

# 공동주택을 대상으로 한 탄소배출 평가기준 구축 및 평가방법 개발

## A Study on The Evaluation Criteria of Carbon Emission and the Development of the Evaluation Method in Apartment House

최 두 성\*  
Choi, Doo-Sung

전 흥 찬\*\*  
Chun, Hung-Chan

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

### Abstract

This study creates the evaluation criteria to analyze the CO<sub>2</sub> emission quantity in the complex of apartment house among domestic buildings and proposes how to calculate the CO<sub>2</sub> emission quantity by the only simple information of apartment house. The study shows that in order to create the index of carbon emission evaluation criteria, CO<sub>2</sub> emission quantity for its input materials in these 27 apartment houses are 445,412g-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> for apartment building, 474,322g-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> for the basement parking lot, 483,523g-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> for welfare facility, 729,957g-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> for sales facility, 743,560g-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> for other facility, 26,782g-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> for public facility, 43,659g-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> for landscape, 1,113g-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> for indoor facility, 11,251g-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> for outdoor facility and 891g-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> for common temporary based on the average CO<sub>2</sub> emission by facility. We can also see the analysis data that in case of using the selected factors only, the rate of error is 7.51% comparing with the emission quantity by using simplified LCA method this study suggests for the whole range of apartment houses and the rate of error is average 3.24% using selective and main materials. And this it is evaluated that we can get the result which is similar to the actual CO<sub>2</sub> emission quantity with only the simple information about the apartment house.

키워드 : 탄소배출 평가기준, 공동주택 단지, 전생애평가, 단순화 LCA

Keywords : Evaluation criteria of Carbon Emission, Apartment Complex, Life Cycle. Assessment, Simplified Life Cycle Assessment

## 1. 서 론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

최근 지구온난화 및 기상이변 등 환경문제가 빈번하게 발생하고 있는 상황에서 환경문제, 특히 지구온난화의 주원인인 온실가스(CO<sub>2</sub>) 배출량을 정량적으로 평가하려는 연구가 활발히 진행되고 있으며, 건축분야 역시 친환경산업체계로의 전환을 위해 건축물에서의 CO<sub>2</sub> 배출량을 산출, 분석하려는 연구가 활발히 진행되고 있다.

그러나 건축물을 구성하고 있는 건축자재의 경우 수천종류로 구성되어 있어 분석에 많은 시간이 소요되어 단일 건축물에 대한 사례 분석이 주를 이루고 있는 만큼 산출된 CO<sub>2</sub> 배출량을 평가할 수 있는 기준에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다.

어느 한 종류의 건축물에서 CO<sub>2</sub> 배출량을 평가하기 위해서는 동일한 용도에 대한 다수의 건축물에서의 CO<sub>2</sub> 배출량 분석을 수행하여, 건축물에서의 평균 CO<sub>2</sub> 배출량을 이용한 CO<sub>2</sub> 평가기준이 구축되어야 한다. 또한 평가기준을 활용을 위한 방법 즉, 평가 대상 건축물에 대한 특정 정보만을 통해서도 CO<sub>2</sub> 배출량을 산출할 수 있는 Simplified LCA(Life Cycle Assessment)를 이용한 산출방법에 대한 연구가 수반되어야 한다.

이에 본 연구에서는 건축물의 전생애 단계 중 자재생산단계에 한정하여 국내 건축물 중 공동주택 단지를 대상으로 다수의 공동주택 단지에서의 CO<sub>2</sub> 배출량 분석을 통한 평가기준을 구축하고, 또한 공동주택 단지에 대한 특정 정보만을 이용하여 CO<sub>2</sub> 배출량을 산출할 수 있는 방법 제시를 궁극적인 목적으로 한다.

### 1.2. 연구의 방법

공동주택 단지를 대상으로 투입자재에 대한 탄소배출 평가기준의 구축 및 평가 방법 개발이라는 궁극적인 목적을 위해 본 연구에서 수행한 주요 연구 방법은 다음과 같다.

\* Dept. of Building Equipment & Fire Protection System, Chungwoon Univ. South Korea (trebelle@chungwoon.ac.kr)

\*\* Corresponding author, Dept. of Architectural Engineering, Suwon Univ. South Korea (chun4575@nate.com)

① 공동주택 단지에서의 탄소배출 평가기준 구축을 위해 각 특성이 다른 다수의 공동주택 단지를 대상으로 모든 투입자재에 대한 내재에너지 및 CO<sub>2</sub> 배출량을 산출하는 Full Scale LCA를 수행하였다. LCA 분석방법으로는 산업연관표(2008년)<sup>1)</sup>를 이용한 산업연관분석법을 적용하였다. 이후 Full Scale LCA를 통해 나타난 CO<sub>2</sub> 배출량을 이용하여 공동주택 단지에서의 평균 배출량을 산출하여 평가기준을 구축하였다.

② 공동주택 단지에 대한 특정 정보만을 이용하여 CO<sub>2</sub> 산출할 수 있는 방법 제시를 위해 Simplified LCA 방법을 이용하였다. 이를 위해 Full Scale LCA에서 분석된 다수의 단지별 투입자재를 비교·분석하였으며, 분석결과 공통적으로 적용되는 자재와 단지별 특성에 따라 다르게 나타나는 자재(선택)를 분류하였다. 이후 분류된 자재(&시스템)별 CO<sub>2</sub> 배출원단위를 구축하였다.

③ 평가 대상 건축물에 대한 특정 정보(건축개요)를 고려하여 구축된 CO<sub>2</sub> 배출원단위를 적용, CO<sub>2</sub> 배출량을 산출하였다. 그리고 본 연구에서 제시한 CO<sub>2</sub> 산출방법에 대한 신뢰도 검증 을 위해 Full Scale LCA 수행 결과와 비교·평가하였다.

## 2. 관련 연구고찰

국내에서 수행된 주요 연구개요를 분석하면 다음과 같다.

김종엽 외 2인은 건축자재에 대한 환경부하 원단위를 구축하였으며<sup>2)</sup> 이강희 외 1인은 산업연관분석법을 통해 14개의 건축자재 및 제품군에 대한 CO<sub>2</sub> 배출량을 산출 및 개별적산법과의 비교 분석을 수행하였다.<sup>3)</sup>

우지환 외 1인은 건축공사만을 대상으로 표준공동주택을 제시, 여기서 투입되는 6종류의 주요자재를 선정하여 CO<sub>2</sub> 배출량을 산출하였다.<sup>4)</sup>

최근에는 국토교통부에서 시설물별(건축물, 교량, 도로 등) 탄소배출량 산정 가이드라인을 제시하여 건축물에서의 CO<sub>2</sub> 배출량을 정량적으로 평가할 수 있는 방안 및 프로그램을 제시하였으나 개별적산법을 통한 국가 LCI DB(Life Cycle Inventory Database)를 활용하고 있는 만큼 몇몇 주요자재를 제외하면, 적용 가능한 자재의 종류가 드물며, 정확한 공사내역이 없는 활용하기 어려운 단점이 있다.<sup>5)</sup>

위에 나타난 바와 같이 국내에서 수행된 건축물에서의 CO<sub>2</sub> 배출량 산출에 관한 연구는 LCI DB 구축이 미흡하다는 문제점 외에도 수많은 자재의 분석에 있어 금전적 혹은 시간적인 한계가 나타나는 만큼 산업연관분석법을 주로 이용하고 있는 것으로 분석되었다.

현재까지 진행된 기존 연구를 살펴본 결과 단편적인 사례분석을 통해 CO<sub>2</sub> 배출량을 산출하고 있을 뿐, 다수의 사례 분석을 통해 CO<sub>2</sub> 배출량에 대한 평가기준을 마련하고 있지 않으며, 또한 기존에 수행되었던 주요자재만을 이용한 평가의 경우 역시 약 20% 이상을 차지하고 있는 나머지 기타자재에 대한 환경부하량을 산출할 수 없는 점 및 민감도 분석이 진행되지 않은 주요자재 선정이라는 문제점이 나타나고 있다.

국외의 경우 Daniel Kellenberger 외 1인은 단독주택을 대상으

로 건물에서의 투입자재가 아닌 지붕, 벽체, 단열재 및 벽돌 등 구성요소를 묶어 비교적 적은 노력으로 실제 평가와 유사한 품질의 결과를 제시하려는 연구를 수행하였다.<sup>6)</sup>

Ignacio Zabalza Bribián 외 2인은 스페인에서의 벽돌 및 타일, 절연재료, 시멘트 및 콘크리트, 목재제품 등 건축자재에 대한 LCA 분석을 수행하였다. 연구 결과 다른 연구에서 얻은 영향보다 20~30% 증가한 데이터가 나타나 각 국가의 건설산업의 특성에 맞는 기존 재고 DB의 확장 조정이 필요하다는 결론을 제안하였다.<sup>7)</sup>

미국의 조지아 연구소에서는 LCA가 기능 평가 도구의 하나로 대두되고 있으나, 건축에서의 명확한 원칙이 부족하다고 판단하여 건축 산업, 특히 건축가를 위한 LCA의 가이드라인을 제시하였으며, 건물에서의 LCA는 한계가 있음에 따라 더 많은 LCI DB의 확장이 요구된다고 제안하였다.<sup>8)</sup>

국외의 경우 국내보다 다양한 제품에서의 LCI DB가 구축되어 있으나, 실질적으로 건축물에 대한 분석을 수행하기에는 DB 구축상의 한계가 있는 것으로 나타나고 있으며, 국내와 동일하게 평가기준에 대한 연구시도는 아직 미흡한 것으로 분석된다.

## 3. 분석 방법론 및 범위 선정

### 3.1. 분석 방법론

본 연구에서는 공동주택 단지에서의 CO<sub>2</sub> 배출량을 평가할 수 있는 평가기준의 구축 및 공동주택 단지의 평가 대상 건축물의 자재투입에 따른 특성을 정의할 수 있는 특정 정보 입력만을 통해 CO<sub>2</sub> 배출량을 산출하는 평가방법 제시를 목표로 하고 있다.

CO<sub>2</sub> 배출량 산출을 위한 방법으로 국제표준화기구(ISO, International Organization for Standardization)에서 제시하는

- 1) The Bank of Korea 2008, Industry input-output table 2010
- 2) Kim, Jong-yup, Kim, Sung-wan, and Sohn, Jang-yul, A Study on the Estimation of the Environmental Load Intensity of Construction Materials for the Building LCA, Paper for Architectural institute of Korea, 2004;20(7):211-218
- 3) Lee, Gang-hee, Yang, Jae-Hyuk, A Study on the Functional Unit Estimation of Energy Consumption and Carbon Dioxide Emission in the Construction Materials, Paper for Architectural institute of Korea, 2009;25(6):43-50
- 4) Woo, Jee-hwan and Shin, Seong-woo, The Environmental Load Comparison Evaluation of The Apartment House for Main Construction Materials of Standard Apartment House, paper of Architectural Institute of Korea Ecological Environment, 2010;10(1):85-90
- 5) Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, the Guideline calculation co2 emissions of the facilities -buildings-, 2011
- 6) Daniel Kellenberger, Hans-Jörg Althaus, Relevance of simplifications in LCA of building components, Building and Environment, 2009: 818-825
- 7) Ignacio Zabalza Bribián, Antonio Valero Capilla, Alfonso Aranda Usón, Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential, Building and Environment, 2011: 1133-1140
- 8) Charlene Bayer, Michael Gamble, Russell Gentry, Surabhi Joshi, AIA Guide to Building Life Cycle Assessment in Practice, Georgia Institute of Technology, 2010

ISO14040 방법론을 적용<sup>9)</sup>하였으며, 이를 통해 산출된 CO<sub>2</sub> 배출량에 대한 평가기준 구축을 위해 다수의 공동주택 단지에 대한 Full Scale LCA를 수행하여, 단지를 구성하는 시설별 단위면적당(/m<sup>2</sup>) 평균 CO<sub>2</sub> 배출량 기준을 제시하였다.

또한 Simplified LCA 방법을 이용하여 간단하게 단지에서의 CO<sub>2</sub> 배출량을 산출할 수 있는 방법은 다음과 같다.

첫째, 각 단지별로 공사 시 공통적으로 적용되는 자재를 공통자재로 정의하여 분류하며, 단지의 특성이 반영된 즉, 단지마다 다르게 나타나는 자재를 선택자재로 정의하여 자재(&시스템)별로 분류한다.

둘째, 공통자재의 경우 단지마다 단위면적당(/m<sup>2</sup>) 변화량이 크게 나타나는 자재와 변화량이 작은 자재로 나타나고 있는 바, 상대적으로 변화량이 큰 자재를 주요자재로, 변화량에 차이가 나지 않는 자재를 기타자재로 분류한다.

셋째, 단지 정보에 따른 선택자재, 주요자재 및 기타자재에 대한 원단위 DB를 구축하며, 이후 이를 이용하여 특정 정보를 통해 공동주택 단지에서의 CO<sub>2</sub> 배출량을 산출한다.

본 연구에서 제시하는 탄소배출 평가기준 및 평가방법을 다음 <그림 1>에 나타낸다.

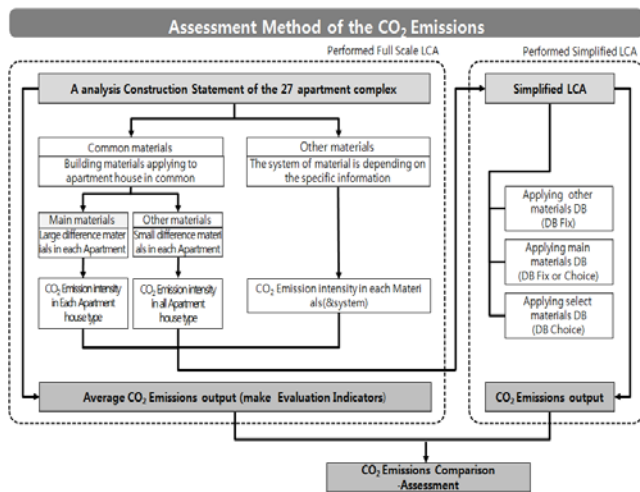


Fig 1. The evaluation criteria of carbon emission and the Assessment method

### 3.2. 분석범위 선정

건축물의 전생애에 대한 평가단계는 자재생산단계, 시공단계, 사용단계, 해체 및 폐기단계로 구성되어 있다.

본 연구에서는 공동주택 단지를 구성하고 있는 투입자재의 CO<sub>2</sub> 배출량 평가를 목표로 하고 있는 만큼, 자재생산단계를 분석범위로 선정하였다.

분석을 위해 2009~2010년도에 설계·신축된 총 27개(282동)의 공동주택 단지를 선정하였으며, 선정된 공동주택 총 27단지의 공사내역서 분석 결과 아파트 단지 내역서는 다음 <표 1>과 같이 분류하고 있는 것으로 나타났다.

Table 1. Classification standard of construction statement

Facility Name	Construction	Machinery Corporation	telecommunication Corporation	Public Works	Landscape Corporation
Apartment	●	●	●		
Underground parking	●	●	●		
Welfare facilities	●	●	●		
sales facility	●	●	●		
Other Facilities	●	●	●		
public works				●	
Landscape					●
Indoor facilities			●		
Outdoor facilities		●	●		
common temporary	●				

<표 1>과 같이 공사내역서 분류 기준은 아파트, 지하주차장, 복지시설, 판매시설, 기타시설과 같이 건물이 있는 경우 건축, 기계, 전기·통신 공사로 구성되어 있으며, 토목 및 조경공사는 단지 전체에 대한 공사로 별도로 분류되고 있는 것으로 분석되었다.

총 27개 단지에 대해 표 1에 분류되고 있는 시설별로 CO<sub>2</sub> 배출량을 비교한 결과를 다음 <그림 2>에 나타낸다.

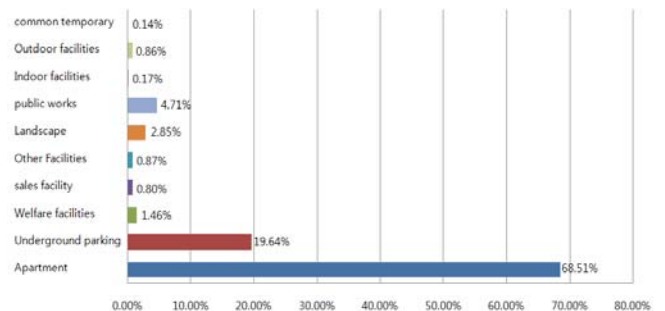


Fig 2. CO<sub>2</sub> emissions of apartment complex facilities

분석 결과 공동주택 단지에서의 전체 CO<sub>2</sub> 배출량 중 아파트와 지하주차장이 약 88% 이상을 차지하고 있는 것으로 분석되었으며, 나머지 시설의 경우 약 12% 이하만을 차지하는 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 평가기준 구축 외에도 Simplified LCA 방법을 목표로 하고 있는 만큼, Simplified LCA 수행을 위한 공통자재는 아파트와 지하주차장을 중심으로 선정하였으며, 아파트공사의 경우 설계개요에 따른 건물의 특성이 반영되고 있는 것으로 나타나 선택자재를 추가로 선정하였다.

반면 아파트 및 지하주차장을 제외한 나머지 시설의 경우 전체 CO<sub>2</sub> 배출량의 약 12% 이하로 나타나고 있으며, 단지별 투입되는 자재의 종류가 유사하거나 단지별 투입량의 변화량이 크게 나타나지 않는 바, 주요자재 및 공통자재의 선정 없이 27개 단지 평균 CO<sub>2</sub> 배출량을 배출원단위로 적용하였다.

9) ISO 14040, Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework, 2006

#### 4. 탄소배출 평가기준 구축 및 평가 결과

##### 4.1. Full Scale LCA 수행을 통한 평가기준 구축

공동주택 단지에서의 탄소배출 평가기준 구축을 위해 27개 단지에 대한 Full Scale LCA를 수행하였다.

다음 <표 2>에 총 27개 분석단지에 대한 단지 내 시설별 모든 투입자재에 대한 Full Scale LCA 분석 결과를 나타낸다.

<표 2>에 나타난 바와 같이 아파트에서 총 발생량의 최대 77.8%, 최소 57.3%, 평균 68.5%를 차지하고 있는 것으로

나타났으며, 지하주차장의 경우 최대 31.0%, 최소 8.3%, 평균 19.6%를 차지하는 것으로 나타나, 단지 내 총 CO<sub>2</sub> 배출량의 대부분을 아파트 및 지하주차장이 차지하고 있는 것으로 분석되었다.

<표 2>에 제시된 시설별 CO<sub>2</sub> 배출량의 경우 단지별로 시설 및 대지에 대한 면적 기준이 서로 다르며, 단지 내 각 시설의 면적 비율 역시 단지별로 다르게 나타나고 있는 만큼 직접적인 비교가 어려운 바, 단지에서의 배출량을 평가할 수 있는 평가기준 구축을 위해 각 시설별로 각각의 면적을 적용하여 단위면적당(/m<sup>2</sup>) CO<sub>2</sub> 배출량을 산출하였다.

Table 2. Full scale LCA result of apartment complex facilities

Num ber	Apartment Complex Name	the actual CO <sub>2</sub> emissions by Apartment Complex(ton-CO <sub>2</sub> )										Total
		Apartment	Underground parking	Welfare facilities	sales facility	Other Facilities	Landscape	public works	Indoor facilities	Outdoor facilities	common temporary	
1	Gwangju seon-un	27,245	14,734	678	300	815	1,360	1,217	66	1,051	60	47,526
2	Gwangju hak-dong	42,999	6,938	169	441	908	1,188	1,768	99	530	194	55,234
3	Gimje gyo-dong	19,229	2,708	134	238	310	725	2,426	44	167	58	26,039
4	Nam chuncheon	32,713	12,824	585	144	299	1,109	545	79	441	17	48,756
5	Daejeon No-eun	16,719	6,171	304	360	58	641	1,312	45	201	22	25,833
6	Busan Ji-sa	22,389	6,130	891	278	263	1,182	1,941	61	689	107	33,931
7	Sacheon yong-hyeon	17,708	4,450	463	258	237	647	1,251	39	484	44	25,581
8	Suwon Gwang-gyoA	28,986	6,992	494	314	519	1,738	2,050	70	533	43	41,739
9	Suwon gwang-gyoB	25,922	12,983	557	124	40	1,158	2,532	59	-	47	43,422
10	Suwon homaesil	25,127	6,118	355	195	532	956	1,236	68	-	55	34,642
11	Anyang gwan-yang	59,113	16,597	1,263	254	165	1,391	3,055	118	-	68	82,024
12	Yangsan ga-chon	16,931	5,333	700	261	211	894	3,016	60	535	35	27,976
13	Yeongcheon mang-jeong	13,725	3,213	454	103	22	648	1,814	45	210	40	20,274
14	Yongin seo-cheon	16,678	3,382	95	177	379	559	942	49	316	51	22,628
15	Ulsan bangeo	24,231	8,659	636	385	41	864	1,383	63	321	43	36,626
16	Uiwang po-il	17,489	4,400	545	704	382	762	1,110	53	89	33	25,567
17	Incheon seo-changA	57,139	19,420	1,035	386	128	1,821	1,573	109	-	58	81,669
18	Incheon seo-changB	43,173	12,999	90	349	291	2,218	1,563	86	-	37	60,806
19	Incheon young-jongA	17,227	7,711	680	243	388	1,111	1,180	50	-	41	28,631
20	Incheon young-jongB	18,556	8,474	612	256	452	861	1,427	49	-	41	30,728
21	Incheon cheong-ra	73,358	28,030	1,012	642	881	3,070	3,705	155	893	66	111,812
22	Jinju Pyeong-geo	40,526	9,762	702	309	302	1,166	1,109	82	512	68	54,538
23	Jincheon byeog-am	15,261	1,694	652	162	110	515	1,594	47	436	34	20,505
24	Changwon bongnimA	17,493	4,157	489	312	282	925	1,488	55	283	43	25,527
25	Changwon bongnimB	33,702	9,080	511	220	757	1,055	1,577	73	372	50	47,397
26	Paju un-jeong	35,782	8,788	838	262	142	1,598	1,403	75	533	56	49,477
27	Pohang Jang-nyang	24,539	3,621	113	276	248	1,245	2,198	80	-	54	32,374

각 시설별 기준 면적의 경우 아파트 및 지하주차장, 복지 시설, 판매시설, 기타시설은 각 시설에 대한 연면적을 적용하였으며, 토목, 조경과 같이 단지 내 전체적으로 적용되는 경우는 대지면적을 적용하여 산출하였다. 옥내시설 및 공통 가설의 경우 아파트에 대한 내역으로 구성 되고 있어 아파트의 연면적을 적용하였으며, 옥외시설은 토목, 조경과 동일하게 단지 내 전체적으로 적용되고 있는 것으로 나타나 대지면적을 적용하였다.

최종 산출된 단지 내 각 시설별 평균 CO<sub>2</sub> 배출량을 다음 <표 3>에 나타낸다.

Table 3. CO<sub>2</sub> emissions per unit area(/m<sup>2</sup>) of apartment complex facilities

Facility Name	CO <sub>2</sub> Emissions(g-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )		
	Minimum	Average	Maximum
Apartment	340,308.0	445,412.2	585,998.0
Underground parking	360,389.8	474,322.4	734,481.4
Welfare facilities	164,745.5	483,523.8	1,025,147.1
Sales facility	1414,562.1	729,957.0	1,529,522.0
Other Facilities	45,385.6	743,560.3	1,594,627.6
Public works	18,874.7	26,782.2	35,845.5
Landscape	13,157.9	43,659.0	90,331.3
Indoor facilities	911.1	1,113.4	1,329.7
Outdoor facilities	3,413.7	11,251.8	20,699.5
Common temporary	236.0	891.1	2,173.7

※ unit area standard

- Apartment, Indoor facilities, Common temporary : apply apartment gross area
- Underground parking, Welfare facilities, Sales facility, Other Facilities : apply each facility gross area
- Landscape, Public works, Outdoor facilities : apply ground area

분석결과 구조 및 자재가 정형화 되어있는 아파트와 지하주차장의 경우 총 27개 단지에서 각 평균 대비 최대 약 1.3배 및 약 1.5배 가량 차이나는 것으로 나타났으나, 복지 시설 및 판매시설과 같이 정형화되어있지 않는 경우 2배 이상 차이나는 것으로 분석되었다. 특히 차이가 많이 나는 기타시설의 경우 앞서 제시된 4종류의 건물 외 나머지 건물들에 대한 결과로 단지에 따라 종류가 상이한 관계로 상당한 차이가 나타나는 것으로 분석되었다.

#### 4.2. Simplified LCA 방법을 통한 CO<sub>2</sub> 배출량 산출

##### 1) 선택자재 CO<sub>2</sub> 배출원단위 구축

Simplified LCA 방법을 이용하여 CO<sub>2</sub> 배출량을 산출하기 위해 총 27개 단지에 대한 단지개요 및 투입자재를 분석하였으며, 이에 단지별 특성이 반영되는 선택요소를 선정 및 선택요소에 따른 세부 자재를 분류하였다.

선택자재는 아파트마다 공통적으로 적용되지 않는 자재 즉, 내부가감의 등급 혹은 장식물, 빌트인 가구, 욕실타입, 타일 및 돌 종류, 추가적인 옵션 등 아파트의 특성이 나타나는 자재(&시스템)로 선정하였다.

다음 <표 4>에 아파트에서의 선택자재 선정 결과 및 CO<sub>2</sub> 배출원단위를 나타낸다.

Table 4. CO<sub>2</sub> emissions per unit area(/m<sup>2</sup>) of option materials

division,	Main Category	Sub Category	Details	CO <sub>2</sub> Emissions (g-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )
Architectural Elements	Miscellaneous construction	Bathroom kinds	UBR	8,733
			Wet Corrosion	12,296
	Furniture construction	Built-in Furniture type (Kitchen furniture is excluded)	Less than 2 set	2,788
			3 ~ 5 set	8,622
			More than 6 set	14,629
	Masonry	Attachment internal stone type	Basic	93
			Granite	974
			Marble	1,616
	Interior finishing work	Living Room Floor Finish	Vinyl Carpet	1,540
			PVC floor	2,544
			Plywood floor	4,486
	Glazing work	Glass types	Duplex layer Glass	5,439
			Low-E duplex layer Glass	9,832
	Roof work Gutter work	Roof waterproofing Type	Metal tiles	1,397
			Waterproof asphalt singles	3,224
	Tile construction	Apply tile Type	Basic	5,231
			Terrazzo tile	2,310
			Point Tile	977
			Polishing Tiles	211
	Miscellaneous construction	Shower booth	Installation	1,679
Metal construction	Metal Ornament	Installation	1,911	
Reinforced concrete construction	Outer insulation	Application	15,843	
		Winter	2,383	
		Spring and summer and fall	0	
Plumbing fixture work	Add optional	Sink savingwater	924	
		Softwater	1,240	
Equipment Elements	Sewage/ drainage works	Dishwasher	1,891	
		Gas oven	1,012	
		Food Dehydrator	229	
	Ventilation system	Ventilation system	2,945	
Ventilating opening		37		
Heating / Hot Water construction	Heating System	District heating	2,874	
		Individual heating	4,128	

선택자재 분류 결과 아파트 건물에서 특성이 반영되는 요소는 건축이 11종류, 설비가 4종류로 나타났으며 이에 포함되는 선택자재의 종류는 총 229종류로 분석되었다.

##### 2) 공통자재 CO<sub>2</sub> 배출원단위 구축

공통자재는 선택자재가 제외된 단지별 공통으로 적용되는 자재로 정의하였으며, 단지별 변화량에 따라 주요자재와 기타자재로 추가 분류하였다.

이중 지하주차장의 경우 단지별 투입자재가 크게 다르게 나타나지 않아 선택자재에 대한 분류가 없어 모든 자재

를 대상으로 주요자재를 선정하였다.

주요자재 선정을 위해 각 단지에 따른 투입량 및 단지별 변화율을 모두 고려하였으며, 또한 투입량 및 변화율이 큰 자재 순으로 주요자재의 종류가 증가하여도 단지별 평균 오차율에 변화가 일정해지는 구간을 분석하여 주요자재를 선정하였다.

각 시설별 주요자재의 종류에 따른 평균오차율의 변화분석 결과 아파트에서의 주요자재는 15종류, 지하주차장의 경우 6종류 이상부터 평균 오차율의 변화가 미미하게 나타나는 것으로 분석되었으며, 이 구간에서의 각 평균 오차범위는 아파트 3% 미만, 지하주차장 2% 미만인 것으로 분석되었다.

아파트 및 지하주차장에서 최종 선정된 주요자재를 다음 <표 5>에 나타낸다.

Table 5. Result of selection of main materials

division,	Materials	The result of main material selection in 27 apartment complex		
		Average CO <sub>2</sub> emissions (g-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	kind of construction	Detail construction
Apartment	1 High Strength steel reinforcement	136,346	Construction	Reinforced concrete work
	2 Pile	13,905	Construction	Foundation practice
	3 Super strength steel reinforcement	22,803	Construction	Reinforced concrete work
	4 Remicon	66,358	Construction	Reinforced concrete work
	5 GANGFORM	9,161	Construction	Reinforced concrete work
	6 Windows	15,546	Construction	Joiner's work
	7 Assembly PD	10,555	Construction	Digestive Corporation
	8 Plastic windows	1,659	Construction	Joiner's work
	9 Household door	4,545	Construction	Joiner's work
	10 ALFORM	16,044	Construction	Reinforced concrete work
	11 Kitchen Furniture	8,758	Construction	Kitchen tool construction
	12 EUROFORM	1,483	Construction	Reinforced concrete work
	13 Metal windows	3,970	Construction	Joiner's work
	14 Dry mortar	11,422	Construction	Plasterwork
	15 Cement	8,781	Construction	Plasterwork
Underground parking	1 Remicon	139,515	Construction	Reinforced concrete work
	2 Super strength steel reinforcement	128,658	Construction	Reinforced concrete work
	3 High Strength steel reinforcement	69,258	Construction	Reinforced concrete work
	4 Parking deck plate	55,224	Construction	Reinforced concrete work
	5 Reinforced Truss plate	42,598	Construction	Reinforced concrete work
	6 Pile	34,993	Construction	Foundation practice

기타자재는 각 단지별배출량 및 변화량이 미미한 자재들 즉, 공통자재 중 주요자재를 제외한 나머지 자재로 선정되었으며, 기타자재의 경우 단지별로 변화량이 미미하게 나타남에 따라 기타자재군에 대한 배출원단위로 구성하였다.

분류 결과 아파트의 경우 기타자재의 수량은 1,433종류로 평균 CO<sub>2</sub> 배출량은 77,893g-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>으로 나타났으며 지하주차장의 경우 536종류로 평균 CO<sub>2</sub> 배출량은 55,982g-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>로 분석되었다.

또한 아파트 분양형태 및 세대면적에 따라 주요자재 및 기타자재에 대한 구분 없이 공통자재로 통합한 단위면적당 (/m<sup>2</sup>) CO<sub>2</sub> 배출원단위를 다음 <표 6>에 나타낸다.

Table 6. Basic unit of CO<sub>2</sub> Emission per unit area of common materials in apartment building

division,	Main Category	Sub Category	Details	CO <sub>2</sub> Emissions (g-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )
Apartment	Sale form	-	Rent	367,202
			Sale	438,307
	Average household area	Rent	Less than 65m <sup>2</sup>	378,012
			More than 65m <sup>2</sup>	351,760
		Sale	Less than 120m <sup>2</sup>	437,072
			More than 120m <sup>2</sup>	440,779
	Underground parking			

3) 선택 및 공통자재를 이용한 CO<sub>2</sub> 배출량 산출 결과 선정된 공통자재 및 선택자재를 활용하여 Simplified LCA 방법을 이용한 CO<sub>2</sub> 배출량을 산출하였으며, 본 연구의 산출방법에 대한 신뢰도 검증은 목표로 앞서 Full Scale LCA를 통해 산출된 공동주택 단지별 실제 CO<sub>2</sub> 배출량과 비교·평가 하였다. Simplified LCA 방법을 이용한 CO<sub>2</sub> 배출량 분석은 단지의 특정 정보인 선택요소만을 이용한 경우와 주요자재까지 활용하여 적용한 두 가지 경우에 대해 수행하였다.

다음 <표 7>에서 단지별 특정 정보를 분석하여 나타낸다. 분석 결과 건축요소의 경우 돌공사, 수장공사, 유리공사, 타일공사와 설비요소 중 위생기구공사 및 오배수공사의 옵션사항에서 여러 자재가 중복 적용되는 것으로 분석되었다.

선택요소 적용에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량 평가의 경우 아파트의 분양형태 및 평균 세대면적에 따른 공통자재의 배출원단위를 적용하였으며, 각 단지별 선택요소에 대한 CO<sub>2</sub> 배출량을 반영하였다. 아파트를 제외한 나머지 시설에 대해서는 앞서 분석된 시설별 단위면적당 (/m<sup>2</sup>) CO<sub>2</sub> 배출원단위를 적용하여 분석하였다.

Table 7. Analysis result of apartment building information

Number	Apartment Complex name	Sale form	Average house hold area	Bathroom type	Number of Furniture	masonry			interior finishing work			glazing work		Roof work		Tile construction					Showers booth	Metal Ornament	Reinforced concrete construction		Plumbing fixture work		Sewage drainage works					Heating / Hot Water construction	
						Basic	Granite	marble	Vinyl Carpet	PVC floor	Plywood floor	double layer Glass	Low-E double layer Glass	Metal tiles	water proof asphalt singles	Basic	Terrazzo tile	Point Tile	Polishing Tiles	Marble Tile			Outer insulation	placing concrete period (winter)	savings water	software	Dishwasher	Gas oven	Food Dehydrator	Ventilation system	a ventilating opening	Individual heating	District heating
1	Gwangju seon-un	rent	57	UBR	2		●		●	●		●		●	●	●				●		●								●	●		
2	Gwangju hak-dong	sale	112	Wet corrosion	4	●	●	●			●	●		●	●			●	●	●		●	●		●	●		●	●	●	●	●	
3	Gimje gyo-dong	rent	75	Wet corrosion	3	●	●		●			●		●	●	●				●										●	●		
4	Nam chuncheon	sale	150	Wet corrosion	6	●	●	●			●	●		●	●			●	●		●	●		●	●	●	●	●	●	●	●		
5	Daejeon No-eun	rent	58	Wet corrosion	3	●	●		●			●		●	●							●							●		●		
6	Busan Ji-sa	rent	62	UBR	2		●		●	●			●	●	●		●						●						●	●			
7	Sacheon yong-hyeon	rent	61	UBR	1		●		●			●		●	●	●													●	●			
8	Suwon Gwang-gyoA	sale	113	Wet corrosion	4	●	●	●	●		●	●	●	●		●			●	●			●					●	●	●			
9	Suwon gwang-gyoB	rent	61	UBR	3		●		●			●		●	●					●			●						●	●			
10	Suwon homaesil	rent	69	Wet corrosion	1		●		●			●		●	●					●			●					●		●			
11	Anyang gwan-yang	sale	149	Wet corrosion	6		●	●	●		●	●	●		●				●	●			●	●			●	●	●	●			
12	Yangsan ga-chon	rent	65	UBR	1	●	●		●			●		●	●	●				●			●						●	●			
13	Yeongcheon mang-jeong	rent	66	UBR	1	●	●		●	●		●		●	●	●				●			●						●	●			
14	Yongin seo-cheon	rent	69	UBR	1	●	●		●			●	●	●															●	●			
15	Ulsan bangeo	rent	61	Wet corrosion	3		●		●			●		●	●	●				●			●						●	●			
16	Uiwang po-il	sale	109	UBR	3		●		●			●	●	●															●	●			
17	Incheon seo-changA	sale	104	Wet corrosion	6	●	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			●				●	●	●	●			
18	Incheon seo-changB	sale	117	Wet corrosion	6	●	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			●	●			●	●	●	●			
19	Incheon young-jongA	rent	58	UBR	3	●	●		●	●		●		●	●				●				●						●	●			
20	Incheon young-jongB	rent	58	UBR	4	●	●		●	●		●		●	●				●				●						●	●			
21	Incheon cheong-ra	sale/rent	77	Wet corrosion	8		●	●	●		●	●	●	●				●	●				●	●			●	●	●	●			
22	Jinju Pyeong-geo	sale	113	Wet corrosion	4	●	●	●			●		●	●	●	●	●	●	●				●				●	●	●	●			
23	Jincheon byeog-am	rent	60	UBR	3	●	●		●			●		●	●	●				●			●						●	●			
24	Changwon bongnimA	rent	61	UBR	1		●	●	●	●			●	●	●								●						●	●			
25	Changwon bongnimB	sale	130	Wet corrosion	3	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			●	●			●	●	●	●			
26	Paju un-jeong	rent	68	UBR	1		●		●			●		●	●					●			●						●	●			
27	Pohang Jang-nyang	rent	72	UBR	1		●		●	●		●		●	●								●						●	●			



선택 및 주요자재 적용에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량 평가의 경우 기타자재에 대한 CO<sub>2</sub> 배출원단위에 주요자재 실제 CO<sub>2</sub> 배출량을 적용하였으며, 여기에 각 단지별 선택요소에 대한 CO<sub>2</sub> 배출량을 반영하였다. 아파트를 제외한 나머지 시설에 대해서는 선택요소만을 이용한 경우와 동일하게 앞서 분석된 시설별 단위면적당(/m<sup>2</sup>) CO<sub>2</sub> 배출원단위를 적용하여 분석하였다.

각 분석에 적용된 Simplified LCA 방법을 정리하여 다음 <표 8>에 나타낸다.

Table 8. Simplified LCA method

	Apartment			Underground parking		Remaining facilities
	Select materials	Main materials	Other materials	Main materials	Other materials	
Optional Application	Select of the emission of the apartment characteristics	Common materials emission (apartment)		Common materials emission (Underground parking)		Facilities emission
Select and main materials Application		Actual CO <sub>2</sub> emissions	Other materials emission (apartment)	Actual CO <sub>2</sub> emissions	Other materials emission (Underground parking)	

\* shading is means stationary emission

위 <표 8>에 제시된 Simplified LCA 방법을 이용하여 단위면적당(/m<sup>2</sup>) 아파트 건물에 대한 CO<sub>2</sub> 배출량 분석 결과를 다음 <그림 3>에 나타내며, 단지 전체에 대한 CO<sub>2</sub> 배출량 분석 결과를 <표 9>에 나타낸다.

선택요소만을 이용한 CO<sub>2</sub> 배출량 분석 결과 아파트 건물에서의 Full Scale LCA에 대한 오차율은 최대 18.04%, 최소 0.50%, 평균 9.10%로 나타났으며, 지하주차장의 경우 최대 35.42%, 최소 0.75%, 평균 10.48%로 분석되었다. 단지 전체에 대한 발생총량의 오차율은 최대 21.21%, 최소 0.11%, 평균 7.51%인 것으로 분석되었다.

선택 및 주요자재를 이용한 CO<sub>2</sub> 배출량 분석 결과 아파

트 건물에서의 Full Scale LCA에 대한 오차율은 최대 10.01%, 최소 0.12%, 평균 3.47%로 나타났으며, 지하주차장의 경우 최대 6.01%, 최소 0.26%, 평균 2.01%로 분석되었다. 단지 전체에 대한 발생총량의 오차율은 최대 9.40%, 최소 0.19%, 평균 3.24%인 것으로 분석되었다.

선택요소만을 이용한 경우와 주요자재까지 적용한 경우를 비교한 결과 주요자재를 단지별 변화량이 큰 자재를 대상으로 선정한 만큼, 주요자재에 대한 단지별 배출량이 적용되지 않는 선택요소만을 이용하는 경우에 오차범위가 상대적으로 크게 나타나는 것으로 분석되었다.

하지만 선택요소만을 이용하는 경우에도 평균 오차율은 7.51%로 분석되는 만큼 많은 시간을 소비하지 않는 공동주택 단지의 특정 정보만으로도 실제 CO<sub>2</sub> 배출량과 어느 정도 유사한 결과를 산출할 수 있을 것으로 나타났으며, 주요자재까지 적용 시에는 실제 CO<sub>2</sub> 배출량 산출 결과와 근접한, 신뢰도 높은 결과 값을 산출할 수 있는 것으로 평가되었다.

### 5. 결론

본 연구는 공동주택 단지에서의 CO<sub>2</sub> 배출량을 평가할 수 있는 평가기준을 구축하였으며, Simplified LCA 방법을 이용한 특정 정보 입력만으로도 신뢰도 높은 CO<sub>2</sub> 배출량을 산출할 수 있는 방법을 제시한 본 연구에서의 주요 결과는 다음과 같다.

- (1) 탄소배출 평가기준 구축을 위해 공동주택 27개 단지에서의 투입자재에 대해서 단위면적당(/m<sup>2</sup>) 평균 CO<sub>2</sub> 배출량을 분석하였다. 시설별 평균 CO<sub>2</sub> 배출량의 경우 아파트가 445,412g-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, 지하주차장 474,322g-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, 복지시설 483,523g-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, 판매시설 729,957g-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, 기타시설 743,560g-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, 토목 26,782g-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, 조경 43,659g-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, 옥내시설 1,113g-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, 옥외시설 11,251g-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, 공동가설 891g-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>가 발생하는 것으로 분석되었다.

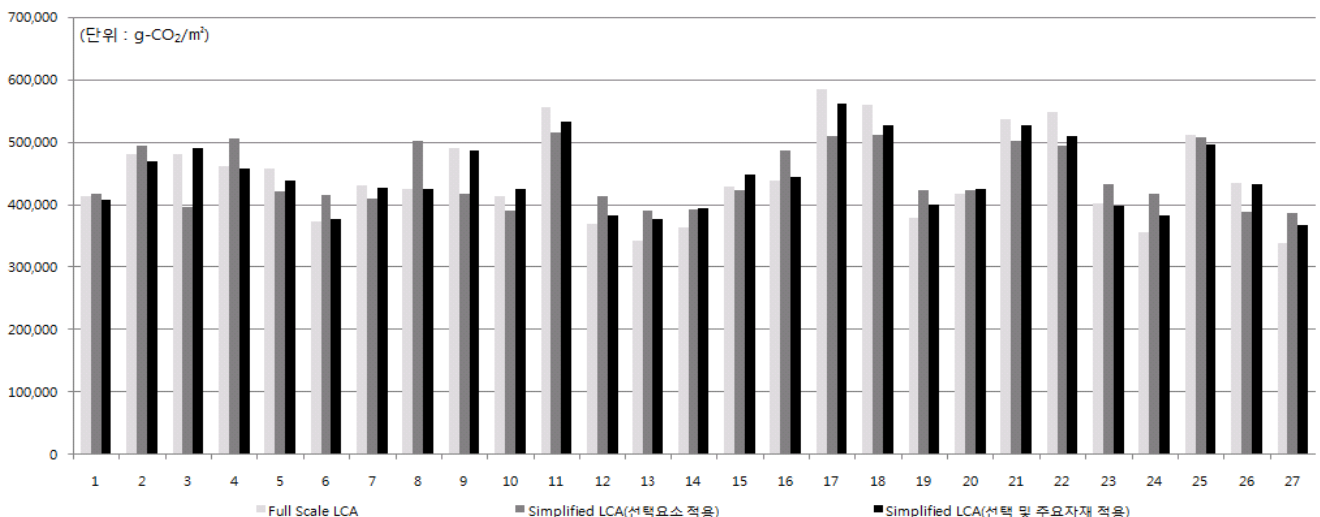


Fig 3. CO<sub>2</sub> emissions result per unit area(/m<sup>2</sup>) of apartment building



Table 9. Assessment result of CO<sub>2</sub> emissions in apartment complex

Num ber	Apartment Complex name	Full Scale LCA			Simplified LCA						Error rates	
		Apartment (ton-CO <sub>2</sub> )	Underground parking (ton-CO <sub>2</sub> )	All Facilities (ton-CO <sub>2</sub> )	Optional Application			Select and main materials Application			Optional Application(%)	select and main materials Application (%)
					Apartment (ton-CO <sub>2</sub> )	Underground parking (ton-CO <sub>2</sub> )	All Facilities (ton-CO <sub>2</sub> )	Apartment (ton-CO <sub>2</sub> )	Underground parking (ton-CO <sub>2</sub> )	All Facilities (ton-CO <sub>2</sub> )		
1	Gwangju seon-un	27,245	14,734	47,526	27,435	13,929	47,248	26,774	14,481	47,139	0.58	0.81
2	Gwangju hak-dong	42,999	6,938	55,234	44,124	7,245	56,714	42,029	6,836	54,210	2.68	1.85
3	Gimje gyo-dong	19,229	2,708	26,039	15,828	1,749	20,517	19,602	2,689	25,231	21.21	3.10
4	Nam chuncheon	32,713	12,824	48,756	35,770	16,221	56,805	32,419	13,239	50,473	16.51	3.52
5	Daejeon No-eun	16,719	6,171	25,833	15,397	4,814	23,291	16,003	5,800	24,884	9.84	3.68
6	Busan Ji-sa	22,389	6,130	33,931	24,878	6,612	36,385	22,560	6,203	33,658	7.24	0.80
7	Sacheon yong-hyeon	17,708	4,450	25,581	16,876	4,417	25,052	17,579	4,509	25,847	2.07	1.04
8	Suwon Gwang-gyoA	28,986	6,992	41,739	34,215	7,593	47,423	29,022	7,181	41,818	13.62	0.19
9	Suwon gwang-gyoB	25,922	12,983	43,422	22,042	13,203	39,795	25,697	12,442	42,690	8.35	1.69
10	Suwon homaesil	25,127	6,118	34,642	23,806	6,026	34,143	25,887	6,061	36,259	1.44	4.67
11	Anyang gwan-yang	59,113	16,597	82,024	54,804	17,515	78,324	56,628	16,542	79,175	4.51	3.47
12	Yangsan ga-chon	16,931	5,333	27,976	18,973	5,142	27,829	17,490	5,281	26,486	0.52	5.33
13	Yeongcheon mang-jeong	13,725	3,213	20,274	15,663	3,586	22,208	15,099	3,258	21,315	9.54	5.13
14	Yongin seo-cheon	16,678	3,382	22,628	18,006	3,508	24,782	18,057	3,431	24,755	9.52	9.40
15	Ulsan bangeo	24,231	8,659	36,626	23,935	8,879	36,669	25,335	8,864	38,054	0.11	3.89
16	Uiwang po-il	17,489	4,400	25,567	19,352	5,453	28,025	17,671	4,597	25,488	9.61	0.31
17	Incheon seo-changA	57,139	19,420	81,669	49,863	16,050	73,932	54,894	19,678	82,591	9.47	1.13
18	Incheon seo-changB	43,173	12,999	60,806	39,531	13,248	60,710	40,625	12,650	61,207	0.16	0.66
19	Incheon young-jongA	17,227	7,711	28,631	19,211	9,314	33,301	18,157	7,966	30,899	16.30	7.92
20	Incheon young-jongB	18,556	8,474	30,728	18,826	11,154	34,095	18,971	8,452	31,539	10.96	2.64
21	Incheon cheong-ra	73,358	28,030	111,812	68,644	23,742	102,037	72,040	27,831	109,522	8.74	2.05
22	Jinju Pyeong-geo	40,526	9,762	54,538	36,539	10,432	52,105	37,708	10,079	52,922	4.46	2.96
23	Jincheon byeog-am	15,261	1,694	20,505	16,378	1,560	21,096	15,105	1,712	19,975	2.88	2.59
24	Changwon bongnimA	17,493	4,157	25,527	20,467	4,361	28,825	18,768	4,201	26,966	12.91	5.63
25	Changwon bongnimB	33,702	9,080	47,397	33,534	8,932	47,307	32,758	8,784	46,382	0.19	2.14
26	Paju un-jeong	35,782	8,788	49,477	31,934	8,699	46,868	35,668	8,662	50,565	5.27	2.20
27	Pohang Jang-nyang	24,539	3,621	32,374	27,994	3,932	36,913	26,489	3,673	35,150	14.02	8.57

(2) 공동주택 단지에 대한 특정 정보만을 통해 CO<sub>2</sub> 배출량을 산출할 수 있는 방법을 제시하였다. 이를 위해 아파트 및 지하주차장의 투입자재를 대상으로 선택자재 및 공통자재로 분류하였으며, 공통자재의 경우 단지마다 상대적으로 변화량이 큰 자재를 주요자재로, 나머지 자재를 기타자재로 정의하여 분류하였다. 아파트공사의 경우 주요자재는 총 15종류로 선정되었으며, 지하주차장의 경우 8종류로 선정되었다.

(3) 선정된 선택자재 및 공통자재에 대한 CO<sub>2</sub> 배출원단위 DB를 구축하였으며, 이를 활용하여 CO<sub>2</sub> 배출량을 산출하였다. Simplified LCA 방법을 이용한 CO<sub>2</sub> 배출량산출은 선택요소만을 이용한 경우와 주요자재까지 활용하여 적용한 두 가지 경우에 대해 수행하였다.

선택요소만을 이용한 CO<sub>2</sub> 배출량 분석 결과 단지 전체에 대한 발생총량의 오차율은 최대 21.21%, 최소 0.11%, 평균

7.51%인 것으로 분석되었으며, 선택 및 주요자재를 이용한 경우의 오차율은 최대 9.40%, 최소 0.19%, 평균 3.24%인 것으로 분석되어 많은 시간을 소비하지 않는 선택요소에 대한 간단한 정보입력만으로도 실제 CO<sub>2</sub> 배출량과 유사한 결과를 산출할 수 있을 것으로 나타났으며, 주요자재까지 적용 시에는 실제 CO<sub>2</sub> 배출량 산출 결과와 근접한, 신뢰도 높은 결과 값을 산출 할 수 있는 것으로 평가되었다.

이상 본 연구는 탄소배출 평가기준 구축 및 평가방법을 제시하였다. 본 연구로 인하여 그동안 공동주택 단지에 있어 분석하는데 어려움이 많았던 CO<sub>2</sub> 배출량을 손쉽게 산출함과 동시에 평가가 가능할 것으로 판단되며, 추후 이를 활용한 친환경 평가 기준에 대한 연구가 이루어 질 수 있을 것으로 사료된다.

### Acknowledgements

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) Grant funded by the Korean Government(MOE)(No. 2010-0024342)

### References

- [1] The Bank of Korea 2008, Industry input-output table 2010
- [2] Kim, Jong-yup, Kim, Sung-wan, and Sohn, Jang-yul, A Study on the Estimation of the Environmental Load Intensity of Construction Materials for the Building LCA, Paper for Architectural institute of Korea, 2004;20(7):211-218
- [3] Lee, Gang-hee, Yang, Jae-Hyuk, A Study on the Functional Unit Estimation of Energy Consumption and Carbon Dioxide Emission in the Construction Materials ,Paper for Architectural institute of Korea, 2009;25(6):43-50
- [4] Woo, Jee-hwan and Shin, Seong-woo, The Environmental Load Comparison Evaluation of The Apartment House for Main Construction Materials of Standard Apartment House, paper of Architectural Institute of Korea Ecological Environment, 2010;10(1):85-90
- [5] Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, the Guideline calculation co2 emissions of the facilities -buildings-, 2011
- [6] Daniel Kellenbergera, Hans-Jörg Althausb, Relevance of simplifications in LCA of buildingcomponents, Building and Environment, 2009;818-825
- [7] Ignacio Zabalza Bribián, Antonio Valero Capilla, Alfonso Aranda Usón, Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential, Building and Environment, 2011:1133-1140
- [8] Charlene Bayer, Michael Gamble, Russell Gentry, Surabhi Joshi, AIA Guide to Building Life Cycle Assessment in Practice, Georgia Institute of Technology, 2010
- [9] ISO 14040, Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework, 2006

---

Received July 25, 2013;

Final revision received September 23, 2013;

Accepted October 28, 2013