

합성섬유 혼입 프리믹스시멘트 결합재를 사용한 고강도 콘크리트의 내화특성

Properties of Fire Resistance of High Strength Concrete Using Premixed-Cement Mixed with Synthetic Fiber

○ 황인성*
Hwang, Yin-Seong

김성수**
Kim, Sung-Su

전용수***
Jeon, Young-Su

박창수****
Park, Chang-Soo

한천구*****
Han, Cheon-Goo

ABSTRACT

This study investigated spalling prevention and fire resistance properties of the high strength concrete using pre-mixed cement containing fiber to prepare the method for the effective throwing of hybrid fiber. For result of a fire test, almost specimens were protected from fire except 15% of W/C. Totally, the pre-mixed cement containing fiber was favorable compared with passive mixing method for the spalling prevention. It is more effective to prevent spalling caused by fine diversion of fiber even in high strength concrete because it contained many corporate materials. Moreover, the temperature history of the side steel bar on the column test with pre-mixed cement containing fiber did not over 538°C which is the average for the standard of fire resistance performance.

요약

본 연구에서는 폭발방지용 합성섬유의 효과적인 투입방안 마련을 목적으로, 섬유혼입 프리믹스시멘트 결합재를 사용한 고강도 콘크리트의 폭발방지 및 내화특성을 검토하였다. 내화시험 결과, 원주형 공시체의 폭발은 W/C 15%의 수동투입에서 일부 박리 또는 파괴폭렬이 발생한 것을 제외하고 대부분 방지되었고, 전체적으로 섬유혼입 프리믹스시멘트는 폭발방지 성능이 섬유 수동투입과 비교하여 동등 이상으로 우수하였으며, 결합재량이 많아 점성이 큰 고강도 콘크리트일수록 양호한 섬유의 분산성으로 폭발방지에 더욱 효과적인 것으로 나타났다. 또한, 섬유혼입 프리믹스시멘트 결합재를 사용한 기둥부재의 온도이력은 폭발이 방지되어 철근이 노출되지 않으면 최외곽 철근의 온도가 내화성능기준의 평균온도 538°C를 넘지 않는 것으로 나타나, 고강도 콘크리트의 내화기준을 만족하였다.

* 정회원, 아세아시멘트(주) 기술본부 연구개발팀 선임연구원, 공학박사

** 정회원, 아세아시멘트(주) 기술본부 연구개발팀 팀장

*** 정회원, (주)삼표 레미콘사업본부 품질팀장

**** 정회원, (주)삼표 레미콘사업본부 생산담당 이사

***** 정회원, 청주대 건축공학부 교수, 공학박사

1. 서론

최근의 건축 구조물은 초고층화와 함께 고강도 콘크리트의 사용량이 증가함에 따라 화재시 폭발방지 및 내화대책에 대한 관심이 높아지고 있다.

이러한 고강도 콘크리트의 폭발방지 및 내화대책으로는 화재시 직접적인 고온을 차단하는 방법과 내열성이 작은 합성섬유 등을 혼입하여 내부 수증기압을 유출시키는 방법, 강제 등으로 횡구속하여 폭발을 억제하는 방법 등이 알려지고 있는데, 이 중 가장 경제적이고 간편한 방법은 폴리프로필렌 섬유(이하 PP섬유)와 같은 합성섬유를 일정량 혼입해 주므로써 폭발을 방지하는 것으로 보고되고 있다.

그러나, 섬유 혼입에 의한 고강도 콘크리트의 폭발방지 및 내화대책은 대부분 실험실 조건에 의한 결과이고, 실무조건에서는 폭발방지용 섬유를 혼입하는 경우 인력에 의한 수동투입으로 섬유의 분산성과 적용성의 문제점이 제기되고 있어 고강도 콘크리트의 폭발방지를 위한 섬유의 효율적인 투입방법과 분산방안이 필요하나 이에 대한 검토는 미흡한 실정이다.

그러므로, 본 연구에서는 고강도 콘크리트의 폭발방지를 위한 섬유의 효과적인 투입방안 마련을 위한 목적으로, 폭발방지용 합성섬유 혼입 프리믹스시멘트 결합재를 사용한 고강도 콘크리트의 내화특성을 검토하므로써, 실무조건을 고려한 고강도 콘크리트의 효과적인 폭발방지 및 내화대책 방안을 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다.

먼저, 배합사항으로 W/B는 15, 25, 35%의 3수준에 대하여 시멘트결합재와 섬유의 혼입률에 따라 기존방식으로 수동투입하는 플레인 5수준과 시멘트결합재 100 중량%에 대하여 PP섬유를 0.15%(A), 0.23%(B), 0.30%(C)로 프리믹스 한 5수준의 총 10배치에 대하여 실험계획 하였다. 이때, W/B 별 플레인에 대하여 목표 슬럼프플로우 및 공기량을 만족하는 배합을 결정한 후 프리믹스 타입을 동일하게 적용하였다. 굳지않은 콘크리트 및 경화 콘크리트의 실험사항은 표 1과 같고, 배합사항은 표 2와 같다.

표 1. 실험계획

W/B (%)	목표 슬럼프 플로우 (mm)	목표 공기량 (%)	시멘트 결합재	PP섬유 혼입률	실험사항	
					굳지않은 콘크리트	경화 콘크리트
15	600±100	3.0±1	플레인 ¹⁾ PMix ²⁾	0.17(B) 0.22(C)	· 슬럼프 플로우 · 공기량	· 압축강도 (1, 3, 7, 28일) · 내부온도이력
25				0.07(A) 0.10(B)		
35				0.07(B)		

- 1) 시멘트결합재 및 PP섬유를 기존 섬유투입 방식으로 배합결정
- 2) 섬유와 OPC:BS:SF=7:2:1로 프리믹스하여 플레인과 동일하게 적용

표 2. 콘크리트의 배합표

구분	W/B (%)	PP섬유 혼입률 (%/vol)	S/a (%)	SP제 (%)	단위질량 (kg/m ³)					
					W	결합재			S	G
						C	BS	SF		
플레인	15	0.17(B)	39	2.7	160	747	213	107	464	736
PMix		0.22(C)				1,067				
플레인	25	0.07(A)	45	1.6	160	448	128	64	702	871
PMix		0.10(B)				640				
플레인	35	0.07(B)	47	1.5	160	320	91	46	814	918
PMix						457				

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 A사, 고로슬래그미분말은 G사, 실리카폼은 E사의 분말타입을 사용하였고, 잔골재는 부순모래, 굵은골재는 20mm 굵은골재를 사용하였으며, 고성능감수제는 D사의 폴리칼본산계, PP섬유는 S사의 19mm 단섬유를 사용하였다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 굳지않은 콘크리트의 슬럼프플로우는 KS F 2594 규정에 의거 슬럼프 측정

이 끝난 후 최대직경과 이에 직교하는 직경의 평균치로 하였으며, 공기량은 KS F 2421 규정에 따라 실시하였다. 경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 KS F 2405에 의거 실시하였고, 내화시험은 건설기술연구원의 보 및 바닥용 가열로 내에 원주형 공시체와 기둥부재(40×40×60cm)를 수직으로 배치한 후 KS F 2257-1에서 규정한 표준가열곡선으로 3시간 가열을 실시하였다. 이때, 기둥부재는 피복두께를 50mm로 하여 철근을 배근하였고, 최외곽 철근에 열전대를 매설하여 내부온도이력을 측정하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

그림 2는 섬유 수동투입 및 섬유혼입 프리믹스시멘트 결합재의 사용에 따른 W/B별 슬럼프플로우 및 공기량을 나타낸 것이다.

W/B별 섬유와 시멘트결합재를 수동 투입한 것과 섬유혼입 프리믹스시멘트 결합재를 사용한 경우의 슬럼프플로우는 수동투입과 비교하여 섬유혼입 프리믹스시멘트 결합재를 사용한 경우 유동성이 우수한 것으로 나타났고, 공기량은 섬유혼입 프리믹스시멘트 결합재를 사용한 것이 다소 크게 나타났다. 이는 섬유혼입 프리믹스시멘트의 경우 섬유 및 결합재의 분산성이 우수하여 유동성이 증가한 반면 공기량이 다소 증가하는 것으로 나타나 배합설계상 SP제 및 AE제의 사용량을 줄이는 것이 바람직 할 것으로 사료된다.

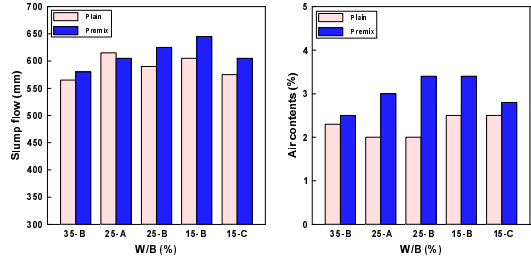


그림 2. W/B에 따른 슬럼프플로우 및 공기량

3.2 경화 콘크리트의 특성

그림 3은 섬유 수동투입 및 섬유혼입 프리믹스시멘트 결합재의 사용에 따른 W/B별 압축강도를 나타낸 것이다.

W/B별 섬유의 혼입률에 따른 압축강도는 섬유 혼입률의 증가에 따라 다소 차이는 있으나, 큰 차이는 아닌 것으로 사료되고, 수동투입 및 섬유혼입 프리믹스시멘트를 사용한 경우의 압축강도는 W/B 35%의 경우 수동투입, 25%의 경우는 섬유혼입 프리믹스시멘트, 15%의 경우는 다소 증감의 차이는 있으나 큰 차이가 아닌 것으로 사료된다. 따라서, 합섬섬유 혼입 프리믹스시멘트 결합재는 전체적으로 고강도 콘크리트의 역학적 특성인 압축강도에 큰 영향이 없는 것으로 판단된다.

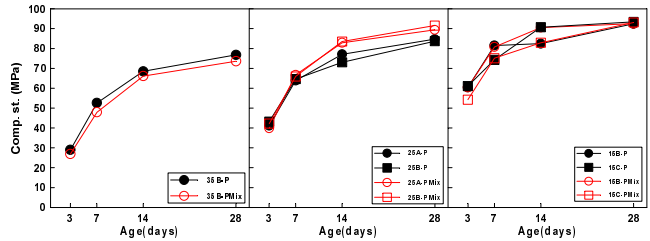


그림 3. W/B별 재령경과에 따른 압축강도

3.3 내화 특성

사진 1은 원주형공시체의 3시간 내화시험 후 폭발모습을 나타낸 것이다.

내화시험 결과, W/B 35%는 일부 박리폭렬이 발생하였는데, 수동투입과 섬유혼입 프리믹스시멘트의 경우 폭발발생에

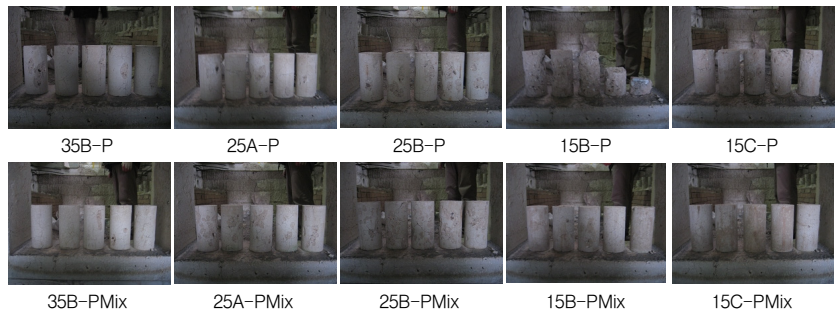


사진 1. 원주형 공시체의 폭발모습

있어서 큰 차이는 없으나, 섬유혼입 프리믹스시멘트가 다소 적게 발생하였다. 또한, W/B 25%의 경우는 대부분 박리폭렬이 발생하였는데, 이는 압축강도 90MPa 전후의 고강도로 섬유의 혼입량이 다소 적은 것과 급격한 고온 가열에 의한 온도쇼크에 의해 공시체의 표면 박리폭렬이 발생한 것으로 사료된다.

한편, W/B 15%는 섬유 수동투입의 경우 일부 박리 또는 파괴폭렬이 발생하였는데, 이는 시멘트 결합재량이 많고 또한 점성이 증가하여 섬유의 분산성 및 균질성이 저하된 것에 기인된 것으로 판단되고, 섬유혼입 프리믹스시멘트는 결합재량 및 점성과 상관없이 섬유의 분산성 및 균질성이 우수하여 폭렬이 발생하지 않는 것으로 나타났다. 따라서, 섬유혼입 프리믹스시멘트는 결합재량이 많아 점성이 큰 고강도 콘크리트일수록 양호한 섬유의 분산성으로 폭렬방지에 더욱 효과적인 것으로 사료된다.

그림 4는 기동부재 최외곽 철근의 온도이력을 나타낸 것으로, 내화시험 후 기동부재는 W/B 35%만 박리폭렬을 보였을 뿐 기타의 경우 모두 철근이 노출되는 파괴폭렬이 발생하였는데, 이는 내화시험 전 날 기동부재의 거푸집을 제거하는 등 밀봉상태로 양생하여 부재내부의 함수율이 상당히 높은 것으로 판단되며, 이로 인해 폭렬이 용이하게 발생한 것으로 판단된다. 또한, 기동부재의 내부온도이력은 대부분 파괴폭렬로 철근이 노출되어 내화성능 기준온도를 상회한 반면, W/B 35%의 경우는 일부 박리폭렬이 발생하였으나, 철근이 노출되지 않았으므로 주근의 온도가 내화성능 기준의 평균온도 538℃를 넘지 않는 것으로 나타났다. 따라서, 고강도 콘크리트의 내화대책은 주근의 피복두께를 50mm 정도로 유지하고, 섬유혼입에 의해 피복두께의 폭렬을 방지한다면 내화성능기준의 온도이력을 만족할 수 있을 것으로 판단된다.

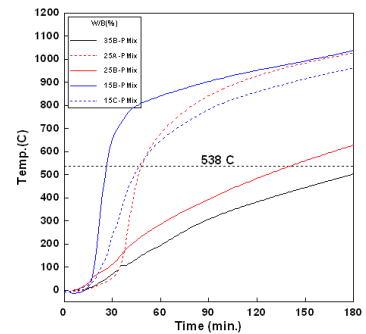


그림 4. 기동부재 최외곽 철근온도

3. 결 론

본 연구는 폭렬방지용 합성섬유의 효과적인 투입방안 마련을 목적으로, 섬유혼입 프리믹스시멘트 결합재를 사용한 고강도 콘크리트의 폭렬방지 및 내화특성을 검토한 것으로, 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 섬유혼입 프리믹스시멘트 결합재는 섬유 및 결합재의 분산성이 우수하여 유동성 및 공기량이 다소 증가하는 것으로 나타나, 배합설계상 SP제 및 AE제의 사용량을 줄일 수 있는 것으로 분석된다.
- 2) W/B별 섬유의 수동투입 및 섬유혼입 프리믹스시멘트를 사용한 경우의 압축강도는 다소 증감의 차이는 있으나 전체적으로 큰 차이가 아닌 것으로 판단된다.
- 3) 내화시험 결과, 원주형 공시체의 폭렬은 W/C 15%의 수동투입에서 일부 박리 또는 파괴폭렬이 발생한 것을 제외하고 대부분 방지되었는데, 전체적으로는 섬유혼입 프리믹스시멘트의 폭렬방지 성능이 섬유 수동투입과 비교하여 동등 이상으로 우수하였으며, 결합재량이 많아 점성이 큰 고강도 콘크리트일수록 양호한 섬유의 분산성으로 폭렬방지에 더욱 효과적인 것으로 나타났다.
- 4) 기동부재의 내화시험 후 폭렬성상은 대부분 파괴폭렬이 발생하여 내화성능기준온도를 크게 상회하였으나, W/B 35%의 경우는 일부 박리폭렬이 발생하였어도 철근이 노출되지 않아 최외곽 철근의 온도가 내화성능기준의 평균온도 538℃를 넘지 않는 것으로 나타나, 고강도 콘크리트의 내화기준을 만족하였다.

참고문헌

1. 한천구, 황인성, 정덕우 ; PP섬유 혼입 및 횡구속에 의한 고성능 콘크리트의 폭열 방지 성능, 대한건축학회 구조계 논문집, 제19권 1호, pp. 61~68, 2003. 1