

국내 주거 단지에 대한 전과정 환경영향 분석

최두성¹ · 전흥찬* · 조균형²

¹청운대학교 건축소방설비학과 · ²수원대학교 건축공학과

Analysis regarding the Environmental Impact of the Life Cycle of Housing Complexes in Korea

Choi, Doo-Sung¹, Jeon, Hung-Chan*, Cho, Kyun-Hyong²

¹Department of Building Equipment & Fire Protection System, Chungwoon University

²Department of Architectural Engineering, Suwon University

Abstract : This study on condominium complex will adopt the quantitative assessment of the influence on the environment throughout the entire life cycle of buildings. This paper applies input-output analysis in order to analyse embodied energy regarding input of materials at material production phase. Also, it calculates environment load at use and demolition and destruction Phases of buildings as analysing energy consumption. The study categorises environment load as six impact categories and undertakes environmental impact evaluation. The consequence shows that the environment load of multi-unit dwelling takes up 88.2% out of the entire environment load of condominium complex. Also, as a result of analyzing the environmental impact of the life cycle of condominium buildings, it was found that such environmental impact comprised of about 11.96% of all industries in Korea that had an environmental impact.

Keywords : Life Cycle Assessment, Input-Output Analysis, Embodied Energy, Environmental Impact Assessment Methodology

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 필리핀을 강타한 슈퍼태풍 하이옌 및 미국 한파 등 환경 문제로 인한 기후변화는 더 이상 선택이 아닌 인류의 생존문제로 나타나고 있다. 이와 같은 환경 문제에 대한 대응은 더 이상 한 나라의 정책이 아닌 기후 변화협약과 같은 국제적인 공동의 관리체계 강화로 나타나고 있으며, 기후변화를 발생시키는 주요 요인인 화석연료의 사용에 따른 온실가스 등을 정량적으로 관리하기 위한 정책의 강화와 함께 관련된 연구의 수행을 촉진시키고 있다.

대표적으로 제품·제조공정 및 서비스를 포함한 특정 산업이 환경에 미치는 영향을 평가하기 위한 방법으로 국제표준화기구(International Organization for

Standardization, ISO)에서 제시하고 있는 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)가 있다.

특히 건축물의 경우 전 세계 에너지소비에 절대적인 영향을 끼치는 만큼 건축물에 대한 LCA 연구가 활발히 진행되고 있다. 국내 건축물에 대한 LCA 연구로는 건축자재가 가지는 잠재적인 에너지소비 즉, 내재에너지(Embodied energy)에 대한 탄소배출량을 정량화(원단위 데이터베이스)하는 즉, Life Cycle Inventory Database를 구축하는 개인연구(Kim et al. 2004, Lee et al. 2010) 및 국가적인 차원에서 관리하는 연구(www.edp.or.kr), 건축물을 대상으로 하는 LCA 수행은 분석 시 시간, 비용 등 많은 물리적인 제약에 따라 평가범위를 단순화하여 수행하는 단순화기법에 관련된 연구(Woo et al. 2010, Choi et al. 2013)가 수행되고 있다. 이 외에도 특정 건물유형에 대한 LCA 사례분석을 수행하는 연구(Lee et al. 2004), LCA 프로그램을 개발하는 연구(Lee et al. 2002, Jeong et al. 2008, Keum et al. 2012) 또한 수행되고 있다.

하지만 대부분의 연구가 환경에 미치는 영향을 평가하기 보다는 탄소배출량 혹은 지구온난화에 한정된 연구만을 수행하고 있으며, 이 역시도 다수의 분석이 아

* Corresponding author: Jeon, Hung-Chan, Department of Architectural Engineering, Suwon University, Hwaseong-si 445-743, Korea

E-mail: chun4575@nate.com

Received March 12, 2014; revised June 11, 2014

accepted July 28, 2014

년 단일 사례만을 대상으로 수행하고 있어 실질적으로 환경에 어느 정도 영향을 미치는지 평가하기가 어려운 실정이다.

한 대상 건물이 환경에 미치는 영향을 평가하기 위해서는 다수의 사례에 대한 분석이 수반되어야 하며, 또한 탄소배출량 등외에도 다양한 환경부하를 고려하여 통합적인 환경영향이 평가되어야 한다.

이에 건축물 중 주거환경의 대다수를 차지하고 있는 공동주택 단지가 전과정(Life Cycle) 동안 환경에 미치는 영향을 평가하기 위해 산업연관분석 활용하여 다수의 사례를 분석하였다. 다양한 환경부하를 고려한 영향평가를 수행하였으며, 이를 통해 공동주택 단지가 환경에 미치는 영향을 정량적으로 산출하는 것을 목표로 하였다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 국내 건축물 중 공동주택 단지를 대상으로 LCA를 이용하여 전과정 동안 소비되는 에너지량을 산출하여 환경에 미치는 영향을 정량적으로 산출하였다 (Fig. 1).

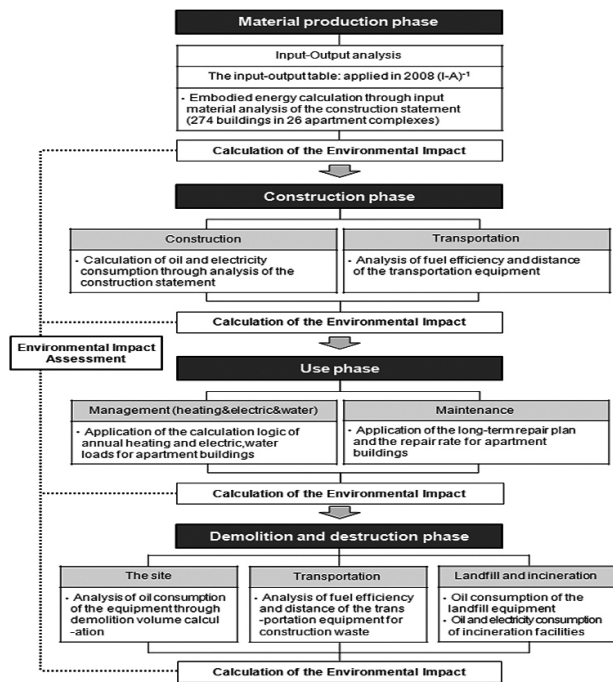


Fig. 1. Building energy consumption calculating method

Fig. 1에 나타나는 바와 같이, 자재생산단계의 경우 공동주택 단지를 구성하는 투입자재에 대한 내재에너지 산출을 위해 공사내역서에 제시되고 있는 자재비용을 분석하였으며, 여기에 2008 산업연관표의 생산유발계수를 기준하여 산업연관분석을 수행한다.

시공단계는 공사내역서의 투입장비를 분석 하여 공사에 활용되는 장비에 대한 에너지 소비량을 산출한다.

사용단계는 공동주택 단지의 수명 동안 소모되는 에너지 소비량을 산출하였으며, 교체·수선의 경우 공동주택의 연식에 따라 재투입되는 자재에 대한 내재에너지를 산출한다.

해체 및 폐기단계의 경우 건물 해체 과정에 투입되는 장비에 대한 에너지 소비량 및 폐기물 운송·처리에 투입되는 에너지소비량을 산출한다.

2. 전과정영향평가

2.1 LCA 개요

환경영향을 평가할 수 있는 방법으로는 국제규격 ISO14000에 근간을 두고 있는 LCA가 널리 적용되고 있다. LCA는 제품 전과정에서 걸쳐 관련된 모든 투입물과 산출물에 대한 목록을 작성하고 이들과 연관된 잠재적인 환경영향을 평가하기 위한 방법으로 정의된다(ISO 2006).

ISO에서 제시하는 LCA 방법은 목표 및 범위 설정 (Goal and Scope Definition), 전과정목록분석(LCI, Life Cycle Inventory analysis), 전과정영향평가(LCIA, Life Cycle Impact Assessment), 해석(Interpretation)의 총 4단계로 구성되어 있다.

2.2 투입·산출물의 정의

투입·산출물을 정의하는 것은 LCA 중 목표 및 범위 설정 단계에 해당하며, 이에 따라 자료수집, 분석방법, 결과 등이 달라지기 때문에 명확히 정의해야 한다.

본 연구에서의 투입물은 공동주택 단지에서 소비되는 에너지원으로 정의하며 투입자재의 경우 내재에너지를 포함하며, 산출물의 경우 투입물에 대한 환경부하와 영향범주에 따른 환경영향으로 정의한다.

본 연구에서 각 시스템 단계별 투입물(에너지원) 및 산출물(환경부하)에 대한 원단위(E-f.u)를 다음 Table 1에 나타낸다.

2.3 목록분석 방법론

투입 및 산출물을 정량화하는 LCI 단계는 크게 개별적산법과 산업연관분석법이 있는데, 이중 개별적산법의 경우 한 제품이 만들어지기 위해 투입되는 모든 물질의 종류와 양, 그리고 투입되는 물질에 따라 배출되는 환경부하와 부산물 등을 일련의 생산 공정도를 추정하여 분석하는 방법으로 신뢰도가 높긴 하나 건축물과 같이 수많은 자재로 구성되어있는 경우 적용하기가 어려운 단점이 있다. 반면 산업연관분석법은 산업연관

Table 1. Input and output materials of system phases

Category	Unit (E-f.u)	Material production phase	Construction phase		Use phase		Demolition and destruction phase				Impact category	
			Construction	Transportation	Management	Maintenance	Demolition	Transportation	Landfill	Incineration		
Input energy	Anthracite	kg	●	-	-	-	●	-	-	-	-	Inanimate resource depletion
	Bituminous	kg	●	-	-	-	●	-	-	-	-	
	LNG	m ³	●	-	-	●	●	-	-	-	-	
	Gasoline	ℓ	●	●	●	-	●	-	-	-	-	
	Jet Fuel	ℓ	●	-	-	-	●	-	-	-	-	
	Kerosene	ℓ	●	-	-	-	●	-	-	-	-	
	Diesel	ℓ	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
	Fuel Oil	ℓ	●	-	-	-	●	-	-	-	-	
	LPG	kg	●	-	-	-	●	-	-	-	-	
Electric power	kWh	-	●	-	●	-	-	-	-	●		
Environmental load	CO	g-CO	●	●	●	●	●	●	●	-	●	Creation of photochemical oxidants
	CO ₂	g-CO ₂	●	●	●	●	●	●	●	-	●	Global warming
	SO _x	g-SO _x	●	●	●	●	●	●	●	-	●	Creation of photochemical oxidants, Acidification, Human toxicity
	NO _x	g-NO _x	●	●	●	●	●	●	●	-	●	Creation of photochemical oxidants, Acidification, Eutrophication, Human toxicity
	NH ₃	g-NH ₃	●	●	-	●	●	●	-	-	●	Acidification, Eutrophication
	CH ₄	g-CH ₄	-	-	-	-	-	-	-	●	-	Global warming

표를 이용하여 시스템영역으로의 투입·산출물량을 광범위한 범위에서 간접·추계 할 수 있는 방법으로, 산업연관표에 제시된 산업구조와 생산 활동이 단순·평균화 되어있는 단점이 존재하긴 하나, 분석시스템영역이 광범위하고 시스템으로의 복잡한 투입·산출 구조를 나타내는 산업분야의 적용에 유리하다는 장점이 있으며(The Bank of Korea 2009), 특히 건축물과 같이 수많은 건축 부자재에 대한 에너지소비량 및 환경부하량을 짧은 시간 내에 파악할 수 있는 특징이 있다.

2.4 영향평가 방법론

LCIA 단계는 LCI 결과를 이용하여 각 환경부하에 대한 통합적인 환경영향을 평가하는 단계로, 분류화·특성화·정규화를 거쳐 최종적으로 가중치를 부여하여 나타낸다.

본 연구에서는 다음 Fig. 2와 같이 LCIA 수행을 위해 9종류의 자원 및 6종류의 환경부하를 고려하여 지구온

난화 외에도 무생물자원고갈, 광화학산화물생성, 산성화, 부영양화 및 인간독성의 6가지 영향범주 분류하였으며, 각 영향범주별 환경영향에 대하여 특성화 및 정규화, 가중치계수를 적용하여 최종 환경영향 평가를 수행하였다.

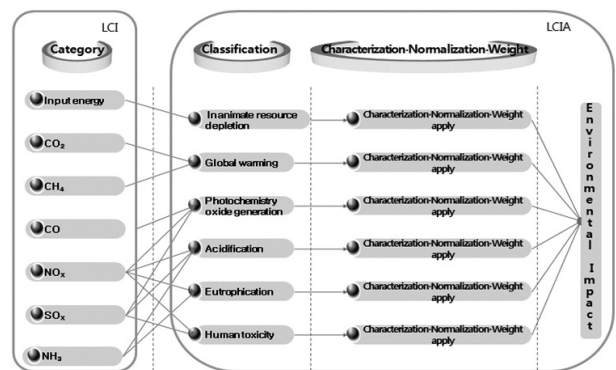


Fig. 2. LCIA calculation process

3. 환경영향 분석 결과

3.1 분석단지 개요

본 연구의 분석 범위는 2008-2009년에 토지주택공사를 통해 설계·시공된 공동주택 27단지를 대상으로 전과정 동안의 에너지 소비에 따른 환경에 미치는 영향을 산출하였다.

토지주택공사에서 공사내역서 상 분류하고 있는 공동주택 단지의 구성은 공동주택 건물, 지하주차장, 복지시설, 판매시설, 기타시설로 되어 있으며, 그 외에 공통으로 적용되는 옥내·외, 공통가설 및 토목·조경공사로 구성되어 있는 것으로 분석되었다.

다음 Table 2에 분석 대상인 공동주택 단지의 개요를 정리하여 나타낸다.

3.2 환경부하에 따른 영향평가 결과

앞서 영향평가 방법론에 의해 각 환경부하 항목들이

각각의 영향범주에 미치는 환경영향을 정량화하였다. 특성화의 경우 특성화계수(EIA 2002)에 에너지원별 생산수율(www.petronet.co.kr)을 적용하여 산출하였으며, 정규화계수는 EDIP방법(Henrik et al. 1997)과 같이 범지구적 영향범주는 세계를 지리적 경계로 하고 지역적, 국지적 영향범주는 국가를 지리적 경계로 하여 자료를 수집하여 인구당량을 표시하는 방법을 선택하였다. 가중치는 영향범주별로 산출된 환경영향을 전체 시스템의 환경영향으로 전환하는 과정인 만큼 저감계수(Reduction Factor)와 상대중요도계수(Relative Significance Factor)를 곱한 수치를 적용하였다.(Lee et al. 1999) 이중 저감계수는 환경목표에 의한 저감계수로 범지구적 영향범주는 국제적 정책목표를, 그 외의 영향범주는 국내 정책 목표를 고려한 것이며, 상대중요도계수는 하나의 영향범주가 다른 영향범주들에게 비교되었을 때의 상대적인 중요도를 적용하였다.

Table 2. Information on the analyzed Condominium complexes

Category	Complex location	Land area(m ²)	Total Floor area (m ²)					No. of buildings
			Condominium buildings	Underground parking	Welfare facilities	sales facility	Other Facilities	
1	Seonwoon-dong, Gwangju city	50,771	65,635	29,365	1,424	492	749	11
2	Hak-dong, Gwangju city	44,363	89,148	15,273	911	929	569	8
3	Dang-dong, Gunpo city	36,593	73,652	27,871	1,298	376	1,076	9
4	Gyo-dong, Kimjae city	27,061	39,938	3,687	620	191	283	8
5	Toegye-dong, Chuncheon city	41,404	70,546	34,198	1,836	204	342	10
6	Noeun-dong, Daejeon city	23,934	36,446	10,149	797	358	545	7
7	Jisa-dong, Busan city	44,115	59,760	13,939	1,159	486	344	8
8	Yonghyun-myun, Sacheon city	32,093	41,045	9,312	1,054	453	287	8
9	Maetan-dong, Suwon city	48,482	68,104	16,007	1,270	542	682	9
10	Eooi-dong, Suwon city	43,224	52,680	27,835	803	148	560	11
11	Homaesil-dong, Suwon city	35,702	60,699	12,703	1,044	288	749	11
12	Gwanyang-dong, Anyang city	51,939	106,162	16,181	1,007	183	502	13
13	Gacheon-li, Yangsan city	33,383	45,658	10,840	1,035	228	306	8
14	Mangjeong-dong, Yongcheon city	24,196	39,974	7,561	874	159	486	8
15	Seocheon-dong, Yongin city	29,019	45,671	7,396	577	224	486	8
16	Bangeo-dong, Ulsan city	32,276	56,336	18,719	1,229	641	57	8
17	Poil-dong, Uowang city	26,039	39,725	11,496	779	460	404	7
18	Seochang-dong, Incheon city	82,827	76,944	33,837	1,916	854	967	13
19	Seochang-dong, Incheon city	67,996	97,507	27,929	88	766	550	17
20	Woonseo-dong, Incheon city	41,481	45,355	19,636	1,294	337	570	8
21	Woonseo-dong, Incheon city	32,160	44,446	23,514	1,375	353	640	8
22	Cheongra-dong, Incheon city	88,040	136,420	50,055	1,458	932	1,075	22
23	Pyunggeo-dong, Jinju city	43,551	73,668	21,992	1,577	537	369	13
24	Byukam-dong, Jincheon city	27,276	37,831	3,289	1,361	196	69	8
25	Bonglim-dong, Changwon city	39,390	65,810	9,194	878	536	348	9
26	Bonglim-dong, Changwon city	34,550	48,999	18,831	1,830	287	532	11
27	Woonjeong-dong, Paju city	54,701	82,170	18,340	1,475	666	305	13

Table 3. LCIA output results

Impact category	List	environmental load	Characterization coefficient	Characterization value	Normalization coefficient	Normalization value (PE · yr)	Weight	environmental impact (PE · yr)
		a	b	a × b = c	d	c ÷ d = e	f	e × f = g
Inanimate resource depletion	Anthracite	1.00E+00 (g-E)	4.61E-03 (/yr)	4.61E-03 (g-E/yr)	2.49E+04 (g-E/PE.yr2)	1.85E-07	2.31E-01	4.28E-08
	Bituminous	1.00E+00 (g-E)	4.61E-03 (/yr)	4.61E-03 (g-E/yr)	2.49E+04 (g-E/PE.yr2)	1.85E-07	2.31E-01	4.28E-08
	LNG	1.00E+00 (g-E)	1.67E-02 (/yr)	1.67E-02 (g-E/yr)	2.49E+04 (g-E/PE.yr2)	6.71E-07	2.31E-01	1.55E-07
	Gasoline	1.00E+00 (g-E)	2.04E-03 (/yr)	2.04E-03 (g-E/yr)	2.49E+04 (g-E/PE.yr2)	8.19E-08	2.31E-01	1.89E-08
	Jet Fuel	1.00E+00 (g-E)	1.61E-03 (/yr)	1.61E-03 (g-E/yr)	2.49E+04 (g-E/PE.yr2)	6.47E-08	2.31E-01	1.49E-08
	Kerosene	1.00E+00 (g-E)	2.36E-03 (/yr)	2.36E-03 (g-E/yr)	2.49E+04 (g-E/PE.yr2)	9.48E-08	2.31E-01	2.19E-08
	Diesel	1.00E+00 (g-E)	6.11E-03 (/yr)	6.11E-03 (g-E/yr)	2.49E+04 (g-E/PE.yr2)	2.45E-07	2.31E-01	5.67E-08
	Fuel Oil	1.00E+00 (g-E)	6.03E-03 (/yr)	6.03E-03 (g-E/yr)	2.49E+04 (g-E/PE.yr2)	2.42E-07	2.31E-01	5.59E-08
	LPG	1.00E+00 (g-E)	9.19E-04 (/yr)	9.19E-04 (g-E/yr)	2.49E+04 (g-E/PE.yr2)	3.69E-08	2.31E-01	8.53E-09
	Electric power	1.00E+00 (kWh)	1.02E+00 (g-E/yr · kWh)	1.02E+00 (g-E/yr)	2.49E+04 (g-E/PE.yr2)	4.10E-05	2.31E-01	9.46E-06
Global warming	CO2	1.00E+00 (g-CO2)	1.00E+00 (gCO2-eq/g-CO2)	1.00E+00 (gCO2-eq)	5.53E+06 (g-CO2-eq/PE.yr)	1.81E-07	2.88E-01	5.21E-08
	CH4	1.00E+00 (g-CH4)	2.10E+01 (gCO2-eq/g-CH4)	2.10E+01 (gCO2-eq)	5.53E+06 (g-CO2-eq/PE.yr)	3.80E-06	2.88E-01	1.09E-06
Photochemistry oxide generation	CO	1.00E+00 (g-CO)	2.70E-02 (gC2H4-eq/g-CO)	2.70E-02 (gC2H4-eq)	1.03E+04 (g-C2H4-eq/PE.yr)	2.62E-06	6.50E-02	1.70E-07
	NOX	1.00E+00 (g-NOX)	2.80E-02 (gC2H4-eq/g-NOX)	2.80E-02 (gC2H4-eq)	1.03E+04 (g-C2H4-eq/PE.yr)	2.72E-06	6.50E-02	1.77E-07
	SOX	1.00E+00 (g-SOX)	4.80E-02 (gC2H4-eq/g-SOX)	4.80E-02 (gC2H4-eq)	1.03E+04 (g-C2H4-eq/PE.yr)	4.66E-06	6.50E-02	3.03E-07
Acidification	NOX	1.00E+00 (g-NOX)	7.00E-01 (gSO2-eq/g-NOX)	7.00E-01 (gSO2-eq)	1.31E+04 (g-SO2-eq/PE.yr)	5.34E-05	3.60E-02	1.92E-06
	SOX	1.00E+00 (g-SOX)	1.00E+00 (gSO2-eq/g-SOX)	1.00E+00 (gSO2-eq)	1.31E+04 (g-SO2-eq/PE.yr)	7.63E-05	3.60E-02	2.75E-06
	NH3	1.00E+00 (g-NH3)	1.88E+00 (gSO2-eq/g-NH3)	1.88E+00 (gSO2-eq)	1.31E+04 (g-SO2-eq/PE.yr)	1.44E-04	3.60E-02	5.17E-06
Eutrophication	NOX	1.00E+00 (g-NOX)	1.30E-01 (gPO4-3-eq/g-NOX)	1.30E-01 (gPO4-3-eq)	1.31E+04 (g-PO4-3-eq/PE.yr)	9.92E-06	3.80E-02	3.77E-07
	NH3	1.00E+00 (g-NH3)	3.50E-01 (gPO4-3-eq/g-NH3)	3.50E-01 (gPO4-3-eq)	1.31E+04 (g-PO4-3-eq/PE.yr)	2.67E-05	3.80E-02	1.02E-06
Human toxicity	NOX	1.00E+00 (g-NOX)	1.20E+00 (g1.4DCB-eq/g-NOX)	1.20E+00 (g1.4DCB-eq)	1.48E+06 (g-DCB-eq/PE.yr)	8.11E-07	1.05E-01	8.51E-08
	SOX	1.00E+00 (g-SOX)	9.60E-02 (g1.4DCB-eq/g-SOX)	9.60E-02 (g1.4DCB-eq)	1.48E+06 (g-DCB-eq/PE.yr)	6.49E-08	1.05E-01	6.81E-09

위 Table 3에 환경부하량에 따른 환경영향 비율 산출 결과를 나타낸다.

3.3 공동주택 단지 전생애 환경영향 평가 결과

3.3.1 자재생산단계 평가 결과

자재생산단계의 경우 공사내역서 상 제시되고 있는 자재비용에 대하여 산업연관분석을 수행하였으며, 총 27단지 평균 단위면적(㎡)당 환경에 미치는 영향을 분석한 결과를 다음 Table 4에 나타낸다.

투입자재에 대한 분석결과 공동주택 단지를 구성하는 시설 중 공통부분(옥·내외, 공통가설, 토목 및 조경)을 제외한 나머지 시설 모두 건축공사의 비율이 가장 크게 나타났으며, 지하주차장의 경우 96.4%가 건축공사로 분석되었다. 단위면적(㎡)당 환경영향 평가 결과는 판매 시설, 기타시설, 복지시설, 지하주차장, 공동주택 건물, 공통부분 순으로 분석되었다.

Table 4. Average environmental impact in material production phase (pe · yr/m²)

Category	Building	Mechanic	Electric & communication	Civil	Landscape	Total
Condominium buildings	2.62E-02	3.91E-03	9.89E-04	-	-	3.11E-02
	84.25%	12.57%	3.18%	-	-	
Underground parking	3.25E-02	9.16E-04	3.04E-04	-	-	3.37E-02
	96.38%	2.72%	0.90%	-	-	
Welfare facilities	2.97E-02	3.51E-03	1.92E-03	-	-	3.51E-02
	84.52%	10.00%	5.48%	-	-	
Sales facilities	5.06E-02	1.62E-03	1.90E-03	-	-	5.41E-02
	93.50%	3.00%	3.51%	-	-	
Other Facilities	4.88E-02	1.51E-03	3.81E-04	-	-	5.07E-02
	96.28%	2.97%	0.75%	-	-	
Common part	8.43E-05	6.17E-04	6.97E-04	2.92E-03	1.73E-03	6.05E-03
	1.39%	10.21%	11.52%	48.28%	28.60%	

※ Unit area standard : Total floor area of each facility but, Common part is land area.

3.3.2 시공단계 평가 결과

시공단계는 공사내역서의 투입장비를 분석 하여 공사에 활용되는 장비에 대한 에너지 소비량을 산출하여 환경영향을 평가하였다. 단, 유류소비량의 경우 공사내역서의 경우 직접적인 유류소비량이 제시되지 않고 있는 바, 내역서의 일위대기코드를 분석하여 자재비 및 인건비를 제외한 공사경비를 활용하여 장비의 유류소비량을 산출하였으며, 전력소비량의 경우 실제 현장에서의 전력소비량을 조사하여 산출하였다.

다음 Table 5에 27단지 평균 시공단계 단위면적(m²)당 환경영향 산출 결과를 나타낸다.

Table 5. Average environmental impact in construction phase(pe · yr/m²)

Category	Diesel	Gasoline	Electric power	Total
Condominium buildings	4.86E-04	1.60E-05	-	5.02E-04
	96.81%	3.19%	-	
Underground parking	1.01E-03	4.00E-05	-	1.05E-03
	96.19%	3.81%	-	
Welfare facilities	1.25E-03	4.78E-05	-	1.30E-03
	96.33%	3.67%	-	
Sales facilities	6.94E-04	3.32E-05	-	7.27E-04
	95.44%	4.56%	-	
Other Facilities	1.16E-03	4.17E-05	-	1.20E-03
	96.53%	3.47%	-	
Common part	6.98E-05	3.68E-06	4.38E-04	5.11E-04
	13.66%	0.72%	85.62%	

※ Unit area standard : Diesel&Gasoline is total floor area of each facility but, Common part is land area. Electric power is land area.

시공단계의 경우 건설장비 대부분이 경유를 사용하는 만큼 환경영향 산출 결과 또한 경유가 가장 크게 나타났으며, 상대적으로 소규모로 이루어진 복지시설, 기타 시설에서 단위면적(m²)당 환경영향이 큰 것으로 분석되었다. 특히 지하주차장의 경우 투입자재에서의 환경영향은 공동주택 건물과 큰 차이를 보이지 않았으나, 시공과정에서의 환경영향은 약 2배가량 차이를 보이는 것으로 분석되었다.

3.3.3 사용단계 평가 결과

사용단계의 경우 공동주택 건물 외 타 시설에 대한 에너지 소비량 산출이 어려운 바, 공동주택 건물만을 대상으로 산출하였으며, 국내 공동주택의 법적 재건축 연한을 고려하여 건물의 수명을 30년으로 가정하여 산출하였다. 또한 교체·수선의 경우 공동주택의 연식에 따라 재투입되는 자재에 대한 내재에너지를 통해 산출하였다.

다음 Table 6에 27단지 평균 사용단계 단위면적(m² · 30yr)당 환경영향 산출 결과를 나타낸다.

Table 6. Average environmental impact in use phase(pe · yr/m² · 30yr)

Category	Heating	Hot water supply	Electric power	Maintenance	Total
Condominium buildings	3.68E-02	1.49E-02	3.23E-02	4.02E-03	8.80E-02
	41.83%	16.90%	36.70%	4.56%	

※ Unit area standard : Total floor area of Condominium buildings.

사용단계 분석 결과 건물의 난방을 하는 과정에서 환경에 미치는 영향이 41.8%로 가장 크게 나타났으며, 전기, 급탕, 유지보수에 투입되는 내재에너지 순으로 크게 분석되었다. 특히 건물의 수명을 30년으로 가정한 만큼 난방과 전기 사용만으로도 공동주택 전과정 동안 환경에 미치는 영향 중 반수 이상을 차지하는 것으로 나타났으며, 건물의 수명이 길어질수록 설비의 효율이 떨어지는 점을 감안한다면 더 높은 영향을 차지할 것으로 판단되었다.

3.3.4 해체 및 폐기단계 평가 결과

해체 및 폐기단계의 경우 투입자재가 전량 폐기물로 발생한다는 가정 하에 폐기물량을 산출하였으며, 이를 통해 건물 해체 과정에 투입되는 장비에 대한 에너지 소비량 및 폐기물 운송·처리에 투입되는 에너지소비량을 산출하여 환경영향을 평가하였다.

다음 Table 7에 27단지 평균 해체·폐기단계 단위면적(m²)당 환경영향 산출 결과를 나타낸다.

Table 7. Average environmental impact in demolition and destruction phase($pe \cdot yr/m^2$)

Category	Demolition	Transportation	Intermediate treatment	Landfill	Incineration	Total
Condominium buildings	4.62E-05	3.62E-06	7.74E-05	4.63E-08	4.69E-05	1.74E-04
	26.54%	2.08%	44.44%	0.03%	26.91%	
Underground parking	5.23E-05	4.23E-06	9.45E-05	4.72E-08	2.58E-05	1.77E-04
	29.56%	2.40%	53.43%	0.03%	14.58%	
Welfare facilities	4.99E-05	3.65E-06	8.59E-05	4.72E-08	4.55E-05	1.85E-04
	26.99%	1.97%	46.44%	0.03%	24.57%	
Sales facilities	7.68E-05	5.68E-06	1.04E-04	5.74E-08	7.41E-05	2.60E-04
	29.49%	2.18%	39.86%	0.02%	28.45%	
Other Facilities	5.87E-05	4.81E-06	8.83E-05	6.06E-08	7.27E-05	2.25E-04
	26.16%	2.14%	39.31%	0.03%	32.36%	
Common part	3.70E-06	2.53E-07	7.74E-06	5.09E-09	6.56E-06	1.83E-05
	20.26%	1.39%	42.39%	0.03%	35.93%	

* Unit area standard : Diesel&Gasoline is total floor area of each facility but, Common part is land area. Electric power is land area.

해체 및 폐기단계 분석 결과 시설별로 가장 편차가 크게 나타난 소각단계는 시설별로 소각에 포함되는 자재(폐목재, 폐섬유 등)에 차이에 의한 것으로 분석되었으며, 특히 지하주차장의 경우 소각이 가능한 자재가 타 시설에 비해 상대적으로 적게 나타나는 만큼 투입자재 대비 환경에 미치는 영향이 가장 적은 것으로 분석된다.

전 시설에서 환경에 미치는 영향이 크게 나타난 중간 처리과정의 경우 폐기물의 분류 및 순환골재를 생성하는 작업으로 대형장비의 사용이 많아 에너지 및 전기 사용량이 크기 때문으로 분석되었다.

3.3.5 공동주택 단지 총 환경영향 평가 결과

다음 Fig. 3에 총 27 단지에 대한 환경영향 평가 결과를 도식화하여 나타낸다.

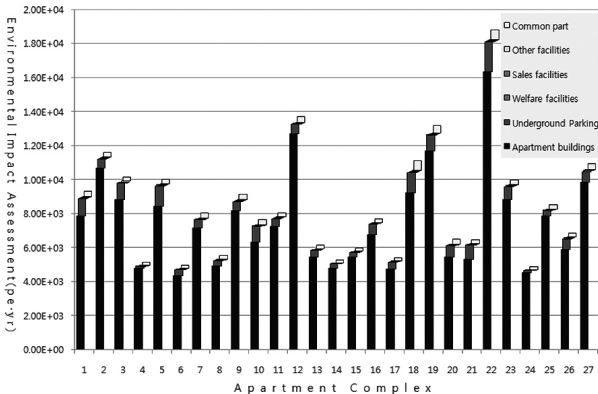


Fig. 3. Environmental impact result (27 Condominium complexes)

상대적으로 단위면적(m^2) 환경영향이 크게 나타났던 판매·기타·복지시설의 경우 공동주택 건물이나 지하 주차장에 비해 연면적이 미미한 만큼 단지에서의 총 환경영향은 공동주택 건물이 차지하는 것으로 분석되었다. 27단지 분석 결과 공동주택 단지가 전과정동안 환경에 미치는 영향이 평균 약 88.2%, 지하주차장이 7.4%, 공통부분 3.3% 복지 0.3% 판매 0.3%, 기타 0.1% 순으로 크게 분석되었다.

3.4 국내 공동주택의 환경영향 평가 결과

국내 공동주택 전과정의 환경영향이 국내 산업 대비 얼마만큼의 영향을 차지하는지 파악하기 위해 2008 산업연관표에 제시된 국내 총 거래표를 이용하여 전 산업 403 부문에 대한 환경영향을 산출하였으며, 통계청의 공동주택 건물에 대한 가구 수 및 가구당 주거면적 (<http://kostat.go.kr>)에 산출된 단위면적(m^2)당 환경영향을 적용, 대략적인 공동주택 건물의 환경영향 산출하여 비교하였다. 단, 사용단계의 경우 1년으로 적용하여 산출하여 비교하였다.

산출결과 국내 총 산업에서의 환경영향 평가 결과는 약 $1.40E+08pe \cdot yr$ 로 나타났으며, 이중 국내 공동주택의 전과정 환경영향은 약 $1.67E+07pe \cdot yr$ 로 나타나 국내 공동주택의 전과정에 대한 환경영향이 전 산업 대비 약 11.96%인 것으로 분석되었다.

4. 결론

본 연구는 지금까지 수행되어 왔던 건축물 전과정 동안 온실가스나 탄소배출량에 한정된 평가가 아닌 화석 연료의 소비로 인해 나타날 수 있는 환경에 미치는 영향을 정량적으로 산출하였다. 건축물의 용도나 종류에 따라 수많은 투입자재가 달라지는 만큼 공동주택 단지를 구성하는 건물 및 시설을 대상으로 평가를 수행하였으며, 연구 결과는 다음과 같다.

첫째, 에너지원에 따른 환경영향 범주를 구성하였으며, 단순한 환경부하 산출이 아닌 영향평가를 수행하여 영향범주에 따라 환경에 미치는 영향을 정량적으로 산출하였다.

둘째, 공동주택 단지를 대상으로 전과정 동안 환경에 미치는 영향을 분석하였다. 공동주택의 전과정 중 사용단계에서 환경에 미치는 영향이 가장 크게 나타났으며, 그중에서도 난방으로 인한 환경영향이 41.8%로 가장 크게 평가되었다. 이후 자재생산단계, 시공단계, 해체 및 폐기단계 순으로 환경에 미치는 영향이 크게 분석되었다.

셋째, 27 단지에 대한 환경영향 평가 결과 공동주택 건물이 약 88.2%를 차지하는 것으로 분석되었으며, 지하주차장, 공동부분, 복지시설, 판매시설, 기타시설 순으로 분석되었다.

넷째, 공동주택 건물의 전과정에 대한 환경영향 분석 결과 국내 총 산업 대비 약 11.96%를 차지하는 것으로 분석되었다.

본 연구 결과 국내의 공동주택 단지에서의 전과정 동안 환경에 미치는 영향 평가 및 국내의 모든 산업과 비교·제시함에 따라 본 연구결과를 통해 국내 건설산업 중 공동주택에 대한 대략적인 환경영향을 파악할 수 있는 기초자료로써 활용이 가능할 것으로 판단되어진다. 단, 본 연구는 국내의 다양한 주거건물 중 공동주택 단지를 대상으로 분석함에 따라 추후 공동주택 외 다른 유형의 주거건물에 대한 분석을 확대하여 모든 주거형 건물이 전과정동안 환경에 미치는 영향평가가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2011-0017656)

References

Kim, J., Kim, S. and Sohn, J. (2004). "A Study on the Estimation of the Environmental Load Intensity of Construction Materials for the Building LCA." *Paper for Architectural institute of Korea*, 20(7), pp. 211-218.

Lee, K., Lee, H. and Yang, J. (2010). "A Study on the Functional Unit Trend of Carbon Dioxide Emission in the Construction Materials between 2000, 2003 and 2005." *Paper of Architectural Institute of Korea Ecological Environment*, 10(5), pp. 123-129.

Korea LCI Database Information Network, <http://www.edp.or.kr/lci/lci_db.asp> (Feb. 12, 2014)

Woo, J. and Shin, S. (2010). "The Environmental Load Comparison Evaluation of The Apartment House for Main Construction Materials of Standard Apartment House." *Paper of Architectural Institute of Korea Ecological Environment*, 10(1), pp. 85-90.

Choi, D., Chun H., Cho, K., Kim Y. and Jun, Y. (2013). "Development of a Carbon Emission Evaluation Index for Apartment Buildings." *Workshop on*

Architecture and Civil Engineering, SERSC 32, pp. 31-34.

LEE, S. and Chun, Y. (2004). "A study of LCA(Life Cycle Assessment) to a office building remodeling -Focused on Electrical Equipment-" *Journal of the Korean Solar Energy Society*, 24(3), pp. 85-92.

Lee, G., Kwon, Y. and Rhee, E. (2002). "A Study on the Development of the Evaluation Model and Computerizing Program of Apartment Building Considering Environmental Load and Costs." *Paper for Architectural institute of Korea*, 18(6), pp. 159-166.

Jeong, Y., Choi, G., Kang, J. and Lee, S. (2008). "Development of Life Cycle Assessment Program(K-LCA) for Estimating Environmental Load of Buildings." *Paper for Architectural institute of Korea*, 24(5), pp. 259-266.

Keum, W., Shin, S., Roh, S. and Tae, S. (2012). "The Development of Life Cycle CO2 Assessment System Based on Eco-friendly Building Alternative Assessment." *Paper for Architectural institute of Korea*, 28(5), pp. 87-94.

ISO (2006). "ISO14040 Environmental management - Life Cycle Assessment - principles and frame."

The Bank of Korea (2009). "2008 Input-Output Tables."

EIA (2002). "International Energy Annual(EIA) 2000" Korea National Oil Corporation, <<http://www.petronet.co.kr>> (Jun. 5, 2013)

Henrik, W., Michael, H. and Leo, A. (1997). "Environmental Assessment of Products, Denmark, KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS."

Lee, K., Noh, J. and Park, P. (1999). "Determination of weighting factor and its application to the LCA of a Printed Printed Circuit Board." *paper for Korean Society for Life Cycle Assessment*, pp. 39-44.

IPCC (2006). "Global Warming Potential"

Rechard, G. D., Michael, E. J., Sandra, M. S. and Michael, J. P. (1998). "Photochemical ozone creation potentials for organic compounds in Northwest Europe calculated with a master Chemical mechanism." *Atmospheric Environment*, 32(14-15), pp. 2429-2441.

Statistics Korea, <<http://kostat.go.kr>> (Jun. 5, 2013)

Kim, C., Shin, D., Han, J. and Hwang, Y. (2014). "Comparison Analysis of Environmental

Performance between Reconstruction and Remodeling Alternatives for Aged - Focused on CO2 Emissions Analysis -” *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 15(1), pp. 87-100.

Hong, T., Ji, C. and Jeong, K. (2012). “Environmental Impact Assessment of Buildings based on Life Cycle Assessment (LCA) Methodology.” *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 13(5), pp. 84-93.

요약 : 본 연구는 건축물 중 공동주택 단지를 대상으로, 건축물에 투입되는 자재생산부터 건축물이 해체되는 전과정 동안 환경에 미치는 영향을 6개의 환경영향 범주로 구분하여 정량적으로 산출하였으며, 국내의 모든 산업이 환경에 미치는 영향을 대략적으로 분석하여 비교·평가하였다. 총 27 단지에 대한 환경영향을 분석한 결과 단지를 구성하는 건물 및 시설별로는 공동주택 건물이 단지 전체 대비 약 88.2%를 차지하는 것으로 분석되었으며, 이후 지하주차장, 공동부분, 복지시설, 판매시설, 기타시설 순으로 환경에 미치는 영향이 큰 것으로 분석되었다. 이중 가장 영향이 큰 공동주택 건물만을 대상으로 분석한 경우에는 전과정 중 사용단계에서 환경에 미치는 영향이 가장 크게 나타났으며 이후 자재생산단계, 시공단계, 해체 및 폐기단계 순으로 환경에 미치는 영향이 크게 분석되었다. 또한 공동주택 건물의 전과정에 대한 환경영향 분석 결과 국내 총 산업 대비 약 11.96%를 차지하는 것으로 분석되었다.

키워드 : 전과정평가, 산업연관분석, 내재에너지, 환경영향평가 방법론
