

국제철강협회에서 실시한 철강제품에 대한 LCI 연구

은중환 · 이병욱*

(포항제철 · 포스코경영연구소*)

World-wide LCI Study for Steel Products

Jong Hwan Eun, Byung Wook Lee*

(POSCO, POSRI*)

ABSTRACT

A life cycle inventory (LCI) study has been carried out to quantify resources use, energy use and environmental emissions associated with the processing of twelve steel products from the extraction of raw materials in the ground through to the steel factory gate. LCI data have been calculated for products derived via the blast furnace / basic oxygen furnace route and the electric arc furnace route. In total, 55 sites operated by 37 companies, including 29 blast furnace, 15 electric arc furnace and 11 rolling and finishing operations, participated in the study. Thus, most areas of the world and a range of operating configurations were represented.

The IISI LCI database for world wide steel products is the largest, most comprehensive and one of the most rigorous ever undertaken for a material and that this will provide a basis for decision making in the context of sustainable development. The results also provide the opportunity for companies to benchmark and evaluate improvement measures to their processes and product systems and to provide a common basis for communicating data to customers and external stakeholders.

요 약 문

국제철강협회에서 수행한 전과정 목록 연구는 12개 철강산업 제품을 대상으로 원료 채취에서부터 제품출하까지의 과정에서 발생하는 자원 및 에너지 사용량과 환경오염물질 배출량 등을 분석하기 위한 것이다. 이 연구에서는 철강제조 공정인 고로 및 전기로에서 생산되는 제품들에 대한 전과정 목록 자료를 산출하였다. 이 작업에는 전세계 37개 철강업체에서 총 55개 사업장이 참여하였으며, 이에는 고로 29개, 전기로 15개, 압연 및 표면처리 11개 등이 포함되어 있다. 따라서, 이 연구범위는 전세계 철강업체 및 철강제조 공정을 거의 모두 망라하고 있다고 볼 수 있다.

국제철강협회의 전과정 목록 D/B는 사상 최대규모의 포괄적이고 정밀한 내용을 담고 있으며, 지속가능한 개발을 지향하는 의사결정을 뒷받침하게 될 것이다. 또한, 그 결과는 철강업체가 공정이나 제품시스템의 환경성 개선수단을 평가하거나 벤치마킹 할 수 있는 기회를 제공할 뿐만 아니라, 고객이나 외부 이해관계자들과의 의사소통에 필요한 공통적 기반으로 활용될 수 있을 것이다.

I. 연구의 개요

전세계 철강업체간의 공동 관심사를 논의하기 위

해 1967년에 설립된 국제철강협회(IISI: International Iron and Steel Institute)는 단위 산업계 최초의 국제 산업단체로서, 벨기에 브뤼셀에 본부를 두고 있는 포럼 형태의 비영리 기구이다. 1998년 10

월 현재 56개국의 190여개 철강회사 및 단체가 회원으로 참가하고 있으며, 이들의 생산량은 전세계 철강생산량의 약 75%에 달하고 있다.

1990년대 초부터 전세계적으로 LCI/A에 대한 연구가 활발히 전개되자 국제철강협회 회원사들도 고객으로부터 LCI 데이터를 제공해 달라는 요청을 받게 되었으며, 철강의 경쟁소재 업계가 마케팅 차원에서 LCI/A 연구결과를 활용하는 사례가 등장하게 되었다. 이에 국제철강협회는 철강제품에 대한 전세계 공통의 LCI Database를 구축할 필요가 있다고 판단하여 본 연구에 착수하였으며, 그 추진 목적을 다음과 같이 정립하였다.

- 철강제품에 대한 전세계적인 LCI Database 구축
- 고객 및 이해관계자 들에게 철강제품 LCI 데이터 제공
- 경쟁소재 업계들의 LCI를 이용한 마케팅 공세에 대응
- 회원사의 환경개선 활동 및 회원사간 환경관리 벤치마킹 지원
- 회원사 환경관리자의 LCI/A 수행능력 배양 및 향후 LCA 실시 기반 마련

국제철강협회가 본 연구를 위해 구성한 별도의 작업반(working group)에는 16개국으로부터 25명의 전문가가 참여하였으며, 외부 자문기관으로는 프랑스의 Ecobilan사를 선정하였다. 또한, 본 연구에는 총 55개 철강업체가 참여 하였는데, 이들 참여 업체들의 생산량 총계는 중국 및 구 소련지역을 제외한 전

세계 철강생산량의 38.9%에 달하는 규모이다. 연구 기간은 1995년 12월부터 1997년 6월까지였으며, 단계별 추진일정은 다음 Table 1과 같다.

본 연구의 모든 과정은 ISO의 LCA 관련 규격인 ISO 14040: LCA-Principles and Framework와 ISO 14041: Goal and Scope Definition and Inventory Analysis를 준용하였고, 연구의 객관성 및 공정성을 확보하기 위하여 스웨덴 Environmental Research Institute의 Lars-Gunnar Lindfors 박사 등 3명의 외부전문가로 구성된 정밀 검토단(Critical Review Panel)으로부터 각 단계가 완료된 시점마다 검토과정을 거쳤다.

II. 작업방법 (Methodology)

1. 작업범위 및 용어정의

본 연구에서 설정한 기능단위(functional unit)는 철강제품 1kg 이며 대상제품은 대표적인 최종 철강제품 12종 (hot rolled coil, pickled hot rolled coil, cold rolled coil, finished cold rolled coil, tinplated coil, tin-free steel, hot-dipped galvanized coil, electro-galvanized coil, organic coated flat, plate, rebar/wire rod/engineering steel(BF route, EAF route), sections (BF route, EAF route))과 중간제품 4종(hot metal, sinter, coke, slab)이다. 시스템 경계(system boundary)는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 원료채취에서 제품생산까지, 즉 Cradle to Gate이며 부산물

Table. 1. IISI's LCI Project Schedule.

1. System modeling (Phase 1) Define inventory scope LCI methodological rules	Dec-95	Mar-96	Jun-96	Sep-96	Dec-96	Mar-97	Jun-97
2. Database building (Phase 2) Questionnaires development Data collection on site			Mar-96	Jun-96	Sep-96	Dec-96	Mar-97
3. Software customizing (Phase 3) Variables programming						Mar-97	Jun-97
4. Project completion (Phase 4)							Jun-97

재활용에 따른 Credit를 포함하였고 고철(scrap)의 수집과 처리부분은 제외하였다.

현재 철강생산은 전세계적으로 고로(高爐, BF) 와 전로(轉爐, BOF)를 이용한 일관제철 공정에서 57%, 전기로(電氣爐, EAF)를 이용한 Mini-mill 공정에서 36% 정도가 생산되고 있다(나머지는 평로 등 기타 공정). 따라서 BF Route와 EAF Route로 나누어 분석하였으며, 각각의 Route는 Up-stream, Site, 부산물 분배(by-product allocation) 등으로 구분하였다.

- Up-stream: 원료채취 단계부터 제철소(steel works)까지의 운반 과정
- Site: 제철소 Boundary
- 부산물 분배(by-product allocation): 부산물을 시스템 경계 밖으로부터 대체하는 공정에 해당하는 환경부하를 시스템의 환경부하에서 제(除)하는 과정
- Route: 전체 시스템 경계(up-stream + site + by-product allocation)

2. 데이터 수집기준 및 방법

제철공정에서는 수많은 물질이 소비되고 배출된다. 이러한 물질 가운데 전과정 목록 작성을 위한 자료 수집의 대상을 선정하기 위해 다음과 같은 선정기준

(cut-off criteria)을 적용하였다.

- 모든 비물량(non-mass) 물질은 포함: 에너지, 전력, 스팀, 압축공기, 물 등
- 99.9wt%이하의 물질은 제외
- 99.9wt%이하의 물질 중에서도 환경에 영향이 큰 물질은 포함: 유독 성분을 함유하고 있거나 제조단가가 높은 물질, 모든 오염물질
- 시스템 경계 내에서 처리되는 폐기물 중 1wt% 이하는 생략

작업에 참여한 많은 제철소로부터 데이터를 수집할 때 수작업에 의한 오류를 방지하기 위하여 전산화된 설문지(electronic questionnaires)를 개발하여 사용하였다. 각 제철소에서 입력된 전산데이터 세트는 항목별로 데이터의 가능범위가 최대, 최소로 미리 설정된 표준 데이터 세트와의 비교 및 에너지 Balance로 자동 오류 검사 후 데이터베이스에 저장된다. 데이터가 수집된 후 각 제철소로부터 그 제철소에서 수집된 데이터 가운데 무작위로 선정된 2개 데이터에 대하여 근거 자료를 제출 받아 신뢰도를 측정하였다. 모든 데이터는 가능한 한 1994 - 1995년도 실적을 기준으로 수집하였으며, 최소한 1990년 이후 실적을 이용하였다. 본 연구를 위해 총 2,040만 개의 데이터가 수집되었으며, 데이터의 출처별 · 성격

Fig. 1. System bounday.

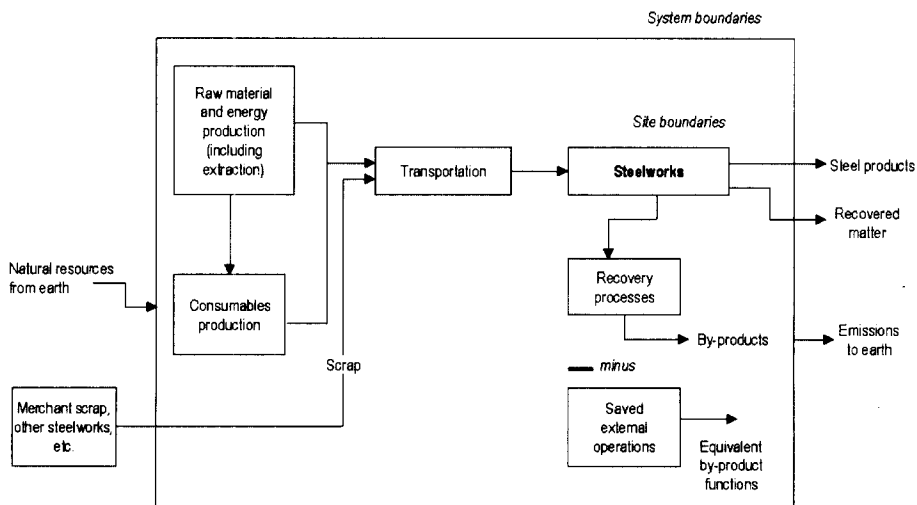


Table 2. Type of collected Data.

Source		Type			Year		
제철소	자료	측정	계산	추정	'94년도	'95년도	기타
86%	14%	65%	12%7	23%	37%	39%	24%

별·년도별 분포는 위의 Table 2와 같다.

3. 주요 가정 및 적용이론

1) 고철 재활용(Scrap Recycling)

철강은 기본적으로 품질의 저하 없이 100% 재활용이 가능하며 고철은 고로 Route에서 철원의 7% 정도, 전기로Route에서는 90% 이상을 차지한다. 고철을 철원으로 사용할 경우 철광석을 사용했을 때보다 에너지 사용량 등 환경에 미치는 영향의 차이가 크기 때문에 재활용에 따른 환경영향의 분배(allocation)가 필요하다. 그러나, 본 연구에서는 분석 작업의 복잡성 및 다양성을 감안하여, 고철을 환경부담(environmental burden)이 없는 하나의 자원(resource)으로 가정하고 고철의 분배 및 취급(handling) 과정을 생략한 채 발생원으로부터 제철소까지의 운반만을 고려하였다.

2) 에너지 및 전력

에너지 Balance는 전과정 목록의 일관성(consistency)을 측정하는 데 유용하게 사용된다. 본 연구에서 사용된 에너지 관련 용어 및 정의는 다음과 같다.

- 총 일차 에너지(total primary energy): 연·원료에 포함된 모든 에너지
- 재생불가능 에너지(non-renewable energy): 화석연료 및 원자력 등 재생이 되지 않는 에너지
- 재생가능 에너지(renewable energy): 수력, 풍력 및 바이오 에너지 등 재생이 가능한 에너지
- 연료 에너지(fuel energy): 시스템 내에서 열원으로 사용되는 에너지
- 원료중 함물 에너지(feedstock energy): 제품

에 성분으로 포함되어 연료로 사용되지 않는 에너지

* 총 일차 에너지

= 재생불가능 에너지 + 재생가능 에너지

= 연료 에너지 + 원료중 함물 에너지

전력은 생산방식에 따라 환경에 미치는 영향에 큰 차이가 있다. 각 제철소에서 사용하는 전력은, Fig. 2와 같이 특정 제철소가 있는 국가별(미국 및 캐나다의 주별) 그리드 전력(grid electricity)의 생산방식, 즉 에너지원별 비율을 고려하였다.

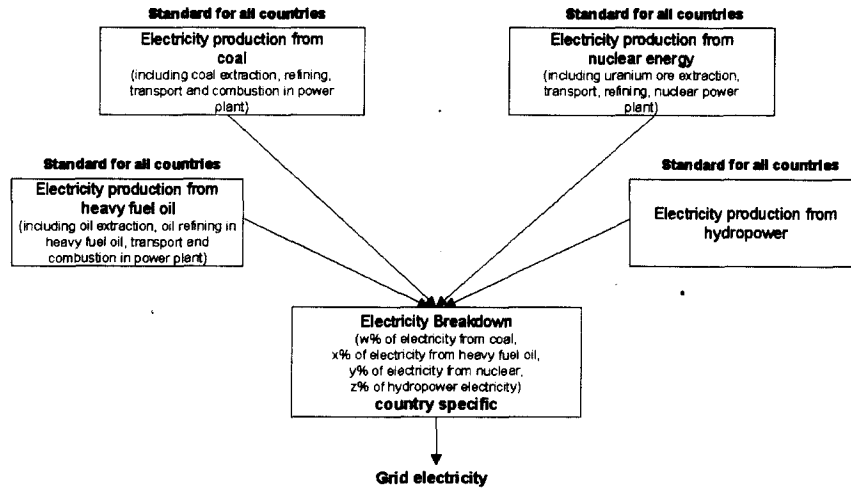
3) 부산물 분배(By-product Allocation)

부산물 분배에 대하여 ISO규격에서는 다음 두 가지 방법을 제시하고 있다.

- 대체법(substitutional method, system boundary expansion): 부산물이 대체하는 물질을 생산할 경우 발생하는 환경부하를 시스템 환경부하에서 가감하는 방법
- 분할법(partitioning method): 에너지 열량(energy contents)이나 경제적 가치 등을 기준으로 하여 시스템의 환경부하를 제품과 부산물에 직접 분배하는 방법

제철공정에서 발생하여 시스템 경계 밖에서 재활용되는 부산물 가운데 중요한 것으로는 부생가스(BFG, COG, LDG)와 슬래그(slag)가 있다. 본 연구에서는 대체법을 채택하여 부생가스는 같은 열량의 석탄을, 슬래그는 용도에 따라 시멘트 Clinker 또는 토목 공사용 골재를 대체하는 것으로 하였다. 만약 분할법을 채택할 경우 부생가스는 열량을 기준으로 분배할 수 있으나 슬래그나 기타 부산물에 대하여는 명확한 분배기준을 찾기 어렵다.

Fig. 2. Grid electricity production model.



열연제품(hot rolled coil)의 COG(coke oven gas)에 대하여 분배방법에 따른 민감도 분석(sensitivity analysis)을 실시한 결과는 다음 Table 3과 같다.

본 연구에 참여한 제철소 가운데 COG 발생량이 가장 많은 제철소의 데이터를 이용하였으며, 대체법에서는 석탄연료를 대체하는 것으로 분할법에서는 열량을 기준으로 분배하였다.

대체법에서는 이산화탄소(CO₂)와 총 일차 에너지

에서, 분할법에서는 이산화질소(NO₂)와 미립자(particulates) 등에서 환경영향이 상대적으로 더 큰 것으로 나타났다.

III. 전과정 목록분석 결과

본 연구를 위해 고로 Route와 전기로 Route의 공정도와 이들 Route내 각 Module별로 입출력 호

Table. 3. Results of Sensitivity Analysis on COG of HR(Hot Rolled) Products.

Flows		Unit	No allocation	Substitutional	Partitioning
Input	(r) Coal (in ground)	kg	0.864	0.644	0.603
	(r) Iron (Fe, ore)	kg	1.49	1.49	1.49
	(r) Oil (in ground)	kg	0.206	0.201	0.217
Output	Coke Oven Gas	MJ	6.21	0	0
	(a) Carbon Dioxide (CO ₂ , fossil)	g	2130	2757	1990.3
	(a) Nitrogen Oxides	g	3.26	1.94	3.15
	(a) Particulates (unspecified)	g	0.863	0.250	0.841
	(a) Sulphur Oxides	g	10.6	7.94	10.42
	(w) Chemical Oxygen Demand	g	0.0226	0.0226	0.0275
	Waste (total)	kg	0.0879	0.0634	0.0724
Energy	Total Primary Energy	MJ	42.5	32.48	30.8

Table 4. LCI Mean Value of Key Items.

(per product 1kg)

	Flows	Unit	BF	EAF
In Flow	(r) Coal (in ground)	Kg	0.678	0.088
	(r) Iron (Fe, ore)	Kg	1.485	0.008
	Water Used (total)	Liter	31.588	6.727
	Steel Scrap (total from external sources)	Kg	0.075	1.055
Out Flow	(a) Carbon Dioxide	g	2175	526
	(a) Nitrogen Oxides (NOx as NO ₂)	g	2.743	1.398
	(a) Particulates TOTAL	g	1.616	0.224
	(a) Sulphur Oxides (SOx as SO ₂)	g	3.238	1.767
	(w) COD (Chemical Oxygen Demand)	g	0.276	0.069
	(w) Suspended Matter (unspecified)	g	0.297	0.057
	(w) Zinc (Zn ⁺⁺)	g	0.005	0.000
	(w) Water (unspecified)	Liter	12.459	7.292
Energy Indicator	Waste (total)	Kg	0.211	0.067
	(E) Total Primary Energy	MJ	29.381	11.509
	(E) Non Renewable Energy	MJ	28.833	10.380
	(E) Renewable Energy	MJ	0.548	1.125
	(E) Fuel Energy	MJ	28.976	10.965
	(E) Feedstock Energy	MJ	0.406	0.553

*(r)=raw material, (a)=air emission, (w)=water emission, (E)=energy data

름(input/output flow)을 포함한 상세 공정도를 별도로 작성하였다.

전과정 목록은 프랑스 Ecobilan사에서 개발한 LCI/A용 S/W 프로그램인 TEAM(Tools for Environmental Analysis and Management)을 이용하여 Excel Spreadsheet로 작성되었다. 참여 철강사별, 철강제품별로 Spreadsheet가 작성되었으며, 하나의 Spreadsheet는 935개의 Row (input/output 항목)와 140여개의 Column(공정 또는 모듈)으로 구성되어 있다. 각 Spreadsheet에는 전세계(global) 및 지역별(북미, 유럽, 극동아시아 지역) 통계치(평균치, 최대치, 최소치, 표준편차)가 수록되어 있다.

참여 제철소의 개별 데이터에 대한 비밀유지를 위하여 지역별 데이터 개수가 2개 이하인 경우에는 통

계치를 생략하였다. 주요항목에 대한 고로Route와 전기로Route의 각 철강제품별 평균치는 다음 Table 4와 같다.

본 연구를 위해서 참여 컨설팅 기관인 Ecobilan사에서 기존에 상용화하여 사용하던DEAM(Data for Environmental Analysis and Management), TEAM, TeamPlus 이외에 몇 가지 프로그램이 추가로 개발되었다. Fig. 3은 본 연구에서 사용된 프로그램의 체계도를 나타낸 것이다.

IV. 연구결과의 활용 및 향후계획

1. 국제철강협회 회원사의 환경개선 지원

본 작업에 참여한 제철소는 자기 제철소의 전과정

Fig. 3. LCI program structure.

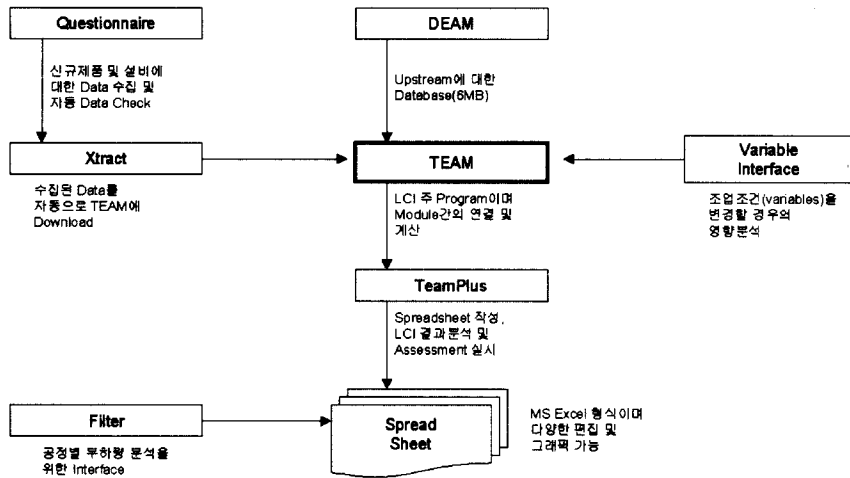
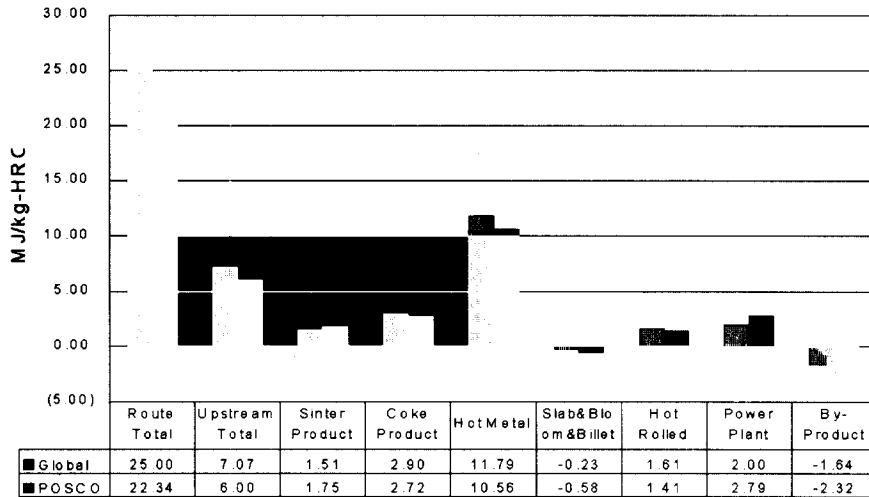


Fig. 4. POSCO's fuel energy use by process(per HR 1kg).



목록 데이터와 전세계 및 해당 지역 통계치를, 기타 국제철강협회 회원사는 관련 통계치를 제공 받음으로써 각 제철소의 환경개선에 활용할 수 있게 되었다. 전과정 목록을 이용한 회원사의 환경개선은 본 연구사업의 일차적인 목표이다. 전과정 목록을 이용한 회원사의 환경개선의 예는 다음과 같다.

철강생산 세부 공정별 환경영향 기여도를 분석하여 환경개선에 대한 우선순위 판단 및 환경친화적 연·원료 선정 (예: 포항제철의 공정별 연료 에너지 사용량, Fig. 4 참조)

- 타 지역 제철소와의 환경 및 에너지분야 벤치마

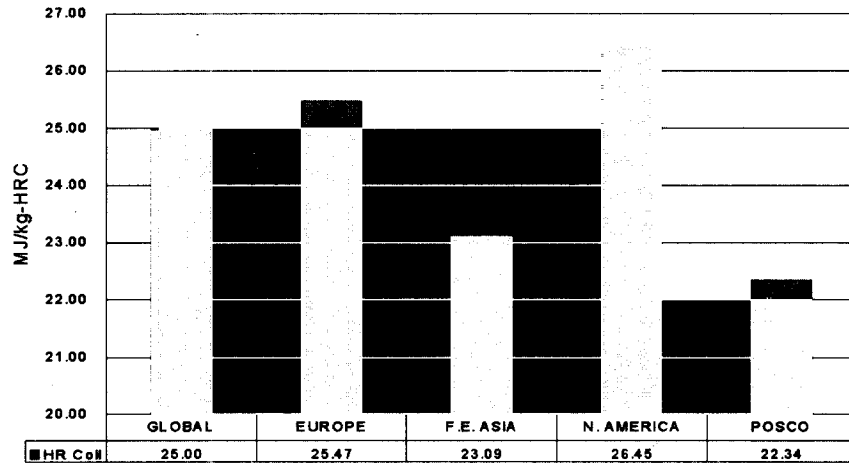
킹 (예: 포항제철과 타 지역 제철소간 Fuel Energy 사용량 비교, Fig. 5 참조)

- 철강제품 생산을 위한 최적수준의 기술(BAT: best available technology)에 의거한 시설 구성

2. 철강업계의 마케팅 지원 및 정보공개

현재 국제철강협회 내 마케팅 부문에는 자동차, 건설, 포장 등 3개 소위원회가 있으며, 각 위원회별 활동에 전과정평가를 활용하는 방안을 적극 검토하고 있다. 건설위원회에서는 철강을 이용한 건축물의

Fig. 5. Fuel energy use by region(per HR 1kg).



환경성 평가를 위한 별도의 프로그램을 만들어 건축 시장에 공급하는 등 대체재인 목재, 콘크리트에 대한 경쟁 우위 확보에 많은 노력을 기울이고 있다. 이번에 작성된 철강제품의 전과정 목록은 이러한 활동을 지원하는 데 활용될 예정이다.

철강제품 전과정 목록을 대외에 공개하기에 앞서 국제철강협회는 제3자에 의해 잘못 인용될 가능성을 예방하기 위하여 국제철강협회내의 홍보위원회에서 '전과정 목록 공개지침'을 마련하였으며, 그 주요내용은 다음과 같다.

- 전과정 목록 데이터는 회원사의 환경개선에 우선적으로 활용하며 회원사간의 공개적인 비교 목적으로 사용하지 않는다. (개별회사의 전과정 목록 데이터는 비공개)
- 대외 공개시 데이터 자체보다는 작업방법 및 절차의 우수성을 적극 홍보한다.
- 마케팅 활동에 적극 활용하며 일반대중보다는 수요가 및 연구기관을 주 대상으로 한다.
- 회원사는 제 3자에게 제공된 데이터가 바람직하게 사용되도록 최대한 노력한다. (데이터 제공시 그 용도 및 사용방법 등을 기재한 'Disclosure Questionnaire'를 국제철강협회에 제출토록 하며, 데이터에 대한 기술적인 설명서와 함께 전세계 평균치를 제공함)

3. 향후계획

국제철강협회는 향후에 현재의 전과정 목록 D/B를 개선하고 적극적으로 활용하기 위하여 LCA Manager Working Group을 구성하였다. 이 그룹의 주요 활동은 전과정 목록 D/B의 개선, 평가, 활용 등이다.

참 고 문 헌

- 1) Ecobilan, *World-Wide LCI Database for Steel Industry Products*, Final Methodology Report, 1997.
- 2) International Iron and Steel Institute, *World-Wide LCI Database for Steel Industry Products*, Technical Report, 1997.
- 3) IISI/UNEP, *Environmental Aspects of Ironmaking and Steelmaking*, Draft Version, 1997.
- 4) 포항제철, *중장기 환경관리계획*, 1998.