

# CO<sub>2</sub> 배출 특성을 고려한 건설폐기물 관리방안 수립기준 : 고층 주거건물 건설 프로젝트를 대상으로 한 사례조사

## A Guideline for Construction Management Plan Based on the Characteristics of CO<sub>2</sub> Emissions: A Case Study for a High-Rise Residential Building Project

김 지 혜\*      차 희 성\*\*      신 동 우\*\*\*  
Kim, Jee-Hye    Cha, Hee-Sung    Shin, Dong-Woo

### 요 약

지구온난화를 일으키는 주요 온실가스가 이산화탄소임이 공표되고, 이의 배출 감축을 유도하기 위한 국내외적 규제가 강화됨에 따라 국내 건설산업에서도 생산과정에서 배출되는 이산화탄소량을 줄이기 위한 노력이 절실히 요구되고 있다. 이의 일환으로서 본 연구는 심각한 이산화탄소 배출원 중 하나인 건설폐기물에 대해 전과정평가(LCA)를 수행하여 건설폐기물로 인해 배출되는 이산화탄소의 특성을 파악하고, 그 결과를 토대로 건설현장에서 이산화탄소 배출량을 효과적으로 줄일 수 있는 폐기물 관리방안 수립 기준을 제시하고자 하였다. 전과정평가(LCA) 결과, 자재별로는 철근류, 가설자재류, 시멘트류, 레미콘, 콘크리트 제품, 타일 등의 자재가 폐기물로 인한 전체 이산화탄소 배출량 중 95% 정도를 배출하는 것으로 나타났다. 이들 자재의 이산화탄소 배출량이 많은 원인은 폐기물 발생량보다는 자재 생산에 필요한 단위 이산화탄소 발생량이 높기 때문인 것으로 분석되었다. 공종별로는 철근콘크리트공사, 미장공사, 가설공사 등과 같이 전체 공정 중 초중반에 걸쳐 수행되는 공종에서 발생하는 이산화탄소 배출량이 전체 공종 중 92% 이상 차지하는 것으로 조사되었다. 반면, 폐기물 관리자들은 공정 중후반에 수행되는 마감공종의 폐기물 관리에 집중하고 있어서 폐기물로 인한 이산화탄소 배출량 증가 원인 중 하나로 작용하고 있음을 파악하였다. 또한, 전과정평가(LCA) 결과를 반영한 폐기물 관리방안 수립 기준을 제시함으로써, 건설현장에서 폐기물 관리방안 수립 시 활용할 수 있도록 하였다.

키워드 : CO<sub>2</sub> 배출량, 건설폐기물, 폐기물 관리, 친환경 건설, 전과정평가(LCA)

## 1. 서 론

1985년 세계기상기구(WMO: World Meteorological Organization)와 국제연합환경계획(UNEP: United Nations Environment Program)은 지구온난화를 일으키는 주요 온실가스가 이산화탄소임을 공표하였다. 사실상 이산화탄소는 6가지 온실가스 배출량 중 약 80%를 차지하고 있다(OECD 2003). 지구 온난화로 인한 기후적, 생태적 문제가 경고수준에 다다름에 따라, 이산화탄소 배출량을 줄이기 위한 국제적 규제가 1992

년 리오 환경개발회의 및 1997년 교토 기후협약 등을 통해 발효되었다. 한편 우리나라의 이산화탄소 배출량은 2001년 기준 세계 9위 수준일 뿐만 아니라, 1인당 이산화탄소 배출량 증가율이 중국과 함께 가장 빠르게 증가하고 있어서 앞으로 우리나라에 대한 국제사회의 환경적 규제가 강화될 것으로 예상된다(OECD 2004). 이러한 대내외적인 환경적 규제와 변화에 대응하기 위해 정부주도 하에 에너지, 수송, 농축산, 임업, 폐기물 부문에서 다양한 정책과 조치가 수립되었고, 각 산업분야에서 친환경적인 생산 시스템을 구축하도록 요구하고 있다(기후변화협약대책위원회 2003).

이러한 측면에서 건설산업 차원에서도 친환경적인 생산 시스템을 구축하기 위한 노력으로서 이산화탄소 배출량 감소 방안에 대한 연구가 진행되어 왔다. 건설공사로부터 배출되는 이산화탄소는 라이프사이클(자재 생산단계, 운송단계, 시공단계, 유지관리단계, 철거단계 등)에 걸쳐 다양한 원인에 의해 배출된다. 그

\* 일반회원, 아주대학교 건축학부 박사과정, kjh1970@empal.com

\*\* 일반회원, 아주대학교 건축학부 조교수(교신저자), 공학박사  
hscha@ajou.ac.kr

\*\*\* 종신회원, 아주대학교 건축학부 교수, 공학박사 dshin@ajou.ac.kr  
본 연구는 과학기술부 우수연구센터 운영사업인 한양대학교 친환경 건축 연구센터의 지원으로 수행되었음. 과제번호: R11-2005-056-03004-0

중 시공단계 및 철거단계에서 발생하는 폐기물은 자원의 고갈을 빠르게 하는 원인일 뿐만 아니라 심각한 이산화탄소 배출원 중 하나로 인식되어 왔다. 따라서 이들 건설폐기물을 감소시키고 재활용으로의 전환을 확대시킨다면 이산화탄소 배출량을 줄일 수 있는 가능성이 커질 것이다. 건설폐기물의 저감 및 재활용 전환 확대는 개별 건설현장 차원의 폐기물 관리에 의해 좌우된다. 즉, 건설현장에서 폐기물 감소 및 재활용 확대를 위해 어떤 방법으로 관리하는지에 따라 이산화탄소 감소에 미치는 영향이 다르게 나타난다(EPA 2002).

건설폐기물 관리방안에 대한 국내 연구를 고찰해보면 대부분 폐기물 발생량에 기초하여 문제점과 관리방안을 제시하고 있다(이종일 외 1998; 임정수 외 1998; 양극영 외 1999; 신동우 외 2000; 구해식 외 2001; 송태협 외 2002; 김지혜 외 2006). 반면 폐기물로 인해 발생하는 이산화탄소 배출량과 그 특성을 파악하고, 그 결과에 기반하여 실질적으로 이산화탄소 배출량을 감소시킬 수 있는 관리 방안에 대한 연구는 거의 없는 실정이다.

이러한 한계를 극복하기 위해 본 연구에서는 건설폐기물에 대한 전과정평가(Life Cycle Assessment: LCA)를 수행하여 건설 폐기물로 인해 배출되는 이산화탄소의 특성을 파악하고, 그 결과를 토대로 건설현장에서 이산화탄소 배출량을 효과적으로 줄일 수 있는 폐기물 관리방안 수립기준을 제시하고자 한다.

## 2. 연구방법 및 절차

이산화탄소와 같은 환경부하 배출량을 파악하고 분석하기 위해 국제적으로 권장되는 도구는 전과정평가(LCA)이다(이건모 외 1998). 전과정평가(LCA)는 전체 라이프사이클에 걸쳐 제품(Product)이나 서비스(Service)가 환경적 측면에 미치는 영향을 정량적으로 파악하는 가장 포괄적이고 정확한 방법으로서, 환경부하와 이들이 환경에 미치는 잠재적 영향에 대한 분석을 가능하게 한다(Lee et al, 2004). 이러한 장점에도 불구하고, 전과정평가(LCA)는 수행에 드는 비용이 비싸고, 장기간이 소요되어 실제 활용하기가 어렵다. 이에 대한 대안으로서, 해당 전과정평가의 주된 목적에 맞게 “제품 생산 시스템 경계(Product system boundary)”의 복잡성을 간소화한 “단순화된 전과정평가(Simplified LCA)” 도구가 많이 활용된다(Lee et al, 2004).

따라서 본 연구의 범위를 건설(시공)단계에서 발생하는 폐기물로 한정하고, 연구목적 달성을 위한 방법론으로서 “단순화된 전과정평가(Simplified LCA)”를 수행하는 것이 연구기간 및 비용 측면에서 합리적이다. ISO 14040 시리즈에서 권장하는 전과정평가(LCA)는 다음과 같이 네 가지 분야로 구성된다. 본

연구는 여러 가지 환경부하 중 지구 온난화에 가장 큰 영향을 미치는 이산화탄소에 초점이 있으므로 다음 네 가지 분야 중 “영향평가(Impact assessment)”를 수행하지 않는다.

### (i) 목적 및 범위 정의 (Goal and scope definition)

-목적: 전과정평가를 수행하는 목적과 전과정평가의 결과를 적용할 분야를 기술함.

-범위: 대상제품(Product or service), 기능(Function), 기능단위(Function unit), 시스템경계(System boundaries), 수행방법 및 가정 등과 같은 전과정평가를 수행하기 위한 전반적인 범위를 명시함.

### (ii) 목록 분석 (Inventory analysis)

-자료를 수집하고, 환경부하를 계산함

### (iii) 영향 평가 (Impact assessment)

-목록 분석 결과를 이용하여 잠재적인 환경영향을 평가하는 단계임. 이 과정에서 목록항목(CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub> 등)과 특정 환경영향(지구 온난화, 오존층 고갈등)을 연계시키고, 이들이 잠재적으로 환경에 미치는 영향을 파악함.

### (iv) 전과정 해석 (Interpretation)

-목적 및 범위 정의 단계에서 기술된 연구의 이용분야에 부합되도록 목록 분석과 영향 평가를 통해 얻은 정보를 해석함.

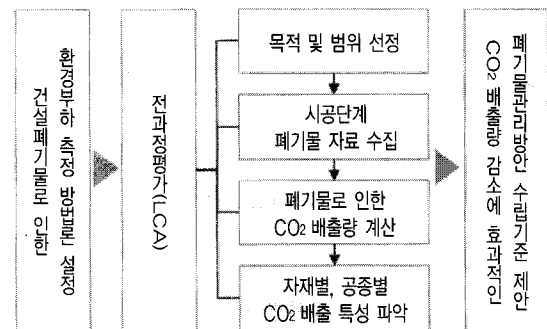


그림 1. 연구방법 및 절차

## 3. 전과정평가 (LCA)

(Simplified Life Cycle Assessment)

### 3.1 목적 및 범위 정의

#### (1) 목적

본 연구에서 수행하는 전과정평가는 건설(시공)단계에서 발생하는 폐기물로 인해 배출되는 이산화탄소량을 측정함으로써 자재별, 공종별 이산화탄소 배출 특성을 파악하는데 목적이 있다.

폐기물로 인한 이산화탄소 배출 특성이 파악된다면 건설현장에서 폐기물 관리자가 이산화탄소 배출량을 효과적으로 줄일 수 있는 폐기물 관리방안을 수립하기 위한 기준으로 활용될 수 있을 것이다.

(2) 범위

전과정평가의 대상은 주거기능을 가진 고층 아파트단지 건설 프로젝트이다.(표1 참조) 수도권에 위치하고 있으며 2003년부터 2006년에 걸쳐 33개동 총 2,300여 세대를 건설하는 프로젝트로서, 상위의 현장관리능력을 보유한 건설업체(2006년 기준 시공능력평가 순위 10위 내)에 의해 시공되었다.

표 1. 전과정평가 대상 개요

항 목	전과정평가 대상 아파트단지 개요
위 치	경기도
구 조	철근콘크리트조
층수(동수)	18-25층 (33개동)
세 대 수	2,300여 세대
평 형	24 / 30 / 33 / 47
연 면 적	약 326,000 m <sup>2</sup>
공 사 기 간	2003.6.-2006.1. (32개월)

건설폐기물은 대부분 건설자재로부터 발생한다. 그림 1은 건설자재의 전과정 시스템을 간략히 소개하고 있다. 전체 시스템 중 본 연구에서 수행하고자하는 시스템경계는 자재의 사용단계인 건설(시공)단계이고, 특히 부재 가공 및 설치 과정에서 발생하는 폐기물이 조사의 범위가 된다.

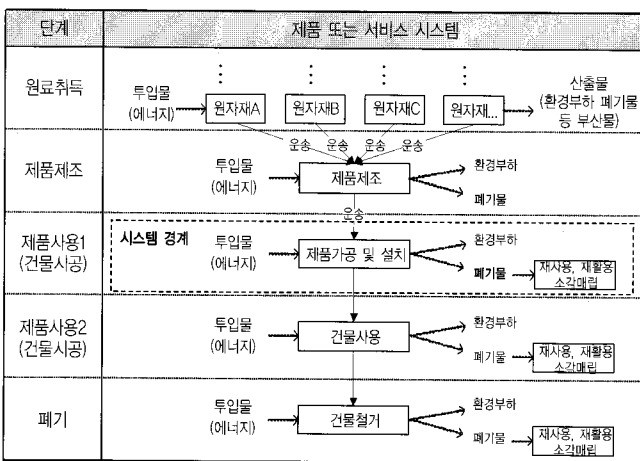


그림 2. 전과정평가 대상 시스템 및 시스템 경계

1) 여기서 폐기물로 인해 배출되는 이산화탄소량이란 자재 생산단계에서 직접적으로 배출되는 이산화탄소 전체 배출량에 대비하여 자재의 폐기물화로 인해 유기되는 이산화탄소 배출량을 의미한다.

3.2 목록 분석

(1) 전과정목록 데이터베이스

(Life Cycle Inventory Database)

“전과정목록 데이터베이스”란 한 제품을 구성하는 모든 원료 물질에 대해 전과정에 걸쳐 투입물과 산출물을 종합하여 정량화한 데이터를 수록한 것이다. 예를 들어, 시멘트에 대한 전과정평가를 할 경우 시멘트 제조에 소요되는 원료의 채취, 제조공장으로 운송, 철근제조 등의 전과정에 투입되는 모든 에너지와 그 과정에서 발생하는 환경부하(이산화탄소 등) 자료를 수록한 자료를 의미한다. 현재까지 국내에서 기초소재 및 기반산업 위주의 306개 종목(모듈)에 대해 전과정목록(LCI)이 구축되었고, 그 중 건축분야는 22개(형강, 철근, 모래, 레미콘, 타일, 합판 등)에 불과하다. 그러나 1건의 건설프로젝트를 수행하기 위해서는 수백여 가지의 자재가 투입되어야 하므로 기존 전과정목록(LCI) 데이터베이스를 사용하는데 한계가 있다. 따라서 전과정목록(LCI)이 구축되지 않은 자재가 많은 경우, 대안으로서 산업연관분석법<sup>2)</sup>에 의해 산업에 관련된 모든 자재부문에 대해 투입된 에너지량과 배출된 이산화탄소량을 계산하여 전과정평가(LCA)에 활용하고 있다.

표 2. “단위 기준당 에너지 소비량 및 CO2 배출 원단위” 자료 예시

CODE	부부명칭	단위	단가	에너지소비량		CO2배출량	
				TOE/백만원	TOE/단위	t-CO <sub>2</sub> /백만원	kg-CO <sub>2</sub> /단위
00390100	모래	kg	8	0.110	0.000001	0.354	0.003
00390200	자갈	kg	7	0.110	0.000001	0.354	0.003
00400000	쇄석	kg	6	0.360	0.000002	1.154	0.007
00410100	화강암	kg	11	0.622	0.000007	1.976	0.022
00410200	대리석	kg	45	0.622	0.000028	1.976	0.089
00420100	석회석	kg	8	0.325	0.000003	1.088	0.009
00430100	고령토	kg	39	0.233	0.000009	0.779	0.030
00430200	규사 및 규석	kg	21	0.233	0.000005	0.779	0.016
00450100	석면	kg	354	0.364	0.000129	1.237	0.438
00450500	흑연	kg	166	0.364	0.000060	1.237	0.205
00450600	석고	kg	24	0.364	0.000009	1.237	0.029
01180101	각재	kg	83	0.177	0.000015	0.590	0.049
01180102	판재	kg	14	0.177	0.000002	0.590	0.008
01180103	소할재	kg	62	0.177	0.000011	0.590	0.036
01180200	가공목재	kg	1,205	0.177	0.000213	0.590	0.711
01180300	우드칩	kg	162	0.177	0.000029	0.590	0.096
01190100	보통합판	kg	791	0.220	0.000174	0.788	0.608
01190200	특수합판	kg	8	0.220	0.000002	0.788	0.006
01190300	박판	kg	9	0.220	0.000002	0.788	0.007
01200100	재생목재	kg	604	0.417	0.000252	1.433	0.866
01200200	강화목재	kg	1,145	0.417	0.000478	1.433	1.641
01210100	문, 창문 및 틀	kg	20	0.271	0.000005	0.921	0.018

자료: 건설교통부 한국건설교통기술평가원, “건축물의 LCA를 위한 원단위 작성 및 프로그램 개발 연구”, 2004.

2) 산업연관분석법은 산업연관표를 이용하여 산업 간의 상호관계를 수량적으로 파악하는 방법이다. 산업연관표는 거래관계를 화폐까지 단위로 기술하지만, 이 금액의 흐름과 함께 물자가 이동한다고 가정할 때 산업 간에 흐르는 에너지나 자원의 흐름을 분석할 수 있어 환경 분석으로의 응용이 가능하다고 본다. 즉, 산업연관표의 형식을 확장하여 산업 간만이 아닌 자연환경에서 산업으로의 투입(자원 채취)이나 산업으로부터 자연환경으로의 산출(폐기물, 오염물질의 배출)까지 포함한 물량 단위의 투입 산출표를 작성하면 환경 문제에서의 응용이 가능하다는 개념이다. 그러므로 제품이나 서비스에 투입되는 모든 원자재 및 공정에 대해 각각 전과정평가(LCA)를 수행하기 어려운 경우 산업연관분석법을 대체적으로 활용할 수 있다.

본 연구에서는 산업연관분석법을 활용하여 건축분야 405개의 기본부분(자재 등)에 대해 “에너지소비량 및 이산화탄소 배출 원 단위 자료<sup>3)</sup>”를 제시한 건설교통부(2004)의 연구결과를 전과정 목록 데이터베이스로 활용하여 건설폐기물로 인한 이산화탄소 배출량을 산출하였다.(표2 참조)

(2) 자료 수집

아파트 건설 프로젝트의 경우 대공종의 구성이 일반적으로 “건축공사”, “토목공사”, “전기공사”, “기계설비공사”, “조경공사”로 구성된다. 공종별로 투입되는 자재 측면에서 보면, 내역서 분석 결과 건축공사와 토목공사에 95% 이상의 자재 종류가 투입되는 것으로 분석되었다. 또한, 폐기물 관리자와의 면담에 의하면 전기공사 및 기계설비공사는 투입자재가 거의 제품화되어 있고, 공장제작 후 현장에서 설치만 하는 경우가 대부분이어서 폐기물 발생비율이 극히 미미한 것으로 조사되었다. 따라서 본 연구는 투입자재의 폐기물 발생에 초점을 두고 있으므로 투입자재의 대부분을 차지하는 건축공사, 토목공사를 주요 자료 수집 대상으로 선정하였다.

위에서 기술한 바와 같이 산업연관분석법 기반의 전과정목록 데이터베이스를 활용하여 폐기물로 인해 배출되는 이산화탄소 배출량을 계산하기 위해 필요한 자료는 공종별로 폐기물을 발생시키는 자재종류, 자재별 폐기물 발생량, 자재별 가격정보이다. 공종별 자재종류와 자재별 가격 정보는 대상 아파트 단지 건설 공사의 내역서로부터 수집할 수 있었다. 그러나 현실적으로 국내 건설현장에서 자재종류별로 폐기물 발생량을 정확히 기록하는 건설현장이 거의 없고, 대상 현장도 동일한 상황이어서 이에 대한 대안으로서 대상 건설현장의 폐기물 관리자로 하여금 내역서상에 포함되어 있는 자재별로 폐기물 발생량을 비율(%)로 기록하도록 요구하였다.

표 3. 자료 수집 개요

항 목	자료 수집 개요
조 사 기 간	2005.12 - 2006.1
면 담 대 상	원도급 폐기물관리자
조 사 항 목	폐기물 종류, 폐기물 발생량, 자재별 가격
자 료 출 처	내역서 및 폐기물관리자 면담
폐기물 배출 자재 종류	97종의 자재로부터 폐기물 발생
폐 기 물 량 범 위	94종: 0.3~10.0% 범위에서 폐기물 발생 3종: 100% 폐기물 발생

자료 수집 결과 총 97종의 자재로부터 폐기물이 발생하는 것

3) 건설교통부(2004)에서 제시한 “이산화탄소 배출 원단위” 산출 과정은 다음과 같다: (생산자 가격 평가표)→(에너지부문/단가)→(단위중량×발열량)→(에너지량×탄소배출계수=탄소배출량)→(탄소배출량×44/12=CO2배출

으로 파악되었다. 그 중 94종의 자재는 적게는 0.3%에서 크게는 10.0%에 이르는 폐기물을 발생시키는 것으로 나타났고, 나머지 3종의 자재는 가설자재로서 사용 후 전량 폐기하고 있었다. 공종별 주요 폐기물 종류 및 발생 비율은 표4와 같다.

표 4. 공종별 주요 폐기물 종류 및 발생 비율

공종	주요 폐기물 종류	발생비율 (%)
가설공사	외부비계, 안전발판	5.0
	방진망, 석재면보양합판, 면보양(하드롱지, 부직포)	100
철근콘크리트공사	레이콘	0.3
	철재 잡자재, Insert	1.0
	합판	2.0
조적공사	철근, 갱폼(철판), Elev box form	3.0
	아이소핑크, 스티로폼, 수평창지수판, 동바리(철재)	5.0
	콘크리트인방, Anchor	1.0
방수공사	시멘트벽돌, 시멘트블럭, 적벽돌, 레미탈, 블럭메쉬	3.0
	스치로폼	5.0
	액체방수액, 우레탄방수, 코너방수(EXEL), 신축줄눈코킹, 아스팔트프라이머	0.3
미장공사	누름콘크리트	1.0
	시멘트, 모래, 방수보호판, 슈트방수	3.0
	스치로폼	5.0
타일및 석공사	경량기포콘크리트, 칼라하드너, 무근콘크리트, 황동논슬립	1.0
	와이어메쉬	2.0
	단열물달, 기포콘크리트용 Bulk시멘트, 시멘트, 모래	3.0
목공사	스치로폼	5.0
	인조석물갈기(시멘트)	10.0
	화강석 창대석	1.0
유리공사	천연대리석, 인조대리석	2.0
	점형블럭, 타일, 화강석, 시멘트, 백시멘트, 모래, 타일접착용본드,	3.0
	PVC판넬천정재, 경량칸막이, 경량천정틀(M-bar)	1.0
수장공사	석고보드, PVC반자돌림, 합지판, 커텐박스	2.0
	갈레받이(PVC), 합판, 각재	3.0
	유리	1.0
도장공사	AL스판드렐	0.3
	AL몰딩, PVC몰딩	0.5
	온돌마루판	1.0
파일공사 및 옹벽공사	한지장판, 벽지, 초배지	2.0
	텍스, Access floor, 아스팔트싱글	3.0
	비닐씨트, 비닐타일	5.0
파일공사 및 옹벽공사	각종 페인트	0.5
	페인트용기(양철)	100
	잡석, 자연석(석재), 부직포, 배수유공관(PVC), Jack, 보결이, 브라켓, 볼트 너트	0.5
파일공사 및 옹벽공사	레이콘, L-형강	1.0
	합판거푸집	2.0
	콘크리트블럭, 시멘트, 철근, 콘크리트파일, 파일캡(석고플라스터)	3.0

량) 즉, 산업연관분석의 개념을 확장하여 에너지 투입산출(Energy Input-Output) 모형을 작성한 후, 이 모형을 이용하여 투입된 에너지량을 파악하고, 에너지 소비로부터 배출되는 CO2의 배출량 원단위를 산출하는 과정을 거친다.

표5. 자재 종류별 폐기물 발생 비율 및 이산화탄소 배출량

CODE <sup>1)</sup>	부문명칭 <sup>1)</sup>	폐기물 발생 자재명	폐기물 발생 비율 (%)	CO <sub>2</sub> 배출량 원단위 <sup>2)</sup> (T-CO <sub>2</sub> /백만원)	CO <sub>2</sub> 배출량 (T-CO <sub>2</sub> )	CO <sub>2</sub> 배출량 비율 (%)
계					6,818.12	100.00
0197	철근 및 봉강	철근	3.0	12.214	4,274.86	62.70
		Anchor	1.0			
0185	시멘트	기포콘크리트용 Bulk시멘트, 단일몰탈, 시멘트, 압착용 타일시멘트	3.0	6.616	833.64	12.23
		인조석물갈기(시멘트)	10.0			
0200	열간압연강재	강판(철판)	3.0	11.457	493.01	7.23
		안전발판	5.0			
		형틀잡자재/철판	1.0			
0111	끈, 로프 및 어망	방진망	100.0	1.412	242.31	3.55
0201	강관	동바리, 외부비계	5.0	7.007	161.84	2.37
0186	레미콘	경량기포콘크리트, 누름콘크리트	1.0	3.152	140.20	2.06
		레미콘	0.3			
0187	콘크리트제품	레미탈, 시멘트벽돌, 시멘트블럭	3.0	3.196	137.72	2.02
		콘크리트인방	1.0			
0184	건설용점토제품	적벽돌, 타일	3.0	2.546	113.37	1.66
0119	보통합판	내수합판	5.0	0.768	70.83	1.04
		합판 거꾸집	2.0			
		Elev. box Form	3.0			
0173	산업용플라스틱 제품	비닐스크벽지	2.0	1.302	55.56	0.81
		비닐씨트, 비닐장판지, 비닐타일, 스티로폼, 아이소핑크	5.0			
		Access floor	3.0			
0041	기타건설용석재	석재타일, 화강석	3.0	1.976	44.74	0.66
		화강석창대석	1.0			
		천연대리석	2.0			
0132	기타종이제품	면보양(하드 롱지)	100.0	1.204	43.02	0.63
		벽지붙이기, 참숯초배지, 한지장판	2.0			
0098	재생섬유직물	면보양	100.0	1.573	33.05	0.48
0172	플라스틱1차제품	걸레받이/비닐래핑, 방수보호판	3.0	1.309	30.60	0.45
		Insert, PVC반자동림, PVC판넬 천정재	1.0			
		코너방수(EXCEL)	0.3			
		합지판	2.0			
		PVC 몰딩	0.5			
0118	제재목	목조인방틀, 발코니선반, 경량칸막이, 아트월(합판), 현관문주위합판	1.0	0.59	25.39	0.37
		목조천정틀, 우물천정(목재합판)	3.0			
		반자동림, 벽재료분리대, 세대발코니칸막이, 커튼박스	2.0			
		화장실칸막이(큐비클)	0.5			
0198	형강	N-형강	1.0	10.754	23.90	0.35
0188	석고 및 석고제품	석고보드	2.0	3.363	20.08	0.29
		텍스, 파일캡(석고플라스터)	3.0			
0120	재생 및 강화목재	온돌마루판	1.0	1.433	19.47	0.29
0154	합성수지	슈트방수	3.0	1.611	13.12	0.19
0165	도료	무늬코트, 세라미페인트, 수성페인트, 에폭시페인트, 천연페인트, 탄성페인트	0.5	1.602	8.84	0.13
		우레탄방수	0.3			
		칼라하드너	1.0			
0176	산업용고무제품	샤워부스셀, 점형블럭/타일형	3.0	1.222	7.26	0.11
		수평창지수판	5.0			
		신축줄눈(코킹포함)	0.3			

주: 1) 한국은행에서 발표되는 산업연관표 상의 분류 Code와 부문명칭임.  
 2) 건설교통부 한국건설교통기술평가원 (2004), "건축물의 LCA를 위한 원단위 작성 및 프로그램 개발 연구" 상의 "CO<sub>2</sub> 배출 원단위" 자료를 활용함.

표5. 자재 종류별 폐기물 발생 비율 및 이산화탄소 배출량 - 계속

CODE	부문명칭	폐기물 발생 자재명	폐기물 발생 비율 (%)	단위 CO <sub>2</sub> 배출량 (t-CO <sub>2</sub> /백만원)	CO <sub>2</sub> 배출량 (t-CO <sub>2</sub> )	CO <sub>2</sub> 배출량 비율(%)
0221	철선제품	블럭메쉬	3.0	3.738	6.57	0.10
		와이어메쉬	2.0			
		PC강연선	0.5			
0178	판유리 및 1차유리	유리	1.0	2.615	4.70	0.07
0039	모래 및 자갈	모래	3.0	0.354	3.73	0.05
0216	구조물용금속제품	경량천정틀(M-bar)	1.0	4.396	2.29	0.03
0192	아스팔트제품	아스팔트 프라이머	0.3	1.754	1.46	0.02
		칼라아스팔트싱글	3.0			
0099	합성섬유직물	아트월(Fabric)	1.0	1.300	1.42	0.02
0171	기타화학제품	액체방수	0.3	1.815	1.38	0.02
		조합페인트	0.5			
0215	건물용금속제품	경량철골트러스	3.0	2.927	1.16	0.02
		보걸이, 브라켓, Jack	0.5			
		안전난간 및 계단	0.3			
0212	동1차제품	논슬립(황동)	1.0	0.792	1.12	0.02
		동판후레싱, Bead	3.0			
0167	접착제 및 젤라틴	타일접착용본드	3.0	1.382	0.59	0.01
0220	나사제품	볼트&너트	0.5	3.598	0.46	0.01
0213	알루미늄1차제품	알루미늄스팬드릴	0.3	1.644	0.26	0.00
		AL몰딩	0.5			
0040	쇄석	잡석	0.5	1.154	0.09	0.00
0179	산업용유리제품	그라스울	3.0	1.477	0.06	0.00

(3) 이산화탄소 배출량 계산

폐기물로 인한 이산화탄소 배출량을 계산하기 위한 산식은 다음과 같다.

$$CO_2 \text{ 배출량} = \sum(W_i \times C_i \times CO_i) \quad (1)$$

여기서, W<sub>i</sub> : 각 자재별 폐기물 발생 비율

C<sub>i</sub> : 각 자재별 가격 (내역서 기준)

CO<sub>i</sub> : 각 자재별 CO<sub>2</sub> 배출량 원단위

예를 들어, 대상 건설 프로젝트에서 철근 폐기물로 인한 CO<sub>2</sub> 배출량은 표6과 같은 과정을 통해 산출된다.

표 6. 철근 폐기물로 인한 CO<sub>2</sub> 배출량 산출과정 예시

계산 항목	자료출처 및 계산식	결과값	단위
A	철근 구매 가격 내역서	1,659.44	백만원
B	철근 폐기물 발생 비율 폐기물 관리자 면담 폐기물 처리 기록	3	%
C	철근 CO <sub>2</sub> 배출량 원단위 건설교통부(2004) CO <sub>2</sub> 배출량 원단위 자료	12,214	Ton-CO <sub>2</sub> /백만원
D	철근 폐기물 배출로 인한 손실액 A×B	349.78	백만원
E	철근 폐기물로 인한 CO <sub>2</sub> 배출량 C×D	4,272.25	Ton-CO <sub>2</sub>

수집한 자료와 건설교통부(2004)의 “이산화탄소 배출 원단위 자료”를 이용하여 위의 산출과정에 따라 이산화탄소 배출량을 계산한 결과, 폐기물로 인해 총 6,818,123 kg-CO<sub>2</sub>의 이산화탄소가 배출되는 것으로 파악되었다. 또한, 단위면적(연면적)당 21.01 kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>의 이산화탄소가 배출되는 것으로 나타났고, 이 중 건축공사에서 20.41 kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, 토목공사에서 0.60 kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>가 발생하는 것으로 분석되어 폐기물로 인한 이산화탄소가 대부분 건축공종으로부터 배출되는 것을 알 수 있었다.

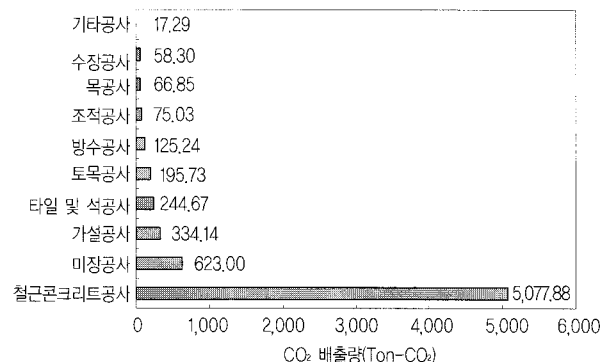


그림 3. 공종별 이산화탄소 배출량

자재별로는 철근류(62.7%), 가설자재류(14.2%), 시멘트류(12.2%), 레미콘(2.1%), 콘크리트 제품(2.0%), 타일(1.7%) 등의 자재가 폐기물로 인한 전체 이산화탄소 배출량 중 95% 정도를 배출하는 것으로 분석되었다.(표5 참조)

공종별로는 철근콘크리트공사, 미장공사, 가설공사, 타일 및 석공사에서 발생하는 이산화탄소 배출량이 전체 공종 중 92% 이상 차지하는 것으로 조사되었다.(그림3 참조)

### 3.3 전과정 해석

#### (1) 자재별 특성 해석

표4의 “단위 CO<sub>2</sub> 배출량”을 살펴보면, 폐기물로 인해 이산화탄소가 많이 배출되는 것으로 조사된 철근, 가설자재, 시멘트, 레미콘, 시멘트벽돌 및 블록, 타일 등의 자재는 전반적으로 단위 이산화탄소 배출량이 큰 자재라는 특성을 가지고 있다. 즉, 폐기물량 자체가 다량 발생하는 자재보다는 생산 시 단위 이산화탄소 발생량이 많은 자재가 건설(시공)단계에 발생하는 이산화탄소량에 더 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 이러한 분석결과를 반영하여 폐기물 관리방안 계획 시 단위 이산화탄소 배출량이 큰 “철근, 가설자재(방진망, 비계, 동바리, 합판), 시멘트, 레미콘, 시멘트벽돌 및 블록, 타일” 등의 자재를 중심으로 폐기물 저감 방안을 수립한다면 건설(시공)단계에서 발생하는 이산화탄소 배출량을 현저히 저감할 수 있을 것이다.

#### (2) 공종별 특성 해석

폐기물로 인해 이산화탄소를 다량 배출하는 공종 중 철근콘크리트공사, 미장공사, 타일 및 석공사는 폐기물 종류가 다양하지는 않지만 단위 이산화탄소 발생량이 많은 자재가 대량으로 투입되는 특성을 가지고 있다. 이는 위에서 언급한 자재별 특성과도 연관된 내용으로서, 철근, 시멘트, 레미콘 등과 같이 주로 단위 이산화탄소 발생량이 많은 자재가 투입되는 공종이다. 또한, 가설공사는 공사 중 파손되는 자재량이 타 공종에 비해 많고, 일부 자재는 사용 후 전량 폐기되고 있어서 폐기물로 인한 이산화탄소 배출량 증가에 심각한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

공정 측면의 특성을 살펴보면, 철근콘크리트공사, 가설공사, 미장공사 등은 전체 공정 중 초중반에 걸쳐 수행되는 공종으로서 폐기물로 인한 이산화탄소 배출량을 효과적으로 줄이기 위해서는 이들 공종이 수행되는 공사 초중반에 폐기물 관리 노력이 집중되어야함을 의미한다. 그러나 면담결과 현장의 폐기물 관리자들은 공정 상 중후반에 수행되는 마감공종에서 동시에 다양한 폐기물이 발생되고, 폐기물량도 다량 발생하며, 이로 인해 폐기

물이 혼합되는 경향이 있으므로 마감공종 단계의 폐기물 관리가 가장 중요하다고 생각하고 있었다. 즉, 이러한 인식의 차이가 폐기물로 인한 이산화탄소 배출량 증가의 원인 중 하나로 작용했을 가능성이 있다.

#### (3) 전과정평가(LCA) 수행 결과 해석의 한계

본 연구에서 전과정평가(LCA) 결과로서 제시된 정량적 수치들은 평가 대상 건설프로젝트에 한정되므로 대표성을 가진다고 보기 어렵다. 또한, 폐기물 발생량 조사 시 자재별로 실제 발생한 폐기물량을 기록한 자료가 없어서 내역서와 폐기물 관리자의 경험에 기반하여 발생량을 조사함에 따라 불완전한 자료를 활용한 결과라고 볼 수 있다. 이는 국내 건설현장의 경우 폐기물 관리에 대한 중요성을 품질관리나 공정관리 등과 같은 타 관리 분야에 비해 현저히 낮게 인식하고 있어서 폐기물에 대한 정확한 정보를 기록하는 건설현장이 거의 없는 데 그 원인이 있다. 따라서 폐기물과 연관된 연구 및 평가를 보다 효과적으로 수행하기 위해서는 건설현장에서 발생하는 폐기물의 종류와 발생량을 정확히 파악할 필요성이 대두된다.

그러나 본 연구에서 수행한 전과정평가(LCA) 대상과 유사한 고층 주거건물(아파트) 건설프로젝트의 경우 투입되는 자재의 종류와 공종 및 공정이 유사하고, 국내 건설현장의 폐기물 관리 기술이 크게 발전되지 않아서 자재별, 공종별 폐기물 발생 종류와 비율이 유사할 것이라는 폐기물 관리자들의 의견을 감안한다면 참고자료로서 활용이 가능할 것으로 본다.

## 4. 폐기물 관리방안 수립 기준

건설폐기물로 인한 이산화탄소 배출량을 효과적으로 줄이기 위해 지금까지 파악한 자재별, 공종별 이산화탄소 배출 특성을 반영하여 다음과 같은 폐기물 관리 방안 수립 기준이 제시될 수 있다.

- (1) 철근 및 철판류, 시멘트류, 레미콘, 콘크리트 제품 등과 같이 자재 생산 시 단위 이산화탄소 배출량이 많은 자재를 중심으로 폐기물 저감 계획을 수립한다. (예: 위 자재의 공장 가공 확대, 자재 과다 주문 방지, 자재규격에 맞는 설계 및 시공 등)
- (2) 자재 생산 시 단위 이산화탄소 배출량이 적은 자재를 선택한다. (예: 자재업체에 전과정평가(LCA) 자료 요청 등)
- (3) 가설자재의 파손률을 줄이고, 재사용 및 재활용할 수 있는 방안을 수립한다. (예: 자재 파손률 저감 목표 설정 등)

(4) 폐기물로 인해 다량의 이산화탄소가 배출되는 공종인 철근콘크리트공사, 가설공사, 미장공사 등의 폐기물 관리 프로세스를 세부적으로 제시한다. (예: 공종별로 원도급업체의 폐기물 관리 프로세스 제시, 공종별로 하도급업체에게 폐기물 관리 프로세스 수립 요구 등)

## 5. 결론

지구온난화를 일으키는 주요 온실가스가 이산화탄소임이 공표되고, 이의 배출 감축을 유도하기 위한 국내외적 규제가 강화됨에 따라 국내 건설산업에서도 생산과정에서 배출되는 이산화탄소량을 줄이기 위한 노력이 절실히 요구되고 있다. 이의 일환으로서 본 연구는 심각한 이산화탄소 배출원 중 하나인 건설폐기물에 대해 전과정평가(LCA)를 수행하여 건설폐기물로 인해 배출되는 이산화탄소의 특성을 파악하고, 그 결과를 토대로 건설현장에서 이산화탄소 배출량을 효과적으로 줄일 수 있는 폐기물 관리방안 수립 기준을 제시하고자 하였다.

전과정평가(LCA) 결과, 자재별로는 철근류, 가설자재류, 시멘트류, 레미콘, 콘크리트 제품, 타일 등의 자재가 폐기물로 인한 전체 이산화탄소 배출량 중 95% 정도를 배출하는 것으로 나타났다. 이들 자재의 이산화탄소 배출량이 많은 원인은 폐기물 발생량보다는 자재 생산에 필요한 단위 이산화탄소 발생량이 높기 때문인 것으로 분석되었다. 공종별로는 철근콘크리트공사, 미장공사, 가설공사 등과 같이 전체 공정 중 초중반에 걸쳐 수행되는 공종에서 발생하는 이산화탄소 배출량이 전체 공종 중 92% 이상 차지하는 것으로 조사되었다. 반면, 폐기물 관리자들은 공정 중후반에 수행되는 마감공종의 폐기물 관리에 집중하고 있는 것으로 파악되어, 폐기물로 인한 이산화탄소 배출량 증가 원인 중 하나로 작용하고 있었다. 또한, 평가결과를 반영하여 이산화탄소 배출량을 효과적으로 줄일 수 있는 건설폐기물 관리방안 수립 기준을 제시하였다.

현재 건설폐기물 관리에 대한 중요성이 점차 확대되어 가고 있으나 건설현장 차원에서는 공정관리나 품질관리와 같은 타 관리 분야에 비해 중요성이 떨어져 폐기물 관련 자료를 정확히 기록하는 건설현장이 거의 없는 실정이다. 이로 인해 본 연구에서는 내역서와 폐기물관리자의 경험과 몇몇 폐기물의 처리기록에 기반하여 전과정평가(LCA)를 수행하였다. 이러한 한계를 극복하기 위해서는 무엇보다도 건설현장 차원의 정확한 폐기물 관리 기록이 우선되어야 할 것이다. 향후 정확한 폐기물 관련 자료에 근거하여 연구를 수행한다면 보다 효과적으로 이산화탄소 배출을 저감할 수 있는 폐기물 관리 방안 수립기준이 제시될 수 있을

것이다. 또한, 이를 기반으로 건설현장 차원의 구체적인 폐기물 관리 방안이 수립되고 실행된다면 친환경적인 건설 생산 시스템 구축에 기여할 수 있을 것이다.

## 참고문헌

1. 건설교통부 한국건설교통기술평가원, “건축물의 LCA를 위한 원단위 작성 및 프로그램 개발 연구”, 2004.
2. 구해식, 허길양, 건설공사 폐기물의 감량화와 재활용에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집 21권 1호, 2001.
3. 기후변화협약대책위원회, 기후변화협약에 의거한 제2차 대한민국 국가보고서, 2003.
4. 김지혜, 차희성, 신동우, 고층 주거건물 프로젝트에서 발생하는 폐기물 발생패턴 및 발생 유발 요인 분석, 한국건설관리학회 논문집 제7권 3호, 2006.
5. 송태협, 이세현, 건설폐기물의 재활용 촉진방안 도출을 위한 실태조사 연구, 대한건축학회논문집 22권 1호, 2002.
6. 신동우, 윤종일, 건축공정과 연계한 현장폐기물 발생패턴 조사연구, 대한건축학회논문집 16권 6호, 2000.
7. 양극영, 윤여완, 이형택, 유현주, 김용준, 건설현장에서 발생하는 폐기물의 처리실태 파악에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집 19권 2호, 1999.
8. 이건모, 허탁, 김승도, 환경 전과정평가(LCA)의 이론과 지침, 한국품질환경인증협회, 1998.
9. 이종일, 신승상, 건설공사현장에서 발생하는 건설폐기물의 관리 및 처리에 관한 조사연구, 대한건축학회 논문집 14권 3호, 1998.
10. 임정수, 박선규, 김상규, 이도현, 김무한, 아파트 건설현장의 폐기물 발생 및 처리에 대한 연구, 대한건축학회논문집 18권 1호, 1998.
11. 한국은행, “산업연관표 해설”, 2004.
12. Environmental Protection Agency (EPA in US), “Solid waste and management and greenhouse gases: A life-cycle assessment of emissions and sinks”, 2002.
13. Lee, K.M. and Inaba, A., “Life Cycle Assessment: Best practices of ISO 14040 series”, Committee on Trade and Investment of Korea, 2004.
14. OECD, “Carbon dioxide emissions embodied in international trade of goods”, STI working paper 2003/15, 2003.
15. OECD/IEA, “CO2 Emissions from Fuel



Combustions”, 2004.

16.OECD, “OECD Input-Output tables (edition 2006)”,  
2007.

논문제출일: 2007.05.25

심사완료일: 2007.09.10

---

### Abstract

As the amount of CO<sub>2</sub> emission in Korea is ranked 9th and the increasing rate of CO<sub>2</sub> emission is highest in the world, it is strongly necessary to devise methods to decrease the amount of CO<sub>2</sub> in each industry as the basis of establishing environmentally sustainable production system. This paper aims to identify the characteristics of CO<sub>2</sub> emissions from construction wastes throughout the simplified LCA (Life Cycle Assessment) and suggest the strategic guideline for the construction waste management plan to decrease CO<sub>2</sub>. As a result of LCA on the case of a high-rise residential building project, total sum of CO<sub>2</sub> emission generated from construction wastes appeared as 6,818,123kg-CO<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> emission per unit floor area as 21.01kg-CO<sub>2</sub>/β<sup>2</sup>. The principal waste materials generating more than 95% of CO<sub>2</sub> are materials such as reinforcing bar, temporary materials, cement, ready-mixed-concrete, concrete products, and tile, which have relatively high unit emission rate of CO<sub>2</sub> in the process of production. Besides, more than 92% of CO<sub>2</sub> was generated from the activities such as structure work, plaster work, temporary work, and tile and stone work, which are generally executed in the early phase of the whole construction period. Reflecting these results, the guideline for the construction waste management plan was recommended. If the waste management plan is established considering the guideline suggested, there would be high potential to decrease the amount of CO<sub>2</sub> generated from construction wastes.

**Keywords** : CO<sub>2</sub> emission, construction waste, waste management, sustainable construction, Life Cycle Assessment(LCA)

---