

조적벽의 CO₂ 배출비용을 포함한 건설원가 비교에 관한 연구

Comparison of Construction Costs of Masonry Wall Types, including CO₂ Emission Costs

이 병 윤* 김 보 라** 김 광 희***
Lee, Byung-Yun Kim, Bo-Ra Kim, Gwang-Hee

Abstract

The carbon dioxide(CO₂) emissions that result from construction are one of the main factors causing a global warming problem. It is therefore necessary to make efforts to reduce CO₂ emissions in the construction industry. Some researchers have studied CO₂ emissions in the industry ; however, there has been a lack of study on CO₂ emissions cost. Therefore, in this study, the construction costs, including the CO₂ emission cost, of masonry wall type, which is a common brick wall, concrete brick wall, and fired brick wall, were examined. The purpose of this study is to compare the construction costs of masonry wall types, including CO₂ emission costs. The study found that the CO₂ emission costs were highest for the fired brick wall, followed by the concrete brick wall. This research could provide basic information that can be used in other engineering methods to convert CO₂ emissions to CO₂ emission cost.

Keywords : Masonry Wall Types, CO₂Emissions, CO₂Emission Costs

1. 서 론

1.1 연구의 목적

20세기말 지구온난화 문제가 국제사회의 주요문제로 대두되면서 전 세계적으로 지구온난화 문제를 해결하기 위하여 노력하고 있다. 지구온난화를 야기하는 요인 중 가장 높은 비율을 차지하는 것으로는 화석연료의 연소로부터 나오는 CO₂ 등의 온실가스를 들 수 있다. 이러한 온실가스 저감을 위하여 1992년 리오 기후변화협약을 시작으로 지구온난화물질 배출저감을 위하여 전 세계적으로 노력하고 있다. 이러한 국제적인 움직임 속에서 기후변화협약의 가입국인 우리나라에서도 탄소마일리지제도, 온실가스 라벨링 제도 등을 도입하는 등 국제사회의 움직임에 동참하고 있다.

전체 화석연료 소비의 1/4이상을 차지¹⁾하는 건설산업에서도 국내외 환경정책 변화에 능동적으로 대처하기 위한 연구가 진행되고 있다. 특히 건축물의 환경부하를 파악하기 위하여 건축물의 건설, 유지, 해체 등 전 과정에서 발생하는 에너지소비량 및 CO₂ 배출량을 산정하고 이를 저감하기 위한 연구가 진행 중이다. 이를 위해 이강희(2000)와 김종엽(2004)의 연구에서 건설자재 및 재

료, 건축물의 특성에 따라 소요되는 에너지량과 CO₂배출량을 파악하고 정량화하고 있다.

산출된 에너지소비량 및 CO₂배출량은 건설자재 및 재료의 개별적인 양에 대해서만 제시되어 있어 건설프로젝트에 적용하기에는 무리가 있다. 건축물은 여러 재료가 결합하여 만들어지는데 구성되는 재료에 따른 에너지소비량 및 CO₂배출량에 대한 계산이 필요하다. 왜냐하면 각 재료를 결합하는데 필요한 재료가 다르고 이에 따라 에너지소비량 및 CO₂배출량 또한 다르기 때문이다. 또한 건설프로젝트의 경우 건설현장의 공법 및 자재를 선택하는데 있어 프로젝트의 특성 및 현장의 여건에 따라 자재비, 노무비, 경비 등의 공사비용으로 결정되는 경우가 대부분이기 때문이다. 따라서 건설프로젝트에 에너지소비량 및 CO₂배출량을 적용하기 위해서는 자재비, 노무비와 같은 비용측면으로 변환하여 비교해 볼 필요가 있다.

본 연구에서는 벽체별 구성요소별로 배출되는 CO₂배출량을 건설원가로 환산하여 비용측면으로 비교해 보고자 한다. 본 연구는 노무비, 자재비, 경비 등으로 이루어진 공사비에 CO₂배출비용을 추가하는 방법을 제시함으로써 향후 건설프로젝트 의사결정시 기존의 공사비에 CO₂배출량까지 고려한 친환경적인 건축물 계획을

* 경기대학교 대학원 건축공학과 석사과정
** 경기대학교 건축공학과 학사과정
*** 경기대학교 건축공학과 교수, 공학박사, 교신저자
(ghkim@kyonggi.ac.kr)

1) 김종엽, 이승언, 손장열, 건축물 건설단계에서의 에너지소비량 및 CO₂배출량 원단위 산출, 대한건축학회 논문집, 제20권 제10호, pp.319~326, 2004.10

유도할 수 있을 것이라 사료된다.

1.2 연구의 방법 및 범위

건축물의 전 과정에서 발생하는 에너지소비량과 CO₂배출량²⁾은 자재의 생산단계부터 시공단계, 사용·유지보수단계, 해체·폐기단계로 나누어 질 수 있다. 그 중에서도 에너지소비량 및 CO₂배출량이 가장 많은 단계인 사용·유지보수단계에 대한 평가가 중요하지만 기후변화협약에 대응한 친환경적인 설계를 유도하고 환경부하 저감형 건설을 유도하기 위해서는 신축단계까지에 대한 평가가 중요시 되어야 한다.³⁾ 따라서 본 연구에서는 건축물의 라이프사이클 중 신축단계까지 발생하는 CO₂배출비용을 범위로 한정하고자 한다.

건축물은 많은 요소(Elements)들로 구성되어 있으나 건축물에 적용되는 벽체 중 국내에서 많은 비중을 차지하는 조적식 벽체를 대상으로 하였다. 조적식 벽체 중에서 내력벽, 내외부 칸막이 벽 및 치장용 등으로 주로 사용되고 있는 시멘트벽돌벽, 블록벽, 점토벽돌벽 3가지 벽체로 한정하였다.

객관적이고 정확한 비교를 위해 벽체두께는 0.5B를 기준으로 설정하고 사용자재는 시멘트벽돌과 점토벽돌은 각각 190×90×57mm, 블록은 100×190×390mm의 규격을 적용하여 1m²당 수량 및 금액을 산출하였다.

CO₂배출비용을 산출하고 비교하기 위해 진행한 연구순서는 다음과 같다.

첫째, 기존의 연구문헌 고찰과 자료조사를 통해 에너지소비량과 CO₂배출에 대한 이론적 고찰과 문제점을 파악하였다.

둘째, 선행연구를 통하여 산업연관표를 이용한 에너지 소비량 및 CO₂배출량 산출 방법에 대해 고찰하였다.

셋째, 벽체별 소요 자재량과 소요 노무량을 산출하고 이를 이용하여 자재비, 노무비를 산출하였다.

넷째, 산출된 소요 자재량을 이용하여 벽체별 투입되는 자재와 재료를 산업연관표에 상응하는 산업부문으로 분류하고 이를 선행 연구에서 제시한 CO₂배출량 원단위 데이터에 적용하여 벽체별 CO₂배출량을 산출한 후 비용으로 환산하였다.

마지막으로, 벽체별 구성재료별 자재비, 노무비, CO₂배출비용을 합하여 비교·분석하였고 연구의 절차는 그림 1과 같다.

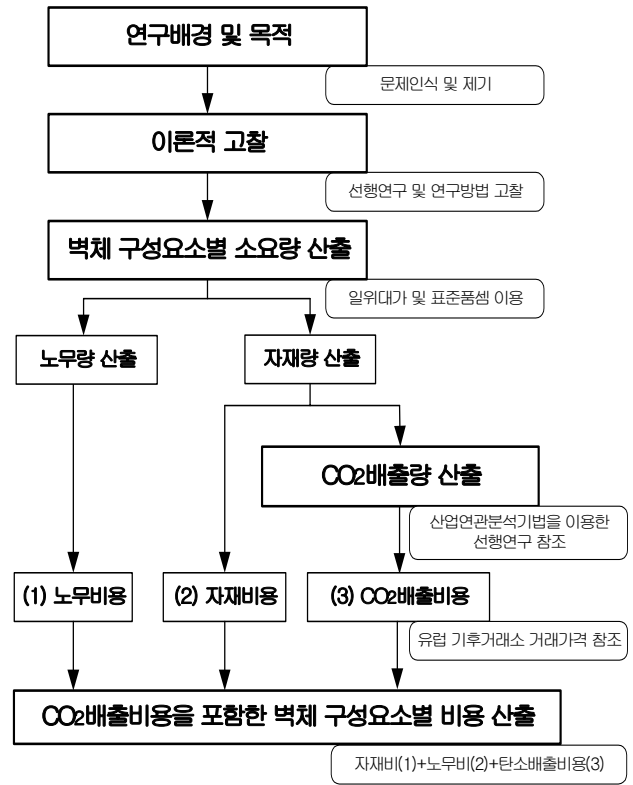


그림 1. 연구의 절차

2. 이론적 고찰

2.1 선행연구 고찰

연구를 진행하기 앞서 기존에 수행된 연구에 대하여 고찰하였다. 건설분야에서는 표 1과 같이 전과정 평가기법(LCA)⁴⁾을 이용한 건축물의 에너지소비량 및 CO₂배출량산출로 정량적으로 분석함으로써 원단위 데이터를 제시하고, 이를 이용하여 건축물 유형별·공종별·자재별 등 개별 요소에 대한 에너지소비량 및 CO₂배출량을 분석하는 연구가 주를 이루고 있다.

최근에는 선행연구에서 산출된 원단위 데이터를 이용하여 건설 프로젝트 의사결정에 도움이 될 수 있는 적용방법을 제시하거나 프로그램을 개발하는 등의 연구가 진행되고 있다.

2) 에너지소비량과 CO₂배출량은 단위 금액당 원단위(TOE/원, t-CO₂/원)로 표시된다.

3) 김종엽, 이승인, 손장열, 공동주택 신축단계에서의 에너지소비량 및 CO₂배출량 특성 평가, 대한건축학회 논문집, 제21권 제10호, pp.199~206, 2005.4

4) 서비스를 포함한 특정 제품의 라이프사이클 과정에서 투입되는 에너지·자원의 투입과 환경오염물질의 양을 정량화하고 이들이 환경에 미치는 영향을 총체적으로 분석하는 방법.

표 1. 에너지소비량 및 CO₂배출량에 관한 선행연구

분 류	연구자	연구 내용
에너지소비량 및 CO ₂ 배출량 산정에 관한 연구	이강희 (1996)	에너지소비량 및 CO ₂ 배출량 정량화 방법론 제시 및 산정
	김성완 (1998)	공중별, 시공 및 운송에 필요한 에너지소비량 및 CO ₂ 배출량 추정
	김종엽 (2004)	건설자재 생산단계에서의 에너지소비량 및 CO ₂ 배출량에 대한 원단위 산출모델을 검토, 제시
개별요소의 에너지소비량 및 CO ₂ 배출량에 관한 연구	이강희 (2000), (2002)	건축물의 공중별, 구조형식 및 유형별 건축자재와 재료별 에너지소비량과 CO ₂ 배출량을 산정
	홍성희 (2002)	사무소건축물과 공동주택의 에너지원별 사용량을 조사하여 CO ₂ 배출 원단위를 제시
	김종엽 (2005)	공동주택 신축단계에서의 각 공중별 자재 소요에 따른 에너지소비량 및 CO ₂ 배출량 특성 평가
프로그램개발 및 응용에 관한 연구	김선식 (2008)	내부벽체의 에너지소비량 및 CO ₂ 배출량을 정량적으로 비교, 분석
	이하식 (2008)	에너지소비량과 CO ₂ 배출량을 분석할 수 있는 프로그램의 구성내용과 속성을 제시
	김정용 (2008)	바닥 컴포넌트별 에너지소비량 및 CO ₂ 배출량을 프로그램을 이용하여 정량적으로 비교, 분석

에너지소비량 및 CO₂배출량 산정에 관한 연구인 이강희(1996)의 연구에서는 건설활동에 따른 에너지소비량 및 CO₂ 등의 오염물질 배출량을 정량화하는 방법으로 누적방식에 의한 추계 방법과 산업연관분석법에 대해 설명하고, 제시된 산업연관분석법을 이용하여 건설활동(철근콘크리트 공사, 조적 공사)에 따른 에너지소비량 및 CO₂배출량을 추정하였다. 김성완(1998)의 연구에서는 공동주택의 건설공중별 에너지소비량 및 CO₂배출량 평가를 통하여 공동주택을 대상으로 산업연관분석을 적용하여 건물의 건설단계에서의 공중별, 재료별 에너지소비량과 CO₂배출량을 산출하였다. 김종엽(2004)의 연구에서는 산업연관분석법을 이용하여 건설자재 생산단계에서 투입된 내재에너지 및 CO₂배출량에 대한 원단위 산출모델을 검토하고 재산출하였다. 또한 시공과정에서의 유류 및 전력사용량 파악으로 시공단계의 원단위를 산출 및 제시함으로써 국내 실정에 적합한 환경부하 원단위 데이터베이스를 구축하여 제시하고 있다.

개별요소에 대한 에너지소비량 및 CO₂배출량에 관한 연구로 이강희(2000;2002)의 연구는 건설단계에서 투입되는 건축자재와 재료, 에너지 산업부문 등이 상호 연관되어 있다는 점을 기초로 산업연관분석법을 이용하여 공중별, 건축자재와 재료별로 에너지소비량과 CO₂배출량을 산정하였다. 또한 건축구조형식별로 공공건축물의 건설단계에서 건축자재와 재료에 요구되는 에너지소비량과 CO₂배출량을 산정하였다. 홍성희(2002)의 연구는 사무소건축물과 공동주택을 대상으로 표본을 추출하여 에너지원별 사용

량을 조사하고 그 결과를 활용하여 CO₂배출원단위를 제시하였다. 김종엽(2005)의 연구에서는 선행연구에서 제시한 에너지소비량 및 CO₂배출량에 대한 원단위 데이터베이스를 활용, 공동주택 신축단계에서 공중별, 사용단계별, 자재별 에너지소비량 및 CO₂배출량을 산출하고 분석하였다.

산정된 에너지소비량 및 CO₂배출량 원단위 DB를 이용하여 프로그램개발 및 응용한 연구로 이하식(2008)의 연구가 있고, 이 연구에서는 건축물의 라이프사이클 단계별로 투입되는 에너지소비량 및 CO₂배출량을 분석할 수 있는 프로그램의 구성내용과 속성을 제시하였으며 김선식(2008)과 김정용(2008)의 연구에서는 내부벽체 및 바닥 구성요소별 에너지소비량 및 CO₂배출량을 정량적으로 비교·분석하였다.

이와 같이 에너지소비량 및 CO₂배출량과 관련된 연구는 다양하게 진행되어 왔으나 에너지소비량 및 CO₂배출량만을 분석할 뿐 탄소배출권 거래제도가 시행되고 있는 현 시점에서 CO₂배출량을 비용으로 환산한 연구는 없는 실정이다.

2.2 탄소배출 저감을 위한 국제적 동향

1992년 브라질 리우데자이네루에서 열린 환경회의에서 기후변화협약이 체결된 이후 1997년 12월 일본 교토에서 개최된 기후변화협약회의에서 선진국의 온실가스(이산화탄소를 비롯한 모두 메탄, 이산화질소, 과불화탄소, 수소불화탄소, 육불화황) 감축목표를 설정하는 교토의정서(Kyoto Protocol)가 채택되었다. 교토의정서에는 선진국(38개국)의 의무적 감축 목표 설정(90년 대비 5.2% 감축)과 청정개발체제(Clean Development Mechanism; CDM), 공동이행제도(Joint Implementation; JI), 배출권거래제(emissions trading; ET) 등 시장원리에 입각한 새로운 온실가스 감축수단의 도입에 관한 내용이 포함되었다. 이후 2002년 남아프리카공화국에서 교토회의의 구체적인 실천을 위한 국제회의가 개최되는 등 지구 온난화 주범인 온실가스배출을 지구 전체차원에서 규제하기 위한 움직임이 활발히 진행되고 있다.

우리나라는 아직 온실가스 감축 의무대상에서 제외되어 탄소배출거래에 참여하고 있지 않지만 2013년부터 온실가스 감축이 의무화될 것으로 예상된다(양승룡, 2005).

2.3 탄소배출권 거래제도⁵⁾

배출권 거래제(ET)란 ‘온실가스를 배출할 수 있는 권리(또는 허가)’를 하나의 상품으로 간주하여 시장에서 국가간 또는 기업간 구입·판매함으로써 할당받은 온실가스 감축목표를 충족하는데 활용하게 하는 제도를 말한다. 각 국가는 자국의 온실가스 할당량을 부여받고 할당량 미만으로 온실가스를 배출할 경우 그 여유분을 다른 국가에 팔 수 있다. 반대로 할당된 배출량을 초과하

5) 탄소배출권 거래제도에 대해서는 운영채, 김종서(2009)와 양승룡 외 7인(2005)의 논문을 요약·정리하여 기술하였음

여 배출할 경우 다른 국가에서 배출권을 사들일 수 있다. 이 제도가 시행될 경우 각국은 최대한으로 배출량을 줄여 배출권 판매 수익을 거두거나 배출량을 줄이는데 비용이 많이 드는 국가는 상대적으로 저렴한 배출권을 구입하여 감축비용을 줄일 수 있어 전체적으로는 감축비용을 최소화할 수 있다.

현재 탄소배출권 시장이 가장 활발 지역으로는 전 세계 탄소배출권 거래의 약 70~80%를 차지하는 EU(유럽연합, European Union)을 들 수 있다. 유럽연합 국가들은 2005년에 자체적으로 배출권 거래제(EU Emission Trading Scheme; EU ETS)를 만들어 2007년까지 1단계 운영을 마쳤다. 1단계 기간 중 허용치를 초과하는 탄소를 배출하고도 거래소에서 탄소배출권을 사들여 이를 상쇄하지 않는 국가나 기업에게 t당 40유로의 벌금을 부과하였고 이 또한 지키지 않을 경우 각종 제재(배출한도의 삭감, 거래 참가권의 박탈, WTO에서의 무역제재)를 가할 예정이다. EU ETS뿐만 아니라 UK ETS, 유럽기후거래소(European Climate Exchange; ECX), 시카고 기후거래소(Chicago Exchange; CCX), Powernext, MCEX(Montreal Climate Exchange) 등 전세계적으로 탄소배출권 시장이 형성되고 활발하게 거래가 이루어지고 있다.

2.4 산업연관표를 이용한 원단위 산출방법

1) 산업연관분석법

전과정 평가기법 중 하나인 산업연관방식(Input-Output Analysis)은 국민경제의 상호의존관계를 일람표의 형태로 나타낸 '산업연관표'로부터 산출되는 투입계수⁶⁾를 기초로 이와 관련된 경제의 움직임은 산업간의 생산기술적 연결구조에 초점을 두고 구명하는 분석방법이다. 한 종류의 건축자재와 재료를 생산하기 위해 다른 산업부문에서 자원과 에너지가 투입된다는 점을 이용한다. 제품을 생산하기 위하여 각 프로세스에서 사용된 자원, 에너지, 부산물 등을 상세하게 분석하고 계산하여 집계하는 방법으로 산업연관표로부터 약 400여개 항목으로부터 건축물의 직, 간접적으로 연관되어있는 에너지 부하를 산정하는 방식이다.

또한 산업연관분석은 산업연관표로부터 산출되는 투입계수를 기초로 산업간 상호 의존 관계를 분석하는 방법으로 '레온티에프분석' 또는 '투입·산출 분석' 이라고도 한다.

2) 산업연관분석법을 이용한 원단위 산출방법⁷⁾

산업연관분석표를 이용하여 자재생산단계의 에너지소비량 및 CO₂배출의 원단위를 산출 하는 과정은 다음과 같다.

첫째, 각 부문에서 에너지소비 및 CO₂배출의 원인이 된 연료 종류별 투입량을 추계한다. 둘째, 연료종류별로 연소율을 설정하여 연료로서 에너지소비에 기여한 투입물량을 구한다. 셋째, 여기에 각 연료별 발열량 및 CO₂배출계수를 곱한 뒤 더하여 부문별 직접

6) 투입계수는 각 부문 생산물 1단위 생산에 필요한 각종 중간재 단위임.
7) 이승연 외, 건축물의 LCA를 위한 원단위 작성 및 프로그램 개발 연구, 건설교통부, 2002

에너지 소비량 원단위 및 직접 CO₂배출량 원단위를 구한다. 그 다음에는 직접부문의 원단위에 레온티에프 역행렬 즉, (I-A)⁻¹인 생산유발계수로부터 각 부문별 직간접 원단위를 산출할 수 있다.

3. 벽체별 구성요소별 비용 산정

3.1 벽체별 구성요소

각 벽체별 소요되는 자재량을 산출하기 위하여 적용한 벽체별 구성요소를 표 2에 제시하였다. 시멘트벽돌벽체의 경우 다른 벽체와 다르게 벽면을 모르타르로 미장마감을 하는 요소가 추가되어 있다.

표 2. 벽체별 구성

구분	종 류		
	시멘트 벽돌벽	블록벽	점토벽돌벽
구성단면			
구성재	모래, 시멘트, 시멘트벽돌	모래, 시멘트, 블록	모래, 시멘트, 점토벽돌
모르타르	쌓기용 +미장용	쌓기용 +줄눈용	쌓기용 +줄눈용
미장공사 여부	○	×	×

3.2 벽체별 자재비 및 노무비 산정

2009년 표준품셈과 일위대가를 참조하여 각 0.5B 벽체의 자재량과 노무량을 산출하였다.

1) 벽체별 소요 자재량 및 자재비

시멘트 벽돌벽의 경우 미장공사가 추가됨에 따라 블록벽과 점토벽돌벽에 비해 시멘트와 모래의 투입량이 많았다. 벽체별 소요 자재량과 이에 따른 자재비는 표 3, 4와 같다.

표 3. 벽체별 소요 자재량(㎡당)

구분	자 재 명	단위	소요량
시멘트 벽돌벽	모래 ¹⁾	m ³	0.0345
	시멘트 ¹⁾	kg	16.0125
	시멘트벽돌	매	75
블록벽	모래 ²⁾	m ³	0.0085
	시멘트 ²⁾	kg	3.0645
	블록	매	13
점토 벽돌벽	모래 ²⁾	m ³	0.0206
	시멘트 ²⁾	kg	9.5625
	점토벽돌	매	75

1) 모르타르(쌓기+미장)용 포함
2) 모르타르(쌓기+줄눈)용 포함

표 4. 벽체별 소요 자재비(㎡당)

구 분	자 재 명	산 출 식		소요 비용(원)	합계 (원)
		수량	단가		
시멘트 벽돌벽	모래	0.0345	12,500	431	5,071
	시멘트	16.0125	79	1,265	
	시멘트벽돌	75	45	3,375	
블록벽	모래	0.0085	12,500	106	6,198
	시멘트	3.0645	79	242	
	블록	13	450	5,850	
점토 벽돌벽	모래	0.0206	12,500	258	23,514
	시멘트	9.5625	79	756	
	점토벽돌	75	300	22,500	

벽체별 소요 자재비를 산출한 결과 점토벽돌벽 23,514원, 시멘트벽돌벽 5,071원, 블록벽 6,198원으로 점토벽돌벽의 자재비가 가장 높은 것으로 나타났다.

2) 벽체별 소요 노무량 및 노무비

벽체공법별 노무 소요량 및 노무비를 산출한 결과는 표 5, 6과 같다.

표 5. 벽체별 소요 노무량(㎡당)

구 분	명 칭	단위	소요량
시멘트 벽돌벽	조적공	인	0.135
	미장공	인	0.09
	보통인부	인	0.075
	보통인부(모르터비빔)	인	0.01875
블록벽	조적공	인	0.15
	보통인부	인	0.076
점토 벽돌벽	치장벽돌공	인	0.2175
	보통인부	인	0.1125
	보통인부(모르터비빔)	인	0.01875
	보통인부(모르터뒤기)	인	0.0225

표 6. 벽체별 소요 노무비(㎡당)

구 분	명 칭	산 출 식		소요 비용(원)	합계 (원)
		수량	단가		
시멘트 벽돌벽	조적공	0.135	89,437	12,074	23,650
	미장공	0.08	66,622	5,330	
	보통인부	0.075	66,622	4,997	
	보통인부 (모르터비빔)	0.01875	66,622	1,249	
	블록벽	조적공	0.15	89,437	
블록벽	보통인부	0.076	66,622	5,063	18,479
	치장벽돌공	0.2175	92,669	20,156	
	보통인부	0.1125	66,622	7,495	
	보통인부	0.01875	66,622	1,249	
	점토 벽돌벽	보통인부 (모르터비빔)	0.0225	66,622	
보통인부 (모르터뒤기)					

벽체별 소요 노무비는 점토벽돌벽 30,399원, 시멘트벽돌벽 23,650원, 블록벽 18,479원으로 산출되었다.

3.3 벽체별 CO₂배출량 산정

1) CO₂배출 원단위 데이터베이스 선정

벽체별 구성 자재 및 재료의 투입에 발생하는 CO₂배출량을 산출하기 위해서는 건축자재의 생산 시 투입되는 CO₂배출량에 대한 원단위 데이터가 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 선행연구⁹⁾에서 구축된 건설자재의 환경부하 원단위 데이터베이스를 활용하였다. 선행연구에서는 2000년 산업연관표를 이용, 에너지원별 투입물량을 이용하여 건축물의 건축자재 및 재료의 에너지소비 및 CO₂배출 원단위 데이터를 세부분류까지 산출하여 제시하고 있다. 원단위 데이터를 참고함에 있어 가장 최근에 발행된 2007 산업연관표(2009년 발행)를 반영한 원단위 데이터가 필요하지만 가장 최근 발행된 2005년 2007년 산업연관표의 내용에는 에너지원별 투입물량을 산출하기 위해 필요한 '부문별품목별 공급액표'의 수량이 제시되어 있지 않고 있다. 또한 1995년과 2000년간의 산업활동의 변화가 원단위에 큰 영향을 보이지 않고 있고 향후에도 유사한 경향을 보일 것으로 예상된다고 한다(김중엽, 2005).

따라서 본 연구에서는 벽체별로 신축단계에서의 CO₂배출비용을 산출하여 비교하는데 목적이 있으므로 2000년 산업연관표를 이용하여 작성된 원단위 데이터를 이용하는데 무리가 없는 것으로 사료되어 선행연구의 데이터를 이용하여 계산하였다.

본 연구에서 참고한 모래, 자갈, 벽돌 등의 주요 건축자재 및 재료의 에너지소비량 및 CO₂배출 원단위를 표 7에 요약하여 정리하였다.

표 7. 주요 건축자재 및 재료의 에너지소비량과 CO₂배출 원단위

부문	건설자재	에너지 소비량 (TOE/백만원)	CO ₂ 배출량 (t-CO ₂ /백만원)
00390100	모래	0.110	0.354
00390200	자갈	0.110	0.354
00400000	쇄석	0.360	1.154
01840100	점토벽돌	0.786	2.546
01840200	점토제기와	0.786	2.546
01850101	보통시멘트	1.784	6.616
01860000	레미콘	0.858	3.152
01870101	블록	0.867	3.196
01870102	벽돌	0.867	3.196

2) CO₂배출량 산출

CO₂배출량은 3.2 에서 산출한 벽체별 소요 자재비에 선행연구(표 7)를 통해 산출된 주요 건축자재 및 재료의 CO₂배출 원단위를 곱하여 산출할 수 있다. 산출된 벽체별 CO₂배출량은 표 8과 같다.

표 8. 벽체별 CO₂배출량(㎡당)

구 분	CO ₂ 배출량(t-CO ₂)		합 계
	구성요소별 배출량		
시멘트 벽돌벽	모래	0.00015266	0.01138697
	시멘트	0.00044781	
	시멘트벽돌	0.01078650	
블록벽	모래	0.00003770	0.01882000
	시멘트	0.00008570	
	블록벽돌	0.01869660	
점토 벽돌벽	모래	0.00009116	0.05764358
	시멘트	0.00026743	
	점토벽돌	0.05728500	

단위 면적당 벽체별 CO₂배출량을 산정한 결과 점토벽돌벽 0.05764358t-CO₂, 블록벽 0.01882000t-CO₂, 시멘트벽돌벽 0.01138697t-CO₂ 순으로 산출되었다.

3.4 CO₂배출비용 산출

산출된 CO₂배출량을 비용으로 변환하기 위하여 실제 거래되고 있는 탄소배출권 가격을 이용하여야 한다. 주요 선진국에서 대기 오염물질 배출량을 규제하기 위해 만들어진 배출권거래소의 종류는 상당수 있다. 본 연구에서는 전 지구적인 단위에서 거래되는 배출권거래제 중 하나인 EU ETS하에서 거래되고 있는 EUA⁸⁾가 가격에 의해 산출하고자 하였으며 이를 위해 유럽기후거래소(ECX)에 제시되어 있는 2005년부터 2009년까지 CO₂배출권 평균 거래 가격인 19.73EUR/ton을 적용하였다.

또한 유럽기후거래소(ECX)에서 거래되고 있는 단위인 EURO화를 국내 화폐단위인 원(Won)으로 환산하기 위하여 EURO화에 대한 2009년 연평균 환율인 1,809.65원을 곱하여 원단위로 변환

하였다. CO₂배출비용을 산출하기 위한 방법은 식 1으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{벽체별 CO}_2\text{배출비용} \dots\dots\dots (1) \\ & = \text{벽체별 CO}_2\text{배출량} \times \text{CO}_2\text{배출권 평균 거래가격(Ton/유로)} \\ & \quad \times \text{연 평균 환율(유로/원)} \end{aligned}$$

유럽기후거래소(ECX)의 CO₂배출권 평균 거래가격과 유로화에 대한 연 평균 환율을 적용하여 벽체별 CO₂배출비용을 산출한 결과는 다음 표 9와 같다.

표 9. 벽체별 CO₂배출비용 산정(㎡당)

구 분	CO ₂ 배출량 (t-CO ₂)	CO ₂ 배출권 평균 거래가격	연 평균 환율(원)	CO ₂ 배출 비용(원)
시멘트 벽돌벽	0.01138697	19.73 (EUR/ton)	1,809.65	407
블록벽	0.01882000			672
점토 벽돌벽	0.05764358			2,058

벽체별 CO₂배출비용을 산출한 결과 점토벽돌벽 2,058원, 블록벽 672원, 시멘트벽돌벽 407원으로 점토벽돌벽이 가장 비싼 것으로 조사되었다.

4. 공사비 및 CO₂배출비용

4.1 CO₂배출비용을 포함한 건설원가

표 10은 3.4에서 산출된 CO₂배출비용을 3.2에서 산출한 자재비와 노무비에 합산하여 비교한 것이다.

벽체별 자재비, 노무비에 CO₂배출비용까지 합산하여 비교한 결과 점토벽돌벽 55,971원, 시멘트벽돌벽 29,128원, 블록벽 25,349원순으로 점토벽돌벽이 가장 비싼 것으로 나타났다.

표 10. 자재비, 노무비, CO₂배출비용 비교

구 분	기존 공사비				CO ₂ 배출비용		합 계(원)	비 율(%)
	자재비(원)	노무비(원)	소 계(원)	비 율(%)	소 계(원)	비 율(%)		
시멘트 벽돌벽	5,071	23,650	28,721	100.00	407	100.00	29,128	100.00
블록벽	6,198	18,479	24,677	85.92	672	165.11	25,349	87.02
점토 벽돌벽	23,514	30,399	53,913	187.71	2,058	505.65	55,971	192.16

8) EUA(EU Allowance)는 EU ETS에서 거래되는 배출권 한 단위를 지칭함.

4.2 결과분석

벽체 구성요소별 자재비, 노무비, CO₂배출비용을 산출하고 분석한 결과는 다음과 같다.

첫째, 벽체별 소요 자재비는 점토벽돌벽 23,514원, 시멘트벽돌벽 5,071원, 블록벽 6,198원 순으로 높은 것으로 조사되었다.

둘째, 벽체별 소요 노무비를 비교·분석한 결과 점토벽돌벽 30,399원, 시멘트벽돌벽 23,650원, 블록벽 18,479원 순이었다. 노무비는 시멘트벽돌벽에 미장공사가 추가되었음에도 불구하고 치장벽돌공의 단가가 조적공의 단가보다 높아 전체적으로 노무비가 높은 것으로 판단된다.

셋째, CO₂배출비용은 점토벽돌벽, 블록벽, 시멘트벽돌벽 순으로 높았다.

넷째, CO₂배출비용을 자재비, 노무비와 합산한 결과 벽체별 비용은 점토벽돌벽 55,971원, 시멘트벽돌벽 29,128원, 블록벽 25,349원 순으로 CO₂배출비용을 고려하지 않은 경우와 순위측면에서는 동일하였다.

위 같은 결과로 볼 때 자재비 측면에서는 시멘트벽돌벽, 블록벽, 점토벽돌벽 순으로, 노무비 측면에서는 블록벽, 시멘트벽돌벽, 점토벽돌벽 순으로 저렴하였다. 본 연구의 핵심인 CO₂배출비용 측면에서는 시멘트벽돌벽, 블록벽, 점토벽돌벽 순으로 저렴한 것으로 나타났으며 시멘트벽돌벽 대비 점토벽돌벽은 5.05배, 블록벽은 1.65배 높아 CO₂배출비용 측면에서 많은 차이를 보이고 있는 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구는 건설프로젝트에서 CO₂배출량을 공법선정의 한 요소로 적용가능성을 검토하기 위하여 시멘트벽돌벽, 블록벽, 점토벽돌벽 3가지 벽체를 대상으로 벽체별 CO₂배출량을 비용으로 환산한 뒤 자재비, 노무비에 합산하여 비교·분석하였다.

연구 결과 벽체별 CO₂배출비용은 점토벽돌벽, 블록벽, 시멘트벽돌벽 순으로 높았으나 CO₂배출비용을 포함한 벽체별 비용은 점토벽돌벽, 시멘트벽돌벽, 블록벽 순으로 나타났는데 이는 CO₂배출비용이 자재비의 영향을 받지만 전체비용에서 노무비가 차지하는 비율이 매우 높은 것 때문이라고 할 수 있다.

벽체별 CO₂배출비용은 자재비, 노무비를 합한 공사비에서 차지하는 비율이 약 1%, 자재비에 차지하는 비율은 약 6%로 전체 공사비에서 차지하는 비율이 매우 크다고 할 수 있다. 보통 전체 공사비에서 자재비가 차지하는 비율이 60%이상인 점으로 볼 때 전체 공사비에 CO₂배출비용으로 추가되는 비용은 상당할 것으로 사료된다. 이러한 사실은 건설프로젝트에서 CO₂배출량이 적은 공

법이나 자재를 선택함으로써 온실가스 배출량을 줄이고 지구 온난화문제에 기여할 수 있다는 환경적 측면뿐만 아니라 기존 공사비에 추가될 수 있는 CO₂배출비용을 절감할 수 있다는 점에서 경제적 측면에서도 매우 중요하다고 할 수 있다.

본 연구를 통하여 향후 건설프로젝트의 공법 및 재료 선정시 CO₂배출량을 자재비, 노무비와 함께 시공비용으로 환산하여 비교하는 기초적인 방법을 제시함으로써 친환경적인 설계를 유도하고 환경부하 저감형 건설을 유도할 수 있을 것이라 사료된다. 향후 객관적인 에너지소비량 및 CO₂배출 원단위 데이터를 통하여 다양한 공법에 대한 CO₂배출비용을 산출하고 전생애주기비용(LCC)에 환경영향 정도를 포함하여 비교·분석할 수 있는 연구가 추가되어야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 김선식 외 3명, 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량 저감을 위한 건축물 내부 벽체 컴포넌트 분석, 대한건축학회 논문집, 제24권 제1호, pp.95~103, 2008.1
2. 김정용, 김영석, 김재준, 에너지소비량 및 이산화탄소 배출량분석을 통한 건축 바닥 컴포넌트의 친환경 성능 평가에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제24권 제11호, pp.297~304, 2008.11
3. 김종엽, 김성완, 손장열, 건축물 LCA를 위한 건설자재의 환경부하 원단위 산출 연구, 대한건축학회논문집, 제20권 제7호, pp.211~218, 2004.7
4. 김종엽, 이승언, 손장열, 건축물 건설단계에서의 에너지소비량 및 CO₂배출량 원단위 산출, 대한건축학회논문집, 제20권 제10호, pp.319~326, 2004
5. 김종엽, 전과정평가에 의한 공동주택 건설단계에서의 이산화탄소 배출량 평가, 한양대학교 박사학위 논문, 2005
6. 양승룡 외 7인, 탄소배출권 거래제 도입과 농업부문 대응 전략, 고려대학교 생명환경과학대학, 2005.7
7. 윤영채, 김중서, 지구온난화 방지를 위한 실효적 방안 연구, 충남대학교 사회과학연구소, 사회과학연구, 제20권 제1호, pp.85~114, 2009
8. 이강희, 양재혁, 주요 건축자재의 에너지소비와 이산화탄소 배출원단위 산정 연구, 대한건축학회논문집, 제25권 제6호, pp.43~50, 2009.6
9. 이강희, 채창우, 산업연관분석법을 이용한 공공건축물의 에너지소비량과 이산화탄소 배출량 산출연구, 대한건축학회 논문집, 제18권 제5호, pp.99~107, 2002.5
10. 이승언 외, 건축물의 LCA를 위한 원단위 작성 및 프로그램 개발 연구, 한국건설기술연구원, 2004
11. 한국은행, 2005년 산업연관표, 2008
12. ICE, ICE-ECX European Emissions-Emissions Index, <<https://www.theice.com/homepage.jhtml>> (2010.6)

(접수 2010.3.30, 심사 2010.6.7, 게재확정 2010.6.14)

요 약

건설산업에서 발생하는 CO₂배출량은 지구 온난화를 유발하는 주요 원인 중 하나이다. 이에 따라 건설산업에서는 CO₂배출량을 줄이기 위해 노력하고 있다. 최근 건축물의 CO₂배출량에 관한 다양한 연구가 진행되고 있지만 CO₂배출비용에 관한 연구는 아직 없는 실정이다. 본 연구에서는 벽체별(시멘트벽돌벽, 블록벽돌벽, 점토벽돌벽)로 기존 공사비에 CO₂배출비용을 포함하여 비교해 보았다. 그 결과 CO₂배출비용은 점토벽돌벽, 시멘트벽돌벽, 블록벽 순으로 높았다. 본 연구는 CO₂배출량을 비용으로 환산하는 방법을 제시함으로써 향후 CO₂배출량을 비용측면으로 비교해 볼 수 있는 기초적 자료를 제공할 수 있을 것이다.

키워드 : 조적벽, CO₂배출량, CO₂배출비용
