



산업연관분석법을 이용한 학교 건물에서의 환경영향평가 - 경기지역의 초등학교를 대상으로 -

Environmental Impact Assessment at a School Building using Input-output Table

- Focused on Elementary School in Gyeonggi-do -

최두성* · 전홍찬** · 조균형***

Choi, Doo-Sung* · Jeon, Hung-Chan** · Cho, Kyun-Hyong***

* Dept. of Building Equipment & Fire Protection System, Chungwoon Univ., South Korea (trebelle@chungwoon.ac.kr)

** Corresponding author, Dept. of Architectural Engineering, Suwon Univ. South Korea (chun4575@nate.com)

*** Coauthor, Dept. of Architectural Engineering, Suwon Univ. South Korea

ABSTRACT

Purpose: A lot of active researches have addressed the impact of a building on global environment, but most of the researches focus on a residential building and a large office building. Hereupon, this study assessed the impact on environment quantitatively through the analysis of input materials targeting a school building.

Method: This study calculated embodied energy of input materials suggested in a construction statement on a school building using the input-output analysis. This study finally carried out environmental impact assessment by applying LCIA DB shown in the preceding researches to the calculated embodied energy. **Result:** The analysis result revealed that the environmental impact per unit area($/m^2$) at a school building was $4.11E-02PE\cdot yr$, among which Construction was found to be $3.59E-02PE\cdot yr$, being analyzed to account for about 87% of the total environmental impact. Also, as a result of detailed environmental impact, the impact on global warming among the total environmental impact was analyzed to be high, accounting for about 76%.

KEYWORD

산업연관분석법
학교 건물
전과정평가
환경영향평가

Input-output Analysis
School Building
Life Cycle Assessment
Environmental Impact Assessment

ACCEPTANCE INFO

Received April 8, 2016
Final revision received May 22, 2016
Accepted May 25, 2016

© 2016 KIEAE Journal

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

최근 환경문제에 대한 국제적 관심이 높아지고 녹색성장이 새로운 패러다임으로 나타남에 따라, 건축산업에서도 환경이 중요한 요소로 자리매김하기 시작하였다.

건축산업이 환경에 미치는 영향은 크게 건축물을 구성하는 자재를 생산하는데 들어가는 에너지부터 건축물이 운영되는 과정에서의 에너지, 건축물이 해체될 때 발생하는 폐기물 등에 의한 환경오염 등을 들 수 있다.

이중 건축물을 구성하는 자재를 생산하는데 들어가는 에너지인 내재에너지(Embodied Energy)는 직접적으로 확인하기가 어려운 만큼 이를 사전에 파악하여 환경에 유동적으로 대처하려는 연구가 주를 이루고 있다.

하지만 대부분의 연구는 주거건물인 공동주택이나 대형 사무소건물에 집중되고 있는 실정으로, 그 외의 건물에 대한 연구 역시 필요한 상황이다. 이에 본 연구는 학교 건물을 대상으로 투입 자재의 분석을 통해 환경에 미치는 영향을 정량적으로 평가하고

자 한다.

1.2. 연구의 범위 및 방법

건축물의 경우 자재생산부터 시공, 운용, 해체 및 폐기에 이르는 전생애 동안 에너지 및 자원 등의 사용으로 인해 환경부하가 발생된다. 이중 환경에 대한 영향을 사전에 파악하여 환경에 유동적으로 대처하는 즉, 계획 및 설계 과정에서 친환경적인 요소로서 작용하려면 건축자재가 환경에 미치는 정량적인 영향평가가 요구된다.

본 연구는 건축자재의 내재에너지를 이용하여 환경에 미치는 영향을 평가하였다. 내재에너지 산출은 산업연관분석법(Input-Output Analysis)을 이용한 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA) 기법을 활용하였다.

분석대상은 최근 시공되어 경기도 김포시에 위치하고 있는 초등학교를 선정하였으며, 대상에 대한 공사내역서 분석을 수행하였다.

연구의 방법은 다음과 같다.

첫째, 공사내역서 분석을 통해 공종별 세부공사를 파악한다.

둘째, 세부공사별 투입자재를 대상으로 산업연관표에 나타난 기본산업 403부문을 이용하여 산업분류를 실시한다.

셋째, 산업연관분석법을 이용하여 세부공사별 투입자재에 대한 내재에너지를 산출한다.

넷째, 기연구된 환경부하별 LCIA DB를 활용하여 내재에너지에 따른 환경영향을 평가한다.

2. 환경영향평가 방법론

2.1. 산업연관분석법

산업연관표는 일정기간동안 국민경제 내에서 생산 및 처분과정에서 발생하는 모든 거래를 일정한 원칙과 형식에 따라 행렬형태로 기록한 종합적인 통계표로서, 한국의 경우 1년 단위로 한국은행에서 작성하고 있다.

산업연관표의 구성¹⁾을 다음 Fig. 1에 나타낸다. 여기서 세로 방향은 각 산업부문이 재화 및 용역을 생산하기 위하여 지출한 생산비용의 구성 즉 투입구조를, 가로 방향은 각 산업부문의 생산물이 어떤 부문에 중간수요 또는 최종수요 형태로 얼마나 팔렸는가를 나타내는 배분구조를 나타낸다.

	Intermediate demand	Final demand	Income (deductions)	Total output amount
	(Distribution structure) row → Product sales detail			
Intermediate input	Raw material Input structure of purchase details such as labor	Exogenous sector		
	column ↓ endogenous sector			
Added value	Exogenous sector **			
Total input amount				

* sector that records intermediate demand and intermediate input, which are trades between goods and services industry sectors

** sector that records final demands and added values

Fig. 1. Composition of input-output table

산업연관분석법은 이러한 산업연관표를 이용하여 시스템영역으로의 투입·산출물량을 광범위한 범위에서 간접·추계 할 수 있는 방법이다. 분석시스템영역이 광범위하고 시스템으로의 복잡한 투입·산출 구조를 나타내는 산업분야에 적용이 유리하다는 장점이 있는 반면, 산업연관표에 배제되어 있는 항목에 대해서는 평가가 불가능하거나 유사항목으로 추론·통합하여 해석이 필요하다는 단점이 있다.

본 연구에서는 산업연관표의 생산유발계수 $(I-A)^{-1}$ 을 이용하였다.

2.2. 전과정평가 기법

LCA는 제품 전과정에 걸쳐 관련된 모든 투입 및 산출물에 대한 목록을 작성하고, 이들과 연관된 잠재적인 환경영향을 평가

하기 위한 방법 정의되며, 국제규격 ISO 14000 series에 근간을 두고 있다.²⁾

ISO14040에서는 LCA 수행을 위해 크게 4단계를 구분하여 각 구성단계별 세부적인 평가지침을 구축, 제시하고 있다.

첫 번째는 Goal and Scope Definition 단계로 연구 목적과 결과를 어디에 어떻게 적용할 것인가를 설정하는 과정이다.

두 번째는 Life Cycle Inventory analysis(LCI) 단계로 설정한 시스템 상에서 투입·산출되는 모든 관련 물질을 수집·계산하는 과정이다.

세 번째는 Life Cycle Impact Assessment(LCIA) 단계로 LCI에 대하여 보다 체계적으로 환경에 미치는 영향을 평가하기 위한 과정이다.

네 번째는 Life Cycle Interpretation 단계로 앞서 도출된 LCI, LCIA 결과를 바탕으로 환경의 이슈를 찾는 과정이다.

3. 선행연구 고찰

본 연구는 산업연관분석법을 이용하여 투입자재의 내재에너지를 산출하였으며, 여기에 선행연구로 수행된 환경부하별 영향평가 DB³⁾를 적용하여 환경영향을 평가하였다.

선행연구는 각 에너지원에 따른 총 5종류의 환경부하 배출계수를 산출하였다. 또한 환경부하에 따른 지구환경에 미치는 영향을 무생물자원고갈, 지구온난화, 광화학산화물생성, 산성화, 부영양화, 인간독성으로 분류한 다음, 여기에 특성화·정규화·가중치 과정⁴⁾⁵⁾⁶⁾을 거쳐 LCIA를 수행하였다.

본 연구에 적용된 에너지원별 배출계수 및 환경부하에 따른 환경영향을 다음 Table 1 및 2에 나타낸다. 본 연구의 단위인 pe·yr은 일정 지역에 대한 일정기간(1yr)에서 발생된 오염물질의 환경영향으로 상대적비교가 가능하도록 지역의 인구(1person)로 나누어 표현한 수치로 Table 2의 LCIA 과정을 통해 나타낸다.

Table 1. Environmental load emission coefficient by energy source

Environmental Load	CO (g-CO)	CO ₂ (g-CO)	NO _x (g-NO _x)	SO _x (g-SO _x)	NH ₃ (g-NH ₃)
Anthracite	3.00E-01	2.42E+03	5.83E+00	1.37E+01	2.80E-04
Bituminous	2.50E-01	2.31E+03	5.55E+00	9.50E+00	2.80E-04
LNG	1.34E+00	2.75E+03	3.70E+00	1.00E-02	5.10E-02
Gasoline	-	2.13E+03	-	-	-
Jet fuel	-	2.43E+03	-	-	-
Kerosene	6.00E-01	2.45E+03	2.40E+00	1.70E+00	9.60E-02
Diesel	6.00E-01	2.60E+03	2.40E+00	1.70E+00	9.60E-02
Fuel Oil	6.00E-01	2.98E+03	6.32E+00	7.27E+00	9.60E-02
LPG	3.84E-01	2.87E+03	1.16E+00	5.00E-03	1.30E-02

Table 2. Environmental impact calculation result consequent on environmental load

Impact category	List	environmental load a	Characterization coefficient b	Characterization value a×b=c	Normalization coefficient d	Normalization value (PE·yr) c=d÷e	Weight f	environmental impact (PE·yr) 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.yr ²)	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.yr ²)	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.yr ²)	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.yr ²)	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.yr ²)	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.yr ²)	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.yr ²)	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.yr ²)	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.yr ²)	3.69E-08	2.31E-01	8.53E-09
Global Warming	CO ₂	1.00E+00 (g-CO ₂)	1.00E+00 (g-CO ₂ -eq/g-CO ₂)	1.00E+00 (gCO ₂ -eq)	5.53E+06 (g-CO ₂ -eq/PE.yr)	1.81E-07	2.88E-01	5.21E-08
Photochemistry Oxide Generation	CO	1.00E+00 (g-CO)	2.70E-02 (g-C ₂ H ₄ -eq/g-CO)	2.70E-02 (gC ₂ H ₄ -eq)	1.03E+04 (g-C ₂ H ₄ -eq/PE.yr)	2.62E-06	6.50E-02	1.70E-07
	NO _x	1.00E+00 (g-NO _x)	2.80E-02 (g-C ₂ H ₄ -eq/g-NO _x)	2.80E-02 (gC ₂ H ₄ -eq)	1.03E+04 (g-C ₂ H ₄ -eq/PE.yr)	2.72E-06	6.50E-02	1.77E-07
	SO _x	1.00E+00 (g-SO _x)	4.80E-02 (g-C ₂ H ₄ -eq/g-SO _x)	4.80E-02 (gC ₂ H ₄ -eq)	1.03E+04 (g-C ₂ H ₄ -eq/PE.yr)	4.66E-06	6.50E-02	3.03E-07
Acidification	NO _x	1.00E+00 (g-NO _x)	7.00E-01 (g-SO ₂ -eq/g-NO _x)	7.00E-01 (gSO ₂ -eq)	3.98E+04 (g-SO ₂ -eq/PE.yr)	1.76E-05	3.60E-02	6.34E-07
	SO _x	1.00E+00 (g-SO _x)	1.00E+00 (g-SO ₂ -eq/g-SO _x)	1.00E+00 (gSO ₂ -eq)	3.98E+04 (g-SO ₂ -eq/PE.yr)	2.51E-05	3.60E-02	9.04E-07
	NH ₃	1.00E+00 (g-NH ₃)	1.88E+00 (g-SO ₂ -eq/g-NH ₃)	1.88E+00 (gSO ₂ -eq)	3.98E+04 (g-SO ₂ -eq/PE.yr)	4.72E-04	3.60E-02	1.70E-06
Eutrophication	NO _x	1.00E+00 (g-NO _x)	1.30E-01 (g-PO ₄ ⁻³ -eq/g-NO _x)	1.30E-01 (gPO ₄ -3-eq)	1.31E+04 (g-PO ₄ ⁻³ -eq/PE.yr)	9.92E-06	3.80E-02	3.77E-07
	NH ₃	1.00E+00 (g-NH ₃)	3.50E-01 (g-PO ₄ ⁻³ -eq/g-NH ₃)	3.50E-01 (gPO ₄ -3-eq)	1.31E+04 (g-PO ₄ ⁻³ -eq/PE.yr)	2.67E-05	3.80E-02	1.02E-06
Human Toxicity	NO _x	1.00E+00 (g-NO _x)	1.20E+00 (g-1.4DCB-eq/g-NO _x)	1.20E+00 (g1.4DCB-eq)	1.48E+06 (g-DCB-eq/PE.yr)	8.11E-07	1.05E-01	8.51E-08
	SO _x	1.00E+00 (g-SO _x)	9.60E-02 (g-1.4DCB-eq/g-SO _x)	9.60E-02 (g1.4DCB-eq)	1.48E+06 (g-DCB-eq/PE.yr)	6.49E-08	1.05E-01	6.81E-09

4. 환경영향 평가 결과

4.1. 분석 개요

분석대상은 2012년에 시공된 경기도 김포시의 OO초등학교로 다음 Table 3에 건물 개요를 나타낸다.

학교 건물에 대한 공사내역서 분석 결과 약 1,400종의 투입자재가 분석이 되었으며, 세부공사는 건축공사의 경우 가설공사의 16종류, 기계공사는 가스배관공사의 6종류, 토목공사는 구조물공사의 6종류, 전기·통신공사는 전기공사의 2종류, 조경공사는 시설물공사의 2종류로, 총 5공종 및 37종류의 세부공사가 분석되었다.

Table 3. Building overview

	Structure	Reinforced concrete & Steel frame
	Area	12,190m ²
	Floor	Floor 5F, Under 1F
	Completion data	2012. 8

투입자재의 산업분류에 따른 내재에너지 산출 결과를 다음 Table 4에 나타낸다. 단, 403부문에 대한 모든 결과를 제시하기가 어려운 만큼, 건축재료에 주로 사용되는 몇몇 부문에 대한 결과를 제시하였다.

Table 4. Embodied energy calculation result by industrial classification (/10,000won)

Industrial Classification	Anthracite (kg)	Bituminous (kg)	LNG (m ³)	LPG (kg)	Gasoline (ℓ)	Jet fuel (ℓ)	Kerosene (ℓ)	Diesel (ℓ)	Fuel Oil (ℓ)	
16	Seedings	5.72E-02	-8.93E-01	-2.76E-01	-4.32E-02	-3.83E-02	-4.49E-02	-1.52E-02	-2.03E-01	-8.85E-02
38	Sand&gravel	5.02E-02	-4.17E-01	-6.47E-02	-6.04E-02	-3.03E-02	-8.56E-03	-1.82E-02	-7.93E-01	-4.39E-02
40	Other stone for construction	5.52E-02	-6.63E-01	-1.19E-01	-2.71E-02	-2.26E-02	-6.83E-03	-1.34E-02	-1.40E+00	-1.66E-01
106	Other textile products	7.30E-02	-1.22E+00	2.92E-01	-5.22E-02	-9.72E-02	-2.25E-02	-3.43E-02	-2.31E-01	-3.08E-01
114	Lumber	4.68E-02	-5.59E-01	-1.11E-01	-4.96E-02	-5.47E-02	-2.63E-02	-2.34E-02	-3.69E-01	-1.47E-01
115	Plywood	5.06E-02	-7.46E-01	-1.48E-01	-4.52E-02	-3.79E-02	-1.68E-02	-1.79E-02	-2.74E-01	-1.46E-01
117	Architectural Wood Products	1.03E-01	-1.75E+00	3.92E-01	-5.73E-02	-3.67E-02	-2.10E-02	-2.37E-02	-2.90E-01	-5.47E-01
119	Other wood products	6.21E-02	-7.55E-01	-1.36E-01	-4.39E-02	-5.54E-02	-3.20E-02	-2.79E-02	-2.71E-01	-1.20E-01
128	Other Paper Products	7.31E-02	-1.44E+00	2.67E-01	-6.61E-02	-5.49E-02	-2.62E-02	-3.43E-02	-2.34E-01	-4.55E-01
148	Synthetic resins	6.10E-02	-9.25E-01	-1.30E-01	-7.69E-02	-2.80E-02	-1.39E-02	-1.93E-02	-1.57E-01	-1.55E-01
159	Paint	7.08E-02	-1.52E+00	1.74E-01	-7.39E-02	-4.54E-02	-2.29E-02	-3.25E-02	-2.22E-01	-1.54E-01
165	Other chemicals	7.00E-02	-1.59E+00	2.16E-01	-7.23E-02	-3.42E-02	-1.82E-02	-2.74E-02	-2.22E-01	-1.99E-01
166	Plastic primary products	6.31E-02	-1.00E+00	1.68E-01	-6.07E-02	-3.63E-02	-1.80E-02	-2.70E-02	-2.13E-01	-2.31E-01
168	Plastic products for household	1.11E-01	-1.14E+00	1.45E-01	-5.55E-02	-4.27E-02	-3.44E-02	-3.24E-02	-2.66E-01	-1.63E-01
170	Rubber products for industrial use	1.14E-01	-1.18E+00	1.56E-01	-8.44E-02	-4.78E-02	-1.69E-02	-2.13E-02	-1.88E-01	-2.05E-01
172	Flat glass&primary glass	8.13E-02	-1.14E+00	1.99E-01	-1.80E-02	-5.48E-02	-4.62E-02	-1.00E-01	-4.11E-01	-2.13E+00
173	Industrial glassware	6.82E-02	-9.28E-01	-3.16E-01	-1.70E-02	-3.80E-02	-2.50E-02	-8.86E-02	-2.79E-01	-6.32E-01
177	Refractory ceramic products	9.74E-02	-1.63E+00	2.73E-01	-2.09E-02	-4.16E-02	-1.57E-02	-2.58E-02	-5.87E-01	-5.57E-01
178	Clay products for construction	9.97E-02	-1.45E+00	7.59E-01	-7.27E-02	-6.63E-02	-2.94E-02	-1.03E-02	-9.55E-01	-5.25E-01
179	Cement	4.53E-01	-2.52E+01	3.29E-01	-5.90E-02	-2.62E-02	-3.17E-02	-3.15E-02	-6.35E-01	-3.93E-01
180	Ready mixed concrete	1.46E-01	-6.44E+00	1.53E-01	-4.54E-02	-5.08E-02	-1.98E-02	-2.20E-02	-1.16E-01	-2.16E-01
181	Concrete products	3.11E-01	-5.64E+00	2.08E-01	-5.92E-02	-1.06E-02	-2.82E-02	-3.03E-02	-6.64E-01	-5.86E-01
182	Lime and plaster products	3.20E+00	9.55E-01	-2.68E-01	-1.46E-01	-6.40E-02	-1.39E-02	-2.71E-02	-6.19E-01	-5.74E-01
183	Stone products	1.65E-01	-8.26E-01	-1.43E-01	-7.35E-02	-2.80E-02	-1.90E-02	-1.55E-02	-4.75E-01	-8.92E-02
186	Asphalt products	6.65E-02	-1.16E+00	2.54E-01	-6.49E-02	-5.16E-02	-1.39E-02	-6.51E-02	-5.54E-01	-3.37E-01
191	rebar&steel bar	1.52E+00	9.65E-01	4.13E-01	-4.84E-02	-3.27E-02	-1.78E-02	-3.67E-02	-4.04E-01	-2.14E-01
192	section steel	1.45E+00	9.29E-01	4.27E-01	-4.69E-02	-3.49E-02	-1.75E-02	-5.23E-02	-4.06E-01	-2.42E-01
194	hot rolled steel	1.50E+00	1.02E-01	4.93E-01	-6.68E-02	-2.75E-02	-1.76E-02	-3.28E-02	-3.81E-01	-2.35E-01
195	Steel pipe	1.01E+00	7.02E-01	4.38E-01	-6.88E-02	-3.01E-02	-1.92E-02	-3.67E-02	-3.60E-01	-1.97E-01
197	Iron casting	2.60E+00	1.56E-01	3.11E-01	-7.30E-02	-2.93E-02	-1.70E-02	-3.16E-02	-4.94E-01	-1.70E-01
199	Surface treatment of steel	1.34E+00	8.55E-01	4.12E-01	-1.43E-02	-3.09E-02	-1.59E-02	-4.12E-02	-3.53E-01	-2.63E-01
206	Copper primary products	5.75E-02	-9.17E-01	-2.69E-01	-3.62E-02	-2.66E-02	-1.63E-02	-1.75E-02	-1.56E-01	-1.09E-01
207	Aluminum primary products	1.39E-01	-2.29E+00	8.11E-01	-7.65E-02	-5.09E-02	-2.45E-02	-3.75E-02	-2.82E-01	-3.51E-01
208	Other non-ferrous metal primary products	1.23E-01	-1.41E+00	3.97E-01	-4.77E-02	-5.50E-02	-2.09E-02	-2.09E-02	-3.76E-01	-1.71E-01
209	Metal products for building	4.32E-01	-3.40E+00	4.83E-01	-1.26E-02	-5.47E-02	-3.21E-02	-3.50E-02	-2.99E-01	-2.13E-01
210	Metal products for structure	6.95E-01	-4.79E+00	2.92E-01	-8.15E-02	-3.72E-02	-1.85E-02	-3.01E-02	-2.70E-01	-1.60E-01
214	Screw products	8.20E-01	-5.62E+00	3.56E-01	-8.41E-02	-5.52E-02	-2.18E-02	-4.09E-02	-3.20E-01	-2.00E-01
215	Wire products	6.70E-01	-4.76E+00	3.94E-01	-6.08E-02	-3.64E-02	-2.16E-02	-3.41E-02	-2.67E-01	-1.63E-01
216	Mounting metal products	5.11E-01	-3.72E+00	3.23E-01	-1.07E-02	-5.65E-02	-1.88E-02	-3.66E-02	-3.12E-01	-1.90E-01
219	Other metal products	4.20E-01	-3.19E+00	3.28E-01	-9.02E-02	-5.11E-02	-2.15E-02	-3.19E-02	-2.98E-01	-1.53E-01

4.2. 공종별 환경영향 평가 결과

분석대상에 대한 공종별 투입비용 및 환경영향을 다음 Table 5에 나타낸다.

Table 5. Input cost by work type, and environmental impact calculation result

Category	Input cost (won/m ²)	Environmental Impact (PE-yr)
Construction	296,985 (77.7%)	3.59E-02 (87.4%)
Mechanical	26,432 (6.9%)	1.94E-03 (4.7%)
Civil	18,429 (4.8%)	1.61E-03 (3.9%)
Electrical& communication	17,974 (4.7%)	7.56E-04 (1.8%)
Landscaping	22,173 (5.8%)	8.78E-04 (2.1%)
Total	381,993	4.11E-02

분석대상에 대한 단위면적당(/m²) 총 투입자재 비용은 381,993원으로 나타났으며, 환경영향은 4.11E-02PE·yr로 분석되었다.

분석 결과 전체 투입자재 비용은 381,993원/m²로 나타났으며, 이중 건축공사가 296,985원/m²로 약 78%를 차지하는 것으로 분석되었다. 이후 기계공사(6.9%), 조경공사(5.8%), 토목공사(4.8%), 전기·통신공사(4.7%) 순으로 높게 분석되었다.

환경영향의 경우 건축공사가 3.59E-02PE·yr/m²로 87.4%를 차지하는 것으로 나타났으며, 투입자재 비용과는 다르게 이후 기계공사(4.7%), 토목공사(3.9%), 조경공사(2.1%), 전기·통신공사(1.8%) 순으로 높게 분석되었다.

과거 수행된 연구⁷⁾⁸⁾인 공동주택 및 주상복합 건물의 단위면적당(/m²) 건축공사에 대한 환경영향을 비교해본 결과를 다음 Table 6에 나타낸다.

Table 6. Environmental impact calculation result by building

Division	Construction Environmental Impact (PE-yr/m ²)
School building	3.59E-02
Apartment building	2.62E-02
Residential-commercial building	3.20E-02

공동주택 및 주상복합 건물과의 비교 결과, 건축공사의 경우 주상복합 건물보다 약 12% 높게, 공동주택 건물 보다 약 37% 환경영향이 높게 나타난 것으로 분석되었다.

다음 Fig. 2에 공종별 세부 환경영향 평가 결과를 나타낸다.

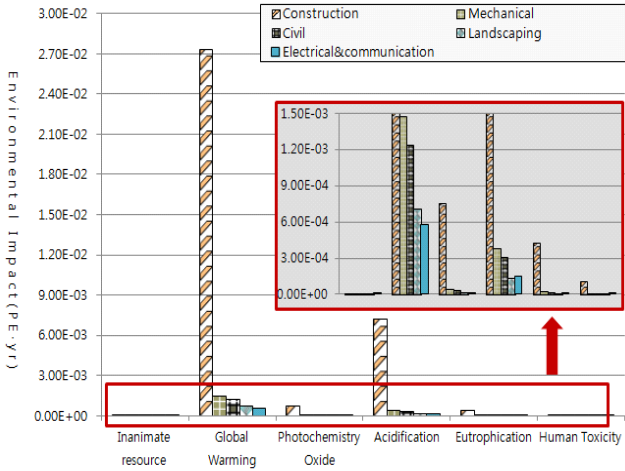


Fig. 2. Detailed environmental impact assessment result by work type

세부 환경영향 평가 결과 전체 환경영향 중 지구온난화에 미치는 영향이 76.37%로 가장 높게 나타났으며, 산성화의 경우 20.00%, 광화학산화물생성이 2.11%, 부영양화 1.19%, 인간독성 0.30%, 무생물자원고갈 0.03% 순으로 높게 분석되었다.

공종별 세부환경영향 평가 경우, 건축공사에서의 지구온난화가 전체 환경영향의 약 66.6%로 대부분을 차지하는 것으로 나타났으며, 산성화가 17.6%로 분석되었다. 기계, 토목, 조경, 전기·통신의 경우 지구온난화가 각 3.6%, 3.0%, 1.7%, 1.4%로 나타났으며, 타 환경부하의 경우 공종별로 지구환경에 미치는 영향은 1% 미만으로 분석되었다.

4.3. 세부공사별 환경영향 평가 결과

공종별 세부공사는 총 37종류로, 다음 Table 7에 세부공사별 환경영향 평가 결과 나타낸다.

세부공사별 환경영향 평가 결과 건축공사는 토목사가 전체 환경영향의 52.85%를 차지하는 것으로 나타났으며, 이후 수장공사, 조적공사 순으로 높게 분석되었다. 기계공사의 경우 위생배관공사가 2.15%로 가장 높게 나타났으며 이후 장비설치공사 1.49%, 기계실배관공사 0.44% 순으로, 토목공사는 포장공사가 1.05%, 우수공사 0.95%, 오수공사 0.69% 순으로 높게 분석되었다. 전기·통신공사는 전기공사가 1.34%로, 조경공사에서는 포장공사가 1.05%로 가장 높게 분석되었다.

Table 7. Environmental impact assessment result by detailed work

Work type	Detailed work	Input cost (won/m ²)	Environmental Impact (PE·yr/m ²)	
Construction	temporary work	3,411	5.15E-04	
	metal work	15,242	1.25E-03	
	other works	3,737	1.64E-04	
	painting work	1,331	5.00E-05	
	wood work	6,692	2.03E-04	
	plastering work	640	5.16E-05	
	waterproof work	5,626	4.83E-04	
	masonry	6,239	1.83E-04	
	interior finishing work	45,493	5.52E-03	
	glazing work	11,266	8.22E-04	
	interior work	8,142	4.50E-04	
	masonry work	20,323	1.65E-03	
	roofing & drainpipe work	11,897	8.87E-04	
	window construction	11,070	8.76E-04	
	steel-frame work	7,834	9.96E-04	
	tile work	1,564	1.18E-04	
	earth work	136,481	2.17E-02	
	Mechanical	gas piping work	1,289	9.28E-05
		machine room piping work	1,530	1.81E-04
heating pipe work		3,002	8.86E-05	
outdoor piping work		234	3.36E-05	
sanitary-plumbing work		11,113	8.84E-04	
automatic control work		1,174	4.49E-05	
equipment installation work		8,090	6.14E-04	
Civil	structure work	2,894	2.35E-04	
	sewage work	958	2.82E-04	
	rainwater pumping work	3,142	3.92E-04	
	transportation expenses	92	6.15E-06	
	earth work	2,270	1.53E-04	
	pavement work	7,755	4.31E-04	
Electrical&communication	gate&vehicle entrance work	1,318	1.09E-04	
	electric work	12,402	5.52E-04	
	communication work	3,056	1.44E-04	
Landscaping	fire-fighting construction	2,516	6.05E-05	
	facilities work	4,297	1.79E-04	
	Planting work	10,122	2.68E-04	
	road paving construction	7,755	4.31E-04	

5. 결론

본 연구는 경기도 김포시에 위치한 초등학교 건물에 대한 자재생산단계 즉, 투입자재의 내재에너지 분석을 통해 환경에 미치는 영향을 정량적으로 평가한 결과로 본 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

1) 2012년 신축된 OO초등학교 건물에 대한 공사내역서 분석을 수행한 결과 5공종 및 37종류의 세부공사가 나타났으며, 투입되어지는 자재는 약 1,400종으로 분석되었다.

2) 공종별 환경영향 평가 결과, 분석 대상 건물에서의 단위면적당(m^2) 환경영향은 $4.11E-02PE\cdot yr$ 로 나타났으며, 이중 건축공사가 $3.59E-02PE\cdot yr$ 로 전체 환경영향의 약 87%를 차지하는 것으로 분석되었다. 과거 수행된 공동주택 및 주상복합 건물의 단위면적당(m^2) 건축공사의 환경영향을 비교해본 결과, 건축공사의 경우 주상복합 건물($3.20E-02PE\cdot yr$)보다 약 12% 높게, 공동주택 건물($2.62E-02PE\cdot yr$)보다 약 37% 환경영향이 높게 나타난 것으로 분석되었다. 또한 세부 환경영향 평가 결과 전체 환경영향 중 지구온난화에 미치는 영향이 약 76%로 가장 높게 분석되었다.

3) 세부 공사별 환경영향 평가 결과 건축공사의 경우 토공사가, 기계공사는 위생배관공사, 토목공사는 포장공사, 조경공사는 포장공사가, 전기·통신공사는 전기공사가 각 공종에서 가장 높은 환경영향을 차지하는 것으로 분석되었다.

단, 본 연구는 OO초등학교에 대한 분석 결과로, 학교건물에 대한 환경영향 분석으로 일반화하기에는 무리가 있는 만큼 추후 다수의 학교 건물에 대한 분석을 통해 학교건물에 대한 환경영향 기준 산출이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

Acknowledgement

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education (NRF-2011-0017656)

Reference

[1] 한국은행, “2010 산업연관표”, 한국은행, 2014 // (The Bank of Korea, 2010 Input-Output Tables, The Bank of Korea, 2014)

[2] ISO, “ISO14040 Environmental management - Life Cycle Assessment - principles and frame”, ISO, 2006

[3] Ko, Myeog-Jin, Jeon, Hung-Chan, Cho, Kyun-Hyong, An, Jun-Ho, Choi, Do-Sung, “A Trend analysis on the Environmental Impact of Construction Industry in Korea”, International Journal of Applied Engineering Research, Vol.9, No.24, 2014

[4] Henrik, W., Michael, H. and Leo, A., “Environmental Assessment of Products”, Denmark, KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, 1997

[5] Derwent, Richard G., Jenkin, Michael E., Saunders, Sandra M., Pilling, Michael J., “Photochemical ozone creation potentials for organic compounds in Northwest Europe calculated with a master Chemical mechanism(updated in Jenkin & Hayman, 1999)”, Atmospheric Environment, Vol.32, 1998

[6] 이건모, 노재성, 박필주, “가중치 결정과 PCB 전과정평가의 적용, 한국전과정평가학회 연구논문집, 1999 // (Lee, Kun-Mo, Noh, Jae-Sung, Park, Pil-Ju, Determination of weighting factor and its application to the LCA of a Printed Printed Circuit Board, paper for Korean Society for Life Cycle Assessment, 1999

[7] Choi, Yun-Chul, Jeon, Hung-Chan, Cho, Kyun-Hyong, “An Analysis of the Characteristics of the Environmental Impact of Residential Facilities in Korea”, International Journal of Applied Engineering Research, Vol.10, No.10, 2015

[8] 최두성, 전홍찬, 조균형, “공동주택 단지 투입자재 분석을 통한 환경영향평가 방안에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집, 제30권 제9호, 2014 // (Choi, Do-Sung, Jeon, Hung-Chan, Cho, Kyun-Hyong, Study on Environmental Impact through Analysis of Materials Used for Apartment Complex, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol.30, No.9, 2014