

# 목표 탄소배출량 저감을 고려한 콘크리트 구조물의 설계 절차

## Design Approach of Concrete Structures Considering the Targeted CO<sub>2</sub> Reduction

정연백<sup>1\*</sup> · 양근혁<sup>2</sup>Yeon-Back Jung<sup>1\*</sup> · Keun-Hyeok Yang<sup>2</sup>

(Received June 16, 2015 / Revised June 23, 2015 / Accepted June 26, 2015)

The objective of this study is to present the design approach of low CO<sub>2</sub> concrete structures for reduction of CO<sub>2</sub> emissions. The design approach was implemented considering the system boundary for each processing presented in the ISO 13315-2. As for life-cycle inventory(LCI) for CO<sub>2</sub> assessment of concrete structures, data provided from domestic LCI DB was used. Based on the process presented in this study, case studies on the life-cycle CO<sub>2</sub> assessment of shear wall concrete structure was conducted. As substitution level of GGBS is 25%, the amount of CO<sub>2</sub> emissions and CO<sub>2</sub> uptake by concrete carbonation was decreased in the material, demolition and crushing, and transport phase. The amount of CO<sub>2</sub> emissions of column and total member was decreased by 26% and 22% respectively, compared to that of OPC.

**키워드 :** 저탄소, 콘크리트 구조물, 설계 절차

**Keywords :** Low CO<sub>2</sub>, Concrete structures, Design approach

### 1. 서론

콘크리트의 주요 구성성분인 시멘트의 CO<sub>2</sub> 원단위는 우리나라의 경우 약 0.931 CO<sub>2</sub>-kg/kg으로서 세계 평균인 0.81 CO<sub>2</sub>-kg/kg에 비해 약 1.15배 높다. 국내 연간 시멘트 생산으로부터 배출되는 CO<sub>2</sub> 양은 약 4,500만 톤으로 평가되고 있으며, 이는 우리나라 전체 CO<sub>2</sub> 배출량의 약 6.5%에 해당한다(Lee and Kim 2011). 따라서 콘크리트 산업에서 CO<sub>2</sub> 배출 저감을 위한 대책은 매우 중요한 이슈임이 분명하다.

콘크리트에서 시멘트의 구성비율은 약 30% 이하이지만 시멘트에서 배출되는 CO<sub>2</sub> 양은 콘크리트 전과정 CO<sub>2</sub> 배출량의 약 85% 이상을 차지한다(Yang and Moon 2012). 이에 따라 저탄소 콘크리트 구조물의 설계 및 시공을 위하여 가장 보편적 접근방법인 고로 슬래그(GGBS)나 플라이애시(FA)와 같은 혼화재의 시멘트 치환은 2000년대 이후 더욱 주목을 받고 있다. 더군다나 GGBS나 FA의

시멘트 치환은 천연자원 보전 및 산업부산물의 재활용이라는 부가적인 효과도 기대할 수 있다. 따라서 콘크리트 구조물의 전과정 CO<sub>2</sub> 배출에 대한 혼화재 치환의 영향을 정량적으로 평가할 수 있는 자료의 제시는 환경경영 기반의 시방서 및 설계기준의 확립을 위하여 중요하게 이용될 수 있다.

최근 미국에서는 LEED라는 친환경건축물 인증제도와 더불어 자연환경과 건물 거주자를 위하여 건설되어지는 환경의 부정적인 영향을 최소화하고 긍정적인 영향을 최대화하여 환경을 지키면서 건강하고 안전하게 잘 살 수 있는 최소한의 요구사항을 제공하는 표준지침인 IgCC (international green construction code 2012)를 만들었다. IgCC (2012)에서는 건축물에서 전과정 평가에 의한 CO<sub>2</sub> 저감률을 동일 규모의 기존 건축물 대비 20% 이상을 요구하고 있다. 따라서 콘크리트 구조물 설계단계에서 전과정 CO<sub>2</sub> 배출량을 정량적으로 평가 파악하고 목표 CO<sub>2</sub> 배출 저감률을 만족할 수 있는 전과정 CO<sub>2</sub> 저감에 기반한 콘크리트 구조물 설계방법이

\* Corresponding author E-mail: [caujyb@naver.com](mailto:caujyb@naver.com)

<sup>1</sup>경기대학교 일반대학원 건축공학과 (Department of Architectural Engineering, Kyonggi University Graduate School, Kyonggi-do, 443-760, Korea)

<sup>2</sup>경기대학교 플랜트·건축공학과 (Department of Plant·Architectural Engineering, Kyonggi University, Kyonggi-do, 443-760, Korea)

필요하다.

이에 본 연구에서는 콘크리트 구성요소들인 원재료들의 전과정(채취, 운반, 콘크리트 생산과 타설, 구조물 사용과 해체, 해체된 콘크리트의 파쇄 및 재활용 등)에 대한 CO<sub>2</sub> 배출 및 포집 등에 대한 정량적인 평가를 실시하고 이를 토대로 전과정 CO<sub>2</sub> 평가에 기반한 콘크리트 구조물 설계방법을 제시하고자 한다.

## 2. 저탄소 콘크리트 구조물 설계 절차

전과정 CO<sub>2</sub> 평가에 기반한 저탄소 콘크리트 구조물 설계 절차는 ISO 13315-2(2013)에서 요구하는 시스템 경계를 이용하여 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있다. 콘크리트 구조물의 전과정 평가를 수행하기 위한 전과정 목록(life-cycle inventory, LCI)은 기본적으로 국가에서 구축한 LCI 데이터베이스 정보망을 이용하였다.

### 2.1 각 단계별 평가 절차

저탄소 콘크리트 구조물의 설계 절차는 다음과 같다.

#### 2.1.1 재료선정 단계

이 단계에서는 사용자가 사용하는 콘크리트의 설계 압축강도( $f_{ck}$ ) 및 목표 CO<sub>2</sub> 저감률을 설정한다. 목표 CO<sub>2</sub> 저감률을 만족하기 위한 콘크리트 배합설계(결합재 설계,  $W/B$  결정,  $S/a$  산정

등)는 Jung and Yang(2015) 이 제시한 모델식 및 설계차트를 이용한다(Process A).

#### 2.1.2 구조 설계 단계

이 단계에서는 구조물의 역학적 특성을 고려하여 여러 가지 구조 시스템 및 공법을 적용하여 가장 적절한 시스템을 결정한다. 구조물에 작용하는 하중조건(중력하중, 활하중, 지진하중, 풍하중 등)을 적용하여 재료단계에서 결정된 콘크리트의 설계강도 및 철근의 항복강도를 고려하여 적절한 부재 단면 크기를 결정한다. 압축부재의 경우 콘크리트 압축강도를 증가시키고, 휨부재의 경우 콘크리트의 압축강도를 감소시키는 것이 일반적으로 CO<sub>2</sub> 저감에 효과적이다(Lee et al, 2013)(Process B).

#### 2.1.3 콘크리트 구조물의 시공 단계

이 단계에서는 Yang et al.(2014) 이 제시한 CO<sub>2</sub> 평가절차를 이용하여 콘크리트 타설 단계에서의 CO<sub>2</sub> 배출량을 산정한다. 에너지원이 경유인 펌프차는 붐대 길이에 따라 CO<sub>2</sub> 원단위가 차이가 있는데, 붐대 길이가 28m인 경우 CO<sub>2</sub> 원단위는 3.06 CO<sub>2</sub>-kg/m<sup>3</sup>이며, 붐대 길이가 52m인 경우 CO<sub>2</sub> 원단위는 6.2 CO<sub>2</sub>-kg/m<sup>3</sup>이다(Han 2011). 진동기는 에너지원이 전기로서 콘크리트 1m<sup>3</sup>의 진동을 위한 시간을 5분으로 가정하면, 진동기의 CO<sub>2</sub> 원단위는 0.18 CO<sub>2</sub>-kg/m<sup>3</sup>이다.

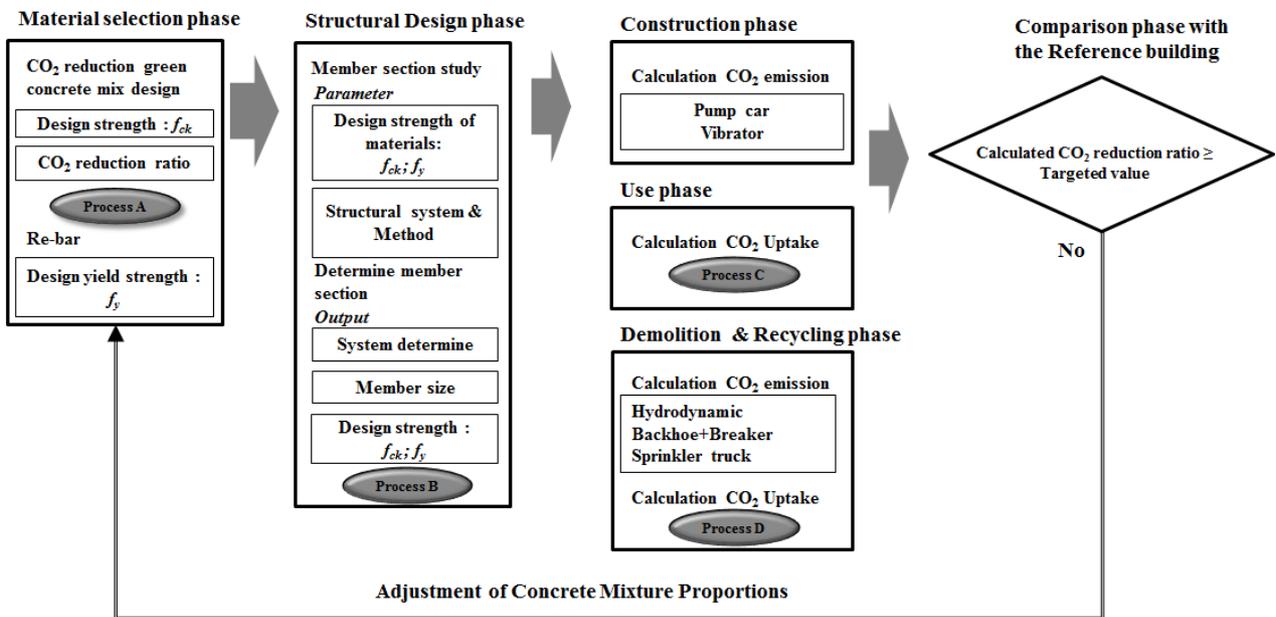


Fig. 1. Concrete structural design process for targeted CO<sub>2</sub> reduction

### 2.1.4 구조물 사용 단계

이 단계에서는 Yang et al.(2014)이 제시한 콘크리트 탄산화에 의한 CO<sub>2</sub> 포집량 평가 방법을 이용하여 Process C와 같이 CO<sub>2</sub> 포집량을 산정한다.

### 2.1.5 해체 및 재활용 단계

이 단계에서는 Yang et al.(2014)이 제시한 CO<sub>2</sub> 평가절차 및 CO<sub>2</sub> 포집량 평가방법을 이용하여 Process D와 같이 구조물 해체,

폐콘크리트의 파쇄 및 재활용 단계에서의 CO<sub>2</sub> 배출량을 산정하여 환경영향을 평가한다. 구조물 해체단계에서의 CO<sub>2</sub> 배출량은 해체 방식(대형기계식, 발파식)에 따른 해체장비의 유류 및 전력소비량을 이용하여 산정될 수 있다. 해체장비는 압쇄기, 유압식 백호, 대형브레이크 및 살수차 등이 고려될 수 있다. 이들 장비들의 소비 에너지로부터 콘크리트 해체를 위한 CO<sub>2</sub> 원단위는 6.61 CO<sub>2</sub>-kg/m<sup>3</sup>이다.

### 2.1.6 Reference Building과 비교 단계

산출된 콘크리트의 전과정 CO<sub>2</sub> 발생량을 Reference building

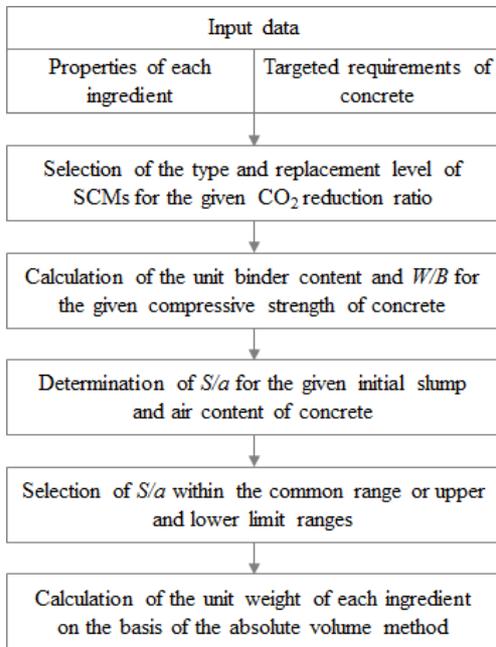


Fig. 2. Details of process A given in Fig. 1

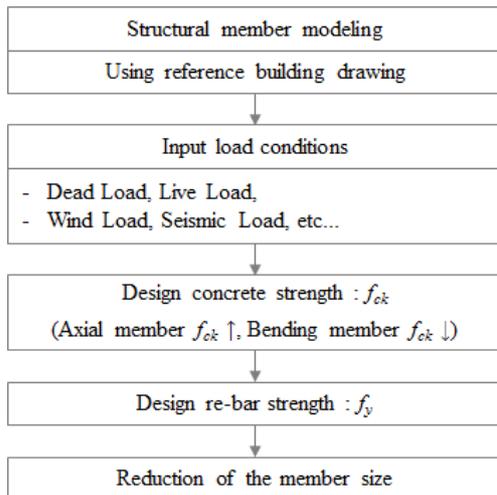


Fig. 3. Details of process B given in Fig. 1

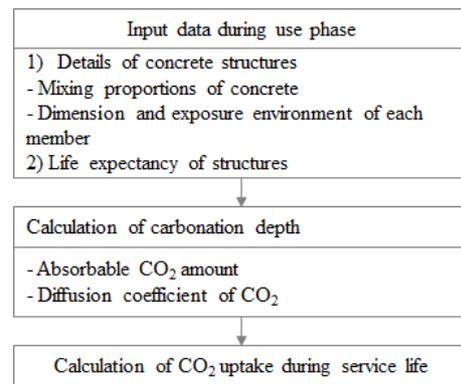


Fig. 4. Details of process C given in Fig. 1

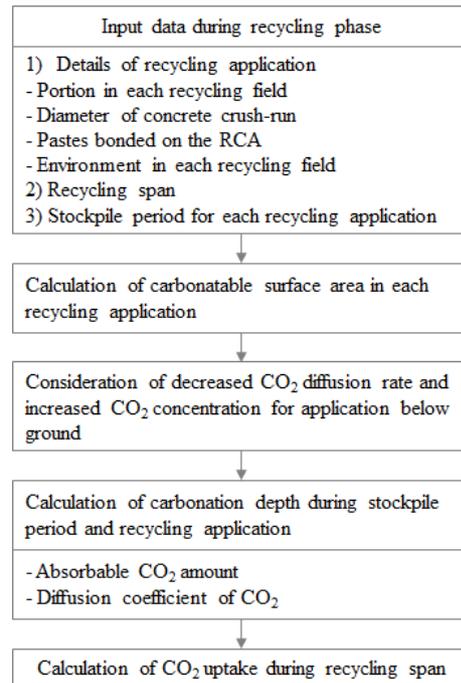


Fig. 5. Details of process D given in Fig. 1

과 비교하여 목표 CO<sub>2</sub> 저감률 및 산업부산물 재활용율에 만족하는지 검토한다. 만약 만족하지 않는 경우에는 1단계 재료 선정부터 재산정한다. IgCC에서는 IBC의 구조성능 요구조건과 IgCC의 최소 에너지 요구조건을 만족하는 프로젝트 Building과 비슷한 유효 바닥면적, 기능 및 배치를 갖는 Building을 Reference Building으로 간주한다. 국내에서는 국내 구조 기준 및 에너지 요구조건을 만족하는 프로젝트 Building을 Reference Building으로 비교하도록 한다.

### 3. Parametric Study

#### 3.1 대상 건물 선정

앞에서 제시한 CO<sub>2</sub> 배출 저감을 위한 콘크리트 구조물의 전과정 CO<sub>2</sub> 평가 방법에 기반하여 전단벽 콘크리트 구조물을 대상으로 전과정 CO<sub>2</sub> 평가에 대한 사례 분석을 하였다.

사례분석 대상은 서울에 위치한 지상 12층 규모의 철근 콘크리트 구조물로서 콘크리트 압축강도 및 배합조건에 따른 전과정 CO<sub>2</sub> 발생량 및 포집량을 비교·평가하였다.

사례연구를 위해 선택된 구조물의 부재별 콘크리트 설계강도는 Table 1에 나타내었으며, 배합표는 인천 남동구에 위치하는 R 레미콘사에서 제공하는 것을 이용하였다(Table 2). 하중 조건 및 검토 기준은 국토해양부 고시 건축구조설계기준(KBC2009)에 근거하여 풍하중과 지진하중을 고려하였다. 기준층의 평면 및 입면에 대한 정보는 Fig. 6과 Fig. 7에 각각 나타내었으며 콘크리트 강도

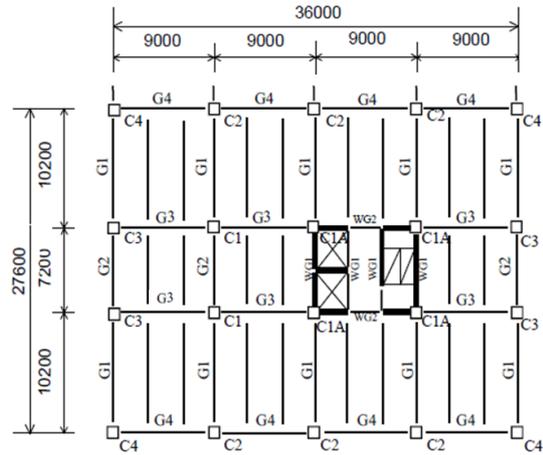


Fig. 6. Structural plan view of the concrete structure

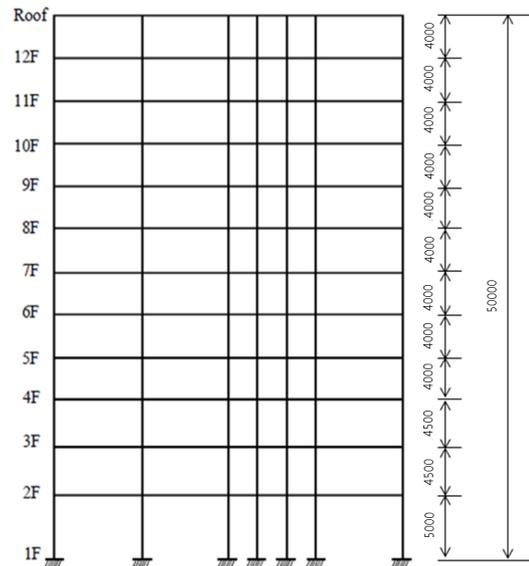


Fig. 7. Cross-sectional view of the concrete structure

Table 1. Material property

Type	Name	$f_{ck}$ (MPa)	$f_y$ (MPa)
CASE 1	beam	24	400
	slab		400
	column		400
	wall		400
CASE 2	beam	24	400
	slab	24	400
	column	40	400
	wall	40	400

Table 2. mixing conditions

Binder type	$f_{ck}$	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )				
		Water	OPC	GGBS	Sand	Gravel
OPC	24 MPa	179	348	-	867	923
OPC+GGBS	24 MPa	179	261	87 (25%)	865	921
OPC	40 MPa	200	571	-	575	985

변화에 따른 단면 크기와 배근 상세는 설계강도와 소요강도의 비를 가능한 0.7~0.9 사이에 있도록 검토하였다. 압축강도 증가에 따른 콘크리트 물량 산출을 위해 기둥의 수직 철근량은 최소철근비 0.01로 동일하게 설정하였으며, 응력비도 가능한 유사하도록 설정하였다.

#### 3.2 사례 분석

Lee et al.(2013)은 최적구조설계를 이용한 철근콘크리트 기둥의 CO<sub>2</sub> 배출량 평가에 관한 연구를 통해 축력이 증가할 때는 콘크리트 압축강도의 증가가 CO<sub>2</sub> 배출량을 줄이는데 효과가 있는 반면, 휨모멘트가 증가하는 경우에는 압축강도 증가가 오히려 CO<sub>2</sub>

Table 3. CO<sub>2</sub> assessment procedure of RC structures ( $f_{ck} = 24$  MPa, GGBS 25%)

Material phase													
Unit	Concrete constituent				Transportation(gate to ready-mixed concrete plant)								
	A	B	C	D = A·B·C	E	F	G = A·B·E·F						
	Volume (m <sup>3</sup> )	kg/m <sup>3</sup>	CO <sub>2</sub> -kg/kg	CO <sub>2</sub> -kg	Distance (km)	CO <sub>2</sub> -kg/kg·km	CO <sub>2</sub> -kg						
OPC	590	261	9.31E-01	143365	277	5.92E-07	25						
GGBS		87	2.65E-02	1360	339	5.92E-07	10						
Sand		865	2.34E-03	1194	47	1.14E-06	27						
Coarse		921	3.23E-03	1755	37.6	1.14E-06	23						
Water		179	1.12E-04	12	-	-	-						
Sum				147686	Sum		86						
Reinforcing bar													
Unit	Reinforcing bar			Transportation(gate to construction site)									
	A	B	C = A·B	D	E	F = A·D·E							
Type	Weight (kg)	CO <sub>2</sub> -kg/kg	CO <sub>2</sub> -kg	km	CO <sub>2</sub> -kg/kg·km	CO <sub>2</sub> -kg							
D22	114100	8.52E-02	9721	380	1.14E-06	49							
Production (Fresh concrete) phase													
Unit	Batching and mixing			Transportation (concrete plant to construction site)									
	A	B	C = A·B	D	E	F = A·D·E							
	Volume (m <sup>3</sup> )	CO <sub>2</sub> -kg/m <sup>3</sup>	CO <sub>2</sub> -kg	km	CO <sub>2</sub> -kg/m <sup>3</sup> ·km	CO <sub>2</sub> -kg							
Facilities	590	0.71	419	30	2.62E-03	46							
Casting phase													
Unit	Casting			Transportation									
	A	B	C = A·B	D	E	F = A·D·E							
	Volume (m <sup>3</sup> )	CO <sub>2</sub> -kg/m <sup>3</sup>	CO <sub>2</sub> -kg	km	CO <sub>2</sub> -kg/m <sup>3</sup> ·km	CO <sub>2</sub> -kg							
Pump car	590	6.2	3658	-	-	-							
Vibrator		0.18	106	-	-	-							
Sum				3764									
Use phase of structure													
A	B	C	D	E	F	G = D·E·F							
Service life	Type	Finishing material	Exposed surface area (m <sup>2</sup> )	aCO <sub>2</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	xc (cm)	CO <sub>2</sub> uptake (kg)							
40 years	Indoor	Paint	3028	0.09	3.287	-9157							
Demolition and crushing phases													
Unit	Concrete			Transportation (building site to crushing plant)									
	A	B	C = A·B	D	E	F	G = A·D·E·F						
	Volume (m <sup>3</sup> )	CO <sub>2</sub> -kg/m <sup>3</sup>	CO <sub>2</sub> -kg	kg/m <sup>3</sup>	km	CO <sub>2</sub> -kg/kg·km	CO <sub>2</sub> -kg						
Hydrodynamic Backhoe+Breaker	590	6.61	3900	2300	50	1.14E-06	77						
Sprinkler truck		11.41	6732	-	-	-	-						
Sum				10632									
Recycling phase													
A	B	C	D	E	F	G	H	I = C·F·G·H	Transportation (crushing plant to application site)				
Life	Activity	Volume (m <sup>3</sup> )	Portion (%)	da (mm)	Exposed surface area(m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	aCO <sub>2</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	xc (cm)	CO <sub>2</sub> uptake (kg)	J	K	L	M = C·J·K·L	
20 years	Embankment	590	31	25	32.1	0.09	0.5	-8523	713	50	1.14E-06	24	
	Road base layer		10	20	12.9		0.25	-1712	230			8	
	Sub load base layer		33	25	34.2		0.5	-9080	759			26	
	Secondary product		5	2.5	51.8		0.087	-2393	115			4	
	New concrete		4	15	6.9		0.48	-1759	92			3	
	Back filler		17	25	17.6		0.5	-4673	391			13	
Sum									-28140		Sum		77
<b>Total= 135263 CO<sub>2</sub>-kg</b>													
<b>[= 162788 (Emission due to concrete) + 9771 (Emission due to re-bar) - 37296 (Uptake due to carboration)]</b>													

배출량을 줄이는데 효과가 거의 없는 것으로 평가하였다. 따라서 본 사례분석에서는 축력이 지배적인 철근콘크리트 기둥 및 벽체의 콘크리트 압축강도를 24MPa에서 40MPa로 변경하여 압축강도 변화에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량을 비교 분석하였다. 콘크리트 구조물에서 콘크리트의 압축강도 변화에 따른 철근 및 콘크리트 물량을 비교하기 위해 Midas Gen 프로그램을 이용하여 구조 해석을 수행하였으며, 콘크리트 및 철근 물량은 Midas Design+를 이용하여 산정하였다. 분석결과 기둥 및 벽체의 콘크리트 압축강도를 24MPa에서 40MPa로 증가하였을 때 오히려 CO<sub>2</sub> 발생량 약 14% 정도 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 목표 CO<sub>2</sub> 저감률 20%를 만족하기 위해 배합을 조절할 수 밖에 없으며 이때의 혼화재 치환율은 Jung and Yang(2015) 이 제시한 모델식 및 설계차트를 이용하여 GGBS 25%를 치환하는 것으로 결정하였다.

혼화재가 콘크리트 전과정 CO<sub>2</sub> 배출량에 미치는 영향을 파악하기 위하여 기둥부재의 콘크리트 압축강도 24MPa에서 GGBS가 25% 치환된 콘크리트를 사용하였을 경우 전과정 CO<sub>2</sub> 양을 Table 3에 예시로 나타내었다.

Table 3에서 기둥의 콘크리트 압축강도 24MPa에서 GGBS 25% 치환하여 적용한 콘크리트 구조물의 각 단계별 CO<sub>2</sub> 배출량은 재료단계에서 143365 CO<sub>2</sub>-kg, 해체 및 파쇄단계에서 10632 CO<sub>2</sub>-kg, 운송단계에서 287 CO<sub>2</sub>-kg으로 산정되었다. 구조물 사용단계와 재활용단계에서 콘크리트 탄산화에 의한 CO<sub>2</sub> 포집량은 각각 -9157 CO<sub>2</sub>-kg과 -28140 CO<sub>2</sub>-kg으로 산정되었다. 결국, CO<sub>2</sub> 배출과 포집을 모두 고려하였을 때 GGBS 25% 치환하여 적용한 기둥의 전과정 CO<sub>2</sub> 양은 135263 CO<sub>2</sub>-kg으로 OPC 대비 26% 감소하는 것으로 나타났다.

콘크리트 기둥의 전과정 CO<sub>2</sub> 평가에 대한 혼화재 GGBS의 영향을 Fig. 8에 나타내었다. 혼화재 치환율이 증가함에 따라 재료단계,

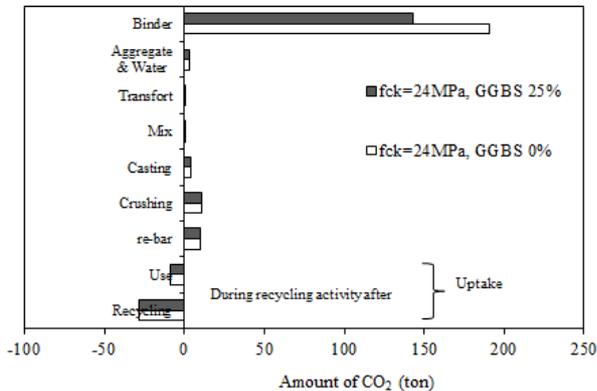


Fig. 8. Effect of SCMs on the LCCO<sub>2</sub> of column

Table 4. Comparison of CO<sub>2</sub> emissions of concrete structure

Member	24 MPa (GGBS 0%) (CO <sub>2</sub> -kg)	24 MPa (GGBS 25%) (CO <sub>2</sub> -kg)	Ratio
Column	182219	135263	0.74
Wall	118438	86930	0.73
Beam	428183	338229	0.79
Slab	611638	490227	0.80
Total	1340478	1050649	0.78

해체 및 파쇄단계, 운송단계에서는 CO<sub>2</sub> 발생량 및 탄산화에 의한 CO<sub>2</sub> 포집량은 모두 감소하는 것으로 나타났다.

콘크리트구조물에서 혼화재 치환에 따른 각 부재별 CO<sub>2</sub> 배출량에 대해 Table 4에 나타내었다. 기둥, 벽체, 보 및 슬래브 모두 혼화재 치환에 따라 CO<sub>2</sub> 발생량이 감소하는 것으로 나타났다. GGBS 25% 치환에 따라 전체 콘크리트 구조물의 CO<sub>2</sub> 발생량이 약 22% 저감하는 것으로 나타났다.

콘크리트 생산, 타설 및 해체단계에서의 공정과 그에 따른 사용 장비들의 에너지원에 의한 CO<sub>2</sub> 배출계수는 시대적, 지역적 상황에 따라 다를 수 있다. 이에 따라 이 연구의 사례분석 결과는 건축물 규모 및 위치에 따라 다소 변화될 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 CO<sub>2</sub> 배출 저감을 위한 저탄소 콘크리트 구조물 설계 절차를 제시하였으며, 제시한 절차에 따라 전단벽 콘크리트 구조물을 대상으로 전과정 CO<sub>2</sub> 평가에 대한 사례분석을 수행하였다. 콘크리트 구조물의 전과정 CO<sub>2</sub> 평가에 대한 사례분석을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 콘크리트 압축강도 증가 및 혼화재 치환에 따른 콘크리트 구조물의 전과정 CO<sub>2</sub> 배출량 및 탄산화에 의한 CO<sub>2</sub> 포집량을 정량적으로 평가하고 목표 CO<sub>2</sub> 배출량 저감률을 만족시키기 위한 콘크리트 구조물의 설계절차를 제시하였다.
2. 기둥 및 벽체의 콘크리트 압축강도를 24MPa에서 40MPa로 증가하였을 때 오히려 CO<sub>2</sub> 발생량 약 14%정도 증가하는 것으로 나타났다.
3. 기둥부재의 경우 GGBS 25% 치환 시 재료단계, 해체 및 파쇄단계, 운송단계에서 CO<sub>2</sub> 발생량 및 탄산화에 의한 CO<sub>2</sub> 포집량은 모두 감소하는 것으로 나타났으며 OPC 대비 약 26% 감소하는 것으로 나타났다.
4. 기둥, 벽체, 보 및 슬래브 전체의 경우 GGBS 25% 치환에 따라

전과정 CO<sub>2</sub> 발생량이 약 22% 저감하는 것으로 나타났다.

- 5. 콘크리트 생산, 타설 및 해체단계에서의 공정과 그에 따른 사용 장비들의 에너지원에 의한 CO<sub>2</sub> 배출계수는 시대적, 지역적 상황에 따라 다를 수 있다. 이에 따라 이 연구의 사례분석 결과는 건축물 규모 및 위치에 따라 다소 변화될 수 있다.

### 감사의 글

“이 논문은 국토교통과학기술진흥원 건설기술혁신사업(과제번호:12CCTI-C063722-01)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.”

### References

Han, S.W. (2011). A Study on Carbon Dioxide Emission of Input Resources according to Construction Method in Construction Phase, Master Dissertation, University of Seoul, 79 [in Korean].

IgCC Public Comment Hearing Committee. (2012). International Green Construction Code, International Code Council, INC, ISO/DIS 13315-2. (2013). Environmental Management for Concrete and Concrete Structures-Part 2: System Boundary and

Inventory Data, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

Jung, Y.B., Yang, K.H. (2015). Mixture-proportioning model for low-CO<sub>2</sub> concrete considering the type and addition level of supplementary cementitious materials, Journal of the Korea Concrete Institute, Accepted [in Korean].

Lee, H.Y., Shin, Y.A., Choi, S.W., Park, H.S. (2013). Carbon Dioxide Emissions Evaluation for Reinforced Concrete Columns Based on the Optimal Structural Design, Journal of Architectural Institute of Korea, **29(8)**, 45-52 [in Korean].

Lee, S.H, Kim, S.K. (2011). CO<sub>2</sub> reduction in the Cement Industry, Concrete and Environment, Kimoondang, Seoul, 16-30 [in Korean].

Yang, K.H., Moon, J.H. (2012). Design of Supplementary Cementitious Materials and Unit Content of Binder for Reducing CO<sub>2</sub> Emission of Concrete, Journal of the Korea Concrete Institute, **24(5)**, 597-604 [in Korean].

Yang, K.H., Seo, E.A., Tae, S.H. (2014). Carbonation and CO<sub>2</sub> Uptake of Concrete, Environmental Impact Assessment Review, **46**, 43-52.

#### 목표 탄소배출량 저감을 고려한 콘크리트 구조물의 설계 절차

본 연구에서는 CO<sub>2</sub> 배출 저감을 위한 저탄소 콘크리트 구조물 설계 절차를 제시하였다. 전과정 CO<sub>2</sub> 평가에 기반한 저탄소 콘크리트 구조물 설계 절차는 ISO 13315-2에서 요구하는 시스템 경계를 이용하였으며 구조물의 전과정 평가를 수행하기 위한 전과정 목록(life-cycle inventory, LCI)은 기본적으로 국가에서 구축한 LCI 데이터베이스 정보망을 이용하였다. 본 연구에서 제시한 절차에 따라 전단벽 콘크리트 구조물을 대상으로 전과정 CO<sub>2</sub> 평가에 대한 사례분석을 수행하였다. 기동부재의 경우 GGBS 25% 치환 시 재료단계, 해체 및 파쇄단계, 운송단계에서 CO<sub>2</sub> 발생량 및 탄산화에 의한 CO<sub>2</sub> 포집량은 모두 감소하는 것으로 나타났으며 OPC 대비 약 26% 감소하는 것으로 나타났다. 기둥, 벽체, 보 및 슬래브 전체의 경우 GGBS 25% 치환에 따라 전과정 CO<sub>2</sub> 발생량이 약 22% 저감하는 것으로 나타났다.