

무내화피복 CFT 공법의 내화성능 확보를 위한 실험적 연구

An Experimental Study on the Ensuring the Fire Resistance Performance of Non-Refractory Coating CFT

이 지 환 한 민 철*

Lee, Ji-Hwan Han, Min-Cheol*

Department of Architectural Engineering, Cheong-Ju University, Naedeok-dong, Cheong-Ju, 360-710, Korea

Abstract

In this study, tests were carried out to find out a method to ensure the fire resistance performance of high-performance non-refractory coating CFT columns. For the high performance concrete fabrication with 100MPa, blast furnace slag(BS) and steel and nylon fibers were used. It was found that the partial replacement with BS improved the fire resistance performance of the concrete. Based on the results of lab tests, the large fire test was conducted. For this test, the CFTs with the size of $\varnothing 500 \times 4,200$ mm and the reinforcement of SS 400 steel were prepared and they were subjected to a loading condition. It was found that as the level of load increased, the level of fire resistance decreased. For example, In with the loading condition of 2000kN the CFT could resist the fire for over 240 minutes, whereas, with the loading condition of 3,000kN and 4000kN applying to equivalent CFTs, the resisting time against fire were 184 minutes, and 120 minutes, respectively.

Keywords : high strength concrete, fire resistance test under load, concrete filled steel tube, fire resistance, blast furnace slag

1. 서 론

1.1 연구의 목적

최근 경제적인 공사관리의 중요성이 부각됨에 따라 콘크리트 충전강관 구조(Concrete Filled Steel Tube, 이하 CFT)기둥의 사용이 증가 되고 있다.

CFT 기둥의 경우 그 내력 및 변형 능력의 우수함은 입증되었으나, 콘크리트 충전성에 대한 불안과 내력평가 방식의 미비로 인하여 일반적인 구조형식으로 크게 발달하지 못하였지만, 최근에 콘크리트용 혼화제 및 혼합재 등의 성능 개선, 고유동 콘크리트의 개발 등으로 인해 선진국의 경우 많은 실험 및 연구가 수행되고 있는 실정이다. 이러

한 CFT 구조는 강관과 콘크리트 재료적 장점을 극대화시켜 구조적 성능, 내진성능, 시공성 및 경제성이 뛰어난 특성을 가진다. 특히, CFT 구조는 충전 콘크리트의 열용량이 크기 때문에 기둥 자체만으로 일정한 내화성능을 가지고 있다. 이에 따라 현재 일본을 비롯한 미국, 유럽 등지에서는 내화구조로서 상용되고 있지만 국내에서는 철골조와 같은 내화피복 방법을 적용해왔기 때문에 RC조나 SRC조에 비해 적용사례는 많지 않은 실정이다[1,2].

그러나 2006년 건축법 시행령 ‘건축물의 피난 방화구조 등의 기준에 관한 규칙’에서 ‘한국건설기술연구원이 인정한 성능설계에 따라 내화구조의 성능을 검증한 구조로 된 것’을 추가 제정함으로써 국내에서도 내화피복을 생략하는 무내화피복 콘크리트 충전강관기둥에 대한 연구가 수행되어 왔다[3,4]. 하지만 국내의 연구 결과 및 적용 실적은 일반강도콘크리트를 대상으로 제작한 CFT 구조이거나 내화 성능 1시간 인증에 불과한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 3시간 내화성능을 만족할 수 있

Received : February 3, 2015

Revision received : February 27, 2015

Accepted : April 13, 2015

* Corresponding author : Han, Min-Cheol

[Tel: 82-43-229-8484, E-mail: twhan@cju.ac.kr]

©2015 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

는 고성능 무내화피복 CFT 기둥 개발의 일환으로서, 100MPa 고강도 충전콘크리트의 내화성능을 극대화 할 수 있는 배합을 도출하고, 그에 대한 검증을 위한 CFT 실물 시험체의 내화시험을 통해 실제 무내화피복 CFT 구조의 적용성 여부를 검토하고자 하였다.

1.2 무내화피복 CFT 기둥의 내화성능 확보 방안

무내화피복 CFT 기둥의 경우 공간의 효율적 사용이라는 측면과 내화피복 공정의 생략으로 원가절감 및 공기단축 등의 효과까지 기대할 수 있는 구조이다. 화재가열을 받은 무내화피복 CFT 기둥의 거동을 살펴보면 Figure 1에 나타낸 바와 같이 가열 이후 초기에 강관이 팽창함에 따라 축력을 강관이 지지하게 된다. 그 후 강관내력이 급격히 손실되면서 축력을 충전콘크리트가 지지하게 되고, 충전콘크리트의 내력이 저하되면 CFT 기둥이 붕괴되게 된다. 즉, CFT 기둥의 내화성능은 충전콘크리트에 의해 결정되기 때문에 콘크리트의 내화성능 확보가 CFT 기둥의 내화성능을 확보하는데 매우 중요한 부분이라 할 수 있다.

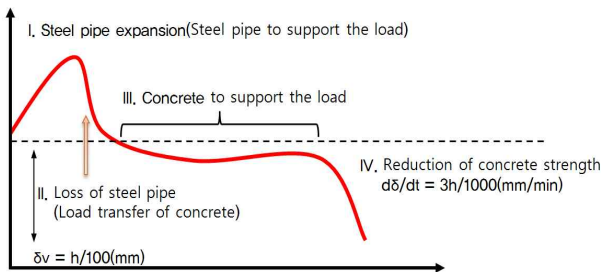


Figure 1. Fireproof secure performance measures of non-refractory coating CFT

그에 따라 필자 등은 사전 실험을 통해 CFT 기둥의 유동성 및 충전성, 강도 등의 기초 물성을 만족하면서, 내화성능을 확보하기 위한 방안으로 합성섬유 혼입을 통한 수증기 배출통로를 확보하여 폭발저항성 확보 및 강섬유 혼입을 통한 하중지지력을 확보함과 동시에, 내화성능에 영향을 줄 수 있는 실리카흙 사용량 조절 등의 사전실험을 실시하여 최적배합을 도출한 바 있다[5]. 도출된 배합을 바탕으로 CFT 내화시험체를 제작하여 내화시험을 실시한 결과 Figure 2에 나타낸 바와 같이, K12TG 용접봉으로 4면 용접을 하여 제작한 CFT 강관의 용접부가 내화시험 초기에 파단되면서 편심에 의한 좌굴이 발생하였고, 시험 종료 후 충전콘크리트의 상태를 확인한 결과 폭발로 인해

충전콘크리트가 심각한 손상을 입은 것을 확인 할 수 있었다[5]. 이러한 원인으로 2시간 무내화피복 CFT 구조 개발에는 성공하였으나, 3시간 내화성능을 만족하지는 못하였다. 이를 해결하기 위해 용접부위 파단을 최소화하기 위해서 CFT 강관을 원형으로 변경하여 용접부위를 최소화 하였으며, 내화성능을 더욱 극대화 할 수 있는 방안을 도출하고자 문헌조사를 실시한 결과 Wang[6] 및 Poon[7] 등의 연구 결과에 의하면 고로슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트에서 폭발 혹은 박락현상은 일어나지 않았으며, 내화성능을 개선할 수 있다고 보고되고 있다. 이러한 내용을 바탕으로 충전콘크리트의 내화성능을 극대화 하기 위한 방안으로 고로슬래그 미분말을 다량 치환한 100MPa급 충전 콘크리트 배합개발을 실시하고자 하였다.



Figure 2. Failure of CFT after 2 hours fire test in previous test

2. CFT용 100MPa급 고로슬래그 혼입 콘크리트 성능평가 및 최적배합 도출

2.1 실험 계획

CFT 구조에 적합한 결합재 종류를 선정하기 위한 실험 인자 및 수준은 Table 1과 같다. 먼저, 콘크리트 규격은 13-100-700으로 설정하였으며, 물-결합재 비는 17.0%로 설정하였고, 고로슬래그 미분말 치환율은 (0, 20, 30, 40)% 4수준으로 설정하여 실험을 실시하였다. 또한, 섬유 혼입량은 사전에 실시한 “최적 섬유 종류(조합) 및 혼입량 선정시험”을 통해 선정된 나일론 섬유 1.5kg/m³ + 강섬유 40kg/m³로 고정하여 실험을 실시하였다. 한편 Table 2는 실험계획에 따른 배합표를 나타낸 것이다.

Table 1. Experiment plan

Factors	Items
Concrete Strength	13-100-700
W/B(%)	17.0
BS replacement ratio(%)	0, 20, 30, 40
Fiber combination	NY(1.5kg/m ³)+Steel(40kg/m ³)

NY : Nylon fiber, Steel : Steel fiber

Table 2. Mix proportions of concrete

Division	W/C (%)	S/a (%)	Unit Weight(kg/m ³) ⁽¹⁾							AD (%)
			W	C	SF	BFS	S	G	NY Steel	
Plain			922		-	466	836			2.70
BFS 20%	17.0	36.0	165	728	49	194	461	827	1.5 40	2.65
BFS 30%				631		291	459	822		2.60
BFS 40%				534		388	457	818		2.55

W : water, C : cement, SF : silica fume, BFS : Blast Furnace Slag
S : Sand, G : Gravel

2.2 사용 재료

Table 3 및 4는 고로슬래그 미분말을 다량 치환한 100MPa 고강도 콘크리트 배합개발을 위한 사용재료의 물리적 특성을 나타낸 것으로서, 시멘트의 경우 H사에서 제조한 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 고로슬래그 미분말의 경우 P사에서 제조한 고로슬래그 미분말(3종)을 사용하였다. 또한 잔골재의 경우 인천지역에 위치하고 있는 B사에서 채취한 세척사를 사용하였으며, 굵은골재는 Y사에서 채취한 최대치수 13mm 부순골재를 사용하였다. 또한 폭발방지를 위한 유기 섬유는 길이 13mm, 밀도 1.10cm³/g 나일론 섬유를 사용하였는데, 인장강도는 800MPa 이며 녹는 점은 220℃~270℃ 이다. 또한, 강섬유의 경우 부착력 및 인발저항력이 우수한 후크형의 강섬유로 30mm 길이를 사용하였다.

Table 3. Physical and chemical properties of binder

Used materials	Physical properties	chemical properties(%)
Cement	• Density : 3.15 g/cm ³ • Fineness : 3 378 cm ² /g	K ₂ O:0.93, Na ₂ O:0.15 MgO:3.9, SO ₃ :2.1 Ignition loss : 2.0
Blast Furnace Slag	• Density : 2.90 g/cm ³ • Fineness : 4 464 cm ² /g	SiO ₂ :33.5, MgO:6.0, SO ₃ :2.45, Cl:0.003 Ignition loss : 0.24
Silica fume	• Density : 2.20 g/cm ³ • Fineness : 31.3 m ² /g	SiO ₂ :95.1, MgO:0.06 SO ₃ :0.56, Cl:0.002 Ignition loss : 3.84

Table 4. Physical properties of materials

Used materials	Physical properties
Sand	G _{max} : 5mm, Density : 2.60g/cm ³ , FM : 2.80
Gravel	G _{max} : 13mm, Density : 2.61g/cm ³ , FM : 6.80
Chemical agent	Polycarboxylate, liquefied, Density 1.04g/cm ³
Fiber	Nylon fiber Density : 1.06 g/cm ³ , Length : 13mm, Diameter 15~30 μm
	Steel fiber Density : 7.85 g/cm ³ , Length : 30mm, Diameter 500 μm

2.3 실험항목 및 방법

본 실험에서 실시한 콘크리트의 시험항목 및 방법은

Table 5와 같이 굳지않은 상태에서의 슬럼프 플로 및 500mm 도달시간, 공기량의 KS 기준에 따라 실험을 실시하였고, O-lot 시험은 JSCE-F 512, L-Flow 시험은 JSCE-F 514에 따라 실험을 실시하였다.

Table 5. Measurement items and levels

Division	Standard	Note
Slump flow	KS F 2594	700±100mm
Time required to reach 500mm		2~25 s
Air content	KS F 2421	3.5% or less
O-lot	JSCE F 512	4~50 s
L-flow(300, 500)mm	JSCE F 514	2~20 s
Compressive strength	KS F 2405	Age 3, 7, 28, 56 d
Result of fire-resistance test	KS F 2257	-

또한, 경화 콘크리트 성상에서의 재령 3, 7, 28, 56일에 압축강도 측정을 실시하였으며, 간이내화시험의 경우 콘크리트 공시체를 배합당 각각 6개 (∅ 100X200mm)를 제작하여 ISO 표준 화재곡선(KS F 2257)에 따라 3시간 동안 가열한 후 폭발발생 여부 및 잔존 압축강도를 평가하였다(Figure 3 참조).



Figure 3. Specimen preparation for fire-resistance test

2.4 실험결과

2.4.1 굳지않은 콘크리트

1) 슬럼프 플로, 500mm 도달시간 및 공기량 실험
Figure 4 및 Figure 5는 충전콘크리트의 유동성 평가를 위하여 슬럼프 플로 및 500mm 도달시간, 공기량 측정 결과를 나타낸 것으로서, 목표 슬럼프 플로 값인 700±100mm를 만족하기 위한 고성능 감수제 첨가량의 경우 고로슬래그 미분말 치환율이 증가 할수록 첨가량은

감소하는 경향을 나타내었다.

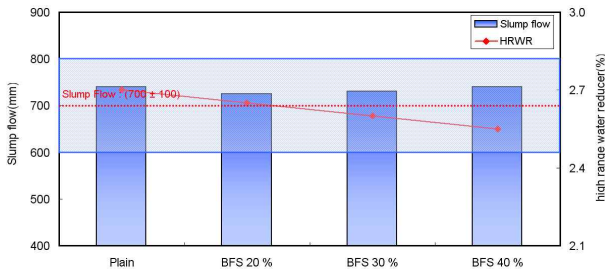


Figure 4. The addition amount of admixture and slump flow

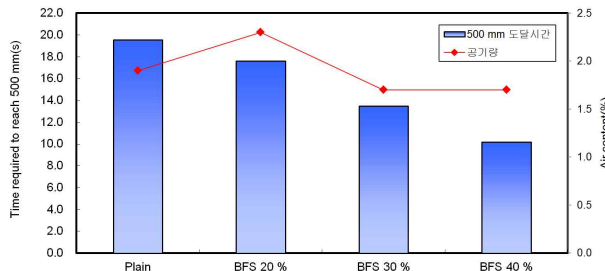


Figure 5. Time required to reach 500mm and Air content

또한, 500mm 도달시간의 경우 약 10~20초의 범위를 나타내었으며, 고로슬래그 미분말 치환율이 증가함에 따라 500mm도달 시간이 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 표면이 시멘트 입자의 표면에 비해 치밀하고, 유동성 증가에 유리한 매끄러운 표면구조를 가지고 있는 고로슬래그 미분말을 혼입함에 따라 페이스트와 골재계면의 마찰력을 저하시켜 줌으로 인해 나타난 결과로 판단된다[8].

공기량의 경우, 각각의 배합 조건에 따른 뚜렷한 경향은 나타나지 않았으나 목표 범위인 3%이하에 모두 만족하는 것으로 나타났다.

2) L-flow 및 O-lot 유하시간

Figure 6은 콘크리트의 충전성을 평가하기 위한 L-flow 및 점성을 평가하기 위한 O-lot 유하시간 측정결과를 나타낸 것으로서, L-flow 시험결과 300mm 도달시간은 약 4~8초의 범위를 나타내었으며, 500mm 도달시간은 약 9~19초의 범위를 나타내어 배합조건에 관계없이 모두 목표 기준인 2~25초를 만족하는 것으로 나타났으며, 고로슬래그 미분말 치환율이 증가함에 따라 충전성이 개선되는 것을 확인 할 수 있었다. 따라서 CFT용 충전콘크리트에 고로슬래그 미분말을 혼입함에 따라 충전성 개

선에 유리하게 작용할 수 있을 것으로 사료된다.

O-lot 유하시간 측정 결과 약 39~55초의 범위를 나타내었으며, 고로슬래그 미분말을 혼입한 배합의 경우 목표 기준인 4~50초를 만족하는 것으로 나타났으나, 시멘트를 100% 사용한 Plain 배합의 경우 목표 값을 만족하지 못하는 결과를 나타내었다. 이는 슬럼프 플로 및 500mm 도달시간과 동일한 원인으로서, 고로슬래그 미분말을 혼입함에 따라 페이스트와 골재계면의 마찰력이 감소하였기 때문에 나타난 결과로 판단된다.

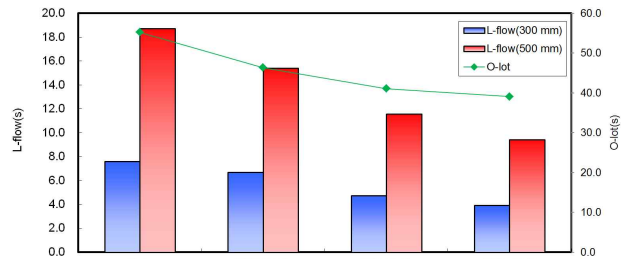


Figure 6. L-flow and O-lot

2.4.2 압축강도

Figure 7은 고로슬래그 미분말 치환율에 따른 압축강도 측정결과를 나타낸 것으로서, 재령 3일에는 고로슬래그 미분말 첨가 배합이 Plain 배합에 비해 압축강도가 약 9.5~13.3% 저하하는 경향을 나타내었으나, 재령 7일에는 동등한 수준을 나타내었고, 재령 28일에는 Plain 배합의 압축강도를 모두 상회하는 결과를 나타내고 있어, CFT용 고강도 충전콘크리트 영역에서는 고로슬래그 미분말을 치환하는 것이 강도발현 측면에 있어서, 안정적일 것으로 판단된다.

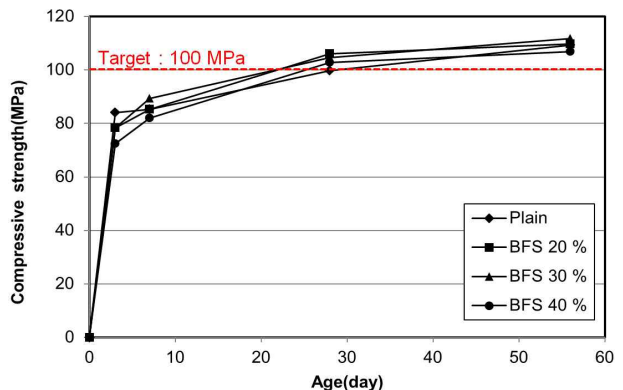


Figure 7. Compressive strength results

2.4.3 간이 내화 시험 결과

Figure 8~9는 간이 내화시험 결과를 나타낸 것으로서, 내화시험 결과 모든 시험체에서 폭렬은 발생하지 않았으며, 3시간 비재하 내화시험 후 잔존강도 측정 결과 6.6~8.9MPa로 나타났다.

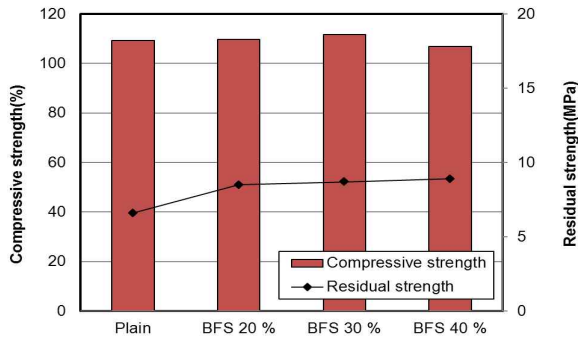


Figure 8. Residual and compressive strength results

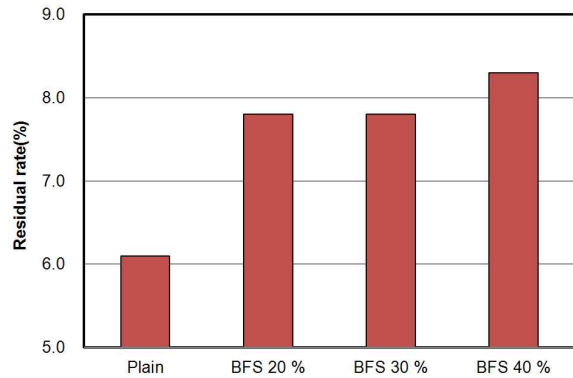


Figure 9. Residual rate depending on BFS dosages

또한, Figure 10은 콘크리트 공시체 내부 온도 측정 결과를 나타낸 것으로서, 시험체의 온도가 가열로의 온도와 유사하게 올라가는 것을 확인하였으며, 최고온도의 경우 1000℃를 상회 하는 것으로 나타났다.

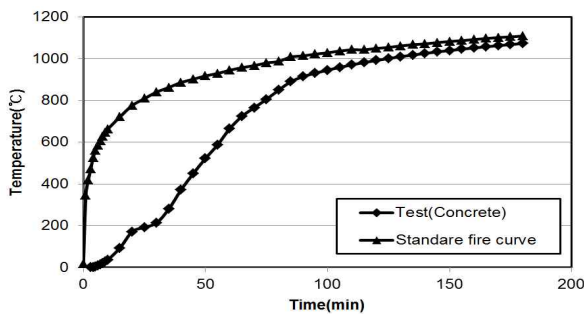


Figure 10. Temperature of the specimen

고로슬래그 미분말의 치환율별로 살펴보면 고로슬래그 미분말을 혼입하지 않은 경우에 비해 혼입한 경우에 잔존 압축강도가 약 22~25% 증가하는 것으로 나타나 고로슬래그 미분말 혼입이 내화성능 개선에 효과가 있는 것을 확인할 수 있었으며, 잔존강도율의 경우 Plain 배합의 경우 6.0%를 나타낸 반면, 고로슬래그 미분말을 혼입함에 따라 7.8~8.3% 정도로 고로슬래그 미분말 혼입율이 증가함에 따라 잔존 강도율이 소폭 개선되는 경향을 나타내었다.

이에 따라 향후 실무 시험체 적용을 위한 콘크리트의 배합시 내화성능 및 잔존강도가 비교적 양호한 BFS 40%를 적용하여 전반적인 내화성능을 확보하고자 한다.

3. 고성능 CFT 실물 시험체의 내화시험

3.1 실험계획 및 방법

고성능 CFT 실물 시험체의 내화시험 계획 및 배합표는 Table 6 및 Table 7과 같으며, Figure 11은 실험체 제작 및 시험 전경을 나타낸 것이다.

먼저, CFT용 강관은 $\varnothing 400 \times 4,200\text{mm}$ 의 인장강도 400MPa 이상을 가지는 SS400 강관을 사용하여 제작하였으며, 두께는 15mm로 제작하였다. 콘크리트의 경우 앞의 2장에서 검토된 바를 토대로 유동성, 점성, 충전성 및 내화성능 등이 가장 우수한 것으로 나타난 고로슬래그 미분말을 40% 혼입한 100MPa 고강도 콘크리트를 타설하였으며, 콘크리트의 내화성능을 확보하기 위한 방안으로 나일론 섬유 1.5kg/m³ 및 후크형 강섬유 40kg/m³를 혼입하였다.

가열에 따른 콘크리트의 온도는 콘크리트 단면의 중앙부에서 측정하였으며, 내화시험은 KS F 2257에 근거하여 한국건설기술연구원에서 재하내화시험을 수행하였다.

CFT의 내화성능 평가를 위한 재하내화시험 하중의 경우 국가별로 다르게 규정되어 있다. 국내의 경우 시험의뢰자가 인정된 구조 기준에 규정된 방법에 따라 정하게 되어 있는 반면[9,10], 해외의 경우에는 설계하중의 40%를 일정하게 재하하거나, 설계강도의 1/3을 재하한다[11]. 또한 기존 연구자들의 경우 건물 기둥에 실제 작용하는 하중과 기둥의 압축내력에 대한 설계여유도를 고려하여 화재 실험시의 축력비로 고려하였는데, 일반적으로 0.2~0.5의 범위에서 하중비를 변화시키면서 CFT 내화성능을 평가하였다[11].

Table 6. Specification of concrete and steel

Division		Condition
Concrete Strength		13-100-700
Type		SS400
Thickness		15mm
Steel pipe	Tensile Strength	459MPa
	Yield Strength	354MPa
	Fracture Elongation	28.53%
Load(kN)		2000, 3000, 4000

Table 7. Mix proportion of concrete

Admixture	W/C (%)	S/a (%)	Unit Weight(kg/m ³) ¹⁾								AD (%)
			W	C	SF	BFS	S	G	NY	Steel	
BFS 40%	17.0	36.0	165	534	49	388	457	818	1.5	40	2.55

Table 8. Experimental results of concrete

Division		Results
Slump flow(mm)		720
Time required to reach 500mm(s)		11
Air content(%)		1.9
O-lot(s)		41
L-flow(s)	300mm	4
	500mm	11
Superplasticizer dosages (%)		2.55
3 d		77.1
7 d		83.5
28 d		103.7
56 d		108.7



(a) Remicon Producing



(b) Concrete test



(c) Temperature Sensor



(d) Concrete Placing

Figure 11. CFT specimen for fire resistance test

따라서 본 실험에서는 기존 연구결과를 바탕으로 축력비 약 0.2~0.5의 범위에 있는 2,000kN, 3,000kN, 4,000kN 3가지 수준으로 구분하여 축력비를 설정하였다. 또한, CFT 기둥의 내화성능 판단은 KS F 2257-1에서 제시하고 있는 수축량과 변형률 규정을 적용하여 축방향 수축량이 유효가열길이 4,200mm의 1/100 인 42mm 이상일 경우나 분당 변형률이 12.6mm/min 에 도달하는 경우에 CFT기둥의 내력이 상실되었다고 판단하여 실험을 종료하는 것으로 하였다.

3.2 실험결과

3.2.1 콘크리트 실험

Table 8은 고성능 CFT 실물 시험체에 타설된 충전콘크리트의 실험결과를 나타낸 것으로서, 실내배합시험 결과와 유사한 수준의 값을 나타내었으며, 굳지않은 콘크리트 및 경화 콘크리트 성능이 모두 목표 수준을 만족하는 것으로 나타났다.

3.2.2 내화시험

Figure 12는 재하하중에 따른 온도분포를 나타낸 것으로서, 2,000kN의 하중을 가한 시험체의 경우 240 분 이상가열을 실시하였으며, 이 때 중심부 온도는 556℃로 나타났다. 또한 상대적으로 지지해야하는 축력이 작음에 따라 초기에 강관이 축력을 지지하는 시간이 증가하는 것으로 나타났으며, 콘크리트에 약간의 폭렬 및 박리 현상이 발생하였으나, 180분 이상의 내화성능을 만족하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 고로슬래그 미분말 사용량 증가 및 섬유 혼입을 통한 내화성능 개선을 실시함에 따라 나타난 결과로 판단된다.

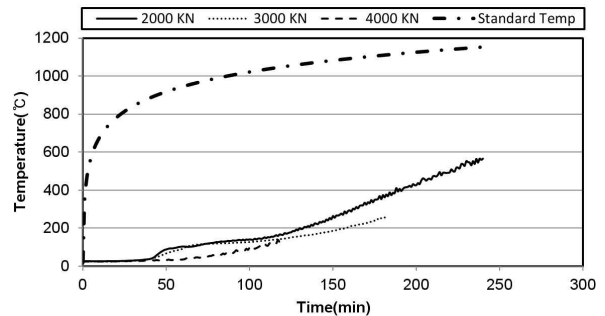


Figure 12. Temperature distribution due to applied load

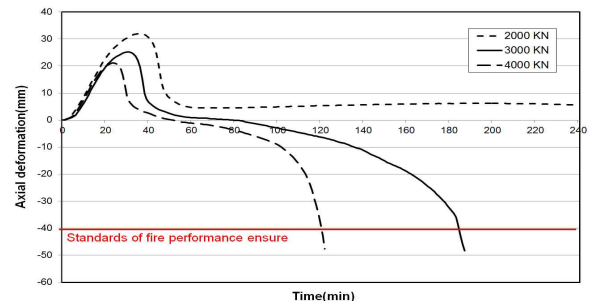


Figure 13. Axial deformation result

3,000kN의 하중을 가한 시험체 역시 180분 이상의 내화성을 만족하는 것으로 나타났으며, 약 184분 경과 시점에서의 중심부 온도는 225℃로 나타났다. 또한 시험 시작 후 약 184분 경과 시점에서 급격한 수축량 증가를 나타내어 시험을 종료하였다. 4,000kN의 하중을 가한 시험체는 약 120분 경에 급격히 수축량이 증가하는 것을 확인할 수 있었으며, 중심부 온도는 120분 경과 시점에 148℃로 나타났다.

한편, 재하하중 2,000kN 및 3,000kN을 가한 시험체의 경우 가열시간 약 50 시간 경에 급격히 중심부 온도가 상승하는 경향을 나타내었으나, 재하하중 4,000kN을 가한 시험체의 경우 서서히 온도가 증가하는 경향을 나타내었으며, 재하하중 4,000kN을 가한 시험체의 내화시험 종료 시점을 기준으로 온도분포를 살펴보면, 재하하중이 증가함에 따라 중심부 온도가 낮아지는 경향을 나타내었다.

Figure 13은 재하하중에 따른 수축량 변화 측정결과를 나타낸 것으로서, 전체적인 수축량 특성을 살펴보면, 초기 단계에서는 강관이 열에 의해 팽창하다가 일정 시간에 다 다르면 다시 수축하기 시작하여 일정시간의 변형량 감소 이후 정체구간을 보이다 급격한 변형을 보이며 파괴가 되는 경향을 보였다. 2,000kN을 재하한 경우, 콘크리트의 수축량이 일정한 값 아래로 떨어지지 않았으며, 이는 CFT 강관이 내력을 잃지 않았다는 것을 나타낸다. 3,000kN과 4,000kN을 재하한 경우, 각각 185분, 121분으로 나타났다. 또한 재하하중이 늘어남에 따라 수축이 시작되는 시점이 빨리지는 것으로 나타났으며, 열팽창에 의한 팽창량이 감소하는 것으로 나타났다.

이상을 토대로 살펴보면 전반적으로 재하하중 3,000kN 이하에서는 온도이력 및 수축량이 3시간 내화성을 확보할 수 있을 것으로 판단되어졌고 4,000kN이하의 조건에서는 2시간 내화성을 확보할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 3시간 내화성을 만족할 수 있는 고성능 무내화피복 CFT 기둥 개발을 위한 실험적 연구로서, 내화성을 확보할 수 있는 100MPa급 고강도콘크리트의 최적배합도출 및 이를 토대로한 CFT 실물 시험체 실험을 진행하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) CFT 충전용 콘크리트의 내화성능 개선을 위해 고로슬래그 미분말 치환율별 성능평가를 실시한 결과 고로슬래그 미분말 치환율이 증가함에 따라 유동성 및 점성, 충전성이 개선되었으며, 압축강도 측정결과 고로슬래그 미분말을 혼입함에 따라 혼입률에 관계없이 재령 28일에 설계기준강도인 100MPa를 모두 상회하는 것으로 나타났다.
- 2) 간이내화시험 결과 고로슬래그 미분말 치환율이 증가함에 따라 플레인 배합에 비해 잔존강도 20% 내외로 개선되는 것으로 나타나, 유동성, 충전성, 점성, 내화성능 등을 고려할 때 고로슬래그 미분말 40%를 혼입한 배합이 CFT 기둥 충전콘크리트에 가장 적합한 것으로 판단된다.
- 3) 재하하중에 따른 CFT 시험체의 온도이력 특성으로서 재하하중이 증가할수록 온도상승은 비교적 완만해지는 것으로 나타났고, 재하하중 조건에 관계없이 180분 이내에서는 중심부 온도가 300℃이하를 보이고 있어 고열노출로 인한 고강도 콘크리트의 폭발현상은 발생되지 않을 것으로 판단된다.
- 4) 재하하중에 따른 CFT 실물 시험체의 내화시험 결과 재하하중이 증가함에 따라 내화성능 확보 한계 치인 수축량 한계 42mm 도달시간이 짧아지는 것으로 나타났다는데, 2,000kN에서는 240분, 3,000kN에서는 184분, 4,000kN에서는 120분 정도로 나타남을 확인할 수 있었다.

요 약

본 연구는 3시간 내화성을 만족할 수 있는 고성능 무내화피복 CFT 기둥 개발을 위한 연구로서, 고로슬래그 미분말 치환율에 따른 성능평가를 실시한 결과 고로슬래그 미분말 치환율이 증가함에 따라 내화성능이 개선되는 것을 확인할 수 있었으며, 내화성능을 고려한 CFT 기둥용 100MPa 충전콘크리트의 고로슬래그 미분말 적정 사용량은 40%로 나타났다. 이에 따라 고로슬래그 미분말 40% 혼입 100MPa 충전콘크리트를 적용한 CFT 실물 시험체를 대상으로 재하하중별 내화시험을 실시한 결과 재하하중이 증가함에 따라 내화성능 발현시간이 감소하는 것으로 나타났으며, 재하하중 2,000kN에서는 240분 이상의 내화성능

을 나타내었고, 3,000kN에서는 184분, 4,000kN에서는 120분의 내화성능을 나타내었다.

키워드 : 고강도콘크리트, 재하내화시험, 콘크리트충전 강관, 내화성능, 고로슬래그 미분말

Acknowledgement

This research was supported by a grant (Code# '09 R&D A01, Supertall Building R&D Center) from cutting-edge Urban Development Program funded by Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs of Korean government.

References

1. Kim WJ, Lee YD, Park HG, Lee JS, Jung SJ. Research on the mock-up fo CFT using 100MPa high strength concrete and 800MPa strength steel. Proceedings of the Korea Institute of Building Construction; 2011 May 20; Dong-eui University, Busan, Korea, Korea Institute of Building Construction; 2011, p.35-7.
2. Kim KY, Kim YS, Lee TG, Kang SJ, Kim MH. An experimental study on the evaluation of fire-resist performance of high-strength concrete filled steel tube column. Journal of Architectural Institute of Korea, 2008 Aug;24(8):147-54.
3. Han HC, Kim YG, Kang SJ, Choi, SM. The 1st site application of non-fire-protection CFT columns. Journal of Korean society of steel construction, 2007 Jun; 19(2):77-83.
4. Cho KS, Kim HY, Kim HJ, Kwon IK. The study on the fire resistance performance of the CFT column according to the concrete compressive strength and load ratio. The 1st site application of non-fire-protection CFT columns. Journal of the Korean Institute of Fire Science & Engineering 2010 Apr;24(2):44-51.
5. Hong SB, Kim WJ, Pare HG. Development and Application of CFT without Fire Protection using High Performance Steel and Concrete. Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2013, Jun; 13(3):p.272-6.
6. H.Y. Wang. The effects of elevated temperature on cement paste containing GGBFS. Cement and Concrete Composites, 2008 Nov;30(10):992-9.
7. C.S. Poon, A. Salmam, A. Mike, Y.L. Wang . Performance of metakaolin concrete at elevated temperatures. Cement and Concrete Composites, 2003 Jan;25(1):1291-300.
8. ACI Committee 233. "Ground Granulated Blast Furnce Slag as a Cementitious Constituent in Concrete". 1995
9. Korean Standards Association, KS F 2257-1 Methods of fire resistance test for elements of building construction-general requirements, Seoul(Korea) : 2010.
10. Korean Standards Association, . KS F 2257-7 Methods of fire resistance test for elements of building construction-specific requirements for columns, Seoul(Korea) : 2011.
11. Jung KH. Application of Concrete Filled Steel Tube Using High Strength Concrete[Dissertation]. [Seoul]: University of Dankook; 2004, 241 p.