

고강도 콘크리트(60 MPa급)를 적용한 복합장대기둥의 내화성능에 대한 해석적 평가 연구

안재권¹ · 이경구^{2*} · 김대희³ · 허우영⁴ · 이희근⁵ · 박상현⁶

¹수석연구원, 한국건설기술연구원, ²교수, 단국대학교, 건축공학과, ³박사과정, 단국대학교, 건축공학과,

⁴프로, 삼성물산, 구조설계기술그룹, ⁵그룹장, 삼성물산, 기반기술그룹, ⁶프로, 삼성전자, 평택건설1그룹

Analytical Evaluation of Fire Resistance Performance of Composite Long Columns with High-Strength Concrete (60 MPa)

Ahn, Jaekwon¹, Lee, Kyungkoo^{2*}, Kim, Daehee³, Heo, Wooyoung⁴, Lee, Hoikeun⁵, Park, Sanghyun⁶

¹Senior Researcher, Dept. of Fire Safety Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Hwaseong, 18544, Korea

²Professor, Dept. of Architectural Engineering, Dankook University, Yongin, 16980, Korea

³Ph.D. Candidate, Dept. of Architectural Engineering, Dankook University, Yongin, 16980, Korea

⁴Professional, Semiconductor Infra Laboratory(Construction Method Team), Samsung C&T, Seoul, 05288, Korea

⁵Professional(Group Leader), Construction Technology Group, Samsung C&T, Seoul, 05288, Korea

⁶Principal Engineer, Pyeongtaek Construction Project Group 1, Samsung Electronics Company, Pyeongtaek, 17786, Korea

Abstract - This study investigated analytically the fire resistance of the rectangular composite long columns with high-strength concrete of 60 MPa grade, steel H-shapes, and reinforcements, and enclosed by formwork steel plates. The column sections were designed to satisfy the minimum concrete cover thickness required by concrete design code. The finite element analysis results showed that, despite the 3-hour standard fire exposure, the temperature rise of the steel H-shapes placed in the center of the four sides was within the temperature range that can exert almost the same strength as room temperature. The temperature rise of the longitudinal reinforcements in the composite sections was also around 400 °C - 430 °C, which satisfy the criteria for fire resistance of reinforced concrete sections.

Keywords - Fire resistance, Composite long column, High-strength concrete, Finite element analysis, Standard fire exposure

1. 서론

최근 개발되고 있는 다양한 형태의 합성기둥 단면은 적용하고자 하는 건축물의 사용 목적이나 이와 연관된 여러 구조적 장점 및 시공상의 이점을 고려하여 설계되고 있다. 특히, 반도체공장과 같이 미세진동에 민감한

대경간 구조물에 사용되는 장대기둥에는 매우 높은 강도와 강성을 가진 합성기둥이 요구된다.

이러한 요구에 따라 60 MPa급의 고강도 콘크리트에 H형강을 매입하고 거푸집용 외부강판을 사용한 두 가지 형태의 복합장대기둥이 개발되었다. 즉, 일반 SRC기둥과 같이 기둥 단면 중앙에 H형강을 매입한 형태(LFC기둥)와 철근콘크리트 기둥단면의 일부 철근을 H형강으로 대체한 형태(S-LFC기둥)이다. 공통적으로 거푸집용 외부강판을 적용하기 위하여 팔각형태의 띠철근과 모서리에 U형 띠철근을 배근하였다(Figs. 1-2 참고).

합성기둥의 단면이 복잡해지고 구조적 성능에 기여하는 요소 외에 다양한 설계 요소들이 포함될 경우 관련 법령 및 기준에서 요구하는 기둥의 내화성능 검증이

Note.-Discussion open until February 29, 2024. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on March 22, 2023; revised on July 16, 2023; approved on July 17, 2023.

Copyright © 2023 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-31-8005-3748 Fax. +82-31-8021-7225

E-mail. kklee@dankook.ac.kr

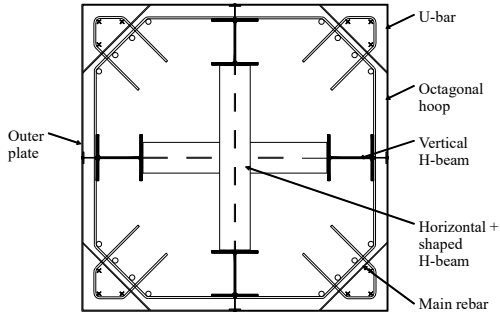


Fig. 1. S-LFC section

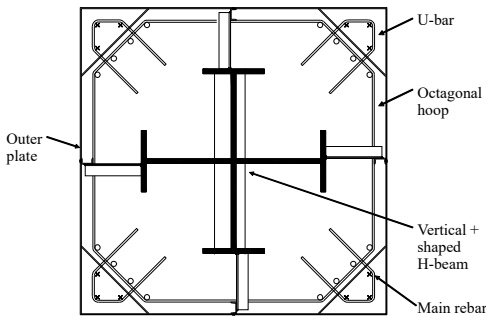


Fig. 2. LFC section

모호해질 수 있다. 개발된 합성기둥의 경우, 화재 발생 시 거푸집용 외부강판의 온도가 상승하여 내부 합성기둥의 강도저하에 영향을 미칠 수 있다. 또한, 외각강판을 기둥 단면 내부의 H형강과 연결하는 비구조 강재요소들의 효과에 대한 분석도 필요하다.

또한, 고강도 콘크리트를 사용하므로 구조성능 검증뿐만 아니라, 화재 시 발생할 수 있는 폭발현상을 방지할 수 있는 내화성능에 대한 검증이 필요하다^{[1][4]}. 다만, 고강도 콘크리트를 적용하고자 할 경우에는 국토교통부의 ‘고강도 콘크리트 내화성능 관리기준(국토교통부 고시, 2008)’^[5] 규정을 고려하여야 한다. 이 규정에서도 설계기준강도 50 MPa - 60 MPa 사이의 고강도 콘크리트에 대해서 반드시 시험성적서가 필요한 것은 아니며, 내화성능에 대한 구조기술사의 확인 및 서명을 통해 해당부재의 현장 적용을 허용하고 있다.

이 연구에서는 개발된 두 형태의 복합장대기둥을 대상으로, 구조적 성능에 기여하는 단면 내부 주요 강재요소(형강 및 주철근 등)의 온도변화량이 법과 제도에서 요구하는 내화성능(표준화재노출조건, 3시간 목표) 조건을 만족하는지 해석적으로 검토하였다. 또한, LFC 단면의 크기와 외부강판의 유·무에 따른 내화성능의 영향을 해석적으로 평가하였다.

2. 내화성능평가 단면

내화성능평가를 위하여 두 가지 형태의 복합장대기둥 단면인 S-LFC기둥과 LFC기둥의 단면을 계획하였다. 기둥 단면 크기는 실제 반도체 공장에 적용하는 대표적인 크기로 설정하였다. 또한, 단면크기 효과 및 매입된 H형강 크기 효과를 파악하기 위하여 LFC 기둥의 단면을 변수로 하였다. 이에 따라서 Fig. 3 - Fig. 7과 같이 4개의 기둥단면을 대상으로 내화성능평가를 수행하였다. 또한, 동일한 각 단면에 대하여 외부강판이 없는 경우도 해석을 수행하여 내화성능에 대한 외부강판 효과도 분석하였다.

해석단면의 구체적 상세는 다음과 같다. S-LFC-1600의 경우, 단면 크기는 1,600 mm × 1,600 mm이고, 외부강판 두께는 7 mm이다. 구조용 H형강(H-200×200×8×12)을 네 면에 배치하고, 모서리에 사선방향으로 HD35 주철근을 4개씩 배치하였다. 외각강판을 보강하기 위하여 단면상 모서리부 사선방향 대각강판이 기둥길이방향으로 400 mm의 띠철근 간격 사이마다 설치되며, HD35 주철근과 H형강을 둘러싸는 팔각형태의 띠철근(HD13)을 배치하였다. 단면상 모서리부 대각강판과 외각강판 사이에도 주철근 HD35 주철근을 3개씩 배치하였고, 기둥길이방향으로 대각강판 사이마다 3개의 주철근을 위한 U형 띠철근을 400 mm 간격으로 배치하였다. 비구조요소로는 H형강과 외각강판을 연결하는 T형강(T-75×75×5×7)을 설치하였으며, 기둥길이방향 4,000 mm 간격마다 4개의 H형강을 지지하는 십자형 수평 H형강을 배치하였다.

LFC-1200의 경우, 단면크기는 1,200 mm × 1,200 mm 이고, 외부강판 두께는 6 mm이다. 단면 중앙에 H형강(H-800×800×30×40)을 배치하였고, 모서리에 사선방향으로 HD35 주철근을 2개씩 배치하였다. 기타 상세는 S-LFC-1600과 동일하다. 다만, 비구조요소로 H형강과 외부강판을 연결하는 ㄱ형강(ㄱ-75×75×6)과 ㄷ형강(ㄷ-75×40×5×7)이 설치된다.

LFC-1500의 경우, 단면크기는 1,500 mm × 1,500 mm 이고, 외부강판 두께는 6 mm이다. 단면 중앙에 십자형 H형강(H-692×300×13×20)을 배치하였고, 모서리에 사선방향으로 HD35 주철근을 2개씩 배치하였다. 비구조요소를 포함한 기타 상세는 LFC-1200과 동일하다.

LFC-1800의 경우, 단면크기는 1,800 mm × 1,800 mm

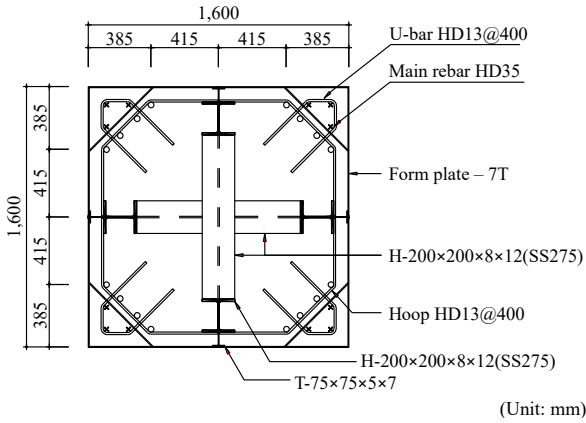


Fig. 3. S-LFC-1600

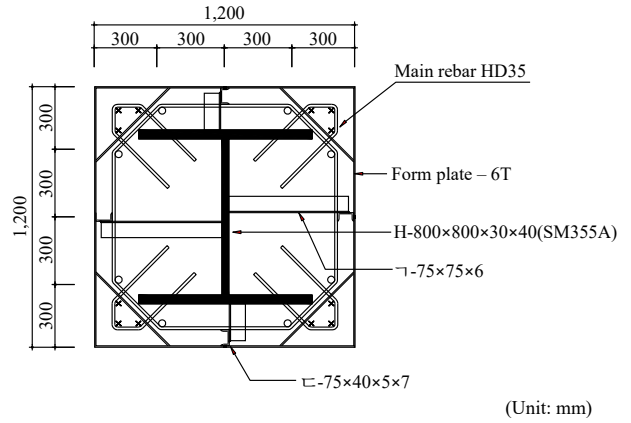


Fig. 4. LFC-1200

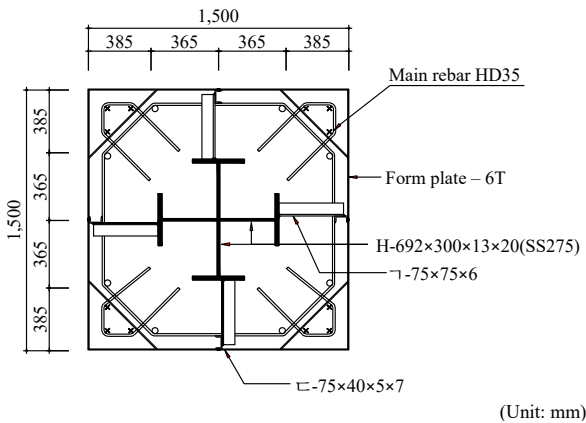


Fig. 5. LFC-1500

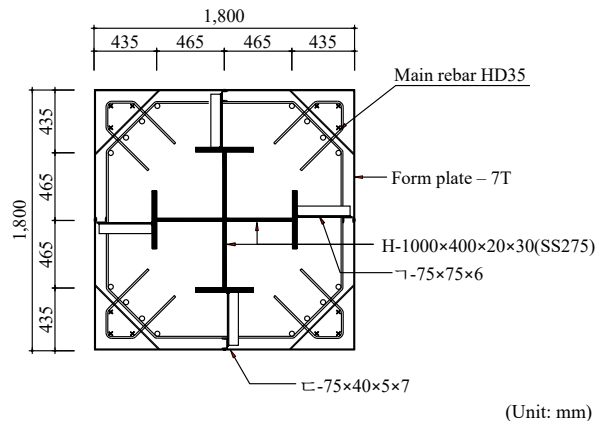


Fig. 6. LFC-1800

이고, 외부강판 두께는 7 mm이다. 단면 중앙에 십자형 H형강(H-1000×400×20×30)을 배치하였고, 모서리에 사선방향으로 HD35 주철근을 4개씩 배치하였다. 비구조 요소를 포함한 기타 상세는 LFC-1500과 동일하다.

모든 단면의 콘크리트 피복두께는 75 mm이다. 콘크리트 설계기준 압축강도는 60 MPa, H형강과 외부강판의 항복강도는 275 MPa, 주철근의 항복강도는 500 MPa이다.

3. 유한요소해석을 통한 내화성능평가

3.1 내화성능평가 방법

고강도 콘크리트를 적용한 건축물 기둥부재의 내화성능평가는 ‘고강도 콘크리트 내화성능 관리기준’^[5] 제4조에 제시되어 있다. 이에 따르면 KS F 2257-1(건축부재의 내화시험방법 일반요구사항, 2019)^[6]에서 제시하고 있는 식 (1)과 Fig. 7의 표준시간-가열온도곡선을 이용

하여 동(同) 고시 별표 2의 규정에 의한 시험을 실시한 결과, 시험체 모두 내화구조 성능기준에서 규정한 시간까지 주철근의 온도가 평균 538 °C, 최고 649 °C 이하여야 한다. 복합장대기둥에 대한 내화해석 연구에서의 화재곡선 및 성능평가기준은 이를 준용하였다.

$$T = 345 \log_{10}(8t + 1) + 20 \quad (1)$$

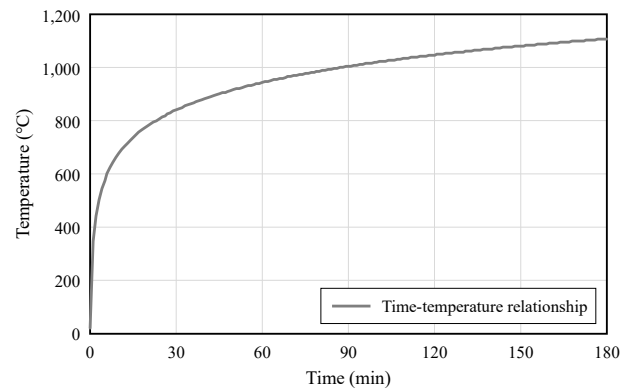


Fig. 7. Standard fire curve

3.2 해석모델

해석단면의 내화성능평가를 위해 ABAQUS(2020)^[7]의 열전달해석기능(heat transfer analysis)을 이용하였다. 해석모델은 대칭성을 고려하여 단면 중심을 기준으로 2분할하여 상부단면만을 모델링하였다. 단면 내 강재 및 콘크리트 요소를 실제와 같이 모사하였다. 다만, 코너부의 주철근은 등가 단면적의 각형 단면으로 치환하였다. S-LFC-1600, LFC-1800 단면의 경우 코너부에 철근이 7개씩 배치되어 있으나 피복두께가 더 큰 내부대각 2개는 최외단 철근들에 비해 온도상승이 작을 것으로 예상되어 제외하고, 모든 단면에 대해 코너부 철근은 5개로 통일하였다. 비구조요소인 내부강재의 경우 복잡한 형상에 비해 단순화하여 보수적으로 적용하였다. 즉, S-LFC의 경우 T형강 내부강재 직선화 및 외부강판과 일체화하였고, LFC의 경우 ㄱ형강 내부강재를 외부강판 내부면까지 연장하였다.

세부적인 모델링 기법에 있어서는 합성기둥 형태의 내화성능에 대한 선행 해석적 연구들을 참고하였다^{[8],[9]}. 강판, H형강, 내부철물, 철근, 콘크리트 모두 솔리드(solid) 열전달요소로 적용하였으며, 강재 및 콘크리트 요소의 고온 열적 특성값(밀도, 열전도율, 비열 등)에는 Eurocode 1(2002), Eurocode 2(2004), Eurocode 3(2005), Eurocode 4(2005)를 준용하였다^{[10]-[13]}. 특히 복합장대기둥에는 Table 1의 배합비에 의한 설계기준강도 60 MPa의 고강도 콘크리트가 적용된 것으로 고려하였는데, Eurocode 및 선행 연구자료들에 의하면 설계기준강도 60 MPa 전후까지의 폴리프로필렌 혼입 고강도 콘크리트의 경우 일반 콘크리트와 열적 특성의 차이가 유의미하지 않음을 감안하여 해석에 반영하였다.

합성기둥 형태에서 생기는 강재-콘크리트 경계면의 경우 계면열저항(thermal contact resistance)으로 인해 온도 저감이 발생한다. 계면열저항의 정도는 온도 외에도 (Fig. 8 참조) 접촉면의 평활도, 압력, 재료 물성 등으로부터 영향을 받기 때문에 일반적으로 실험결과에 의존

할 수밖에 없으나, 선행연구결과^{[14],[15]}를 참조하여 thermal joint conductance로 100 W/m²K을 적용하였다. 그 외 화재 시 복사 및 대류에 의한 입열조건을 위한 스테판-볼츠만 상수(σ)는 5.67×10⁻⁸ W/m²K⁴, 대류열전달계수(h)는 25 W/m²K, 방사율(ϵ)은 0.7을 적용하였다^{[10]-[13]}.

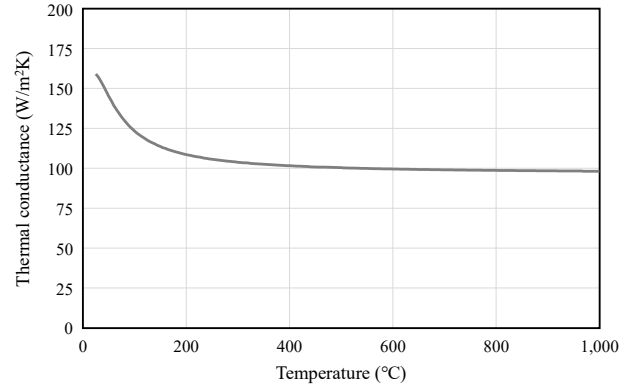


Fig. 8. Thermal joint conductance at the elevated temperatures^[14]

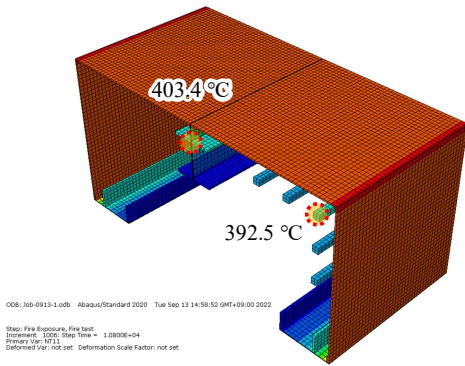
3.3 결과 분석

총 8종의 기둥 단면에 대한 3시간 표준화재노출 해석을 수행한 결과, 단면 내 강재요소의 온도변화 분포를 Fig. 9에 도시하였다(붉은색은 1,200 °C, 파란색은 0 °C). LFC기둥 콘크리트 내부에 있는 H형강 단면에서 비구조 연결재(T형강, ㄱ형강, ㄷ형강)가 위치한 부위가 다른 부위에 비해 국부적으로 열이 좀 더 전이되는 결과가 나타났다. 그러나, 비구조 연결재의 두께(5 mm - 7 mm)가 기둥 단면 전체 크기에 비해 미미하고 국소적으로만 배치되어 있기 때문에 내부의 구조내력에 기여하는 H형강의 온도상승은 거의 없었던 것으로 사료된다. S-LFC-1600에 배치된 H형강은 LFC기둥과 달리 외부강판에 가깝게 배치되어 있어 온도상승이 발생하였다. 비구조 연결재가 위치한 부위에서 국부적으로 보다 큰 온도상승이 발생하였으나, 다른 부위와의 차이는 미미한 것으로 나타났다.

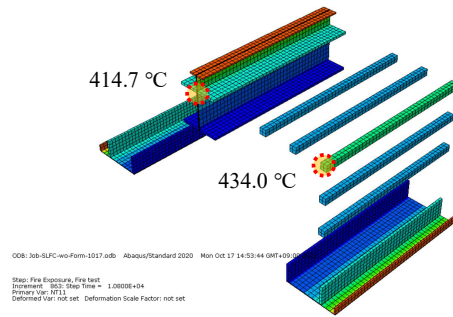
Table 1. Properties of concrete mix proportion (design basis strength = 60 MPa)

(Unit: kg/m³)

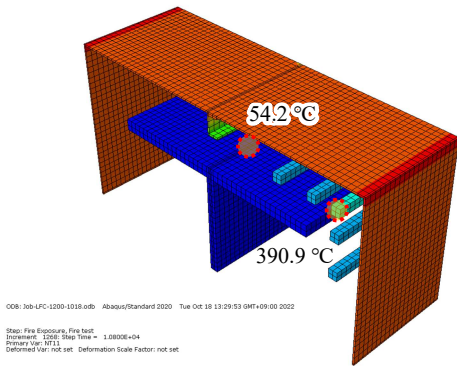
| Water | Cement | F/A | Slag | Coarse aggregate | Fine aggregate | AD1 (AE) | AD2 (water reduction agent) | Polypropylene |
|-------|--------|-----|------|------------------|----------------|----------|-----------------------------|---------------|
| 160 | 431 | 62 | 123 | 796 | 768 | 0.62 | 6.77 | 0.9 |



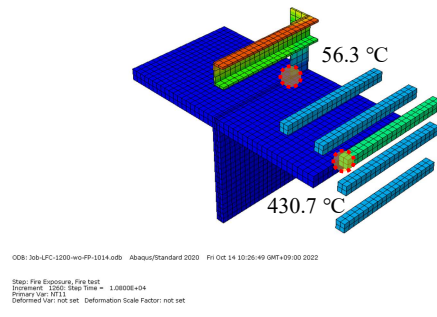
(a) S-LFC-1600-1 (with form plate)



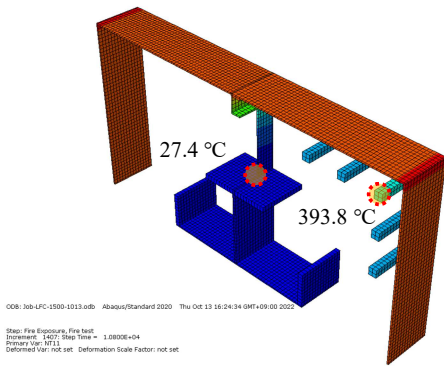
(b) S-LFC-1600-2 (without form plate)



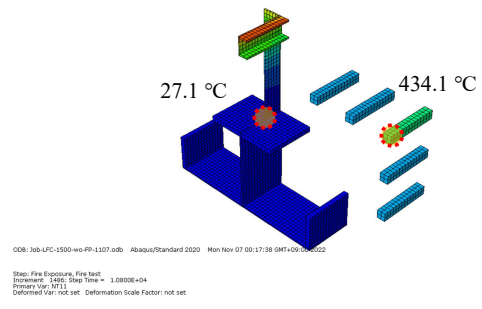
(c) LFC-1200-1 (with form plate)



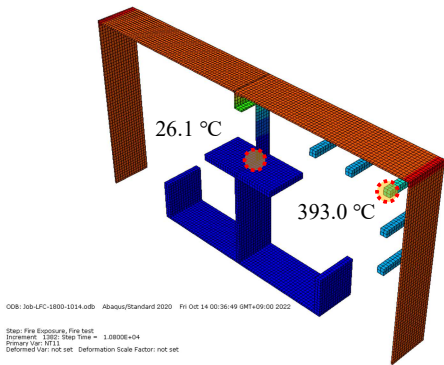
(d) LFC-1200-2 (without form plate)



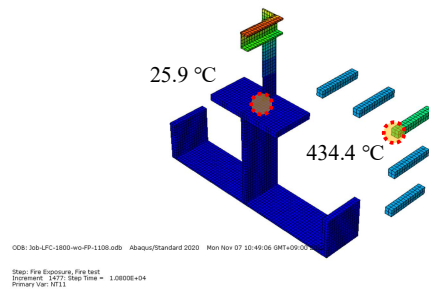
(e) LFC-1500-1 (with form plate)



(f) LFC-1500-2 (without form plate)



(g) LFC-1800-1 (with form plate)



(h) LFC-1800-2 (without form plate)

Fig. 9. Temperature distribution of composite column sections after 3-hour fire exposure

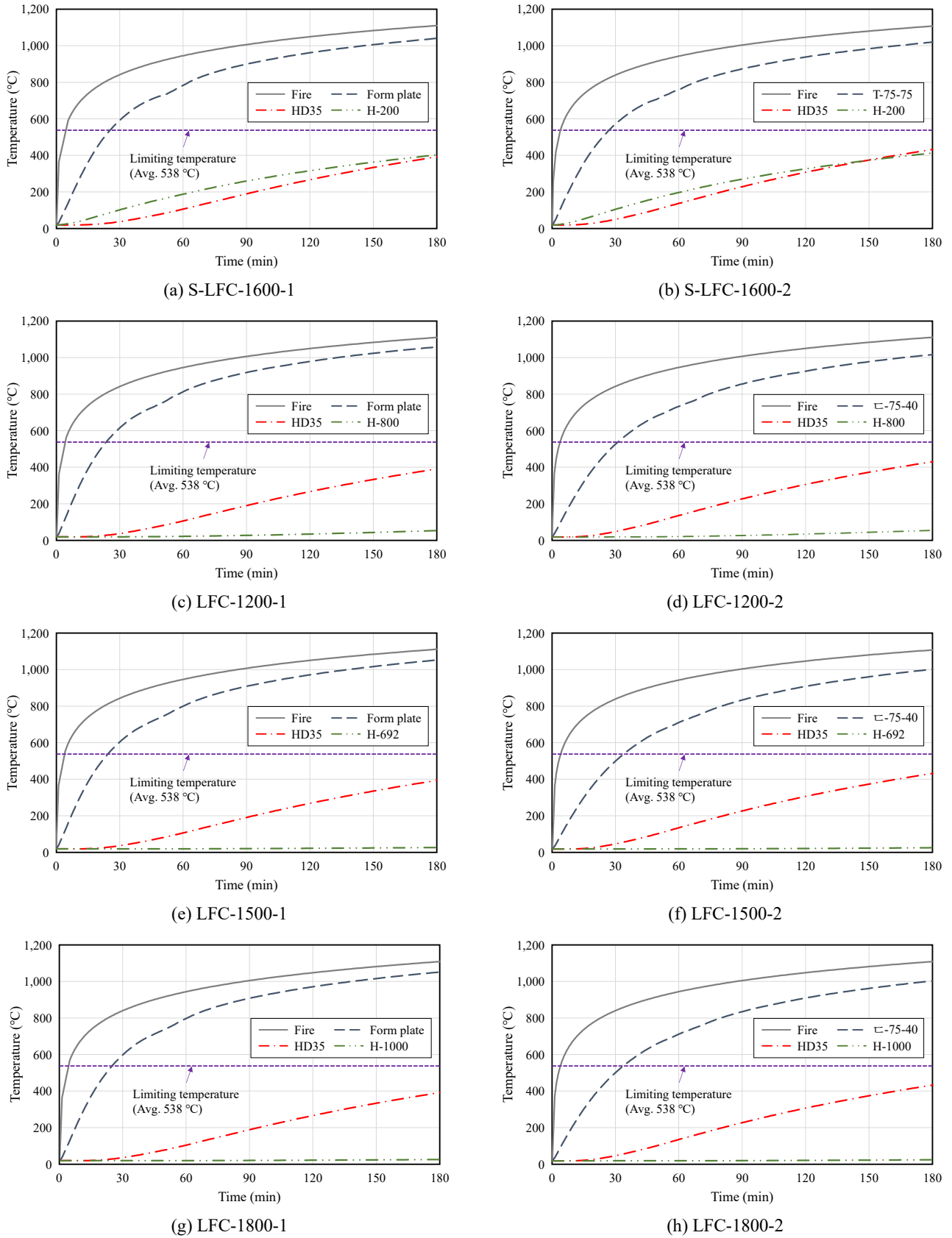


Fig 10. Temperature change distribution within section

Fig. 10은 기둥 단면 내 강재요소들의 시간에 따른 온도변화를 도시한 것이다. 고강도 콘크리트 내화성능 판리기준 및 KS F 2257-1에 제시된 온도변화 계측 위치 등을 감안한 주요 분석 지점은 다음과 같다.

- (1) 외부강판(form plate) 또는 외부강판이 없는 비구조연결재(T-75×75×5×7 or C-75×40×5×7)
- (2) 콘크리트 내부의 H형강 최외곽 지점
- (3) 모서리부 주철근 중에 가장 최외곽 모서리에 배치된 주철근

해석결과는 다음과 같다.

첫째, 외부강판 또는 외부강판이 없는 비구조 연결재의 표면온도가 3시간 화재노출 이후 1,000 °C 근처에 도달하거나 다소 상회함을 알 수 있다. 이는 외부강판의 경우 3시간 화재노출 시 구조적 내력에 기여하는 정도가 거의 없어짐을 의미하는 것이다. 그러나 외부강판의 존재는 오히려 내부의 H형강과 모서리부 주철근의 온도상승을 다소 늦추는 효과가 있는 것으로 나타났다 (Table 2 참고).

Table 2. Maximum temperature of H-shape steel and main rebar after 3-hour fire exposure (Unit: °C)

| Section | With form plate | | Without form plate | |
|------------|-----------------|------------|--------------------|------------|
| | H-shape steel | Main rebar | H-shape steel | Main rebar |
| S-LFC-1600 | 403.4 | 392.5 | 414.7 | 434.0 |
| LFC-1200 | 54.2 | 390.9 | 56.3 | 430.7 |
| LFC-1500 | 27.4 | 393.8 | 27.1 | 434.1 |
| LFC-1800 | 26.1 | 393.0 | 25.9 | 434.4 |

둘째, 단면 내 H형강의 온도변화를 살펴보면, S-LFC-1600의 경우 구조용 H형강이 외부면에 가깝게 배치됨으로 인해 H형강의 최외곽 플랜지 부위 온도가 400 °C - 420 °C까지 상승하였다. LFC-1200/1500/1800의 경우 중앙에 위치한 H형강 최외곽 플랜지 부위의 3시간 화재노출 후 최고온도는 외부강판의 유·무 여부와 관계없이 모두 100 °C 미만이었다. LFC기둥 중앙 H형강의 온도가 100 °C 미만이므로 H형강은 상온에서와 거의 동일한 성능을 발휘할 것으로 예상된다. 한편, 단면의 크기가 커짐에 따라 H형강의 3시간 후 최고온도가 저

감(54.2 °C/27.4 °C/26.1 °C)되는 것으로 나타났다. 이는 콘크리트 단면의 축열효과 등을 감안하면 합리적인 결과이다.

셋째, 3시간 화재노출 이후 모든 단면의 최외곽 모서리 주철근의 온도는 외부강판을 포함했을 때 390.9 °C - 393.8 °C, 외부강판을 제외했을 때 430.7 °C - 434.4 °C로 나타났다. 이는 내화성능 온도 기준인 한계온도(평균 온도 538 °C 및 최대온도 649 °C)에 비해 충분히 낮으며, 단면에 적용된 콘크리트 피복두께가 3시간 내화성능 달성에 유효함을 시사한다. 다만, 최외곽 모서리 주철근의 경우 두 방향에서 열이 유입되면서 다른 철근에 비해 상대적으로 온도상승이 크기 때문에 내화성능 확보를 위해 설계 및 시공 시 보다 주의해야 할 필요가 있을 것이다.

4. 결론

이 연구에서는 현행 설계기준에서 요구하는 콘크리트 피복두께를 충분히 적용한 복합장대기둥을 대상으로 하여 3시간 표준화재 노출 시 단면 내부 강재요소(형강 및 주철근 등)의 온도변화 수준이 성능기준을 만족하는지 해석적으로 검토하였다. 해석은 콘크리트 내부에 형강 및 주철근을 포함하고 있는 4종의 합성기둥 단면을 대상으로 하였으며, 콘크리트 외곽의 강판 포함 여부를 고려하여 총 8종의 기둥 단면을 해석하였다. 내화성능 평가에서는 화재노출 시 외부면으로의 입열 및 단면 내 열전달 등이 반영된 유한요소해석을 통하여 내부 형강 및 주철근의 온도변화를 평가하였으며, 결과를 요약하면 아래와 같다.

- (1) 외부강판의 온도는 3시간 화재노출 이후 1,000 °C에 육박하게 되며, 가열온도에 근접한다. 다만, 외부강판이 적용되면 내부 H형강이나 모서리부 주철근의 온도상승은 다소 지연되는 효과가 있다.
- (2) S-LFC-1600의 경우 외부면에 가깝게 배치된 H형강의 온도가 400 °C를 다소 상회하여 다른 단면에 비해 형강의 온도가 월등히 높았다. LFC-1200/1500/1800의 경우 중앙부 H형강의 최대온도가 외부강판의 유·무와 관계없이 모두 100 °C 미만이었다. 단면 중앙부에 배치된 형강의 경우

3시간 화재노출에도 불구하고 복합장대기둥의 큰 단면 크기 및 충분한 콘크리트 피복 효과로 인해 상온과 거의 동일한 수준의 내력을 발휘할 것으로 예상된다.

- (3) 3시간 화재노출 이후 모든 단면의 주철근 온도는 외부강판 포함 시 400 °C 미만이었고, 외부강판 제외 시 약 430 °C 내외였다. 이는 ‘고강도 콘크리트 내화성능 관리기준’에서 제시하고 있는 내화성능 기준온도(평균온도 538 °C 및 최대온도 649 °C)와 비교할 경우 평가기준을 충분히 만족하는 수준이었다.

감사의 글

이 연구는 삼성물산의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌(References)

- [1] Korea Concrete Institute (2005) *Fire Resistance of Reinforced Concrete Structures*, Kimoondang, Korea (in Korean).
- [2] Han, C.-G., Kim, S.-S., Kim, S.-S., and Pei, C.-C. (2008) Spalling Prevention of High Strength Concrete Due to Hybrid Organic Fiber and Different Lengths of Polypropylene Fibers, *Journal of the Architectural Institute of Korea - Structure & Construction*, AIK, Vol.24, No.2, pp.61-68 (in Korean).
- [3] Cho, K.-S., Kim, H.-Y., and Kim, H.-J. (2009) A Study on Fire Resistance and Spalling of HPC Beam with Fiber-Cocktail in ISO Fire Under Loading Condition, *Journal of Korean Institute of Fire Science and Engineering*, KIFSE, Vol.23, No.6, pp. 126-134 (in Korean).
- [4] Kim, D.-J., Kang, S.-G., Kwon, Y.-J., Lee, J.-Y., and Kazunori, H. (2012) An Experiment Study on the Thermal Properties of High Strength Concrete Exposed to High Temperature, *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, KOSHAM, Vol.12, No.6, pp.87-92 (in Korean).
- [5] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2008) *Management Standard for Fire Resistance Performance of High Strength Concrete (MLTM Notice No. 2008-334)*, MLTM, Korea, pp.1-8 (in Korean).
- [6] 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).
- [7] Dassault Systèmes Simulia Corp. (2020) *Abaqus Analysis User's Manual*, DSS, USA.
- [8] Ahn, J.K., and Lee, C.H. (2014) Evaluation of Fire Resistance of Unprotected Concrete-Filled Rectangular Steel Tubular Columns Under Axial Loading, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.26, No.4, pp.323-334 (in Korean).
- [9] Kim, S.H., Yom, K.S., Kim, Y.H., and Choi, S.M. (2016) Analysis Study on Fire Performance with Internal Anchored Concrete Filled Steel Tube Columns According to Percent of Steel-Fibers, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 28, No.1, pp.23-34 (in Korean).
- [10] European Committee for Standardization (2002) *Eurocode 1: Actions on Structures, Part 1-2: General Actions - Actions on Structures Exposed to Fire (EN 1991-1-2: 2002)*, Belgium.
- [11] European Committee for Standardization (2004) *Eurocode 2: Design of Steel Structures, Part 1-2: General Rules - Structural Fire Design (EN 1992-1-2: 2004)*, Belgium.
- [12] European Committee for Standardization (2005) *Eurocode 3: Design of Steel Structures, Part 1.2: General Rules - Structural Fire Design (EN 1993-1-2: 2005)*, Belgium.
- [13] European Committee for Standardization (2005) *Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures, Part 1-2: General Rules - Structural Fire Design (EN 1994-1-2: 2005)*, Belgium.
- [14] Ghojel, J. (2004) Experimental and Analytical Technique for Estimating Interface Thermal Conductance in Composite Structural Elements Under Simulated Fire Conditions, *Experimental Thermal and Fluid Science*, Elsevier, Vol.28, No.4, pp.347-354.
- [15] Ding, J., and Wang, Y.C. (2008) Realistic Modeling of Thermal and Structural Behavior of Unprotected Concrete Filled Tubular Columns in Fire, *Journal of Constructional Steel Research*, Elsevier, Vol.64, No. 10, pp.1086-1102.

요 약: 이 연구에서는 60 MPa급 고강도 콘크리트, 강재 H형강과 철근으로 구성되고 거푸집용 강판으로 둘러싸인 사각형 복합장 대기둥의 내화성을 해석적으로 분석하였다. 기둥단면은 콘크리트설계기준에서 요구하는 철근콘크리트 단면의 최소 피복두께를 만족하도록 설계되었다. 유한요소해석 결과, 3시간의 표준화재 노출에도 불구하고, 네 변의 중앙에 배치된 강재 H형강의 온도상승은 상온과 거의 동일한 강도를 발휘할 수 있는 온도 범위 이내로 나타났다. 또한 합성단면의 길이방향 철근의 온도상승도 400 °C - 430 °C 정도로 나타나, 철근콘크리트 단면의 내화성에 대한 기준을 충족할 것으로 기대된다.

핵심용어: 내화성능, 복합장대기둥, 고강도 콘크리트, 유한요소해석, 표준화재노출
