

# 지하공간의 화재하중을 고려한 슬래브 내화 가열 실험

## A Experimental Study on the slab of fire resistance considering the fire load in Underground space

강 승 구\*      김 동 준\*\*      이 재 영\*\*\*      原田和典\*\*\*      한 병 찬\*\*\*\*      권 영 진\*\*\*\*\*

Kang, Seung-Goo Kim, Dong-Jun Lee, Jae-Young Harada, Kazunori Han, Byung-Chan Kwon, Young-Jin

### Abstract

The validity of the numerical model used in the program is established by comparing the prediction from the computer program with results from full-scale fire resistance tests. Details of fire resistance experiments carried out on reinforced concrete slab, together with results, are presented. The results obtained from experimental test indicated in that the proposed numerical model and the implemented codes are accurate and reliable.

키 워 드 : 슬래브 내화, 지하공간 화재하중, 열전도 해석, 내화 가열실험

Keywords : slab fire resistance, fire load of underground space, the conductivity analysis, heating experiments

### 1. 서 론

최근 전세계적으로 대형화, 첨단화, 인구의 집중화로 변화되면서 초고층화, 지하심층화로 변화되어가고 있다.

국내의 경우 비옥한 토지에 대한 문제해결 방안으로 지하공간에 대한 활용도가 높아지고 있고, 국토해양부에서는 국내의 차량증감에 대한 방편으로 지하대공간 주차장을 증가시킬 계획에 있다. 이러한 지하주차장 내부의 차량과 같은 특수한 가연물과 대형서점 등과 같은 장소에서 화재시 높은 발열량과 고밀도의 화재하중으로 인해 구조물의 피해가 심각할 것으로 예상된다. 하지만 이에 대한 지하대공간 건축구조물에서 제시하는 법규는 『건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙 제3조 제8호 별표1 2010.4.7.』을 시행하고 있지만, 이 규정은 ISO 834 및 KS F 2257에 의거하여 내화성능확보를 실시할 뿐, 부재별 내화성능기준은 기초적인 근거에 바탕을 두지 않고 있는 실정이다.

따라서 본 연구는 화재시 가장 먼저 화재가력의 피해를 입는 곳으로 판단되는 슬래브 부재를 3개 제작하였다. 또한 기존의 표준가열곡선(ISO834)과 지하공간의 화재하중을 고려한 가열곡선에 대한 가열실험을 실시하여 건축구조물 내화성능의 안전성 검

토를 확인하고, 성능적 내화설계방안을 제시하는 것에 목적이 있다.

### 2. 슬래브 내화 가열실험

#### 2.1 실험개요

실험개요를 다음 표 1에 나타내었다. 슬래브 실험체는 600×180×4000mm의 크기로 3개 제작하였으며, 그림 1-a와 같이 수평가열로에서 무재하 1면 가열을 통한 내화성능의 검토를 실시하였다. ISO 834 표준가열곡선(\* I)에 따른 2시간 가열과 지하공간의 화재하중을 고려한(\* I)<sup>1)</sup>와 같은 2가지 형태를 변수를 설정하였다. 또한 그림 1-b와 같이 철근 배근과 열전대를 설치하였다.

#### 2.2 실험결과

가열 후 슬래브 실험체의 가열 면과 최대 폭발범위를 그림 2-a에 나타내었다. 또한 RC-F1, RC-F2, RC-F3 각 실험체의 최대 폭발 범위 x, y는 (460mm, 310mm), (160mm, 230mm), (410mm, 360mm)와 최대 폭발 깊이는 18.5mm, 17mm, 19mm로 나타났다. 실험체 내부의 주요 요소인 철근위치(20mm)에서는 각각 555.9℃, 730.5℃, 785.2℃의 최대온도가 측정되었다.

\* 호서대학교 소방방재학과 석사과정, 교신저자 (skywinka@nate.com)

\*\* 호서대학교 소방방재학과 박사과정

\*\*\* 교토대학교 건축공학과 박사과정

\*\*\*\* 교토대학교 건축공학과 교수, 공학박사

\*\*\*\*\* 우송정보대학 건축공학과 교수, 공학박사

\*\*\*\*\* 호서대학교 소방방재학과 교수, 공학박사

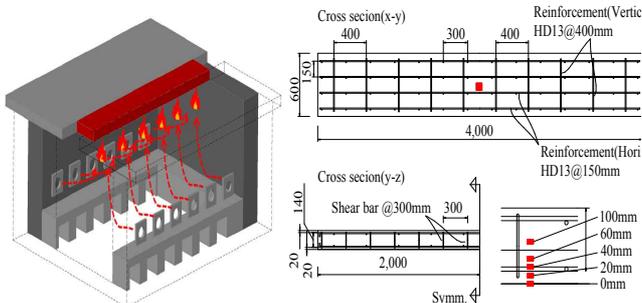
표 1. 실험체 물성치

S/A (%)	unit, kg/m <sup>3</sup>						
	W	B	OPC	FA	A	S	G
47.5	166	414	331	83	4.97	802	900

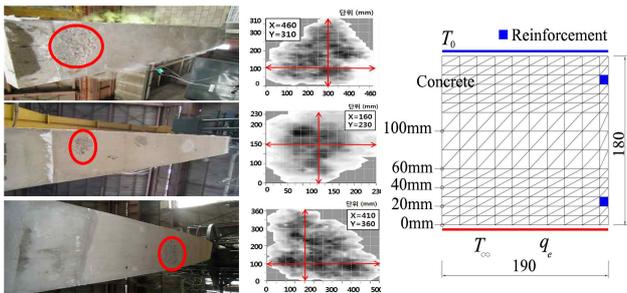
※ W: Water, B: Binder, OPC: Ordinary Portland Cement, FA: Fly ash, A: Admixtures, S: Sand, G: Gravel

Specimen	f <sub>ck</sub> (MPa)/ f <sub>y</sub> (MPa)	Specimens Size(mm)	Heating Rate	W/B (%)
RC-F1	30/410	600*180 *4,000(H)	1hr* I	4.9
RC-F2			2hr* II	
RC-F3			2hr* I	

\* I ( $T_{\infty} = 510t^{1/6} + 20$ ), \* II ( $T_{\infty} = 345\log(8t + 1) + 20$ )



a) 가열방법  
그림 1. 실험체 상세 제작도 및 열전대 위치



a) 폭열 형상 및 범위  
그림 2. 가열 후 실험체 & 열전대 해석 모델링

### 3. 수치 해석

#### 3.1 모델링 개요

비정상 유한요소 해석 기법을 위해 일본 교토대학의 原田<sup>2)</sup>의 열전도 모델을 사용하였다. 실험체의 열전도해석을 위해 다음 그림 2-b와 같이 190×180mm를 대상으로 2절에서 유도한 3절점 삼각형 요소를 이용하였다. 요소분할은 20×20mm를 기준으로 경계부에 급격한 온도구배를 고려하여 1/2로 분할하였다. 또한 다음 식 (1)~(7)을 통하여 경계조건을 설정하였다.

$$\epsilon = 1 - e^{-k\bar{L}} = 0.4731 \quad (1)$$

$$N_{ur} = 0.037Pr^{1/3}Re_x^{4/5} \quad (2)$$

$$q_e = (23 + \alpha_R)(T_{\infty} - T_0), \quad (3)$$

$$\alpha_R = 0.4731(5.6667 \times 10^{-8})(T_{\infty}^2 + T_0^2)(T_{\infty} + T_0)$$

$$\lambda_c(t) = \begin{cases} \xi[1.5 - (0.5/800)T] & (\lambda > 1.0) \\ \xi & (\lambda < 1.0) \end{cases} \quad (4)$$

$$\lambda_s = 40 \quad (5)$$

$$\rho_C C_C(t) = \begin{cases} \rho_C(930) & (T < 90) \\ \rho_C(930) + \rho_C w_t \frac{(590 \times 4,190)}{20} & (90 \leq T < 110) \\ \rho_C(930) & (T \geq 110) \end{cases} \quad (6)$$

$$\rho_S C_S = 7,850(482) \quad (7)$$

#### 3.2 해석 결과

실험결과와 해석결과에 대한 결과를 다음 그림 3에 나타내었다. 해석결과와의 비율(Exp/Ana)은 RC-F1의 30분(=0.84)를 제외한 모든 실험체에서 0.96~1.03의 차이가 있었으며, 10%의 오차 범위 내에 있었다. 특히, ISO 834 2시간 내화실험 후 실험체 내부의 20mm(철근위치)에서 최고온도는 730.5℃로 측정되었다.

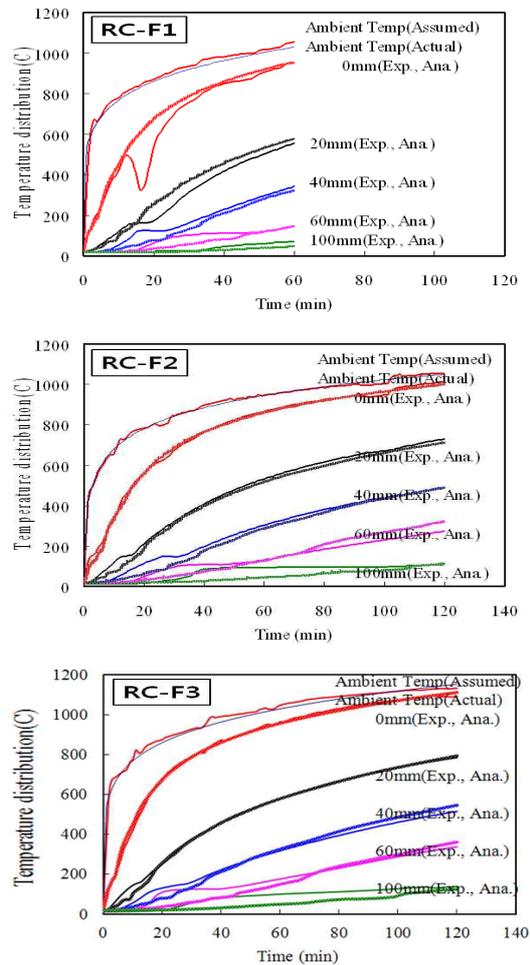


그림 3. 실험결과와 해석결과 내부 온도 분포

## 4. 결 론

지하공간의 화재하중을 고려한 슬래브 내화가열실험과 열전도 해석을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) ISO 834 2시간 가열 후 실험체 내부의 20mm(철근위치)에서 최고온도는 730.5℃로 측정되었으며, 내화성능기준 547℃을 확보하지 못하였다.
- 2) RC-F1 30min(0.84)를 제외한 모든 실험체에서 0.96~1.03로 실험해석비의 오차는 10%내에 있었다.
- 3) 향후, 지하공간 주유가연물의 화재하중을 산출하여 화재가력곡선을 제안하고, 이를 통한 수치해석으로 내화설계에 따른 건축구조물의 안전성 확보가 필요하다고 사료된다.

## 감 사 의 글

이 연구는 2011년도 건설교통기술연구개발사업 11 첨단도시 C01지원에 의한 것으로, 관계자에게 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. 日本防火關係技術指針 “耐火性能檢證法の解説及び計算例とその解説, 第4室内火災保有耐火時間の算定
2. 原田和典, “2次元有限要素法による熱傳導解析プログラム”, 京都大學博士論文, 1989