

Fiber-Cocktail 섬유를 혼입한 100 MPa 고강도 콘크리트의 단면크기에 따른 폭렬 및 내화성능에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on The Fire Resistance Performance and Spalling of 100 MPa HSC Column Mixed Fiber-Cocktail

김형준 · 김흥열*[†] · 박경훈* · 여인환* · 권기혁

Hyung-Jun Kim · Heung-Yonl Kim*[†] · Kyung-Hoon Park* ·
In-Hwan Yeo* · Ki-Hyuck Kwon

서울시립대학교, *한국건설기술연구원
(2011. 8. 5. 접수/2011. 9. 29. 수정/2011. 10. 7. 채택)

요 약

최근 고강도 콘크리트의 내화성능이 사회적 이슈로 부각되고 국토해양부에서 고강도 콘크리트의 내화성능 관리기준이 고시되면서 국내에서도 고강도 콘크리트의 내화성능을 향상시키기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 유기질 섬유인 폴리프로필렌 섬유(PP섬유)와 강섬유를 하이브리드한 Fiber Cocktail을 혼입한 고강도 내화콘크리트 개발을 위한 연구를 수행하였다. 100 MPa 고강도 콘크리트의 내화실험을 실시하여 최적단면 조건을 도출하기 위해 철근온도를 분석한 결과, 단면이 커질수록 철근온도는 점차 낮아지는 경향이 나타났으며 600×600 mm, 800×800 mm 단면에서 내화성능을 확보할 수 있는 것으로 나타났으며, 이중 경제성을 고려할 경우 600×600 mm 단면이 최적단면으로 도출되었다. 또한 도출된 600×600 mm 단면에 대해서 철근의 온도를 분석한 결과 PP섬유 1.5 kg/m³와 강섬유 40 kg/m³를 배합비의 실험체가 내화성능이 더 확보되었다.

ABSTRACT

Along the fire resisting capacity of high strength concrete has been brought up as a social issue, and the Ministry of Land also had notified the control standard about it, the researches for improving the fire resisting capacity have been considerably activated these days. In this study, we performed a research for developing a high strength concrete, contains the fiber cocktail, which is a hybrid of polypropylene fiber as organic matter, and steel fiber. As we analyzed the temperature of the steel part during the fire test with 100 MPa high strength concrete, there was a tendency that the lower temperature comes out with the larger cross section, and the 600×600 mm, 800×800 mm cross sectioned can secure the fire resistance capability, so the 600×600 mm is deducted as the optimal size if we consider the double economic feasibility. As well, among them the best qualified 600×600 mm shapes, the fiber cocktail hybrid of 1.5 kg/m³ PP fiber and 40 kg/m³ of steel, comes out the best ratio.

Key words : High strength concrete, Polypropylene fiber, Steel fiber, Spalling, Section size

1. 서 론

건축물이 초고층화 되어감에 따라 콘크리트는 고강도화 되어가고 있다. 이에 따라 대형화재 발생 시 초고층 건축물에 적용되는 고강도 콘크리트의 내화성능

또한 사회적 이슈로 부각되고 국토해양부에서 고강도 콘크리트의 내화성능 관리기준¹⁾이 고시되면서 국내에서도 고강도 콘크리트의 내화성능을 향상시키기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 고강도 콘크리트의 경우 보통 콘크리트보다 낮은 투수성 및 고밀도 특성으로 인해 고온 노출 시, 콘크리트 내·외부의 온도차에 의한 열응력과 콘크리트 내부의 공극압력이 급격

[†]E-mail: hykim@kict.re.kr

히 증가한다.²⁾ 이로 인해 폭렬이 발생함으로 고강도 콘크리트를 적용한 초고층 건축물의 구조적 내화안전성 확보를 위해서는 폭렬 및 내화성능 평가에 대한 면밀한 검증 및 내화성능 확보기술에 대한 연구가 반드시 선행되어야 한다.

현재 국내에서의 고강도 콘크리트 내화성능을 향상시키기 위한 연구는 유기질섬유를 혼입한 비 폭렬 고강도 콘크리트의 개발이 주를 이루고 있다. 이러한 내화성능 확보기술은 비재하 상태에서의 철근온도(주철근 평균 538 °C, 최대 649 °C 이하)를 기준으로 평가되고 있는 현지점에서는 내화성능을 확보할 수 있으나, 재하가열시험³⁾을 통한 구조물의 최대 축방향 수축량이나 최대 변형량을 기준으로 화재거동을 평가할 경우에도 동일한 내화성능을 담보하기 어려운 실정이다.

그러므로 비재하와 재하상태에서의 내화성능을 검증할 수 있는 연구⁴⁾가 필요하며, 동일한 조건에서의 성능평가를 수행하여 관련기준의 타당성을 검증할 필요가 있다. 이를 위해 본 연구에서는 비 재하조건에서의 고강도 콘크리트의 내화성능 확보기술을 우선적으로 검증하고, 이를 토대로 향후 재하조건에서의 내화성능 확보에 관한 연구를 단계적으로 추진할 계획이다.

2. 기술동향 및 연구범위

현재 초고층 및 공법의 기술향상으로, 고강도 콘크리트의 내화성능에 관한 관심이 고조되어 이에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이에 본 연구에서는 비재하 조건에서의 고강도 콘크리트 내화성능 확보방안에 대한 연구를 수행하고자 한다.

2.1 고강도 콘크리트 내화관련 기술동향

콘크리트 재료 및 부재 실험을 통하여 폭렬 저감제의 혼입 유·무에 따른 콘크리트 보의 폭렬효과를 고찰한 연구가 수행되었다.⁵⁾ 60 MPa 콘크리트 보 부재의 경우 Fiber Cocktail 혼입에 따른 폭렬 및 표면 탈락이 저감되었으며, 내화성능이 철근콘크리트 내화성능은 180분을 확보한 것으로 연구결과가 도출되었다.

고강도 철근 콘크리트 기둥의 경우, 콘크리트 폭렬 저감을 위해 폭렬저감제(PP - 0.5 kg/m³, 강섬유 0.5 %/VOL)을 혼입하여 50 MPa와 60 MPa의 고강도 기둥의 폭렬을 평균 20 mm~40 mm까지 제어할 수 있으며, 폭렬저감제를 혼입한 콘크리트의 경우 무 혼입콘크리트에 비해 표준화재조건에서 약 25 %~55 % 정도의 기둥 변형량이 제어되어 내화성능이 향상되었다는 결론을 도출하였다.⁶⁾

2.2 연구범위

기존의 섬유보강은 일반적으로 인장강도가 높고 신장률이 큰 섬유를 콘크리트 내에 불규칙하게 분포시켜서 모재와 섬유간의 부착력에 의해 균열 증대를 억제하고, 취성적인 콘크리트 특성을 연성적으로 전환시키는 것이 주목적이었다. 그러나 최근에는 섬유가 콘크리트의 폭렬발생 전에 용해되어 수증기·공기·가스 등을 콘크리트 내부로 배출될 수 있는 미세 통로를 형성하여 고온에서 콘크리트 내부의 열응력 및 공극압을 효과적으로 배출시키는 데 효과적인 것^{7,8)}으로 알려지며, 콘크리트의 내화성능을 향상시키는 내화혼입제로 사용되고 있다.

PP섬유는 160 °C의 온도에서 용융되어 콘크리트 내부에 미세한 통로를 형성하여 고강도 콘크리트 부재 내의 수증기압 및 공극압을 효과적으로 배출하여 고강도 콘크리트의 폭렬발생을 억제시키는 데 효과적^{9,10)}이며, 강섬유는 PP섬유가 용융된 후의 고강도 콘크리트 부재의 균열 발생을 억제하며 외부로부터 침투하는 열기를 차단¹¹⁾할 수 있다.

이에 본 연구에서는 비재하 조건에서의 유기질 섬유인 폴리프로필렌 섬유(PP섬유)와 강섬유를 하이브리드한 Fiber Cocktail를 혼입한 100 MPa급 고강도 콘크리트의 내화성능 확보를 위한 연구를 수행하였다. 이를 토대로 100 MPa급의 고강도 콘크리트의 경제성을 고려한 최적 단면크기 및 Fiber-Cocktail의 내화성능이 우수한 혼입비율을 도출하여 내화성능 향상방안을 확보하고자 내화실험을 수행하였다.

3. 실험변수 및 실험조건

본 연구에서는 하이브리드 섬유를 혼입한 100 MPa급 고강도 콘크리트의 내화성능 확보를 위한 최적단면 및 최적배합 조건을 도출하기 위하여 Fiber Cocktail 혼입량과 단면 크기별로 내화실험을 실시하였다.

3.1 실험변수 및 배합설계

최적 내화성능을 확보 할 수 있는 단면크기 조건 도출을 위해 최소 400×400 mm, 최대 800×800 mm의 4가지 변수로 설정하였다. 이러한 단면 크기는 현재 대형 시공사에서 시공중인 고강도 기둥의 단면크기를 고려하였다. 또한 400 mm~600 mm 단면의 경우, 향후 재하실험과의 비교를 할 계획이므로, 고강도 기둥의 특성을 감안하여 실험장비 조건인 1000 Ton 기둥가열로의 최대 하중재하용량을 고려하여 선정하였다.

최적배합 조건 도출을 위해 Fiber Cocktail 혼입량은

Table 1. The Design of Mixing Ratio [100 MPa HSC Column]

w/c (%)	S/a (%)	Mixing Ratio(kg)							PP (kg)	Steel Fiber (kg/)
		W	C	S	G	SF	FA	SP		
21.0	41.5	168	680	572	834	120	95	7.5	0	0
									1.5	30
									1.5	40

Table 2. Test Plan and Specimen Size

Specimen	Fiber Cocktail (kg/m ³)		Size (B × D × L, mm)
	PP	Steel Fiber	
S1	0	0	400 × 400 × 1500
S2	1.5	30	
S3	1.5	40	
S4	0	0	500 × 500 × 1500
S5	1.5	30	
S6	1.5	40	
S7	0	0	600 × 600 × 1500
S8	1.5	30	
S9	1.5	40	
S10	0	0	800 × 800 × 1500
S11	1.5	30	
S12	1.5	40	
Concrete		Strength: 100 MPa	
Reinforcement		rebar: 8-D 22, Strip: D10@300	

최적배합 도출을 위해 선행연구¹²⁾의 결과를 바탕으로 PP섬유 적정 혼입량인 1.5 kg/m³과 강섬유의 혼입량을 30 kg/m³과 40 kg/m³로 설정하여 배합설계를 실시하였다. Table 1은 하이브리드 섬유를 혼입한 100 MPa급 고강도 콘크리트의 배합표로서, 섬유혼입에 의한 영향을 분석하기 위하여 실험체를 제작하였다.

Table 2는 하이브리드 섬유를 혼입한 100 MPa급 고강도 콘크리트 기둥 실험체 실험변수 및 계획으로, 동일한 100 MPa 고강도 콘크리트 강도로 콘크리트 피복 두께는 40 mm로 선정하여 내화실험을 수행하였다.

3.2 실험체 제작 상세

하이브리드 섬유를 혼입한 100 MPa급 고강도 콘크리트의 내화실험을 위한 기둥 실험체는 단면크기 최소 400 mm × 400 mm~최대 800 mm × 800 mm로 4개의 단면으로 제작하고, 높이는 1500 mm로 제작하였다. 철근은

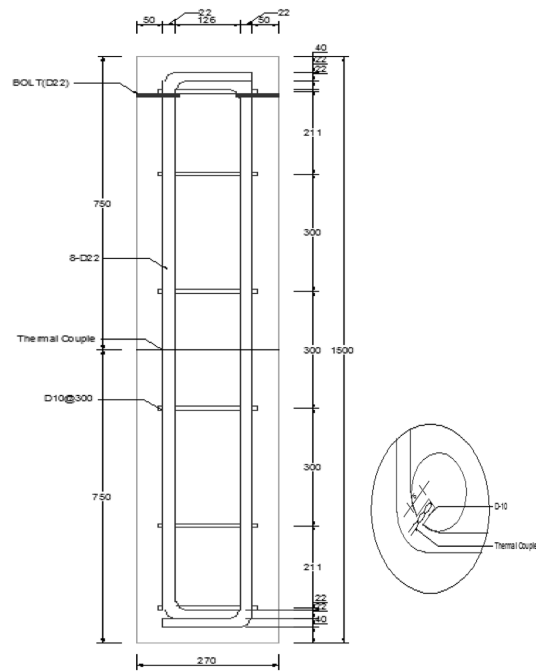


Figure 1. An experimental study on the fire resistance performance and spalling of 100 MPa HSC column mixed fiber-cocktail.

SS400을 원재료로 하여 주근 D22로 4개를 배근하였으며, 늑근 D10으로 300 mm 간격으로 Figure 1과 같이 배근하였다. 열전대는 K-Type 1 mm 직경을 사용하여, 고강도 콘크리트 내화성능 관리기준에 의거하여 설치하였으며, 기둥의 중앙부 주근에 총 4개소를 설치하였다.

4. 연구범위 및 실험계획

하이브리드 섬유를 혼입한 100 MPa급 고강도 콘크리트의 내화성능 확보를 위한 최적단면 및 최적배합 조건을 도출하기 위하여 Fiber Cocktail을 혼합한 100 MPa급 고강도 콘크리트에 대하여 비재하 조건에서 3시간 내화실험을 수행하였다. 내화실험은 ISO 834 화재곡선에 따라 부재를 가열하여 철근의 온도를 측정하여 분석하였다.

4.1 최적 단면크기 선정

일반적으로 철근콘크리트의 단면이 커질수록 콘크리트의 체적의 증가로 인한 열용량이 증가하므로 구조체의 내화성능이 향상이 된다. 그러나 경제성 측면에서는 내화성능 확보를 위해 콘크리트 단면을 향상시키는 것은 한계가 있기 때문에 최적의 단면크기 조건을 산

정하는 것이 중요하다. 그러므로 본 연구에서는 동일한 조건에서 100 MPa 하이브리드 섬유를 혼입한 고강도 콘크리트 기둥의 최대의 내화성능을 갖는 단면조건을 도출하고자 한다.

4.1.1 섬유 무 혼입조건

실험체 S1(400 mm × 400 mm)의 경우 실험 시작후 약 5분만에 폭발이 발생하면서 4면의 철근의 온도가 동일하게 상승함으로써 평균온도인 538 °C가 초과하여 43분의 내화성능이 나타났다. 단면크기가 약 100 mm 이 더 커진 S4(500 mm × 500 mm)의 경우, 평균온도가 아닌 한계온도(649 °C)가 먼저 초과하게 되어 그보다 약 8분 정도 향상된 51분의 내화성능이 도출되었다. S7의 경우, 평균온도로는 약 62분 정도의 내화성능을 확보할 수 있으나, 콘크리트 폭발로 인해 철근 4개소 중 1개의 온도가 급격하게 상승하여 40분 정도의 내화성능이 나타났다. 가장 큰 단면이 S10의 경우에도 역시 평균온도가 아닌 한계온도에 의한 내화성능 미확보로 60분으로 Figure 2와 같다.

무 혼입 조건에서는 400 mm 이하의 단면에서는 열용량이 낮으므로 전반적인 수증기에 의한 폭발이 발생하였으며, 500 mm 이상의 단면크기에서는 수증기 및 양생조건에 따라 한쪽에서의 폭발이 발생하게 되어 평균온도보다 한계온도가 급격하게 상승함으로써 내화성능이 저하되는 것으로 나타났다.

4.1.2 섬유 혼입[PP 1.5, 강섬유 30]

실험체 S2(400 mm × 400 mm)의 경우 PP에 의한 수증기 압력저하 및 강섬유에 의한 균열진행제어 효과로

인해 무 혼입에 비해 2배 이상의 내화성능이 확보된 110분의 내화성능을 확보한 것으로 나타났다. 단면크기 500 mm인 S5 실험체의 경우, 단면크기가 1.5배 상승하였으나 내화성능은 거의 유사한 116분으로 나타났다. 또한 S2 실험체 대비 단면크기가 2.25배인 실험체 S8의 경우도, 내화성능은 15분 상승한 125분으로 나타났다. 단면크기가 4배 상승한 실험체 S11의 경우에는 섬유효과와 단면크기 상승에 의한 영향력이 나타난 176분으로 Figure 3과 같이 나타났다.

그러므로 PP섬유 1.5 kg/m³와 강섬유 30 kg/m³을 혼입할 경우에는, 단면 영향력이 증대되는 단면크기인 800 mm × 800 mm의 기둥 단면 크기조건이 내화성능 확보에 가장 유리한 조건인 것으로 판단된다.

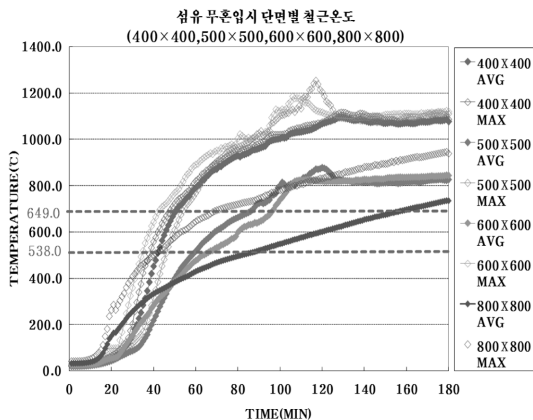


Figure 2. The rebar temperature depend on section size [S1, S4, S7, S10].

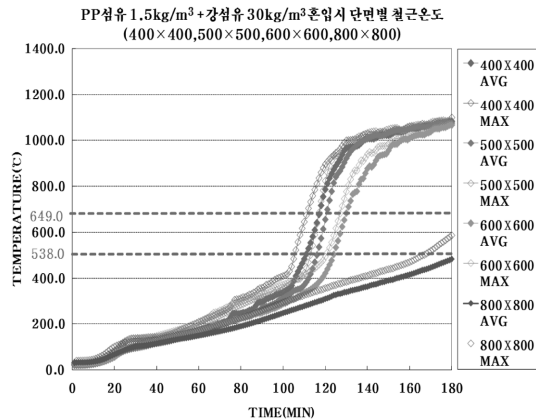


Figure 3. The rebar temperature depend on section size [S2, S5, S8, S11].

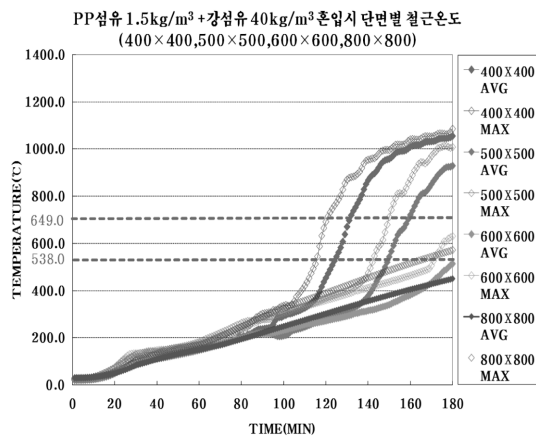


Figure 4. The rebar temperature depend on section size [S3, S6, S9, S12].

Table 3. The Fire Resistance Performance of HSC Column

단면 크기	단면 비율	콘크리트 기둥 내화성능(분)					
		S-1		S-2		S-3	
400 mm	1	평균	한계	평균	한계	평균	한계
		43	44	112	110	124	118
		S-4		S-5		S-6	
500 mm	1.56	평균	한계	평균	한계	평균	한계
		61	51	117	116	149	148
		S-7		S-8		S-9	
600 mm	2.25	평균	한계	평균	한계	평균	한계
		71	40	125	126	180	180
		S-10		S-11		S-12	
800 mm	4	평균	한계	평균	한계	평균	한계
		95	60	180	180	180	180

4.1.3 섬유 혼입[PP 1.5, 강섬유 40]

동일한 PP와 화재로 인한 균열제어성능 향상을 위하여 강섬유를 10 kg/m³ 더 혼입한 조건에서의 기둥 부재의 내화성능을 평가하였다. 400 mm 단면조건인 S3의 경우 118분의 내화성능이 나타났으며, 단면이 1.5배 상승한 S6의 경우 148분의 내화성능이 나타났다. 단면크기가 2.25배 상승한 S9의 경우 법정요구시간인 180분을 확보하였으며, 단면크기가 4배 상승한 S12의 경우도 역시 180분 이상으로 Figure 4와 같이 나타났다.

그러므로 강섬유 10 kg/m³을 추가로 혼입할 경우 단면크기 변화에 따른 내화성능 확보에의 영향성이 커지며, 600 mm 단면크기에서부터 안정적인 내화성능을 확보할 수 있다.

4.1.4 단면크기 변화에 따른 내화성능분석

콘크리트의 단면크기 변화에 따른 내화성능의 영향성 분석을 위해, 고강도 콘크리트 내화성능 판단기준에 의거하여 기둥에 매립된 철근의 온도를 통해 내화성능을 Table 3과 같이 정리하였다.

무혼입 조건에서는 일부분의 폭렬로 인해 한계온도가 초과하는 현상이 발생하였으며, 섬유 혼입을 한 경우에는 단면크기가 확보될 경우 내화성능도 상승하는 안정적인 경향성을 나타내었다.

4.2 최적 배합조건 도출

하이브리드 섬유 혼입 비율이 높아질수록 내화성

Table 4. The Spalling Depth Depend on Fiber Mixing Ratio

섬유혼입 [kg/m ³]	400단면	500단면	600단면	800단면
무혼입	S-1	S-4	S-7	S-10
	147	153	158	200
pp 1.5 강 30	S-2	S-5	S-8	S-11
	7	20	14	71
pp 1.5 강 40	S-3	S-6	S-9	S-12
	0	16	22	51

능을 확보할 수 있으나, 시공 유동성 및 경제성이 낮아지므로 최적의 배합조건을 도출하여야 하며 이를 위해 고강도 콘크리트 기둥의 내화실험을 수행하였다.

4.2.1 섬유혼입 비율에 따른 폭렬 영향성 분석

Table 4와 같이 고강도 콘크리트에서는 섬유혼입에 따라 급격하게 폭렬깊이가 줄어든다. 강 섬유를 약 10 kg/m³ 정도 추가할 경우에는 전반적으로 폭렬깊이가 줄어들 수 있는 것으로 나타나는데, 이는 강섬유의 인장력이 역할을 하는 것으로 판단된다. 또한 섬유에 의한 폭렬저감 효과는 단면이 적을수록 그 효율이 높아지는 경향을 나타내었다.

100 MPa 고강도 콘크리트의 경우, 높은 밀도로 인해 폭렬이 증가하게 되는데 기존의 연구에서는 40 MPa 콘크리트의 경우 약 10 mm 정도의 폭렬이 발생¹³⁾한데 비해 본 연구에서는 100 MPa 강도에서 147 mm의 폭렬이 발생하여 고강도 콘크리트의 폭렬위험성을 확인하였다. 또한 단면크기가 커질수록 폭렬의 깊이는 증가하는데, 이는 고강도 콘크리트의 경우 단면크기 상승에 따른 열용량으로 초반의 온도가 제어 될 수 있으나 수분함유량이 높기 때문에 폭렬은 더 많이 발생하는 것으로 판단된다. Figure 5에서는 단면크기와 섬유 혼입율에 따른 고강도 콘크리트 기둥의 폭렬현상을 나타내고 있다. 섬유 무 혼입에 경우는 거의 모든 단면에서 철근이 노출되었다.

4.2.2 섬유혼입에 의한 영향성분석[400단면]

400 mm 단면의 고강도 콘크리트의 경우, Figure 6과 같이 섬유혼입에 따라 피복 40 mm를 확보한 철근온도가 급격하게 낮아져서 철근콘크리트 기둥의 내화성능이 향상되는 것으로 나타난다. 무 혼입에 비해 섬유혼입을 할 경우, 내화성능은 최대 3배까지 상승하는 것으로 분석된다.




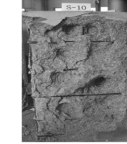
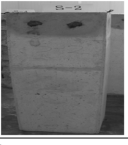
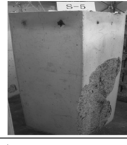
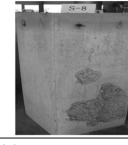
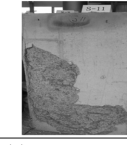


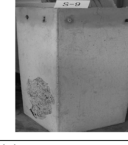
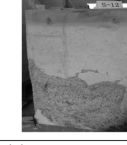
구분	400단면	500단면	600단면	800단면
무혼입				
	(a) 400mm×400mm [S-1]	(b) 500mm×500mm [S-4]	(c) 600mm×600mm [S-7]	(d) 800mm×800mm [S-10]
PP1.5kg/m ³ 강섬유30kg/m ³				
	(a) 400mm×400mm [S-2]	(b) 500mm×500mm [S-5]	(c) 600mm×600mm [S-8]	(d) 800mm×800mm [S-11]
PP섬유1.5kg/m ³ 강섬유40kg/m ³				
	(a) 400mm×400mm [S-3]	(b) 500mm×500mm [S-6]	(c) 600mm×600mm [S-9]	(d) 800mm×800mm [S-12]

Figure 5. The fire test result of HSC column.

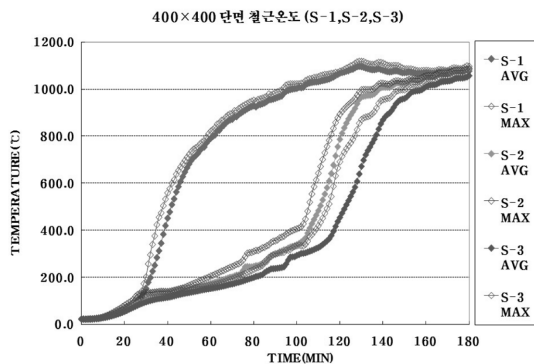


Figure 6. The rebar temperature depend on fiber mixing ratio [400 mm × 400 mm].

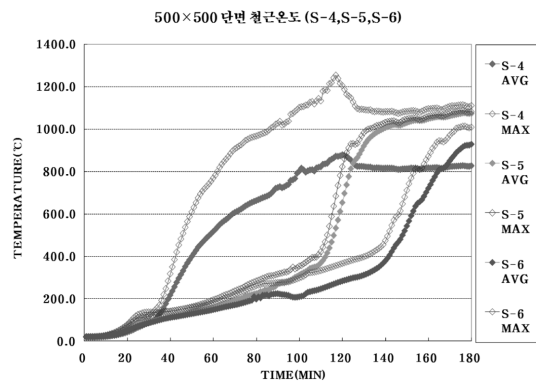


Figure 7. The rebar temperature depend on fiber mixing ratio [500 mm × 500 mm].

4.2.3 섬유혼입에 의한 영향성분석[500단면]

500 mm 단면의 고강도 콘크리트의 경우, Figure 7과 같이 섬유혼입에 따라 철근온도가 급격하게 낮아져서 내화성능이 향상되는 것 400 단면의 기둥과 유사한 경향을 나타낸다. 무 혼입의 경우에는 400 단면의 기둥 대비 단면크기가 1.5배로 열용량의 커짐으로 인해 평균온도가 보다 안정적으로 나타나는 것으로 분석된다. 강 섬유혼입에 따른 영향성은 400 단면대비 보다 크게 발생하므로 섬유혼입으로 인한 내화성능을 향상하기 위해서는 500 단면 이상으로 하는 것이 좋을 것으로

판단된다.

4.2.4 섬유혼입에 의한 영향성분석[600단면]

600 mm 단면의 고강도 콘크리트의 경우, 500 단면의 섬유혼입에 따른 경향성과 유사하게 Figure 8과 같이 나타났다. 무 혼입의 경우, 일부분의 폭렬로 인한 코너부 1부분에서만 한계온도가 급격하게 상승하고 단면이 커짐으로 해서 평균온도가 상대적으로 안정적이게 나타났다. 강섬유를 30 kg/m³ 혼입한 경우엔 약 120분 경에 섬유혼입효과가 낮아져서 급격

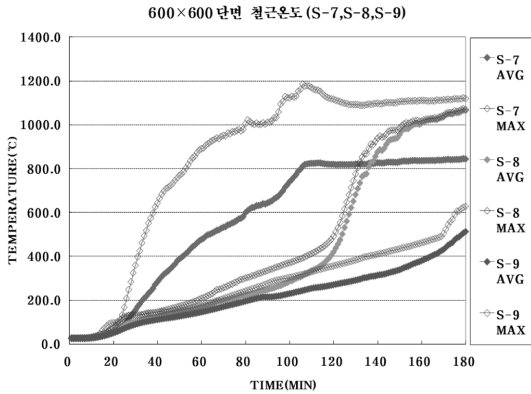


Figure 8. The rebar temperature depend on fiber mixing ratio [600 mm × 600 mm].

한 온도상승이 발생하게 되나, 강섬유 40 kg/m³을 혼입한 실험체의 경우 강섬유의 인장력인 균열제어 효과로 인해 약 180분 정도의 내화성능이 확보되어 상대적으로 안정적인 철근의 온도제어가 되는 것으로 판단된다.

4.2.5 섬유혼입에 의한 영향성분석[800단면]

800 단면의 100 MPa 고강도 콘크리트의 경우, 섬유를 혼입하지 않은 경우 콘크리트 체적이 크기 때문에 평균온도는 안정적으로 나타나지만 초기 부분 폭렬로 인해 일부분의 한계온도가 초과되는 현상이 발생하였다.

섬유혼입을 한 경우에는 Figure 9와 같이 모두 법정 내화 요구시간인 180분을 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 이는 초기에 발생하는 콘크리트 폭렬을 최대한

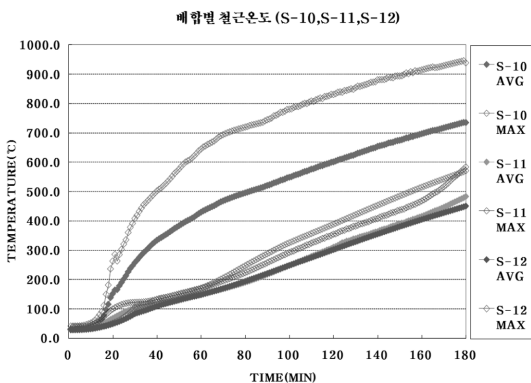


Figure 9. The rebar temperature depend on fiber mixing ratio [800 mm × 800 mm].

지연시킴으로써 철근의 온도상승을 안정적으로 제어하였기 때문에 분석되며, 강 섬유를 30 kg/m³만 혼입한 경우에도 180분의 내화성능을 확보하는 것으로 나타났다. 경제성을 고려할 경우, 800 mm 단면에서는 pp 1.5 kg/m³과 강섬유 30 kg/m³을 혼입하는 것이 내화성능이 우수한 배합비로 판단된다.

5. 결 론

100 MPa 강도의 고강도 콘크리트 기둥의 내화성능을 단면크기와 섬유혼입비율에 따라 비교한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 단면크기가 커질수록 콘크리트의 체적이 증가하여 기둥부재의 온도상승이 제어되기 때문에 내화성능이 향상된다.

2) 단면크기가 커질수록 폭렬의 깊이는 증가한다. 이는 고강도 콘크리트의 경우 단면크기 상승에 따른 열용량이 커짐에 따라 내화성능이 향상되나, 반면에 수분함유량이 높기 때문에 폭렬이 더 많이 발생하기 때문으로 판단된다.

3) 섬유를 혼입하지 않을 경우, 코너부의 부분 폭렬로 인해 일부분의 철근의 급격한 온도상승으로 평균온도가 안정적임에도 불구하고 한계온도 초과로 내화성능이 낮아진다. 그러나 섬유를 혼입할 경우, 평균온도와 한계온도가 내화성능이 유사한 시간대에 초과하게 되어 부재가 갖는 내화성능을 최대한 발휘 할 수 있다.

4) 최적단면설계조건을 판단하기 위해 철근온도를 분석한 결과, 단면이 커질수록 철근온도는 점차 낮아지는 경향이 나타났으며 도출된 최적섬유 비율인 PP섬유 1.5 kg/m³와 강섬유 40 kg/m³를 하이브리드한 섬유를 혼입한 경우 600 mm × 600 mm, 800 mm × 800 mm 단면에서 내화성능을 확보할 수 있다. 따라서 경제성을 고려할 경우 600 × 600 mm 단면이 최적단면으로 도출되었다.

5) PP섬유 1.5 kg/m³와 강섬유 40 kg/m³를 배합한 Fiber Cocktail이 최적배합비로 나타났으며 600 mm × 600 mm 단면보다 클 경우 3시간 이상의 내화성능을 확보할 수 있는 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 지식경제부의 지원하에 한국건설기술연구원이 수행하고 있는 국가 R&D인 “(11주요)구조물 성능기반 화재거동해석 및 설계기술연구” 과제의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 국토해양부, “고강도 콘크리트 기둥·보의 내화성능 관리기준”, 국토해양부 고시 제 2008-334호.
2. 김형준, 한상훈, 최승관, “화재시 콘크리트요소 폭렬 영향성 고찰”, 화재소방학회 논문지, Vol.21, No.2 (2007).
3. 한국표준협회, “건축 구조부재의 내화시험 방법 - 일반요구사항(KS F 2257-1)”, 한국산업규격, pp.3-13 (1999).
4. W.A. Morris, “Guidelines for the Construction of Fire-resisting Structural Elements”, Building Research Establishment Report(1998).
5. 조경숙, 김홍열, 김형준, “표준화재 재하조건하에서 Fiber Cocktail을 혼입한 고강도 콘크리트 보의 폭렬 특성 및 내화성능에 관한 연구”, 한국화재소방학회, Vol.23, No.6, pp.126-134(2009).
6. 김홍열, 김형준, 전현규, 염광수, “표준화재 재하조건 Fiber Cocktail을 혼입한 고강도 콘크리트 기둥의 전 열특성 및 화재거동에 관한 연구”, 한국콘크리트 학회, Vol.22, No.1, pp.29-39(2009).
7. K.D. Hertz, “Limits of Spalling of Fire-exposed Concrete”, Fire Safety Journal, pp.103-116(2003).
8. Y. Anderberg, “Spalling Phenomena of HPC and OC”, NIST Workshop on Fire Performance of High Strength Concrete in Gaithersburg(1997).
9. U.M. Jumpannen, “Effect of Strength on Fire Behaviour of Concrete”, Nordic Concrete Research (1989).
10. L.T. Phan, “High-strength Concrete at High Temperature: An Overview”, Proceedings of 6th International Symposium on Utilization of High Strength/High Performance Concrete, Leipzig, Germany, pp.501-518(2002).
11. T. Harada, “Strength, Elasticity and Thermal Properties of Concrete Subjected to Elevated Temperatures”, ACI SP-34, Vol.1, pp.393(1972).
12. 한국건설기술연구원, “(09주요)구조물화재거동해석 및 설계기술연구-3차년도 보고서”, 한국건설기술연구원, pp.40-50(2009).
13. 김홍열, 김형준, 조경숙, 이재승, 권기혁, “터널화재시 콘크리트 라이닝의 폭렬 및 화재손상에 관한 실험적 연구”, 한국화재소방학회, Vol.23, No.3, pp.110-120 (2009).