제외하지 않고 데이터 수집기간 내의 정상적인 생산 활동의 일부로 간주
- 수송 과정에 대한 고려 시 수송 수단이 명확하게 파악되지 않은 경우 원료에 대해서는 트럭으로 운송되는 것(공로수송)으로 가정

한편, 원료 및 포장재 제조 공정 중 일부 투입물의 현장데이터를 확보할 수 없는 경우에는 다음과 같은 단계에 따라서 데이터를 처리하였다.

- 1) 재질구성정보를 파악하였으며, 해당 재질의 전과정목록분석 데이터베이스(일반데이터베이스)가 존재하는 경우 재질에 해당하는 일반데이터베이스(LCI 데이터베이스)를 사용
- 2) 재질 파악은 하였으나 해당 물질의 데이터베이스가 없는 경우, 유사한 물질의 데이터를 사용하였으며, 적절한 유사물질 데이터가 없는 경우에는 데이터 누락으로 처리
- 3) 정확한 재질을 파악하지 못한 경우엔 데이터 누락으로 처리

이러한 처리 과정을 거쳐 물질에 대한 데이터베이스가 없는 경우라도 해당 물질의 재질을 명확하게 파악할 수 있는 경우의 환경영향을 반영할 수 있었다.

#### 4. 데이터 수집

제품의 제조 과정에서의 주요 투입물은 원재료인 콩과 포장두부의 포장재이며, 소량의 첨가제와 유틸리티 설비를 비롯한 보조 공정 유지를 위한 다양한 약품이 투입된다. 콩의 가공

을 위해서 다량의 열을 필요로 하며, 이를 위해 주로 보일러를 통해 생산한 스팀과 전기를 사용하는 것이 일반적이다. 또한, 세척과 가공 과정에서 많은 양의 물을 사용하고 있다.

식품의 특성 상 생산된 제품은 수일 이내에 소비자에게 전달되어 섭취되게 되어야 하며, 유통기간 동안의 변질을 방지하기 위해 생산 직후부터 판매가 이루어질 때까지 냉장유통이 이루어진다. 냉장유통을 위해서는 유통판매상 냉장판매대 운영을 위한 전력이 소비되며, 아래와 같은 가정에 의거하여 유통과정에서의 전력소비량을 산정하였다.

- 소비전력량[kWh] =  $2.5E-02[\text{kWh/L}] \times V_p[\text{L}]$
- VP는 포장두부 1개의 부피를 의미하며, 단위는 [L]이다.
- 단, 두부 부피(VP)는 포장된 상태를 기준으로 공극을 포함한 가장 바깥쪽의 부피(가로×세로×높이)를 계산한다.

한편, 물류에 대한 부분은 생산 후 물류센터까지의 수송을 고려하며, 판매상에서 소비자까지의 수송은 고려하지 않았다.

두부는 소비자의 기호에 따라 다양한 방식으로 조리된다. 소비자의 소비 패턴은 별도로 조사된 바가 없으나 내용물은 전량 조리하여 섭취하는 것으로 가정하여도 크게 무리가 없을 것으로 판단되어 내용물은 100% 소비되고 포장재는 전량 폐기 처리되는 것으로 가정하였다. 분리배출된 포장재는 환경부에서 발표하는 생활폐기물에 대한 ‘전국 폐기물 발생 및 처리현황’에 따라 물질 또는 재질별 재활용, 매립, 소각 비율을 따라 계산하였다.

가공 식품의 전과정평가에 있어서 가장 논란이 되는 부분의 하나는 바로 원료인 식품의 재배 과정에 대한 모델화와 데이터의 확보이다. 두부의 원료인 콩(대두)의 경우는 국내의 여러 지역에서 재배되고 있으며, 미국 및 중국으로부터의 수입도 이루어지고 있다. 연구 대상 제품들 중 일부는 중국산 유기농콩을 사용하고 있으며, 대부분의 제품은 국내산 콩을 사용하여 제품을 생산하고 있었다. 중국산 유기농 콩의 경우는 두부 제조사가 현지에 대형 농장과 계약재배를 통해 콩을 재배하고 수확하고 있으므로 재배 과정 및 수송에 대한 정보를 일괄적으로 취득할 수 있었다. 하지만, 국내산 콩의 경우는 국내에 산재되어 있는 재배지의 농협을 통해 콩을 구매하고 있는 상황이어서 하나의 단일한 주체를 통해 콩 재배 데이터를 입수하는 것이 불가능하였다. 이를 해결하기 위해 국내의 대표적 재배 농가의 콩 재배 실태에 대한 설문조사를 실시하였으며, 그 결과 콩 재배를 위해 농가에서 투입하는 농약 및 비료의 대략적인 사용 실태를 파악할 수 있었다. 그러나 지역별로, 재배자별로 투입하는 약품의 종류와 양의 차이가 있었으며, 그 양 또한 정량적으로 측정된 기록을 확인하기 힘들었다. 이를 해소하기 위해 농촌진흥청의 권고사용량과 농약사용지침서의 표준사용량을 근거로 하여 농약과 각종 비료의 사용량을 산출하였다.

연구에 필요한 각종 데이터 중 제품의 생산공정과 부대시설의 운영에 필요한 자재의 정

보는 P사에 해당 공급품을 제공하는 공급사를 대상으로 한 데이터 시트 설문서를 통해 수집하였으며, 데이터의 신뢰도를 향상시키기 위해 방문 조사를 병행하였다. 또한 제품 생산에 소요되는 에너지, 물, 원료 등의 실적과 제품 생산 실적 및 폐기물 발생 실적 등은 P사의 모든 공장을 대상으로 한 실적 데이터를 표준화된 데이터 양식에 기입하고 이를 검증하는 과정을 통해 수집하였다. 이러한 작업은 각 공장의 공장 관리 담당자를 중심으로 이루어졌다.

## 5. 데이터 계산

데이터 계산 단계에서는 세분화된 단위공정으로 구성된 생산공정도를 구성하고, 각 단위 공정별로 수집된 데이터를 연결함으로써 전과정에 걸친 입력물과 출력물의 종류와 양을 산출하였다. 단위공정별로 물질수지 확인과 유사 공정과의 비교를 통해 수집된 데이터의 신뢰성을 평가하였으며, 신뢰성이 확보된 단위공정의 입력물과 출력물을 다른 단위공정 또는 데이터베이스와 연결하는 작업을 거쳐 평가 대상 시스템 전체에 대한 데이터 연산을 수행하였다.

일차적으로 환경으로부터 채취하여 사용하는 자원과 원료 등의 투입물 목록과 환경으로 배출되는 오염물과 폐기물 목록을 산출하였으며(목록분석), 이러한 입출력물 각각이 환경에 미치는 영향을 정량화하는 과정을 통해 다양한 환경영향 범주에 대한 잠재적 환경영향의 크기를 산출하였다.

이러한 일련의 작업은 ISO 14040 시리즈로 정의된 전과정평가 수행 표준에 의거하여 수행하였으며, 대량의 데이터 작업이 수반되므로 전과정평가 연산을 위한 전용 소프트웨어인 PASS를 사용하였다.

## 6. 전과정평가 결과

앞에서 서술한 바와 같은 과정을 거쳐 총 15개 제품의 전과정평가 결과를 산출하였으며, 그 결과를 요약하면 아래의 표와 같은 환경성적으로 정리할 수 있다. 포장두부의 전과정에 걸친 잠재적 환경영향을 6가지 범주로 구분하고 제품의 제조, 사용, 폐기 단계별로 환경영향을 분석할 수 있다. 각 환경영향의 값은 해당 영향범주에 대한 잠재적 영향의 크기를 정량화한 수치이다. 환경영향을 산출하기 위한 방법론과 기준 값들은 환경부의 환경성적표지 지침에 따랐으며, 그 결과에 대한 신뢰성은 환경성적표지 인증기관의 심사 과정을 통해 확보하였다.<sup>1)</sup>

1) 환경성적표지 인증기관의 홈페이지에서 상기의 결과와 관련된 내용을 확인할 수 있음. [www.edp.or.kr](http://www.edp.or.kr)

〈표 4〉 대표적 제품의 환경성적

환경영향범주 (단위)	원료물질 채취/제조 및 제품제조단계	사용단계	폐기단계	총값
자원소모 (kg Sb-eq/포장두부내용량 100g)	1.16E-03	9.12E-06	2.35E-07	1.17E-03
산성화 (kg SO <sub>2</sub> -eq/포장두부내용량 100g)	9.31E-04	2.61E-05	5.13E-07	9.58E-04
부영양화 (kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -eq/포장두부내용량 100g)	9.24E-05	3.78E-06	5.82E-08	9.62E-05
지구온난화 (kg CO <sub>2</sub> -eq/포장두부내용량 100g)	1.90E-01	2.55E-03	6.28E-05	1.92E-01
오존층영향 (kg CFC11-eq/포장두부내용량 100g)	3.83E-08	3.45E-10	4.57E-12	3.87E-08
광화학적 산화물 생성 (kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq/포장두부내용량 100g)	2.59E-04	2.70E-06	1.07E-07	2.62E-04

평가 결과 포장 두부 제품의 전과정에 걸친 환경영향은 대부분 원료의 채취로부터 제품의 제조에 이르는 과정에서 대부분이 발생하게 되며, 제품의 유통과정을 포함한 사용 단계는 대부분 수 % 이내의 기여도를 가지는 것으로 나타났다. 또한 제품의 포장재가 폐기되므로써 발생하게 되는 폐기 단계에서의 환경영향은 매우 낮은 것으로 나타났다.

이는 일반적으로 전과정평가가 많이 수행되어 온 전자전기 또는 자동차 제품에서의 전과정평가 결과와는 달리 사용 과정이 일회적이고, 제품 자체의 소비가 환경영향을 일으킬 수 있는 영향요인(에너지 소비, 오염물 발생 등)을 가지고 있지 않기 때문이다. 유통과정이 사용 단계에 고려되고 있기는 하지만, 식품의 원료 생산, 가공과정에서의 에너지 및 포장재 등의 사용이 환경에 영향을 미치는 핵심적인 요소이며, 이는 다른 식품의 경우에 있어서도 유사할 것으로 예상된다.

### Ⅲ. 사례 분석에 의거한 향후 과제<sup>2)</sup>

식품산업분야에 있어서 전과정평가에 관한 연구는 우리나라만이 아니라 전세계적으로도 이제 겨우 걸음마를 마친 단계라 할 수 있을 것이다. 식품산업분야에 전과정평가를 적용하

2) 農業環境研究所(日本), 環境影響評価のためライフサイクルアセスメント手法の開発, 2001. 11.

기 위해서는, 특히 전과정평가의 기초인 인벤토리분석법의 확립이 선결과제이며 앞에서 고찰한 전과정평가는 포장두부에 한정하였으며 적산법에 의한 인벤토리분석을 통해서 검토했다. 그 결과 기본적으로는 필요로 하는 좋은 결과가 있었지만 아직은 여러 가지 문제점이 도출되었고 특히 다음과 같은 생물산업으로서 농업 특이성이 도출되었다.

- 1) 농업의 생산에 필요한 자원·에너지의 소비와 생산에 따른 환경부하, 환경보전기능 등을 평가하기 위해서는 자원투입, 생산공정, 출하, 리사이클폐기 등의 전과정을 대상으로 한 LCA의 표준화 수법개발과 확립이 필요할 것으로 판단된다. 그러나 적산법에 의한 인벤토리분석에서는 작물별로 지역조건, 작부면적 등에 따라서 작업기계와 투입자재의 투입에너지가 변동한다. 따라서 환경부하량의 변동을 파악하기 위한 막대한 조사수치의 수집이 필요할 것이다.
- 2) 농업생산의 특징은 토지를 기반으로 생태계 안에서 운용되는 것이다. 지금까지의 검토에서는 생산두부 100g을 기본단위로 했다. 그러나 농업 전부분 혹은 지역단위의 농업부분 등 농업에 대한 전체적인 환경평가를 위해서는 ha를 기본단위로 검토할 필요가 있다. 이는 생산품에 대한 농업부분의 단위당 평가가 아니라 농업부분의 단위당 평가가 이루어져야 함에 있다.
- 3) 바이오매스 기원의 이산화탄소 혹은 정상적인 재생산 등의 바이오매스의 취급, 운장에 있어서 개별 작물의 평가 등의 가치 할당의 문제가 있다.
- 4) 토양은 생산의 장소임과 동시에 부하물질이 더해지는 한편 그것을 정화하는 기능을 가지는 환경의 장소이기도 하다. 토양을 환경으로 할지 LCA의 대상으로 해야 할지 공간적 경계를 설정할 필요성이 있다. 또 토양에 투입된 토양개량자재와 작물잔사 등 오랜 기간에 걸쳐서 단위기간에서의 평가가 어려운 시간적 경계 등을 설정하는 해야 하는 등 더욱 많은 검토가 필요하다.

이 이외에도 보다 명확한 분석이 있기 위해서는 재배 과정 전반에 대한 표준 데이터의 확보와 데이터베이스 개발이 필요하다. 지역에 따른 토양, 기후 조건에 따라 재배 조건과 수확량의 변화가 발생하므로 수년간의 누적된 데이터의 개발이 필요하다.

향후 이러한 연구의 한계점을 바탕으로 국가차원에서 농업분야의 전과정 평가가 수행되어야 할 것이다.

주요 가공식품의 원료가 되는 농산물에서부터 축산물에 이르기까지 원료부분의 전과정 평가가 선행되어야 할 것으로 보인다. 원료부분의 전과정평가 데이터가 구축되면 가공식품의 전과정평가는 손쉬운 작업이라고 할 수 있을 것이다.

그리고 농업분야의 전체적인 전과정평가의 활성화를 위해서는 몇몇 대표적인 가공식품 회사가 전과정평가를 통하여 자사의 식품에 대한 친환경마케팅을 확대함으로써 재배분야

에 까지 파급시키는 효과를 극대화할 수 있는 방향으로 지향되어야 할 것이다.

## IV. 결 론

향후 전과정평가의 결과는 기후변화협약과 ISO22000 등 많은 분야에서 그 활용이 증대될 것이 전망된다. 이는 전과정평가의 결과가 기후변화협약에서 필요로 하는 계량적 온실 효과 가스의 계산과 그 계산방법의 베이스라인구축이 전과정평가의 기본적인 틀을 활용하는 것이 가장 효과적이고 과학적이라고 할 수 있기 때문이다. 또 ISO20000에서는 생산과 가공 그리고 최종소비단계에 걸쳐서 환경적 변화에 대한 평가를 각 단계별 혹은 전과정에 대한 평가를 효율적으로 할 수 있기 때문이다.

이러한 향후 전개될 농업분야의 큰 흐름에 대응하기 위해서는 전과정평가를 하기위해 사전 준비해야 하고 그렇게 하기 위해서는 전과정평가를 위한 근거 자료 및 기초적 계수의 모니터링이 필요하고 D/B의 구축이 필요하다.

[논문접수일 : 2007. 8. 3. 최종논문접수일 : 2007. 9. 19.]

## 참 고 문 헌

1. 김민주. 2006. 로하스경제학.
2. 환경부. 2006. 환경성적표지 작성지침 EDP 027. 포장두부 【2006/00/2006-191】.
3. 농림부. 2004. 국제농업소식.
4. 農業環境技術研究所(日本). 環境影響評価のためライフサイクルアセスメント手法の開発.
5. Ulf Sonesson. 2005. Life Cycle Based Research in Food and Agriculture.
6. Department of Biometry and Engineering, Swedish University of Agricultural Sciences. 2005. Environmental Systems Analysis of Pig Production.
7. Susanne Håakansson et al.. 2005. Comparative Life Cycle Assessment Pork vs Tofu.
8. ISO. 2006. Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework
9. ISO. 2006. Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines.
10. www.pulmuone.co.kr
11. www.lcafood.dk