

PP섬유 혼입 및 메탈라스 횡구속에 의한 고성능 콘크리트의 폭열방지에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Spalling Resistance of High Performance Concrete with PP Fiber Contents and Lateral Confinement by Metal-Lath

황인성* 이백수* 이병열** 양성환*** 한천구****
Hwang, Yin Seong Li, Bai Shou, Lee, Byung Yul Yang, Seong Hwan Han, Cheon Goo

ABSTRACT

This paper describes the results of spalling by fire prevention of high performance concrete confining with metal-lath and containing PP fiber. According to test results, all the specimens without PP fiber shows entire failure after exposed to fire, while the other specimens confined with metal-lath has somewhat better spalling prevention performance than plain concrete specimens, which only show surface scale spalling combination of PP fiber with confinement of metal-lath leads to favorable spalling resistance. As PP fiber contents and thickness of metal-lath which is confined at concrete specimens increase, residual strength after exposed to fire shows to be increased.

1. 서론

건축물은 화재시 인명안전, 재산보호의 관점에서 일정 내화성능의 확보와 함께 구조적인 안전대책이 중요한 문제로 지적되고 있다. 콘크리트는 이러한 관점에서 내화성이 우수한 재료로 널리 사용되어 왔으나, 화재시 고열을 받게 되면 고강도 및 고성능 콘크리트의 경우는 폭열현상이 문제시 되고있다.¹⁾²⁾³⁾⁴⁾ 폭열이란 화재시 갑작스런 고온에 의해 콘크리트 구조물의 부재 표면이 심한 폭음과 함께 박리 및 탈락하는 현상으로, 고강도 및 고성능 콘크리트와 같이 낮은 물시멘트비로 강도가 크고, 내부조직이 치밀하게 될수록 폭열발생이 용이한 것으로 알려지고 있다.

그러나, 대부분의 콘크리트 구조물은 일반강도의 보통 콘크리트로 화재시에는 폭열에 대한 심각한 우려가 발생하지 않아 이에 대한 검토가 거의 이루어지지 않았으나, 최근 건축 구조물은 초고층화·대형화와 함께 고강도 및 고성능 콘크리트화 되어지면서, 폭열방지에 대한 연구가 일부 진행되어져 왔으나 아직까지는 미흡한 실정이다.

* 정회원, 청주대학교 대학원, 박사과정

** 정회원, (주)성진건축사사무소 소장, 공학박사

*** 정회원, 인천전문대학 건축과 교수, 공학박사

**** 정회원, 청주대학교 건축공학부 교수, 공학박사

그러므로, 본 연구에서는 PP섬유 혼입 및 메탈라스 횡구속에 의한 고성능 콘크리트의 폭열방지에 관한 실험적 연구로, 화재를 상정한 내화시험을 통하여 폭열방지 성능 및 잔존내력 등을 검토하므로써, 고성능 콘크리트의 폭열방지에 한 참고자료로 제시하고자 한다.

표 1 실험계획

실험요인						실험사항	
W/B (%)	목표 유동성 (cm)	목표 공기량 (%)	FA* (%)	PP 섬유 (%)	메탈라스**	굳지않은 콘크리트	경화 콘크리트
30 40	60±5	4.5±1.5	20	0 0.05 0.10	Plain M1 M2	· 슬럼프 · 슬럼프플로우 · 공기량 · 단위용적중량	· 압축강도 · 내화시험 · 잔존압축강도 · 중량감소율

* FA : 플라이애시

** M1:메탈라스 두께 0.6mm, M2:메탈라스 두께 1.6mm

2. 실험계획 및 방법

2.1. 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다.

즉, 실험요인으로 W/B는 플라이애시를 20% 치환한 30, 40%의 2수준에 대하여 PP섬유 혼입률을

0, 0.05, 0.10%의 3수준, 메탈라스는 사용철판의 두께에 따라 0.6mm(이하 M1), 1.6mm(이하 M2)로 변화시켜 총 6배치를 실험계획하였다. 이때, 목표 유동성은 고유동 콘크리트 범위인 60±5cm로 하였고, 공기량은 4.5±1.5%로 하였다.

실험사항으로 굳지않은 콘크리트 및 경화 콘크리트의 실험사항은 표 1과 같고, 배합사항은 표 2와 같다.

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였고, 잔골재는 충북 청원군 부강산 강모래를 사용하였으며, 굵은골재는 경기도 퇴촌산 20mm 부순 굵은골재를 사용하였다. 또한, 혼화제로 고성능감수제는 국내산 J사의 폴리칼본산계를 사용하였고, PP섬유는 국내산 S사의 19mm 단섬유를 사용하였는데, 각

표 2 배합사항

W/B (%)	단위수량 (kg/m ³)	PP 섬유 (%)	S/a (%)	SP/C (%)	절대용적배합 (ℓ/m ³)					중량배합 (kg/m ³)				
					시멘트	FA	잔골재	굵은골재	PP 섬유	시멘트	FA	잔골재	굵은골재	PP 섬유
30	175	0	48	1.5	148	53	278	211	0	467	117	715	555	0
									0.5					0.45
40	175	0.05	51	1.05	111	39	321	216	0	350	88	825	568	0
									0.5					0.45
		0.10							1.0					0.90

표 3 시멘트의 물리적 성질

비중	분말도 (cm ² /g)	안정도 (%)	응결시간 (분)		압축강도 (kgf/cm ²)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,522	0.16	209	353	214	305	392

표 4 골재의 물리적 성질

구 분	비중	조립률	흡수율 (%)	단위용적중량 (kg/m ³)	0.08mm체 통과량 (%)
잔골재	2.57	2.7	1.83	1,470	1.8
굵은골재	2.63	6.9	0.62	1,577	0.3

표 5 혼화제의 물리적 성질

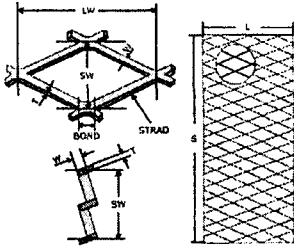
구 분	주 성분	형태	색 상	비중(20℃)
고성능감수제	폴리칼본산계	액 상	연황색	1.05

표 6 PP섬유의 물리적 성질

재 질	비중	길이 (mm)	직경 (mm)	융해점 (℃)	인장강도 (kgf/cm ²)
Homopolymer Polypropylene	0.9	19	0.07	162℃	5,600

표 7 메탈라스의 표준규격

메탈라스 규격			
종류	SW (mm)	LW (mm)	T (mm)
M1	6.6	13.3	0.6
M2	24	48	1.6



재료의 물리적 성질은 표 3~6과 같다. 메탈라스는 국내산으로 종류별 표준규격은 표 7과 같다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬믹서를 사용하였는데, PP섬유의 혼입은 섬유를 분산이 잘 되도록 건비법시 손으로 풀고루 뿌려준 후 혼합을 실시하는 것으로 하였다. 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402 규정에 의거 실시하였고, 슬럼프플로우는 슬럼프 측정이 끝난 후 최대직경과 이에 직교하는 직경의 평균치로 하였으며, 공기량 및 단위용적중량은 KS F 2421 및 2409의 규정에 따라 실시하였다. 경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 KS F 2405에 의거 실시하였고, 내화시험은 건설기술연구소의 바닥용 가열로 내에 각 공시체를 수직으로 배치한 후 KS F 2257에서 규정한 표준가열곡선으로 1시간 가열을 실시하는 것으로 하였으나, 공시체의 폭열에 의한 가열로의 이상 발생으로 40분만 가열하였다(그림 1). 내화시험 후 공시체의 폭열여부는 육안으로 관찰하여 조사하였고(사진 1), 중량감소율은 내화시험 전후의 공시체 중량을 측정하여 구하였다.

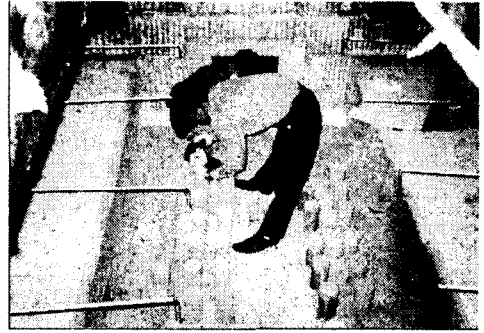


사진 1 내화시험 후 공시체의 폭열여부 조사

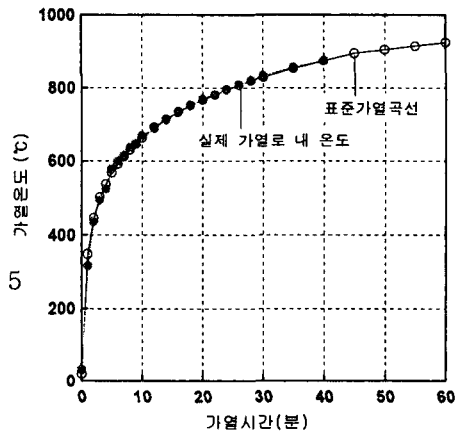


그림 1 표준가열곡선과 실제 가열로 온도곡선

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

그림 2는 W/B별 PP섬유 혼입률 변화에 따른 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량 및 단위용적중량을 나타낸 것이다.

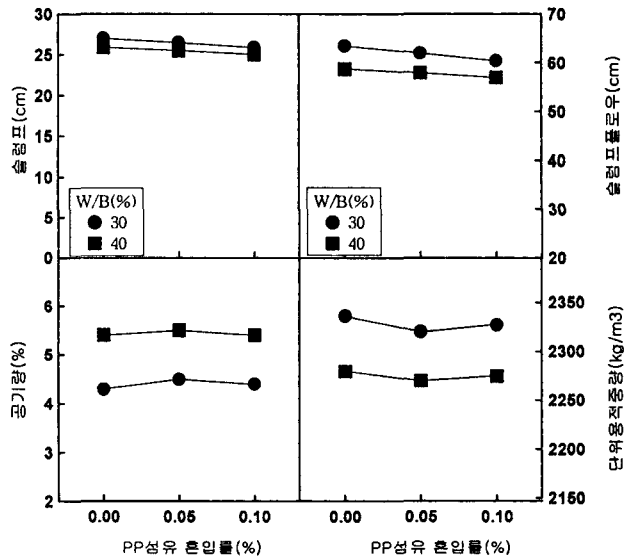


그림 2 W/B별 PP섬유 혼입률 변화에 따른 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량 및 단위용적중량

먼저, W/B별 슬럼프 및 슬럼프플로우는 목표 유동성 60±5cm 및 목표 공기량 4.5±1.5%를 만족하는 것으로 나타났다. 또한, PP섬유 혼입률 변화에 따른 유동성은 PP섬유 혼입률 증가에 따라 섬유가 엉킴현상으로 인해 다소 저하하는 것으로 나타났으나, 큰 차이는 아닌 것으로 분석되고, 공기량은 PP섬유 혼입률 변화에 따라 무혼입과 비교하여 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며, 단위용적중량은 공기량과 반대경향으로 나타났다.

3.2 경화 콘크리트의 특성

그림 3은 W/B별 PP섬유 혼입률 및 메탈라스 횡구속에 따른 재령 28일의 압축강도를 나타낸 것이다.

먼저, PP섬유 혼입률 변화에 따른 압축강도는 PP섬유 혼입률이 증가할수록 다소 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 PP섬유와 콘크리트와의 부착강도 증대에 기인한 것으로 분석된다. 또한, 메탈라스로 횡구속한 경우 압축강도는 다소 증진되는 것으로 나타났는데, 메탈라스 M1보다 두께가 두꺼운 M2가 횡구속력의 증대에 의해 압축강도가 더 크게 나타났다.

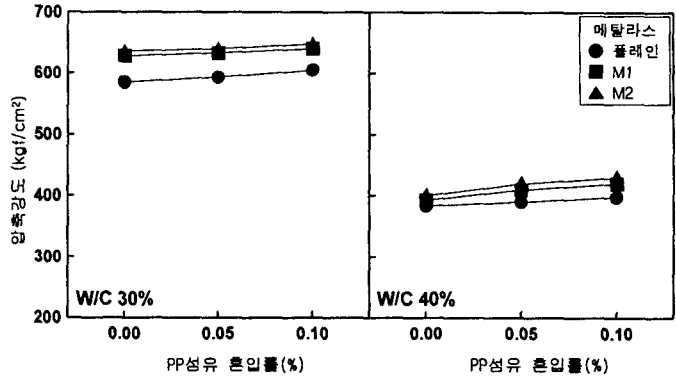


그림 3 W/B별 PP섬유 혼입률 및 메탈라스 횡구속에 따른 압축강도

3.3 폭열 특성

표 8은 PP섬유 혼입률 및 메탈라스 횡구속에 따른 내화시험 실시 후 공시체의 폭열여부를 나타낸 것이고, 사진 2는 공시체의 폭열 모습을 나타낸 것이다.

먼저, W/B별 PP섬유 혼입률 변화에 따른 폭열특성으로 PP섬유를 혼입하지 않고, 메탈라스도 횡구속하지 않은 플레인의 경우는 모두 파괴폭열을 일으켰고, PP섬유를 0.05% 이상 혼입한 경우는 모두 폭열이 방지되어, PP섬유 혼입에 의한 폭열방지성능이 우수함을 확인할 수 있었다. 또한, W/B별 PP섬유를 혼입하지 않은 플레인에 대하여 메탈라스로 횡구속한 경우는 플레인과 비교하여 어느 정도 폭열방지성능을 보였는데, W/B 30%에서 메탈라스 M1으로 횡구속한 경우 1개의 파괴폭열과 2개의 박리폭열을 일으킨 반면 M2로 횡구속한 경우는 3개의 박리폭열만 일으켰고, W/B 40%의 경우 메탈라스 M1은 3개 모두, M2는 2개만 박리폭열 일으키고 1개는 폭열이 발생하지 않았다.

따라서, 메탈라스 두께가 두꺼울수록 횡구속력에 의한 폭열방지성능이 양호한 것을 확인할 수 있었고, W/B 30%의 경우는 메탈라스로 보강하여도 조직의 치밀화에 의해 W/B 40%보다 폭열이 크게 발생함을 알 수 있었다.

또한, PP섬유를 혼입하고 메탈라스

표 8 PP섬유 혼입 및 메탈라스 구속에 따른 공시체의 폭열여부

W/B (%)	PP섬유 혼입률 (vol.%)	Plain			메탈라스					
					M1			M2		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
30	무혼입	X	X	X	△	X	△	△	△	△
	0.05	○	○	○	△	○	△	○	○	○
	0.10	○	○	○	○	○	○	○	○	○
40	무혼입	X	X	X	△	△	△	○	△	△
	0.05	○	○	○	○	△	○	○	○	○
	0.10	○	○	○	○	○	○	○	○	○

x : 파괴폭열, △ : 박리폭열, ○ : 폭열이 발생하지 않음

W/B (%)	PP섬유 혼입률 (vol.%)	메탈라스 종류								
		Plain			M1			M2		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
30	무혼입									
	0.05									
	0.10									
40	무혼입									
	0.05									
	0.10									

사진 1 공시체의 폭열 성상

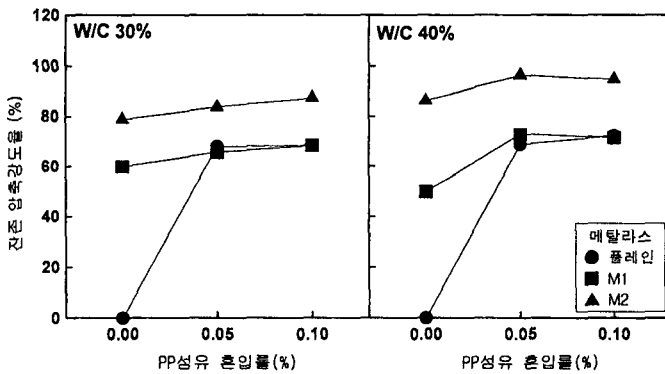


그림 4 W/B별 PP섬유 혼입률 및 메탈라스 횡구속에 따른 잔존 압축강도율

로 횡구속한 경우는 W/B 30%에서 2개, 40%에서 1개만 박리폭열을 보이고, 나머지는 모두 폭열이 발생하지 않았다.

그림 4는 W/B별 PP섬유 혼입 및 메탈라스 횡구속에 따른 내화시험 후 잔존 압축강도율을 나타낸 것이다.

먼저, W/B별 PP섬유 및 메탈라스를 보강하지 않은 경우의 잔존 압축강도율은 모두 폭열하여 측정할 수 없었고, PP섬유를 혼입하지 않고 메탈라스만으로 횡구속한 경우는 M1이 50~60%, M2가 80~90%로 메탈라스 두께가 두꺼울수록 잔존 압축강도율이 크게 나타났다. 또한, 메탈라스로 횡구속한 경우 PP섬유 혼입률 증가에 따른 잔존 압축강도율은 M1이 60% 이상, M2가 80% 이상으로 PP섬유 혼입률이 증가할수록 증가하는 것으로 나타났다. 이는 PP섬유 혼입에 따른 폭열방지효과와 메탈라스에 의한 횡구속력 증대로 잔존 압축강도율이 크게 나타난 것으로 사료된다.

그림 5는 W/B별 PP섬유 혼입률 및 메탈라스 횡구속에 따른 내화시험 후 중량감소율을 나타낸 것이다.

먼저, PP섬유를 혼입하지 않은 경우 중량감소율은 폭열과 관련하여 50% 전후로 크게 감소하였고, 메탈라스로 구속한 경우는 플레인과 비교하여 어느 정도 폭열방지효과와 함께 중량감소율이 15% 전후로 적게 나타났다. 또한, PP섬유 혼입 및 메탈라스 횡구속에 따른 내화시험 후 중량감소율은 폭열이 방지되어 10% 이내로 공시체별 큰 차이 없이 유사한 감소율로 나타났다.

이상을 종합하면 화재시 고성능

콘크리트의 폭열방지는 메탈라스로 황구속한 경우 어느 정도 효과가 있는 것으로 나타났고, PP섬유의 혼입률에 따라서는 그 효과가 매우 우수함을 다시 한번 확인할 수 있었다. 또한, PP섬유 혼입 및 메탈라스로 황구속을 병행한 경우 내화시험 후 잔존 압축강도율은 PP섬유 혼입률이 증가할수록, 메탈라스 두께가 두꺼울수록 크게 향상되게 나타났다.

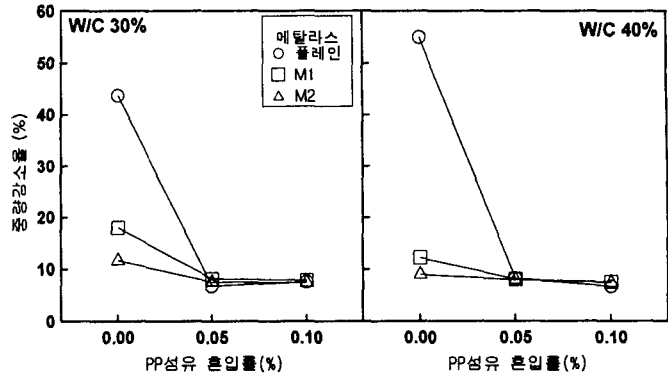


그림 5 W/B별 PP섬유 혼입률 및 메탈라스 황구속에 따른 중량감소율

4. 결 론

PP섬유 혼입 및 메탈라스 황구속에 의한 고성능 콘크리트의 폭열방지에 관한 연구로 굳지않은 상태 및 경화 상태의 특성과 내화시험 후 폭열특성에 관한 실험결과를 종합하면 다음과 같다.

- 1) 굳지않은 콘크리트의 특성으로 W/B별 PP섬유 혼입률 증가에 따른 유동성은 다소 저하하였고, 공기량은 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.
- 2) 경화 콘크리트의 특성으로 W/B별 PP섬유 혼입률 증가에 따른 압축강도는 다소 증가하였고, 메탈라스 황구속에 의한 압축강도는 메탈라스 두께가 두꺼울수록 황구속력이 증가하여 크게 나타났다.
- 3) 내화시험 후 PP섬유 혼입률 변화에 따른 폭열특성으로 PP섬유를 혼입하지 않은 경우는 모두 폭열하였고, PP섬유를 0.05% 이상 혼입한 경우는 폭열이 방지되어 폭열방지효과가 우수한 것으로 나타났다. 또한, 메탈라스로 황구속한 경우는 어느 정도 폭열방지효과를 감지할 수 있었는데, 메탈라스 두께가 두꺼울수록 폭열방지능력이 보다 양호한 것으로 나타났다.
- 4) PP섬유 혼입 및 메탈라스 황구속에 의한 내화시험 후 잔존 압축강도율은 PP섬유 혼입률이 증가할수록, 메탈라스 두께가 두꺼울수록 크게 향상되게 나타났다.

이상을 종합하면 화재시 고성능 콘크리트의 폭열방지에 있어 메탈라스로 황구속한 경우는 어느 정도 폭열방지효과가 있는 것으로 나타났고, PP섬유를 혼입한 경우는 폭열방지효과가 매우 우수함을 확인할 수 있었다. 또한, PP섬유 혼입 및 메탈라스 황구속을 병행한 경우 내화시험 후 잔존 압축강도율은 PP섬유 혼입률이 증가할수록, 메탈라스 두께가 두꺼울수록 크게 향상되게 나타났다.

참고문헌

1. 한천구 ; 비폭열성 콘크리트, 콘크리트 학회지, 제 10권 6호, pp. 5~10. 1998. 12.
2. 한천구, 양성환, 이병열, 황인성, 골재종류 및 폴리프로필렌 섬유 혼입률 변화에 따른 고성능 콘크리트의 폭열 특성에 관한 연구, 콘크리트학회논문집, 제11권 5호, pp. 69~78, 1999. 10.
3. 한천구, 양성환, 이병열, 황인성, 혼화재 종류 및 폴리프로필렌 섬유의 혼입률 변화에 따른 고성능 콘크리트의 폭열 특성, 구조물진단학회지, 제4권 제1호, pp. 85~92, 2000. 1.
4. 한천구, 양성환, 이병열, 황인성, W/C 및 폴리프로필렌 섬유의 혼입률 변화에 따른 콘크리트의 고온시 성장, 대한건축학회논문집, 제16권 10호, pp. 81~88, 2000. 10.