

건설현장의 CO₂ 배출 저감형 콘크리트 조달에 관한 사례분석

A Case Study for Procurement of CO₂ Emissions Reduction Concrete
in the Construction Site

최원영¹, 태성호², 노승준³

¹한국건설기술연구원 건축도시연구소, ²한양대학교 공학대학 건축학부,
³한양대학교 건설구조물 내구성혁신 연구센터(ERC)

Won Young Choi¹, Sung Ho Tae², Seung Jun Roh³

¹Building and Urban Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology,
²School of Architecture & Architectural Engineering, Hanyang University, ³Innovative Durable
Building and Infrastructure Research Center (ERC), Hanyang University

사단법인 한국전과정평가학회

The Korean Society for Life Cycle Assessment

건설현장의 CO₂ 배출 저감형 콘크리트 조달에 관한 사례분석

최원영¹, 태성호^{2*}, 노승준³

¹한국건설기술연구원 건축도시연구소, ²한양대학교 공학대학 건축학부,

³한양대학교 건설구조물 내구성혁신 연구센터(ERC)

A Case Study for Procurement of CO₂ Emissions Reduction Concrete in the Construction Site

Won Young Choi¹, Sung Ho Tae^{2*}, Seung Jun Roh³

¹Building and Urban Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology,

²School of Architecture & Architectural Engineering, Hanyang University,

³Innovative Durable Building and Infrastructure Research Center (ERC), Hanyang University

Abstract

The purpose of this study is to conduct a case study for procurement of CO₂ emissions reduction concrete in the construction site. For this purpose, mix-proportion and energy consumption for ready mixed concrete were collected from 27 ready mixed concrete manufacturing plant in Korea using on-line questionnaire, visiting, telephone conversation and so on. And Concrete CO₂ emission assessment was conducted observing Life Cycle Assessment method defined by ISO 14040 series with mix-proportion and energy consumption. With this, CO₂ emission characteristic was analyzed dividing into the group such as compressive strength, admixture, plant region using the result of assessment. Furthermore, comparison analysis of real CO₂ emission of a concrete plant and the minimum CO₂ emission following was conducted.

Keywords: LCA, Concrete, Construction Site, CO₂.

1. 서론

CO₂ 배출량 등 온실가스의 증가는 지구온난화의 주요 원인으로 지적되고 있다. 한편, 국내 건설 산업은 국내 전 산업 에너지 소비량의 23%, CO₂ 배출량의 40%를 차지¹⁾하는 반(反) 환경 산업으로 인식되어지고 있는바, 친환경 건설 산업으로 전환하기 위한 노력이 요구되고 있다. 이 중 콘크리트는 시멘트, 골재, 혼화재료 등 원재료의 생산과정에서부터 콘크리트의 제조에 이르기까지 다량의 CO₂ 배출량을 발생하고 있다. 이에 미국 및 유럽 등 환경 선진국을 중심으로 탄소저감형 콘크리트의 개발과 에너지 절약형 콘크리트 생산 등에 관한 연구, 산업부산물인 플라이애시와 고로

* 교신저자: 태성호 교수, (15588) 경기도 안산시 상록구 한양대학로 55 한양대학교 에리카 캠퍼스 제2공학관 211호,
Tel: 031-400-5187, Fax: 031-406-7118, Email: jnb55@hanyang.ac.kr

슬래그미분달이 다량 혼입된 다양한 배합설계의 콘크리트 제조에 관한 연구가 중점적으로 이루어지고 있으며, 이를 건설현장까지 적정한 방법으로 조달하여 적합하게 사용할 수 있는 방안에 대해서도 많은 관심이 고조되고 있다. 따라서 본 연구는 탄소저감형 건축물 건설을 위한 연구의 일환으로 건설현장의 CO₂ 배출 저감형 콘크리트 조달에 관한 사례분석을 목적으로 한다.

이를 위해 국내 27개의 레미콘 생산공장을 대상으로 현장방문, 온라인설문지 및 전화면담 등을 실시하여 레미콘 강도별 배합보고서와 에너지사용량 등의 자료를 수집하였고, 수집된 레미콘 원재료 배합설계와 생산지와의 거리, 제조 시의 에너지사용량 등의 자료를 이용하여 국내에서 시판되고 있는 콘크리트의 CO₂ 배출량을 정량적으로 평가하였다. 이때, 콘크리트의 CO₂ 배출량 평가는 콘크리트의 압축강도별, 혼화재료별, 출하현장별, 공장지역별, 절기별로 구분하여 CO₂ 배출량의 특성을 분석하였다. 이렇게 평가된 국내 콘크리트의 CO₂ 배출량 정보를 이용하여 국내에 시공된 건축물을 대상으로 한 건설현장의 CO₂ 배출 저감형 콘크리트 조달 사례분석을 실시하였다.

2. 콘크리트 배합 및 에너지 정보 수집

본 연구에서는 건설현장의 CO₂ 배출 저감형 콘크리트 조달에 관한 사례분석 연구에서 활용될 콘크리트의 CO₂ 배출량 평가를 위해 레미콘의 압축강도에 따른 배합보고서와 에너지사용량 등의 자료를 수집하였다. 이때, 레미콘 통계연보²⁾에서 발표된 레미콘 생산량을 기준으로 국내 레미콘 총생산량의 60%이상을 생산하고 있는 상위 16개 업체 중 7개 업체의 27개 공장을 대상으로 현장방문, 온라인 설문지, 전화면담 등을 실시하였고, Table 1과 같이 콘크리트 압축강도별(18MPa, 21MPa, 24MPa, 27MPa, 30MPa) 배합보고서와 공장에서 사용된 전력, 유류(경유/등유), 상수도의 연간 에너지사용량, 연간 레미콘 생산량 자료 등의 정보를 수집하였다. 본 연구에서 조사된 배합보고서는 절기에 따른 레미콘 1m³당 보통시멘트, 굵은골재, 잔골재, 혼화재료 등과 같은 각 재료의 양과 각 재료들의 생산지가 표기되어 있음을 확인하였고, 수집된 각 자료를 이용하여 콘크리트의 압축강도별, 혼화재료별, 출하현장별, 공장지역별, 절기별 등에 따른 CO₂ 배출량을 평가하였다.

Table 1. 배합보고서 및 에너지 사용량 예시

강도 [MPa]	절기	단위 배합량 (kg/m ³)						
		시멘트	굵은골재	잔골재	고로슬래그미분말	플라이애시	물	혼화제
18	표준기	230	907	988	-	37	173	3.14
	동절기	264	909	930	-	29	173	3.37
	생산지	영월	용인	인천	-	당진	지하수	인천
21	표준기	271	916	911	-	40	172	3.42
	동절기	286	919	902	-	32	172	3.65
	생산지	영월	파주	인천	-	당진	상수도	인천
24	표준기	229	857	944	47	47	172	1.58
	동절기	304	848	914	-	34	183	1.69
	생산지	단양	파주	인천	인천	태안	상수도	평택
종류		에너지사용량 (단위/year)						
		A공장		B공장		C공장		
전력[kwh]		1,895,631		1,729,327		998,430		
유류[L]		144,482		178,242		169,771		
상수도[ton]		86,728		107,182		51,441		

3. 콘크리트의 생산단계별 CO₂ 배출량 평가방법

본 연구에서는 전과정 평가 기법을 준용하여 식 (1)과 같이 콘크리트의 생산단계별 CO₂ 배출량을 평가하였다. 이때, 원재료 및 에너지원별 지구온난화지수를 이용하여 분류화 및 특성화에 대한 절차를 간소화하였다.

$$CO_2 Con'c = \sum CO_2(i) \dots\dots\dots (1)$$

여기서 CO₂ Con'c는 단위 콘크리트 생산 시 배출하는 CO₂ 배출량[kg-CO₂/m³], CO₂(i)는 단위 콘크리트 생산 시 (i)단계별 CO₂ 배출량[kg-CO₂/m³]을 나타낸다.

3.1 원자재 생산단계

콘크리트를 구성하는 원자재는 시멘트, 물, 굵은골재, 잔골재, 혼화재료 등이다. 이에 본 연구에서는 식 (2)를 이용하여 앞서 수집된 배합보고서 내 원재료의 투입량과 CO₂ 원단위를 이용하여 CO₂ 배출량을 산정하였다.

$$CO_{2M} = \sum (M(i) \times \text{원단위}_{M,CO_2}) \dots\dots\dots (2)$$

여기서 CO_{2M}은 단위 콘크리트 생산에 따른 원자재 생산단계의 CO₂ 배출량[kg-CO₂/m³], M(i)은 콘크리트 1m³ 당 각 재료의 사용량[kg], 원단위_{M,CO₂}는 각 재료의 CO₂ 원단위[kg-CO₂/kg]이다.

3.2 운송 단계

운송단계의 CO₂ 배출량을 평가하기 위해서는 원자재의 투입량과 원자재별 운송수단 등을 파악해야 한다. 본 연구에서는 배합보고서에 기초한 원자재별 투입량 정보를 이용하여 운송차량의 대수를 산출하였고, 식 (3)과 같이 운송거리와 운송차량별 연비를 고려하여 운송단계의 CO₂ 배출량을 평가하였다.

$$CO_{2T} = \sum (M(i)/Lt) \times (d/e) \times \text{원단위}_{T,CO_2} \dots\dots\dots (3)$$

여기서 CO_{2T}는 단위 콘크리트 생산에 따른 운송단계의 CO₂배출량[kg-CO₂/m³], M(i)은 콘크리트 1m³ 당 각 재료[ton], Lt는 (i)재료별 운송장비의 적재량[ton], d는 운송거리[km], e는 연비[km/L] 원단위_{T,CO₂}는 운송장비의 에너지원 CO₂배출량 원단위[kg-CO₂/L]를 나타낸다.

3.3 제조 단계

콘크리트 제조단계 CO₂ 배출량은 식(4)와 같이 레미콘 생산량과 에너지사용량을 이용하여 평가할 수 있다. 즉, 각각의 레미콘 공장을 대상으로 연간 레미콘 생산량과 연간 에너지 및 용수(전력, 유류, 용수)을 조사하였고, 이에 대한 전체의 CO₂ 배출량을 산정한 후, 콘크리트의 생산량으로 나눠 콘크리트 1m³ 제조에 따른 CO₂ 배출량으로 산출하였다.

$$CO_{2F} = \sum (E(i)/R) \times \text{원단위}_{F,CO_2} \dots\dots\dots (4)$$

여기서 CO_{2F} 는 단위 콘크리트 제조단계의 CO_2 배출량[$kg-CO_2/m^3$], R는 연간 레미콘 생산량 [$m^3/year$], E(i)는 연간 에너지원별 사용량[단위/year], $원단위_{F,CO_2}$ 는 각 에너지원의 CO_2 배출량 원단위[$kg-CO_2/단위$]를 나타낸다.

4. 콘크리트의 CO_2 배출량 평가결과

국내 레미콘 생산업체 중 자료가 수집된 7개 업체의 27개 공장을 대상으로 시판되는 콘크리트에 대한 CO_2 배출량을 평가하였다. Table 2는 본 연구에서 평가된 레미콘 생산업체별 CO_2 배출량 평가결과를 나타내며, 이를 콘크리트의 압축강도별, 혼화재료별, 출하현장별, 공장지역별로 구분하여 CO_2 배출량에 대한 특성을 분석하였다.

Table 2. 레미콘 생산업체별 콘크리트의 CO_2 배출량 평가결과

업체	공장 위치	강도 [MPa]	CO_2 배출량 ($kg-CO_2/m^3$)			
			원자재 생산	운송	제조	합계
A	부천	24	227.1	1.5	2.1	230.7
	인천	30	225.3	1.5	2.8	229.7
	파주	24	280.8	2.1	2.3	285.2
	영종도	30	242.7	2.1	3.1	247.9
	성남	24	272.3	1.3	2.5	276.2
	용인	24	142.0	1.4	2.1	145.5
	의왕	21	244.8	1.5	1.8	248.1
	화성	24	219.6	1.6	2.0	223.2
	광주	24	174.8	1.4	1.7	177.9
	동해	24	303.5	4.8	1.2	309.5
	강릉	21	280.8	4.3	2.6	287.8
	대구	21	229.6	5.9	2.1	237.6
	구미	21	285.1	5.1	2.6	292.8
	포항	21	216.8	6.9	2.1	225.8
	서부산	24	176.8	5.6	1.3	183.6
	동부산	21	160.3	7.7	1.5	169.6
	김해	24	155.5	7.6	1.9	165.1
	울산	24	181.1	7.8	1.6	190.5
	창원	24	141.3	7.5	1.4	150.2
대전	24	257.8	3.7	1.7	263.2	
공주	24	254.2	3.9	1.3	259.5	
B	고양	21	268.1	1.1	1.8	271.0
C	고양	21	271.7	1.2	1.6	274.5
D	부천	21	232.7	0.8	2.0	235.5
E	부천	30	408.1	0.8	2.3	411.2
F	부천	30	411.8	1.2	2.2	415.2
G	부천	30	340.7	0.6	2.4	343.7

4.1 콘크리트 강도별 CO_2 배출량 분석

Fig 1는 본 연구에서 수행한 콘크리트의 압축강도별 CO_2 배출량 평가결과를 나타낸다. 즉, 레미콘 생산업체의 21MPa, 24MPa, 30MPa 콘크리트를 대상으로 배출된 CO_2 배출량 특성을 분석한 결과, 콘크리트는 압축강도가 증가에 따라 CO_2 배출량도 점차 증가하는 경향을 나타냈다. 이를 통해 시멘트의 증가율과 비례하며 압축강도와 시멘트의 사용량, 그리고 CO_2 배출량의 상관성을 확

인하였다. 즉, 콘크리트 강도가 증가에 따라 21MPa에서 최대값 292.8 kg-CO₂/m³ 불과하던 CO₂ 배출량이 30MPa에서는 최대값 415.2 kg-CO₂/m³까지 증가하였다. 한편, 동일강도별 콘크리트의 최대, 평균, 최소 CO₂ 배출량을 분석한 결과, 24MPa 콘크리트 경우 최대 CO₂ 배출량은 309.5 kg-CO₂/m³이고, 최소 CO₂ 배출량은 150.2 kg-CO₂/m³으로 나타났다. 이를 보다 세부적으로 비교한 결과, 콘크리트 전과정 CO₂ 배출량 평가단계 중 운송단계와 제조단계에서는 큰 차이가 없었지만 원자재 생산단계에서 많은 차이가 있음을 확인하였고, 이는 산업부산물인 고로시멘트, 고로슬래그미분말, 플라이애시 혼입량에 기인한 것으로 분석되었다.

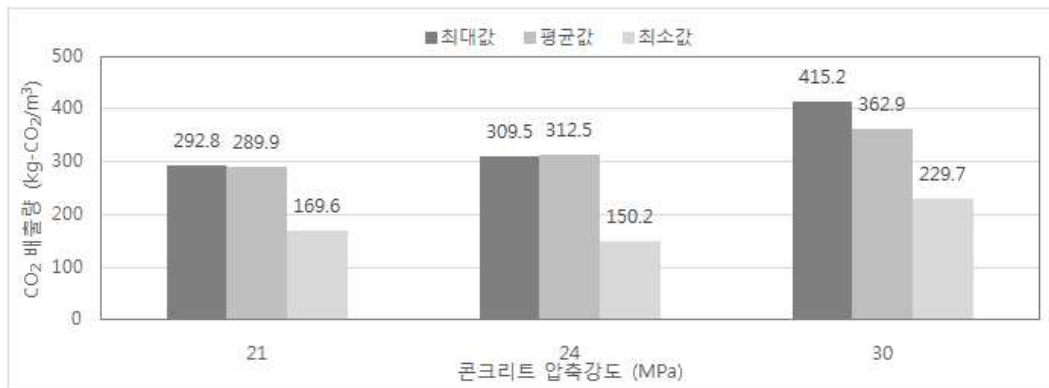


Figure 1. 콘크리트 강도별 CO₂ 배출량 평가결과

4.2 콘크리트 혼화재 종류별 CO₂ 배출량 분석

혼화재 종류에 따른 콘크리트 CO₂ 배출량 및 저감량의 변화율을 분석하기 위해 동일강도인 24MPa 콘크리트 배합설계들을 대상으로 혼화재에 따른 Case를 분류하였고, 이를 Table 3에 나타내었다. 그 결과, 보통시멘트와 고로시멘트, 플라이애시가 혼입된 Case2 경우 보통시멘트만 사용된 Case1에 비하여 약 60%의 CO₂ 배출량이 저감되는 것으로 나타났다. CO₂ 원단위가 큰 보통시멘트를 고로시멘트 60%, 플라이애시 15%로 치환함에 따라 CO₂ 배출량 저감에 기인한 것으로 분석되었다. 또한, 플라이애시만 혼입된 Case3과 플라이애시와 고로슬래그가 모두 혼입된 Case4의 CO₂ 배출량은 Case1에 비해 약 17%, 33% 저감됨을 알 수 있었다. 한편, 플라이애시만 혼입된 경우의 CO₂ 배출량이 고로슬래그만 혼입된 경우의 CO₂ 배출량보다 약 3% 더 저감되었는데 이는 각 CO₂ 원단위의 차이에 기인한 것으로 분석되었다.

Table 3. 24MPa 콘크리트의 혼화재별 CO₂ 배출량 및 저감량

구분	구분	CO ₂ 배출량 [kg-CO ₂ /m ³]	Case1대비 저감량[%]
Case1	OPC	362.6	0
Case2	OPC+SC+FA	141.8	60.9
Case3	OPC+FA	300.2	17.2
Case4	OPC+FA+SP	241.3	33.5
Case5	OPC+SP	311.6	14.1

* OPC: 보통포틀랜드시멘트 SC: 고로슬래그시멘트 FA: 플라이애시 SP: 고로슬래그미분말

4.3 레미콘 생산공장 지역별 CO₂ 배출량 분석

단일의 레미콘 생산업체가 각 지역별로 보유한 13개의 생산공장을 대상으로 24MPa 콘크리트에 대한 CO₂ 배출량을 Table 4와 같이 비교하였다. 분석결과 대상 업체의 레미콘 생산 공장 중 강원도 동해에 위치한 공장이 309.5 kg-CO₂/m³으로 가장 많은 CO₂ 배출량을 나타냈고, 경기도 용인에

위치한 공장이 145.5 kg-CO₂/m³으로 가장 적은 CO₂ 배출량을 나타냈다. 이러한 CO₂ 배출량의 차이는 각 지역에 따른 공장마다 적용하고 있는 배합설계가 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히, 전체 CO₂ 배출량 중 보통시멘트에 의한 CO₂ 배출량은 전체 배출량의 약 90%를 차지하였으며, 잔골재의 CO₂ 배출량은 전체 배출량 중 그 기여도가 가장 미미한 것으로 나타났다. 한편, 레미콘 생산 공장으로 콘크리트 원자재 수송 및 콘크리트 제조 시 배출되는 CO₂ 배출량은 약 4%, 2% 정도로 분석되었고, 가장 적은 CO₂ 배출량을 보인 용인공장의 24MPa 콘크리트는 국가 LCI DB의 CO₂ 배출 원단위인 420kg-CO₂/m³와 비교하여, 약 65.4%가 저감된 것으로 분석되었다.

Table 4. 지역별 콘크리트 CO₂ 배출량 및 저감량

강도 [MPa]	지역	CO ₂ 배출량 kg-CO ₂ /m ³	국가 LCI DB대비 저감량[%]
24	부천	230.7	45.1
	파주	285.2	32.1
	성남	276.2	34.3
	용인	145.5	65.4
	화성	223.2	46.9
	광주	177.9	57.7
	동해	309.5	26.4
	서부산	183.6	56.3
	김해	165.1	60.7
	울산	190.5	54.7
	창원	150.2	64.3
	대전	263.2	37.4
공주	259.5	39.3	

*국가 LCI DB 콘크리트(25-24-150) CO₂배출량 : 420kg-CO₂/m³

5. 건설현장의 CO₂ 배출 저감형 콘크리트 조달 사례분석

5.1 평가대상

앞서 분석된 콘크리트의 CO₂ 배출량 평가결과에 기초하여 건설현장의 CO₂ 배출 저감형 콘크리트 조달에 관한 사례분석 연구를 수행하였다. 본 평가대상은 Table 5와 같이 경기도 분당에 위치한 P건설업체의 오피스 건설현장으로 연면적은 219,000m², 규모는 지하 5층, 지상 12층이다.

Table 5. 사례분석 대상

위치	용도	연면적	건축면적	대지면적	공사기간	규모
경기도 분당	오피스 상가	462,000m ²	16,270m ²	28,192m ²	2009.06-2012.02	지하5층-지상12층

5.2 평가방법

본 연구에서는 실제 현장에 사용된 콘크리트와 앞서 조사된 콘크리트 생산 시 CO₂ 배출량이 최소인 레미콘 공장만의 콘크리트를 적용한 CO₂ 배출량을 평가하였다. CO₂ 배출량 평가범위는 Cradle to Gate에 해당되는 원자재 생산단계에서 제조단계까지 고려하였다. 각 단계별 CO₂ 배출

량 평가를 위해 콘크리트 원자재와 에너지사용량에 해당되는 시멘트, 골재, 트럭, 경유, 전력 등의 CO₂ 배출 원단위는 국가 LCI DB를 사용하였고, CO₂ 배출 원단위가 부재한 혼합재료는 해외 LCI DB를 사용하였다. 이때, Table 6, 7과 같이, 사례분석 건축물에 사용된 레미콘의 배합설계 및 생산지 등의 정보를 활용한 CO₂ 배출량을 평가하였고, 동일한 조건으로 Table 8과 같이 최소의 CO₂ 배출량을 나타낸 업체의 콘크리트를 적용하여 건설현장의 CO₂ 배출 저감형 콘크리트 조달에 따른 CO₂ 배출 저감성능을 분석하였다.

Table 6. 저감성능 평가방법

구분	기준	비교
	실제 사용된 콘크리트	최소 CO ₂ 배출 콘크리트
평가물량	실제사용량[m ³]	
평가범위	원자재 생산단계 - 운송단계 - 제조단계	
평가내용	콘크리트 규격별 CO ₂ 배출량 및 저감성능 분석	

Table 7. 콘크리트 배합설계 방식별 CO₂ 배출량

사용 콘크리트 (강도-슬럼프)	사용 물량 [m ³]	CO ₂ 배출량 [kg-CO ₂ /m ³]
18-80 (MPa-mm)	388.6	192.57
18-150 (MPa-mm)	16,750.8	209.24
24-210 (MPa-mm)	72,587.8	271.09
30-120 (MPa-mm)	166.8	268.47
30-150 (MPa-mm)	41,049.4	276.68
45-600 (MPa-mm)	2,949.0	388.66
48-600 (MPa-mm)	3,852.8	408.65

5.3 평가결과

Table 8은 본 사례분석 연구에서 도출한 콘크리트의 CO₂ 배출량 및 저감량을 나타낸다. Table 8에 의하면 사례 분석 건축물에 사용된 콘크리트를 규격별로 분류하여 CO₂ 배출량 평가결과 실제 조달 업체에서 조달 시 37,380,607 kg-CO₂되었으며, 최소 CO₂에서만 조달 시 34,901,026 kg-CO₂ 되는 것으로 나타났다. 최소 CO₂ 배출 업체만의 콘크리트를 사용하였을 경우에 실제 조달업체의 콘크리트 대비 약 6.6%의 CO₂ 배출량이 저감하는 것으로 평가되었다. 특히, 콘크리트의 사용 물량이 많은 24MPa-210mm와 30MPa-150mm의 경우 실제 조달업체 콘크리트에 비해 최소 CO₂ 배출 업체 콘크리트만을 적용 시 각각 약 2%, 15% 저감되는 것으로 나타났고, 콘크리트 규격 45MPa-600mm와 48MPa-600mm의 경우 실제 조달업체 콘크리트와 최소 CO₂ 배출 업체 콘크리트 적용 시 CO₂ 배출량이 거의 유사한 것으로 분석되었다. 이는 45MPa와 48MPa의 대하여 조사된 자료가 각각 2개, 3개로 충분한 자료가 조사되지 않았을 뿐만 아니라 CO₂ 배출량 값도 거의 유사했기 때문인 것으로 사료된다. 또한, 18MPa-80mm와 18MPa-150mm의 경우 실제 조달업체 콘크리트에 비해 최소 CO₂ 배출 업체 콘크리트만을 적용 시 각각 약 13%씩 저감되는 것으로 나타났다.

Table 8. 콘크리트의 CO₂ 배출량 및 저감량

콘크리트규격 [MPa-mm]	CO ₂ 배출량[kg-CO ₂]		실제 조달업체 대비 CO ₂ 배출저감량[%]
	실제 조달업체	최소CO ₂ 배출업체	
18-80	74,847	65,166	12.9
18-150	3,504,938	3,058,252	12.7
24-210	19,677,835	19,321,669	1.8
30-120	44,783	38,230	14.6
30-150	11,357,549	9,698,187	14.6
45-600	1,146,197	1,145,770	0.04
48-600	1,574,458	1,573,752	0.04
총합계	37,380,607	34,901,026	6.6

6. 결론

본 연구는 탄소저감형 건축물 건설을 위한 연구의 일환으로 건설현장의 CO₂ 배출 저감형 콘크리트 조달에 관한 사례분석을 목적으로 다음의 결론을 도출 하였다.

1. 실제 건설현장을 대상으로 한 CO₂ 배출 저감형 콘크리트 조달 사례분석 결과, 국내에서 시판되는 최소 CO₂ 배출 업체의 콘크리트를 사용하였을 경우, 실제 조달업체의 콘크리트 대비 약 6.6%의 CO₂ 배출량이 저감하는 것으로 평가되었다.
2. 콘크리트의 압축강도별 CO₂ 배출량 특성을 분석한 결과, 콘크리트는 압축강도가 증가에 따라 CO₂ 배출량도 점차 증가하는 경향을 나타냈다.
3. 본 연구 내에서 보통시멘트와 고로시멘트, 플라이애시가 혼입된 경우 보통시멘트만 사용된 콘크리트 대비 약 60%의 CO₂ 배출량이 저감되는 것으로 나타났으며, 이는 CO₂ 원단위가 큰 보통시멘트를 고로시멘트 60%, 플라이애시 15%로 치환함에 기인한 것으로 분석되었다.
4. 본 연구 내에서 경기도 용인에 위치한 공장이 145.5 kg-CO₂/m³으로 가장 적은 CO₂ 배출량을 나타냈으며, 이는 공장마다 적용하고 있는 배합설계가 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히, 전체 CO₂ 배출량 중 보통시멘트에 의한 CO₂ 배출량이 전체 배출량 중 약 90%를 차지하였고, 잔골재의 CO₂ 배출량은 그 기여도가 가장 미미한 것으로 나타났다.

본 연구결과를 통해 보통시멘트의 사용량에 따라 CO₂ 배출량 변화가 가장 큰 것을 확인 할 수 있었으며 CO₂ 배출 저감형 콘크리트 조달을 위한 가장 효과적인 방법으로는 각 지역별 공장에서의 시멘트 사용량을 최소화 하는 것이 적합할 것으로 사료된다.

7. 사사

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부, 교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임. (과제번호 : No. 2015R1A5A1037548, No. 2015R1D1A1A01057925)

8. 참고문헌

1. International Energy Agency, "World Energy Outlook 2016", 2016
2. 한국레미콘공업협회, 레미콘 통계연보, 2015
3. 한국환경산업기술원 국가 Life Cycle Index 데이터베이스 정보망, <http://www.edp.or.kr>
4. 이강희, 양재혁, 주요 건축자재의 에너지 소비와 이산화탄소 발생원단위 산정 연구, 대한건축학, Vol. 25, No.6, 2009
5. 日本土木學會, 콘크리트構造物의 環境性能照査指針 (試案), 2005
6. 정영선, 최경석, 강제식, 김종엽, 이승언, 건축물의 LCA를 위한 프로그램 개발 연구, 대한건축학회 학술발표대회, Vol.25, No. 1, 2005, pp. 27~30
7. Knut O. Kjellsen, Maria Guim araes, Asa Nilsson, The CO₂ Balance of Concrete in a Life Cycle Perspective, Nordic Innovation Centre, 2005
8. 이명규, 김광서, 이근호, 정상화, 순환골재 및 고로슬래그 시멘트를 사용한 증기양생 콘크리트의 강도 특성, 한국콘크리트학회, Vol 17, No. 4, 2005, pp. 613~620
9. 이종식, 강혜진, 박진철, 이연구, 공동주택 건축기술요소의 CO₂ 배출성능평가에 관한 연구, 대한건축학회, Vol. 25, No. 9, 2009, pp. 275~282
10. John Gale, Sources of CO₂, IPCC Special Report on Carbon dioxide Capture and Storage, 2006