

공동주택의 신축공사와 리모델링 공사에 공종별 에너지 소비량 및 환경영향 비교 연구

A Comparison of Embodied Energy and Environmental Impact on the New Building and Remodelling of Construction Types in Apartment Housing

이 강 희*
Lee, Kang-Hee

Abstract

Recently, the environmental conservation has been emphasized over the world. Building industry should carefully reflected the development focused on the economic aspect as well as the environmental considerations. Therefore, it requires the technology development to mitigate the environmental pollution through the reduction of the energy and resources usage amount over the building life cycle. For these, it should be required to set up the analysis methodology to grasp the amount of the environmental pollution and energy and resources in each step of building life cycle. In this paper, it aimed at preparing the analysis process and analyzing the embodied energy and CO₂ and SO_x emission according to the building work, field work, mechanical and electrical work on the new building and remodelling, utilizing the inventory analysis which is one of the LCA process.

Keywords : embodied energy, CO₂, SO_x, environmental affect, life cycle assessment

주요어 : 리모델링, 전과정평가, 환경영향, 에너지 소비량, 지구온난화물질

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

최근의 환경보전에 대한 인식과 확산은 건축물의 라이프사이클 과정에서 자원, 에너지 사용을 저감하고 환경오염을 줄이는 기술개발이 요구되고 있다. 이를 위해 건축물 라이프사이클 단계에서 자원·에너지 소비량, 환경영향물질 배출량을 파악할 수 있는 방법론의 정립이 요구되고 있다. 건축물의 라이프사이클과정에서 에너지·자원 등의 투입과 환경영향요소를 종합적으로 연계하여 평가하는 기술로는 전과정평가(LCA, Life Cycle Assessment)가 효과적인

수단으로 제시되고 있다. 전과정평가(LCA)는 라이프사이클 과정에서 에너지·자원의 투입과 환경오염물질의 배출로 인한 지구온난화, 산성우 등의 환경영향정도를 정량적으로 분석할 수 있다.

본 논문에서는 건축물의 신축공사와 리모델링공사에서 수행되는 건축공사, 토목공사, 기계·전기설비공사의 목록분석을 활용하여 각각의 공종별 내재 에너지(embodied energy)와 이산화탄소, 황화합물 등의 환경영향물질 배출원단위를 산정하는 것이다. 본 연구결과를 통해 신축공사와 리모델링공사에서 수행되는 工事別 혹은 工事 각각의 工種別 상대적 환경영향정도를 비교, 평가하는 척도로 활용할 수 있다.

2. 연구내용 및 방법

본 논문에서는 건축물의 신축공사와 리모델링공사에서 투입되는 에너지 소비량과 이산화탄소 등의 환

*정회원, 안동대학교 건축공학과 조교수, 공학박사

본 연구는 안동대학교 2003년도 기성회 연구지원사업으로 수행된 연구결과의 일부임.

경영항물질 배출량을 산정하는 것이다. 이것은 전과정평가의 목록분석을 이용하여 수행할 수 있다. 전과정평가(LCA)는 크게 목적 및 범위, 목록분석, 영향평가, 개선평가 등의 4단계로 구분된다. 이 가운데 목록분석은 영향평가, 개선평가를 수행하는데 있어 必須的인 단계이다. 목록분석(Inventory analysis)에서 사용되는 기법은 크게 직접조사법과 間接推計法으로 구분할 수 있다. 본 논문에서는 투입·산출의 개념을 이용하여 간접추계법인 産業聯關分析法를 이용하였다. 산업연관분석법은 한국은행에서 1998년 발표한 산업연관표를 이용하였다. 산업연관표¹⁾는 1998년에 발표되었고 분석대상 신축공사와 리모델링공사 공동주택은 2001년 12월에 착공되었다²⁾. 따라서 4년간의 시간적 차이는 補整이 필요하다. 이를 위해 생산자 물가지수를 이용하여 工種別 건축자재와 재료에 대한 수요량을 1998년으로 보정하였다.

그리고 본 논문에서는 공동주택의 신축공사와 건물기능 혹은 성능이 저하된 시점에서 수행되는 리모델링공사에 따른 환경영향을 분석하였다. 이를 위해 각각의 공종별 내재에너지(embodied energy) 소비, 이산화탄소(CO₂) 배출, 황화합물(SO_x) 배출 原單位를 산정하였다. 원단위는 면적측면에서 나타내고 있다³⁾. 에너지 소비원단위는 Mcal/m², 이산화탄소와 황화합물의 배출원단위는 각각 kg-CO₂/m², kg-SO_x/m²으로 표현된다. 신축공사는 크게 건축공사, 토목공사, 기계·전기설비공사 등으로 구분되며 리모델링 공사는 크게 건축공사, 기계·전기설비공사 등으로 구분된다.

3. 연구의 범위

공동주택의 신축공사 분석대상은 A아파트는 경상북도 A시에 위치하고 있으며 리모델링공사 분석대상 B아파트는 B시에 위치하고 있으며 이들의 건축

1) 산업연관표는 1995년도에 실측조사자료를 발표하였으며 1998년도는 1995년도의 연장표이다.
 2) 리모델링공사 대상 공동주택은 신축공사와의 시간적 차이는 1개월 정도임으로 2001년 12월을 기준으로 하여 분석하였다.
 3) 공동주택의 신축공사와 리모델링공사의 상호비교를 위해서는 總量的인 측면보다는 原單位 側面이 바람직하다. 이것은 건물규모 혹은 투입된 건축자재와 재료 등이 내용이 다양하게 發生하기 때문이다.

표 1. 분석대상 공동주택의 건축개요

신축공사 : A아파트				리모델링공사 : B아파트			
구분	내용	구분	내용	구분	내용	구분	내용
대지면적	25,282.4 m ²	건폐율	16.1%	대지면적	181,074 m ²	건폐율	14.1%
건축연면적	45,537.3 m ²	용적율	175.2%	건축연면적	122,434 m ²	용적율	68%
세대수	579 세대	사용유형	임대	세대수	2,810 세대	난방방식	중앙 집중 난방 방식
층수	12~15층	난방방식	개별 난방 방식	평형 구성	13평, 15평, 18평, 25평, 27평	층수	5층

표 2. 신축공사와 리모델링공사의 공종구성

	신축공사	리모델링공사
건축공사	가설공사, 철근콘크리트공사, 조적공사, 결로보완공사, 목공사, 잡공사, 지붕 및 흡통공사, 창호 및 유리공사, 도장공사, 수장공사, 단열공사, 토공사, 지정공사, 미장공사 등 14개 공종	가설공사, 조적공사, 방수 및 타일공사, 금속공사, 미장공사, 창호공사, 도장공사, 수장공사, 기타공사, 철거공사 등 10개 공종
토목공사	지하저수조공사, 공동구공사, 급수간성공사, 오수공사, 부대시설공사, 옹벽공사, 포장공사, 배수공사, 토공사 등 9개 공종	-
기계 전기 설비공사	소화공사, 난방공사, 오배수공사, 급탕공사, 급수공사, 옥내외 전기설비공사 등 6개 공종	위생도기공사, 위생배관공사, 난방배관공사 등 3개 공종과 전기설비공사

개요는 <표 1>과 같다.

본 연구에서는 新築工事와 리모델링공사의 공종별 분석대상 가운데 신축공사는 건축공사, 토목공사, 기계·전기설비공사 등 3개 부분으로 구분되며 리모델링 공사는 건축공사, 기계설비공사, 전기설비공사 등으로 구분된다. 이들 내용을 나타내면 <표 2>와 같다.

II. 産業聯關分析을 이용한 목록분석기법

공동주택의 LCA의 目錄分析技法은 적상법, 간접추계방법, 이 두 가지를 절충하는 混合法 등 크게 3가지로 나눌 수 있다. 이들 분석방법의 적용현황, 산

업연관분석법 적용과정을 정리하면 다음과 같다.

1. 기존 研究現況

1990년대 초기에는 직접조사법을 이용하여 모래 및 자갈, 콘크리트 등의 대표적인 건축자재와 재료에 대해 수행하였다⁴⁾. 그러나 이것은 分析對象範圍가 제한적이고, 시간적·비용적 측면에서 한계가 드러남으로써 보다 간접적인 방법으로 효과적이고 효율적인 방법을 탐색하였다. 이에 대한 대안으로서 간접적인 추계방법으로써 産業聯關分析法이 제시되었다. 이것은 건축물의 라이프사이클 과정에서 사용되는 건축자재, 재료, 에너지 등의 산업부문이 直·間接的인 連繫關係를 지니고 있는 것을 이용하여 분석하는 것이다.

산업연관분석을 이용한 연구내용은 크게 공종, 건축자재와 재료, 건물유형으로 구분할 수 있다. 이 가운데 대부분이 건축자재와 재료에 대한 에너지 소비원단위와 지구온난화물질 배출원단위를 제시하는 것이다. Noboru Urishizaki 외 3인(1994)은 건물유형과 여기에 투입되는 건축자재와 재료에 따른 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량을 산정하고 있다⁵⁾. 11개의 건물유형과 자갈, 석재, 페인트 등의 건축자재와 재료에 대한 에너지소비와 이산화탄소 배출원단위를 제시하고 있다. 茂呂誠志 외 6인(1995)은 건물유형에 따라 라이프사이클을 통해 배출되는 이산화탄소를 계산한 LCCO₂를 제안하고 있다. 6개의 사무소 건물에서의 이산화탄소 배출량을 구하고 구조형식에 따른 경향을 定量的으로 평가하였다⁶⁾. 分析結果 건설단계에서는 이산화탄소 배출에 가장 큰 영향을 주는 것은 구체공사로 나타났다. 구조형식별로는 철골철근콘크리트조, 철근콘크리트조, 철골조순으로 이산화탄소 배출이 적은 경향을 보이고 있다.

다른 한편으로 Raymond J. Cole과 Paul C.

Kernan(1996)은 주요 구조재와 비구조재로 구분하여 건축물의 生涯過程에서 요구되는 에너지를 산정하였다⁷⁾. 또한 그는 목조, 철골조, 철근콘크리트조의 건물유형에 따른 에너지 소비량과 지구온난화물질 排出量을 산정하였다⁸⁾. 건물의 壽命을 20년과 100년으로 구분하고 벽체, 바닥판 두께에 따른 에너지 소비량과 이산화탄소, 질소화합물, 메탄 등의 지구온난화 가스 배출량을 산정하고 있다. 한편, Michiya 외 1인은 공종별 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량을 산정하고 있다⁹⁾. 특히, 이 연구에서는 설비시스템의 예상수명을 15~25년을 가정하여 수명동안 발생하는 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량을 제시하고 있다.

국내의 연구로 이강희 외 1인(1996)은 공동주택을 대상으로 건축자재와 재료에 대한 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량을 산정하고 있다¹⁰⁾. 건설단계의 건축공사에 사용되는 모래 및 자갈, 레미콘 등의 대표적인 건축자재와 재료의 원단위를 제시하고 있다. 또한 그는 公共建築物의 철골조와 철근콘크리트조를 대상으로 하여 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량을 제시하고 있다¹¹⁾. 이 연구에서는 철골조와 철근콘크리트가 비슷한 水準을 유지하고 있는 것으로 분석되었다. 한국건설기술연구원(2001)에서는 건축물 유형, 구조형식과 라이프사이클 단계에 따른 目錄分析을 위한 원단위를 작성하였다¹²⁾. 이 연구에서는 目錄分析에 요구되는 에너지 소비원단위와 이산화탄소 배출원 단위를 작성하고 있다. 이와 같은 다양한 목록분석을 위한 연구는 건축물 용도, 구조형식, 라이프

7) Raymond J. Cole and Paul C. Kernan(1996), "Life-Cycle Energy Use in Office Building", Building and Environment, Vol. 31, No. 4, pp.307-317.

8) Raymod J. Cole(1999), "Energy and greenhouse gas emission associated with the construction of alternatives structural system", Building and Environment, 34, pp.335-348.

9) Michiya Suzuki and Tatsuo Oka(1998), "Estimation of Lifecycle energy consumption and CO₂ emission of office building in Japan", Energy and Building, 28, pp.33-41.

10) 이강희, 이경희(1996), "건축활동에 따른 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량 산정", 대한건축학회논문집, 12권 7호, 통권 93호, pp.197-205.

11) 이강희, 채창우(2002), "산업연관분석법을 이용한 공공 건축물의 에너지소비량과 이산화탄소 배출량산정연구", 대한건축학회계획계 논문집, 18권 5호, pp.99-107.

12) 한국건설기술연구원(2002), 건축물의 LCA를 위한 원단위작성 및 프로그램개발연구, pp.161-217.

4) (社)建築業協會(1991), 我が國における建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-, pp.1-5.

5) Noboru Urushizaki 외 3인(1994), "Research on LifeCycle Fixed Resources and Exhausted Carbon Dioxide By Building in Japan", Building and Environment Proceedings of the first International Conference, Session Material, pp.1-8.

6) 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, pp.885-886.

프사이클 단계, 건축자재와 재료에 대해 제한적으로 수행되고 있다.

그러나 우리 나라에서 수행된 연구는 신축공사의 건축공사를 대상으로 분석하고 있으며 건축자재와 재료의 분류는 40개 산업으로 분류하여 연구한 것이 대부분이다. 이와 같은 연구결과로는 건축물 라이프 사이클과정에서 건축공사, 토목공사, 기계·전기설비공사 각각의 공종별 상대적 영향도를 분석하기란 한계를 지니고 있다. LCA의 목록분석이 공사별 혹은 공사내의 공종별 상대적 영향도를 비교하여 환경영향이 과다한 부분에 대한 기술적 개선을 도출하는 것이다. 이에 비추어 볼 때 라이프사이클 단계별 공사 혹은 공종별 목록분석단위를 구축하는 한편, 건축자재와 재료에 대응하는 산업부문의 세분화에 따른 산업연관분석법의 흐름 및 방법의 정립이 요구된다.

2. 산업연관분석의 흐름

産業聯關分析은 건축공사에서 요구되는 건축자재와 재료를 생산하기 위해 여러 산업이 서로 연계관계를 갖고 있다는 점에서 출발한다. 그리고 산업부분의 상호연관관계를 표현하고 있는 産業聯關表를 이용한다. 이것은 6단계의 과정으로 구분하여 설명할 수 있다<그림1 참조>.

우선, 공종별 투입되는 건축자재와 재료를 건축공사, 토목공사, 기계·전기설비공사에 해당하는 공종으로 분류하는 것이다¹³⁾.

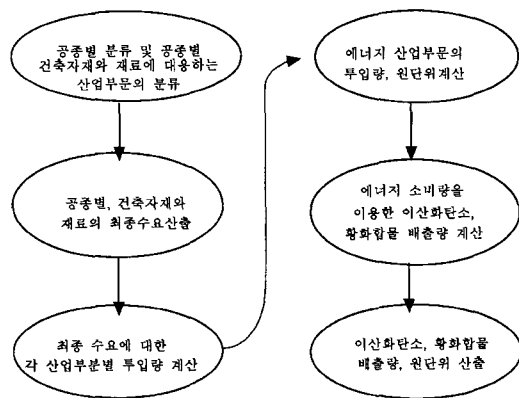


그림 1. 산업연관분석 과정 및 흐름

13) 해당 공종의 물량은 공사비 내역서를 이용한다.

두 번째 단계로 산업연관표상의 産業部門에 대응하는 건축재료와 자재의 최종수요량을 공종별로 산출하게 된다. 산업연관표상에서는 403개의 산업으로 구분하고 있지만 건축분야에 적합하도록 73개의 産業으로 재분류하였다. 또한 한국은행에서 제시하고 있는 산업연관표의 작성시점은 1998년이고 분석대상 건물의 건설시점과의 시간적 차이를 보정하기 위해 공종별, 재료별 최종수요를 1998년 기준으로 할인율을 등을 곱하여 보정하여야 한다¹⁴⁾.

세 번째 단계로 73개의 산업부문과 분석대상 건축물의 공종별 건축자재와 재료의 최종수요를 이용하여 각 산업부문별 투입량을 산정하게 된다. 이것은 73개 산업부문에 대한 투입계수행렬(a_{ij}, 73×73)을 계산하고 이것의 역행렬을 구하는 과정이 발생한다. 이렇게 구해진 역행렬과 공종별 건축자재와 재료의 최종수요를 곱함으로써 본 분석대상건물을 건설하기 위해 투입된 73개 산업부문의 투입량을 산정할 수 있다. 이것은 식 (1)과 같이 나타난다.

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

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

네 번째 단계로 앞서의 단계에서 73개 산업부문별 투입량에서 에너지 산업부문만을 추출하여 본 분석대상 건물에 투입된 건축자재와 재료부문을 위한 에너지 소비량 및 에너지 소비원단위를 산출하게 된다. 여기에서 에너지 소비량은 <표 3>을 이용하여 건축자재와 재료부문에 소요되는 에너지원별 구입량을 계산하고 다시 에너지원별 열량을 계산하는 과정을 거치게 된다. 에너지 소비원단위는 공종별 투입되는 에너지 소비량을 건축연면적으로 나눈 값(Mcal/m²)으로 표현된다.

다섯 번째 단계로 앞서 산출된 에너지 소비량에 단위열량당 발생하는 이산화탄소 배출 단위량, 황화합물 단위량을 곱하여 공종별 이산화탄소, 황화합물

14) 보정치는 생산자물가지수를 이용하였으며 2001년 대비 1998년의 보정치는 0.982041로 제시할 수 있다.

표 3. 에너지원별 단위가격, 발열량 및 이산화탄소, 황화합물 배출량¹⁵⁾

산 업	단위가격	발열량*	이산화탄소 배출량*	황화합물*
무연탄 ^{*****}	54.1원/kg	5.979 Mcal/kg	0.6368 kg-c/kg	0.00746 kg-s/kg
유연탄	51.7원/kg	4.444 Mcal/kg	0.4987 kg-c/kg	0.00517 kg-s/kg
원유	104.2원/l	8.550 Mcal/l	0.6143 kg-c/l	0.00915 kg-s/l
천연가스(LNG)	166.4원/kg	13.000 Mcal/kg	0.8328 kg-c/kg	0.00010 kg-s/kg
나프타	117원/l	8.000 Mcal/l	0.6699 kg-c/l	0.00036 kg-s/l
휘발유	1,122.0원/l	8.300 Mcal/l	0.6568 kg-c/l	0.00033 kg-s/l
제트유	195원/l	8.630 Mcal/l	0.7057 kg-c/l	0.00109 kg-s/l
등유	498.2원/l	8.700 Mcal/l	0.7139 kg-c/l	0.00068 kg-s/l
경유	552.2원/l	9.200 Mcal/l	0.7781 kg-c/l	0.00850 kg-s/l
중유	262.7원/l	9.900 Mcal/l	0.8569 kg-c/l	0.02850 kg-s/l
액화석유가스	815원/kg	11.900 Mcal/kg	0.8486 kg-c/kg	0.00012 kg-s/kg
수력	72.1원/kWh	0.860 Mcal/kWh	-	-
화력				
원자력				

*에너지경제연구원(2002), 현장조사자료.
 **석유협회보, 대한석유협회 : 주간석유뉴스, 한국석유공사
 ***한국전력공사, 산업자원부
 ****한국가스공사, 한국도시가스협회
 *****대한광업진흥공사
 *****에너지원별 단위가격은 1998년 12월 기준

배출량을 산정하게 된다.

마지막 단계로 앞서 산출된 이산화탄소 배출량, 황화합물 배출량을 해당 공종별로 구분, 합산하게 된다. 그리고 이것을 이용하여 공종별 이산화탄소 배출원단위(kg-CO₂/m²), 황화합물 배출원단위(kg-SO_x/m²)를 구하는 과정으로 구성된다.

III. 신축공사의 에너지 소비량과 환경영향물질 배출량 산정

공동주택의 신축공사에서는 크게 건축공사, 토목공사, 기계·전기설비공사 등으로 이루어진다. 건축공사, 토목공사, 기계·전기설비공사에 요구되는 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량, 황화합물 排出原單位를 산정하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

1. 에너지 소비측면

건축공사, 토목공사, 기계·전기공사의 공종별 에

너지 소비량을 이용하여 에너지 소비원단위를 계산할 수 있다. 에너지 소비원단위는 建物延面積을 이용하였으며 Mcal/m²로 표현된다. 신축공사에서 건축공사, 토목공사, 기계·전기설비공사에서 발생하는 총 에너지 소비원단위는 115.15 Mcal/m²인 것으로 나타난다. 이 가운데 건축공사에서 발생하는 에너지 소비원단위는 93.62 Mcal/m²(81.3%), 토목공사에서는 6.64 Mcal/m²(5.8%), 기계·전기설비공사에서는 14.89 Mcal/m²(12.9)인 것으로 나타난다.

新築工事의 工種가운데 미장공사, 철근콘크리트공사, 단열공사, 지정공사 등에서 높은 에너지소비원단위를 보이고 있다. 특히, 미장공사는 30.19 Mcal/m²으로 가장 높은 수준을 보이고 있으며 철근콘크리트공사는 24.89 Mcal/m²의 수준을 보이고 있다.<그림 2> 토목공사 가운데 에너지 消費原單位가 높은 공종은 포장공사, 공동구 공사, 토공사 등을 들 수 있다. 포장공사는 1.17 Mcal/m²로 가장 높은 수준을 보이고 있으며 토공사는 1.06 Mcal/m², 공동구공사는 1.08 Mcal/m²의 수준을 보이고 있다.

기계·전기설비공사 가운데 에너지 消費原單位가 높은 공종은 오배수 공사를 들 수 있다. 오배수공사

15) 에너지경제연구원 조사결과 전력에너지에서는 이산화탄소, 황화합물은 발생하지 않는 것으로 제시하고 있다.

의 에너지 소비원단위는 9.60 Mcal/m²로 다른 工種에 비해 상대적으로 높은 수준을 보이고 있다.<그림 4>

2. 이산화탄소 배출측면

이산화탄소 排出量은 에너지 소비로 인해 발생하는 것으로 地球溫暖化에 기준이 되는 물질이다. 이산화탄소 배출량을 建物延面積으로 나눈 면적당 이산화탄소 排出原單位(kg-CO₂/m²)을 계산한 결과는

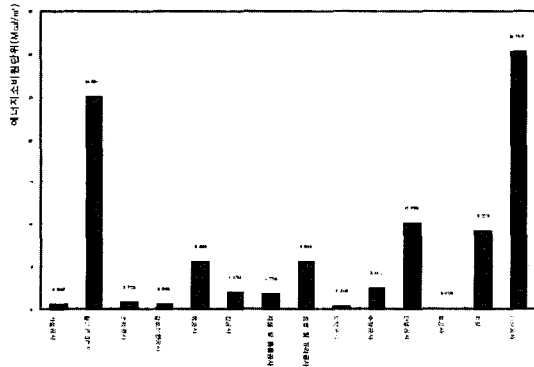


그림 2. 건축공사의 에너지 소비원단위(Mcal/m²)

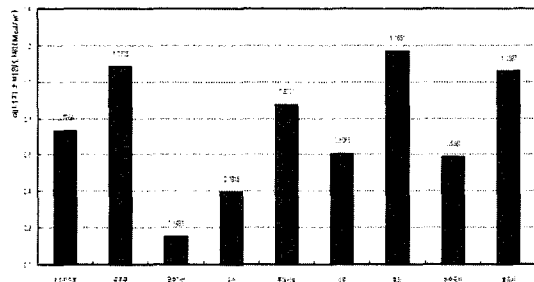


그림 3. 토목공사의 에너지 소비원단위(Mcal/m²)

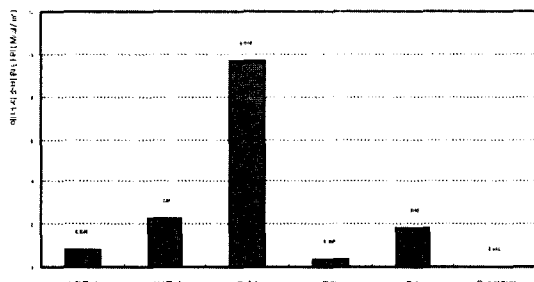


그림 4. 기계·전기설비공사의 에너지 소비원단위(Mcal/m²)

다음과 같다. 新築工種에서 발생하는 총이산화탄소 배출원단위는 66.92 kg-CO₂/m²로 나타난다. 이 가운데 건축공사에서는 53.45 kg-CO₂/m²(79.9%)로 나타나며 토목공사에서는 4.02 kg-CO₂/m²(6.0%), 기계·전기설비공사에서는 9.45 kg-CO₂/m²(14.1%)의 수준을 갖는 것으로 나타난다.<그림 5>

미장공사의 이산화탄소 배출원단위는 15.44 kg-CO₂/m²로 가장 높은 수준이며 다음으로는 철근콘크리트 12.51 kg-CO₂/m²의 수준을 갖고 있는 것으로 나타난다. 이와 같은 결과에 비추어 볼 때 미장공사, 철근콘크리트공사 등의 건축공사 이산화탄소 排出原單位의 대부분을 차지하고 있는 것으로 판단된다.<그림 6>

土木工種에서의 이산화탄소 배출원단위가 가장 높은 수준을 나타내고 있는 工種은 포장공사로 0.79 kg-CO₂/m²이며 다음으로는 공동구공사로 0.66 kg-CO₂/m²이며 토목공사는 0.64 kg-CO₂/m²이다.<그림 7>

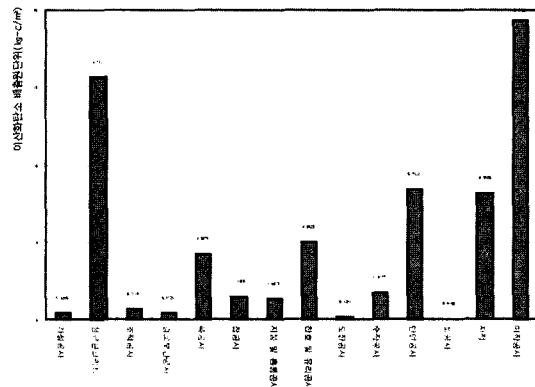


그림 5. 건축공사의 이산화탄소 배출원단위(kg-CO₂/m²)

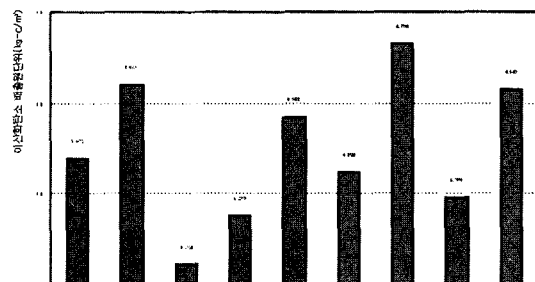


그림 6. 토목공사의 이산화탄소 배출원단위(kg-CO₂/m²)

Mcal/m² 인 것으로 나타난다. 이 가운데 건축공사에서 발생하는 에너지 소비원단위는 45.62 Mcal / m²(58.6%), 기계설비공사에서는 27.27 Mcal/m²(35.1%), 전기설비공사에서는 4.91 Mcal/m²(6.3%)인 것으로 나타난다.<그림 11>

건축공사의 工種가운데 수장공사, 창호공사, 조적공사등에서 에너지 소비원단위가 높은 것으로 나타난다. 수장공사는 15.57 Mcal/m²으로 가장 높은 수준을 보이고 있으며 창호공사는 12.44 Mcal/m², 조적공사는 7.09 Mcal/m²의 에너지 消費原單位를 나타내고 있다.<그림 12>

기계·전기설비공사 가운데 에너지 소비원단위가 높은 공종은 앞서의 에너지 消費量이 많은 공종으로 위생배관공사, 위생도기설치공사, 난방배관공사 순이다. 위생배관공사는 12.33 Mcal/m²로 가장 높은 수준을 보이고 있으며 위생도기설치공사는 11.32 Mcal/m², 난방배관공사는 3.62 Mcal/m²의 수준을 보이고 있다. 전기설비공사의 에너지 소비원단위는 3.67 Mcal/m²로 기계설비공사 총 에너지 소비원단위의

18% 수준에 머무르고 있다.

2. 이산화탄소 배출측면

리모델링공사에서 발생하는 총이산화탄소 배출원단위는 46.9 kg-CO₂/m²으로 나타난다. 이 가운데 건축공사에서는 26.77 kg-CO₂/m²(56.0%)로 나타나며 기계설비공사에서는 18.01 kg-CO₂/m²(37.7%), 전기설비공사에서는 2.99 kg-CO₂/m²(6.3%)의 수준을 갖는 것으로 나타난다.<그림 13>

건축공사에서의 에너지 소비원단위를 공종별로 구분하면 수장공사가 가장 높은 수준이다. 수장공사의 이산화탄소 排出原單位는 8.34 kg-CO₂/m²이며 다음으로는 창호공사로 6.71 kg-CO₂/m², 조적공사는 5.01 kg-CO₂/m²으로 나타난다.<그림 14>

기계설비공사에서 이산화탄소 배출원단위는 위생배관공사와 위생도기설치공사가 각각 7.96 kg-CO₂/m²과 8.01 kg-CO₂/m²로 유사한 수준을 보이고 있다. 전기설비공사의 이산화탄소 배출원단위는 2.99 kg-CO₂/m²로 기계설비공사의 난방배관공사보다 1.0 kg-CO₂/m² 정도 上廻하는 수준을 형성하고 있다.

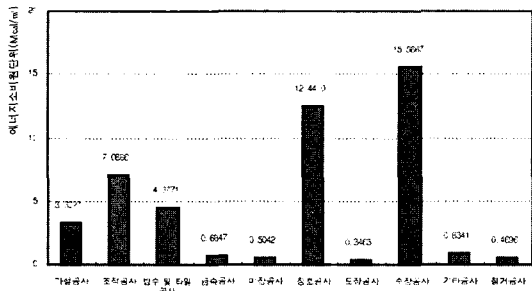


그림 11. 건축공사 공종별 에너지 소비원단위(Mcal/m²)

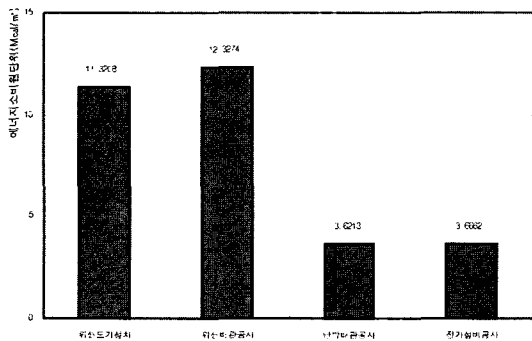


그림 12. 기계·전기설비공사의 공종별 에너지 소비원단위(Mcal/m²)

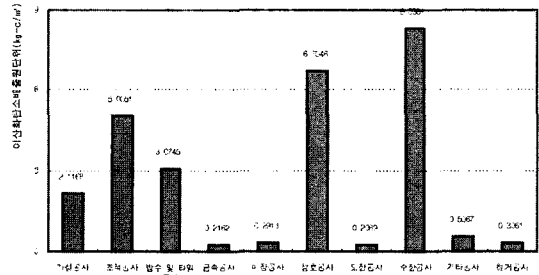


그림 13. 건축공사 공종별 이산화탄소 배출원단위 (kg-CO₂/m²)

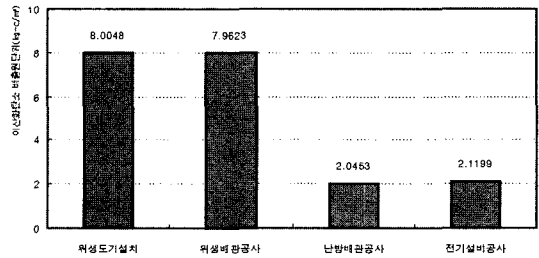


그림 14. 기계·전기설비공사 공종별 이산화탄소 배출원단위(kg-CO₂/m²)

3. 황화합물 배출측면

리모델링 공사에서 황화합물 배출원단위는 0.9062 kg-SO_x/m²로 나타난다. 이 가운데 건축공사에서는 0.64 kg-SO_x/m²(70.1%), 기계설비공사에서는 0.24 kg-SO_x/m²(26.1%)의 原單位를 지니고 있는 것으로 나타난다. 전기설비공사에서는 0.0035 kg-SO_x/m²(3.7%)의 원단위를 지니고 있는 것으로 나타난다.<그림 15>

建築工事 가운데 황화합물 배출원단위가 가장 높은 공종은 수장공사를 들 수 있다. 수장공사의 황화합물 배출원단위는 0.2251 kg-SO_x/m², 다음으로는 창호공사로 0.1623 kg-SO_x/m², 조적공사 0.1315 kg-SO_x/m²의 수준을 보이고 있다.<그림 16>

機械設備工事에서의 황화합물 배출원단위는 0.2400 kg-SO_x/m²를 보이고 있다. 이 가운데 위생도기설치 공사에서는 0.1455 kg-SO_x/m²로 가장 높은 수준이며 위생배관공사는 0.0648 kg-SO_x/m², 난방배관공사는 0.0298 kg-SO_x/m²의 수준을 보이고 있다. 전기설비 공사는 0.0035 kg-SO_x/m²을 보이고 있다.

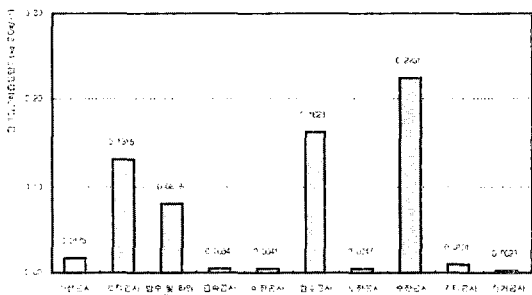


그림 15. 건축공사 공종별 황화합물 배출원단위 (kg-SO_x/m²)

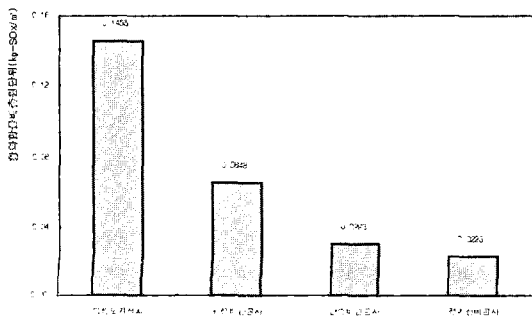


그림 16. 기계·전기설비공사 공종별 황화합물 배출원단위(kg-SO_x/m²)

V. 결론 및 앞으로의 연구과제

본 논문에서는 LCA의 목록분석을 산업연관분석법을 이용하여 신축공사와 리모델링공사에 적용하였다. 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 신축공사의 에너지 消費原單位는 115.15 Mcal/m² 인 반면, 리모델링공사의 에너지 소비원단위는 77.80 Mcal/m² 이다. 이들을 비교하면 리모델링 공사는 신축공사의 68% 수준이다.

둘째, 지구온난화지수의 기준물질인 이산화탄소 배출원단위는 新築工事는 66.92 kg-CO₂/m² 인 반면, 리모델링공사는 46.90 kg-CO₂/m² 수준이다. 이산화탄소 排出原單位를 비교하면 리모델링공사는 신축공사의 70% 수준이다. 산성우 지수의 기준물질인 황화합물 배출원단위는 신축공사가 1.28 kg-SO_x/m² 이며 리모델링공사는 0.91 kg-SO_x/m² 이다. 이들을 비교하면 리모델링공사에서의 황화합물 배출원단위는 신축공사의 71% 수준으로 나타난다.

셋째, 新築工事에서는 미장공사, 構體工事를 위한 철근콘크리트공사의 에너지 소비, 이산화탄소 배출과 황화합물 排出原單位가 높은 반면, 리모델링공사에서는 수장공사에서 높은 수준으로 나타난다. 신축공사에서는 시멘트, 콘크리트 關聯製品의 사용비율이 높은 반면, 리모델링공사에서는 구체공사가 없기 때문에 보드류, 천정재 등의 마감공사에 투입되는 건축 자재와 재료의 비율이 높기 때문인 것으로 풀이된다. 그리고 機械·電氣設備工事 가운데 전기설비공사는 상대적으로 에너지 소비원단위, 이산화탄소 배출원단위, 황화합물 배출원단위가 낮은 수준이다. 특히, 리모델링공사에서는 위생배관, 세면기·양변기·욕조 등의 위생도기 설치공사의 比重이 높다. 또한 플라스틱 창호, 아스팔트 등의 화석에너지의 가공에 의해 생산된 건축자재와 재료는 비교적 높은 수준을 보이고 있다.<표 6>

이러한 연구결과는 共同住宅의 신축공사, 리모델링공사에서 공종별 혹은 공사별 에너지 소비량과 환경영향정도를 산정하는 자료로 활용할 수 있다. 다만, 본 연구에서는 에너지 소비, 이산화탄소 배출과 황화합물 배출원단위를 分析對象으로 함으로써 지구온난화, 산성우 지수 등의 영향평가를 수행하기에는 제한을 지니고 있다. 이들 이외에도 프레온, 질소화합

표 4. 新築工事와 리모델링공사의 환경영향비교

	신축공사			계
	건축공사	토목공사	기계·전기설비공사	
에너지 소비원단위 (Mcal/m ²)	93.62	6.64	14.89	115.15
	81.3%	5.8%	12.9%	100%
이산화탄소 배출원단위 (kg-CO ₂ /m ²)	53.45	4.02	9.45	66.92
	79.9%	6.0%	14.1%	100%
황화합물 배출원단위 (kg-SO _x /m ²)	1.05	0.08	0.16	1.28
	82.0%	6.3%	12.5%	100%
	리모델링공사			비교
	건축공사	기계·전기설비공사	계	
에너지 소비원단위 (Mcal/m ²)	45.62	32.18	77.80	67.6%
	58.6%	41.8%	100%	
이산화탄소 배출원단위 (kg-CO ₂ /m ²)	26.77	20.13	46.90	70.1%
	57.1%	42.9%	100%	
황화합물 배출원단위 (kg-SO _x /m ²)	0.64	0.27	0.91	71.1%
	70.3%	29.7%	100%	

물 등 다양한 물질 등에 원단위가 제시됨으로써 LCA의 3번째 단계인 영향평가를 수행할 수 있다.

다른 한편으로 건물유형 혹은 建築構造類型과 건물의 라이프사이클 단계별에 대한 原單位 데이터베이스를 구축하는 것이 필요하다. 뿐만 아니라 이것을 이용하여 해당 건물의 환경영향정도를 把握할 수 있는 프로그램 개발 등의 연구가 계속적으로 수행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 강광하(2001), 산업연관분석론, 연암사.
2. 이강희(2000), "공동주택건설단계의 건축공사에 따른 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량 산정에 관한 연구", 대한건축학회계회논문집, 16(4), (통권138호), 125-132.
3. 이강희, 채창우(2002), "산업연관분석법을 이용한 공공건축물의 에너지소비량과 이산화탄소 배출량산정연구", 대한건축학회계회논문집, 18(5), 99-107.
4. 한국은행(2000), 1998년 산업연관표 작성보고.
5. (社)日本建築學會 建築と地球環境特別研究委員會(1992), 建築が地球環境に與える影響.
6. (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.

7. (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), 라이프サイクルCO₂で建物を測る-建物の環境負荷評價の手引き-.
8. (社)未來科學技術協會(1994), LCAのすべて, 工業調査會.
9. 鈴木道哉 外 3人(1994), "産業聯關表による建築物の評價, その3. 住宅建設によるエネルギー消費量, 二酸化炭素排出量", 日本建築學會計劃係 論文集 第463號, 75-82.
10. 外岡 豊 外 2人(1996), "建物のライフサイクルCO₂分析用CO₂原單位に關する研究, その3. 建築設備器機の製造に伴うCO₂排出と資源消費量の構成", 日本建築學會學術大會梗概集, No. 40302, 603-604.
11. 壓子 博幸 外 2人(1995), "産業聯關分析による建築物の評價, その3. 建物概要と建設コスト聯關表", 日本建築學會 學術大會梗概集, No. 40333.
12. 竹林芳久 外 2人(1992), "産業聯關表による建築物の評價. その2 事務所建物の建設による環境への影響", 日本建築學會計劃係論文集 第431號, 31-38.
13. 伊香賀俊治 外 3人(1995), "建物のライフサイクルCO₂分析用CO₂原單位に關する研究, その2. 産業聯關分析による生産・流通過程のCO₂原單位", 日本建築學會學術大會梗概集(北海都), No. 40442.
14. 澤地 孝男 外 6人(1996), "産業聯關表による産業部門別エネルギー消費量と二酸化炭素排出量の原單位の表作成", 日本建築學會學術大會梗概集 D-1, 595-596.
15. 鈴木道哉 外 3人(1995), "産業聯關表による建築物の評價. その4建設・運用に關するエネルギー消費量, 二酸化炭素 排出量", 日本建築學會計劃係論文集, 第476號, 37-43.
16. Canadian Standards Association(1994), Life Cycle Assessment, Environmental Technology.
17. SETAC(1991), A TECHNICAL FRAMEWORK FOR LIFECYCLE ASSESSMENT, SETAC, Washington.
18. Ronald E. Miller and Peter D. Blair(1985), Input-Output Analysis : Foundation & Extention, 200-205.
19. OECD(1992), National Inventories of Net Greenhouse Gas Emission.
20. Kanji Sakai 외 1인(1994), "Research on Environmental Load Estimation by Construction Activities in Japan and Suitable Material Selection", Building and Environment Proceedings of the first International Conference, Session Country, 1-8.
21. Carol Atkinson and Nigen Howard(1994), "Embodied Energy and Carbon Dioxide Emission for Building Materials", Building and Environment Proceedings of the first International Conference, Session Material, 1-8.
22. Noboru Urushizaki 외 3인(1994), "Research on Life Cycle Fixed Resources and Exhausted Carbon Dioxide By Building in Japan", Building and Environment Proceedings of the first International Conference, Session Material, 1-8.
23. Michiya Suzuki and Tatsuo Oka(1998), "Estimation of Lifecycle energy consumption and CO₂ emission of office building in Japan", Energy and Building, 28, 33-41.
24. Kang Hee Lee, Chang U Chae(2000), "An Estimation Method of the Life-Cycle Energy and CO₂ of Buildings", The 3rd International Symposium on Architectural Interchanges in Asia, 539-549.