공동주택 시공과정의 공종별 CO_2배출 특성분석에 관한 연구

이종건, *태성호, **채창우, ***김낙현
한양대학교 대학원 건축시스템공학과, 석사과정, * 한양대학교 공학대학 건축학부 부교수, 공학박사
**한국건설기술연구원 건축도시연구소, ***한양대학교 대학원 건축시스템공학과, 박사과정

A Study on the analysis of CO_2 emission by work-type in the apartment housing construction

Jong Geon Lee, *Sung Ho Tae, **Rak Hyun Kim
Architectural Engineering, Hanyang University
*School of Architecture & Architectural Engineering Hanyang University
**Building and Urban Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology,
***Architectural Engineering, Hanyang University

Abstract

In recent years, research to reduce CO_2 emission through quantitative assessment of building life cycle CO_2 emissions has been performed as it relates to the construction industry. However, most research efforts related to building CO_2 emission assessment has been focused on evaluation during the operational stage of a building's life cycle. Few comprehensive studies of the CO_2 emissions during a building's construction have been performed. The purpose of this study is an assessment method that quantitatively evaluates the CO_2 emissions of buildings during the construction. This study analyzed the amount of CO_2 emissions produced by 13 process of construction works. building materials, construction and transport equipment used for the selected process of construction works were identified, and CO_2 emissions produced by the identified materials and equipment were calculated for these 13 process of construction works. The energy consumption of construction and transport equipment was calculated by analyzing fuel efficiency and equipment productivity rates. The combination of the expected levels of CO_2 emissions associated with the utilization of building materials and construction equipment provides means for estimating the quantity of CO_2 emissions related to the construction stage of a building's life cycle. It comprehensively analysis result, main process of construction works, "Reinforced concrete work" accounting for more than 73% of the total CO_2 emissions were deducted.

1. 서론

최근 국내외적으로 전산업에 걸쳐 지구온난화에 대한 기후변화 대응을 위해 많은 노력과 환경규제가 강화되고 있다. 정부에서는 신 기후변화체제에 대비하기 위해 INDC(Intended Nationally

Determined Contributions)에 2030년 BAU대비 37%의 온실가스 배출량 감축목표를 공시하였다. 한편 IPCC 보고서에 의하면 건설산업의 온실가스 감축 잠재력은 타산업에 비교하여 우수한 것으로 평가되는 바, 건설분야의 온실가스 감축은 국가 온실가스 감축목표 달성 성공여부의 핵심이라고 할 수 있다[1]. 특히, 건설산업은 전 산업에서 발생되는 CO_2 배출량의 30~40%를 차지하는 대규모 소비산업이며, CO_2 배출량의 감축 목표 달성을 위한 현실적인 CO_2 배출 저감 방안으로 건축물의 전생애주기에 걸친 CO_2 배출량 저감기술의 필요성이 대두되고 있는 실정이다. 이에 건설산업에서는 건축물의 전생애주기에 걸쳐 필연적으로 발생하는 CO_2 배출량을 저감하기 위하여 이를 정량적으로 평가하고 이를 통해 탄소 배출량을 절감, 개선하기 위한 기법에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 건축물의 전생애주기 동안의 CO_2 배출저감을 위해서는 각 단계별 CO_2 배출 데이터 분석이 선행되어야 하며 건축물의 온실가스 평가는 전생애주기 관점으로 이루어져야 한다. 그러나 현재는 에너지 사용량이 많은 운영단계의 CO_2 배출량 평가에 관한 연구에 집중되고 있는 실정이다. 특히, 공사주기가 짧고 데이터 확보가 어려워 정량적인 데이터 분석이 이루어지지 않는 시공과정에서의 CO_2 배출량 평가에 관한 연구는 미비한 실정이다[2].

이에 본 연구에서는 건축물의 전생애주기 중 시공과정의 CO_2 배출량 저감 및 관리를 위한 연구의 일환으로 공동주택 시공과정의 공종별 CO_2배출 특성분석을 목적으로 한다. 이를 위해 건설현장의 CO_2 배출량 평가를 위한 전 과정 평가 범위를 운송단계, 시공단계로 구분하고 평가대상 건축자재는 각 공정에 투입되는 주요자재로 선정하였으며, 건설 및 운송장비의 에너지 소비량은 건축공사 표준품셈을 분석하여 각 단위작업 별 장비의 투입시간 및 연비를 통해 산출하였다. 이를 통해 공동주택 시공과정의 공종별 CO_2 배출 특성분석을 실시하였다.

2. 기존문헌 고찰

공동주택 시공과정의 공종별 투입물량 및 에너지 산출방법과 그에 따른 CO_2 배출 특성분석을 위해 국내 주요 선행 연구 및 문헌 고찰을 실시하였다. 국내에서 수행된 주요 연구개요를 분석 요약하면 Table 1과 같다. 김종엽 외2인은 산업연관분석법을 통해 공동주택에 투입된 건축자재의 에너지소비량 및 CO_2 배출량 원단위를 산출하였다[3]. 최민수와 정영철 외4인은 건축공사 주요자재 및 제품군에 대한 에너지 소비량 및 CO_2 배출 원단위 값 산출에 관한 연구를 수행하였다[4,5]. 김대희 외3인은 공동주택 단계 공종별 에너지 소비량 및 CO_2 배출량 산정연구를 제시하였다[6]. 김건웅 외4인은 공동주택 시공단계에서의 건축장비 및 자재의 유류소비량의 영향요인에 대한 조사 및 분석을 실시하였으며[7], 김종욱 외4인은 시공단계에서의 콘크리트의 레미콘 운송에 대한 CO_2 평가방법개발에 관한 연구를 진행하였다[8]. 현재까지 진행된 기존 연구의 경우 대부분의 연구가 산업연관분석법을 이용하여 주요 건축공종, 건설현장에서의 건축자재 및 장비 등 시공과정의 일부분에 대한 연구로 국한되어 진행되었다. 시공과정은 운송단계 및 시공단계에 걸쳐 건축공종, 시공 및 운송장비, 건축자재 등의 요인들이 내재되어 있으며, 이를

Table 1 국내 주요 선행연구 및 문헌

구분	개요	분석대상				분석방법
		운송장비	시공장비	건축공종	투입자재	
김종엽 외2인	공동주택 건설단계에서의 건축자재에 대한 에너지소비량 분석 및 CO_2 배출량 원단위산출				■	▪ 지구별예산내역서 ▪ 산업연관분석
최민수	공동주택 건축공사의 공종별 투입 건축자재에 대한 원단위 산출				■	▪ 물량산출내역서 ▪ 산업연관분석
정영철 외4인	공동주택 건축공사 주요자재별 CO_2 배출 원단위 값 산출에 따른 산업연관표 적용 적정성 검토 연구				■	▪ 물량산출내역서 ▪ 산업연관분석
김대희 외3인	공동주택 건설단계에서의 건축공종별 투입 건축자재의 에너지소비량 및 이산화탄소 배출량 산정연구			■	■	▪ 물량산출내역서 ▪ 산업연관분석
김건웅 외4인	공동주택 시공단계에서의 건축장비 및 자재에 대한 유류소비량의 영향요인 조사 및 분석		■		■	▪ 물량산출내역서 ▪ 산업연관분석
김종욱 외4인	공동주택 시공단계에서의 콘크리트의 레미콘 운송에 대한 CO_2평가방법개발에 관한 연구	■				▪ 물량산출내역서 ▪ 산업연관분석

포괄할 수 있는 연구가 필요하다. 산업연관분석법의 경우 다량의 데이터를 분석한 개괄적인 CO_2 배출량 산정이 용이하나, 시공단계에서의 건설기계장비 에너지사용량 산정 및 시공과정의 시스템 경계설정에 따른 CO_2 배출량의 정량산출이 어려워 신뢰성 부족을 야기할 수 있다. 반면, 개별적산법의 경우 조사범위가 광범위하여 데이터 수집에 어려움이 있으나, 가정 및 경계조건 설정을 통해 건축물 전과정 중 특정 단계에 대한 세부적인 결과 값 산정이 가능하다. 이에 본 연구에서는 기존의 화폐가치 기반의 CO_2 배출량 분석이 아닌 개별적산법을 이용하여 공동주택 운송단계 및 시공단계를 포함되는 공종별 시공과정의 CO_2 배출량 산출 방법을 제시하고 CO_2 배출 특성을 분석하고자 한다.

3. 공동주택 시공과정 CO_2 평가방법

3.1 개요

본 연구에서는 공동주택 건설현장의 CO_2 배출특성분석을 위해 건축물의 시공과정을 운송단계 및 시공단계로 구분하였다. 운송단계는 공동주택의 건설현장에서 운송되는 차량의 에너지 소비량 산정을 위하여, 건설현장까지 운반하는데 소요되는 운송차량의 유류 소비량으로 한정하였다. 또한, 건축자재 별 운송 거리, 운송차량의 종류 및 표준연비, 운송차량의 대수, 적재량 등을 고려한 CO_2 배출 평가방법을 제안하였다. 시공단계에서는 현장에서 건축물 시공을 위해 소비되는 건설기계장비, 운반 장비, 현장사무소 및 기타시설물의 유류 및 전기 사용량의 총합으로 산정하였다. 이를 위해 표준품셈 및 일위대가표를 분석하였으며, 기계장비 및 전력사용에 대한 시공단계의 유류 및 전력투입량을 산출하였다. 각 단계에서 투입된 건축자재량 및 에너지 소비량에 대한 탄소배출 원단위는 국가 LCI DB 및 건설자재 환경성정보 국가 DB의 배출계수를 적용하였다[2].

3.2 운송단계 CO_2 배출량 산정방법

운송단계에서의 CO_2 배출량 산정을 위해 고려되어야 하는 주 요소로 크게 건축자재 투입량, 운송장비, 운송거리로 건축자재를 건설현장으로 출하 시 운송거리 및 운송차량 제원 등을 이용하여 에너지 소비량을 산출하고 이를 CO_2 배출량으로 환산하여 산정한다. 산출방법은 건설현장에 출하하기 위한 투입자재의 물량을 이용하여 운송차량 대수를 도출하고, 운송거리와 운송차량의 연비를 이용하여 유류소비량을 산출한다. 이를 위해 현장까지의 운송거리, 운송차량의 종류 및 표준연비, 운송차량의 대수 등이 고려되어야 한다. 운송차량의 경우에는 현장의 상황으로 인해 사용시간이 유동적이기 때문에

운송차량의 종류에 따른 작업능력을 정량화 하는 것이 불가능하다.

이에 본 연구에서는 건축공사 표준품셈에 명시된 운송차량의 적재량과 실제 현장의 주요 운송차량을 조사하여 건축공사 자재별 물량산출값에 따른 운송차량의 대수를 산출하였으며, 현장까지의 거리 및 각 운송차량의 표준연비에 대한 분석을 통해 운송단계에서 발생하는 유류 소비량을 산출하였다. 운송단계는 공종별 투입되는 건설자재의 편도운송에 따른 차량의 유류소비량으로 평가범위를 한정하였다.

본 연구에서는 투입건축자재에 대한 운송차량 $6m^3$의 레미콘, 20톤 제원의 카고트럭, 5톤과 20톤 제원의 카고차량에 따른 운송거리를 각각 20km, 40km, 20km 설정하여 건축공사 자재별 물량 산출값에 따른 운송차량의 대수를 산출하였다. 식 1과 식 2는 각각 운송단계 유류사용량 및 CO_2 배출량 산출식을 나타낸다.

$$DO_t = \sum (U_t \times \frac{k}{M_t}) \quad \cdots\cdots (1)$$

DO_t : 운송단계 유류사용량 (ℓ)
U_t : 투입차량대수 (n)
k : 거리(km)
M_t : 운송차량 연비(km/ℓ)

$$C_t = \sum (TO_t \times EF_t) \quad \cdots\cdots (2)$$

C_t : 운송단계의 CO_2 배출량($kg\text{-}CO_{2eq}$)
DO_t : 운송단계 유류사용량 (ℓ)
EF_t : 유류배출계수($kg\text{-}CO_2/\ell$)

3.3. 시공단계 CO_2 배출량 산정방법

건설하기 위해 사용되는 모든 건축자재가 건설현장까지 운송된 이후 실제 건설현장 시공과정에서 많은 양의 CO_2가 배출되기 때문에 건설현장 내에서 CO_2를 발생시키는 모든 요인들이 분석범위로서 포함되어야 한다. 이에 시공단계에서의 CO_2 배출량을 산정하기 위해 유류소비량과 전력소비량으로 구분하여 건설현장에서 건축물 시공을 위해 소비되는 건설기계장비, 운반장비, 현장사무소 및 기타시설물에 사용되는 유류 및 전기소비량의 총합으로 산출하였다. 유류소비량은 공사일보의 장비 투입 현황을 분석하여 각 공종에 따른 장비투입 일수 및 시간 산출이 가능하며 장비별 연비는 건축공사 표준품셈 중 운전경비 산정 부분에 근거하였다. 전력소비량은 전체 공사기간 동안의 월별 전기 사용내역을 입수한 후 공정표에 근거하여 각 공종 기간에 따른 전력소비량을 산출하였다. 또한, IPCC 2006 국가 인벤토리 가이드라인의 배출량 산정방법을 준용하여 건축장비별 유류배출계수를 적용하였다.

시공 특성상 다수의 공종이 동시에 진행되는 경우에는 해당 전력 소비량을 중첩되는 공종의 공사일로 나누어 적용하였다. 본 연구에서는 현장별 시공여건을 비롯한 공법 및 장비사용이 상이한 시공단계를 실제 건설현장의 물량산출서 및 공사일보를 통해 실제 건설현장에서 사용되는 건설기계장비 및 운반장비의 대수 데이터를 확보하여 유류사용량에 대한 데이터를 분석하였으며, 실제 현장사무소에서 사용한 전력소비량에 대한 데이터를 분석하였다. 시공단계에서의 유류 · 전력소비량에 따른 CO_2 배출량 산출식을 각각 식3과 식4와 같이 나타내었다.

$$C_{co} = \sum (M_c \times T_c \times EF_c \times U_c) \cdots\cdots (3)$$

C_{co} : 시공단계 유류소비량에 따른 CO_2 배출량(kg-CO_2)
M_c : 연비(ℓ/h)
T_c : 시간(h)
EF : 유류배출계수(kg-CO_2/ℓ)
U_c : 작업장비 대수(n)

$$C_{ce} = \sum (I_c \times EF_c) \cdots\cdots (4)$$

C_{ce} : 시공단계 전력소비량에 따른 CO_2 배출량(kg-CO_2)
I_c : 전력사용량(kwh)
EF_c : 전력배출계수(kg-CO_2/kwh)

4. 공동주택 시공과정 CO_2 배출량 특성분석

4.1개요

본 연구에서 분석한 공동주택 사례조사 건설현장은 서울 수도권에 위치한 공동주택 단지로 건축개요는 Table 2와 같다. 본 연구에서는 건축공사 13종의 공종을 평가 대상으로 선정하였으며, 건축내역서의 수집이 가능한 총 건축자재 959종류 중 240종류의 건축자재를 규격별로 분류하여 공종별 CO_2 배출특성 및 주요공종을 도출하였다. 또한, 본 연구에서는 다양한 요소들을 포괄하는 시공과정을 운송단계 및 시공단계로 구분하였으며 각 단계별 연면적당 CO_2 배출특성을 분석하였다.

Table 2 건축개요

구분	내용	구분	내용
사업명	서울 M도시 개발사업지구	구조형식	철근 콘크리트구조
지역지구	준주거지역	주동형식	탑상형
용도	공동주택	세대수	1,004 세대
규모	지하2층~지상16층	대지면적	56,336,00m^2
동수	13개동	연면적	208,393,80m^2

4.2 공동주택 시공과정 CO_2 배출량 특성분석

4.2.1 운송단계

운송단계에서는 공종별 유류소비량을 도출하기위해 투입차량 대수와 운송거리, 각 장비에 대한 연비를 고려하여 운송단계에서의 CO_2 배출량을 산정하였다. 건설현장으로 투입물량을 운송하는 운송장비의 적재용량에 따른 운송장비의 대수를 Table 3과 같이 분석하였으며, 분석결과 20ton 카고트럭과 6m^{3}콘크리트 믹서 트럭의 경우 철근콘크리트공사에서 적재대수가 가장 많은 비중을 차지하였으며, 5ton카고트럭의 경우 타일공사에서 적재대수가 가장 많은 비중을 차지하였다. 운송단계의 분석결과 총 CO_2 배출량은 5.46kg-CO_2/m^{2}으로 철근콘크리트 공사에서의 CO_2 배출량이 전체의 약 89%로 전체 공종 중 다량의 CO_2 배출특성을 보이는 것으로 분석되었다. 그 외 공사의 CO_2 배출특성 분석결과 방수공사, 타일공사, 미장공사순으로 분석되었으며 각 공사별 CO_2배출량은

0.08kg-CO_2/m^2, 0.07kg-CO_2/m^2, 0.06kg-CO_2/m^2로 분석되었다. 이는 건설현장으로 투입되는 34,500여대의 운송차량을 공종 별로 분석한 결과, 철근콘크리트 공사에 투입된 30,422여대의 콘크리트 운송차량에 의한 CO_2 배출량이 전체 운송단계 CO_2 배출량의 약 75%를 차지하는 등 철근콘크리트 공사에서의 콘크리트 수급 시 건설현장과 콘크리트 제조업체 간의 출하거리 및 콘크리트 운송차량의 연비 등의 관리가 건축공사의 CO_2 배출량 저감을 위해 필요한 것으로 분석되었다.

Table 3 공동주택 운송단계의 공종별 투입 데이터분석

에너지 요소	세부구분			공종별 투입장비에 따른 분류												
	투입 장비	장비 제원	단위	가설 공사	철근 콘크 리트 공사	철골 공사	조적 공사	미장 공사	타일 공사	방수 공사	유리 공사	도장 공사	석 공사	창호 공사	목 공사	잡 공사
유류 소비	카고 트럭	5ton	대	-	8	4	2	-	-	296	-	14	21	-	126	59
		20ton	대	41	1,618	-	578	474	368	237	96	-	-	219	-	-
	믹서 트럭	$6m^3$	대	-	30,422	-	-	-	14	-	-	-	-	-	-	-

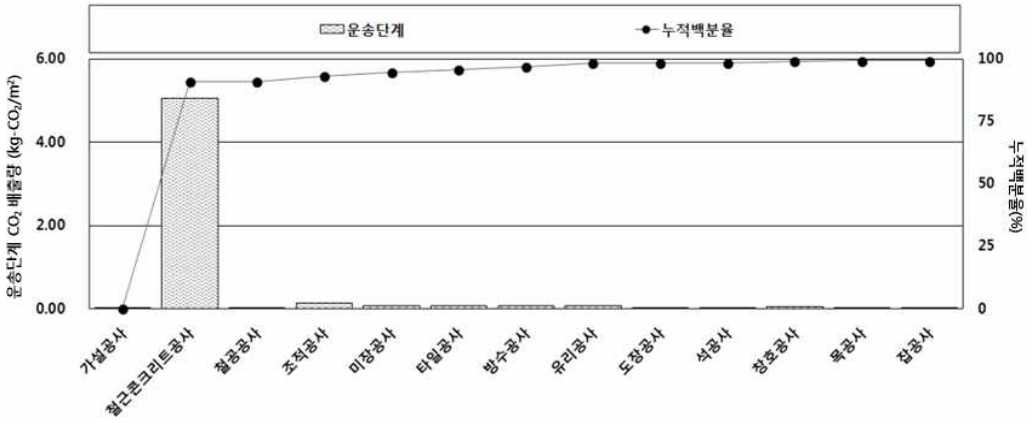

Figure 2 운송단계에서의 공종별 CO_2 배출량 분석

4.2.2 시공단계

시공단계에서는 공종별 사용된 유류소비량과 전력소비량을 통해 시공단계의 CO_2 배출량 분석이 가능하다. 이를 위해 Table 4와 같이 시공단계 데이터와 같이 실제 건설현장에서 사용되고 있는 장비를 구분하고 세부 건축장비들의 공종별 사용대수를 분석하였다. 분석결과 철근콘크리트공사에서 대부분의 장비가 사용되었으며 50톤 이동식 크레인의 경우 다른 장비에 비해 타공종에 대한 사용비중이 큰 것으로 분석되었다. 전력소비량의 경우 현장사무소에서 배출되는 전력사용량에 배출계수의 곱을 통해 산정하였으며, 산출된 유류소비량과 전력소비량의 총 값에 연면적을 고려하여 결과값을 산정하였다. 시공과정에 대한 분석결과 다음 Fig. 3과 같으며, 유류소비량은 0.32kg-CO_2/m^2, 전력소비량은 2.97kg-CO_2/m^2로 시공단계에서의 총 탄소배출량은 3.29kg-CO_2/m^2로 Fig. 2와 같다. 또한, 시공단계에서의 철근콘크리트공사 분석결과 유류소비량과 전력소비량은 전체공종의 약 31%를 차지하며, 그 외 타공사에서는 방수공사 9%, 미장공사 8% 순으로 분석되었다. 시공단계에서 배출되는 CO_2 배출량의 경우 실제현장에서 사용되는 시공공법 및 장비의 사용에 따라 높은 CO_2 배출 특성이 예상되었으나, 앞선 운송단계에 비해 상대적으로 배출량이 적게 분석되었다.

Table 4 공동주택 시공단계의 공종별 투입 데이터분석

에너지 요소	세부구분			공종별 투입장비에 따른 분류												
	투입 장비	장비 제원	단위	가설 공사	철근 콘크 리트 공사	철골 공사	조적 공사	미장 공사	타일 공사	방수 공사	유리 공사	도장 공사	석 공사	창호 공사	목 공사	잡 공사
유류 소비	백호	0.6m	대	15	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		0.8m	대	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1.8m	대	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	펌프카	36m	대	-	221	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		52m	대	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	이동식 크레인	100ton	대	-	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		50ton	대	-	62	-	2	-	1	1	3	2	1	-	1	-
	도저	6P	대	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
전력 소비	현장사무소 전력사용량		kwh	46,725	190,965	11,642	26,410	40,630	54,851	52,820	32,504	32,504	24,378	28,441	46,725	42,662

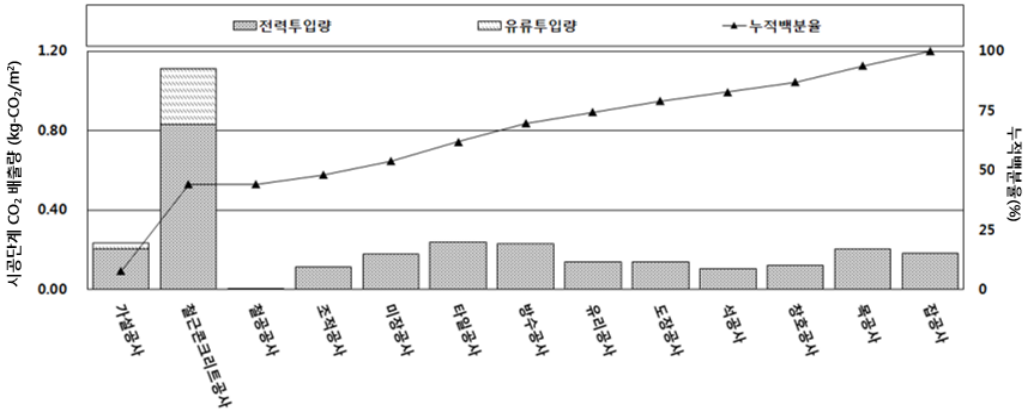

Figure 3 시공단계에서의 공종별 CO_2 배출량 분석

4.3 종합분석

공동주택 공종별 시공과정의 단계별 CO_2 배출특성을 분석한 결과는 Fig. 4와 같으며, 시공과정의 단계별 평가결과 상대적으로 CO_2 배출 비율이 가장 높은 공종은 철근콘크리트공사로 분석되었다. 즉, 철근콘크리트공사의 경우 전체 시공과정 CO_2 배출량 8.86kg-CO_2/m^2의 약 70%인 6.20kg-CO_2/m^2로 분석되었으며, 그중 운송단계에서의 배출량은 5.05kg-CO_2/m^2로 철근콘크리트공사 CO_2 배출량의 약 92.4%를 차지하였다. 또한, 시공단계의 CO_2 배출량은 주로 건축자재를 운송하는 과정에서 배출되는 CO_2 배출량이 1.19kg-CO_2/m^2로 전체 배출량의 약 36%를 차지하는 결과를 얻었다. 공동주택 시공과정의 CO_2 특성분석 결과를 통해 철근콘크리트공사의 콘크리트 수급 시 건설현장과 콘크리트 제조업체 간의 출하거리 및 콘크리트 운송차량 연비 등의 관리를 통해 CO_2 배출량의 저감 활동이 가능할 것으로 사료된다.

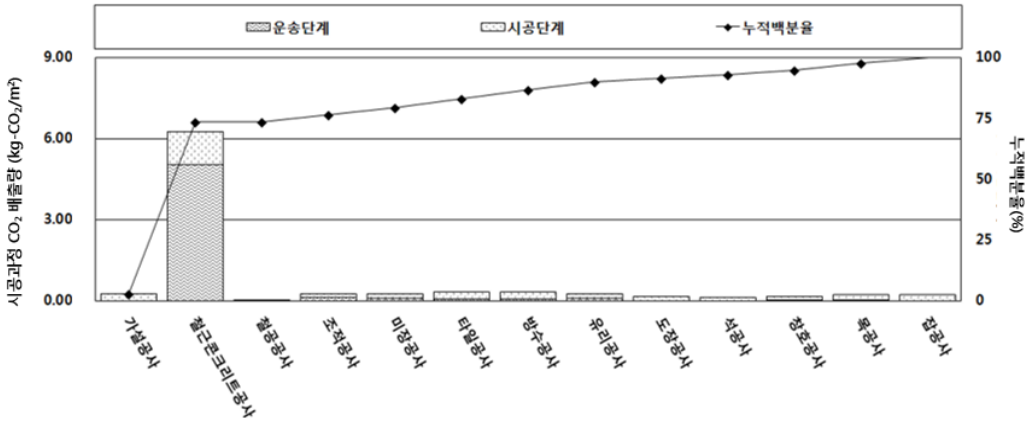

Fig. 4. 시공과정에서의 공종별 CO_2 배출량 분석

5. 결론

본 연구에서는 건축물의 전생애주기 중 시공과정의 CO_2배출량 저감 및 관리를 위한 연구의 일환으로 공동주택의 시공과정에서 발생되는 CO_2배출량에 대한 단계별 평가방법을 제안하였으며, 이를 통해 단계별 CO_2배출 특성분석을 목적으로 하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 본 연구에서는 공동주택 시공과정의 공종별 CO_2 배출량 분석을 위해 실제 공동주택의 기성내역서, 공사일보 등의 시공도서를 입수하여 CO_2 배출 특성을 분석하였다.
2. 공동주택 시공과정의 건축공사 CO_2 배출 특성분석을 위해 시스템 경계를 설정하였다. 이를 위해 시공과정을 운송단계 및 시공단계로 구분하고 본 연구에서 제안한 평가방법에 근거하여 CO_2 배출량을 평가하였다.
3. 공동주택 시공과정의 CO_2 배출 단계별 분석결과 총 CO_2 배출량은 8.75kg-CO_2/m^2, 운송단계 및 시공단계 CO_2 배출량은 각각 5.46kg-CO_2/m^2, 3.29kg-CO_2/m^2로 산정되었다.
4. 철근콘크리트공사의 경우 전체 시공과정 CO_2 배출량 8.86kg-CO_2/m^2의 약 70%인 6.20kg-CO_2/m^2로 분석되었다. 그중 운송단계에서의 배출량은 5.05kg-CO_2/m^2로 철근콘크리트공사 CO_2 배출량의 약 92.4%를 차지하였으며, 주로 운송단계에 집중되어 있는 것으로 분석되었다.

공동주택 공종별 시공과정 CO_2 배출 특성분석 결과, 철근콘크리트공사의 콘크리트 수급 시 건설현장과 콘크리트 제조업체 간의 출하거리 및 콘크리트 운송차량 연비 등의 관리가 건축공사에 기인한 CO_2 배출량 저감을 위해 필요한 것으로 분석되었다. 향후, 시공과정에서의 탄소배출량 저감을 위해서는 CO_2 배출이 가장 많은 철근콘크리트공사에서의 콘크리트 출하거리 저감 및 고효율 운송장비 사용의 고려가 우선적으로 이루어져야 할 것으로 사료된다.

6. 사사

본 연구는 국토교통부 건설기술연구사업의 연구비 지원(11기술혁신F04)에 의해 수행되었습니다.

7. 참고문헌

1. IPCC, 2007: Climate Chage 2007: Synthesis Report. Contribution of working Groups I, II and III to the Fourth Assessmenr Report of the Intergovermental Panel on Climate Change [Core Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A.(eds.)], IPCC, Geneva, Switzerland, 2008
2. 이종건, 태성호, 채창우, 김낙현, 노승준, 공동주택 시공과정의 공종 별 CO_2 배출량 분석에 관한 연구, 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집, pp.403~404, 2015
3. 김종엽, 이승언, 손장열, 건축물 건설단계에서의 에너지소비량 및 CO_2 배출량 원단위산출, 대한건축학회 논문집, Vol.20 n.10, pp. 319~326, 2004
4. 최민수, 건설공사 종별 건설자재의 투입 원단위 산출, 대한건축학회 논문집, Vol.23 n.8, pp. 149~156, 2007
5. 정영철, 김성은, 장영준, 김태희, 김광희, 건축공사 주요자재별 에너지소비량 및 CO_2 배출 원단위값 산출에 산업연관표 적용 적정성 검토 연구, 한국건축시공학회, Vol.11 n.3, pp. 247~256, 2011
6. 김대희, 권보민, 최영오, 이강희, 공동주택 건설단계 공종별 에너지소비량 및 CO_2 배출량 산정 연구, 한국주거학회, Vol.3, pp. 328~334 2006
7. 김건웅, 고명진, 김용식, 최두성, 조균형, 공동주택 시공단계 유류소비량 영향요인 조사 및 분석, 한국태양에너지학회 논문집, Vol.21 n.2, pp. 195~204, 2007
8. 김종욱, 장형제, 한우진, 이광수, 신성우, 콘크리트의 레미콘 운송과 시공단계에서의 CO_2 평가방법개발에 대한 연구, 한국콘크리트학회 논문집, Vol.23 n.2, pp. 777-779, 2011
9. Sungho T, Sungwoo S, Jiwhan W, Seongjun R. The development of apartment house life cycle CO_2 simple assessment system using standard apartment houses of South Korea, Renewable & Sustainable Energy Reviews. Vol.15, pp. 1454~1467, 2011