

콘크리트 탄산화에 의한 CO₂ 포집량 평가의 사례연구

A Case Study on CO₂ Uptake of Concrete owing to Carbonation

양근혁^{1*} · 김상철²
Keun-Hyeok Yang^{1*} · Sang-Chel Kim²

(Received May 14, 2013 / Revised June 10, 2013 / Accepted June 21, 2013)

The present study assessed the amount of CO₂ uptake owing to concrete carbonation through a case study for an apartment building with a principal wall system and an office building with Rahmen system under different exposed environments during use phase and recycling application. The CO₂ uptake assessment owing to concrete carbonation followed the procedure established by Yang et al. As input data necessary for the case study, actual surveys conducted in 2012 in Korea, which included data about the climate environments, CO₂ concentration, lifecycle inventory database, life expectancy of structures, and recycling activity scenario, were used. From the comparisons with the CO₂ emissions from concrete production, the CO₂ uptake during the lifetime of structures was estimated to be 5.5~5.7% and that during recycling activity after demolition was 10~12%; as a result, the amount of CO₂ uptake owing to concrete carbonation can be estimated to be 15.5~17% of the CO₂ emissions from concrete production, which roughly corresponds to 18-21% of the CO₂ emissions from cement production as well.

키워드 : 탄산화, CO₂ 포집, 내구연한, 재활용

Keywords : Carbonation, CO₂ uptake, Lifetime, Recycling

1. 서론

최근 환경영향 평가관점에서 콘크리트의 전과정(lifecycle) CO₂ 평가에 대한 요구가 증가하고 있다(ISO 14040 2006). 콘크리트의 전과정 CO₂ 평가는 일반적으로 구성 재료를 포함한 생산단계, 운송단계, 구조물 사용단계, 해체단계 및 재활용 단계를 포함한다. 콘크리트의 생산단계에서 CO₂ 발생량의 약 85%가 보통 포틀랜드 시멘트(ordinary portland cement, OPC)에 기인함이 지적됨(Yang et al. 2013 b)에 따라 OPC의 부정적 환경영향을 개선하기 위한 다양한 노력들이 시도되고 있다. 이들 노력들 중의 하나로서 구조물의 사용 및 재활용 단계에서 콘크리트의 탄산화에 의한 CO₂ 포집 평가를 들 수 있다.

최근에 관심을 끌고 있는 콘크리트의 CO₂ 포집에 대한 평가는 탄산화 모델 및 적용단계의 선정에 따라 많은 차이를 보이고 있다. Gajda(2001)는 콘크리트 구조물의 내용연한 중 탄산화에 의한

CO₂ 포집량은 시멘트 생산에서 배출되는 CO₂ 양의 약 3~4%에 해당함을 보였다. Lee et al.(2013)은 콘크리트 구조물의 사용 중 CO₂ 포집량은 콘크리트 생산으로부터 배출되는 CO₂ 양의 5%를 넘지 않음을 제시하였다. 반면, Pade and Guimaraes(2007)는 콘크리트 구조물의 사용단계와 함께 재활용단계를 고려하면 클링커 생산을 위한 소성과정에서 화학반응에 의해 배출되는 CO₂ 양을 모두 탄산화에 의해 포집될 수 있음을 제시하였다. 아직 콘크리트 탄산화에 의한 CO₂ 포집량을 합리적으로 평가하기 위한 절차의 정립은 미흡하다. 더구나 국내의 환경을 고려하여 구조물의 사용 단계와 재활용단계에서 CO₂ 포집량의 평가에 대한 사례연구 자료도 매우 미미하다.

Yang et al.(2013 a)은 콘크리트의 전과정 CO₂ 평가를 위해 제시한 각 세부단계 절차에서 콘크리트의 탄산화에 의한 CO₂ 포집량을 합리적으로 산정할 수 있는 수학적 절차를 제시하였다. 본 연구에서는 Yang et al.이 제시한 탄산화 및 그에 따른 CO₂ 포집량에

* Corresponding author E-mail: yangkh@kgu.ac.kr

¹경기대학교 플랜트·건축공학과 (Department of Plant·Architectural Engineering, Kyonggi University, Kyonggi-do, 443-760, Korea)

²한서대학교 토목공학과 (Department of Civil Engineering, Hanseo University, Chungnam, 356-706, 305-731, Korea)

대한 평가모델에 기반하여 전단벽 시스템의 공동주택과 라멘 시스템의 사무실 건축물을 대상으로 CO₂ 포집량의 평가에 대한 사례를 분석하였다. 사례연구에서 이용된 기본 데이터(기후환경, CO₂농도, 생애주기 원단위, 구조물 기대수명 및 재활용 사나리오 등)는 2012년 한국에서의 측정값을 적용하였다.

2. CO₂ 포집평가를 위한 절차

Yang et al.(2013 a)이 제시한 콘크리트 탄산화에 의한 CO₂ 포집 평가의 절차를 요약하면 다음과 같다. 재령 t (일)에서 탄산화에 의한 콘크리트 CO₂포집량(U_{CO_2})은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$U_{CO_2}(t) = a_{CO_2}(t) \cdot A_{sf} \cdot x_c(t) \quad (g) \quad (1)$$

여기서, $a_{CO_2}(t)$ 는 재령 t 에서 탄산화에 의해 흡수가능한 CO₂ 양(g/cm³)이며, A_{sf} 는 CO₂노출된 콘크리트 부재의 표면적(cm²)이며, $x_c(t)$ 는 재령 t 에서의 탄산화 깊이(cm)이다.

2.1 흡수가능한 CO₂ 양

시멘트 페이스트의 수화도 및 수화생성물 중에서 탄산화 가능 요소의 몰농도에 따라 결정되는 $a_{CO_2}(t)$ 는 다음 식에 의해 산정될 수 있다.

$$a_{CO_2}(t) = \alpha_h(t) \cdot M_d(t) \cdot M_{CO_2} \times 10^{-6} \quad (g/cm^3) \quad (2)$$

여기서, $\alpha_h(t)$ 는 재령 t 에서 시멘트 페이스트의 수화도이며, $M_d(t)$ 는 재령 t 에서 콘크리트 단위체적당 페이스트의 탄산화 가능요소의 몰농도(mol/cm³)이며, M_{CO_2} (=44 g/mol)는 CO₂의 몰 질량이다. Yang et al.은 Papadakis et al.(1991)이 제시한 탄산화 가능 요소들의 해석으로부터 재령 1년 후 $M_d(t)$ 는 거의 변화가 없음을 보였다. 이에 따라 장기재령에서 $M_d(t)$ 는 다음과 같이 단위 시멘트양(C)의 함수로 단순화하여 일반화하였다.

$$M_d(t) = 8.06 C \quad (\times 10^{-6} \text{ mol/cm}^3) \quad (3)$$

보통강도 콘크리트에서 일반적인 분말도를 갖는 시멘트는 재령 100년 후에도 완전히 수화되지 않는다(Cha 1999). Yang et al.은 Cha(1999)의 실험결과를 기반으로 $\alpha_h(t)$ 를 다음과 같이 물-시멘

트비(W/C)의 함수로 모델링하였다.

$$\alpha_h(t) = \frac{t}{2.0+t} \alpha_\infty \quad (4)$$

$$\alpha_\infty = \frac{1.031 W/C}{0.194 + W/C} \quad (5)$$

2.2 탄산화 깊이 및 CO₂ 확산계수

콘크리트의 $x_c(t)$ 는 탄산화속도와 시간의 함수로 다음과 같이 일반화될 수 있다(Jung 2003).

$$x_c(t) = \sqrt{\frac{2D_{CO_2}(t)}{a_{CO_2}(t)} \cdot C_{CO_2} \cdot t} \quad (6)$$

여기서, $D_{CO_2}(t)$ 는 재령 t 에서 CO₂ 확산계수(cm²/day)이며, C_{CO_2} 는 콘크리트 면에서 CO₂ 질량농도(g/cm³)이다. CO₂의 부피농도(ppm)는 이상기체이론을 이용하여 질량농도로 환산된다.

콘크리트에서 CO₂ 확산속도는 재료특성(물-시멘트비, 시멘트 수화도, 공극크기 분포와 포화도) 뿐만 아니라 콘크리트의 노출조건(상대습도, 온도, 콘크리트 표면 마감상태)에 의해서도 영향을 받는다. 이를 고려하여 Yang et al.은 $D_{CO_2}(t)$ 를 다음과 같이 모델링하였다.

$$D_{CO_2}(t) = 136.6 \beta_s \beta_f \beta_h (a/C) [\epsilon_p(t)]^2 \quad (7)$$

여기서, β_s 는 혼화재 치환에 대한 보정계수(Table 1)이며, β_f 는 마감재에 대한 보정계수(Table 2)이며, $\beta_h = [(1 - RH/100)^{0.6}]$ 는 상대습도에 대한 보정계수이며, RH 는 상대습도(%)이며, a/C 는 골재-시멘트 질량비이며, $\epsilon_p(t)$ 는 재령 t 에서 시멘트 페이스트

Table 1. Correction factor(β_s) for the substitution of supplementary cementitious materials(SCMs)

Type	Substitution level of SCMs(%)					
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	60-80
FA	1.05	1.05	1.10	1.10	-	-
GGBS	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30
SF	1.05	1.10	-	-	-	-

FA=fly ash, GGBS=ground granulated blast-furnace slag, and SF=silica fume.

Table 2. Correction factor(β_f) for the finishing materials on concrete surface

Finishing condition	Indoor area						Outdoor area				
	No finishing	Plaster	Mortar + plaster	Mortar	Mortar + paint	Tile	Paint	No finishing	Mortar	Paint	Tile
Value	1.0	0.79	0.41	0.29	0.15	0.21	0.57	1.0	0.28	0.8	0.7

의 공극률이다. 시멘트 페이스트의 공극은 수화도와 탄산화의 진행으로 인해 재령증가와 함께 감소하지만, 재령 100일 이후에는 감소기울기는 거의 0에 가깝다(Cha 1999). 이를 고려하여 Yang et al.은 $\epsilon_p(t)$ 를 다음과 같이 제시하였다.

$$\epsilon_p(t) = \frac{0.1 + 2.62(W/C)^{4.2}}{1.5t \cdot (W/C)^2} t \quad (8)$$

2.3 재활용단계에서 파쇄된 콘크리트의 표면적

파쇄된 콘크리트에서 탄산화가 진행될 수 있는 표면적은 파쇄 전에 비해 매우 증가한다. Yang et al.은 파쇄된 콘크리트 덩어리들을 무더기로 쌓은 후 탄산화 촉진실험을 하였고, 그 결과 무더기 속의 중심부 콘크리트와 외부 콘크리트의 탄산화 속도는 거의 비슷하게 진행됨을 보였다. 따라서 콘크리트 부재의 파쇄 후 재활용 단계에서 탄산화 가능 표면적(A_{sf-rc})은 다음 식에 의해 산정될 수 있다.

$$A_{sf-rc} = \frac{\pi \cdot H \cdot L \cdot (D - 2x_c)}{d_a} \quad (9)$$

여기서, H , L 및 D 는 각각 파쇄 전 콘크리트 부재의 높이, 길이 및 깊이이며, d_a 는 콘크리트 덩어리를 완전 구형으로 가정하였을 때 평균 입도의 직경이다. 재활용 단계에서 탄산화는 개별 콘크리트 덩어리의 페이스트에서만 발생한다. 파쇄된 콘크리트는 덩어리 형태로 성토 및 뒷채움재 분야에서, 그리고 순환골재 형태로 새 콘크리트 제조를 위한 분야에서 재활용된다. 따라서 각 재활용 분야에서 최대 탄산화 깊이는 다음과 같이 제한되어야 한다.

$$x_c(t) \leq \frac{d_a - d_{agg}}{2} \text{ for concrete lump} \quad (10.a)$$

$$x_c(t) \leq t_p \text{ for recycled aggregates} \quad (10.b)$$

여기서, d_{agg} 는 원 콘크리트 생산을 위해 사용된 천연골재의 평균

직경이며, t_p 는 순환골재에서 탄산화 가능한 페이스트의 평균 두께이다. 순환골재에 부착된 페이스트의 두께는 기하학적 풀이로부터 다음과 같이 근사적으로 구할 수 있다.

$$t_p = \sqrt[3]{\frac{\rho_a}{\rho_c} \left(\frac{d_a}{2}\right)^3 \cdot p_w + \left(\frac{d_a}{2}\right)} - \frac{d_a}{2} \quad (10)$$

여기서, ρ_a 와 ρ_c 는 각각 골재와 시멘트의 밀도이며, p_w 는 시멘트 페이스트와 골재의 비이다. 2012년 한국에서 생산되는 순환골재의 p_w 는 d_a 가 20mm와 2.5mm일 때 각각 0.25와 0.27로 평가되었다.

2.4 지하에서의 CO₂ 확산계수 및 농도

일반적으로 땅속에서 CO₂의 확산계수는 대기중에 비해 평균 65% 수준으로 평가된다(Lee 2009). 한편, 땅속에서의 CO₂ 농도는 유기물질들의 부패로 인해 지표면으로부터 그 깊이가 증가할수록 증가한다. 한국에서 측정된 땅속의 CO₂ 농도는 그 깊이가 50mm, 100mm, 200mm에서 지표면 대비 각각 9%, 18%, 27% 증가하였다. 따라서 구조물의 사용 중 흠과 접하는 부재의 표면 및 땅속으로 재활용되는 콘크리트 덩어리들의 표면에서 탄산화 깊이의 산정을 위해서는 감소된 CO₂ 확산계수와 증가된 CO₂ 농도를 고려해야만 한다.

2.5 CO₂ 포집 평가절차

앞에서 설명된 콘크리트의 탄산화에 의한 CO₂ 포집 평가절차를 Fig. 1에 요약하였다. 콘크리트 구조물의 사용 중 CO₂ 포집량은 주로 CO₂ 확산계수와 시멘트 페이스트의 CO₂ 흡수용량에 의해 결정된다. 콘크리트 구조물의 철거 후 재활용 단계에서 CO₂ 포집량은 각 재활용분야에서 콘크리트 덩어리 또는 순환골재의 표면적에 의해 가장 큰 영향을 받는다. 따라서 콘크리트의 재활용에 대한 상세한 정보는 합리적인 CO₂ 포집량을 평가하기 위해 매우 중요하다. 2012년 한국에서 철거된 콘크리트의 재활용 상세를 Table 3에 나타내었다. 콘크리트 구조물의 철거 후 순환골재로 재활용되는 경우 탄산화 기간은 2개월로 가정하였다.

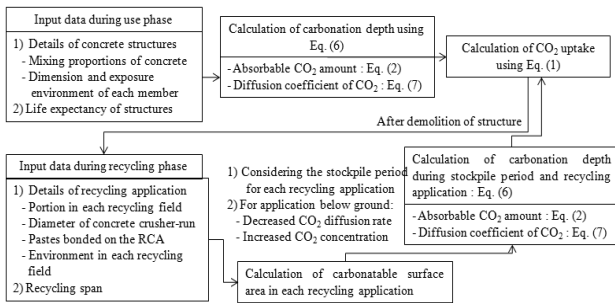


Fig. 1. CO₂ uptake assessment procedure in concrete

3. CO₂ 포집평가에 대한 사례연구

한국에서 건설된 아파트와 사무소건축물을 대상으로 콘크리트 생산단계에서의 CO₂ 배출량 및 콘크리트 탄산화에 의한 CO₂ 포집량을 비교·평가하였다. 환경조건(평균기온 15°C, 평균 상대습도 66%, CO₂농도), 생애주기 원단위 및 콘크리트의 재활용 상세(Table 3)는 2012년도 한국의 데이터를 기준으로 하였다. 콘크리트 생산단계에서 CO₂ 배출에 대한 시스템 경계는 요람에서부터 시공 전단계로서 다음 요소들을 포함한다: 1) 요람에서부터 출구까지 주어진 콘크리트를 구성하는 각 재료들의 구입; 2) 각 구성재료들의 레미콘 공장까지의 운송; 3) 레미콘 공장에서의 배합; 4) 생산된 콘크리트의 현장까지의 운송. CO₂ 농도는 실외의 대기에서는 380 ppm을, 실내환경에서는 2,000ppm을 가정하였다. 콘크리트 구조물의 기대수명은 40년을, 그리고 재활용 기간은 60년을 가정하였다.

3.1 구조물의 개요

사례연구를 위해 선택된 구조물들의 기준층에서 평면은 Fig. 2

Table 3. Recycling details of demolished concrete in Korea

Recycling field	concrete lump				Recycled aggregates	
	Road base	Sub-road base	Embankment	Back filler	New concrete	Secondary concrete product
Portion(%)	10	33	31	17	4	5
da_max* (mm)	40				20	5
da**(mm)	25				15	2.5

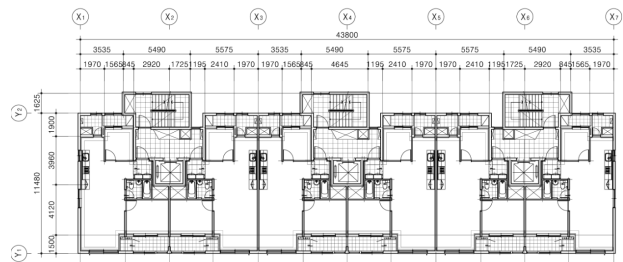
* da_max is maximum size of concrete crusher-run.

** Mean size of concrete crusher-run is obtained from particle distribution curve of each da_max.

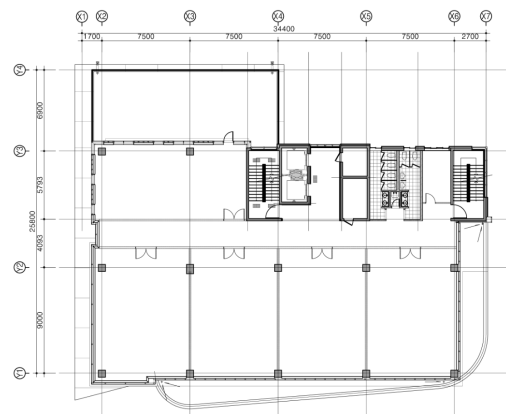
에 나타내었다. Table 4에는 각 구조부재의 콘크리트 부피 및 탄산화 가능 표면적을 나타내었다. 아파트의 상세를 요약하면 다음과 같다: 1)전면기초(400mm 두께)와 11개층으로 구성된 아파트는 전단벽식 시스템으로서 각 층고는 3.0m이며, 바닥면적은 533m²이다; 2) 외기와 접하는 벽과 지붕 슬래브의 표면은 페인트 마감이며, 내부 부재들은 주로 모르타르 마감이다; 3) 콘크리트 압축강도는 24MPa로서 배합상세는 Table 5에 나타내었다. 사무소 건축물의 상세는 다음과 같다: 1) 기둥-보 구조인 라멘 시스템으로서 기초, 지하2층과 지상 10층으로 구성되었다; 2) 기준층의 높이와 바닥면적은 각각 3.7m와 828m²이다; 3) 콘크리트 압축강도는 지하부재에서는 27MPa이며, 지상부재에서는 24MPa이다; 4) 외부마감은 알루미늄 커튼월 시스템으로서 모든 부재의 면은 실내 환경하에서 페인트 마감되었다. 아파트 및 사무소 건축물의 옥실 또는 화장실은 타일마감으로 가정하였다.

3.2 콘크리트 생산단계에서의 CO₂ 배출량

콘크리트 생산단계에서 CO₂ 배출량의 평가절차는 참고문헌 2에 자세히 나타내었다. 콘크리트 생산단계에서 CO₂ 배출량은 대부분 시멘트에 기인하였다(Fig. 3). 압축강도가 24MPa와 27MPa인



(a) Apartment building with structural shear wall system



(b) Office building with rhamen system

Fig. 2. Typical floor plan of the selected structures

Table 4. CO₂ assessment for emissions and uptake in the selected concrete structures (per story).

(a) Apartment building

Floor	f_{ck} (MPa)	Concrete volume (m ³)		Carbonatable surface area (m ²)		CO ₂ emission from concrete production (kg)	CO ₂ uptake (kg)							
		Wall	Slab	Wall	Slab		During service life (40 years)	During recycling activities for $A_{sf, re}$ (60 years after demolition)						
								Embankment	Road base layer	Sub-road base layer	Secondary concrete product	New concrete	Back filler	Sum
Base-ment	24	-	213	1,067	-	69,563	790	3,175	640	3,380	89	61	1,741	9,087
1st		90	80	907	1,077	55,927	3,602	1,928	389	2,053	54	37	1,057	5,518
2 nd -10 th		89	79	892	1,037	54,936	3,515	1,876	378	1,997	53	36	1,029	5,368
Roof		-	79	-	1,037	25,861	414	973	196	1,035	27	19	533	2,783
Total		891	1,083	10,002	11,447	645,775	36,441	22,958	4,629	24,440	644	443	12,590	65,704

(b) Office building

Story	f_{ck} (MPa)	Concrete volume(m ³)				Carbonatable surface area(m ²)				CO ₂ emission from concrete production (kg)	CO ₂ uptake (kg)							
		Beam	Colu-mn	Wall	Slab	Beam	Colu-mn	Wall	Slab		During service life (40 years)	During recycling activities for $A_{sf, re}$ (60 years after demolition)						
												Emban-kment	Road base layer	Sub-road base layer	Secundary concrete product	New concrete	Back filler	Sum
Base-ment	27	-	-	-	548	-	-	-	2,738	170,807	2,028	9,006	1816	9,587	253	174	4,939	25,775
B2		-	47	243	-	-	315	2,435	-	90,700	1,026	4,548	917	4,841	128	88	2,494	13,015
B1		108	47	243	205	718	315	2,435	2,738	188,339	5,965	7,858	1584	8,365	220	152	4,309	22,489
1 st -10 th	24	53	20	35	123	392	131	354	1,635	75,430	5,808	2,690	542	2,864	75	52	1,475	7,699
Roof		53	-	-	123	392	-	-	1,635	57,364	2,487	2,239	451	2,383	63	43	1,228	6,408
Total		659	295	841	2102	5,025	1,937	8,413	23,459	1,261,510	69,589	50,553	10192	53,815	1,418	976	27,723	144,676

콘크리트의 1m³ 생산에서 배출된 CO₂양은 각각 326kg과 372kg이었으며, 이들 값에 대한 시멘트의 기여분은 각각 86.5%와 83.4%이었다. 아파트와 사무소 건축물에 사용된 콘크리트로부터 배출된 CO₂ 양은 각각 645,775kg과 1,647,437kg이었다.

3.3 내구년한(40년)동안의 CO₂ 포집량

재령 40년에서 아파트 기준층의 $a_{co2}(t)$ 와 $x_c(t)$ 는 실내에 접한 면의 경우 각각 0.0802g/cm³과 3.26cm로, 실외에 접한 면의 경우에는 각각 0.0802g/cm³와 2.33cm로 계산되었다. 이에 따라

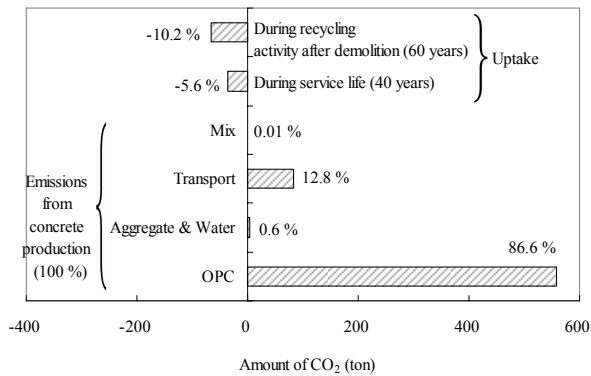
아파트의 내구년한 동안 전체 CO₂ 포집량은 36,441kg으로 평가되었는데, 이는 콘크리트 생산단계에서 배출된 CO₂양의 약 5.6% (시멘트에 의한 배출량의 6.5%) 수준이다(Table 4). 사무소 건축물인 경우 재령 40년에서 $a_{co2}(t)$ 와 $x_c(t)$ 는 지상층에서는 각각 0.0802g/cm³과 3.26cm로 지하층에서는 각각 0.0888g/cm³과 1.66cm로 계산되었다. 사무소 건축물의 내구년한 동안 전체 CO₂ 포집량은 69,589kg이며, 이는 콘크리트 생산단계에서 배출된 CO₂양의 약 5.5% (시멘트에 의한 배출량의 6.5%) 수준이다. 따라서 건축물의 내구년한 동안 콘크리트 탄산화에 의한 CO₂ 포집량은 콘크리트 생산단계에서 배출한 CO₂양의 약 5.5~6.0% 수준으로 간략히 유추될 수 있다.

Table 5. Mixture proportions of concrete

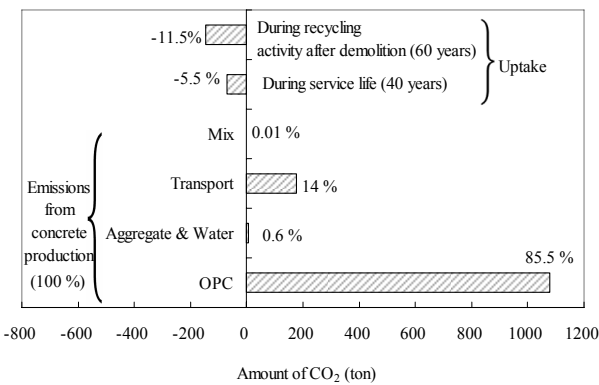
Compressive strength	W/C	Unit weight (kg/m ³)			
		Water	Cement	Gravel	Sand
24MPa	0.5	155	303	975	891
27MPa		175	333	871	872

3.4 재활용 단계에서 CO₂ 포집량

아파트 및 사무소의 철거 후 재령 60년의 재활용 단계 동안 CO₂ 포집 양을 Table 4에 요약하였다. 콘크리트 2차제품 또는 새 콘크리트 제조를 위해 사용된 순환골재로부터 포집되는 CO₂양은 짧은



(a) Apartment building



(b) Office building

Fig. 3. Comparisons of CO₂ emissions in concrete production phase and CO₂ uptake

탄산화 기간 및 부착된 페이스트의 얇은 두께로 인해 무시할만큼 작았다. 재활용 시나리오들 중에서 CO₂ 포집량에 대한 기여는 보조기층 활용과 성토순으로 컸다. 재활용 단계 동안 CO₂ 포집량은 아파트의 경우 65,704kg으로, 사무소 건축물의 경우 144,676kg으로 평가되었는데, 이들 양은 콘크리트 생산단계에서 배출된 CO₂ 양의 각각 10.2%와 11.5%수준이다.

따라서 본 사례연구로부터 콘크리트 건축물의 사용 및 재활용 단계에서 탄산화에 의한 CO₂ 포집량은 콘크리트 생산단계에서 배출한 CO₂ 양의 15.5~17% 수준이며, 이는 대략 시멘트로부터 배출되는 CO₂ 양의 약 18~21% 수준으로 있음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 콘크리트 구조물인 아파트 및 사무소 건축물에서 내구년한(40년) 및 재활용 기간(60년) 동안 탄산화에 의한 CO₂

포집량을 평가하였다. 기후와 CO₂포함한 환경조건, 생애주기 원단위 및 콘크리트의 재활용 상서는 2012년도 한국의 데이터를 기준으로 하였다. CO₂포집에 대한 사례연구로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 콘크리트 구조물의 사용 중 CO₂ 포집량은 주로 CO₂ 확산계수와 시멘트 페이스트의 CO₂ 흡수용량에 의해 결정되었다. 반면 콘크리트 구조물의 철거 후 재활용 단계에서 CO₂ 포집량은 각 재활용분야에서 콘크리트 덩어리 또는 순환골재의 표면적에 의해 가장 큰 영향을 받았다.
2. 건축물의 내구년한 동안 콘크리트 탄산화에 의한 CO₂ 포집량은 콘크리트 생산단계에서 배출한 CO₂ 양의 약 5.5~6.0% 수준으로 평가될 수 있었다.
3. 순환골재로부터 포집되는 CO₂ 양은 짧은 탄산화 기간 및 부착된 페이스트의 얇은 두께로 인해 무시할만큼 작았다. 재활용 시나리오들 중에서 CO₂ 포집량에 대한 기여도는 보조기층 활용과 성토순이었다.
4. 아파트와 사무소 건축물의 철거후 재활용 단계 동안 포집된 CO₂ 양은 콘크리트 생산단계에서 배출된 CO₂ 양 대비 각각 10.2%와 11.5%수준이었다.
5. 콘크리트 건축물의 사용 및 재활용 단계에서 탄산화에 의한 CO₂ 포집량은 콘크리트 생산단계에서 배출한 CO₂ 양의 15.5~17% 수준이며, 이는 대략 시멘트로부터 배출되는 CO₂ 양의 약 18~21% 수준이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업(12CCT1-C063722-01)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

Cha, S.W. (1999). Modeling of hydration process and analysis of thermal and hygral stresses in hardening concrete, Ph.D thesis, Seoul National University, Korea.
 Gajda, J. (2001). Absorption of atmospheric carbon dioxide by portland cement, PCA, R&D, Chicago, USA.
 ISO 14040. (2006). Environmental management—lifecycle assessment—principles and framework, International Org—

- anization for Standardization, 2nd Ed., Switzerland.
- Jung, S.H. (2003). Diffusivity of carbon dioxide and carbonation in concrete through development of gas diffusion measuring system, Ph.D Thesis, Seoul National University, Korea.
- Lee, D.H. (2009). USN-based measurement of greenhouse environment and prediction of CO₂ emission from soil, Ph.D Thesis, Sungkyunkwan University.
- Lee, S.H., Park, W.J., and Lee, H.S. (2013). Lifecycle CO₂ assessment method for concrete using CO₂ balance and suggestion to decrease LCCO₂ of concrete in South-Korean apartment. *Energy and Buildings*, **58**, 93–102.
- Pade, C., and Guimaraes, M. (2007). The CO₂ uptake of concrete in a 100 year perspective, *Cement and Concrete Research*, **37(9)**, 1348–1356.
- Papadakis, V.G., Vayenas, G.G., and Fardis, M.N. (1991). Fundamental modeling and experimental investigation of concrete carbonation, *ACI Materials Journal*, **88(4)**, 363–373.
- Yang, K.H., Seo, E.A., and Tae, S.H. (2013 a). Evaluation of CO₂ uptake of concrete owing to carbonation, *Cement and Concrete Research*, Under Review for Publication.
- Yang, K.H., Song, J.K., and Song, K.I. (2013 b). Assessment of CO₂ reduction of alkali-activated concrete. *Journal of Cleaner Production*, **39(1)**, 265–272.

콘크리트 탄산화에 의한 CO₂ 포집량 평가의 사례연구

본 연구에서는 사용단계와 재활용단계에서 다양한 노출조건을 갖는 전단벽시스템의 아파트와 라멘시스템의 사무소 건축물에서 콘크리트 탄산화에 의한 CO₂ 포집량 평가에 대한 사례연구를 수행하였다. 콘크리트 탄산화에 의한 CO₂ 포집평가는 Yang 등에 의해 제시된 절차를 따랐다. 사례연구에서 필요한 입력정보들(기후환경, CO₂ 농도, 생애주기 원단위 데이터베이스, 구조물 기대 수명 및 재활용 시나리오)은 2012년 한국의 실제 측정값을 이용하였다. 콘크리트 생산단계에서 배출되는 CO₂양과의 비교로부터 구조물의 내구연한 동안 CO₂ 포집량은 배출량의 5.5~5.7%로, 재활용기간 동안 CO₂ 포집량은 배출량의 10.5~12%로 평가되었다. 결국, 콘크리트 탄산화에 의한 CO₂ 포집량은 콘크리트 생산에 의한 CO₂ 배출량의 15.5~17%수준으로서, 이는 재료단계의 시멘트로부터 배출되는 CO₂ 배출량의 약 18~21%수준이다.