

시멘트 입도, 혼화재 종류 및 PP섬유 혼입률 변화에 따른 고성능 콘크리트의 폭렬특성

Spalling Properties of High Performance Concrete Designed with the Various Blaine of Cement, Mineral Admixture Types and Fiber Contents

송 용 원* 신 재 경* 이 재 삼** 한 창 평*** 양 성 환**** 한 천 구*****
Song, Yong-Won Shin, Jae-Kyung Lee, Jae-Sam Hann, Chang-Pyung Yang, Seong-Hwan Han, Cheon-Goo

Abstract

This study investigates spalling properties of 60MPa class, high performance concrete, made with the various influential parameters, such as, blaine of cement, mineral admixture and polypropylene(PP) fiber contents. Totally 21 parameters of $\phi 100 \times 200$ mm in size was fabricated; three specimens for variance in blaine of cement, 4 specimens for combination of mineral admixture type, along with 0.05, 0.1, 0.15% of fiber adding ratio. After that, one hour unloading fire test was conducted, and then spalling appearance and spalling degree of specimens was examined. Test showed that a specimen made with high blaine of cement(H) improved early strength but exhibited similar value to a specimen made with low blaine(L) at the age of 28 days, thus indicating comparable spalling appearance. In conclusion, spalling easily occur in higher strength and smaller particle shape of cement and mineral admixture.

키 워 드 : 고성능 콘크리트, 폭렬방지, 폭렬등급, 입도, 혼화재

Keywords : High Performance Concrete, Spalling Resistance, Spalling degree, Blaine, Mineral Admixture

1. 서 론

고강도 콘크리트는 그 조직이 치밀하여 화재 발생 시 급격한 온도 상승으로 인해 구조체 콘크리트의 구속응력보다 큰 수증기압이 발생함으로써 폭렬현상이 발생한다. 이러한 폭렬현상은 구조부재 피복콘크리트의 박락·비산과 함께 철근이 고온에 노출되어 심각한 구조내력 저하를 초래하여, 경우에 따라서는 건축물의 붕괴까지도 일으킬 수 있는 원인이 되기도 한다.^{1)~5)}

이러한 폭렬의 발생요인으로는 함수율, 가열조건, 외력하중, 구조부재의 철근, 골재 등 많은 요인이 영향을 미치는 것으로 알려져 있으나 폭렬 메카니즘을 정성적으로 분석하기 위해서는 이외에도 폭렬을 야기하는 여러 영향인자에 대한 검토가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 폭렬 메카니즘을 규명하기 위한 연구의 일환으로 약 60MPa급 고강도 콘크리트를 배합 설계할 때 시멘트 입도, 혼화재의 종류 및 PP섬유 혼입률을 주요변수로 하여 폭렬특성에 대해 검토하고자 한다.⁶⁾

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 배합사항은 표 2와 같다. 즉, 실험요인으로 W/B는 25%인 1수준에 대해, 시멘트에 대한 질량비로 플라이애시(이하 FA) 20%와 실리카 폼(이하 SF) 10%를 동시에 치환한 것에 대하여 목표플로우 700 ± 100 mm, 목표공기량은 $3.0 \pm 0.5\%$ 을 만족시키도록 배합설계 하였다. 실험 변수로는 시멘트 분말도에 따른 H(분말도 : $6,550 \text{cm}^2/\text{g}$), M(분말도 : $3,302 \text{cm}^2/\text{g}$) 및 L(분말도 : $1,682 \text{cm}^2/\text{g}$) 3수준과 혼화재 종류 변화에 따라 플라이애시 20%와 실리카폼 10%를 동시에 치환한 1수준에 무치환(시멘트 100%)과 플라이애시, 실리카폼 및 고로슬래그미분말을 각각 30%씩 치환한 총 5수준의 혼화재 변수를 주었으며, 시멘트분말도 및 혼화재 변수 별 PP섬유의 혼입률을 0.05, 0.10, 0.15%의 3수준으로 변화시키는 것으로 총 21수준을 실험계획 하였다.

실험사항으로, 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프플로우, 공기량을 측정하고, 경화 콘크리트에서는 계획된 재령에서 압축강도, 폭렬유무, 폭렬등급, 잔존압축강도를 측정하는 것으로 하였다.

* 청주대학교 대학원생, 정회원

** 두산산업개발(주) 기술연구소 팀장, 정회원

*** (주)한성종합기술단건축사사무소 기술연구소 소장, 정회원

**** 인천전문대학 건축과 교수, 공학박사, 정회원

***** 청주대학교 건축공학부 교수, 공학박사, 정회원

표 1. 실험계획

실험요인		실험수준			
배합사항	W/B(%)	1	25		
	목표플로우(mm)	1	700±100		
	목표공기량(%)	1	3.0±0.5		
	시멘트 분말도 및 혼화재 종류	7	시멘트 분말도	혼화재 종류	치환율 (%)
			H (6,550cm ² /g)	FA ¹⁾ +SF ²⁾	20+10
			M (3,302cm ² /g)	FA+SF	20+10
				무혼입	0
				FA	30
	L (1,682cm ² /g)	FA+SF	20+10		
	PP섬유 혼입율 (%)	3	0.05, 0.10, 0.15		
실험사항	굳지 않은 콘크리트	<ul style="list-style-type: none"> 슬럼프플로우 공기량 			
	경화 콘크리트	<ul style="list-style-type: none"> 압축강도 			
	내화시험	<ul style="list-style-type: none"> 폭렬유무 폭렬등급 잔존압축강도 			

1) 플라이애시, 2) 실리카폼, 3) 시멘트, 4) 고로슬래그미분말

□ : 플레인 콘크리트

표 2. 콘크리트의 배합표

W/B (%)	단위수량 (kg/m ³)	S/a (%)	AE제 (%)	SP제 (%)	질량배합 (kg/m ³)				
					C	FA	SF	S	G
25	160	45	0.04	1.3	448	128	64	660	810

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드시멘트(밀도: 3.15g/cm³, 분말도: 3,302 cm²/g)를 사용하였고, 골재는 충남 조치원산의 부순 굵은골재(밀도: 2.61g/cm³, 조립률: 6.56) 및 조치원산 부순 잔골재와 강모래를 6:4의 비율로 혼합한 혼합잔골재(밀도: 2.60 g/cm³, 조립률 2.81)를 사용하였다. 혼화재료로 플라이애시(밀도: 2.21g/cm³, 분말도: 4,061 cm²/g)는 국내산, 실리카폼(밀도: 2.20g/cm³, 분말도: 200,000 cm²/g)은 노르웨이산, 고로슬래그미분말(밀도: 2.90g/cm³, 분말도: 4,580cm²/g)은 광양 제철소산을 사용하였다. 고성능감수제는 E사의 폴리칼본산계와 음이온계 AE제를 사용하였으며, PP섬유(직경:0.04mm, 길이:19mm, 밀도:0.9kg/m³)는 S사 제품을 사용하였다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 혼합하였고, 굳지 않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프플로우는 KS F 2594, 공기량은 KS F 2421의 규정에 의거 실시하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 Ø100×200mm 공시체를 제작하여, 계획된 재령에서 KS F 2405 규정에 의거 실시하였고, 내화시험은 시험체를 바닥가열로에 설치한 후 KS F 2257-1에서 규정한 표준가열곡선에 의거하여 1시간 비가력 조건으로 실시하였다. 또한, 내화시험 후 공시체의 폭렬여부는 육안으로 관찰하였고, 폭렬등급은 폭렬발생 정도에 따라 질량 감소율을 기준으로 바폭열~1/4 폭렬-1등급, 1/4~2/4 폭렬-2등급, 2/4~3/4 폭렬-3등급, 3/4~4/4 폭렬-4등급 등 총 4개의 등급으로 분류하여 조사하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

그림 1은 시멘트 입도, 혼화재 종류 별 PP섬유 혼입률 변화에 따른 슬럼프플로우를 나타낸 그래프이다.

먼저, 시멘트 입도로 M(플레인 콘크리트)은 목표한 슬럼프플로우를 만족하였고, L은 M과 거의 유사한 경향을 나타내었으나, H의 경우는 M보다 약 34%정도 유동성이 저하하는 것으로 나타났다. 이는 시멘트 입도가 미세할수록 비표면적이 늘어나 흡착수량이 증가하는데 기인한 결과로 분석된다.

혼화재 치환 변화로써, 슬럼프플로우는 플라이애시(20%)와 실리카폼(10%)을 동시에 치환한 콘크리트(플레인 콘크리트)와 혼화재를 치환하지 않은 콘크리트는 거의 유사한 경향을 나타내었으며, 고로슬래그미분말(30%)로 치환한 경우는 이보다 유동성이 약 6%정도 높은 것으로 나타났고, 실리카폼(30%)과 플라이애시(30%)로 각각 치환한 경우는 약 16%정도 유동성이 낮게 나타났다. 이때 실리카폼의 경우는 초미립자로 인한 점성증가로 유동성저하가 나타나는 것으로 분석되고, 플라이애시는 밀도가 작기 때문에 상대적으로 혼입되는 부피가 증가하여 보 다 많은 수분흡착 작용에 기인한 결과로 판단된다.

그림 2는 시멘트 입도, 혼화재 종류별 PP섬유 혼입률 변화에 따른 공기량을 나타낸 그래프이다. 시멘트 입도변화의 경우 2~4%의 범위내에서 H는 섬유혼입률이 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났고, M, L의 경우 증가하는 것으로 나타났다. 또한 혼화재 종류에 따른 결과로써, 실리카폼(4.8~6.5%)을 제외한 나머지의 경우는 모두 2~4%의 범위로 나타났다.

3.2 경화 콘크리트의 특성

3.2.1 강도 특성

그림 3, 4는 시멘트 입도 및 PP섬유 혼입률 변화에 따른 재령별 압축강도를 나타낸 것이다.

재령 28일 M(플레인 콘크리트)의 압축강도는 70MPa 정도의 고강도 범위를 나타내었고, H의 경우 분말도의 영향으로 초기강도는 높게 나타났으나, 장기강도에서는 L의 경우와 유사한 압축강도를 나타냈다. 섬유 혼입률이 증가할수록 약간 증가하는 경향이기는 하나 큰 차이를 보이지 않았다.

혼화재 종류에 따라서는 플라이애시(20%)와 실리카폼(10%)을 동시에 치환한 콘크리트(플레인 콘크리트)가 73MPa 정도 강도를 발현하여 가장 높은 것으로 나타났고, 그 다음으로 SF

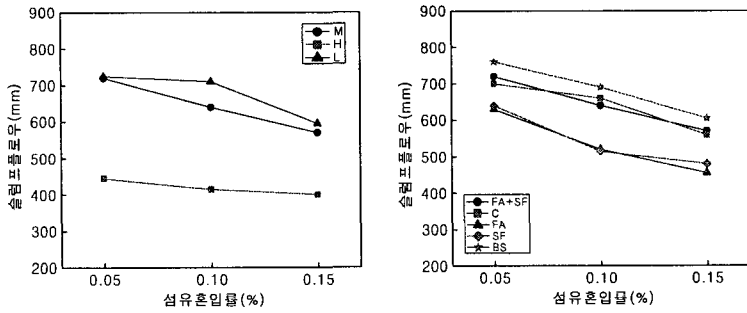


그림 1. PP섬유 혼입률 변화에 따른 슬럼프플로우

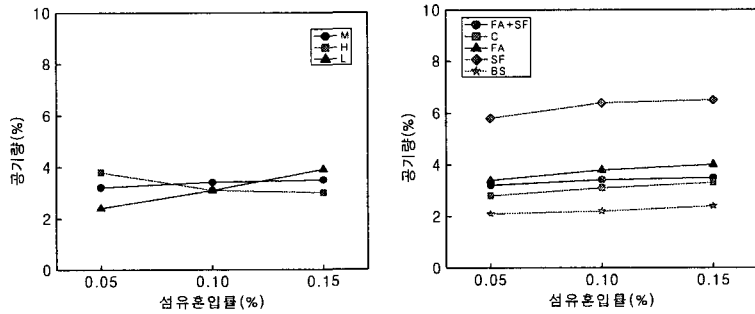


그림 2. PP섬유 혼입률 변화에 따른 공기량

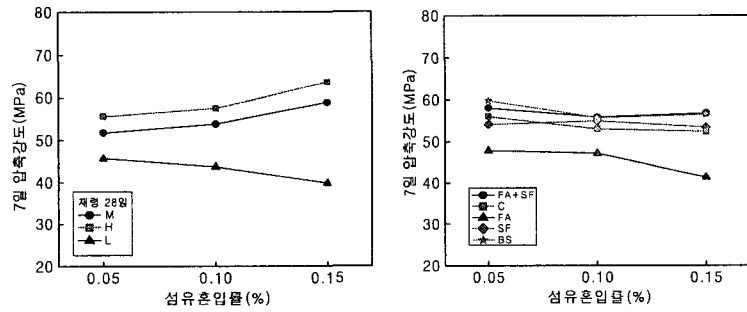


그림 3. PP섬유 혼입률 변화에 따른 7일 압축강도

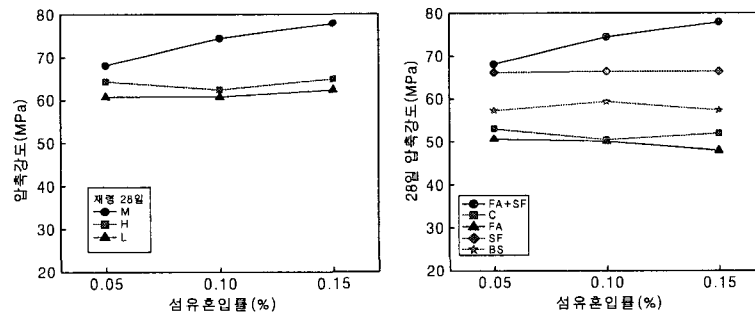


그림 4. PP섬유 혼입률 변화에 따른 28일 압축강도

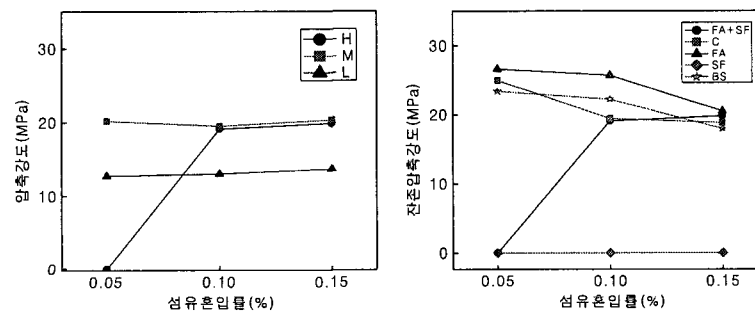


그림 5. 섬유혼입률 변화에 따른 잔존압축강도

(약 66MPa), BS(약 58MPa), C(약 53MPa) 그리고 FA(약 49MPa)의 순으로 강도가 발현되었다.

3.2.2 폭렬 특성

사진 1은 1시간 비가력 내화시험 후 시멘트 입도 및 혼화제 종류별 PP섬유 혼입률 변화에 따른 폭렬 성상을 폭렬등급과 함께 나타낸 것이다.

먼저 플레인 콘크리트는 PP섬유 혼입률 0.05%에서 3등급의 폭렬이 발생 하였으나, PP섬유 혼입률 0.10%이상에서는 폭렬이 방지되는 것으로 나타났다. 또한 시멘트 입도별 H와 L의 콘크리트는 PP섬유를 0.05% 혼입하였을 경우 표면바리 폭렬만 발생하는 것으로 나타났는데, 이는 플레인 콘크리트인 M보다 압축강도가 낮은 것에 기인한 결과로 분석된다.

또한, 혼화제의 종류에 따른 폭렬성상으로는 실리카폼의 경우에서만 PP섬유의 혼입률에 상관없이 폭렬이 발생하는 것으로 나타났는데, 이는 실리카폼이 기타 혼화재료에 비해 입도가 현저히 작기 때문에 나타난 결과로 판단된다.

그림 5는 내화시험 후 잔존압축강도를 측정한 그래프이다. 먼저, 시멘트 입도에 따른 잔존압축강도는 입도가 작을수록 증가하는 것으로 나타났고, 잔존압축강도율은 약 20~30%인 것으로 측정되었다. 혼화제 종류에 따른 결과로는 전체적으로 섬유혼입률 증가에 따라 저하하는 것으로 나타났고, 잔존압축강도율은 플라이애시 치환 콘크리트 48%, 혼화제를 치환하지 않은 콘크리트 43%, 고로슬래그미분말 치환 콘크리트 36% 그리고 실리카폼과 플라이애시를 동시에 치환한 콘크리트 약 22%이며, 실리카폼만 치환한 경우는 0으로 제일작게 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 시멘트 입도, 혼화제 종류 및 섬유 혼입률에 따른 고강도 콘크리트의 폭렬 특성에 대하여 검토하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 굳지않은 콘크리트의 특성으로, 섬유 혼입률이 증가할수록 유동성은 감소하였고, 공기량은 증가하는 경향이 나타났으며, 슬럼프플로우의 경우 시멘트 및 혼화재료의 경우 입도가 작을수록 슬럼프플로우는 저하 하였고, 공기량은 유사하나, 특히 실리카폼으로 30% 치환한 경우에서 다른 조건보다 약 2~4%정도 높게 나타났다.
- 2) 경화 콘크리트의 특성으로, 재령 28일 플레인콘크리트의 압축강도는 70~80MPa 정도로 고강도가 나타났고, 시멘트 입도 H의 경우 초기강도는 높은 것으로 나타났으나, 장기강도에서는 약 60MPa로 L과 유사한 경향을 나타내었다. 혼화

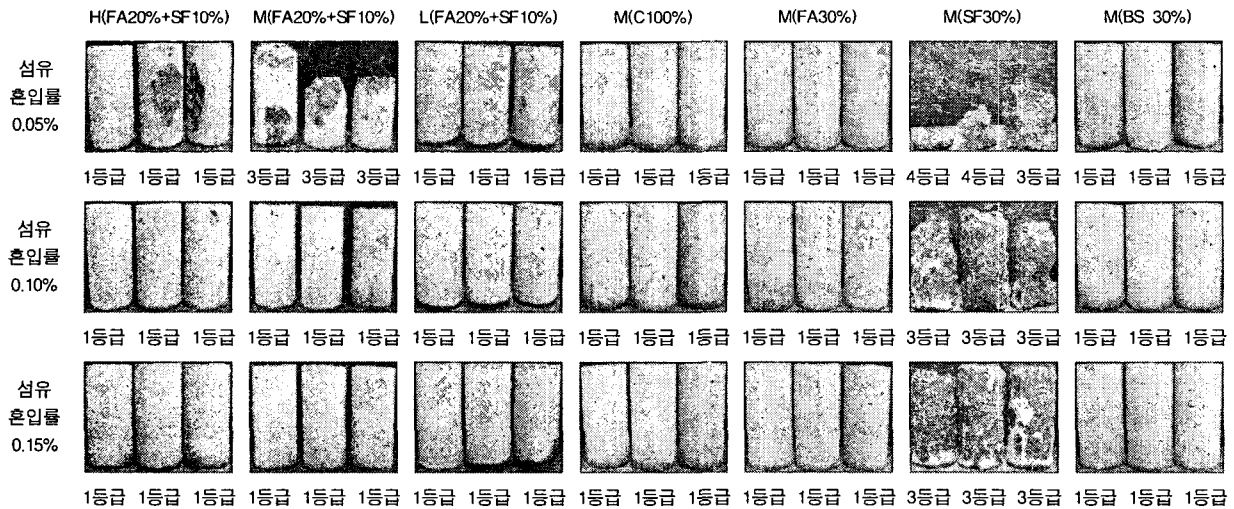


사진 1. 시멘트 입도, 혼화제 종류 및 PP섬유 혼입률 변화에 따른 폭렬 손상

재 종류에 따라서는 SF(약 66MPa), BS(약 58MPa), C(약 53MPa) 및 FA(약 49MPa)의 순으로 큰 강도가 발현되었다.

- 내화시험 후 폭렬특성으로 시멘트 입도에서는 PP섬유 0.10% 이상 혼입한 경우 폭렬이 모두 방지되는 것으로 나타났고, 잔존압축강도율은 약 20~30%인 것으로 분석되었다. 혼화제 종류별로는 실리카폼만 30%치환 하였을때, PP섬유의 혼입률에 상관없이 폭렬이 가장 심하게 발생하는 것으로 나타났고, 잔존압축강도율은 플라이애시 치환 콘크리트 약 48%, 혼화제를 치환하지 않은 경우 약 43%, 고로슬래그미분말 치환 약 36%, 실리카폼과 플라이애시 동시 치환 약 22%, 실리카폼 치환 0%의 순으로 나타났다.
- 이상을 종합해 볼때 폭렬현상은 고강도콘크리트일수록 용이하게 발생하며, 시멘트 입도 및 혼화재료의 입도가 작은 경우 또한 용이하게 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 '콘크리트 코리아 연구단'에서 주관하여 시행한 2006년도 건설핵심기술연구개발사업 「05-CCT-D11, 고성능·다기능 콘크리트의 개발 및 활용기술」 지원으로 수행되었으며, 이에 감사한다.

참고 문헌

- 한천구; 비폭열성 콘크리트, 콘크리트 학회지, 제 10권 6호, pp.5~10. 1998. 12
- 이병열; 화재시 고성능 콘크리트의 폭렬방지에 관한 연구, 청주대학교 박사학위논문, 2001. 12
- 황인성; 화재시 고성능 콘크리트의 폭렬에 미치는 재료 및 배합요인의 영향, 청주대학교 석사학위논문, 1999. 12
- 한천구, 양성환, 이병열, 황인성; 골재종류 및 폴리프로필렌 섬유 혼입률 변화에 따른 고성능 콘크리트의 폭렬 특성에 관한 연구, 콘크리트학회 논문집, 제 11권 5호, pp.69~78, 1999. 10
- 한천구, 채민수, 이병열, 양성환; 폴리프로필렌 섬유의 혼입률 변화에 따른 고성능 시멘트 모르타의 폭렬방지에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 15권 12호, pp.89~96, 1999. 12
- 김무한, 나철성, 장재봉, 권영진; 고성능 콘크리트의 폭렬현상과 대책에 관한 연구 동향, 콘크리트학회지, 17권 3호, pp.20~25, 2005. 05