구체콘크리트면에 받는 열온도의 시뮬레이션 실험

The Estimation of Surface Temperature of Concrete Frame Caused by Fire

中川宗男* 柳 啓** 오 상 근*** 정 환 목**** 최 희 용*****

Nakagawa, Muneo Kei, Yanagi Oh, Sang Keun Jung, Hwan Mok Choi, Hee Yong

Abstract

The object of this paper is to analyze the surface temperature of RC structures caused by fire.

The experimental analysis is undertaken by using following two methods.

1) Simulation to analyze the relationship between the temperature and the condition change for glass wool caused by fire.

2) Temperature-analysis (TG/DTA tests) of RC structures

From the results of the two experimental analysis, it was possible to estimate the temperature of RC concrete structures caused by fire.

1. 실험 개요 및 목적

본 실험은 화재를 당한 표기RC건물의 사용내구성에 관련하여 화재정도가 크게 나타나는 부위의 구체콘크리트면에 받는 열온도를 추정하기 위하여 행한 실험조사이다.

본 조사의 요점(목적)은 콘크리트 면에 외장되어진 Glass-Wool을 강제가열할 때의 상태변화와 온도의 관계를 추적측정하는 것이며, 현장의 콘크리트를 포함한 건설재료가 받는 온도를 검사하는 것이다.

또한, 실험의 결과의 상호 보완을 위하여 다음의 2가지 방법으로 행하였다.

① 전기로 가열실험 (열전대 온도검출)

② 가스버너 가열실험 (Thermo-Video-System 과 열전대 병용에 의한 온도검출) : 채취한 시료

* 戶田技術研究所, 책임연구원

** 日本건축建築材料試驗Center

*** 서울산업대 교수

**** (주)대동 기술연구소 책임연구원

***** (주)대동 기술연구소 연구원, 충남대 박사과정

(Ø30cm코아)를 TG/DTA분석을 행하여 비교 · 검토하였다.

2. 실험개요

2.1 실험계획 (시뮬레이션 실험)

표 1과 같이 실험요인을 정하고 측정시료 Glass-Wool의「가열방법과 온도검출방법」,「폭로온도」및「폭로시간」을 선택하여 여러가지의 방법에 의해 실험 · 검토하였다.

이에 대한 실험방법 및 설명은 전기로 가열실험과 가스버너 가열실험의 2가지로 분류하여 서술하였다.

표 1 실험요인과 수준

요 인	수 준
가열 · 온도 검출별	A_1 A_2
폭로시간 (min)	1min, 5min, 30min
폭로온도 (℃)	200, 300, 400, 500, 550, 600, 650, 700, 800

2.2 전기로 가열실험

예상설정온도(=폭로온도)로 가열한 전기로내에 측정시료를 정치하여 소정시간(=폭로시간)동안 유지하였을 경우에 시료의 외관변화를 카메라촬영에 의해 추적하였다.

2.2.1 시료와 사용기기

① 피재시료와 측정시료

- 피재시료(A) : 현장에서 가장 화재피해를 많이 받은 Glass-Wool
- 피재시료(B) : 현장에서 채취된 Glass-Wool에서 화재피해가 가장 큰 부위
- 측정시료 : 피재시료와 거의 동질의 화재 피해를 입은 Glass-Wool (표 2 참조)

② 전기로

사용한 전기로의 제품시방은 아래와 같다.

- 형식 : 250×250×500mm, 1,300℃-제어 장치 부착

2.3 가스버너 가열실험

시료를 가스버너에 의하여 직접 가열하였을 때의 온도분포를 측정하는 실험이다.

Thermo-Video-System (=적외선 Video-Camera)를 이용하여 시료표면(3개소)의 온도를 검출하여 폭로온도로 조정하여 소정시간 유지할 경우에 나타나는 시료의 온도 및 외관변화를 추적하였다.

동시에, 미리 준비해둔 sheath열전대(:3본)에 의해 동일시료의 두께방향의 분포온도를 검출하여 기록하였다.

표 2 시료 Glass-Wool의 특성치

항 목	특 성 치
◇ 형 상	· 메트 형태
◇ 밀 도 (kg/m3)	· ~32~
◇ 열전도율 (kcal/mhr℃)	· 0.045~0.052
◇ 제품두께 (mm)	· 50
◇ 사용온도 max.(℃)	· 300
o 관 련 JIS	· JIS A 9522

2.3.1 측정시료 및 사용기기와 측정상황

① 측정시료

가스버너에 의한 측정시료는 전기로 가열실험과 동일시료를 이용하였다.

② 사용기기

• Thermo-Video-System

실험에 사용한 Thermo-Video-System (=TVS-2000, TVS로 약칭)의 외관은 사진 1과 같으며, 적외선헤드 (=Camera-Head)와 이미지프로 센서로 구성되어 있다.

• Sheath열전대와 Thermo-Data-Loger를 사용한 열전대의 종류는 K(CA)이며, 이에 대한 시방서는 표 3과 같다.

• 가스버너 : 프로판용 가스버너를 이용하고, 화재(열온도)의 조정에 의한 시료의 가열온도를 유지하는 방법

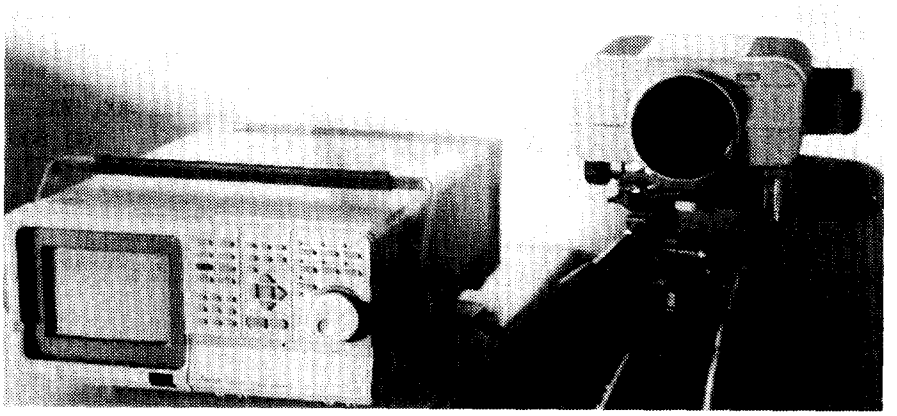

사진 1 TVS의 외관

③ 측정상황

표 3 열전대[K(CA)]의 외관

Sheath 외경	소선직경	소선저항	사 용 한계온도
φ32mm	φ0.40mm (single)	3.2Ω/m	750℃

• Draft-Chamber내에 측정시료를 장치하고, 가스버너에 의하여 가열한다. 시료표면 온도를 Thermo-Video-System으로 검출기록함으로써, 시료에 매립된 열전대에 의하여 내층 (표층(하), 중층(중), 외층(상))온도를 데이터로그로 검출기록하였다.

• 폭로온도 : 300℃와 600℃의 2가지로 비교하여 실험하였다.

2.4 실험계획 (콘크리트 표면의 시차열/열중량분석(T : G/DTA))

2.4.1 분석요인과 수준 : 표 4와 같다.

표 4 분석요인과 수준

요 인	수 준
채취시료별 시료의 분석부분 (표면에서의 깊이)	No1, No6, No7 표면에서 1cm, 표면에서 3cm

2.4.2 사용기기

• TG/DTA-320형(세이코 전자공업사제)

• 측정 변위기 : 공기 (200ml/min 공급)

• 측정온도 : 50~1000℃

• 상승속도 : 20℃/min

2.4.3 분석 방법

• 분석메카니즘 : 시료를 단열상태로 하고, 일정속도로 온도를 높인다. 시멘트수화물의 경우는 105

℃, 500℃, 800℃전후이므로 각각 겔수의 기화, 수산화칼슘의 분해 (=탈H_2O), 탄산칼슘의 분해 (=탈CO_2)에 의하여 흡열반응이 일어나고 분석챠트 위에 흡열피크로하여 표시한다.

각 포인트의 흡열피크에 있어서 손상되지 않은 정상적인 시료와 대상시료를 비교하는 것에 의하여 그 열이력을 개괄적으로 판단한다.

3. 실험결과

3.1 실험결과 (1)

온도를 500, 550, 600, 650℃로 조정한 전기로내에 1, 5 및 30분간 폭로하였을 때의 폭로온도 및 시간과 시료외관과의 관계를 정리하면 다음과 같다.

① 500℃ 폭로의 경우 : 폭로초기의 시료에 변색(1분에서는 흑색으로 변함, 5분에서는 백색으로 변화함)을 볼수있으나, 30분에서는 변형이 일어나지 않는다.

② 550℃ 폭로의 경우 : 폭로초기에 변색 (흑색 또는 백색)과 변형(=부분적 수축)을 볼수 있다. 시간에 따른 변형의 경시변화(1분에서→30분) 경향은 작게 나타나고 있다.

③ 600℃ 폭로의 경우 : 폭로초기에 변색 (흑색 또는 백색)과 보다 큰 변형을 볼수 있으며, 경시(1분에서→30분)변화 (=단면으로 1/2정도 수축)도 크게 나타나고 있다.

④ 650℃ 폭로의 경우 : 폭로초기에 변색(=백색으로 변함)과 더욱더 커다란 변형을 볼수 있으며, 경시변화도 600℃보다 더 상회한다.

⑤ 화재피해를 크게 받은 채취시료에서 외관에 가까운 측정시료의 폭로온도는 550~600℃로 사료된다.

3.2 실험결과 (2)

실험결과를 ①TVS에 의한 것과 ②열전대에 의한 것으로 분류하여 서술한다.(사진2 참조)

① TVS에 의한 실험결과

- 폭로온도가 300℃의 경우 : 사진3과 같이 시료표면에 현저한 변화 성상이 나타나고 있으며, 폭로시간의 경과(1분에서→30분)와 함께 변색의 정도가 증가하고 있다. 또한, 대부분의 피재시료는 거의 동일한 정도의 변색상태를 보이고 있다.
- 폭로온도가 600℃의 경우 : 시료면에서 용융에 의한 수축변화가 나타나고 있다. 이것은 극소한 피재시료에만 확인되는 변화로 본 화재의 연소에 의하여 구체-외장재가 변화된 최고 온도에 근접한 것으로 추찰된다.

② 열전대에 의한 실험결과

그림 1, 2에 시료면을 약 300℃와 600℃의 화재온도에 폭로한 경우의 내층온도의 측정치를 나타낸 것이다. 그림 2의 경우, 화재근접부의 하층온도는 측정불능이므로 생략하였다.

- 폭로온도 300℃의 경우 : 폭로시간 30분후에서는 시료 내층온도가 화재로부터의 거리가 근접한 순으로 나타나고 있다. 즉, 하층 : 약 300℃, 중층 : 약 150℃, 상층 : 약 50℃이며, 시료Glass-Wool의 단열효과가 현저하다.
- 폭로온도 600℃의 경우 : 시료 내층온도가 화재로부터의 거리가 근접한 순으로 중층 : 약 250℃, 상층 약 100℃로 폭로온도 300℃와 비교하여 약 2배이상 상승하고 구체콘크리트에 접하는 곳의

온도는 무시되는 정도이다.

3.3 실험결과 (3)

측정시료의 수에 맞추어 6매의 분석챠트를 얻어 여러가지 TG 및 DTA곡선이 나타내지고 있다. DTA곡선위에는 500또는 800℃전후에 흡열피크가 보이며, 흡열피크에 대응하는 모양으로 TG곡선에서 변화를 보이고 있다.

TG곡선의 변화 및 중량 감소를 여러가지 환산한 결과물이 표 5의 수산화칼슘과 탄산칼슘에 관한 추정치이다. 시료 건수가 작은 것의 시료의 받는 열온도에 있어서 다음과 같다고 말할수 있다.

① 수산화칼슘의 양 : 깊이 1cm의 경우 Control No. 1(100%)에 대한 No. 6(42%), No. 7(0%)로 감소하고 있으며, 깊이 3cm에서도 증가의 경향을 나타내며, 약간 비슷한 경향(=저감)을 보이며, 이 부분에서(=No. 6, No. 7) 470℃이상의 열이력이 확인된다.

② 탄산칼슘의 양 : 깊이에 따른 경향을 볼때, 수산화칼슘이 비슷하게 감소하고, 연소에 의한 탄산화의 영향이 고려되지만, 열에 의한 탄산칼슘 량의 증감은 나타나지 않으며, 대략 750℃를 넘는 열이력은 없는 것으로 보인다.

이상에 의해, 시료 No. 6, No. 7의 받는 열의 온도는 500에서 750℃ 사이에 있으며, 500℃정도로 추찰된다.

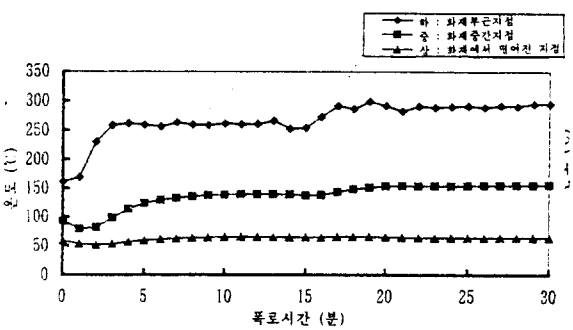

그림 1 버너화열 300℃에 폭로되었을 때의 시료층의 온도분포

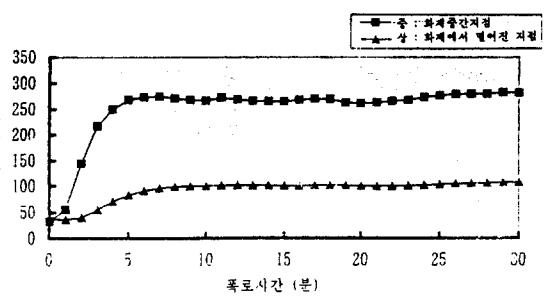

그림 2 버너화열 600℃에 폭로되었을 때의 시료층의 온도분포

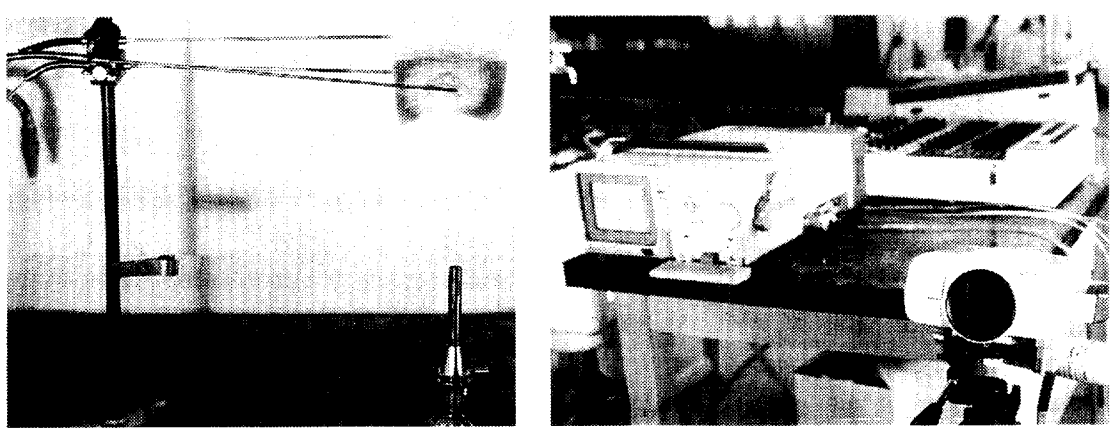

사진 2 시료와 열전대 및 TVS와 데이터로거

4. 실험결과에 관한 종합적 고찰

화재현장에서 채취한 피재시료(=구체콘크리트의 외장(Glass-Wool)와 이것과 동질의 공시료를 사용한 가열실험의 결과에서 구체콘크리트 이외의 받는 열온도는 기껏해야 600℃가 되는 것으로 추정된다.

표 5 분석시료중의 수산화 및 탄산화칼슘량의 추정치

시 료 별	표면부터의 거리	Ca(OH)2	CaCO3
No. 1 (Control)	1cm 깊이	1.2 (100)	16 (100)
	3cm 깊이	4.0 (100)	5.8 (100)
No. 6	1cm 깊이	0.5 (42)	23 (144)
	3cm 깊이	2.3 (53)	13 (224)
No. 7	1cm 깊이	- (0)	22 (138)
	3cm 깊이	1.5 (38)	8.6 (148)

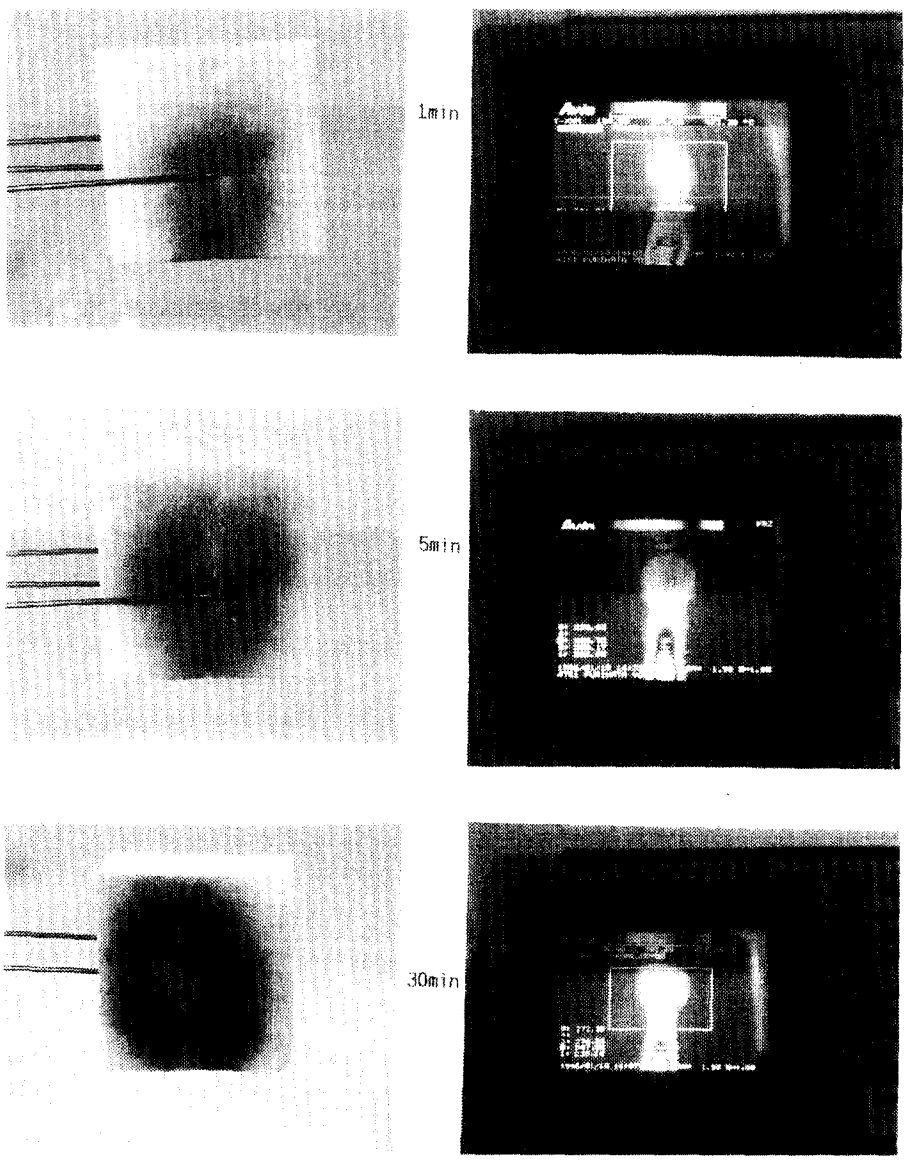

사진 3 버너화열 300℃에 폭로된 시료와 TVS