

# S대학교 교육연구동 LCA분석 사례 연구

## A Study on the case study LCA Analysis for the Education and Research Building of S University

범성우\*o                      김민현\*\*                      박태근\*\*\*  
 Bum, Sung-Woo              Kim, Min-Hyun              Park, Tae-Keun

### 요약

전 세계적으로 지구온난화현상, 수질오염 등의 환경문제에 대한 관심이 높아지고 있다. 이러한 환경문제에 대한 인식으로 환경유해요소들에 대한 활발한 연구로 선진국에서는 이미 법적인 제도를 마련하는 등 환경보존 및 유해요소 저감방안에 대한 연구가 진행되고 있다. 건설산업 분야에서도 환경친화성에 대한 정량적 자료로 LCA분석 내용을 제시하도록 ISO에서 규정하고 있다. 국내건설업의 경우 LCA 기법에 대한 연구가 국가적 차원에서 진행되고 있다.

본 연구에서는 LCA분석을 통하여 계획안에 대한 타당성을 확인하고자 하였다. 자재생산단계, 시공단계, 유지관리단계, 폐기처분단계에 대하여 환경영향비용을 고려한 생애주기비용 통합분석결과, 계획안 74,819,560,776원, 대안 78,979,469,602원으로 계획안이 대안에 비해 4,159,908,826원이 절감되는 것으로 분석되었다.

키워드 : LCA(전과정평가, Life Cycle Assessment), 생애주기비용(LCC, Life Cycle Cost)

### 1. 서론

#### 1.1 연구의 배경 및 목적

국제사회에 대두된 환경문제에 대한 관심이 높아지고 있다. 이미 전 분야에서 환경문제에 대한 제재를 가하고 있으며 건축분야에서 있어서도 예외가 아닐 수 없다.

선진국에서는 건축분야에서의 LCA(전과정 평가, Life Cycle Assessment)를 통하여 환경친화성에 대한 정량적 평가 자료로 사용하고 있다. LCC(생애주기비용, Life Cycle Cost)는 발생하는 총 비용의 분석을 통해 단계별 비용산정시 중요한 자료로 사용되어지고 있으며, 전과정 평가를 통해 친환경건축을 고려하여 계획단계에서 폐기처분단계까지의 환경영향을 비용으로 산정함으로써 건축물 생성시 유용한 자료로 사용될 것이라 사료된다.

특히, LCA에 의한 대안선정 효과는 프로젝트 초기 단계인 설계단계에서 가장 효과적이나, 본 연구에서는 설계 단계에서 LCA분석을 통한 대안 비교분석을 실시하고자 한다.

#### 1.2 연구의 범위

S대학교의 대학원 교육연구동의 계획안과 대안을 비교한다. 대지면적은 24,050m<sup>2</sup>(7275평), 연면적은 52,890m<sup>2</sup>(16,000평)-연구실험실(7,212평) 및 사무공간으로 구성되

\* 학생회원, 목원대학교 대학원 건축학과 석사과정  
 \*\* 일반회원, 한국항공우주연구원 연구원, 목원대학교 대학원 건축학과 박사과정  
 \*\*\* 종신회원, 목원대학교 건축·도시공학부 건축공학과 교수, 공학박사

어 있으며 구조는 철근콘크리트조이다.

Flat Slab구조와 라멘조의 경우를 2개의 대안으로 하여 건물 생산시 환경에 미치는 영향을 비용으로 평가하되, 에너지비용, 대기오염비용, 부수물 처리비용으로 한정한다.

### 2. 환경비용 항목의 정립

환경영향 평가시 천연자원 고갈, 대기오염, 수질오염 그리고 폐기물 문제는 중요한 환경문제로 지적된다. 또한 이들 요소는 건설분야에서도 중요한 환경문제로 평가되기에 이를 토대로 환경영향에 대한 비용을 산정한다.

다음 <표 1>은 환경영향비용을 산정하기 위한 각 단계별 산출방법에 대하여 나타낸 것이다.

표 1. 환경영향 비용산출 기준

항목	단계	내 용
에너지	자재 생산	자재사용량(kg/m <sup>3</sup> )×에너지소비단위(MJ/kg)→단위환산(MJ→kWh), 에너지사용량(kWh/m <sup>3</sup> )을 단위비용적용(원/kWh) 비용환산
	시공	사용기계(사용시간(hr)) 에너지사용량→단위환산(L/hr→MJ→kWh), 에너지사용량(kWh/m <sup>3</sup> )을 단위비용적용(원/kWh) 비용환산
	유지 관리	연평균 에너지사용량(LNG)→단위환산(LNG:m <sup>3</sup> →kWh), 에너지사용량(kWh/m <sup>3</sup> )을 단위비용적용(원/kWh) 비용환산
폐기 처리	폐기	해체기계연료량(l/m <sup>3</sup> )→단위환산(MJ/m <sup>3</sup> →kWh/m <sup>3</sup> ), 에너지사용량(kWh/m <sup>3</sup> )을 단위비용적용(원/kWh) 비용환산
	폐기 처리	폐기물 단위비용적용(원/kWh) 비용환산
대기 오염	자재 생산	에너지사용량(kg/MJ)→대기오염물질배출량(kg/m <sup>3</sup> )→단위환산(원/m <sup>3</sup> )
	시공	사용기계에너지사용량(MJ)→단위환산(원/m <sup>3</sup> )
	유지 관리	연간에너지사용량(kWh/m <sup>3</sup> )→단위환산(kWh/m <sup>3</sup> →10 <sup>-3</sup> TOE), 연간에너지사용량(10 <sup>-3</sup> TOE)×대기오염물질배출단위(kg/10 <sup>-3</sup> TOE)→대기오염물질배출량(kg/m <sup>3</sup> ), 비용환산(원/m <sup>3</sup> )
부수물 처리	폐기	해체기계에너지사용량(l/m <sup>3</sup> )→단위환산(MJ/m <sup>3</sup> →kWh/m <sup>3</sup> ), 에너지사용량(kWh/m <sup>3</sup> )을 단위비용적용(원/kWh) 비용환산
	폐기 처리	폐기물 단위비용적용(원/kWh) 비용환산

주1) 1J=1/3599406kWh, 1kWh=53원(산업용)

주2) 유지관리단계에서는 1kWh=69(교육용)

### 3. LCA 분석

#### 3.1. 대안의 설정 및 분석 조건

본 연구의 대안은 아래 <그림 1>과 같고, LCA 분석을 위한 분석기준은 다음 <표 2>와 같다.

계획안 : Flat Slab

대안 : 라멘조

규모 : 지하 1층, 지상 7층

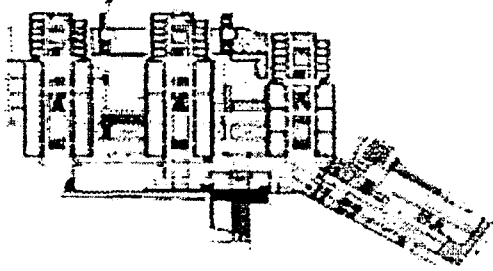


그림 1. 대안의 기준층 평면도

표 2. LCA분석에 적용되는 변수

기준 항목	적용
이자율	8.378% 국내은행 최근 10년간의 정기예금금리의 평균을 적용
물가상승률	4.23% 최근 10년간의 소비자물가상승률의 평균을 적용
할인율	3.97% 이자율과 물가상승률을 이용하여 계산한 실질이자율
내용년수	40년 법인세법에 의한 철근콘크리트조의 내용년수를 적용
보수교체시기	수선주기 20년, 수선율 10%, 교체시기 40년

#### 3.2 LCA 분석

##### 3.2.1 자재 생산 단계

공사에 투입된 자재를 생산하기 위하여 사용된 환경비용을 산출한다. 다음 <표 3>은 공사를 위한 주요자재 사용량이다.

표 3. 주요자재 사용량

구분		단위	사용량	단위면적당 사용량(kg/m <sup>2</sup> )		
Flat Slab	구조체 공사	철근콘크리트공사	콘크리트 m <sup>3</sup>	45,000	1,956.89	
	조적 공사	벽체공사	시멘트벽돌	매	794,381	30.04
			물담	m <sup>3</sup>	199	7.90
			시멘트판넬	m <sup>2</sup>	13,046	542.66
	거푸집 공사	거푸집	m <sup>2</sup>	129,200	16.37	
라멘조	구조체 공사	철근콘크리트공사	콘크리트 m <sup>3</sup>	41,819	1,818.56	
	조적 공사	벽체공사	시멘트벽돌	매	931,310	35.22
			물담	m <sup>3</sup>	233	9.25
			시멘트판넬	m <sup>2</sup>	14,578	606.38
	거푸집 공사	거푸집	m <sup>2</sup>	146,360	18.54	

자재생산단계의 에너지소비 비용을 살펴보면 Flat Slab 구조인 계획안은 619.33원/m<sup>2</sup>이고, 라멘조인 대안은 671,660원/m<sup>2</sup>으로 단위면적당 약 52,000원 정도 적게 소요되는 것으로 분석되었다.

대기오염 처리비용은 자재생산시 생산설비 운전에 따른 에너지 사용으로 인해 대기오염물질이 발생하므로 각 자재의 에너지사용량을 기준으로 하여 대기오염 처리비용을 산출한다. Flat Slab구조는 97,829원/m<sup>2</sup>, 라멘조는 106,094원/m<sup>2</sup>으로 분석되어 약 8,200원/m<sup>2</sup>정도 대기오염 처리비용이 적게 소요되는 것으로 분석되었다.

부수폐기물 처리비용은 자재생산단계에서 발생하는 부수폐기물을 처리하기 위하여 소요되는 비용으로 계획안과 대안 모두 41원/m<sup>2</sup>으로 산출되었다.

자재생산단계에서 발생하는 환경영향비용을 통합한 결과 다음의 <그림 2>와 같다.

자재 생산단계에서의 환경영향비용을 비교하여 본 결과 계획안이 대안에 비해 3,204,816,660원/m<sup>2</sup>의 절감효과를 나타내는 것으로 분석되었다.

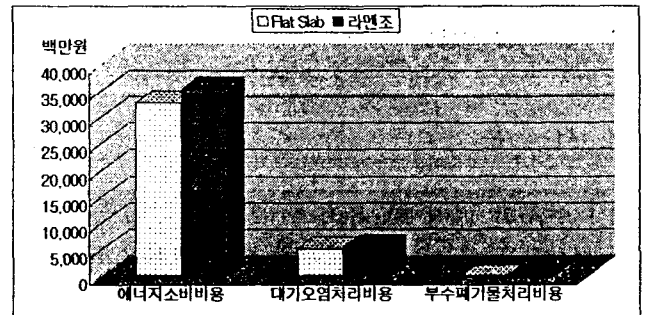


그림 2. 자재생산단계의 환경영향비용 비교

##### 3.2.2 시공 단계

토공사와 구조체공사를 위하여 사용되는 장비를 운전하기 위하여 사용되는 에너지비용을 분석하였다. Flat Slab구조는 589원/m<sup>2</sup>, 라멘조는 642원/m<sup>2</sup>으로 분석되어 계획안이 53원/m<sup>2</sup>가 적게 소요되는 것으로 나타났다.

장비사용을 위한 에너지사용량과 대기오염 물질배출원 단위를 이용하여 대기오염물질 배출량을 산출한 후 대기오염 처리비용을 산출하였으며, Flat Slab구조는 92원/m<sup>2</sup>, 라멘조는 102원/m<sup>2</sup>으로 산출되어 계획안이 10원/m<sup>2</sup>가 적게 소요되는 것으로 분석되었다.

시공단계에서 발생하는 부수폐기물은 각각의 자재가 사용되어질 때 발생하는 손실이나 잉여 그리고 부주의에 의한 파손 등에 따라서 발생한다. 이때 발생한 폐기물을 처리하기 위하여 사용되는 비용을 산출한다. Flat Slab구조는 712원/m<sup>2</sup>, 라멘조는 819원/m<sup>2</sup>으로 산출되어 계획안이 약 100원/m<sup>2</sup>가 적게 소요되는 것으로 분석되었다.

시공단계에서 발생하는 환경영향비용을 정리한 결과는 다음의 <그림 3>과 같다.

시공단계에서의 환경영향비용을 분석한 결과 계획안이 대안에 비해 8,896,864원/m<sup>2</sup>의 절감효과를 나타내는 것으로 분석되었다.

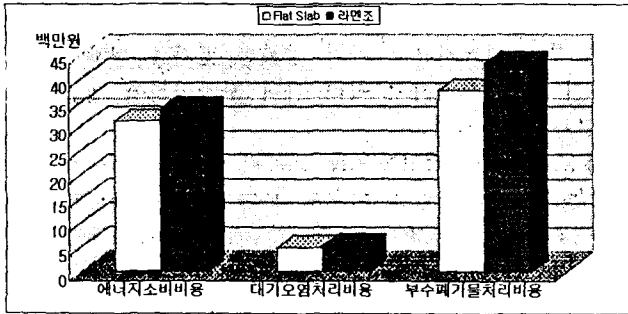


그림 3. 시공단계의 환경영향비용 비교

### 3.2.3 유지관리 단계

유지관리단계에서 발생하는 비용은 에너지비, 운영관리비, 보수교체비로 분류된다. 본 분석에서는 운영관리 및 보수교체에 따른 환경비용은 동일하다고 가정하여 에너지소비량만을 대상으로 환경비용을 산출하였다. 또한 발생하는 부수폐기물은 그 기준 및 항목선정이 난해하므로 비용 산정에서 제외하였다.

건물 사용중 발생하는 냉난방을 위한 에너지소비량을 산출하고 이를 비용으로 산정하게 되는데, 에너지소비비용은 Flat Slab구조는 9,269원/m<sup>2</sup>, 라멘조는 9,871원/m<sup>2</sup>로 산출되어 계획안이 242원/m<sup>2</sup>가 적게 소요되는 것으로 분석되었다.

대기오염 처리비용은 연간에너지사용량과 대기오염물질 배출원단위를 사용하여 대기오염물질 배출량을 산출하고 단위비용을 곱하여 비용을 산정한다. Flat Slab구조는 382원/m<sup>2</sup>, 라멘조는 392원/m<sup>2</sup>로 산출되어 계획안이 10원/m<sup>2</sup>가 적게 소요되는 것으로 분석되었다.

유지관리 단계에서 발생하는 환경영향비용을 통합한 결과 다음의 <표 4>와 같다.

유지관리 단계에서의 환경영향비용을 비교하여 본 결과 계획안이 대안에 비해 533,131,200원/m<sup>2</sup>의 절감효과를 나타내는 것으로 분석되었다.

표 4. 유지관리 단계의 환경영향비용

구분	Flat Slab			라멘조		
	단위비용 (원/m <sup>2</sup> )	총비용 (원)	비율 (%)	단위비용 (원/m <sup>2</sup> )	총비용 (원)	비율 (%)
에너지 소비비용	9,629	20,371,112,400	96.2	9,871	20,883,087,600	96.2
대기오염 처리비용	382	808,159,200	23.8	392	829,315,200	23.8
합계	10,011	21,179,271,600	100	10,263	21,712,402,800	100

### 3.2.4 폐기처분 단계

폐기처분단계의 에너지소비 및 대기오염은 대부분 장비사용에 의한 것이다.

건물의 해체와 폐기물을 처리하기 위한 장비를 운전하기 위하여 소비되는 연료량을 이용하여 비용을 산출한다. Flat Slab구조는 10,286원/m<sup>2</sup>, 라멘조는 10,007원/m<sup>2</sup>로 계획안이 약 280원/m<sup>2</sup>가 많이 소요되는 것으로 분석되었다.

대기오염 처리비용은 에너지소비비용에서 산출된 에너

지사용량에 대기오염물질 배출원단위를 사용하여 배출량을 산출하고 단위비용을 곱하여 처리비용을 산정한다. Flat Slab구조는 1,626원/m<sup>2</sup>, 라멘조는 1,580원/m<sup>2</sup>로 산출되어 라멘조가 약 40원/m<sup>2</sup>가 적게 소요되는 것으로 분석되었다.

폐기물 처리비용은 건물을 구성하는 주요자재를 해체 처분하기 위한 비용으로 시공시에 사용된 자재량을 이용하여 비용을 산출한다. Flat Slab구조는 63,747원/m<sup>2</sup>, 라멘조는 61,954원/m<sup>2</sup>로 라멘조가 약 1,800원/m<sup>2</sup>가 적게 소요되는 것으로 분석되었다.

폐기처분 단계에서 발생하는 환경영향비용을 정리한 결과는 다음의 <표 5>와 같다.

폐기처분 단계에서의 환경영향비용을 비교하여 본 결과 대안이 계획안에 비해 112,021,020원/m<sup>2</sup>의 절감효과를 기대할 수 있다.

표 5. 폐기처분 단계의 환경영향비용

구분	Flat Slab			라멘조		
	단위비용 (원/m <sup>2</sup> )	총비용 (원)	비율 (%)	단위비용 (원/m <sup>2</sup> )	총비용 (원)	비율 (%)
에너지 소비비용	10,286	544,026,540	13.6	10,007	529,270,230	13.6
대기오염 처리비용	1,626	85,99,140	2.1	1,580	83,566,200	2.1
부수폐기물 처리비용	63,747	3,371,578,830	84.3	61,954	3,276,747,060	84.3
합계	75,641	4,001,604,510	100	73,541	3,889,583,490	100

## 4. 비용통합

각 대안에 대해 각 단계별로 분석한 환경영향비용을 내용년수 40년, 실질이자율 3.98%를 적용하여 생애주기동안의 총비용으로 현가화하여 통합한다.

다음의 <표 6>은 각 대안의 현재가치와 불변가를 정리한 것이다.

표 6. 생애주기 환경영향비용

구분	Flat Slab		라멘조		
	금액(원)	비율(%)	금액(원)	비율(%)	
현가	자재생산단계	37,932,760,890	76.85	41,137,577,550	77.89
	시공단계	73,728,992	0.15	82,625,856	0.16
	유지관리단계	10,511,176,688	21.30	10,775,767,291	20.40
	폐기처분단계	839,927,189	1.70	816,414,246	1.55
합계	49,357,593,759	100	52,812,384,943	100	
불변가	자재생산단계	37,932,760,890	60.03	41,137,577,550	61.56
	시공단계	73,728,992	0.12	82,625,856	0.12
	유지관리단계	21,179,271,600	33.52	21,712,402,800	32.49
	폐기처분단계	4,001,604,510	6.33	3,889,583,490	5.82
합계	63,187,365,992	100	66,822,189,696	100	

자재생산단계에서는 환경비용만이 고려되었고, 자재생산비는 시공단계에 포함된다. 시공단계에서 발생하는 비용은 환경비용과 공사를 위한 초기투자비가 포함되며, 유지관리단계에서 발생하는 비용은 환경비, 에너지비, 보수 교체비가 있고, 이들 항목은 미래에 발생하는 비용으로써 현가로 환산되어진다. 또한 폐기처분단계에서 발생하는

비용은 환경비용과 건물의 철거를 위한 해체처분비로써 현가로 환산한다.

환경영향비용을 고려한 생애주기비용을 비교한 결과는 다음의 <표 7>과 같다.

표 7. 환경영향비용을 고려한 수명주기비용 비교

구분	자재생산단계		시공단계		유지관리단계		폐기처분단계		합계		
	금액(원)	비율 (%)	금액(원)	비율 (%)	금액(원)	비율 (%)	금액(원)	비율 (%)	금액(원)	비율 (%)	
F l a t S l a b	환경비용	37,932,700,000	100	73,728,992	0.4	10,511,760,698	64.3	899,927,199	54.3	48,337,393,899	65.9
	초기공사비	-	-	18,918,000,000	99.6	-	-	-	-	18,918,000,000	24.7
	에너지비	-	-	-	-	5,690,262,527	34.7	-	-	5,690,262,527	7.4
	보수 교체비	-	-	-	-	175,998,190	1.0	-	-	175,998,190	0.2
	해체 처분비	-	-	-	-	-	-	707,696,310	45.7	707,696,310	0.8
	총비용	37,932,700,000	100	18,936,208,992	100	16,347,377,395	100	1,577,613,499	100	74,819,560,776	100
라 멘 조	환경비용	41,137,577,500	100	82,625,866	0.4	16,347,377,395	64.3	846,414,246	54.3	52,812,384,948	65.9
	초기공사비	-	-	18,918,000,000	99.6	-	-	-	-	18,936,208,992	24.7
	에너지비	-	-	-	-	5,816,598,721	34.7	-	-	5,816,598,721	7.4
	보수 교체비	-	-	-	-	178,994,389	1.0	-	-	178,994,389	0.2
	해체 처분비	-	-	-	-	-	-	687,781,349	45.7	687,781,349	0.8
	총비용	41,137,577,500	100	18,966,376,866	100	16,771,320,611	100	1,594,195,955	100	78,979,469,602	100

## 5. 결론

본 연구는 환경친화적 건축물의 전과정평가(LCA)에 대한 분석을 생애주기비용(LCC)을 고려하여 계획안(Flat Slab)과 대안(라멘조)을 비교하였다.

계획안과 대안을 비교하기 위해 생애주기비용은 각 단계별, 자재생산단계, 시공단계, 유지관리단계, 폐기처분단계로 구분하고, 환경비용항목으로는 에너지비, 대기오염비, 폐기처분비로 분류하였다.

생애주기 단계의 대부분의 항목에서 계획안이 대안에 비하여 경제성이 있는 것으로 분석되었으나 폐기처분단계에서의 환경영향비용을 고려한 해체처분비는 대안이 518,004,660원의 비용이 절감되는 것으로 분석되었으나 환경영향비용을 고려한 총 비용은 계획안이 대안에 비해 4,159,908,826원의 비용이 절감되는 것으로 나타났다.

또한, LCC분석은 이자율과 분석기간에 따라 LCC의 크기가 크게 변화하므로 좀더 정확한 평가를 위해서는 감도분석 등을 실시하여 여러 가지 상황변화에 대한 고려를 할 필요가 있다.

정량적인 환경영향비용을 고려한 LCA분석을 하기 위해서는 환경에 영향을 미치는 보다 방대한 자료의 분석이 필요하고 정량적인 LCA분석 기법을 위해서는 보다 많은 연구가 진행되어야 할 것이라 사료된다.

## 참고 문헌

1. 건물의 라이프사이클 코스트 분석, 대한주택공사, 1989
2. 건축철골공사 원가산정방법, 포스코개발주식회사, 1995
3. 김동현, 철골 및 철근콘크리트 고층 아파트 건물의 환경비용을 고려한 라이프사이클코스트 분석에 관한 연구, 중앙대 건축설계학과 석사학위논문, 1999
4. 김우철의 2명, 건축시공단계에서 LCA방법론에 의한 에너지소비량과 환경부하량 연구, 2001
5. 박태근, Life Cycle Cost 분석에 의한 공동주택의 최적 설계방법론에 관한 연구, 서울대학교 박사학위 논문, 1992
6. 이강희, 공동주택 건설공사에서의 공중에 대한 LCA적용연구, 한국학술진흥재단 2001년 신진교수연구과제에 의한 연구, 2003
7. 이관호의 2명, LCA 및 LCC를 고려한 환경친화적 리모델링의 평가방법에 관한 연구, 2003
8. 한국은행, 주요경제지표, 2001
9. Dell'Isola, Kirk, Life Cycle Costing for Design professionals, McGraw-Hill, 1981

## Abstract

It has taken a growing interest about environmental problems such as global warming and water pollution. Because of intensified environmental problems, it would be going on the research about environmental preservation and harmful factor reduction. Also, it makes ISO to show the quantitative data about LCA analysis. The research of LCA method in the domestic construction industry has advanced stealing from a national point of view.

In this study, it would be possible to confirm the feasibility of a plan by LCA analysis. Moreover, the result of life cycle cost which deliberate the influence cost of environment in the steps of material production, construction, maintenance, and disposal has made to be 74,819,560,776 won in a plan and 78,979,469,602won in alternative.

That is, it would analysis for a plan to reduce 4,159,908,826 won for alternative.

Keywords : LCA(Life Cycle Assessment), LCC(Life Cycle Cost)