Clean Technol., Vol. 28, No. 3, September 2022, pp. 258-266

보 문

국가 단위 자원생산성 측정 신뢰성 제고를 위한 보조지표 개발

이종효[1], 강홍윤[1,*], 황용우[2], 권순길[1]

[1]인하대학교 순환경제환경시스템전공
(22212) 인천광역시 미추홀구 인하로 100
[2]인하대학교 환경공학과
(22212) 인천광역시 미추홀구 인하로 100

(2022년 6월 24일 접수; 2022년 8월 4일 수정본 접수; 2022년 8월 5일 채택)

Development of Sub-indicator for Enhancing the Reliability of National-level Resource Productivity Estimation

Jong-Hyo Lee[1], Hong-Yoon Kang[1,*], Yong-Woo Hwang[2], and Soon-Gil Kwon[1]

[1]Program in Circular Economy Environmental System, Inha University
(22212) Inha-ro 100, Michuhol-Gu, Incheon
[2]Department of Environmental Engineering, Inha University
(22212) Inha-ro 100, Michuhol-Gu, Incheon

(Received for review June 24, 2022; Revision received August 4, 2022; Accepted August 5, 2022)

요 약

국가 단위의 자원생산성은 GDP/DMC로 측정한다. 그러나 GDP의 경우 지표 특성상 자원으로부터 발생된 부가가치만을 구분하기 어렵다는 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 자원생산성 지표(이하 GDP/DMC) 수식 중 GDP에 에너지 조정계수를 적용(이하 GDPe)하였다. GDPe 적용 결과, 제조업 비중이 높은 우리나라는 자원사용량 1톤당 평균 1,094.60 USD/ton의 가치를 창출하였으며 OECD 38개 국가 중 4위로 기존 GDP/DMC 대비 10계단 상승하였다. 반면 3차 산업이 전체 GDP의 70%를 차지하는 룩셈부르크는 GDPe 적용 후 자원생산성 순위가 12계단 하락하였다. GDPe/DMC는 산업구조별 에너지 사용량을 고려해 자원에 국한하여 부가가치를 측정하므로 제조업 비중이 높은 국가의 경우 산업특성이 반영되어 자원생산성이 기존보다 상대적으로 높게 나타날 수 있다. GDPe/DMC는 산업구조가 확연히 다른 국가들(에너지/자원집약도가 높은 산업 중심의 국가와 그렇지 않은 국가) 간의 자원생산성 비교·분석을 통한 개선안 도출에 매우 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 뿐만 아니라 산업구조가 유사한 국가들 간에 자원생산성 비교, 분석을 위해서도 참고지표로써 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

주제어 : 자원생산성, 보조지표, 산업별 에너지 사용량, 에너지 조정계수, 국내 자원소비량

Abstract : Resource productivity (GDP/DMC) is defined as GDP divided by DMC. However, it has shortcomings when estimating the value-added generated from material processing. In this paper, an energy coefficient is applied to GDP to develop a sub-indicator (referred to as GDPe/DMC). Consequently, South Korea, which is a secondary industry-oriented country, created 1,094.60 USD/ton from input materials and was ranked 4th on the OECD list, which is 10 levels higher than the level estimated by GDP/DMC. However, Luxembourg, which is a tertiary industry-oriented country, is ranked 16th on the OECD list, which is 12 levels lower than the level estimated by GDP/DMC. The resource productivity estimated by the sub-indicator (GDPe/DMC) developed in this study indicates that secondary industry-oriented countries are undervalued in the existing main GDP/DMC calculation. On the other hand, tertiary industry-oriented countries are downgraded due to the industrial features of the GDPe/DMC calculation. As a result of this paper, GDPe/DMC could be considered a more reasonable indicator to directly reflect the material input effect compared to the existing main indicator, GDP/DMC. This means that GDPe/DMC-induced resource productivities could be estimated to be slightly higher than the GDP/DMC-induced resource productivities for secondary industry-oriented countries. It is expected that the sub-indicator, GDPe/DMC, proposed in this study could be useful especially for comparing and analyzing the resource productivities between

* To whom correspondence should be addressed.
E-mail: kanghy@inha.ac.kr; Tel: +82-32-860-9329 ; Fax: +82-050-4148-1940

doi: 10.7464/ksct.2022.28.3.258 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/licences/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

countries that have different industry structures. This study intended to consider a structurally energy/resource-intensive industry in estimating and analyzing national-level resource productivity. Thus, the sub-indicator, GDPe/DMC, may help minimize the distortion of interpreting national resource productivities in various situations, and be utilized as a more efficient tool when used together with GDP/DMC.

Keywords : Resource Productivity, Sub-indicator, Industrial Energy Usage, Energy Coefficient, Domestic Material Consumption

1. 서 론

기후변화에 대한 전세계적인 관심이 고조되는 가운데 산업 측면에서의 자원생산성 향상에 대한 중요성도 나날이 커지고 있다. 우리나라도 세계적인 흐름에 발맞추어 자원생산성 제고를 위해 다양한 노력을 기울이고 있다. 미시적인 측면에서는 자원사용량 대비 창출되는 부가가치를 높이고자 기업 내지는 사업체 단위로 기술, 공정 혁신을 위한 R&D, 설비 구축 등에 다량의 자본을 투입하고 있다. 거시적인 측면에서 또한 지역·국가 단위의 자원생산성을 보다 정교하게 측정, 국가 간의 합리적인 비교를 위해 다양한 시도들이 이루어지고 있다.

자원생산성 개념은 오래전부터 그 중요성이 국내외적으로 강조되어왔다. 그러나 실질적으로 이를 도입, 운영하는 과정에서 발생하는 다양한 이견과 불확실성 때문에 지표 신뢰성에 대한 우려 또한 꾸준히 제기되어 왔다[1]. 일반적으로 국가 단위의 자원생산성은 DMC(Domestic Material Consumption, 국내자원소비량) 대비 GDP(Gross Domestic Product, 국내총생산)로 측정한다. 측정된 자원생산성은 자원사용량 1톤당 어느 정도의 부가가치가 발생하였는지로 나타나며 단위는 자원사용량 대비 부가가치이다($/ton). 그러나 이러한 방식은 다양한 산업의 특성과 구조가 고려되지 않았다는 점에서 결과의 해석상 오해를 낳을 수 있는 한계점도 존재한다고 볼 수 있다. DMC는 지표의 특성상 한 국가 내에서 재료로 사용된 자원의 총량만을 다루는 반면 GDP는 1·2·3차 산업을 통틀어 최종생산물(재화 및 서비스)의 가치 총합을 의미하므로 자원생산성 지표가 국가별 산업 구조에 따라 과대평가 또는 과소평가되는 측면을 간과할 수 없다. 그리고 이러한 한계점은 국가 간 자원생산성 비교에서 지표의 타당성과 합리성을 더욱 낮추어 실제 상황을 왜곡 해석할 수 있는 우려를 낳고 있다.

이에 본 연구에서는 산업별 에너지 사용량을 고려한 자원생산성 보조지표 개발을 통해 국가 단위의 자원생산성을 측정함에 있어 그 효용성을 제고하고, 자원생산성의 해석에 도움이 될 수 있도록 하고자 한다. 이로써 기존의 산업별 특성을 고려하지 않고 DMC 대비 GDP로 산정하는 자원생산성 주 지표와 함께 본 연구에서 제안하는 보조지표를 함께 활용하면 개별 국가들의 자원생산성 해석 및 관리에 새로운 이정표가 될 수 있을 것으로 사료된다.

2. 이론적 배경

2.1. GDP(Gross Domestic Product)

국내총생산(Gross Domestic Product, 이하 GDP)은 한 나라의 영역 내에서 가계, 기업, 정부 등 모든 경제주체가 일정기간 동안 생산한 재화 및 서비스의 부가가치를 시장가격으로 평가하여 합산한 것이며 비거주자가 제공한 노동, 자본 등 생산요소에 의하여 창출된 부가가치를 포함한다. 현재 우리나라의 GDP 통계는 UN이 각국에 권고한 국제기준인 국민계정체계(SNA: System of National Accounts)에 따라 한국은행에 의해 작성되어 분기별로 공표되고 있다[2]. GDP는 소득이 소비량(저축은 예비소비) 또는 생산량과 같다는 국민 소득 삼면 등가의 법칙에 입각하여 구한다[3]. GDP를 구하는 방법은 Table 1과 같다.

GDP는 구성 측면에서 1·2·3차 산업의 총합으로도 나타낼 수 있다[4]. 통계청에서 운영하는 국가통계포털 KOSIS에는 국가별 GDP를 경제활동별 국내총생산(당해년가격)(OECD) 자료가 수록되어 있다. 해당 자료는 OECD 38개 회원국이 세계은행에 제출하는 자료를 바탕으로 재구성되어 있으며 구성항목은 국가별 GDP와 더불어 각 국가마다 1·2·3차 산업별로 차지하는 비중에 대한 수치를 포함한다. KOSIS에서 제공하는 국가별 GDP에서 경제활동별 국내총생산(당해년가격)(OECD)의 구성방식은 Figure 1과 같다.

GDP의 변화는 경기후퇴 또는 경기과열의 신호이다. GDP의 변화량을 분석하고 적절한 대응 정책을 통해 보다 안정적인 경제 흐름을 유도하여야 한다. 동시에 GDP는 장기적인 경제 성장 속도를 유추하는데 주요인자로써 역할한다. 또한 1인당 GDP는 경제단위 내 국민들의 삶의 질을 측정하는 지표로써 활용될 수 있다. 인구증가율이 평균 1%라면 실질 GDP의 성장률은 이보다 더 높게 유지되어야 국민들의 삶의 질 또한 지속적으로 향상된다고 볼 수 있다. 그리고 이러한 관점에서 GDP는 그 중요도가 매우 높은 지표라 할 수 있다. 반면, GDP는 지표의 특성상 보완이 어려운 몇 가지 한계점을 가지고 있다. 첫 번째는 상품의 품질 변화를 반영하지 못한다. 생산 수량을 중심으로 측정되는 GDP의 특

Table 1. The three methods to estimate the GDP.

The gross value of final products	:	The sum of The gross final products value, no consideration of the intermediate consumption
The gross value added	:	The sum of value added from each stage of production
The gross value of output - The gross value of intermediate consumption	:	Deduct the gross value of intermediate consumption from the gross value of output

KOSIS 통계청

1) 경제활동별 국내총생산(당해년가격)(OECD)

출처 : 주석 참조(자료관리 :통계서비스정책관 통계서비스기획과)

자료갱신일 : 2021-09-30 / 수록기간 : 년 1960 ~ 2020 / 자료문의처 : 042-481-2449 / 기능문의 : KOSIS Q&A 게시판

일괄설정 | 항목 [5/5] | 국가별 [43/43] | 시점 [5/61] | 통계표조회

주석정보 | 주소정보 | 행렬전환 | 분석 | 차트 | 부가기능설정 | 스크랩 | 다운로드 | 인쇄 | 도움말

국가별	2020 국내총생산 (100만달러)	농림어업 (%)	2) 2차산업 (%)	제조업 (%)	서비스업 (%)
아시아					
한국	1,638,200	2.0	35.5	27.1	62.4
이스라엘	401,954	-	-	-	-
일본	-	-	-	-	-
터키	720,101	6.6	27.8	18.8	54.6
북아메리카					
캐나다	1,643,408	-	-	-	-
멕시코	1,076,163	3.9	29.6	17.2	60.0
미국	20,936,600	-	-	-	-

e : 추정치, p : 잠정치, - : 자료없음, … : 미상자료, x : 비밀보호, ▽ : 시계열 불연속 ☞선택한 시점의 계열(항목×분류)에 자료가 없을 때는 표시되지 않습니다.

Figure 1. The GDP, labor force participation(current year prices, the OECD countries)[4].

성상 자동차, 컴퓨터처럼 기술 발전에 따라 품질의 변화가 급격한 재화의 경우 변화 폭을 측정하여 지표에 반영하는 것은 매우 어려우며, 특히 서비스 형태의 부가가치는 정확하게 고려하는 것이 거의 불가능하다. 따라서 GDP는 실질 생산을 과소평가할 수 있다는 한계를 지닌다. 두 번째는 지하경제에서 발생하는 부가가치를 측정할 수 없다. 불법재화, 노점, 가사 노동과 같이 시장에서 거래되지 않는 생산활동 등 세금 징수를 하지 못하는 지하경제는 실제로 막대한 생산자원이 투입되고 있음에도 불구하고 그 규모를 측정해 낼 수 없다. 끝으로 GDP는 재화와 서비스의 생산과정에서 발생하는 사회적 비용을 포함시키지 못한다. 예를 들어 환경오염으로 인한 질병 치료나 정화 관련 상품을 생산한다면 해당 규모만큼의 생산활동이 다시 GDP에 포함된다. 실질적으로는 발생한 문제를 해결하고 현상을 유지하는 것이나 GDP 지표는 삶의 질이 높아진 것으로 간주되므로 사회적 비용 만큼의 경제성과가 과대평가된다[5].

이러한 GDP 지표의 한계점은 국가 단위의 자원생산성을 측정함에 있어 주요 지표로 활용될 때 측정하고자 하는 대상의 성격에 맞도록 정교하게 가공 또는 재설계가 되어야 함을 시사한다. 특히 자원생산성 지표의 경우 자원사용량 대비 부가가치 창출량으로 일반화되는 경향이 있다. 예를 들어, 특정 재화가 2차 산업에서 3차 산업으로 이동하면 이후 단계는 운송비, 인건비, 임대료 등이 가산되어 최종가격으로 소비자에게 전달된다. 즉, 2차 산업 이후 재화에 가산되는 전체 부가가치를 자원사용에 의한 부가가치로 보기는 어렵다. 따라서 GDP를 구성하는 개별 산업군의 성격을 충분히 반영할 수 있도록 지표의 구성요소를 세분화하여 각기 다른 자원사용 기준을 재구축하여 활용하면 자원생산성 측정의 효용성을 제고할 수 있을 것이다.

2.2. DMC(Domestic Material Consumption)

국내 자원 소비(Domestic Material Consumption, 이하 DMC)는 국가 단위 경제에서 직접 사용된 자원의 총량(국내에서 채취, 생산된 자원과 수입된 자원의 전체 사용량)에서 수출된 자원량을 차감한 지표이다. 여기서 자원의 정의는 바이오매스, 화석연료, 철·비철금속을 의미하며 측정단위는 미터톤(metric ton)을 사용한다.

UN(국제연합)은 DMC를 경제 성장과 천연자원 사용량의 탈동조화(decoupling)를 위한 국제 환경 정책의 기초 지표로 삼고 있다[6].

1992년 리우 선언에서 채택된 의제 21(AGENDA 21)의 4장, 사용 패턴 변화(Changing consumption patterns)는 자원의 사용과 관련하여 사회·경제적 측면에서 환경부하 저감을 위한 방법론을 담고 있다. 특히 자원의 채취, 제품으로의 가공 및 폐기된 자원의 처리 과정이 환경에 큰 영향을 미치는 것으로 규정하고 지속가능한 개발 실현을 위해 자원사용량 감소, 자원생산성 향상의 필요성을 강하게 제기하고 있다[7]. 2002년 WSSD 요하네스버그 계획에서 또한 '자원의 사용 및 생산 공정의 효율성과 지속 가능성을 개선하고 자원의 질적 저하, 오염 및 폐기물을 줄임으로써 경제성장과 환경 악화를 분리하는 것'을 목표로 설정했다[8]. 이와 관련하여 DMC는 자원 사용의 절대적인 수준을 평가하고 GDP와 결합하여 천연자원 사용량과 경제성장 사이에 탈동조화 경향을 관찰함에 있어 통찰을 제공하는 유용한 지표이며 특히 국가 간 차이를 명료하게 보여준다.

거시적인 관점에서 국가 단위의 자원사용량을 가시적으로 보여주는 지표인만큼 DMC가 가지는 한계점 또한 존재한다. DMC는 지표의 특성상 국내 채취 자원 및 수출입 자원에서 사용되지 않은 양과 간접적으로 활용된 자원의 흐름을 포함하지 않는다. 즉, DMC는 실제로 소비된 자원량만을 수치화하여 보여준다.

이러한 DMC 지표의 한계는 GDP와 결합하여 활용 시 GDP의 구성요소 중 자원 소모량의 비중이 높은 부분에 가중치를 두어 수치 상의 가공이 선행되어야 함을 시사한다. 특히 자원생산성 지표의 경우 자원사용량 대비 부가가치 창출량을 수치화한 지표이므로 산업군 별 자원의 활용범위 및 비율을 고려하는 방식으로 국가 단위의 자원생산성을 보다 정교하게 측정할 수 있을 것이다.

2.3. 산업별 에너지 사용량

우리나라는 1979년 에너지이용합리화법 시행과 함께 에너지 사용량 통계 신고제도를 도입하였다.

2021년 현행 기준 연간 2,000 toe, MWh 이상의 에너지 사용업체는 매년 1월 31일까지 당해 에너지 사용시설이 소재하는 지역 관할 시·도지사에게 반드시 에너지 사용량을 신고해야 한다.

에너지 사용통계는 에너지 사용량 신고업체의 에너지 사용현황, 절약동향, 에너지 사용설비 현황, 건물 현황 및 제품별 에너지 사용량 등을 수집·분석하여 에너지 이용합리화업무의 기초자료로의 활용을 목적으로 한다. 통계자료는 업체 현황(업종별, 지역별), 에너지 소비실적 및 계획(에너지원별, 지역별, 업종별, 규모별), 에너지 절약상황(업종별, 설비별, 요인별 절감량, 투자비, 절감액 등)을 포함하며 매년 6월 국가통계포털(KOSIS) 및 한국에너지공단 홈페이지를 통해 공표된다.

산업통상자원부와 한국에너지공단이 발간하는 2020년도 에너지사용량통계(에너지 사용량 신고업체)에 따르면 연간 2,000 toe, MWh 이상의 에너지 사용업체는 총 4,713곳으로 나타났으며 이 중 1차 산업체는 11곳으로 전체의 0.23%, 2차 산업체는 2,974곳으로 전체의 63.11%, 3차 산업체 및 에너지 사용 건물은 1,728곳으로 전체의 36.66%를 차지했다.

또한 국내 전체산업에서 신고 의무를 가진 업체 에너지 사용량은 약 1.5억 toe, MWh로 집계되었다. 이 중, 1차 산업인 농·임·어업의 에너지 사용량은 1.9만 toe, MWh로 전체산업에서 약 0.01%의 비중을 차지하였고 운송·서비스업으로 대표되는 3차 산업에서의 에너지 사용량은 356.4만 toe, MWh로 전체산업의 약 2.30%를 차지하였다. 또한 건물 운영 에너지 사용량은 약 281.3만 toe, MWh로 전체산업에서 약 1.82%를 차지하는 것으로 나타났다(Table 2).

1·3차 산업과 건물의 에너지 사용량의 총합은 전체 에너지 사용량에서 약 4.12%를 차지하는 반면 광업·제조업으로 대표되는 2차 산업에서의 에너지 사용량은 약 1.5억 toe, MWh로 산업 전체의 에너지 사용량에서 무려 95.87%를 차지했다[9].

이러한 통계수치는 에너지가 2차 산업에 집중적으로 투입되고 있음을 명확하게 보여준다.

이와 같은 2차 산업으로의 막대한 에너지 사용량은 비단 우리나라에서만의 경향이 아니다. 美 에너지 정보청(U.S. Energy Information Administration)이 매년 발간하는 '연간 에너지 전망 2020(Annual Energy Outlook 2020)'보고서[10]에 따르면 산업계 전체에서 사용한 79.4억 toe, MWh 중 1차 산업인 농업의 에너지 사용량은 3.5억 toe, MWh로 전체 산업에서 약 4.46%의 비중을 차지하였고 건물 운영 등에 투입되는 3차 산업에서의 에너지 사용량은 약 1.8억 toe, MWh로 전체 산업에서 약 2.27%를 차지하는 것으로 나타났다. 반면 2차 산업에 투입되는 에너지의 양은 74.0억 toe, MWh로 전체 산업 에너지 사용량의 93.28%에 육박했다(Table 3).

Table 2 및 Table 3에서 보여주는 바와 같이 한국과 미국의 각 산업별 에너지 사용량의 비율은 각각 95.87%와 93.27%로 나타났다. 즉, 국가 단위의 에너지 사용량이 2차 산업에 95% 내외로 집중되는 경향을 보여주고 있다.

에너지 사용량은 자원사용량과 매우 높은 양의 상관관계를 보여주고 있다는 Steinhilper의 연구결과(Figure 2)[11]를 근거로 하여 에너지 조정계수를 활용한 국가 단위 자원생산성 보조지표 개발은 산업의 특성을 고려한 국가 간 비교 수단으로써 활용되는 것에 큰 의미가 있을 것으로 사료된다.

3. 국가별 자원생산성(GDP/DMC)과 1인당 자원소비량(DMC/국가별 인구수)의 괴리

OECD Data (https://data.oecd.org/)의 1인당 자원소비량 통계자료에 따르면 2017년 기준 우리나라는 11.3 ton으로 나타났다. 이는 OECD 38개국 중 29번째에 해당하는 수치로 타 국가에 비해 현저히 낮은 수치로 볼 수 있다. 1인당 자원소비량이 가장 많은 국가는 칠레로 국민 1인당 평균 40.4 ton의 자원을 소비하는 것으로 나타났으며 이는 우리나라에 비해 약 3.58배 많은 양이다. 이어서 호주는 37.7 ton, 핀란드는 32.8 ton으로 1인당 자원소비량이 가장 많은 국가 2, 3위로 나타났다. 반면 우리나라와 유사하게 제조업 비중이 상대적으로 높은 일본의 경우 1인당 자원소비량

Table 2. Energy consumption and its proportion by industry in Korea and the proportion of each industry in GDP of Korea.

Category	Proportion of each industry in GDP	Number of companies	Industrial propotion by total number of companies	Energy consumption by industry (toe, MWh)	Energy proportion by industry
Primary Industry	2.0%	11	0.23%	18.8k	0.01%
Secondary Industry	38.0%	2,974	63.11%	148,545.6k	95.87%
Tertiary Industry	60.0%	411	8.72%	3,564.7k	2.30%
Buildings		1,317	27.94%	2,813.4k	1.82%
Total	**100.00%**	**3,396**	**72.06%**	**152,129.1k**	**98.18%**

Table 3. Energy consumption and its proportion by industry in U. S. and the proportion of each industry in GDP of U. S.

Category	Proportion of each industry in GDP	Energy consumption by industry (toe, MWh)	Energy proportion by industry
Primary Industry	0.9%	353.8m	4.46%
Secondary Industry	21.9%	7,406.3m	93.27%
Tertiary Industry	77.2%	180.1m	2.27%
Total	**22.8%**	**7,760.1m**	**97.73%**

이 8.9 ton으로 OECD 38개국 중 32번째에 해당하였다. 이는 우리나라 1인당 자원소비량의 78.77%에 해당하는 수준으로 매우 낮은 수치이다.

1인당 자원소비량이 가장 낮은 국가는 콜롬비아로 국민 1인당 평균 5.9 ton의 자원을 소비하는 것으로 나타났으며 뒤이어 코스타리카가 7.4 ton, 이탈리아가 8.0 ton으로 나타났다(Table 4)[12].

반면 자원생산성 지표(이하 GDP/DMC)로 측정한 각국의 자원 사용량 대비 부가가치 창출은 1인당 자원소비량과 상이한 결과를 보였다. 2017년 기준 우리나라는 평균 2,792.35 USD/ton의 부가가치를 창출하는 것으로 나타났다. 이는 OECD 38개국 중 14

Table 4. Material consumption per person and resource productivity ranking of OECD countries (as of 2017)

Countries	Material consumption (ton/per person)	Ranking	Countries	Resource Productivity (GDP/DMC, $/ton)	Ranking
Chile	**40.4**	**1**	**Switzerland**	**7,550.52**	**1**
Australia	**37.7**	**2**	**Netherlands**	**5,292.95**	**2**
Finland	**32.8**	**3**	**UK**	**4,799.54**	**3**
Iceland	32.0	4	Luxembourg	4,468.51	4
Estonia	31.1	5	**Japan**	**4,315.81**	**5**
Canada	28.7	6	Italy	4,072.45	6
Norway	24.5	7	France	3,337.43	7
Denmark	24.5	8	USA	3,215.91	8
Sweden	24.1	9	Belgium	3,209.85	9
New Zealand	24.1	10	Spain	3,197.79	10
Luxembourg	23.8	11	Norway	3,092.62	11
Ireland	23.0	12	Ireland	3,071.27	12
Poland	18.9	13	Israel	3,059.93	13
Austria	18.7	14	**Korea**	**2,792.35**	**14**
USA	18.6	15	Germany	2,764.95	15
Lithuania	18.1	16	Austria	2,522.90	16
Germany	16.1	17	Denmark	2,344.92	17
Portugal	16.1	18	Iceland	2,286.24	18
Czech Rep.	15.6	19	Sweden	2,218.27	19
Belgium	13.8	20	New Zealand	1,790.49	20
Hungary	13.8	21	Slovenia	1,777.08	21
Latvia	13.3	22	Costa Rica	1,653.09	22
Turkey	13.3	23	Greece	1,626.22	23
Slovenia	13.2	24	Canada	1,554.68	24
Israel	13.1	25	Australia	1,423.33	25
Slovak Rep.	12.6	26	Finland	1,411.31	26
France	12.0	27	Slovak Rep.	1,388.25	27
Greece	11.4	28	Portugal	1,332.71	28
Korea	**11.3**	29	Czech Rep.	1,320.89	29
Switzerland	11.0	30	Latvia	1,171.47	30
Netherlands	9.2	31	Mexico	1,131.37	31
Japan	**8.9**	32	Colombia	1,114.77	32
Spain	8.8	33	Hungary	1,058.40	33
UK	8.4	34	Lithuania	937.02	34
Mexico	8.3	35	Turkey	799.23	35
Italy	8.0	36	Poland	724.83	36
Costa Rica	7.4	37	Estonia	656.39	37
Colombia	5.9	38	Chile	372.30	38

번째에 해당하는 수치로 OECD 회원 국가들 중에서는 평이한 수준의 부가가치 창출로 볼 수 있으며, 자원생산성이 높다고 평가하기 어려운 수준이다. 자원생산성 수치가 가장 높은 국가는 스위스로 평균 7,550.52 USD/ton의 부가가치를 창출하는 것으로 나타났다. 이는 우리나라에 비해 약 2.70배 높은 수치이다. 이어서 네덜란드는 5,292.95 USD/ton, 영국은 4,799.54 USD/ton으로 자원생산성 지표가 가장 높은 국가 2, 3위로 나타났다. 일본은 4,315.81 USD/ton으로 OECD 38개국 중 5번째에 해당하였다. 이는 우리나라와 비교하였을 때 1.55배에 해당하는 자원사용량 대비 부가가치 창출량이다.

자원생산성 수치가 가장 낮은 국가는 칠레로 평균 372.3 USD/ton의 부가가치 창출에 그치는 것으로 나타났다. 이는 부가가치 창출이 가장 높은 스위스의 1/20 수준이다. 칠레에 이어 에스토니아가 656.39 USD/ton, 폴란드가 724.83 USD/ton으로 나타났다(Table 4).

국가별 자원생산성 지표와 1인당 연간 자원소비량 지표의 비교에서 관찰되는 괴리는 GDP/DMC로 산출되는 부가가치가 실질적인 자원사용량 대비 창출되는 부가가치와는 큰 차이가 있음을 보여준다. 그리고 그 괴리의 정도는 현행 주 자원생산성 지표가 합리성 내지 타당성을 보다 확보하기 위해서는 측정체계 내에서 추가적인 수식 설계를 통한 개선 또는 보조지표의 개발이 필요함을 시사한다. 즉, 주 자원생산성 지표인 GDP/DMC는 국가간 자원생산성을 비교하는 상황에서 우리나라와 같이 2차 산업 비중이 높은 국가들을 과소평가하는 반면 서비스업으로 대표되는 3차 산업 비중이 높은 국가들은 과대평가하는 경향이 있다는 것이다.

예를 들어, 앞서 제시한 Table 4에서 룩셈부르크의 연간 1인당 자원소비량은 23.8 ton으로 우리나라의 연간 1인당 자원소비량 대비 2.11배 높다. 자원생산성 지표 또한 룩셈부르크는 4,468.51 USD/ton의 부가가치를 창출하는 것으로 나타났으며 이는 우리나라에 비해 1.6배가량 높다. 이는 1인당 사용하는 자원의 양이 우리나라보다 2배가량 높은 국가가 소비하는 자원에서 부가가치 또한 1.6배가량 높은 부가가치를 창출하는 것으로 해석할 수 있다. 그러나 룩셈부르크의 경제 구조를 살펴보았을 때 이 부분은 석연치 않은 측면이 있다. 2017년 기준 룩셈부르크의 GDP 대비 3차 산업의 비중은 약 79.3%에 달한다. 3차 산업 중에서도 금융업이 차지하는 비중은 약 34.4%로 금융업이 GDP 전체를 견인하는 측면을 간과할 수 없다.

즉, 자원사용과는 직접적으로 연관성이 낮은 3차 산업 중심의 룩셈부르크가 1인당 연간 자원사용량이 우리나라의 2배 이상임에도 불구하고 자원사용량 대비 부가가치 창출을 1.6배가량 이루어내는 것으로 나타난다는 것이다.

이와 같은 지표의 한계점은 현행 GDP/DMC 지표의 합리성과 타당성을 보조하는 지표가 필요함을 의미하며, 실제 자원사용량 내지는 에너지 사용량을 고려한 보조지표 등이 연구·개발되어야 함을 시사한다.

4. 에너지 조정계수를 적용한 실질 GDP

2차 산업은 DMC에서 정의하는 자원(바이오매스, 화석연료, 철·비철금속)을 가공하여 제품으로 생산하는 업종을 총칭한다. 농·임·어업으로 대표되는 1차 산업과는 자원사용의 관점에서 분명한 차이가 있으며 운송·서비스업 등 용역 위주의 부가가치를 창출하는 3차 산업과도 확연한 구조적 차이를 보인다.

이러한 관점에서 고려해 볼 수 있는 것은 자원사용량이 에너지 사용량과 뚜렷한 양의 상관관계를 보인다는 점이다. Steinhilper의 연구에 따르면 자동차 부품 재제조(Remanufacturing) 산업에서 교류발전기의 경우 신품 대비 재제조품은 14%, 시동장치는 9%의 에너지만을 사용하며 자원 소모량 또한 교류발전기의 재제조 시 신품 대비 12%, 시동장치는 9%만을 사용하는 것으로 나타났다(Figure 2)[11]. 이는 직접적인 자원/에너지 사용량에 기인한 부가가치(GDP) 창출에 대해서만 측정 범위를 설정하는 방법으로 현행 자원생산성 산정을 위한 주 지표인 GDP/DMC와 함께 자원/에너지 사용 비율을 반영한 보조지표 개발이 가능함을 시사한다.

'2장 이론적 배경'의 '2.3. 산업별 에너지 사용량'에서 밝힌 것처럼 우리나라 2차 산업에 투입되는 에너지 사용량은 약 1.5억 toe, MWh로 전체 에너지 사용량인 약 1.6억 toe, MWh의 95.87%에 육박한다. 미국 또한 2차 산업에 투입되는 에너지 사용량은 약 74.0억 toe, MWh로 전체 에너지 사용량인 약 79.4억 toe, MWh의 93.28%에 달한다.

2개 국가의 산업별 에너지 사용량 통계는 2차 산업에 집중되

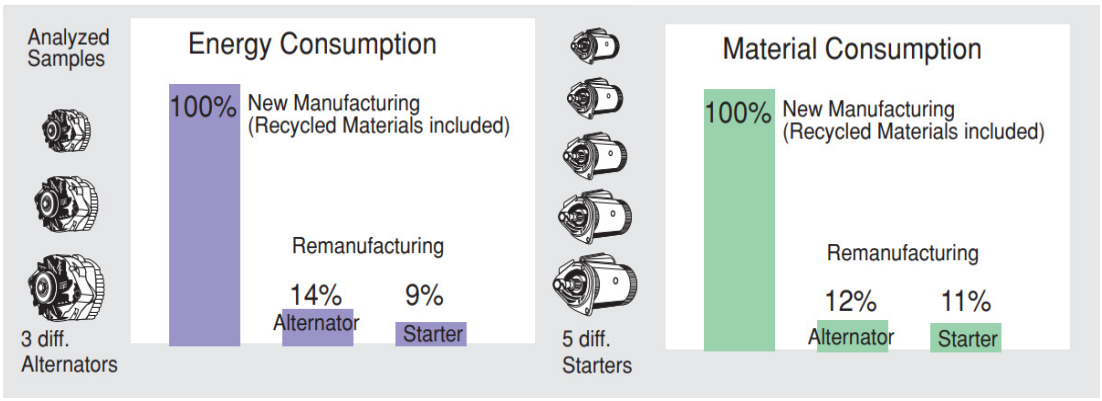

Figure 2. Regarding energy and material consumption, remanufacturing is far ahead of manufacturing[11]

는 에너지 사용량은 93.28%, 95.87%까지의 압도적인 비율 범위에서 투입이 되고 있음을 관찰할 수 있다. 그리고 이는 2차 산업이 타 산업구조에 비해 투입되는 자원의 양 대비 창출하는 부가가치가 현저히 낮음을 말해준다.

즉, GDP/DMC는 실질적으로 각 산업별 특성을 고려하지 않은 채 자원사용량 대비 부가가치를 산출함으로써 우리나라와 같은 2차 산업 중심의 국가들을 상대적으로 과소평가할 가능성이 높은 불합리성이 있다. 같은 맥락에서 산업 특성상 자원사용량이 제조업에 비해 상대적으로 적을 수 밖에 없는(적으면서 부가가치를 높일 수 있는) 3차 산업 중심의 국가들을 상대적으로 과대평가할 수 있다. 산업 특성을 고려하지 않은 채 단순히 국내 전체 자원소모량 대비 GDP로 각국의 자원생산성을 산정하여 비교·분석하게 되면 그 의미를 왜곡 해석할 가능성이 있다는 것이다.

따라서 본 연구에서는 국가 단위 자원생산성 측정에 있어 기존의 자원생산성 지표(GDP/DMC) 수식 중 GDP에 에너지 조정계수를 적용(에너지 조정계수를 적용한 GDP, 이하 GDPe)하고자 한다.

다시 말하면, 2차 산업에 실질적으로 투입되는 산업별 에너지 사용 비중을 GDP에 반영하여 GDP가 DMC와 함께 자원생산성 측정을 목적으로 활용이 되었을 때 실질적으로 창출된 부가가치의 모수로 보다 합리적인 판단이 가능하도록 조정하는 방안을 제안하는 것이다.

산업별 에너지 사용량 및 산업별 에너지 사용량 대비 부가가치 창출량에서 관찰할 수 있는 비중의 경향을 반영함과 동시에 자원생산성 측정 과정에서 반드시 고려하여야 할 논리적 타당성을 확보하기 위해 2차 산업 GDP의 에너지 조정계수는 실제 2차 산업에 투입되는 에너지 비율 평균인 95%를 고려하여 0.95로 설정하였으며, 2차 산업 외 GDP는 전체 1에서 0.95를 차감한 0.05으로 설정하였다.

본 연구에서 제안하는 자원생산성 보조지표인 GDPe/DMC의 수식은 다음과 같다.

$$RPe = GDPe / DMC = \frac{(\text{2차 산업GDP} \times 0.95) + (\text{2차 산업외GDP} \times 0.05)}{DMC} \quad (1)$$

5. 에너지 조정계수를 적용한 자원생산성 보조지표(GDPe/DMC)

앞서 제안한 수식을 적용하여 에너지 조정계수를 도입한 자원생산성 지표(이하 GDPe/DMC)를 측정한 결과 우리나라는 1,094.60 USD/ton의 부가가치를 창출하였으며 OECD 38개 국가 순위로는 GDP/DMC 대비 14위에서 4위로 무려 10계단이나 상승하였다. 우리나라의 산업구조에서 제조업이 차지하는 비중이 높은 것을 감안하더라도 스위스, 스페인, 캐나다, 터키, 폴란드, 에스토니아, 칠레 7개국의 순위변동은 없는 점, 그리고 이외 20개국(일본, 네덜란드 등)의 순위변동 폭이 5계단 미만인 점을 감안할 때 타당성 측면에서 산업별 에너지 사용량을 고려한 조정계수의 도입이 지니는 의미는 가시적이며, 이는 반대로 GDP/DMC가 제조업 기반 국가들의 자원생산성을 상대적으로 저평가해온 것으로 판단할 수 있다.

GDPe/DMC가 가장 높은 국가는 스위스로 자원사용량 1 ton 대비 부가가치 창출이 평균 2,031.09USD로 나타났다. 이는 우리나라에 비해 약 1.86배 높은 수치이다. GDP/DMC로 양국을 비교 시 스위스가 우리나라에 비해 2.70배가 높았음을 감안할 때 기존 지표에서 과대·과소평가되어온 수치가 일정부분 상쇄되었음을 엿볼 수 있는 대목이다.

일본은 1,348.69 USD/ton, 아일랜드는 1,149.27 USD/ton으로 에너지 사용량을 고려하였을 때 자원사용량 1 ton 대비 부가가치 창출이 가장 많은 국가 2, 3위로 나타났다. 일본은 GDP/DMC 순위보다 3계단 상승하였으며 아일랜드는 우리나라와 비슷하게 9계단이 비약적으로 상승한 결과를 보여주었다. 기존 2, 3위였던 네덜란드와 영국은 각각 1,080.56 USD/ton, 1,000.22 USD/ton의 부가가치를 창출하는 것으로 나타났으며 양국 모두 3계단 하락한 5, 6위로 나타났다.

반면 GDPe/DMC가 가장 낮은 국가는 칠레로 평균 115.50 USD/ton의 부가가치를 창출하는 것으로 나타났다. 이는 부가가치 창출이 가장 높은 스위스의 1/18 수준이다. 칠레에 이어 에스토니아가 167.91 USD/ton, 폴란드가 217.12 USD/ton으로 나타났다. 눈여겨볼 점은 칠레, 에스토니아, 폴란드, 터키 순으로 자원생산성이 낮은 4개 국가는 지표 개선 이전에도 동일한 순위를 기록하는 것으로 나타났다. 즉, GDP에 산업별 에너지 사용량을 고려하더라도 하위 4개 국가에서는 순위변동에 영향을 미치지 않았다.

또한 눈여겨볼 점은 대한민국, 아일랜드, 체코, 독일, 멕시코, 슬로바키아 순으로 순위변동 폭이 높았으며, 이는 독일을 제외하면 2차 산업의 비중이 높은 국가 순서와도 같은 모습을 보였다. 같은 맥락에서 룩셈부르크는 보조지표 적용 이후 순위가 12계단 하락하였으며 차례대로 그리스는 9계단, 프랑스는 7계단, 코스타리카는 6계단, 미국은 5계단 하락하였다. 그리고 4개 국가 모두 3차 산업이 전체 GDP에서 70%의 높은 비중을 차지하였으며 이 중 변동 폭이 가장 큰 룩셈부르크의 3차 산업 비중은 79.3%에 달했다. 즉, 에너지 조정계수를 GDP에 도입함으로써 2차 산업의 비중이 높은 국가들의 자원생산성(지표)이 상대적으로 과소평가되어온 부분은 일정 수준 상쇄가 되었다고 볼 수 있는 반면, 3차 산업의 비중이 높은 국가들은 용역으로 창출되는 부가가치가 많은 구조적 특징으로 인해 GDP/DMC 결과보다 낮게 평가되었다. 그렇지만, GDP/DMC와 GDPe/DMC를 비교하였을 때 OECD 국가들의 전반적인 자원생산성 수치 분포는 대체로 일관성이 높은 형태를 보여주었다. 특히 스위스, 일본, 네덜란드, 영국 등 기존 자원생산성 지표에서도 높은 평가를 받은 국가들은 GDP에 에너지 조정계수를 도입한 이후에도 자원생산성이 높은 국가 집단으로 평가되었으며, 같은 맥락에서 칠레, 에스토니아, 폴란드, 터키 등 기존 자원생산성 지표에서도 낮은 평가를 받은 국가들은 GDP에 에너지 조정계수를 도입한 이후에도 여전히 자원생산성이 낮은 국가 집단으로 평가되었다.

6. 결 론

본 연구에서 제안한 GDPe/DMC는 산업구조별 에너지 사용량

Table 5. GDP/DMC and GDPe/DMC ranking comparison of OECD Countries.

Countries	GDP/ DMC	Ranking of GDP/ DMC	Proportion of primary industry	Proportion of secondary industry	Proportion of tertiary industry	GDPe/ DMC	Ranking of GDPe/ DMC	Ranking changes
Switzerland	7,550.52	1	0.6%	24.5%	71.9%	2,031.09	1	-
Japan	4,315.81	5	1.2%	29.2%	69.0%	1,348.69	2	▲+3
Ireland	**3,071.27**	**12**	**1.2%**	**36.4%**	**55.6%**	**1,149.27**	**3**	**▲+9**
Korea	**2,792.35**	**14**	**2.0%**	**38.0%**	**60.0%**	**1,094.60**	**4**	**▲+10**
Netherlands	5,292.95	2	1.9%	17.7%	70.1%	1,080.56	5	▼-3
UK	4,799.54	3	0.6%	18.2%	70.4%	1,000.22	6	▼-3
Norway	3,092.62	11	2.0%	29.8%	56.8%	966.44	7	▲+4
Italy	4,072.45	6	2.0%	21.3%	66.4%	963.34	8	▼-2
Germany	**2,764.95**	**15**	**0.8%**	**27.5%**	**61.7%**	**808.75**	**9**	**▲+6**
Spain	3,197.79	10	2.8%	20.1%	67.8%	723.50	10	-
Belgium	3,209.85	9	0.7%	19.2%	69.3%	697.82	11	▼-2
Austria	2,522.90	16	1.2%	25.4%	62.6%	689.26	12	▲+4
USA	3,215.91	8	0.9%	18.3%	77.2%	684.67	13	▼-5
France	**3,337.43**	**7**	**1.5%**	**17.2%**	**70.3%**	**665.15**	**14**	**▼-7**
Israel	3,059.93	13	1.2%	18.9%	70.1%	658.50	15	▼-2
Luxembourg	**4,468.51**	**4**	**0.2%**	**11.2%**	**79.3%**	**653.07**	**16**	**▼-12**
Sweden	2,218.27	19	1.4%	22.1%	65.1%	539.48	17	▲+2
Denmark	2,344.92	17	1.3%	20.7%	64.9%	538.74	18	▼-1
Slovenia	1,777.08	21	1.8%	28.4%	56.7%	531.44	19	▲+2
Iceland	2,286.24	18	3.8%	19.5%	65.6%	502.86	20	▼-2
Czech Rep.	**1,320.89**	**29**	**2.1%**	**32.7%**	**55.1%**	**448.11**	**21**	**▲+8**
Slovak Rep.	1,388.25	27	2.4%	28.9%	58.4%	423.35	22	▲+5
New Zealand	1,790.49	20	5.9%	20.4%	65.2%	410.65	23	▼-3
Canada	1,554.68	24	1.9%	24.0%	67.1%	408.10	24	-
Finland	1,411.31	26	2.3%	24.4%	59.8%	370.96	25	▼+1
Mexico	**1,131.37**	**31**	**3.4%**	**30.9%**	**60.1%**	**368.03**	**26**	**▲+5**
Australia	1,423.33	25	2.7%	23.5%	67.0%	367.36	27	▼-2
Costa Rica	**1,653.09**	**22**	**4.7%**	**19.3%**	**68.3%**	**363.43**	**28**	**▼-6**
Colombia	1,114.77	32	6.4%	26.8%	57.6%	319.49	29	▲+3
Portugal	1,332.71	28	2.1%	19.1%	65.4%	286.80	30	▼-2
Hungary	1,058.40	33	3.8%	25.2%	55.9%	284.97	31	▲+2
Greece	**1,626.22**	**23**	**3.9%**	**13.8%**	**69.7%**	**273.04**	**32**	**▼-9**
Lithuania	937.02	34	3.5%	25.9%	60.4%	260.49	33	▲+1
Latvia	1,171.47	30	3.6%	19.0%	64.8%	251.52	34	▼-4
Turkey	799.23	35	6.0%	29.1%	53.5%	244.72	35	-
Poland	724.83	36	2.9%	28.4%	56.6%	217.12	36	-
Estonia	656.39	37	2.4%	23.6%	60.8%	167.91	37	-
Chile	372.30	38	4.0%	29.4%	57.9%	115.50	38	-

을 고려해 자원으로부터 직접 창출된 부가가치를 측정한다는 점에서 GDP/DMC보다 자원사용의 성격을 더욱 잘 반영한 지표라고 할 수 있다. 이는 제조업의 비중이 높은 2차 산업에서 부가가치 창출을 위해 투입되는 자원의 양이 타 산업에 비해 월등히 많다는 점을 고려한 보다 현실적이고 합리적인 보조지표로서의 의미와 역할을 내포하고 있다고 사료된다. 다만, 이로 인해 제조업 비중이 높은 국가가 산업 특성이 반영됨으로써 자원생산성이 기존보다 상대적으로 높게 나타날 수 있다.

예를 들어 우리나라와 같이 제조업 비중이 높은 국가의 경우 1차 산업 또는 서비스업 비중이 높은 국가에 비해 기존 주 지표

(GDP/DMC) 적용 시보다 상대적으로 높은 자원생산성이 도출될 수 있다. 이는 자원생산성 지표가 산업별 조정계수에 영향을 받기 때문이라고 볼 수 있다. 하지만, 본문 Table 5에서 나타난 것과 같이 2차 산업에 에너지 사용 비중이 높은 상황을 감안하여 자원생산성을 측정하더라도 자원생산성이 가장 높은 것으로 평가되는 국가 집단과 자원생산성이 가장 낮은 것으로 평가되는 집단의 분포는 거의 동일함을 알 수 있었다.

본 연구에서 제시한 GDPe/DMC는 자원생산성 평가를 위한 주 지표인 GDP/DMC를 보조하는 지표로써 그 기능과 목적이 분명하다는 점에서 유용성 및 활용가치가 높다고 할 수 있다. 특히 산업구조가 확연히 다른 국가들(에너지/자원집약도가 높은 산업 중심의 국가들과 그렇지 않은 국가들) 간의 자원생산성 비교, 분석을 통한 개선안 도출을 위해서도 매우 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 뿐만 아니라 산업구조가 유사한 국가들 간에 보다 정교한 자원생산성 비교 분석을 위해서도 본 연구에서 제안하는 보조지표가 참고지표로써 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

기존의 주 지표인 GDP/DMC만으로 자원생산성을 평가할 경우 그 나라의 산업구조가 대체적으로 자원생산성의 정도를 판가름하는 형태로 귀결되는 경우가 많기 때문에 본 연구의 보조지표를 통해 자원/에너지 집약도가 높은 산업과 그렇지 않은 산업(서비스 중심의 산업 등)의 특성이 고려된 실질적 자원사용으로부터 직접 창출된 부가가치를 나타내는 자원생산성 정보를 제공할 수 있다. 다시 말하면, 같은 GDP를 창출하더라도 산업구조상 에너지/자원 사용이 많을 수밖에 없는 산업(2차 산업, 제조업)과 그렇지 않은 산업(3차 산업, 서비스산업)의 특성을 고려한 자원생산성 보조지표를 주지표와 함께 제공함으로써 자원생산성의 해석, 관리, 개선에 큰 도움이 될 것으로 사료된다.

다만 연구 대상 국가들의 산업별 에너지 사용량 통계자료의 확보 한계로 인하여 본 연구에서는 2개 국가(우리나라와 미국)의 2차 산업에 사용되는 에너지 비율 통계를 활용하여 그 평균치(0.95)를 에너지조정계수로 도출하였다. 본 연구에서 제시한 조정계수를 크게 벗어날 것으로 생각되지는 않지만, 보다 정교한 에너지조정계수의 도출을 위해서는 더 많은 국가들의 산업별 에너지 사용량 통계자료의 확보가 필요할 것으로 사료된다.

또한, 본 연구에서는 에너지 사용과 자원 사용이 거의 정비례한다는 Steinhilper 등의 연구결과를 근거로 자료 분석을 하였으나, 이들의 상관관계 연구도 보다 심도있게 이루어져야 할 과제라고 할 수 있다.

감 사

이 논문은 2021년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(P20214000000520, 2021년 에너지산업고도화인력양성사업).

References

1. Kang, H. Y., “Analysis of Global Trends on Resource Productivity and Its Promotion Strategy”, *Journal of The Korean Institute of Resources Recycling*, **29**(3), 24-35 (2020).
2. https://kostat.go.kr/understand/info/info_lge/1/detail_lang.action?bmode=detail_lang&pageNo=1&keyWord=15&cd=SL4411&sTt=/ (accessed Jun. 2022).
3. U.S. Bureau of Economic Analysis (BEA), Measuring the Economy, A Primer on GDP and the National Income and Product Accounts, Maryland (2015).
4. https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_2KAA906_OECD (accessed June. 2022).
5. Lee, S. P., “The understanding of GDP”, “click” ECONOMIC EDUCATION, KDI Economic Information and Education Center, 18(9), 22-23 (2009).
6. UN SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS, SDG indicator metadata (2021).
7. United Nations Sustainable Development, AGENDA 21, United Nations Conference on Environment & Development, Rio de Janerio (1992).
8. United Nations Department of Economic and Social Affairs Division for Sustainable Development, From our origins to the future, World Summit on Sustainable Development, Johannesburg (2002).
9. Korea Energy Agency, 2020 Annual End-Use Energy Statistics, Ulsan (2021).
10. https://www.eia.gov/outlooks/archive/aeo20/tables_ref.php/ (accessed Jun. 2022).
11. Steinhilper. R., Remanufacturing -The Ultimate Form of Recycling-, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart (2005).
12. https://data.oecd.org/materials/material-consumption.htm/ (accessed Jun. 2022).