

업종별 자원효율성 분석 및 개선방안

Industry Resource Efficiency Analysis and Improvement

김도원* · 이종수** · 배재근***

Dowan Kim · Jongsoo Lee · Chaegun Phae

요약: 자원수급의 불확실성과 미세먼지, 화학물질 유출 등의 환경오염에 대한 우려로 국내 제조업에 대한 자원의 효율적인 관리와 환경오염을 고려하여 경제발전이 요구되고 있다. 이에 본 연구에서는 기존에 활용되던 환경경제효율성과 자원관리를 위한 선행연구의 한계성, 국가계획인 자원순환기본계획 및 화학물질관리계획을 고려하여 자원효율성을 측정하기 위한 자원생산성, 자원순환성, 환경영향성을 보조지표로 마련하였다. 자원효율성 평가 결과, 비금속광물제품 제조업(C23)이 1910.5로 가장 높았으며, 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업(C26)이 84.1, 화학물질 및 화학제품 제조업(C20)이 71.4, 식품 제조업(C10)이 18.1, 1차 금속제조업(C24) 2.5 순으로 나타났다. 자원생산성은 C20, C23, C24, 자원순환성은 C20, C24, 환경영향성은 C10, C26이 상대적으로 낮으므로 업종별로 해당 분야에 개선을 위한 시책 및 개선방안이 필요함을 도출하였다.

핵심주제어: 제조업, 경제발전, 환경경제효율성, 자원관리, 자원효율성

Abstract: Economic development is required when considering the efficient management of resources in domestic manufacturing and environmental pollution. Due to uncertainties in the supply and demand of resources and concerns about environmental pollution such as the creation of fine dust and accidental spilling of chemicals. Therefore, the efficiency of resources is measured in this study with considerations for the limitations set by both previous studies of resource management for eco-efficiency and The National Master Plan for resource circulation and chemical substance management. Resource productivity, resource recyclability, and environmental impact are provided as auxiliary indicators. As a result of the resource efficiency evaluation, the non-metallic mineral products manufacturing industry (C23) scored the highest with 217.1, the electronic components, computer, video, audio and communication equipment manufacturing industry (C26) scored 86.8, and the chemicals and chemical products manufacturing industry (C20) scored 76.5, the food industry (C10) scored 4.8, and the primary metal industry (C24) scored 2.8. As resource productivity is relatively low in C20, C23, C24, resource circulation in C20, C24, and environmental impact in C10, C26, it is found that each sector needs measures for resource productivity improvement.

Key Words: Economic Development, Eco-Efficiency, Resource Management, Resource Efficiency, Chemicals

* 주저자, 서울과학기술대학교 에너지환경대학원 에너지환경공학과 석사과정
** 공동저자, 서울과학기술대학교 에너지환경대학원 에너지환경공학과 박사과정
*** 교신저자, 서울과학기술대학교 에너지바이오대학 환경공학과 교수

I. 서론

전 세계적으로 자원수급의 불확실성이 증대되는 상황에 능동적으로 대처하기 위해 효율적인 자원관리의 필요성이 증대되고 있다. 국내의 경우 에너지의 96%와 광물자원의 90% 이상을 해외에서 수입해야 하는 자원수입국이자 자원빈국이며, 지속적인 경제성장과 환경보전을 달성하기 위해 자원순환사회로의 전환이 요구되고 있다.¹⁾

'90년대 중반, 국내에 청정생산 개념이 확산되기 시작하고, 산업환경정책이 성숙기에 접어들었다. 관련 분야와 기술수요가 다양화·고도화됨에 따라 체계적인 정책수립과 함께 관리지표에 대한 요구가 증가 되면서 국내에서도 자원의 투입, 이용과 폐기의 전 과정의 효율적인 관리가 요구되고 있다.²⁾

녹색경제로 전환하기 위한 정책이나 전략을 수립하기 위해서 국내 산업의 녹색개발의 현황 및 수준에 대한 진단과 분석이 필요하다. 이미 국내에서는 경제활동, 즉 성장을 추구하는데 있어 환경자원(자원, 에너지)을 효율적으로 사용하여, 경제적 성과를 창출하면서 이에 따른 환경영향을 최소화 정도를 정량화한 환경경제효율성의 개념을 도입하여 경제와 환경 사이의 물리적 상호작용을 분석하고 있으며 자연투입물은 다시 에너지, 물질, 물 등으로 구분되고, 잔폐물은 대기오염물질, 폐수, 폐기물 등으로 구분하고 있다.³⁾

그러나, 환경경제효율성은 환경규제와 경제성 중심의 지표로서 자원의 활용에 의한 부가가치와 환경오염물질 저감에 초점이 맞춰져 있다. 즉, “자원의 친환경적·경제적인 사용”이며 “자원의 효율적인 사용”이라 보기에는 어려운 문제가 있다. 환경경제효율성 분석지표로 폐기물 발생량(EW-Waste)을 지표로 구축하고 있지만, 산업별 폐기물 발생량 당 산업별

1) 김동구, 2015, “자원 빈국(貧國)이 살아남는 길,” 『환경정보』, 419, pp.10-12.

2) ㈜에스오알지, 2011, 『자원생산성 향상을 위한 효율적 기업자원관리(ERM) 시범사업』.

3) UN et al., 2014, System of environmental-economic accounting 2012: Central frame work, p.40.

부가가치로 산출하고 있어, 부가가치만 높다면 폐기물 발생량이 높아도 높게 나타나게 되는 문제가 있다. 화학물질 및 화학제품 제조업의 경우 폐기물 재활용율은 낮은 반면, 고부가가치 산업이기 때문에 EE-Waste가 높게 측정될 수 있다. 또한 최근에 환경경제효율성의 환경부하를 평가하기 위해 업종별로 평가한 결과 또한 오염물질은 대기오염물질, 폐수, 폐기물에만 초점을 맞추고 있어,⁴⁾ 최근 환경오염, 발암물질 등의 화학물질⁵⁾에 대한 영향은 고려되지 못하고 있다.

국내 자원효율성에 관한 연구를 살펴보면, LCA(life-cycle assessment)를 활용하여 생산 시 소비되는 원료, 부원료, 에너지 등의 물질수지 자료를 분석하여 자원의 자원효율성 산정 및 필요 자원량을 예측하거나,⁶⁾ 환경효율성을 분석하고 탄소 발생량을 산출하였다.⁷⁾ 그러나 재활용과 에너지절약을 고려한 자원순환성을 평가와 화학물질, 폐수배출, 대기오염물질 등 다양한 환경부하를 고려하지 못한 한계가 있다.

또한 국가 수준으로 자원의 효율적인 관리를 위해 자원생산성(자원 및 원재료의 생산성), 물질순환이용율, Decoupling Factor 등의 3가지 지표를 산정하여 국내 경제활동과 자원소비간의 지속가능성을 평가하고 탈물질화(Decoupling) 정도를 분석하였다.⁸⁾ 국내 발전회사의 환경효율성을 기업 규모별로 평가한 연구에서는 중소기업, 공기업, 대기업 계열사 순으로 환경효율성이 대기업에 유리한 정책보다는 중소기업을 지원할 수 있는 정책을 장려해야 함을 결론으로 도출하기도 하였다.⁹⁾

4) 한국환경정책·평가연구원, 2018, 『한국 제조업의 환경경제효율성 분석』.

5) 고정근·임종한·심수은·반영운, 2017, “지역사회 화학물질배출량과 건강수준에 대한 환경정의 분석,” 『환경독성보건학회 2017 춘계학술대회 초록집』, p.370.

6) 임지호 등, 2013, “LCA기법을 활용한 태양광 시스템의 자원효율성 및 자원요구량 예측,” 『대한환경공학학회지』, 35(7), pp.464-471.

7) 조원택, 2012, “플리에틸렌관의 전과정 평가(LCA) 분석을 통한 자원효율성 평가,” 석사학위논문, 서울과학기술대학교 산업대학원, 서울.

8) 김유정, 2011, “물질흐름지표를 이용한 한국(韓國)의 지속가능한 자원관리(資源管理) 평가 연구(研究),” 『資源 리사이클링』, 20(6), pp.43-49.

9) 오수미, 2019, “국내 발전회사의 환경효율성(eco-efficiency) 분석: 자료포락분석을 활용하여,” 『한국정책과학학회보』, 23(4), pp.59-86.

그러나, 자원관리의 주체인 “업종”에 대한 분석이 이루어지지 않아 자원효율성에 대한 정확한 원인 분석이 미흡한 부분이 있다. 자원을 사용, 재활용하고, 여기서 배출되는 환경오염물질 배출의 관리주체가 산업이기 때문이다. 국가 수준의 자원효율성을 제고시키기 위해서는 업종별 분석을 통한 전략적인 관리가 필요하다.

EU(European Commission)에서는 EUROPE 2020을 통해 자원효율성을 기반으로 2020년까지의 목표를 수립했으며, Circular Economy를 통해 제조업 경쟁력 강화를 통한 달성계획을 추진하고 있다. 일본은 자원효율성 관리를 위해 일본산업환경관리협회(JEMAI)에서 산업별 발생폐기물에 대해 전과정에 대한 물질흐름을 구축, 자원효율성을 관리, 공표하고 있다.¹⁰⁾

따라서 본 연구에서는 기존에 사용되던 지표를 검토하고, 자원의 경제적인 활용을 위한 자원생산성, 자원순환사회 형성을 위한 자원순환성, 화학물질관리 등 환경오염부하를 고려할 수 있도록 환경영향성을 자원효율성 지표를 설정하고, 종합적으로 평가하여 국내 제조업의 자원효율성 관리를 위한 방법론을 제안하고자 한다.

II. 연구방법

1. 자원효율성 평가 대상 업종 선정

본 연구에서 자원효율성 평가 대상은 업종에 대한 분석보다는 방법론을 검토하기 위해 5개 업종을 대상으로 하였다. 이를 위해 「통계법」 제22조에 따른 한국표준산업분류표의 중분류 업종 17개 업종 중 사업장배출시설계 폐기물 발생 현황을 업종별로 분석하였다. 자원소비량(원재료 사용량(톤)+에너지 사용량(toe)) 대비 최종폐기물 발생량을 기준으로 분석하여 상위 5개 업종으로 식료품 제조업(C10), 화학물질 및 화학제품 제조업(C20), 비금

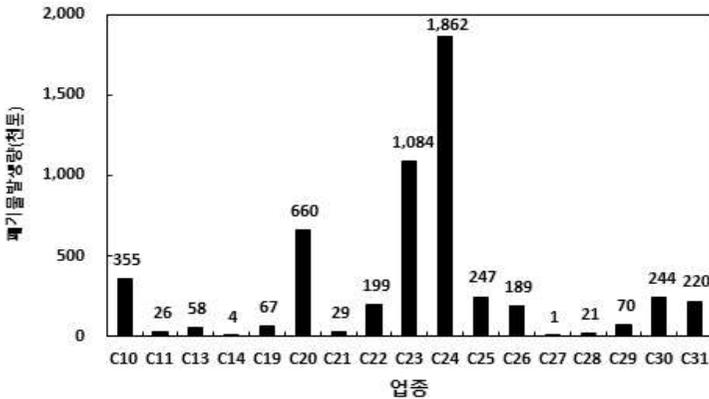
10) 국립환경과학원, 2018, 『자원순환경제 도입을 위한 추진계획 마련 연구』.

속 광물제품 제조업(C23), 1차 금속 제조업(C24), 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업(C26)을 대상으로 선정하였다(〈그림 1〉).

2. 자원효율성 평가 지표

자원효율성은 자원을 효율적으로 순환이용이 용이하도록 제조하고, 친 환경적인지를 고려할 수 있어야 한다. 이를 위해 자원생산성, 자원순환성, 환경영향성 3가지 측면에서 고려될 필요가 있다. 국내 자원관리 현황을 살펴보면 유사한 산출지표로는 자원생산성, 순환자원이용율, 환경경제효율성 평가지표가 적용되고 있으며, 각 평가지표의 산출식은 〈표 1〉과 같이 나타내었다. 본 연구에서는 기존 지표들의 산출식을 검토하여 개선소요를 확인 한 후, 이를 개선하여 자원효율성 평가지표로 정하였다(〈표 2〉).

〈그림 1〉 업종별 폐기물 발생량



자료: 폐기물 다량발생 사업장 폐기물 감량 현황(2017) 활용

〈표 1〉 기존 자원관련 평가지표 현황

구분	산 출 식	
자원 생산성 ¹⁾	$\frac{\text{부가가치(백만원)}}{\text{천연자원 투입량(톤)}}$	
자원 순환성 ²⁾	$\frac{\text{실질 재활용량(톤)} + \text{순환자원인정량(톤)}}{\text{폐기물발생량(톤)} + \text{순환자원인정량(톤)}}$	
환경 영향성 ³⁾	RP-Water	$\frac{\text{산업별 부가가치 [백만원]}}{\text{산업별 공업용수 사용량 [m}^3\text{]}}$
	RP-Resource	$\frac{\text{산업별 부가가치 [백만원]}}{\text{산업별 자원사용량 [톤]}}$
	EE-Carbon	$\frac{\text{산업별 부가가치 [백만원]}}{\text{산업별 탄소 배출량 [톤, CO}_2\text{]}}$
	EE-Airborne	$\frac{\text{산업별 부가가치 [백만원]}}{\text{산업별 대기오염물질 배출량 [kg]}}$
	EE-Waterborne	$\frac{\text{산업별 부가가치 [백만원]}}{\text{산업별 폐수배출량 [m}^3\text{]}}$
	EE-Waste	$\frac{\text{산업별 부가가치 [백만원]}}{\text{산업별 폐기물발생량 [톤]}}$

- 주 1) 국가청정생산지원센터, 자원생산성 측정 지표
 2) 자원순환성과관리제도, 순환자원이용율
 3) 환경경제효율성, 환경성지표

〈표 2〉 자원효율성 관련인자 및 계산수식

분야	관련 인자	자원효율성 수식
자원 생산성	원자재 사용량, ¹⁾	$\frac{\text{업종별 부가가치율 [\%]}}{\text{업종별 자원소비량 [톤]}}$
	에너지 사용량 ²⁾	$\frac{\text{업종별 재활용량 [톤]}}{\text{업종별 폐기물발생량 [톤]} \times \frac{\text{업종별 에너지사용실적 [톤]}}{\text{업종별 에너지절감실적 [톤]}}$
자원 순환성	재활용율, ¹⁾	$\frac{\text{업종별 재활용량 [톤]}}{\text{업종별 폐기물발생량 [톤]} \times \frac{\text{업종별 에너지사용실적 [톤]}}{\text{업종별 에너지절감실적 [톤]}}$
	에너지 절감율 ²⁾	
환경 영향성	화학물질배출율 ³⁾	$\frac{\text{업종별 화학물질배출량 [톤]}}{\text{업종별 화학물질사용량 [톤]} \times 100$
	대기오염물질 ⁴⁾ 배출율	$\frac{\text{업종별 대기오염물질배출량 [톤]}}{\text{업종별 자원소비량 [톤]} \times 100$
	폐수배출율 ⁵⁾	$\frac{\text{업종별 폐수방류량 [m}^3\text{]}}{\text{업종별 공업용수사용량 [m}^3\text{]} \times 100$
	폐기물발생율 ¹⁾	$\frac{\text{업종별 최종 폐기물배출량 [톤]}}{\text{업종별 자원소비량 [톤]} \times 100$
	종합	$\text{화학물질배출율} \times \text{대기오염물질} \times \text{배출율폐수배출율} \times \text{폐기물발생율} \times 10,000$

- 주 1) 폐기물 다량발생 사업장 폐기물 감량 현황(2017), 2017년 기준 운영자료 활용
 2) 에너지사용량 통계(2018), 2017년 기준 운영자료 활용
 3) 업종별 화학물질 배출량 조사결과(2016), 2016년 기준 운영자료 활용
 4) 대기오염물질 배출량 통계(2016), 2016년 기준 운영자료 활용
 5) 산업폐수의 발생과 처리 통계(2019), 2016년 기준 운영자료 활용

1) 자원생산성

자원생산성은 자원의 투입으로 인한 부가가치를 정량화한 지표로 국가 청정생산지원센터에서 사용 중인 산출식을 개선하여 적용하였다. 기존의 산출식은 자원의 투입으로 인한 부가가치(V, Value added)를 국내 물질소비량(DMC, Domestic Material Consumption)으로 나눈 값으로 정의되고 있다.¹¹⁾ 그러나 해당 지표에서 적용되는 천연자원을 금속에만 한정하고 있기 때문에 자원의 포괄적인 개념이 적용되지 못하고 있다. 자원소비량의 “자원”은 원자재와 에너지 사용량의 합계로 의미를 확대할 필요가 있고, 에너지 사용량은 toe를 석유 1톤으로 하여 중량으로 산출하였다. 따라서 본 연구에서 자원생산성의 분모를 자원이라 볼 수 있는 원자재와 에너지를 적용하였다. 또한 종의 특성을 고려하고 산출된 자원생산성을 비교하기 위해서는 매입액을 고려한 부가가치 산정이 필요하기 때문에 부가가치보다는 부가가치율을 적용하였다(〈표 3〉).

〈표 3〉 부가가치와 부가가치율

구분	부가가치	부가가치율
개념	산출액에서 타 기업에서 생산한 중간투입물인 재료비 등을 차감한 금액	일정 기간 동안 창출한 부가가치를 매출액으로 나눈 비율
적용예시	<ul style="list-style-type: none"> ·매출액: 50 ·매입액: 30 ·차액(부가가치): 20 	<ul style="list-style-type: none"> ·매출액: 50 ·매입액: 30 ·차액: 20 ·부가가치율: 20/50=40%

자료: 한국은행, 『기업경영분석』, 통계정보보고서 자료(2019) 활용

2) 자원순환성

자원순환성은 “제품의 자원순환성”이 아닌 “업종에서 발생하는 폐기물의 자원순환성”을 평가하였다. 제품을 생산하는데 폐자원의 재활용 및 재사용, 에너지 회수 및 절약을 종합적으로 평가하기 위한 지표로 공정개선,

11) <https://www.kncpc.or.kr/resource/innovation.asp>, [2020.2.9].

원재료 대체, 에너지 회수 등의 방법으로 제고가 가능하기 때문에 폐기물 대비 재활용량과 에너지 투입 대비 절감량을 이용하여 자원순환성을 산출하였다.

재활용량은 해당 통계에서 분리되어 제시되고 있는 자가재활용량과 위탁재활용량의 합계로 산출하였으며 자가재활용량은 제품 제조과정 중 발생한 폐기물을 사업장 내에서 재활용하는 양, 위탁재활용량은 폐기물을 외부업체에 위탁하여 재활용하는 양으로 정의를 준용하였다. 분석에 사용되는 지표인 재활용량, 에너지 절감량은 한국환경공단의 “폐기물 다량발생 사업장 폐기물 감량 현황(2017)”와 “에너지사용량 통계(2018)”를 활용하였다. 관련 통계는 2017년 말 기준의 데이터를 활용하였다.

3) 환경영향성

환경영향성은 환경경제효율성의 환경성지표를 기본적인 베이스로 참조하였다. 단, 부가가치로 환경성을 보는 것은 합리적이지 않기 때문에 화학물질배출율, 대기오염물질배출율, 폐수배출율, 폐기물 발생율을 각각 곱한 후, 타 지표들 간의 단위를 보정하기위해 10,000을 곱하여 산정하였다.

화학물질 배출율은 화학물질사용량 대비 화학물질 배출량으로 화학물질 배출·이동량 정보 시스템의 “업종별 화학물질 배출량 조사결과(2016)”의 배출량을 활용했다. 매체별 배출량인 대기, 수계, 토양의 배출량을 사용하고 화학물질은 전체물질을 대상으로 하였다.

대기오염물질 배출율은 자원소비량 대비 대기오염물질 배출량은 2019년에 발표된 국가대기오염물질 배출량 서비스의 “대기오염물질 배출량 통계(2016)”을 활용하였다. 그러나 식료품 제조업(C10)과 음료 제조업(C11)이 합산되어 배출오염물질량이 집계되고 있어 두 개 업종의 배출량 분리가 불가능하므로 음·식료품 제조업의 배출량을 적용하였다.

폐수배출율은 공업용수 사용량 대비 폐수방류량으로 환경부 “산업폐수의 발생과 처리 통계(2019a)”를 활용하였으며, 분석데이터는 2017년 말 기준 자료를 활용하였고, 폐기물 발생율은 자원소비량 대비 폐기물 중 재

활용량을 제외한 최종폐기물량으로 산정하였으며, “폐기물 다량발생 사업장 폐기물 감량 현황(2017)”의 데이터를 활용하였다.

III. 연구결과

1. 업종별 자원생산성

국내 업종별 자원생산성 분석결과를 <표 4>에 나타내었다. 식료품 제조업이 3.26으로 가장 높고, 화학물질 및 화학제품 제조업이 0.98, 비금속 광물제품 제조업이 0.88, 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신제조업이 2.17, 1차 금속 제조업이 0.82로 가장 낮게 나타났다. 일반적으로 원자재 사용량은 제품 생산량과 비례하고, 생산한 제품이 고부가가치일 경우 자원생산성이 높게 나타나는 경향이 있다. 식료품 제조업은 1차 금속 제조업에 비해 원자재 소비량은 적고, 제품생산량 당 매출액이 높기 때문에 부가가치율이 높다. 식료품 제조업은 대부분의 업체가 영세하기 때문에 원자재 가격에서 가격 경쟁력을 확보하려는 것으로 보인다.¹²⁾ 또한 자원 소비량 당 제품생산량을 보면 0.52로 낮은데, 식료품 제조업 특성 상 원재료가 물리적 가공과 가열 등의 과정을 거쳐 부산물로 발생하거나 감모되어 수율이 감소되는 것이 원인으로 보인다.¹³⁾ 따라서 자원생산성을 제고하기 위해 발생 수율을 높이기 위한 기술개발과 부산물의 재활용을 확대하고, 영세한 업체들을 건강기능식품 등 부가가치가 높은 식품산업을 육성하여 자원의 가치를 증대시킬 필요가 있다.¹⁴⁾ 화학물질 및 화학제품 제조업의 경우 화학적 처리를 주된 제조공정으로 하기 때문에 원자재보다는 공정용수의 사용량이 많아 이로 인해 자원소비량 당 제품 생산량이 높

12) 경기연구원, 2016, 『사업장폐기물 감량화 방안』.

13) 한국농촌경제연구원, 2008, 『농식품 감모 및 폐기 통계 구축을 위한 기초연구』.

14) 강태진, 2006, “식품산업현황과 발전방안,” 『생물학연구정보센터 Biowave』, 8(22), pp.1-15.

다. 또한, 산, 알칼리 등의 산업용 기초화합물이나 재생플라스틱인 중간화합물 등 부가가치가 상대적으로 높기 때문에 자원생산성이 높게 나타나고 있다. 비금속 광물제품 제조업의 경우 식료품 제조업과 비교했을 때 자원소비량 당 제품 생산량은 약 43% 높지만, 제품 생산량 당 매출액은 10% 수준으로 낮기 때문에 부가가치율이 낮아져 자원생산성이 매우 낮게 나타났다. 이는 비금속 광물제품 제조업이 유리, 요업, 시멘트 제품 등의 중량이 높은 제품을 생산하는데 비해 제품의 단가는 낮기 때문이다(조선일보, 2018.1.7.). 또한 제조과정에서 원재료가 대부분 제품으로 전환되지만, 제품 생산량이 2/3 수준인 이유는 제조과정에서 건조, 소성 등의 과정에서 증발하는 수분 등의 물질의 감도가 영향을 미치기 때문이다.¹⁵⁾ 1차 금속제조업의 자원소비량 당 제품 생산량은 0.63로 높으나, 자원생산성은 비금속 광물제품 제조업과 유사한 수준으로 나타났다. 1차 금속산업은 제련업과 가공업으로 분류가 가능한데, 제련업의 경우, 원자재 수입가격 상승분을 제품가에 반영하여 안정적인 수익이 창출 가능한 반면, 가공업체들은 품목별로 3~4개 대형업체와 다수의 중·소규모업체들이 경쟁하는 시장 구조를 가지고 있다. 이러한 구조로 인해 가공업체들은 공급과잉의 시장 구조와 업체 간 경쟁으로 인해 원재료 가격상승분을 제품가격에 반영하기 어려워 제련업체에 비하여 일반적으로 경제성이 낮게 나타나는 특성이 있다.¹⁶⁾ 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업의 경우, 자원소비량 당 제품생산고 매출액이 가장 높아 자원생산성이 높게 나타났다. 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업은 기술·노동집약적 사업으로 원자재 사용량이 적고, 고부가가치 사업이라 제품 단위 중량 당 매출액이 높기 때문이다.

15) 조선내화, <http://www.chosunref.co.kr/home/gift/kor/process.do.>, [2019.12.30].

16) 김일광, 2011, 1차금속 산업세부 업종 및 제품별 수익창출 요인고찰, 『신한FSB리뷰』, pp.30-33.

〈표 4〉 업종별 자원생산성

구분	C10	C20	C23	C24	C26
원재료사용량 (톤/년)	48,055,000	216,811,000	270,333,000	205,480,000	154,403,000
에너지사용량 (toe/년)	989,850	14,981,860	5,659,927	31,183,017	4,165,894
자원소비량 ¹⁾ (톤/년)	49,044,850	231,792,860	275,992,927	236,663,017	158,568,894
매출액 (백만원)	42,029,000	243,240,000	32,600,000	211,811,000	352,548,000
제품생산량 (톤/년)	25,390,000	160,747,000	204,570,000	150,021,000	144,090,000
자원소비량 당 제품생산량 (톤/톤)	0.52	0.69	0.74	0.63	0.91
제품생산량 당 매출액 (백만원/톤)	1.66	1.51	0.16	1.41	2.45
부가가치율(%) ²⁾	16.01	22.75	24.39	19.44	34.44
자원생산성 ³⁾	3.26	0.98	0.88	0.82	2.17

주 1) 자원소비량=원재료 사용량(톤/년)+에너지사용량(toe/년)

2) 한국생산성본부, 업종별 부가가치 분석 통계(2017년 기준)의 업종 평균치 활용

3) 자원생산성=부가가치율(%) / 자원소비량(천만톤/년)

2. 업종별 자원순환성

국내 업종별 자원순환성을 분석한 결과를 〈표 5〉에 나타내었다. 식료품 제조업이 340.5로 가장 높고, 나머지 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업은 224.8, 비금속 광물제품 제조업은 217.1, 화학물질 및 화학제품 제조업은 94.7, 1차 금속 제조업은 85.8 순으로 나타났다. 식료품 가공 공정에서 부산물이 발생하나 약간의 가공 공정을 통해 재원료로 투입 가능하고, 때문에 재활용 가치가 크고, 재활용에 소요되는 비용이 적어 재활용율이 77.0% 높은 편이다. 에너지원은 연료계 중심으로 전력계에 비해 열회수가 요구되는 이유도 작용할 수 있다. 화학물질 및 화학제품 제조업의 경우, 발생된 폐기물의 재활용율은 62%로 타 업종 중에 가장 낮다. 이는 발생하는 폐기물의 약 45%가 지정폐기물이며, 이 중 재활용되는 비율이 56%에 불과하기 때문이다. 화학물질을 취급하기 때문에 재활용

비용과 공정이 어려워 재활용 체계가 구축되기 어려운 문제가 있다.¹⁷⁾ 반응을 위해 고에너지가 소요되어, 잔열 폐열회수를 통해 에너지를 절약하고 있으나 반응을 위해 직접적으로 투입된 열을 회수하기는 어려우므로 에너지 절약 실적이 낮게 나타나고 있다. 비금속 광물제품 제조업의 경우, 폐기물은 대부분 무기성폐기물의 형태로 발생하나, 건축 및 토목용도로 재활용이 용이하여 재활용율은 76%로 높은 편이다. 무기성폐자원의 경우 폐자원의 재자원화 R&D 기술개발을 위한 주요 정부부처의 지원 비율이 낮기 때문에 광재류, 폐주물사 등에 대한 발생량 저감 기술 개발 및 적용이 필요하다.¹⁸⁾ 통상 소성로 등의 예열기 등을 통해 열회수설비를 설치하고 있으며, 가연성폐기물인 페타이어나 SRF 등을 연료로 대체하면서 에너지 절감효과가 나타날 수 있어 에너지 소비량 대비 절감율이 2.87%로 높은 수준에 기여한 것으로 보인다. 1차 금속 제조업의 경우, 자원의 유한성으로 스크랩, 재생스크랩 활용의 중요성이 강조되는 업종 특성으로 인해 재활용율이 95.3%로 가장 높다. 재활용이 되지 않는 폐기물은 불연성 폐수처리오니와 같은 무기성오니 등으로 재활용의 경제성이 낮고, 재활용 수요처가 부족하여 재활용의 한계가 있는 것으로 알려져 있다.¹⁹⁾ 에너지 사용량의 경우 전력화에 따른 전력 소비 증가²⁰⁾와 사용되는 에너지의 절감량이 폐열회수나 공정개선 등을 통한 에너지 절약보다는 전기사용량 자체의 절약을 통한 방식에 집중되어 있으므로 폐열회수와 공정개선 등의 방법을 적극적으로 활용할 필요가 있다. 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업은 원자재 자체도 가격이 고가이기 때문에 위탁처리율이 80% 수준으로 활성화되어 있고, 재활용율도 83.6%로 높으나 사용되는 에너지 자체도 전력이 전체 사용에너지 사용비율의 86%에 해당하는데 비해 절감량이 적어 자원순환성이 낮게 나타났다.

17) 국립환경과학원, 2007, 『지정폐기물의 처리기준 선진화방안 연구』.

18) 산업연구원, 2012, 『주요 산업의 자원순환 촉진을 위한 방안 연구』.

19) 산업통상자원부, 2017, 『선진국 제조 폐기물 재활용 사례조사』.

20) 구자열·주희천·정은호, 2016, “전력소비 변화 요인분석을 통한 국내 제조업의 전력 효율성 평가,” 『에너지경제연구』, 15(2), pp.23-54.

〈표 5〉 업종별 자원순환성 분석결과

구분	C10	C20	C23	C24	C26
폐기물 발생량 (톤/년)	1,501,247	2,040,789	3,085,807	34,066,323	1,583,391
재활용량 (톤/년)	1,156,498	1,262,636	2,334,485	32,475,267	1,323,147
자가재활용 (톤/년)	105,912	31,507	299,470	6,248,569	30,832
위탁재활용 (톤/년)	1,050,586	1,231,129	2,035,015	26,226,698	1,292,315
최종폐기물량 (톤/년)	344,749	778,153	751,322	1,591,055	260,244
폐기물발생량 대비 재활용율(%)	77.0	61.9	75.7	95.3	83.6
업종별 에너지 절약량 (toe/년)	43,786	229,582	162,269	280,288	112,155
연료계	31,994	208,144	148,571	201,042	28,597
전력계	11,792	21,437	13,698	79,247	83,558
에너지 소비량 대비 에너지 절약율(%)	4.42	1.53	2.87	0.90	2.69
자원순환성 ¹⁾	340.5	94.7	217.1	85.8	224.8

주 1) 자원순환성=(재활용량/폐기물발생량×100)×(에너지 절약량/에너지 소비량×100)

〈표 6〉 업종별·폐기물 종류별 재활용률

구분	C10	C20	C23	C24	C26
폐기물 발생량 (톤/년)	1,501,247	2,040,789	3,085,807	34,066,323	1,583,391
일반	1,487,063	1,406,983	2,895,645	33,049,322	735,555
지정	14,184	633,806	190,162	1,017,001	847,836
재활용량(톤/년)	1,156,498	1,262,636	2,334,485	32,475,267	1,323,147
일반	1,152,604	907,141	2,171,995	31,852,571	629,558
지정	3,894	355,495	162,490	622,696	693,589
재활용률(%)	77.0	61.9	75.7	95.3	83.6
일반	77.5	64.5	75.0	96.4	85.6
지정	27.5	56.1	85.4	61.2	81.8

〈표 7〉 업종별 에너지 절약실적

(단위: toe/년)

구분	C10	C20	C23	C24	C26
에너지 절약실적	43,786	229,582	162,269	280,288	112,155
운전합리화	6,268	50,984	1,844	79,931	9,161
폐열회수	5,706	89,767	5,273	10,086	6,008
설비대체	8,814	23,773	23,623	7,677	1,561
설비보완	1,765	12,720	1,601	2,442	1,298
연료대체	2,369	1,168	97,442	1,574	436
조업공정개선	743	26,150	17,525	61,768	5
전기부문	11,825	23,470	12,484	116,301	93,274
기타	6,296	1,550	2,477	509	412

3. 업종별 환경영향성

1) 화학물질배출

업종별로 환경영향성을 분석한 결과, 식료품 제조업의 경우 식품 제조공정에서 약품세정, 보존제, 색소 등의 화학물질이 432,937 톤/년 투입되고 제조, 가공, 조리 단계 등에서 발생하는 화학물질 배출량은 290 톤/년으로 약 0.06%로, 대부분이 대기(98%)로 배출되고 있다. 유해화학물질에 대한 집중적인 저감화 연구 및 정책적 지원이 필요하다는 판단에 따라, 식품제조·가공·조리 중 자연 발생하는 유해화학물질 저감화를 위한 5개년('13~'17) 종합계획을 수립하여 시행하였으나, 제조환경이 열악한 중소기업의 경우 저감화 기술을 적용하기 어렵고, 적용했다하더라도 이행 확인을 위한 유해화학물질 분석비용에 부담을 느끼고 있어 저감이 어려운 실정으로 화학물질 저감에 한계가 있는 실정이다.²¹⁾ 화학물질 및 화학제품 제조업의 경우 다양한 화학약품이 사용되어 화학물질 사용량은 266,612,815 톤/년으로 타 업종에 비해 가장 많고, 반응 등을 통해 발생하는 화학물질 배출량은 5,146 톤/년으로 약 0.0019%가 대기, 수계로 배출되고 있다. 특

21) 식품음료신문, 2017.1.17., <https://www.thinkfood.co.kr/news/articleView.html?idxno=72991>.

히, 대기배출(99%)이 대부분을 차지하고 있어 대기배출량을 저감하는 방안이 필요하다. 비금속 광물제품 제조업의 화학물질 배출율이 0.0004%로 가장 낮았는데 화학물질이 투입되더라도 대부분이 원료로 사용되고 고정되기 때문이다. 다만, 시멘트 제조 시 원료로서 투입되는 산업폐기물(폐타이어 등), 아교, 용제, 염료 내에 포함되어 있는 화학물질 등이 대기로 배출되는 것으로 나타나지만 그 배출량은 낮게 나타났다. 1차 금속 제조업의 경우 화학물질사용량은 45,604,529 톤/년이며 원료 중 첨가제(석회석, 가성소다, 불소, 칼슘카바이드), 첨가제에서 유래한 메틸알콜이나 2-푸란메탄올 등의 화학물질배출량이 1,914 톤/년, 화학물질 배출율은 0.0042%로 나타났다으며 대부분 대기로 배출(96%)되는 것으로 나타났다. 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업의 경우 사용되는 원료들은 세정제, 용매제, 희석제, 산화제 등으로 화학물질 투입량은 2,137,901 톤/년이며 각 공정에서 휘발성, 휘발성 수용액 등의 화학물질 배출량은 2,459 톤/년, 화학물질 배출율은 0.115%로 대부분이 대기(97%)로 배출되고 있다. 화학물질 배출율이 타 업종에 비해 가장 높았으며, 이는 해당 업종의 공정이 대부분이 밀폐되어 있어²²⁾ 외부 손실 없이 대부분 포집되어 배출되는 업종의 특성으로 인한 것으로 보인다.

〈표 8〉 업종별 화학물질 배출

구분	C10	C20	C23	C24	C26
화학물질사용량 ¹⁾ (톤/년)	432,947	266,612,815	92,625,652	45,604,529	2,137,901
대기배출량(kg/년)	285,212	5,112,085	341,465	1,843,624	2,382,687
수계배출량(kg/년)	5,405	33,603	-	71,102	76,603
토양배출량(kg/년)	-	-	-	-	-
총 화학물질배출량 (kg/년)	290,616	5,145,688	341,465	1,914,726	2,459,289
화학물질배출율(%) ²⁾	0.0671	0.0019	0.0004	0.0042	0.1150

주 1) 환경부, 화학물질통계조사(2019b)

2) 화학물질배출율(%)=화학물질배출량(톤)/화학물질사용량(톤)×100

22) 국립환경과학원, 2009, 『전자부품, 영상, 음향 및 통신장비제조업중용 화학물질 배출량 산정지침』.

2) 대기오염물질배출

업종별 대기오염물질 배출량은 1차 금속 제조업이 291,740,630 kg/년, 화학물질 및 화학제품 제조업이 12,956,221 kg/년, 비금속 광물제품 제조업이 12,084,466 kg/년, 식료품 제조업이 861,527 kg/년, 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업이 665,203 kg/년으로 나타났다. 업종별 대기오염물질 배출율(자원소비량 대비 대기오염물질)이 가장 높은 업종은 1차 금속 제조업으로 0.1233%이고, 가장 적게 배출하는 업종인 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업은 0.0004%로 나타났다. 화학물질 및 화학제품 제조업, 비금속 광물제품 제조업, 1차 금속 제조업에 대기오염물질 배출에 가장 영향을 미치는 물질로 TSP(Total suspended Particles), NO_x 및 SO_x가 높게 나타나는데, 이러한 물질은 화학물질이나 화석연료를 사용하는 내연 기관 및 연소시설 등에서 발생에서 발생하는 특성이 있는 업종의 특성과 연관이 높다.²³⁾ 특히 1차 금속 제조업의 경우

〈표 9〉 업종별 대기오염물질 배출

구분	C10	C20	C23	C24	C26
CO (kg)	210,968	2,601,730	314,478	1,754,607	168,839
NO _x (kg)	595,025	8,789,007	3,324,053	32,385,966	464,810
SO _x (kg)	15,273	929,353	4,183,900	49,373,444	1,256
TSP (kg)	1,109	38,701	2,347,597	110,077,541	377
PM-10 (kg)	1,061	37,336	1,368,272	64,065,374	377
PM-2.5 (kg)	759	30,255	482,361	33,367,581	377
VOC (kg)	28,173	413,145	34,326	83,970	22,612
NH ₃ (kg)	8,946	108,016	19,984	5,810	6407
BC (kg)	213	8,678	9,495	626,337	148
대기오염물질 배출량(kg)	861,527	12,956,221	12,084,466	291,740,630	665,203
대기오염물질 배출율(%) ⁴⁾	0.0018	0.0056	0.0044	0.1233	0.0004

- 주 1) 음·식료품 제조업 적용
- 2) 화합물 및 화학제품 제조업 적용
- 3) 1차 금속산업 적용
- 4) 대기오염물질배출율(%)=대기오염물질배출량(톤)/(자원소비량(톤))×100

23) 대기오염물질배출량, <http://airemiss.nier.go.kr/mbshome/mbs/airemiss/subview.do>, [2019.12.25].

중금속물질을 주로 취급하고 고에너지 산업이기 때문에 대기오염물질 중 먼지류와 SO_x, NO_x의 배출량이 타 업종에 비해 매우 높다. 따라서 고효율 집진설비와 SO_x나 NO_x 제거에 집중적인 대기오염물질저감 노력이 필요하다. 특히, 경유차 배출의 지표인 BC도 높게 나타나 차량 대기오염물질저감에도 관리가 필요하다.

3) 폐수배출

업종별 공업용수사용량은 화학물질 및 화학제품 제조업이 1,240,055 m³/일로 가장 많으며, 식료품 제조업이 454,880 m³/일로 가장 낮게 나타났다. 업종별 폐수배출율을 보면 가장 높은 업종은 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업으로 78.1%고, 가장 적게 배출하는 업종은 1차 금속 제조업이 8.0%로 나타났다. 화학물질 및 화학제품 제조업의 경우, 폐수배출율이 낮는데 공업용수 사용량 대비 일평균 제품함유 및 증발량이 53%에 이를 정도로 제품 생산에 직접적으로 사용되는 것이 원인으로 사료된다.

〈표 10〉 업종별 폐수배출

구분	C10	C20	C23	C24	C26
공업용수사용량(m ³ /일)	454,880	1,240,055	481,193	6,803,224	1,168,000
일평균 제품 함유 및 증발량 ¹⁾ (m ³ /일)	68,912	664,214	85,172	533,815	158,655
폐수발생량(m ³ /일)	346,373	489,578	389,564	734,069	1,009,345
폐수방류량(m ³ /일)	329,942	444,141	123,642	544,315	912,421
폐수배출율 ²⁾	72.5	35.8	25.7	8.0	78.1

주 1) 알콜성 및 비알콜성제품, 화학제품, 수분을 함유한 제품 등에 포함되어 사업장 외부로 나가는 양 및 보일러, 냉각탑, 생산공정 중에서 대기중으로 증발되는 양

2) 폐수배출율(%)=폐수방류량(m³)/공업용수사용량(m³)×100

4) 폐기물발생

업종별 폐기물 발생량은 1차 금속 제조업에서 34,066,323 톤/년으로 가

장 많으며, 식료품 제조업이 1,501,247 톤/년으로 가장 낮은 반면, 업종별 폐기물 발생율(자원소비량 대비 최종폐기물 발생량)은 가장 높다. 이는 재활용이 용이함에도 불구하고 특정 요인에 의해 재활용이 불가하여 폐기되는 원료나 제품이 발생하고 있다는 것을 시사하고 있어, 이를 관리하는 방안에 대한 연구가 필요하다. 반면, 가장 적게 배출하는 업종은 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업으로 나타났다. 그러나 폐기물의 조성을 보면 지정폐기물이 50% 이상을 차지하고 있으며, 최종적인 폐기물 발생량의 약 60%로 높은 수준이므로 지정폐기물에 대한 발생 저감 및 재활용 기술의 도입이 필요할 것으로 판단된다.

〈표 11〉 업종별 폐기물 발생

구분	C10	C20	C23	C24	C26
총폐기물 발생량(톤/년)	1,501,247	2,040,789	3,085,807	34,066,323	1,583,391
일반	1,487,063	1,406,983	2,895,645	33,049,322	735,555
지정	14,184	633,806	190,162	1,017,001	847,836
최종폐기물 발생량(톤/년)	344,749	778,153	751,322	1,591,055	260,244
일반	334,459	499,842	723,649	1,196,750	105,997
지정	10,290	278,311	27,673	394,305	154,247
최종폐기물 발생률(%) ¹⁾	0.70	0.34	0.27	0.67	0.16

주 1) 폐기물 발생률=최종폐기물 발생량(톤)/자원소비량(톤)×100

5) 업종별 환경영향성

업종별 화학물질 배출율, 대기오염물질 배출율, 폐수 배출율, 폐기물 발생율을 종합하여 환경영향성을 산출한 결과 식료품 제조업이 61.3으로 가장 높고, 1차 금속 제조업이 27.8, 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업이 5.8, 화학물질 및 화학제품 제조업이 1.3, 비금속 광물제품 제조업이 0.12로 가장 낮게 나타났다. 업종별 환경영향성의 각 지표별로 보면 화학물질배출율은 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업, 대기오염물질배출율은 1차 금속 제조업, 폐수배출율은 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업 및 식료품 제조업, 최종폐기물 발생률은 식

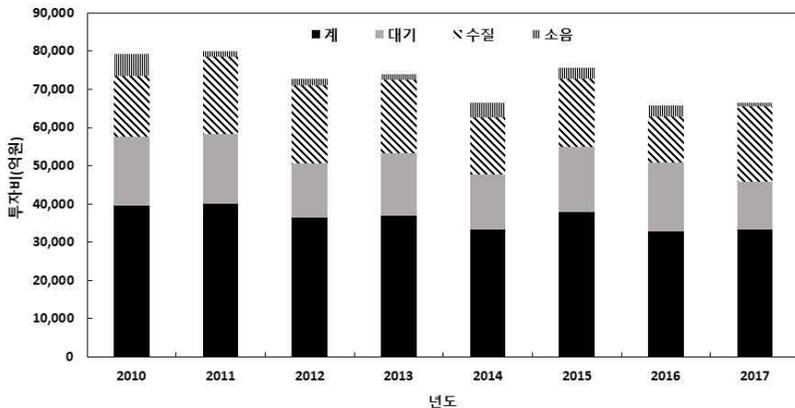
료품 제조업 및 1차 금속 제조업이 높게 나타나고 있으므로, 업종별로 환경부하를 낮추기 위해 지표가 높게 나타나는 분야를 대상으로 관리가 필요하다. 환경부에서 집계하고 있는 환경오염방지시설 투자현황²⁴⁾을 살펴보면 지속적으로 감소하는 추세를 나타냈다. 이를 환경영향성이 낮은 업종과 연계해서 해석하면, 식료품 제조업은 현재 환경오염방지시설에 대한 투자실적이 부족하고, 1차 금속 제조업은 투자규모가 절반으로 감소한 것이 원인으로 보이며, 이를 고려한 투자방향 및 시책 수립이 필요하다.

〈표 12〉 업종별 환경영향성 분석결과

구분	C10	C20	C23	C24	C26
화학물질배출율(%)	0.0671	0.0019	0.0004	0.0042	0.115
대기오염물질배출율(%)	0.0018	0.0056	0.0044	0.1233	0.0004
폐수배출율(%)	72.5	35.8	25.7	8	78.1
폐기물 발생률(%)	0.7	0.34	0.27	0.67	0.16
환경영향성 ¹⁾	61.3	1.3	0.1	27.8	5.8

주 1) 환경영향성=화학물질배출율×대기오염물질배출율×폐수배출율×폐기물 발생률×10,000

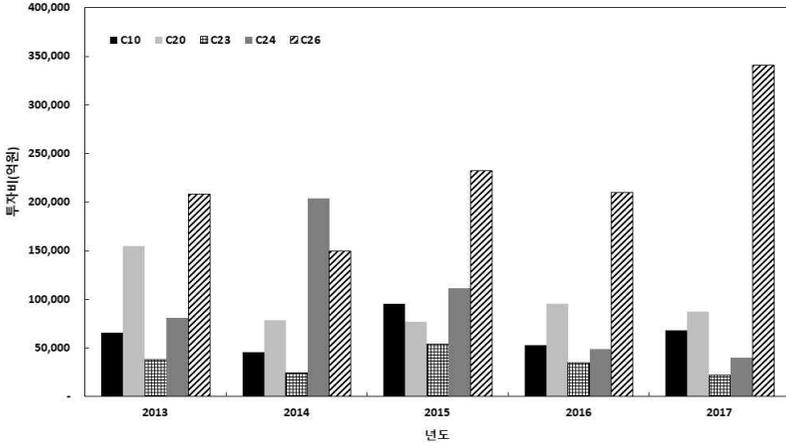
〈그림 2〉 환경오염방지시설 투자실적



자료: 환경부, 환경오염방지시설업 수주실적(2010~2018)

24) 환경부·한국환경산업기술원, 『2017년 기준 환경오염방지시설 투자현황 보고서』.

〈그림 3〉 업종별 환경오염방지시설 투자실적



자료: 환경부·한국환경산업기술원, 『2017년 기준 환경오염방지시설 투자현황 보고서』

4. 업종별 자원효율성 분석

자원생산성과 자원순환성만 고려하여 자원효율성을 산정한 경우, 식품 제조업이 1110.0로 가장 높게 나타났고, 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업이 487.8, 비금속 광물제품 제조업이 191.0 화학물질 및 화학제품 제조업이 92.8, 1차 금속 제조업이 70.4 순으로 낮게 나타났다. 그러나 환경영향성을 고려하여 자원효율성을 분석한 결과 순위가 다소 변동되었는데, 비금속 광물제품 제조업의 자원효율성이 1910.5로 가장 높고, 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업이 84.1, 화학물질 및 화학제품 제조업이 71.4, 식품 제조업이 18.1, 1차 금속 제조업이 2.5 순으로 나타났다. 식품 제조업은 타 업종에 비해 자원순환성이 높고, 비금속 광물제품 제조업은 부가가치율이 높고 환경영향이 거의 없어 자원효율성이 높게 나타났다. 화학물질 및 화학제품 제조업은 자원생산성은 높으나, 자원순환성이 낮고 환경영향성이 크고, 1차 금속 제조업은 투입되는 비용이 높아 타 업종에 비해 부가가치율이 낮고, 자원소비량이 많고, 제조공정에서 발생하는 대기환경오염물질이 다량 배출되어 자원효율성이 낮게 나타났다. 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업은

화학물질배출율이 높으나 대기오염물질 배출이 적어 환경영향이 낮게 나타났고, 부가가치율이 타 업종에 비해 높아 자원효율성이 상대적으로 높게 나타났다.

〈표 13〉 업종별 자원효율성 분석결과

구분	C10	C20	C23	C24	C26
자원생산성	3.26	0.98	0.88	0.82	2.17
자원순환성	340.5	94.7	217.1	85.8	224.8
환경영향성	61.3	1.3	0.1	27.8	5.8
자원효율성 ¹⁾	18.1	71.4	1910.5	2.5	84.1

주 1) 자원효율성=자원생산성×자원순환성/환경영향성

IV. 결론

1. 업종별 자원효율성

본 연구는 주요 5개 업종에 대해서 국가 통계를 활용하여 자원효율성을 분석하였으며, 분석결과 및 업종별 개선사항은 다음과 같다.

1) 식료품 제조업

식료품 제조업의 자원생산성은 3.26, 자원순환성은 340.5, 환경영향성은 61.3, 자원효율성은 18.1로 나타났다. 자원효율성을 증대시키기 위해서는 상대적으로 낮은 자원생산성을 높이기 위해 고부가가치 식품 산업을 활성화 시킬 필요가 있으며, 환경영향성을 낮추기 위해 환경오염물질 저감 시설을 적극 도입할 수 있도록 지원의 확대가 필요하다. 동시에 화학물질배출량, 폐수방류량을 낮출 수 있도록 교육 및 공정개선이 필요하며, 최종폐기물 발생량을 낮추기 위해서는 발생하는 부산물의 자원화 방법의 확대나 수율을 높일 수 있는 기술개발이 필요하다.

2) 화학물질 및 화학제품 제조업

화학물질 및 화학제품 제조업의 자원생산성은 0.98, 자원순환성은 94.7, 환경영향성은 1.3, 자원효율성은 71.4로 나타났다. 자원효율성을 증대시키기 위해서는 타 업종에 비해 상대적으로 낮은 자원순환성을 증대시키기 위해 재활용율과 에너지회수율의 관리가 필요하다. 해당 업종의 특성상 자원화가 어려운 공정오니류가 다량 발생되는데, 이를 원천적으로 줄이기 위한 공정을 개선하거나 이를 처리하기 위한 설비(정제, 무해화 등)를 도입하고, 장기적으로는 재활용 용도의 확대에 대한 연구개발이 필요하다. 아울러 해당 업종에서 발생하는 폐기물 중 가연성 물질이나 유기성 화학물질의 경우 소각을 통해 에너지 회수율을 높이는 방안도 고려해볼 필요가 있다.

3) 비금속 광물제품 제조업

비금속 광물제품 제조업의 자원생산성은 0.88, 자원순환성은 217.1, 환경영향성은 0.12, 자원효율성은 1910.5로 나타났다. 자원순환성, 환경영향성은 모두 타 업종에 비해 비슷하거나 높은 수준을 나타냈으나 자원생산성이 타 업종에 비해 낮아 자원효율성이 낮게 나타났다. 따라서 고부가가치 제품을 생산하는 방향으로 업종을 관리할 필요가 있으나, 국내 부존 자원은 고부가가치 소재(희유금속류, 희토류 등)가 없기 때문에 고부가가치 신소재로 활용을 위한 기술개발 투자나 국외의 저가치 자원을 활용하여 고부가가치 제품을 생산하는 등의 전략이 필요하다.

4) 1차 금속 제조업

1차 금속 제조업의 자원생산성은 0.82, 자원순환성은 85.8, 환경영향성은 27.76, 자원효율성은 2.5로 나타났다. 자원효율성이 타 업종에 비해 가장 낮고, 전체적으로 개선할 필요가 있다. 먼저 자원생산성과 자원순환성

을 높이기 위해서는 원자재 사용량 절감과 재활용율을 높이는데 기여할 수 있는 자가재활용율을 높이거나 고부가가치 재활용 용도개발이 필요하다. 또한, 1차 금속 제조업의 경우 에너지다소비 업종으로 나타났는데, 더 이상의 고효율설비로 개선하는 방식은 그 효과의 한계가 있다. 따라서 최근 ICT(Information & Communication Technology)를 이용하는 스마트 공장에 대한 연구가 많이 진행되고 있는데²⁵⁾ 이러한 혁신적인 공정개선을 통해 에너지 소비량을 획기적으로 절감할 수 있는 방안을 고려해야 한다. 환경영향성은 중 대기분야는 대기 중으로 배출되는 화학물질의 양을 저감하기 위해 그동안 입상 대기오염물질인 먼지를 저감하기 위해 적용하던 전기집진이나 여과필터를 고효율화시키고 NO_x나 SO_x를 제거하기 위한 탈질, 탈황 기술개발에 대한 투자가 필요하다.

5) 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업

전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업의 자원생산성은 2.17, 자원순환성은 224.8, 환경영향성은 5.75, 자원효율성은 84.1로 나타났다. 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업의 자원효율성을 증대시키기 위해서는 환경영향성을 낮출 필요가 있다. 특히, 화학물질 배출율이 높고, 대부분 대기로 배출되고 있기 때문에 단기적으로 활성탄이나 소각 방식 등을 통해 화학물질을 확실하게 저감하고, 장기적으로는 원료 자체에서 화학물질 배출량 저감을 위해 제품에 대한 유해화학물질 사용 제한 및 금지를 지속적으로 확대하는 방향의 규제가 필요하다.

2. 종합 결론

국내 5개 업종의 자원생산성, 자원순환성, 환경영향성을 평가함에 따라 개선이 우선적으로 필요한 업종 및 세부 분야를 확인 할 수 있었다. 또한

25) 이현정·김용진·임정일·김용운·이수형, 2017, “스마트공장 구축을 위한 현장실태 및 요구사항 분석,” 『한국정밀공학회지』, 34(1), pp.29-34.

기존의 집계중인 통계를 활용하므로 5개 업종 외에도 자원효율성을 분석하는데도 적용이 가능할 것으로 판단된다. 업종별 생산단계를 관리하는 자원생산분야와 발생 이후 저감을 위한 자원순환성 분야, 화학물질, 대기, 폐수, 폐기물 각 영역의 오염 관리 및 저감에 대한 논리적인 정책 수립이 가능할 것으로 판단된다.

그러나 본 연구에서 자원효율성의 분석결과와 원인을 정확하게 분석하기 위해서는 업종별 특성과 적용공법 등에 대한 세부적인 정보가 필요하나, 본 연구 논문은 국내 제조업의 진단에 초점을 맞추고 있어 세부적인 분석에는 한계가 있다. 예를 들어 식료품 제조업의 환경영향성의 경우, 화학물질배출율과 폐수배출율이 높다. 이를 관리하기 위해서 화학물질 사용량을 줄여나가고, 폐수처리시설을 통한 재이용수를 활용하도록 개선할 수 있으나, 실제 식료품 제조업계에 영세한 업체가 많으므로 경제성 문제로 인해 약품으로 사용되는 화학물질의 대체가 어렵고, 폐수 자가처리시설도 갖추기 어려운 문제 등의 제한사항이 있을 수 있다. 또한, 환경오염물질별로 환경에 미치는 부하가 상이하나, 이를 고려하지 못한 한계도 있다. 예를 들어 미세먼지는 전구물질인 SO_x, NO_x, VOCs 등의 영향을 받고, 물질별로 기여도가 다르기 때문에 직접 배출량 통계만으로는 분석에 한계가 있다.

따라서 자원효율성 분석과 업종별 특성분석과 연계하여 정확한 현 실태를 진단하고 더 세밀한 관리방안 제안하기 위해 업종별 특성에 대한 연구가 진행될 필요가 있다. 즉, 진단결과를 토대로 업종에서 어떤 제한사항과 문제점으로 인해 자원효율성이 낮은 원인을 도출해내고 이를 보완할 수 있는 적정 개선방안을 정책에 반영할 필요가 있다.

또한, 환경오염물질의 환경영향 등을 종합적으로 평가할 수 있는 가중치, 산출식 등을 개발하여 대기, 수질, 화학물질 등의 대한 영향을 평가할 필요가 있다. 대기오염물질의 경우 기존의 통합대기환경지수(Comprehensive air-quality index, CAI)를 보다 세분화하고 농도제에서 총량제에 적합하도록 개선하고, 수질오염물질과 화학물질, 폐기물에 대해서는 신규 방법론의 개발이 필요하다.

■ 참고문헌 ■

- 강태진, 2006, “식품산업현황과 발전방안,” 『생물학연구정보센터 Biowave』, 8(22), pp.1-15.
- 경기연구원, 2016, 『사업장폐기물 감량화 방안』, (정책연구; 2016-21), 수원: 경기연구원.
- 고정근·임종한·심수은·반영운, 2017, “지역사회 화학물질배출량과 건강수준에 대한 환경정의 분석,” 『환경독성보건학회 2017 춘계학술대회 초록집』, 연세대학교 보건대학원, p.370.
- 구자열·주희천·정은호, 2016, “전력소비 변화 요인분석을 통한 국내 제조업의 전력효율성 평가,” 『에너지경제연구』, 15(2), pp.23-54.
- 국립환경과학원, 2007, 『지정폐기물의 처리기준 선진화방안 연구』, 인천: 국립환경과학원.
- _____, 2009, 『전자부품, 영상, 음향 및 통신장비제조업종용 화학물질 배출량 산정지침』, 인천: 국립환경과학원.
- _____, 2018, 『자원순환경제 도입을 위한 추진계획 마련 연구』, (NIER-SP: 2018-085), 인천: 국립환경과학원.
- 김동구, 2015, “자원 빈국(貧國)이 살아남는 길,” 『환경정보』, 419, pp.10-12.
- 김유정, 2011, “물질흐름지표를 이용한 한국(韓國)의 지속가능한 자원관리(資源管理) 평가 연구(研究),” 『자원 리사이클링』, 20(6), pp.43-49.
- 김일광, 2011, 1차고속 산업세부 업종 및 제품별 수익창출 요인고찰, 『신한FSB리뷰』, (pp.30-33), 서울: 신한은행.
- 산업연구원, 2012, 『주요 산업의 자원순환 촉진을 위한 방안 연구』, (연구보고서; 2012-643), 서울: 산업연구원.
- 산업통상자원부, 2017, 『선진국 제조 폐기물 재활용 사례조사』, 세종: 산업통상자원부.
- 산업통상자원부·한국에너지공단, 2018, 『2017년도 에너지사용량 통계』, 용인: 한국에너지공단.
- _____, 2019, 『2018년도 에너지사용량 통계』, 울산: 한국에너지공단.
- 식품음료신문, 2017.1.17., “[탐방-중소식품업체 유해물질 저감화 사례①]안동자활센터 ‘녹색드립식품,’” <https://www.thinkfood.co.kr/news/articleView.html?idxno=72991>.
- 이현정·김용진·임정일·김용운·이수형, 2017, “스마트공장 구축을 위한 현장실태 및 요구사항 분석,” 『한국정밀공학회지』, 34(1), pp.29-34.
- 오수미, 2019, “국내발전사회의 환경효율성(eco-efficiency) 분석: 자료포락분석을 활용하여,” 『한국정책과학학회보』, 23(4), pp.59-86, DOI: 10.31553/kpsr.2019.6.23.4.59.
- 임지호·황용우·김준범·문진영, 2013, “LCA기법을 활용한 태양광 시스템의 자원효율성 및 자원요구량 예측,” 『대한환경공학학회지』, 35(7), pp.464-471.
- (주)에스오알지, 2011, 『자원생산성 향상을 위한 효율적 기업자원관리(ERM) 시범사업』,

과천: 지식경제부.

조선일보, 2018.1.7., “붉은벽돌 장당 250원선...운송비 따라 천차만별,” http://reality.chosun.com/site/data/html_dir/2018/01/05/2018010502151.html.

조원택, 2012, “플리에틸렌관의 전과정 평가(LCA) 분석을 통한 자원효율성 평가,” 석사 학위논문, 서울과학기술대학교 산업대학원, 서울.

한국농촌경제연구원, 2008, 『농식품 감모 및 폐기 통계 구축을 위한 기초연구』, (연구보고; R568), 서울: 한국농촌경제연구원.

한국은행, 2019, 『기업경영분석』, 통계정보보고서, 서울: 한국은행.

한국환경공단, 2017, 『폐기물 다량발생 사업장 폐기물 감량 현황(2017)』, (K-eco(2017)-PE09-25), 인천: 한국환경공단.

한국환경정책·평가연구원, 2018, 『한국 제조업의 환경경제효율성 분석』, (경제·인문사회 연구회 협동연구 총서; 18-70-02, 녹색경제협동연구 사업보고서; 2018-10-02), 세종: 한국환경정책·평가연구원.

환경부, 2010~2018, 『환경오염방지시설업 수주실적』, 세종: 환경부.

_____, 2019a, 『2019 산업폐수의 발생과 처리: 환경오염 배출업소 조사결과』, 세종: 환경부.

_____, 2019b, 『화학물질통계조사』, 세종: 환경부.

환경부·한국환경산업기술원, 『2017년 기준 환경오염방지시설 투자현황 보고서』, 세종: 환경부.

UN·European Union·Food and Agriculture Organization of the United Nations·Organisation for Economic Co-operation and Development·World Bank Group, 2014, *System of environmental-Economic accounting 2012: Central framework*, New York: UN.

국가미세먼지정보센터 국가 대기오염물질 배출량 서비스, n.d., “대기오염물질배출량,” http://airemiss.nier.go.kr/mbshome/mbs/airemiss/subview.do?id=airemiss_020200000000, [2019.12.25]

국가청정생산지원센터, n.d., “자원생산성 측정 지표,” <https://www.kncpc.or.kr/resource/innovation.asp>, [2020.2.9]

조선내화, n.d., “제조공정,” <http://www.chosunref.co.kr/home/gift/kor/process.do>, [2019.12.30]

한국생산성본부, 2018, “업종별 부가가치 분석 통계(2017년 기준)의 업종 평균치,” <http://www.kpc.or.kr/Productivity/StatisticDB.asp>, [2019.12.25]

화학물질안전원 화학물질종합정보시스템, 2018, “화학물질통계(2016),” <http://icis.me.go.kr>, [2019.12.10]

_____, 2018, “업종별 화학물질 배출량 조사결과 (2016),” <http://icis.me.go.kr>, [2019.12.10]

김도완: 서울과학기술대학교 석사과정으로 관심분야는 폐자원에너지화이며 주요논문으로는 국내 고형연료 관리의 문제점 및 개선 방향(2019) 등이 있다(dowan2050@nate.com).

이종수: 서울과학기술대학교 박사과정으로 관심분야는 폐기물 관련 정책 및 통계 분석 등이 있다(jjong1324@seoultech.ac.kr).

배재근: 동경공업대학교 공학박사로 서울과학기술대학교 환경공학과 교수로 있으며, 주요 논문으로는 생활폐기물 소각시설의 운영 실태 분석을 통한 에너지회수 효율 개선방안 검토(2018) 등이 있다(phae@snut.ac.kr).

투 고 일: 2020년 01월 07일
심 사 일: 2020년 01월 17일
게재확정일: 2020년 01월 24일