

콘크리트충전 강관기둥의 내화실험에 대한 고찰

-재하가열실험후의 강관 및 콘크리트 화재손상평가를 중심으로-

Evaluation on Fire Test for the Concrete Filled Steel Tube Column
- Fire Damage Evaluation on Steel Tube and Concrete after a Fire Test -

박 기 창¹⁾ · 최 성 모²⁾ · 김 동 규³⁾

Park, Ki-Chang Choi, Sung-Mo Kim, Dong-Kyu

요 약 : 본 연구는 화재발생후에 시간경과에 따른 콘크리트충전 강관기둥의 내력변화를 파악하고 인장강도시험을 통해 내화실험이전과 후의 항복강도, 인장강도, 평균연신율 및 탄성계수 등에 대하여 각 단계별 하중에 따른 변형률을 비교측정하였다. 화재를 입은 강관내의 충전콘크리트의 물성변화(압축강도 및 탄성계수시험)를 파악하기 위하여 화재실험후 강관중심부에서 코아시험체를 채취하여 압축강도를 측정하고 탄성계수의 측정은 응력에 의한 변형률을 측정하였으며, 대상실험체의 화재온도를 추정하기 위하여 시차열분석을 실시하였다. 이러한 실험결과로부터 얻어진 자료를 평가하여, 향후 콘크리트 충전강관의 내화설계 구조규준제정에 필요한 기초자료를 제시하는데 그 목적이 있다.

ABSTRACT : In this study, the time dependent internal stress changes of a Concrete Filled Steel Tube(CFT) column during a fire test were quantitatively analyzed. The strain ratio of a CFT column on the different loads was measured by tensile strength tests in terms of yield strength, tensile strength average extensibility and elasticity modulus. To understand the internal material properties' change of concrete in CFT column damaged due to a fire, the compressive strength and elastic modulus tests were measured on a core sample from the center of the steel tube after the fire test. The elastic modulus test measured the strain from the stress. To determine the fire temperature of the test material, a differential thermal analysis was done. From the tested result, the gained data were conducted and an analysis method was suggested. The purpose of this work is to suggest a basic data for structure regulation enactments of the internal fire design of CFT.

핵심용어 : 내화성능, 콘크리트충전 강관기둥, 내력, 시차열분석, 재하가열실험, 할선탄성 계수

KEYWORDS : Fire Resistance, CFT column, Load Capacity, Differential Thermal Analysis, Fire Load Test, Secant Modulus of Elasticity

1) 정회원, 서울시립대 건축공학과 박사수료
2) 정회원, 경민대 건축과 조교수, 공학박사
3) 정회원, 서울시립대 건축공학과 교수, 공학박사

본 논문에 대한 토의를 2001년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

최근에는 충전강관 구조시스템의 구조적 우수성에 주목하여 국내의 초대형 건설프로젝트에서 콘크리트 충전형 구조시스템의 적용을 검토하는 움직임이 보이고 있으나 관련기술의 부족 등으로 상당한 어려움을 겪고 있는 실정이며 많은 건설기술자 및 연구자들에 의한 강관콘크리트 구조시스템에 대한 체계적인 기술개발이 절대적으로 필요하다.

콘크리트충전 강관기둥은 강관 속에 충전된 콘크리트의 축열효과로 인하여 내화 피복 없이도 기둥자체만으로 일정한 내화성능을 갖고 있다고 평가되어 왔다.

그러나, 콘크리트충전 강관기둥에 대한 내화성능을 정량적으로 평가하는 방법이나 기준들이 마련되지 않아 내재하고 있는 내화성능을 충분히 활용치 못하고 있는 상황이다. 이러한 문제를 해결하는 데는 한계가 있으나 국내에서는 이에 대한 연구개발이 거의 이루어지지 못하고 있는 바, 이에 대한 보다 활발한 연구가 요구되고 있다.

본 연구는 이러한 국내건설환경이 배경이 되어 충전강관기둥의 내화성능을 규명하고 내화피복의 필요유무와 충전강관의 가열실험후의 온도변화에 대하여 내화성능실험을 실시하였으며, 실험후의 강관과 콘크리트의 물성 변화를 소재의 인장실험 및 시차열 분석을 통하여 측정하여 화재후의 재료의 재료특성의 변화를 규명하였다. 이는 효율적인 충전강관 기둥부재의 설계식을 제시하는 기초자료로 활용하고자 본 논문을 작성하게 되었다.

본 논문의 연구범위와 방법은 다음과 같다.

첫째, 충전강관 기둥의 재하가열실험은 화재시의 충전강관기둥의 거동파악 및 내력변화를 파악하여 충전강관기둥의 내화성능을 실험적으로 규명하는데 목적이 있다. 실험은 국내장비로 내화실험이 가능한 크기의 실험체를 선정하였으며, 실험체 결정은 일본 CFT규준 및 열용량해석을 통해 검증하고, 실험장치, 실험과정 및 평가기준 등 실험

방법은 KS F 2257 및 ISO 834-1에 따라 1시간 또는 2시간의 재하가열실험을 실시하여 각 실험체의 내화성능을 조사하였다.

둘째, 소재실험에서 재하가열 실험후의 화재손상평가에 대해서 충전강관은 내화실험이전의 원형강관기둥의 항복강도, 인장강도·평균연신을 및 탄성계수 등에 대하여 재하 가열 실험 후에 다른 강관의 내력변화를 파악하고, 화재를 입은 충전강관 속의 콘크리트에 대한 물성변화(콘크리트의 압축강도 및 탄성계수시험)를 측정하여 대상 실험체의 화상온도를 분석하고 시차열 분석시험을 통해 재료특성을 규명하였다.

2. 충전강관기둥의 재하가열실험

2.1 실험계획

화재시의 충전강관기둥의 거동파악 및 충전콘크리트의 내력변화를 파악하여 충전강관기둥의 내화성능을 실험적으로 규명하는데 목적이 있으며 CFT기둥의 내화성능은 주로 충전콘크리트에 의하여 결정되므로, 중심축력은 아래의 식과 같이 상온시 콘크리트만의 최대내력에 대한 축력비로 하여 표 2.1의 실험체일람에서 보는 바와 같이 실험체에 가하였다.

$$P_a = \beta \cdot A_c \cdot f_{ck}$$

$$P_a : \text{중심축력(tf)}$$

$$\beta : \text{축력비}$$

$$A_c : \text{콘크리트 단면적(cm}^2\text{)}$$

$$f_{ck} : \text{콘크리트 설계기준강도(kgf/cm}^2\text{)}$$

2.2. 실험방법

2.2.1 실험장치

실험장치는 기둥용 가열로이며, 재하장치는 300tf의 재하능력을 가진 압축시험기가 설치되었다.

표 1. 실험체 일람

| 실험체명 | 단면(mm) | Conc.강도 (kgf/cm ²) | 축력비 (β) | 축력비 (γ) | 축력 (ton) | 내화시간 (hour) | 기둥길이 (m) | 유효가열 길이(m) |
|------------------------------------|-------------|--------------------------------|---------|---------|----------|-------------|----------|------------|
| C1LA1,2 C1LB C1HA | φ-318.5×7.0 | 240 | 0.55 | 0.31 | 96.00 | 1 | 3.5 | 3.0 |
| 240 | | 0.45 | 0.25 | 78.65 | 2 | | | |
| 360 | | 0.60 | 0.41 | 157.30 | 1 | | | |
| C2LA1,2 C2LB C2HA C2HB1,2 | φ-406.4×9.0 | 240 | 0.60 | 0.33 | 170.61 | 1 | 3.5 | 3.2 |
| 240 | | 0.45 | 0.25 | 127.96 | 2 | | | |
| 360 | | 0.60 | 0.40 | 255.92 | 1 | | | |
| 360 | | 0.40 | 0.27 | 171.00 | 2 | | | |
| S1LC1,2 S1LD S1HC | □-300×9.0 | 240 | 0.45 | 0.21 | 86.00 | 1 | 3.5 | 3.0 |
| 240 | | 0.40 | 0.18 | 76.34 | 2 | | | |
| 360 | | 0.50 | 0.29 | 143.14 | 1 | | | |
| S2LC1,2 S2LD S2HC S2HD1,2 | □-350×9.0 | 240 | 0.50 | 0.25 | 132.27 | 1 | 3.5 | 3.0 |
| 240 | | 0.40 | 0.20 | 105.82 | 2 | | | |
| 360 | | 0.50 | 0.31 | 198.40 | 1 | | | |
| 360 | | 0.40 | 0.25 | 158.72 | 2 | | | |

주) 실험체명 : 단면형상 - 강관직경 - 콘크리트강도 - 내화시간

- 단면형상 (C: 원형, S: 각형)
- 강관직경 (1: φ318.5 or □300, 2: φ406.4 or □350)
- 콘크리트강도 (L: 240, H: 360)
- 내화시간 (A, C: 1시간, B, D: 2시간)
- γ : CFT기둥의 상온시 소성내력에 대한 축력비

변형량 측정장치로, 수직변형량은 자동변위계 (Linear Type)의 데이터 값을 컴퓨터에 의해 자동으로 기록되며, 수평변형량은 실험체 중간지점에 자기질 로드를 설치하여 수동으로 실험 시작시 및 종료시에 측정하였다.

2.3 내화실험결과

2.3.1 콘크리트충전 원형강관기둥

콘크리트 강도가 240kgf/cm²인 경우, 축력비가 0.55~0.60이면 내화시간은 60분 이상이며, 0.45인 경우는 120분 이상이나, 강도가 360kgf/cm²인 경우는 축력비가 0.60에 내화시간은 30분 정도로 크게 감소하며, 축력비가 0.40인 경우도 90분 정도 나타났다. 따라서, 콘크리트 강도 증감에 대하여 내화성능은 역비례 관계가 나타남을 알 수 있다.

강관의 직경에 대한 내화성능에 대해서는 수평방향의 변형에 의한 영향으로 뚜렷한 경향은 없지만, 대체적으로 직경이 클수록 축력비 증가에

대해 내화시간이 원만하게 감소하여 내화성능이 우수함을 유추할 수 있다

2.3.2 콘크리트충전 각형강관기둥

콘크리트 강도가 240kgf/cm²이고 □-300×9인 경우, 축력비가 0.40이면 내화시간은 130분이며, 0.45에서는 80분이고 0.50에서는 44분으로 나타났으며, □-350×9인 경우, 축력비가 0.40이면 내화시간은 140~160분이고 0.50에서는 80~108분으로 직경이 작은 것에 비하여 내화시간이 길어 원형강관에 비하여 뚜렷하게 내화성이 우수함을 알 수 있다.

따라서, 강관직경이 크면 콘크리트의 열적특성에 의하여 화재 발생 후에도 단면의 전체에 온도 상승이 작게 나타나기 때문에 내화성능에서 우수하게 나타남을 알 수 있다

□-350×9이고 콘크리트 강도가 240kgf/cm²인 경우, 축력비가 0.40이면 내화시간은 160분이고 0.50인 경우는 80분 정도이며, 강도가 360kgf/cm²인 경우는 축력비가 0.40의 내화시간은 140분

표 2. 내화실험결과표

| 시험체명 | 축력비 | 기준 내화시간 | 내화실험 시간(분) | 허용 수축량(mm) | 최대측정값 | | |
|-------|------|------------|---------------|---------------|-------------|---------------|---------------|
| | | | | | 연신량 (mm) | 강재 평균온도(℃) | 수평 변형량(mm) |
| C1LA1 | 0.55 | 60 | 80 | 30 | 10.6 | 934 | 12 |
| C1LA2 | | 60 | 80 | 30 | 10.3 | 918 | 10 |
| C1LB | 0.45 | 60 | 150 | 25 | 11.8 | 843 | 7 |
| C2LA1 | 0.60 | 120 | 80 | 32 | 11.5 | 942 | 10 |
| C2LA2 | | 120 | 59 | 32 | 10.8 | 849 | 15 |
| C2LB | 0.45 | 120 | 120 | 32 | 14.5 | 954 | 12 |
| C2HA | 0.60 | 120 | 47 | 32 | 4.3 | 844 | 15 |
| C2HB1 | 0.40 | 120 | 88 | 32 | 10.6 | 979 | 5 |
| C2HB2 | | 120 | 108 | 32 | 12.0 | 982 | 8 |
| S1LC1 | 0.45 | 60 | 80 | 30 | 17.7 | 911 | 5 |
| S1LC2 | | 60 | 80 | 30 | 17.0 | 919 | 20 |
| S1LD | 0.40 | 60 | 130 | 24 | 15.4 | 879 | 7 |
| S1HC | 0.50 | 60 | 44 | 24 | 9.0 | 800 | 20 |
| S2LC1 | 0.50 | 120 | 80 | 30 | 17.4 | 917 | 25 |
| S2LC2 | | 120 | 80 | 30 | 17.5 | 924 | 50 |
| S2LD | 0.40 | 120 | 160 | 28 | 17.5 | 913 | 7 |
| S2HC | 0.50 | 120 | 108 | 28 | 12.4 | 779 | 15 |
| S2HD1 | 0.40 | 120 | 140 | 30 | 16.1 | 1006 | 12 |
| S2HD2 | | 120 | 140 | 30 | 15.4 | 967 | 20 |

정도, 축력비가 0.50인 경우도 108분 정도로 큰 크리트 강도 증감에 대하여 축력비에 따른 내화 시간 변화는 원형강관과 반대 경향이 나타나, 강도에 따른 내화성능에 대해서 추가 연구가 필요하다.

3. 재하가열실험후의 화재손상평가

3.1 실험계획

3.1.1 소재실험

실험은 인장강도실험이 가능한 크기의 실험체를 선정(시험체번호 : C₂H-B₂, 규격 : $\phi 460.4 \times 9.0$ mm)하고, 총 9개의 실험체중 상단부3개소, 중앙부3개소, 하단부3개소로 분리하여 재축(압연)에 나란한 방향으로 시험편을 채취하였으며, 실험

체결정은 한국공업규격 금속재료인장시험편의 KS B 0801기준에 의해 판모양 14B호로 시험편을 제작하였다.

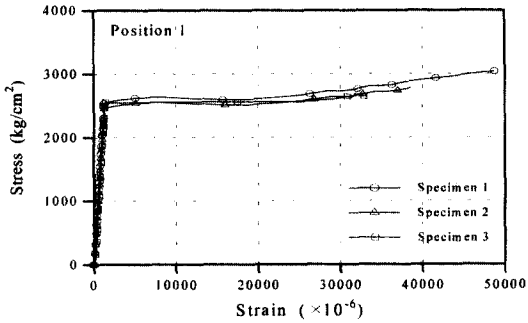
3.1.2 가력 및 측정방법

인장시험시 하중재하속도는 초당 2kgf/mm로 하였으며 각 단계별 하중에 따른 변형률은 시험편의 중앙에 길이 5mm의 전기저항식 변형률 게이지를 부착하여 변형률을 측정하였으며 이로부터 응력-변형률 곡선을 작성하였다.

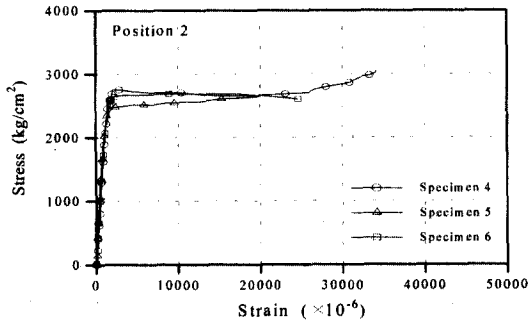
연신율의 측정은 표점거리를 100mm로, 탄성계수는 응력-변형률곡선에서 후크(hook)의 법칙을 따르는 탄성구간에 기울기를 탄성계수로 정하였다. 그리고 항복점의 응력과 파단시의 응력을 각각 항복강도 및 인장강도로 하였다.

표 3. 내화시험전의 소재강관실험값

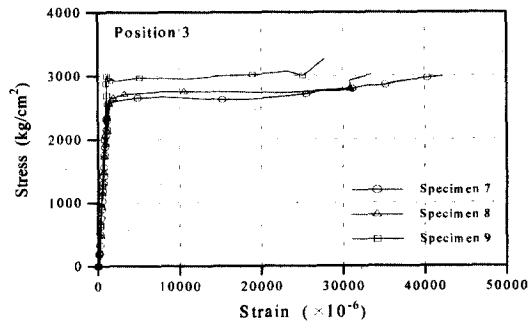
| 시험체 | 규격 | 단면적(cm ²) | 항복강도(kgf/cm ²) | 인장강도(kgf/cm ²) | 탄성계수(kgf/cm ²) | 연신율(%) | |
|--------|--------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------|------|
| C2H-B2 | 406.4×9.0t-1 | 3.60 | 3,940 | 4,920 | 4,930 | 2.10×106 | 37.1 |
| | 406.4×9.0t-2 | 3.60 | 3,170 | 4,940 | | 2.10×106 | 38.3 |



상단부



중양부



하단부

그림 1. 응력-변형률 곡선

* 응력-변형률 곡선상에서 인장강도(파단강도)까지 표시되지 않은 것은 시험편이 항복점을 지나 소성변형이 발생하면 변형률계이지가 찢어지기 때문에 인장강도는 시험편의 파단점을 읽은 것이다.

3.1.3 실험결과

내화실험 이전의 원형강관의 평균항복강도는 3,555 kgf/cm², 평균 인장강도는 4,930kgf/cm², 평균 연신율은 37.7%임을 표 3과 같이 알 수 있으며 한편, 내화시험 이후의 평균 항복강도는 상단부 : 2,536kgf/cm², 중양부 : 2,636kgf/cm², 하단부 : 2,743kgf/cm²이고, 평균 인장강도는 상단부 : 3,740kgf/cm², 중양부 : 3,853kgf/cm², 하단부 : 3,940kgf/cm²이며 또한 평균 연신율은 상단부 : 43.7%, 중양부 : 48.7%, 하단부 : 45.3%로 표 4와 같다.

그리고 내화시험에 따른 강관의 성질변화를 살펴보면, 항복강도는 내화시험 이전에 비해 상단부 : 29%, 중양부 : 26%, 하단부 : 23% 정도 감소하였으며, 인장강도는 상단부 : 24%, 중양부 : 22%, 하단부 : 20% 저하하는 것을 알 수 있다. 한편, 연신율은 상단부 : 16%, 중양부 : 29%, 하단부 : 20% 정도 증가하였고 가열에 따라 강관의 성질이 변화하여 항복강도와 인장강도는 크게 저하하였으며, 반면에 연신율은 증가하는 것으로 나타났다.

3.2 콘크리트

3.2.1 압축강도 및 탄성계수시험

본 연구에서는 화재에 의한 고온에 노출된 충전강관의 내력을 실험적으로 평가하기 위해서 강관속의 콘크리트에 대한 온도 및 물성변화 실험을 실시하였다.

화재를 입은 충전강관 내 콘크리트의 물성변화를 파악하기 위하여 화재실험 후 강관중심부에서 콘크리트 코어시험체를 채취한 후 양단면을 캡핑(Capping)하여 압축강도를 측정하였다. 또한 콘크리트 코어의 탄성계수를 측정하기 위하여

표 4. 내화시험후의 감관소재실험값

| 부위 | 시험체명 | 단면적(cm ²) | 항복강도(kgf/cm ²) | | 인장강도(kgf/cm ²) | | 탄성계수(kgf/cm ²) | 연신율(%) | |
|------------|------|-----------------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|--------------|----------------|
| 1 (상단부) | 1 | 1.1250 | 2,600 (0.73) | 2,536 (0.71) | 3,730 (0.76) | 3,740 (0.76) | 1.95×10 ⁶ | 41 (1.09) | 43.7 (1.16) |
| | 2 | 1.1050 | 2,450 (0.69) | | 3,800 (0.77) | | 1.84×10 ⁶ | 45 (1.19) | |
| | 3 | 1.1050 | 2,560 (0.72) | | 3,690 (0.75) | | 1.83×10 ⁶ | 45 (1.19) | |
| 2 (중앙부) | 4 | 1.0200 | 2,770 (0.78) | 2,636 (0.74) | 4,000 (0.81) | 3,853 (0.78) | 1.63×10 ⁶ | 53 (1.41) | 48.7 (1.29) |
| | 5 | 1.1050 | 2,560 (0.72) | | 3,820 (0.77) | | 2.34×10 ⁶ | 45 (1.19) | |
| | 6 | 1.1050 | 2,580 (0.73) | | 3,740 (0.76) | | 1.98×10 ⁶ | 48 (1.27) | |
| 3 (하단부) | 7 | 1.0625 | 2,600 (0.73) | 2,743 (0.77) | 3,800 (0.77) | 3,940 (0.80) | 1.96×10 ⁶ | 48 (1.27) | 45.3 (1.20) |
| | 8 | 1.0625 | 2,710 (0.76) | | 3,890 (0.79) | | 2.14×10 ⁶ | 43 (1.14) | |
| | 9 | 1.0000 | 2,920 (0.82) | | 4,130 (0.84) | | 2.83×10 ⁶ | 45 (1.19) | |

* ()안의 수치는 상온(常溫)시의 값에 대한 비율

코아 공시체에 변형률측정장치를 부착하여 응력에 변형률을 측정하여 활선탄성계수로 구하였다.

3.2.2 시차열분석시험

콘크리트는 시멘트의 수화반응에 의해 많은 수화생성물을 함유하고 있으며 이들 수화생성물은 온도의 변화에 따라 결정구조가 변화되며 변화할 때에 에너지를 흡수 또는 방출한다. 또한 수화물의 결합수와 흡착수 등이 이탈하는 과정에서도 열변화 등을 일으키기 때문에 미리 열변화를 일으킨 시료를 열분석할 경우 그 온도에서는 특별한 에너지의 흡수나 방출은 발생하지 않는다. 따라서 열변화를 일으키지 않은 시료를 열분석하고 열변화를 일으킨 시료를 열분석 하여 비교분석함으로써 콘크리트의 화재온도를 추정할 수 있다.

화재에 의해 고온을 받은 충전강관 속의 콘크리트 화재온도를 분석하기 위하여 시험위치 및 시험체의 표면으로부터 깊이별로 50mg의 콘크리트 미분말시료를 채취하여 승온속도 40℃/min로 최고 1000℃까지 시차열분석시험을 실시하였다.

3.2.3 충전강관 속의 콘크리트에 대한 화상은도분석

강관 속 콘크리트의 화재온도를 실험적으로 분석하기 위하여 본 실험에 사용된 압축강도 360 kgf/cm²의 콘크리트를 각각 200, 400, 600, 800 및 1000℃로 30분간 가열한 시료에 대하여

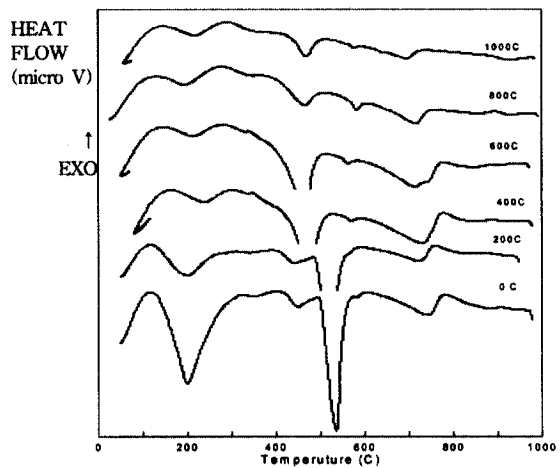


그림 2. 화재를 받지 않은 콘크리트의 가열온도에 따른 시차열분석 결과

시차열분석한 결과를 나타낸 것이 그림 2이다.

이 그림에서 알 수 있듯이 고온을 받지 않은 정상적인 콘크리트에 대하여 시차열분석한 결과에서는 200℃까지는 모세관수 및 젤수의 증발로 인한 강한 흡열피크가 일어나고 400℃부근에서 미세한 흡열피크가 발생되며, 520℃정도에서 Ca(OH)₂의 분해로 인한 강한 흡열피크가 생성되고 800℃정도에서 칼사이트(CaCO₃)의 분해로 인해 또 한번의 강한 흡열반응이 발생한 것을 알 수 있다.

그러나, 화상온도를 400℃정도 받은 경우에는 콘크리트 속의 모세관수 및 젤수의 증발로 인하여 200℃정도에서 발생하는 흡열피크가 크게 감소하였으며, 400℃부근에서 발생하는 미세한 흡열피크는 거의 나타나지 않음을 알 수 있다. 또한 화상온도가 600℃정도 되는 경우에는 건전한 콘크리트에서 발생하는 400℃이내의 흡열피크는 거의 나타나지 않을 뿐만 아니라 520℃정도에서 나타나는 Ca(OH)₂의 분해로 인한 강한 흡열피크가 생성되지 않음을 알 수 있다. 한편 800℃이상의 고온에 노출된 경우에는 흡열피크가 크게 나타나는 경우가 없어, 고온에 의한 콘크리트 내의 흡열이나 발열반응을 일으킬 수 있는 화합물이 존재하지 않아 콘크리트의 결합력이 상실되어 구

조적인 재료로서의 역할을 할 수 없는 상태로 변한 것임을 알 수 있다.

충전강관기둥의 재하가열시험후 내화시간에 따른 내부 콘크리트의 화상온도를 분석하기 위하여 콘크리트강도 360kgf/cm², 내화시간이 108분인 C₂H-B₂시험체 및 콘크리트강도 240kgf/cm², 내화시간이 120분인 C₂L-A₁시험체에서 깊이별 콘크리트시료를 채취하여 시차열분석을 실시한 결과를 그림 3 및 4에 각각 나타내었다.

우선 그림 3의 내화시간이 108분인 충전강관속의 콘크리트 화상온도는 강관과 접해있는 콘크리트깊이 0cm의 시료인 경우, 칼사이트의 분해로 인해 발생하는 800℃정도에서의 미세한 흡열피크가 생성되지 않은 것으로 보아 800℃이상의 고온을 받은 것으로 추정되며, 이 부재의 깊이 10cm정도에서는 건전한 콘크리트에서 발생하는 400℃이내의 흡열피크는 전혀 나타나지 않을 뿐만 아니라 520℃정도에서 나타나는 Ca(OH)₂의 분해로 인한 흡열피크의 강도가 상대적으로 적어졌음을 알 수 있어 약 550℃ 정도의 고온을 받은 것으로 추정된다. 또한 깊이 20cm의 충전강관의 중앙부위에서는 400℃부근에서 발생하는 미세한 흡열피크가 선명하게 발생되었으며, 520℃정도에서도 강한 흡열피크가 생성되었으나 200℃정도에

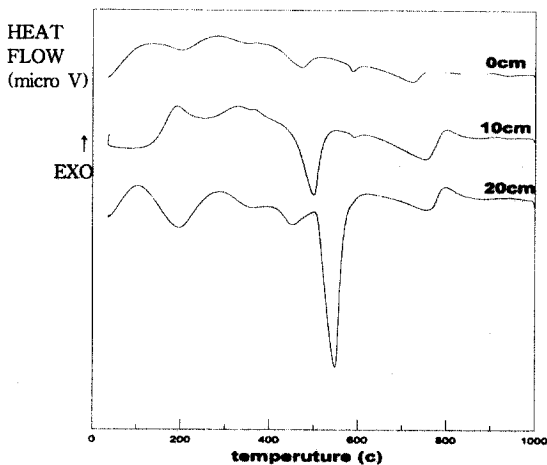


그림 3. 콘크리트의 시차열분석 결과 (C₂H - B₂시료)

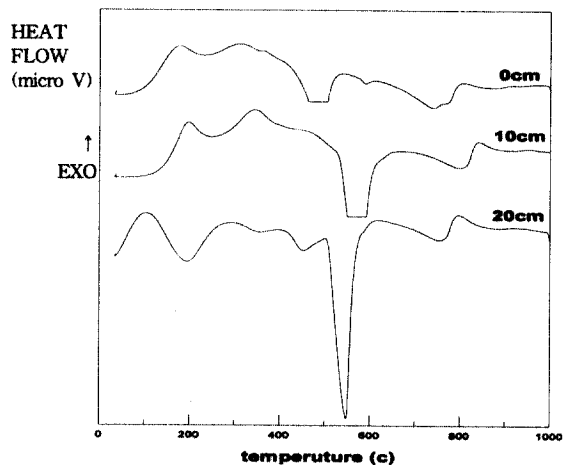


그림 4. 콘크리트의 시차열분석 결과 (C₂L - A₁시료)

표 5. 콘크리트의 압축강도 및 탄성계수 측정결과

| 시료명 | 항목 축력 (tonf) | 내화시간 (min.) | 가열 전 콘크리트 | | 가열 후 콘크리트 | | | |
|----------|-----------------|----------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|--------------------------------|------|
| | | | 압축강도 (kgf/cm ²) | 탄성계수 (kgf/cm ²) | 압축강도 (kgf/cm ²) | % | 탄성계수 (kgf/cm ²) | % |
| C2H - B2 | 171 | 108 | 386 | 2.9×10^5 | 242 | 62.7 | 2.3×10^5 | 79.3 |
| C2L - A1 | 171 | 80 | 281 | 강관 2.9×10^5 | 129 | 49.5 | 1.7×10^5 | 68.0 |

서 발생되는 모세관수 및 겔수의 증발로 인한 흡열피크는 상대적으로 약하게 발생되었음을 알 수 있어 충전강관의 중심부의 화상온도는 약 300℃ 정도로 추정된다.

한편, 그림 4의 콘크리트강도 240kgf/cm²로 충전된 강관 내의 콘크리트 시차열분석결과에서는 강관과 접해 있는 콘크리트깊이 0cm의 경우, 800℃정도에서 미세한 흡열피크가 생성되어 있으나, 600℃정도에서 발생하는 흡열피크가 생성되어 있는 것으로 보아 약 700℃정도의 온도를 받은 것으로 추정되며, 깊이 10cm정도에서는 400℃이내의 흡열피크는 전혀 나타나지 않으나, 520℃정도에서 나타나는 흡열피크의 강도가 크게 나타난 것으로 보아 약 450℃정도의 온도를 받은 것으로 추정된다. 또한 깊이 20cm의 충전강관의 중앙부위에서는 400℃부근에서 발생하는 미세한 흡열피크가 선명하게 발생되었으나, 200℃정도에서 발생하는 모세관수 및 겔수의 증발로 인한 흡열피크는 상대적으로 약하게 발생되어 있어 약 300℃ 정도로 추정되며, 이상의 시차열분석 결과를 고찰해 보면, 충전 콘크리트의 강도 및 특성에 따라 약간의 차이가 있겠으나 일반적으로 충전강관의 내화도는 강관 중심부 콘크리트의 강도가 저하되는 온도 300℃ 이상되는 시점임을 실험을 통해 알 수 있었다.

3.2.4 재하가열실험 후 콘크리트의 물성변화

충전강관의 재하가열실험 후 강관의 내력이 저하되는 시점에서의 콘크리트의 물성변화를 실험적으로 평가하기 위하여 충전강관의 재하가열실험 후 충전강관의 중심부에서 콘크리트 코어공시

체를 채취하여 압축강도 및 탄성계수를 측정 한 결과를 표 5에 나타내었다.

이 표에서 알 수 있듯이 충전강관에 171tonf의 축력을 가하면서 가열한 결과, 가열전 콘크리트 압축강도가 386kgf/cm²인 C2H-B2시험체의 경우 가열 후 압축강도가 242kgf/cm² 정도로 가열전에 비해 약 63%의 압축강도를 나타내었고 탄성계수는 2.3×10^5 kgf/cm²로 가열전에 비해 약 79.3% 정도로 감소되었다. 그리고 가열전 콘크리트 압축강도가 281kgf/cm²인 C2L-A1시험체의 경우 가열 후 압축강도가 129 kgf/cm²로 가열전에 비해 46%의 압축강도를 나타내었으며 탄성계수는 1.7×10^5 kgf/cm²로 가열전에 비해 약 68% 정도로 감소되었음을 알 수 있다. 가열전 강도가 386kgf/cm²인 C2H-B2시험체의 경우, 축력 171tonf에 대한 내화시간이 108분이며, 콘크리트의 화상 최고온도가 800℃ 이상이었음을 고려할 때 약 37%의 강도감소의 결과는 약 54%의 강도감소가 발생한 C2L-A1시험체와 비교할 경우 콘크리트의 압축강도가 충전강관의 고온시 내력에 큰 영향을 미치는 요인임을 알 수 있는 결과로 사료된다.



그림 5. 코어공시체의 압축강도 및 탄성계수 측정

4. 결 론

콘크리트 충전원형강관 기둥의 재하가열 실험후의 강관의 내력변화를 파악하고 재료 특성의 규명과 강관속의 콘크리트에 대한 온도 및 물성변화는 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

4.1 충전강관

- 1) 내화실험전의 평균항복강도는 3.555 이고 내화실험후의 평균항복강도는 상단부 : 2.536 kgf/cm², 중앙부 : 2.636 kgf/cm², 하단부 : 2.743 kgf/cm²로서 감소율은 상단부 : 29% 중앙부 : 26%, 하단부 : 23%정도 감소하였다.
- 2) 내화실험전의 평균인장강도는 4.93 kgf/cm² 이고 내화실험후의 평균인장강도는 상단부 : 3.740kgf/cm², 중앙부 : 3.853 kgf/cm², 하단부 : 3.940kgf/cm²로서 감소율은 상단부 : 24%, 중앙부 : 22%, 하단부 : 20%정도 저하였다.
- 3) 내화실험전의 평균연신율은 37.7%이고, 내화실험후의 평균연신율은 상단부 : 43.7%, 중앙부 : 48.7%, 하단부 : 20%정도 증가하였다.

4.2 콘크리트

- 1) C₂H-B₂시험체의 경우 가열전 콘크리트 압축강도가 386 kgf/cm²이고 가열후는 242 kgf/cm²정도로 가열전에 비해 약 63%의 압축강도를 나타내었고 탄성계수는 2.3×10⁵ kgf/cm²으로 가열전에 비해 약 79.3%정도로 감소하였다.
- 2) C₂L-A₁시험체의 경우 가열전 콘크리트압축강도가 281 kgf/cm²이고, 가열후는 129 kgf/cm²정도로 가열전에 비해 약 46%의 압축강도를 나타내었으며 탄성계수는 1.7×10⁵ kgf/cm²으로 가열전에 비해 약 68%정도 감

소하였다.

- 3) C₂H-B₂시험체의 경우, 축력 171tonf에 대한 내화시간이 108분이며, 콘크리트의 화상최고온도가 800℃이상이었음을 고려할 때 약 37%의 강도감소의 결과는 C₂L-A₁시험체의 약 54%의 강도감소율과 비교할 경우 콘크리트의 압축강도가 충전강관의 고온시 내력에 큰 영향을 미치는 요인임을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. Joseph Zicherman : 1996. Fire Safety in Tall Buildings, McGraw Hill Inc, p229~292
2. 齊藤秀人 외 1인 : 1994. 4. 充填鋼管コンクリート柱の耐火性能に關する 實驗的研究, 日本建築學會構造系論文集
3. 齊藤光 : 1995. 6. 最近の 鐵骨耐火構造, 建築技術
4. 吉田正友 : 1995. 12. 合成構造の 耐火性能, 콘크리트工学
5. V.K.R Kodur & T.T. Lie : 1996. 6. Fire Resistance of Circular Steel Columns Filled with Fiber-Reinforced Concrete, ASCE.
6. 김동규 외 9인 : 1999. 6 충전강관기둥의 내화성능평가 및 설계법에 관한연구, (사)한국강구조학회<연구보고서>
7. 김동규, 최성모, 정경수 : 1997. 10. 콘크리트 충전강관 기둥의 내화특성에 관한 이론적 연구, '97추계학술발표논문집, 대한건축학회
8. 이경구 외 4인 : 1999.11 내화구조의 대상 및 성능기준연구, (사)한국화재보험협회부설 방재시험연구소
9. 김성수 외 7인 : 1997. 9 노량대교 화재구간 내구성 및 물성시험보고서, 시설안전기술공단/대전대학교 16쪽

(접수일자 : 2000년 9월 1일)