

내화피복 종류에 따른 각형강관 구조부재의 내화성능평가

권기혁¹ · 신경재^{2*} · 이준섭³ · 노다훈¹ · 이강민⁴

¹석사과정, 경북대학교, 건설환경에너지공학부, ²교수, 경북대학교, 건설환경에너지공학부,

³박사과정, 경북대학교, 건설환경에너지공학부, ⁴교수, 충남대학교, 건축공학과

Evaluation of Fire Resistance of Square Steel Pipe Structural Members According to Coating Type of Fire Resistance Cover

Kwon, Kee-Hyuk¹, Shin, Kyung-Jae^{2*}, Lee, Jun-Seop³, Noh, Da-Hun¹, Lee, Kang-Min⁴

¹Graduate Student (Master's Course), School of Architectural Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 41566, Korea

²Professor, School of Architectural Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 41566, Korea

³Graduate Student (Doctor's Course), School of Architectural Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 41566, Korea

⁴Professor, School of Architectural Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 34134, Korea

Abstract - The purpose of this study is to compare and evaluate the fire resistance performance of square steel pipe beams and column members according to fire-resistant coating types through non-loading heat tests. The cover thickness of fiber plast is established to satisfy the fire resistance performance through prior research. The test results showed that the B-GB2 and B-PT3 test specimens met the fire resistance performance, but the B-FP2 and B-GB3 test specimens did not meet the fire resistance performance evaluation. While C-GBFP3 and C-PT test specimens were satisfied with their fire resistance performance in the evaluation of the fire resistance of the columns, C-FP2 and C-GB3 test specimens were not satisfied with their fire resistance performance. Fiber plast's single material sheath did not meet the fire resistance performance, but the mixed sheath with the Gypsum board maintained the fire resistance performance for three hours. Considering the economic aspect of mixed cladding test specimens, it is judged that performing mixed cladding performs best.

Keywords - Fiber plast, Intumescent paint, Gypsum board, Fireproof test, Non-load fireproof test

1. 서론

모듈러 공법은 공장에서 단위 모듈을 미리 제작하여 현장에서 운반한 뒤, 조립하는 스마트 건축 공법 중 하나이다. 모듈러는 공기 감축, 오염물질 최소화 등 경제성이 뛰어나 해외에서 자주 사용되고 있는 공법이다. 하지만 국내 건설 시장의 사정은 다르다. 국내의 모듈러 공법은 학교, 병영과 같이 저층 건물에만 활용되고 있다^[1]. 그뿐만 아니라 국내 현행 법상 13층 이상 건물을 지으려면 화재가 발생하였을 때 3시

간 이상 내화성능을 유지해야 한다^{[2],[3]}. 하지만 모듈러 공법의 주재료인 강구조는 화재 발생으로 인한 내력저하로 건물 붕괴까지 이어질 수 있다. 이를 방지하기 위해 내화 인증을 받은 내화피복 재료를 이용하여 주요 구조물을 피복해야 한다. 내화 인증을 받기 위해서는 한국건설기술연구원, 방재시험연구원 등의 인증기관에서 시험을 받아야 한다. 시험을 통과하여 내화구조 인정을 받은 피복 방법에는 방화석고보드 피복, 뽕칠, 내화페인트 피복 등이 있다^[4].

각형강관을 이용하여 2시간, 3시간 이상의 내화성능을 지닌 내화 피복에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 이미 내화구조로 인정을 받은 방법에는 방화석고보드, 뽕칠, 내화페인트 등을 이용한 피복 방법이 있다^{[5]-[7]}. 하지만 이러한 재료들은 가격이 저렴하면 피복의 두께가 두꺼워지고, 피복의 두께가 얇아지면 비용이나 양생 기간이 증가하여 비경제적이다. 따라서 피복 두께, 양생 기간, 비용을 줄이기 위하여 새로운 재료를 이용한 내화피복 인정을 받는 것이 필요하다.

Note.-Discussion open until December 31, 2021. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on March 10, 2021; revised on April 26, 2021; approved on April 27, 2021.

Copyright © 2021 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-53-950-5591 Fax. +82-53-950-5590

E-mail. shin@knu.ac.kr

Fiber plast는 세라믹계열의 내화재료로서 현재 국부 내화 재료로 사용되고 있다. Fiber plast는 50 mm 두께까지 흡수 시공이 가능하며 시공이 용이한 재료이다. 또한 특수한 형상, 복잡한 곳에 시공이 용이하여 모재의 형상에 크게 구애 받지 않고 시공이 가능하다. Fiber plast는 세라믹계열이므로 건조시간이 필요한데 상온기준으로 약 하루 건조하면 높은 강도의 섬유벽을 얻을 수 있다. 따라서 본 논문은 현재 국부 내화재료로 사용되고 있는 fiber plast를 이용하여 모듈러 구조부재의 내화성을 평가, 비교하고자 하였다. 또한, 그 결과를 현재 내화구조로 인정을 받은 다른 내화피복 방법과 비교하여 fiber plast의 합리적인 내화피복 방법, 두께 등을 결정하기 위한 기초 자료를 제시하는 것에 목적이 있다.

2. 시험계획

2.1 시험계획

본 연구는 내화피복제에 따른 각형강관의 구조부재로서 내화성을 확인하기 위해 Fig. 1과 같은 수평, 수직 가열로를 이용한 비재하 가열시험을 진행하였다. 시험체는 보와 기둥으로 구분되며, 내화피복제의 종류는 방화석고보드, fiber plast, 내화페인트로 이루어졌다. 시험체의 가열시간은 국가법령정보센터에서 제시하는 고층 구조물의 내화구조의 성능기준에 따라 2시간, 3시간에 맞춰서 시험을 진행하였다.



(a) Beam (b) Column

Fig. 1. Specimens

시험체는 한국표준협회(이하 KS)의 KS F 2257-1, KS F 2257-6, KS F 2257-7에 따라 열전대를 설치하여 Fig. 2처럼 제작하였다. 보 시험체는 3개의 section에 각각 8개의 열전대를 부착하였으며 기둥 시험체는 4개의 section에 각각 4개의 열전대를 부착하였다. 각형강관은 KS D 3568(일반구조용 각형강관)의 SRT355를 사용하였다. 보 시험체는 실제 모듈러 구조물에서의 화재 상황을 재현하기 위해 상부 모듈

의 하부 보와 하부 모듈의 상부 보가 결합된 형태로 제작하였다^{[8]-[10]}.

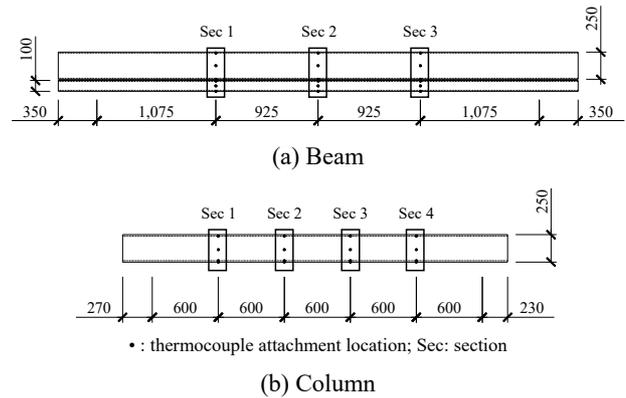


Fig. 2. Specimens detail

Tables 1-2는 시험체 명칭과 그에 따른 변수를 정리한 것이다. 시험체는 총 8개로 보 4개, 기둥 4개로 구성되어 있다. 보와 기둥은 각각 내화피복의 종류와 내화시험의 시간에 따라 시험체가 분류되며 시험에 사용된 내화피복의 종류로는 방화석고보드, 내화페인트, fiber plast가 있다. 방화석고보드

Table 1. Test specimens (horizontal member)

No.	Specimen *	Test time (min)	Thickness (mm)	Coating type
1	B-GB2	120	57.0	GB
2	B-GB3	180	76.0	GB
3	B-FP2	120	20.0	FP
4	B-PT3	180	14.4	PT

*Specimen name indicates: (1) member type (initial Latin character before hyphen; B = beam, C = column), (2) coating type (Latin characters after hyphen; GB = gypsum board, FP = fiber plast, PT = paint [Firemask 3003]), and (3) test time (number at the end; 2 = 120 min, 3 = 180 min).

Table 2. Test specimens (vertical member)

No.	Specimen *	Test time (min)	Thickness (mm)	Coating type
1	C-FP2	120	20.0	FP
2	C-PT3	180	14.3	PT
3	C-GB3	180	76.0	GB
4	C-GBFP3	180	58.0	FP

*Specimen name indicates: (1) member type (initial Latin character before hyphen; B = beam, C = column), (2) coating type (Latin characters after hyphen; GB = gypsum board, FP = fiber plast, PT = paint [Firemask 3003]), and (3) test time (number at the end; 2 = 120 min, 3 = 180 min).

는 내화시험 1시간당 1겹 사용으로 2시간 내화시험에서는 2겹, 3시간 내화시험에서는 3겹을 피복하여 사용하였다. 내화페인트는 보 부재는 14.4 mm, 기둥 부재는 14.3 mm 피복하여 시험을 진행하였다. Fiber plast 피복의 경우 선행연구를 통해 2시간 내화성능을 유지하기 위해서는 20T의 피복 두께가 필요한 것을 유한요소해석을 통해 확인하였다^[11].

2.2 시험방법

내화성능평가를 진행하기 위해서 시험체의 가열은 KS F 2257의 표준화재곡선, ISO-834의 표준화재곡선을 따라야 하며, 표준화재곡선을 이루는 그래프는 식 (1)을 따른다.

$$T = 345 \log(8t + 1) + t_0 \quad (1)$$

여기서, T : 가열로 내 평균온도(°C)

t : 시간(분)

t_0 : 초기 온도

표준화재곡선은 실제 화재 상황을 재현하기 위해 시험 시작 약 90분 후 1,000 °C에 이르기까지 온도가 급격하게 상승하며 90분 이후 온도는 계속 상승한다. 이러한 가열 상황에서 내화성능을 만족하기 위해서는 시험이 끝날 때까지 각각의 단면의 열전대들의 평균온도는 허용온도(538 °C) 이하, 각 단면에서의 모든 열전대의 최고온도는 한계온도(649 °C) 이하로 유지하여야 한다^[12].

Fig. 3는 부재의 단면형상 및 열전대 부착 위치이다. 시험은 방재시험연구원에서 실시하였으며 부재의 온도측정을 위한 열전대는 KS F 2257-6, KS F 2257-7에 따라 보 부재에서는 3개 단면에 각 8개, 기둥 부재에서는 4개 단면에 각 4개 설치하였다.

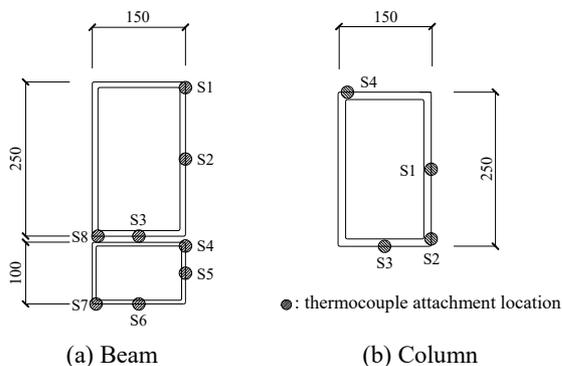


Fig. 3. Section shape and thermocouple attachment location

Figs. 4-5는 보와 기둥 부재에서 내화피복 재료에 따른 단면형상이다. 내화피복 종류로는 방화석고보드, fiber plast, 방화석고보드와 fiber plast 혼합, 내화페인트를 사용하였다.

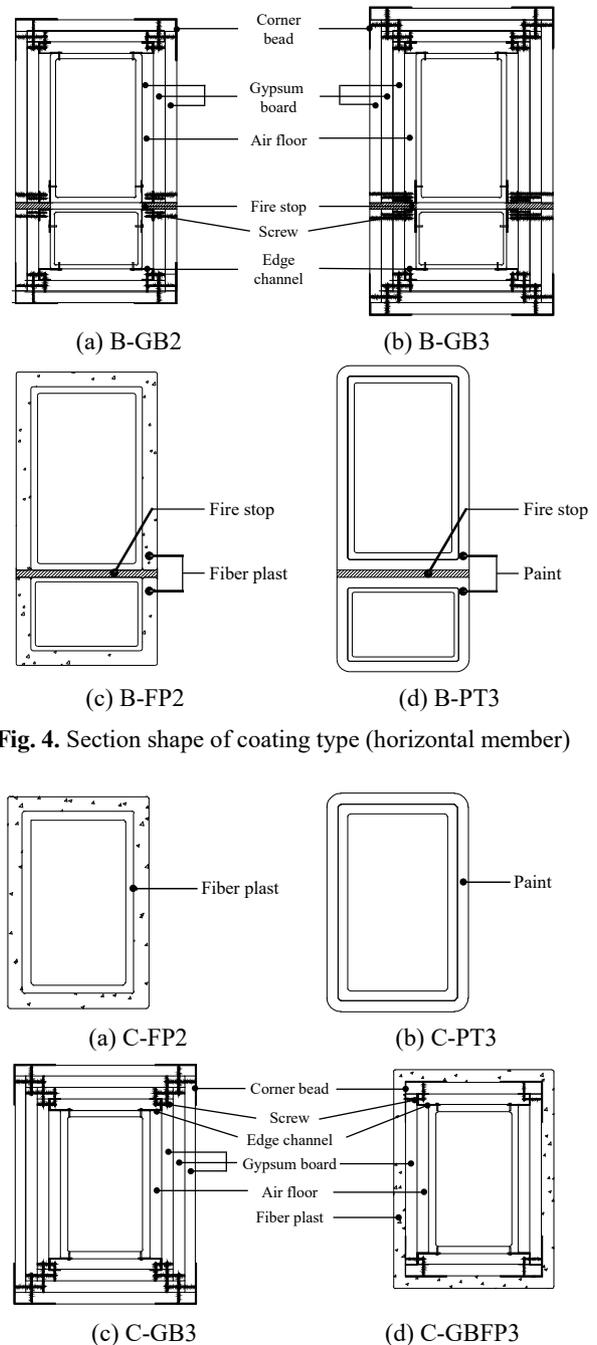


Fig. 4. Section shape of coating type (horizontal member)

Fig. 5. Section shape of coating type (vertical member)

2.3 내화피복 비용 분석

모듈러 구조부재의 내화피복 비용의 비교분석을 위해 사양적 내화설계에 의한 내화피복 비용을 산출하였다.

Table 3는 내화피복의 종류에 따른 부재의 피복 비용이다. 내화피복 비용은 방화석고보드, fiber plast, 방화석고보드와 fiber plast 혼합, 내화페인트 순서로 적게 나타났다. 방화석고보드, 방화석고보드와 fiber plast 혼합피복의 경우 내화목표 시간에 따라 2겹, 3겹 피복을 해야 한다. 반면에 fiber plast, 내화페인트 단일피복은 한 겹만 피복해도 된다. 따라서, 단위 면적당 피복 비용의 산출은 의미가 없다고 판단하였으며 총 피복 비용을 산출하였다^[13].

Table 3. Cost for fireproof coating of specimens

No.	Specimen	Coating area (m ²)	Coating cost (KRW)
1	B-GB2	10.59	74,000
2	B-GB3	16.80	117,000
3	B-FP2	4.40	640,000
4	B-PT3	4.26	1,830,000
5	C-FP2	3.52	520,000
6	C-PT3	3.38	1,450,000
7	C-GB3	14.16	100,000
8	C-GBFP3	8.85	690,000

또한, 방화석고보드와 fiber plast의 경우 시공기간이 2~3 일 이내에 완료되는 반면 내화페인트는 시공기간이 약 한 달 정도 소요되었다. 목표 내화시간을 만족하기 위한 피복을 위해서는 방화석고보드, 방화석고보드 fiber plast 혼합, fiber plast, 내화페인트의 순서로 경제적이라고 판단된다.

3. 시험결과

3.1 수평 구조재

Table 4는 보 시험체의 내화시험 결과이며, Fig. 6는 내화시험 후 시험체 모습이다. 4개의 보 시험체에서 B-GB2와 B-PT3만 내화성능을 만족하였다. B-FP2는 120분 중 81분 내화성능 만족, B-GB3는 180분 중 150분 내화성능 만족으로 시험 결과 내화성능을 만족하지 못하였다.

Fig. 7은 B-GB2와 B-PT3의 내화시험 결과로 각 section에서 측정된 열전대의 평균온도이다. B-GB2는 약 80분이 경과하기까지 각형강관 표면의 온도가 약 100℃ 근처에 머무르고 있었다. 이후 빠르게 온도가 증가하는 것으로 보아 방화석고보드 성능이 2시간 내화성능을 만족하는 범위 안

Table 4. Result for horizontal members

No.	Specimen	Coating type	Test time (min)	Result (min)
1	B-GB2	GB	120	120
2	B-GB3	GB	180	150
3	B-FP2	FP	120	81
4	B-PT3	PT	180	180

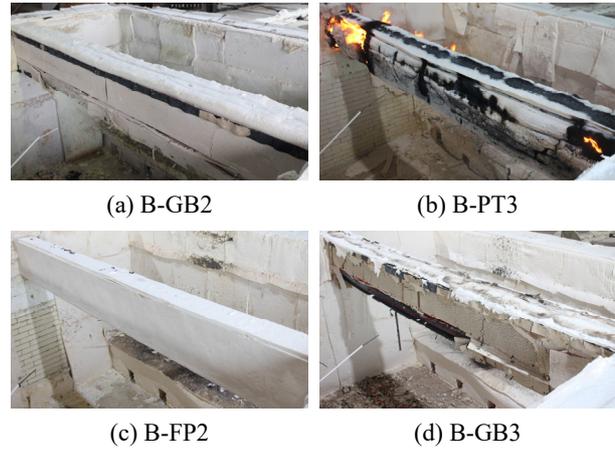
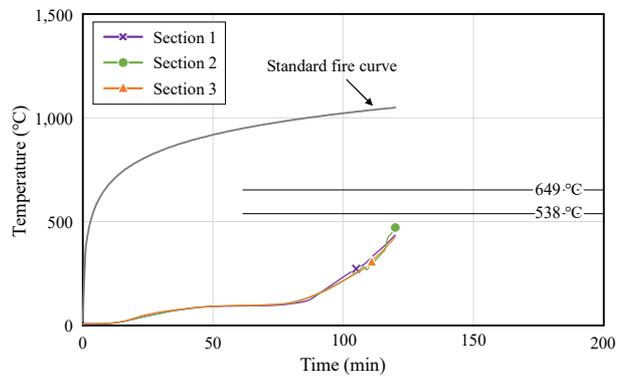
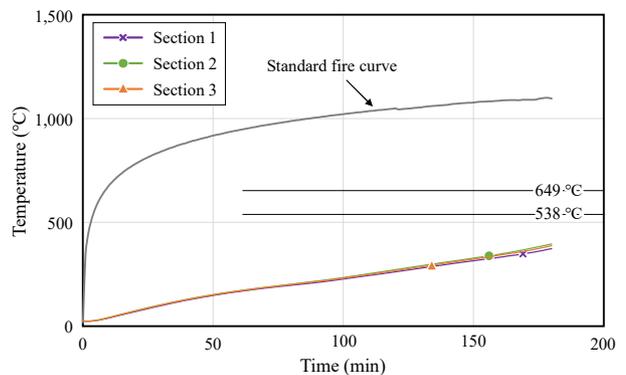


Fig. 6. Specimens after fire test



(a) B-GB2



(b) B-PT3

Fig. 7. Temperature curves in B-GB2 and B-PT3

에서 서서히 잃어가고 있다고 판단된다. 내화시험 종료 시 Section 1에서 열전대의 평균온도는 435.8 °C, 전체 열전대의 최고온도는 600.9 °C로 나타났다. Section 2에서 열전대의 평균온도는 471 °C, 전체 열전대의 최고온도는 583.6 °C로 나타났다. Section 3에서 열전대의 평균온도는 427.5 °C, 전체 열전대의 최고온도는 535.2 °C로 나타났다.

B-PT3는 시험 시작부터 종료까지 각형강관의 표면온도가 일정하게 증가하는 것으로 보아 3시간 내화시험 시간 동안 내화능력이 유지되었다고 판단된다. 내화시험 종료 시 Section 1에서 열전대의 평균온도는 374.3 °C, 전체 열전대의 최고온도는 431.6 °C로 나타났다. Section 2에서 열전대의 평균온도는 396.5 °C, 전체 열전대의 최고온도는 438.6 °C로 나타났다. Section 3에서 열전대의 평균온도는 388.6 °C, 전체 열전대의 최고온도는 424.7 °C로 나타났다.

두 시험체 모두 열전대의 평균온도의 최댓값 538 °C, 각각의 열전대의 최대온도가 649 °C를 넘지 않았으며 내화성능 기준을 만족하였다.

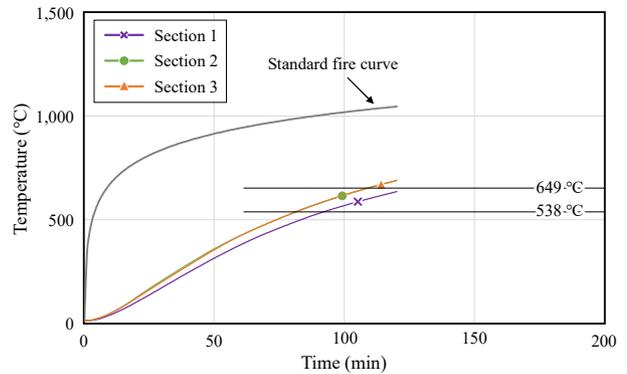
Fig. 8은 B-FP2의 내화시험 결과로 요구 내화성능을 만족하지 못하였다. B-FP2는 시험이 진행되는 동안 모든 단면에서 각형강관의 표면온도가 일정하게 증가하는 양상을 보였으며 전 단면에서 내화성능 기준을 만족하지 못하였다.

Section 1에서 열전대의 평균온도는 92분 이후 541.5 °C, 전체 열전대의 최고온도는 96분 이후 649.6 °C로 내화성능 기준을 초과하였다. Section 2에서 열전대의 평균온도는 81분 이후 539.4 °C였고, 전체 열전대의 최고온도는 96분 이후 650.3 °C로 내화성능 기준을 초과하였다. Section 3에서 열전대의 평균온도는 81분 이후 540.9 °C, 전체 열전대의 최고온도는 92분 이후 651.9 °C로 내화성능 기준을 초과하였다.

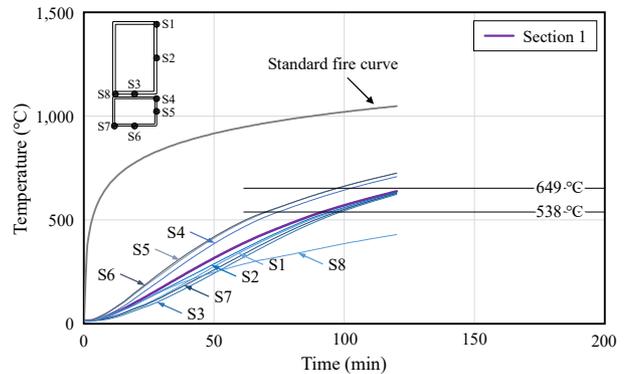
시험 종료 후 fiber plast를 내화피복했을 때는 외관상 특이사항은 나타나지 않은 점을 보아 fiber plast는 차열성은 상대적으로 부족하다고 볼 수 있으나 차열성은 충분하다고 판단된다.

Fig. 9은 B-GB3의 내화시험 결과로 요구 내화성능을 만족하지 못하였다. B-GB3의 Section 1, Section 2, Section 3에서는 각각 약 150분, 140분, 130분까지 100 °C를 유지하다가 이후 각형강관의 표면온도가 급상승하는 양상을 보여주었다. 이는 내화성능을 만족한 B-GB2 시험체와 비슷한 결과이지만 B-GB2와는 달리 내화성능을 만족하지 못한 시험의 결과이다.

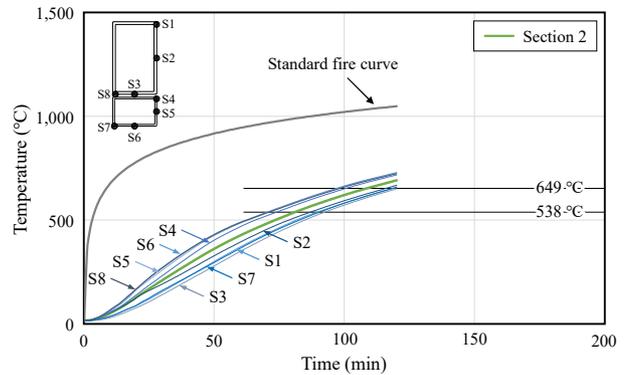
Section 1에서는 내화성능 기준을 만족하였으나, Section 2와 Section 3에서 내화성능 기준을 초과하였다. Section 2



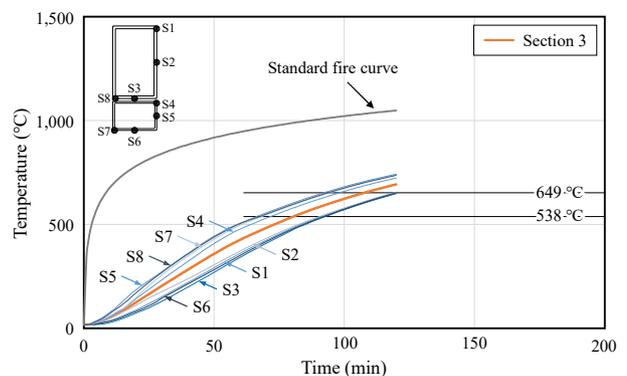
(a) Section average



(b) Section 1



(c) Section 2



(d) Section 3

Fig. 8. Temperature curves in B-FP2

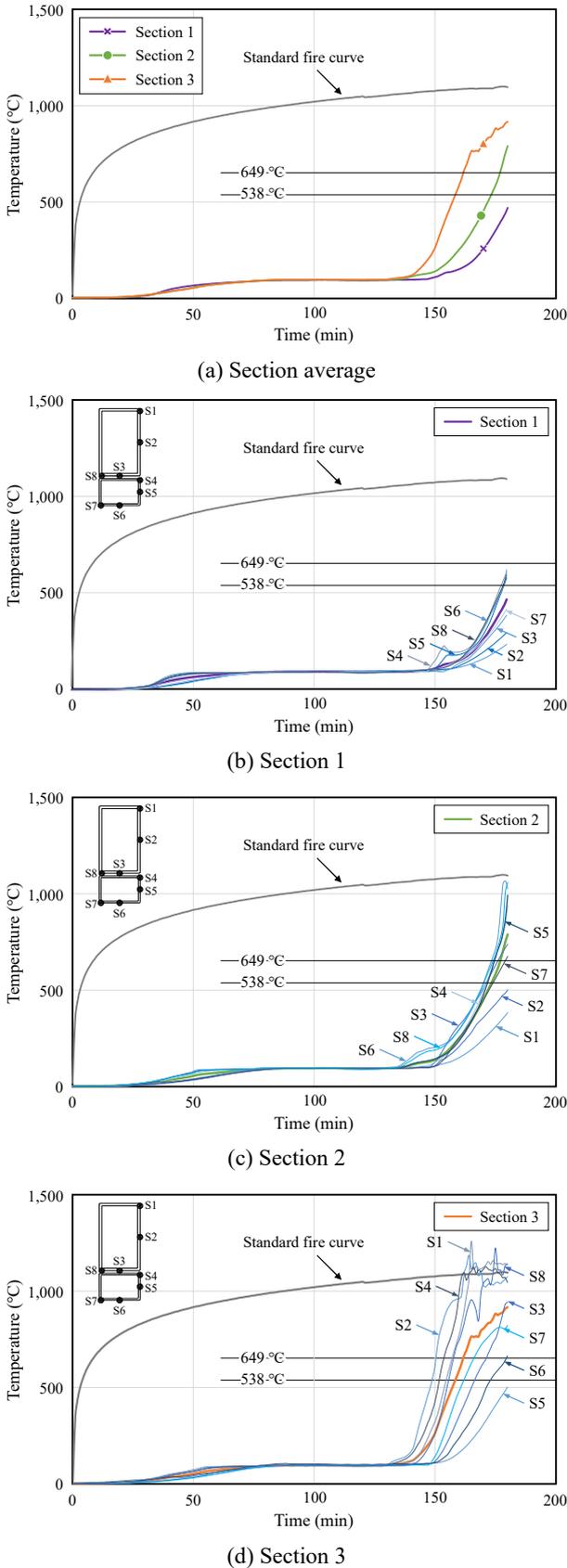


Fig. 9. Temperature curves in B-GB3

에서 174분 이후 열전대의 평균온도는 560.3 °C, 전체 열전대의 최고온도는 681.7 °C로 내화성능 기준을 초과하였다. Section 3의 경우 151분 이후 열전대의 평균온도는 299.6 °C로 낮은 온도를 기록하였다. 하지만 전체 열전대의 최고온도가 718.7 °C로 내화성능 기준을 초과하였다. 내화시험 결과 B-GB3의 경우 Section 3에서 151분 이후 방화석고보드의 탈락이 발생했다고 판단된다.

B-FP2는 모든 section에서 내화성능을 만족하지 못했지만, 시험 종료 후 fiber plast의 외관상 특이사항은 나타나지 않았다. 이를 통해 fiber plast는 차열성능은 상대적으로 부족하나 차염성은 충분하다고 판단된다. Fiber plast의 단일 재료로 40T를 피복하기 위해서는 시공 기간이 20T에 비하여 오랜 기간이 소모되어 시공 시 경제성이 떨어진다고 판단되었다. 따라서 추후 수직 구조재에서의 내화성능평가에서 C-FP3 시험체를 C-GBFP3로 변경하였으며 fiber plast 단일 피복 40T에서 방화석고보드 19T 1장과 fiber plast 20T 혼용 피복으로 내화피복 방법을 변경하였다.

B-GB2 시험체 및 B-GB3 시험체의 온도는 방화석고보드가 내화성능을 유지하고 있을 때 약 100 °C에 머물렀다. 하지만 내화성능을 잃기 시작하면 온도가 빠르게 증가하며 이후 내화성능을 완전히 상실하여 붕괴, 탈락 등의 현상을 보인다. 따라서 화재 발생 시 방화석고보드는 내화성능을 잃고 난 후 파괴, 탈락될 가능성이 있다고 판단된다.

3.2 수직 구조재

Table 5는 기둥 시험체의 내화시험 결과이며, Fig. 10은 내화시험 후 시험체 모습이다. 4개의 기둥 시험체에서 C-GBFP3와 C-PT3는 내화성능을 만족하였으나, C-FP2는 120분 중 87분 내화성능 만족, C-GB3는 180분 중 175분 내화성능 만족으로 시험 결과 내화성능을 만족하지 못하였다.

Fig. 11은 내화성능을 만족한 C-GBFP3와 C-PT3의 내화시험 결과로 각 section의 열전대의 평균온도이다.

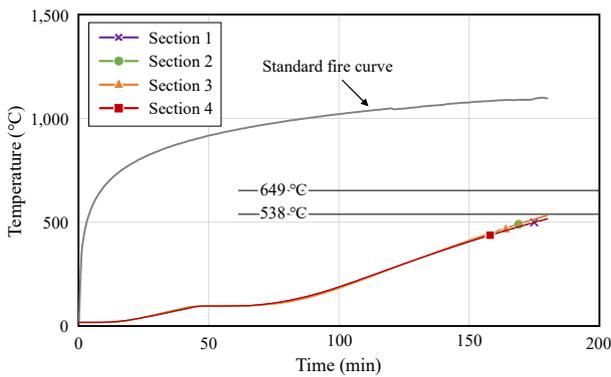
Table 5. Result for vertical members

No.	Specimen	Coating type	Test time (min)	Result (min)
1	C-FP2	FP	120	87
2	C-PT3	PT	180	180
3	C-GB3	GB	180	175
4	C-GBFP3	GB + FP	180	180

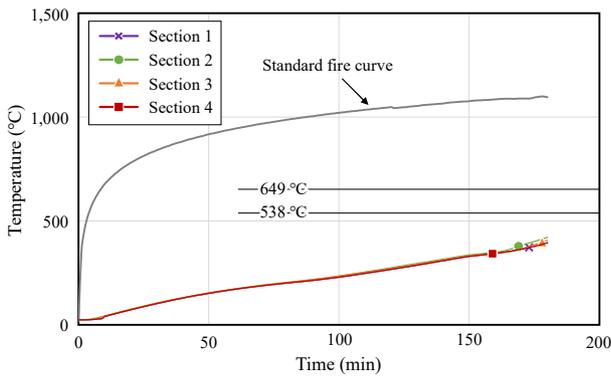


(a) C-FP2 (b) C-PT3 (c) C-GB3 (d) C-GBFP3

Fig. 10. Specimens after fire test



(a) C-GBFP3



(b) C-PT3

Fig. 11. Temperature curves in C-GBFP3 and C-PT3

C-GBFP3는 약 70분까지 약 100°C에서 머무르다가 이후 온도가 상승하였다. 이는 약 70분 정도까지 fiber plast의 차열 성능이 유지되다가 서서히 차열 성능을 잃어감에 따라 각 형강관의 표면 온도가 증가하는 양상을 보인다. 하지만 각 형강관의 표면 온도가 급격하게 증가하지 않는 것은 fiber plast의 차열 성능을 방화석고보드가 보완하여 내화 성능을 유지하는 것으로 판단된다.

C-GBFP3의 내화 시험 종료 시 Section 1에서 열전대의 평균 온도는 537.9°C, 전체 열전대의 최고 온도는 544.1°C로 나타났다. Section 2에서 열전대의 평균 온도는 533.2°C, 전체 열전대의 최고 온도는 536.7°C로 나타났다. Section 3에서 열전대의 평균 온도는 536.1°C, 전체 열전대의 최고 온도는 539.9°C로 나타났다. Section 4에서 열전대의 평균 온도는 517.6°C, 전체 열전대의 최고 온도는 522.9°C로 나타났다. C-PT3는 시험 시작부터 종료까지 각 형강관의 표면 온도가 일정하게 증가하는 것으로 보아 3시간 내화 시험 시간 동안 내화 성능이 유지되었다고 판단된다.

C-PT3의 내화 시험 종료 시 Section 1에서 열전대의 평균 온도는 409.6°C, 전체 열전대의 최고 온도는 470.4°C로 나타났다. Section 2에서 열전대의 평균 온도는 422°C, 전체 열전대의 최고 온도는 496.6°C로 나타났다. Section 3에서 열전대의 평균 온도는 408°C, 전체 열전대의 최고 온도는 441.2°C로 나타났다. Section 4에서 열전대의 평균 온도는 395.6°C, 전체 열전대의 최고 온도는 416.2°C로 나타났다.

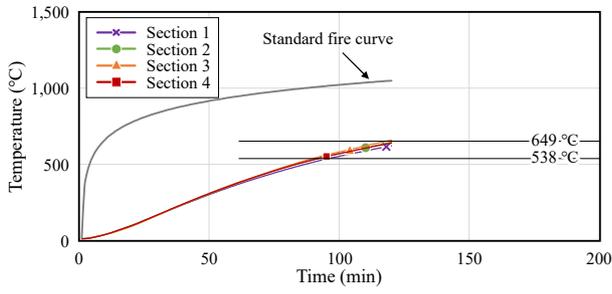
두 시험체 모두 열전대의 평균 온도의 최댓값 538°C, 각각의 열전대의 최대 온도가 649°C를 넘지 않았으며 내화 성능 기준을 만족하였다.

Fig. 12는 C-FP2의 내화 시험 결과로 요구 내화 성능을 만족하지 못하였다. C-FP2는 시험이 진행되는 동안 모든 단면에서 각 형강관의 표면 온도가 일정하게 증가하는 양상을 보였으며 전 단면에서 내화 성능 기준을 만족하지 못하였다.

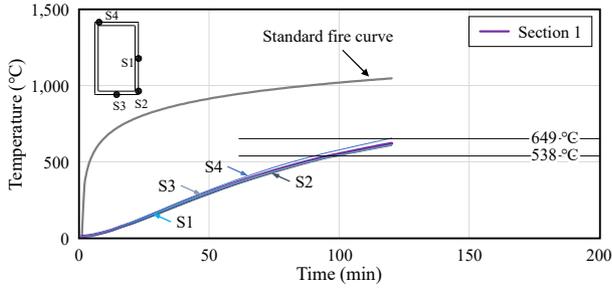
Section 1에서 열전대의 평균 온도는 96분 이후 539°C, 전체 열전대의 최고 온도는 119분 이후 652.1°C로 내화 성능 기준을 초과하였다. Section 2에서 열전대의 평균 온도는 92분 이후 538.3°C, 전체 열전대의 최고 온도는 117분 이후 650°C로 내화 성능 기준을 초과하였다. Section 3에서 열전대의 평균 온도는 90분 이후 540.9°C, 전체 열전대의 최고 온도는 116분 이후 650.7°C로 내화 성능 기준을 초과하였다. Section 4에서 열전대의 평균 온도는 92분 이후 539.1°C로 내화 성능 기준을 초과하였지만, 전체 열전대의 최고 온도는 시험 종료 시 642.3°C로 내화 성능 기준을 만족하였다.

C-FP2는 모든 section에서 내화 성능을 만족하지 못했지만, B-FP2와 마찬가지로 시험 종료 후에도 fiber plast의 형상은 유지하는 것으로 보아 보 부재뿐만 아니라 기둥 부재에서도 차열 성능은 충분하다고 판단된다.

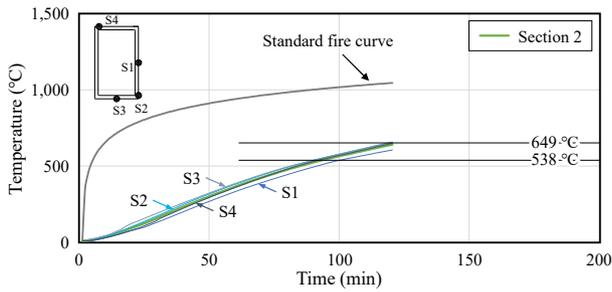
Fig. 13은 C-GB3의 내화 시험 결과로 요구 내화 성능을 만족하지 못하였다. C-GB3의 Section 1 - Section 4에서는 각각 130분, 150분, 150분, 140분까지 100°C를 유지하다가 이후



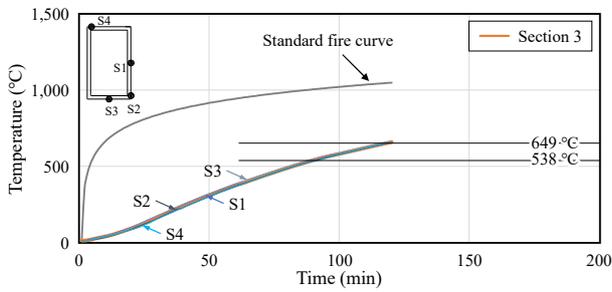
(a) Section average



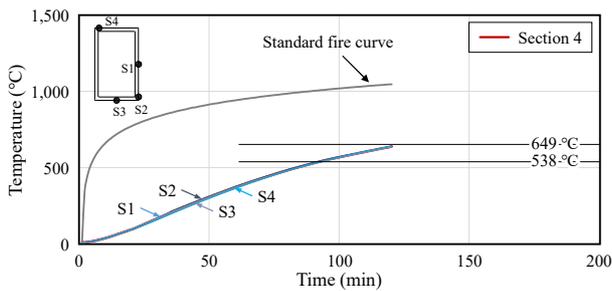
(b) Section 1



(c) Section 2

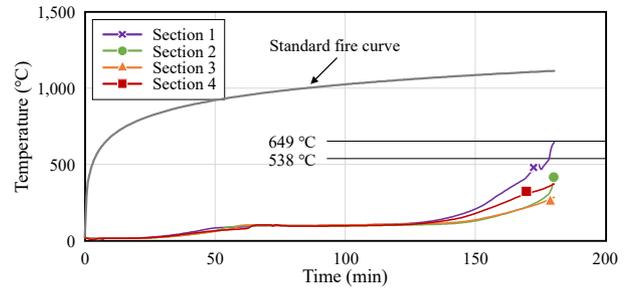


(d) Section 3

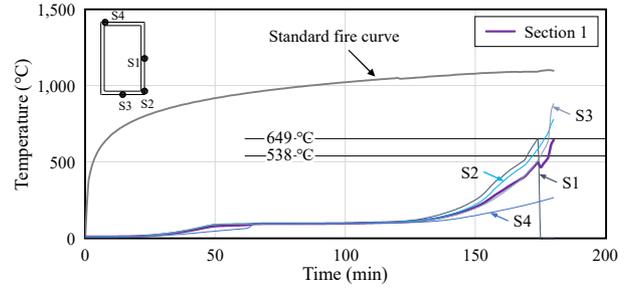


(e) Section 4

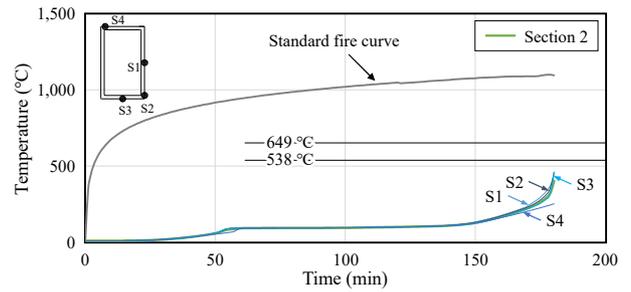
Fig. 12. Temperature curves in C-FP2



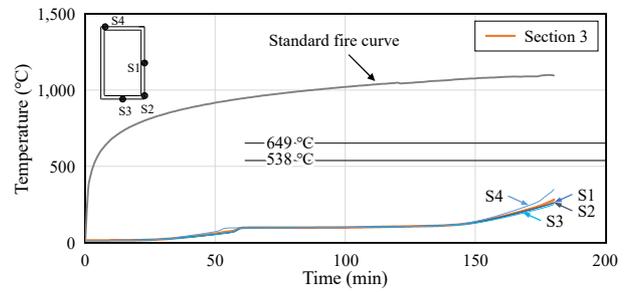
(a) Section average



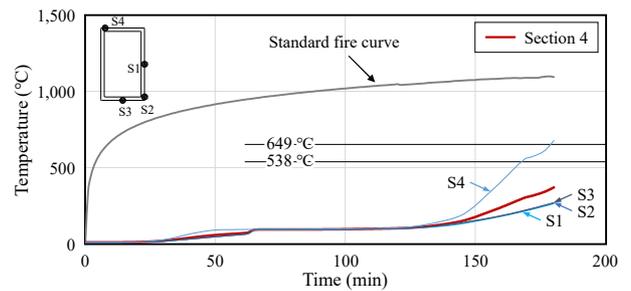
(b) Section 1



(c) Section 2



(d) Section 3



(e) Section 4

Fig. 13. Temperature curves in C-GB3

각형강관의 표면온도가 급상승하는 양상을 보여주었다. 이는 앞서 시험한 수평 구조재의 내화시험에서 나타난 B-GB2와 B-GB3 시험체와 비슷한 양상으로 각각의 시간 이후 방화석고보드가 내화성능을 잃기 시작하며 각형강관의 표면온도가 급상승한 것으로 판단된다.

C-GB3는 Section 2와 Section 3에서 내화성능을 만족하였으며 Section 1과 Section 4에서는 내화성능을 만족하지 못하였다. Section 1에서 열전대의 평균온도는 179분 이후 611.5 °C, 전체 열전대의 최고온도는 177분 이후 665.9 °C로 내화성능 기준을 초과하였다. Section 4에서 열전대의 평균온도는 내화성능 기준을 만족하였지만, 전체 열전대의 최고온도는 179분 이후 660 °C로 내화성능 기준을 초과하였다.

시험 종료 후 Section 1의 방화석고보드의 탈락과 시험 결과의 Section 1의 176분 이후 각형강관의 표면온도가 급상승하는 것으로 보아 176분에 방화석고보드의 탈락이 발생했다고 판단된다.

4. 결론

본 논문은 모듈러의 주요 구조부재로 사용되는 각형강관의 내화피복 재료에 따른 내화성능을 검토하기 위해 수직, 수평 가열로를 이용하여 비재하 가열시험을 진행하였으며, 아래와 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 방화석고보드를 이용하여 내화피복을 하였을 때, 2시간 내화시험은 내화성능을 만족하는 결과를 보였으나, 3시간 내화시험은 보, 기둥 모두 내화성능을 만족하지 못하는 모습을 보였다. 방화석고보드가 내화성능을 유지하는 동안에는 각형강관의 표면온도가 약 100 °C를 유지하면서 내화성능을 유지하였으나, 방화석고보드의 탈락으로 인해 각형강관의 표면온도가 급격하게 상승했다고 판단된다.
- (2) Fiber plast는 2시간 내화시험에서 보, 기둥 부재 모두 내화성능을 만족하지 못하였다. Fiber plast의 내화시험에서 각형강관의 표면온도는 시간이 지남에 따라 일정하게 상승하였으며 차열성능의 부족으로 인하여 내화성능 기준을 만족하지 못하였다. 하지만 시험이 종료된 후에도 fiber plast의 외관상 특이사항은 나타나지 않은 것으로 보아 차열성능은 충분하다고 판단된다.

- (3) 내화페인트의 경우 3시간 내화시험에서 보, 기둥 부재 모두 내화성능을 만족하였다. 내화시험이 진행되는 동안 각형강관의 표면온도는 전 구간에서 일정하게 상승하며 내화성능을 만족하였다. 하지만 내화페인트의 피복을 위한 전용 장비가 필요하며 시공 시공기가 길어져 경제성이 떨어진다고 판단된다.
- (4) 방화석고보드와 fiber plast를 혼합피복하였을 때 3시간 내화시험에서 내화성능을 만족하였다. 혼합피복에서 각형강관의 표면온도는 초기 1시간 정도는 약 100 °C를 유지하였으며, 이후 온도가 일정하게 상승하며 내화성능을 만족하였다. 혼합피복은 방화석고보드 단일피복보다 피복 두께가 약 20 mm 감소하였으며, fiber plast 단일피복보다 시공 기간이 절반 이하로 감소하였다.

본 시험을 통해 방화석고보드, fiber plast, 내화페인트, 방화석고보드 & fiber plast 혼합피복의 각형강관 내화시험을 통해 내화성능을 비교하였다. 시험 결과 내화성능은 내화페인트, 혼합피복, 방화석고보드, fiber plast의 순서로 우수하게 나타났다. 하지만 내화페인트가 성능적인 면에서는 우수할지라도, 비경제적인 요소가 많이 나타났다. 따라서 내화페인트와 마찬가지로 3시간 내화성능을 발휘할 수 있는 방화석고보드 & fiber plast 혼합피복을 하는 것이 효율적이라고 판단된다.

참고문헌(References)

- [1] Kim, K.-T., and Lee, Y.-H. (2011) Economic Feasibility Study on the Unit Modular Fabrication Method According to the Life Cycle Costing Methodology, *Journal of the Architecture Institute of Korea - Structure & Construction*, AIK, Vol.27, No.12, pp.207-214 (in Korean).
- [2] Mun, Y.-A., Kim, M.-K., and Park, M.-J. (2013) Domestic and Foreign Case Studies for the Improvement of Unit Modular Housing, *Journal of the Architecture Institute of Korea - Planning & Design*, AIK, Vol.29, No.10, pp.65-73 (in Korean).
- [3] *Rules on Standards of the Escape and Fire-prevention Structure of Building* (2010, Republic of Korea, in Korean).
- [4] Korea Institute of Civil Engineering and Buliding

- Technology (2018) *Status of Fire-Resistant Structure Recognition*, KICT, Korea (in Korean).
- [5] Choi, H.S., Kang, S.D., and Kim, J.E. (2013) The Experimental Study on the Resistance Forces and the Failure Temperatures of H-Shaped Steel Compressive Members by Elevated Temperatures, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.25, No.2, pp.131-139 (in Korean).
- [6] Kwon, I.-K., Jee, N.Y., and Kim, H.Y. (2002) Experimental Study on the Determination of Fire Protection Thickness Through Section Factors of Structural Steels, *Journal of the Architecture Institute of Korea - Structure & Construction*, AIK, Vol.18, No.9, pp.125-132 (in Korean).
- [7] Youm, K.-S., and Jeon, H.-G. (2010) Fire Resistance Performance of High Strength Concrete Columns with Fireproof Gypsum Board, *Journal of the Korea Concrete Institute*, KCI, Vol.22, No.2, pp.229-235 (in Korean).
- [8] Korean Agency for Technology and Standards (2019) *Methods of Fire Resistance Test for Elements of Building Construction - General Requirements* (KS F 2257-1: 2019), Korea (in Korean).
- [9] Korean Agency for Technology and Standards (2019) *Methods of Fire Resistance Test for Elements of Building Construction - Specific Requirements for Beams* (KS F 2257-6: 2014), Korea (in Korean).
- [10] Korean Agency for Technology and Standards (2019) *Methods of Fire Resistance Test for Elements of Building Construction - Specific Requirements for Columns* (KS F 2257-7: 2014), Korea (in Korean).
- [11] KSSC (2020) *Evaluation of Seismic Performance of and Fire Resistance Experiment Modular Structural Systems: The Final Report*, Research Report, KSSC, Korea (in Korean).
- [12] Kim, S.-H. (2017) Evaluation of Fire Resistance for Composite Column Coated Intumescent Paint According to Loading and Unloading Test, *Journal of the Architecture Institute of Korea - Structure & Construction*, AIK, Vol.33, No.3, pp.13-19 (in Korean).
- [13] Kwon, I.K., and Chung, Y.J. (2010) Cost Analysis for Fire Protection on Structural Members of Residential Steel Building Using Fire Engineering Design, *Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering*, KISFE, Vol.24, No.1, pp.81-89 (in Korean).

요 약: 본 연구의 목적은 내화피복 재료에 따른 각형강관 보, 기둥 부재의 내화성능을 비교, 평가하는 것이다. 선행연구를 통해 내화성능을 만족하기 위한 fiber plast의 피복 두께를 설정하였다. 시험 결과 보의 내화성능평가에서는 B-GB2와 B-PT3 시험체는 내화성능을 만족하였지만, B-FP2와 B-GB3 시험체는 내화성능평가를 만족하지 못하였다. 기둥의 내화성능평가에서는 C-GBFP3와 C-PT 시험체는 내화성능을 만족하였지만, C-FP2와 C-GB3 시험체는 내화성능평가를 만족하지 못하였다. Fiber plast는 단일 재료 피복은 내화성능을 만족하지 못하였지만, 방화석고보드와의 혼합피복은 3시간 내화성능을 유지하였다. 혼합피복 시험체는 경제적인 측면을 고려하면 혼합피복을 하는 것이 가장 우수한 성능이 발휘된다고 판단된다.

핵심용어: 화이버 플라스틱, 내화페인트, 방화석고보드, 내화시험, 비재하가열시험
