

폐기단계에서 LCI DB구축을 위한 CO₂ 발생량에 관한 연구

A Study on CO₂ Emissions to Establish a LCI DB at the Disuse Stage

최 두 성*
Choi, Doo-Sung

박 진 종**
Park, Jin Jong

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 aims to calculate the CO₂ emissions by the properties of construction waste to establish a LCI DB of construction waste generated at the disuse stage. The CO₂ emissions from apartment houses was calculated by calculating the energy consumptions by treatment steps to calculate the CO₂ emissions by the treatment steps of construction waste. As a result of analyzing the CO₂ emissions from a total of 27 complexes, maximum 46,791g-CO₂/m², minimum 34,893g-CO₂/m² and average 38,713g-CO₂/m² were generated, and were varied by the quantity of construction waste in general, but were affected by the transportation distance in case of transportation steps as well. As a result of analyzing the CO₂ emissions by the properties of construction waste, average 19,815.50g-CO₂/m² was generated, the highest, from the example complex at the demolition stage in case of construction wastes, and 1.72g-CO₂/m² was generated, the lowest, during reclamation. In case of combustible waste, average 11,495.63g-CO₂/m² was generated, the highest, from the example complex during incineration of wastes, and 21.48g-CO₂/m² was generated, the lowest, at the waste transportation stage. In case of noncombustible waste, average 522.43g-CO₂/m² was generated, the highest, from the example complex at the demolition stage, and 1.07g-CO₂/m² was generated, the lowest, at the transportation stage. In case of other construction wastes, average 645.42g-CO₂/m² was generated, the highest, from the example complex at the demolition stage, and 47.38g-CO₂/m² was generated, the lowest, at the middle treatment stage.

키워드 : LCI DB, 폐기단계, 건설폐기물, CO₂ 발생량

Keywords : Life Cycle Inventory Database, Disuse Stage, Construction Waste, CO₂ Emissions

1. 서 론

1.1. 연구의 배경 및 목적

최근 지구온난화, 기상이변 등 온실가스, 특히 이산화탄소(CO₂)로 인한 환경문제가 날로 높아짐에 따라 국가 간 CO₂ 발생 총량을 규제하는 등 전 세계적으로 많은 노력을 기울이고 있다.

이러한 상황에서 건축산업 역시 건축물이 전생애(Life Cycle) 동안 얼마만큼 환경에 영향을 미치는지 평가하기 위한 건축물 전생애평가(Life Cycle Assessment, LCA) 연구가 수행되고 있다.

일반적으로 건축물에서의 LCA 연구는 건축물의 전생애를 자재생산단계, 시공단계, 사용단계, 해체 및 폐기단계인 총 4단계로 구분하여 수행되고 있으나, 현재까지 수행되어온 건축물 LCA 관련 연구는 대부분 상대적으로 환경에 미치는 영향이

크게 나타나는 자재생산단계 및 시공단계, 그리고 사용단계에서의 에너지소비량 및 CO₂ 배출량 산출에 집중되어 있으며, 해체 및 폐기단계와 관련된 연구는 아직 미흡한 상황이다.

하지만, 최근 건설폐기물의 발생량이 증가되고 있는 만큼 건축물의 해체 및 폐기단계에 대한 연구가 필요한 상황이며, 건축물의 자재생산단계 및 시공단계, 사용단계가 건축물의 전생애주기에 많은 영향을 미치는 중요한 단계이긴 하나, 전생애동안 환경에 미치는 영향을 평가하기 위해서는 건축물 폐기단계 및 이와 관련하여 배출된 건설폐기물의 최종처리에 따른 영향평가 또한 연구가 이루어져야 한다.

특히 다양한 종류의 대형 공동주택이 발달해 있는 국내의 경우 일반 건축물 보다 더욱 많은 자재들이 사용되고 있는 만큼, 선행연구의 건설폐기물 성장분류 보다 더 세분화된 건설폐기물 성장을 적용하여 각 처리단계별로 정량적인 평가가 이루어져야 할 것이다.

이에 본 연구에서는 국내의 건축물 중 다수를 차지하고 있는 공동주택을 대상으로 해체 및 폐기단계에서 발생한 건설폐기물을 이용하여 각 처리단계별 CO₂ 발생량을 산출, 건축물 LCA 연구의 기초자료 구축을 목표로 하였다.

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

** Dept. of Architectural Engineering, Suwon Univ. South Korea (pajijo@nate.com)

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

1.2. 연구의 방법

본 연구는 공동주택을 대상으로 해체 및 폐기단계에서 발생한 건설폐기물의 처리단계별 CO₂ 배출량 산출 및 지역별 LCI(Life Cycle Inventory) DB 구축을 목표로 하였으며, 연구의 방법은 다음과 같다.

첫째, 건설폐기물 발생량의 경우 기 수행된 연구자료를 활용하여 공동주택에서의 건설폐기물 발생량을 이용하였으며¹⁾, 건설폐기물의 성상별 분류에 따라 재활용률을 적용하였다.

둘째, 최종처리단계에서의 CO₂ 발생량 산출을 위해 해체단계 및 건설폐기물의 발생에 따른 최종처리단계로 분류하였으며, 최종처리 단계의 경우 중간처리, 매립, 소각으로 분류하였다.

셋째, 최종처리단계 중 운송에 따른 CO₂ 발생량 산출의 경우 거리산정을 위해 각 시도별 중간처리업체와 지자체의 매립 및 소각장이 담당하는 면적을 기준으로 평균거리를 적용하여 산출하였다.

넷째, 해체 및 폐기단계의 각 처리단계별 산출된 CO₂ 배출량을 이용하여 원단위 DB를 구축하였다.

1.3. 연구의 범위

본 연구에서는 건축물의 전생애과정 중 해체단계를 기준으로 건설폐기물의 성상별 최종처리까지를 연구의 범위로 설정하고, 다음 Fig.1에 나타낸다.

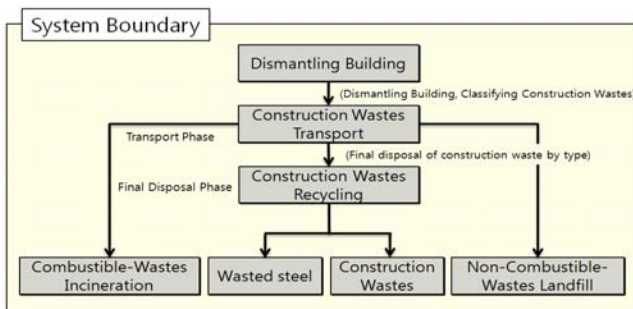


Fig. 1. Scope of Research

2. 국내 연구동향 분석

2.1. 국내 건설폐기물과 CO₂ 발생량 현황

2011년 환경부에 따르면 전체 폐기물 365,154ton/day 중 건설폐기물은 178,120ton/day로 전체의 48.8%를 차지하며 가장 큰 구성비율을 보이고 있다. 이는 1980년 대 이후 급격히 증가한 공동주택의 재건축 주기를 생각한다면 이후 더 많은 건설폐기물의 증가를 예상할 수 있다.

2005년에서 2012년까지 6년간 전국에서 발생하는 폐기물의 발생량 변화 추이²⁾를 다음 Fig.2에 나타낸다.

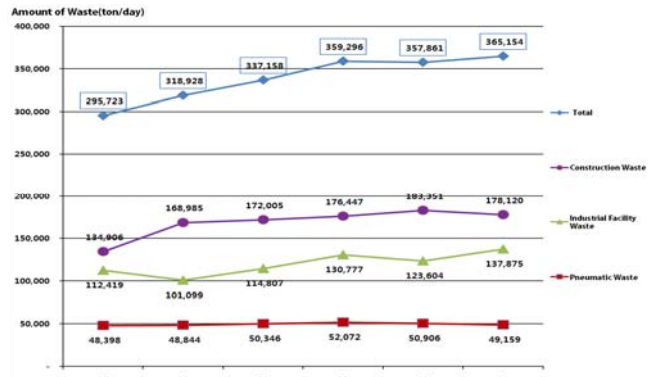


Fig. 2. Transition of Change in Amount of Waste

국내 건설 관련 산업은 석탄, 석유 등 전체 화석연료의 1/4 이상을 소비하고 있어 온실가스 배출의 주요원인으로 작용하고 있다.³⁾ 특히, 건설 자재 생산을 위한 원료의 채취와 운반, 가공 과정과 건설 해체산업의 성장으로 건축물의 해체작업, 건설폐기물의 운반, 최종 처리과정에서 많은 온실가스가 배출이 된다는 점으로 미루어 볼 때, 건설 산업이 국내 온실가스 배출 증가에 많은 영향을 미칠 것으로 예상된다.

2.2. 국내 선행연구 고찰

이홍석(2001)은 공동주택을 대상으로 건축물의 전생애과정 중 폐기단계에서 LCA와 재건축계획에서 활용될 수 있는 에너지소비량, CO₂ 발생량 및 환경비용에 관한 기초데이터와 이를 활용한 사례연구를 수행하였고,⁴⁾ 고광훈 외 2인(2007)은 건축물 해체 폐기물 처리에 대한 LCA를 실시하였으며,⁵⁾ 권석현 외 3인(2008)은 LCI DB를 활용하여 해체공사 시 발생하는 환경오염물질 배출량을 산출하고 환경오염물질별 환경비용을 환산하여 건축물 해체공사에 대한 환경경제성을 평가하였다.⁶⁾ 차기욱 외 2인(2010)은 LCA연구에 기반을 두고, 해체단계 이후 지구단위의 해체현장에서 발생한 건설폐기물 종류별 최종처리 방식에 따른 이산화탄소 발생량 산출과 환경비용 산정을 통해 전체적인 LCA연구와 환경영향 평가를 위한 정확하고 해상도 높은 자료를 제시하였으며,⁷⁾ 이후 건설

1) Cho, Kyun-Hyung, The Method of Weight Calculation of Construction Wastes through the Analysis of Input Material Cost on the Construction Statements, Journal of The Korean Society of Living Environmental System, 2013

2) Ministry of Environment, 2011 Generation and Treatment of Waste in Korea, 2012

3) Korea energy economics institute, 2012 Energy Info, Korea

4) Lee, Hong-Suk, The Estimation of Energy Consumption and Carbon Dioxide Generation during the Building Demolition Process, Chung-Ang University, 2001

5) Ko, Kwang-Hoon, Hwang, Yong-Woo and Jo, Hyun-Jung, Life Cycle Assessment for Building Demolition Debris Treatment, Korea Journal of LCA, 2007;8(1):1-9

6) Kwon, Suk-Hyun, Kim, Kyong-Ju, Kim, Byung-Soo and Kim, Sang-eom, Evaluation of Environmental Economics on Dismantling Projects Using LCI DB, paper of Korean Journal of Construction Engineering and Management, 2008:207-212

7) Cha, Gi-Wook, Son, Byeung-hun and Hong, Won-Hwa, A Study on CO₂ Emissions of Construction Wastes by Types from Demolition Phase of Buildings to Final Disposal Phase of Construction Wastes Generated from Urban Renaissance Project Area, Paper for Journal

Table 1. Apartments area and Amount of Construction waste(27 apartment complex)

Complex	Classification	Apartment area (㎡)	Waste Concrete (kg/㎡)	Waste asphalt concrete (kg/㎡)	Waste wood (kg/㎡)	Waste plastic (kg/㎡)	Waste fiber (kg/㎡)	Waste wallpaper (kg/㎡)	Waste steel (kg/㎡)	Waste Glass (kg/㎡)	Waste Soil (kg/㎡)	Mixed Construction waste (kg/㎡)
C_1		70,546	1,587.5	40.1	8.1	5.1	0	0.4	37.5	0.4	11.8	16.1
C_2		73,652	1,657.3	16.9	11.8	2.9	0.1	0.6	41.8	1.1	27.0	44.0
C_3		52,680	1,612.8	0	24.9	3.1	0.1	0.6	37.5	1.2	27.7	42.1
C_4		68,104	1,565.1	49.1	5.6	6.3	0.1	0.5	52.7	0.8	32.8	33.5
C_5		60,699	1,488.1	12.9	17.6	5.3	0	0.6	41.3	0.7	25.9	45.4
C_6		106,162	1,630.2	19.2	7.1	4.8	0.1	0.5	44.7	0.6	26.2	34.9
C_7		45,671	1,530	30.0	5.2	5.2	0	0.5	35.7	0.7	17.7	15.6
C_8		39,725	1,427.6	27.8	12.2	7.4	0.2	0.5	44.0	0.5	26.7	14.5
C_9		82,170	1,521.5	1.9	5.5	5	0	0.4	41.2	0.6	11.1	21.1
C_10		41,045	1,777.1	0	17.2	6.9	0.3	0.6	51.4	1.3	28.9	55.5
C_11		45,658	1,580.9	10.4	6.9	4.1	0.1	0.5	39.9	0.7	10.4	18.2
C_12		73,668	1,796.4	5.5	22.2	4.5	0	0.6	44.4	1.4	20.7	54.4
C_13		48,999	1,577.8	29.2	10.4	4.3	0.1	0.5	39.4	0.5	13.4	14.0
C_14		65,810	1,517.3	34.1	14.9	4.2	0	0.4	37.0	0.6	13.7	13.7
C_15		39,974	1,366.8	9.8	7.6	5.2	0.1	0.4	33.7	0.6	20.3	18.0
C_16		72,108	1,677.8	21.1	10	3.4	0	0.4	39.6	0.7	9.8	35.5
C_17		65,635	1,463	25.3	7.4	7.5	0.1	0.4	42.3	0.8	22.5	28.9
C_18		89,148	2,000.1	2.8	13.4	4.5	0.1	0.5	48.2	1.6	18.4	55.3
C_19		36,446	1,871.9	2.4	18.5	3.2	0.1	0.5	45.5	1.6	32.8	64.5
C_20		59,760	1,456.8	8.9	9.3	4.7	0	0.4	36.6	0.6	13.1	28.9
C_21		56,336	1,592.4	8.1	10	5.8	0	0.5	41.0	0.5	12.0	30.8
C_22		76,944	1,860.6	2.6	10.7	4.3	0.1	0.5	50	0.9	25.0	33.2
C_23		97,507	1,718.4	0	20.4	4.3	0.1	0.6	43	1.6	15.8	56.5
C_24		44,446	1,405	38.2	17.2	5.1	0.2	0.4	37.8	0.7	25.7	20.5
C_25		45,355	1,454.1	30.3	8.9	4.6	0	0.4	37.2	0.6	12.1	12.4
C_26		136,420	1,792.5	0	22	3.8	0.1	0.6	44.0	1.4	26.6	59.6
C_27		39,938	1,457.8	8.7	6.5	4.6	0.2	0.4	44.6	0.7	18.0	14.2

폐구속의 재활용을 통해 철근 생산 시 발생하는 CO₂ 배출량을 산출하는 연구를 수행하였다.⁸⁾

이상 제시된 국내의 연구동향의 경우 대부분의 연구가 아직까지 해체단계에서 공동주택의 CO₂ 배출원단위 정립을 위한 기초적인 데이터의 구축만이 이루어지거나, 단편적인 사례에 대한 연구가 수행된 상황으로, 건설폐기물의 성상별 데이터와 구체적 사례에 대한 데이터가 나타나지 못하고 있는 것으로 분석된다.

3. 폐기단계에서 에너지소비량과 CO₂ 발생량

3.1. 사례단지 개요 및 건설폐기물 발생량

사례단지는 공동주택을 대상으로 단지의 규모 및 세대수, 분양면적 등이 다양하게 나타나는 2009년에 시공된 전국 11개 지역 27개단지를 선정하였으며, 사례단지에서 발생한 건설폐기물의 성상을 10종류로 분류하여 데이터의 다양성 및 확장성을 고려하였다.

사례단지의 공동주택 면적 및 건설폐기물 성상별 발생량을 위 Table 1에 나타낸다.

3.2. 건설폐기물 처리단계에 따른 에너지소비량 산정

1) 해체단계에서의 에너지소비량

해체 과정에서 발생하는 장비 사용에 의한 에너지소비량 산출을 위해 해체장비의 경우 공동주택 해체 작업에 적합한 Breaker, Crusher, Backhoe 등의 기계식 해체공법을 선택하였으며 이에 대한 표준작업능력은 건설표준품셈⁹⁾을 이용하여 산출하였다.

해체단계에서의 해체장비별 에너지소비량을 다음 Table 2에 나타낸다.

Table 2. Energy Consumption of Demolition Equipments

Machine	Specifications (㎡)	Work Ability (㎡/hr)	Oil Consumption (L/hr)
Backhoe	1.0	3.5	19.5
Giant breaker			
Crusher			
Pay loader	3.5	37.34	19.9

2) 운송단계에서의 에너지소비량

해체단계에서 배출된 건설폐기물의 운송에 의한 에너지소비량 산출을 위해 에너지경제연구원의 자료¹⁰⁾를 활용하

of The Architectural Institute of Korea, 2010;26(7):311-320

8) Park, In-Young, Cha, Gi-Wook and Hong, Won-Hwa, A Study on the Energy Consumption and Carbon Dioxide Emission according to Manufacture of Rebar using Abandoned Metal, Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, 2012;12(2):69-74

9) Korea Institute of Construction Technology, Construction Standard Estimating System, 2013

10) Korea energy economics institute, 2011 Energy Consumption Survey, 2011

여 공사현장에서 가장 일반적으로 사용되고 있는 15톤급 덤프트럭의 연비를 기준으로 조사하였다. 15톤급 덤프트럭의 건설폐자재 적재 시 체적은 10m³이며 혼합건설폐자재 비중 1.3ton/m³을 적용, 13톤으로 계산하여 산출하였다.

건설폐기물 운송 시 소요되는 차량연비를 다음 Table 3에 나타낸다.

Table 3. Freight vehicle fuel economy of construction waste during transport

Freight (ton)	Vehicle Fuel Economy (km/L)
Less than 1	6.64
1.1~2.9	5.56
3.0~4.9	4.25
5.0~7.9	3.55
8.0~9.9	2.95
10.0~11.9	2.51
12.0~14.9	2.41
15.0~19.9	2.10
More than 20	2.07

3) 중간처리 및 최종처리단계에서의 에너지소비량

사레단지의 건설폐기물 성상별 중간처리 및 최종처리 방식은 건설폐재류와 가연성폐기물, 불연성폐기물로 분류하여 각각 중간처리업체와 소각, 매립장에서 처리되어진다.

중간처리업체에 대한 데이터 계산 시 업체마다 장비의 제원이 다르기 때문에 장비의 기준보다는 중간처리 되어 재생산되는 골재의 단위무게(ton)당 소비되는 에너지량을 기준으로 하였다. 중간처리 시 사용되는 장비로는 기본적으로 페이로다, 포크레인, 덤프트럭 크러셔 등이 있다. 업체마다 장비의 규모는 다르지만 공통적으로는 크러셔는 전력을 이용하며, 그 외 장비는 경유를 사용한다.

중간처리업체에서의 에너지소비량은 기존 연구자료인 권석현(2008) “LCI DB를 활용한 해체공사 환경경제성 평가”를 활용하였으며 조사된 업체별 에너지소비량을 다음 Table 4에 나타낸다.

Table 4. Energy consumption, Intermediate processing companies

Classification	A Companies		B Companies		C Companies		Average	
	Diesel (L/ton)	Electrical energy (kWh/ton)	Diesel (L/ton)	Electrical energy (kWh/ton)	Diesel (L/ton)	Electrical energy (kWh/ton)	Diesel (L/ton)	Electrical energy (kWh/ton)
Energy consumption	0.67	1.72	0.54	1.68	0.82	1.71	0.68	1.70

불연성폐기물 매립 시 매립장비로는 Dozer와 Compactor가 사용되는 것으로 나타났다. 매립장에서 발생하는 장비 사용에 의한 에너지소비량은 기존 연구 자료인 이홍석(2001) “건물 폐기단계에서 에너지소비량과 이산화탄소 발생량에 관한 기초 연구”에서 나타난 수도권매립지의 과거 실적 3개월 동안의 매립량과 그에 따른 에너지사용량을 활용하였다. 수도권 매립지의 3개월간 매립량과 에너지사용량에 따른 톤당 에너지소비량을 다음 Table 5에 나타낸다.

Table 5. Landfilled and Energy consumption

Equipment	Landfilled (ton)	Energy consumption (L)	Energy consumption (L/ton)
Dozer Compactor	1,788,296.21	267,286	0.15

4) 건설폐기물 성상별 재활용률

건설폐기물 발생 시 가장 많이 발생하는 건설폐재류의 경우 현장의 분류 작업에 따라 중간처리업체로 운송되는 비율이 크게 달라지기에 환경부의 “2011 전국폐기물 발생 및 처리현황”의 건설폐기물 성상별 재활용률을 적용하였으며, 금속 및 철재류는 현장에서 100% 회수 처리되고, 가연성폐기물은 소각시설을 통해 최종적으로 전량 소각 처리, 불연성폐기물은 전량 매립지로 반입되는 것으로 하였다.

본 연구에서 발생한 건설폐기물의 성상별 재활용률과 최종처리비율을 다음 Table 6에 나타낸다.

Table 6. Properties of construction waste by recycling and final disposal ratio

Property	Waste	Recycling ratio (%)	Final disposal (%)
Construction Wastes	Waste Concrete	99.96	0.04
	Waste asphalt concrete	99.89	0.11
Combustible waste	Waste wood	-	100
	Waste plastic	-	100
	Waste fiber	-	100
	Waste wallpaper	-	100
Non-combustible waste	Waste steel	-	-
	Waste Glass	-	100
	Mixed Construction waste	-	100
Etc.	Waste Soi	91.11	8.89

3.3. 지역별 거리산정 개요

사레단지에서 발생한 건설폐기물의 중간처리 및 최종처리업체까지 운송거리 산정을 위해 환경부의 “2010 전국폐기물 발생 및 처리현황”의 시도별 중간처리업체와 지자체 매립·소각장의 위치 정보를 활용하였으며, 각 업체의 시도별 평균거리를 적용하여 유류소비량을 산정하였다.

시도별 중간처리 및 최종처리업체의 현황을 다음 Table 7에 나타낸다.

Table 7. Intermediate processing companies and Final disposal companies by city

City	Classification	Intermediate processing companies	Landfill	incineration plant
Seoul		1	-	5
Gyeonggi-do		82	10	23
Chungcheongnam-do		33	16	12
Chungcheongbuk-do		26	14	10
Jeollanam-do		40	55	47
Jeollabuk-do		48	16	2
Gyeongsangnam-do		44	28	18
Gyeongsangbuk-do		74	43	23
Gangwon-do		49	24	13
Incheon		6	5	9
Daejeon		5	1	1
Daegu		2	1	1
Gwangju		5	2	1
Ulsan		8	2	1
Busan		13	1	3
Jeju-do		9	11	7

시도별 중간처리 및 최종처리업체의 평균거리 산정을 위해 시도별 각 업체의 담당면적을 반경으로 하는 직선거리를 기준으로 임의의 두 지점을 한 쌍으로 하는 10곳을 선정하여 최단경로의 거리를 산출 및 여기에 각 업체의 담당면적을 반경으로 하는 직선거리에 대한 비율의 평균을 각 시도별 보정계수로 적용하여 산출하였으며, 그 결과를 다음 Table 8에 나타낸다.

Table 8. Intermediate processing companies and Final disposal by the city's average distance

City	Classification	Intermediate processing companies average distance (km)	Landfill average distance (km)	Incineration plant average distance (km)
Seoul		15.77	21.04*	7.05
Gyeonggi-do		8.53	25.14	16.11
Chungcheongnam-do		11.04	15.85	18.30
Chungcheongbuk-do		11.88	16.19	19.16
Jeollanam-do		12.48	10.64	11.51
Jeollabuk-do		9.32	16.13	45.63
Gyeongsangnam-do		14.37	18.01	22.47
Gyeongsangbuk-do		12.26	16.08	21.99
Gangwon-do		14.52	20.75	28.19
Incheon		8.65	9.47	7.06
Daejeon		7.31	16.34	16.34
Daegu		14.08	19.91	19.91
Gwangju		7.17	11.34	16.04
Ulsan		8.13	16.27	23.01
Busan		5.35	19.27	11.13
Jeju-do		9.42	8.52	10.69

3.4. 폐기단계별 CO₂ 배출량 산정

폐기단계별 건설폐기물의 CO₂ 발생량 산정을 위해 국토해양부의 “시설물별 탄소배출량 산정 가이드라인”에서 제시하고 있는 경유와 전기의 배출원단위를 적용하였다. 해체와 운송단계에서의 이산화탄소 발생량은 해체단계에서 해체장비에 의한 에너지소비량과 운송단계에서의 건설폐기물 성상별 최종처리장까지 각 시도별 평균거리에 연비를 적용하여 소비된 총 에너지량을 합산한 뒤 경유의 CO₂ 배출원단위를 곱하여 산출하였다.

건설폐기물 최종처리 시 중간처리과정에 따른 CO₂ 발생량은 중간처리업체의 건설폐기물 처리 시 사용되는 경유와 전력 사용량을 이용하여 산출하였으며, 가연성폐기물 소각에 따른 CO₂ 발생량은 앞서 제시된 폐기물 처리 방법에 따른 탄소배출계수를 적용하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

불연성폐기물 매립 시 Dozer와 Compactor의 장비사용에 의한 에너지소비가 CO₂의 주요 발생원인으로 파악되는 만큼, 매립장비 사용에 의한 이산화탄소 배출량 산출이 가장 신뢰성 있을 것으로 판단된다.

가연성폐기물의 CO₂ 배출량은 국가 LCI DB를 이용하여 폐기물 처리 방법에 따른 기능단위(kg)당 탄소배출계수를 제시하고 있는 2011년 국토해양부의 “시설물별 탄소배출량 산정 가이드라인”자료를 활용¹¹⁾하였다.

소각에 따른 폐기물별 이산화탄소 배출계수를 다음 Table 9에 나타낸다.

Table 9. CO₂ emission factor for waste incineration

Disposal	Designation	Unit	Emission factor (kg-CO ₂ /unit)
Incineration	Waste wood	kg	0.0117
	Waste wallpape	kg	0.0241
	Waste plastic	kg	2.35
	Waste rubber	kg	3.14
	Waste Glass	kg	0.0242
	Waste steel	kg	0.0170
	General Waste	kg	0.123
	Designated waste	kg	0.343

4. 폐기단계에서 CO₂ 발생량 비교·분석

4.1. 사례단지별 CO₂ 발생량 분석 결과

사례단지에서의 에너지소비량 및 CO₂ 발생량 그리고 처리단계별 CO₂ 발생비율을 분석하여 다음 Fig.3 및 Table 10에 나타낸다.

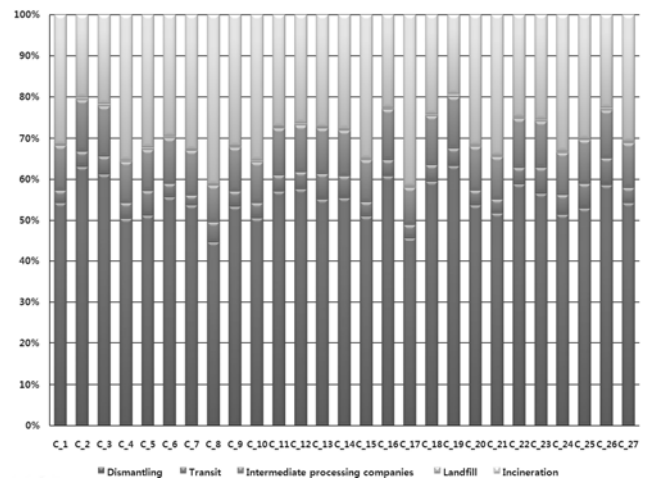


Fig. 3. CO₂ emissions in the process (27 apartment complex)

폐기단계에서 총 CO₂ 발생량 중 해체단계가 차지하는 비율이 평균 55%로 나타났으며, 이후 소각 30%, 중간처리 11%, 운송 4%, 매립 0.4% 순으로 분석되었다.

사례단지별 단위면적(/m²)당 CO₂ 발생량은 최대 46,791g-CO₂, 최소 34,893g-CO₂, 평균 38,713g-CO₂로 분석되었다.

사례단지 분석 결과 단위면적(/m²)당 건설폐기물 발생량이 많은 경우 일반적으로 단위면적(/m²)당 CO₂ 발생량 역시 높게 나타나고 있으나, 일부 단지의 경우 폐기물 발생량이 높다 하더라도 CO₂ 발생량이 비례하여 높게 나타나지는 않는 것으로 분석되었다.

이는 CO₂ 발생량이 건물의 규모와 크기에 의해 차이가 발생하긴 하나, 공사유형별로 자재투입량과 시스템 및 마감의 차이로 인해 건설폐기물 성상별 발생비율이 다르게 나타나 건설폐기물 최종처리 시 CO₂ 발생량이 차이를 보이는 것으로 분석되었다.

11) Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, the Guideline calculation CO₂ emissions of the facilities -buildings-, 2011

Table 10. Energy consumption and CO₂ emissions(27 apartment complex)

Classification Complex	Total Energy consumption		Total CO ₂ emissions (g-CO ₂)	Energy consumption per unit area		CO ₂ emissions per unit area (g-CO ₂ /m ²)
	Diesel (L)	Electrical energy (kWh)		Diesel (L/m ²)	Electrical energy (kWh/m ²)	
C_1	623070.30	183159.33	2.52.E+09	9.49	2.77	38429.62
C_2	893462.26	257963.70	3.11.E+09	10.01	2.85	34892.65
C_3	720549.84	205501.98	2.57.E+09	9.77	2.75	34917.49
C_4	392125.63	111840.29	1.69.E+09	9.80	2.75	42299.91
C_5	661974.07	183194.95	2.75.E+09	9.37	2.56	39010.17
C_6	358996.51	103876.44	1.41.E+09	9.83	2.81	38776.81
C_7	541022.82	160429.86	2.23.E+09	9.04	2.66	37276.84
C_8	363046.16	103453.21	1.76.E+09	8.83	2.48	42766.49
C_9	611716.12	177895.47	2.50.E+09	8.98	2.59	36751.89
C_10	570694.43	161831.71	2.46.E+09	10.82	3.03	46790.55
C_11	567032.20	165506.86	2.17.E+09	9.34	2.71	35768.57
C_12	1156455.71	329234.15	4.39.E+09	10.88	3.07	41334.37
C_13	437215.51	125930.20	1.71.E+09	9.57	2.74	37413.96
C_14	371398.72	106480.02	1.44.E+09	9.28	2.64	36021.32
C_15	373472.66	108527.34	1.60.E+09	8.16	2.34	35036.87
C_16	566366.54	163886.85	2.04.E+09	10.05	2.89	36128.97
C_17	354834.90	102095.48	1.70.E+09	8.92	2.54	42749.40
C_18	1172489.31	335431.26	4.29.E+09	12.01	3.41	44007.58
C_19	880169.09	249566.37	3.03.E+09	11.42	3.19	39383.92
C_20	396674.83	114152.35	1.61.E+09	8.74	2.50	35464.17
C_21	423935.62	121989.90	1.78.E+09	9.53	2.73	40138.73
C_22	1521518.20	438255.00	5.62.E+09	11.14	3.17	41216.82
C_23	775187.54	217438.22	2.96.E+09	10.51	2.93	40203.91
C_24	334193.62	94503.75	1.39.E+09	8.82	2.46	36850.64
C_25	433344.82	124805.89	1.76.E+09	8.84	2.53	35949.00
C_26	726363.42	203642.45	2.68.E+09	11.02	3.05	40660.87
C_27	714040.63	207563.62	2.88.E+09	8.68	2.50	34995.73

4.2. 건설폐기물 성상별 CO₂ 발생량 분석결과

1) 건설폐재류의 CO₂ 발생량 분석결과

사례단지에서 발생한 건설폐재류(폐콘크리트, 페아스팔트 콘크리트)의 단위면적(/m²)당 평균 CO₂ 발생량과 사례단지별 단위면적(/m²)당 CO₂ 발생량을 다음 Fig.4와 Table 11에 나타낸다.

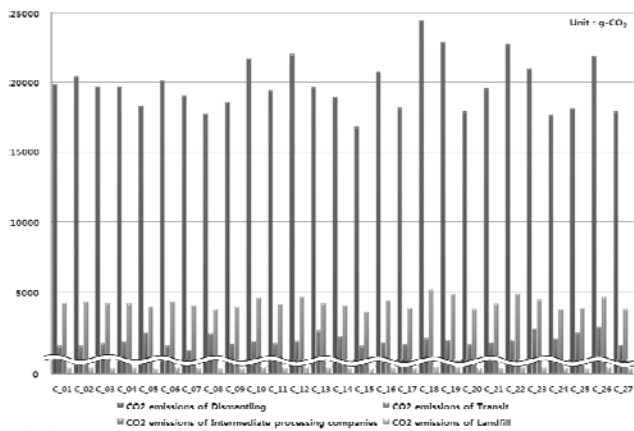


Fig. 4. In the process of construction wastes CO₂ emissions per unit area

Table 11. In the process of construction wastes CO₂ emissions and energy consumption

Process	Dismantling	Transit	Intermediate processing companies		Landfill
Case the average energy consumption	490,498 L	36,816 L	71,106 L	177,923 kWh	6.36 L
Case the average CO ₂ emissions per unit area (g-CO ₂ /m ²)	19,815.50	1,520.17	4,171.96		1.72

분석결과 건설폐재류의 경우 해체단계에서 단위면적(/m²)당 평균 CO₂ 발생량이 19,815.50g-CO₂로 가장 높게 발생하였으며, 중간처리단계가 4,171.96g-CO₂, 운송단계가 1,520.17g-CO₂, 매립단계에서 1.72g-CO₂ 순으로 발생하는 것으로 나타났다.

이는 건축물 해체 시 발생하는 건설폐기물 중 건설폐재류가 대부분을 차지하고 있는 만큼 해체장비에 의한 에너지소비량이 가장 높기 때문으로 분석되었으며, 건설폐재류의 경우 재활용률이 높은 만큼 최종처리과정에서 사용되는 에너지소비량이 적기 때문으로 분석되었다.

2) 가연성폐기물의 CO₂ 발생량 분석결과

사례단지에서 발생한 가연성폐기물(폐목재, 폐합성수지, 폐섬유, 폐벽지)의 단위면적(/m²)당 평균 CO₂ 발생량과 사례단지별 단위면적(/m²)당 CO₂ 발생량을 다음 Fig.5와 Table 12에 나타낸다.

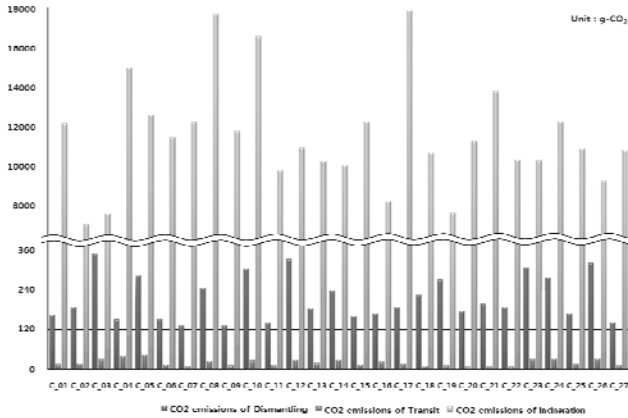


Fig. 5. In the process of combustible waste CO₂ emissions per unit area

Table 12. In the process of combustible waste CO₂ emissions and energy consumption

Process	Dismantling	Transit	Incineration
Case the average energy consumption	5,350.40 L	695.98 L	-
Case the average CO ₂ emissions per unit area (g-CO ₂ /m ²)	215.76	29.70	11,495.63

가연성폐기물의 경우 최종처리단계에서 폐기물 소각 시 CO₂ 발생량이 단위면적(/m²)당 평균 11,495.63g-CO₂로 가장 높게 나타났으며, 폐기물 운송단계에서 평균 21.48g-CO₂로 가장 낮은 것으로 분석되었다. 이는 사례단지에서 발생한 가연성폐기물이 전량 소각장으로 운송되긴 하나, 전체 건설폐기물 중 가연성폐기물의 발생량이 적은 만큼 운송 시 에너지소비량에 의한 CO₂ 발생량 역시 적기 때문인 것으로 분석되었다.

3) 비가연성폐기물의 CO₂ 발생량 분석결과

사례단지에서 발생한 비가연성폐기물(폐금속, 폐유리)의 단위면적(/m²)당 평균 이산화탄소 발생량과 사례단지별 단위면적(/m²)당 CO₂ 발생량을 다음 Table.13과 Fig.6에 나타낸다.

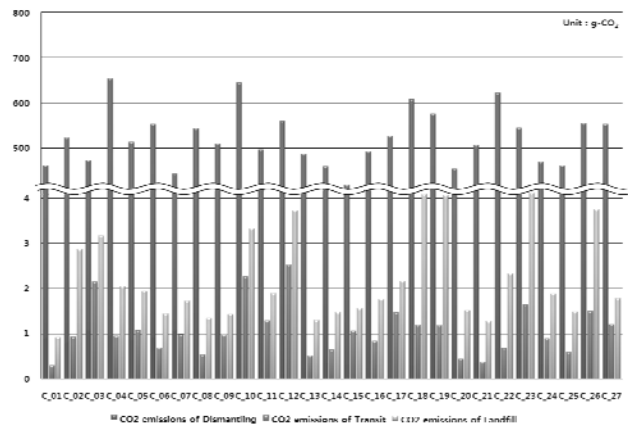


Fig. 6. In the process of non-combustible waste CO₂ emissions per unit area

Table 13. In the process of non-combustible waste CO₂ emissions and energy consumption

Process	Dismantling	Transit	Landfill
Case the average energy consumption	12868.75 L	37.42 L	8.83 L
Case the average CO ₂ emissions per unit area (g-CO ₂ /m ²)	522.43	1.46	2.24

폐금속의 경우 건축물 해체 시 발생한 금속 및 철재류는 현장에서 전량 회수 처리되므로 해체 시 해체장비에 의한 에너지사용량만 고려하였다. 비가연성폐기물의 경우 해체단계에서 CO₂ 발생량이 단위면적(/m²)당 평균 522.43g-CO₂로 가장 높게 발생하였으며, 운송단계에서 단위면적(/m²)당 평균 1.07g-CO₂로 가장 적게 발생하는 것으로 나타났다. 이는 해체단계에서 폐금속 해체에 의한 에너지소비량도 고려되어 해체단계의 CO₂ 발생량이 높은 것으로 나타났으며, 이후 운송단계부터 폐유리에 의한 에너지소비량만 고려되어 CO₂ 발생량이 적은 것으로 분석되었다.

4) 기타 건설폐기물 CO₂ 발생량 분석결과

사례단지에서 발생한 기타 건설폐기물(건설폐토석, 혼합건설폐기물)의 단위면적(/m²)당 평균 CO₂ 발생량과 사례단지별 단위면적(/m²)당 CO₂ 발생량을 다음 Fig. 7과 Table 14에 나타낸다.

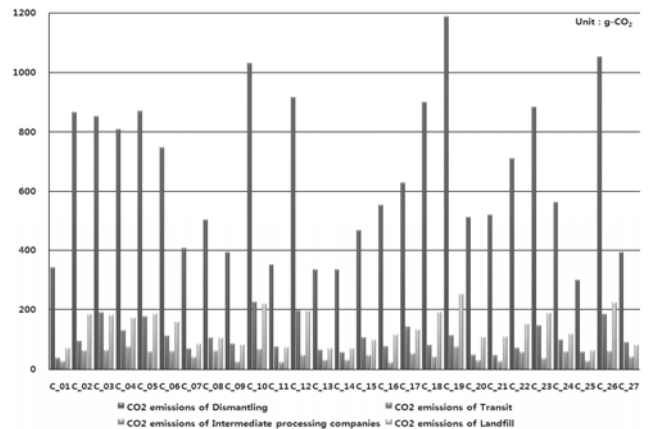


Fig. 7. In the process of other construction waste CO₂ emissions per unit area

Table 14. In the process of other construction waste CO₂ emissions and energy consumption

Process	Dismantling	Transit	Intermediate processing companies	Landfill
Case the average energy consumption	16,511.11 L	2,665.29 L	802.52 L	2,008.08 kWh
Case the average CO ₂ emissions per unit area (g-CO ₂ /m ²)	645.42	107.57	47.38	137.45

혼합건설폐기물은 건설폐재류와 가연성, 비가연성폐기물이 두 종류 이상 섞인 건설폐기물로 사례단계에서 발생한 혼합건설폐기물은 전량 매립장으로 운송되어 처리되고, 건설폐토석의 경우 중간처리업체를 통해 처리되어진다. 기타 건설폐기물은 해체단계에서 CO₂ 발생량이 단위면적(/m²)당 평균 645.42g-CO₂로 가장 높게 발생하였으며, 중간처리단계에서 단위면적(/m²)당 평균 47.38g-CO₂로 가장 낮은 것으로 나타났다. 이는 기타 건설폐기물의 발생량이 건설폐재류 다음으로 많이 발생하는 것으로 나타나, 건축물 해체 시 해체장비에 의해 발생한 에너지소비량이 기타 건설폐기물의 CO₂ 발생량에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

5. 결론

본 연구는 공동주택의 폐기단계에서 발생한 건설폐기물의 LCI DB 구축을 위한 건설폐기물 성상별 CO₂ 발생량을 산출하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 건설폐기물 성상별 처리방식과 장비를 파악하여 건설폐기물의 처리단계를 해체단계, 운송단계, 중간처리단계, 매립 및 소각 단계로 구분하였으며, 건설폐기물 성상별로 처리방식을 선정하였다. 특히 운송단계의 경우 거리산출을 위해 시도별 중간처리업체와 지자체의 매립 및 소각장이 담당하는 면적의 평균거리를 적용하여 에너지소비량 및 CO₂ 발생량을 산출하는 방법을 적용하였다.
- 2) 사례단지별 단위면적(/m²)당 CO₂ 발생량 분석결과 최대 48,155g-CO₂, 최소 36,112g-CO₂, 평균 39,919g-CO₂ 발생하는 것으로 분석되었다. 단위면적(/m²)당 폐기단계에서의 CO₂ 발생량은 일반적으로 건물의 규모와 크기에 따라 어느정도의 차이가 있는 것으로 나타났으나, 이 밖에도 시도별 운송거리의 차이 및 공사유형별로 자재투입량과 시스템 및 마감의 차이로 인한 성상별 발생량의 차이 등 다양한 변수에 따라 변화하는 것으로 분석되었다.
- 3) 건설폐기물 성상별 CO₂ 발생량 분석결과 건설폐재류의 경우 해체단계에서 사례단지 평균 19,815.50g-CO₂/m²로 가장 높게 발생하였으며, 매립 시 가장 낮은 1.72g-CO₂/m² 발생하는 것으로 나타났다. 가연성폐기물의 경우 폐기물 소각 시 사례단지 평균 11,495.63g-CO₂/m²로 가장 높게 발생하였으며, 폐기물 운송단계에서 가장 낮은 21.48g-CO₂/m²가 발생하는 것으로 나타났다. 비가연성폐기물의 경우 해체단계에서 사례단지 평균 522.43g-CO₂/m²로 가장 높게 발생하였으며, 운송단계에서 1.07g-CO₂/m²로 가장 적게 발생하는 것으로 나타났다. 기타 건설폐기물은 해체단계에서 사례단지 평균 645.42g-CO₂/m²로 가장 높게 발생하였으며, 중간처리단계에서 65.90g-CO₂/m²로 가장 낮은 것으로 나타났다.

이상 본 연구에서 제시된 결과는 공동주택의 폐기단계에서 발생한 건설폐기물의 LCI DB 구축을 위한 CO₂ 발

생량을 제시하는 것으로, 폐기단계의 계획수립 시 에너지 소비를 절감할 수 있는 장비조합 또는 건설폐기물 처리방법의 선택에 있어 필요한 기초자료로 활용 할 수 있을 것으로 사료된다.

단, 본 연구는 평균 CO₂ 배출량을 통해 LCI DB 구축 및 LCA 연구를 위한 기초자료 제시를 하고 있는 만큼 향후 보다 객관적이고 정량적으로 폐기단계에서의 CO₂ 배출 특성을 위해 각 변수에 따른 CO₂ 변화량에 연구가 추진되어야 할 것이다.

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] Cho, Kyun-Hyung, The Method of Weight Calculation of Construction Wastes through the Analysis of Input Material Cost on the Construction Statements, Journal of The Korean Society of Living Environmental System, 2013
- [2] Ministry of Environment, 2011 Generation and Treatment of Waste in Korea, 2012
- [3] Korea energy economics institute, 2012 Energy Info, Korea
- [4] Lee, Hong-Suk, The Estimation of Energy Consumption and Carbon Dioxide Generation during the Building Demolition Process, Chung-Ang University, 2001
- [5] Ko, Kwang-Hoon, Hwang, Yong-Woo and Jo, Hyun-Jung, Life Cycle Assessment for Building Demolition Debris Treatment, Korea Journal of LCA, 2007;8(1):1-9
- [6] Kwon, Suk-Hyun, Kim, Kyong-Ju, Kim, Byung-Soo and Kim, Sang-Beom, Evaluation of Environmental Economics on Dismantling Projects Using LCI DB, paper of Korean Journal of Construction Engineering and Management, 2008;207-212
- [7] Cha, Gi-Wook, Son, Byeung-hun and Hong, Won-Hwa, A Study on CO₂ Emissions of Construction Wastes by Types from Demolition Phase of Buildings to Final Disposal Phase of Construction Wastes Generated from Urban Renaissance Project Area, Paper for Journal of The Architectural Institute of Korea, 2010;26(7):311-320
- [8] Park, In-Young, Cha, Gi-Wook and Hong, Won-Hwa, A Study on the Energy Consumption and Carbon Dioxide Emission according to Manufacture of Rebar using Abandoned Metal, Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, 2012;12(2):69-74
- [9] Korea Institute of Construction Technology, Construction Standard Estimating System, 2013
- [10] Korea energy economics institute, 2011 Energy Consumption Survey, 2011
- [11] Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, the Guideline calculation CO₂ emissions of the facilities -buildings-, 2011

Received September 10, 2013;

Final revision received October 16, 2013;

Accepted October 28, 2013