

금속 자원의 경제적 가치를 고려한 국가 단위 자원생산성 지표 활용 방안

이종효¹, 강홍윤^{1*}, 황용우², 오상현¹

¹인하대학교 일반대학원 순환경제환경시스템전공

22212 인천광역시 미추홀구 인하로 100

²인하대학교 환경공학과

22212 인천광역시 미추홀구 인하로 100

(2024년 7월 1일 투고; 2024년 8월 2일 수정본 접수; 2024년 8월 5일 채택)

Utilization of the National-Level Resource Productivity Indicators Considering the Economic Value of Metal Resources

Jong-Hyo Lee¹, Hong-Yoon Kang^{1*}, Yong Woo Hwang², and Sang-Hyun Oh¹

¹Program in Circular Economy Environmental System, Graduate School, Inha University

Inha University, Inha-ro 100, Michuhol-gu, Incheon 22212, Korea

²Department of Environmental Engineering, Inha University

Inha University, Inha-ro 100, Michuhol-gu, Incheon 22212, Korea

(Received for review July 1, 2024; Revision received August 2, 2024; Accepted August 5, 2024)

요약

파리 협정과 함께 기후변화에 대한 전 지구적인 관심이 크게 증가한 이후 국가 단위 자원생산성의 측정 및 관리는 그 중요성이 날이 커지고 있다. 그러나, 지표가 가지고 있는 불확실성으로 인해 지표의 신뢰성에 대한 우려 또한 꾸준히 제기되고 있는 상황이다. 이에 본 연구에서는 다중회귀분석을 통하여 OECD 38개국의 금속 및 비금속 부문 자원생산성을 산정하고, 현행 자원생산성 지표 결과와의 비교 분석을 수행하였다. 연구 결과, ① 중량 대비 가치가 낮은 금속 자원의 경제적 비중이 높아 국가 전체의 자원생산성이 낮은 국가들은 비금속 자원생산성의 순위가 대폭 상승하였으며, ② 국가 전체 경제에서 금속 산업이 차지하는 비중은 낮으나, 금속 산업에서 직접 고부가가치를 창출하는 국가들은 금속 자원생산성 순위가 대폭 상승하였다. 또한, ③ 국가 전체 경제에서 금속 산업이 차지하는 비중이 낮고, 금속 자원생산성 또한 낮은 국가들은 금속 자원생산성 순위가 크게 하락하는 경향을 보였으며, ④ 금속과 비금속 자원생산성 간 편차가 작은 국가들은 금속 및 비금속 자원생산성 모두에서 유의미한 순위 변동을 보이지 않았다. 현행 자원생산성 결과에 비하여 자원생산성을 금속 자원과 비금속 자원으로 나누어 산정하였을 때 비금속 자원보다 금속 자원의 순위 변화 폭이 큰 것을 보여주었다. 이는 일반적으로 금속 자원 이외의 자원(바이오매스, 화석연료, 비금속 광물)이 국가 전체 경제에서 차지하는 비중이 높아 국가 단위 자원생산성에 지배적인 영향을 미치기 때문인 것으로 나타났다. 따라서 현행 국가 단위 자원생산성을 보다 면밀히 분석 및 활용하기 위하여는 자원 종류별 경제적 가치 또한 별도의 통계자료로써 관리되어야 함을 시사한다.

주제어 : 자원생산성, 국내총생산(GDP), 국내자원소비량(DMC), 다중회귀분석, 금속 및 비금속 자원으로부터의 부가가치

Abstract : Since the Paris Agreement and the surge in global interest in climate change, the importance of measuring and managing national-level resource productivity has steadily grown. However, concerns about the reliability of productivity indicators persist due to inherent uncertainties. This study estimated the metal and non-metal resource productivities of 38 OECD countries through multiple regression analysis and conducted a comparative analysis of their ranking changes according to their current resource productivities. The study results revealed that the 38 OECD countries could be classified into four categories. First, countries with low overall resource productivities due to a high economic dependence on low-value metal resources by weight exhibited a substantial rise in their non-metal resource productivity rankings. Second, countries that have minimal metal industries in their national economies but generate high value-added from these sectors showed a notable increase in their metal resource productivity rankings. Third, countries with a low proportion of metal industry in their economies and low metal resource productivities experienced significant declines in their metal resource productivity rankings. Fourth, countries with a small disparity between their metal and non-metal resource productivities showed minimal changes in their rankings for both categories. These results highlight

*To whom correspondence should be addressed.

E-mail: kanghy@inha.ac.kr, Tel: +82-32-860-9329

<https://doi.org/10.7464/ksct.2024.30.3.276> pISSN 1598-9712 eISSN 2288-0690

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

that changes in metal resource productivity rankings were more pronounced than those for non-metal resources, which implies that the influence of non-metal resources (biomass, fossil fuels, non-metallic minerals) dominates national-level resource productivity because their economic value is higher than metal resources. These findings suggest that it is necessary to manage the economic value of each resource type as distinct statistical data to provide a more nuanced understanding of national resource productivity.

Keywords : Resource productivity, Gross Domestic Product (GDP), Domestic Material Consumption (DMC), Multiple regression analysis, Value-added from metal/non-metal resources

1. 서 론

세계 경제의 발전은 기본적으로 지구 환경에 대한 파괴와 악영향을 수반한다. 인구의 폭발적인 증가와 더불어 급증하는 환경오염 및 자원 고갈 문제에 대응하고자 전 세계 각국은 지속가능발전(sustainable development)을 위하여 여러 방안을 모색하고 있다. 대표적으로, 순환경제로의 전환(transition to circular economy) 및 녹색 경제(green economy)는 범지구적 환경전략으로 볼 수 있다[1,2]. 그리고, 이러한 환경 경영·경제 전략의 변화가 특정 국가의 경제에 어떠한 영향을 미치고, 그 결과가 궁극적으로 지속 가능한 발전 목표에 어떠한 형태로 작용할 것인지를 분석하는 것은 각국의 정부 및 국제기구의 정책 입안자들이 논의하고 있는 주요 의제 중 하나이다[3,4].

국가 단위 자원생산성(national-level resource productivity) 지표의 산정 및 관리는 2015년 체결된 파리 협정 이후, 기후 변화 및 자원 사용에 대한 전 지구적인 관심이 높아지면서 그 중요성이 점점 커지고 있다. 국가 전체의 자원 소비량 대비 발생하는 부가가치를 파악 및 평가하는 것은 거시경제적(macroeconomics), 그리고 미시경제적(microeconomics) 관점 모두에서 정책 우선순위를 설정하는데 중요한 자료로 활용될 수 있기 때문이다[5-7].

우리나라도 전 세계적 흐름에 발맞추어 국가 수준의 자원생산성을 높이고자 다양한 노력을 기울이고 있다. 미시적 측면에서는 투입되는 자원의 양 대비 부가가치 창출량을 높이기 위하여 사업체 단위의 기술, 공정 혁신을 위한 R&D, 설비 구축, 재제조와 같은 순환경제 또는 탄소중립 친화적인 산업[8], 기업 ESG 제고[9] 등에 다량의 자본을 투입하고 있으며, 거시적인 측면에서는 국가 수준의 자원생산성 지표를 보다 정교하게 산정하여 국가 간의 비교, 분석이 보다 합리적으로 이루어질 수 있도록 여러 차원에서 다양한 시도를 하고 있다.

자원생산성의 개념은 오래전부터 그 중요성이 국내외적으로 강조되어 왔다. 하지만, 자원생산성 지표를 실질적으로 도입·운영하는 과정에서 발생하는 다양한 이견과 지표가 가지고 있는 불확실성으로 인해 신뢰성에 대한 우려 또한 꾸준히 제기되어 오고 있는 상황이다[10,11].

일반적으로 국가 단위의 자원 생산성은 국내자원소비량(domestic material consumption, DMC) 대비 국내총생산(gross domestic product, GDP)으로 산정한다. 산정된 자원생산성은 자원 사용량 1 ton당 얼마나 많은 부가가치가 발생하였는지로

나타낸다(USD/ton).

그러나 이와 같은 자원생산성 산정 방식은 산정에 활용되는 지표들의 특성상 국가 경제를 구성하는 산업의 세부적인 특성 및 자원의 종류별 가치를 고려하지 못한다. 그리고 이는 분석 결과를 해석하는 과정에서 한 국가의 자원생산성 지표를 왜곡하여 해석하게 하는 원인이 된다.

예를 들어, DMC는 지표의 특성상 한 국가 내에서 재료로 사용된 자원의 총량만을 다룬다. 반면, GDP는 1·2·3차 산업을 통틀어 창출된 최종생산물(재화 및 서비스)의 부가가치 총합을 의미하므로 현행 자원생산성 산정 방식은 국가별 산업적, 지리적 특성에 따라 유리 또는 불리할 수 밖에 없는 구조적인 한계를 지닌다. 또한, 현행 자원생산성 지표는 GDP, DMC 지표의 특성상 상당히 포괄적인 성격 때문에 부가가치 창출을 위해 소비되는 자원의 세부적인 속성을 고려하지 못한다. DMC는 투입되는 자원의 무게 총량만을 의미하는 지표이므로 단순히 GDP를 DMC로 나누어 자원생산성을 측정할 경우, 투입되는 자원별로 다르게 발생하는 부가가치는 국가 단위 자원생산성에 반영되지 못한다. 그리고 이는 국가별로 사용된 자원 종류의 비중 차이에 따라 한 국가의 자원생산성을 과대 또는 과소평가할 가능성을 지니고 있다.

이에 본 연구에서는 투입 자원의 경제적 가치를 고려하여 현행 국가 단위 자원생산성 지표의 개선 방법을 모색하고, 자원생산성 지표의 개선 활용 방안을 제안하여 연구 대상 국가들의 자원생산성 지표 해석 및 관리에 새로운 이정표를 제시하고자 한다.

2. 국가별 자원생산성 지표와 1인당 자원소비량의 괴리

OECD Data (<https://data.oecd.org/>)의 1인당 평균 자원소비량(material consumption per capita, MCpc) 통계자료[12]에 따르면 2019년 기준 우리나라는 19.7 ton으로 OECD 38개국 중 14 번째로 MCpc가 많은 국가이며, 이는 OECD 평균인 19.5 ton에 비해 소폭 많은 수준이다. MCpc가 가장 많은 국가는 캐나다로 국민 1인당 평균 56.8 ton의 자원을 소비하는 것으로 나타났으며 이는 우리나라에 비해 약 3배 많은 양이다. 이어서 칠레는 52.6 ton, 호주는 40.3 ton으로 MCpc가 가장 많은 국가 2, 3위로 나타났다. 반면 우리나라와 유사하게 제조업 비중이 상대적으로 높은 일본의 MCpc는 11.0 ton으로 OECD 38개국 중 30번째에 해당하였다. 이는 우리나라 MCpc의 약 절반 수준이다.

MCpc가 가장 적은 국가는 콜롬비아로 국민 1인당 평균 7.9 ton의 자원을 소비하는 것으로 나타났으며 뒤이어 영국이 8.3 ton, 이탈리아가 8.4 ton으로 나타났다. 반면, GDP/DMC로 산정한 각국의 자원생산성은 MCpc와 상이한 결과를 보였다. 2019년 기준 우리나라는 평균 1,618.2 USD/ton의 자원생산성

을 보였다. 이는 OECD 평균인 2,382.0 USD/ton과 비교하였을 때 2/3 수준으로 OECD 38개국 중 21번째에 해당하는 수치이며 자원생산성이 높다고 평가하기에는 어려운 수준이다. 자원생산성이 가장 높은 국가는 스위스로 7,848.7 USD/ton의 부가가치를 창출하는 것으로 나타났다. 이는 우리나라에 비해 약 5

Table 1. Material consumption per capita and Resource productivity ranking of OECD countries (as of 2019)

Countries	Material consumption (per capita, ton)	Ranking	Countries	Resource productivity (USD/ton)	Ranking
Canada	56.8	1	Switzerland	7,848.7	1
Chile	52.6	2	Netherlands	6,071.8	2
Australia	40.3	3	United Kingdom	5,133.2	3
Finland	31.4	4	Luxembourg	5,066.2	4
Norway	31.3	5	Italy	4,000.6	5
New Zealand	29.4	6	Japan	3,682.1	6
Estonia	28.4	7	Iceland	3,622.7	7
Sweden	25.2	8	France	3,555.7	8
Denmark	24.5	9	Belgium	3,377.1	9
Ireland	24.4	10	Ireland	3,324.4	10
United States	23.6	11	Germany	3,282.7	11
Luxembourg	22.2	12	Spain	3,138.1	12
Israel	21.4	13	United States	2,735.7	13
Korea	19.7	14	Austria	2,657.0	14
Lithuania	19.4	15	Norway	2,445.6	15
Iceland	18.9	16	Denmark	2,428.6	16
Austria	18.8	17	Israel	2,082.5	17
Poland	17.6	18	Sweden	2,064.5	18
Portugal	16.3	19	Slovenia	1,907.0	19
Hungary	16.3	20	Greece	1,652.2	20
Czech Republic	15.9	21	Korea	1,618.2	21
Latvia	14.8	22	Slovak Republic	1,607.9	22
Germany	14.3	23	Finland	1,548.7	23
Belgium	13.8	24	Czech Republic	1,487.3	24
Slovenia	13.6	25	New Zealand	1,447.6	25
Slovak Republic	12.1	26	Portugal	1,428.6	26
Greece	11.6	27	Australia	1,346.3	27
Mexico	11.4	28	Costa Rica	1,310.2	28
France	11.3	29	Latvia	1,212.6	29
Japan	11.0	30	Hungary	1,029.9	30
Turkiye	10.7	31	Lithuania	1,012.3	31
Switzerland	10.7	32	Mexico	891.2	32
Costa Rica	9.7	33	Poland	880.6	33
Spain	9.4	34	Turkiye	856.7	34
Netherlands	8.6	35	Colombia	843.1	35
Italy	8.4	36	Estonia	825.7	36
United Kingdom	8.3	37	Canada	817.0	37
Colombia	7.9	38	Chile	277.3	38

배 높은 수치이다. 이어서 네덜란드는 6,071.8 USD/ton, 영국은 5,133.2 USD/ton으로 자원생산성이 가장 높은 국가 2, 3위로 나타났다. 일본은 3,682.1 USD/ton으로 OECD 38개국 중 6번째에 해당하였다. 이는 우리나라와 비교하였을 때 약 2배에 해당하는 자원소비량 대비 부가가치 창출량이다.

자원생산성이 가장 낮은 국가는 칠레로 평균 277.3 USD/ton의 단위 자원 사용량 당 부가가치를 창출하였다. 이는 스위스의 1/30 수준이다. 칠레에 이어 캐나다가 817.0 USD/ton, 에스토니아가 825.7 USD/ton으로 나타났다(Table 1).

국가별 자원생산성 지표와 MCpc의 비교에서 관찰되는 괴리는 GDP/DMC로 산출되는 부가가치가 실질적인 자원사용량 대비 창출되는 부가가치와는 큰 차이가 있음을 보여준다. 그리고 그 괴리의 정도는 현행 자원생산성 지표가 합리성 내지 타당성을 보다 확보하기 위하여 자원 종류별 생산성을 구분하여 상대적인 비교가 필요함을 시사한다. 즉, GDP/DMC는 국가 간 자원생산성을 비교하는 상황에서 가치가 상대적으로 낮은 자원에 대한 경제적인 의존도가 높거나 자원으로 부터의 부가가치 창출량이 낮은 산업군 비중이 높은 국가들에게는 불리한 산정 방법인 반면, 자원에 대한 경제적 의존도가 낮거나 서비스업으로 대표되는 3차 산업 비중이 높은 국가들은 유리하게 평가할 여지가 있다는 것이다.

대표적으로, 룩셈부르크와 튀르키예의 MCpc와 자원생산성 간 차이는 국가별 자원생산성 지표와 MCpc의 괴리를 단적으로 보여주는 예이다.

룩셈부르크의 MCpc는 22.2 ton으로 튀르키예의 MCpc 대비 약 2배 가량 많다. 자원생산성 지표 또한 룩셈부르크는 5,066.2 USD/ton의 부가가치를 창출하는 것으로 나타났으며 이는 튀르키예에 비해 약 6배 가량 높다. 이는 튀르키예보다 2배 가량 MCpc가 많은 룩셈부르크에서 부가가치 또한 6배 가량 많은 양을 창출하는 것으로 해석할 수 있다. 즉, 천연자원의 사용과는 직접적으로 연관성이 낮은 3차 산업의 경제적 비중이 약 90%에 달하는 룩셈부르크의 경우 1인당 연간 자원사용량이 튀르키예의 2배 이상임에도 불구하고 자원사용량 대비 부가가치 창출을 6배 가량 이루어낸다는 것이다(Table 1).

이와 같은 현행 국가 단위 자원생산성 지표의 경향 및 한계점은 현행 지표가 합리성 내지 타당성을 보다 확보하기 위해 발생된 부가가치와 부가가치 창출의 원천 내지는 부가가치 창출에 필연적으로 수반되는 요소 간 경향성 및 관계성을 면밀히 분석하여 자원의 중량 당 가치 차이를 고려하는 자원생산성 활용 방안을 연구·개발해야 함을 시사한다.

3. 국가별 금속자원 투입 비율과 금속자원에서부터 창출되는 부가가치의 괴리

DMC는 국가 단위의 자원사용량을 포괄적으로 다루는 지표라는 점에서 자원의 가치를 고려하지 못한다. 이는 상대적으로

가치가 낮은 자원을 많이 사용하는 국가들이 자원생산성 산정 과정에서 불리할 수 있음을 의미한다. 예를 들어, 화력발전의 비중이 높아 석탄 사용량이 많은 국가, 제철 산업의 비중이 높아 철광석의 사용량이 많은 국가들은 귀금속 가공업의 비중이 높은 국가, 금속을 통한 부가가치 창출량이 높은 국가들에 비해서 자원생산성이 과소평가될 가능성이 높다.

유럽위원회(European Commission, EC)의 국가별 원료 등가 자료 입력 도구(Input data country raw material equivalents tool, RME Tool)[13]에 수록된 구조적 경영 통계(Structural Business Statistics, SBS) 자료에 따르면 2019년 기준 27개 유럽연합 국가들이 금속자원에서부터 창출한 부가가치(금속 GDP)는 약 5,870.6억 유로로 나타났다. 이는 유럽연합 전체 GDP인 15.7조 유로의 약 3.7%에 해당하는 수치이다.

반면, 2019년 기준 유럽연합 국가들의 금속자원 사용량(금속 DMC)은 3.4억 ton으로 유럽연합 국가들의 전체 자원소비량인 약 63.4억 ton의 5.4%를 차지했다. 산술적인 비교에서는 1.6%p의 미미한 차이로 보여지나 차지하는 비율 간 비교를 할 경우 금속자원 사용량의 비중은 금속자원에서부터의 부가가치 창출 비중보다 약 43.5% 크다. 이와 같이 평균 비교 결과만을 분석할 경우, 금속자원은 금속자원 이외의 다른 자원(바이오매스, 화석연료, 비금속 광물 등)에 비하여 투입량 대비 부가가치 창출량이 적은 것으로 보여진다.

하지만, 유럽연합 국가들의 금속자원 투입량 대비 부가가치 창출량을 각 국가별로 비교할 경우, 금속자원 투입량 평균과는 다른 특징을 찾을 수 있다.

유럽연합 국가들 중 금속자원 투입량 대비 금속자원에서부터의 부가가치 창출률이 가장 높은 국가는 이탈리아로 나타났다. 이탈리아의 금속 GDP는 1,295.5억 USD로 이탈리아의 국가 GDP인 2조 USD의 약 6.4%에 해당하는 것으로 나타났다. 반면, 이탈리아의 금속 DMC는 1,400만 ton으로 국가 DMC인 5억 ton의 약 2.8%를 차지하는 것으로 나타났다. 전체 자원 중 금속자원 투입 비율 대비 GDP 중 금속에서부터 발생한 부가가치 창출 비율로 계산할 경우 이탈리아는 금속에서부터 131.3%p의 높은 부가가치 창출률을 보였다. 이어서 슬로베니아가 128.6%p, 슬로바키아가 108.6%p의 부가가치 창출률로 유럽연합 국가들 중에서는 각각 2, 3위로 나타났다(Table 2).

반면, 유럽연합 국가들 중 금속자원 투입량 대비 금속자원에서부터 부가가치 창출률이 가장 낮은 국가는 헝가리였다. 헝가리의 금속 GDP는 2천만 USD로 국가 GDP인 1,600억 USD의 약 0.01%에 해당한다. 반면, 헝가리의 금속 DMC는 300만 ton으로 국가 DMC인 1.6억 ton의 약 1.9%에 해당한다. 전체 자원 중 금속자원 투입 비율 대비 GDP 중 금속에서부터 발생한 부가가치 창출 비율로 계산할 경우 헝가리는 금속에서부터 -99.3%p의 매우 낮은 부가가치 창출률을 보였다. 이어서 스웨덴이 -98.2%p, 몰타가 -97.0%p의 부가가치 창출률로 하위 2,

Table 2. Comparison of value-added rates from metal resources compared to metal resources input in European union countries (as of 2019)

Countries	GDP (million US dollars)	Total value- added from metal resources (million US dollars)	DMC (million ton)	Metal DMC (million ton)	Value-added rates from metal resources to GDP	Ratio of metal resources input to DMC	Ratio of value-added rates to input	Ranking
Italy	2,011,302.8	129,547.3	502.8	14.0	6.4%	2.8%	131.3%	1
Slovenia	54,331.6	2,614.6	28.5	0.6	4.8%	2.1%	128.6%	2
Slovakia	105,720.4	8,726.2	65.7	2.6	8.3%	4.0%	108.6%	3
Austria	444,621.3	35,787.0	167.3	8.4	8.0%	5.0%	60.3%	4
Germany	3,888,227.2	193,769.2	1,184.5	39.0	5.0%	3.3%	51.4%	5
Latvia	34,343.9	143.2	28.3	0.1	0.4%	0.4%	18.0%	6
Greece	205,257.1	10,821.1	124.2	5.6	5.3%	4.5%	16.9%	7
Belgium	535,865.8	41,112.7	158.7	11.4	7.7%	7.2%	6.8%	8
France	2,728,871.0	54,933.7	767.5	19.2	2.0%	2.5%	-19.5%	9
Estonia	31,081.9	148.1	37.6	0.3	0.5%	0.8%	-40.3%	10
Romania	251,017.8	2,032.1	533.5	7.7	0.8%	1.4%	-43.9%	11
Spain	1,394,320.5	59,128.5	444.3	33.9	4.2%	7.6%	-44.4%	12
Portugal	239,987.0	5,828.5	168.0	11.1	2.4%	6.6%	-63.2%	13
Bulgaria	68,913.8	5,622.6	145.7	33.8	8.2%	23.2%	-64.8%	14
Finland	268,515.0	14,704.7	173.4	28.1	5.5%	16.2%	-66.2%	15
Croatia	61,329.3	336.6	43.3	0.9	0.5%	2.1%	-73.6%	16
Poland	596,058.5	6,246.7	676.9	34.9	1.0%	5.2%	-79.7%	17
Netherlands	910,194.6	9,585.6	149.9	7.9	1.1%	5.3%	-80.0%	18
Lithuania	54,760.7	75.6	54.1	0.5	0.1%	0.9%	-85.1%	19
Denmark	346,498.7	314.6	142.7	1.0	0.1%	0.7%	-87.0%	20
Ireland	399,321.8	2,173.5	120.4	6.7	0.5%	5.6%	-90.2%	21
Czechia	252,548.2	587.1	169.8	4.5	0.2%	2.7%	-91.2%	22
Luxembourg	69,825.7	353.0	13.8	1.0	0.5%	7.2%	-93.0%	23
Cyprus	25,759.0	94.0	16.5	1.0	0.4%	6.1%	-94.0%	24
Malta	15,725.4	8.1	5.9	0.1	0.1%	1.7%	-97.0%	25
Sweden	533,879.5	2,341.4	258.6	63.1	0.4%	24.4%	-98.2%	26
Hungary	164,020.5	20.6	159.3	3.0	0.0%	1.9%	-99.3%	27

3위에 위치했다.

이는 취급하는 금속자원의 가치 및 속성, 또는 가공 기술의 고도화 차이에 따라서 창출되는 부가가치의 양이 국가별로 편차가 매우 큰 것을 단적으로 보여주는 예이다.

유럽연합 국가들의 금속자원 투입 비율 대비 금속으로부터의 부가가치 창출 비율(이하 부가가치/금속)을 군집화하여 비교할 때 국가 간 편차는 더욱 확실히 보여진다. 부가가치/금속이 60%를 상회하는 국가들은 이탈리아, 슬로베니아, 슬로바키아, 오스트리아의 4개 국가이며, 60% 미만, 0% 이상의 국가들은 독일, 라트비아, 그리스, 벨기에의 4개 국가로 27개 국가 중 8개 국가에서만 금속자원의 투입 비율 대비 창출되는 부가가치의 양이 더 큰 것으로 나타났다. 프랑스, 에스토니아, 루마니아, 스페인의 경우 부가가치/금속은 -50% 이상, 0% 미만이었

으며, 나머지 14개 국가의 경우 금속/부가가치는 -50% 미만으로, 금속으로부터의 부가가치 창출량이 매우 낮은 것으로 나타났다(Table 2).

이와 같은 금속 자원 투입 중심의 DMC 해석은 자원의 절대적인 가치, 속성 및 자원 활용 그리고 가공 기술의 차이를 고려하는 형태로 자원생산성이 활용되어야 함을 시사한다.

4. 다중회귀분석을 이용한 국가별 금속 및 비금속 자원으로부터의 발생 부가가치 산정

금속 자원으로부터 발생하는 부가가치 창출량과 비금속 자원으로부터 발생하는 부가가치 창출량은 자원생산성이라는 하나의 지표로 아울러 판단하기에는 각각의 자원 종류로부터 발

생하는 부가가치의 편차가 크다. 실제로도, 금속 자원을 많이 다루는 국가들은 상대적으로 금속 자원을 적게 다루는 국가들보다 자원생산성이 낮게 측정되는 경향이 있다. 이는, 중량을 기준으로 할 때 금속 자원은 바이오매스, 비금속 광물보다 상대적으로 경제적 가치가 낮은 경향이 있어 자원의 중량 대비 창출할 수 있는 부가가치의 창출량 또한 상대적으로 적다.

금속 및 비금속 자원의 사용량과 부가가치 창출량 간 관계성을 판단하기 위해서는 OECD 각국의 금속 및 비금속 자원으로부터 창출된 부가가치 통계(이하 GDP_m , GDP_{nm})가 필요하다. 그러나, OECD Stat.에서는 해당 통계를 제공하고 있지 않아 OECD 국가들의 자원사용량과 부가가치 창출량 간 관계성을 직접 판단하기는 어려운 실정이다.

참고자료의 범위를 넓혀 본 연구의 성격에 맞게 가공이 가능한 통계자료는 eurostat의 RME Tool에 수록된 SBS 통계자료와 국제에너지기구(International Energy Agency, IEA)의 부문별 에너지 총 소비량(Total final consumption by sector, TFC) 통계자료[14]가 있다. TFC 자료의 경우, OECD 38개국의 모든 자료가 수록되어있으나, SBS 통계자료에는 유럽연합 국가 외 OECD 국가들의 자료는 수록되어있지 않다. 따라서 본 연구에서는 OECD 38개국의 GDP_m , GDP_{nm} 산정을 목적으로 IEA의 TFC 통계자료와 eurostat의 RME SBS 통계자료를 활용하여 GDP_m , GDP_{nm} 을 산정하는 회귀모형을 설계하였다.

OECD 각국의 GDP_m , GDP_{nm} 산정 회귀모형 설계를 위하여 유럽연합 각국의 GDP_m , GDP_{nm} 와 금속 및 비금속 자원 사용량(이하 DMC_m , DMC_{nm}) 간 교차분석을 수행, 설계하고자 하는 회귀모형의 구성 변수 간 유의미한 상관관계가 있는지를 먼저

확인하였다.

국가별 금속자원으로부터 창출된 부가가치 비중(이하 $GDP_{m\%}$)과 금속자원 투입 비중(이하 $DMC_{m\%}$), 총 에너지 소비 대비 2차 산업 에너지 소비 비중(이하 $E_{sec\%}$)에 대한 교차분석을 수행한 결과, Spearman 상관계수는 금속자원 비중의 경우 0.556으로 적정한 양의 상관관계(moderate positive correlation)를, 2차 산업 에너지 소비 비중의 경우 0.843으로 강한 양의 상관관계(very strong positive correlation)가 있는 것으로 나타났으며, 유의확률 또한 모두 $p < 0.001$ 로 변수 간 상호작용의 통계적 근거 또한 명확하다고 볼 수 있다(Table 3).

이와 같은 상관관계 분석 결과를 근거로 본 연구에서는 OECD 38개 국가들의 GDP_m , GDP_{nm} 을 산정하고자 다중회귀 분석을 수행하였다. 다중회귀모형은 독립변수 $DMC_{m\%}$ 와 $E_{sec\%}$, 종속변수 $GDP_{m\%}$ 로 구성되어 있으며, 산정된 $GDP_{m\%}$ 에 국가별 GDP를 적용하여 OECD 38개국의 GDP_m , GDP_{nm} 를 산정하는 형태로 고안하였다.

$GDP_{m\%}$, $GDP_{nm\%}$ ¹⁾ 산정을 위한 회귀모형의 수식 구조는 Equation (1)과 같다.

$$GDP_{m\%} = (\beta_{m\%} \cdot DMC_{m\%}) + (\beta_{sec\%} \cdot E_{sec\%}) + c_{GDP_{m\%}} \quad (1)$$

$GDP_{m\%}$: 국가별 금속 GDP 비중

$DMC_{m\%}$: 국가별 금속 DMC 비중

$c_{GDP_{m\%}}$: 금속 부가가치 산정 상수

$E_{sec\%}$: 국가별 2차 산업 에너지 소비 비중

$\beta_{m\%}$: 금속 부가가치 비중 결정계수

$\beta_{sec\%}$: 2차 산업 에너지 비중 결정계수

Table 3. Result of correlation analysis of metal GDP proportion with metal DMC proportion and energy consumption proportion in secondary industry

		Value	Asymptotic standards errora	Approximate Tb	Approximate significance
Spearman correlation	Ordinal by ordinal				
	Metal/Non-metal proportion (GDP × DMC)	.556	.074	7.918	< .001c
	Secondary industry proportion (GDP × TFC)	.843	.026	18.507	< .001c

- a. Not assuming the null hypothesis.
- b. Using the asymptotic standard error assuming the null hypothesis.
- c. Based on normal approximation.

Table 4. Result of a multiple regression model for presuming metal/non-metal GDP of OECD countries

		Unstandardized coefficients		Standardized coefficients beta	t	Sig.
		B	Std. Error			
$GDP_{m\%}$	(Constant)	-.064	.006		-10.991	.000
	$E_{sec\%}$	-.428	.028	.638	15.390	.000
	$DMC_{m\%}$	-.336	.032	.441	-10.631	.000

a. Dependent Variable: GDP from metal input

1) $1 - GDP_{m\%}$

앞서 도출한 수식을 바탕으로 $GDP_{m\%}$ 을 산정하기 위한 다중회귀분석을 수행한 결과, 결정계수(이하 R^2)는 .787, 수정된 결정계수(이하 $adjR^2$)는 .784로 회귀모형의 설명력을 충분히 갖춘 것으로 나타났으며 R^2 와 $adjR^2$ 간 편차 또한 0.4%로 모형의 타당성 역시 충분히 갖춘 것으로 나타났다

(Table 4).

다중회귀분석의 결과로 도출된 방정식은 $GDP_{m\%} = (0.336 \times DMC_{m\%}) + (0.428 \times E_{sec\%}) - 0.064$ 로 나타났다(Table 4).

또한, 회귀모형을 토대로 산정한 OECD 38개 국가들의 GDP_m , GDP_{nm} 은 Table 5와 같다.

Table 5. Estimated metal/non-metal gross domestic product statistics of OECD countries (average of 2017 to 2019)

Countries	Estimated gross domestic product by metal/non-metal resources (million US dollar)					
	Estimated metal GDP (%)		Estimated non-metal GDP (%)		Total GDP (%)	
Australia	266,092.1	18.8%	1,148,148.6	81.2%	1,414,240.6	100.0%
Austria	30,794.6	7.0%	408,163.2	93.0%	438,957.8	100.0%
Belgium	37,964.4	7.2%	489,345.2	92.8%	527,309.7	100.0%
Canada	119,752.9	7.0%	1,586,343.4	93.0%	1,706,096.3	100.0%
Chile	108,933.0	38.4%	174,487.3	61.6%	283,420.3	100.0%
Colombia	19,024.1	5.9%	304,008.2	94.1%	323,032.3	100.0%
Costa Rica	3,932.8	6.3%	58,518.4	93.7%	62,451.2	100.0%
Czech Republic	11,955.2	5.0%	228,104.0	95.0%	240,059.2	100.0%
Denmark	2,798.5	0.8%	342,355.2	99.2%	345,153.7	100.0%
Estonia	176.5	0.6%	29,367.2	99.4%	29,543.7	100.0%
Finland	47,523.6	17.8%	219,100.0	82.2%	266,623.6	100.0%
France	63,653.6	2.4%	2,641,338.6	97.6%	2,704,992.2	100.0%
Germany	215,723.3	5.6%	3,635,448.7	94.4%	3,851,172.0	100.0%
Greece	4,750.5	2.3%	200,966.4	97.7%	205,716.9	100.0%
Hungary	5,764.5	3.7%	150,134.9	96.3%	155,899.4	100.0%
Iceland	4,054.3	16.1%	21,163.3	83.9%	25,217.6	100.0%
Ireland	14,338.2	3.8%	359,473.7	96.2%	373,811.9	100.0%
Israel	6,686.2	1.8%	372,449.6	98.2%	379,135.8	100.0%
Italy	72,915.7	3.6%	1,948,760.8	96.4%	2,021,676.5	100.0%
Japan	439,440.2	8.7%	4,590,463.8	91.3%	5,029,904.0	100.0%
Korea	129,265.8	7.8%	1,537,357.7	92.2%	1,666,623.5	100.0%
Latvia	902.7	2.7%	32,182.8	97.3%	33,085.5	100.0%
Lithuania	515.2	1.0%	51,575.1	99.0%	52,090.2	100.0%
Luxembourg	2,176.2	3.2%	66,669.8	96.8%	68,846.0	100.0%
Mexico	188,802.7	15.5%	1,027,973.0	84.5%	1,216,775.7	100.0%
Netherlands	48,292.2	5.5%	837,743.4	94.5%	886,035.6	100.0%
New Zealand	17,307.5	8.2%	193,204.1	91.8%	210,511.7	100.0%
Norway	29,655.2	7.1%	387,103.6	92.9%	416,758.9	100.0%
Poland	25,822.2	4.5%	544,004.3	95.5%	569,826.5	100.0%
Portugal	18,015.4	7.7%	216,537.2	92.3%	234,552.6	100.0%
Slovak Republic	9,102.6	8.9%	93,396.7	91.1%	102,499.3	100.0%
Slovenia	2,894.7	5.5%	49,471.4	94.5%	52,366.1	100.0%
Spain	87,742.7	6.4%	1,288,679.7	93.6%	1,376,422.4	100.0%
Sweden	87,173.3	16.0%	456,278.0	84.0%	543,451.2	100.0%
Switzerland	19,121.6	2.7%	694,938.3	97.3%	714,060.0	100.0%
Turkiye	71,989.9	9.0%	727,143.4	91.0%	799,133.3	100.0%
United Kingdom	47,966.1	1.7%	2,758,330.0	98.3%	2,806,296.1	100.0%
United States	766,192.0	3.7%	19,697,598.0	96.3%	20,463,790.0	100.0%

5. 제언 및 활용

원생산성을 산정하였으며, 이를 현행 국가 단위 자원생산성과 비교분석한 결과, 분석 대상인 OECD 38개국은 4개의 범주로 구분이 가능하였다.

본 연구에서는 금속자원과 비금속자원을 각각 구분하여 자

Table 6. Summary of resource productivity ranking changes by metal and non-metal resources

Group	Countries	Current metal resources productivity			Current resource productivity		Current non-metal resources productivity			
		USD/ton	Rank	Rank Change	USD/ton	Rank	USD/ton	Rank	Rank Change	
④	Switzerland	7,719.8	3	▼	2	7,794.0	1	7,796.3	1	-
④	Netherlands	6,276.6	5	▼	3	5,704.9	2	5,677.3	2	-
③	United Kingdom	3,988.4	10	▼	7	5,017.3	3	5,040.5	4	▼ 1
③	Luxembourg	2,301.6	20	▼	16	4,984.4	4	5,183.2	3	△ 1
④	Italy	4,962.0	7	▼	2	4,101.4	5	4,075.6	5	-
③	Japan	3,788.1	12	▼	6	3,612.3	6	3,596.5	6	-
③	France	3,172.3	14	▼	7	3,522.6	7	3,532.0	7	-
④	Belgium	3,859.6	11	▼	3	3,366.9	8	3,336.4	8	-
④	Iceland	4,460.4	8	△	1	3,298.5	9	3,144.0	11	▼ 2
③	Ireland	2,310.7	19	▼	9	3,229.4	10	3,281.7	9	△ 1
③	Spain	2,769.4	18	▼	7	3,167.7	11	3,199.7	10	△ 1
④	Germany	5,233.5	6	△	6	3,139.0	12	3,066.2	12	-
②	Norway	6,720.6	4	△	9	2,875.1	13	2,755.3	13	-
④	Austria	3,509.0	13	△	1	2,623.3	14	2,574.4	15	▼ 1
③	United States	1,160.7	29	▼	14	2,605.6	15	2,738.2	14	△ 1
④	Denmark	3,142.0	15	△	1	2,444.9	16	2,440.5	16	-
③	Sweden	1,487.5	28	▼	11	2,196.2	17	2,416.2	17	-
②	Israel	9,596.2	2	△	16	2,005.3	18	1,977.3	18	-
②	Slovenia	4,342.3	9	△	10	1,828.2	19	1,768.5	20	▼ 1
③	Korea	1,496.2	27	▼	7	1,619.3	20	1,630.6	21	▼ 1
③	Greece	821.8	31	▼	10	1,585.1	21	1,620.7	22	▼ 1
④	Slovak Republic	2,832.9	17	△	5	1,491.0	22	1,426.2	24	▼ 2
④	Finland	1,507.0	26	▼	3	1,471.9	23	1,465.6	23	-
①	Australia	686.6	34	▼	10	1,441.0	24	1,936.1	19	△ 5
④	New Zealand	1,578.4	25	-	-	1,434.2	25	1,422.6	25	-
②	Czech Republic	3,004.6	16	△	10	1,427.0	26	1,389.4	26	-
④	Portugal	1,634.3	24	△	3	1,403.6	27	1,387.3	27	-
④	Costa Rica	793.9	32	▼	4	1,262.7	28	1,314.7	28	-
②	Latvia	10,245.7	1	△	28	1,202.5	29	1,174.0	30	▼ 1
②	Hungary	1,864.7	22	△	8	1,049.0	30	1,031.9	31	▼ 1
②	Lithuania	1,939.7	21	△	10	1,000.6	31	996.8	33	▼ 2
②	Colombia	1,675.6	23	△	9	895.4	32	870.1	34	▼ 2
④	Mexico	482.2	37	▼	4	875.3	33	1,029.9	32	△ 1
④	Poland	661.7	35	▼	1	826.6	34	836.7	36	▼ 2
④	Turkiye	1,119.7	30	△	5	811.7	35	791.1	37	▼ 2
④	Canada	543.4	36	-	-	810.1	36	841.3	35	△ 1
④	Estonia	730.0	33	△	4	741.9	37	742.3	38	▼ 1
①	Chile	131.0	38	-	-	291.9	38	1,250.3	29	△ 9

첫 번째 그룹인 ‘①’ 그룹은 철광석, 구리 원광 등 중량 대비 가치가 낮은 금속 자원의 경제적 비중이 높아 국가 전체의 자

원생산성이 낮은 국가들로 칠레와 호주가 해당하였다. 대표적으로, 비금속 자원생산성에서의 향상폭이 가장 컸던 칠레

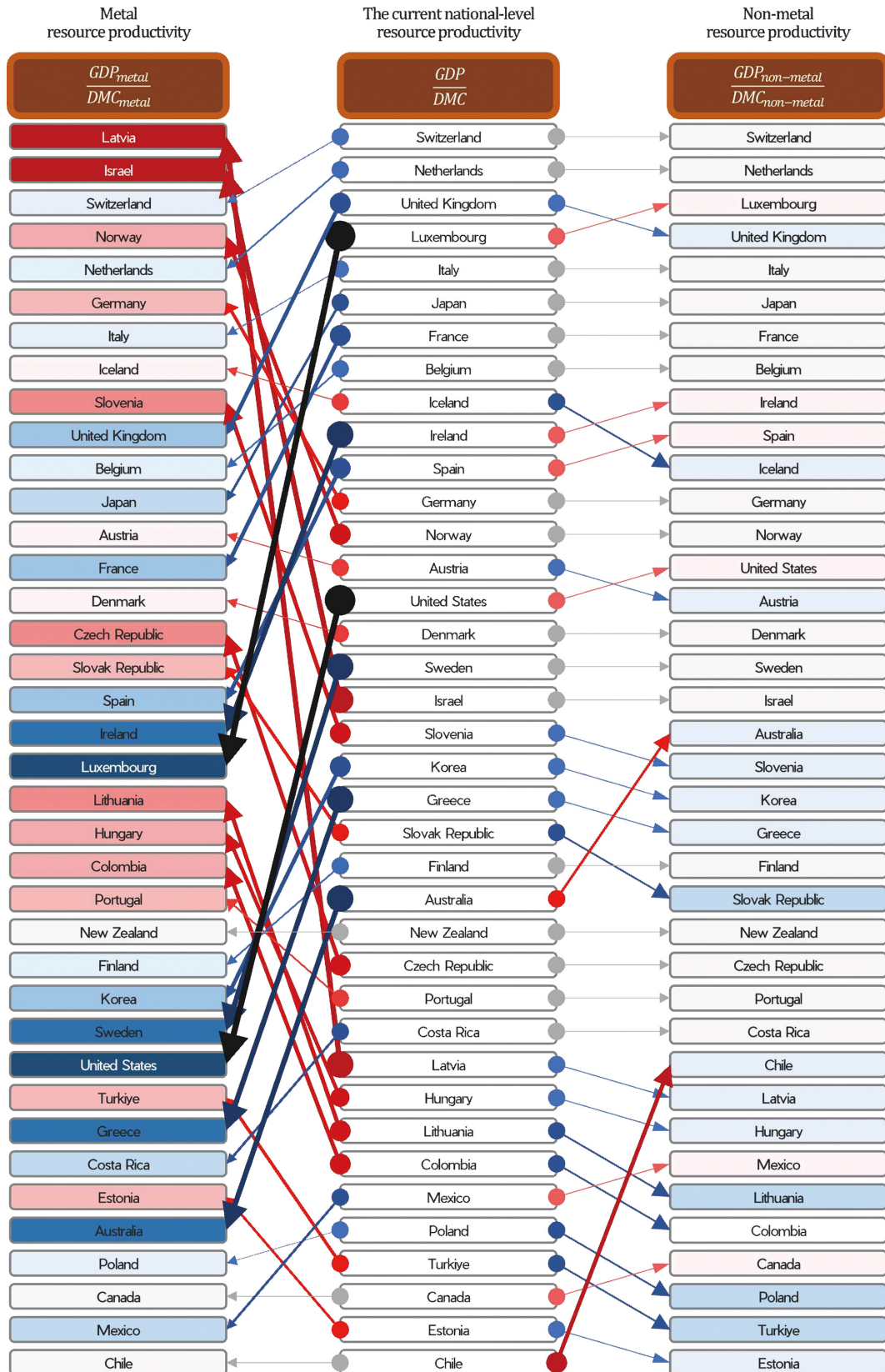


Figure 1. Relationship diagram of resource productivity ranking changes.

의 경우, 금속 자원생산성 순위 변동은 없었지만, 절대적인 수치는 291.9 USD/ton에서 131.0 USD/ton로 약 절반 가량 감소한 자원생산성을 보여주었다. 이는 OECD 평균 금속자원생산성인 3,014.5 USD/ton의 약 4% 수준에 불과하다. 칠레는 중량당 경제적 가치가 상대적으로 낮은 구리 원광에 대한 경제성의존도가 매우 높은 국가이므로 다른 OECD 국가들에 비하여 자원생산성이 낮을 수 밖에 없다. 한편, 칠레의 비금속 자원생산성은 1,250.3 USD/ton로 OECD 평균 비금속 자원생산성인 2,388.4 USD/ton의 약 절반 수준이었다. 이는 금속자원에 비하여서는 상대적으로 작은 평균과의 편차이다.

두 번째 그룹인 ‘②’ 그룹은 국가 전체 경제에서 금속 산업이 차지하는 비중은 낮으나, 해당 산업에서 직접 고부가가치를 창출하는 국가들로 라트비아, 이스라엘 등 7개국에 이에 해당하였다. 금속 자원생산성에서의 향상폭이 가장 컸던 라트비아와 이스라엘의 경우, 전체 자원사용량 기준 금속자원이 차지하는 비중은 불과 0.35%에 불과하나, 금속자원으로부터의 부가가치 창출은 국가 전체 경제의 2%를 차지하였다. ‘②’ 그룹에 해당하는 국가들은 금속으로부터 고부가가치의 제품(예, 항공부품, 산업용 철제 선반 등)을 직접 제조하거나 부품 혹은 중간재를 수입하여 완제품을 생산하는 조립 산업(assembly industry) [15]의 비중이 높은 국가들이었다. 특히, 자원생산성 향상폭이 가장 컸던 라트비아의 경우, OECD 38개국 중 금속 자원생산성이 가장 높은 것으로 나타났다. 이는 현행 자원생산성 순위인 29위에 비하여 무려 28계단 상승한 수치로, OECD 평균 금속 자원생산성인 3,014.5 USD/ton 보다 3배 이상 높은 수준이다(10,245.7 USD/ton). 이는 라트비아의 경제에서 금속자원으로부터 발생하는 부가가치의 비중 및 금속자원의 사용량이 매우 적으며(각각 2.71%, 0.35%), 그마저도 소규모로 운영되는 금속 부품 및 산업용 금속 제품 산업으로부터 높은 부가가치가 발생하기 때문으로 해석할 수 있다. 한편, 라트비아의 비금속 자원생산성은 1,174.0 USD/ton로 OECD 평균 비금속 자원생산성인 2,388.4 USD/ton의 약 절반 수준이었다.

세 번째 그룹인 ‘③’ 그룹은 국가 전체 경제에서 금속 산업이 차지하는 비중은 낮고, 금속 자원생산성 또한 낮은 국가들이 이에 해당하였다. 이들은 주로 국가 전체 경제에서 서비스 산업의 비중이 월등히 높거나(룩셈부르크 등 7개국), 우리나라, 일본, 아일랜드처럼 제조업 기반 국가이되 상대적으로 금속을 다루는 산업의 비중이 적은 국가들이었으며, 금속 자원생산성이 크게 하락하는 경향을 보였다.

끝으로, ‘④’ 그룹은 금속/비금속 자원생산성 간 편차가 적은 국가들이었으며, 금속 및 비금속 자원생산성 모두에서 유의미한 순위 변동을 보이지 않았다(Table 6).

또한, 국가 전체 경제에서 금속자원으로부터의 부가가치가 차지하는 비중은 평균 7.37%, 중위값은 5.75%로 다른 자원 종류(바이오매스, 화석연료, 비금속 광물)에 비하여 상대적으로 차지하는 비중이 낮았으며, 국가별 편차 또한 컸는데, 이는 현

행 국가 단위 자원생산성과 금속 및 비금속 자원생산성 간 관계도(Figure 1)에서 확인한 특징을 찾아볼 수 있다. 이는 자원생산성을 금속자원 및 비금속자원으로 구분하였을 때 현행 국가 단위 자원생산성 체계를 구성하는 각 변수들의 특성이 얼마나 다른가를 보여주고 있다.

첫 번째로, 국가 단위 자원생산성에 지배적인 영향을 미치는 것은 금속 자원 이외의 자원들인 것으로 나타났다. Figure 1에 제시된 바와 같이 중량 대비 경제적 가치가 낮은 금속 자원으로부터의 부가가치가 국가 전체 경제에서 각각 38.4%, 18.8%를 차지하는 칠레와 호주를 제외하면 대부분의 국가들은 비금속 자원생산성에서 순위 변동이 없거나 미미하였다.

두 번째로, 금속 자원생산성은 현행 국가 단위 자원생산성 및 비금속 자원생산성의 순위와 상당한 차이를 보였다. Figure 1에 나타난 것처럼 금속 자원생산성은 국가별로 상당한 변화를 보였다. 이는 현행 자원생산성 산정의 기준 지표인 DMC를 구성하는 자원 종류가 경제적 관점에서 보았을 때 매우 큰 차이를 보이며, 이를 보다 면밀히 분석하기 위하여서는 자원 구분별 경제적 가치 또한 별도의 통계자료로써 관리되어야 함을 시사한다.

6. 결 론

본 연구는 OECD의 금속 및 비금속 자원 사용량 통계 및 eurostat의 RME SBS 통계자료를 이용하여 다중회귀모형을 설계하고, 회귀모형 설계의 변수 구분 기준이 되었던 금속 및 비금속 자원 종류별 자원생산성을 별도 산정하여 각각의 생산성 및 순위 변동 폭에 대한 상대 비교 분석을 수행하였다.

금속 및 비금속 자원생산성의 비교분석 결과, 분석 대상인 OECD 38개국은 4개의 범주로 구분이 가능하였다. ① 중량 대비 가치가 낮은 금속 자원의 경제적 비중이 높아 국가 전체의 자원생산성이 낮은 국가들은 비금속 자원생산성 순위가 대폭 상승하였으며, ② 국가 전체 경제에서 금속 산업이 차지하는 비중은 낮으나, 금속 산업에서 직접 고부가가치를 창출하는 국가들은 금속 자원생산성 순위가 대폭 상승하였다. 또한, ③ 국가 전체 경제에서 금속 산업이 차지하는 비중이 낮고, 금속 자원생산성 또한 낮은 국가들은 금속 자원생산성 순위가 크게 하락하는 경향을 보였으며, ④ 금속과 비금속 자원생산성 간 편차가 작은 국가들은 금속 및 비금속 자원생산성 모두에서 유의미한 순위 변동을 보이지 않았다. 또한, 자원생산성을 금속 및 비금속으로 구분하였을 때의 순위 변화는 현행 국가 단위 자원생산성 체계를 구성하는 각 자원 종류의 경제적 특성이 얼마나 상이한가를 보여주었다. 일반적으로, 국가 단위 자원생산성에 지배적인 영향을 미치는 것은 금속 자원 이외의 자원(바이오매스, 화석연료, 비금속 광물)이었는데, 이는 국가 전체 경제에서 금속자원으로부터의 부가가치가 차지하는 비중이 다른 자원에 비하여 상대적으로 작고, 국가별 편차가 큰

것에서 기인하는 것으로 나타났다. 이는 현행 자원생산성 산정의 기준 지표인 DMC를 구성하는 각 자원의 종류가 경제적 관점에서 보았을 때 차이가 매우 크며, 이를 보다 면밀히 분석하기 위해서는 자원 종류별 경제적 가치에 대한 통계자료의 관리가 필요함을 시사한다.

한편, OECD 38개 회원국의 금속 및 비금속 자원 발생 부가가치는 통계자료가 구축되어 있지 않아 국가별 금속 및 비금속 자원사용량과 2차 산업 에너지 사용량 통계자료를 이용한 회귀모형을 바탕으로 부가가치 창출량을 산출하였으며, 이를 바탕으로 본 연구에서는 현행 국가 단위 자원생산성 기준 금속 및 비금속 자원생산성의 순위 변동을 비교, 분석하였다. 이는 현행 국가 단위 자원생산성 관리 체계 개선을 목적으로 현재 OECD 통계에서는 다루고 있지 않은 자원 종류별 부가가치 창출량 또한 반드시 별도의 통계자료로 수집·관리되어야 함을 시사한다.

본 연구는 독자적으로 고안한 금속자원 및 비금속자원으로부터 부가가치 창출량 산정 회귀모형과 이를 토대로 수행한 금속 및 비금속 자원 사용량별 자원생산성의 비교 분석 활용 방안을 제안하였다는 점에서 연구의 필요성을 충분히 설명함과 동시에 자원 종류별 부가가치 창출량 통계 관리의 필요성을 명확하게 보여주고 있다. 이는 자원 종류별 국가 단위 생산성에 대한 보다 면밀한 분석이 이루어져야 함을 의미하며 바이오매스, 화석연료, 비금속 광물, 금속 자원의 경제적 가치를 고려한 통계자료 구축의 필요성을 시사한다.

감 사

본 연구는 2024년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 20214000000520, 자원순환산업 고도화 인력양성).

References

1. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0012.02/DOC_1&format=PDF (accessed July. 2024).
2. https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/126GER_synthesis_en.pdf (accessed July. 2024).
3. https://3ffah3bhjub3knerv1hneul-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2018/08/RSA_Report_Web_22-6-17.pdf (accessed July. 2024).
4. Fratini, C. F., Georg, S., and Jørgensen, M. S., "Exploring Circular Economy Imaginaries in European Cities: A Research Agenda for the Governance of Urbansustainability Transitions," *J. Clean. Prod.*, **228**, 974-989 (2019).
5. Corvellec, H., Campos, M. J. Z., and Zapata, P., "Infrastructures, Lock-in, and Sustainable Urban Development: The Case of Waste Incineration in the Göteborg Metropolitan Area," *J. Clean. Prod.*, **50**, 32-39 (2013).
6. Mayer, A., Haas, W., Wiedenhofer, D., Krausmann, F., Nuss, P., and Blengini, G. A., "Measuring Progress towards a Circular Economy: A Monitoring Framework for Economy-wide Material Loop Closing in the EU28," *J. Ind. Ecol.*, **23**(1), 62-76 (2019).
7. van Buren, N., Demmers, M., van der Heijden, R., and Witlox, F., "Towards a Circular Economy: The Role of Dutch Logistics Industries and Governments," *Sustainability*, **8**(7), 1-17 (2016).
8. Lee, J. H., Kang, H. Y., Kim, Y. W., Hwang, Y. W., Kwon, S. G., Park, H. W., Choi, J. W., and Choi, H. H., "Analysis of the Life Cycle Environmental Impact Reductions of Remanufactured Turbochargers," *J. Remanufacturing*, **13**, 187-206 (2023).
9. Byun, Y. and Woo, S. H., "Research Trend on ESG Management of Corporation," *Clean Technol.*, **28**(2), 193-200 (2022).
10. Kang, H. Y., "Analysis of Global Trends on Resource Productivity and Its Promotion Strategy," *J. of Korean Inst. Resources Recycling*, **29**(3), 24-35 (2020).
11. Lee, J. H., Kang, H. Y., Hwang, Y. W., and Kwon, S. G., "Development of Sub-indicator for Enhancing the Reliability of National-level Resource Productivity Estimation," *Clean Technol.*, **28**(3), 258-266 (2022).
12. <https://data.oecd.org/materials/material-consumption.htm> (accessed July. 2024).
13. <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/1798247/6874172/Input-data-RME-tool.xlsx/8421e092-36a6-4b31-8e9-d3f34478502e?t=1640007100422> (accessed July. 2024).
14. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20consumption&indicator=TFCShareBySector> (accessed July. 2024).
15. <https://terms.naver.com/entry.naver?docId=1141663&cid=40942&categoryId=31898> (accessed July. 2024).