

고강도용 혼합재를 사용한 고강도 콘크리트의 기초물성 및 내화특성 검토

The Fundamental Property and Fire Resistance of the High Strength Concrete Corresponding to mixtures for the High Strength

김 종 백* 이 건 호* 배 준 영* 조 성 현** 노 현 승*** 김 정 환****

Kim, Jong Baek Lee, Keon Ho Bae, Jun Yeong Jo, Sung Hyun Roh, Hyeon Seung Kim, Jung Hwan

ABSTRACT

This study investigated fundamental properties corresponding to mixtures for the high strength, and their properties of spalling prevention after a fire test. The results were summarized as following.

For the flowability of using mixtures for the high strength, the target flow was satisfied with a small quantity of high performance reducing water agent to compare with silica fume.

For the compressive strength in the case of using mixtures for the high strength, it was higher to compare with silica fume at 7 days, so it was proved that using mixtures for the high strength was profitable to prevent early frost damage. The compressive strength at the 28 days of silica fume and mixtures for the high strength were similar. There was no reduced tendency at the compressive strength according fiber contents, so it found out that the bonding strength between the fiber and concrete was hardly effective.

For the spalling properties, the specimens without fibers were destroyed, however using over 0.05% of NY and PP fibers was effective to prevent spalling on the high strength concrete.

요 약

본 연구는 고강도 혼합재 사용에 따른 고강도 콘크리트의 기초물성 및 내화특성을 검토한 것으로, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

유동특성으로 고강도 혼합재를 사용할 경우, 실리카흙을 사용한 경우보다 목표 슬럼프플로우를 만족키 위한 고성능 감수제의 사용량이 감소하는 것으로 나타나, 유동성 확보 차원에서 고강도 혼합재를 사용할 때 실리카흙과 비교할시 우수한 것으로 나타났다.

강도특성으로는 고강도 혼합재 사용 시 재령 7일 초기압축강도가 실리카흙을 사용한 경우보다 증가하는 것으로 나타나, 초기 강도 확보에서 유리함을 확인할 수 있었고, 재령 28일에서는 모두 비슷하게 압축강도를 발현하는 것으로 나타났다. 섬유 혼입을 변화에 따른 압축강도는 미소한 차이만 있을 뿐 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

섬유 무혼입에서 고강도 혼합재 및 실리카흙 모두 폭열이 발생하였지만, 섬유 혼입량 0.05% 이상에서는 폭열이 방지되는 것으로 나타났다.

* 정회원, 한일시멘트 테크니컬센터, 연구원

** 정회원, 한일시멘트 테크니컬센터, 선임연구원, 공학박사

*** 정회원, 한일시멘트 테크니컬센터, 건설재료연구팀장

**** 정회원, 한일시멘트 테크니컬센터, 센터장, 공학박사

1. 서 론

최근의 건축 구조물은 고층화, 대형화됨에 따라 고강도 콘크리트의 필요성이 꾸준히 증가되고 있는 추세이다. 이러한 고강도 콘크리트 제조시 적합한 결합재의 선정은 품질향상 및 경제성 확보에 있어서 중요한 요인으로 자리 잡고 있다.

현재 국내에서는 고강도 콘크리트 제조에 있어서 결합재로 실리카흄을 주로 사용하고 있는데, 실리카흄은 취급의 어려움 및 경제성 등에서 불리함을 안고 있어 고강도 콘크리트 제조시 사용상의 제약을 받고 있는 실정이다. 따라서 고강도 콘크리트 제조시 실리카흄을 대체할 수 있는 고강도용 혼화재료에 대한 연구의 필요성이 증가하고 있다.

그러므로 본 연구에서는 실리카흄과 이를 대체할 수 있도록 개발한 고강도 혼화재를 사용하여 고강도 콘크리트의 기초물성 및 내화 특성을 비교검토 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 배합사항은 표 2와 같다. 실험요인으로는 W/B는 25%에서 결합재 구성 비율을 고로슬래그 35%, 고강도 혼합재 10%로 구성한 Type I, 고로슬래그 25%, 고강도 혼합재 20%로 구성한 Type II, 고로슬래그 35%, 실리카흄 10%로 구성한 Type III, 총 3 Type으로 구성하였으며, NY+PP섬유를 1:1비율로 혼합한 섬유 혼입률을 0, 0.05, 0.10%로 변화시켜 총 9배치를 실험계획 하였다. 시험항목으로는, 굳지 않은 콘크리트에서는 슬럼프플로우를 측정하고 경화 콘크리트에서는 계획된 재령에서 압축강도 및 내화시험 후의 폭열유무를 관찰 하였다.

2.2 사용재료

본 실험에 사용된 시멘트는 보통 포플랜드시멘트를 사용하였고, 혼화재료는 고로슬래그미분말, 실리카흄(분말형)을 사용하였다. 고강도 혼합재는 슬래그미분말과 무수석고를 주재료로 하는 고분말도 혼화재료인 오메가2000을 사용했으며, 사용된 각각의 혼화재료의 물리·화학적 조성은 표 3과 같다. 잔골재는 국내산 천연모래, 굵은 골재는 20mm 부순 굵은 골재를 사용하였으며, 고성능감수제는 B사의 폴리칼보산계, NY 및 PP섬유는 국내산 S사의 6mm, 12mm 단섬유를 1:1비율로 혼합하여 사용하였다.

표 1. 실험계획

실험요인		실험수준	
배합사항	W/B(%)	1	25
	목표플로우(mm)	1	650±50
	결합재 구성비율(%)	Type I	OPC(55)+BS(35)+고강도 혼합재(10)
		Type II	OPC(55)+BS(25)+고강도 혼합재(20)
Type III		OPC(55)+BS(35)+SF(10)	
섬유* 혼입률(%)	3	0, 0.05, 0.1	
측정항목	굳지않은 콘크리트	1	· 슬럼프플로우
	경화 콘크리트	2	· 압축강도(7, 28일) · 폭열 유무

* 섬유 : NY(나이론섬유)+PP(폴리프로필렌섬유) 1:1혼합

표 2. 콘크리트 배합표

구분	W/B (%)	W (kg/m ³)	S/a (%)	섬유 혼입률 (%/Vol)	SP계 (%)	단위질량 (kg/m ³)					
						C	BS*	Ω2000*	SF*	S	G
Type I	25	165	43	0	0.55	363	231	66	-	651.6	873.8
				0.05	0.6						
				0.10	0.7						
Type II	25	165	43	0	0.55	363	165	132	-	651.6	873.8
				0.05	0.6						
				0.10	0.7						
Type III	25	165	43	0	0.8	363	231	-	66	676.9	829.4
				0.05	0.9						
				0.10	1.2						

*BS : 고로슬래그, SF : 실리카흄, S : 잔골재, G : 굵은 골재
오메가(Ω)2000 : 고강도 혼합재

표 3. 혼화재료의 물리·화학적 조성

구분	분말도 (cm ² /g)	비중	강열감량	화학적 조성					
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
시멘트	3,492	3.15	2.18	21.16	4.65	3.14	62.79	2.81	2.13
고로슬래그	4,210	2.9	0.35	28.14	15.87	1.06	45.95	4.98	2.12
오메가2000	8,433	2.94	0.77	26.58	11.63	0.502	41.20	4.23	13.61
실리카흄	250,000	2.2	3.5	97	0.50	2.0	0.80	0.90	-

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 2축형 믹서를 사용하고, 혼합방법은 잔골재, 굵은 골재, 결합재, 섬유 순서에 따라 투입하고, 건비빔 60초 후 물과 고성능 감수제를 투입하여 240초 동안 동일한 조건에서 혼합하여 배출하였다. 굳지 않은 콘크리트의 시험으로는 KS F 2594의 규정에 의거 슬럼프플로우를 측정하였다. 경화 콘크리트의 시험으로 압축강도는 $\varnothing 100 \times 200 \text{mm}$ 공시체를 KS F 2403 규정에 의거 제작하여 계획된 소정의 재령에서 KS F 2405 규정에 의거 측정하였다. 화재를 상정한 내화시험은 공시체를 종류별로 나누어 가열로 내에 수직으로 배치하여 놓고, KS F 2257에 의거 표준 가열곡선으로 3시간 가열을 실시하였다. 폭렬여부는 내화 시험 후 공시체를 육안으로 관찰하여 조사하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 유동특성

그림 1은 결합재 종류와 섬유 혼입률 변화에 따른 각각의 콘크리트 목표 슬럼프플로우 및 이를 만족시키기 위한 고성능 감수제의 사용량을 나타낸 것이다.

목표 슬럼프플로우를 만족하기 위해 고강도 혼합재를 사용한 콘크리트가 실리카흄을 사용한 콘크리트보다 고성능 감수제의 사용량이 적은 것으로 나타났는데, 섬유를 혼입하지 않은 경우에는 고강도 혼합재를 사용한 콘크리트(Type I, II)의 경우 고성능 감수제 0.55% 사용 시 목표 슬럼프플로우를 만족하는 것으로 나타났으며, 실리카흄을 사용한 콘크리트는 0.8%를 사용할 시 목표 슬럼프플로우를 만족하는 것으로 나타났다. 이는 실리카흄의 미세 입자로 인한 고성능 감수제의 흡착에 의해 사용량이 증가한 것으로 사료된다.

섬유를 혼입한 후에는 모두 슬럼프플로우가 저하함에 따라, 고강도 혼합재를 사용한 콘크리트(Type I, II)는 섬유 혼입률 0.05%의 경우 고성능 감수제 사용량 0.6%, 섬유 혼입률 0.10%의 경우 고성능 감수제 사용량 0.7%를 사용하여 목표 슬럼프플로우를 만족시켰으며, 실리카흄을 사용한 콘크리트는 고성능 감수제의 사용량이 고강도 혼합재에 비해 증가하여 각각 0.9%, 1.2%를 사용할 시 목표 슬럼프플로우를 만족하는 것으로 나타났다.

3.2 강도특성

그림 2는 결합재 종류와 섬유 혼입률 변화에 따른 압축강도를 나타낸 것이다.

전반적으로 재령 7일 압축강도는 고강도 혼합재(Type I, II)를 사용한 콘크리트가 실리카흄을 사용한 콘크리트보다 평균적으로 약 13 MPa정도 높게 나타나 초기재령에서의 압축강도 증진에 유리함을 나타냈으며, 재령 28일 압축강도에서는 고강도 혼합재(Type I, II)를 사용한 콘크리트의 압축강도와 비슷하게 발현 되는 것으로 나타났다. 한편, 섬유 혼입률 변화에 따른 압축강도는 미소한 차이만 있을 뿐 그리 크지 않은 것으로 나타났다.

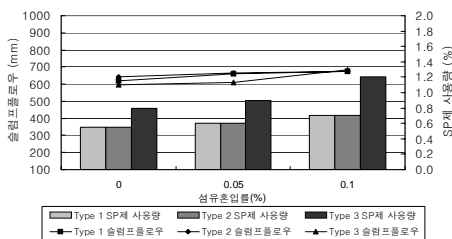


그림 1. 결합재 종류 및 섬유 혼입률 변화에 따른 슬럼프플로우

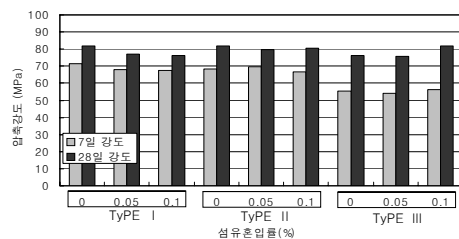


그림 2. 결합재 종류 및 섬유 혼입률 변화에 따른 압축강도 측정



Type I 0, 0.05, 0.1 (%)



Type II 0, 0.05, 0.1 (%)



Type III 0, 0.05, 0.1 (%)

사진 1. 섬유혼입률 변화에 따른 공시체의 폭열모습

3.3 내화특성

사진 1은 결합재 종류 및 섬유의 혼입률 변화에 따른 내화시험을 실시하고 난 후의 폭열모습을 나타낸 것이다. 먼저, 섬유를 혼입하지 않은 플레인(Type I, II, III 섬유혼입 0%)의 경우 급격한 고온에 의한 내부 수증기압의 영향으로 심각한 폭열이 발생하였다. 하지만, 섬유를 혼입한 배합은 섬유의 혼입률 0.05% 이상에서는 모두 폭열이 발생하지 않아 양호한 성상을 유지하고 있는 것으로 나타났다.

고강도 혼합재와 실리카흙의 사용에 따른 폭열양상은 뚜렷하게 나타나지는 않았으며, 다만 실리카흙 사용 시 상부면 탈락이 부분적으로 발생하였다.

4. 결론

본 연구에서는 고강도용 결합재 사용과 섬유 혼입률 변화에 따른 고강도 콘크리트의 기초물성 및 화재를 상정한 내화시험을 실시한 후 폭열방지 성상을 분석한 것으로, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 고강도용 결합재 고강도 혼합재를 사용할 경우, 실리카흙을 사용한 경우보다 목표 슬럼프플로우를 만족키 위한 고성능 감수제의 사용량이 감소하는 것으로 나타났다.
- 2) 고강도 혼합재 사용 시 재령 7일 초기압축강도가 실리카흙을 사용한 경우보다 증가하는 것으로 나타났고, 재령 28일에서는 고강도 혼합재 및 실리카흙 모두 비슷하게 압축강도를 발현하는 것으로 나타났다. 섬유 혼입률 변화에 따른 압축강도는 미소한 차이만 있을 뿐 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.
- 3) 섬유를 혼입하지 않고 고강도 혼합재 및 실리카흙을 사용한 경우 폭열이 발생하였지만, 섬유를 혼입한 경우에는 혼입량 0.05%이상에서 폭열이 방지되는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 권인표, 김용로, 위동수, 박찬훈, 주동철, 김정환, “순수 국내재료를 사용한 초고강도 콘크리트에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 2006년도 가을 학술발표회 논문집 : Vol.18 No.2, pp.433~436
2. 한민철, 한천구, “고성능 콘크리트의 폭열특성 및 대책”, 한국콘크리트학회 2008년도 봄 학술발표회 논문집 : Vol.20 No.1, pp.1105~1108
3. 한천구, 한민철, 허영선, “고강도 콘크리트의 폭열발생 및 방지 메커니즘”, 한국콘크리트학회지, Vol.19, No1, 2007, pp.94~100
4. 배장준, 한동엽, 이진우, 한창평, 양성환, 한천구, “복합유기섬유를 사용한 고강도 콘크리트의 기초특성 및 폭열방지”, 한국콘크리트학회 2006년도 가을 학술발표회 논문집 ; Vol.18 No.2, pp.745~748
5. Silica Fume Association; Silica Fume User's Manual, 2005. 4