

에코콘크리트 현장 적용에 따른 강도 상승 효과 및 이산화탄소 절감 효과에 관한 연구

A Study on the Effect of strength improvement and CO₂ reduction
by using Eco-concrete in construction site

(Received March 14, 2011 / Revised March 30, 2011 / Accepted March 31, 2011)

김정진¹⁾ 황인성^{2)*} 이상현¹⁾ 위준우¹⁾
Jeong-Jin Kim¹⁾ Yin-Seong Hwang²⁾ Sang-Hyun Lee¹⁾ Joon-Woo We¹⁾

¹⁾Lotte Research & Development Institute, 104 Wonhyo1Ga, Yongsan-Gu, Seoul, Korea

²⁾Asiacement Research & Development Institute, Jechun-Si, Chung Buk

Abstract

Blast furnace slag cement is a cement manufactured with using industrial by-product and it can reduce CO₂ by replacing cement when same uit volume concrete is produced. But Blast furnace slag has a short point that early strength of concrete is not good in winter season and it can be used. So, in this study, as long as replacement ratio of Blast furnace slag to original portland cement is under 30%, developed cement, ecoment, improve early strength of concrete and it applied to constructoin site. As a result, it improves 37% in terms of 1-day strength, it reduces 6.7% in terms of CO₂ emission when 1m³ concrete was produced.

The impotence and applicability of study will be expected to increase cosidering global effort and green growth-strategy in country for reducing greenhouse gases.

키워드 : 탄소배출 저감, 시멘트, 콘크리트, 친환경

Keywords : Carbon emmission reduction, cement, concrete, eco-friendly

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

21세기 들어 국제사회는 기후변화에 따른 지구온난화문제의 심각성에 대하여 인식을 같이하고 있으며 현재 세계 각국에서는 전 산업부분에서 온실가스인 이산화탄소를 저감하기 위한 노력이 한창 중에 있다.

세계 각국은 1992년에 리오 유엔환경개발회의에서 지구온난화 방지를 위한 유엔기본협약을 채택하였으며 1997년에는 제 3차 당사국회에서 지구온난화의 원인이 되는 이산화탄소(CO₂)등의 감축의무를 규정한 기후변화협약의 실

행지침인 교토의정서를 채택하였다.

2005년에는 러시아 정부의 비준으로 교토의정서가 발효됨에 따라 의정서 비준국에 대한 실질적 효력이 발생하게 되었다. 교토의정서는 2008년부터 5년에 걸쳐 선진국의 온실가스배출량을 평균 5.2% 감축하는 것을 의무화하고 있으며 현재 우리나라는 개발도상국으로 분류가 되어 이행의 의무는 아직 없다.

하지만 2008년부터는 점진적으로 의정서의 이행의무를 지게 되었으며 2013년 5월 대상국 확대협약에서는 우리나라도 동참을 요구받을 것으로 예상된다.

이에 따라 전 산업분야에서는 더 이상 자발적 저감이 아닌 강제적 저감 상황에 직면하고 있으며, 이는 기업의 경제적 이익을 떠나 인류의 터전인 지구 환경 지속성에 대한 불안감으로 해결해야 할 당면 과제가 되었다.

* Corresponding author
E-mail : hwangys@asiacement.co.kr

1.2. 연구의 필요성

콘크리트는 건설산업에서 가장 중요한 구조재료로 사용되고 있으며 경제성 및 시공성의 이점으로 향후에도 그 사용량이 지속적으로 확대될 것으로 사료된다.

그런데 오늘날 대부분의 건축물에 사용되고 있는 콘크리트는 골재를 채움재로, 시멘트를 결합재로 사용하는 건축재료로서 시멘트 제조 시, 주 원료인 석회석의 탈탄산과정에서 다량의 이산화탄소가 발생함에 따라, 콘크리트 재료는 반친환경적 건축재료라는 인식이 커져가고 있다. 보통 포틀랜드 시멘트의 경우 1톤 생산 시 약 872kg의 이산화탄소가 발생할 정도로 다량의 이산화탄소를 방출하고 있다.

따라서 21세기 친환경 시대, 지구환경지속성을 위하여 전 지구적 차원에서 이산화탄소를 절감 노력과 함께 건설산업에 대표적인 콘크리트 또한 환경부하 저감을 위한 기술개발이 적극적으로 요구되고 있는 상황이다.

이에 본 연구에서는 에코멘트를 이용한 에코콘크리트의 현장 적용을 통해 강도발현 특성과 이산화탄소 저감효과에 대한 분석을 실시하였다.

트이다.

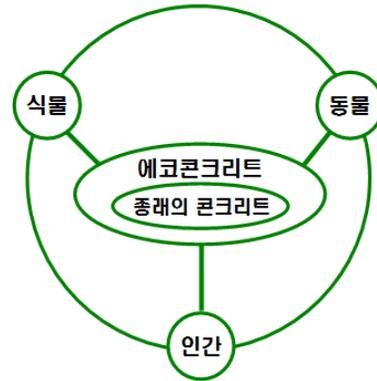


Fig. 1 Concep of eco-concrete

좀더 구체적으로 에코콘크리트란 생산된 콘크리트가 동식물의 식생을 보조하거나 동식물에 미치는 악영향을 저감하는 콘크리트, 또는 콘크리트에 사용되는 원재료 생산 및 소비에 의한 환경부하 저감을 하는 콘크리트로 크게 구분하며 그 실현 기술 및 용도는 Fig. 2¹⁾와 같다.

2. 에코멘트를 이용한 에코콘크리트 개발

2.1. 에코콘크리트의 정의

에코콘크리트의 개념은 Fig. 1과 같이 종래의 콘크리트와 구분하여 인간, 동물, 식물과의 공존을 고려한 콘크리

2.2. 에코멘트 정의

에코멘트(ECOMENT,EM)란 에코+시멘트의 합성어로, 저온시 시멘트를 대체 사용하여 탄소 배출량 저감과 함께 초기강도 향상 및 공기단축의 목적으로 사용되는 것이다.

또한 실무 건설사에서는 저온 시 초기강도저하로 혼화재의 사용량을 제한하고 시멘트를 중심으로 레미콘을 사용하고 있으나, 에코멘트는 저온 시에도 20~30%를 시멘트

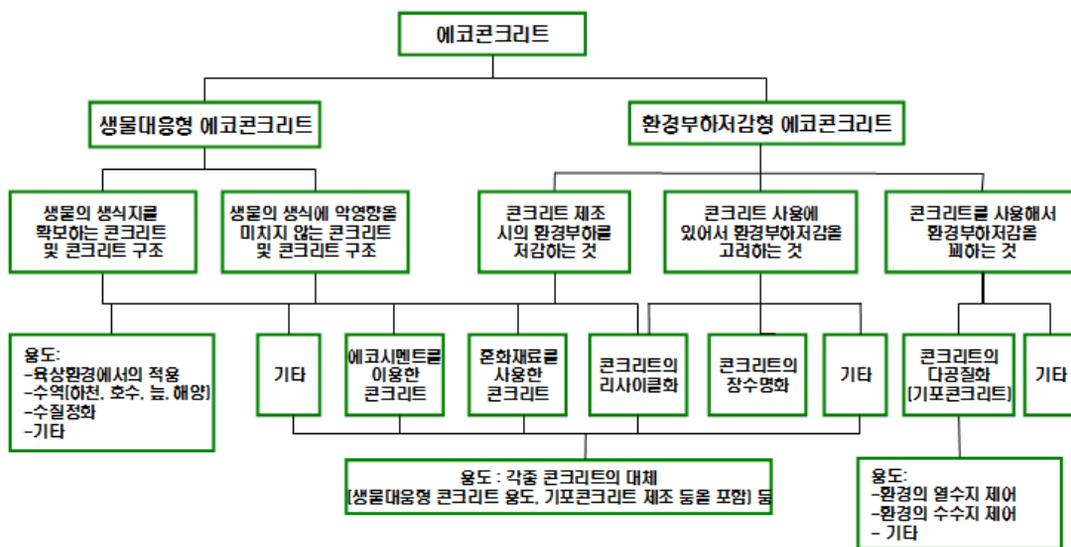


Fig. 2 Classification and usage of eco-concrete¹⁾

와 대체하여 사용해도 동등이상의 품질을 발휘할 수 있도록 각종 혼화제와 조강개선탄재 등을 프리믹스(GPC)하여 제조한 콘크리트용 저탄소 에코혼화제이다.

2.3. 혼화제를 사용한 에코콘크리트 기술개발 동향 및 한계

기존의 고로슬래그 및 플라이애쉬 등을 시멘트 사용량에 대체하여 사용한 실적은 많으나 혼화제 사용에 따른 초기강도 발현 저하 현상으로 인해 혼화제의 사용이 표준기로 국한하여 사용하고 있는 실정이다. 최근 이러한 문제를 개선하기 위하여 알칼리 자극제를 첨가하여 고로슬래그를 사용한 콘크리트의 초기강도 발현 성능이 일반 시멘트와 동등 이상 발휘할 수 있는 기술이 개발되었다. 그러나 이러한 기술도 동절기와 같은 저온환경에서는 고로슬래그를 사용한 콘크리트의 초기 강도 발현 성능이 떨어져 동절기 및 한랭기에는 고로슬래그 사용이 크게 저감되고 있는 실정이다.

2.4. 에코멘트를 사용한 에코콘크리트 개발의 필요성

이러한 기존 기술의 한계점에 착안하여 본 기술은 고로슬래그를 시멘트의 결합제 일부로 치환하여 사용한 콘크리트의 경우에도 한랭기 및 동절기 저온 환경에서도 보통포틀랜드시멘트를 사용한 콘크리트와 동등 이상의 초기 강도발현 특성을 확보할 수 있도록 하여, 실제 현

장에서 계절에 상관없이 적용가능토록 하는 것이다.

3. EM 레미콘 공장 실내예비시험

에코멘트를 이용한 에코콘크리트의 현장 적용을 위해서 고로슬래그의 초기 강도 발현을 위해 첨가하는 1)알칼리 자극제의 선정 실험, 그 후 조성된 에코멘트를 이용하여 2)에코 혼화제의 콘크리트 적용 특성 시험, 3)에코 혼화제 조성물의 콘크리트 적용 특성 실험을 실시하여 에코멘트를 적용한 콘크리트의 물성을 평가하였다.

실내예비시험을 통해 현장 타설콘크리트의 배합비를 결정하였으며 슬럼프 및 공기량의 균지 않은 콘크리트의 품질변동이 없는 것은 물론 저온환경에서 굳은 콘크리트의 강도를 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

3.1 사용재료

본 실험에 사용된 고로슬래그 미분말은 분말도 4430cm²/g의 3종 미분말을 사용하였으며 물리적·화학적 특성은 Table 1과 2이며 석회석 고미분말의 화학적 특성은 Table 3과 같다.

3.2 실험 계획

EM의 현장 적용을 위하여 EM 사용에 따른 균지 않은 콘크리트 특성 및 경화 특성을 평가하였다. 적용 대상 현

Table 1 Chemical composition of blast furnace slag

성분	LOI	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	SUM
함량(%)	0.20	34.41	15.80	1.41	40.02	5.51	2.20	0.40	0.05	100

Table 2 Physical properties of blast furnace slag

구분	활성도 지수			염기도	Cl	밀도	비표면적 (cm ² /g)
	7일	28일	91일				
KS규격	55 ↑	75 ↑	95 ↑	1.6 ↑	0.02 ↓	2.80 ↑	4,000-6,000
슬래그 분말	70	94	108	1.83	0.01	2.91	4,430

Table 3 Chemical composition of ground limestone

성분	감열감량	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	SUM
함량(%)	36.50	10.39	3.31	2.23	44.78	1.52	0.64	0.62	0.01	100

장은 당사 시공 현장인 김포 스카이파크 및 용인 신동백 APT 현장을 대상으로 하였으며, 특히 김포 스카이파크의 경우 깊이 1.5m 정도의 매스콘크리트 부재에 적용함에 따라 수화열 측정 시험을 별도로 실시하였다. Table 4는 Plain과 EM 적용 콘크리트의 요구성능 및 시험인자를 나타낸 것이며, Table 5는 일반레미콘과 EM 적용 레미콘의 배합표를, Table 6은 굳지 않은 콘크리트 및 경화 콘크리트의 특성을 나타낸 것이다. Fig. 3과 4는 레미콘 공장 실내 실험 및 매스콘크리트 부재 레미콘 배합에 대한 수화열 검토 시험 모습이며, Fig. 5는 Plain과 EM의 부재 중심부

온도 시험결과로 EM 적용 부재가 중심부 최고 온도의 경우 1℃ 정도 낮은 결과를 얻었다. 또한 EM 적용한 경우 수화열 해석을 통한 온도균열지수를 산출한 결과 최소 1.5이상 확보가 가능하여 매스콘크리트 적용에 문제가 없는 것으로 검토되었다.

또한 굳지 않은 콘크리트 및 경화 콘크리트의 물성을 검토한 결과 슬럼프, 공기량의 경우 초기 콘크리트 요구성능으로 설정한 슬럼프 180±25mm, 공기량 4.5±1.5를 만족하였고, 압축강도의 경우 저온 조건하 및 표준 조건에서는 Plain 대비 동등 이상을 확보하였다.

Table 4 Demand performance of concrete and Testing Parameters in types

구분	목표 슬럼프 (mm)	목표 공기량 (%)	결합재 혼합비(%)			시험사항
			OPC	FA	EM	
Plain	180±25	4.5±1.5	80	20	-	·슬럼프·공기량 ·수화열·압축강도 - 1, 2, 3일_12.5℃ - 3, 7, 28일_20℃
EM 20			60	20	20	

Table 5 Mixture proportions of concrete

구분	W/B (%)	S/a (%)	SP/C (%)	AE/C (%)	질량배합(kg/m ³)							
					W	OPC	FA	EM	S	G	SP	AE
Plain	45	46	-	0.020	170	302	76	-	783	926	-	0.076
EM 20	45	46	-	0.020	170	227	76	76	781	923	-	0.076

OPC : 보통포틀랜드 시멘트 1종, FA : 플라이애시, EM : 에코멘트
S(잔골재) : 세척사, 2.60g/cm³, G(굵은골재) : 25mm, 2.62g/cm³, SP제 : 준PC

Table 6 Properties of hardened concrete and fresh concrete

구분	슬럼프 (mm)	슬럼프 플로우 (mm)	공기량 (%)	압축강도(MPa)					
				15℃			20℃		
				1일	2일	3일	3일	7일	28일
Plain	195	290	4.0	3.49	11.0	15.9	19.6	28.3	40.3
EM 20	185	270	3.8	3.83	12.2	16.2	19.8	27.7	42.3



Fig. 3 Indoor experiment



Fig. 4 Hydration heat measurement

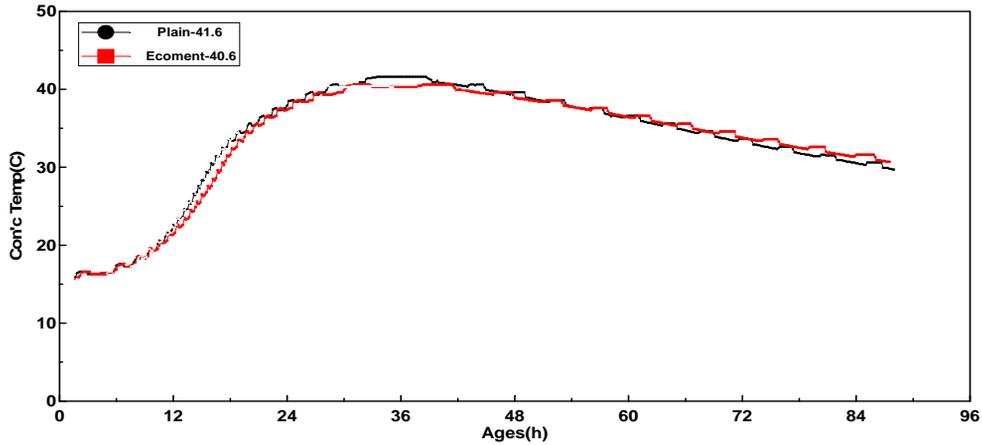


Fig. 5 Hydration heat measurement in ready mixed concrete (Plain & EM)

4. 에코멘트 개발을 위한 EM 현장 콘크리트 타설

4.1 김포스카이파크

4.1.1 실험결과



Fig. 6 Photo applied to construction field

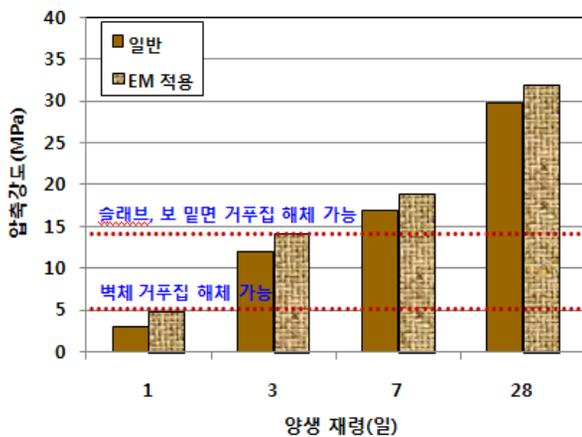


Fig. 7 Compressive strength with Age of Concrete

에코멘트 현장 적용은 김포 스카이파크의 매스콘크리트 부재 및 골조 일부구간에 대하여 레미콘 규격 25-27-150으로 타설을 실시하였다. 타설 시 결합재의 비율은 OPC : FA : EM = 60 : 20 : 20로 하였다.

Fig. 6은 에코멘트를 적용한 레미콘은 김포 스카이파크에 적용한 모습이다. 현장 반입 레미콘의 품질 평가를 실시한 결과 소요 슬럼프 150mm를 만족하였으며, 공기량 4.1%를 충족하였다. 경화 콘크리트의 28일 압축강도는 측정결과 재령 1일 4.9MPa, 재령 3일 14.2MPa, 재령 28일 34.6MPa를 나타내었다.

현장 적용 결과 실내 실험결과와 마찬가지로 EM 치환 시 경시변화에 따른 슬럼프 로스 및 공기량 변동이 크게 발생하지 않았으며 그 결과 현장 레미콘 타설이 약 60m의 배관을 통과하여 타설하는 구간임에도 불구하고 무리없이 타설할 수 있었다. 또한 재령 초기 압축강도는 Fig. 7와 같이 일반 콘크리트의 경우 재령 1일 3.09MPa, 28일 29.7MPa로 EM 적용 시 약 38%, 10%의 강도 증진효과가 확인되었으며, 특히 재령 초기인 1일 강도 증진효과가 탁월하여 현장의 초기 거푸집 탈형 시기를 앞당겨 공사 기간 단축이 가능할 것으로 사료된다.

4.1.2 EM 및 EM 적용 콘크리트의 이산화탄소 저감량 평가

EM의 친환경성 평가 수단으로 EM 생산에 따른 이산화탄소 발생량 저감을 일본토목학회²⁾의 콘크리트 배합에 사용되는 원재료의 이산화탄소 원단위를 근거로 하였으며, 이 때의 각재료별 원단위는 시멘트 0.7466, 플라이애쉬 0.6197, 에코멘트 0.46을 기준으로 하여 평가하였다.

에코멘트의 경우 주성분이 고로슬래그이며, 부 결합재

Table 7 Calculation of CO₂ emission when 1m³ normal concrete was produced

(단위 : kg)

MPa	W/C	W	C	F/A	S	G	AE감수제	CO ₂ 배출량 (kg-CO ₂ /m ³)
27	48%	170	333	37	849	927	2.59	278
30	47%	170	352	39	823	935	2.74	293
35	46%	170	392	44	787	931	3.05	326
CO ₂ 원 단위 (kg-CO ₂ /m ³)		-	0.7466	0.6197	0.0037	0.0028	0.25	

Table 8 Calculation of CO₂ emission when 1m³ EM-concrete was produced

(단위 : kg)

MPa	WC	W	C	F/A	EM	S	G	AE감수제	CO ₂ 배출량 (kg-CO ₂ /m ³)
27	48%	170	259	37	74	849	927	2.59	257
30	47%	170	273	39	78	823	935	2.74	270
35	46%	170	304	44	87	787	931	3.05	301
CO ₂ 원 단위 (kg-CO ₂ /m ³)		-	0.7466	0.6197	0.46	0.0037	0.0028	0.25	

Table 9 Calculation of CO₂ emission according to producing quantity in types of compressive strength

(단위 : kg-CO₂)

		27MPa	30MPa	35MPa	전체 물량
콘크리트 물량		171,137	1,643	6,647	179,427
CO ₂ 발생량 (kg-CO ₂ /m ³)	일반	47,564,189	481,956	2,168,380	50,214,526
	EM 적용	43,934,655	443,998	1,997,678	46,376,331
저감효과		3,629,534	37,958	170,702	3,838,195

인 석회석 미분말과 조강성분을 위해 첨가되는 Na₂SO₄의 경우 아직까지 이산화탄소 발생량에 대한 원단위가 산출되지 않아, 석회석 제조과정에서 발생한 미분말을 포집한 것으로 추가적인 이산화탄소 발생량이 미비한 점, 그 혼합량이 경미한 것을 고려하여 전체적인 EM의 경우 BS에 준한 것으로 가정하여 평가를 실시하였다.

Table 7과 8은 강도별 일반레미콘 및 EM 적용 레미콘의 1m³ 생산 시 발생하는 이산화탄소 발생량을 산정한 것으로 EM은 보통포틀랜드시멘트에 비하여 약 38%, EM를 사용한 콘크리트의 경우 약 8%의 저감효과가 있는 것으로 추정된다.

Table 9는 김포 스카이파크 현장에 사용될 레미콘 강도

별 물량이며, 이에 따른 일반레미콘 및 EM 적용 레미콘의 강도별 사용물량을 고려한 총 이산화탄소 배출량 및 저감효과를 산정한 것이다. 그 결과 EM 적용 시 약 3,800톤 정도의 이산화탄소가 저감될 것으로 추정된다.

4.2 용인 신동백

에코멘트 현장 적용은 용인 신동백 APT 매스콘크리트 일부 구간에 대하여 레미콘 규격 25-27- 150으로 타설을 실시하였다. 타설 시 결합재의 비율은 OPC : FA : EM = 60 : 20 : 20 로 하였다.

4.2.1 실험결과 및 이산화탄소 저감량 평가



Fig. 8 Photo applied to construction field

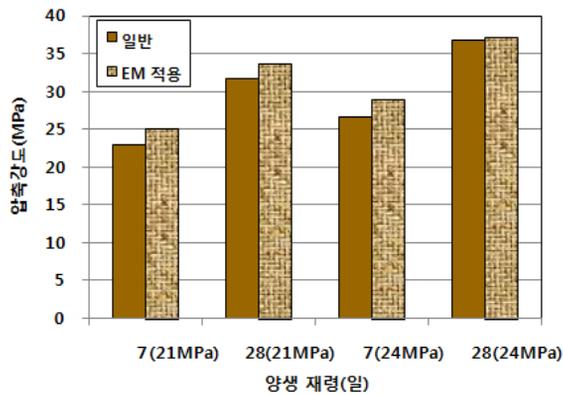


Fig. 9 Compressive strength with Age of Concrete

Fig. 8은 에코멘트를 적용한 레미콘은 용인 신동백 APT 현장에 적용한 모습이다. 설계강도 21MPa, 24MPa 배합의 현장 반입 레미콘의 품질 평가를 실시한 결과 소요 슬럼프 150mm를 만족하였으며, 공기량 4.1%를 충족하였다.

Fig. 9는 EM 적용에 따른 재령별 압축강도를 나타낸 것으로 경화 콘크리트의 압축강도는 EM적용시 21MPa의 배합에서는 재령 7일 25.2MPa, 재령 28일 33.8MPa로 일반콘크리트보다 상대적으로 강도가 높게 나타났으며, 24MPa의 배합에서도 재령 7일 29MPa, 재령 28일 37.3MPa로 일반콘크리트보다 우수한 강도를 나타내어 현장적용의 가능성을 확인할 수 있었다.

현장 적용 결과 실내 실험 결과와 마찬가지로 EM 치환시 경시변화에 따른 슬럼프 로스 및 공기량 변동이 크게 발생하지 않았으며 그 결과 현장 레미콘 타설이 약 60m의 배관을 통과하여 타설하는 구간임에도 불구하고 무리없이 타설할 수 있었다.

Table 11은 용인 신동백 APT 현장에 사용된 레미콘 강도별 물량이며, Table 12는 이에 따른 일반레미콘 및 EM 적용 레미콘의 강도별 사용물량을 고려한 총 이산화탄소 배출량 및 저감효과를 산정한 것이다. 그 결과 EM 적용 시 약 11,800톤 정도의 이산화탄소가 저감될 것으로 추정된다.

Table 11 producing quantity in types of compressive strength

(단위 : kg-CO₂)

		21MPa	24MPa	30MPa	35MPa	전체 물량
기초		50,526	179,392	-	-	551,347
골조		109,614	95,435	53,569	62,811	
CO ₂ 배출량	일반	254	272	293	326	kg-CO ₂ /m ³
	EM 적용	234	251	270	301	
	저감효과	20 (7.8%)	21 (7.8%)	23 (7.8%)	25 (7.5%)	

Table 12 Calculation of CO₂ emission according to producing quantity in types of compressive strength

(단위 : kg-CO₂)

		21MPa	24MPa	30MPa	35MPa	전체 물량
콘크리트 물량		160,140	274,827	53,569	62,811	551,347
CO ₂ 발생량 (kg-CO ₂ /m ³)	일반	40,610,639	74,701,991	20,489,903	20,489,903	151,515,371
	EM 적용	37,489,703	68,873,350	14,475,319	18,876,866	139,715,238
저감효과		3,120,936	5,828,641	1,237,519	1,613,037	11,800,133

5. 결 언

본 기술은 콘크리트에 사용되는 시멘트를 대체할 수 있는 혼화제에 관한 것으로 산업부산물인 고로슬래그 미분말 및 석회석 미분말을 결합재로 한 일반 포틀랜드시멘트에 비하여 이산화탄소 배출량이 적은 결합재이다. 또한 기존 고로슬래그 미분말의 보통 포틀랜드 시멘트 치환시 발생하는 초기강도 저하현상 및 한랭기 및 동절기 저온 환경에서 발생하는 강도 저하 현상을 개선한 탄소배출 저감형 결합재이다.

해당 제품은 보통포틀랜드 시멘트와 비교하여 양생 재령에 상관없이 동등 이상의 강도 발현을 통하여 계절별 기후에 상관없이 현장 적용할 수 있으며, 경제성 측면에서도 보통포틀랜드시멘트보다 저렴하여 이점이 있다. 또한 이산화탄소 배출량을 비교하였을 때 EM은 보통포틀랜드 시멘트에 비하여 약 38%, EM를 사용한 콘크리트의 경우 약 8%의 저감효과가 있는 것으로 추정되었다.

이에 따라, 경제성과 친환경성을 바탕으로 최근 문제가 되고 있는 온실가스 저감을 위한 전 지구적인 노력과 국내 녹색성장 전략을 감안하였을 때, 본 기술은 향후 그 활용성 및 중요성이 점차 증가할 것으로 기대된다.

참고문헌

- 1) 김화중, 에코콘크리트에 대한 소개, 콘크리트학회지 제8권 6호, pp.77, 1996. 12
- 2) 日本土木学会 `コンクリート構造物の 環境性能照査指針(試案), pp.69, 2005

- 3) J.T. Houghton, Climate Change 2001 ; The Scientific Basis, Report, the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp.2-7, 2001
- 4) Shi, C, Strength, Pore Structure and Permeability of Alkali-Activated Slag Mortars, Cement and concrete research, Vol.26, No.12, 1996
- 5) Bakharev, T. Sanjayan, J. G. Cheng, Y. B. Resistance of alkali-activated slag concrete to acid attack, Cement and concrete research, Vol.33, No.10, 2003

에코콘크리트 현장 적용에 따른 강도 상승 효과 및 이산화탄소 절감 효과에 관한 연구

본 연구는 콘크리트에 사용되는 시멘트를 대체할 수 있는 혼화제에 관한 것으로 산업부산물인 고로슬래그 미분말 및 석회석 미분말 등을 결합재로 하여 일반 포틀랜드시멘트에 비하여 이산화탄소 배출량이 적은 결합재이다. 또한 기존 고로슬래그 미분말의 보통 포틀랜드 시멘트 치환시 발생하는 초기강도 저하현상 및 한랭기 및 동절기 저온 환경에서 발생하는 강도 저하 현상을 개선한 탄소배출 저감형 결합재이다. 보통포틀랜드 시멘트와 비교하여 양생 재령에 상관없이 동등 이상의 강도 발현이 가능하므로 계절별 기후에 상관없이 현장에 적용할 수 있으며, 경제성 측면에서도 보통포틀랜드시멘트보다 저렴하여 이점이 있다. 또한 이산화탄소 배출량을 비교하였을 때 EM은 보통포틀랜드시멘트에 비하여 약 38%, EM를 사용한 콘크리트의 경우 약 8%의 저감효과가 있는 것으로 확인되었다.