

와이어로프를 적용한 고강도 철근콘크리트 기둥의 내화공법 및 하중비에 따른 내화성능에 관한 연구

조범연 · 여인환[†] · 김흥열 · 김형준 · 권인규*

한국건설기술연구원 화재안전연구소, *강원대학교 소방방재학부

A Study on the Fire Resistance Performance Concerning Types of Fire Protection Method and Load Ratio of High Strength Concrete Column Using The Wire Rope

Bum-Yean Cho · In-Hwan Yeo[†] · Heung-Youl Kim · Hyung-Jun Kim · In-Kyu Kwon*

Fire Research Center, Korea Institute of Construction Technology

*Dept. of Fire & Disaster Prevention, Kangwon National Univ.

(Received October 18, 2012; Revised December 7, 2012; Accepted December 7, 2012)

요 약

60 MPa급, 100 MPa급 고강도 철근콘크리트 기둥에 대하여 횡구속력 보강공법(와이어로프)과 내화보강공법(Fiber-Cocktail) 적용 유무 및 하중비에 따른 내화성능을 평가하기 위하여 표준화재 재하조건에 내화실험을 실시하였다. 실험결과 60 MPa급 고강도 콘크리트 기둥의 경우 와이어로프를 적용함으로써 화재시 축방향의 연성이 향상되며, 내화성능은 23% 이상 향상되는 것으로 나타났다. 또한 와이어로프를 적용할 경우 하중은 설계하중의 70% 수준이 적정하다고 판단된다. 100 MPa급 고강도 콘크리트 기둥에 와이어로프와 Fiber-Cocktail을 적용할 경우 띠철근만을 적용한 경우보다 내화성능이 4배 이상 향상되는 것으로 나타났으며, 100 MPa급 고강도 콘크리트 기둥에 내화성능을 확보하기 위해서는 하중은 설계하중의 70% 미만으로 설정하는 것이 적정하다고 판단된다.

ABSTRACT

The fire resistance test has been conducted under the standard fire & loading conditions to evaluate fire resistance performance, according to applying to methods of the lateral confinement reinforcement by prestressed Wire Rope and fire resistance reinforcement by Fiber-Cocktail and load ratio for high strength concrete column. The test result, for 60 MPa high-strength concrete column, It was indicated that applying to the wire rope has improved axial ductility in the fire condition, and fire resistance performance has been enhanced by more than 23%. In addition to this, in case of applying the wire rope to 60 MPa high-strength concrete column, load can be judged that about 70% of designed load is appropriate. If the Wire Rope and Fiber-Cocktail is applied to 100 MPa high-strength concrete column, It was shown that the fire resistance performance was enhanced by 4 times as much as applying only hoops.

Keywords : Wire rope, Fire resistance, High strength concrete, Column, Load ratio

1. 서 론

건축물이 고층화 되어 되어감에 콘크리트 역시 고강도화 되어가고 있는 추세이다. 고강도 콘크리트의 경우 일반강도의 콘크리트에 비해 취성이 강해지고, 풍하중 및 지진하중과 같은 횡하중을 수용하는 연성이 떨어지게 된다. 특히 건축구조물에서 기둥부재는 축하중을 수용하는 역할과 함께 횡하중에 저항하는 주요 구조부재이다. 따라서 고강도

콘크리트로 시공된 기둥의 경우 축하중에 대한 저항이 향상되는 장점과 횡하중에 대한 저항이 저하되는 단점을 동시에 가지게 되므로, 고강도 콘크리트 기둥은 강도와 연성을 동시에 확보할 수 있도록 설계되어야 한다. 고강도 철근 콘크리트 기둥의 강도 확보와 동시에 연성을 확보하기 위해서는 띠철근 또는 나선철근과 같은 횡보강근의 양을 증가시키는 것이 일반적 보강공법이다. 하지만 횡보강근량의 증가는 콘크리트 타설시 밀집된 철근에 의해 균질한 품질

[†]Corresponding Author, E-Mail: yeo@kict.re.kr
TEL: +82-31-369-0514, FAX: +82-31-369-0670

의 콘크리트를 확보하기 어려운 시공상의 문제뿐만 아니라 경제적인 면에서도 불리한 요인으로 작용하게 된다.

최근의 연구결과⁽¹⁾에서는 고강도 철근콘크리트 기둥의 연성을 높이기 위하여 띠철근 대신 동일한 체적비의 고강도·고유연성의 와이어로프를 적용하는 대안이 제시되고 있다. 띠철근과 동일한 체적비의 와이어로프를 적용한 고강도 철근콘크리트 기둥의 경우 띠철근을 적용한 경우 보다 높은 연성을 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 이와 같이 와이어로프가 적용된 고강도 콘크리트 기둥을 현장에 적용하기 위해서는 내화성능에 대한 검증이 필수적이며, 고강도 콘크리트가 주로 적용되는 12층 이상의 고층건축물에 적용되기 위해서는 3시간 이상의 내화성능을 확보하여야 한다. 하지만 고강도 콘크리트의 경우 화재와 같은 고온에 노출될 경우 폭발현상에 의하여 피복두께가 감소하게 되고, 이는 철근 온도의 상승으로 이어져 내화성능 확보가 매우 어려운 실정이다^(2,3).

이에 본 연구에서는 60 MPa급 고강도 철근콘크리트 기둥에 대하여 와이어로프에 의한 횡구속력 보강공법 적용 유무 및 하중비에 따른 내화성능을 분석하고, 100 MPa급 고강도 철근콘크리트 기둥에 대하여 폴리프로필렌 섬유(Polypropylene fiber)와 강섬유(Steel fiber)를 혼합한 하이브리드 섬유(Fiber-Cocktail)를 폭발저감재로 첨가하고 와이어로프에 의한 횡구속력 보강공법 적용 유무 및 하중비에 따른 내화성능을 분석하여 고강도 콘크리트 기둥의 횡구속력 보강과 내화보강 공법 적용 유무 및 하중비에 따른 내화성능을 평가하고 한다.

2. 와이어로프 공법특성

본 기술은 고강도·고유연성의 와이어로프를 이용하여 철근콘크리트 부재의 내·외부의 구속압을 높임과 동시에 화재 시 철근콘크리트 부재의 내력저하를 방지하는 내화보강 기술이다. 본 기술의 핵심인 와이어로프 시스템은 와이어로프, 아이볼트, 정착플레이트, 너트로 구성된다. 와이어로프는 정착플레이트를 관통하는 아이볼트에 연결된다. 와이어로프 시스템은 콘크리트 및 주철근을 구속함으로써 화재에 의한 콘크리트의 폭발 및 주철근의 조기좌굴을 방지할 수 있어 기존 부재의 내화보강에 매우 효율적으로 이용될 수 있다. 또한 기존의 철근콘크리트 부재에 외부 부착보강공법에 비해 친환경적이며 장기적인 보강재 탈락의 문제가

없으며, 시공이 간편하여 공사비용을 절감할 수 있다.

3. 실험 개요

3.1 실험인자 및 수준

본 연구에서는 횡구속력 향상을 위한 와이어로프 및 내화성능 향상을 위한 Fiber-Cocktail을 적용한 고강도 콘크리트 기둥에 대하여 하중비에 따른 내화성능을 평가하기 위하여 Table 1과 같은 실험인자와 수준으로 내화실험을 진행하였다. 500×500×3000 mm 크기의 고강도 콘크리트 기둥 부재에 대하여 콘크리트 강도별로 횡구속력 보강 및 내화보강, 하중비를 실험인자로 설정하여 실험을 수행하였다.

3.2 사용재료

3.2.1 콘크리트

콘크리트의 플로우는 Fiber-Cocktail 무혼입 콘크리트의 경우 500 mm 이상, 혼입 콘크리트의 경우 600 mm 이상을 목표로 배합설계를 하였으며 측정결과 모두 만족하였다. Fiber-Cocktail 혼입 콘크리트의 경우 30 mm 길이의 강섬유에 의해 콘크리트 타설 시 워커빌리티가 저하될 가능성을 고려하여 무혼입 콘크리트에 비해 100 mm 높은 플로우를 목표로 배합설계를 실시하였다. 공기량은 60 MPa 및 100 MPa 콘크리트의 목표 공기량을 각각 3.0 %와 1.5 %로 설정하여 측정된 결과 모두 목표 공기량을 만족하였다. 콘크리트 강도는 28일간의 표준양생 후 압축강도를 측정된 결과 설계강도 이상의 압축강도를 확보할 수 있는 것을 확인하였다. 28일 표준양생 기준으로 콘크리트 압축강도는 무혼입 콘크리트가 60 MPa급 고강도 콘크리트의 경우 무혼입 콘크리트가 88.5 MPa로 나타났으며, 100 MPa급 고강도 콘크리트의 경우 무혼입 콘크리트가 104.5 MPa, Fiber-Cocktail 혼입 콘크리트가 112.0 MPa로 나타났다. 강도 및 섬유혼입 유무에 따른 균치않은 고강도

Table 1. Factor of Fire Test

Parameter	Factor
Lateral Tie	Tie bar↔Wire rope
Fire resistance reinforcement	Non↔Fiber-Cocktail
Load ratio	0.7↔0.8 (60 MPa), 0.6↔0.7 (100 MPa)

Table 2. Mix Proportion of High Strength Concrete

Type	W/B (W%)	S/a (V%)	Air (W%)	Unit weight of material (kg/m ³)							Ad. (kg/m ³)	Fiber (kg/m ³)		
				W	C	Slag	F/A	S/F	S	G		P.P	Steel	
60 MPa	Non	26.2	46.0	2.0	165	572	163	82	0	639	759	8.19	0	0
100 MPa	Non	26.2	46.0	2.0	165	572	163	82	0	639	759	8.19	0	0
	Fiber	26.2	46.0	2.0	165	572	163	82	0	639	759	9.45	1.5	40

Table 3. Physical Properties of High Strength Concrete

Type		Flow (mm)		Air content (%)	Strength at 28 days (MPa)
60 MPa	Non	550	550	3.0	88.5
100 MPa	Non	630	640	1.5	104.5
	Fiber	670	690	1.8	112.0

Table 4. Physical Properties of Steel

Lateral Tie		Type	Spacing (mm)
Rebar	Main	HD25	250
	Tie	HD10	200
Wire Rope		Ø6	43

콘크리트 물성은 Table 3과 같다.

3.2.2 강제

실험체 제작 시 사용된 철근은 Table 4와 같이 건축구조물에 일반적으로 사용되고 있는 SS400 강종으로, 주근은 HD25, 띠철근은 HD10을 적용하였다. 띠철근을 대체할 와이어로프의 경우 시공성과 경제성을 고려하여 직경 6 mm의 와이어로프를 사용하여 제작하였다. 와이어로프의 경우 SS400에 비해 항복강도 기준으로 4배, 인장강도 기준으로 3배 이상의 강도를 가지고 있다.

3.2.3 Fiber-Cocktail

폭렬저감제인 Fiber-Cocktail은 폴리프로필렌(Polypropylene) 섬유와 강(Steel) 섬유를 혼합한 하이브리드섬유를 적용하였다. 폴리프로필렌 섬유는 섬유간의 엉킨현상을 방지하기 위하여 길이와 직경(10 mm-5°↔5-3°)이 다른 2가지 타입의 섬유를 3 : 7의 비율로 혼합하여 사용하였다.

3.3 실험체 제작 상세

와이어로프 및 Fiber-Cocktail을 혼입한 60 MPa급 및

Table 5. Composition of Specimen

Specimen		Concrete strength (MPa)	Lateral tie (Tie bar&Wire rope)	
			Volumetric ratio	Spacing (mm)
S-1	Non-0.7	60	0.003	200
S-2	WR*-0.7			43
S-3	WR-0.8			43
S-4	Non-0.6	100		200
S-5	WR+FC**-0.6			43
S-6	WR+FC*-0.7			43

WR* : Wire Rope, FC** : Fiber Cocktail

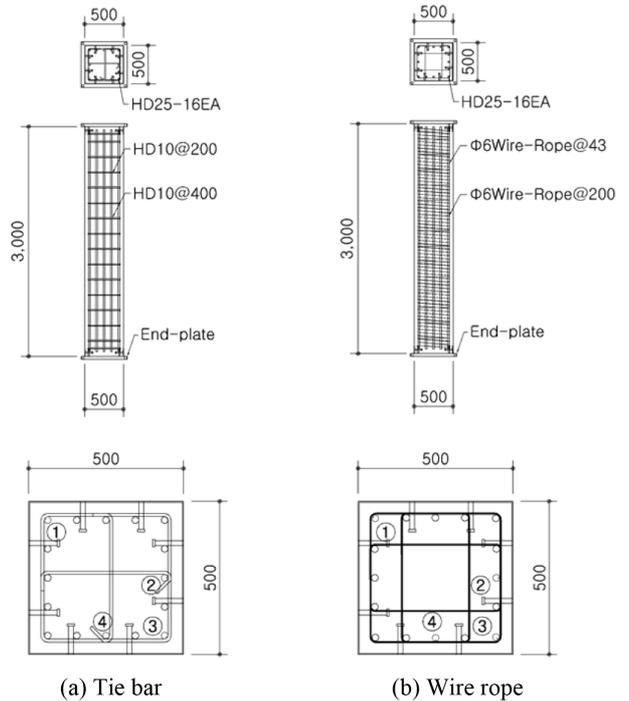


Figure 1. Drawing of specimen.

100 MPa급 고강도 콘크리트의 내화성능 평가를 위하여 Table 5와 같이 구성하였다. 콘크리트 피복두께는 40 mm로 구성하였고 띠철근 및 와이어로프를 적용하였으며, 강재량은 체적비 기준으로 0.003으로 동일하게 구성하여 내화성능을 평가하였다.

기둥 실험체 형상은 Figure 1과 같이 크기 500×500×3000 mm로 제작하였다. 철근은 SS400을 원재료로 하여 주근은 HD25를 16개를 배근하였으며, 띠철근은 HD10을 200 mm 간격으로 배근하였다.

와이어로프를 적용한 실험체는 시공성과 경제성을 고려하여 공칭직경 6 mm를 적용하였다. 또한 와이어로프의 배근간격은 띠철근의 체적비와 와이어로프 체적비가 동일하게 하기 위하여 43 mm로 제작하였다. 열전대는 K-Type 1 mm 직경을 사용하여 고강도 콘크리트 내화성능 관리기준에 의거하여 설치하였으며, 기둥의 중앙부 주근에 총 4개소를 설치하였다.

3.4 실험방법

와이어로프 및 Fiber-Cocktail 혼입 고강도 콘크리트의 표준화재 재하조건에서의 내화실험은 KS F 2257-7 「건축 부재의 내화 시험 방법-기둥의 성능 조건」을 따랐으며, Figure 2와 같이 재하조건에서의 내화실험을 수행하였다. 온도조건은 ISO 834 화재곡선을 적용하였다. 또한 고강도 콘크리트의 폭렬 및 균열에 의한 내부온도변화를 관찰하기 위하여 철근의 온도를 측정하였다. Table 6은 극한강도 설계 조건에서 실험체의 설계하중 및 재하조건이다.

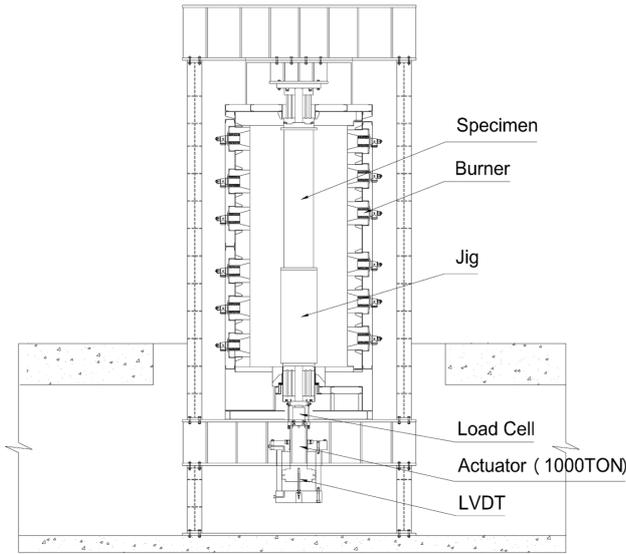


Figure 2. 1000 ton column furnace.

Table 6. Load and Load Ratio for Fire Test

Specimen	Design load (ton)	Test load (ton)	Load ratio
S-1	789	552	0.7
S-2	789	552	0.7
S-3	789	631	0.8
S-4	1229	737	0.6
S-5	1229	737	0.6
S-6	1229	860	0.7

현재 국내에서 고강도 콘크리트의 내화성능은 국토해양 부 고시 「고강도 콘크리트 기둥·보의 내화성능 관리기준」에 의하여 표준화재 비재하조건에서 주철근의 온도(주근 평균 538 °C, 최대 649 °C 이하)를 기준으로 판정한다. 하지만 본 실험의 경우 기둥부재가 실제 건축물에 적용되었을 경우를 가정하여 재하조건에서 내화성능을 평가하였다. 재하조건에서 내화성능의 평가기준은 KS F 2257-1 「건축 부재의 내화 시험 방법-일반 요구 사항」에 따라 축방향 재하 부재의 경우 변형량과 변형률에 의해 판정하며, 변형량(1)과 변형률(2) 2가지 기준을 모두 초과하였을 때 부적합한 것으로 간주한다. 이에 따라 실험체의 높이는 모두 3000 mm로 변형량 기준은 30 mm이고 변형률 기준은 12 mm/min이다.

$$\text{변형량: } C = \frac{h}{100} \text{ mm} \quad (1)$$

$$\text{변형률: } \frac{dC}{dt} = \frac{3h}{1000} \text{ mm/min} \quad (2)$$

여기서,

h: 시험체의 초기 높이(mm)

4. 실험결과

4.1 60 MPa급 고강도 콘크리트

4.1.1 화재거동

60 MPa급 고강도 콘크리트 기둥에 대하여 와이어로프 적용 유무 및 하중비에 따라 내화실험을 실시한 결과 Table 7과 같이 S-1(Non-0.7)은 146분, S-2(WR-0.7)은 180분 이상, S-3(WR-0.8)은 164분의 내화성능을 확보할 수 있는 것으로 나타났다. S-1의 경우 내화성능을 상실한 146분에서 변형량 및 변형률이 각각 -42.6 mm, -38.08 mm/min로 나타났으며, S-2의 경우 내화실험을 종료한 180분에서 변형량 및 변형률이 각각 0.1 mm, -0.05 mm/min로 나타났다. S-3의 경우 내화성능을 상실한 165분에서 변형량 및 변형률이 각각 -34.4 mm, -29.05 mm/min으로 나타났다.

S-1의 경우 실험체의 열팽창으로 인하여 75분경 1.6 mm의 최대팽창이 발생한 후 수축이 시작되었고, S-2의 경우 100분경 3.1 mm의 최대팽창이 발생한 후 수축이 시작되었으며, S-3의 경우 60분경 1.3 mm의 최대팽창이 발생한 후 수축이 시작되었다. 이처럼 60 MPa급 고강도 콘크리트 기둥의 경우 동일하중 조건에서 내화실험을 실시한 결과, 최대팽창량은 S-2(WR-0.7)가 S-1(Non-0.7)에 비해 1.9배 수준으로 나타났고, 내화성능 역시 23% 이상 향상되는 것으로 나타났다. 이는 60 MPa급 고강도 콘크리트 기둥에 와이어로프를 적용함으로써 표준화재 재하조건에서 횡방향 팽창이 억제되고 축방향 연성이 향상되는 것으로 판단된다. 와이어로프 적용조건에서 하중비에 따라 내화실험을 실시한 결과, 내화성능은 S-3(WR-0.8)가 S-2(WR-0.7)에 비해 9% 이상 저하되어, 164분의 내화성능을 확보하는 것으로 나타나, 목표내화성능인 180분을 만족하지 못하였다. 따라서 60 MPa급 고강도 콘크리트 기둥에 와이어로프

Table 7. Fire Resistance Performance by Displacement and Rate of Displacement (60 MPa)

Specimen	Time (min)	Displacement (mm)	Rate of displacement (mm/min)	Fire resistance (min)
S-1 (Non-0.7)	60	1.5	0.03	146
	120	0.7	-0.02	
	147	-42.6	-38.08	
S-2 (WR*0.7)	60	2.3	0.02	180
	120	2.9	-0.02	
	180	0.1	-0.05	
S-3 (WR-0.8)	60	1.3	0.02	164
	120	0.0	-0.06	
	165	-34.4	-29.05	

WR*: Wire Rope.

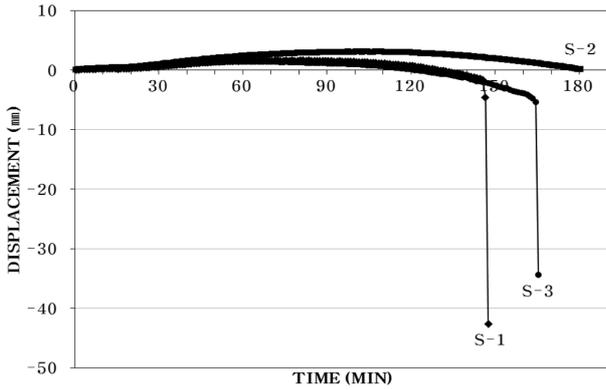


Figure 3. Displacement of HSC column (60 MPa).

를 적용할 경우 구조적 성능 이외에 요구 내화성능을 확보하기 위해서는 구조설계 시 기둥 부재에 전달되는 하중은 설계하중의 70% 수준이 적정하다고 사료된다. 60 MPa급 고강도 콘크리트의 시간에 따른 변형량은 Figure 3과 같다.

4.2.1 전열특성

60 MPa급 고강도 콘크리트 기둥에 대하여 와이어로프 적용 유무 및 하중비에 따른 주철근의 온도를 측정할 결과 Table 8 및 Figure 4와 같이 나타났다. 띠철근 및 와이어로프 적용에 따른 주철근의 온도를 분석한 결과 S-1(Non-0.7)의 경우 내화성능을 상실한 147분에서 평균 및 최고온도는 각각 823°C, 935°C로 나타났다. S-2(WR-0.7)의 경우 S-1이 내화성능을 상실한 147분에서 평균 및 최고온도는 각각 559°C, 662°C로 나타났고, 내화실험을 종료한 180분에서 평균 및 최고온도는 696°C, 795°C로 나타났다. S-1이 내화성능을 상실한 147분에서 S-2는 S-1에 비해 평균온도는 264°C, 최고온도는 273°C가 낮은 것으로 나타

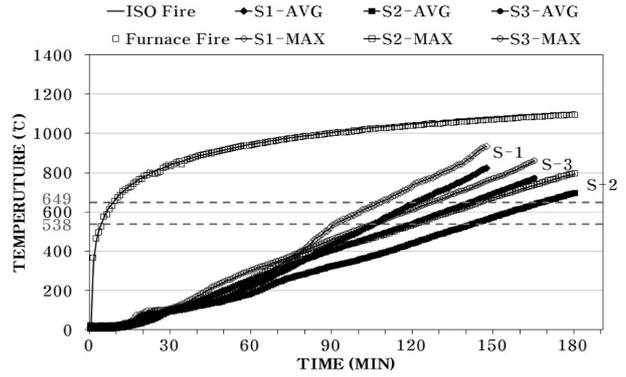


Figure 4. Main rebar temperature of HSC column depend on wire rope and load ratio (60 MPa).

났다. 이는 와이어로프를 적용한 S-2가 띠철근을 적용한 S-1에 비해 고강도·고연성의 와이어로프의 영향으로 열팽창 및 하중재하에 따른 고강도 콘크리트 기둥의 횡방향 팽창이 억제되고, 축방향 연성이 향상되어 고강도 콘크리트의 균열 및 폭렬을 저감시켰기 때문으로 판단된다. 와이어로프 적용조건에서 하중비에 따른 주철근의 온도를 분석한 결과 S-2(WR-0.7)의 경우 S-3(WR-0.8)이 내화성능을 상실한 165분에서 평균 및 최고온도는 각각 636°C, 737°C로 나타났고, 내화실험을 종료한 180분에서 평균 및 최고온도는 696°C, 795°C로 나타났다. S-3의 경우 내화성능을 상실한 165분에서 평균 및 최고온도는 각각 771°C, 861°C로 나타났다. S-3이 내화성능을 상실한 165분에서 S-2는 S-3에 비해 평균온도는 135°C, 최고온도는 124°C가 낮은 것으로 나타났다. 이는 설계하중을 10% 높게 재하함에 따라 고강도 콘크리트 표면에 균열이 증가하기 때문으로 판단된다.

Table 8. Main Rebar Temperature of HSC Column Depend on Wire Rope and Load Ratio (60 MPa)

Specimen	Time (min)	Rebar AVG temp. (°C)	Rebar MAX temp. (°C)
S-1 (Non-0.7)	60	224	245
	120	646	740
	147	823	935
S-2 (WR*-0.7)	60	185	257
	120	440	533
	147	559	662
	165	636	737
	180	696	795
S-3 (WR-0.8)	60	255	303
	120	541	612
	165	771	861

WR*: Wire Rope.

4.2 100 MPa급 고강도 콘크리트

4.2.1 화재거동

100 MPa급 고강도 콘크리트 기둥에 대하여 와이어로프와 Fiber-Cocktail 적용 유무 및 하중비에 따라 내화실험을 실시한 결과 Table 9과 같이 S-4(Non-0.6)은 43분, S-5(WR+FC-0.6)와 S-6(WR+FC-0.7)은 모두 180분 이상의 내화성능을 확보할 수 있는 것으로 나타났다. S-4의 경우 내화성능을 상실한 44분에서 변형량 및 변형률이 각각 -35.6 mm, -30.83 mm/min로 나타났으며, S-5의 경우 내화실험을 종료한 180분에서 변형량 및 변형률이 각각 3.7 mm, -0.03 mm/min로 나타났다. S-6의 경우 내화실험을 종료한 180분에서 변형량 및 변형률이 각각 -4.4 mm, -0.14 mm/min으로 나타났다.

S-4의 경우 실험체의 열팽창으로 인하여 25분경 0.6 mm의 최대팽창이 발생한 후 수축이 시작되었고, S-5의 경우 140분경 4.0 mm의 최대팽창이 발생한 후 수축이 시작되었으며, S-4의 경우 55분경 0.8 mm의 최대팽창이 발생한

Table 9. Fire Resistance Performance by Displacement and Rate of Displacement (100 MPa)

Specimen	Time (min)	Displacement (mm)	Rate of displacement (mm/min)	Fire resistance (min)
S-4 (Non-0.6)	44	-35.6	-30.83	43
	120	-	-	
	180	-	-	
S-5 (WR*+FC** -0.6)	60	2.2	0.03	180
	120	3.8	-0.01	
	180	3.7	-0.03	
S-6 (WR+FC -0.7)	60	0.7	-0.02	180
	120	-0.4	-0.05	
	180	-4.4	-0.14	

WR*: Wire Rope, FC**: Fiber Cocktail.

후 수축이 시작되었다. 이처럼 100 MPa급 고강도 콘크리트 기둥의 경우 최대팽창량은 동일하중 조건에서 내화실험을 실시한 결과, S-5(WR+FC-0.6)가 S-4(Non-0.6)의 6.7 배 수준으로 나타났고, 내화성능은 4.1배 이상 향상되는 것으로 나타났다. 이는 100 MPa급 고강도 콘크리트 기둥에 와이어로프를 적용함으로써 60 MPa급 고강도 콘크리트와 마찬가지로 표준화재 재하조건에서 횡방향 팽창이 억제되고 축방향 연성이 향상되는 것으로 판단된다. 와이어로프와 Fiber-Cocktail 적용조건에서 하중비에 따라 내화실험을 실시한 결과, S-5(WR+FC-0.6)와 S-6(WR+FC-0.7) 모두 180분 이상의 내화성능을 만족하는 것으로 나타났다. 하지만 S-6의 경우 내화실험 종료시점인 180분에서 -4.4 mm의 변형이 발생하였다. 이는 S-1과 S-3이 각각 -4.8 mm, -5.4 mm의 변형이 발생한 이후 급격한 변형이 발생하여 내화성능을 상실한 것과 비교하면 내화성능의 한계점에 도달한 것으로 판단된다. 이에 100 MPa급 고강도 콘크리트 기둥에 와이어로프를 적용할 경우 구조적 성능 이외에 요구 내화성능을 확보하기 위해서는 구조설계

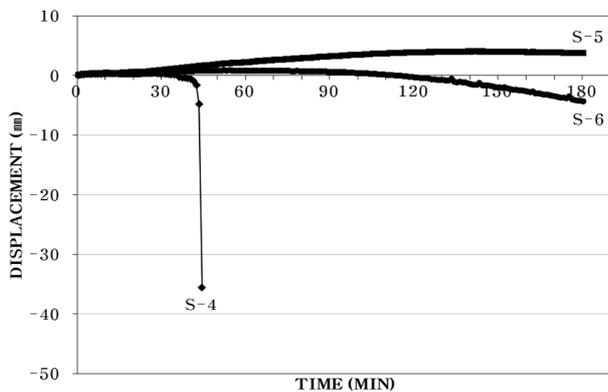


Figure 5. Displacement of HSC column (100 MPa).

Table 10. Main Rebar Temperature of HSC Column Depend on Wire rope+Fiber-Cocktail and Load Ratio (100 MPa)

Specimen	Time (min)	Rebar AVG temp. (°C)	Rebar MAX temp. (°C)
S-4 (Non-0.6)	44	422	574
	120	-	-
	180	-	-
S-5 (WR*+FC** -0.6)	44	175	215
	60	272	328
	120	573	631
	180	874	931
S-6 (WR+FC-0.7)	60	233	259
	120	564	603
	180	1043	1055

WR*: Wire Rope, FC**: Fiber Cocktail.

시 기둥 부재에 전달되는 활하중은 설계하중의 70% 미만으로 설정하는 것이 적절하다고 판단된다. 100 MPa급 고강도 콘크리트의 시간에 따른 변형량은 Figure 5와 같다.

5.2.1 전열특성

100 MPa급 고강도 콘크리트 기둥에 대하여 와이어로프와 Fiber-Cocktail 적용 유무 및 하중비에 따른 주철근의 온도를 측정된 결과 Table 10 및 Figure 6과 같이 나타났다. 피철근 및 와이어로프와 Fiber-Cocktail 적용에 따른 주철근의 온도를 분석한 결과 S-4(Non-0.6)의 경우 내화성능을 상실한 44분에서 평균 및 최고온도는 각각 422°C, 574°C로 나타났다. S-5(WR+FC-0.6)의 경우 S-4에 내화성능을 상실한 44분에서 평균 및 최고온도는 각각 175°C, 215°C로 나타났고, 내화실험을 종료한 180분에서 평균 및 최고온도는 863°C, 931°C로 나타났다. S-4가 내화성능을 상실한 44분에서 S-5는 S-4에 비해 평균온도는 247°C, 최고온도는 359°C가 낮은 것으로 나타났다. 이는 와이어로

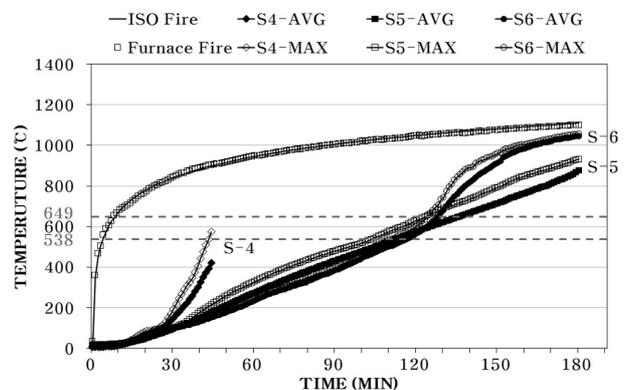


Figure 6. Main rebar temperature of HSC column depend on wire rope+Fiber-Cocktail and load ratio (100 MPa).

프와 Fiber-Cocktail을 적용함으로써 S-5가 60 MPa급 고강도 콘크리트 기둥과 마찬가지로 띠철근을 적용한 S-4에 비해 횡방향 팽창이 억제되고 축방향의 연성이 향상되어 폭렬이 효과적으로 제어되었기 때문에 판단된다. 와이어로프와 Fiber-Cocktail 적용조건에서 하중비에 따른 주철근의 온도를 분석한 결과 S-5(WR+FC-0.6)의 경우 내화실험을 종료한 180분에서 평균 및 최고온도는 874°C, 931°C로 나타났으며, S-6(WR+FC-0.7)의 경우 평균 및 최고온도는 각각 1043°C, 1055°C로 나타났다. 내화실험을 종료한 180분에서 S-5는 S-6에 비해 평균온도는 169°C, 최고온도는 124°C가 낮은 것으로 나타났다. 이는 설계하중을 10% 높게 재하함에 따라 고강도 콘크리트 표면에 균열이 증가하기 때문으로 판단되며, S-6의 경우 주철근의 온도가로내온도에 근사한 수준까지 상승한 것은 내화성능에 한계점에 도달했음을 의미한다.

5. 결 론

60 MPa급, 100 MPa급 고강도 콘크리트 기둥에 대하여 횡구속력 보강공법(와이어로프) 및 내화보강공법(Fiber-Cocktail)와 적용 유무 및 하중비에 따른 내화성능을 평가하기 위하여 표준화재 재하조건에 내화실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 60 MPa급 고강도 콘크리트 기둥의 경우 띠철근 및 와이어로프 적용에 따라 내화실험을 실시한 결과, 동일하중 조건에서 최대팽창량은 S-2(WR-0.7)가 S-1(Non-0.7)에 비해 1.9배 수준으로 나타났고, 내화성능 역시 23% 이상 향상되는 것으로 나타났다. 이는 60 MPa급 고강도 콘크리트 기둥에 와이어로프를 적용함으로써 표준화재 재하조건에서 횡방향 팽창을 억제되고 축방향 연성이 향상되는 것으로 판단된다.

(2) 60 MPa급 고강도 콘크리트 기둥의 경우 와이어로프 적용조건에서 하중비에 따라 내화실험을 실시한 결과, 내화성능은 S-3(WR-0.8)가 S-2(WR-0.7)에 비해 9% 이상 저하되어, 목표내화성능인 180분을 만족하지 못하였다. 따라서 본 연구에서 연구된 60 MPa급 고강도 콘크리트 기둥에 와이어로프를 적용할 경우 구조적 성능 이외에 요구 내화성능을 확보하기 위해서는 구조설계 시 기둥부재에 전달되는 하중은 설계하중의 70% 수준이 적정하다고 판단된다.

(3) 100 MPa급 고강도 콘크리트 기둥의 경우 띠철근 및 와이어로프와 Fiber-Cocktail 적용 유무에 따라 내화실험을 실시한 결과, 동일하중 조건에서 최대팽창량은 S-5(WR+FC-0.6)가 S-4(Non-0.6)에 비해 6.7배 수준으로 나타났고, 내화성능은 4.1배 이상 향상되는 것으로 나타났다. 이는 100 MPa급 고강도 콘크리트 기둥에 와이어로프를 적용함으로써 표준화재 재하조건에서 횡방향 팽창이 억제되고 축방향 연성이 향상되는 것으로 판단된다.

(4) 100 MPa급 고강도 콘크리트 기둥의 경우 와이어로프와 Fiber-Cocktail 적용조건에서 하중비에 따라 내화실험을 실시한 결과, S-5(WR+FC-0.6)와 S-6(WR+FC-0.7) 모두 180분 이상의 내화성능을 만족하는 것으로 나타났다. 하지만 S-6의 경우 내화실험 종료시점인 180분에서 -4.4 mm의 변형이 발생하였다. 이는 S-1(-4.8 mm)과 S-3(-5.4 mm)의 경우와 비교하면 내화성능의 한계점에 도달한 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서 연구된 100 MPa급 고강도 콘크리트 기둥에 와이어로프를 적용할 경우 요구 내화성능을 확보하기 위해서는 구조설계 시 기둥 부재에 전달되는 하중은 설계하중의 70% 미만이 적정하다고 판단된다.

후 기

본 연구는 지식경제부의 지원하에 한국건설기술연구원이 수행하고 있는 국가 R&D인 "(12주요)구조물 성능기반 화재거동해석 및 설계기술연구" 과제의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. A. M. Budek, M. J. N. Priestley and C. O. Lee, "Seismic Design of Columns with High-Strength Wire and Strand as Spiral Reinforcement", ACI Structural Journal, Vol. 99, No. 5, pp. 660-670 (2002).
2. K. D. Hertz, "Limits of Spalling of Fire-exposed Concrete", Fire Safety Journal, pp. 103-116, pp. 103-116 (2003).
3. Y. Anderberg, "Spalling phenomena of HPC and OC", NIST Workshop on Fire Performance of High Strength Concrete in Gaithersburg (1997).
4. Andrew H. Buchanan, "Structural Design for Fire Safety", John Wiley & Sons Ltd. (2002).
5. William D. Callister, Jr., "Materials Science and Engineering: An Introduction", John Wiley & Sons, Inc. (2006).
6. John A. Purkiss, "Fire Safety Engineering Design of Structures", Butterworth Heinemann (1996).
7. W. A. Morris, "Guidelines for the Construction of Fire-resisting Structural Elements", Building Research Establishment Report (1998).
8. 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).
9. T. Harada, "Strength, Elasticity and Thermal Properties of Concrete Subjected to Elevated Temperatures", ACI SP-34, V.1, pp. 393 (1972).
10. U. M. Jumpannen, "Effect of Strength on Fire Behaviour of Concrete", Nordic Concrete Research, 34-45 (1989).
11. H. J. Kim, H. Y. Kim, K. H. Park, J. Y. Jung and K. H.

Kwon, "An Experimental study on Thermal Damage and Spalling of Concrete Lining in Tunnel Fire", Journal of Korea Institute of Fire Science and Engineering, Vol. 23, No. 6, pp. 54-63 (2009).

12. H. Y. Kim, H. J. Kim, H. K. Jeon, K. S. Youm and J. S.

Lee, "A Study on Fire Performance and Heat Transfer of HPC Column with Fiber-Cocktail in ISO Fire under Loading Condition", Journal of the Korea Concrete Institute, Vol. 22, No. 1, pp. 29-39 (2010).