

전과정평가 영향범주 별 경제 가치 분석에 관한 연구

안중우, *김대수, 양인목, **조봉규, **조영주

성신여대 청정융합학과, *서울대학교 환경대학원, **폐금속·유용자원재활용기술개발 사업단

A Study on the Economic Value Analysis of Life Cycle Assessment Impact Categories

Joong Woo Ahn, *Daesoo Kim, Inmog Yang, **Bong Gyoo Cho, **Youngju Cho

Dept. of Interdisciplinary ECO Science, Sungshin Women's Univ.

*Graduate School of Environmental Studies, Seoul National Univ.

**Research & Development Center for Valuable Recycling, Ministry of Environment

Abstract

There have been many studies estimating the environmental damage cost for different areas. However, most studies focused on environmental issues even with reflecting social and environmental value, but the results could not show comparable indicators. This study has been conducted to investigate the economic value of environmental impact based on the LCA six impact categories in order to compare their values, such as resource depletion, global warming, ozone depletion, acidification, eutrophication, and photochemical oxidant creation. The result shows KRW 11,408/kg Sb, KRW 26.65/kg CO₂, KRW 139,970/kg CFC-11, KRW 2,599/kg SO₂, KRW 15,253/kg PO₄³⁻, and KRW 3,030/kg C₂H₄.

1. 서론

환경 문제에 대한 관심이 높아지면서 환경부하가 환경만의 문제를 넘어 국가와 기업의 의사결정 과정에 있어 중요한 요소로 부상되고 있다. 올바른 의사 결정을 위해서는 우선 환경부하에 따른 환경영향이 어느 정도인지를 정량적으로 파악하는 것이 필요하다. 환경영향을 정량적으로 평가하는 방법으로 전과정평가(LCA, Life Cycle Assesment)가 대표적이다. LCA는 제품의 원료 물질 취득부터 가공, 제조, 사용, 운송, 폐기 및 재활용의 전과정 각 단계에 걸쳐 발생하는 환경부하를 분석하여 잠재적 환경영향을 평가하는 체계적인 분석 도구로서, 환경성을 정량화하여 기업의 환경경영과 공공기관의 환경정책을 촉진하기 위한 수단으로 사용되고 있다.

환경부하에 대한 피해비용을 산출하는 연구는 다양한 분야에서 꾸준히 진행되고 있다. 그러나 기존 국내 연구의 대부분은 특정 산업에서 배출하는 주요 오염물질이나 환경 사고 등 특정 이슈에

의한 피해비용을 산출하였기 때문에 산업별 또는 기술별로 비교 가능한 원단위로 그 가치를 도출한 연구 진행은 미흡한 실정이다.

본 연구는 산업별·기술별로 비교 가능한 경제적 원단위를 도출하여 국내 산업의 친환경 산업 체계 전환을 위한 정책 수립의 기반이 될 수 있는 객관적인 지표를 제공하기 위해 수행되었다. 원단위 기준은 LCA의 6대의 영향 범주를 선정하였으며, 비용편익분석기법에 기초하여 영향범주 별 기준 오염 물질에 대한 경제적 편익 또는 비용을 분석하고, 최종적으로 사회적 편익을 포함하는 영향범주 별 경제적 원단위를 계산하였다.

2. 영향범주 별 경제적 원단위 산출

환경부하 영향범주 별 경제적 원단위는 전과정평가의 환경적 원단위에 기초하여 도출하였다. 세부 영향물질에 따른 환경오염비용을 추정하는 것이 바람직할 수 있으나, 비교 가능성 및 대표성을 고려하여 영향범주 별로 원단위 산출 방법을 사용하였다. 6대 영향범주 별 경제적 원단위는 다음 <Table 1>과 같으며, 아래에서는 각각의 도출과정을 기술하였다.

Table 2. 영향범주 별 경제적 원단위

영향범주	경제적 원단위	영향범주	경제적 원단위
자원소모	11,408원/kg Sb	산성화	2,599원/kg SO ₂
지구온난화	26.65원/kg CO ₂	부영양화	15,253원/kg PO ₄ ³⁻
오존층영향	139,970원/kg CFC11	광화학적 산화물 생성	3,030원/kg C ₂ H ₄

2.1 자원소모(안티몬)

자원소모에 미치는 영향은 주로 안티몬(Sb: antimony)으로 환산하여 kg Sb-eq 단위로 나타낸다. 따라서 자원소모 저감에 따른 경제적 편익을 추정하기 위해 안티몬(Sb)의 국제 거래가격을 사용하였다. 안티몬의 국제 거래가격은 철강, 비철금속 및 고철관련 대표적인 정보제공 사이트인 미국 Metal Price의 Historical data, Minor Metals의 월별 안티몬 가격의 평균값을 사용하였다. 본 연구에서는 안티몬의 2013년도 평균 거래가격 10.418USD/kg Sb에 2013년도 평균 환율 1,095.04원/USD를 적용한 11,408원/kg Sb를 적용하였다.

이와 관련하여 미국 지질조사국(U.S. USGS)의 2013년도 보고서¹⁾에 따르면 세계 안티몬의 75% 이상을 생산하는 중국에서 2010년부터 정책적으로 생산량을 조절하여 급격한 거래가격 상승을 초래했다. 다만 최근 들어 중국 광산이 다시 생산량을 늘리고, 일부 국가에서 lead-acid 전지를 재활용하여 안티몬을 생산하고 있어 거래가격이 소폭 하락하였다. 또한 2013년 4분기 가격이 9.843 ~ 10.472 USD/kg Sb 로 나타나고 있어 위에서 제시하고 있는 월별 평균거래가격을 사용하는 데에 문제가 없는 것으로 판단된다. <Table 2>와 <Fig. 1>에 안티몬(Sb) 국제 거래가격 추세를 제시하였다.

1) U.S. USGS, 2013 Minerals Yearbook - Antimony, 2013

Table 3. 세계 안티몬시장 거래가격 현황

구분	거래가격 (USD/kg Sb)	평균 환율 (원/USD)	단위당 거래가격 (원/kg Sb)
2008	6.346	1,102.59	6,997
2009	5.459	1,276.40	6,968
2010	9.495	1,156.26	10,979
2011	15.360	1,108.11	17,021
2012	12.938	1,126.88	14,580
2013	10.418	1,095.04	11,408

자료 : Metal Prices(<http://www.metalprices.com>) 재구성

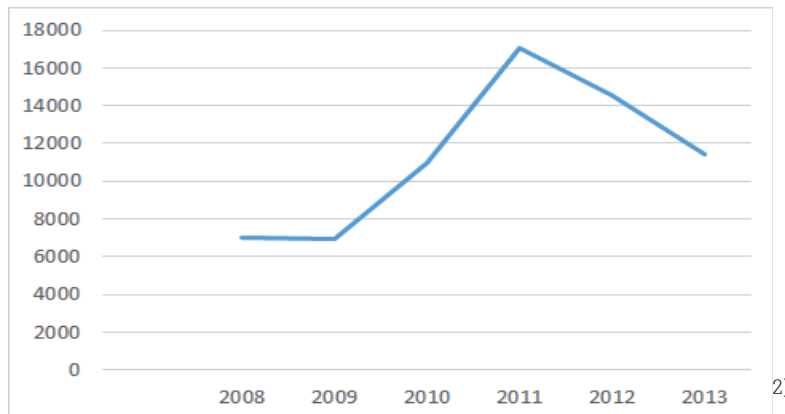


Fig. 1. 안티몬(Sb) 단위당 거래가격 추세

2.2 지구온난화

지구온난화에 미치는 효과는 대표적인 온실가스인 이산화탄소(carbon dioxide: CO₂)로 환산하여 kg CO₂-eq 단위로 나타낸다. 이러한 CO₂ 배출저감에 따른 경제적 편익을 추정하기 위해 영국 정부(UK DECC)³⁾가 2009년부터 매년 수행하고 있는 탄소가치추정 결과를 사용하였다. 여기서는 DECC가 가장 최근에 발표한 2014년 탄소가치추정 보고서를 준용하였다.

CO₂ 배출저감에 따른 경제적 편익을 추정한 대부분의 국내 선행연구는 국제탄소시장의 청정개발체제(CDM: Clean Development Mechanism)에서 발행되는 1 CERs(tonCO₂-eq/yr)의 단위당 거래가격을 사용하였다. 그러나 CDM에서 거래되는 가격으로 경제적 편익을 계산하면 과소추정의 가능성이 존재한다. 탄소시장은 온실가스를 배출할 수 있는 권한을 상품화하여 거래하는 특수한 시장을 나타내기 때문에 CO₂ 단위당 거래가격을 지구온난화 효과 감소에 따른 경제적 편익의 원단위로 사용할 경우 사회적·환경적 편익이 미반영 될 가능성이 높다. 이에 본 연구는 시장기반(Market-based Approach) 시나리오와 사회기반(Fundamental-based Approach) 시나리오를 구분하여 탄소가치를 추정한 영국 DECC의 연구결과를 사용하였다.

2) 자료: Metal Prices(<http://www.metalprices.com>) 재구성

3) UK Department of Energy & Climate Change(DECC), *Traded Carbon Values*, 2014.

앞서 언급했듯이 영국 정부가 2009년부터 해마다 발표하는 탄소가치는 크게 두 가지 시나리오를 구분하여 추정된다. 하나는 시장기반접근법을 사용하는 Central scenario이고, 또 다른 하나는 사회기반접근법을 적용하는 High scenario이다. Central scenario는 3개월 동안의 유럽 배출권가격 자료를 활용하여 거래가격의 평균값을 도출하여 탄소가치를 추정하고, High scenario는 배출전망치 (Business As Usual: BAU)와 배출허용량의 차이를 나타내는 한계저감수요곡선과 한계저감비용곡선 (Marginal Abatement Cost Curves: MACCs)이 교차하는 지점을 기준으로 해당연도의 화석연료 가격과 경제성장률을 반영하여 탄소가치를 도출한다. 여기서는 지구온난화에 미치는 효과에 대한 편익을 추정하기 때문에 두 시나리오 중 사회적·환경적 편익을 포함하는 High scenario의 추정치를 준용하였다. 따라서 본 연구에서는 영국정부(UK DECC)에서 발표한 2013년 탄소가치 추정치를 환산한 원단위 가격인 26.65원/kgCO₂-eq를 사용하였다. <Table 3>에서는 최근 4년간의 연도별 탄소가치 추정치와 원단위 가격의 변화를 제시하였다.

Table 4. 시나리오별 탄소가치 추정결과

구분	Central (£/tCO ₂ -eq)	High (£/tCO ₂ -eq)	평균 환율 (원/UK£)	원단위 (원/kgCO ₂ -eq)
2011	13	17	1,755.87	29.85
2012	5.76	11.98	1,785.37	21.39
2013	3.49	15.57	1,711.45	26.65

자료: UK DECC (<https://www.gov.uk/government/collections/carbon-valuation--2>) 재구성

Central scenario와 High scenario의 추정가치 추세와 High scenario를 기초로 평균 환율을 적용하여 계산한 원단위 산정결과를 비교하여 <Fig. 2>에 제시하였다.

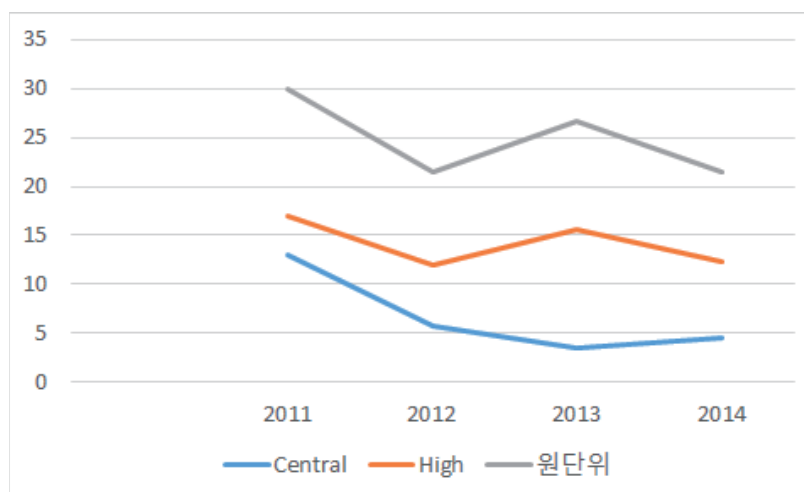


Fig. 2. 영국 DECC의 탄소가치 추정결과와 원단위 산정결과

2.3 오존층 영향

오존층 영향은 오존파괴지수(ODP: ozone depletion potential)가 1인 대표적인 오존층 파괴물질인 트리클로로플루오르메탄(CFC11: trichlorofluoromethane)으로 환산하여 kg CFC11-eq단위로 나타내게 된다. 따라서 오존층 영향 감소에 따른 경제적 편익을 추정하기 위해서는 CFC11 배출저감에 따른 경제적 편익에 대한 추정이 필요하다.

이와 관련하여 우선 「오존층보호를 위한 특정물질의 제조규제 등에 관한 법률」에 따른 ‘특정물질 사용합리화 기금 조성을 위한 수입금의 징수금액 및 징수방법 등에 관한 고시’(산업자원부고시 제 1999-39호)의 특정물질 수입금 징수금액을 검토하였다.⁴⁾ 수입금 산정기준은 각 물질 1kg의 공장도 가격에 대상물질의 오존파괴지수를 곱한 금액의 100% 이내로 정하도록 되어 있다. 예를 들어 고시 당시 ODP는 1인 CFC11의 경우 공장도 가격이 1,300원인데, 이의 15%인 195원을 징수금액으로 결정하였다. 따라서 이를 원단위로 사용하기에는 과소추정 되었다고 판단되어 오존층 영향 감소에 따른 경제적 편익 추정에 대한 다른 방법론을 검토하였다.

본 연구에서는 일본의 피해 산정형 전과정 영향평가 방법론(LIME2: Life-cycle Impact assessment Method of Endpoint modeling)에서 활용하고 있는 오존층 영향 평가 결과를 이용하였다. LIME2에서는 오존층 영향물질 배출이 3가지 보호대상, 즉 인체건강과 사회자산, 1차 생산에 미치는 영향을 고려하여 각각의 영향범주 별 종말점⁵⁾에 대한 피해함수를 통해 피해계수를 산정하였다. 또한 설문조사를 통한 도출한 보호대상별 통합화계수를 곱하여 최종적으로 단일지수화 하였다.

Table 5. 오존층 영향범주 별 화폐가치화

구분	피해계수	통합화계수	화폐가치화
인체건강	1.35×10^{-3} DALY/kg CFC11	9.70×10^{-3} JPY/DALY	1.30×10^4 JPY/kg CFC11
사회자산	9.03×10^1 JPY/kg CFC11	-	9.03×10^1 JPY/kg CFC11
1차 생산	2.90×10^2 kg/kg CFC11	2.02×10^4 JPY/ton	5.86×10^3 JPY/kg CFC11
합계	-	-	1.90×10^4 JPY/kg CFC11

자료: LIME2 (JLCA, 2012) 재구성

LIME2의 연구결과 1.90×10^4 JPY/kg CFC11에 2013년도 평균 환율 11.23 KRW/JPY을 곱한 후 일본과 우리나라의 2013년 1인당 GNI 비율 0.656로 할인하여 우리나라 오존층 영향에 따른 경제적 원단위 139,970원/kg CFC11을 도출하였다.⁶⁾ 여기서 1인당 GNI 비율을 적용한 이유는 통합화계수가 설문조사 결과를 바탕으로 도출되었기 때문이다. LIME2는 설문조사를 일본 지역 내로 한정하여 실시하였기 때문에 양국의 소득수준차이가 설문결과에 반영되었을 것이라 판단하였다.⁷⁾ 이에 양국

4) 수입금 징수금액은 몬트리올 의정서의 원활한 국내 이행과 오존층파괴물질의 생산 및 소비량 감축에 따른 관련 산업의 피해를 최소화하고 대체물질 사용시스템으로의 조기 전환을 유도하기 위한 특정물질 사용합리화 기금의 재원으로 활용하기 위해, 특정물질의 제조업자 및 수입업자와 특정물질이 포함된 제품의 수입업자에게 징수하는 부과금을 말함.

5) 각각의 보호대상에 대한 영향범주로는 인체건강의 경우 피부암과 백내장, 사회자산에서는 농업생산과 목재생산, 1차생산은 육역 생태계와 수역 생태계를 고려하고 있음.

6) 1인당 국민소득(GNI: Gross National Income)은 국민들의 생활수준을 나타내는 지표로서 연간 명목 국민총소득을 인구(7월 1일)로 나누어 구하며 국제비교를 위해 미 달러화(연평균 환율 적용)로 표시한 값을 말함.

간 소득차이를 나타내는 GNI를 적용하여 원단위를 산정하였다. 최근 6년간의 한국과 일본의 GNI 차이와 비율을 <Fig. 3>을 통해 제시하였다.

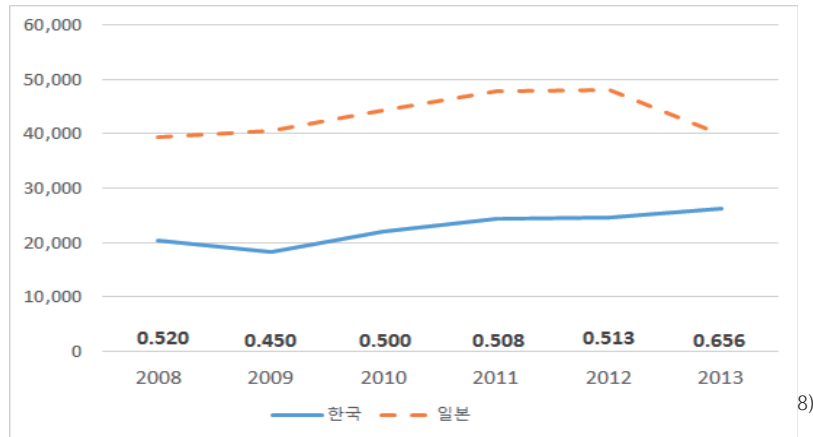


Fig. 3. 한국과 일본의 1인당 GNI 비교

2.4 산성화

산성화에 대한 영향은 이산화황(sulfur dioxide: SO₂)으로 환산하여 kg SO₂-eq 단위로 나타내게 된다. 이러한 SO₂ 배출저감에 따른 경제적 편익을 추정하기 위해 영국 정부(UK, IGCB: Interdepartmental Group on Costs and Benefits)에서 발간한 대기질 경제성 분석(Air quality: economic analysis, 2011)의 대기오염물질별 피해비용의 추정치를 사용하였다.

IGCB의 경제성 분석은 영국에서 대기환경을 개선하기 위한 전략 대응 프로그램으로, 그 기본목표 중 하나로 대기오염물질이 공중보건 및 환경에 미치는 다양한 영향분석을 수행하는 것을 상정하고 있다. 이러한 목표를 달성하기 위해 대기질의 변화에 따른 비용편익 분석 방법론을 개발하였고, 그 결과로 대기오염물질 원단위당 피해비용을 추정하여 발표하였다.⁹⁾ 대기오염이 피해로 전달되는 시간 차이에 따라 피해비용을 구분하여 민감도 분석을 실시하였다는 점에서 다른 연구와의 차별성을 갖는다고 할 수 있다. 본 연구에서는 세 가지 민감도 분석 결과 중 Central Estimate의 값을 사용하였다. IGCB(UK, 2011)에서 추정한 주요 대기오염 물질 별 피해비용을 연구시점인 2011년의 평균 환율을 적용하여 <Table 5>에 제시하였다.

7) 컨조인트 분석방법은 다양한 속성과 이들 속성의 다양한 수준에 대해 악화비용 또는 개선편익을 구할 수 있을 뿐 아니라 속성간의 상쇄효과를 추정할 수 있는 방법이다.

8) 자료: 국가통계포털, <http://www.kosis.kr/>

9) 자료: <https://www.gov.uk/air-quality-economic-analysis>

Table 6. 시나리오별 대기오염물질 피해비용 추정결과

구분	Low Estimate (원/kg)	Central Estimate (원/kg)	High Estimate (원/kg)
NOx	1,306	1,677	1,905
SOx	2,318	2,867	3,258
암모니아	2,700	3,463	3,934
PM industry	34,684	44,299	50,339

주: 2011년도 평균 환율(1,755.87원/£) 적용

자료: GOV.UK(<https://www.gov.uk/air-quality-economic-analysis>) 재구성

산성화에 대한 영향은 대부분 NOx와 SOx에 의해 발생한다. IGCB의 연구결과를 효과적으로 활용하기 위해 LCA에서 SO₂로 표시되는 산성화에 대한 영향을 NOx와 SOx에 할당하여 각각의 결과 값을 사용하였으며, 이를 위해 오염물질별 생산 활동에 따른 배출량과 특성화인자를 활용하였다. 환경부 대기정책지원시스템의 대기오염물질 배출량 통계에 의하면 에너지 산업 연소와 제조업 연소 및 생산 공정에 의한 NOx의 SOx의 배출량이 2011년도 기준으로 각각 40만 톤과 30만 톤으로 집계되어 산성화에 따른 환경영향을 NOx와 SOx에 각각 57%와 43%씩 할당하였다. 산성화에 대한 오염물질별 환경영향을 계산하기 위해 적용한 NOx와 SOx의 배출량에 대한 추이를 <Fig. 4>에 제시하였다.

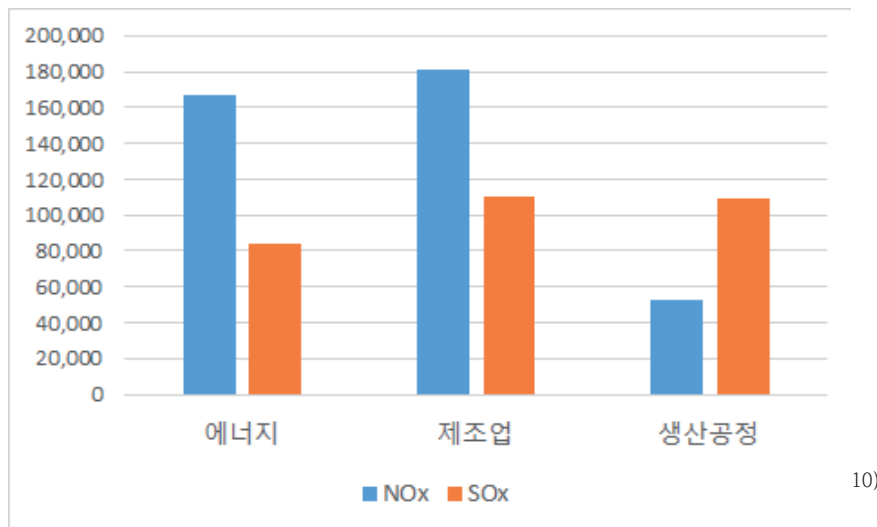


Fig. 4. NOx와 SOx의 배출량 비교

한편, LCA 방법론에서는 사용하는 특성화 인자는 NOx가 0.7이고 SOx가 1이기 때문에 위의 값을 해당 특성화 인자로 나누어 각각의 환경영향을 추정하면 NOx는 0.81, SOx는 0.43으로 계산되었다. 위와 같은 NOx와 SOx의 환경영향 계산과정을 <Table 6>에 정리하였다.

10) 자료: 대기오염물질 배출량 데이터베이스(<http://airemiss.nier.go.kr/>) 재구성

Table 7. NOx와 SOx의 배출량 및 특성화 인자

구분	2011년도 배출량 (톤)			배출 비율(%)	특성화 인자	환경영향
	에너지	제조업	생산공정			
NOx	166,709	181,219	53,077	56.90	0.7	0.8129
SOx	84,464	109,878	109,342	43.09	1.0	0.4309

자료: 대기오염물질 배출량 데이터베이스(<http://airemiss.nier.go.kr/>) 재구성

UK IGCB(2011)에 의하면 NOx와 SOx에 의한 평균 피해비용은 평균 환율을 적용하여 1kg 당 1,306~1,905원 및 2,318~3,258원이다. 앞서 언급했듯이 본 연구에서는 Central Estimate 결과인 1,677원/kg NOx와 2,867원/kg SOx를 산성화에 따른 경제적 편익의 원단위로 사용하였다. 이와 같은 추정치에 국내 배출비율과 특성화 인자를 통해 계산한 각각의 환경영향을 적용하여 산성화 감소에 의한 경제적 편익을 환산하기 위한 원단위를 추정하였다. 최종적으로 얻은 원단위 추정결과는 2,599원/kg SO₂-eq이다.

2.5 부영양화

부영양화에 대한 영향은 인산염(phosphate: PO₄³⁻)으로 환산하여 kg PO₄³⁻-eq 단위로 나타내게 된다. 이러한 PO₄³⁻배출 감소에 따른 경제적 편익을 추정하기 위해, 우리나라 하수 처리장의 수질오염물질 제거 단가를 사용하였다. 제거 단가는 「2012년도 공공하수처리시설 운영관리 실태조사 결과」의 자료를 활용하였다. 이 보고서는 2012년 말 기준으로 우리나라에서 운영되고 있는 시설 용량 500톤/일 이상 543개 공공하수처리시설을 대상으로 하였다. 이중 별도의 총인처리시설이 설치되어 있는 개소가 264개소이며, 이는 전체 공공하수처리시설에서 49%를 차지하였다. 총인처리기술의 설치 여부에 따라 하수처리비용과 TP제거비용의 다소 차이가 있는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 총인처리시설이 설치되어 있는 하수처리시설의 TP 제거비용 46,742 원/kg 을 부영양 감소에 따른 경제적 편익을 추정하기 위한 원단위로 활용하였다. <Table 7>에서는 총인처리시설과 비총인처리시설의 하수처리비용 및 TP 제거비용을 비교하여 제시하였다.

Table 8. 2012년도 하수종말처리시설의 하수처리비용 및 TP 제거비용

구분	방류수질(mg/L)				하수처리량 (천톤/일)	하수처리비용 (원/톤)	T-P 제거비용 (원/kg)
	BOD	SS	T-N	T-P			
계	2.8	2.8	8.9	0.5	19,938	142.6	44,545
총인	2.5	2.6	10.2	0.3	6,072	160.8	46,742
비총인	5.1	3.5	11.2	0.8	13,866	134.6	43,476

주: 하수처리비용은 하수처리시설 전체 운영비용이며, 하수처리장 건설비는 매몰비용으로 간주함.
 자료: 2012년도 공공하수처리시설 운영관리 실태조사 결과(환경부, 2013)

한편 '수질오염공정시험방법'에 따르면 총인은 인(phosphorous: P)이며, 위의 총인 제거단가를 인산염 제거단가로 환산하기 위해 인의 원자량과 인산염의 원자량의 비율을 나타내는 31/95을 곱하여 15,253원/ kg PO₄³⁻을 도출하였다.¹¹⁾ 이를 부영화에 따른 경제적 편익의 원단위로 사용하였다.

2.6 광화학적 산화물 생성

광화학적 산화물 생성에 대한 영향은 에틸렌(ethylene: C₂H₄)으로 환산하여 kg C₂H₄-eq단위로 나타낸다. 본 연구에서는 C₂H₄ 배출 감소에 따른 경제적 편익을 계산하기 위해 C₂H₄ 단위배출에 따른 피해비용을 도출한 박필주, 김만영(2010)의 추정 결과를 준용하였다.

박필주, 김만영(2010)은 광화학적 산화물 생성의 피해 보호대상을 인체건강, 사회자산, 일차생산으로 구분하고, 총 3 단계의 과정을 통해 각각의 보호대상의 피해비용을 추정하였다. C₂H₄ 배출에 따른 보호대상에 미치는 피해를 추정하기 위해서 VOC_s 배출량과 대기 중 오존 농도 증가의 관계에 대해 정량화를 구축하였다. 다음으로 오존 농도 증가와 각 종말점의 피해량 관계를 정량화하였고, 끝으로 각 종말점의 피해함수를 산정하였다.¹²⁾ 이러한 정량화 과정을 통해 도출한 보호대상별 피해비용을 <Table 8>에 제시하였다.

Table 9. 광화학 산화물 생성에 따른 보호대상별 피해비용 추정결과

구분	인체건강(DALY/kg)	사회자산(원/kg)	일차생산(kg/kg)
C ₂ H ₄	322,000	823	26.4

자료: 박필주, 김만영(2010) 재구성

한편, 박필주, 김만영은 보호대상간 상대적인 우위를 결정하기 위해 통합화를 실시하였다. 피해비용의 통합화를 위해 보호대상간의 중요도를 얻을 수 있는 것으로 판단되는 컨조인트 분석방법을 사용하였다. 이러한 통합화 과정을 통해 과학적 사실을 기반으로 보호대상에 대한 개인과 사회의 가치 판단 및 선호도를 고려했다는 점에서 박필주, 김만영(2010)이 다른 연구와 차별성을 갖는다고 판단된다.¹³⁾ 따라서 본 연구에서는 이들의 추정결과를 준용하여 C₂H₄ 배출에 따른 경제적 편익의 원단위 3,030원/kg C₂H₄을 사용하였고, 통합화계수를 적용한 보호대상별 피해비용은 <Table 9>에 제시하였다.

11) 인(P)의 원자량은 31이고, 인산염(PO₄³⁻)의 분자량은 95임.

12) 인체건강에 미치는 영향은 '오존 농도 1단위에 대한 각 종말점의 사망률 증가율 및 발병률' 값을 활용하였고, 사회자산에 미치는 영향과 관련하여 버 및 농작물 수확량 산정식과 목재 성장속도를 고려하여 계산하였다. 일차생산에 미치는 영향은 사회자산에 미치는 각 농작물의 재배면적과 우리나라의 NPP 값을 활용하여 계산하였다.

13) 박필주, 김만영은 서울 및 수도권 거주 400명에 대한 1대 1 설문 조사를 통해 총 1,600개의 설문결과를 확보하였고, 이를 바탕으로 통합화계수를 도출하였다.

Table 10. 통합화 계수를 적용한 보호대상별 피해비용 및 통합 원단위

구분	인체건강(원/kg)	사회자산(원/kg)	일차생산(원/kg)	원단위(원/kg)
C ₂ H ₄	907	823	1,300	3,030

자료: 박필주, 김만영(2010) 재구성

3. 결론 및 후속 연구과제

본 연구를 통해 자원소비, 지구온난화, 오존층영향, 산성화, 부영양화, 광화학산화물 생성의 6대 영향범주에 대해 비용편익 분석기법에 기초하여 사회적 편익을 포함하는 영향범주 별 경제적 원단위를 계산하였다. 계산 결과 영향범주 별 기준 물질의 화폐 가치는 자원소모 11,408원/kg Sb, 지구온난화 21.51원/kg CO₂, 오존층영향 139,970원/kg CFC-11, 산성화 2,599원/kg SO₂, 부영양화 15,253원/kg PO₄³⁻, 광화학적산화물생성 3,030원/kg C₂H₄로 나타났다.

정량화된 환경영향 범주 별 경제 가치는 환경오염의 피해를 이해하고, 산업 및 기술 별로 환경부하에 의한 경제적 가치를 비교하는데 기여할 수 있다. 하지만, 환경 영향의 사회적 피해의 범위와 정량적인 크기에 대해 추정이 불가능했던 부분에 대해서는 지속적인 연구와 보완이 필요하다.¹⁴⁾ 본 연구 결과는 시장과 사회 변화에 따른 변동 가능성이 있으므로 활용 시 이를 고려하는 것이 적절하다. 더하여, 해외 연구와 같이 특정 피해 대상에 부합하는 피해 계수를 도출하여 원단위 추정과정에 적용 한다면 보다 구체적이고 세밀한 분석이 가능할 것으로 예상된다.

4. 사사

본 연구는 폐금속·유용자원재활용기술개발사업단의 지원을 받아 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- 1) 대기오염물질 배출량 데이터베이스, <http://airemiss.nier.go.kr/>.
- 2) 박필주, 김만영, “한국형 피해산정형 전과정 영향평가 지표 개발”, 대한환경공학회지, 1(1), 499~508(2010).
- 3) 엄영숙, “대기오염이 건강에 미치는 영향에 대한 가치평가: 회피행위접근법을 사용하여”, 환경경제연구, 7(1), 1~23, (1998).
- 4) 통계청 국가통계포털, <http://www.kosis.kr/>.
- 5) 한국은행 경제통계시스템, <http://ecos.bok.or.kr/>.
- 6) 환경부, “2012년도 공공하수처리시설 운영관리 실태조사 결과”, (2013).
- 7) 환경부, “친환경상품의 환경·경제적 편익 분석 IV”, (2009).

14) 지구온난화로 인한 생물다양성 및 일차생산에 미치는 영향 등을 예로 들 수 있다.

- 8) Goedkoop, M. and Spriensma, R., The Eco-indicator 99-A damaged oriented method for life cycle impact assessment, Pre consultants, Amerfoort(1999).
- 9) GOV.UK, <https://www.gov.uk/government/collections/carbon-valuation--2/>.
- 10) GOV.UK, <https://www.gov.uk/air-quality-economic-analysis/>.
- 11) Metal Prices, <http://www.metalprices.com/>
- 12) UK Department of Energy & Climate Change(DECC), "Traded Carbon Values", (2014).
- 13) U.S. USGS, "2013 Minerals Yearbook - Antimony", (2014).
- 14) 伊坪 徳宏, 稲葉 敦, ライフサイクル環境影響評価手法: LIME-LCA, 環境会計, 環境効率のための評価手法.データベース, 産業環境管理協会(2005).
- 15) 伊坪 徳宏, 稲葉 敦, ライフサイクル環境影響評価手法: LIME2-LCA, 環境会計, 環境効率のための評価手法.データベース, 産業環境管理協会(2012).