

물티슈 제조공정의 전과정 평가

안중우^{1,*}

¹성신여자대학교 청정융합에너지공학과
서울특별시 강북구 도봉로76가길 55(미아동)

(2018년 8월 30일 접수; 2018년 10월 2일 수정본 접수; 2018년 10월 2일 채택)

Life Cycle Assessment on Process of Wet Tissue Production

Joong Woo Ahn^{1,*}

¹Department of Environment&Energy Engineering, Sungshin Women's University
55 Dobong-ro 76ga-gil, Gangbuk-gu, Seoul, 01133, Korea

(Received for review August 30, 2018; Revision received October 2, 2018; Accepted October 2, 2018)

요 약

본 연구에서는 물티슈 제조공정에 대한 전과정평가를 수행하였다. 물티슈 제조공정은 약액을 조제하여 부직포 원단에 투여하고 포장하는 단계로 이루어진다. 특정 업체의 실제 공정을 대상으로 투입·산출물 데이터를 수집하였고, 환경부와 해외 LCI DB를 활용하여 상·하위 흐름을 연결하여 이 공정에 대한 잠재적인 환경영향을 산출하였다. 특성화 결과, 오존층파괴 3.46.E-06 kg CFC₁₁, 산성화 5.11.E-01 kg SO₂, 자원고갈 3.52.E+00 1 yr⁻¹, 지구온난화 1.04.E+02 kg CO₂, 부영양화 2.31.E-02 kg PO₄³⁻, 광화학산화물생성 2.22.E-02 kg C₂H₄, 인간독성 1.55.E+00 kg 1,4 DCB, 생태독성 5.82.E-04 kg 1,4 DCB로 나타났다. 일반적으로 제조공정의 환경영향을 줄이기 위해 공정을 개선하거나 환경영향이 적은 원자재와 포장재로 변경하는 등의 방법이 있다. LCA 결과, 공정에 사용되는 에너지가 주요 이슈로 도출되었기 때문에 에너지 효율을 개선한 공정시스템 설계나 환경영향이 낮은 에너지원으로 변경하는 등의 방안이 필요하다. LCA의 특성상 이 연구결과는 사용된 LCI DB 종류에 따라 달라질 수 있고 모든 물티슈 제조공정을 대표할 수 없다.

주제어 : 물티슈, 전과정평가, 환경영향

Abstract : In this study, Life Cycle Assessment (LCA) of wet tissue manufacturing process was performed. The wet tissue manufacturing process consists of preparation of wetting agent (chemical liquid), impregnation of nonwoven fabric into wetting agent and primary and secondary packaging. Data and information were collected on the input and output of the actual process from a certain company and the database of the Korea Ministry of Environment and some foreign countries (when Korean unavailable) were employed to connect the upper and the lower process flow. Based on the above and the potential environmental impacts of the wet tissue manufacturing process were calculated. As a result of the characterization, Ozone Layer Depletion (OD) is 3.46.E-06 kg CFC₁₁, Acidification (AD) is 5.11.E-01 kg SO₂, Abiotic Resource Depletion (ARD) is 3.52.E+00 1 yr⁻¹, Global Warming (GW) is 1.04.E+02 kg CO₂, Eutrophication (EUT) is 2.31.E-02 kg PO₄³⁻, Photochemical Oxide Creation (POC) was 2.22.E-02 kg C₂H₄, Human Toxicity (HT) was 1.55.E+00 kg 1,4 DCB and Terrestrial Ecotoxicity (ET) was 5.82.E-04 kg 1,4 DCB. In order to reduce the environmental impact of the manufacturing process, it is necessary to improve the overall process as other general cases and change the raw materials including packaging materials with less environmental impact. Conclusively, the energy consumed in the manufacturing process has emerged as a major issue, and this needs to be reconsidered other options such as alternative energy. Therefore, it is recommended that a process system should be redesigned to improve energy efficiency and to change to an energy source with lower environmental impact. Due to the nature of LCA, the final results of this study can be varied to some extent depending on the type of LCI DB employed and may not represent of all wet tissue manufacturing processes in the current industry.

Keywords : Wet tissue, Life Cycle Assessment (LCA), Environmental impact

* To whom correspondence should be addressed.

E-mail: jwahn@sunshin.ac.kr; Tel: +82-2-920-7897; Fax: +82-2-920-2786

doi: 10.7464/ksct.2018.24.4.269 pISSN 1598-9712 eISSN 2288-0690

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

최근 가습기 살균제의 위해성이나 각종 보존제의 문제점들이 부각됨에 따라 일반 가정에서 사용하는 생활용품의 안전성, 환경친화성에 관한 일반 대중의 관심이 증대되고 있다. 2013년 시중에 판매되고 있는 물티슈 제품을 조사한 결과, 일부 제품에서 가습기 살균제 사고의 원인이 되었던 독성물질이 포함된 것으로 나타났다[1]. 과거 유아용으로만 인식되어 사용했던 물티슈는 최근 들어 사용처가 점차 확대되며 국내 물티슈 시장규모는 약 3,000억원으로 높은 성장률을 보이며 빠르게 성장하고 있다[2].

그러나 인체 위해성을 지닌 독성물질이 물티슈에도 포함되어 있음이 밝혀지면서 많은 소비자들이 각종 생활용품 안전에 대한 불안감을 드러내고 있다[1]. 이러한 상황에서 생활화학제품의 안전관리를 강화하기 위해 정부에서 ‘생활화학제품 안전관리 대책’을 발표하고, 관련 법을 제정하는 등 제품안전에 대한 대책을 마련하고 있다[3].

생활용품의 안전성과 관련한 규제 제정이나 관련 연구는 계속해서 진행되고 있는 반면 제품 환경성에 대한 연구는 미미하다. 따라서 본 연구에서는 가정에서 유아용이나 행주 대용, 일반 청소용 등으로 널리 사용되는 물티슈에 관한 환경친화성을 진단하고 개선하기 위하여 환경성 평가 기법 중 하나인 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)를 활용하여 물티슈의 환경영향을 정량화하여 분석하고자 한다.

본 연구에서는 전과정평가(LCA) 방법론을 이용하여 물티슈 제조공정의 환경성을 진단하고자 하였다. 전과정평가는 제품 전 과정에 걸쳐 제품 시스템의 투입물과 산출물에 대한 목록을 작성하고 이에 대한 잠재적 환경영향을 정량적으로 평가하고, 결과를 해석하여 환경 개선의 방안을 모색하는 것이다. 본 연구에서는 전과정평가 국제표준인 ISO 14040과 ISO 14044를 따라 물티슈 제조공정에 대한 전과정평가를 수행하였다[4,5].

2. 연구 목적 및 범위

2.1. 연구목적

본 연구에서는 물티슈 제조공정에 대한 전과정평가를 수행하여, 환경부하를 분석하고 환경영향 범주 별 주요이슈를 규명하고자 한다. 이를 통해 보다 환경친화적인 제품을 생산할 수 있는 개선방안을 찾고자 한다.

2.2. 범위정의

2.2.1. 기능 및 기능단위, 기준흐름

본 연구는 물티슈 제조공정에 대한 환경성 평가를 위해 Table 1과 같이 기능, 기능단위 및 기준흐름을 정의하였다.

2.2.2. 시스템경계

Table 1. Scope definition

Function	Cleaner using non-woven fabric containing moisture for skin cleansing
Functional unit	Production of 1 EA wet tissue
Reference flow	Wet tissue 58 sheets

본 연구의 시스템 경계는 정제수에 보습제, 보존제 등을 혼합한 내용물을 부직포에 충전하여 PE포장지를 이용하여 포장하는 공정 단계를 포함한 Gate to Gate로 정의하였다.

2.2.3. 데이터 범주

데이터 범주는 원료물질, 보조물질, 부자재, 에너지, 제품, 고형 폐기물로 구분하였다.

2.2.4. 데이터 품질요건

본 연구의 데이터는 현장 데이터와 국가 및 해외 LCI 데이터로 구분되며, 시간적 경계는 지난 1년 공정 별로 수집한 업체의 현장 데이터이며, 상위 및 하위공정의 연결은 국가 및 해외 LCI 데이터를 사용하였다. 지역적 경계는 수송 공정의 제외로 해당 지역 데이터를 국내 LCI 데이터와 동일하게 설정하였다(Table 2).

Table 2. Data quality

Group	Up/Down stream	Production stage
Temporal scope	Most recent data	2015 Annual data
Regional scope	Local	Local data
Technological scope		Technologies used by target company

2.2.5. 가정 및 제한사항

- 투입물의 물질조성 정보와 물질 구성 비율은 MSDS를 참고하였다.
- 투입되는 물질의 국가 LCI 데이터베이스가 없는 경우, 해외 LCI DB를 적용하였다. 국내와 해외 LCI DB에 동일한 물질에 대한 데이터가 없는 경우에는 유사 물질로 대체하여 LCI DB를 선정·적용하였다.

- 보존제1: [지식경제부] 글리세린(Glycerin)
- 계면활성제: Chemicals organic, at plant/GLO S
- 보습제: Propylene glycol, liquid, at plant/RER S
- PH 조절제2: Adipic acid, at plant/RER S
- 향: Chemicals organic, at plant/GLO S
- 소포제: Silicone product, at plant/RER S
- 스킨컨디셔닝제1: Chemicals organic, at plant/GLO S
- 스킨컨디셔닝제2: Chemicals organic, at plant/GLO S
- 필름: Packaging film, LDPE, at plant/RER S
- 번들: Packaging film, LDPE, at plant/RER S

3. 전과정 목록분석

3.1. 공정흐름도

DI Water를 주원료로 하는 물티슈의 제조공정은 Figure 1과 같다. 제조공정 별 환경부하 값과 원인 규명을 위해 실제 제조 단계에 맞춰 총 8개의 단위 공정인 정제수 생산(Purewater 생산), 교반(Mixing), 부직포 푸는 단계(Untangling), 함침(Wetting), 접는공정(Folding), 절단(Cutting), 1차 포장(Packaging), 완제품 포장(Wrapping)으로 구분하였다.

- Purewater 생산: 수돗물(상수도)을 9단계 정수 과정을 통해 정제수를 생성하는 공정
- 교반(Mixing): 정제수를 교반기가 장착된 배합탱크에 넣고 원료를 투입하여 교반하는 공정
- 부직포 푸는 단계(Untangling): 교반된 내용물을 부직포에 함침할 수 있도록 부직포를 풀어 설비에 투입하는 공정
- 함침(Wetting): 설비에 투입된 부직포에 제조된 내용물을 함침하는 공정
- 접는 공정(Folding): 큰 원단을 매수로 부직포를 접는 공정
- 절단(Cutting): 내용물 함침 및 접지된 부직포를 원하는 사이즈로 절단하는 공정
- 1차 포장(Packaging): 절단된 제품을 1차 포장지로 포장 하는 공정
- 완제품 포장(Wrapping): 1차 포장된 제품을 완제품으로 규격 별 포장 및 적재하는 공정

3.2. 데이터 수집 및 계산

물티슈 제조공정의 환경성 평가를 위한 데이터 수집은 업체의 현장 데이터를 수집하였다. 수집된 데이터의 물질수지, 단위공정, 기능단위 등은 전과정평가 국제표준에 따라 검증하고 계산하였다. 주요 원료물질, 부자재, 에너지, 폐기물 등 투입물과 산출물에 대한 데이터 출처는 다음 Table 3과 같다. 투입·산출물에 대한 상위 및 하위흐름의 연결은 LCI 데이터베이스를 적용하였다.

국내 LCI 데이터베이스는 환경부와 산업통상자원부(구 지식경제부)에서 구축한 데이터베이스를 활용하였으며, 해외 LCI 데이터베이스는 Ecoinvent에서 구축한 데이터베이스를 사용하였다[6,7].

4. 전과정 영향평가

본 연구에서는 산업통상자원부(구 지식경제부)의 영향평가 방법론을 적용하여 분류화, 특성화 단계로 전과정평가를 수행하였다. 특성화 단계의 영향범주는 오존층파괴(ozon layer depletion, OD), 산성화(acidification, AD), 자원고갈(Abiotic resource depletion, ARD), 지구온난화(global warming, GW), 부영양화(eutrophication, EUT), 광화학산화물생성(photochemical oxidation creation, POC), 인간독성(human toxicity, HT), 생태독성(terrestrial ecotoxicity, ET)로 총 8개 영향범주에 대한 환경영향을 평가하였다.

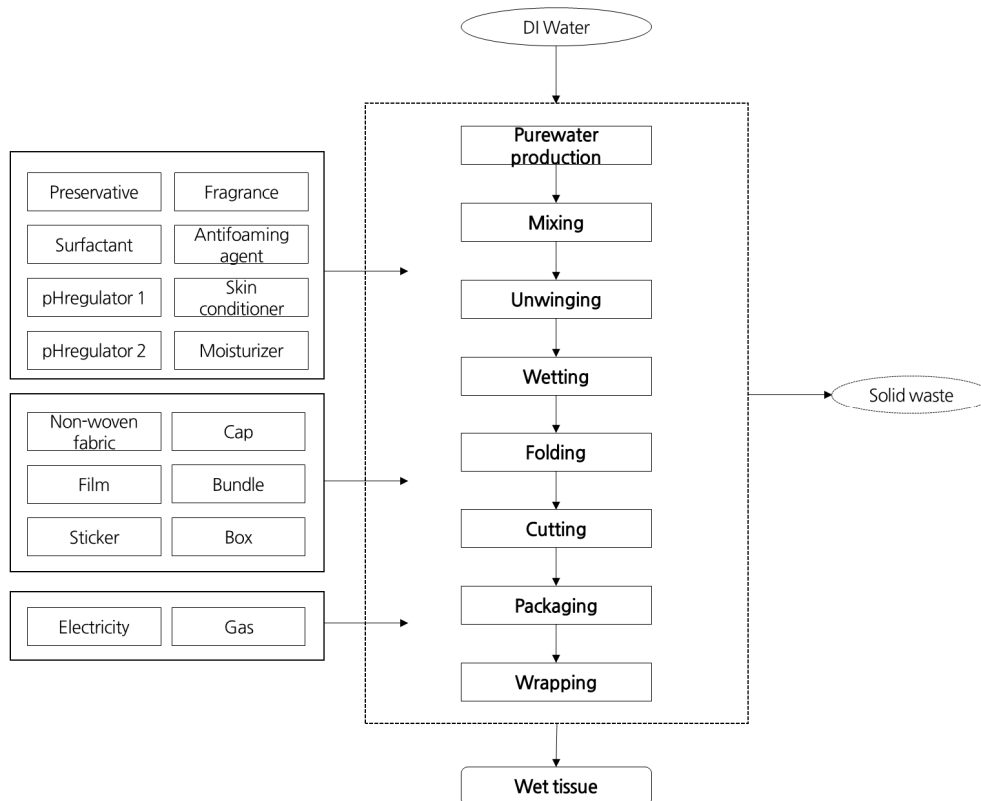


Figure 1. Process flow diagram of wet tissue manufacturing process.

Table 3. Data sources for LCI

Group	Material	Data source			Remark	
		Survey	Calculation	Estimation		
Input	Main materials	DI Water	V		[Ministry of Knowledge Economy] Demi-water	
	Sub materials	Preservative 1	V	V		[Ministry of Knowledge Economy] Glycerin
		Surfactant	V			Chemicals organic, at plant/GLO S
		Moisturizer	V			Propylene glycol, liquid, at plant/RER S
		pHregulator 1	V			[Ministry of Knowledge Economy] Glycerin
		pHregulator 2	V			Adipic acid, at plant/RER S
		Fragrance	V			Chemicals organic, at plant/GLO S
		Antifoaming agent	V			Silicone product, at plant/RER S
		Skin conditioner 1				Chemicals organic, at plant/GLO S
		Skin conditioner 2				Chemicals organic, at plant/GLO S
		Preservative 2				[Ministry of Knowledge Economy] Glycerin
		Non-woven fabric				[Ministry of Environment] Polyethylene terephthalate, PET
		Film				Packaging film, LDPE, at plant/RER U
		Sticker				[Ministry of Knowledge Economy] Randaom Polypropylene, RPP
		Cap				[Ministry of Knowledge Economy] Randaom Polypropylene, RPP
		Bundle				Packaging film, LDPE, at plant/RER U
		Box				[Ministry of Knowledge Economy] Printing paper-containing waste paper over 50%
	Energy	Electricity	V			[Ministry of Knowledge Economy] Electricity
Gas					[Ministry of Environment] Natural Gas, NG	
Transportation	Transportation (Truck)				[Ministry of Environment] 3.51-5ton Truck	
Output	Product	Wet tissue	V			
	Waste	Solid waste (Incineration)				[Ministry of Environment] Hazardous waste incineration

물티슈 완제품 1개 제조를 기준으로 계산된 특성화 값은 Table 4, Figure 2와 같다. 물티슈 제조공정에 대한 환경성 평가를 수행한 결과, 물티슈 완제품 1개를 생산할 때 오존층 파괴(OD)는 3.46.E-06 kg CFC₁₁, 산성화(AD)에서는 5.11.E-01 kg SO₂, 자원고갈(ARD)에서는 3.52.E+00 1/yr, 지구온난화(GW)는 1.04.E+02 kg CO₂, 부영양화(EUT)는 2.31.E-02 kg PO₄³⁻, 광화학산화물생성(POC)은 2.22.E-02 kg C₂H₄, 인간 독성(HT)은 1.55.E+00 kg 1,4 DCB, 생태독성(ET)은 5.82.E-04 kg 1,4 DCB로 나타났다.

영향범주 별 주요 물질을 살펴보면, 오존층 파괴 범주에서는 보습제가 73.5%, 부자재인 부직포가 8.2%, 에너지로 사용된 천연가스가 18.0%로 나타났다. 산성화 범주에서는 전력이 3.3%, 천연가스는 96.4%, 자원고갈 범주에서는 전력이 1.0%, 천연가스가 98.8%로 나타났다. 지구온난화 범주에서는 전력이 9.8%, 천연가스가 90.0%의 기여도를 보였으며, 부영양화 범주에서는 전력이 13.8%, 천연가스가 85.4%로 나타났고, 광

화학산화물생성 범주에서 전력이 3.4%, 천연가스가 96.4%의 기여도를 보였다. 이외의 인간 독성 범주에서는 부직포가 25.9%, 전력이 2.0%, 천연가스 70.7%로 나타났고, 생태독성 범주에서는 보습제 9.4%, 부직포 25.9%, 필름 2.7%, 번들 1.5%, 전력 4.6%, 천연가스 54.2%의 기여도를 보였다.

5. 결론

본 연구에서는 물티슈 제조공정의 환경부하량을 전과정평가를 적용하여 정량화하였고, 산업통상자원부의 8가지 영향 범주에 대해 분석하였다. 영향범주 각각에 대한 투입물과 배출물의 기여도를 보기 위해 특성화를 실시했으며, 영향범주에 관계없이 에너지로 사용된 천연가스와 전력의 환경영향이 크게 나타났다. 특히 천연가스의 경우 대부분의 영향범주에서 약 70% 이상의 기여도를 나타냈으며 전력의 경우 영향범주 별로 적게는 1.0%에서 많게는 13.8%로 나타났다. 이를 통

Table 4. Results of characterization

Impact category		OD	AD	ARD	GW	EUT	POC	HT	ET
Unit		kg CFC ₁₁	kg SO ₂	1 yr ⁻¹	kg CO ₂	kg PO ₄ ³⁻	kg C ₂ H ₄	kg 1,4 DCB	kg 1,4 DCB
Total		3.46.E-06	5.11.E-01	3.52.E+00	1.04.E+02	2.31.E-02	2.22.E-02	1.55.E+00	5.82.E-04
Input	DI Water	3.49.E-10	4.24.E-07	1.66.E-06	1.19.E-04	4.69.E-08	1.29.E-08	1.83.E-05	8.38.E-09
	Preservative 1	1.68.E-12	5.01.E-07	1.11.E-06	1.47.E-04	6.14.E-08	1.62.E-08	2.56.E-06	7.20.E-10
	Surfactant	1.20.E-10	4.58.E-07	1.36.E-06	1.36.E-04	7.15.E-08	5.17.E-08	1.01.E-04	8.31.E-07
	Moisturizer	2.54.E-06	1.21.E-05	1.90.E-05	3.11.E-03	3.54.E-06	1.63.E-06	1.04.E-02	5.46.E-05
	pHregulator 1	1.87.E-13	5.57.E-08	1.23.E-07	1.63.E-05	6.83.E-09	1.80.E-09	2.84.E-07	8.01.E-11
	pHregulator 2	2.15.E-10	3.46.E-06	4.87.E-06	3.95.E-03	3.61.E-07	4.09.E-07	1.71.E-03	5.22.E-06
	Fragrance	7.18.E-11	2.75.E-07	8.15.E-07	8.19.E-05	4.29.E-08	3.11.E-08	6.07.E-05	4.99.E-07
	Antifoaming agent	1.83.E-10	4.56.E-07	4.26.E-07	1.14.E-04	4.61.E-08	2.65.E-08	2.72.E-05	4.52.E-07
	Skin conditioner 1	1.71.E-12	6.55.E-09	1.94.E-08	1.95.E-06	1.02.E-09	7.39.E-10	1.44.E-06	1.19.E-08
	Skin conditioner 2	1.71.E-12	6.55.E-09	1.94.E-08	1.95.E-06	1.02.E-09	7.39.E-10	1.44.E-06	1.19.E-08
	Preservative 2	3.74.E-13	1.11.E-07	2.47.E-07	3.27.E-05	1.37.E-08	3.60.E-09	5.68.E-07	1.60.E-10
	Non-woven fabric	2.84.E-07	1.08.E-03	7.92.E-03	1.93.E-01	1.57.E-04	4.01.E-05	4.02.E-01	1.51.E-04
	Film	9.09.E-10	3.28.E-05	7.71.E-05	8.51.E-03	2.60.E-06	1.70.E-06	9.60.E-04	1.56.E-05
	Sticker	2.12.E-11	1.50.E-06	1.94.E-05	8.06.E-04	3.54.E-07	1.36.E-06	2.92.E-05	1.60.E-08
	Cap	8.86.E-11	6.30.E-06	8.13.E-05	3.37.E-03	1.48.E-06	5.71.E-06	1.22.E-04	6.71.E-08
	Bundle	4.92.E-10	1.78.E-05	4.18.E-05	4.61.E-03	1.41.E-06	9.21.E-07	5.20.E-04	8.46.E-06
	Box	3.47.E-09	5.48.E-05	9.92.E-05	1.51.E-02	9.20.E-06	1.68.E-06	3.63.E-03	1.37.E-06
Output	Solid waste (Incineration)	3.00.E-12	2.35.E-06	1.99.E-06	5.93.E-04	2.91.E-07	5.35.E-09	3.03.E-03	1.91.E-06
Energy	Electricity	7.06.E-09	1.71.E-02	3.54.E-02	1.01.E+01	3.19.E-03	7.55.E-04	3.18.E-02	2.67.E-05
	Gas	6.20.E-07	4.93.E-01	3.47.E+00	9.36.E+01	1.97.E-02	2.14.E-02	1.10.E+00	3.16.E-04
Transportation	Transportation (Truck)	6.97.E-13	4.37.E-08	1.88.E-08	2.26.E-06	7.91.E-09	1.66.E-09	1.06.E-06	3.53.E-10

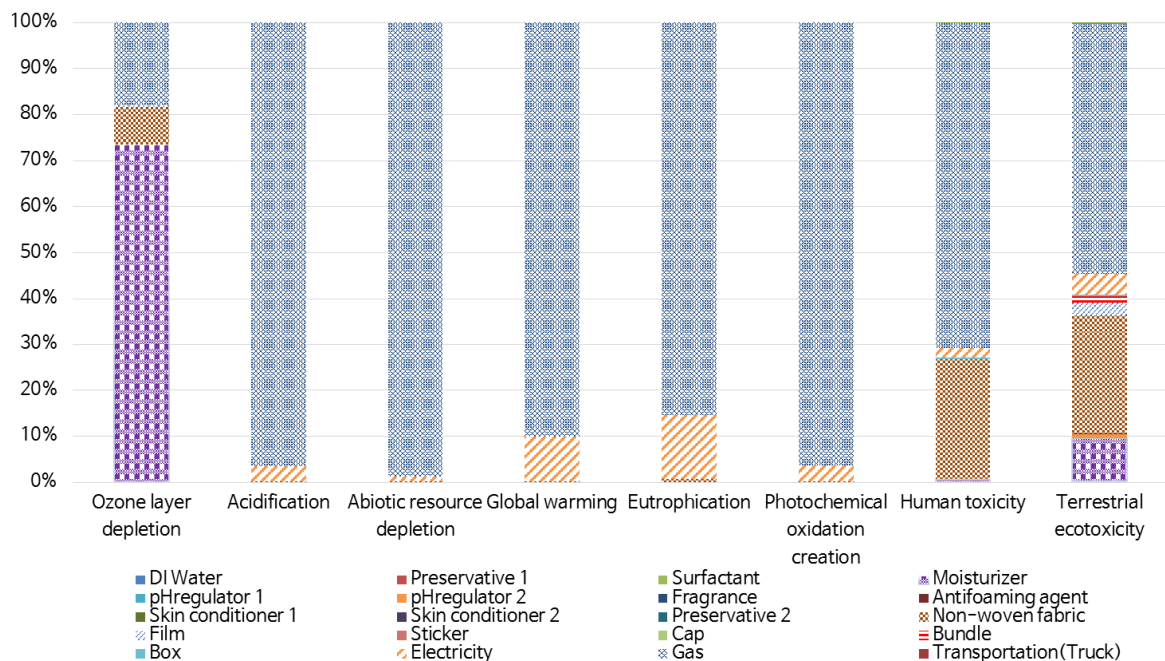


Figure 2. Contribution to characterization results.

해 전체 환경영향범주에 있어 전력과 천연가스가 주요이슈로 도출되었으며 이에 대한 대안이 필요함을 확인할 수 있었다. 투입물 중에서는 보습제와 부직포가 오존층파괴와 생태독성 범주에서 일부 영향을 주고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 경제적 측면에서 멀티슈 제조공정 비용이 에너지 가격 변동에 영향을 받을 수 있음을 부수적으로 알 수 있었다.

제조공정의 환경영향을 줄이기 위해서는 공정을 개선하고, 환경영향이 적은 원자재로 변경하거나 포장재를 변경하는 등의 방안이 필요하다. 특히 이번 멀티슈 제조공정의 경우 에너지가 주요이슈로 도출되었기 때문에, 이에 대한 개선이 본 공정의 환경영향을 줄이는 효율적 방안으로 생각된다. 따라서 제조공정의 에너지 사용량을 줄이고, 수율을 향상시키는 공정시스템 설계가 필요하다. 또한 환경영향이 낮은 에너지원으로 변경하거나 신재생에너지를 적용하는 등이 환경영향을 저감하는 방안으로 판단된다. 다만 신재생에너지를 적용하기 위해서는 적용할 에너지의 종류와 에너지원별 구성(에너지 믹스, Energy Mix)에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

본 연구의 경우 다음과 같은 한계점이 있다. LCA는 수집된 데이터에 이미 만들어진 LCI DB를 활용하여 환경영향을 산출하는 것으로 실제 환경영향이 아닌 잠재적인 환경영향 추정하는 것이다. 모든 물질에 대해 국내 데이터베이스가 구축되어있는 것이 아니기 때문에 본 연구에서도 해외 LCI DB나 유사물질의 LCI DB를 사용하기도 하였다. 따라서 적용된 LCI DB에 따라 결과에 변동이 있을 수 있다. 뿐만 아니라 LCA를 수행하기 위해서는 제조공정의 모든 투입·산출물의 정보가 필요하며 이 정보는 회사의 기밀로 유지되고 있어 수집하기가 용이하지 않다. 본 연구에서 분석한 멀티슈의 제조공법 이외

에도 제품/용도별, 회사별로 다양하다. 따라서 본 연구의 제조공정 환경성 평가가 모든 제조공정을 대표할 수는 없다.

감사

“이 논문은 성신여자대학교 2016년도 성신여자대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 연구되었음”

References

1. You, H. J., Hwang, H. S., and Song, E. G., “A Study on the Improvement for Safe Consumption of Wet Tissue -Focusing on Consumer's Subjective Safety Assessment and Labeling Condition,” *KRCM.*, 10(8), 81-97 (2014).
2. Park, J. S., “Domestic Wet Tissue Consumption Pattern Analysis,” *KHIDI Brief, Report No. 202* (2015).
3. Ji, K. S., Kim, J. Y., and Kim, D. Y., “A Study on the Improvement of Consumer Product Safety Regulation, Korean Consumer Agency, 1-184 (2018).
4. ISO 14040, 2006: Environmental management-Life cycle assessment-Principles and framework.
5. ISO 14044, 2006: Environmental management-Life cycle assessment-Requirements and guideline.
6. Environmental Declaration of Product LCI Data base, www.edp.or.kr (accessed 2017).
7. Ecoinvent Database, www.ecoinvent.org (accessed 2017).
8. Lee, K. M., Hur, T., and Kim, S. D., “Theory and Guidelines for Environmental Life Cycle Assessment (LCA)”.