

탄소저감형 자기충전 콘크리트의 특성

Properties of carbon reducing self consolidating concrete



김용직 Yong-Jic Kim
 (주) 대우건설 기술연구원 융합기술연구팀
 책임연구원
 E-mail : yongjic.kim@daewooenc.com

1. 서론

최근 산업전반에 걸쳐 CO₂ 배출에 대한 환경문제가 이슈화됨에 따라 온실가스 배출에 관한 문제가 산업 전반에 걸쳐 공동으로 해결해야 할 과제로 부각되고 있는 실정이다. 특히 시멘트를 주원료로 사용하는 콘크리트 산업의 경우 경제 개발계획에 따라 산업화 및 도시화가 가속 추진되었으나, 이에 따른 지구 온난화, 생태계 파괴, 자원고갈 및 폐기물 처리 등의 다양한 문제가 발생되고 있다. 또한 시멘트 산업의 경우 약 4,100만 톤의 CO₂가 배출되는 것으로 추정됨에 따라 시멘트를 주재료로 사용하는 콘크리트 산업의 경우에도 온실가스를 감축하기 위한 방안이 요구되고 있는 실정이다. 시멘트 제조시 발생하는 CO₂는 시멘트 1톤 생산시 약 0.8톤의 CO₂가 발생되는 것으로 알려져 있으며, 우리나라 전체 CO₂ 배출량의 약 6.5%에 해당한다. 콘크리트 제조 및 타설까지의 CO₂ 발생량을 고려할 경우에는 그 비율이 약 10% 수준에 해당된다. 따라서 시멘트 산업을 활성화하고 시멘트 강국으로 성장하기 위해서는 환경규제 강화에 대응하여야 하며, 수요 감소 및 녹색성장 대책을 마련하고 에너지 효율 향상 및 원가절감 등의 노력이 필요하다. 콘크리트 재료분야의 주요 연구 및 기술 개발 사례를 살펴보면 온실가스를 감축하기 위하여 산업부산물인 시멘트 대체재로서 활용한 다양한 콘크리트가 개발되어 유용하게 활용되고 있다. 또한 산업부산물의 재활용은 온실가스 감축 이외에도 환경보존, 에너지 절감 등의 효과 등을 기대할 수 있어 지속가능한 건설 기술로 부각되고 있다. 따라서 건설산업에서 산업부산물인 플라이애시 및 고로슬래그미분말 등의 적극적인 활용 및 사용량을 증가시킨다면 시멘트의 사용량을 감소할 수 있으므로 CO₂ 저감 효과를 크게 증대시킬 수 있을 것이다.

2. 국내외 정책

G-SEED 건축물의 자재생산단계, 설계, 건설, 유지관리, 폐기에 걸쳐 건축물의 전 과정에서 발생할 수 있는 에너지와 자원, 지구온난화와 관련하여 유엔기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change)은 1992년 6월 브라질 리

[표 1] 주요 건설재료의 CO₂ 발생량

구분	콘크리트	시멘트	철근
생산량	135 백만 m ³	52 백만 m ³	9.3 백만 m ³
CO ₂ 원단위	400 kg/m ³	900 kg/m ³	767 kg/m ³
발생량	54 백만 ton	46.8 백만 ton	7.1 백만 ton

[표 2] 분체의 화학성분 및 물리적 성질

항목 종류	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	L.O.I (%)	밀도 (g/cm ³)	비표면적 (cm ² /g)
OPC	21.60	6.00	3.10	61.40	-	-	3.40	2.50	0.03	3.15	3,540
GGBF	33.33	15.34	0.44	42.12	-	-	5.70	2.08	3.00	2.90	4,160
FA	58.20	26.28	7.43	6.51	0.80	-	1.10	0.30	3.20	2.18	3,550
CC	0.67	0.39	0.51	95.69	0.44	0.05	1.76	0.17	-	2.50	4,160

우환경회의에서 지구온난화에 따른 이상기후현상을 예방하기 위한 목적으로 채택되었다. 1994년 3월에 50개국 이상이 가입함에 따라 발효되었으며, 국내에서는 1993년 12월 47번째로 기후변화협약에 동참하였다. 2010년 1월 ‘저탄소 녹색성장 기본법’을 제정하였으며, 2020년까지 BAU(Business As Usual) 대비 30% 감축을 위하여 일정규모 이상의 온실가스 배출 및 에너지 소비를 하는 업체를 관리업체로 지정하였다. 따라서 각각의 온실가스 감축목표를 설정하여 이를 이행토록 관리할 수 있는 저탄소 녹색성장 기본법 “제 42조 온실가스·에너지 목표관리제”를 시행하여 국제환경에 대응하고 있는 실정이다. 또한 일본의 경우 2000년 ‘순환형사회 형성추진기본법’을 제정하여 자원절약(Reduce), 재사용(Reuse), 재활용(Recycle)을 주요 목적으로 친환경 정책을 이어오고 있으며, 유럽연합의 경우 2020년 “EU 6th Environment Action Programme”을 통하여 자원-상품-폐기물의 유기적 시스템을 구축하여 천연자원의 지속가능한 이용 및 건축자재 폐기물 재활용 관련 전략 정책을 이어오고 있다. [표 1]은 주요 건설재료의 CO₂ 발생량을 정리한 것이다.

3. 탄소저감형 콘크리트의 품질 특성

탄소저감형 콘크리트의 배합은 분체량을 통하여 점성을 확

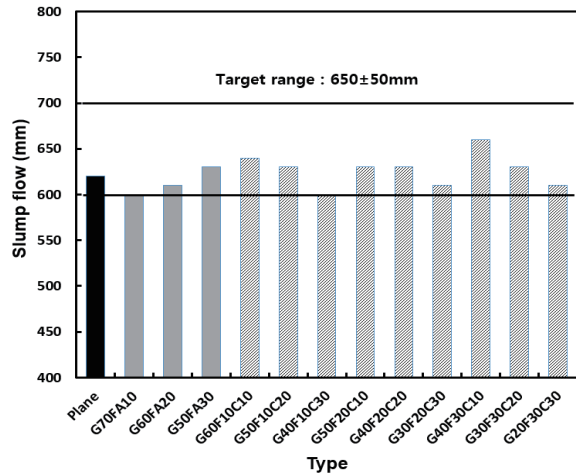


그림 1. 탄소저감형 콘크리트의 슬럼프 플로우

보한 분체계 고유동 콘크리트를 대상으로 하였으며, 사용된 분체는 보통포틀랜드시멘트(OPC)와 수화열 저감 효과와 함께 점성 및 유동성을 확보할 수 있는 플라이애시(FA) 및 고로슬래그 미분말(GGBF)과 미반응성 광물질 혼화제로서 강도조절용으로 미반응성 광물질 혼화제인 탄산칼슘(CC)을 사용하였다. 사용된 각 분체의 화학성분 및 물리적 성질은 [표 2]와 같다.

3.1 탄소저감형 콘크리트의 유동 특성

<그림 1>은 콘크리트 배합의 슬럼프 플로우를 정리한 것

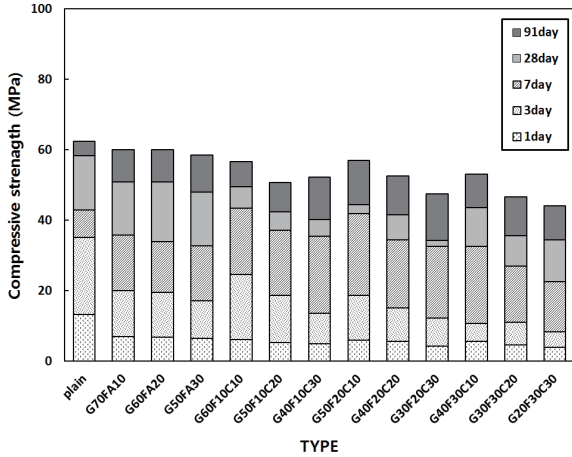


그림 2. 탄소저감형 콘크리트의 재령에 따른 압축강도

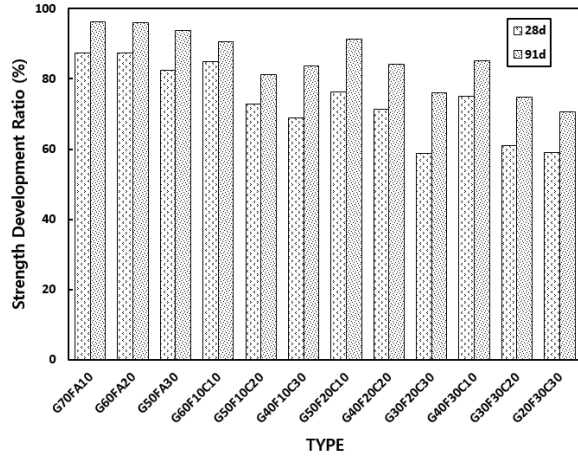


그림 3. 탄소저감형 콘크리트의 강도발현율

이다. <그림 1>의 결과 Plain, 3성분계 배합 및 4성분계 배합은 모두 슬럼프 플로우 600mm 이상을 나타내고 있었다. 3성분계 배합의 슬럼프 플로우의 경우는 GGBF의 혼합률이 감소하고 FA 혼합률이 증가하면 슬럼프 플로우가 증가하는 경향을 보였다. 4성분계 배합의 경우 GGBF 및 CC 혼합률 변화에 따른 슬럼프 플로우는 FA 혼합률 증가에 따라 슬럼프 플로우는 향상되는 경향이 나타났으며, CC의 혼합률이 증가할수록 슬럼프 플로우는 감소하는 경향이 나타났(김용직 등, 2013).

3.2 탄소저감형 콘크리트의 역학적 특성

<그림 2>는 Plane, 3성분계 및 4성분계 배합의 재령 1일, 3일, 7일, 28일 및 91일 압축강도 측정 결과를 정리한 것이다. <그림 2>의 결과 Plain 배합의 경우는 58.0 MPa로 측정되었으며, 3성분계 및 4성분계 배합 중 G50F10C10 배합만이 50 MPa를 상회하는 결과가 나타났다. 이러한 결과는 4성분계 배합의 경우 CC는 반응성 결합재가 아닌 충전재로서의 역할만 하기 때문에 CC의 혼합을 증가에 따라 재령에 따른 압축강도는 감소하는 경향이 나타난 것으로 판단되며, GGBF와 FA의 경향은 기존의 연구사례와 유사하게 GGBF의 혼합률이 감소하고 FA의 혼합률이 증가할수록 재령에

따른 압축강도가 감소하는 경향을 보이고 있다. 이러한 원인은 GGBF의 경우 비결정의 유리질 표면이며, 잠재수경성을 갖는 특징이 있으므로 OPC만을 사용한 Plain과 비교해서 초기 강도발현은 떨어지지만 파쇄과정을 통하여 발생하는 부산물로서 유리질 표면이 파괴되어 알칼리화된 물과 접촉하여 반응하기가 수월하여 활성도가 FA와 비교하여 더 크기 때문이다. 그리고 FA의 경우, 포졸란 반응을 하는 구조재료 중 하나이기는 하지만 입자 자체가 유리질 표면으로 피복되어 있어 피복이 파괴되는데 시간과 조건이 소요되므로 GGBF와 비교하여 상대적으로 활성화 속도가 늦어져 강도가 감소하는 것으로 판단된다. <그림 3>은 Plain에 대한 콘크리트의 재령 28일 및 재령 91일 강도 발현율을 정리한 것이다. <그림 3>의 결과 3성분계 배합의 경우 재령 28일 압축강도 발현율은 약 85% 수준인 것으로 나타났다. 재령 91일 이후 GGBF 및 FA의 포졸란 반응 등에 따른 장기강도 발현으로 Plain과 비교하여 약 95% 발현되는 것으로 나타났다. 또한 4성분계 배합의 경우 G60F10C10 배합 및 G50F20C10 배합만이 재령 91일 강도 발현율이 90% 수준으로 나타났으며, 나머지 배합의 경우 80~90% 수준으로 나타났다. 또한 CC가 30% 혼합된 4성분계 배합은 모두 70% 수준으로 나타났다. 이는 CC의 혼합률이 증가한 만큼 GGBF 및 FA의 반응성 결합재가 감소하였기 때문으로 생각된다. 이러한 결

과를 통하여 Plain 수준의 강도를 발현하기 위해서는 CC의 혼합량 10% 이내가 적절할 것으로 판단되며, 강도 조절용으로 가능할 것으로 판단된다(김용직 등, 2015).

능이 있는 것으로 예측되며, 제조비용의 경우 약 24.5%의 원가 절감이 있는 것으로 예상된다. 따라서 시멘트 사용량이 감소할 경우 탄소저감 성능 확보 및 경제성 향상이 가능할 것으로 판단되며, 시공성 향상 및 작업환경 개선에 따른 경제적 이익이 추가적으로 발생할 것으로 예측된다.

4. 결론

탄소저감형 콘크리트의 품질특성은 다량의 산업부산물을 혼합하여 시멘트 사용량을 80% 이상 감소시킨 배합에서 목표 성능을 만족하는 품질을 얻을 수 있어야 한다. 이는 작업성 확보를 위한 유동특성, 구조물의 신뢰성 확보 차원에서 역학특성 및 내구특성이 기존 콘크리트의 품질과 동등한 수준을 확보해야 한다. 한편, 탄소저감형 콘크리트의 주요 목표중 하나인 탄소저감 성능 분석(LCA)이 필요하다. 상기에서 언급한 콘크리트를 대상으로 탄소저감 성능을 분석할 경우 기존 배합과 비교하여 약 62.2%의 탄소저감 성

참고문헌

1. 김용직, 김영진, 조준희, 한호성, "다성분계 자기충전 콘크리트의 품질 특성", 한국콘크리트학회학술대회논문집, Vol. 28, No. 1, pp. 285-286 (2013)
2. 김용직, 김영진, 조준희, "다성분계 자기충전 콘크리트의 역학 및 내구특성", 한국콘크리트학회학술대회논문집, Vol. 28, No. 2, pp. 433-434 (2013)
3. 김용직, 김영진, 조준희, "탄소저감형 콘크리트의 내구성", 한국콘크리트학회 학술대회논문집, Vol. 30, No. 1, pp. 181-182 (2015)

담당 편집위원 : 김용직(주) 대우건설 기술연구원

●● 학회지 광고 안내

Magazine of RCR(한국건설순환자원학회지)은 계간으로 발행되어 회원을 비롯한 관련 업계, 학회, 유관기관 및 단체 등에 배포되고 있습니다.

저렴한 가격과 가장 효과적인 방법으로 귀사를 홍보할 수 있는 한국건설순환자원학회지 광고의 많은 이용 부탁드립니다.

- 아 래 -

1. 광고 게재면

게재면	광고 협찬금	게재면	광고 협찬금
표지 2	80만원	간지	70만원
표지 3	70만원	내지(전면)	50만원
표지 4	100만원	박스 광고	30만원

2. 할인혜택

본 학회의 특별회원사가 게재하는 광고 또는 연2회 이상 광고 게재 시 상기 광고 게재료의 10%를 할인해 드립니다.

3. 문의

한국건설순환자원학회 사무국(Tel. : 02-552-4728, E-mail : rcr@rcr.or.kr)