

저온 환경하에서의 혼화재 종류 및 대체율에 따른 콘크리트의 강도발현특성에 관한 연구

An Experimental Study on the Property of Strength for kinds and Replacement ratio of Admixture under Low Temperature

김호수* 전순제* 반성수* 최성우* 류득현**
Kim, Ho Soo Jun, Soon Je Ban, Seong Soo Choi, Sung Woo Ryu, Deuk Hyun

ABSTRACT

Recently, to consider financial and constructive aspect, usage of Admixture, like Blast-Furnace Slag and Fly-Ash, are increased. These mineral admixtures, a by-product of steel industry, have many advantage, to reduce the heat of hydration, increase in ultimate strength, improve workability and etc. But it also reduces early-age strength, so it is prevented from using of Blast-Furnace Slag at cold-weather-concrete.

In this study, for the purpose of increasing usage of mineral admixtures, like Blast-Furnace Slag and Fly ash, it is investigated the strength properties of concrete subjected to under low temperature

According to this study, if early curing is carried out before having frost damage, the strength of concrete, subjected to frost damage, is recovered. And to consider increasing effect of strength, it is more effective to use of mineral admixtures, especially to use blast furance slag.

1. 서론

최근 건설현장에서는 원자재의 단가 상승에 따른 경제적 부담 및 건설 기술의 발달에 따른 콘크리트의 성능 향상 등 콘크리트에 대한 다양한 요구가 제시되고 있다. 이러한 요구조건을 만족시키기 위해 산업폐기물의 재이용, 콘크리트의 성능 개선 등의 목적으로 혼화재의 사용이 증가하고 있는 추세이다.

혼화재는 시멘트의 수화과정이 진행되어 시멘트 수화물에 의해 반응성이 활발해져 강도발현에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 따라서 이러한 반응특성에 의해 초기재령에서의 강도발현은 혼화재를 사용한 경우 다소 지연되는 특성이 있다. 특히 동절기 저온의 환경조건에서는 콘크리트가 동해를 받을 가능성이 매우 높으며 초기동해를 받을 경우에는 구조물의 성능 회복이 곤란한 것으로 알려져 있다.^{1),2)}

* 정회원, 유진종합개발(주) 기술연구소

** 정회원, 유진종합개발(주) 기술연구소 소장

따라서 본 연구에서는 혼화제의 반응성을 고려한 동결기에서의 적정 혼화제 사용방안을 검토하기 위해, 저온의 외기환경조건에 있어서 혼화제의 종류 및 대체율에 따른 강도발현특성에 대해 검토하여 혼화제의 활용을 증대시키는 방안을 제시하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획 및 사용배합

본 연구의 실험계획을 표 1, 콘크리트의 배합을 표 2에 나타내었다.

혼화제 종류는 플라이애시(FA), 고로슬래그 미분말(BFS) 2종류를 사용하였으며, 혼화제 사용은 혼화제 무혼입과 FA 10% 대체를 기준으로 각각의 FA 대체율에서 BFS 대체율을 무혼입, 20, 40, 60, 80%로, 혼화제 종류 및 대체율에 따라 총 9수준의 배합에 대해 강도발현특성을 검토하였다.

굳지않은 성상으로서 FA 무혼입 및 10% 대체 2수준의 배합을 기준으로 하여 예비실험을 통한 AE제 사용량을 각각 결정한 후 BFS 대체율 변화에 관계없이 동일하게 적용하였으며, 감수제는 모든 배합에서 시멘트 증량에 대한 0.5%로 고정하여 적용하였다.

2.2 사용재료

본 연구에 사용된 재료로서 시멘트는 S1 1종 보통포틀랜드 시멘트, FA는 2종 보령産, BFS는 인천 소재 제조사의 3종 BFS를 사용하였다. 사용골재는 잔골재는 세척사를, 굵은골재는 부순자갈을 사용하였으며, 혼화제는 AE감수제 표준형을 사용하였다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법을 표 4에 나타내었다.

혼화제 종류 및 대체율에 따른 저온환경에서의 강도발현특성을 검토하기 위해, 콘크리트의 굳지않은 성상은 모든 배합에서 동일하게 적용하였으며, 혼화제 종류 및 사용방법에 따라 동일 유동성(슬럼프 15±1cm)을 확보하기 위해 단위수량을 조절하여 실험을 진행하였다. 또한 한중콘크리트를 고려하여 콘크리트의 비빔온도는 10±5℃의 범위로 하였으며, 콘크리트의 양생 방법은 실제 건설현장에서의 타설조건을 고려하여 외기 방치 양생을 기준으로 하였다. 비교용 시험체에 대해서는 실내 표준수중양생을 실시하였다. 또한 저온환경의 영향을 콘크리트 양생시의 외기온도 변화를 측정하여, 외기온도의 변화가 혼화제를 사용한 콘크리트의 강도발현특성에 미치는

표 1. 실험계획

W/B (%)	50	
혼화제	FA	0, 10
	BFS	0, 20, 40, 60, 80
실험 방법	양생방법에 따른 강도발현성 검토 - 대기양생 - 비교 : 실내양생, 표준수중양생	

주) FA : 플라이애시, BFS : 고로슬래그 미분말

표 2. 콘크리트 기본배합

W/C (%)	S/a (%)	단위 질량 (kg/m ³)				
		W	Binder	S	G	Ad*
50.0	47.3	171	341	837	941	0.5

주) Ad : C × (%)

표 3. 사용 재료의 기초물성

시멘트	1종	밀도 3.15, 분말도 3,652
FA	2종	밀도 2.2 분말도 3,248 강열감량 3.2%
BFS	1종	밀도 2.90, 분말도 4,123
잔골재	세척사	밀도 2.61, 조립율 2.64 흡수율 : 0.64
굵은골재	부순자갈	최대치수 25mm, 밀도 2.62 조립율 6.60, 흡수율 0.68
AD	AE감수제	나프탈렌계 표준형

표 4. 실험방법 및 시험항목

실험 방법	비빔온도	15 ± 5 °C
	목표 슬럼프	15 ± 1 cm
	목표 공기량	4.5 ± 1.5 %
양생 방법	I 시리즈	(1) 재령 1일 외기양생 후 실내표준양생 실시
	II 시리즈	(2) 전 재령 대기양생 실시
시험 항목	굳지않은 성상	제조 직후 슬럼프, 공기량
	경화 성상	- 압축강도 (3, 7, 28일) (비교용 표준수중양생 시험체는 28일 강도만 측정)

주) 양생방법에 있어서 비교용 시험체는 실내 표준수중양생을 실시

영향을 검토하고자 하였다.

표 5 굳지않은 성상 측정 결과

배합		슬럼프 (cm)	공기량 (%)	변동수량 (kg/m ³)	환산W/B (%)	압축강도 (MPa)
FA	BFS					
0	0	15.5	5.2	-2.0	49.6	33.1
	20	16.0	4.8	-3.0	49.3	37.8
	40	16.5	4.4	-4.0	49.0	38.6
	60	16.0	4.2	-5.3	48.6	35.2
	80	16.0	3.7	-6.7	48.2	30.1
10	0	15.5	4.8	-2.5	49.4	31.2
	20	14.5	4.3	-3.7	49.1	36.7
	40	15.0	3.9	-5.3	48.6	40.2
	60	14.5	3.5	-6.5	48.2	34.1
	80	14.5	3.0	-7.3	48.0	24.4

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 성상 검토

(1) 슬럼프 및 공기량

표 5에 굳지않은 성상 측정 결과 및 표준양생한 재령 28일 압축강도를 나타내었다.

혼화재 종류 및 사용방법에 따른 굳지않은 성상은, 플라이애시 및 고로슬래그 미분말을 사용한 경우가 시멘트 만을 사용한 경우에 비해 단위수량을 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다.

또한 고로슬래그 미분말 사용량에 따른 단위수량의 변화는 고로슬래그 미분말이 증가할수록 단위수량은 감소하는 경향을 나타내고 있다.

3.2 혼화재 종류 및 대체율에 따른 강도발현특성

(1) I 시리즈 강도발현 특성

그림 1에 재령 1일 대기온도 변화 및 재령 28일에서 대기양생 시험체에 대한 표준수중양생 시험체의 압축강도 발현율을 나타내었다.

시험은 11월 하순에 진행 한 것으로, 대기온도는 물의 동결온도 0℃ 이하로 저하하지 않았다.

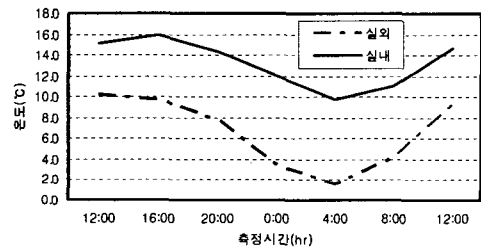
재령 28일을 기준으로 대기양생에 대한 수중양생의 강도발현비를 살펴보면, 고로슬래그 미분말을 사용할수록 동일한 배합에 있어서도 강도발현율이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 콘크리트가 초기 동해를 받지 않은 저온 환경하에서는 콘크리트의 급격한 초기 수화 진행이 발생되지 않고, 장기 재령에서는 수화진행이 지속적으로 진행되었기 때문인 것으로 판단된다.

(2) II 시리즈 강도발현 특성

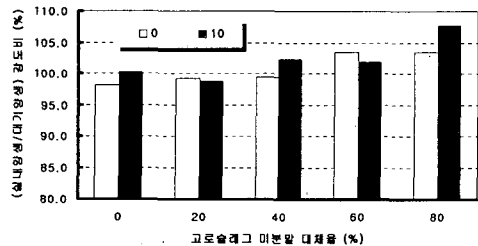
그림 2에 대기양생시 외부 온도 변화를, 그림 3에 고로슬래그 미분말 대체율별 대기양생 시험체의 압축강도를, 그림 4에 실내양생 시험체 대비 대기양생 시험체의 강도발현특성을 나타내었다.

외기온도 변화는 초기 재령 4일까지는 낮 최고온도가 영상을 기록하고 있으며, 일평균온도에 있어서도 영상을 나타내고 있으나, 재령 5일부터는 대부분의 온도가 영하의 온도범위를 나타내고 있다.

그림 3의 결과를 살펴보면, 고로슬래그 대체율이 증가할수록 초기 재령에서의 대체율에 따른 강도발현 폭은 증가하지만 장기 재령에서는 이러한 강도발현의 차



a) 재령 1일 대기온도 변화



b) 대기양생에 대한 표준양생의 28일 강도발현비

그림 1. I 시리즈에서의 양생온도 및 강도발현특성

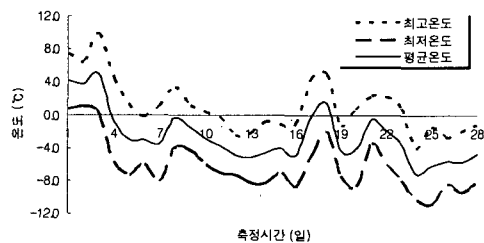


그림 2. II 시리즈에서의 양생온도 변화

이는 감소하는 경향을 나타내며, 이러한 경향은 플라이애시를 사용한 경우보다는 플라이애시를 사용하지 않은 경우에 더욱 뚜렷이 나타나고 있다.

표준양생 시험체 대비 대기양생 시험체의 강도발현율은 플라이애시를 10% 사용한 경우가 0% 사용한 경우에 비해 발현율이 증가하는 것으로 나타났으나, 이는 실내양생 28일 압축강도가 상대적으로 낮게 측정되었기 때문으로 판단된다.

고로슬래그 미분말 대체에 따른 강도 증진효과는 대체율이 증가할수록 재령 56일에서 증진율이 높게 나타나고 있어서, 이상의 시험 결과 재령에 따른 강도 증진효과를 기대할 경우에는 혼화재를 사용하는 것이, 특히 고로슬래그 미분말을 사용하는 것이 효과적인 것³⁾으로 판단된다.

4. 결론

본 혼화재 종류 및 사용방법에 따른 저온환경 하에서의 강도발현특성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 혼화재를 사용한 경우 특히 고로슬래그 미분말을 사용할수록 동일 유동성을 확보하기 위한 단위 수량은 감소하는 경향을 나타내고 있다.
- 2) 저온환경하에 있어서도 영하의 온도범위 이상의 저온환경 하에서는 양생 조건을 개선시킬 경우 충분히 소요 강도를 확보할 수 있는 것으로 나타났다.
- 3) 영하의 저온환경하에서는 콘크리트의 동결에 의해 강도 발현이 매우 저하되지만, 혼화재를 사용한 경우, 특히 고로슬래그 미분말을 사용한 경우에는 재령에 따른 강도 증진효과는 기대할 수 있는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 김무한, 콘크리트 동해와 초기동해 기구에 관한 기초적 고찰, 한국레미콘공업협회 레미콘23호, 1993, pp.8~23
2. 鎌田英治, 콘크리트의 동해とは一その現状とメカニズムについて, 日本建築學會材料施工委員會 콘크리트構造物의 동해とその對策シンポジウム論文集, 1993, pp.59~1703
3. 유득현 외, 초기재령에서 동결을 받은 고로슬래그 콘크리트의 강도발현특성에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 논문집, 2003, Vol15, No.1, pp.43~52

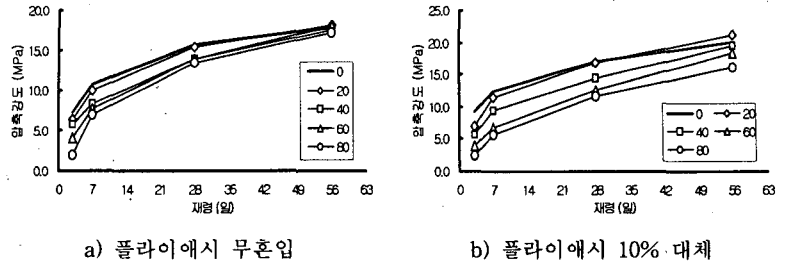


그림 3. 고로슬래그 미분말 대체율에 따른 대기양생 시험체의 재령별 압축강도

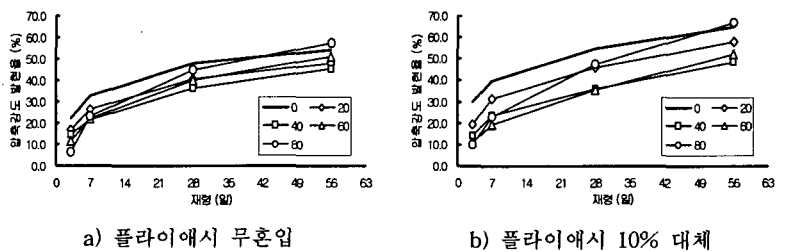


그림 4. 표준양생시험체 대비 대기양생 시험체의 재령별 강도발현율