기존 설계기준 아파트와 친환경 저에너지 아파트의 $LCCO_2$ 비교

김 유 민†, 손 장 열*
한양대학교 건축환경공학과, *한양대학교 건축공학과

$LCCO_2$ Comparison of Existing Apartment Housing and Environment-Friendly Apartment Housing

Yu-Min Kim†, Jang-Yeul Sohn*
Department of Sustainable Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea
**Department of Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea*

(Received March 8, 2010; revision received March 19, 2010)

ABSTRACT: In October 2009, the Ministry of Land Transport and Maritime Affairs noticed 'Environment-friendly housing construction standards and performance' to build energy saving environment-friendly housings (Green Homes) for the reduction of energy consumption and carbon dioxide emission. In this study, the CO_2 emissions were evaluated during the life cycle of the existing apartments which were built in 1980's and Green Home apartment. $LCCO_2$ was evaluated by dividing the life cycle into three stages which are construction, maintenance and destruction stage. CO_2 emission from the materials for improving insulation performance was estimated by Input-output analysis. As a result, in 40 year-life cycle of 84 m^2 apartment, 400.68 T-CO_2 was emitted from 1980's apartment, on the other hand 231.02 T-CO_2 was emitted from Green Home apartment.

Key words: $LCCO_2$(이산화탄소 생애주기 분석), Apartment housing(아파트), Green home(그린 홈), Input-output analysis(산업연관분석)

기 호 설 명

TC : Ton Carbon
T− CO_2 : Ton CO_2
TOE : Ton of Oil Equivalent, [10^7 Kcal]

† Corresponding author
Tel.: +82-2-2220-0313; fax: +82-2-2296-5331
E-mail address: bear464@nate.com

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

지구 온난화로 인한 지구환경문제가 국제적으로 이슈가 되고 있으며 이에 정부는 '저탄소 녹색성장'이라는 기치아래 녹색성장기본법을 통하여 온실가스 감축 및 에너지 절약을 이루고자 하고 있다. 저탄소 녹색성장의 일환으로 2009년 10월 국토해양부에서는 주택에서의 에너지 소비절감 및 탄소배출량 감소를 위한 에너지절약형 친환경 주택(그린 홈)을 건설하기 위하여 '친환경 주택의 건설기준 및 성능'

을 고시하였다. 국내에서는 아파트의 CO_2 배출량 평가를 위한 정량적 정보의 부족과 공인된 환경부하 원단위 데이터베이스의 미비로 아파트의 라이프 사이클 과정에서 발생하는 CO_2 배출량의 평가가 어려운 실정이다. 따라서 국내 아파트의 환경부하를 평가하기 위해서는 건축물의 라이프 사이클에서 발생하는 에너지소비량 및 온실가스 배출량에 대한 정량적인 평가연구가 필요한 실정이다. 본 연구에서는 80년대 아파트와 현 정부가 추진하고 있는 에너지 절약형 친환경 주택(그린 홈)의 라이프 사이클에서 발생하는 CO_2 배출량을 비교 분석하여 아파트의 성능에 따른 환경부하를 평가한다.

1.2 연구의 범위 및 절차

본 연구에서는 주택의 열 성능에 따른 환경부하를 평가하기 위하여 1980년대 기준 아파트와 그린 홈 기준 아파트를 대상으로 84 m^2의 아파트 단위 세대 기준으로 건설단계, 유지관리단계, 해체/폐기단계로 나누어 LCCO2 (Life Cycle CO_2)를 평가하였다. 주택의 성능별 생애주기에 따른 모든 요소를 조사하는 것은 시간과 비용의 문제가 크기 때문에 본 연구에서는 아파트의 에너지 성능에 영향을 주는 요소인 단열재와 창호를 중심으로 비교하였으며 다른 요소들은 기존의 연구 결과를 이용하였다.

2. 전 생애과정을 통한 건축물의 LCCO2 산출방법

2.1 건설단계에서의 CO_2 배출량 산출방법

건설단계는 건축자재 생산단계, 자재 운송단계, 현장 시공단계로 이루어져 있으며 본 연구에서는 아파트의 성능에 따라 투입되는 자재를 중심으로 평가하고 이외의 부분은 Table 1[(1)]에 나타낸 기존 연구결과를 활용하였다. 80년대 아파트의 각 부분별 열성능은 '건축법 시행규칙', '건축물의 설비기준 등에 관한 규칙'(1982년 기준)을, 그린 홈은 '친환경 주택의 건설기준 및 성능'을 적용하였으며 그 내용은 Table 2와 같다. 각 기준에서는 외벽과 창호의 열 성능을 규정하고 있으므로 외벽과 창호의 열 성능을 강화함으로써 발생하는 CO_2 배출량을 평가하였다.

2.1.1 자재 생산단계에서의 CO_2 배출량

산업연관분석(Input-Output Analysis)은 생산 활동을 통하여 이루어지는 산업 간의 상호연관관계를 수

Table 1 CO_2 emission from existing apartment in construction stage

Stage		CO_2 emission rate ($T\text{-}CO_2/m^2$)
Construction	Production	0.7907
	Transport	0.0074
	Execution	0.0140

Table 2 Thermal property criterion

Applied part	Existing apartment (standard in 1982)	Green Home (larger than 60 m^2)
External wall	less than 0.58	less than 0.36
Window	less than 3.49	less than 1.80

량적으로 파악하고자 하는 분석기법으로서 한 나라에서 생산되는 모든 재화와 서비스의 산업간 거래 관계를 체계적으로 기록한 산업연관표를 기반으로 한다. 산업연관표(Input-Output Tables)는 보통 1년의 기간 동안 한 나라의 국민 경제 내에서 산업부문간의 재화와 서비스의 거래관계를 일정한 원칙에 따라 행렬형식으로 기록한 종합적인 총계표로서 경제학자인 Wassily W. Leontief에 의해 고안되었으며 우리나라의 경우 한국은행에서 작성한다. 산업연관분석은 국민경제 전체를 포괄하면서 전체와 부분이 유기적으로 결합되어 있어 거시적 분석뿐만 아니라 미시적 분석이 가능해 산업과 산업 간의 연관관계까지도 분석이 가능하며, 이러한 장점을 통해 오늘날 경제구조 및 정책효과분석은 물론 국제산업연관분석과 환경 및 에너지 분야의 분석 등에까지 다양하게 활용되고 있다.

일반적으로 산업부문별 총생산량은 중간수요를 충족시키기 위한 중간재의 량과 최종수요를 충족시키기 위한 최종재의 합으로 표시할 수 있다. 기본적으로 산업연관표의 기본거래표는 연립방정식으로 표현되는데, 투입계수(aij = xij/Xij)를 이용하여 표시하면 식(1)과 같다. 투입계수는 각 산업부문의 생산에 사용하기 위하여 다른 산업으로부터 구입한 각종 원재료, 연료 등의 중간투입액을 총 투입액으로 나눈 것으로 각 부문 생산물 1단위 생산에 필요한 각종 중간재 단위를 나타낸다.

$$\begin{matrix} a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \cdot a_{1j}X_j + \cdot + a_{1n}X_n + Y_1 - M_1 = X_1 \\ \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \cdot a_{ij}X_j + \cdot + a_{in}X_n + Y_i - M_i = X_i \\ \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ a_{n1}X_1 + a_{n2}X_2 + \cdot a_{nj}X_j + \cdot + a_{nn}X_n + Y_n - M_n = X_n \end{matrix} \quad (1)$$

여기서, aij = I행 부문에서 j열 부문으로의 중간 수요액
Xi = i 산업부문의 산출액
Yi = i 산업부문의 최종수요액
Mi = i 산업부문의 수입액

상기 식(1)을 행렬로 표시하면, 식(2)와 같이 표현할 수 있으며, 이를 다시 정리하면 식(3)과 같다.

$$AX + Y - M = X \quad (2)$$

$$X = (I - A)^{-1}(Y - M) \quad (3)$$

여기서, $(I-A)^{-1}$ 행열은 레온티에프 역행렬 혹은 생산유발계수라고 하며, 생산유발계수는 최종수요가 1단위 증가하였을 때 이를 충족시키기 위하여 각 산업부문에서 직·간접적으로 유발되는 생산액 수준을 나타내므로, 이를 이용하여 최종수요 변동에 따라 각 산업부문에서 직·간접적으로 유발되는 총 산출액을 구할 수 있다.[2] 이를 확장하여 에너지 산업의 제화를 실물로 치환함으로써 에너지투입산출(Energy Input-output, EIO)모형을 만들 수 있다.

EIO 모형을 통해 에너지의 투입과 흐름을 파악할 수 있으며 레온티에프 역행렬을 이용하여 에너지투입량을 알 수 있다. 무연탄, 유연탄, 연탄, 코크스, 휘발유, 제트유, 등유, 경유, 중유, LPG, 도시가스의 11개 산업에서의 투입량을 통해 단열재, 유리, 창호의 생산에 투입되는 에너지의 양을 산출하고, 산출된 각 부문별 에너지양에 Table 3에 나타낸 IPCC (International Panel on Climate Change)의 각 에너지별 탄소 배출계수를 적용하여 탄소 배출량을 알 수 있다.

EIO 모형을 통해 에너지의 투입과 흐름을 파악할 수 있으며 레온티에프 역행렬을 이용하여 에너지투입량을 알 수 있다. 무연탄, 유연탄, 연탄, 코크스, 휘발유, 제트유, 등유, 경유, 중유, LPG, 도시가스의 11개 산업에서의 투입량을 통해 단열재, 유리, 창호의 생산에 투입되는 에너지의 양을 산출하고, 산출된 각 부문별 에너지양에 Table 3에 나타낸 IPCC(International Panel on Climate Change)의 각 에너지별 탄소 배출계수를 적용하여 탄소 배출량을 알 수 있다.

$$CO_2\ emission = Carbon\ emission \times 44/12 \quad (4)$$

CO_2 배출량은 식(4)와 같이 탄소와 CO_2의 분자

Table 3 Caloric value and Carbon-emitting coefficient for energy resources

Energy	Caloric Value		Carbon-emitting Coefficient [TC/TOE]
Gasoline	8,300	kcal/L	0.783
Kerosene	8,700	kcal/L	0.812
Diesel	9,200	kcal/L	0.837
Crude petroleum	9,900	kcal/L	0.875
Jet oil	8,700	kcal/L	0.808
LPG	12,000	kcal/kg	0.713
City gas	11,000	kcal/Nm^3	0.637
LNG	13,000	kcal/kg	0.630
Anthracite	4,500	kcal/kg	1.100
Bituminous Coal	6,600	kcal/kg	1.059
Other Coal	6,500	kcal/kg	1.210
Electricity	860	kcal/kWh	0.787

비를 이용하여 산출할 수 있다. 한국은행에서 발행하는 산업연관분석표는 Excel 파일로 출력이 가능하지만 Excel에서는 404×404행렬 계산을 지원하지 않으므로 생산유발계수의 계산은 MATLAB 7.1을 이용하였다. 본 연구에서는 부문별 품목별 공급액표를 통해 에너지원의 단가를 제공하는 2000년 산업연관표를 활용하였으며, 이에 따라 한국은행 경제 통계시스템에서 제공하는 각 자재별 물가상승률을 고려하여 2000년 가격을 반영했다.

본 연구에서는 외벽에 투입되는 단열재의 성능은 일정한 것으로 간주하고 양에 의한 평가를 하였으며, 창호는 성능에 따라 자재생산단계의 CO_2 배출량을 산출하였다. 단열재의 종류는 1호 스티로폼을 적용하였고, 창호의 경우 80년대 아파트에는 일반 복층 유리와 창호, 그린홈 아파트의 경우 low-e 유리와 고성능 창호를 적용하였다.

2.1.2 수송 및 시공 단계에서의 CO_2 배출량

수송 단계에서의 CO_2 배출은 건축물에 필요한 자재들을 건설현장으로 이동시키는 트럭에서 배출된다. 수송에 따른 장비별 CO_2 배출량은 환경부 LCA 데이터 베이스를 활용하였으며 그 내용은 Table 4[3]와 같다. 건설 자재의 운송거리는 30 km로 설정하였

Table 4 CO_2 emission rate from transportation vehicle

Module	CO_2 emission rate [kg-CO_2/ton km]
1 ton Truck	2.68E-01
1.25 ton Truck	2.21E-01
2.5 ton Truck	1.46E-01
3.5 ton Truck	1.02E-01
3.5~5 ton Truck	9.16E-02
5.1~8 ton Truck	9.82E-02
8.1~15 ton Truck	6.30E-02
15.1~18 ton Truck	6.30E-02
18.1~23 ton Truck	5.18E-02
23.1~25 ton Truck	4.64E-02

Table 5 Input data for simulation

Condition		Input Date
Area		84 m^2
Simulation period		1 year
Air Change Rate		0.7/h
Climate Condition		Seoul TMY2
Set Temperature	Cooling	28 ℃
	Heating	20 ℃

으며 본 연구에서는 단열재의 수송에 따른 CO_2 배출량을 고려했으며, 창호의 성능은 수송 에너지에 영향을 미치지 않는 것으로 하였다. 두 아파트의 시공단계에서 배출되는 CO_2 양은 동일한 것으로 가정하였다.

2.2 유지관리단계에서의 CO_2 배출량 산출방법

80년대 아파트와 그린 홈의 성능에 따른 에너지 사용량을 산출하기 위하여 건축물 에너지 해석 프로그램인 TRNSYS를 이용하였다. 외벽과 창호의 열 성능은 Table 2의 기준을 적용하였으며, 실내 설정온도는 건축물의 에너지 절약 설계기준(08.11.12)을 적용하였다. Table 5는 시뮬레이션 조건들을 나타냈다.

아파트 등의 자산 가치가 존재하는 기간은 '법인세법'에서 규정하고 있으며 이 법에서는 철근콘크리트조 아파트의 수명을 30년~50년으로 규정한다.

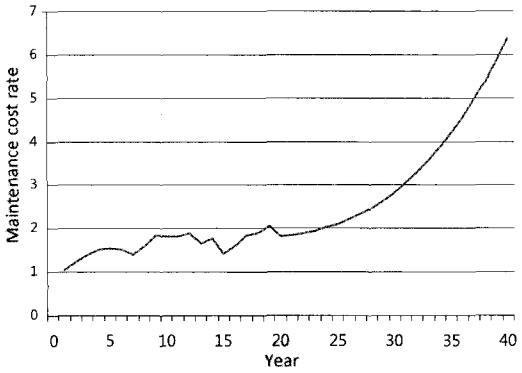

Fig. 1 Maintenance cost rate.

Table 6 CO_2 emission rate for heating and cooling

Energy	CO_2 emission rate [T-CO_2/kcal]
LNG(For Heating)	2.31E-07
Electricity (For Cooling)	2.89E-07

또한 '도시 및 주거환경 정비법 시행령'에서 철근콘크리트 건축물의 비용분석 평가기간을 40년으로 규정하고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 유지관리기간을 40년으로 설정하였다.

건물의 노후화에 따라 유지관리에 투입되는 에너지의 양은 증가하기 때문에 40년 간 증가되는 사용된 에너지를 구하기 위하여 한국시설안전공단 '주택 재건축사업의 안전진단 매뉴얼'에서 제공하는 공동주택 경과연수별 유지관리비율을 적용시켰다. 공동주택 경과연수별 유지관리비율은 32개의 실제 아파트 단지를 대상으로 조사한 19년차까지의 유지관리비 실적데이터를 바탕으로 하여 40년 동안의 총 유지관리비에 대한 매 년차의 유지관리비율을 산정한 것이다. 1년차의 사용량을 1로 고정하여 각 년도 별로 1년차에 대한 비율을 산정하여 Fig 1[4]에 나타내었다.

유지관리에 사용된 에너지는 앞선 시뮬레이션 결과를 유지관리기간의 1년차에 사용되는 양으로 가정하여 40년 간의 유지관리 에너지를 산출하였다. 유지관리에 사용된 에너지의 경우 냉방에너지는 전기를 사용하였고, 난방의 경우 지역난방을 사용하는 것으로 가정하여 지역난방에 가장 많이 사용되는 LNG를 기준으로 하였다. Table 6은 냉, 난방 에너지원별 CO_2 배출량을 나타낸다.

2.3 해체/폐기단계에서의 CO_2 배출량 산출방법

해체단계에서의 CO_2 배출량은 기존 연구에서 통해 실제 건물 폐기 업체로부터 얻은 실측 자료를 적용하였으며 해체에 따른 CO_2 배출량과 폐기물 발생량은 Table 7과 같다. 폐기단계는 건축물 철거 시 발생한 해체폐기물을 매립지에 수송하는 것을 말하며 폐기물을 운반하는데 건설단계에서의 수송과 마찬가지로 수송 장비가 사용된다. 해체된 폐기물 운반에는 주로 11.5 ton트럭이 사용되며 주행거리는 30 km로 산정하였고 폐기물 운반 원단위는 수송단계와 동일하게 적용하였다. 수송 단계와 마찬가지로 단열재 폐기물 외의 물량은 동일한 것으로 가정하였다.

3. 아파트의 성능별 환경부하 평가

3.1 평가 개요 및 대상 아파트 개요

평가 대상 아파트는 수도권 지역의 84 m^2의 아파트를 대상으로 하였으며, 위치는 서울지역으로 12층의 철근콘크리트 구조인 계단실형 아파트로 평면도는 Fig. 2과 같다.

3.2 건설단계에서의 CO_2 배출량 평가

아파트의 열 성능을 향상시키기 위해 투입된 자재의 생산에서 발생된 CO_2 배출량을 구하기 위해 단열재, 유리, 창호의 100 만원 단위 생산에의해 배출되는 CO_2량을 레온티에프 역행렬을 이용하여 산출하여 Table 8에 나타냈다. 창호는 백만원당 CO_2 배출량 2.8984 Ton으로 세 자재 중 가장 많았다.

성능별 자재의 가격을 물가정보와 일위대가를 통해 조사한 후 각 자재별 물가상승률과 판매 수익 15%를 고려하였다. 두 아파트에 다르게 시공된 자재의 백 만원 당 CO_2 배출량과 가격을 통해 CO_2 배출량을 산출하여 Table 9에 나타냈다. 두 아파트에 다르게 적용된 자재의 가격 차이는 2000년 기준 약 185만원이었으며 이를 2009년 물가로 환산 시 약 272만원이었다. 세 자재 중 창호에서의 배출량이 가장

Table 7 Waste and CO_2 emission from destruction

Structure	Quantity of waste [kg/m^2]	CO_2 emission rate [kg-CO_2/m^2]
Ferroconcrete	432	0.3041

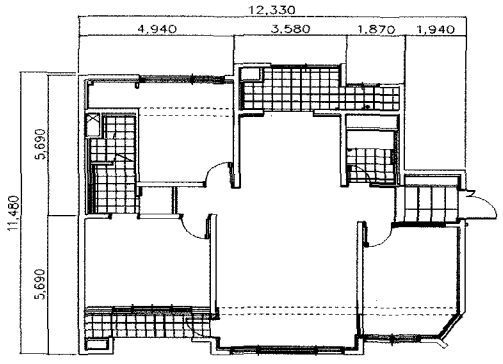

Fig. 2 Floor plan.

Table 8 CO_2 emission by input energy

Energy	Insulation [T-CO_2/million won]	Window frame [T-CO_2/million won]	Glazing [T-CO_2/million won]
Anthracite	0.0275	0.0642	0.3692
Bituminous Coal	0.5109	1.3231	0.4803
briquette	0.0062	0.1118	0.0013
Other Coal	0.2366	0.9363	0.1710
Gasoline	0.0159	0.0192	0.0207
Jet oil	0.0219	0.0360	0.0489
Kerosene	0.0251	0.0279	0.1100
Diesel	0.1007	0.1319	0.1734
Crude petroleum	0.2931	0.2625	1.4537
LPG	0.2889	0.0473	0.0844
City gas	0.0296	0.0491	0.0336
Total	1.2964	2.8984	2.6142

Table 9 Price of materials

Material	Price [won per a house]	
	Existing apartment	Green home
Insulation	225,352	361,877
Glazing	763,082	1,698,231
Window frame	1,759,757	2,542,179

많았으며 투입 자재의 생산에서 배출되는 CO_2의 양은 그린 홈에서 4.8894 Ton 많았다.

건설단계에서의 CO_2 배출량은 Table 10과 같다. 자재 수송과 시공에서의 차이는 0.0002 Ton으로, 나타나 건설단계에서 1980년대 아파트와 비교하여 그린 홈에서는 4.8896 Ton의 CO_2가 더 배출되었다.

3.3 유지관리단계에서의 CO_2 배출량 평가

Table 11은 시뮬레이션을 통한 1년차의 연간 에너지 소비량과 40년의 유기관리기간 동안의 CO_2 발생량을 나타낸다. 80년대 아파트의 에너지 사용량은 연간 10,325 Mcal였으며, 그린 홈 기준의 아파트는 6,535 Mcal로 80년대 기준 아파트에 비해 36.7%의 에너지를 절약할 수 있었다.

시뮬레이션을 통해 얻은 연간 에너지 사용량을 유지관리비 증가율을 통해 누적 에너지 사용량을 구한 후 이를 CO_2 배출량으로 환산하면 1년차의 CO_2 배출량은 1980년대 아파트의 경우 3.46 Ton, 그린 홈의 경우 1.64 Ton이었으며, 40년 간 누적 CO_2 배출량은 80년대 아파트는 332.37 Ton, 그린 홈은 157.82 Ton으로 그린 홈은 CO_2 배출량을 52.5% 저감시킬 수 있었다.

Table 10 Comparison of CO_2 emission in construction stage

Step		Existing apartment [T-CO_2]	Green home [T-CO_2]
Production of Material	Insulation	0.2921	0.4691
	Glazing	1.9949	4.4396
	Window frame	5.1004	7.3682
	the others	59.0314	59.0314
Transportation		0.6216	0.6212
Execution		1.1760	1.1760
Total		68.2164	73.1060

Table 11 Results of simulation

	Existing apartment	Green home
Annual Energy consumption	10,325 Mcal	6,535 Mcal
CO_2 emission for 40 years	332.37 T-CO_2	157.82 T-CO_2

3.4 해체/폐기단계에서의 CO_2 배출량 평가

해체/폐기단계에서의 CO_2 배출량은 아파트를 해체하는 과정에서 배출되는 CO_2양과, 폐기물을 폐기장까지 운반하는데 배출되는 CO_2의 양으로 산출할 수 있다. 해체과정은 시공과정과 마찬가지로 배출되는 CO_2의 양은 동일하다고 가정하였고, 폐기단계는 폐기물의 증가량을 통해 비교하였으나 80년대 아파트와 그린 홈 아파트에서 발생하는 폐기물의 양은 각각 36,288 kg, 36,358 kg으로 큰 차이는 없어 CO_2 배출량 역시 크게 증가하지 않았다. 해체/폐기단계에서의 CO_2 배출량은 Table 12와 같다.

3.5 전 생애과정에서의 CO_2 배출량 평가

아파트의 전 생애과정동안의 CO_2 배출량의 결과는 Fig. 3과 같다. 84 m^2 경우 80년대 아파트의 $LCCO_2$는 400.68 T-CO_2이었으며, 그린 홈은 42.34%가 적은 231.02 T-CO_2가 배출되었다. 각 단계별로 살펴보면 그린 홈은 80년대 아파트에 비해 건설단계에서

Table 12 CO_2 emission from Destruction stage

Step	Existing apartment [T-CO_2]	Green home [T-CO_2]
Demolition	0.0255	0.0255
Abandonment	0.0686	0.0688

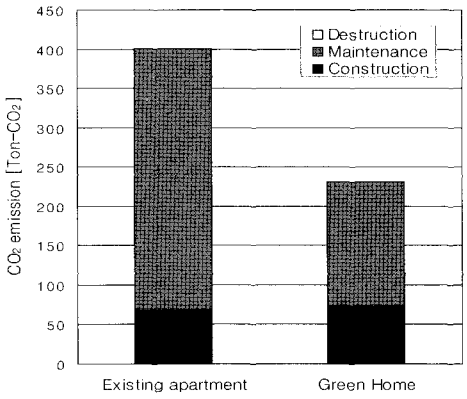

Fig. 3 Comparison of $LCCO_2$.

7.17%, 해체폐기 단계에서 0.22%의 CO_2를 더 배출시켰지만 유지관리단계에서 52.52%를 줄일 수 있었다.

성능별로 건설단계, 유지관리단계, 해체/폐기단계의 CO_2 배출량의 비율은 1980년대 기준 아파트의 경우 건설단계가 17.03%, 유지관리단계가 82.95% 해체/폐기단계는 0.02%로 유지관리부분에서 가장 많은 CO_2가 배출되었다. 그린 홈의 경우 건설단계에서 31.64%, 유지관리단계에서 68.31%, 해체/폐기단계에서 0.04%로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 80년대 기준 아파트와 현 정부가 추진하고 있는 에너지 절약형 친환경 주택인 그린 홈의 라이프 사이클에서 배출하는 CO_2 배출량을 비교 분석하여 84 m^2 아파트 세대를 기준으로 환경부하를 평가하였다. 본 연구에서 도출된 결론은 다음과 같다.

1) 기존 아파트의 열 성능을 그린 홈 수준으로 향상시키기 위한 추가적인 자재 구입 비용은 2009년 말 기준 272만원으로 나타났으며, 그린 홈 시공 시 건설단계에서 4.8896 Ton의 CO_2가 더 배출되었다.
2) 그린 홈의 경우 기존 아파트의 $LCCO_2$에서 약 83%를 차지하는 유지관리단계에서의 CO_2 배출량을 52% 이상 줄일 수 있었다.
3) 폐기 단계에서 그린 홈에서의 폐기물량이 기존 아파트의 36,288 kg에서 70 kg 가량만 증가하여 CO_2 배출량에는 큰 차이가 없었다.
4) 전 생애과정에서의 CO_2 배출량을 분석해 보면 84 m^2 아파트에서 80년대 기준 아파트와 비교하여 그린 홈은 231.02 Ton을 줄여 42.34% 절감되었다.

향후 연구로 LCC(Life Cycle Cost)에 대한 분석을 통하여 비용 대비 최적 환경부하 평가가 필요한 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부 우수연구센터육성사업인 한양대학교 친환경건축연구센터의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. Kim, Jong-Yeob, 2004, Evaluating CO_2 Emission in Construction Stages of Apartment Buildings by Life Cycle Assessment. Hanyang University, pp. 164-165.
2. Kang Kwang Ha, 2000, Input-Output Analysis, Yeonamsa, pp. 44-50.
3. Ministry of Construction and Transportation, 2004, The Environmental Load Unit Composition and Program Development for LCA of Building -The Construction of Method with LCA for Estimating Environmental Building.
4. Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation, 2006, Safety diagnosis manual for house reconstruction, pp. 104-105.
5. Bank of Korea, 2008, 2005 Input-Output Table.