

화재 시험시 내화 피복재 두께가 주철근의 온도에 미치는 영향

The Effect of Thickness of Sprayed Fireproofing on Temperature of Main Bars under Fire Test

박찬규* 이승훈** 김규동* 김규용*
Park, Chan Kyu Lee, Seung Hoon Kim, Gyu Dong Kim, Gyu Yong

ABSTRACT

In this study, the effect of thickness of sprayed fireproofing on temperature of main bars under fire test was investigated for high strength concrete member(column) prevented the spalling. The thicknesses of sprayed fireproofing were 0, 10, 20 and 30mm. Test was carried out according to ISO-KS standard temperature-time curve during 3hrs.

Based on temperature results of main bars after 3hrs, it appears that the temperatures of the main coner bar are about 400°C and 500°C, when the thicknesses of sprayed fireproofing are 5mm and 2mm, respectively.

1. 서 론

최근 일본에서는 철근콘크리트 부재에 대한 내화성능 인증제도를 실시하고 있다. 철근 콘크리트 부재에 대한 내화성능 판정 방법으로는 가열과 재하에 따른 변형량과 변형속도 기준에 근거하는 것과 재하하지 않고 가열 시험만을 실시하는 경우 강재의 온도에 의한 것이 있다[1]. 비가력 가열 시험에 의한 경우 강재의 온도는 시험 종료까지 500°C를 초과하지 않는 시간을 내화 시간으로 정하고 있다.

이에 본 연구에서는 ISO-KS 가열 곡선에 따른 고강도 콘크리트 부재(기둥) 내 주철근의 온도와 뿔철 내화 피복재와 상관 관계를 규명하고, 이 관계를 바탕으로 주철근의 온도가 500°C를 넘지 않는 최적 내화 피복재 두께를 파악하고자 하였다.

2. 내화 피복재 설치 시험체에 대한 가열 실험

2.1 시험체 계획

콘크리트 시험체는 그림 1에 나타낸 바와 같이 500mm×500mm×800mm로 비교적 대단면을 가지도록 설계를 하였다. 주철근은 8D25로, 띠철근은 D10으로 배근하였다. 그리고 순피복은 40mm로 설계를 하였다. 단면 내 각 위치에서 온도를 측정하기 위하여 총 5개의 센서를 설치하였으며, 이 중 2개는 주철근에 직경 2mm의 구멍을 뚫어 온도 감지 부분이 가능한 주철근의 중심부에 위치하도록 하였다. 온도센서 직경은 1.6mm이고, 온도감지부분은 센서 끝에서 4mm에 해당한다.

*정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술본부 기술연구소 선임연구원

**정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술본부 기술연구소 수석연구원

2.2 실험변수

내화 피복재 두께에 따른 주철근의 온도 변화를 파악하기 위하여, 내화 피복재로는 필라이트계 제품을 사용하였다. 실험 변수로서 내화 피복재의 두께를 0, 10, 20, 30mm로서 선택하였다. 피복재는 측면에만 설치하였고, 상면과 하면에는 설치하지 않았다. 그리고 콘크리트 배합비는 표 1에 나타난 바와 같으며, 폭열 방지를 위하여 PP섬유(길이 6mm, 직경 46 μ m)를 0.2vol.% 혼입하였다.

2.3 비가력 내화 실험

콘크리트 부재는 콘크리트 타설 후 기건 양생을 실시하였으며, 재령 18일 경과 후 뿔칠 내화 피복재를 설치하였다. 그리고, 재령 35일이 경과한 시점에 비가력 가열 시험을 실시하였으며, 이 때의 압축강도는 80.8MPa이었다. 비가력 내화 시험 시 콘크리트 부재 하면에는 암면 시트 50mm 1장을 깔았고, 상면에는 2장을 덮어 뿔 안의 열이 가능한 측면으로 유입되도록 하였다. 뿔 안의 가열 온도는 ISO-KS 규격의 가열 곡선에 맞추었으며, 3시간 동안의 실제 가열온도는 그림 2와 같다.

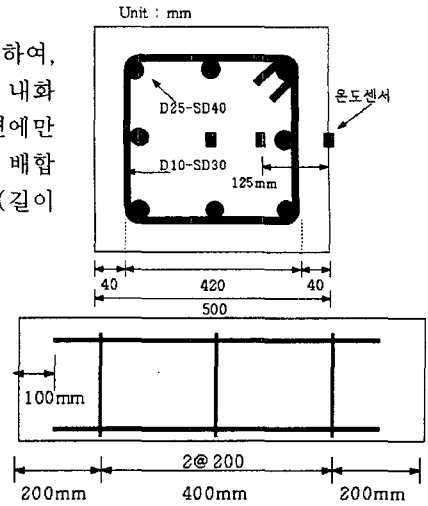


그림 1 시험체 상세

표 1 콘크리트 배합비

W/B (%)	S/a (%)	unit weight(kg/m ³)						SP (%)
		W	C	SF	FA	S	G	
25	42	165	515	46	99	629	878	2.0

3. 결과 분석

3.1 내화 피복 두께별 단면 온도 분포

내화 피복 두께가 0, 10mm인 경우의 단면 내 온도분포를 시간대 별로 나타내면, 그림 3에 나타난 바와 같다. 그림 3에서 알 수 있는 바와 같이 대체적으로 표면에서 주근까지 온도가 급격하게 변화하고, 표면에서 125mm부터 중심부까지는 거의 온도가 일정한 것으로 나타났으며, 3시간 가열 후 온도도 200 $^{\circ}$ C 이하를 나타냈다. 그 결과 단면이 커질수록 200 $^{\circ}$ C 이하의 상대적인 건전부위의 비율이 높아지므로, 단면이 큰 부재일수록 더 나은 내화성능을 가질 것으로 판단된다.

3.2 내화 피복 두께에 따른 각 위치에서의 온도 이력

그림 4는 내화 피복재 두께에 따른 각 지점별 온도 이력 곡선을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 콘크리트 표면에 10mm의 내화 피복을 설치하면, 콘크리트 표면 및 주근의 온도가 급격하게 감

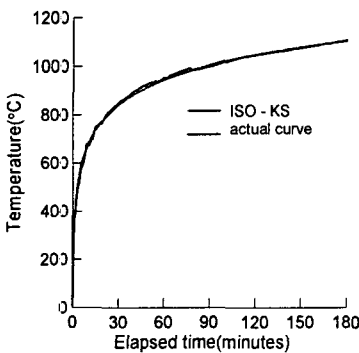
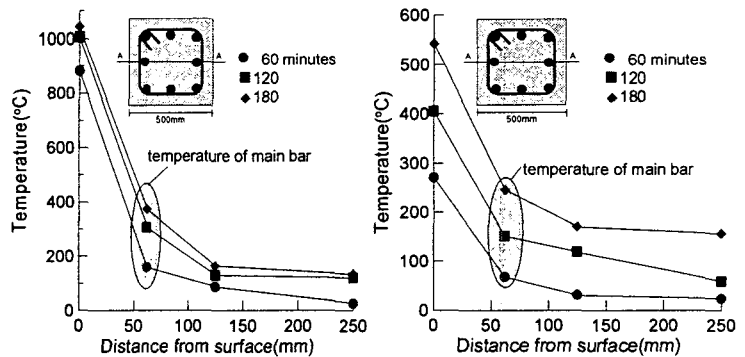


그림 2 표준가열곡선과 실제곡선과의 비교



(a) 내화피복 두께 0mm

(b) 내화피복 두께 10mm

그림 3 내화피복 두께에 따른 단면 내 온도 분포

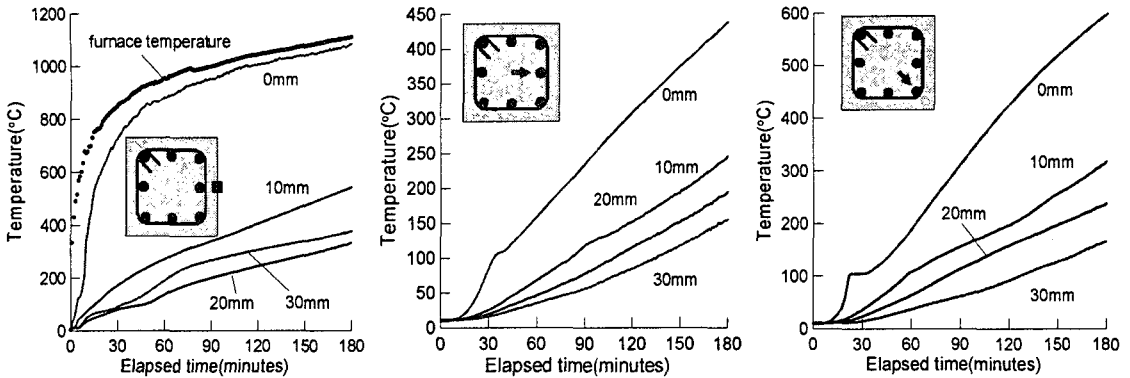


그림 4 각 위치별 온도 이력 곡선

소하는 것으로 나타났다. 그리고 내화 피복을 설치하지 않은 경우에, 3시간 경과 후 모서리 사이 주근은 500°C를 넘지 않는 반면, 모서리 주근은 약 600°C까지 온도가 증가하는 것으로 나타났다.

3.3 최적 내화 피복 두께의 산정

내화 피복재 두께에 따른 모서리 주근의 온도는 0mm일 때, 598°C, 10mm일 때 317°C, 20mm일 때 238°C, 30mm일 때 166°C로 나타나 콘크리트 표면에 내화 피복재를 10mm만 설치하여도 주근의 온도가 500°C 이하로 감소함을 알 수 있다. 본 연구에서는 모서리 주근의 온도 500°C를 만족시키는 최적의 내화 피복 두께를 산정하기 위하여 외기대류계수(air convection coefficient)라는 변수를 도입하였다. 이는 콘크리트 내부의 철근의 온도는 콘크리트 표면 또는 피복재 표면에서 일어나는 대류 계수의 함수이기 때문이다. 피복재를 고려한 콘크리트의 외기대류계수는 식 (1)에 나타난 바와 같이 정의된다. 식 (1)에서 12라는 값은 풍속이 2~3m/sec일 때에 해당하는 값인데, 爐 내의 정확한 풍속을 산정하기 어렵기 때문에 본 연구에서는 12라는 값을 그대로 사용하였다.

$$h_a = \frac{1}{1/12 + \sum \frac{d_i}{\lambda_i}} \text{ (kcal/m}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{hr)} \quad (1)$$

여기서, d_i 는 피복재의 두께, λ_i 는 피복재의 열전도율을 나타낸다. 본 연구에서 피복재의 열전도율을 측정하지 않았기 때문에, 비슷한 재질인 뿔철 양면의 열전도율인 0.04kcal/(m°C hr)를 사용하였다. 3시간 가열후 모서리 주근의 온도와 식(1)로 계산된 외기대류계수와와의 관계는 그림 5에 나타난 바와 같으며, 최적의 회귀 분석식은 식 (2)에 나타낸바와 같다.

$$T(\text{°C}) = 223.5(h_a - 0.75)^{0.4} + 10 \quad (2)$$

여기서, h_a 는 외기대류계수이다. 식 (2)에 근거하여 모서리 주근의 온도가 500°C에 해당하는 내화 피복재 두께를 산정하면 약 2mm이며, 안전율을 고려하여 400°C에 해당하는 두께는 5mm 정도가 된다.

3.4 코아 강도 측정 및 조직 검사

시험체 내 각 위치의 온도에 따른 콘크리트의 강도를 파악하기 위하여 코아를 채취하여 압축강도 시험을 실시하였다. 또한 콘크리트 내 섬유 거동을 파악하기 위하여 정해진 위치에서 샘플을 채취하여 조직을 살펴보았다. 코아의 측정 위치는 단면 중심부 및 표면에서 125mm 떨어진 지점이며, 코아의 크기는 ψ 75×150mm이다. 그림 6은 온도에 따른 코아 공시체의 상대적인 강도 변화를 나타낸 것이다. 이 때 기준

강도는 $\psi 100 \times 200 \text{mm}$ 로서 20°C 에서 수중 양생을 시킨 공시체 값을 사용하였다. 그림에 나타낸 바와 같이 온도가 증가함에 따라 콘크리트 압축강도는 점진적으로 감소하는 것으로 나타났으며, 약 200°C 에서 80%의 강도 수준을 나타냈다.

사진 1은 내화 피복 두께 10mm의 경우에 각 위치에서 SEM 사진을 찍은 것이다. 사진에서 알 수 있는 바와 같이 온도 변화에 따른 섬유는 매우

다른 형태를 나타냈는데, 섬유가 녹기 전에는 완전한 섬유의 형태가 나타나지만, 섬유가 녹은 후에는 빈 공간이 형성되어 있음을 알 수 있다. 섬유가 녹은 위치의 온도가 정확히 171°C 라고 정의하기 어렵지만, 측정된 주근의 온도 246°C 보다 낮다고 판단된다. 그리고 통상 PP섬유는 250°C 부터 질량 손실이 발생하기 때문에 이 때부터 상당한 속도로 섬유가 없어진다고 판단된다. 그런데 사진에서 알 수 있듯이 거의 섬유가 남아있지 않는 것으로 나타났다. 이는 섬유가 어떤 경로를 통하여 빠져나갔음을 의미하는데, 기존의 이론과 같이 주위의 매트릭스로 흡수가 되었다고 판단된다.

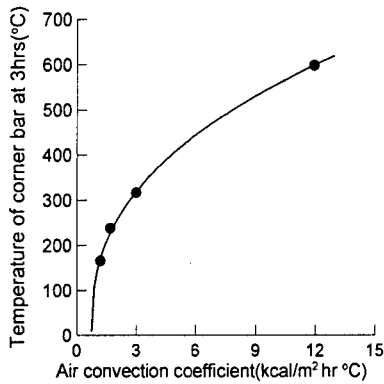


그림 5 외기대류계수와 온도와의 관계

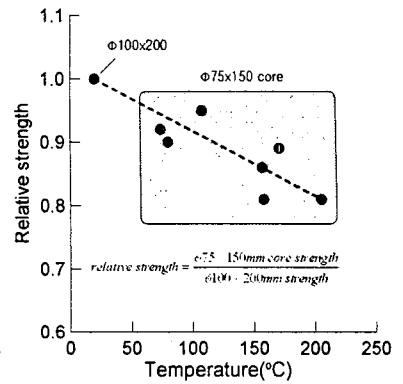
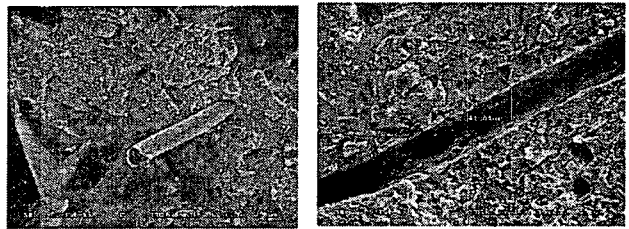


그림 6 코아 압축강도



(a) 온도 157°C 부근 (b) 온도 171°C 부근
사진 1 온도변화에 따른 섬유의 형태 변화

4. 결론

본 연구에서는 ISO-KS 가열 곡선에 따라 내화 피복재가 설치된 기둥 부재에 대하여 3시간 가열 실험을 실시하였으며, 이로부터 도출된 결과는 다음과 같다.

- (1) 3시간 가열 후 주근 온도는 내화 피복재가 없을 경우, 모서리에 위치한 철근은 약 600°C 에 이르는 것으로 나타났으나, 모서리 사이 중앙에 위치한 철근은 500°C 이하인 것으로 나타났다.
- (2) 3시간 가열에서 모서리 주근의 온도가 500°C 에 해당하는 내화 피복재의 두께는 2mm 정도이며, 안전율을 고려하여 400°C 에 해당하는 두께는 5mm 정도인 것으로 나타났다.

참고문헌

1. (재) 일본건축총합시험소, “방내화성능시험·평가업무방법서,” 2003, 38pp.