

## MIPS를 이용한 국내 철강의 물질집중도(Material Intensity) 연구

김유정<sup>1\*</sup> · 허은녕<sup>2</sup> · 김성용<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국지질자원연구원, <sup>2</sup>서울대학교

### Material Intensity of Korea's Steel and Iron, Using MIPS Methodology

Yu-Jeong Kim<sup>1\*</sup>, Eunnyeong Heo<sup>2</sup>, Seong-Yong Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM) Gwahang-no 92, Yuseong-gu, Daejeon, 305-350 Korea

<sup>2</sup>Seoul National University Gwanak-gu 599, Gwanak-gu, Seoul, 151-744, Korea

This study identified and quantified the hidden flows for steel and iron production in Korea using MIPS (Material Input per Service) methodology. In order to estimate the input orientated impact on the environment caused by the manufacture or services of a product, MIPS indicates the quantity of resources used for this product or service. In 2005, 71 million tons of raw materials were used to produce \$17.6 million of added value and 4.8 thousand tons of finished steel. The amount of natural resources extracted from natural environments for the purpose of steel production was 245 million tons of TMR(Total Material Requirement), 1524 million tons of water, and 34 million tons of air. The material intensities for steel production by natural inputs (raw materials and energy) was 4.3 ton/ton of TMR, 28 ton/ton of water, and 0.5 ton/ton of air.

**Key words** : MIPS(Material Input per Service), hidden flow, material Intensity, TMR(Total Material Requirement), steel and iron

본 연구는 국내 5대 수출 품목 중 하나이며, 국내 주요 수출품의 원자재로서 지속가능한 자원관리의 파급효과가 큰 철강을 대상으로 히든플로우와 물질집중도를 MIPS방법론을 이용하여 정량화하였다. 2005년에 4.8천톤의 철강재와 17.6백만달러(2000년 기준)의 부가가치를 생산하기 위해 71백만톤의 원재료와 18백만Toe의 에너지를 사용하였다. 이러한 원재료와 에너지사용으로 인한 천연자원사용량은 TMR(Total Material Requirement, 총물질요구량) 245백만톤, water 1524백만톤, air 34백만톤이었다. 그리고 material intensity, 즉 철강재 1톤을 생산하기 위해서 TMR 4.3톤, water 28톤, air 0.5톤의 자연자원이 사용되었다.

**주요어** : MIPS(자원이용지수), 히든플로우, 물질집중도, 총물질요구량(TMR), 철강

### 1. 서 론

자원의 희소성이 심화되고, 자원소비로 인한 환경문제가 국가적, 세계적 문제로 본격화되면서 지속가능한 성장이 새로운 패러다임으로 대두되었다. 최근 일본, 유럽 등 선진국들은 환경문제 및 자원문제를 동시에 해결하기 위하여 자원 생산성(Resource productivity) 및 환경효율성을 제고하는 방향으로 국가 자원관리, 산업자원관리 및 전략, 환경보호 전략을 수립하고 있다. 자원생산성 및 환경효율성을 향상시키기 위해서는 산출을 높이는 방법과 투입을 줄이는 방법이 있는데 지

속가능한 발전의 개념에서는 투입을 줄여서 탈물질화(De-materialization)를 이루는 것이 매우 중요하다.

탈물질화를 이루기 위해서는 현상태에 어떤 물질을 얼마나 사용하고 있는지를 측정하는 것이 필수적이다. 제품이나 서비스에 투입된 자연 물질량을 산출할 경우에는 광산에서 원료를 발굴하기 위해 첫 삽을 뜰 때부터 소비된 모든 물질을 포함시켜야 한다. Schmidt-Bleek교수는 이를 '환경배낭(Ecological rucksack)'(생산에서 폐기에 이르기까지 하나의 상품이 자연에서 사용한 자원의 총량)이라 이름 지었다. 구리 1kg의 환경배낭은 347 kg, 백금 1kg의 환경배낭은 320,300kg으로

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

같은 1kg이라도 백금을 절약하는 것이 자연자원 사용 절약에 있어 약 60배의 효과가 있다. 제품을 디자인할 때 각각의 환경배당을 고려해서 원료를 선택하는 것이 단순히 제품의 중량을 줄이는 것보다 자원생산성을 높이는 데 효과가 있다.

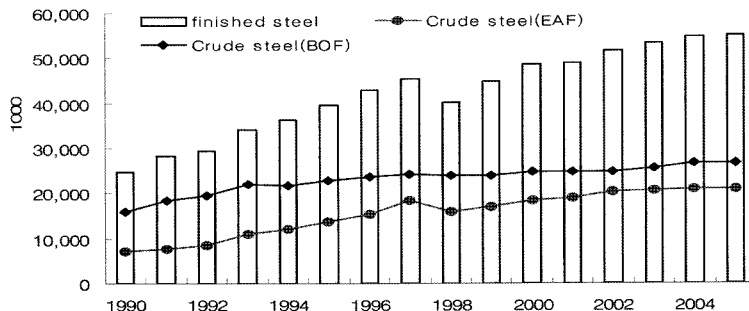
이러한 전주기적 자연 물질 이용량의 측정은 국가적, 기업적 관점에서 큰 의미를 가진다. 국가적 관점에서는 폐제품의 재활용에 따른 자원이용량, 국가 주요자원(철, 구리, 아연 등)의 환경배당의 책정을 통해 재활용정책, 국가자원관리 정책, 환경정책의 정량적 목표 및 전략 수립이 가능하다. 즉, 어느 폐제품 재활용 및 국가 주요자원 리스크 우선순위를 선정하거나 국가 재활용을 및 자원순환을 목표 설정이 가능하다. 독일은 모든 정책분야에서 '지속가능한 발전을 구체적으로 적용하고 있는데 특히 건설분야에서도 정부지원의 연구개발투자는 환경요소를 중요한 평가기준으로 삼고 있다(Kim et al., 2005). 주택건설이나 재건축에서도 환경요소에 대한 투자는 정부지원을 받을 수 있는 것이다. 이들의 선정기준에서 자연자원의 이용계수는 각 산업에서 그리고 각 제품에서 평가되어 질 수 있다. 기업의 입장에서는 제품이나 공정에 투입된 자원 물질량 및 사용 및 폐기 단계까지의 소비 자원 물질량을 고려한 친환경디자인과 친환경 공정변화를 통해 환경문제 해결을 할 수 있다. 그리고 더 나아가 폐기물 처리비용 저감, 제품의 친환경이미지 제고 및 각종 환경무역규제에 대한 경쟁력 강화 등의 경제적으로도 이득이 되는 전략을 모색할 수 있다.

이러한 모든 상품 및 서비스가 환경에 끼친 영향으로 상품의 생애를 토대로 자원의 소비량을 파악하고 척도로 개발된 것이 자원이용지수(MIPS)이다. 자원이용지수(MIPS)는 제품이나 서비스의 일생(life cycle, cradle to grave)을 단계적(채취, 생산, 제조, 사용, 폐

기 및 재활용)으로 계산하고, 아울러 환경 부담(Environmental Burden)이 무역을 통해 국가간에 이동하는 경우를 직접 나타내 주기도 한다. MIPS개념에는 하나의 상품(혹은 서비스)이 환경에 끼친 영향은 그것이 일생 동안 투입된 물질의 양에 따라 평가될 수 있다는 기초를 바탕으로 투입된 물질의 양이 적을수록 환경영향이 적다고 판단한다.

환경문제를 해결하는 방법으로 보다 적은 자원을 이용하는 예방적 접근 방식인 MIPS는 처음부터 자원 이용도를 줄여서 효용을 감소시키지 않고서도 자원의 생산성을 4배, 10배로 늘이는 것이다. 즉, 동일한 서비스와 효용을 유지하면서 자원 투입을 두배 세배로 줄일 수 있는 기술개발과 생산과정이 중요하게 된 것이다. 이러한 개념하에 'factor X'라는 새로운 개념이 정의되고 세계 각국은 factor2, factor4 심지어는 factor 10까지 국가 자원생산성을 높이는 것을 목표로 하고 있다. 일본은 MIPS와 factor X의 개념 및 접근 방식의 경제적, 환경적 중요성을 일찍부터 깨닫고 이 개념들을 2001년부터 경제 전략에 포함시키고 있다.

본 연구에서는 국내 철강제품의 자원이용량(MI: Material Input)과 자원이용지수(MIPS: Material Input per Service)를 산정하였다. 또한 유럽의 철 생산구조와 비교분석하여 국내 철생산의 자원소모에 대한 현위치를 파악하였다. 철강산업은 에너지를 포함하여 자원다소비산업중의 하나이며 국내 철강산업의 조강생산량은 세계 5위에 이른다. 철강제품은 주로 자동차, 조선업, 건설업, 전기전자업 등에서 사용되며 철강제품의 자원소모량은 철강을 중간재로 하여 제품을 생산하는 산업의 환경배당에 직접적으로 영향을 주게 된다. 최근 폐전기전자제품지침(WEEE) 및 EUP등 제품의 환경성 및 물질집중도(Material Intensity)에 직접적인 규제를 가하는 현 시점에서 철강제품의 자원소모량은 중



Data source : Korea Iron & Steel Association

Fig. 1. Crude steel production by process and finished steel production.

Table 1. Input Categories in the MIPS concepts

Abiotic raw materials	• mineral raw materials (used extraction of raw materials such as ores, sand, gravel, slate, granite)
	• fossil energy carriers (coal, petroleum, petroleum gas)
	• unused extraction(overburden, gangue etc.)
TMR	• soil excavation (e.g. excavation of earth or sediment)
	• plant biomass from cultivation
Biotic raw materials	• biomass from uncultivated areas (plants, animals etc.)
Soil movement	• mechanical earth movement
	• erosion
Water	• surface water
	• ground water
	• deep ground water (subterranean)
Air	• combustion
	• chemical transformation
	• physical transformation

요하다.

국내 철강생산 구조를 살펴보면 전기로의 비중이 1991년 29%에서 2005년 44%까지 증가추세를 보이고 있다. 물론 현재 현대제철에서 고로전로를 통한 철강 생산을 준비하고 있어 향후 고로전로 생산 비율에 다소 영향을 미치겠지만 자원의 수급 현황 및 환경성 등을 고려할 경우 2차자원인 고철을 통한 전기로 생산이 경제적으로 환경적으로 중요한 위치를 차지할 것으로 여겨진다. 그러면 과연 이러한 국내 철생산 구조의 변화가 경제적으로 그리고 자원소모의 입장에서는 어떠한 영향을 미치고 있는지를 확인함을 통해 국내 철생산의 순환형 구조를 파악할 필요가 있다.

## 2. 방법론 및 이론적 고찰

독일의 부퍼탈연구소(Wuppertal. Institute)에서 제품이나 서비스에 사용된 자연자원을 측정하는 MIPS라는 지표를 개발하였다. MIPS는 '서비스 단위 당 자원 투입량(Material-Input per Service)'으로 자원이용지수로 정의되며, 하나의 서비스(S)에 투입되는 모든 자연자원을 즉 자원이용량(MI)으로 수량화한 것이다. MIPS의 값이 높을수록 투입된 자연이용량이 많으며, 그 만큼 환경부하도 높은 것으로 판단 할 수 있다. 그리고 MIPS의 역수는 곧 자원생산성으로 일정한 양의 자연(환경)이 얼마만큼의 이익을 주었는지를 확인할 수 있다.

하나의 상품이 가지는 환경부하를 측정할 수 있는 중요한 평가기준으로 환경에 미치는 영향을 상품별로 그리고 생산공정별로 또한 서비스별로 측정하여 상호 비교할 수 있게 해준다. 이러한 수량화는 모든 제품에서 자연 물질을 이용한 정도에 따라서 비교가 가능하고, 곧 이는 친환경성을 측정하는 중요한 기준이 되는

동시에 제품주기를 포괄하는 자원이용의 측정으로 자원생산성의 최적치를 각 단계별로 파악하게 해준다 ([www.oekoeffizienz.de](http://www.oekoeffizienz.de)).

MIPS는 자연에서 자원을 채굴하는 순간부터 자연에서 움직인 물질의 무게로 표시한다. 채취 및 정련과정, 제품이나 서비스 제조 과정, 소비자의 상품 이용, 그리고 최종적인 폐기재활용 과정에 이르기까지 소비된 모든 자원도 자원소비량에 포함하여 계산한다. MIPS적 접근에서는 물질의 흐름을 크게 직접적 흐름(Direct flows)과 간접적 흐름(Indirect flows)물질 등 구분할 수 있다. 직접적 흐름은 실제 우리가 접하는 물질로, 그와 관련된 전생애주기의 물질사용을 포함하지 않는다. 간접적 흐름은 채취단계 및 제조단계에서 요구되어지는 모든 물질로 사용된 물질 및 비사용 채취 물질을 포함한다. MIPS 접근에서는 자연자원을 생물적 원료와 비생물적 원료, 물, 공기, 그리고 농지와 산림에서 이동된(침식도 포함) 흙 등 5가지로 구분하고 있다 (Table 1).

MIPS적 접근은 생산성(Productivity)을 효율을 기준으로 측정한다는 것과 전주기를 대상으로 한다는 점에서 기존의 생산성 측정과 크게 다르다. MIPS에서는 산출물이라는 제품이 아닌, 이를 이용하여 얻는 효율을 서비스의 단위로 하고 측정의 기준으로 삼는다. 효율은 물질적인 것뿐만 아니라 비물질적인 효율도 포함하는데, 예를 들면 1kg의 세탁된 빨래로 정의하거나 혹은 일년이나 하루 등과 같은 사용간으로 서비스단위를 정의할 수도 있다. 그리고 투입물질은 부품소재의 원산지에서부터 제품의 완전한 폐기상태까지 제품의 주기를 확대하여 계산한다. 예를 들어 면티셔츠를 생산할 때, 면의 원료가 되는 목화의 생산지에서 사용한 천연자연자원을 생물적원료, 비생물적인 원료, 토양변

화, 수질, 대기 등으로 나누어서 사용된 수량(t/t)을 측정한다. 동일한 효율하에 보다 적은 자원의 이용은 환경부하를 적게 하고 원재료비용 저감효과를 얻을 수 있다. 이는 곧 지속적인 발전의 첫 걸음으로 경제적인 수익성과 환경의 조화인 win-win 전략을 추진하여 기업 경쟁력을 높이게 되는 것이다. MIPS는 이러한 의사결정과정에서 수량화된 자료를 제공하게 되는 것이다.

MIPS 연구는 7단계로 진행된다. 분석의 출발점은 목표와 연구 대상, 그리고 서비스 단위를 정의하는 일이다(1단계). 이 정의는 다양한 상품(혹은 서비스)들을 비교하는 기반이 된다. 이어 해당 상품의 생애를 프로세스 사슬로 연결한다(2단계). 여기서 상품의 전 생애는 서로 연관된 프로세스의 각 단계들로 나타난다. 그 후에 각 프로세스의 투입물(필요하다면 산출물도)을 조사해서 프로세스 사슬을 작성한다(3단계). 이것을 기초로 조사된 자료들을 각 단위 물질별로 자원이용량을 나타낸 자원집중도(MIT, MI factor)와 결부시켜 '요람(원료 채취)에서 상품까지의 자원이용량(MI)을 계산한다(4단계). 그 다음 '요람에서 무덤까지(원료채취에서 폐기까지)의 자원이용량(MI)을 산정한다(5단계). 그 다음 '이용단계와 '재활용/폐기단계의 자료들이 유입되고 원료 채취부터 폐기단계까지 이르는 자원이용량(MI)을 계산하고 '자원이용지수'(MIPS)를 산출한다(6단계). 마지막 단계에서는 결과에 대한 해석이 이어진다(7단계).

MIPS는 '이동된 자원중량/서비스 단위(혹은 중량)', '이동된 자연/상품(혹은 상품 중량)' 같은 단위를 가진다. 그리고 MIPS는 MI의 5가지 항목(비생물적 원료, 생물적 원료, 흙의 이동, 물, 공기)으로 나누어 계산한다.

결과 평가에 있어서 '비생물적 원료', '생물적 원료', '흙의 이동' 항목을 등가로 총괄하는 것이 가능하다. 하지만 이때도 상이한 항목들로의 세분화가 가능해야 한다는 것을 유의해야 한다. 이 항목들의 합계는 인간의 활동에 따른 환경부담을 나타내는 핵심지표로서 TMR(총물질요구량: Total Material Requirement)라 불린다. TMR은 직접물질투입량<sup>1)</sup>(DMI: Direct material input)과 대비되어 전주기적 자원사용량을 나타내고 국가 경제활동에 있어서 자원사용량을 나타내는 자원계정(Resource Accounting)을 나타낼 때 사용되거나, 제품의 생산성을 비교할 때 많이 사용된다. TMR은 식(1)로 산정할 수 있다.

$$TMR = \sum DMI_i + HF_i = \sum TMR_i = \sum \sum MIT_j \times DMI_{ij} \quad (1)$$

HF는 간접적 물질투입량을 의미하며, MIT는 각 투입물질별 자원이용도(or 물질집중도)를 나타낸다.  $i$ 는 철광석, 석회석 등 투입물질의 종류를 의미하며,  $j$ 는 TMR의 범주에 속하는 비생물원료, 생물원료, 흙의 이동을 의미한다. 직접적인 물질 흐름(Direct flows)은 실제 제품의 무게를 나타내므로, 제품과 연결되는 전 생애주기의 물질사용을 포함하지 않는다. 간접 물질 흐름(Indirect flows)은 채취단계 및 제조단계에서 요구되어지는 모든 물질로 사용된 물질 및 비사용채취 물질을 포함한다.

'물' 항목은 항상 별도로 평가해야 한다. 물의 운용에 대한 평가는 지역적으로 매우 상이한 영향을 미치기 때문이다. 그리고 공정수와 냉각수를 구분한 것은 막대한 냉각수 소비로 인해 '물' 이용량의 신뢰성이 떨어지는 것을 막는 역할을 한다.

'공기' 항목에서는 공기 성분의 여러 이용(연소, 화학적 변환, 물리적 변화)을 합쳐서 평가한다. '연소 공기'의 수치를 통해 이산화탄소 배출량도 간접적으로 파악할 수 있다. '공기' 항목도 다른 항목과 합쳐서 평가해서는 안 된다.

MIPS의 실증연구는 Hartmut Stiller(1999)가 처음으로 금속자원에 대한 자원이용량을 산정하였다. MIPS 개념이 유럽환경청 및 OECD에서 공식적으로 제품의 물질집중도(Material Intensity)를 나타내는 지표로 활용되었으며, 독일 부퍼탈연구소에서는 다양한 제품 및 서비스의 자원이용지수를 산정하기 위해 필요한 기초적 자료인 자원집중도(MIT, Material intensity factor)를 업데이트하고 제공하고 있다. 자원집중도(Material intensity factor)는 에너지, 광물자원, 산업자원 등 다양하게 계산되어 있으며, 유럽, 독일, OECD국가 등 지역적 구분도 포함하고 있다. 그리고 부퍼탈연구소에서는 자원이용지수에 대한 개념의 확산을 위해 어린이를 위한 자원이용지수교재인 「어린이를 위한 MIPS-지속가능한 소비와 삶을 위한 새로운 환경교육(2003)」을 발행하였다. 「어린이를 위한 MIPS」는 1998년에서 2000년 사이에 35명의 전문가로 구성된 학제적 특성을 띤 부퍼탈연구소에서 개발되어 실제 시험과정을 거친 혁신적인 환경교육컨셉이다. 그리고 실제 적용에 유용한 지침서인 「Calculating MIPS (2002)」을 발행하였다.

일본에서는 전주기적 관점에서 제품에 대한 자원이용량을 평가하는 연구가 국가의 적극적인 지원 하에 매우 활발히 진행 중이다. Harada *et al.*(2007)는 광물

<sup>1)</sup> 물질흐름분석에서 사용하는 대표적 물질투입 지표로 전주기적으로 사용된 모든 물질 사용량을 나타낸다.

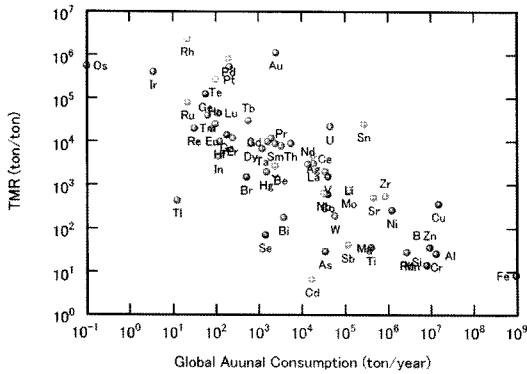


Fig. 2. TMR intensity of ores ( Harada, 2007).

자원의 TMR을 기준으로 특성화계수(Ore-TMR)를 산정하여 광물(ore)별 연간 사용량과 TMR 관계도를 작성하기도 하였다(Fig 2). 특히 일본 물질재료연구소(NIMS, 2006)에서 광물자원의 환경배낭을 연구하였으며, 에너지자원 및 산업자원(알루미늄, 플라스틱, 유리, 종이 등)에 대한 자원이용량을 연구하였다. 그러나 물질재료연구소(NIMS, 2006)의 연구는 TMR을 토양과 관련된 것(MIPS개념하의 TMR)과 물자원사용으로 나누어 산정하였고 이를 통합하여 계산하기도 하였으나, 정의상 TMR은 물을 포함하지 않는데, 해당연구에서 물과 TMR을 통합하여 계산하여 이는 오류로 지적될 수 있다. Kenichi *et al.*(2005, 2006)는 자동차와 핸드폰을 대상으로 TMR을 이용하여 자원이용량을 정량화

하기도 하였다. Keizo *et al.*(2004) 건설광물자원을 TMR을 통해 자원이용도를 평가하는 연구를 하였다. Koji *et al.*(1999)는 자원이용량을 중심으로 시멘트산업의 환경부하 평가하였다.

Voet *et al.*(2005)은 환경적으로 가중치를 둔 물질집중도지표인 EMC (Environmentally weighted Material Consumption)개발을 통해 31개 선정된 기초 물질을 대상으로 네덜란드와 유럽의 물질투입량을 분석하였다. 각 물질의 환경영향을 13가지로 범주화하고 동등한 가중치 하에 전생애주기 차원에서 LCA (Life Cycle Accesment)기법으로 산출하였다. 13개 환경영향 범주는 동시에 서로 동등하게 가중치를 두었다. 덴마크 NOHA (2005)에서는 독일 부퍼탈연구소에서 제공하고 있는 기초물질의 물질집중도(Material intensity factor)를 기초로 덴마크 기준의 에너지, 금속, 목재류, 플라스틱 및 합성 고무, 유리 및 기타물질에 대한 자원이용지수(MIPS)를 산정하였다.

### 3. 국내 철강생산의 자원이용지수 연구 결과

#### 3.1. 시스템 설정 및 프로세스 사슬 작성

2005년 기준으로 국내 철강 생산을 시스템 영역으로 설정하고 생산과정에서 사용되는 물질을 원재료, 에너지, 공정수, 공기(산소 및 압축공기) 등 4가지로 분류하였다. 특히 원재료와 에너지는 채굴단계에서 자연자

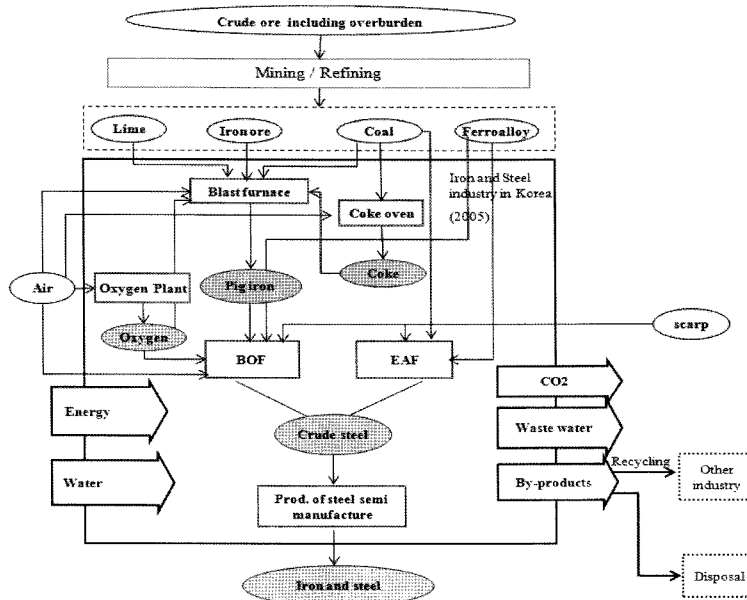


Fig. 3. System boundary of steel and iron in Korea.

Table 2. Data categories and sources

data	Material	data source
Raw materials	Iron ore, lime, Coking coal, Steel scrap, Ferro-alloys	• Mineral resource supply demand (1995-2006, KIGAM)
		• POSCO Fact book (1991-2006)
		• POSCO Sustainability Report (1995-2006)
		• POSCO Business Report (2005)
		• Hyundai steel's Environmental report (2006)
		• Steel year Book (1990-2007, KOSA)
Energy	Electricity, LNG, Heavy Oil	• Korea steel& Iron Association's Homepage
		• Korea Steel Scrap Industry Association's Homepage
		• Korea national statistical office and the energy conservation Statistics
Water	Process water	• POSCO Sustainability Report (2006)
		• Hyundai Steel's Environmental report (2006)
		• Center for climate change mitigation
Air	Oxygen, Compressed air	• POSCO Sustainability Report (2006)
		• Hyundai Steel's Environmental report (2006)
		• European techniques reference on production of iron and steel (EC,2001)

원을 사용하게 되고 공정수와 공기는 생산공정에서 사용된다. 단 각 단계별 소요되는 수송관련 에너지 소모량 등은 포함하지 않았다. 그리고 철강생산을 위한 투입물질을 국내와 국외로 구분하여 분석하였다(Fig. 3).

### 3.2. 자료 수집

본 연구에서는 철강산업의 기초자료(supply-demand of raw material, crude steel, finished steel)는 한국 광산물 수급현황, 철강연감 및 철강협회자료 및 고철협회 자료 등 국가 통계자료를 사용하였으며 철강산업 기업의 지속가능보고서, 사업보고서 등 기업의 자료를 통해 자료의 정확성을 확보하였다. 철강산업의 에너지 소비량은 한국에너지관리공단 자료를 이용하였다. 그리고 국내 자료에 한계가 있는 경우에는 유럽 등의 해외 자료를 활용하였다(Table 2).

본 연구에서는 2005년을 기준으로 국내 철강생산에 따르는 자원이용량(MI) 및 자원이용지수(MIPS)를 연구하였다. 2005년에는 조강량 기준으로 48백만톤을 생

산하였으며, 그 중 고로로 27백만톤, 전기로로 21백만톤이 생산되었다.

2005년 제철 및 제강 공정에서는 42백만톤의 철광석을 사용하였다. 그 중 국내에서 생산된 것은 253천톤으로 약 44% 품위의 것이며, 나머지는 수입된 물량으로 품위 60%이상이었다. 고철은 일관제철에서 2백만톤, 전기로제강에서 22백만톤을 철강생산을 위해 투입하였다. 그리고 유연탄은 19백만톤이 소비되었는데, 국내에서는 유연탄이 생산되지 않아 100%로 수입하였다.

철강생산을 위해 투입되는 에너지는 LNG, LPG, 벙커-C유, 전력, 증기 등이며, 철강공정별 에너지소비 비중은 제철 72%, 제강공정 3%, 연속 주조공정 14%, 압연공정 11%이다. 2005년 철강산업에서 소비한 에너지는 총 18백만Toe로 국내에너지소비의 10.5%(171백만Toe)를 차지하였다(Fig. 4). 에너지 투입량은 기업의 지속가능보고서 및 기후변화 대책반 자료를 참조하여 제철 및 제강 공정에 소비된 에너지원으로 한정하였다.

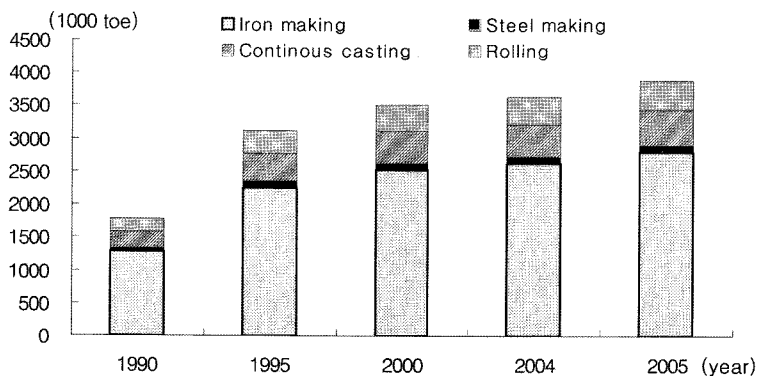


Fig. 4. Energy consumption by process.

**Table 3.** Water consumption by main Steel and iron firms (2005)

		Water	Water consumption
POSCO(BOF) (t/T-S)*			3.76*
Hyundai Steel (EAF)**	Recycling sewage (1000 t)		3854
	City water (1000 t)		2561
	Industrial water (1000 t)		4302

Source: Hyundai Steel Co., Ltd(2006), Posco Co., Ltd(2006a, 2006b)

\*Water intensity

\*\*Amounts of water consumption

**Table 4.** Water consumption by steel process (2005)

		Production amounts	Water intensity ( t/T-S)	Water consumption (unit:1000t)
BOF*		30545	3.76	131600
EAF	Recycling system**	8179	0.78	6415
	no Recycling system ***	8874	1.29	11447
Total consumption (unit: 1000t)				149462

\*Water consumption of POSCO Co., Ltd. So the figures included amounts of water consumed for steel production by EAF in POSCO Co., Ltd

\*\*Calculated base on city water and industrial water consumption of Hyundai Steel Co., Ltd

\*\*\*Calculated base on total water consumption of Hyundai Steel Co., Ltd

**Table 5.** Air consumption by steel and iron process in EU-15(2000)

Process	Output	Air	
		Oxygen	Compressed air*
Coke Oven and Sinter	Coke	65917	526
Blast Furnace(BF)	Pig iron	294487	1234
Basic Oxygen Furnace	Crude steel	98327	1405
Electric arc furnace(EAF)	Crude steel	64818	3285
Total		11630	3164
Total air consumption		14794	

Data source: Moll.S *et al.*(2005)

또한 제철 및 제강공정에서는 많은 공정수가 이용된다. 국내 철강산업에서는 물 재활용 시설 및 시스템을 갖추고 있는 편으로 물의 재활용성을 제고하고 있다. 국내 유일 고로생산과 관련된 water 사용량은 포스코 자료를 기초로 산정하였으며, 전기로 생산에 소비된 물 사용량은 국내 최대 전기로업체인 현대제철 자료를 기초로 산정하였다. 포스코의 생산은 포스코의 전기로 조강 생산도 포함하여 산정된 것이며, 현대제철의 경우에는 공업용수, 재활용 하수, 일반상수도 사용량으로 구분하여 사용하였다. 전기로 제강 경우 재활용시스템이 잘되어 있는 현대제철과 일반적인 시스템을 가지고 있는 전기로 제강으로 구분하여 생산공정에 들어가는 용수사용량을 산정하였다.

공정에 사용되는 air는 크게 산소 및 압축공기로 나뉜다. 산소 및 압축공기는 고로 및 전기로, 전로 및 코크스 생산공정에서 사용된다. 그리고 철강 생산공정에 사용되는 산소 및 압축공기의 투입량에 대한 국내 자료가 전무한 상태로, 국내 제철 전문가들의 면담결

과 공정에 사용되는 Air량은 국내와 유럽과 유사하다는 것을 근거로 하여 유럽공동체에서 발행한 철강기술 보고서인 'Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel (EC, 2001)'를 기초로 활용하여 국내 자료로 변환하였다. 또한 산소를 생산하는데 상당량 전력을 소모된다. 그러나 대부분 제강업체는 자체 산소 공장을 보유하고 있으며, 전체 에너지 투입량 산정시 전체공정에서 사용되는 전력소비량이 산정되었으므로 산소생산에서는 전력소모로 인한 Air사용량을 제외하고 산소를 만들기 위해 소모된 공기량을 계산하였다.

이상과 같은 설정된 시스템내의 자료들을 연결한 물질흐름(Material flow)은 Fig. 5와 같다.

### 3.3. 자원이용량(MI) 및 자원이용지수(MIPS) 산정 및 결과 해석

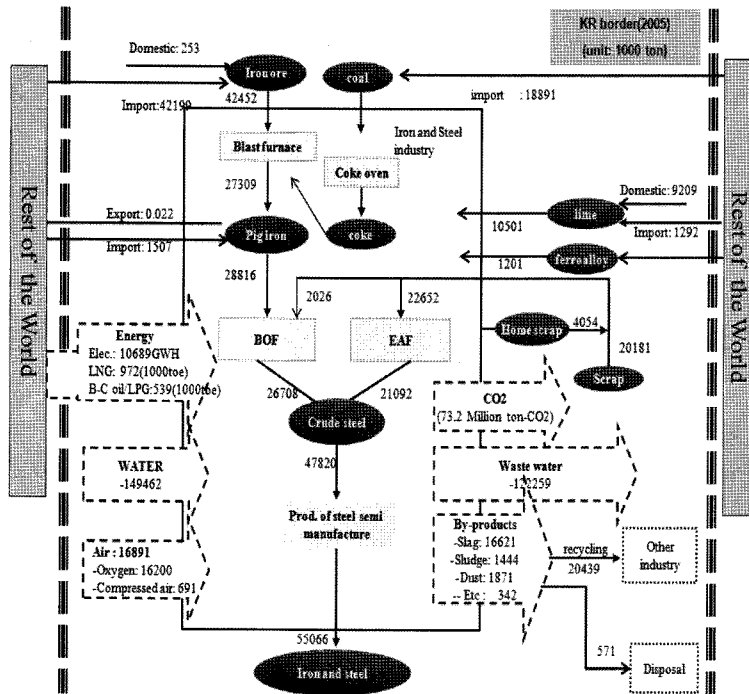
본 연구에서는 부피탈연구소에서 산정한 각 기초물

**Table 6.** Air consumption by steel and iron process in Korea (2005)

Process	Output	Oxygen	Air	
			Oxygen	Compressed air*
Coke Oven and Sinter	Coke	8135	-	65
Blast Furnace(BF)	Pig iron	27309	2036	114
Basic Oxygen Furnace	Crude steel	26728	9085	382
Electric arc furnace(EAF)	Crude steel	21092	5090	-
Total			16212	561
Total air consumption			16773	

**Table 7.** Comparative analysis on steel and iron material flow of EU-15 and Korea

	EU-15(2000)	Korea(2005)
<b>Output</b>		
Crude steel	163mt	47.8mt
EAFShare	40%	44%
<b>Input</b>		
DMI	181mt	71mt
TMR	945mt	245mt
Water	12212mt	1524mt
Air	106mt	34mt
Material intensity (t/t)	TMR : 5.7 W : 66.6 A : 0.6	TMR : 3 W : 28.0 A : .5



**Fig. 5.** Material flow of Korea's steel and iron at the production stage (2005).

질별 자원집중도를 나타내는 MI factor(MIT: Material intensity)를 이용하여 자원이용량(MI)을 산정하였다. 해당 MI Factor의 대상 지역은 세계를 대상으로 한 것으로

본 연구에서 산정된 물질투입량은 전세계 평균치의 값으로 표현될 수 있다. 이상과 같은 국내 철강산업에 투입된 물질흐름을 기초로 하여 국내 철강의 자원이용



지수를 산정하였다. 각 공정별 각 자원이용도(MIT or MI Factor)를 활용하여 MIPS산정법에 따라 진행하였다. 그리고 철광석의 경우에는 국내산과 수입품의 품위가 달라 국내산과 수입산으로 구분하여 자원이용량을 산정하였다. 혼란을 피하기 위해 본 연구에서는 MIPS개념에서 전주기적으로 투입된 물질을 의미하는 MI의 분류인 물과 공기를 직접적으로 사용하는 물과 공기와 구분하기 위해서 Water, Air로 지칭하도록 하였다.

철강생산을 위해 2005년 자연으로부터 이용한 천연 자원량의 정량화 결과는 다음과 같다.

2005년에는 17백만달리(2000년 기준 불변가치)의 부가가치와 54486천톤의 철강재를 생산하기 위해 TMR 245백만톤, Water 1596백만톤, Air 34백만톤을 소비하였다. 그리고 해외자원 사용이 매우 높았다. 국외자원의 의존도가 TMR은 93%, Water은 82%, Air는 49%에 이르러 한국의 철강생산을 위해 많은 해외자연자원을 사용하고 있다. TMR은 원재료사용으로 인한 것이 전체의 92%로 에너지사용으로 인한 소모량은 낮았다. Water는 에너지 및 원재료 사용으로 인한 소모량이 모두 높으며, 국내 천

연자연에서 채취한 물은 석회석 생산으로 사용된 물과 전력생산에 사용된 물과 생산공정에 사용된 공정수로 전체 18%에 불과하다. 또한 생산공정에 직접 사용되는 물에 비해 투입되는 에너지 및 원재료를 채취하고 정련하는 과정에서 사용되는 물 사용이 Water량의 90%로 매우 높음을 확인할 수 있다. 이러한 결과를 통해서 자원의 사용을 정량화하고 평가하기 위해서는 직접적인 물질 사용 외에도 전주기에 걸쳐 사용되는 간접적인 물질사용도 고려해야 하는 것을 확인할 수 있다(Fig. 6).

원재료의 TMR을 살펴보면 합금속으로 인한 자원이용이 높음을 확인할 수 있다. 2005년에는 DMI가 1.2백만톤으로 전체 2%, TMR은 23백만톤으로 전체의 13%이었다. 특히 2005년에는 페로망간과 니켈을 포함하고 있는 기타물질의 TMR 증가가 두드러지게 나타나는데 이는 스테인리스강의 생산비중 증가 및 특수강의 생산비중 증가로 인한 것이다(Fig. 7).

분석의 목표가 제품의 자원이용지수(MIPS) 산출이 아니라 기본 원료의 MI 계산이었으므로 6단계는 생략한다.

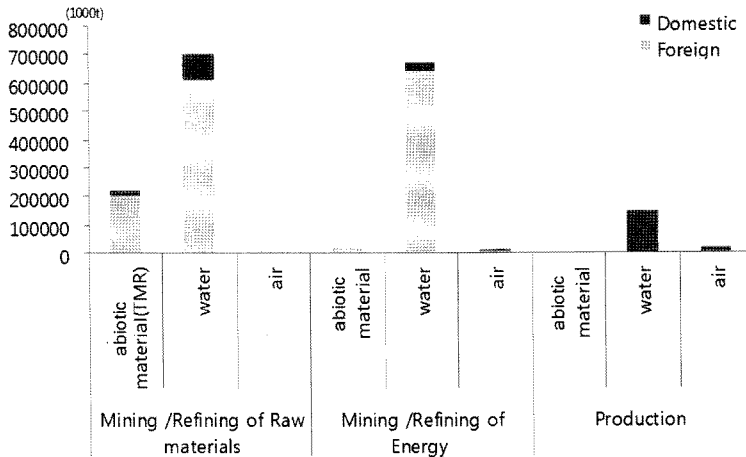


Fig. 6. Natural resources consumption by phase(Mining&Refining and Production,2005).

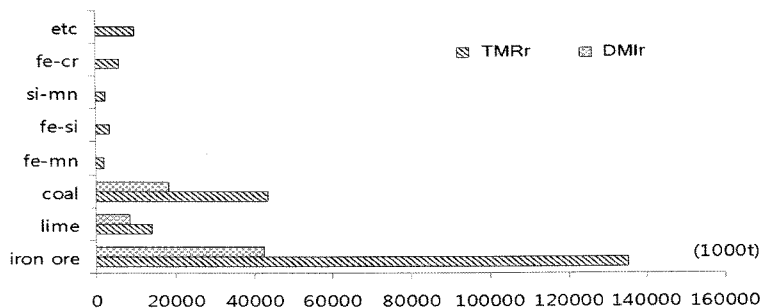


Fig. 7. TMR of Raw materials in Korea's steel and iron, 2005.

우리나라의 국내철강생산의 자원이용에 대한 위상을 확인하기 위해 유럽(EU-15)의 철강생산의 자원이용 연구결과(Moll.s, 2005)와 비교하였다. 국내 철강재의 자원이용지수는 TMR 4.3 (t/t), Water 28 (t/t), Air 0.5 (t/t)이었다. 한편 유럽(EU-15)의 경우 철강의 자원이용지수는 TMR 5.7 (t/t), Water 66.6 (t/t), Air 0.6 (t/t)였다(Table 7). 전반적으로 유럽철강에 비해 국내 철강생산이 천연자원사용량이 낮았으며, 특히 물사용에 있어 조강1톤을 생산하기 위해 유럽은 66.6톤을 사용하는 반면 우리나라 28톤을 사용하여 상당히 낮음을 확인할 수 있다. 이러한 차이는 크게 국내 생산이 전기로 생산이 높은 생산구조와 체계화된 용수 재활용 시스템에 따른 것으로 판단된다. 비교시점은 다르지만 각국의 비교시점상에서 조강생산 중에 전기로 생산비중이 우리나라는 44%, 유럽은 40%로 우리나라가 높다. 전기로 생산이 높으면 원재료가 철광석 대신 철스크랩으로 천연자원사용량이 급격히 적어지며, 용수사용량도 크게 낮아진다. 그리고 유럽의 IPPC Bureau (European integrated pollution prevention and control Bureau)에 따르면 유럽은 조강 1톤을 생산하기 위해 5-100톤의 용수를 사용하고 있으나, 한국의 철강산업의 용수사용량은 폐수 재활용과 공정수의 과학적인 관리를 통해 현저히 낮다. 각 단계에 사용한 물은 각 공장별로 설치된 폐수처리설비에서 1차 처리를 거친 후 97% 이상을 해당공정에서 재활용 하고 있다. 나머지 물은 배수종말처리설비에서 2차 처리 후 단지 내 도로청소와 먼지발생 저감을 위한 살포수로 재활용 하고 나머지는 해역으로 방류하고 있다

#### 4. 결 론

2005년에 54486천톤의 철강재를 생산하기 위해 71백만톤의 원재료와 18백만Toe의 에너지를 사용하였다. 이러한 원재료와 에너지사용으로 인한 천연자원사용량은 TMR 245백만톤, Water 1596백만톤, Air 34백만톤이었다. 철강산업은 에너지 소비로 인해 TMR 16140천톤, water 33728천톤, air 415천톤을 사용하였다. 원재료 사용으로 인한 TMR은 합금으로 인한 자원사용이 높고 점차 증가하고 있음을 알 수 있다. 국내 철강의 자원이용지수(MIPS or Material intensity), 즉 철강재 1톤을 생산하기 위해서 TMR 4.3톤, Water 28톤, Air 0.5톤의 자연자원이 사용되었다.

자원이용지수를 산정하기 위해 필수적이며 기초적 자료인 자원집중도(MIT)를 산정하는 연구는 그 범위

가 넓고 접근 방식이 어려워(시간 및 예산) 주로 국가 연구기관 중심으로 진행되고 있다. 그러나 아직 우리나라에서는 물질적 접근, 즉 물질흐름에 대한 연구 태동기로 국내자체 자원이용도에 대한 연구는 전무한 상태이다. 국내에서는 독일 부퍼탈연구소에서 발행한 MIPS가이드라인에 대한 역서가 발행되었다(Kim and Kim, 2008).

제품의 서비스의 자원 이용량을 측정하는 것은 국가적, 기업적 관점에서 큰 의미를 가진다. 국가적 관점에서는 폐제품의 재활용에 따른 자원이용량, 국가 주요 자원(철, 구리, 아연 등)의 자원이용지수(환경배낭) 책정 등을 통해 재활용정책, 국가자원관리 정책, 환경정책의 정량적 목표 및 전략 수립이 가능하다. 기업의 입장에서는 제품이나 공정에 투입된 자원 물질량을 분석하고 사용 및 폐기단계까지를 고려해 에코디자인을 실시하거나 친환경 공정변화를 통해 환경문제 해결뿐만 아니라 폐기물처리비용 저감, 제품의 친환경이미지 제고 및 각종 환경무역규제에 대한 경쟁력 강화 등의 경제적으로도 이득이 되는 전략을 모색할 수 있다. 즉 효율적인 자원관리시스템을 통해 새로운 이윤창출을 기대할 수도 있는 것이다.

국내에서는 자원이용도(MIT)에 대한 자료 부족으로 기업 및 국가의 자원생산성을 제고하기 위한 분석에 한계가 존재한다. 따라서 제품 및 서비스에 자주 사용되는 물질의 자원이용도(MIT)는 그 파급성 및 접근성을 고려한다면 국가적 차원에서 적극적인 지원하에 연구되어야 할 것이다.

#### 참고문헌

- EC (2001) Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC): Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel.
- Halada, K. (2007) Global Material Recycling: The Case of Metals, National Institute for Material Science, UNEP International Workshop on Resource Efficiency and the Environment: Identifying Key Resource Flows, 25 September, Tokyo.
- Hartmut Stiller(1999) Material Intensity of Advanced Composite Materials, Wuppertal Institute.
- Keisuke Nansai, Yuichi Moriguchi and Susumu Tohno (2002) Embodied Energy and Emission Intensity Data for Japan Using Input-Output Tables(3EID), National Institute for Environmental Studies.
- Keizo Yokoyama *et al.* (2004) Evaluation of low material consumption buildings based on intensity of resource consumption, Journal of Environmental Engineering, Japan, v.579, p 81-88.

- Kenichi Nakajima *et al.* (2006) Recycle-Flow Analysis on Used Cellular Phone Based on Total Materials Requirement Journal of Life Cycle Assessment, Japan Vol.2 No.4 October 2006 p. 341-346.
- Kim Y.J. and Kim I.S. (2008), MIPS Guideline, translated book, KIGAM
- Kim, Y.J., Kim, S.Y. and Kim, I.S. (2006) Status of material flow analysis as a research method for sustainable resource management, Jour. Korean Soc. Geosystem Engineering, v.43, p.168-174.
- Koji Amano and Masaki Murata(1999) Application of Material Flow Analysis on Environmental Impact related to Cement and Concrete Industry.
- Moll S., Acosta J. and H. Schütz (2005) Iron and steel - a materials system analysis, ETC/RWM working paper 2005/3, European Environment Agency, Copenhagen.
- Nakajima Kenichi *et al.* (2005) Total Materials Requirement of Industrial Materials, Journal of Life Cycle Assessment.
- NIMS (2006) TMR of Engineering resource, NIMS-EMC No.10, Japan.
- NOAH (2005) Ecological rucksack for materials used in everyday products. Friends of the Earth Denmark. Copenhagen.
- Van der Voet *et al.* (2005) Policy Review on Decoupling: Development of indicators to assess decoupling of economic development and environmental pressure in the EU- 25 and AC-3 countries. CML report 166, Leiden.
- Wuppertal Institut for Climate, Environment and Energy(2002) Calculating MIPS - Resource productivity of products and services.

---

2008년 9월 22일 원고접수, 2008년 10월 24일 게재승인.