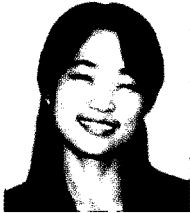


LCA 환경 부하 측정을 통한 친환경 건설 생산 시스템 구축 방안



김지혜, 아주대학교 건축학과 박사과정
차희성, 아주대학교 건축학부 교수

선진국들은 우리나라가 비약적 산업발전을 거듭한 선발개도국의 특징을 가지고 있으므로 2008년부터 온실가스 감축을 위한 선진국 그룹에 들어올 것을 요구하고 있는 실정이다. 2013~2017년 온실가스 감축 의무대상국이 개발도상국에 집중되기 때문에 의무대상국 확대협약에서 한국도 동참을 요구받을 것으로 예상된다.

2002년 IEA(국제에너지기구)의 통계에 따르면 한국의 연간 이산화탄소 배출량은 2000년을 기준으로 했을 때 4억 3400만 톤으로 세계 9위이며, 세계 전체 배출량의 1.8%를 차지한 것으로 나타났다. 에너지 사용량 역시 급격히 증가하고 있으며, 1990~1998년 기간 연평균 에너지소비 증가율이 7.5%에 달하며, 이는 주요 OECD 국가 평균 1.6%에 비하여 매우 높은 편이다. 더욱이 1990년 이후 배출량 증가가 85.4%로 나타나 세계 최고의 증가세를 기록하고 있기 때문에 의무대상국으로 분류될 가능성이 매우 높다. 이와 같은 국제적인 요구에 발맞추어 국내에서도 온실가스 저감을 위해 정부차원에서 온실가스 배출분야별로 온실가스 배출현황을 파악하고, 저감 정책을 마련하고 있다. '기후변화협약에 의거한 제2차 대한민국 국가보고서(2003)'에 따르면, 제조업을 포함한 건설산업의 CO₂ 배출량이 전체 배출량의 29%(141,623천 톤)로서 온실가스 배출원 중 가장 높은 비율을 보였다. 제조업과 건설업이 별도로 분류되어 있지 않기에 건설분야만의 통계량을 정확히 알 수 없으나 건설산업 차원에서도 CO₂ 배출량을 줄이기 위한 노력이 절실히 요구되는 상황임에는 이견이 없을 듯 하다.

건설산업에서 발생하는 CO₂ 배출량을 저감하기 위해서는 친환경적인 건설시스템을 구축해야 한다. 친환경적인 건설시스템이란 "기획, 설계, 시공, 유지관리, 그리고 철거단계에 이르는 전 생애기간에 걸쳐 친환경적인 건설환경을 조성하여 CO₂ 배출량을 저감할 수 있는 기반"으로 정의할 수 있다. 친환경적인 건설환경은 자재, 생산과정, 폐기물, 연료소비 등 CO₂를 발생시키는 분야에 대해 저감방안을 구축하고, 더불어 기존 CO₂ 발생현황 대비 저감방안의 효과를 측정할 수 있는 방법론을 구축함으로써

1. 서론

환경문제와 관련되어 자주 듣게 되는 용어 중 하나가 '지구 온난화' 일 것이다. 지구 온난화란 우주공간으로 방출되어야 할 에너지를 대기 중의 온실가스가 흡수하여 지구 전체의 온도가 상승하는 효과를 말한다. 20세기 후반부터 지구온난화로 인한 기상이변, 기후변화, 해수면 상승, 수질오염 등의 기후적·생태적 문제가 점차 심각해졌고, 지구 온난화를 일으키는 주요인이 온실가스, 특히 이산화탄소(CO₂)라는 사실이 1985년 세계기상기구(WMO)와 국제연합환경계획(UNEP)에 의해 공식적으로 선언된 바 있다. 온실가스는 몇몇 국가의 노력만으로는 저감 효과를 보기 어려우므로 국제적인 협력이 요구된다. 이에 따라 1992년 리오 기후변화협약을 통해 지구온난화를 야기하는 모든 온실가스를 규제하고, 모든 국가에 적용되는 일반의무사항과 선진국에만 적용되는 특별의무사항을 규정하였다. 이후 1997년 교토의 정서를 통해 선진국들의 국가별 온실가스 감축목표를 구체적으로 설정하였고, 개발도상국에 대한 대처방안은 아직 결정되지 않은 상태이나 곧 실질적인 움직임이 있을 것이다. 또한, 서구

조성된다고 볼 수 있다. 본고에서는 후자인 환경부하 측정방법의 현황과 한계점, 그리고 건설산업의 환경부하 측정방법 개발 방향에 대해 논의해 보고자 한다.

2. 환경부하 측정방법

환경부하 측정과 관련된 현황을 살펴보기 전에 이에 대한 이해를 돕기 위해 간단한 개념을 소개하고자 한다. 대표적인 환경부하 측정방법은 전과정평가(LCA : Life Cycle Assessment)로서 국제표준인 ISO 14040s(14040-14049)에 객관적이고 정량적인 환경부하 측정을 위한 정의와 절차가 규정되어 있다. 전과정평가를 수행하는 방법에는 개별적산법(Process Analysis), 산업연관분석법(Input-Output Analysis), 조합법(hybrid Analysis)이 있다. 이 중 조합법은 개별적산법과 산업연관분석법을 혼합하여 분석하는 개념이므로, 여기서는 개별적산법과 산업연관분석법의 개념에 대해 알아보하고자 한다.

2.1 개별적산법

원론적으로 제품이나 서비스에 투입되는 모든 자원의 원료채취로부터 생산과정, 수송, 사용, 폐기에 이르기까지 에너지 사용량과 환경오염물 배출량(대기, 수계, 토양)을 정량화하고, 이들이 환경에 미치는 영향을 평가하는 환경영향평가기법이다. 이를 간단히 도식화하면 <그림1>과 같다.

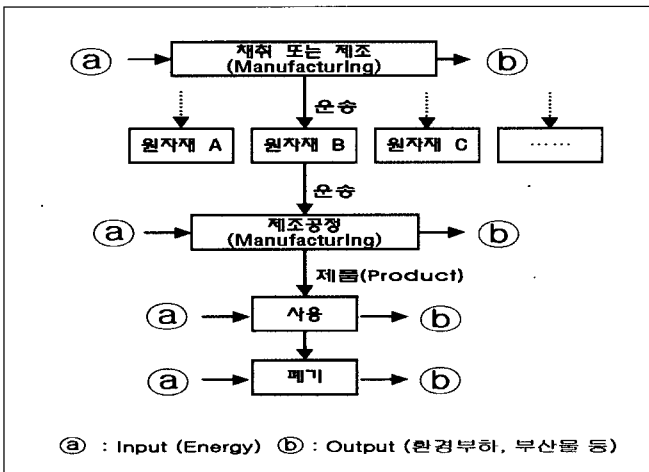


그림 1. 개별적산법(Process Analysis)의 개념

즉, 한 제품이나 서비스가 만들어지기 위해 투입되는 모든 자원의 종류와 단위물량, 그리고 투입되는 자원에 따라 배출되는 환경부하와 부산물 등을 일련의 공정도를 추정하여 목록분석을 행하는 방법이다. 목록분석을 위한 방법은 분석의 목적과 범위

가 선정된 후 분석결과와 도출을 위해 필요한 모든 데이터를 현장실측(공정분석)을 통해 구하게 되며, 이후 분석된 투입물과 산출물을 자료목록표(LCI: Life Cycle Inventories)에 정량화하여 정리한다. <그림 2>은 산업자원부에서 구축한 '국가LCI전산망'에 수록된 LCI데이터 중 건축관련제품의 LCI List이다. 이 중 '시멘트' 제품의 LCI data 일부를 <그림 3>에서 볼 수 있다.

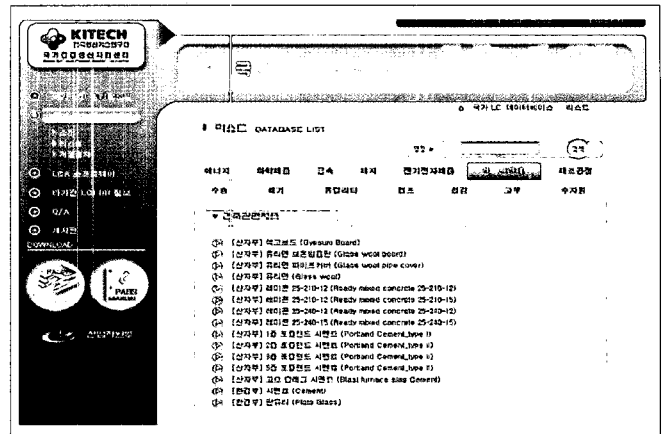


그림 2. 건축관련제품 LCI 리스트 (출처: <http://www.kncpc.re.kr>)

순번	명칭	그룹	환경	환경부하	환경부하	단위	단위	단위	단위
81.175	OUTPUT Emission Air	Gas (air)	CO2	1.3615E-06		kg			
82.177	OUTPUT Emission Air	Hydrocarbon	CH4	3.0000E-07		kg			
83.178	OUTPUT Emission Air	Gas (air)	CO2	1.0000E-06		kg			
84.179	OUTPUT Emission Air	Gas (air)	CO2	1.0000E-06		kg			
85.180	OUTPUT Emission Air	Hydrocarbon	CH4	2.2222E-07		kg			
86.181	OUTPUT Emission Air	Hydrocarbon	CH4	1.1111E-06		kg			
87.182	OUTPUT Emission Air	Hydrocarbon	CH4	2.2222E-07		kg			
88.183	OUTPUT Emission Air	Hydrocarbon	CH4	1.1111E-06		kg			
89.184	OUTPUT Emission Air	Hydrocarbon	CH4	1.1111E-06		kg			
90.185	OUTPUT Emission Air	Hydrocarbon	CH4	1.1111E-06		kg			
91.186	OUTPUT Emission Air	Hydrocarbon	CH4	1.1111E-06		kg			
92.187	OUTPUT Emission Air	Hydrocarbon	CH4	1.1111E-06		kg			
93.188	OUTPUT Emission Air	Hydrocarbon	CH4	1.1111E-06		kg			
94.189	OUTPUT Emission Air	Hydrocarbon	CH4	1.1111E-06		kg			
95.190	OUTPUT Emission Air	Hydrocarbon	CH4	1.1111E-06		kg			
96.191	OUTPUT Emission Air	Hydrocarbon	CH4	1.1111E-06		kg			
97.192	OUTPUT Emission Air	Hydrocarbon	CH4	1.1111E-06		kg			
98.193	OUTPUT Emission Air	Hydrocarbon	CH4	1.1111E-06		kg			
99.194	OUTPUT Emission Air	Hydrocarbon	CH4	1.1111E-06		kg			
100.195	OUTPUT Emission Air	Hydrocarbon	CH4	1.1111E-06		kg			
101.196	OUTPUT Emission Air	Hydrocarbon	CH4	1.1111E-06		kg			
102.197	OUTPUT Emission Air	Hydrocarbon	CH4	1.1111E-06		kg			
103.198	OUTPUT Emission Air	Hydrocarbon	CH4	1.1111E-06		kg			
104.199	OUTPUT Emission Air	Hydrocarbon	CH4	1.1111E-06		kg			
105.200	OUTPUT Emission Air	Hydrocarbon	CH4	1.1111E-06		kg			
106.201	OUTPUT Emission Air	Hydrocarbon	CH4	1.1111E-06		kg			
107.202	OUTPUT Emission Air	Hydrocarbon	CH4	1.1111E-06		kg			
108.203	OUTPUT Emission Air	Hydrocarbon	CH4	1.1111E-06		kg			
109.204	OUTPUT Emission Air	Hydrocarbon	CH4	1.1111E-06		kg			
110.205	OUTPUT Emission Air	Hydrocarbon	CH4	1.1111E-06		kg			

그림 3. 시멘트 제품의 LCI data

다음의 <그림4>는 특정 제품(냉장고)의 전과정평가를 통해 나타난 투입물별 CO2 발생량 분석결과를 보여준다. 이러한 결과를 통해 어느 분야에서 환경부하가 높은지 판단할 수 있으므로, 환경부하 저감을 위한 개선방안 수립의 기반이 된다.

3.2 산업연관분석법

한국은행의 '경제지표해설'에 따르면 산업연관표는 일정기간(보통 1년) 동안 국민경제 내에서 발생하는 재화와 서비스의 생산 및 처분과 관련된 모든 화폐가치 단위로 기록한 종합적인 통계표로서, 산업연관표의 세로방향은 생산물의 비용구성 즉 투입

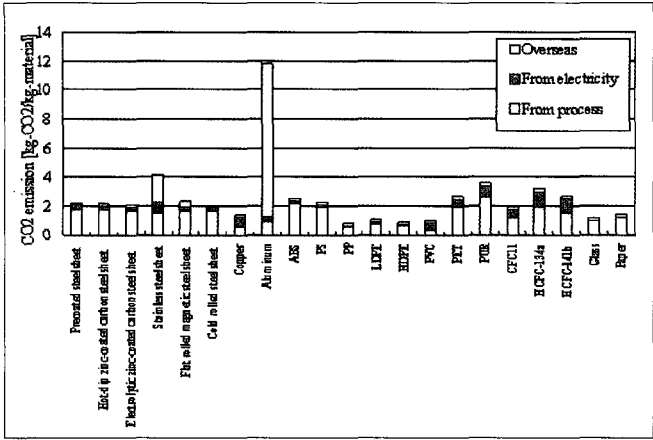


그림 4. 전과정평가법에 의한 CO2 발생량 분석 결과 사례

구조를, 가로방향은 생산물이 어떤 부문에 중간수요 또는 최종 수요 형태로 얼마나 팔렸는가 하는 상품의 배분구조를 나타낸다. <그림 5 참조>

A		BK	BL	BM	BN	BO
건설부		건설부	토목건설	도소매	제조업	농수업
63	61	1779	9268	122306	19258	26956
64	62	1511294	65817	2456340	1810948	528506
65	63	0	0	0	0	0
66	64	0	0	0	0	0
67	65	539547	408225	1345646	332107	9632027
68	66	183903	189899	3651924	259905	369461
69	67	1302913	394571	2249314	483641	123558
70	68	48700	451657	5823415	251842	705392
71	69	4121762	4488121	3184145	439000	3153832
72	70	0	0	0	0	0
73	71	289914	385544	270541	18522	166261
74	72	91613	90947	122797	171201	121453
75	73	0	0	0	0	6157
76	74	47302	94011	127599	46593	324293
77	75	5379	52630	183398	49679	42248
78	76	571140	404508	2283048	299583	747393
79	77	74924	246881	10036	10667	129055
80	78	3940085	2613855	2552179	2448309	2919320
81	79	1426760	1203199	18320541	9770590	1256848
82	80	4265189	5647453	21067183	3573590	3915195
83	81	226307	165710	2107042	847548	489484
84	82	2615785	1148324	2249294	205463	271825
85	83	2376045	1968951	44011448	16657511	21348952
86	84	5424108	45227616	63944226	41149520	51160891

그림 5. 산업연관표 예시

산업연관분석법은 산업간에 금전적인 거래관계가 이루어질 때 자원도 함께 이동한다고 가정하고, 산업연관표를 활용하여 산업 사이에 흐르는 에너지나 자원의 흐름을 분석하는 것이다. 즉, 산업연관표의 형식을 확장하여 산업 차원이 아닌 자연환경에서 해당 산업으로의 투입(자원 채취)이나 해당 산업으로부터 자연환경으로의 산출(폐기물, 오염물질의 배출)까지 포함한 물량 단위의 투입 산출표를 작성함으로써 환경 문제로의 응용이 가능하다는 개념이다. 따라서, 제품이나 서비스에 투입되는 모든 원자재 및 공정에 대해 각각 LCA 분석을 행하기 어려운 경우에 이 분석방법을 활용하게 되면 환경부하에 대한 분석이 좀 더 용이해진다. <그림 6>은 산업연관분석법을 활용하여 부문별 에너지소비량과 CO2 배출량을 산출한 사례이다. 그림에서 알 수 있듯이 단위생산량(백만원) 당 투입되는 에너지소비량과 CO2

배출량이 산출되어 있다.

단위기준별 에너지소비량 및 CO2배출 원단위 (2000년도, (t-A)-1)		에너지소비량	CO2배출량	비고
CODE	부분명칭	단위	단가	비고
00380100	보통	kg	8	0.110 0.000001
00380200	차관	kg	7	0.110 0.000001
00100000	회석	kg	6	0.360 0.000002
00110100	화강암	kg	11	0.62 0.000007
00110200	대리석	kg	45	0.62 0.000028
00420100	인회석	kg	8	0.325 0.000003
00430100	교란물	kg	39	0.233 0.000009
00130200	양자 인규석	kg	21	0.233 0.000005
00450100	천면	kg	354	0.364 0.000179
00450500	촉진	kg	160	0.364 0.000060
00450600	장교	kg	24	0.364 0.000009
0180101	간격	m3	83	0.177 0.000015
0180102	관	kg	14	0.177 0.000002
0180103	소관	kg	62	0.177 0.000011
0180200	가공부재	kg	1,205	0.177 0.000213
0180300	유도선	kg	162	0.177 0.000029
0190100	방수유환	kg	791	0.220 0.000174
0190200	방수유환	kg	8	0.220 0.000002
0190300	방수	kg	9	0.220 0.000002
01200100	제방부재	kg	604	0.417 0.000252
01200200	강화부재	kg	1,115	0.417 0.000178
01210100	방수유환	kg	20	0.271 0.000005
01210200	방수유환	kg	1,351	0.271 0.000367

그림 6. 산업연관분석법을 활용한 환경부하 분석 사례 (출처 : 건설교통부 (2004). 건축물의 LCA를 위한 원단위 작성 및 프로그램 개발 연구)

3. 국내 환경부하 측정도구 개발 현황

국내에서는 대부분 정부 주도로 환경부하를 측정하기 위한 도구 개발이 이루어지고 있다. 현재 산업자원부, 환경부, 건설교통부에서 환경부하 측정도구 개발이 진행되고 있다. 먼저, 산업자원부 산하 한국생산기술연구원 국가청정연구지원센터에서는 '국가 LCI 종합정보망 (<http://www.kncpc.re.kr/lci/index.asp>)'을 구축하고, LCI 데이터베이스와 LCA 수행 소프트웨어인 'PASS (Product Assessment for Sustainable Solutions)'를 개발하여 무료로 배포하고 있다. 국가청정연구지원센터의 LCI 데이터베이스에는 국가기반산업에 해당하는 에너지, 수송 및 범용성이 높은 원료물질(석유화학, 철금속, 비철금속 등), 가공공정, 폐기공정 등의 전과정에 대하여 투입물 및 산출물을 종합하여 정량화한 데이터가 수록되어있다. 다음으로, 환경부 산하 친환경상품진흥원에서는 재료 및 제품의 환경성적표지 인증을 위해 LCA를 요구하고, 이를 지원하는 환경성적표지 전용 LCA 프로그램으로서 'TOTAL (Tool for Type III Labelling and LCA)'를 개발하였다. 건설교통부 산하 한국건설기술연구원에서는 '건축물 LCA(Life Cycle Assessment, 전과정평가)를 위한 원단위 작성 및 프로그램 개발연구' 결과로서 산업연관분석법을 이용한 건설자재생산단계의 LCI 구축방안을 설정하고 DB를 구축하였다. 2000년 산업연관표를 기준으로 볼 때, 404개 부문의 전체 산업부문에 대해서, 세부적으로는 346개 부문의 건설자재에 대해서, 에너지소비량 및 CO2배출량을

원단위로 산출하였다. 또한, 건축물 LCA를 위한 프로그램인 'KLCA(K-Life Cycle Assessment)'를 개발하였다.

4. 기존 환경부하 측정도구 활용의 한계

정부의 주도적인 노력으로 다양한 산업분야에 적용할 수 있는 환경부하 측정도구가 개발되어 일부 사용되고 있지만 건설산업에서 이들 도구들을 활용하여 객관성 있는 환경부하를 측정하기에는 아직까지 한계가 있다. 먼저 건설자재 LCI 측면의 한계를 살펴보자. 인지하는 바와 같이 건설공사는 1건의 건설프로젝트를 수행하는데 수백수천가지의 자재가 투입된다. 그러나 기초소재 및 기반산업 위주의 306개 모듈 중 건축분야 모듈이 22개(형강, 철근, 모래, 레미콘, 타일, 합판 등)에 불과하여, 현재까지 건설자재에 대한 LCI 자료가 터무니없이 부족한 상황이다. 다음으로 생산과정의 다양성으로 인한 한계를 살펴보자. 건설공사는 같은 종류의 공사를 수행하는데도 생산시스템이 다양한 특성을 가지므로, 모든 생산시스템에 대해 LCI 데이터를 작성하는 것 자체가 불가능하다고 판단된다. 또한, 산업연관표를 활용한 환경부하 측정도구의 경우 역시, 건설자재 생산과정상의 투입 에너지와 CO₂ 등의 온실가스 발생량을 개략적으로 파악할 수 있지만, 시공단계(생산시스템)상의 환경부하는 객관적인 자료를 얻기가 어렵다. 환경부하는 같은 사양의 제품이나 서비스라고 할지라도 생산시스템이 다르면 상이한 결과를 나타내므로 외국의 LCI 자료를 사용하는 것도 쉽지 않다.

5. 맺음말

서두에서 언급한 국내외적 환경보호정책에 대처하는 것은 물론 친환경성에 대한 소비자의 요구에 부응하기 위해서라도 친환경적인 생산시스템을 구축할 필요성이 있다. 환경부하 측정은 이러한 친환경적 생산시스템을 검증하는 도구라고 할 수 있다. 그러나 앞서 살펴보았듯이 현재 건설산업 관련 환경부하를 보다 객관적이고 정량적으로 측정하는 데에 한계가 있음을 알 수 있었다. 이러한 한계를 극복하기 위해서는 먼저, 건설자재에 대한 LCI 자료가 축적되어야 할 것이고, 이를 위해서 건설관련 자재 생산업체에서 각각의 자재생산 시 LCA를 수행하여 LCI 자료를 제공한다면 보다 효과적으로 자료를 축적할 수 있을 것으로 보인다. 또한, 생산시스템 측면의 LCI 구축을 위해서 건설공사 종류별로 대표적인 생산시스템이 정의된다면 이를 기반으로 LCI를 구축할 수 있을 것이다. 이와 더불어 다양한 생산시스템에 대한 LCA 수행이 가능하도록 지원하는 환경부하 측정도구의 개발

이 진행되어야 할 것이다.

건설산업의 친환경적 생산시스템 구축에 대한 요구는 이미 선택사항이 아닌 의무사항이라고 해도 과언이 아니다. 친환경적 생산시스템 구축을 위해 정부차원에서 정책적인 방향을 제시하는 역할을 한다면, 건설관련 기업이나 학계 차원에서는 실질적인 환경부하 저감방안 및 환경부하 측정방안을 개발·활용하는 역할을 맡아야 할 것이다. 이러한 측면에서 친환경적 건설산업 생산시스템 구축에 대한 다양한 한계를 인식하고 개발방향을 공유한다면, 국내외적 요구에 보다 효과적으로 대처할 수 있을 것이다.

(상기 내용은 2005년도 과학기술부 우수연구센터육성사업의 지원센터인 "친환경건축 기술혁신 연구센터"에 소속된 아주대학교 건설관리연구실에서 수행 중인 "친환경건축 폐기물 처리 및 재활용시스템 기술개발"의 연구내용 중 일부를 재구성한 것임을 밝힙니다.)