

80~100MPa급 고강도 콘크리트의 폭렬방지

Spalling Resistance of 80~100MPa High Strength Concrete

허영선* 배장춘** 이재삼*** 한창평**** 양성환***** 한천구*****

Heo, Young Sun Pei, Chang Chun Lee, Jae Sam Hann, Chang Pyung Yang, Seong-Hwan Han, Cheon Goo

ABSTRACT

This study investigates the engineering and fire endurance properties of ultra high strength concrete. The mixture proportions with water to binder ratios (W/B) of 0.15 and 0.25 consist of various adding ratios, such as 0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25 and 0.3 percent respectively, of polypropylene (PP) fiber. As for the parameters of specimens, fluidity, compressive strength and unloading fire test were carried out. Test showed that an increase of fiber contents had the favorable properties in fire endurance performance; specimens in W/B 15% required 0.3vol% of PP fiber and specimens in W/B 25% needed only 0.1vol% to prevent spalling.

1. 서론

최근, 국내의 연구조사에 따르면, 화재시 고강도 콘크리트의 폭렬을 방지하게 위한 방안으로는 내열성이 작은 폴리프로필렌(이하 PP) 섬유 혼입공법, 이 섬유의 혼입과 메탈라스 황구속을 병용하는 공법¹⁾ 등이 보고 되고 있다. 그러나 이는 40~60MPa급 고강도 콘크리트에 해당되는 공법으로서, 100MPa급 이상의 초고강도 콘크리트에도 동일하게 적용될 수 있는지는 의문시 된다.

그러므로, 본 연구에서는 80~100MPa급 초고강도 콘크리트의 화재시 폭렬방지를 목적으로 우선 PP 섬유의 혼입률 변화에 대하여만 콘크리트의 공학적 특성을 검토하고, 1시간 비가력 내화시험을 실시한 후 내화특성 등을 분석하므로써, 화재시 초고강도 콘크리트의 폭렬방지 공법을 위한 기초적 자료로 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다.

W/B는 시멘트에 대한 질량비로 플라야애시 20%와 실리카폼 10%를 동시에 치환한 15, 25%의 2수준에 대해, PP섬유의 혼입률을 7수준 변화시켜 총 14배치를 실험계획 하였다.

이때 섬유를 혼입하지 않은 플레인 콘크리트의 목표 슬럼프플로우는 초고유동 콘크리트 범위인 700±100mm로 하였고, 목표공기량은 3.0±0.5%를 만족하도록 배합설계 하였으며, 나머지 실험변수에 대하여도 동일하게 적용하였다. 굳지않은 콘크리트 및 경화 콘크리트의 실험사항은 표 1과 같고, 콘크리트의 배합사항은 표 2와 같다.

* 정회원, 청주대학교 대학원 석사과정

** 정회원, 청주대학교 대학원 박사과정

*** 정회원, 두산산업개발(주) RC연구개발팀 팀장

**** 정회원, (주)한성종합기술단건축사사무소 기술연구소 소장

***** 정회원, 인천전문대학교 건축과 교수, 공학박사

***** 정회원, 청주대학교 건축공학부 교수, 공학박사

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 재료는 실리카폼을 제외하고 모두 국내산이었다. 즉, 시멘트는 보통 포틀랜드시멘트(밀도: 3.15 g/cm³, 분말도: 3,302cm²/g)를 사용하였고, 골재로 잔골재는 5mm체를 100% 통과한 P사의 부순모래와 강모래를 적정 비율로 혼합한 조립률 2.81의 혼합사(밀도: 2.60 g/cm³)를 사용하였으며, 굵은골재는 P사의 20mm 부순굵은골재(밀도: 2.61g/cm³, 조립률: 6.56)를 사용하였다. 혼화재료로 플라이애시(밀도: 2.21g/cm³, 분말도: 4,061cm²/g)는 H사, 실리카폼(밀도: 2.20g/cm³, 분말도: 200,000cm²/g)은 국내 G사의 보급품을 사용하였고, 고성능감수제는 B사의 폴리칼본산계, AE제는 N산을 이용하였으며, PP섬유(직경: 0.04, 길이: 19mm)는 S사 제품의 형상비(aspect ratio) 475인 제품을 사용하였다.

2.3 실험방법

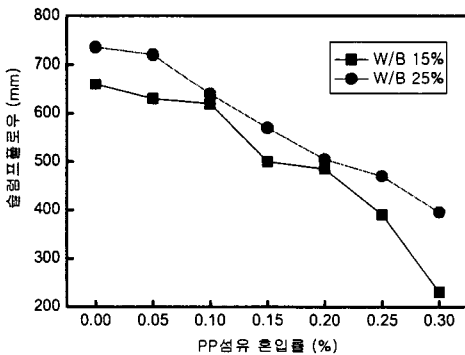
본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 혼합하였고, 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프플로우는 KS F 2594, 공기량은 KS F 2421의 규정에 의거 실시하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 $\varnothing 100 \times 200$ mm 공시체를 제작하여, 계획된 재령에서 KS F 2405 규정에 의거 실시하였고, 인장강도는 KS F 2423에 의거하여 측정하였다. 내화시험은 시험체를 바닥가열로에 설치한 후 KS F 2257-1에서 규정한 표준가열곡선에 의거하여 1시간 실시하였다. 또한, 내화시험 후 공시체의 폭열여부는 육안으로 관찰하여 조사하였고, 폭열등급은 폭열발생 정도에 따라 질량감소율을 기준으로 비폭열~1/4 폭열-1등급, 1/4~2/4 폭열-2등급, 2/4~3/4 폭열-3등급, 3/4~4/4 폭열-4등급 등 총 4개의 등급으로 분류하여 조사하였으며, 잔존압축강도는 가열전의 시험체와 비교하여 평가하였다.

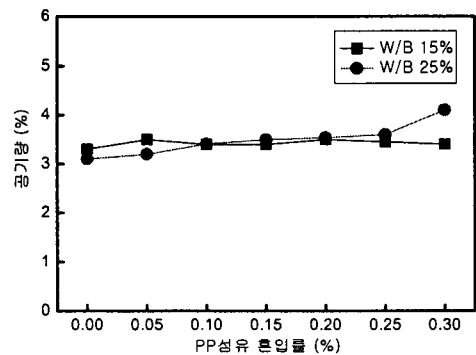
4. 실험결과 및 분석

4.1 굳지않은 콘크리트의 특성

그림 1, 2는 W/B별 PP섬유 혼입률 변화에 따른 슬럼프플로우와 공기량을 나타낸 것이다.



(a) 슬럼프플로우



(b) 공기량

그림 1. W/B별 PP섬유 혼입률 변화에 따른 슬럼프플로우 및 공기량

표 1. 실험계획

실험요인		실험수준
배합사	W/B(%)	2, 15, 25
	목표플로우(mm)	700±100
	목표공기량(%)	3.0±0.5
	혼화제 치환(%)	1 FA* 20% + SF* 10%
추정항목	PP섬유 혼입률(%)	7 0, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30
	굳지않은 콘크리트	<ul style="list-style-type: none"> 슬럼프플로우 공기량
경화 콘크리트	강도	<ul style="list-style-type: none"> 압축강도(7, 28일) 인장강도(28일)
	내화 시험	<ul style="list-style-type: none"> 폭열성상 폭열등급 잔존압축강도

* FA: 플라이애시, SF: 실리카폼

표 2. 콘크리트의 배합표

W/B (%)	단위수량 (kg/m ³)	S/a (%)	AE제 (%)	SP제 (%)	질량배합 (kg/m ³)				
					C	FA	SF	S	G
15	160	31	0.03	2.5	747	213	107	328	740
25	160	45	0.04	1.3	448	128	64	660	810

먼저, 그림 1 섬유 혼입률 변화에 따른 슬럼프플로우의 경우 플레인은 W/B 15, 25%의 배합에서 모두 목표한 700±100mm 범위를 만족하는 것으로 나타났다. 그러나 섬유 혼입률이 증가할수록 유동성은 감소하는 경향을 보였는데, PP섬유 0.3%에서 슬럼프플로우는 각각 230과 395mm로 현저한 유동성 저하를 나타냈다. 또한, 그림 2에서 W/B 15, 25% 플레인 콘크리트의 공기량은 목표치인 3.0±0.5% 범위를 나타냈고, 섬유 혼입률 증가에 따라서는 다소 증가하였으나, 모두 목표한 공기량을 만족하는 것으로 나타났다.

4.2 경화 콘크리트의 특성

4.2.1 강도특성

그림 3은 W/B별 재령경과에 따른 압축강도를 나타낸 것이고, 그림 4는 재령 28일 인장강도를 나타낸 것이다.

먼저, 섬유 혼입률 변화에 따른 압축강도로 W/B 15%의 경우 플레인은 재령 28일에서 108MPa의 최고강도를 나타내었고, W/B 25%는 85MPa를 나타내었다. 섬유의 혼입률 변화에 따라서는 W/B 15, 25% 모두 혼입률이 증가할수록 강도가 다소 작아지는 경향을 나타내었는데, 이는 공기량의 영향 등을 고려해볼 때 큰 차이는 아닌 것으로 분석된다. 그러나 그림 4의 인장강도 실험결과, 섬유 혼입률이 증가할수록 인장강도가 증가하는 것으로 나타났는데, 재령 28일에서 PP 0.3% 혼입부재의 인장강도는 W/B 15%의 경우 6.86MPa, W/B 25%는 6.48MPa로, 플레인(6.17, 5.97MPa)과 비교하여 약 8~10% 향상되는 것으로 나타났다. 또한, 본 연구에서 실시한 W/B 변화에 따른 인장강도율은 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한, 실험결과 인장강도와 압축강도의 비는 W/B가 작을수록 작아지는 것을 확인할 수 있었다.

4.2.2 내화특성

사진 1은 W/B별 PP섬유 혼입률 변화에 따른 공시체의 폭렬성상 및 폭렬등급을 나타낸 것이다.

먼저, W/B 15%인 초고강도 콘크리트의 경우, 플레인과 PP섬유 0.05%를 혼입한 시험체는 극심한 파괴폭렬을 나타내어 시험체의 형상 촬영이 거의 불가능하였고, 0.1, 0.15%의 시험체 역시 폭렬등급 4등급과 3등급으로 심한 파괴 폭렬이 발생하였다. 또한, PP 0.2% 혼입 시험체의 경우는 부분적으로 건전한 면이 존재하여 폭렬등급 2등급 및 일부 3등급을 기록하였으나, 여전히 심한 박리 및 탈락현상이 발생하는 것으로 나타났다. 그러나 PP 섬유 0.3% 혼입 시험체는 3개 공시체에서 모두 폭렬등급 1등급으로 양호한 폭렬방지 성능을 확인하였는데, 이는 40~60MPa급 고강도 콘크리트의 폭렬방지를 위한 적정 섬유 혼입률의 3배에 해당되는 것으로, 최적의 폭렬방지를 위한 섬유 혼입률을 도출하기 위해서는 굳지않은 콘크리트의 유동성 및 섬유의 분산성 향상 방안을 고려하고, Mock-up 및 현장 조건의 사이즈 변화에 따른 폭렬특성을 종합적으로 검토하여야 할 것으로 분석된다.

한편, W/B 25%의 고강도 콘크리트는 플레인의 경우 폭렬등급 4등급으로 심한 파괴 폭렬이 발생하였으나, PP섬유 0.1%이상 혼입한 시험체의 경우는 모두 양호한 폭렬방지 성능을 발휘하였다.

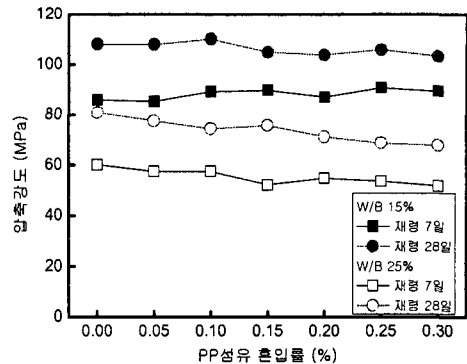


그림 2. W/B별 PP섬유 혼입률 변화에 따른 압축강도

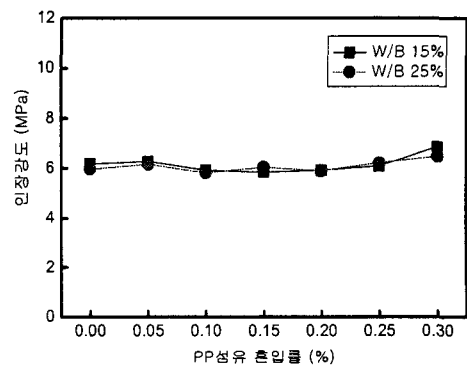


그림 4. W/B별 PP섬유 혼입률 변화에 따른 인장강도

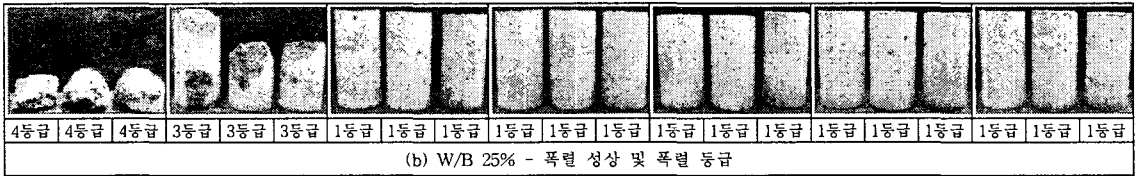
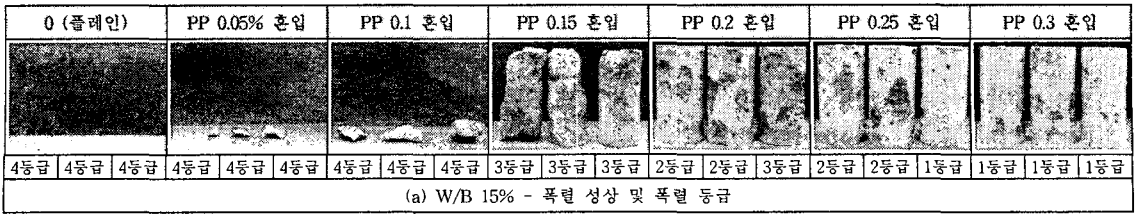


사진 1. W/B별 PP섬유 혼입률 변화에 따른 공시체의 폭렬모습 및 폭렬 등급

그림 5는 내화시험 후 W/B별 PP섬유 혼입률 변화에 따른 잔존압축강도를 나타낸 것이다.

1시간 동안 고온에 노출된 시험체의 잔존압축강도는 폭렬등급 2등급 이상부터 측정이 가능하였는데, W/B 15%의 경우는 섬유 혼입률에 관계없이 잔존압축강도 14~15MPa로 잔존압축강도를 13~14%를 나타냈고, W/B 25%에서는 잔존압축강도 16~20MPa, 잔존압축강도를 20~25% 범위를 나타내었다.

5. 결론

본 연구는 화재시 80~100MPa급 초고강도 콘크리트의 폭렬방지 및 내화성능 향상을 목적으로 다양한 섬유 혼입률별로 시험체의 공학적 특성 및 내화 특성에 대해서 검토하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 초고강도 콘크리트의 섬유혼입률 변화에 따른 공학적 특성으로, 먼저 굳지않은 콘크리트의 유동성은 W/B에 관계없이 혼입률이 증가할수록 크게 감소하는 것으로 나타났고, 공기량은 약간 증가하였다. 또한, 경화 콘크리트의 압축강도는 섬유혼입률이 증가할수록 큰 차이가 없었지만, 인장강도는 최고 8~10% 증가하는 것으로 나타났다.

2) 초고강도 콘크리트의 섬유 혼입률 변화에 따른 내화 특성으로, 먼저 폭렬성상 및 폭렬등급은 W/B 15%의 경우 플레인과 PP 0.05, PP 0.1 및 PP 0.15% 혼입 시험체는 폭렬등급 4~3등급으로 극심한 파괴폭렬이 발생하였고, PP 0.3% 혼입 시험체의 경우는 폭렬이 방지되는 것으로 나타났으며, W/B 25%에서는 PP 0.1%이상 혼입한 경우 폭렬등급 1등급으로 양호한 폭렬방지 성능을 확인할 수 있었다. 또한 폭렬등급 2등급 이상에 대해서 실시한 잔존압축강도는 W/B 및 섬유 혼입률에 관계없이 14~20MPa 범위를 나타내었다.

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 감사드립니다.

참고문헌

1) C.G. Han, Y.S. Hwang, S.H. Yang, N. Gowripalan, Performance of spalling resistance of high performance concrete with polypropylene fiber contents and lateral confinement, Cement and Concrete Research, 35, (2005) 1747-1753

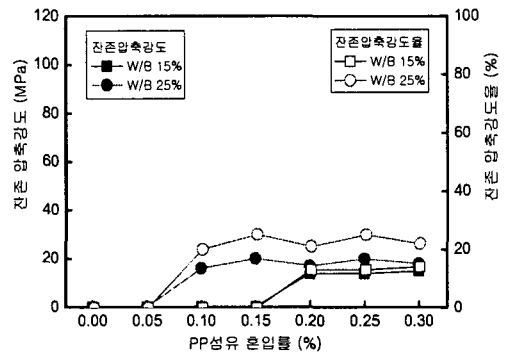


그림 5. W/B별 PP섬유 혼입률 변화에 따른 잔존압축강도 및 잔존압축강도율