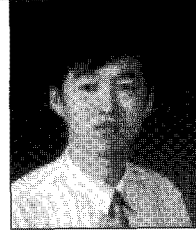


탄소배출저감 친환경 콘크리트

Eco-Friendly Concrete for Carbon Emission Reduction



김 용 로*



김 욱 종**

*대림산업(주) 건축연구지원팀 과장
**대림산업(주) 건축연구지원팀 부장

1. 서 론

산업혁명 이후 인류의 화석연료 사용 증가로 대기 중의 온실가스 농도가 증가하여 지구의 평균기온이 상승되고 있으며, 이에 따라 폭염·한파·홍수 등의 이상 기후현상이 전 세계적으로 나타나고 있다.

현재와 같은 상태라면 21세기말에는 지구의 평균기온이 최대 6.4℃, 해수면이 59cm 상승할 것으로 예상되고 있다.

이와 같은 기후변화는 생태계, 산업, 경제, 생활 등 전반에 걸쳐 광범위한 영향을 미치게 되며, 이에 따라 온실가스 배출저감을 위한 노력이 지구 생존차원에서 부각되고 있는 상황이다.

국내에서도 2008년 8월 15일 광복절 경축사 중 대통령이 새로운 60년 국가비전으로 ‘저탄소 녹색성장(Low Carbon, Green Growth)’을 제시하였으며, 2009년 12월 코펜하겐 기후변화 정상회의 전 2020년까지 2005년 기준 온실가스 배출을 4% 저감하겠다고 발표한 바 있다.

이러한 상황에서 온실가스의 상당 부분을 배출하고 있는 콘크리트 산업분야에서도 탄소배출저감을 위한 다양한 건설기술의 개발 및 에너지 효율을 증가시키고 환경오염을 저감할 수 있는 녹색건설을 위한 노력이 다양하게 취해지고 있다.

일례로서 2010년 5월 한국콘크리트학회에서는 콘크리트 관련 7개 단체가 ‘콘크리트 환경선언’을 발표하였으며, 시멘트, 건설산업 부산물, 철강산업 부산물, 전력산업 부산물의 재활용 등에 관련된 자료를 제시하였다.

국내 건설업계에서도 콘크리트와 관련된 탄소배출저감 기술에 관한 개발이 지속적으로 진행되고 있는 상황이며, 현재까지 주요 개발 방향은 콘크리트 원재료 중 탄소배출이 가장 많은 것으로 보고되고 있는 시멘트의 사용량을 저감하기 위한 방안으로 진행되고 있다.

이에 본고에서는 녹색건설의 일환으로 콘크리트 분야의 탄소배출저감 방안 중 기존의 일반적인 콘크리트에 비해 시멘트량을 크게 저감시킨 탄소배출저감형 친환경콘크리트의 개발 사례를 소개하고자 한다.

2. 콘크리트 분야의 탄소배출저감 방안

콘크리트와 관련된 탄소배출원은 우선 시멘트, 물, 골재, 혼화재료 등의 콘크리트 원재료, 철근콘크리트로 구성될 경우 철근, 콘크리트의 생산, 운반, 타설 및 양생과정, 그리고 콘크리트 구조물의 해체 등을 거론할 수 있다.

이와 같은 탄소배출원을 크게 재료 제조, 운송 및 시공의 3단계로 구분하여 탄소배출 정도를 비교한 자료에 따르면

콘크리트공사시 CO₂ 배출

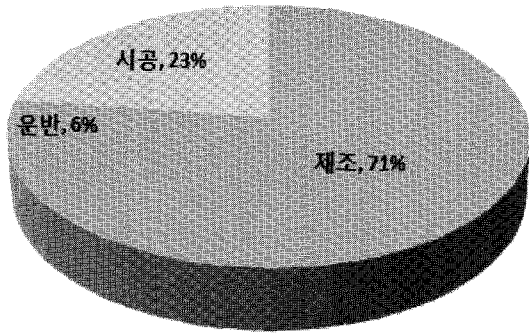


그림 1 콘크리트 공사 과정별 CO₂ 배출 비교

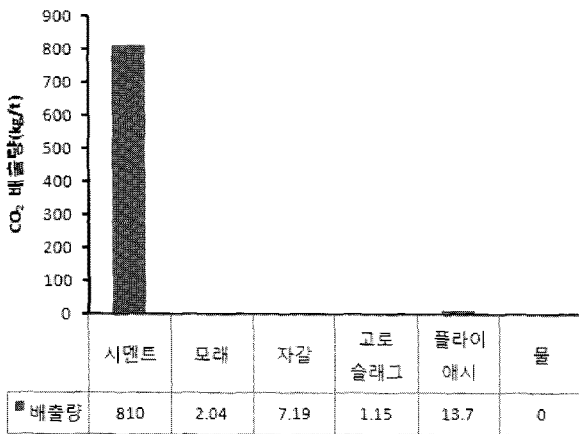


그림 2 콘크리트 원재료별 CO₂ 배출 비교

그림 1에서 보는 바와 같이 재료의 제조시 71%, 운송시 6%, 시공시 23%로 주로 콘크리트의 제조에 있어서 탄소배출이 많은 것을 알 수 있다.

한편, 콘크리트를 구성하는 원재료의 탄소배출량을 기준 자료를 참고하여 검토한 결과 그림 2에서 보는 바와 같이 대부분 시멘트의 생산과정에서 발생하고 있으며, 시멘트 대체재로 활용되는 고로슬래그 미분말 및 플라이애시 등의 경우 발생량이 작은 것을 알 수 있다.

상기와 같은 자료를 기초로 할 때, 콘크리트에 관련된 탄소배출을 저감하는 방안으로서는 불필요한 건설공사를 줄이고, 콘크리트 구조물의 장수명화 등을 통해 1)콘크리트 소비를 줄이는 방안, 콘크리트의 시공성 및 역학적 특성이 확보되는 범위에서 원재료 중 2)시멘트량을 최소화하는 방안, 그리고 시멘트 생산시 부원료의 활용 증대 등을 통해 3)시멘트 클링커 발생을 최소화하는 방안 등이 있을 것으로 판단된다.

이 중 시멘트 생산과정에서의 탄소배출저감에 관해서는

현재 국내 시멘트사에서도 대체연료 사용 확대, 혼합재 사용 증대, 고효율 설비 도입, 이산화탄소 회수 처리 기술 개발 등과 같은 다양한 노력이 이루어지고 있다.

또한, 생산된 재료를 사용하여 콘크리트 배합을 설정하는 단계에서 시멘트량을 최소화하고, 콘크리트의 장수명화를 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 본고에서는 소개하는 내용은 이와 같은 개념을 도입하여 개발된 탄소저감형 친환경 콘크리트 배합 및 적용 사례이다.

3. 탄소배출저감 친환경 콘크리트의 특성

3.1 탄소배출저감 콘크리트 개요

탄소배출저감 콘크리트는 그림 3에서 보는 바와 같이 기존의 일반 콘크리트에 비해 고로슬래그 미분말 및 플라이애시 등의 혼화재 사용량을 크게 증가시키고, 시멘트량을 최소화하는 개념과 감수율이 높은 고성능감수제를 사용하여 물결합재비를 크게 감소시켜 시멘트량 감소에 따른 성능저하에 대응하는 개념을 적용한 것이다.

3.2 탄소배출저감 콘크리트 배합

기존 일반 콘크리트와 탄소배출저감 친환경 콘크리트 배합 사례를 비교하여 표 1에 나타냈다.

표 1에서 보는 바와 같이 일반 콘크리트와 비교하여 탄소배출저감 친환경 콘크리트는 단위시멘트량이 약 70~200kg/m³ 정도 감소되어 있으며, 감소된 시멘트의 대체 재료로 고로슬래그 미분말 및 플라이애시가 다량으로 적용된다.

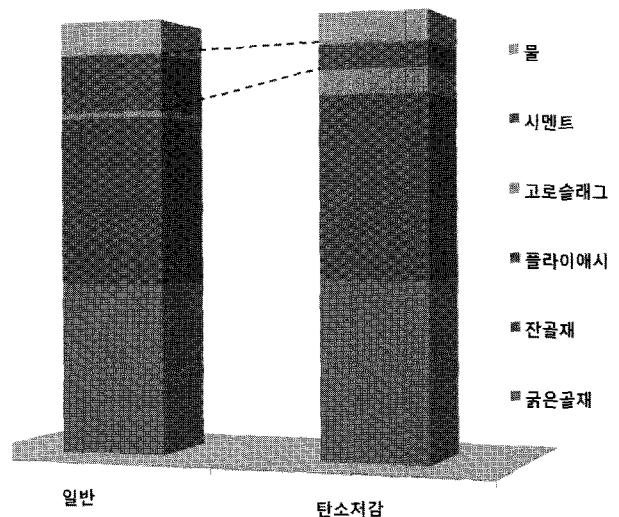


그림 3 탄소저감 콘크리트 개념

표 1 일반 및 탄소저감 콘크리트 배합 사례

구분	W/B (%)	S/a (%)	단위수량 (kg/m ³)	단위질량 (kg/m ³)						
				C	BFS	FA	S	G	SP	
일반	51.4	48.0	180	298	35	18	849	927	1.75	
탄소저감	일반	48.4	48.0	160	231	66	33	878	959	2.64
	서중	46.9	48.0	155	165	99	66	877	957	2.64
	매스	42.4	48.0	140	99	132	99	889	970	3.30

※ C : 보통포틀랜드시멘트, BFS : 고로슬래그 미분말
FA : 플라이애시, S : 잔골재, G : 굵은골재

단위수량의 경우 일반 콘크리트에 비해 약 20~40kg/m³ 정도 감소되고, 물결합재비(W/B)의 경우도 3.0~9.0% 정도 감소되어 시멘트량 감소에 따른 성능 저하에 대응할 수 있도록 설정되어 있다.

이와 같은 물결합재비 및 단위수량의 대폭적인 감소를 위해 탄소저감 콘크리트의 경우 일반 콘크리트에 비해 감소율이 높은 양질의 고성능감수제를 적용하고, 고성능감수제의 사용량도 증가시킨 것을 알 수 있다.

한편, 당사의 경우 탄소배출저감형 친환경 콘크리트의 배합을 적용시기(절기) 및 부재 등에 따라 표 1과 같이 일반, 서중, 매스 등으로 구분하여 혼화재 대체율을 조정하는 방안으로 설정하여 적용하고 있다.

3.3 탄소배출저감 콘크리트의 성능

1) 굳지 않은 콘크리트 물성

탄소배출저감 친환경 콘크리트와 일반 콘크리트의 슬럼프 및 공기량 시험 사례를 나타낸 그림 4에서 보는 바와 같이 굳지 않은 콘크리트 물성의 경우 기존의 일반 콘크리트와 동등 이상의 확보가 가능한 것을 알 수 있다.

굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 및 공기량은 고성능AE감수제 종류 및 사용량의 변경 등에 따라 조절이 가능한 성능이므로 실제 현장 적용시에는 현장에서의 요구조건에 맞추어 적용이 가능하다.

2) 압축강도 발현 특성

탄소배출저감 친환경 콘크리트의 압축강도 발현은 고로슬래그 미분말 및 플라이애시의 대체율에 따라 다소 차이가 있다.

그림 5는 탄소배출저감 콘크리트와 일반 콘크리트의 재령에 따른 압축강도 발현 특성을 비교하여 나타낸 것으로서 일반 절기 및 상부 부재에 적용하는 것을 목적으로 하는 “탄소

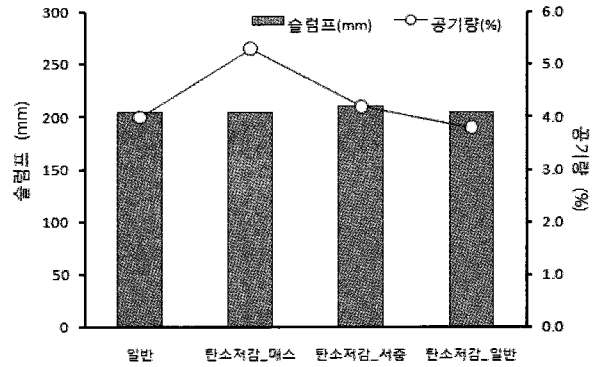


그림 4 슬럼프 및 공기량 비교

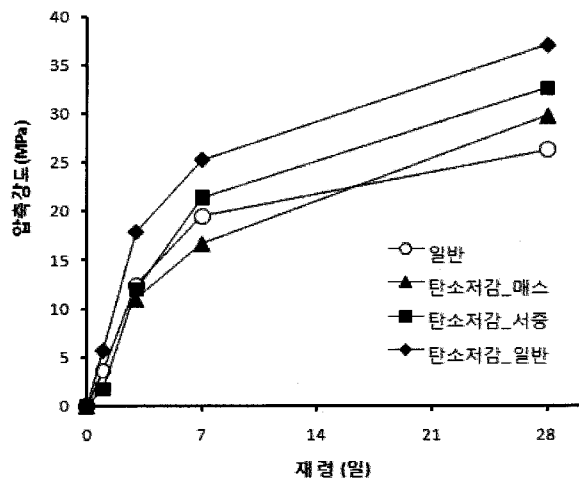


그림 5 압축강도 발현 특성 비교

배출저감 일반”의 경우 초기 재령에서부터 기존의 일반 콘크리트에 비해 오히려 강도발현이 우수한 것을 알 수 있다.

한편 시멘트 중량의 70%를 고로슬래그 미분말 및 플라이애시로 대체한 “탄소배출저감_매스”의 경우 재령 7일까지의 초기 재령에서는 기존의 일반 배합에 비해 다소 강도발현이 지연되지만, 재령 28일에서는 일반 배합의 강도를 상회하고 있어, 설계기준강도의 확보에 문제없이 조기강도가 필요하지 않은 기초 매트 부재, 또는 단면이 큰 매스 부재의 적용에 효과가 있는 것을 추정할 수 있다.

3) 내구성

혼화재를 다량 사용하여 시멘트량이 감소하게 될 경우 콘크리트의 내구성 저하가 우려되므로 탄소배출저감 친환경 콘크리트의 실제 적용을 위한 사전 검토로서 촉진 내구성 평가를 실시하였다.

기존에 현장에 적용되고 있는 일반 콘크리트와 시멘트 대체율이 가장 많은 “탄소배출저감_매스”배합의 길이변화, 동결

용해 저항성, 탄산화 저항성, 염화물이온 침투 저항성, 철근부식 저항성 등을 평가한 결과를 그림 6, 7 및 표 2에 나타냈다.

길이변화 및 동결융해 시험 결과 단위수량 및 물결합재비의 감소 효과로 기존의 일반 콘크리트와 비교하여 동등 이상의 성능을 발휘하는 것을 알 수 있다.

또한, 혼화재의 다량 사용에 따른 염화물이온 고정화 효과 등으로 염화물이온 침투 저항성도 향상되었다. 단, 탄산화 저항성의 경우 알칼리성을 부여하는 시멘트의 사용량 감소와 Ca(OH)₂와 반응하는 포졸란 재료의 사용량 증대 등에 기인하여 탄산화 깊이가 다소 높게 나타났다.

상기와 같은 내구성의 경우 철근부식을 촉진시키는 것이 문제이며, 이에 대한 촉진 시험 결과 탄소배출저감 친환경 콘크리트의 경우 방청을 확보에는 문제가 없는 것이 확인되었다.

이상으로부터 시멘트 사용량을 최소화한 탄소배출저감 친환경 콘크리트의 경우 실제 현장 적용시 내구성 확보에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

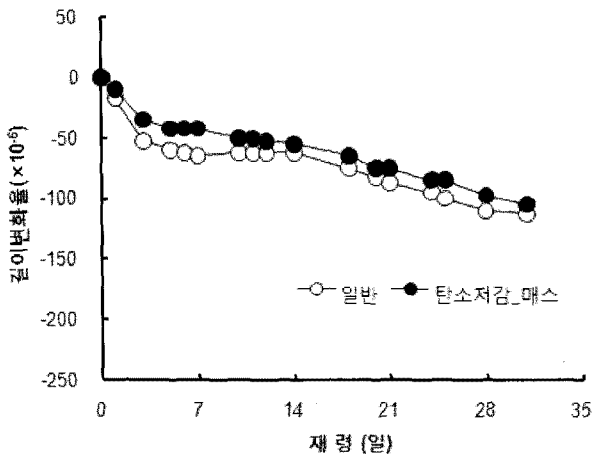


그림 6 콘크리트 길이변화 비교

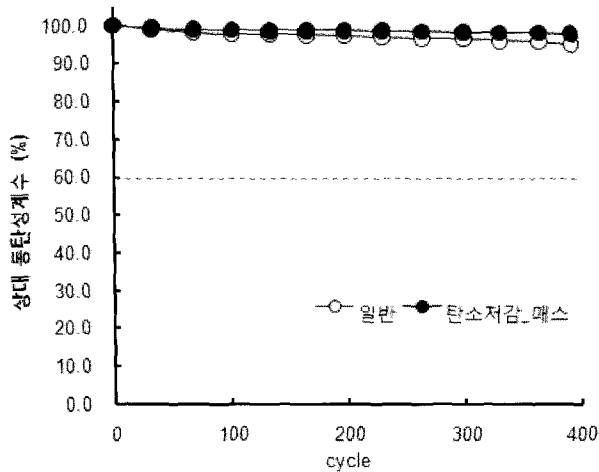


그림 7 콘크리트 동결융해 저항성 비교

표 2 내구성 비교 평가 사례

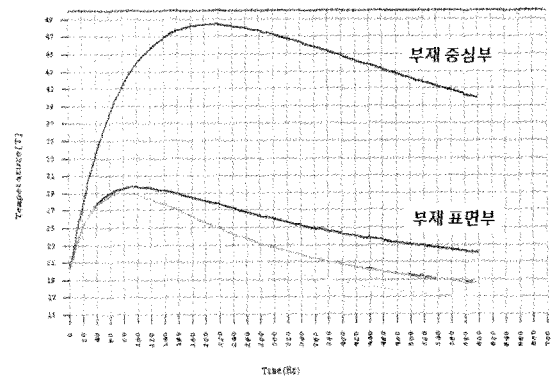
구분	탄산화 저항성	염화물이온 침투 저항성	철근부식 저항성
	촉진 탄산화 깊이 (28일, mm)	통과전하량 (coulombs)	방청율(%)
일반	4.92	2,830	100.0
탄소저감	6.55	1,037	100.0

4) 수화열 저감 성능

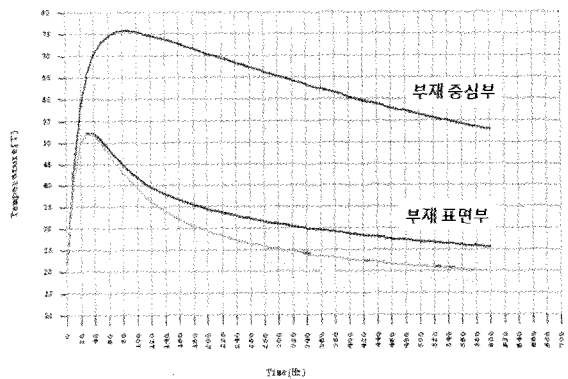
“탄소배출저감 콘크리트”의 경우 시멘트 사용량을 최소화하였기 때문에 기존에 적용되고 있는 일반적인 배합에 비해 수화열 저감 효과가 우수하게 된다.

그림 8은 탄소배출저감 콘크리트와 일반 콘크리트의 적용시 수화발열 특성을 해석을 통하여 검토한 것으로서 이때 수화열 해석을 위한 조건은 표 3에서 보는 바와 같다.

그림에서 보는 바와 같이 주요 절점에서의 온도 이력을 검토한 결과 중심부 최고 온도는 탄소배출저감 콘크리트의 경우 약 48℃, 레미콘사에서 제출한 일반 배합(BFS 40% 적용)의 경우 약 77℃의 수준으로 나타나 탄소배출저감 콘크리트의 수화열 저감 효과가 상당히 우수한 것을 알 수 있다.



(a) 탄소배출저감 콘크리트



(b) 레미콘사 제출 배합

그림 8 주요 절점에서의 온도이력

표 3 콘크리트 수화열 해석 조건

구분	주요 조건
배합	<ul style="list-style-type: none"> 단위결합재량 417kg/m³ 사용 레미콘사 제철 배합 : 고로슬래그 미분말 30% 탄소배출저감 배합 : BFS+FA 70% 적용
양생	<ul style="list-style-type: none"> 거푸집 : 합판거푸집 양생 : 양생포를 사용하여 보온 양생
온도	<ul style="list-style-type: none"> 외기온 : 15℃ / 콘크리트 온도 : 20℃
대류 경계	<ul style="list-style-type: none"> 합판거푸집 : 8.0W/(m²℃) 양생포 : 5.0W/(m²℃)
단열 온도식	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 표준시방서 제시 식 적용 레미콘사 배합 : K = 56.70, α = 1.2495 탄소배출저감 배합 : K = 33.93, α = 0.3080
강도 발현식	<ul style="list-style-type: none"> 압축강도 : $f_{cu}(t) = \frac{t}{4.5 + 0.95t} f_{cu(91)}$ 인장강도 : $f_{sp}(t) = 1.4 \sqrt{f_{cu}(t)}$

3.4 탄소배출저감 효과

본고의 표 1에 제시된 일반 콘크리트 및 탄소배출저감 친환경 콘크리트의 배합의 원재료량으로부터 탄소배출저감 효과를 개략적으로 정리하여 표 4에 제시하였다.

또한 그림 9는 배합별 “탄소배출량/m³”을 비교하여 나타낸 것으로서 본고에서 소개하는 탄소배출저감 친환경 콘크리트의 경우 기존의 일반적인 콘크리트에 비해 약 50~160kg-CO₂/m³의 탄소배출저감이 가능한 것을 알 수 있으며, 이는 소나무 한그루가 연간 5.6kg의 CO₂를 흡수한다고 할 때, 소나무 9~29그루가 흡수하는 양과 맞먹는 수치이다.

건설현장 1개소에서 적용되는 콘크리트의 타설량을 약 100,000m³로 고려할 경우 2007년 기준 국립산림과학원 발표자료를 기준인 1ha당 나무그루수 1253그루를 고려하게 되면, 약 2,300ha의 산림이 흡수하는 효과를 발휘하게 될 것으로 판단된다.

4. 탄소배출저감 콘크리트 현장 적용 사례

당사에서는 녹색건설 및 콘크리트의 안정적인 품질 확보를 목적으로 하여 2006년도부터 혼화재를 다량 사용하고, 감수율이 높은 양질의 고성능감수제를 사용하여 단위수량

표 4 배합 종류 및 원재료별 탄소배출량

구분	재료별 탄소배출량 (kg-CO ₂ /콘크리트1m ³)					합계 (kg-CO ₂ /콘크리트1m ³)	
	C	BFS	FA	S	G		
일반	241.0	0.0	0.2	1.7	6.7	249.6	
탄소저감	일반	187.1	0.1	0.5	1.8	6.9	196.4
	서중	133.7	0.1	0.9	1.8	6.9	143.4
	매스	80.2	0.2	1.4	1.8	7.0	90.6

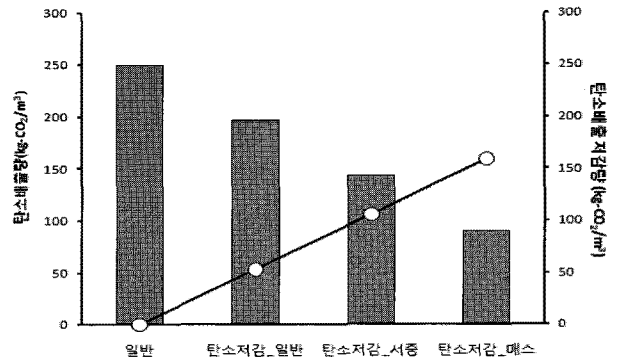


그림 9 배합별 탄소배출량 비교

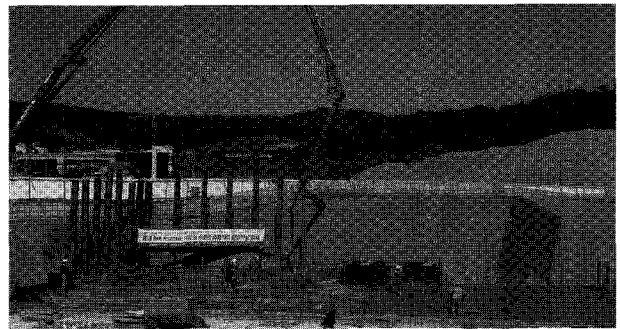


사진 1 탄소저감형 초저발열 콘크리트 현장 적용 장면

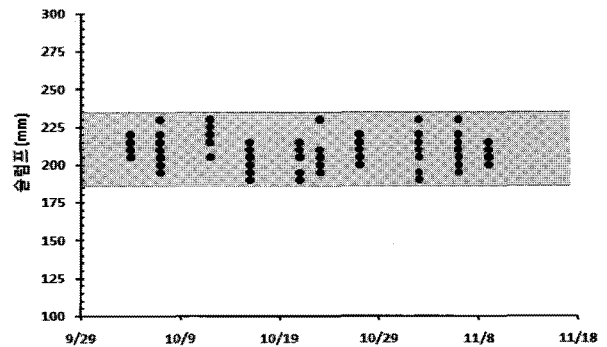


그림 10 현장 반입 검사시 슬럼프 측정 사례

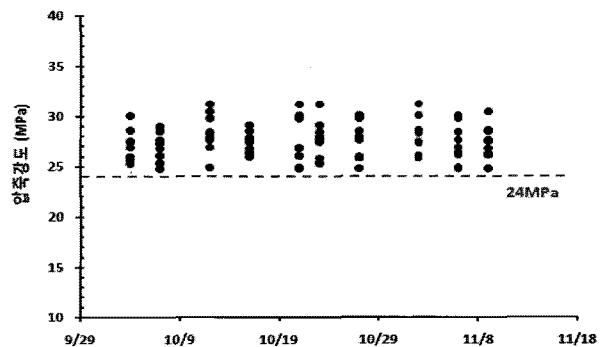


그림 11 현장 타설 후 재령 28일 압축강도 측정 사례 (설계기준강도 24MPa)

및 물결합재비를 감소시킨 탄소배출저감형 친환경 콘크리트를 건축현장을 중심으로 적용시키고 있다.

또한, 현장 적용 결과 단위수량 저감에 의해 골조의 균열 저감 효과가 확인되어, 현재 대부분의 현장에서 탄소배출저감형 콘크리트가 적용되고 있는 상황이다.

한편, 최근 매스콘크리트용으로 시멘트 사용량을 대폭 저감시킨 탄소저감형 초저발열 콘크리트의 개발을 성공적으로 완료하여, 사진 1에서 보는 바와 같이 실제 현장 적용이 진행된 바 있다.

현장 적용시 품질관리 항목으로서 슬럼프 및 압축강도의 평가 결과 그림 10~11에 나타낸 바와 같이 목표 슬럼프 내에서 관리가 되고, 시멘트를 최소화 하였어도 설계기준강도 이상을 안정적으로 발휘되는 것이 확인되었다.

이와 같은 성과를 기반으로 하여 그림 12에서 보는 바와 같이 언론보도를 통해 당사의 기술력 및 녹색건설 기업으로서의 이미지 제고도 가능하게 되었으며, 이에 따라 당사 뿐만 아니라 국내 타 건설사에서의 유사한 기술의 적용도 확대될 것으로 기대되고 있다.

5. 결론

현 정부에서 신국가발전 패러다임으로 온실가스와 환경오염을 줄이는 '저탄소 녹색성장'을 제시하고, 전세계적으로 환경보전 및 에너지절약이 이슈화됨에 따라 건설산업 분야에서도 이에 대한 대응방안이 요구되고 있는 상황이다.

이에 대응하여 콘크리트 산업분야에서도 환경보전 및 에너지 절감을 위한 기술 개발, 친환경 건설재료 개발 등 친환경화를 위한 대응 전략을 적극적으로 수립하고, 대외 홍보를 활발히 진행하고 있다.

본고에서 소개한 탄소배출저감형 친환경 콘크리트는 이와 같은 사회적인 요구에 부합되는 친환경 건설재료로서, 건설현장에서 시멘트 사용량 저감에 대한 막연한 불안감 및 불신을 기술 데이터 등을 통해 해소하고, 탄소배출저감이라는 범국가적인 차원에서의 기술보급 노력이 진행된다면 전술한 바와 같이 환경보전 측면에서 커다란 효과가 있는 "녹색건설"기술로 활용이 증대될 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

1. 국무총리실 기후변화대책기획단, 기후변화 대응 종합기본계획, 2008. 9. 19
2. Koji Sakai, Sustainability of Concrete-CO₂ Reduction-, KCI 2010 Spring Convention, 2010. 5
3. 한국콘크리트학회 친환경콘크리트 위원회, 콘크리트와 환경, 2010. 5
4. 지식경제부, 시멘트산업 녹색성장 추진 전략 보고서, 2009. 6
5. 공민호 외, 혼화재 다량 치환에 따른 콘크리트 기초적 특성 및 수화열 검토, 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, Vol.22 No.1, 2010. 5, pp.257~258
6. 최세진 외, HVFA 콘크리트의 기초물성 및 단열온도상승 특성에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, Vol.22 No.1, 2010. 5, pp.309~310
7. 박찬규 외, 플라이애시 다량 치환 콘크리트 현장 적용, 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, Vol.21 No.1, 2009. 5, pp.271~272

A10 리빙&테크 2010년 4월 15일 월요일

대림, 탄소배출저감형 콘크리트 상용화

국내 첫 70%까지 줄인 친환경으로 타성... 광교 e-편한세상 기호공사에 적용 성공

국내 최초로 탄소배출저감형 콘크리트가 상용화됐다. 대림산업은 기존 콘크리트보다 70% 이상 탄소배출량을 30%까지 줄일 수 있는 친환경 콘크리트로 발효 e-편한세상 광교 콘크리트 타설현장을 15일 공개했다.

대림산업이 개발한 '대림콘크리트'는 이산화탄소 배출량이 기존 콘크리트보다 70% 정도 줄어든다.

이산화탄소 배출량이 적은 이유는 콘크리트의 수화열을 적게 사용하기 때문이다.

시멘트 1t당 생산량만 절반으로 0.9t/당 이산화탄소가 발생되는 것으로 알려져 있다. 대림산업이 개발한 친환경 콘크리트는 일반 콘크리트와 비교해 10~20% 정도 더 시멘트를 사용한다.

이산화탄소 배출량이 적은 시멘트 사용량 외에 이산화탄소 배출량을 줄이는 것이다.

대림산업은 발효 e-편한세상 광교 콘크리트 사용의 최종 규모와 발효 1차 변경의 선임을 조율하는 과정을 거쳤다고 설명했다.

시멘트 사용량이 적어 1차 비용 절감 효과도 크다.

대림산업은 친환경 콘크리트 사용으로 1% 이상의 저조리기를 절감할 수 있을 것으로 내다본다.



일반적으로 건축현장에서 기초 콘크리트는 전체 콘크리트량의 20~30% 정도를 차지한다.

이와 함께 이번에 개발한 친환경 콘크리트는 대림 콘크리트 구조물에서 수화열(시멘트에 물을 섞을 때 발생하는 열)을 발생시키는 균열문제도 해결할 수 있을 전망이다.

대림산업 관계자는 "이산화탄소 20% 정도 저감된다"고 말했다.

대림산업은 친환경 콘크리트 사용을 평가

받았다고 밝혔다.

대림산업은 발효 e-편한세상 광교에 이르는 광교역, 토목 등 모든 건설 현장의 기초공사에 이번에 개발한 친환경 콘크리트를 사용한다는 계획이다.

대림산업 기술연구소 측은 "이번에 개발한 친환경 콘크리트 기술은 모든 건설 현장에 적용이 가능한 만큼 친환경 콘크리트 사용을 모든 건설현장으로 확대할 계획"이라고 밝혔다.

김해 기자 haeck@

그림 12 탄소저감 콘크리트의 언론홍보 기사

[담당 : 김명환, 편집위원]