CLEAN TECHNOLOGY, Vol. 18, No. 3, September 2012, pp. 301~306

재자원화기술

물질전과정평가를 이용한 터치스크린패널용 화학강화유리에 대한 환경성 평가

이나리, 이수선, 김경일, 홍태환*

한국교통대학교 신소재공학과/친환경 에너지 변환·저장소재 및 부품개발 연구센터
380-702 충북 충주시 이류면 검단리

(2012년 5월 30일 접수; 2012년 6월 27일 수정본 접수; 2012년 6월 27일 채택)

Environmental Assessment of Chemically Strengthened Glass for Touch Screen Panel by Material Life Cycle Assessment

Na-Ri Lee, Soo-Sun Lee, Kyeong-Il Kim, and Tae-Whan Hong*

Department of Materials Science and Engineering/Research Center for Sustainable Eco-Devices and Materials (ReSEM), Korea National University of Transportation, Geomdan-ri, Iryu-myeon, Chungju-si, Chungbuk 380-702, Korea

(Received for review May 30, 2012; Revision received June 27, 2012; Accepted June 27, 2012)

요 약

급성장하고 있는 태블릿 PC와 스마트 폰과 같은 모바일 기기들은 제품 표면 보호를 위해 강한 소재인 터치스크린패널을 장착하고 있다. 따라서, 화학강화유리의 수요는 증가하게 되었고, 수요가 증가함에 따라 화학강화유리의 폐기량도 증가하게 되었다. 이 연구의 목적은 물질전과정평가(material life cycle assessment, MLCA) 기법을 사용하여 터치스크린패널에 사용되는 화학강화유리의 환경영향평가를 하는 것이다. MLCA의 소프트웨어로는 그란타의 씨이에스(CES), 시마프로(SimaPro), 가비(Gabi)를 사용하였다. 씨이에스 소프트웨어(CES software)를 통하여 2.7, 5.7, 10.3 inch 두께의 화학강화유리의 환경영향평가를 2가지 경우(폐기, 재사용)를 고려하여 수행하였다. 그 결과, 2.7, 5.7, 10.3 inch 화학강화유리를 재사용할 경우에 사용되는 에너지 값과 CO_2값은 폐기할 경우에 비해 약 51.4%, 46.6% 감소하는 것을 확인하였다. 시마프로 소프트웨어(SimaPro software)를 통해서는 11가지 영향범주를 평가하였는데, 11가지 영향범주 중에서 화석연료(fossil fuels), 무기물(inorganics)과 기후변화(climate change)가 주된 환경부하의 원인으로 나타났다. 그리고 가비(Gabi) 소프트웨어를 통해서 환경영향의 주된 원인이 안티몬(antimony), 불화수소(hydrogen fluoride)라는 것을 알 수 있었다.

주제어 : 물질전과정평가, 터치스크린패널, 화학강화유리, 영향범주

Abstract : Rapidly growing mobile machines such as tablet PC and smart phone are equipped with touch screen panel using a sturdy material for products surface protection. Therefore, surge of chemically strengthened glass was increased and the amount of waste matter is proportional to demand. The purpose of this study is environmental impact assessment on touch screen panel of chemically strengthened glass by material life cycle assessment (MLCA). We used CES of Granta, SimaPro and Gabi software for MLCA. Chemically strengthened glass (2.7, 5.7 and 10.3 inch) was calculated to environmental impact assessment by Granta software under two cases. One case is Landfill and the other case is Reuse. As a result, in case of reuse, energy values of 2.7, 5.7 and 10.3 inches were reduced by an average of 51.4%, CO_2 values were reduced by an average of 46.6% than Landfill case, respectively. We assessed impact categories of 11 types using SimaPro software. As a result, the contents of fossil fuels, inorganics and climate change have a huge impact than the other impact categories. And the main cause of environmental impact is antimony and hydrogen fluoride in Gabi results.

Keywords : Material life cycle assessment (MLCA), Touch screen panel (TSP), Chemically strengthened glass, Impact categories

1. 서 론

현대사회는 쓰고 난 뒤 버려지는 양이 너무 많아 버리는 사회(throw-away societies)로도 지칭된다[1]. 그 결과 각종 오염으로 인해 환경은 물론 인간사회에까지 악영향을 미치고 있어 현대사회는 환경문제에 대처하기 위해 전 세계적으로 지속 가능한 개발(sustainable development)을 슬로건으로 삼고 있다. 지속가능한 개발이란 미래세대가 그들의 필요를 충족시킬 수 있는 가능성을 손상시키지 않는 범위에서 현재 세대의 필요를

* To whom correspondence should be addressed.
E-mail: twhong@ut.ac.kr

doi:10.7464/ksct.2012.18.3.301

충족시키는 개발을 말한다[2]. 앞으로 현대사회는 이 지속 가능한 개발이라는 모토 하에서 지속 가능한 사회에 도달하기 위해 몇 년 혹은 몇 세기 동안 노력할 것이다. 물질전과정평가(MLCA)는 환경적으로 건전하고 지속가능한 발전을 실현하기 위하여 제품, 재료 등의 원료・자원채취-제조공정-유통-소비활동-폐기로 인한 자원・에너지 소비 및 환경오염부하를 최소화시키고 환경오염의 주된 원인을 규명함으로써 개선방안을 모색하고자 한다[3]. 최근 급성장하고 있는 스마트 폰과 태블릿 PC 등 모바일 기기들은 대부분이 제품 표면 보호를 위해 튼튼한 소재를 기반으로 터치스크린패널을 장착하고 있다. 이에 따라 터치스크린패널에 사용되는 화학강화유리의 수요도 급격하게 증가하게 되었다. 화학강화유리 시장 중 가장 큰 미국 코닝사의 고릴라 유리 매출액은 2009년과 2010년에 각각 7,500만 달러와 2억 5,000만 달러였고, 2011년에는 약 10억 달러 이상의 매출액을 달성하였다. 또한 급격하게 증가하는 수요 때문에 품귀 현상 및 원자재 확보가 어려울 정도이다[4]. 화학강화유리의 대면적화를 통해 발생되는 표면 스크래치는 화학강화유리의 주요한 불량 원인이 되는데, 이러한 불량은 재사용이 어려워 대부분 폐기된다. 이러한 상황으로 보아 사용 후 폐기되는 양과 불량으로 인해 폐기되는 화학강화유리의 양은 수요와 마찬가지로 급증할 것으로 예상되며, 이에 따른 폐기물 발생 및 환경오염, 사회적 문제가 심각해지고, 처리문제의 중요성이 대두되고 있다. 그러나 최근 강화유리 일체형 터치스크린이 상용화되어 사용 후 폐기되거나 불량으로 인해 폐기되는 화학강화유리의 표면을 세척하여 전극을 닦아내고 다시 사용하는 방식의 재사용이 가능해졌다.

이에 본 연구에서는 물질전과정평가(MLCA)의 4단계(목적 및 범위 정의, 전과정 목록분석, 전과정 영향평가, 전과정 해석)를 통하여 폐기되는 화학강화유리가 환경에 끼치는 영향과 재사용 했을 경우 얻을 수 있는 환경 이득에 대한 두 가지 시나리오를 평가하고자 한다[5,6].

2. 연구 목적 및 범위 설정

2.1. 목적정의(goal definition)

본 연구의 목적은 터치스크린패널에 사용되는 화학강화유리의 폐기에 따라 환경에 끼치는 영향과, 재사용 하였을 때의 환경이득을 MLCA 소프트웨어(CES, SimaPro, Gabi)를 통하여 정량화하고, 이를 통해 평가하고자 함에 있다.

2.2. 범위정의(scope definition)

2.2.1. 대상 시스템 및 기능

본 연구의 대상 시스템은 2.7, 5.7, 10.3 inch의 화학강화유리로, 기능은 화학강화유리의 폐기와 재사용을 정의하였다.

2.2.2. 기능단위 및 기준흐름

기능 단위는 2.7, 5.7, 10.3 inch 각 1개이고, 기준흐름은 inch 별로 해당되는 크기로 정의하였다. 각 inch별로 화학강화유리의 양은 9 inch 51.44 g을 기준으로 계산하여 2.7 inch 15 g, 5.7 inch 33 g, 10.3 inch 59 g으로 정의하였다.

Table 1. Function, functional unit & reference flow

System	Chemically strengthened glass used for touch screen panel
Function	Landfill and reuse of chemically strengthened glass
Functional unit	Chemically strengthened glass 2.7 inch 1 ea 5.7 inch 1 ea 10.3 inch 1 ea
Reference flow	2.7 inch 1 ea (56 mm, 43.5 mm) 5.7 inch 1 ea (180 mm, 135 mm) 10.3 inch 1 ea (208.3 mm, 162.6 mm)

2.2.3. 시스템 경계

시스템경계설정은 터치스크린패널에 사용된 화학강화유리의 제조단계와 폐기단계 또는 재사용단계를 포함한다. 그러나 원료채취, 생산, 사용 단계에서 발생하는 환경영향은 포함되지 않았다.

2.2.4. 데이터 품질 요건

① 시간적 경계

폐기단계와 재사용단계의 데이터는 CES (영국)와 SimaPro (네덜란드), Gabi (독일) 소프트웨어를 사용하였고, 기타 데이터베이스(database, DB)는 5년 이내의 데이터를 사용하였다.

② 지역적 경계

투입되는 원자재의 지역적 범위는 각 원자재의 해당 생산지역이며, 폐기와 재사용의 경우에는 대한민국으로 하였다.

2.2.5. 가정 및 제한사항

환경영향평가에 앞서 대상의 규격을 2.7 inch (56 mm, 43.5 mm), 5.7 inch (180 mm, 135 mm), 10.3 inch (208.28 mm, 162.56 mm)로 가정하였고, 화학강화유리의 두께는 1 mm로 가정하였다. CES에서는 화학강화유리의 성분을 알루미노 실리케이트로 제한하였고, 제조공정은 유리 제조(glass molding)로 가정하였다. SimaPro에서는 화학강화유리의 성분을 실리케이트로 가정하고, 제조공정은, 판유리 템퍼링(flat glass tempering)으로 가정하였다. 그리고 재사용 단계에서는 20%의 재사용으로 제한하였다. Gabi에서는 CRT 스크린에 사용되는 패널유리(panel glass)로 가정하였다.

2.2.6. 영향범주 및 영향평가 방법론

본 연구에서는 화학강화유리의 환경성 평가를 위하여 MLCA 소프트웨어로 CES, SimaPro, Gabi를 사용하였다. CES는 화학강화유리의 시스템 경계를 Material, Manufacture, End of life로 구분 짓고, 각 단계마다의 Energy, CO_2 발생량을 나타내었다.

사용된 단위로 Energy의 발생량은 MJ, CO_2의 발생량은 kg으로 표기하였다. SimaPro에서는 두가지 방법론(Eco-indicator '99, CML2001)을 사용하였는데, Eco-indicator '99에서는 3가지 영향범주(발암물질; carcinogens, 유기물; organics, 무기물; inorganics, 기후변화; climate change, 방사능; radiation, 오존층; ozone layer, 생태독성; ecotoxicity, 산성화/부영양화; acidification/eutrophication, 토지이용; land use, 미네랄; minerals, 화석연료; fossil fuels)로 나누었다. 각 영향범주들은 가중치를 부여하여 단위는 Pt를 사용하였으며, Pt는 년간 유럽사람 1명에 해당하는 환경부하 값을 천만으로 나눈 값이다. CML2001 방법론에서는 CO_2의 발생량을 알 수 있는 지구온난화(global warming potential, GWP)만을 사용하였다. Gabi에서는 10가지 영향범주(자원고갈; abiotic resource depletion, 지구온난화; global warming potential, 오존층 파괴; stratospheric ozone depletion potential, 광화학산화물 형성; photochemical oxidation potential, 산성화; acidification potential, 부영양화; eutrophication potential, 담수생태독성; fresh-water aquatic ecotoxicity potential, 해양생태독성; marine aquatic ecotoxicity potential, 토양생태독성; terrestrial ecotoxicity potential, 인체독성; human toxicity potential)에 대해 평가하였다.

3. 전과정 목록분석(life cycle inventory analysis)

전과정 목록분석은 ISO (International Organization for Standardization) 14040, 14044에서 언급한 전과정 목록분석 수행절차에 따라 수행하였다.

3.1. 단위 공정

본 연구의 전체적인 단위 공정은 Figure 1과 같으며, CES와 SimaPro는 화학강화유리의 재료와 제조공정, 폐기단계와 재사용단계를 포함한다. Gabi는 재료와 제조공정까지만을 포함한다.

3.2. 데이터 수집

터치스크린패널용 화학강화유리의 재사용 여부에 따른 환경영향을 정량화하기 위하여 다음과 같이 데이터 수집을 하였다. 터치스크린패널(touch screen panel)에 사용되는 화학강화유리에 대한 크기 정보는 터치스크린패널을 생산하는 업체를 통하여 정보를 수집하였고, 그 외의 재료나 제조, 폐기 또는 재사용에 관한 자료는 국내 문헌과 각 사용된 소프트웨어 DB를 통하여 데이터 수집을 수행하였다.

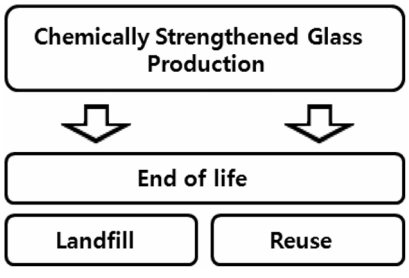

Figure 1. Diagram of life cycle system boundary for chemically strengthened glass.

3.3. 데이터 계산

본 연구에서는 각 소프트웨어에 해당되는 데이터베이스를 기준으로 하여 투입/산출물 목록을 세우고, 최종적으로 화학강화유리의 폐기/재사용에 대한 데이터베이스를 구축하였다. 화학강화유리의 폐기/재사용에 관한 데이터는 CES의 DB와 Eco-invent Inventory DB (v.2.2)를 적용한 SimaPro (v.7.0)와 Gabi (v.4.4) 소프트웨어를 사용하여 계산하였다.

4. 전과정영향평가 및 해석(life cycle impact assessment & interpretation)

전과정목록분석 단계에서 수집한 데이터를 바탕으로 전과정영향평가를 수행하였다. 전과정영향평가는 분류화, 특성화, 가중치 부여의 순서로 수행하였으며, 분류화는 SimaPro 소프트웨어의 Eco-Indicator '99 방법론의 11가지 영향범주로 분류하였다. 이 연구에서는 특성화 단계의 값은 따로 표기하지 않았고, 가중치 부여 단계를 통하여 환경영향에 미치는 주요이슈를 규명하였다.

Table 2, 3은 CES 소프트웨어를 통해 2.7, 5.7, 10.3 inch 화학강화유리의 폐기, 재사용에 따른 Energy, CO_2 배출량을 계산하였다. 그 결과 Material, Manufacture, End of life 세 가지 단위공정 중에서 가장 많은 Energy를 배출하는 단계는 Material 단계이고, 가장 많은 CO_2를 배출하는 단계는 Manufacture 단계

Table 2. Energy, CO_2 value of landfill by inch (CES)

Landfill		
2.7 inch		
Phase	Energy (MJ)	CO_2 (kg)
Material	0.222	0.012
Manufacture	0.172	0.0137
End of life	0.00309	0.000185
Total	0.397	0.0259
5.7 inch		
Phase	Energy (MJ)	CO_2 (kg)
Material	0.469	0.0253
Manufacture	0.363	0.029
End of life	0.00652	0.000391
Total	0.839	0.0547
10.3 inch		
Phase	Energy (MJ)	CO_2 (kg)
Material	0.848	0.0457
Manufacture	0.656	0.0525
End of life	0.0118	0.000707
Total	1.52	0.099

Table 3. Energy, CO_2 value of reuse by inch (CES)

Reuse		
2.7 inch		
Phase	Energy (MJ)	CO_2 (kg)
Material	0.216	0.0116
Manufacture	0.167	0.0134
End of life	-0.213	-0.0115
Total	0.17	0.0135
5.7 inch		
Phase	Energy (MJ)	CO_2 (kg)
Material	0.475	0.0256
Manufacture	0.368	0.0294
End of life	-0.468	-0.0252
Total	0.375	0.0298
10.3 inch		
Phase	Energy (MJ)	CO_2 (kg)
Material	0.849	0.0458
Manufacture	0.657	0.0526
End of life	-0.837	-0.0451
Total	0.669	0.0533

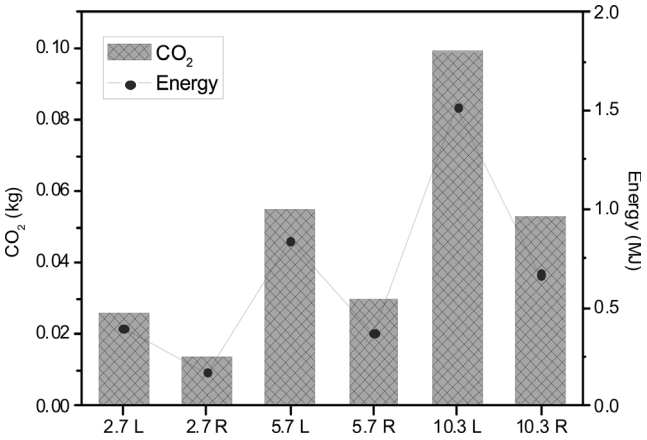

Figure 2. Comparing of CO_2, energy value by inch (L: landfill, R: reuse).

인 것으로 나타났다. 10.3 inch의 경우를 보면, 폐기할 경우의 Energy, CO_2 배출량은 각각 1.52 MJ, 0.099 kg이며, 재사용했을 경우에는 각각 0.669 MJ, 0.0533 kg으로써 각각 56%, 46.2%로 감소하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 2.7, 5.7, 10.3 inch 화학강화유리는 폐기하였을 때보다 재사용할 경우 Energy, CO_2 배출량이 평균적으로 각각 51.4%, 46.6% 감소하는 것을 확인할 수 있다. 폐기되는 양의 100% 중에서 20%만 재사용되어도 약 50% 정도 환경부하를 줄일 수 있다. Figure 2는 Table 3, 4의 이해를 돕고자 그래프로 나타낸 것이다.

Table 4~6은 SimaPro 소프트웨어를 통해 계산된 2.7, 5.7, 10.3 inch 화학강화유리의 가중치가 부여된 각 영향범주별 결과이다. 이것은 Eco-Indicator '99 방법론을 사용한 결과이며, 11가지 영

Table 4. Weighting results of 2.7 inch (SimaPro)

Impact	Unit	Landfill	Reuse 20%
1	Pt	2.8535E-05	1.7121E-05
2	Pt	3.72764E-07	2.23659E-07
3	Pt	0.000193142	0.000115885
4	Pt	0.000119946	7.19673E-05
5	Pt	1.66528E-06	9.99166E-07
6	Pt	8.33496E-08	5.00098E-08
7	Pt	1.27583E-05	1.02066E-05
8	Pt	2.21512E-05	1.7721E-05
9	Pt	1.92567E-05	1.54053E-05
10	Pt	3.71316E-06	4.45579E-06
11	Pt	0.000715929	0.000859115
Total	Pt	0.001117552	0.00111315

1: Carcinogens
2: Resp. organics
3: Resp. inorganics
4: Climate change
5: Radiation
6: Ozone layer
7: Ecotoxicity
8: Acidification/Eutrophication
9: Land use
10: Minerals
11: Fossil fuels

Table 5. Weighting results of 5.7 inch (SimaPro)

Impact	Unit	Landfill	Reuse 20%
1	Pt	6.2777E-05	5.02216E-05
2	Pt	8.20082E-07	6.56065E-07
3	Pt	0.000424912	0.000339929
4	Pt	0.00026388	0.000211104
5	Pt	3.66361E-06	2.93089E-06
6	Pt	1.83369E-07	1.46695E-07
7	Pt	2.80683E-05	2.24546E-05
8	Pt	4.87326E-05	3.89861E-05
9	Pt	4.23647E-05	3.38918E-05
10	Pt	8.16896E-06	6.53517E-06
11	Pt	0.001575044	0.001260035
Total	Pt	0.002458615	0.001966892

Table 6. Weighting results of 10.3 inch (SimaPro)

Impact	Unit	Landfill	Reuse 20%
1	Pt	0.000112238	8.97901E-05
2	Pt	1.46621E-06	1.17297E-06
3	Pt	0.000759691	0.000607753
4	Pt	0.000471786	0.000377429
5	Pt	6.55009E-06	5.24007E-06
6	Pt	3.27842E-07	2.62274E-07
7	Pt	5.01827E-05	4.01462E-05
8	Pt	8.7128E-05	6.97024E-05
9	Pt	7.57429E-05	6.05943E-05
10	Pt	1.46051E-05	1.16841E-05
11	Pt	0.002815988	0.00225279
Total	Pt	0.004395705	0.003516564

향범주 중에서 화석연료(fossil fuels)의 값이 가장 높게 나왔고, 그 다음으로 무기물(inorganics)과 기후변화(climate change)가 높은 값을 나타내었다. 이것은 화학강화유리를 제조할 때 사용되는 전력과 제조할 때 사용되는 주성분인 실리케이트(silicate)의 영향인 것으로 보인다. 이러한 결과는 화학강화유리의 크기가 커짐에 따라 증가하며, 폐기되는 화학강화유리의 20%만을 재사용할 경우 전체적인 영향부하 값은 2.7 inch에서는 큰 차이가 없지만, 5.7 inch와 10.3 inch에서는 약 20% 감소하는 것을 확인할 수 있다. Figure 3, 4는 폐기와 재사용에 사용되는 화학강화유리의 크기에 따른 환경부하 값을 비교한 그래프이다.

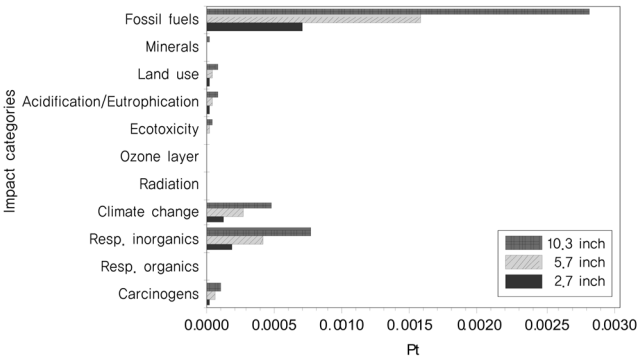

Figure 3. Comparing of landfill by inch (SimaPro, Eco-Indicator '99).

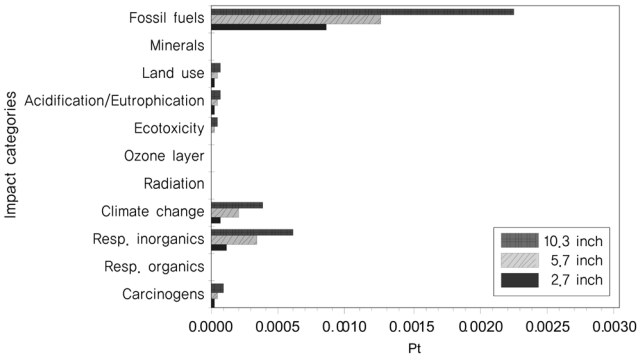

Figure 4. Comparing of reuse by inch (SimaPro, Eco-Indicator '99).

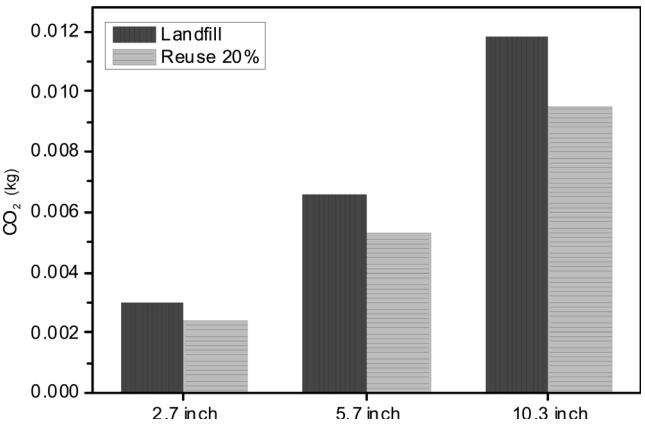

Figure 5. CO_2 value of landfill and reuse by inch (CML2001).

Table 7. Normalization results by inch (Gabi, CML2001)

Impact	2.7 inch	5.7 inch	10.3 inch
AP	7.14E-16	1.57E-15	2.81E-15
EP	3.08E-16	6.78E-16	1.21E-15
HT	4.77E-16	1.05E-15	1.87E-15
FAETP	6.48E-18	1.43E-17	2.55E-16
MAETP	7.93E-14	1.74E-13	3.12E-13
TETP	6.46E-18	1.42E-17	2.54E-17

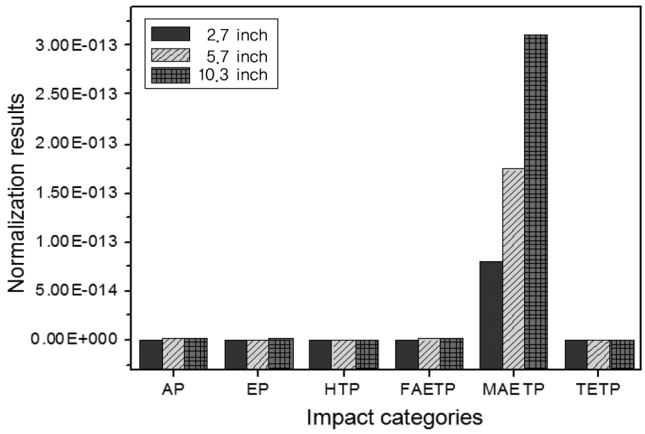

Figure 6. Comparing of nomalization results by inch (Gabi, CML2001).

Figure 5는 SimaPro 소프트웨어에서 CML2001 방법론을 통해 계산한 CO_2값을 비교한 그래프이다. CO_2값은 특성화 지구온난화(global warming potential, GWP)로부터 얻을 수 있었다. 화학강화유리의 크기가 커질수록 CO_2의 발생량은 증가하는 것을 볼 수 있으며, 20% 재사용할 경우 CO_2의 발생량은 약 20% 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 Eco-Indicator '99 방법론의 결과와 일치하는 것을 확인할 수 있다.

Table 7은 Gabi 소프트웨어를 통해 계산된 정규화 결과이다. CML2001 방법론을 사용한 이 결과는 10가지 영향범주 중 6가지 영향범주(산성화; aciedification potential (AP), 부영양화; eutrophication poatential (EP), 인체독성; human toxicity (HT), 담수생태독성; frech-water aquatic ecotoxicity potential (FAETP), 해양생태독성; marine aquatic ecotoxicity potential (MAETP), 토양생태독성; terrestrial ecotoxicity potential (TETP))에 해당된다. 산성화의 주된 원인은 화학강화유리의 제조공정에 사용되는 암모니아(ammonia)로 나왔고, 부영양화의 주원인은 암모니아(ammonia), 생물학적산소요구량(biological oxygen demand, BOD), 화학적산소요구량(chemical oxygen demand, COD)이다. 인간독성의 원인은 안티몬(antimony), 염화수소(hydrogen chloride), 불화수소(hydrogen fluoride)이고, 생태독성의 원인은 안티몬(antimony), 불화수소(hydrogen fluoride)로 나타났다. 그 중 가장 높은 값을 갖는 영향범주는 생태독성 중에서도 해양생태독성이다. Figure 6은 화학강화유리의 크기에 따른 각 영향범주의 정규화결과를 비교한 그래프이다.

5. 결 론

본 연구에서는 MLCA 소프트웨어를 통하여 화학강화유리의 폐기와 재사용에 따른 환경성평가를 하고자 하였다.

MLCA 소프트웨어는 Granta의 CES와 SimaPro, Gabi 프로그램을 사용하였으며, CES를 통해서는 화학강화유리의 Material, Manufacture, End of life 단계에서 발생되는 Energy, CO_2값을 계산하였다. SimaPro에서는 Eco-Indicator '99방법론을 사용하여 11가지 영향범주에 대해 평가하였고, CML2001 방법론으로 폐기와 재사용에 따른 CO_2값을 비교하였다. Gabi에서는 CML 2001 방법론을 통하여 10가지 영향범주 중 6가지 영향범주에 대해 평가하였다.

CES의 결과, 폐기할 경우보다 20% 재사용하였을 경우에 Energy, CO_2 배출량은 평균적으로 각각 51.4%, 46.6% 감소하였다. 폐기되는 양의 100% 중에서 20%만 재사용되어도 약 50% 정도 환경부하를 감소시킬 수 있는 것을 확인할 수 있었다.

SimaPro에서 가장 높은 기여도를 나타내는 영향범주는 화석연료(fossil fuels)이고, 그 다음으로 무기물(inorganics)과 기후변화(climate change)이다. 이 결과는 화학강화유리를 제조할 때 사용되는 전력과 화학강화유리의 주성분인 실리케이트(silicate)의 영향으로 보이는데, 제조 공정을 개선시키거나 전력소비를 줄임으로써 환경부하 값을 감소시킬 수 있다고 판단된다. CML2001 방법론을 통하여 계산된 특성화 지구온난화(global warming)의 값으로 CO_2 발생량을 비교한 결과, 화학강화유리의 크기가 커질수록 CO_2의 발생량은 증가하며, 폐기량의 20%만이라도 재사용할 경우 CO_2의 발생량은 약 20% 감소한다.

마찬가지로 CML2001 방법론을 사용한 Gabi의 결과는 총 10가지 영향범주 중 6가지 영향범주에 해당되며, 그 중 가장 높은 기여도를 갖는 영향범주는 생태독성이며, 그 중에서도 해양생태독성인 것으로 나타났다. 해양생태독성의 주된 원인으로 밝혀진 안티몬(antimony), 불화수소(hydrogen fluoride)는 화학강화유리의 제조과정에 사용되는 물질로써, 이러한 물질의 사용량을 줄이거나 대체물질을 사용함으로써 환경부하값을 줄일 수 있을 것이라 판단된다.

100% 폐기되는 화학강화유리의 일부분인 20%만이라도 재사용이 된다면 앞서 말한 바와 같이 많은 환경부하 값을 감소시킬 수 있을 것을 기대된다. 따라서 반드시 화학강화유리가 재사용 되어야 하며 이와 관련된 연구에 많은 노력이 필요하다.

감 사

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 재원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 2010501010002B).

참고문헌

1. Giddens, A., “Sociology, 5th ed., London School of Economics and Political Science,” London, 2006, pp. 134-154.
2. Blengini, G. A., Busto, M., Fantoni, M., and Fino, D., “Eco-efficient Waste Glass Recycling: Integrated Waste Management and Green Product Development through LCA,” *Waste Manage.*, **32**, 1000-1008 (2012).
3. Hong, S. J., Jeong, K. M., Hong, J. H., Yun, J. H., and Hur, T., “Life Cycle Assessment on the End-of-Life Vehicle Treatment System in Korea,” *Trans. KSAE*, **13**(6), 105-112 (2005).
4. Trade Committee, “Smart Glass Industrial Competitiveness Investigation,” *Kor. Inst. Ceramic Eng. Technol.*, (2010).
5. ISO 14040: Environmental Management-Life Cycle Assessment-Principles and Framework, Korean Agency for Technology and Standards (2007).
6. ISO 14044: Environmental Management-Life Cycle Assessment-Requirements and Guidelines, Korean Agency for Technology and Standards (2007).