

## 자원 효율성 및 지속 가능성 증진을 위한 선진국 물질흐름분석 관련활동에 대한 평가

김성용\*

한국지질자원연구원

### Review of Material Flow Analysis Related Activities of Developed Countries for the Improvement of Resources Efficiency and Sustainability

Seong-Yong Kim\*

Korea Institute Geoscience and Mineral Resources (KIGAM) 30 Gajeong-dong Yuseong-gu 305-350 Daejeon, Korea

The natural resources and material life-cycle include all human activities related to resources and material extraction, transportation, processing, use, recovery and disposal. Sustainable material management (SMM) is an integrated set of policy approaches targeted on economic agents throughout the material life-cycles and designed to result in economically efficient and environmentally effective material use. The material flows of industrial mineral, ores and fossil fuels have also long been a focal area for environmental policies because of the high environmental pressures associated with extraction, processing, consumption, and final disposal of these materials. OECD work on material flow is to improve the quantitative and analytical knowledge bases about natural resource and material flows within and among countries, so as to better understand the importance of material resources in member countries' economies. In several EU Member States, material flow accounts are part of official statistics. Material flow analysis (MFA) is a valuation method which assesses the efficiency of use of materials using information from material flow accounting. Material flow analysis helps to identify waste of natural resources and other materials in the economy which would otherwise go unnoticed in conventional economic monitoring systems. Resource use and resource efficiency has emerged as a major issue for long-term sustainability and environmental policy.

**Key words :** Material flow analysis (MFA), Material flow accounting, Domestic material consumption (DMC), Domestic material input (DMI), natural resources

천연자원 및 물질순환은 자원채광, 운반, 처리, 활용, 회수 및 폐기 등과 관련된 모든 인간의 활동을 포함한다. 지속가능한 물질 관리는 물질순환을 통해 경제적 배개체에 맞추어진 통합된 정책수단이며 경제적으로 효율적이고 환경적으로 효과적인 물질의 사용을 위한 것이다. 산업광물, 금속광물 및 화석연료의 물질흐름은 회수, 처리, 소비 및 최종 폐기와 관련된 환경적 압력 때문에 지금껏 환경정책의 주된 영역이었다. OECD의 물질흐름분석연구는 회원국의 경제운용에서 물질자원의 중요성에 대한 이해의 폭을 넓혀 국가별국가간 천연자원 및 물질흐름에 대한 정량적이고 분석적인 지식기반을 증진하는 것이다. 현재 EU에서는 물질흐름계정이 몇몇 회원국에서 공식통계로 활용되고 있다. 주로 물질흐름분석은 물질흐름계정으로부터 정보를 활용하여 물질사용의 효율성을 평가하는 가치화기법으로서 기존의 경제모니터링시스템에서 파악되지 않는 천연자원 등의 폐기를 인지하는데 활용된다. 물질흐름분석에서 자원사용과 효율성은 장기간의 지속가능성 및 환경정책을 위한 중요한 주제로 떠오르고 있는 것이다.

**주요어 :** 물질흐름분석, 물질흐름계정, 국내물질소비, 국내물질투입, 천연자원

\*Corresponding author: ksy@kigam.re.kr

## 1. 물질흐름분석의 의의 및 중요성

### 1.1. 물질흐름분석의 중요성

지속가능사회는 물질순환사회이어야만 가능하다. 따라서 지구환경이 안정하게 존재하고 있다는 것은 물질순환이 안정하게 이루어지고 있다는 것이며, 무엇보다도 모든 경제활동이 안정한 물질 순환 속에서 이루어지는 것이 중요하다고 할 수 있다. 물질흐름분석에서는 자원소비량을 고려하여 국내총생산(GDP)의 지속가능성을 검토하는 연구가 이루어지고 있으며, 환경경영의 한 분과인 환경경영에서 대안적인 분석방법으로 물질흐름계정이 적용되고 있다. 또한 물질흐름분석은 사업장간의 폐기물 흐름을 파악하여 폐기물 배출을 감소시키기 위한 측정방법으로 사용되고 있다. 제품 환경성의 주요 평가요소인 재활용 용이성을 증명하기 위한 방법으로 자원 이용량을 파악하고, 특정물질의 전 생애주기를 고려하여 물질흐름을 파악하고 있다.

산업화 과정을 거치면서 노동의 생산성은 급격히 증가한 반면, 노동에 비해 천연자원은 상대적으로 가격이 낮았고, 환경문제가 시장가격에 반영되지 않는 이유로 인하여 천연자원의 생산성은 크게 향상되지 않았다. 경제정책에서도 천연자원의 사용에 대한 조세부과가 낮아서 환경문제로 인한 시장실패가 치료되지 않는 상태로 머물러 있었고, 천연자원에 대한 상대적인 가격상승과 인건비에 대한 상대적인 가격하락을 통해 실업문제와 환경문제를 해결할 수 있는 방안을 유럽연합에서는 중요 정책으로 시행하고 있다. 천연자원이 점점 희소해지고, 이에 따라 상대가격이 상승하고 있기에 제품경쟁력과 국가경쟁력은 천연자원의 지속가능한 관리를 통해서만 확보되기에 어떠한 흐름으로 자원이 사용 및 폐기처분되고 있는지를 살피고, 이를 개선할 수 있는 관리방안을 수립하는 것이 중요하다고 할 수 있다(김성용 등, 2006).

일본은 해외자원의존도가 큰 취약점을 극복하기 위해 일찍부터 동, 아연, 연, 희토류 등을 대상으로 일본 내의 자원이용 상태나 축적 자원량 파악을 위해 노력하였고, 자원 거래 흐름의 조사를 수시로 수행하여 왔다. 그 결과는 자원 확보전략을 위한 기반으로 활용되었고, 2000년도 전후부터는 급격한 발전을 하여 지구환경문제에의 대처를 위한 신규 학문분야로 중요한 역할을 하려고 한다(Kazuyo Yokoyama et al., 2004).

### 1.2. 물질흐름분석의 의의

사후처리기술에서 청정기술로의 정책변화에 따라 기

업들에서 특히 천연자원의 생산성 또는 환경효율성에 관심을 갖게 되었다. 같은 서비스와 효용을 가지면서도 자원을 두 배로 절약할 수 있는 기술개발과 생산과정이 중요하게 된 것이다. 자원생산성은 투입측면에서는 상대적으로 적은 자원사용이라는 효율성(Efficiency)으로 나타나고, 산출측면에서는 최대의 생산물을 위한 최적의 효용인 충족감(Sufficiency)으로 나타난다.

물질흐름분석(Material Flow Analysis, MFA) 연구를 통해 기업은 개별적으로 자원이용도를 분석하여, 환경보호에 의해 효과적이고 경제적으로도 효율적인 자원관리시스템을 만들 수 있을 것이며, 생산관리에서는 모든 제품들의 과다한 자원사용이 검증되고 천연자원의 이용지수를 평가할 수 있는 것이다. 친환경적인 상품디자인은 제품의 제조에서부터 재활용 그리고 폐기상태에 이르는 제품주기에 걸쳐서 환경요소를 고려하는 것이고, 하나의 제품이 처음부터 환경요인을 고려하여 만들어진다면 이는 사후적으로 환경오염을 줄이는 어떠한 환경기술보다도 환경부하를 줄이는 일을 하게 될 것이다.

환경문제를 해결하는 방법은 환경을 오염시키는 방출량을 감소시키는 방법이 있고, 다른 하나는 근본적인 문제해결로서 기존보다 적은 자원을 이용하는 방법으로 나눌 수 있다. 후자의 방법에 속하는 자원이용지수 도입은 처음부터 자원의 이용도를 줄이되 효용을 감소시키지 않고 자원의 생산성을 배가하자는 것이다(김성용 등, 2006).

## 2. 물질흐름 관련 OECD 노력 및 성과

### 2.1. 물질흐름연구 추진경위

물질흐름에 관한 연구는 1999년도 미국과 일본의 공동 제안의 후속으로 OECD의 환경정보·전망실무그룹(OECD Working Group on Environmental Information and Outlooks, WGEIO)에 의해 시작되었다. WGEIO는 국가차원 및 국제적으로 물질흐름계정과 함께 생산되는 진행 자산의 획득, 정책개발 및 결정의 지원을 위해 최적 정보의 사용에 관한 경험의 교류를 위한 포럼을 제공하는 것을 목적으로 하고 있다.

2000년도에는 물질흐름계정(Material Flow Accounting, MFA)에 관한 OECD 세미나가 WGEIO 후원하에 개최되었고, 연속으로 폐기물방지·재활용 실무그룹(Working Group on Waste Prevention and Recycling, WGWRP)에 의해 폐기물 물질흐름과 자원효율성(Waste material flows and resource efficiency)에

관한 세미나가 개최되었다. 2003년 11월에는 일본 도쿄에서 환경성 후원으로 물질흐름계정 및 자원생산성에 관한 국제 전문가 회의가 개최되었으며, 이어서 2004년 4월에 프랑스 파리에서 OECD 장관급 환경정책위원회 회의가 개최되어 OECD 이사회(Council)에서 물질흐름과 자원생산성에 관한 권고안을 채택하게 되었다. 2004년 6월에는 핀란드 헬싱키에서 핀란드 환경부 주최로 WGWRP 협력하에 OECD/WGEIO 후원의 물질흐름과 관련 지표에 관한 OECD 워크숍이 열렸고, 9월에는 「지속가능한 자원사용」을 위한 지속가능 개발 전문가 연차회의(Annual meeting of Sustainable Development Experts, AMSDE)가 개최되었다.

2004년 10월, 프랑스 파리에서는 제 35차 WGEIO 회의 개최되어 MFA를 위한 요구사항경험 교류 및 초안 보고서가 논의되어 최종안(Final scoping paper)을 수립하였다. 11월에는 EU 회원국의 통계를 주관하는 Eurostat에서 MFA 작업팀(Task Force-MFA)를 구성하여 물질흐름계정을 위한 방법론적 가이드라인 수정안(Draft amended methodological guide)을 수립하였다.

2005년 2월에 제 7차 WGWRP 회의가 개최되어 지속가능한 물질 관리를 위한 OECD 연구의 제 1차 논의를 하였고, 5월중 독일 베를린에서 WGEIO 워크숍이 개최되어 물질흐름계정과 비전 표준안, 방법 및 측정 이슈 검토, 물질흐름 지표의 선택과 정의, 국가관련 소개책자 등의 작업들을 수립하였다. 9-10월에 「지속가능한 자원 사용」을 위한 지속가능한 개발 전문가 연차회의(AMSDE)를 개최하였고, 11월에는 우리나라(COEX)에서 WGWRP 지속가능한 물질관리 워크숍을 개최하였다. 2005년 10월 멕시코 칸쿤에서 제 36차 WGEIO 회의 개최되어 소개책자와 안내서 초안 검토와 OECD 사용을 위한 물질흐름 지표를 논의하였다. 2006년도에도 WGEIO 워크숍을 개최하여 지속가능한 자원 사용을 위한 전문가 연차회의 개최와 제 37차 WGEIO 회의 개최 등을 통해 물질흐름 지표의 해석 및 사용, 타 회계도구의 지표와의 연계, 최적 적용 및 성공적 응용, OECD 국가별 물질흐름 활동 조사, 물질흐름 지표의 해석 및 사용 안내책자 제작, OECD 국가에서의 물질흐름계정과 관련 지표의 추진평가 보고서 검토 등의 활동을 지속하고 있다(Table 1).

## 2.2. 물질흐름연구의 보급

물질흐름분석은 물질흐름계정(Material Flow Accounting)으로부터 정보를 활용하여 물질의 사용 효율성을 평가하는 방법으로서 보수적 경제모니터링시스템에서

경제 내에서의 천연자원과 타 물질의 폐기물 현황을 파악하는 데 활용되고 있다. 경제전반 물질흐름계정(Economy-wide Material Flow Accounting, EW-MFA)은 경제에서 사용된 물질의 총량을 방법론적으로 조직화한 계정에 기반을 둔 국가 경제 모니터링 시스템으로서 천연자원의 총 소비 모니터링과 지표의 산출 및 관련 간접 흐름의 파악이 가능하다.

물질흐름연구(Material Flow Studies) 또는 물질흐름분석(Material Flow Analysis)은 산업생태학(Industrial Ecology) 또는 산업물질대사(Industrial Metabolism), 그리고 열역학 제1의 법칙과 같은 선상에서 질량평형의 원칙을 사용하는 개념으로 대학 및 연구기관을 중심으로 수행되어 왔다.

물질흐름 연구에서는 물질(material)과 물체(substance) 간에는 차이가 분명하다. 물체는 순수한 화학 원소 또는 화합물, 물질은 원료물질(raw material), 생산품, 잔유물의 흐름이며, 물체의 혼합물이다. 물질흐름분석은 광범위하게 경제, 행정 또는 자연 실체에 응용될 수 있다. 다양한 개별 물체의 흐름 분석은 흔히 증금속과 같은 위해 화학물로부터 노출 위험을 감시할 수 있다.

경제전반 통합 물질계정 및 평형의 개념은 단일 물질 또는 물체 계정과 달리, 1970년대에 처음 적용되었고, 이들로부터 파생된 여러 계정 및 지표들은 사회 및 경제전반에 물질과 에너지의 통합된 수치로 제공되었다. 경제전반 물질흐름계정은 1990년대에 몇몇 OECD 국가에서 지속가능 이슈에 대한 논쟁을 지원하기 위해 연구과제로 다시 조명되고 통계적으로 적용이 되었다. 경제전반 물질흐름계정과 물질평형은 오스트리아, 독일, 일본, 미국과 네덜란드에서 폭넓게 적용되었고, 이는 세계자원연구소(World Resource Institute, WRI)에 의해 수행된 결과였다. 연구는 지속되었고, 표준화된 개념 및 방법은 진화하였다.

1996년에 ConAccount (Coordination of Regional National Material Flow Accounting for Environmental Sustainability)라 불리는 연구 네트워크가 물질흐름분석에 관한 정보교류를 위한 토대로서 기후, 환경 및 에너지를 위해 독일 부퍼탈연구소(Wuppertal Institute)에 의해 발족되었다. ConAccount는 오스트리아 비엔나의 학제간연구·지속교육연구소(Institute for Interdisciplinary Research and Continuing Education, IFF), 네덜란드 라이덴(Leiden) 대학의 환경과학센터(Center of Environmental Science, CML), 스웨덴 통계청(Statistics Sweden)과 밀접하게 협력하였고,

Table 1. Sequence of supporting events on material flows and related indicators

Year/Date	Event	Purpose & topics	Outputs
1999			
2000	Operating Working Group	Work on material flows	
October	OECD seminar	Seminar on Material Flow Accounting held by WGEIO, Seminar on Waste material flows and resource efficiency held by WGWPR	
2003			
November	International Expert Meeting	meeting on material flow accounts and resource productivity	
2004			
Jun 17-18	WGEIO workshop (Helsinki, Finland)	Definition of scope and orientations of joint work within the OECD on material flows and related indicators	Chair's conclusions (basis for OECD programme of work) (June 2004)
Sept/Oct	Annual meeting of Sustainable Development Experts (AMSDE)	Sustainable resource use	
October 13-15	35th WGEIO meeting (Paris, France)	Discussion of draft scoping paper Exchange of experience on "demand for MFA"	Final scoping paper (Q1 2005)
November 8-9	Eurostat TF-MFA	Review of Eurostat methodological guide and identification of next steps; development of simplified MF accounts	Draft amended methodol-logical guide (basis for OECD guidance document) (Q1 2005)
2005			
February 9-10	7th WGWPR meeting	First discussion of OECD work on sustainable materials management	
May 23-24	WGEIO workshop (Berlin, Germany)	Standard framework for MFA and bold vision ; review of methodological and measurement issues; selection criteria and definition of MF indicators; related guidance to countries	Draft guidance document on methodological and measurement issues (Q3 2005) Draft brochure on MFA (Q3 2005)
Sept/Oct	Annual meeting of Sustainable Development Experts (AMSDE)	Sustainable resource use	
November 28-30	WGWPR workshop (Seoul, Korea)	Sustainable materials management	
Nov. 30 - Dec. 1	36th WGEIO meeting (Paris, France)	Review of draft guidance document; of draft brochure ; Discussion of MF indicators for OECD use	Final scoping paper (Q1 2005)
2006			
2nd quarter	WGEIO workshop	Interpretation and use of MF indicators; link with other accounting tools and indicators ; best practices and successful applications; could cover SMM indicators Update of survey on MF activities in OECD countries (focus on indicators)	Draft guidance on the interpretation and use of MF indicators (Q3 2006)
Sept/Oct	Annual meeting of Sustainable Development Experts (AMSDE)	Sustainable resource use	
4th quarter	36th WGEIO meeting	Review of draft guidance document on interpretation and use of MF indicators; Review of draft report assessing progress with MFA and related indicators in OECD countries	Final guidance document on interpretation and use of MF indicators(Q4 2006) Final progress report (Q4 2006/ Q1 2007)

☆Source: edited from the OECD (2005a)

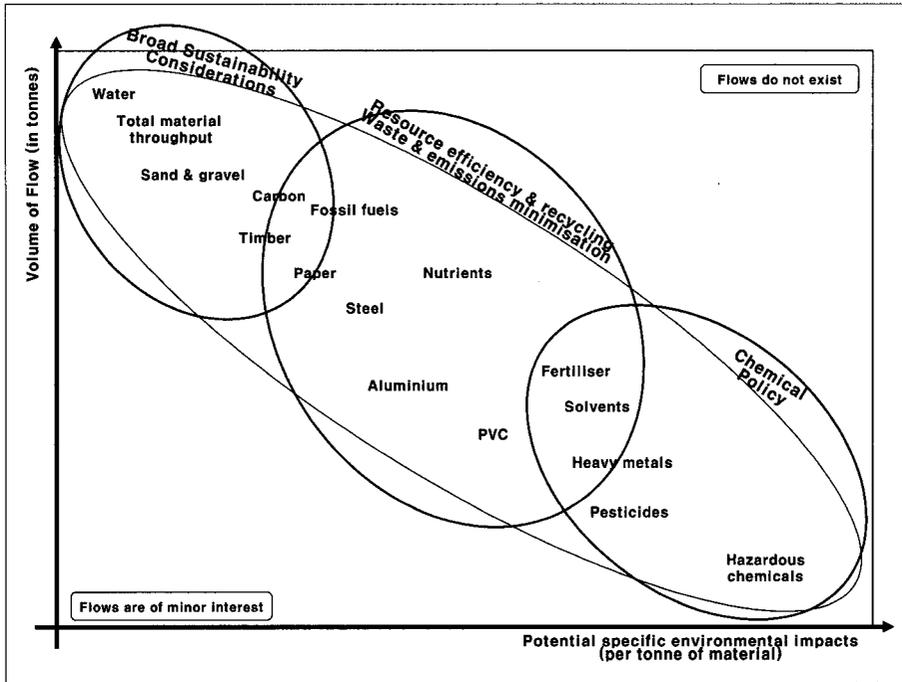


Fig. 1. Schematic representation of material flows, environmental impacts and policy uses from OECD (2005b), based on Streurer, A.(1992).

2001년도에 국제산업생태학회(International Society for Industrial Ecology, ISIE)가 발족되었다.

### 3. 물질흐름 지표 및 물질흐름계정 적용

#### 3.1. 물질흐름 파악을 위한 지표 개발

천연자원계정에 의한 자원관리를 위해서는 충실한 통계 자료와 상대적으로 정교한 회계시스템이 필요하다. 물질흐름계정의 직접 사용을 통해 천연자원계정이 환경에서 경제로 또는 경제 내에서 천연자원의 흐름을 추적할 수 있으며, 간접 사용은 연계정보를 위해서 물질흐름계정을 사용하는 것이다. 천연자원계정에서는 자원사용과 오염정도의 선택적 또는 통합적 지표의 마련 요구에 대응할 수 있다.

물질흐름의 부피와 잠재적 환경에의 영향관계를 보면, 물, 산업광물자원 등은 상대적으로 부피가 크고 환경적 영향은 적지만, 광범위한 지속가능성의 고려가 필요한 물질이다. 금속광물과 PVC 등은 자원 효율성, 리사이클 폐기물, 방출 최소화가 중요시되는 물질로 구별되고, 살충제, 중금속 등은 부피에 비해 환경적 영향이 큰 물질이므로 화학적 정책으로 관리되어야 함을 알 수 있다(Fig. 1).

EU의 Eurostat(2005)는 물질흐름분석 파악을 위한 대상 물질을 12가지 형태로 분류 정의하고 있다. 물질흐름분석의 대상이 되는 주요 물질은 크게 화석연료, 산업광물, 건설용 광물, 바이오매스의 4개로 구분할 수 있다. 그중 화석연료는 석탄, 석유, 천연가스, 기타 화석연료로 구분하며, 산업광물은 비금속광물, 광석광물로 나눌 수 있다(Table 2).

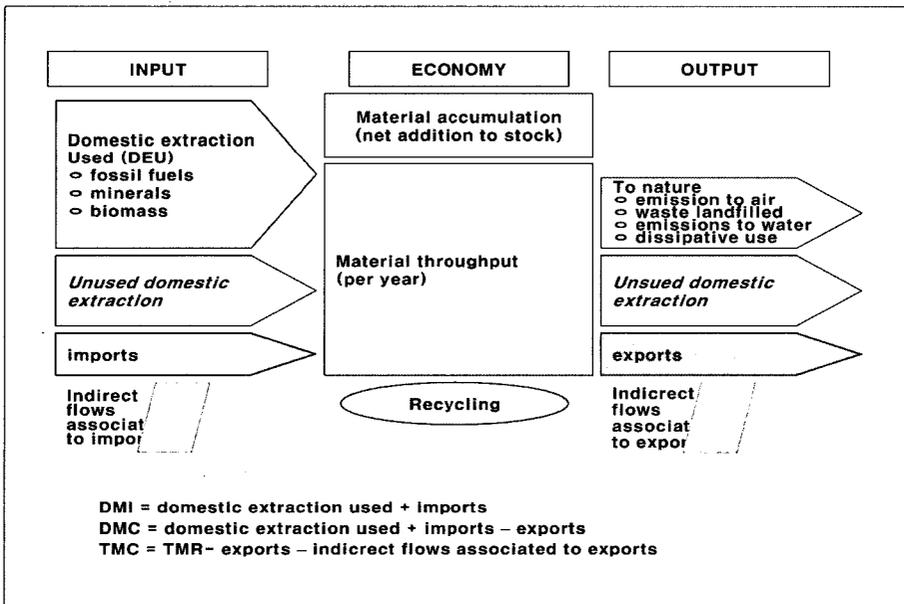
물질흐름계정 관련 투입지표는 경제에의 물질 직접 투입량을 DMI (Direct Material Input)로 표기하고, 전체 물질요구량은 TMR(Total Material Requirement)로 표기하고, 전체 투입물질량(Total Material Input)과 수입된 간접 물질 투입량으로 나타낸다.

물질흐름계정에서 소비지표는 소비의 직·간접성, 순수 국내 소비 여부 등에 따라 다양한 지표가 개발되어 사용되고 있다. 소비지표 중에서 간접 흐름을 제외한 경제에서 직접 사용된 전체 물질량으로서 DMC (Domestic Material Consumption)로 나타내고, 전체 물질소비량은 수입된 간접 흐름을 포함한 국내 생산 및 소비활동에 사용된 전체 물질량으로서 TMC (Total Material Consumption)로 나타낸다. 자산 실질 부가량 (Net Additions to Stock, NAS)은 경제적 축적으로서 물질성장(Physical Growth)이며 빌딩과 여타 인프라에

**Table 2.** Classification and definition of twelve types of the material flows

Main material categories	Subcategories	Aggregated items
Fossil fuels	Coal	All types of coal
	Oil	All types of oil
	Natural gas	All types of natural gas
	Other fossils	Peat and highly manufactures traded commodities from all types of fossil fuels
Industrial minerals	Industrial minerals	All non-metallic minerals used predominantly for industrial processes (excl. fossil fuels)
	Ores	All types of metallic ores and metal- based products
Construction minerals	Construction minerals	All minerals used primarily in construction
Biomass	Food	All potentially edible biomass from cropland plus traded food products
	Feed	all biomass from grassland, by-products and crops exclusively used for feeding livestock plus traded fodder
	Animals	All caught “wild” animals (in particular fish catch) and all traded livestock and animal products, incl. fish
	Wood	Harvested wood and traded wood-based products incl. paper, furniture, etc.
	other biomass	Fibres and highly manufactured traded commodities predominantly from biomass

☆Source : Eurostat (2005)



**Fig. 2.** Economy-wide material balance scheme (excluding air and water flows) from Eurostat (2001).

서 사용된 새로운 건축 물질의 양과 자동차, 산업기계, 가정용품과 같은 새로운 내구성 있게 된 물질의 성장을 추산하는 것이다. 그리고 물질교역균형(Physical Trade Balance, PTB)은 경제의 물리적 무역 초과 또는 손실, 수입에서 수출을 차감한 수치로서 표기하고 있다.

물질흐름분석에서 산출지표는 국내에서의 활동에 의

한 산출 및 사용, 수출 등에 의한 환경 등을 감안하여 다양한 지표가 개발되어 활용되고 있다. 그중 국내환경이나 수입된 물질의 전체 무게의 표기는 국내처리산출량(Domestic Processed Output, DPO)으로 나타내고, 전체 국내 산출량(Total Domestic Output, TDO)은 국내처리산출과 미사용 채취 처분의 합으로 나타내며, 직접 물질산출은 국내처리산출량과 수출량의 합으

로서 경제로부터 산출된 물질량(Direct Material Output, DMO)으로 표기한다. 전체 물질산출량은 경제로부터 총 물질량이며 전체 국내 산출량과 수출량의 합으로서 TMO (Total Material Output)로 표기한다.

경제 시스템 내에서의 효과적이고 효율적인 물질흐름분석을 수행하기 위해서는 경제전반의 흐름을 파악할 수 있는 지표 또는 계정이 필요하다. 경제전반 물질흐름계정(Economy-wide Material Flow Accounting, EW-MFA)은 경제 내에서 사용된 물질의 전체량을 파악하고 방법론적으로 조직화된 회계에 기반을 두고 있기에 국가경제를 위한 모니터링시스템으로 활용될 수 있는 것이다. 물질흐름계정은 지표의 환산뿐만 아니라 조합된 간접 흐름과 천연자원의 전체 소비의 모니터링을 가능하게 한다(Fig. 2).

### 3.2. OECD 국가별 물질흐름 지표 활용

현재 OECD국가에서 가장 보편적으로 사용되는 전 경제 분야 물질흐름 지표는 직접물질투입량(DMI)으로 회원국 전체에서 16개국이 사용 중이고, 국내 물질소비량(DMC)은 15개국에서, 전체물질요구량(TMR)은 13개국에서 사용된다.

그리고 사용 중이거나 개발된 다른 지표들로서 전체 물질소비량(TMC)은 5개국에서 사용 중이며, 원료물질 소비량(RMC) 1개국만이 사용 중이다. 기타 물질교역 균형(PTB), 원료물질교역균형(Raw Material Trade Balance, RMTB), 간접흐름포함 물질교역균형(Physical Trade Balance including Indirect Flows, PTBIF), 자산 실질 부가량(Net Additions to Stock, NAS) 등이 소수 국가에서 사용 중이다. 산출 지표 중에서도 일부 국가에서만 사용 중인 지표들은 보면 국내 처리 산출량(DPO), 전체 국내산출량(TDO), 직접 물질산출량(DMO), 전체 물질산출량(TMO) 등이 있다.

OECD 국가별 정책목표 및 목적에 연계한 물질흐름을 보면 긍정적인 측면에서 일반적인 정책목표 및 지속가능성을 적극적으로 고려하고 있다. 벨기에의 경우 ‘지속가능한 개발을 위한 연방정부계획(Federal Plan for sustainable development)’에서 경제성장에 따른 천연자원사용량을 감소시키려는 목표를 설정하고 있고, 덴마크는 ‘국가 지속가능 개발전략(National sustainable development strategy)’에서 현재보다 효율적인 자원 활용목표를 설정하였으며, 핀란드는 ‘지속가능한 개발을 위한 정부 프로그램(Government Programme for sustainable development)’에서 전 생애주기를 통한 천연자원사용과 에너지 증진을 목표로 하고 있다. 스

웨덴은 ‘국가 환경 질 목표(Swedish environmental quality goals)’에서 비 독성과 자원 효율적 물질 순환 달성목표를 설정하고 있으며, 영국은 ‘지속가능한 소비 및 생산을 위한 정부계획(UK Government framework for sustainable consumption and production)’에서는 자원 효율성 증진을 목표로 두고 있다.

OECD 국가 중 오스트리아, 네덜란드, 포르투갈이 물질흐름분석으로 지속가능한 국가발전을 위한 정량적 목표를 구체적으로 설정하고 있다. 오스트리아는 ‘지속가능한 발전을 위한 전략(Strategy for sustainable development)’에서 국내물질투입량, 국내물질소비량 등을 사용하고 있는데, 향후 20-30년에 물질사용량을 1/4를 감축하겠다는 자원 생산성 향상을 위한 정량적 목표로 제시하고 있으며, 네덜란드는 ‘제4차 국가환경정책 프로그램(4th National Environmental Policy Programme)’에서 2030년까지 물질소비량을 1/2에서 1/4로까지 감축하겠다는 탈 물질화 달성을 목표로 하고 있다. 포르투갈 역시 ‘지속가능 개발을 위한 국가전략(National Strategy for sustainable development)’에서 향후 30년 내에 15%까지 산업체의 자원소비 절감을 추진하겠다는 목표를 두고 있다.

가장 활발한 자원생산성 및 순환활용 제고를 위한 노력이 진행되고 있는 국가는 독일, 이탈리아, 폴란드, 일본 등이라고 할 수 있다. 이들 국가는 좀 더 구체적인 정량적 시간범위 목표를 포함한 국가 목표를 설정하고 있다. 독일은 ‘지속가능 개발을 위한 국가 전략(National Strategy for sustainable development)’에서 무생물 원료 물질의 생산성 증진을 통해 2004-2020년 사이에 사용량을 20%까지 감축할 예정이다. 이탈리아는 ‘지속가능개발을 위한 환경실천계획 (Environmental Action plan for sustainable development in Italy)’에서 전체 물질요구량(TMR)을 2010년까지는 25%, 2030년까지는 75%, 2050년까지는 90%까지 감축할 목표를 설정하였다. 폴란드는 ‘제 2차 국가 환경정책(Second National Environmental Policy)’에서 생산부문에서 1990-2010년 사이에 물 소비, 물질 집약도, 폐기물 발생을 50%까지 축소하려는 목표를 두고 있다. 특히 일본은 물질흐름 관련 정보와 지표의 정책 사용이 가장 우수한 사례국가로 평가할 수 있는데, ‘건전한 물질순환사회건설을 위한 기반계획(Fundamental Plan for Establishing a Sound Material-Cycle Society)’을 채택하였다. 이 계획은 2000년 대비 2010년까지 자원생산성(국내총생산/국내물질투입량; GDP/DMI)을 40%까지 증진시키고, 순환사용율을 40%까지 증진하며,

Table 3. Material flow indicators : availability and use

	Duration & periodicity			Year	Lead agency	Status	
	Type (a)	in official indicator set agreed or proposed	Policy plans, strategies & targets			Objectives & targets	
Canada							
Mexico							
USA	DMI, DMC, TMR, Other (TDO, DPO)	Yes		2000			
Japan	DMI, DMC, TMR	Yes		1975-1996 1980-2001	MIN	X	X
Korea							
Australia							
N. Zealand							
Austria	DMI, DMC, Other (PTB, NAS, RMTB, RMI, RMC)	Yes		2001	NSO, MIN, RES	X	X
Belgium	DMI, DMC, TMR, Other (e.g. DPO, DMO)	Yes		2002(F); 2001(W)	RES, EPA	X	X
Czech Rep.	DMI, DMC, TMR, Other (TMC, DPO, TDO, NAS)	proposed		1990-2002	RES		
Denmark	DMI, DMC, TMR	Yes		1997 TMR, 1999 DMI	EPA	X	X
Finland	DMI, DMC, TMR (TMC)	Yes		2003	NSO(RES)		X
France							
Germany	DMI, DMC, Other (abiotic raw materials productivity, DPO, PTB, NAS)	Yes		1975-2001	NSO	X	X
Greece							
Hungary	DMI, DMC, TMR, Other (TMC, PTB)	Yes		1992-1999			
Iceland							
Ireland				No			
Italy	DMI, DMC, TMR, Other (TMC, PTB, PTBIF)	Yes		2001	NSO	X	X
Luxembourg							
Netherlands	Yes, environmentally weighted DMC			2000 (Wuppertal dataset)			
Norway						No	No
Poland	DMI, TMR	Yes		1992-1999	MIN, EPA	X	X
Portugal	DMI, DMC, TMR			2000-2002	RES	X	X
Slovak Rep.	tdb	proposed			EPA, NSO	X	
Spain	DMI, DMC, TMR, other (DPO, TDO, DMO, NAS, TMO, TMI, TMC)	Yes		1995-2000	NSO		
Sweden	DMI, DMC, TMR ad froc			1993-1998	NSO	X	
Switzerland	DMI, DMC (PTB)	Yes		1981-2001	NSO		
Turkey							
UK	DMI, DMC, TMR	Yes			MIN		

☆ Source : OECD (2005b)

DMI : Direct material input, DMC : Domestic material consumption, TMR : Total material requirement, DMO : Direct material output, DPO : Domestic processed output, NAS : Net additions to stock, PTB : Physical trade balance, RMTB : Raw materials trade balance, TDO : Total domestic output, TMC : Total material consumption, TMI : Total material input, TMO : Total material output

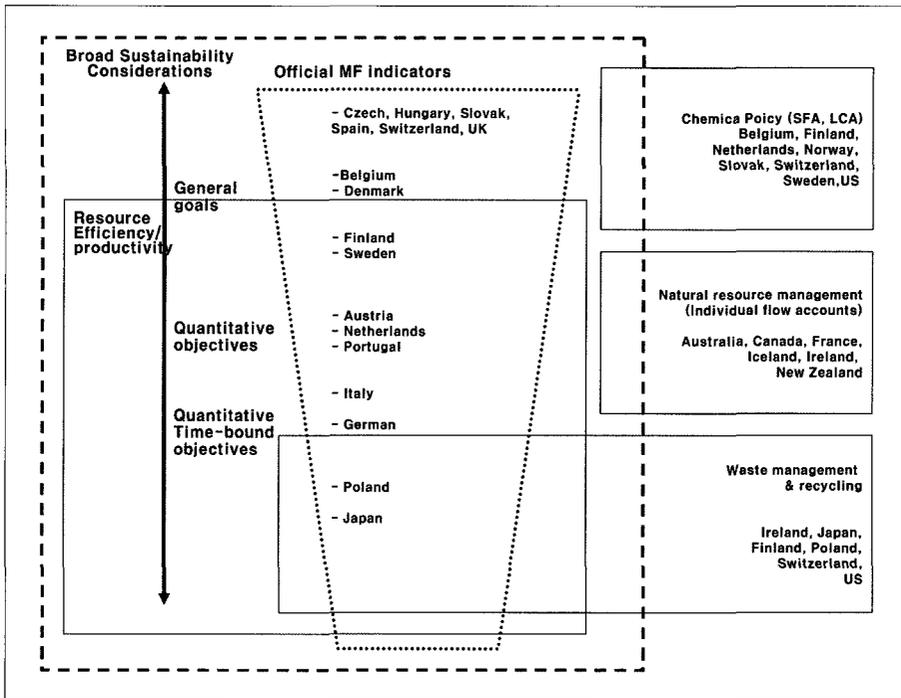


Fig. 3. Examples of uses of material flow information and links to policy goals from OECD(2005b).

최종 폐기물량을 50%까지 축소하려는 목표를 설정하고 있다(Table 3 & Fig. 3).

3.3. EU 회원국별 물질 투입 및 소비

EU 회원국들은 EU 통계전문기관 등을 통해 물질흐

름분석이 가능한 물질소비량에 관한 통계를 지속적으로 산출하고 있다. 한 국가의 자원생산성(효율성)은 1톤의 물질소비 당 GDP 로서 측정하고 물질투입 1톤 당 GDP와 비교할 수 있다. 이를 위해서는 전체물질소비량(TMC)을 통한 수입된 간접 흐름을 포함한 국내

Table 4. Comparison of Domestic Material Input(DMI) and Domestic Material Consumption(DMC) for the EU

	DMC in tonnes per capita, 1997	DMI in % of DMC, 1997	Increase in distance DMI-DMC between 1980 and 1997, in %
Portugal	12.6	EU 15 105.5	EU 15 1.5
Italy	13.8	Ireland 107.7	Spain 3.2
Netherlands	15.4	Spain 109.7	Greece 3.7
UK	15.7	Greece 112.0	Ireland 3.8
Greece	18.1	Portugal 112.0	France 4.3
France	18.2	Italy 113.8	Denmark 4.5
Belgium/Lux	18.3	Denmark 114.1	Italy 5.9
EU 15	18.8	France 116.9	Portugal 6.9
Austria	19.5	Finland 119.2	UK 7.2
Denmark	20.7	Austria 120.1	Austria 8.7
Spain	21.9	UK 120.1	Germany 11.8
Sweden	27.3	Germany 123.9	Finland 11.9
Germany	27.6	Sweden 129.3	Netherlands 15.8
Finland	35.3	Belgium/Lux 180.2	Sweden 17.7
Ireland	40.3	Netherlands 187.8	Belgium/Lux 22.6

☆Source: Eurostat(2000)

**Table 5.** Material Flow Analysis (MFA) indicators per capita 1970 and 2001

	Domestic Material Consumption		Domestic Material Input		Physical Trade Balance	
	1970	2001	1970	2001	1970	2001
EU-15	14.9	15.5	15.5	16.6	2.4	2.7
Austria	14.5	17.9	15.7	22.8	2.0	3.3
Belgium/Lux	16.9	17.1	23.3	34.9	6.2	6.4
Denmark	24.0	23.1	26.3	30.8	5.1	0.9
Finland	36.3	38.0	39.2	45.2	2.8	4.4
France	14.8	14.4	16.7	17.6	1.9	1.9
Germany	21.8	17.7	23.4	21.1	2.7	2.8
Greece	7.3	21.8	7.9	24.0	0.7	4.3
Ireland	17.6	23.7	18.6	26.8	2.3	4.9
Italy	8.9	11.4	10.0	13.5	2.5	3.6
Netherlands	14.7	13.7	21.7	31.3	5.8	2.9
Portugal	5.8	14.8	6.3	16.3	0.6	3.7
Spain	8.5	15.6	9.0	17.9	1.1	3.2
Sweden	23.0	21.5	29.3	29.3	-1.5	-0.3
UK	13.6	11.8	14.5	15.0	2.7	0.7

☆Source : Eurostat (2005)

생산 및 소비활동에 사용된 전체 물질량의 파악, 국내 물질소비량(DMC)에 의한 간접 흐름을 제외한 경제에서 직접 사용된 전체 물질량의 파악, 전체물질요구량(TMR)에 의한 전체 투입물질량(TMI)에 수입된 간접 물질 투입량의 파악, 그리고 국내물질투입량(DMI)의 파악이 필요하다. Table 4는 이러한 지수를 활용하여 EU 각 국별 물질흐름통계를 산출한 결과인데, 1인당 국내 물질소비량, 국내물질소비량에서의 국내물질투입량 비율, 1980년부터 1997년 사이의 물질소비 및 투입량의 증가가 국가별로 상이함을 알 수 있다.

Table 5는 1970년부터 2001년까지의 EU 국가별 국내물질소비량(DMC), 국내물질투입(DMI), 국내물질투입(DMI), 물질적 교역균형(PTB)을 비교분석하였다. 조사 실시대상 20여년 동안 EU 전체의 1인당 국내물질 소비량은 단지 15.5톤에서 1.1톤이 증가한 16.6톤이었다. 1인당 물질교역균형(PTB)은 2.4톤에서 0.3톤이 증가한 2.7톤 수준이었다. 국가별로 보면, 1인당 국내물질 소비량(DMC)에서 덴마크, 프랑스, 독일, 네덜란드, 영국 등에서는 1970년 대비 2001년에 감소하였고, 물질교역균형(PTB)에서는 일부국가를 제외하고는 비슷한 수준을 유지하거나 감소하는 추세에 있다. 그중 덴마크, 네덜란드, 영국 등이 감소하였으며 스웨덴은 지속적으로 마이너스(-)를 유지하고 있다. 1인당 국내 물질소비량은 EU 평균 18.8톤이며 국가별로는 12.6-40.3톤으로 다양하고, 국내물질 소비량에서의 국내물질투입량 비율은 EU 평균 105.5%이며 국가별로는 107.7-187.8%로 나타났다. 1980년부터 1997년사이의 국내물

질소비와 투입간의 차이증가는 EU 평균 1.5%이며 국가별로는 3.2 - 22.6%로서 국가 산업여건에 따라 다양한 것으로 나타났다.

Table 6은 산업광물과 함께 금속광물의 EU-15개 회원국에서의 물질흐름에 대한 통계를 보여 주고 있다. 산업광물 및 금속광물의 EU 회원국 전체의 1인당 국내물질 소비(DMC)는 1.0톤이며, 회원국별로는 0.5톤에서 3.3톤의 범위로서 국가간 산업특성에 따라 다양하다고 볼 수 있다. EU 회원국들에서 산업광물 및 금속광물의 1인당 물질추출량(Domestic Extraction, DE)은 EU 평균은 0.4톤이며 국가별로는 0.1톤에서 2.3톤으로 분포하고 있다. 1인당 수입량은 EU 평균 0.8톤이며 국가별로는 0.8톤에서 6.0톤이며, 1인당 수출량은 EU 평균 0.3톤에 국가별로는 0.3톤에서 5.2톤이었다. 1인당 물질소비량(DMC)은 EU 평균 1.0톤에 국가별로는 0.5톤에서 3.3톤으로 조사되었고, 1인당 물질투입량(DMI)은 EU 평균 1.3톤에 국가별로는 1.0톤에서 6.0톤으로 나타났다. 물질적 교역균형(PTB)은 EU 평균 0.6톤에 국가별로는 -1.7톤에서 1.3톤이었고, 1인당 국내 물질소비량은 EU 평균 114톤에 국가별로는 20톤에서 565톤으로 다양하였다. 이러한 국가간 물질흐름통계는 국가별 산업 특성에 따라 소비 또는 산출되는 물질량에서 다소 편차가 있는 것으로 평가할 수 있다.

#### 4. 결론 및 시사점

OECD 국가 및 EU 회원국은 지속적으로 70년대부

**Table 6.** Material Flow of industrial minerals and ores in the EU-15 countries (2000)

Industrial minerals and ores (2000)	DE per capita [t/cap]	Import per capita [t/cap]	Export per capita [t/cap]	DMC per capita [t/cap]	DMI per capita [t/cap]	PTB per capita [t/cap]	DMC/ [t]	DE/DMC
EU-15	0.4	0.8	0.3	1.0	1.3	0.6	114	0.42
Austria	0.6	2.0	1.5	1.1	2.6	0.5	110	0.53
Belgium/Lux	0.0	6.0	5.2	0.7	6.0	0.7	258	0.00
Denmark	0.1	1.6	1.2	0.5	1.7	0.4	67	0.21
Finland	2.3	2.3	1.4	3.3	4.7	1.0	50	0.71
France	0.2	1.4	0.8	0.8	1.6	0.6	82	0.24
Germany	0.3	1.5	1.0	0.8	1.8	0.4	176	0.43
Greece	0.7	1.1	0.4	1.4	1.8	0.7	114	0.52
Ireland	0.9	2.2	1.1	2.0	3.1	1.1	109	0.44
Italy	0.2	1.9	0.6	1.5	2.1	1.3	281	0.10
Netherlands	0.3	4.0	2.8	1.5	4.3	1.2	565	0.21
Portugal	0.2	0.8	0.3	0.7	1.0	0.4	73	0.35
Spain	0.5	1.2	0.6	1.2	1.7	0.6	90	0.46
Sweden	2.7	1.4	3.1	1.0	4.1	-1.7	20	2.67
UK	0.4	0.8	0.4	0.8	1.3	0.4	208	0.53

☆Source: Eurostat (2005)  
DE: Domestic extraction

터 자원이용 생산성 및 효율성 제고를 위한 노력을 해왔다. 이는 순환형 자원관리체제를 구축하고 산업사회에서의 광물자원 등의 과대한 이용으로 인한 고갈을 최소화하여 지속가능한 국가경쟁력을 유지하려는 장기간의 정책적 목표에 기인한다고 볼 수 있다. 이러한 움직임은 정부 및 민간 등 모두에서 적극적으로 나서고 있으며, 기업 등의 환경경영 등으로의 확산이 활발하게 이뤄지고 있는 것이다.

최근까지 물질흐름분석 연구 및 정책추진에 있어서는 OECD 국가중에서 일본이 가장 모범적인 우수 사례로 평가되고 있다. 일본은 1990년대 초부터 경제전반 물질흐름연구(Economy-wide Material Flow studies)를 시작하였고 국제사회에서 물질흐름 관련연구 진행에 공헌한 바가 가장 크다고 할 수 있다. 최근에는 일본 정부차원에서 ‘건전한 물질순환사회건설을 위한 기반계획(Fundamental Plan for Establishing a Sound Material-Cycle Society)’을 채택하여, 2000년대비 2010년까지 자원생산성(국내총생산/국내물질투입량, GDP/DMI)을 40%까지 증진시키고, 순환사용율(Cyclical use rate)을 10%에서 40%까지 증진하며, 최종 폐기물 총량을 56백만 톤에서 28 백만 톤으로 50%까지 축소하려는 정량적 목표를 설정한 것이 국제사회에 시사하는 바 크다.

이러한 움직임에서 우리나라는 다소 뒤쳐져 있다고 볼 수 있다. 하지만, 최근에 환경관련 정부부처, 국책

및 민간연구기관을 통한 학술적, 제도적 차원에서 필요성에 대한 공감대가 형성되어 있고, 이를 적극적으로 추진하기 위한 정부차원에서의 계획도 수립되고 있다. 지난 2001년도에 환경경제통합계정(SEEA; System of Environmental and Economic Accounting) 이행을 위한 10개년 계획을 수립하였다. 1단계(2001-2003)에서는 다른 국가의 실태 파악 및 평가 등에 주력하고 2단계 (2004-2007)에서는 물질 회계(Physical accounts)의 통합을 실현하고, 3단계 (2008-2010)에서는 재무회계의 통합을 실현하고자 한다.

우리나라도 일본, 독일 등 선도국 수준으로의 자원순환활용성 제고와 자원 생산성 향상을 달성하기 위해서는 물질흐름분석 제도 도입 및 시행과 더불어 우선적으로 우리 산업특성을 잘 감안하여야 할 것이다. 물질흐름분석 선도국의 정책분석과 함께 우리와 산업구조가 유사한 국가들에 대한 벤치마킹을 기반으로 국가차원의 적절한 목표 설정 등이 있어야 할 것이다. 아울러 우리 경제 특성 등을 감안할 때, 개발된 많은 물질흐름지표 가운데서 통계수집 등이 용이한 적절한 지표를 선택하고 이를 통한 목표설정·관리가 되어야만 효과적인 정책목표달성이 가능할 것이다.

향후에 이러한 지속가능한 지구자원물질흐름분석을 토대로 녹색구매 시대를 맞이하게 될 것이다. 최종수요자에게는 현 단계에서 직접적인 영향은 미미하지만 결국 천연자원의 고갈이 상품의 가격을 좌우하게 되는

것이며, 국가 간 교역 또는 국내시장에서 해당 제품의 생산을 위해 사용된 자원의 생산성 즉 순환자원활용여부가 기업의 경쟁력을 좌우할 것으로 전망된다. 따라서 이에 대한 기반구축 차원에서의 정부, 국책 및 민간연구기관, 대학 등의 지속적인 관심과 관련 전문 인력의 양성을 위한 학술연구 추진도 병행해야 할 것이다.

## 사 사

이 연구는 특정기초연구과제(R01-2005-000-10894-0) 지원으로 수행되었습니다. 본 논문에 대한 세심한 심사 및 조언을 하여 주신 익명의 심사자님께 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌

- 김성용, 김유정, 김인숙 (2006) 순환형 자원관리를 위한 방법론으로서의 물질흐름분석, 한국지구시스템공학회지 43권, p. 168-174.
- Boelens, J. and Olsthoorn, X (1998) Software for Material Flow Analysis, Environment and Policy (Amsterdam), v. 13, p. 111-126.
- Eurostat (2000) The European Framework for Integrated Environment and Economic Accounting for Forecasts -IEEAF, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Eurostat (2001) Economy-wide Material Flow Accounts and Derived Indicators - a Methodological Guide, Eurostat, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, p.92.
- Eurostat (2005) Development of Material Use in the EU-15 : 1970 - 2001. Material Composition, Cross-country Comparison, and Material Flow Indicators, prepared by IFF-Social Ecology, Vienna, Project coordinator : Helga Weisz, p.110.
- Kazuyo Yokoyama, Ken-ichi Nakajima and Tetsuya Nagasaka (2004) Material Flow Accounting, Chemical and Engineering, v. 55., p. 704-711 (in Japanese).
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2005a) Material Flows and Related Indicators - OCED Approach and Work Plan for 2005-2006, Working Group on Environmental Information and Outlooks, Environment Directorate - Environment Policy Committee, ENV/EPOC/SE(2004)3/Final, p.23.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2005b) Material Flows and Related Indicators - Inventory of Country Activities, Working Group on Environmental Information and Outlooks, Environment Directorate - Environment Policy Committee, ENV/EPOC/SE(2004)3/Final/ADD, p.79.
- Steurer, A. (1992) Material Flow Accounting and Analysis -Where to go at a European Level. In Statistics Sweden (ed.) : Third meeting of the London Group on Natural Resource and Environmental Accounting- Proceedings Volume, Stockholm, p. 217-221.
- Weisz, H. *et al.* (2005) Development of Material Use in the EU-15 ; 1970-2001, Department of Social Ecology of the Institute for Interdisciplinary Studies of Austrian Universities (IFF) for the European Commission's Directorate General for the Environment and Eurostat, print version, p.110.

---

2006년 8월 22일 원고접수, 2006년 10월 11일 게재승인.