

화재시 횡구속재 변화에 따른 고성능 콘크리트의 폭열방지성능에 관한 기초적 연구

A Fundamental Study on the Performance of Spalling Resistance of High Performance Concrete with Material of Lateral Confinement Subjected to Fire

○ 배 정 렬* 황 인 성** 홍 상 희*** 한 민 철**** 한 천 구*****
Pei, Zheng-Lie Hwang, Yin-Seong Hong, Sang-Hee Han, Min-Cheol Han, Cheon-Goo

Abstract

This paper presents the results of fire resistance properties of high performance concrete varying with fiber kinds and the size of metal lath in order to verify the validities of fiber on the spalling resistance by fire. Metal lath, glass fiber and carbon fiber are used to confine the concrete. According to test results, plain concrete without lateral confinement and confined concrete with glass fiber and carbon fiber show entire failure after exposed to fire, while confined concrete with metal lath take place in the form of slight surface spalling by fire, which has favorable spalling resistance of concrete. As for the effect of the size of metal lath, when the size of metal lath is more than 1.2mm of thickness, the residual strength of concrete exposed to fire maintains more than 80% of its original strength. However, glass fiber and carbon fiber does not perform desirable spalling resistance by fire due to loss of lateral confinement of fiber exposed to fire caused by melting of fiber and reducing bond strength between concrete and fiber.

키 워 드 : 고성능 콘크리트, 횡구속, 폭열방지, 메탈라스, 유리섬유, 탄소섬유

Keywords : High Performance Concrete, Lateral Confinement, Spalling Resistance Metal Lath, Glass Fiber, Carbon Fiber

1. 서론

최근 건축물이 고층화, 대형화되어짐에 따라 고성능 콘크리트의 사용이 증가하고 있는데, 이러한 고성능 콘크리트는 보통콘크리트에 비하여 유동성, 압축강도 및 내구성이 우수한 장점을 가지고 있는 반면, 부재의 취성적인 파괴 및 화재시 발생하는 폭열현상 등이 새로운 문제점으로 지적되고 있다.¹⁾

폭열이란, 화재시 갑작스런 고온에 의해 콘크리트 구조물의 부재 표면이 심한 폭음과 함께 박리 및 탈락하는 현상을 말한다. 이러한 폭열방지의 방안으로는, 콘크리트의 내화피복과 내화도료를 적용하여 온도상승을 억제하는 방법, 폴리프로필렌섬유 등 내열성이 작은 섬유를 혼입하여 빠르게 내부수분을 배출하는 방법 및 횡구속재료를 이용하여 콘크리트의 비산을 억제하는 방법 등을 들 수 있는데, 이중 온도상승의 억제방법이나 내부수분의 배출에 관한 연구는 일부 진행되고 있지만 횡구속재료를 이용한 폭열방지에 관한 연구는 거의 진행된 바 없는 상황이다.

그러므로, 본 연구에서는 고성능 콘크리트의 화재시 폭열방지를 목적으로 유리섬유, 탄소섬유 및 메탈라스 등 횡구속재료의 변화에 따른 강도특성 및 화재를 상정한 내

화시험 후의 폭열방지성능을 검토하므로써, 향후 고성능 콘크리트의 폭열방지에 한 참고자료로 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 배합사항은 표 2와 같다. 즉, 실험요인으로 W/B는 플라이애시를 20% 치환한 30, 40%의 2수준에 대하여 횡구속을 하지 않은 플레인과 횡구속재로 유리섬유, 탄소섬유 및 메탈라스로서, 메탈라스는 눈금크기와 두께별 규격에 따라 총 6배치를 실험계획하였다. 이때, 목표 유동성은 고유동 콘크리트 범위인 60 ± 5 cm, 목표 공기량은 $4.5 \pm 1.5\%$ 를 만족하도록 배합설계 하였다.

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 골재로서 잔골재는 충북 청원군 부강산 강모래, 굵은골재는 경기도 퇴촌산 20mm 부순 굵은골재를 사용하였다. 혼화제로 플라이애시는 분급 정제된 보령 화력산을 사용하였고, 혼화제로 고성능감수제는 국내산 J사의 폴리칼본산계, AE제는 나프탈린계를 사용하였는데 각 재료의 물리적 성질은 표 3~6과 같다. 횡구속재로 유리섬유, 탄소섬유 및 메탈라스는 국내산으로 각

* 정희원, 청주대 대학원, 석사과정

** 정희원, 청주대 대학원, 박사과정

*** 정희원, 청주대 산업과학연구소, 연구원

**** 정희원, 중부대 건설공학부 강의전임교수, 공학박사

***** 정희원, 청주대 건축공학부 교수, 공학박사

표 1. 실험계획

배합사항	실험요인		실험수준	
		W/B(%)	2	30, 40
	플라이애시 치환 (%)	1	20	
	목표 슬럼프플로우(cm)	1	60±5	
	목표 공기량(%)	1	4.5±1.5	
실험사항	형구속재료	4	플레인 ·유리섬유 ·탄소섬유 ·메탈라스 (M1, M2, M3, M4)*	
	굳지않은 콘크리트	4	슬럼프 ·슬럼프플로우, ·공기량 ·단위용적중량	
	경화 콘크리트	5	압축강도 ·내화시험, ·잔존압축강도 ·중량변화율 ·중성화시험	

* M1~M4는 표의 규격을 참조.

재료의 물리적 성질은 표 7과 같고, 메탈라스 종류별 눈금기와 두께는 표 8과 같다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬믹서를 사용하였다. 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402, 슬럼프플로우는 슬럼프 측정이 끝난 후 최대직경과 이에 직교하는 직경의 평균치로 하였으며, 공기량 및 단위용적중량은 KS F 2421 및 KS F 2409에 의거 실시하였다. 경화 콘크리트의 압축강도는 KS F 2405에 의거 실시하였고, 내화시험은 한국 건설기술연구원의 바닥용 내화시험 가열로 내에 각 공시체를 수직으로 배치한 후, KS F 2257에서 규정하는 표준가열곡선으로 1시간 가열을 실시하는 것으로 계획하였으나, 공시체의 폭열에 의한 가열로의 이상발생으로 40분만 가열하였다(그림 1). 내화시험후 폭열여부는 육안으로 관찰하여 조사하였고, 중량감소율은 내화시험 전후의 중량을 측정하여 구하였다.

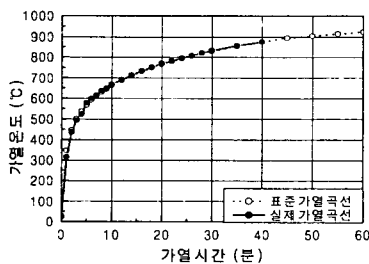


그림 1. 표준가열곡선과 실제가열곡선

표 2. 배합사항

W/B (%)	단위수량 (kg/m ³)	S/a (%)	SP/C (%)	AE/C (%)	용적배합 (ℓ/m ³)			
					C	S	G	Fa
30	175	48	1.50	0.0125	148	278	301	53
40	175	51	1.05	0.0050	111	321	309	39

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	382

표 4. 골재의 물리적 성질

골재종류	비중	조립률 (%)	단위용적중량(kg/m ³)	입형판정 실적률(%)	0.08mm체 통과량(%)
잔골재	2.57	2.7	1.83	1.470	1.8
굵은골재	2.63	6.9	1.20	1.526	0.3

표 5. 플라이애시의 물리적 성질

비중	분말도 (cm ² /g)	강열감량 (%)	압축강도비 (%)	SiO ₂ (%)	습분 (%)	단위수량 비 (%)
2.22	3,850	4.2	92	67.5	0.2	100

표 6. 혼화제 물리적 성질

구분	주성분	형태	색상	비중 (20°C)
고성능감수제	폴리칼본산계	액체	연황색	1.055
AE제	나프탈린계	액체	암갈색	1.170

표 7. 형구속재의 물리적 성질

형구속재	인장강도 (kgf/cm ²)	인장탄성계수 (×10 ⁶ kgf/cm ²)	밀도 (g/cm ³)
유리섬유	4,390	-	7.85
탄소섬유	34,800	86	2.53
메탈라스	38,000	245	1.80

표 8. 메탈라스 규격

종류	SW (mm)	LW (mm)	T (mm)
M1	15	30	0.4
M2	6.6	13.3	0.6
M3	15	30	1.2
M4	24	48	1.6

표 9. 굳지않은 콘크리트의 특성

구분 W/B(%)	슬럼프 (cm)	슬럼프 플로우(cm)	공기량 (%)	단위용적 중량(kg/m ³)
30	27	63.8	4.3	2336
40	25.9	58.8	5.4	2280

표 10. W/B별 횡구속재 변화에 따른 압축강도

구분 W/B(%)	플레인	유리 섬유	탄소 섬유	메탈라스			
				M1	M2	M3	M4
30	585	623	631	620	628	631	636
40	384	398	391	390	393	397	400

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

표 9는 W/B 변화에 따른 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량 및 단위용적중량을 나타낸 것이다.

W/B별 슬럼프플로우는 목표 유동성인 60±5cm를 만족하였고, 공기량도 목표공기량을 만족하였다. 이때, 단위용적중량은 공기량과 반대경향으로 나타났다.

3.2 경화콘크리트의 특성

표 10은 W/B별 유리섬유, 탄소섬유 및 메탈라스의 규격변화에 따른 재령 28일의 압축강도를 나타낸 것이다.

먼저, 재령 28일 압축강도는 W/B 30%의 경우 600 kgf/cm² 이상, W/B 40%의 경우 400kgf/cm² 이상의 고강도로 나타났다. 또한, 유리섬유 탄소섬유 및 메탈라스 규격변화에 따른 압축강도는 유리섬유보다 탄소섬유일 경우가 높게 나타났고, 메탈라스의 경우는 두께가 증가할수록 횡구속력 증대에 기인하여 압축강도가 다소 증가하는 것으로 나타났다.

3.3 폭열특성

표 11은 화재를 상징한 내화시험 후 공시체의 폭열여부를 조사하여 나타낸 것이고, 사진 1은 내화시험후 공시체의 폭열성상을 나타낸 것이다.

표 11. 내화시험 후 공시체 폭열여부

횡구속재	W/B (%)						
	30			40			
플레인	×	×	×	×	×	×	×
유리섬유	△	×	×	×	×	×	×
탄소섬유	×	×	△	×	×	×	×
메탈라스	M1	△	△	×	×	×	×
	M2	△	×	△	△	△	△
	M3	△	△	△	△	△	△
	M4	△	△	△	○	△	△

× : 파괴폭열, △ : 박리폭열, ○ : 비폭열

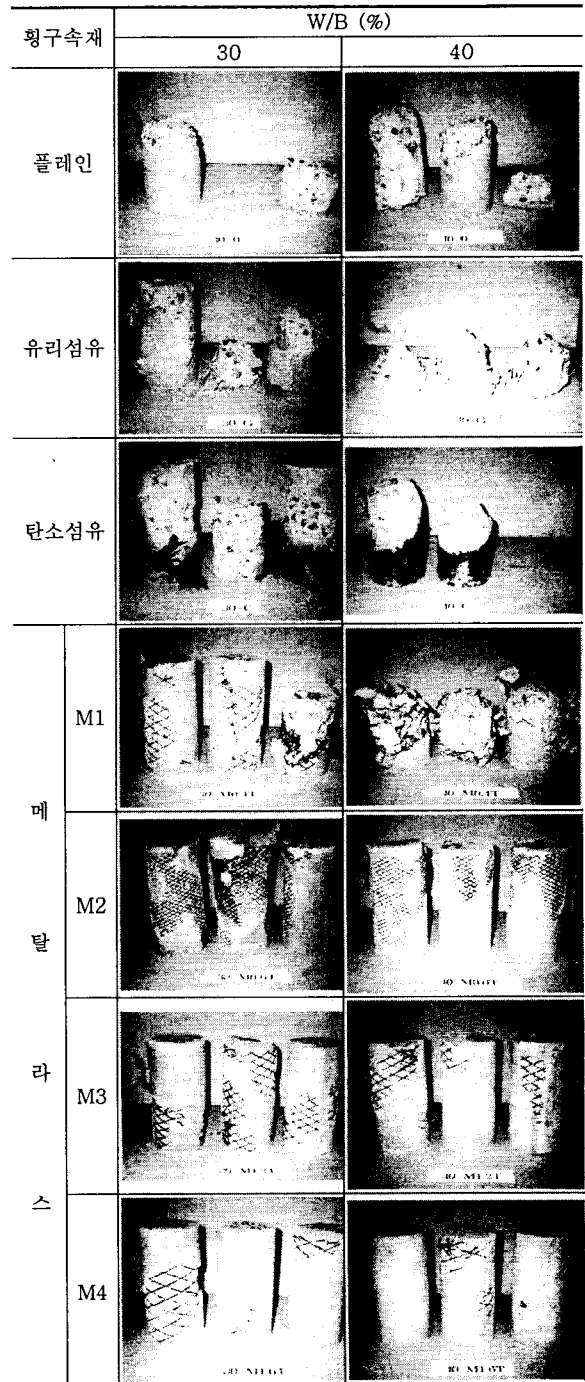


사진 3. 내화시험후 공시체의 파괴형태

먼저, W/B별 횡구속하지 않은 플레인의 경우는 모두 형체를 알아볼 수 없을 정도로 심한 파괴폭열을 일으켰고, 유리섬유 및 탄소섬유로 횡구속한 경우는 플레인과 마찬가지로 전부 심한 파괴폭열이 일어났는데, 이는 온도가 높아짐에 따라 고온에 견디지 못하고 콘크리트와의 부착력 저하로 폭열에 의해 섬유가 찢어지거나 벗겨져 구속력을 상실하는 것으로 폭열방지에 큰 효과가 없는 것으로 나타났다. 반면에 메탈라스로 횡구속한 경우는 W/B 40%의 M1을 제외하고 대부분 박리폭열로서 형체를 유지하고 있어, 메탈라스 횡구속에 의한 폭열방지성능

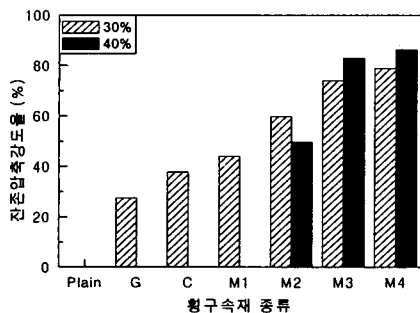


그림 2. W/B별 횡구속재 변화에 따른 잔존압축강도율

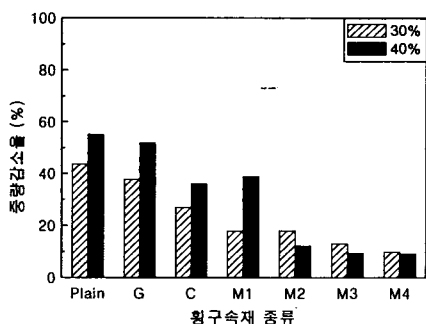


그림 3. W/B별 횡구속재 변화에 따른 중량감소율

을 확인 할 수 있었다. 또한, 메탈라스의 규격변화에 따른 폭열특성으로 메탈라스 M1에서 W/B 30%인 경우에는 1개의 파괴폭열, 2개의 박리폭열, 40%인 경우에는 3개의 파괴폭열을 일으켰고, M2는 W/B 30%에서 1개만 파괴폭열을 일으켰고, 나머지는 박리폭열을 일으켰으며, M3 및 M4는 대부분 박리폭열을 일으켰다. 이는 메탈라스 두께가 얇은 경우 콘크리트의 내부 수증기압에 의한 폭열을 구속하지 못하고 대부분 파괴폭열이 유발된 것으로 사료되며, M3, M4의 경우는 메탈라스의 구속력이 화재시 콘크리트 내부의 수증기압 보다 크기 때문에 폭열이 어느정도 방지된 것으로 판단된다.

그림 2는 내화시험 후 W/B별 유리섬유, 탄소섬유 및 메탈라스 규격변화에 따른 잔존압축강도율을 나타낸 것이다.

먼저, 잔존압축강도율은 플레인, 유리섬유 및 탄소섬유로 횡구속한 경우 거의 대부분 폭열을 일으켜 압축강도 측정이 불가능하였고, 메탈라스로 횡구속한 경우는 메탈라스 두께가 증가할수록 공시체의 횡구속력 증가에 의한 폭열방지효과로 잔존압축강도가 증가하는 것으로 나타났는데, 메탈라스 M3 및 M4의 경우는 가열전과 비교하여 80% 전후로 높은 잔존압축강도율을 나타내었다.

그림 3은 내화시험 후, W/B별 유리섬유, 탄소섬유 및 메탈라스 규격변화에 따른 중량변화율을 나타낸 것이다.

먼저, 섬유로 횡구속하지 않은 플레인과 유리섬유 및 탄소섬유의 경우는 형체를 찾아볼 수 없을 정도의 심한

파괴폭열로 인하여 중량감소율이 45~55%로 크게 나타난 반면, 메탈라스로 횡구속한 경우는 대부분 박리폭열로서 메탈라스의 두께가 증가할수록 중량감소율이 적게 나타났다.

4. 결론

본 연구는 화재시 횡구속재료의 변화에 따른 고성능 콘크리트의 폭열방지성능에 관한 기초적 연구로서 압축강도 및 화재를 상정한 내화시험 후 폭열특성에 관한 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 경화콘크리트의 특성으로 압축강도는 유리섬유, 탄소섬유 및 메탈라스로 횡구속 했을 경우 약간 증가하는 것으로 나타났다. 횡구속재별 압축강도는 유리섬유, 탄소섬유로 횡구속한 경우 메탈라스 M4 (두께 1.6mm)의 압축강도와 비슷한 것으로 나타났고, 또한 메탈라스의 규격변화에서는 두께가 증가할수록 메탈라스의 횡구속력 증대로 다소 증가하는 경향이 나타났다.
- 2) 내화시험 후 폭열특성으로, 횡구속하지 않은 플레인의 경우 모두 심한 파괴폭열을 일으켰고, 유리섬유, 탄소섬유로 횡구속한 경우는 섬유가 고온에 녹거나 혹은 부착력 저하 등에 기인된 횡구속력의 상실로 거의 대부분 심한 파괴폭열을 유발하여 폭열방지의 효과는 크지 않은 것으로 분석된다. 그러나, 메탈라스로 횡구속한 경우에는 메탈라스 두께가 두꺼울수록 폭열방지효과가 우수한 것으로 나타났다.
- 3) 화재시험후 잔존압축강도율로서, 플레인, 유리섬유 및 탄소섬유로 횡구속한 경우는 심한 파괴폭열이 일어나 압축강도의 측정이 불가능하였으나, 메탈라스의 규격변화에 따른 잔존압축강도는 메탈라스의 두께가 증가할수록 횡구속에 의한 폭열방지효과에 기인하여 증가하였고, 특히 메탈라스 M3, M4는 80% 전후의 높은 잔존강도율을 나타내었다.

이상을 종합하면, 유리섬유 및 탄소섬유의 횡구속에 의한 폭열방지 효과는 없는 것으로 나타났으나, M3 이상의 메탈라스로 횡구속된 고성능 콘크리트는 화재시 폭열방지 성능이 우수함을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- 1) 한천구 ; 비폭열성 콘크리트, 콘크리트 학회지, 제 10권 6호, pp. 5~10, 1998. 12
- 2) 山崎 唐行, 西田 郎 ; 耐爆裂性コンクリート, 콘크리트工学, Vol. 36, No.1, pp. 44~47, 1998. 1
- 3) 池尾陽作 ; 高強度コンクリートの耐火性能(爆裂)に関する研究, 콘크리트工学, Vol. 37, No.8, pp. 53~57, 1999. 8
- 4) 西田 郎, 森田 武, 山崎 唐行 ; 高強度コンクリート部材の耐火性に関する研究, 日本建築學會大會學術講演梗概集, pp. 229~236, 1996. 9
- 5) 高 治遠, 本間 札人 ; 高強度コンクリートの爆裂性状に関する研究, 日本建築學會大會學術講演梗概集, pp. 1393~1394, 1992. 8