

산업연관분석을 이용한 공동주택 건설단계의 에너지소비량 및 이산화탄소배출량 산정연구

A Study on the Amount of the Energy Consumption and CO₂ Emission at the Construction Stage in the Apartment Housing using the Input-Output Analysis

김 대 회 권 보 민 최 영 오 이 강 희
Kim, Dae-hee* Kwon, Bo-Min** Choi, Young-Oh*** Lee, Kang-hee****

Abstract

The protection of the environment is one of today's key demanding international activities and interests. All of aspects including industry, economy and society should be changed into environmental friendly industries. The building is not exception in this trend. What is not generally realized is that building, in the lifecycle of construction, use and demolition, account for large construction, not considered with environment impact and conservation in the lifecycle. Expecially, the construction materials and components used in the construction stage has much embodied energy. And much CO₂ emit on the production of the construction material and component. The energy use and CO₂ emission would continuously diminish the limited natural resources and impact the environment such as ozon layer destruction. In this paper, it studied the estimation of the amount of energy use and CO₂ emission in the building construction stage, it would provide the estimation process and applied with the multifamily housing.

키워드 : 산업연관분석, 에너지소비량, 이산화탄소배출량

Keywords : input-output analysis, energy consumption, CO₂ emission

1. 서 론

1.1 연구의 목적

20세말에 부각된 지구환경문제는 국제사회의 주요 논점으로 급속히 확산되었으며 21세기는 지속가능한 개발을 전제로 환경규제가 국제적으로 강화되어 경제, 사회, 문화를 지배하는 주된 이슈로 자리 잡고 있다.

1992년 6월 리우데자네이로에서 기후변화협약이 조인되었으며, 1997년 교토회의에서 온실가스 배출 의무 저감에 38개국이 서명하였으며 온실가스 문제에 대한 UN, OECD, ISO등 국제기구 및 선진국의 규제가 강화되고 있고 지구환경문제에 대한 개도국들의 동참을 강요하고 있다. 규제의 대상이 최종 생산제품뿐만 아니라 원료취득에서부터 생산공정, 유통, 소비, 폐기, 회수에 이르는 기업활동 전체로 확대가 됨으로써 앞으로는 환경을 고려하지 않는 상품의 생산, 판매, 수출은 국제적으로 제한 받게 될

것이 예상되고 있어 이에 따른 시급한 조치가 뒤따라야 할 것이다. 이에 따라 기후변화협약에 능동적으로 대처하기 위해서는 각 산업이 배출하는 에너지소비량 및 이산화탄소배출량을 정량적으로 파악하는 것과 향후 얼마만큼 배출할 것인지에 대한 국가적 예측은 무엇보다도 중요한 일로 대두되고 있다.

본 논문에서는 건축물의 건설단계에서 수행되는 건축공사, 토목공사, 기계·전기설비공사의 목록분석을 통해 각각의 공종별 상대적 환경영향정도를 비교, 평가하는 척도로 활용할 수 있다. 따라서 본 연구는 산업연관분석을 이용하여 건축물의 에너지소비량 및 이산화탄소배출량을 보다 정량적으로 평가하는데 주요한 역할을 할 것이다.

1.2 연구의 방법 및 내용

건축산업에서 환경영향을 연구하는 도구로 전과정평가(Life Cycle Assessment : LCA)의 인식은 높아지고 있다. 본 연구는 건축물의 환경영향을 평가하기 위한 것으로 건축물의 전과정을 평가하기 위해서는 크게 목적 및 범위설정, 목록분석, 영향평가, 개선평가 등의 4단계로 구분된다. 이 가운데 목록분석은 영향평가, 개선평가를 수행하는데 있어 필수적인 단계이다. 목록분석에서 사용되는 기법은 직접조사법과 간접추계법으로 구분할 수 있다¹⁾. 이 가운데 간접조사법은 건축물에 투입되는 건축자

* 정회원, 안동대학교 대학원, 건축공학과 석사과정

** 정회원, 한국건설기술연구원, 건축연구부 연구원

*** 정회원, 경북대학교 대학원, 건축공학과 박사수료

**** 정회원, 안동대학교 건축공학과 부교수, 공학박사

본 연구는 과학기술부 우수연구센터육성사업인 친환경건축 연구센터의 지원으로 수행되었음(R11-2005-056-01005-0).

재, 에너지·자원 등 각각의 요구량을 생산하기 위해 다시 여러 산업부문의 요소투입을 필요로 하는 유기적인 연계 관계를 가지고 있다는 것에서 출발한다. 이것은 투입·산출의 개념으로 표현된다. 따라서 본 연구에서는 간접추계법인 산업연관분석법을 이용하였다. 산업연관분석은 한국은행에서 2000년 발표한 산업연관표를 이용하였다.

분석대상 건축물은 2001년 5월에 착공하여 2004년 5월에 준공된 경기도 B시에 위치한 P아파트로 건축개요는 표1과 같다.

표 1. 공동주택건물의 건축개요

구분	내용			
건축규모	지상35층, 지하 3층			
건축면적	59,061m ²			
건폐율	59.21%			
연면적	지상층 연면적	355,075m ²	용적율	355.99%
	지하층 연면적	82,654m ²		
	합 계	437,729m ²		
조경면적	29,109m ²			
세대수	1,829세대			
주차대수	3,130대			

본 연구에서는 공동주택 건축공사의 건설단계, 사용 및 유지관리단계, 철거·해체단계 중 건설단계에서의 건축공사, 토목공사, 설비공사에서 투입된 건축자재 및 재료를 활용하여 각 공종에 따른 에너지소비량 및 CO₂배출량을 산정하고, 비교·분석하는 것으로 한정하였다.

건축공사는 공통가설공사, 철근콘크리트공사, 조적공사, 방수공사, 미장공사, 목공사, 창호공사, 유리공사, 도장공사, 수장공사, 지붕·흡통공사 등 12개 공종으로 구분된다. 토목공사는 흙막이시설 및 차수공사, PILE공사, 부대토목공사, BRIDGE공사 등 4개 공종으로 구성된다. 설비공사는 장비설치공사, 배관공사, 지하주차장공사, 소화설비공사, 가스배관공사, 급수·급탕공사, 난방공사, 오·배수공사 등 12개 공종으로 구성된다.

2. 문헌고찰

2.1 산업연관분석의 개념

산업연관표는 레온티에프(Wassily W. Leontief)에 의해 고안된 경제 분석 방법으로 한 나라의 국민 경제내에서 일정기간동안 생산된 산업 부문간의 재화와 서비스의 거래 관계를 일정한 원칙에 따라 행렬(matrix)형식으로 기록한 종합적인 통계표라고 정의할 수 있다. 여기서 국민경제의 순환과정은 소득의 발생으로부터 분배 및 처분과정

1) 직접조사법은 건축물과 같은 다종다양한 건축자재와 재료, 현장생산 등의 특성을 가지고 있는 대상에 적용하기란 한계가 있다. 또한 조사기간이 길고 조사목록범위가 제한적인 단점을 지니고 있다(KangHee Lee, ChangU Chae(2000), "An Estimation Method of the Life-Cycle Energy and CO₂ of Buildings", The 3rd International Symposium on Architectural Interchanges in Asia, pp539~549).

을 나타내는 소득순환과 생산부문 상호간의 재화와 서비스의 거래를 보여주는 산업순환의 두 가지 측면에서 파악될 수 있다. 산업연관분석은 이러한 소득이 발생하는 배후의 산업간 순환을 대상으로 산업부문간의 상호 의존 관계를 파악함으로써 소비, 투자 및 수출 등 거시적 총량 변수와 임금, 환율 및 원자재 가격 등 가격변수의 변동이 국민경제에 미치는 파급효과를 분석하는 것이다²⁾.

2.2 산업연관표에 의한 원단위 산출기법 고찰

건설자재 생산단계의 원단위 산출은 산업연관분석에 의해 가능하며, 이는 산업연관표로부터 산출되는 투입계수를 기초로 한 산업간 상호의존관계분석이라 할 수 있다. 산업연관표를 이용한 원단위 산출기법에는 앞서 연구된바 있는 건설기술연구원 보고서³⁾의 산출 프로세스에 따라 원단위를 산출하였다. 에너지소비 및 CO₂배출 원단위 산출 프로세스는 그림1과 같다.

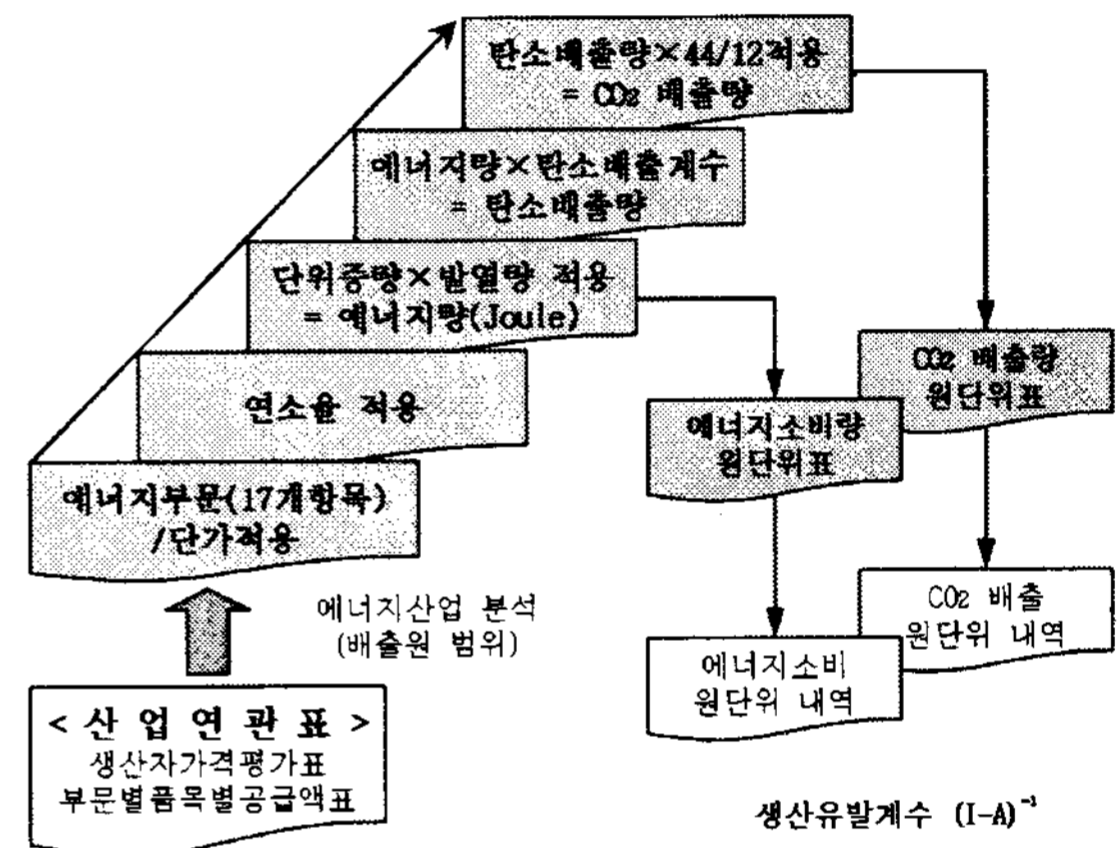


그림 1. 에너지소비 및 CO₂배출 원단위 산출 프로세스

첫째, 산업연관표의 403개 기본부문에 대한 생산유발계수(식1)를 이용하여 각 에너지원별 투입금액을 산출한다.

둘째, 산업연관표의 부속표인 부문별품목별공급액표에 나타나 있는 단가를 에너지원별 투입금액에 적용하여 에너지원별 투입물량을 계산하게 된다.

셋째, 투입물량에 따른 에너지원별 연소율, 발열량 및 탄소배출계수를 적용하여 에너지원별 발열량 및 탄소배출량을 산출하며 에너지원별로 합산하여 총 에너지소비량 및 탄소배출량을 산출하게 된다.

마지막으로 총 에너지소비량은 부문별 투입금액에 따라 원단위로 환산하며, CO₂배출량의 원단위는 식2와 같이 탄소와 CO₂의 분자비인 44/12를 탄소배출량에 적용 후 부문별 투입금액에 따라 산출하게 된다.

$$X = (I - A)^{-1} Y \dots \dots \dots (식1)$$

2) 한국은행(2001), 산업연관표.
3) 건설교통부, "건축물 LCA를 위한 원단위 작성 및 프로그램 개발 연구", 2001, 2002.

여기서 X : 산업부문별 투입량
 $(I-A)^{-1}$: 투입계수행렬(a_{ij})의 역행렬(I 는 단위행렬)
 Y : 공종별 건축자재와 재료의 최종수요

$$CO_2 \text{배출량} = \text{탄소배출량} \times (44/12) \dots\dots\dots(\text{식2})$$

여기서, 에너지원별 투입물량은 산업연관표의 부속표인 '부문별품목별공급액표'를 이용하여 에너지원별 단위가격을 적용하여 산출하였다. 에너지원별 발열량은 에너지이용합리화법 시행령에 제시하고 있는 석유환산표를 이용하였고 탄소배출계수는 국내에서 실시된바 없기 때문에 IPCC(Intergovernmental Panel Climate Change)에서 제시하는 값을 적용하였다.(표2 참조)

표 2. 에너지원별 단위가격, 발열량 및 탄소배출계수

구분	단위가격 ¹⁾	발열량 ²⁾	탄소배출계수 ³⁾	연소율	
원유	242.4원/kg	10,00kcal/kg	20.0kgC/GJ	-	
휘발유	946.1원/ℓ	8,300kcal/ℓ	18.9kg-C/GJ	0.990	
나프타	218.9원/ℓ	8,000kcal/ℓ	20.0kg-C/GJ	0.990	
등유	417.0원/ℓ	8,700kcal/ℓ	19.6kg-C/GJ	0.990	
경유	390.9원/ℓ	9,200kcal/ℓ	20.2kg-C/GJ	0.990	
중유	214.1원/ℓ	9,900kcal/ℓ	21.1kg-C/GJ	0.990	
제트유	257.8원/ℓ	8,700kcal/ℓ	19.5kg-C/GJ	0.990	
LPG	483.2원/kg	12,000kcal/kg	17.2kg-C/GJ	0.990	
도시가스	588.8원/Nm ³	11,000kcal/Nm ³	15.3kg-C/GJ	0.995	
천연가스	340.3원/kg	13,000kcal/kg	17.2kg-C/GJ	-	
무연탄	55.1원/kg	4,500kcal/kg	26.8kg-C/GJ	0.980	
유연탄	38.4원/kg	6,600kcal/kg	25.8kg-C/GJ	0.980	
기타석탄제품	50.7원/kg	6,500kcal/kg	29.5kg-C/GJ	0.980	
전력	수력	75.26원/kwh	860kcal/kwh	22.69kg-C/GJ	-
	원자력				
	화력				

- 에너지원별 단위가격은 '부문별품목별공급액표'에 기재되어 있는 수량 및 금액을 이용하였으며, 국내 생산품과 수입품과의 가격 차이가 발생하기 때문에 가중평균을 적용하였다. 중유의 단가는 벙커A유, B유, C유의 가중평균을 적용하였다. 액화석유가스는 프로판과 부탄만을 고려하고 국내 및 수입에 대한 물량단위 차이로 프로판 비중 2.508[kg/ℓ], 부탄 비중 0.584[kg/ℓ]을 적용하여 산출하였다. 도시가스는 수량이 기재되어 있지 않아 2000년 에너지발란스표(고유단위)에 기재된 도시가스 물량 11,963백만m³을 이용하였다. 수력, 화력, 원자력은 수량이 기재되어 있지 않아 2004년 한국전력공사의 전력통계속보에 기재된 물량을 이용하였다.
- 에너지발열량은 에너지이용합리화법 시행령에 제시하고 있는 석유환산표를 근거로 이용하였다.
- 탄소배출계수는 국내에서 실시된 바 없기 때문에 IPCC이 추천한 탄소배출계수를 이용하였다. 수력과 원자력은 비화석연료이며, 연소에 의한 온실가스 배출분이 극히 미량으로 판단되어 분석대상에서 제외하였다. 화력의 탄소배출계수는 2000년 한국전력공사의 전력통계속보에 기재되어 있는 화력발전량에 투입된 물량(무연탄,유연탄,중유,LNG 등)의 가중평균을 이용하였다.

3. 에너지소비량과 이산화탄소배출량 산정 결과

산업연관분석을 통해 산출된 건축자재 및 재료의 에너지소비량 및 CO₂배출량의 원단위 데이터는 표3과 같다.

이 데이터를 바탕으로 분석대상 공동주택 건설단계의 건축공사, 토목공사, 설비공사의 공종별 에너지소비량 및 CO₂배출량은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

표 3. 건축자재의 에너지소비량 및 이산화탄소배출량 원단위

CODE	산업부문	에너지소비량 (GJ/백만원)	이산화탄소배출량 (T-CO ₂ /백만원)
0039	모래 및 자갈	3.766	0.2636
0040	쇄석	13.752	0.9714
0041	기타건설용석재	23.611	1.7018
0042	석회석	12.505	0.8236
0045	기타 비금속광물	13.380	0.8703
0111	끈, 로프및어망	15.072	1.0563
0118	제재목	3.841	0.2695
0119	합판	5.633	0.3953
0120	재생 및 강화목재	15.554	1.0731
0121	건축용 목제품	6.329	0.4481
0123	기타목제품	7.393	0.5204
0132	기타종이제품	9.503	0.6673
0154	합성수지	26.357	1.9139
0155	합성고무	26.580	1.9345
0165	도료	11.090	0.8536
0167	접착제 및 젤라틴	14.411	1.0282
0171	기타화학제품	11.245	0.8529
0172	플라스틱1차 제품	15.567	1.1067
0173	산업용플라스틱제품	14.408	1.0339
0174	가정용플라스틱제품	13.554	0.9798
0176	산업용고무제품	10.485	0.7649
0178	판유리 및 1차유리	24.181	1.7615
0179	산업용유리제품	12.561	0.8675
0180	기타유리제품	16.954	1.1962
0182	가정용도자기	17.645	1.2509
0183	내화요업제품	16.567	1.3010
0184	건설용점토제품	27.095	1.9168
0185	시멘트	21.719	1.6850
0186	레미콘	14.866	1.0531
0187	콘크리트제품	16.819	1.2639
0188	석회석 및 석고제품	26.856	2.0373
0189	석제품	8.721	0.6076
0190	석면 및 암면제품	18.631	1.3861
0192	아스팔트제품	16.283	1.2384
0194	선철	120.406	12.4694
0195	합금철	22.077	1.3295
0196	조강	57.327	5.7696
0197	철근 및 봉강	42.281	4.0458
0198	형강	37.261	3.5135
0199	선재 및 케조	38.823	3.7151
0200	열간압연강재	38.737	2.4629

CODE	산업부문	에너지소비량 (GJ/백만원)	이산화탄소배출량 (T-CO ₂ /백만원)
0201	강관(주철강관제외)	22.704	2.0969
0202	냉간압연강재	20.684	1.9188
0203	주철물	43.166	4.0607
0204	단조물	28.754	2.7038
0205	표면처리강재	12.235	1.0315
0206	기타철강1차제품	6.719	0.4742
0212	동1차제품	4.583	0.3096
0213	알루미늄1차제품	5.478	0.3594
0214	기타비철금속1차제품	5.499	0.3897
0215	건물용금속제품	11.540	0.9591
0216	구조물용 금속제품	13.109	1.1730
0219	공구류	8.117	0.6427
0220	나사제품	15.435	1.3041
0221	철선제품	14.002	1.1202
0222	부착용금속제품	10.168	0.8372
0225	기타금속제품	8.738	0.6778
0227	밸브	9.593	0.7844
0229	산업용운반기계	5.927	0.4786
0230	공조/냉장냉동장비	6.150	0.4948
0231	보일러	8.662	0.7047
0233	펌프 및 압축기	7.681	0.6422
0234	공기/액체여과청정기	8.343	0.6844
0235	기타일반목적용기계	10.712	0.9062
0249	전기공급 및 제어장치	4.636	0.3463
0250	전선 및 케이블	5.442	0.3866
0252	전구램프 및 조명장치	8.077	0.5641
0253	기타 전기장치	5.892	0.4181
0271	가정용세탁기	5.721	0.4129
0272	가정용선풍기	6.457	0.4842
0273	가정용전열기기	5.127	0.3827
0276	자동조정 및 제어기기	4.459	0.3210
0277	측정 및 분석기기	3.754	0.2644
0295	목재가구	6.372	0.4539
0296	금속가구	11.415	0.9251

3.1 에너지소비량 측면

분석대상 건물의 건설공사에서 투입된 건축자재 및 재료의 총 에너지소비량은 2,472,946.2GJ인 것으로 나타났다. 이 가운데 건축공사는 전체의 84.9%, 토목공사는 1.6%, 설비공사는 13.5%로 대부분이 건축공사에서 발생하고 있는 것으로 조사되었다. 여기서 토목공사의 에너지 소비량이 상당히 낮게 나타난 원인은 토목공사의 경우 건축자재와 재료 투입은 거의 없고, 대부분이 인력 및 장비를 활용한 것에 따른 결과로 사료된다.

① 건축공종별 에너지소비량

건축공사부문에서는 총 에너지소비량은 2,082,086GJ인 것으로 조사되었다. 이 가운데 철근콘크리트공사, 시설물 설치공사, 금속공사, 수장공사 순으로 에너지소비량이 높은 것으로 나타났다.(그림2 참조)

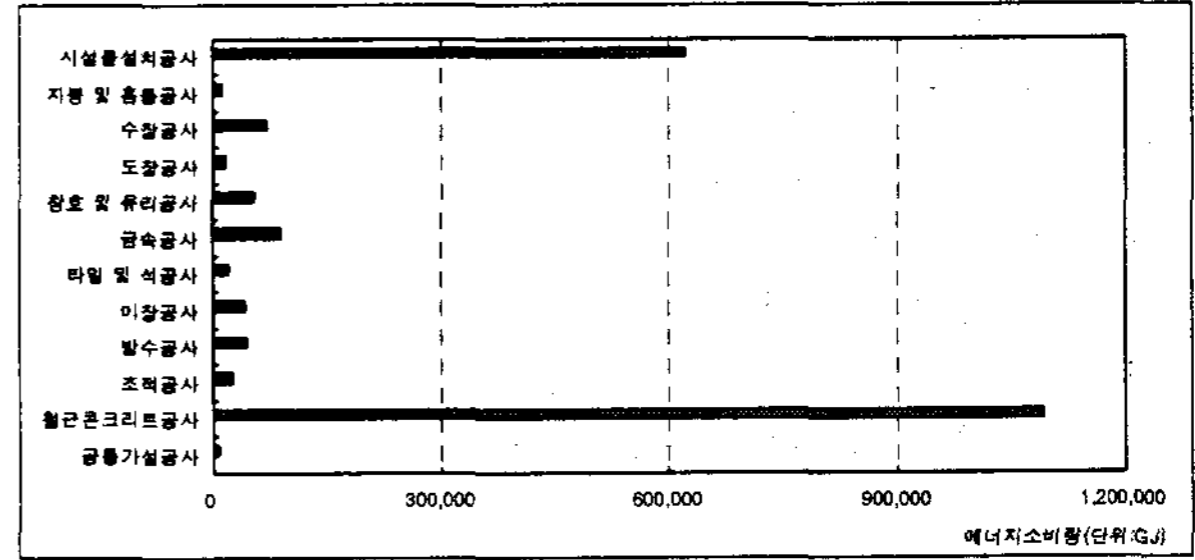


그림 2. 건축공사 공종별 에너지소비량(단위:GJ)

② 토목공종별 에너지소비량

토목공사의 총 에너지소비량은 39,480GJ인 것으로 조사되었다. 공종별 에너지소비량은 PILE공사 28,754GJ로 가장 높게 나타났으며, 부대토목공사, 흙막이가시설공사, BRIDGE공사 순으로 높게 조사되었다.(그림3 참조)

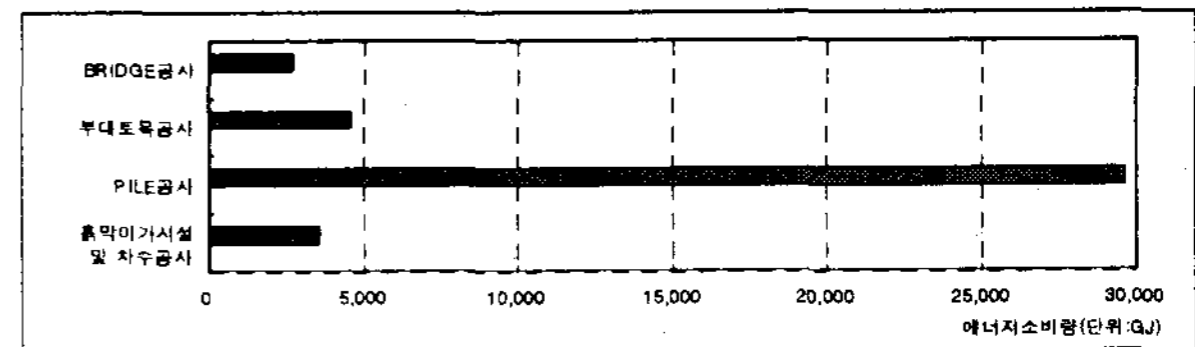


그림 3. 토목공사 공종별 에너지소비량(단위:GJ)

③ 설비공종별 에너지소비량

설비공사의 총 에너지소비량은 330,592GJ이며, 공동구 설비공사, 소화설비공사, 지하주차장설비공사, 장비설치공사 순으로 높게 나타났다.(그림4 참조)

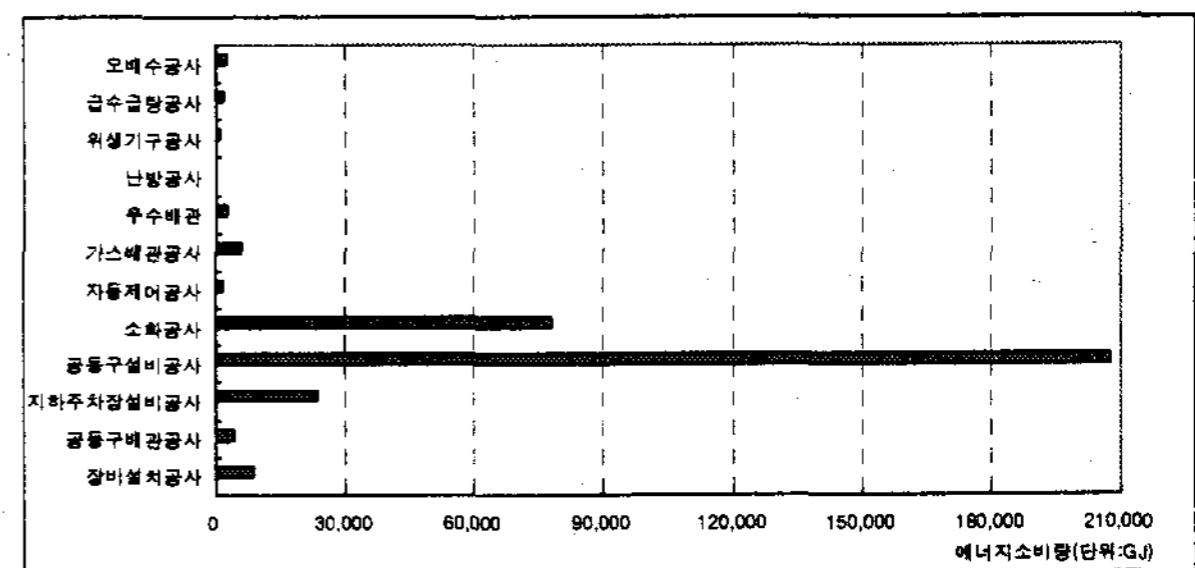


그림 4. 설비공사 공종별 에너지소비량(단위:GJ)

3.2 이산화탄소배출량 측면

CO₂배출은 에너지소비가 의해 발생하는 것으로 지구온난화에 기준이 되는 물질이다. 건설단계에서 발생하는 CO₂배출량은 총 202,087T-CO₂⁴⁾이다. 이 가운데 건축공사

4) T-CO₂는 Ton-CO₂로 10³kg-CO₂이다.

는 전체의 84.0%, 토목공사는 2.2%로, 설비공사는 13.8%로 수준을 차지하고 있는 것으로 조사되었으며, 건축공사에서 대부분의 CO₂를 발생하는 것으로 나타났다.

① 건축공종별 이산화탄소배출량

건축공사에서 발생하는 총 CO₂배출량은 169,722T-CO₂로 조사되었으며, 철근콘크리트공사, 시설물설치공사, 금속공사, 수장공사, 방수공사, 미장공사 순으로 CO₂배출량이 높은 것으로 조사되었다.(그림5 참조)

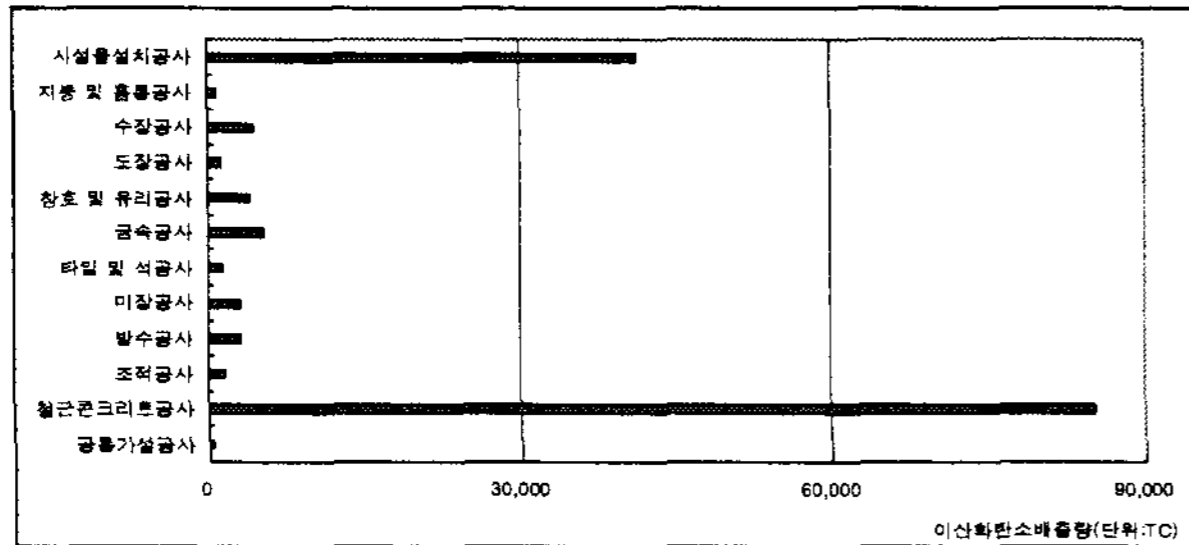


그림 5. 건축공사 공종별 이산화탄소배출량(단위:TC)

② 토목공종별 이산화탄소배출량

토목공사의 총 CO₂배출량은 4,358T-CO₂로 나타났으며 PILE공사, 부대토목공사, 흙막이가시설공사, BRIDGE공사 순으로 CO₂배출량이 높은 것으로 조사되었다.(그림6 참조)

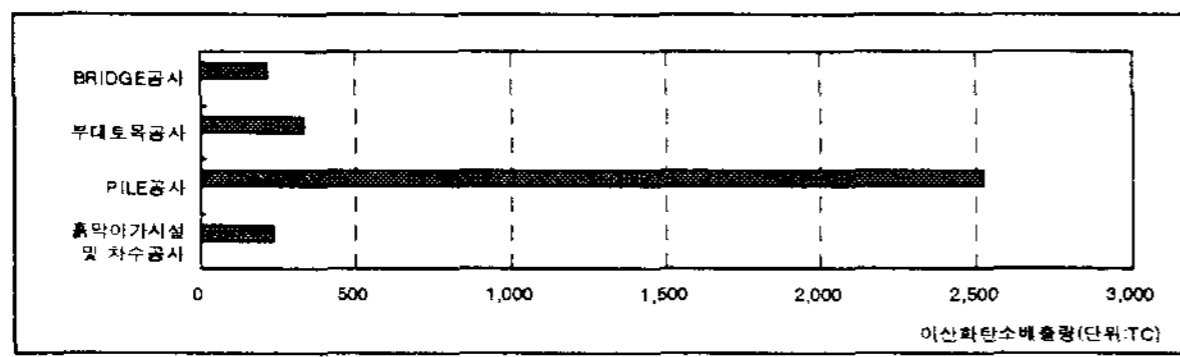


그림 6. 토목공사 공종별 이산화탄소배출량(단위:TC)

③ 설비공종별 이산화탄소배출량

설비공사의 총 CO₂배출량은 28,007 T-CO₂로 조사되었으며 공동구설비공사, 소화공사, 지하주차장공사, 장비설치공사 순으로 CO₂배출량이 높은 것으로 조사되었다. 여기서 건설단계에서 건축공사, 토목공사, 설비공사에서 발생하는 각 공종별 에너지소비량 및 CO₂배출량과는 유사한 추이를 보이고 있는 것으로 판단된다.(그림7 참조)

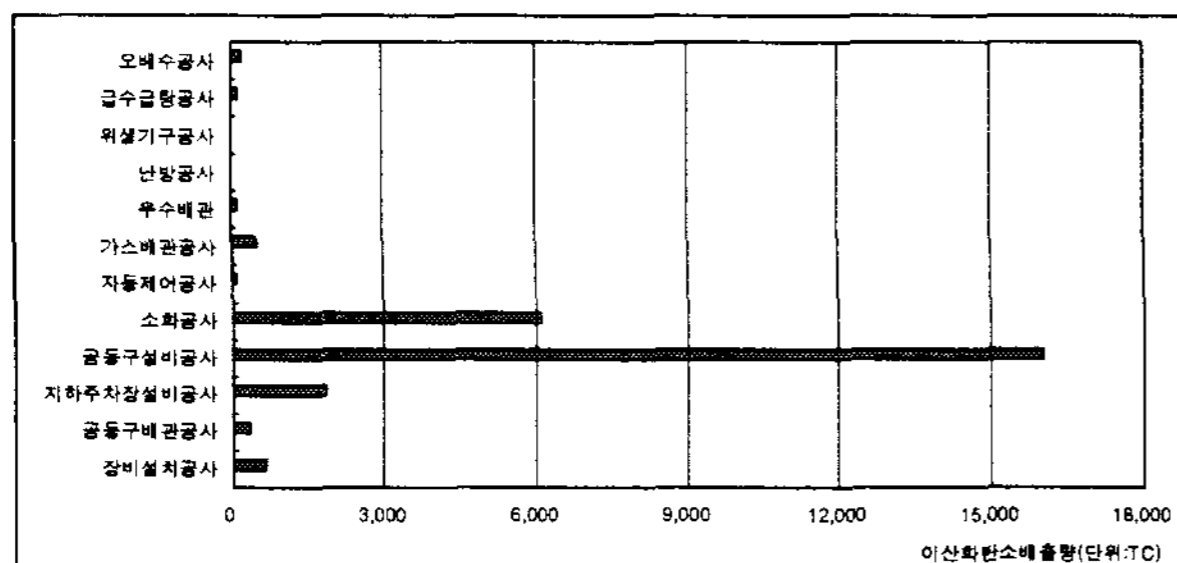


그림 7. 설비공사 공종별 이산화탄소배출량(단위:TC)

4. 결 론

건축물은 건설, 유지관리, 철거/해체단계에 이르는 동안 환경오염물질을 배출하게 된다. 환경영향 분석은 사용하는 건축자재의 상대적인 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량을 비교하는데 효과적이다. 본 논문에서는 공동주택 건설단계에서 사용하는 건축자재와 재료로 인해 발생하는 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량을 산정하였다. 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 공동주택의 건설단계의 에너지 소비량은 총 2,082,086GJ로 분석된다. 이 가운데 철근콘크리트 공사가 가장 높은 수준을 차지하고 있는 것으로 약 1,083,373GJ의 수준을 보이고 있다. 다음으로 시설물 설치공사를 들 수 있다. 토목공사에서 사용된 건축자재와 재료의 에너지 소비량은 39,480GJ로 나타난다. 이 가운데 파일공사가 28,754GJ로써 가장 높은 수준을 보이고 있다.

설비공사의 에너지 소비량은 330,592GJ로써 이 가운데 공구설비공사는 204,413GJ로 가장 높은 수준을 보이고 있다.

둘째, 분석대상 건축물의 이산화탄소 배출량은 건축공사에서 169,722T-CO₂로 나타난다. 이 가운데 철근콘크리트 공사는 약 92,614T-CO₂의 이산화탄소 배출량을 보이고 있다. 토목공사의 이산화탄소 배출량은 약 4,358T-CO₂로 파일공사는 2,656T-CO₂로 높은 수준을 보이고 있다. 설비공사의 이산화탄소 배출량은 28,007T-CO₂로 이 가운데 공구설비공사는 17,214T-CO₂로 높은 수준을 보이고 있다.

본 연구에서 건축물 LCA 수행방안을 검토하고 건설단계에 투입된 건설자재 및 재료의 환경부하 원단위로서 에너지소비량 및 CO₂배출량을 산출하였다. 즉, 2000년 산업연관표를 이용한 건설자재의 원단위를 산출함으로써 건설 활동에 따른 지구온난화에 미치는 영향을 파악할 수 있는 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

향후, 보다 객관적이고 정량적인 건설 활동에 따른 에너지소비 및 CO₂ 배출 특성을 파악하기 위해서는 건설과정에서 소요되는 수많은 자재를 간략화 할 수 있는 표준물량 분석과 원단위와의 접목에 대한 연구가 필요하며, 계속해서 사용 및 유지관리단계, 철거·해체단계의 원단위 산출에 대한 연구가 추진되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 강광하(2001), 산업연관분석론, 연암사.
2. 이강희(2000), "공동주택건설단계의 건축공사에 따른 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량 산정에 관한 연구", 대한건축학회 계획논문집 16권4호(통권138호), pp125~132.
3. 한국은행(2003), 2000년 산업연관표 작성보고.
4. 이강희, 이경희(1996), "건축활동에 따른 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량 산정", 대한건축학회논문집12권7호 통권93호, pp197~205.
5. 이강희, 채창우(2002), "산업연관분석법을 이용한 공공건축물의 에너지소비량과 이산화탄소 배출량산정연구", 대한건축학회 계획논문집18권5호, "pp99~107.

6. 한국건설기술연구원(2002), 건축물의 LCA를 위한 원단위작성 및 프로그램개발연구, pp161~217.
7. (社) 建築業協會(1991), 我が國における建築物の建設に係わる資源消費と關聯する影響要因の實態, -建設業に係わる地球環境問題の研究-
8. (社)日本建築學會 地球環境委員會 ライフサイクルCO₂小委員會(1996), ライフサイクルCO₂で建物を測る-建物の環境負荷評價の手引き-
9. (社)日本建築學會 地球環境建築研究特別員會(1995), 建築・地域環境・地球環境の在り方.
10. 茂呂誠志 외 6인(1995), "LCCO₂による事務所ビルの施算(その1)", 日本建築學會 學術大會梗概集, pp885~886.
11. Raymond J. Cole and Paul C. Kernan(1996), "Life-Cycle Energy Use in Office Building", Building and Environment vol.31, No.4, pp307~317.
12. Raymond J. Cole(1999), "Energy and greenhouse gas emission associated with the construction of alternatives structural system", Building and Environment34, pp335~348.
13. KangHee Lee, ChangU Chae(2000), "An Estimation Method of the Life-Cycle Energy and CO₂ of Buildings", The 3rd International Symposium on Architectural Interchanges in Asia, pp539~549.