

재활용 원료를 이용한 액상제설제 생산의 환경영향 분석

문영수 · 정금호* · 박복재**,†

전남대학교 여수창업보육센터 · *전남대학교 건축디자인학과

**전남대학교 경상학부

(2016년 11월 29일 접수, 2016년 12월 12일 수정, 2016년 12월 15일 채택)

Environmental Impact Assessment on Production of Liquid De-icing Agents using Recycling Raw Materials

Young-Soo Moon · Kum-Ho Chung* · Bok-Jae Park**,†

Yeosu Business Incubator, Chonnam National University

**Department of Architecture, Chonnam National University*

***Division of Business & Commerce, Chonnam National University*

(Received 29, November 2016, Revised 12, December 2016, Accepted 15, December 2016)

Abstract

In this study, life cycle assessment(LCA) for production technology of environmental-friendly liquid de-icing agents was performed according to the change in input materials. Furthermore, environmental impact of the recycling technology was calculated and the direction for the improvement of environmental performance was suggested. When recycling by-produced hydrochloric acid per 1 kg of the product was used, the overall environmental impact on the six categories of environmental declaration of the products(EDP 2013) decreased by 55.37% from 3.22E-01 kg to 1.44E-01 kg, as compared with the use of genuine hydrochloric acid. The greenhouse gases emissions with the highest environmental impacts were reduced by 54.93% from 3.19E-01 kg to 1.44E-01 kg. In addition, it is desirable that the disused sludge should be reused and the energy consumption should be decreased through process improvement in order to reduce environmental impact in the manufacturing process of environmental-friendly liquid de-icing agents.

Keywords : Life Cycle Assessment, Greenhouse gases, Liquid de-icing, Hydrochloric acid, Recycle

1. 서론

국내에서 생산되는 염산은 크게 합성염산과 부생염산으로 구분된다. 합성염산은 염화수소 가스를 응축수에 흡수시켜 35% 염산을 제조하며, 부생염산은 석유화학 제품인 VCM,

MDI, TDI 제조시 약 18~30%의 농도로 생산된다. 염산은 액체 특성상 저장에 곤란해 재고량이 넘칠 경우 부생염산에서 염소를 회수하거나, 중화 처리 할 수 있으나 소요비용이 많이 든다는 단점이 있다. 이러한 부생염산의

†Corresponding author E-mail: bjpark73@jnu.ac.kr

산업적 활용과 자원 재활용 측면에서 이를 원료로 하여 액상 제설제를 생산하는 기술이 연구되고 있다.

그러나 재활용 기술 또한 투입 자원과 에너지 소모, 그리고 오염물질 배출로 환경오염이 발생된다. 따라서 재활용 기술에 대한 환경영향 분석을 통해 해당 기술의 환경 가치를 파악하고 이를 개선하기 위한 노력이 필요하다.

본 연구는 온실가스 감축을 위한 여수시민관산학 지역행동계획 사업의 일환으로 여수국가산업단지 기업의 자원 재활용에 따른 온실가스 감축량 산정을 위해 수행되었다. 이를 위해 석유화학산업에서 발생하는 부생염산과 합성 염산인 정 염산을 투입하여 생산하는 액상 제설제 제품의 환경영향을 전과정 평가를 통해 비교 분석하였다. 그리고 투입 원료와 제조과정 변화에 따라 환경 영향을 개선할 수 있는 방향을 도출하기 위해 수행되었다.

2. 전과정평가 수행

2.1. 목적 정의

본 연구는 ‘KS I ISO 14044:환경경영-전과정평가-요구사항 및 지침’의 내용에 따라 수행하였다. 전과정평가는 우리나라 환경성적표지제도의 6가지 환경영향 범주별로 정 염산과 부생 염산을 원료로 하여 생산한 액상 제설제의 환경영향을 비교하기 위하여 수행하였다¹⁻²⁾.

2.2. 범위 정의

2.2.1. 기능 및 기능단위

본 연구의 환경성 평가를 위한 기능, 기능단위, 기준흐름을 다음의 Table 1과 같이 정의하였다.

Table 1. Function, functional unit and reference flow

항목	설명
기능	눈 및 얼음을 녹이는 제설제
기능단위	3 m ² 면적의 눈 및 얼음을 녹이는 1 kg의 액상제설제 생산
기준흐름	염산을 이용하여 생산된 액상제설제 1 kg

2.2.2. 시스템 경계 설정

본 연구의 시스템 경계는 액상 제설제 생산 공정의 gate to gate로 설정하였다. 환경영향평가를 위한 시스템 경계는 원료 이동단계와, 공장 내에서의 제품 생산단계까지 설정하였다. 그리고 제품 생산 공정에 대한 기반시설(공정 설비, 저장 시설 등)에 의한 영향은 시스템 경계에서 제외하였다.

2.2.3. 가정 및 제한사항

공정의 투입물과 배출물에 대한 상위흐름 연결은 우리나라 LCI(Life cycle inventory) 데이터베이스를 적용하였다. 그리고 원료물질 중 부생 염산은 재활용 폐기물임에 따라 이에 대한 부하는 고려하지 않았다. 탄산칼슘은 공정반응 시 대기 배출물이 발생되는데, 현장 데이터가 수집되지 못해 IPCC 가이드라인을 참고로 계산하였다³⁾.

2.2.4. 할당

생산 공정에서 부산물이 발생하지 않아 할당을 수행하지 않았다.

2.3. 전과정 목록분석

2.3.1. 공정흐름

액상 제설제 생산을 위한 단위 공정을 기준으로 Fig. 1, 2와 같이 각각의 공정 흐름도를 작성하였다. 단위 공정은 데이터 수집의 용이성과 공정 특성을 고려하여 반응공정, 중화공정, 여과공정, 침전공정 4개로 구분하였다.

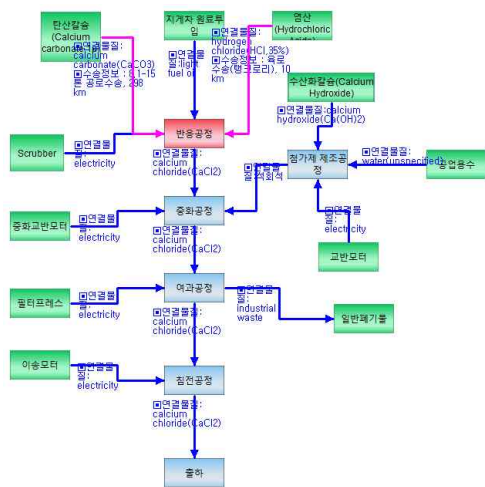


Fig. 1. Process flow diagram for genuine hydrochloric acid(g-HCl).

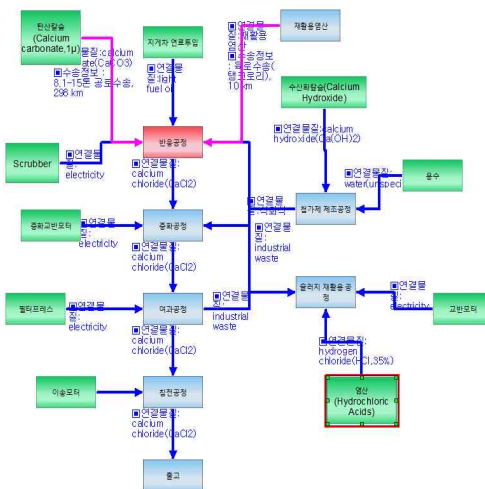


Fig. 2. Process flow diagram for by-produced hydrochloric acid(b-HCl).

2.3.2. 데이터 수집 및 계산

가. 데이터 범주

본 연구의 데이터 범주는 ISO 14044에서 제시하고 있는 주요 항목인 원료물질, 보조물질, 용수, 에너지, 제품, 부산물, 대기 배출물, 수계 배출물 및 폐기물로 구분 하였다.

나. 데이터 수집

데이터 수집은 액상 제설제 기술개발 기업의 현장데이터를 우선 적용하기 위해, 해당기업을 방문하여 기술진과의 면담 및 설문서를 활용하여 현장 데이터를 수집하였다. 데이터 수집이 불가능한 경우 계산 및 추정을 통하여 데이터를 수집 및 보완하였다.

원료물질, 보조물질, 에너지 등의 상위흐름과 하위흐름을 연결하는 LCI 데이터베이스는 환경부와 산업통상자원부에서 구축한 데이터베이스⁴⁾를 우선 적용하고, 해외 LCI 데이터베이스는 Ecoinvent에서 구축한 데이터베이스를 사용하였다⁵⁾.

2.4. 전과정 영향평가

전과정 영향평가는 분류화(classification), 특성화(characterization), 정규화(normalization) 단계로 수행했으며, 특성화 값은 환경성적표지제도(EDP, 2013)의 방법론을 적용하였고, 정규화 값은 산자부 기준을 적용하였다.

2.4.1. 특성화 결과

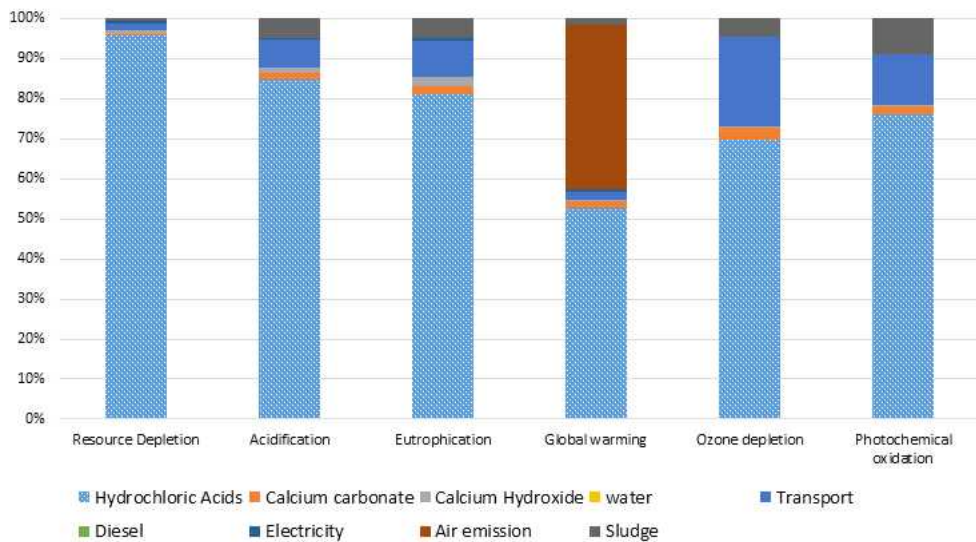
가. 정 염산 원료 생산 특성화 결과

정 염산을 이용한 액상 제설제 생산 공정에서 가장 환경영향을 크게 미치는 것으로 나타난 물질은 Hydrochloric Acids($1.72\text{E}-01$)이며, 공정 배출물인 Air emission($1.31\text{E}-01$)과 원료 운송을 위한 수송단계($5.82\text{E}-03$)가 그 다음을 차지하는 것으로 나타났다.

Hydrochloric Acids의 경우 대부분의 범주에서 전체 환경영향의 절반이상을 차지하였다. 특히 지구온난화($1.68\text{E-}01 \text{ kg CO}_2$)와 자원소모 ($2.39\text{E-}03 \text{ kg antimony}$), 산성화($6.88\text{E-}04 \text{ kg SO}_2$), 부영양화($8.77\text{E-}05 \text{ kg PO}_4^{3-}$)에서 주요 환경 영향의 원인으로 나타났다. 지구온난화에 미치는 영향은 Hydrochloric Acids이 53%($1.68\text{E-}01 \text{ kg CO}_2$)이며, Calcium-carbonate의 원료 사용에 따른 대기 배출물(Air emission)이 $1.31\text{E-}01 \text{ kg CO}_2$ 로 그 다음을 차지하였다. 이러한 물질에 의한 영향은 Table 2와 Fig. 3에 자세하게 나

Table 2. Characterization result of g-HCl

Impact category		Resource Depletion	Acidification	Eutrophication	Global warming	Ozone depletion	Photochemical oxidation	Total
Unit		kg antimony	kg SO ₂	kg PO ₄ ³⁻	kg CO ₂	kg CFC11	kg C ₂ H ₄	
Input	Hydrochloric Acids	2.39E-03	6.88E-04	8.77E-05	1.68E-01	6.76E-09	8.61E-05	1.72E-01
	Calcium carbonate	1.23E-05	1.40E-05	2.33E-06	4.54E-03	3.05E-10	2.29E-06	4.57E-03
	Calcium Hydroxide	2.42E-05	1.27E-05	2.34E-06	1.83E-03	3.28E-11	2.38E-07	1.87E-03
Water	Industrial water	2.54E-09	2.81E-10	4.83E-11	1.48E-07	4.02E-18	2.37E-12	1.50E-07
Transport	Transport	3.91E-05	5.60E-05	9.96E-06	5.70E-03	2.15E-09	1.46E-05	5.82E-03
Energy	Diesel	9.29E-07	6.05E-09	3.44E-10	2.95E-06	5.44E-15	2.55E-10	3.89E-06
	Electricity	1.48E-05	3.97E-06	7.39E-07	2.35E-03	6.49E-14	1.67E-08	2.37E-03
Output	Air emission	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.31E-01	0.00E+00	0.00E+00	1.31E-01
	Sludge	1.91E-05	3.90E-05	5.30E-06	5.32E-03	4.45E-10	1.01E-05	5.40E-03
Total		2.50E-03	8.13E-04	1.08E-04	3.19E-01	9.69E-09	1.13E-04	3.22E-01

**Fig. 3.** Environmental Impact of materials in g-HCl.

타내었다.

나. 부생 염산 원료 생산 특성화 결과

부생 염산을 원료로 한 생산 공정에 대한 특성화 결과 Air emission(1.31E-01)과 원료 운송을 위한 수송단계(4.96E-03), Calcium carbonate(3.89E-03) 순으로 나타났다. 지구 온난화 범주만을 놓고 보면, Calcium carbonate의 원료 사용에 따른 Air emission이 가장 높게 나타났

다. 전체 환경영향은 Air emission, 운송단계, Calcium carbonate, 전력사용, Calcium Hydroxide 순으로 나타났다. 구체적인 특성화 결과는 Table 3과 Fig. 4에 나타내었다.

2.4.2. 정규화 결과

가. 정 염산 원료 생산 정규화 결과

정 염산을 원료로 한 액상 제설제 생산의 환경영향에 대한 정규화 결과를 살펴보면,

Table 3. Characterization result of b-HCl

Impact category		Resource Depletion	Acidification	Eutrophication	Global warming	Ozone depletion	Photochemical oxidation	Total
Unit		kg antimony	kg SO ₂	kg PO ₄ ³⁻	kg CO ₂	kg CFC11	kg C ₂ H ₄	
Input	Hydrochloric Acids	1.69E-06	5.73E-07	7.31E-08	1.40E-04	5.63E-12	7.18E-08	1.43E-04
	Calcium carbonate	1.04E-05	1.19E-05	1.98E-06	3.86E-03	2.59E-10	1.95E-06	3.89E-03
	Calcium Hydroxide	2.42E-05	1.27E-05	2.34E-06	1.83E-03	3.28E-11	2.38E-07	1.87E-03
Water	Industrial water	6.84E-10	1.81E-10	3.31E-11	1.05E-07	2.89E-18	8.50E-13	1.06E-07
Transport	Transport	3.33E-05	4.77E-05	8.48E-06	4.86E-03	1.83E-09	1.25E-05	4.96E-03
Energy	Diesel	9.29E-07	6.05E-09	3.44E-10	2.95E-06	5.44E-15	2.55E-10	3.89E-06
	Electricity	1.46E-05	3.91E-06	7.28E-07	2.31E-03	6.39E-14	1.65E-08	2.33E-03
Output	Air emission	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.31E-01	0.00E+00	0.00E+00	1.31E-01
Total		8.52E-05	7.69E-05	1.36E-05	1.44E-01	2.13E-09	1.47E-05	1.44E-01

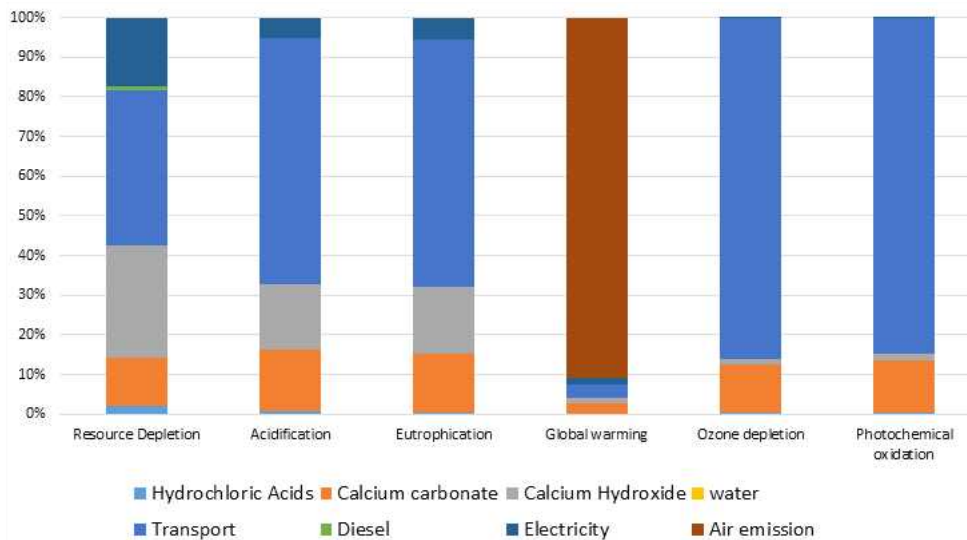


Fig. 4. Environmental Impact of materials in b-HCl.

Hydrochloric Acids가 80.46%로 가장 높은 환경영향을 나타냈으며, 다음은 공정 배출로서 11.98%로 나타났다.

영향범주 별 정규화 결과는 자원소모가 48.23%, 지구온난화가 29.24%, 산성화가 10.37%로 뒤를 이었다. 자원소모와 지구온난화, 산성화의 핵심 요소는 Hydrochloric Acids이다.

나. 부생 염산 원료 생산 정규화 결과

부생 염산을 이용한 공정에 대한 정규화

결과를 살펴보면, Calcium carbonate 원료 사용에 따른 Air emission이 70.24%로 가장 높은 환경영향을 나타냈으며, 다음은 원료 수송이 14.97%로 나타났다.

영향범주 별 정규화 결과는 지구온난화가 77.25%, 자원소모가 10.59%, 산성화가 5.75%, 광화학적산화물생성이 3.2%로 뒤를 이었다.

3. 액상제설제 생산의 환경영향 비교

Table 4. Normalization result of g-HCl

Material		Impact	Ratio
Input	Hydrochloric Acids	1.59E-04	80.46%
	Calcium carbonate	2.15E-06	1.09%
	Calcium Hydroxide	1.91E-06	0.97%
water	Industrial water	1.15E-10	0.00%
transport	Transport	5.91E-06	3.00%
Energy	Diesel	4.66E-08	0.02%
	Electricity	1.07E-06	0.54%
Output	Air emission	2.36E-05	11.98%
	Sludge	3.80E-06	1.93%
Total		1.98E-04	100%

Table 5. Normalization result of g-HCl in terms of impact categories

Category	Impact	Ratio
Resource depletion	9.50E-05	48.23%
Acidification	2.04E-05	10.37%
Eutrophication	8.26E-06	4.19%
Global warming	5.76E-05	29.24%
Ozone depletion	2.04E-07	0.10%
Photochemical oxidation	1.55E-05	7.86%
Total	1.97E-04	100%

3.1. 액상 제설제의 전과정 평가

3.1.1. 특성화 결과 및 특성화 값 비교

정 염산을 사용하여 액상 제설제 1 kg 생산 시 잠재적인 환경영향을 주요 범주별로 살펴보면, 지구온난화 범주에서 온실가스 발생량이 3.19E-01 kg CO₂ eq로 나타났다. 또한 자원소모의 경우 2.50E-03 kg Anitimony eq이며, 산성화는 8.13E-04 kg SO₂ eq, 부영양화는 1.08E-04 kg PO₄³⁻ eq, 오존층 영향은 9.69E-09 kg CFC11, 광화학적산화물생성은 1.13E-04 kg C₂H₄ eq로 나타났다.

그리고 부생 염산을 사용한 환경영향은 지구온난화는 1.44E-01 kg CO₂ eq이며, 자원소모의 경우 8.25E-05 kg Anitimony eq, 산성화는 7.69E-05 kg SO₂ eq, 부영양화는 1.36E-05

Table 6. Normalization result of b-HCl

Material		Impact	Ratio
Input	Hydrochloric Acids	1.28E-07	0.38%
	Calcium carbonate	1.83E-06	5.46%
	Calcium Hydroxide	1.91E-06	5.68%
water	Industrial water	5.08E-11	0.00%
transport	Transport	5.03E-06	14.97%
Energy	Diesel	4.66E-08	0.14%
	Electricity	1.05E-06	3.13%
Output	Air emission	2.36E-05	70.24%
Total		3.36E-05	100%

Table 7. Normalization result of b-HCl in terms of impact categories

Category	Impact	Ratio
Resource depletion	3.56E-06	10.59%
Acidification	1.93E-06	5.75%
Eutrophication	1.04E-06	3.08%
Global warming	2.60E-05	77.25%
Ozone depletion	4.43E-08	0.13%
Photochemical oxidation	1.08E-06	3.20%
Total	3.36E-05	100%

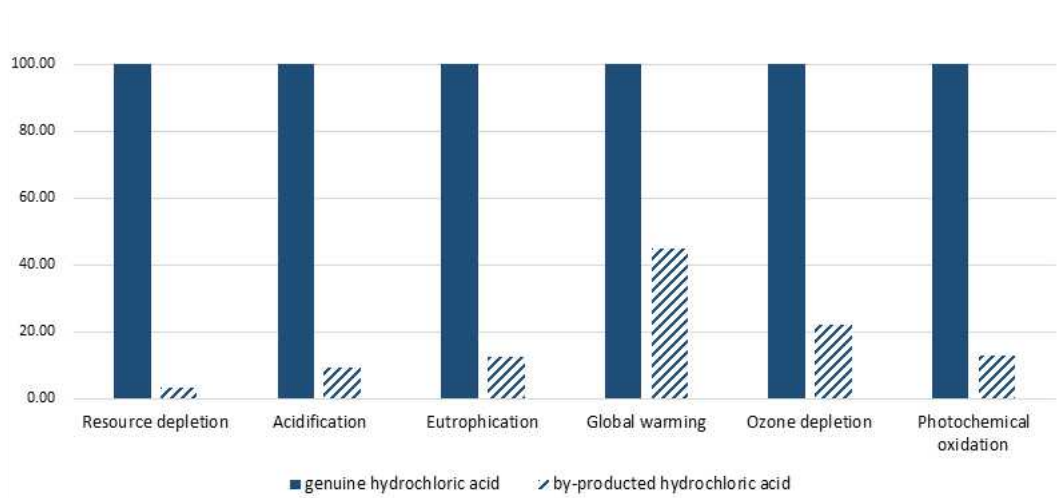
kg PO₄³⁻ eq, 오존층 영향은 2.13E-09 kg CFC11, 광화학적산화물생성은 1.47E-05 kg C₂H₄ eq로 나타났다.

액상 제설제 1 kg 생산에 대한 정 염산과 부생 염산 적용 공정에 대한 전과정 특성화 값을 비교한 결과, 자원소모, 산성화, 부영양화, 지구온난화, 오존층영향, 광화학적산화물생성 6가지 범주 모두에서 부생 염산을 원료로 사용하는 것이 정 염산에 비해 매우 낮은 잠재적 환경영향을 나타내었다. 영향 범주 별로 살펴보면 정 염산에 비해 부생 염산의 환경영향은 자원소모 96.59%, 산성화 90.55%, 부영양화 87.45%, 지구온난화 54.93%, 오존층영향 78.01%, 광화학적산화물생성이 86.99% 낮게 나타났다.

정 염산과 부생 염산에 대한 환경영향 범

Table 8. Comparison of characterization result of impact categories

Category	genuine hydrochloric acid (a)	by-producted hydrochloric acid (b)	reduction rate (a/b)	Unit
Resource depletion	2.50E-03	8.52E-05	96.59%	kgantimony eq/kg
Acidification	8.13E-04	7.69E-05	90.55%	kgSO ₂ eq/kg
Eutrophication	1.08E-04	1.36E-05	87.45%	kgPO ₄ ³⁻ eq/kg
Global warming	3.19E-01	1.44E-01	54.93%	kgCO ₂ eq/kg
Ozone depletion	9.69E-09	2.13E-09	78.01%	kgCFC11 eq/kg
Photochemical oxidation	1.13E-04	1.47E-05	86.99%	kgC ₂ H ₄ eq/kg

**Fig. 5.** Comparison of characterization result of impact categories.

주 별 특성화 결과 비교는 Fig. 5와 Table 8에 나타내었다.

3.1.2. 정규화 결과

정 염산과 부생 염산에 대한 정규화 결과 값을 살펴보면, 특성화 결과와 같이 자원소모, 산성화, 부영양화, 지구온난화, 오존층영향, 광화학적산화물생성 6가지 범주 모두에서 부생 염산이 정 염산에 비해 낮은 잠재적 환경영향을 나타내었다.

영향 범주별 정규화 결과에서는 정 염산에

비해 부생 염산의 환경영향이 자원소모 96.25%, 산성화 90.54%, 부영양화 87.45%, 지구온난화 54.93%, 오존층 영향 78.30%, 광화학적산화물생성이 93.06% 낮게 나타났다.

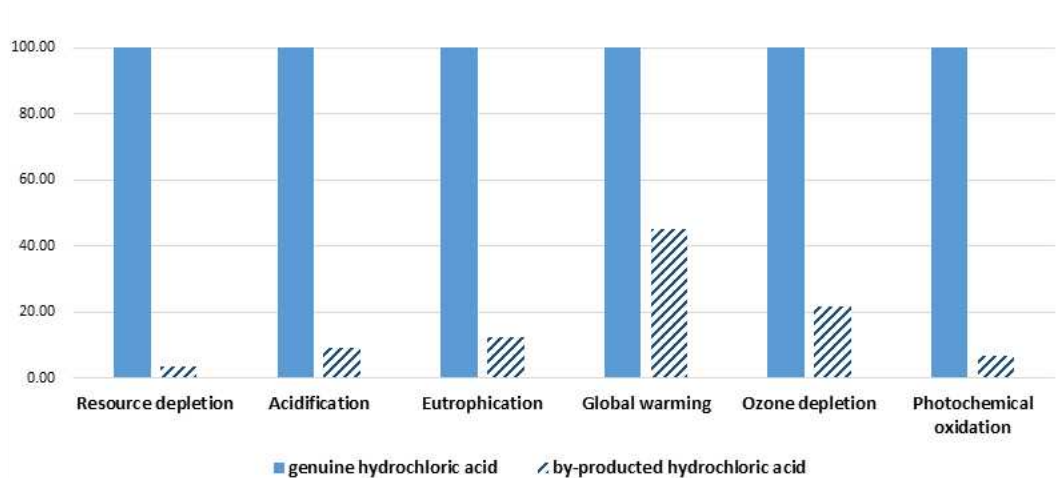
환경영향 범주 별 정규화 결과는 Fig. 6과 Table 9에 나타내었다.

4. 결 론

정 염산과 부생 염산을 이용한 액상 제설제의 환경영향 비교를 수행한 특성화 결과, 정 염산은 3.22E-01을, 부생 염산은 1.44E-01

Table 9. Comparison of normalization result of impact categories

Category	genuine hydrochloric acid (a)	by-producted hydrochloric acid (b)	reduction rate (a/b)	Unit
Resource depletion	9.50E-05	3.56E-06	96.25%	kgantimony eq/kg
Acidification	2.04E-05	1.93E-06	90.54%	kgSO ₂ eq/kg
Eutrophication	8.26E-06	1.04E-06	87.45%	kgPO ₄ ³⁻ eq/kg
Global warming	5.76E-05	2.60E-05	54.93%	kgCO ₂ eq/kg
Ozone depletion	2.04E-07	4.43E-08	78.30%	kgCFC11 eq/kg
Photochemical oxidation	1.55E-05	1.08E-06	93.06%	kgC ₂ H ₄ eq/kg

**Fig. 6.** Comparison of normalization result of impact categories.

의 환경영향을 보였다. Fig. 7과 같이 부생염산을 활용할 경우 정 염산에 비해 55.37%의 환경영향이 감소하는 것으로 나타났다. 이에 따라 정 염산을 활용할 경우 부생 염산을 활용하는 경우 보다 2배 이상 환경에 부정적 영향을 끼친다는 결과를 보여주고 있다.

특성화 결과에서 6가지 환경영향 범주 중 지구온난화 비중이 정염산은 98.9%, 부생염산은 99.87%로 전과정 평가 결과 대부분의 환경영향은 온실가스 배출과 관련된 것으로 나타났다.

액상 제설제 생산 기업인 여수국가산업단

지 소재 해당 기업의 연간 액상 제설제 생산량은 약 15,000 ton으로, 이를 고려하여 부생염산만을 원료로 하였을 경우 연간 온실가스 감축량은 2,624 ton으로 산정되었다.

이에 더하여 액상 제설제에 대한 부식성 저감 등의 기술 개발이 추진되고 있어 부생염산을 원료로 생산한 액상 제설제는 환경은 물론 경제적으로 보다 높은 가치로 평가될 수 있을 것이다.

향후 액상 제설제 제품의 환경적 가치를 보다 향상시키기 위해서는 부생 염산 외에도 원료 투입 물질인 탄산칼슘인 폐각 등 재활

용 원료를 활용하는 기술을 개발하는 등 제품의 환경영향을 저감시키는 노력이 지속되어야 할 것이다.

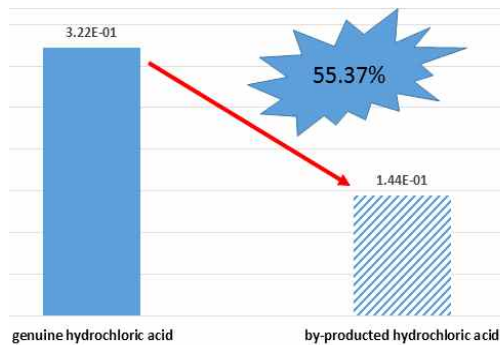


Fig. 7. Comparison chart of characterization result of g & b-HCl.

사 사

본 연구과제는 환경부 지정 전남녹색환경 지원센터의 연구비 지원에 의해 수행된 연구 과제입니다.

References

1. ISO 14044, 2006: Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines.
2. ISO 14040, 2006: Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework.
3. IPCC Guideline, 2006.
4. Korea LCI Database(www.epd.or.kr)
5. Ecoinvent LCI Database(www.ecoinvent.org)