

공정 폐액 재활용 기술의 전과정평가 연구

Life Cycle Assessment(LCA) on Recycling Technology of Waste Organic Solvents

손민정¹, 차경훈¹, 안중우², 최아란², 오영민³, 조봉규⁴, 조영주⁴
¹에코에이블컨설팅(주), ²성신여자대학교, ³(주)다남이엔이,
⁴유용자원재활용기술개발사업단

Min Jung Son¹, Kyoung Hoon Cha¹, Joong Woo Ahn², Aran Choi², Yeong Min
Oh³, Bong Gyoo Cho⁴, Young Ju Cho⁴

¹Ecoable Consulting Corporation, ²Sungshin Women's University, ³Danam-ene
co., ltd., ⁴R&D Center for Valuable Recycling

사단법인 한국전과정평가학회
The Korean Society for Life Cycle Assessment

공정 폐액 재활용 기술의 전과정평가 연구

손민정^{1*}, 차경훈¹, 안중우², 최아란², 오영민³, 조봉규⁴, 조영주⁴

¹에코에이블컨설팅(주), ²성신여자대학교, ³㈜다남이엔이, ⁴유용자원재활용기술개발사업단

Life Cycle Assessment(LCA) on Recycling Technology of Waste Organic Solvents

Min Jung Son¹, Kyoung Hoon Cha¹, Joong Woo Ahn², Aran Choi², Yeong Min Oh³,
Bong Gyoo Cho⁴, Young Ju Cho⁴

¹Ecoable Consulting Corporation, ²Sungshin Women's University, ³Danam-ene co., ltd.,

⁴R&D Center for Valuable Recycling

Abstract

This study conducted the Life Cycle Assessment(LCA) of recycling technology for recovering precious metal(gold, silver) from the waste organic solvents generated in production process of LCD, semiconductor, etc. Environmental impacts were assessed for the five categories of impacts: global warming, resource depletion, acidification, eutrophication, and photochemical oxide production. When recycling 1L of waste organic solvents, global warming impact was 5.26E-02 kg CO₂-eq., resource depletion impact was 3.06E-04 kg Sb-eq., acidification impact was 1.31E-04 kg SO₂-eq., eutrophication impact was 9.70E-05 kg PO₄³⁻-eq., and the photochemical oxide production impact was 5.82E-05 kg C₂H₄-eq. In terms of overall environmental impacts, electricity and KCN contribute the greatest impact, so it is necessary to improve energy efficiency, change to low-energy sources, and apply renewable energy. In addition, it is necessary to compare the environmental impacts of the raw materials to replace the KCN, and a method to reduce the KCN usage in the process is needed.

1. 서론

산업활동으로 인한 대량생산, 대량소비, 대량폐기의 사회체제는 자원고갈, 지구온난화 등의 환경문제를 유발시켜 인류의 지속가능성을 위협하고 있다. 이러한 상황에서 자원순환형 사회체제 구축은 다양성, 자립성, 안전성, 순환성을 강조하는 지속가능성의 관점에서 인류의 생존을 위한 필수적인 방향으로 인식되고 있다. 자원순환형 경제 및 산업구조 구축을 위해서는 자원순환기술의 개발을 통한 폐기물의 자원화 실현이 수행되어야 한다. 한편 폐기물 자원화를 위한 재활용 기술 역시 공정가동을 위해 사용되는 에너지 및 자원으로 인해 환경오염이 발생되고, 경제적인 측면에서 새로운 자원을 채취하는 것보다 많은 비용을 발생시킬 수 있다. 따라서 전과정평가 수행을 통해 재활용 기술의 경쟁력 증진을 위한

* 교신저자: 손민정 팀장 (05064) 서울특별시 광진구 자양변영로 72 2층 Tel: 02-6959-3840, Fax:070-4327-7279, Email: mjson@ecoable.co.kr

개선안을 도출하는 것은 지속가능한 자원순환형 경제 및 산업구조 구축을 위해 매우 중요하다.

본 연구는 유용자원재활용기술개발 사업단에서 개발한 공정폐액 재활용 기술에 대하여 전과정평가 수행을 하였으며, 5대 환경영향범주에 대한 주요이슈를 분석하였다. 또한 재활용 귀금속(금, 은) 사용에 따른 환경영향의 회피효과를 분석함으로써 환경적 개선효과를 살펴보고자 한다.

2. 연구 목적 및 범위

2.1 연구 목적

본 연구의 목적은 공정폐액 재활용 공정에 대한 전과정평가를 수행하고, 환경영향범주별 주요이슈를 규명하는데 있다. 또한 재활용 귀금속(금, 은) 사용에 따른 환경영향의 회피효과를 분석하고자 한다.

2.2 연구범위

2.2.1 대상 시스템

본 연구의 전과정평가 대상 기술은 액정 디스플레이(LCD, Liquid Crystal Display), 반도체 등의 생산공정에서 발생한 공정폐액에서 귀금속(금, 은)을 회수하는 재활용 기술이다.

2.2.2 기능, 기능단위 및 기준흐름 설정

본 연구는 공정폐액 재활용 기술에 대한 환경성을 평가하기 위해 Table 1과 같이 기능, 기능단위 및 기준흐름을 나타내었다. 이 때 기능단위는 공정폐액 처리를 기준으로 하였다.

Table 1 공정폐액 재활용 기술의 기능, 기능단위 및 기준흐름

| 구분 | 공정폐액 재활용 |
|------|-------------------------------------|
| 기능 | LCD, 반도체 등의 생산공정에서 발생하는 폐액 내 귀금속 회수 |
| 기능단위 | 귀금속 함유 폐액 1L 처리 |
| 기준흐름 | 귀금속 함유 폐액 1L |

2.2.3 시스템 경계

일반적으로 폐기물의 재활용 단계는 재생공정을 진행하기 전에 수집, 운송, 선별공정 등이 필요하다. 본 연구의 대상 기술은 현재 개발단계이기 때문에 관련 데이터 수집 가능성을 고려하여 시스템 경계를 재활용 공정(Gate to Gate)으로 설정하였다.

2.2.4 제외기준

본 연구에서는 재활용 공정에 투입, 배출되는 물질에 대한 모든 데이터를 포함하는 것을 원칙으로 하였다. 그러나 재활용 공정에 원료물질로 투입되는 공정폐액에 대한 환경부하는 열린고리 재활용 시스템(Open loop recycling system)의 제외기준(Cut-off criteria)을 적용하여 제외하였다. 그 외 제품 생산과 직접적인 연관이 없는 사무시설 및 편의시설 등은 제외하였다.

2.2.5 가정 및 제한사항

본 연구의 공정폐액 재활용에 대한 가정 및 제한사항은 다음 과 같다.

- 1) 현재 개발단계의 데이터이므로 수집 할 수 없는 데이터는 관련 기술 전문가에 자문과 검토 등을 통해 계산에 의해 물질수지를 도출하였다.
- 2) 원료물질인 공정폐액에 대한 환경영향은 Open loop recycling의 Cut-off 기준을 적용하여 본 연구에서 제외하였다.
- 3) 투입되는 물질 중 국가 전과정 목록분석 데이터베이스(LCI DB, Life Cycle Inventory Database)가 없는 경우 해외 LCI DB를 적용하였으며, 국내의 LCI DB에서 동일한 물질에 대한 DB가 없는 경우 유사한 물질에 대한 LCI DB를 선정하여 적용하였다.
 - KCN : 청화소다(Sodium cyanide, NaCN), 환경부
 - 차염 : Sodium hypochlorite. 15% in H₂O, at plant, Ecoinvent
 - 자철석 : Magnetite, at plant, Ecoinvent
 - 음극 : 구리로드, 산업통산자원부
 - 폐액 폐수처리 : Treatment, wafer fabrication effluent, to wastewater treatment, class 2, Ecoinvent
 - 재생은 : Silver, secondary, at precious metal refinery, Ecoinvent
 - 재생금 : Gold, secondary, at precious metal refinery, Ecoinvent
- 4) 개발단계의 기술로 원료물질 및 폐기물의 수송에 대한 정보가 존재하지 않아 수집, 선별 및 수송공정은 시스템경계에서 제외하였다.

3. 데이터 수집 및 계산

3.1 공정흐름도 작성

초기 수집된 공정흐름도(process flow diagram)를 근거로 현장데이터 수집단위인 단위공정을 결정하였다. 데이터 수집의 용이성, 공정 특성 등을 고려하여 단위공정을 박리공정, 침전공정, 기타 금속분리공정, 중금속제거공정, 귀금속용해공정, 귀금속회수공정 6개로 구분하였다. 공정폐액 재활용에 대한 공정흐름도는 다음 fig. 1에 제시하였다.

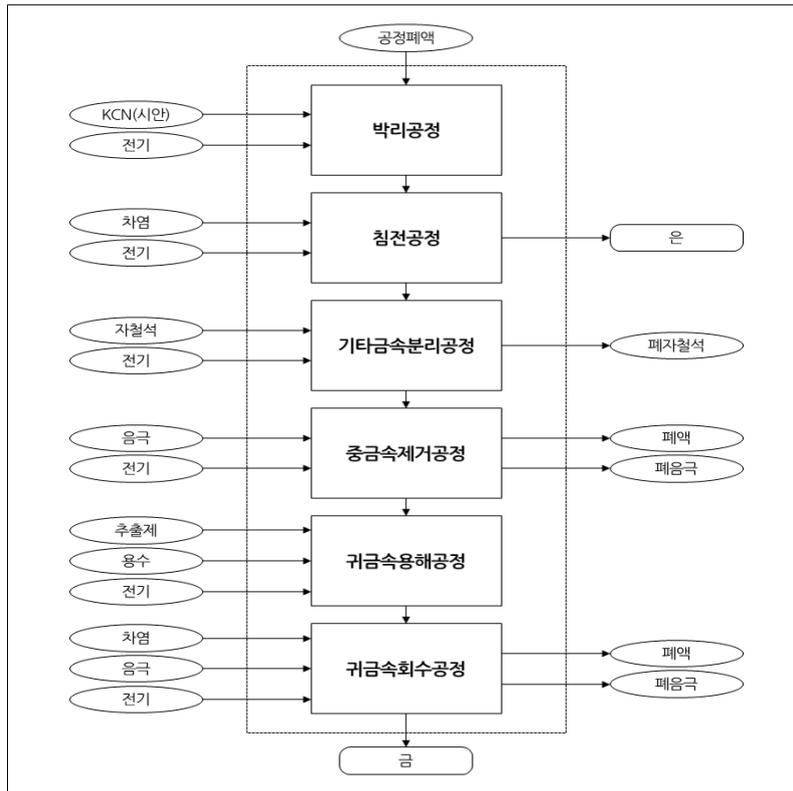


Fig. 1 공정폐액 재활용 기술의 공정흐름도

3.2 데이터 수집 및 계산

3.2.1 데이터 수집

데이터 수집은 공정폐액 재활용 기술 개발 업체의 현장데이터를 우선 적용하는 원칙에 따라 설문서를 통하여 투입·산출물에 대한 현장데이터를 수집하였다. 데이터 수집이 불가능한 경우 계산 및 추정을 통하여 데이터를 수집·보완하였다.

원료물질, 보조물질, 에너지, 폐기물 등 투입·산출물에 대한 환경영향을 산출하기 위해 LCI 데이터베이스를 활용하였다. 국내 LCI 데이터베이스는 환경부와 산업통상자원부(구 지식경제부)에서 구축한 데이터베이스를 적용하며, 해외 LCI 데이터베이스는 Ecoinvent에서 구축한 데이터베이스를 활용하였다.

3.2.2 데이터 계산

물질수지, 단위공정, 기준단위, 데이터 통합 등은 전과정평가 일반원칙을 따라 데이터를 검증·계산하였다. 주요 원료 및 보조물질 등 투입물과 산출물에 대한 데이터 출처는 다음 Table 2와 같다.

Table 2 공정폐액 재활용 기술의 데이터 출처

| 구분 | 물질명 | 용도 | 데이터 출처 | | | 비고 |
|------|-----|----------|---------------|----|----|---------|
| | | | 실측 | 계산 | 추정 | |
| 박리공정 | 투입 | 귀금속함유 폐액 | | V | | 환경부하 제외 |
| | | KCN(시안) | | V | | |
| | 에너지 | 전기 | 펌프, 압축공기, 크레인 | | V | |
| | | 배출 | 귀금속함유 폐액 | | V | |

| | | | | | | |
|-----------|-------|----------|------------|-------|---------------|--------------|
| 침전공정 | 투입 | 귀금속함유 폐액 | 중간물질 | V | | |
| | | 차염 | 첨가제 | V | | |
| | 에너지 | 전기 | 압축공기, 교반모터 | | V | |
| | | 배출 | 은 | 제품 | V | |
| 귀금속함유 폐액 | 중간물질 | | V | | 기타금속분리공정으로 투입 | |
| 기타금속 분리공정 | 투입 | 귀금속함유 폐액 | 중간물질 | V | | |
| | | 자철석 | 정제용 매질 | | V | |
| | 에너지 | 전기 | 압축공기, 교반모터 | | V | |
| | | 배출 | 폐자철석 | 고형폐기물 | | V |
| 귀금속함유 폐액 | 중간물질 | | V | | 중금속제거공정으로 투입 | |
| 중금속 제거공정 | 투입 | 귀금속함유 폐액 | 중간물질 | V | | |
| | | 음극 | 보조물질 | V | | |
| | 에너지 | 전기 | 펌프, 정류기 | | V | |
| | | 배출 | 폐액 | 수계배출물 | V | |
| 폐음극 | 고형폐기물 | | V | | 일반폐기처리 | |
| 귀금속 용해공정 | 투입 | 박리액 | 원료물질 | V | | |
| | 에너지 | 전기 | 펌프, 교반모터 | | V | |
| | 배출 | 박리액 | 중간물질 | V | | 귀금속회수공정으로 투입 |
| 귀금속 회수공정 | 투입 | 박리액 | 중간물질 | V | | |
| | | 차염 | 첨가제 | V | | |
| | | 음극 | 보조물질 | V | | |
| | 에너지 | 전기 | 펌프, 정류기 | | V | |
| | 배출 | 금 | 제품 | V | | |
| | | 폐액 | 수계배출물 | V | | 폐수처리 |
| 폐음극 | | 고형폐기물 | V | | 일반폐기처리 | |

3.3 전과정 영향평가

전과정 영향평가는 환경부 영향평가 방법론(Type III*)을 적용하였다. 전과정평가 소프트웨어인 SimaPro를 활용하여 지구온난화, 자원소모, 산성화, 부영양화, 광화학적산화물생성의 5대 영향 범주에 대해 환경영향을 평가하였다.

Table 3 영향범주별 특성화 모델(TypeIII)

| 환경영향범주 | 단위 | 출처 |
|-------------------|---------------------------------------|--|
| 지구온난화 (GWP) | kg CO ₂ -eq. | IPCC 1996, GWP 100 years. |
| 자원소모 (ADP) | kg Sb-eq. | EIA, International Energy Annual 2000, 2002 (Crude oil, Natural Gas, Coal 에 해당) U.S Geological Survey(USGS) 2001~2002(그외) |
| 산성화 (AP) | kg SO ₂ -eq. | CML 1999, Hauschild & Wenzel, 1998 |
| 부영양화 (EP) | kg PO ₄ ³⁻ -eq. | Heijungs et al 1992, (with some modifications) |
| 광화학적산화물 생성 (POCP) | kg C ₂ H ₄ -eq. | CML 1999, Jenkin & Hayman, 1999; Derwent et al. 1998; high NOx |

* TypeIII는 환경라벨 유형의 한 가지로, 제품의 환경성에 대한 정보를 정량화하여 제품에 표시하는 것을 의미함. 우리나라는 환경부에서 운영하는 환경성적표지제도가 있으며, 이는 재료 및 제품의 환경성 제고를 위해 생산, 유통, 소비 및 폐기단계 등의 전과정에 대한 환경성 정보를 정량적으로 표시하는 제도임.

4. 환경성 평가 결과

4.1 영향범주별 주요이슈 분석

공정폐액 1L를 재활용하는데 있어 영향범주별 영향평가결과를 분석한 결과, 지구온난화(GWP)는 5.26E-02 kg CO₂-eq.으로 분석되었으며, 자원고갈(ADP)은 3.06E-04 kg Sb-eq., 산성화(AP)는 1.31E-04 kg SO₂-eq., 부영양화(EP)는 9.70E-05 kg PO₄³⁻-eq., 광화학산화물생성(POCP)은 5.82E-05 kg C₂H₄-eq.의 환경영향이 발생하는 것으로 조사되었다.

다음 Table 4, Table 5에 단위공정별 및 투입·산출물별 특성화 결과를 제시하였으며, 주요 영향을 미치는 요인을 표시하였다.

Table 4 공정폐액 재활용 기술의 단위공정별 특성화 결과값(기능단위: 폐액 1L 처리 기준)

| 구분 | 지구온난화 (GWP) | 자원소모 (ADP) | 산성화 (AP) | 부영양화 (EP) | 광화학산화물 생성 (POCP) |
|----------|-------------------------|------------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | kg CO ₂ -eq. | kg Sb-eq. | kg SO ₂ -eq. | kg PO ₄ ³⁻ -eq. | kg C ₂ H ₄ -eq. |
| 박리공정 | 1.14E-02 | 5.63E-05 | 3.91E-05 | 5.42E-06 | 1.82E-05 |
| 침전공정 | 4.21E-03 | 2.68E-05 | 8.52E-06 | 1.34E-06 | 3.26E-06 |
| 기타금속분리공정 | 3.63E-04 | 2.21E-06 | 9.63E-07 | 1.26E-07 | 2.54E-07 |
| 중금속제거공정 | 1.62E-02 | 1.04E-04 | 3.11E-05 | 4.38E-05 | 1.35E-05 |
| 귀금속용해공정 | 4.71E-03 | 1.66E-05 | 2.26E-05 | 2.80E-06 | 1.03E-05 |
| 귀금속회수공정 | 1.57E-02 | 9.96E-05 | 2.90E-05 | 4.36E-05 | 1.27E-05 |
| 합계 | 5.26E-02 | 3.06E-04 | 1.31E-04 | 9.70E-05 | 5.82E-05 |

Table 5 공정폐액 재활용 기술의 투입·산출물별 특성화 결과값(기능단위: 폐액 1L 처리 기준)

| 구분 | 지구온난화 (GWP) | 자원소모 (ADP) | 산성화 (AP) | 부영양화 (EP) | 광화학산화물 생성 (POCP) |
|--------|------------------------|------------|------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | kg CO ₂ eq. | kg Sb eq. | kg SO ₂ eq. | kg PO ₄ ³⁻ eq. | kg C ₂ H ₄ eq. |
| KCN | 1.01E-02 | 3.38E-05 | 5.16E-05 | 6.35E-06 | 2.34E-05 |
| 차염 | 8.75E-04 | 4.72E-06 | 3.94E-06 | 3.08E-07 | 2.28E-07 |
| 자철석 | 9.73E-05 | 4.93E-07 | 4.11E-07 | 2.95E-08 | 2.36E-08 |
| 음극 | 9.15E-04 | 6.56E-06 | 3.78E-06 | 3.28E-07 | 8.58E-07 |
| 전기 | 3.96E-02 | 2.57E-04 | 6.68E-05 | 1.24E-05 | 3.34E-05 |
| 용수 | 1.49E-04 | 5.53E-07 | 1.64E-09 | 1.27E-10 | 6.59E-08 |
| 폐수처리 | 8.63E-04 | 2.08E-06 | 4.57E-06 | 7.75E-05 | 1.71E-07 |
| 폐기물 소각 | 1.85E-05 | 1.06E-07 | 1.35E-07 | 1.84E-08 | 2.12E-08 |
| 합계 | 5.26E-02 | 3.06E-04 | 1.31E-04 | 9.70E-05 | 5.82E-05 |

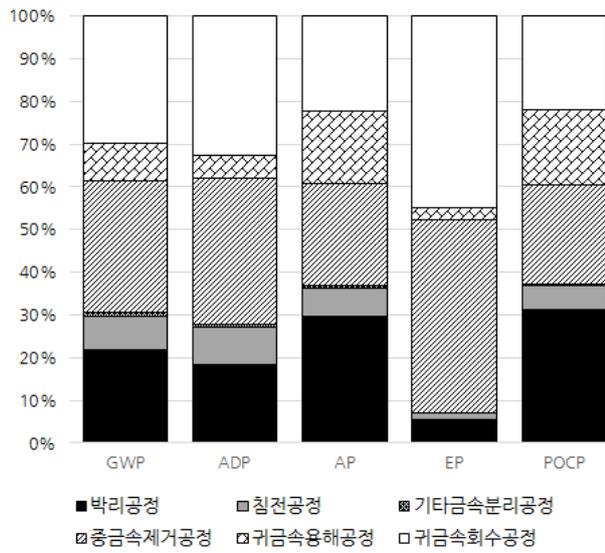


Fig. 2 공정폐액 재활용 기술의 단위공정별 특성화 기여도

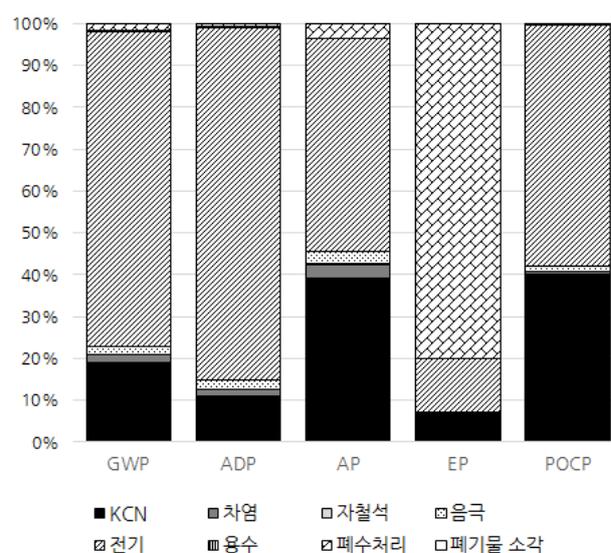


Fig. 3 공정폐액 재활용 기술의 투입·산출물별 특성화 기여도

4.1.1 지구온난화(GWP)

공정폐액 1L를 재활용하는데 5.26E-02 kg의 CO₂를 배출하며, 중금속제거공정(30.80%), 귀금속회수공정(29.78%), 박리공정(21.76%), 귀금속용해공정(8.96%), 침전공정(8.01%), 기타금속분리공정(0.69%) 순으로 큰 영향을 미치는 것으로 도출되었다. 투입·산출물 기준으로 살펴보면 전기(75.31%)가 가장 많은 영향을 미치며, 그 다음으로 KCN(19.14%), 음극(1.74%), 차염(1.66%), 폐수처리(1.64%), 용수(0.28%), 자철석(0.19%), 폐기물소각(0.04%) 순으로 지구온난화에 큰 영향을 미치는 것으로 도출되었다. 이러한 결과는 중금속제거공정 및 귀금속회수공정에서 다량의 전기 에너지를 사용하며, 박리공정에서 많은 양의 KCN을 사용하기 때문으로 조사되었다.

4.1.2 자원고갈(ADP)

공정폐액 1L를 재활용하는데 자원소모 영향은 3.06E-04 kg Sb-eq.이며, 중금속제거공정(34.06%), 귀금속회수공정(32.58%), 박리공정(18.42%), 침전공정(8.78%), 귀금속용해공정(5.44%), 기타금속분리공정(0.72%) 순으로 큰 영향을 미치는 것으로 도출되었다. 투입·산출물 기준으로 살펴보면 전기(84.20%), KCN(11.05%), 음극(2.14%), 차염(1.54%), 폐수처리(0.68%), 용수(0.18%), 자철석(0.16%), 폐기물소각(0.03%) 순으로 자원소모에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 귀금속용해공정을 제외한 모든 공정의 주요이슈는 전기이며, 전기 생산 시 다량의 화석연료가 소비되는데 이로 인한 자원고갈 영향이 큰 것을 알 수 있다.

4.1.3 산성화(AP)

공정폐액 1L를 재활용하는데 산성화 영향은 1.31E-04 kg SO₂-eq.이며, 박리공정(29.79%), 중금속제거공정(23.70%), 귀금속회수공정(22.11%), 귀금속용해공정(17.18%), 침전공정(6.49%), 기타금속분리공정(0.73%) 순으로 큰 영향을 미치는 것으로 도출되었다. 투입·산출물 기준으로 살펴보면 전기(50.89%), KCN(39.33%), 폐수처리(3.48%), 차염(3.00%), 음극(2.88%), 자철석(0.31%), 폐기물소각(0.10%), 용수(0.001%) 순으로 산성화에 큰 영향을 미치는 것으로 도출되었다. 귀금속을 분리하기

위한 박리용액에 사용되는 KCN이 박리공정 및 귀금속용해공정에서의 주요이슈이다. 그 외 나머지 공정의 주요이슈는 공정운동을 위한 전기 사용이다.

4.1.4 부영양화(EP)

공정폐액 1L를 재활용하는데 부영양화 영향은 $9.70E-05$ kg PO_4^{3-} -eq.이며, 중금속제거공정(45.11%), 귀금속회수공정(44.91%), 박리공정(5.58%), 귀금속용해공정(2.89%), 침전공정(1.38%), 기타금속분리공정(0.13%) 순으로 큰 영향을 미치는 것으로 도출되었다. 투입·산출물 기준으로 살펴보면 폐수처리(79.93%), 전기(12.82%), KCN(6.55%), 음극(0.34%), 차염(0.32%), 자철석(0.03%), 폐기물소각(0.02%), 용수(0.00%) 순으로 부영양화에 큰 영향을 미치는 것으로 도출되었다. 부영양화는 다른 영향범주와는 다르게 폐수처리가 주요이슈로 도출되었으며, 중금속제거공정 및 귀금속회수공정에서 발생한 폐액을 최종 처리할 때에 부영양화에 영향을 미치는 물질이 다량 배출된다.

4.1.5 광화학산화물생성(POCP)

공정폐액 1L를 재활용하는데 광화학적산화물생성 영향은 $5.82E-05$ kg C_2H_4 -eq.이며, 박리공정(31.26%), 중금속제거공정(23.14%), 귀금속회수공정(21.83%), 귀금속용해공정(17.73%), 침전공정(5.60%), 기타금속분리공정(0.44%) 순으로 큰 영향을 미치는 것으로 도출되었다. 투입·산출물 기준으로 살펴보면 전기(57.38%), KCN(40.27%), 음극(1.47%), 차염(0.39%), 폐수처리(0.29%), 용수(0.11%), 자철석(0.04%), 폐기물소각(0.04%) 순으로 부영양화에 큰 영향을 미치는 것으로 도출되었다. 귀금속을 분리하기 위한 박리용액에 사용되는 KCN이 박리공정 및 귀금속용해공정에서의 주요이슈이다. 그 외 나머지 공정의 주요이슈는 공정운동을 위한 전기 사용이다.

4.2 신재 대체로 인한 회피영향(Avoided impact) 분석

환경영향에 대한 회피영향(Avoided impact) 분석은 시스템경계를 모든 관련된 전과정 시스템으로 확장시켜 할당하는 것이다. 예를 들어 어떤 한 전과정 시스템에서 물질이 사용된 후 재활용되어 다음 단계의 원료물질로 사용되는 경우, 이 재활용된 물질의 사용으로 인하여 다음 단계에서 감소된 환경영향에 대한 이득을 전 단계 전과정 시스템에 부여하는 방법이다.

본 연구의 공정폐액 재활용공정에서는 재생금과 재생은이 생산되며, 이는 다른 제품의 시스템 경계에서 사용될 수 있으므로 재생금과 재생은에 대한 회피영향을 고려해 주어야 된다. 즉, 공정폐액 처리공정에서 재생금과 재생은이 생산되지 않는다면 그만큼의 금과 은을 생산하기 위해서 원료의 채취부터 생산에 이르기까지의 투입·산출물에 의한 환경부하가 발생하였을 것이지만, 재생금과 재생은의 회수로 인해 그러한 환경부하가 생기는 것을 방지한 것과 동일한 효과를 얻게 된다. 이를 회피영향이라 정의하며 일반적으로 음(-)의 값을 갖는다.

회피영향을 분석하기 위해 본 연구대상 시스템인 공정폐액 재활용 공정에서 생산된 재생금과 재생은이 타 재활용시스템에서 생산된 재생금과 재생은을 대체한 것으로 설정하였다. 이때 회피영향을 산정하기 위해서 Ecoinvent의 Gold, secondary, at precious metal refinery(재생금), Silver, secondary, at precious metal refinery(재생은) LCI DB를 활용하였다.

다음 Table 6, Fig. 4는 재생금, 재생은 대체에 따른 회피영향을 고려한 지구온난화 결과이다. 공정폐액 1L를 처리할 때 $5.26E-02$ kg의 이산화탄소를 배출하는데, 재생금과 재생은을 대체함으로써 $2.35E-01$ kg의 이산화탄소가 배출되는 것을 방지한 것과 동일한 효과를 나타낸다. 따라서 재생금과 재생은의 회피영향을 고려한 공정폐액 1L 처리에 대한 지구온난화 영향은 $-1.83E-01$ kg CO_2 -eq.이다.

Table 6 회피영향이 고려된 폐액처리의 지구온난화 영향(공정폐액 1L 처리기준)

| 구분 | 지구온난화 특성화 결과 (kg CO ₂ eq.) |
|----------------------|--|
| 박리공정 | 1.14E-02 |
| 침전공정 | 4.21E-03 |
| 기타금속분리공정 | 3.63E-04 |
| 중금속제거공정 | 1.62E-02 |
| 귀금속용해공정 | 4.71E-03 |
| 귀금속회수공정 | 1.57E-02 |
| 재생은 Avoided impact | -3.96E-03 |
| 재생금 Avoided impact | -2.31E-01 |
| 폐액 1L 처리 환경영향 | -1.83E-01 |

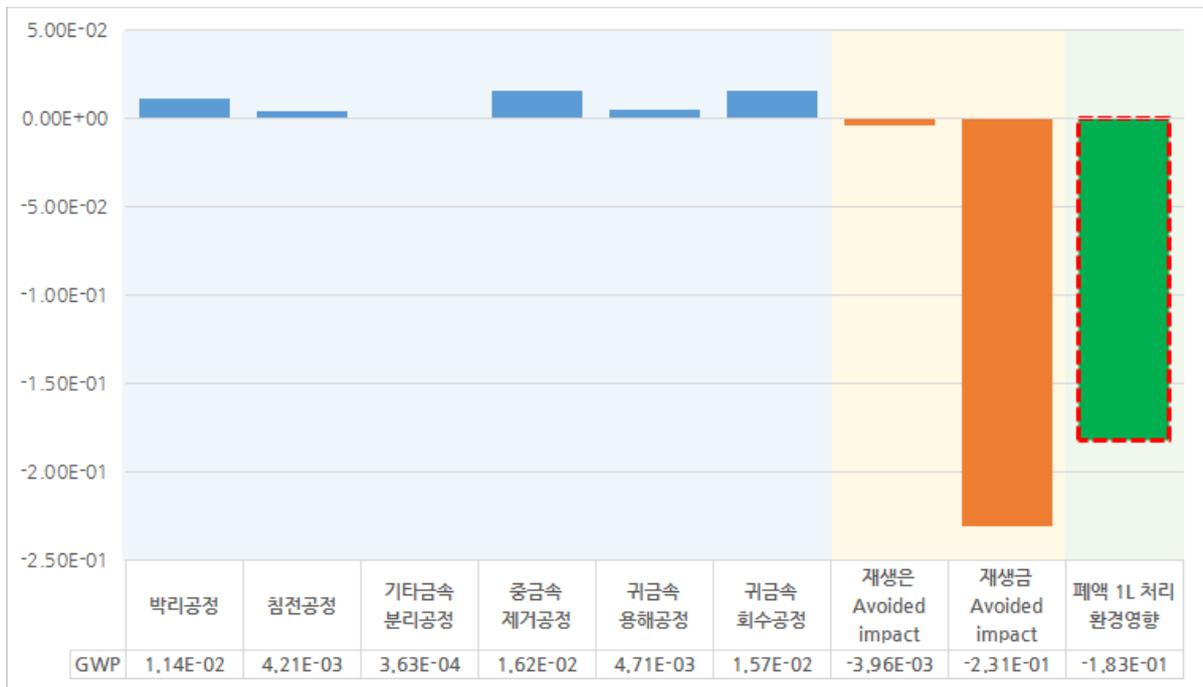


Fig. 4 회피영향이 고려된 공정폐액 처리공정의 지구온난화 영향(단위: kg CO₂ eq)

5. 결론 및 고찰

본 연구에서는 공정폐액 재활용 공정에 대한 전과정평가를 수행하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 공정폐액 1L 처리 시 지구온난화 영향은 5.26E-02 kg CO₂-eq., 자원소모 영향은 3.06E-04 kg Sb-eq., 산성화 영향은 1.31E-04 kg SO₂-eq. 부영양화 영향은 9.70E-05 kg PO₄³⁻-eq., 광화학 적산화물생성 영향은 5.82E-05 kg C₂H₄-eq.로 도출되었다.

- 2) 공정폐액 재활용 공정 중 중금속제거공정 및 귀금속회수공정, 박리공정이 모든 환경영향 범주에서 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 투입·산출물 중 공정운영에 사용되는 전기와 박리액 중 KCN이 지구온난화, 자원소모, 산성화, 광화학적산화물생성 영향범주에서 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 다만, 부영양화 영향범주에서는 폐수처리에 관한 영향이 큰 것으로 도출되었다.
- 3) 전체 환경영향범주에 있어 전기와 KCN으로 인한 영향기여도가 가장 크기 때문에 에너지 효율 향상 및 환경영향이 낮은 에너지원으로의 변경, 신재생에너지 적용 등의 방안 마련이 필요하다. 또한 KCN을 대체할 수 있는 물질에 대한 원단위 환경영향 비교가 필요하며, 공정 내에서 KCN 사용량을 줄일 수 있는 방안이 필요하다.
- 4) 공정폐액 1L를 처리할 때 $5.26E-02$ kg의 이산화탄소를 배출하는데, 재생금과 재생은을 대체함으로써 $2.35E-01$ kg의 이산화탄소가 배출되는 것을 방지한 것과 동일한 효과를 나타낸다. 따라서 재생금과 재생은의 회피영향을 고려한 공정폐액 1L 처리에 대한 지구온난화 영향은 $-1.83E-01$ kg CO₂-eq.이다. 이처럼 금, 은에 대한 환경영향 회피효과가 매우 크고, 재활용 기술에 대한 경제성 또한 확보되기 때문에 다양한 활용 가능성이 존재할 것으로 보인다.

사사

본 논문은 환경부 글로벌탑 환경기술개발사업 중 유용자원재활용기술개발사업의 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다(과제번호:GT-11-C-010-000-0).

Reference

- 1) 허탁 외 2명, 환경 전과정평가(LCA)의 이론과 지침, 한국품질환경인증협회(KAB). 1998
- 2) 환경성적표지 LCI 데이터베이스, www.edp.or.kr
- 3) Ecoinvent 데이터베이스, www.ecoinvent.org
- 4) ISO 14040, 2006: Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework.
- 5) ISO 14044, 2006: Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guideline.