

건축공사 주요자재별 에너지소비량 및 CO₂ 배출 원단위 값 산출에 산업연관표 적용 적정성 검토 연구

-2005년, 2007년 산업연관표를 중심으로-

Application of Input-Output Table to Estimate of Amount of Energy Consumption
and CO₂ Emission Intensity in the Construction Materials

-Focusing on Input-Output Tables Published in 2005, 2007-

정 영 철¹

김 성 은¹

장 영 준¹

김 태 희²

김 광 희^{1*}

Jung, Young-Chul¹ Kim, Sung-Eun¹ Jang, Young-Jun¹ Kim, Tae-Hui² Kim, Gwang-Hee^{1*}

Department of Architectural Engineering, Kyonggi University, Yeongtong-Gu, Suwon, 443-760, Korea¹

Department of Architectural Engineering, Mokpo National University, Muan-gun, Jeonnam, 534-729, Korea²

Abstract

Currently, there is database for per unit requirements of major construction materials in terms of energy consumption and CO₂ emission based on the input-output table published by the Bank of Korea in 2000, but no database for per unit requirements based on input-output tables was published in 2005 and 2007. The purpose of this study was to calculate the unit requirement values of major construction materials in terms of energy consumption and CO₂ emission generated by using the input-output tables published in 2005 and 2007. To estimate the unit requirement values, a database building method with the input-output tables was adopted by selecting 16 types of construction materials in wide use on construction sites. When the study results were compared with existing unit requirement values based on the input-output table of 2000, there were small discrepancies, from which it can be interpreted that the method used in the study is reasonable. Unit requirement values estimated based on input-output tables of 2005 and 2007 tended to decrease, and the highest value of energy consumption and CO₂ emission were found in the materials using cement and rebar.

Keywords : energy consumption, CO₂ emission intensity, input-output analysis, energy balance table, life cycle assessment

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

전 세계적으로 온실가스로 인한 지구온난화 문제가 국제

사회의 주요문제로 대두되고 있으며, 지속가능한 개발을 전제로 환경규제가 국제적으로 강화되고 있다. 우리나라는 현재 온실가스배출 세계 9위이며, OECD 회원국임을 감안할 때 교토의정서에 비준하는 환경부하의 저감 및 친환경적 산업 육성의 필요성이 강조되어지고 있다[1].

우리나라의 산업은 화석연료의 의존도가 매우 높다. 특히 건설 산업에서 소비하는 화석연료량은 전체 화석연료의 1/4 이상을 차지하고 있기 때문에 건설 산업에서 발생하는 환경부하에 관한 연구가 필요한 실정이다[2]. 건설 산업은 건축물의 재료 및 자재를 생산하는데 발생하는 환경부하를 평가

Received : February 7, 2011

Revision received : March 21, 2011

Accepted : April 4, 2011

* Corresponding author: Kim, Gwang-Hee

[Tel: 82-31-249-9757, E-mail: ghkim@Kyonggi.ac.kr]

©2011 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

하기 위해서 표준화 기구(ISO)에서 제시한 전과정평가(Life Cycle Assessment: LCA)를 이용하고 있다. LCA는 건축물의 라이프 사이클에서 발생하는 에너지소비량 및 온실가스 배출량에 대하여 환경부하 원단위 데이터베이스(Data base: DB)를 적용하고 있다[3].

주요 건축자재의 에너지소비량과 CO₂ 배출 원단위를 추정하는 방법은 직접조사법과 간접추계법 및 혼합법이 있다. 정부에서는 환경부를 중심으로 주요건설자재에서 발생하는 에너지소비량과 CO₂ 배출량을 직접적으로 조사하여 누적하는 산출방법인 국가 LCI DB¹⁾를 적용하여 주요품목에 대한 환경부하 DB를 구축하고 있다. 반면에 Lee and Chae [4]와 Kim et al.[2]의 연구에서는 산업연관표를 이용한 간접추계법을 적용하여 주요 건축자재에 대한 원단위 DB를 제시하고 있다. 혼합법은 직접조사법과 간접추계법을 적절히 혼용하여 분석하는 방법이다. 이러한 연구들은 건설 활동에서 소요되는 에너지소비량과 이산화탄소 등 오염물질의 배출량을 정량화하고 있다.

현재 Kim et al.[2] 연구에서는 2000년도에 발행된 산업연관표를 이용하여 CO₂ 배출 원단위 DB를 구축하였다. 그러나 2005년, 2007년도에 발행된 산업연관표를 이용하여 산출한 건설자재의 에너지소비량 및 CO₂ 배출 원단위 DB는 없는 것이 현실이다. 본 연구에서는 최근에 발행된 2005년, 2007년도 산업연관표를 이용하여 주요 건축자재에서 발생하는 에너지소비량 및 CO₂ 배출 원단위 값을 산정하고자 한다. 본 연구에서 산정된 에너지소비량 및 CO₂ 배출 원단위 값은 주요 건축자재에서 발생하는 환경부하를 예측할 수 있을 것으로 사료된다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 한국은행에서 발행된 2000년, 2005년, 2007년도 산업연관표를 이용하여 건축공사에 사용되는 주요 건축자재의 에너지소비량 및 CO₂ 배출 원단위를 산출하고자 한다. 주요 건축자재의 에너지소비량 및 CO₂ 배출 원단위 값의 산출방법은 현재 가장 많이 인용되고 있는 Kim et al.[5]의 DB구축 방식을 바탕으로 진행하였다.

2000년에 발행된 산업연관표는 단가산정에 필요한 수량

이 생산자가격평가표와 부문품목별 공급액표에 제시되어 있으나, 2005년 이후로 발행되는 산업연관표에는 수량 및 단가가 제시되어 있지 않다. 본 연구는 단가산정에 필요한 수량을 파악하기 위해 에너지통계연구원에서 발간한 에너지통계연보와 대한석유협회 및 한국물가협회에서 제시하는 단가의 가중평균값을 적용하였다.

또한 Kim[6]의 연구에서는 2000년에 발행된 산업연관표를 이용하여 원단위 값을 산정하였으므로 본 연구에서는 Kim[6]의 연구와 원단위 값을 비교하여 타당성을 확인한 후 2005년, 2007년도 산업연관표를 이용하여 원단위 값을 산출하고자 한다.

본 연구에서는 건축자재의 CO₂ 배출 원단위 값이 산업연관표의 발행 시기에 따라 어떻게 변하는지 파악하고, 주요 건축자재의 환경부하 추이를 분석하였다. 향후 환경부하 원단위를 예측하여 건축물의 전 생애에 걸쳐 발생하는 환경부하의 예측 및 절감을 위한 기초적 자료가 될 것으로 사료되며, 본 연구의 절차는 Figure 1에 제시한바와 같다.

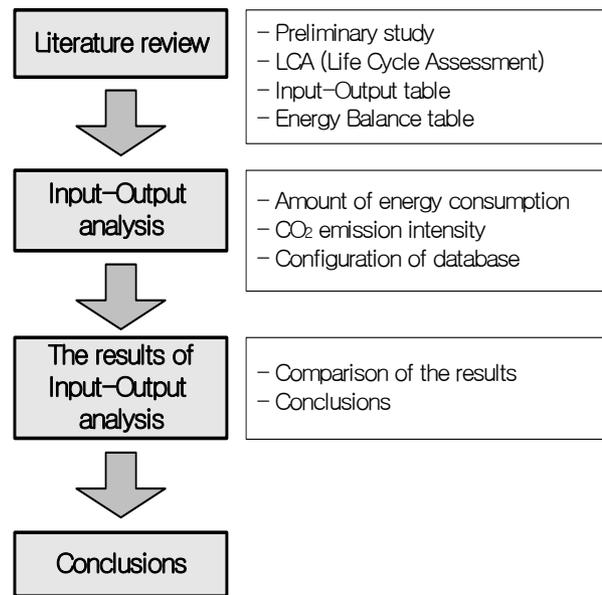


Figure 1. Research process

2. 이론적 고찰

2.1 선행연구 고찰

건설 분야에서는 LCA를 이용한 건축물의 에너지소비량

1) 국가 LCI DB(Database)는 국가기반산업에 해당하는 에너지, 수송 및 범용성이 높은 원료물질 (석유화학, 철강, 비철금속 등), 가공공정, 폐기공정 등의 전과정에 대하여 투입물 및 산출물을 종합하여 정량화한 데이터베이스.

및 CO₂ 배출량을 산출하여 원단위를 제시하고 이를 이용하여 건축물의 자재별, 유형별, 공종별 등으로 나누어 각 요소의 에너지소비량과 CO₂ 배출량을 분석하는 연구가 이루어져왔는데 그 내용은 다음과 같다.

Lee and Chae[4]의 연구에서 산업연관분석을 이용하여 건축물의 공종별, 구조형식 및 유형별 건축자재와 재료별에 요구되는 에너지소비량과 CO₂ 배출량의 산정하였으며, Kim et al.[7]의 연구에서 건설 활동에 의해 유발되는 환경의 영향을 분석하기 위해 건설에 따른 에너지소비량과 CO₂ 배출량을 정량화 하는 방법론으로 제시하였다. Kim et al.[2]의 연구에서는 산업연관분석법의 개념과 산출기법을 고찰하고, 1995년에 발행된 산업연관표를 이용하여 건설자재 생산단계에서의 투입된 내제에너지 및 이산화탄소 배출량에 대한 원단위 산출모델을 검토 및 제시하였다. 그리고 산출된 원단위 DB를 일본의 연구사례와 상호 비교하였다. Kim et al.[5, 7]의 연구에서는 건설자재 생산단계 및 시공단계에서의 에너지소비량과 CO₂ 배출량에 대한 원단위 값을 산출하였고, 건축LCA의 수행방안 고찰 및 각 단계별 원단위 산출방법을 검토하였다. 또한 자재별 직접소비량과 간접소비량을 비교하여 산업구조를 파악하였다.

이와 같이 산업연관표를 이용하여 에너지소비량과 CO₂ 배출량 산정에 대한 연구는 다양하게 이루어졌으나, 최근 제시된 원단위 DB는 Lee and Yang[8]의 2003년 산업연관표를 기준으로 한 원단위 DB이다. 또한 Lee et al.[9]는 건축재료의 이산화탄소 배출원단위를 2000년, 2003년, 2005년도에 발행된 산업연관표를 이용하여 변화추이를 살펴본 결과 2000년도에서 2005년에 이르기까지 연속적인 증가 혹은 감소를 보이기보다는 불연속적인 변화추이를 나타냈다.

이렇듯 각 연구자별로 수행된 에너지원 추계방식과 산출방법이 단가산정에 필요한 수량의 출처와 연료별 추계범위의 설정이 상이하기 때문에 각 연구의 산출결과를 비교 및 검증하는 연구가 필요할 것으로 사료되며 선행연구는 Table 1과 같이 요약할 수 있다.

Table 1. Previous researches

Author	Summary
Lee and Chae [4]	Based on analysis of inter-industry relations, the quantity of energy consumption and CO ₂ emission for construction by work, by structure and category, and by material.
Kim et al. [7]	Energy consumption and CO ₂ emission required for materials used by work in the construction of new apartment houses were calculated.
Kim et al. [2]	By using input-output table published in 1995, a model of unit requirement calculation for energy input and CO ₂ emission in the production stage of construction materials was reviewed and presented.
Kim et al. [5,7]	How to implement construction life cycle assessment (LCA) was reviewed, and methods of calculating unit requirement by cycle were examined.
Jeong et al. [10]	An evaluation method which could quantitatively estimate the volume of CO ₂ generated in the process of a building's lifecycle was developed.
Lee and Yang [8]	It aimed at estimation of the functional unit in energy consumption and CO ₂ emission in the primary construction materials, using the I/O analysis.
Lee et al. [9]	It aimed at analyzing the trend of CO emission for direct and indirect areas by using I/O table between 2000, 2003 and 2005 in the major construction materials.

2.2 LCA

전과정평가(LCA)는 개념적으로 환경부하 혹은 배출에 관한 질적, 양적 자료목록을 평가하여 환경성과를 개선시키기 위한 대안을 검토하는 과정이라고 할 수 있다[6]. 즉, 어떤 제품이나 공정, 활동의 전 과정에 걸쳐 소모되고 배출되는 에너지 및 물질의 양을 정량화 하여 이들이 환경에 미치는 영향을 평가하고, 이를 통하여 환경개선의 방안을 모색하고자 하는 객관적인 환경영향 평가기법이다. LCA는 환경영향 평가(Environment impact assessment: EIA), 위해성 평가(Risk Assessment) 등과 같이 환경관리 기법중의 하나로 정립되어 가고 있다. OECD는 정기적으로 LCA에 대한 연구와 국제회의 등을 개최하고 있으며, ISO에서도 LCA기법의 표준안으로서 ISO 14040~14049시리즈를 이용하는 국제적인 평가기법이라고 할 수 있다.

2.3 산업연관분석

산업연관분석(inter-industry analysis 또는 input output analysis)은 생산 활동을 통하여 이루어지는 산업 간의 상호연관관계를 수량적으로 파악하고자 하는 분석기법으로서 한 나라에서 생산되는 모든 재화와 서비스의 산업거래관계를 체계적으로 기록한 산업연관표의 작성으로부터 출발한다[6]. 일반적으로 국민경제를 구성하고 있는 각 산업부문은 서로 다른 산업부문으로부터 원재료, 연료 등의 중간재를 구입하고 여기에 노동, 자본 등 본원적 생산요소를 결합함으로써 새로운 재화와 서비스를 생산하여 이를 다른 산업부문에 중간재로 팔거나 최종수요자에게 소비재나 자본재 등으로 판매하게 된다. 여기서 국민경제의 순환과정은 소득의 발생으로부터 분배 및 처분과정을 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 의존관계를 파악함으로써 소비, 투자 및 수출 등 거시적 총량변수와 임금, 환율 및 원자재가격 등 가격변수의 변동이 국민경제 미치는 파급효과를 분석하는 것이다.

이와 같이 산업연관분석은 국민경제 전체를 포괄하면서 전체와 부분을 유기적으로 결합하고 있어 거시적 분석이 미치지 못하는 산업과 산업 간의 연관관계까지도 분석이 가능하기 때문에 오늘날 경제구조 및 정책효과분석은 물론 국제산업연관분석과 환경 및 에너지 분야의 분석 등에까지 다양하게 활용되고 있다.

2.4 에너지통계연보

에너지통계연보는 1차 에너지 소비를 시작으로 각종 전환 과정을 걸쳐 최종소비까지의 에너지흐름을 표로 나타낸다. 표의 행들은 1차 에너지 생산, 수출입, 국제병커링²⁾, 재고 증감, 1차 에너지를 2차 에너지로의 전환 그리고 최종소비 항목으로 나눈다. 표의 열들은 1차 에너지(원유, 정제원료)와 2차 에너지(석유제품) 형태의 에너지원들로 구성한다. 이에 따라 한 나라의 에너지흐름이 일목요연하게 표현되며, 에너지 수입의존도, 에너지 공급구조, 에너지 전환과정에서의 손실 및 각종 경제부문의 에너지 소비패턴 등과 같은 에너지정책의 주요 사항에 대한 정보를 제공한다[11].

2) 국적 구분없이 외항선박에 공급하는 연료를 의미.

3. 산업연관분석에 의한 원단위 산출방법

3.1 원단위 산출 프로세스

산업연관표를 이용한 원단위 산출기법에는 그 정도에 따라 다양한 방안이 강구되고 있다. 일반적으로 에너지소비량 및 CO₂ 배출량 원단위 DB의 산출 프로세스는 일본 교토대학교의 Nansai K[12]의 연구를 인용하였으며, Figure 2와 같이 나타낼 수 있다.

먼저, 각 부문에서 에너지 소비 및 CO₂ 배출의 원인이 되는 연료종류별 투입량을 추계한 다음, 연소율을 설정하여 연료종류별 연료로서의 에너지 소비에 기여한 투입물량을 구한다. 여기에 각 연료별 발열량 및 CO₂ 배출계수를 곱하고 더하여 부문별 직접 에너지소비량 및 직접 CO₂ 배출 원단위를 구한다. 그 다음에는 직접부문의 원단위 값에 레온티에프 역행렬, 즉 $(1-A)^{-1}$ 인 유발계수를 곱하여 각 부문별 직접 원단위 값을 산출할 수 있다.

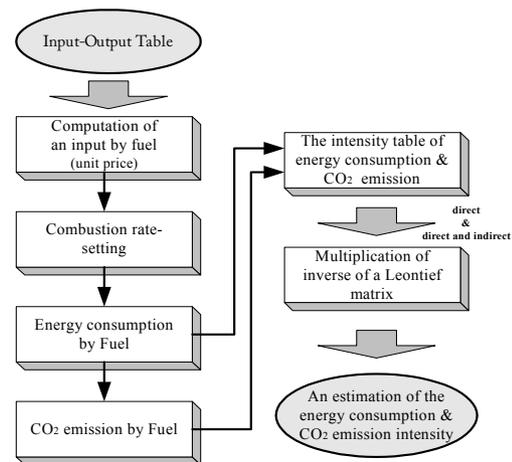


Figure 2. Computation process of amount of energy consumption and CO₂ emission intensity

3.2 원단위 DB의 구성 및 산출

본 연구에서는 국내에서 이용할 수 있는 데이터를 기반으로 국내 산업연관표의 작성상태나 배출원의 범위 및 에너지의 추계범위 등의 분석이 필요하다. 그리고 에너지투입물량 표의 작성과 연료종류별 투입물량을 추계하고 생산유발계수 등을 적용하여야 한다. 국내 적용에 적합한 건설자재의 원단위 DB 산출방법은 Kim et al.[5]의 연구에 의해 구축된 2000년 원단위 DB구축 방법을 적용하여 산출하였다.

3.2.1 연료별 추계범위 설정

원단위 산출을 위해서는 에너지 배출원의 범위를 명확하게 설정해야한다. 국내 산업연관표에는 에너지산업의 에너지부문은 19가지로 분류되어 있으나 본 연구에서는 Kim[6]의 연구에서 적용한 11가지의 에너지를 적용하여 연료종류의 추계범위를 설정하였으며, 그 내용은 Table 2와 같다.

Table 2. I/O table of energy sectors for estimating

No.	Code ¹⁾	Energy sectors	Choice
1	0031	Anthracite	●
2	0032	Bituminous coal	●
3	0033	Crude oil	
4	0034	LNG	
5	0039	Briquette	●
6	0040	Coal products	●
7	0041	Naphtha	
8	0042	Gasoline	●
9	0043	Jet fuel	●
10	0044	Kerosene	●
11	0045	Diesel	●
12	0046	Fuel oil	●
13	0047	LPG	●
14	0306	Waterpower	
15	0307	Thermal power	
16	0308	Nuclear power	
17	0309	Non utility generation	
18	0310	City gas	●
19	0311	Heat supply	

1) Code: Input-Output table by published 2000

3.2.2 연료별 투입물량 산정

데이터베이스의 추계근거로 이용되는 연료종류별 투입물량은 기본적으로 산업연관표 부속표인 부문품목별 공급액표를 인용하여 산출한다[13]. 부문품목별 공급액표에는 물량이 별도로 기재되어 있지 않고, 모든 산업에 대하여 원단위로 작성되어있다. 따라서 산업연관표에 기재된 금액을 물량으로 변환하기 위하여 단위가격을 적용하였다. 즉, 각 산업 부문에 대한 금액을 단가로 나누었을 때 물량이 된다는 것을 이용한 것이다. 그러나 2005년도 이후 발행된 산업연관표에는 물량이 기재되지 않고 있기 때문에 본 연구에서는 에너지통계연보의 수량과 대한석유회에서 제공하는 단위가격의 기중평균값을 적용하였다.

3.2.3 연료별 발열량 및 CO₂ 배출계수

연료별 발열량은 분석의 편의를 위하여 하나의 공통단위로 통일시키고 CO₂ 배출계수의 기준을 결정해야 한다. 그러나 연료별 발열량 및 CO₂ 배출계수는 발표기관별로 차이

를 보이고 있다.

본 연구에서는 에너지원 발열량 산정을 위해 에너지이용합리화법 시행령에서 제시하고 있는 석유환산표를 이용하였으며, CO₂ 배출계수는 IPCC(Inter-Governmental Panel on Climate Change)에서 제안하는 CO₂ 배출계수를 적용하였으며 그 내용은 Table 3에 제시한 바와 같다.

Table 3. Calorific value & CO₂ emission factor

Energy sectors	Calorific value	CO ₂ Emission factor [TC ¹⁾ /TOE ²⁾]
Anthracite	4,500Kcal/kg	1.100
Bituminous coal	6,600Kcal/kg	1.059
Briquette	6,500Kcal/kg	1.210
Coal products	6,500Kcal/kg	1.210
Gasoline	8,300Kcal/ℓ	0.783
Jet fuel	8,700Kcal/ℓ	0.808
Kerosene	8,700Kcal/ℓ	0.812
Diesel	9,200Kcal/ℓ	0.837
Fuel oil	9,900Kcal/ℓ	0.875
LPG	12,000Kcal/kg	0.713
City gas	11,000Kcal/Nm ³	0.637

1) TC(ton carbon) : 10³ (CO₂ emission)

2) TOE(ton of oil equivalent) : 10⁷Kcal

3.2.4 생산유발계수의 설정

투입계수는 각 산업부문으로 파급되는 생산유발효과의 크기를 계측하는 매개변수이지만, 사업부문수가 많은 경우에는 투입계수를 매개로 하여 생산파급효과를 모두 계산하는 것은 현실적으로 불가능하기 때문에 역행렬을 이용한 생산유발계수를 도출하여 이용하게 된다. 그러므로 직간접 에너지소비량 및 CO₂ 배출량 산출의 경우에도 생산유발계수의 설정이 필요하다. 산업연관표에서 취급하는 생산유발계수의 종류는 크게 경쟁수입형과 비경쟁수입형으로 구분된다. 경쟁수입형이란 거래되는 재화나 서비스의 종류가 같으면 그것이 국내생산품인지 또는 수입품인지를 구분하지 않고 각 수요부문에 일괄 배분하는 것이며, 비경쟁수입형이란 동종의 재화일지라도 국산품과 수입품을 구분하여 작성한 것이다[6]. 주요 건축자재의 생산을 위해 소비되는 에너지량을 평가하기 위해서는 국내에서 생산되는 에너지 뿐 아니라 해외에서 수입되는 것까지 고려해야 한다. 현재 비경쟁형 생산유발계수를 이용하여 산출하는데 어려움이 있다. 왜냐하면, 비경쟁형 생산유발계수의 경우, 에너지산업 가운데 국내에서 전혀 생산되지 않는 천연가스과 유연탄 부문의 행백터가 모두 0으로 되며, 국내에서 생산이 되더라도 해외수입분을 다루지 않고 있기 때문이다. 아니면 자재별 에너

지원단위 산정을 위해서는 비경쟁형과 경쟁형을 동시에 고려하는 절충형, 경쟁형, 비경쟁형을 사용하여야 하나, 이 또한 1968년 산업연관표까지는 작성한 바 있지만 그 이후로는 작성되지 않고 있다.

경쟁형 생산유발계수는 국산품과 수입품을 구분하지 않고 각 수요부문에 일괄배분하기 때문에 국내 제품들에 대한 투입구조를 정확히 분석할 수는 없지만 수입된 에너지를 포함한 에너지 산업들이 각 수요부문에 배분되어있기 때문에 이를 사용하는 것이 바람직하다. 따라서 본 연구에서는 경쟁형 생산유발계수를 적용하였다.

4. 에너지소비량 및 CO₂ 배출량 원단위 산출 결과

4.1 선행연구의 원단위 산출결과와의 비교

본 연구는 현재 가장 많이 인용되고 있는 Kim et al.[5]의 DB구축 방식을 바탕으로 건축공사에 사용되는 주요 건축자재의 에너지소비량 및 CO₂ 배출 원단위를 산출하였다. 따라서 본 연구는 2000년에 발행된 산업연관표를 이용하여 산출한 결과와 Kim[6]의 연구결과를 비교함으로써, 본 연구의 정확성을 높이고자 하였다. 비교하고자 하는 주요 건축자재는 Lee and Yang[8]의 연구에서 제시한 16가지의 항목을 적용하여 산출한 에너지소비량과 CO₂ 배출 원단위 값을 비교한 결과는 Table 4, 5에 제시하였다.

Table 4. Comparison of the energy consumption
(Unit : TOE / KRW one million)

Major Materials	Previous research		This research	
	Direct	Direct & indirect	Direct	Direct & indirect
Sand & gravel	0.0562	0.1097	0.0560	0.1084
Broken stone	0.2621	0.3598	0.2591	0.3541
Wood products	0.0465	0.2712	0.0454	0.2642
Paper products	0.0621	0.3465	0.0592	0.3359
Resin	0.0344	0.4381	0.0330	0.4284
Coatings	0.0338	0.4307	0.0331	0.4227
Glass products	0.4940	0.7872	0.4681	0.7539
Clay products	0.5045	0.7863	0.4912	0.7653
Cement	1.2328	1.7479	1.2018	1.7041
Remicon	0.0858	0.8585	0.0844	0.8380
Con'c products	0.1489	0.8675	0.1425	0.8457
Asbestos	0.2788	0.6630	0.2715	0.6457
Rebar & Steel	0.0438	3.0301	0.0417	2.9980
Section steel	0.0642	2.6771	0.0613	2.6474
Steel pipe	0.0216	1.7556	0.0212	1.7356
Metal products	0.0296	0.7653	0.0290	0.7533

Table 5. Comparison of the CO₂ emission intensity

(Unit : TC / KRW one million)

Major Materials	Previous research		This research	
	Direct	Direct & indirect	Direct	Direct & indirect
Sand & gravel	0.1706	0.3619	0.1700	0.3574
Broken stone	0.8079	1.1648	0.7983	1.1459
Wood products	0.1442	0.9523	0.1407	0.9289
Paper products	0.1946	1.2745	0.1854	1.2389
Resin	0.1071	1.6577	0.1027	1.6249
Coatings	0.1135	1.6873	0.1113	1.6605
Glass products	1.9217	3.2129	1.8383	3.1037
Clay products	1.7480	2.8281	1.7029	2.7557
Cement	11.6889	13.8110	11.5730	13.6490
Remicon	0.2655	5.9690	0.2608	5.8947
Con'c products	0.4917	5.1157	0.4711	5.0397
Asbestos	1.7670	3.8749	1.7443	3.8166
Rebar & Steel	0.1377	13.5445	0.1311	13.4361
Section steel	0.2025	11.9172	0.1929	11.8170
Steel pipe	0.0639	7.7193	0.0625	7.6517
Metal products	0.0865	3.1965	0.0844	3.1559

2000년도에 발행된 산업연관표를 이용하여 Kim[6]의 연구에서 산정된 에너지소비량과 CO₂ 배출 원단위 값과 본 연구를 통해 산정된 에너지소비량과 CO₂배출 원단위 값은 근소한 차이를 보이고 있다. 근소한 차이가 발생하는 원인은 Kim[6]의 연구에서는 에너지원별 단위수량 및 단가의 적용 단계에서 생산자가격평가표와 부문품목별 공급액표를 이용하였으며, 본 연구에서는 에너지통계연보의 수량과 대한석유협회에서 제공하는 단위가격의 가중평균값을 적용을 하였기 때문으로 사료된다. 그러나 Kim[6]의 연구에 의해 산출된 원단위 DB와 본 연구에서 산출된 원단위 DB와 근소한 차이를 보이고 있기 때문에 에너지통계연보의 수량과 대한석유협회에서 제공하는 단위가격의 가중평균값의 적용이 가능할 것으로 판단된다. 본 연구는 2005년, 2007년에 발행된 산업연관표를 이용하여 원단위 DB를 산정하는데 에너지통계연보의 수량과 대한석유협회에서 제공하는 단위가격의 가중평균값을 적용하였다.

4.2 2005, 2007년 산업연관표를 적용한 에너지소비량

2005년, 2007년 산업연관표를 이용하여 산정한 건축공사에 사용되는 주요 건축자재의 에너지소비량은 Table 6과 같다. 건축자재별 에너지소비량을 살펴보면, 시멘트는 가장 많은 에너지를 소비하는 것으로 나타났으며, 시멘트를 주원료로 하는 레미콘과 콘크리트 제품도 많은 에너지를 소비하

는 것으로 나타났다. 그리고 철강 제품인 철근 및 봉강, 형강, 강관에서도 많은 에너지를 소비하는 것으로 나타났다.

Table 6. Computation of the energy consumption
(Unit : TOE / KRW one million)

Major Materials	2005		2007	
	Direct	Direct & indirect	Direct	Direct & indirect
Sand & gravel	0.0486	0.1456	0.0465	0.0922
Broken stone	0.2573	0.3861	0.0953	0.1551
Wood products	0.0303	0.2050	0.0130	0.1036
Paper products	0.0822	0.3251	0.0217	0.1541
Resin	0.0147	0.2247	0.0112	0.1101
Coatings	0.0310	0.2574	0.0127	0.1867
Glass products	0.1177	0.3487	0.0532	0.1862
Clay products	0.3858	0.6000	0.3184	0.4336
Cement	1.2076	1.6311	0.6364	0.8794
Remicon	0.0441	0.6791	0.0289	0.3482
Con'c products	0.1081	0.6682	0.0617	0.3679
Asbestos	0.2385	0.5408	0.1561	0.2978
Rebar & Steel	0.0198	1.3138	0.0111	0.7356
Section steel	0.0319	1.1927	0.0181	0.6757
Steel pipe	0.0227	0.8927	0.0052	0.4895
Metal products	0.0396	0.4589	0.0099	0.2258

2000년, 2005년, 2007년 산업연관표를 이용하여 산출한 직간접 에너지소비량은 Figure 3과 같이 비교할 수 있다. 모든 항목에서 뚜렷한 감소세를 보이고 있는 이유는 물가 상승률에 따른 건축공사 주요 건축자재의 단가 상승으로 에너지원단위 값이 감소하는 것으로 사료된다.

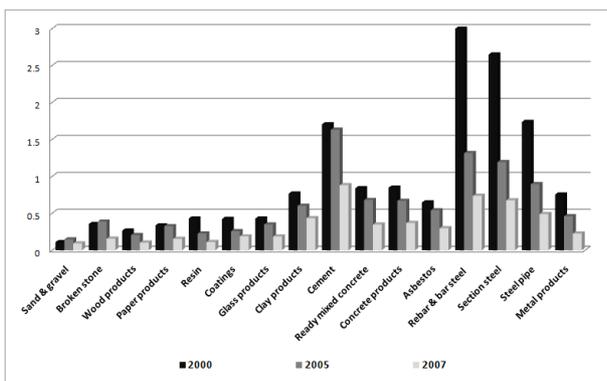


Figure 3. Comparison of the energy consumption

4.3 2005, 2007년 산업연관표를 적용한 CO₂ 원단위 값

2005년, 2007년 산업연관표를 이용하여 산정한 건축공사 주요 건축자재의 CO₂ 원단위 값은 Table 7과 같다. 주요 건축자재별 CO₂ 원단위 값을 살펴보면, 시멘트, 철근 및

봉강, 형강, 레미콘 순으로 나타났으며, 주요 건축자재의 CO₂ 원단위 값은 에너지소비량과 같이 시멘트와 철강을 주 원료로 하는 제품에서 많은 CO₂가 발생되는 것으로 나타났다.

Table 7. Computation of the CO₂ emission intensity
(Unit : TC / KRW one million)

Major Materials	2005		2007	
	Direct	Direct & indirect	Direct	Direct & indirect
Sand & gravel	0.1470	0.4781	0.1399	0.3062
Broken stone	0.7936	1.2401	0.2936	0.5121
Wood products	0.0939	0.7031	0.0404	0.3704
Paper products	0.2549	1.1362	0.0678	0.5684
Resin	0.0441	0.7963	0.0345	0.4134
Coatings	0.0967	0.9539	0.0424	0.7559
Glass products	0.8192	1.8024	0.3296	0.9309
Clay products	1.3186	2.1118	1.1400	1.5804
Cement	9.4522	11.2832	8.3384	9.5039
Remicon	0.1359	4.0531	0.0895	3.0637
Con'c products	0.3628	3.6713	0.2076	2.6737
Asbestos	1.6476	3.2250	1.2619	2.0802
Rebar & Steel	0.0610	5.8728	0.0346	3.4210
Section steel	0.0980	5.2868	0.0570	3.1168
Steel pipe	0.0585	3.8254	0.0147	2.2057
Metal products	0.1028	1.7775	0.0278	0.9485

2000년, 2005년, 2007년 산업연관표를 이용하여 산출한 직간접 CO₂ 배출 원단위 값은 Figure 4와 같이 비교할 수 있다. 모든 항목에서 에너지소비량과 같이 감소세를 보이고 있으나 감소의 폭은 작았다. CO₂ 배출 원단위 값도 주요 건축자재의 자재별 단가상승의 영향으로 인해 산업구조의 변화를 가져오는 것으로 사료된다.

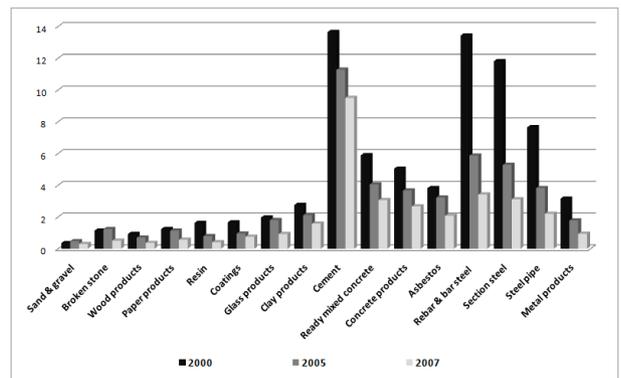


Figure 4. Comparison of the CO₂ emission intensity

4.4 산출결과

2005년, 2007년 산업연관표를 이용하여 산출한 에너지 소비량과 CO₂ 배출 원단위 값은 감소세를 보이고 있는 것으로 나타났다. 에너지소비량의 단위는 [TOE/백만원]이며, CO₂ 배출 원단위 값의 단위는 [TC/백만원]이므로 산업연관표의 발행시기에 따라 에너지원별 단가의 상승으로 인해 원단위 값이 감소하는 것으로 사료된다.

건설 산업에서 시멘트와 철근은 수요가 많은 건축자재이다. 본 연구의 결과를 살펴보면 시멘트와 철근을 주원료로 하는 자재에서 가장 많은 에너지소비량 및 CO₂ 배출 원단위 값을 나타냈다. 16개의 주요 건축자재에서 시멘트와 철근을 주원료로 하는 제품이 차지하는 비율이 2005년도 산업연관표를 적용했을 경우 에너지소비량은 64.6%, CO₂ 배출 원단위 값은 70.5%로 나타났으며, 2007년도 산업연관표를 이용했을 경우 에너지소비량은 64.3%, CO₂ 배출 원단위 값은 73.9%로 나타났다. 건설 산업에서 발생하는 에너지 소비량 및 CO₂ 배출을 절감하기 위해서는 시멘트 및 철근의 사용을 줄일 수 있는 공법의 개발이 필요할 것으로 사료된다.

5. 결 론

주요 건축자재의 에너지소비량 및 CO₂ 배출 원단위 산출을 위한 방법은 산업연관표를 이용한 DB 구축 방식을 바탕으로 산출하였으며, 건설현장에서 주로 사용되는 16가지의 건설자재를 선별하여 적용하였다.

본 연구를 고찰한 결과를 바탕으로 판단하면 2005년, 2007년도 산업연관표를 이용하여 에너지원별 수량 및 단가 산정을 위해 에너지통계연보의 수량과 대한석유협회에서 제공하는 단위가격의 가중평균값을 적용하여도 에너지소비량 및 CO₂ 배출 원단위 DB의 산출이 가능한 것으로 판단된다. 또한 산업연관표의 발행연도에 따라 건축자재의 물가상승률에 따른 단가의 상승으로 인해 원단위 값이 감소하는 것으로 사료된다.

산업연관표를 이용한 자재생산단계의 원단위 산출방법은 국제적으로 이루어지고 있으나, 국내에서는 사용할 수 있는 데이터가 부족하다. 본 연구에서는 기존에 수행된 선행연구의 방법과 산업연관표를 이용하여 에너지 흐름을 분석하고, 산출기법을 설정하여 국내 실정에 적합한 건설자재의 생산 단계에서 발생하는 환경부하의 예측이 가능할 것으로 판단

된다. 또한 시공공법의 선정과 에너지소비량 및 CO₂를 저감할 수 있는 건축자재의 사용을 유도할 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서 산출 및 제시한 주요 건축자재의 생산단계의 환경부하 원단위 DB는 건축물 LCA수행의 기반자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 본 연구의 범위는 주요 건축자재의 생산단계로 한정하였지만, 건축물의 시공 및 유지보수 단계에서 건축물 폐기단계에 이르는 LCA의 적용을 위한 정량적인 데이터의 정비 및 방법론 정립에 따른 객관적이고 정확한 에너지소비량 및 CO₂ 배출 원단위 DB의 구축을 위한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

요 약

한국은행에서 2000년도에 발행된 산업연관표를 적용한 주요 건축자재의 에너지소비량과 CO₂ 배출에 대한 원단위 DB는 있지만 2005년, 2007년에 발행된 산업연관표를 이용한 원단위 DB는 없는 실정이다. 본 연구에서는 최근에 발행된 2005년, 2007년도 산업연관표를 이용하여 주요 건축자재에서 발생하는 에너지소비량 및 CO₂ 배출 원단위 값을 산정하고자 한다. 주요 건축자재의 에너지소비량 및 CO₂ 배출 원단위 산출을 위한 방법은 산업연관표를 이용한 DB 구축 방식을 바탕으로 산출하였으며, 건설현장에서 주로 사용되는 16가지의 건설자재는 선별하여 적용하였다. 기존 연구결과에서 제시한 2000년도 산업연관표를 적용하여 산출된 원단위 DB 값과 비교한 결과 근소한 차이를 보이고 있어 본 연구의 산출방법이 적절한 것으로 판단하였다. 2005년, 2007년도 산업연관표를 이용하여 산출한 에너지소비량과 CO₂ 배출 원단위 값은 감소세를 보이고 있는 것으로 나타났으며, 시멘트와 철근을 주원료로 하는 자재에서 가장 많은 에너지소비량 및 CO₂ 배출 원단위 값을 나타냈다. 본 연구의 결과를 통해 국내 실정에 적합한 건설자재 생산단계에서 발생하는 환경부하의 간접적인 예측이 가능할 것으로 사료된다.

키워드 : 에너지소비량, CO₂ 배출 원단위 값, 산업연관분석, 에너지통계연보, 전과정평가

References

1. Jung YC, Park GT, Lee BY, Kim GH. [The estimation of CO₂ emission cost on roof waterproofing types using Input–Output table]. Korea Institute of Building Construction Conference; 2010 May 14; Seoul, Korea. Seoul (Korea); 2010. p. 243–6. Korean.
2. Kim JH, Kim SW, Sohn JY. [A study on the estimation of the environmental load intensity of construction materials for the building LCA]. Journal of Architectural Institute of Korea, 2004 Jul;20(7):211–8. Korean.
3. Lee BY, Kim BR, Kim GH. [Comparison of construction costs of masonry wall types including CO₂ emission costs]. Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2010 Jun;10(3):83–90. Korean.
4. Lee KH, Chae CU. [A study on the amount of the energy consumption and CO₂ emission of public buildings using the input–output analysis]. Journal of Architectural Institute of Korea, 2002 May;18(5):99–107. Korean.
5. Kim JH, Lee SE, Sohn JY. [An estimation of the energy consumption & CO₂ emission intensity during building construction]. Journal of Architectural Institute of Korea, 2004 Oct;20(10):319–26. Korean.
6. Kim JH. Evaluating CO₂ emission in construction stages of apartment buildings by life cycle assessment [dissertation]. Seoul (Korea): Hanyang University; 2005. 189 p. Korean.
7. Kim JH, Lee SE, Sohn JY. [An assessment of the energy consumption & CO₂ emission during the construction stage of apartments]. Journal of Architectural Institute of Korea, 2005 Apr;21(4):199–206. Korean.
8. Lee KH, Yang JH. [A study on the functional unit estimation of energy consumption and carbon dioxide emission in the construction materials]. Journal of Architectural Institute of Korea, 2009 Jun;25(6):43–50. Korean.
9. Lee KH, Lee HS, Yang JH. [A study on the functional unit trend of carbon dioxide emission in the construction materials between 2000, 2003 and 2005]. Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, 2010 Oct;10(5):123–9. Korean.
10. Jeong YS, Choi GS, Kang JS, Lee SE. [Development of life cycle assessment program for estimating environmental load of buildings]. Journal of Architectural Institute of Korea, 2008 May;24(5):259–66. Korean.
11. Park HC. [A study on revision of korean petroleum sector statistics]. Korean Energy Economic Review, 2006 Jun;5(1): 123–43. Korean.
12. Nansai K, Moriguchi Y, Tohno S. Embodied energy and emission intensity data for japan using Input–Output tables (3EID). National Institute for Environmental Studies (JP); 2002. 71 p. Report No.: CGER–D031–2002.
13. Lee KH, Lee KH. [The estimation of amount of energy consumption and CO₂ emission in construction activities]. Journal of Architectural Institute of Korea, 1996 Jul;12(7):197–205. Korean.