



지하대공간 구조물의 내화성능확보를 위한 슬래브가열실험 및 열전도해석검토에 관한 연구

강승구* · 김동준* · 이재영** · 原田和典** · 한병찬*** · 권영진****
호서대학교 소방방재학과* · 교토대학 건축공학과** · 우송정보대학
건축공학과 교수*** · 호서대학교 소방방재학과 교수****

A study on the heating experiment of slab and interpretation of heat conduction for fire resistance in underground space

Kang Seung-Goo* · Kim Dong-Jun* · Lee Jae-Young** · Harada
Kazunori** · Han Byung-Chan*** · Kwon Young-Jin****
Dept. Fire & Disaster Prevention of Hoseo Univ* ·
Dept. Architectural Engineering Kyoto University** ·
Prof. Architectural Engineering Woosong College*** ·
Prof. Fire & Disaster Prevention of Hoseo Univ****

요 약

지하대공간은 특수한 가연물 및 높은 밀도의 화재하중을 지닌 가연물이 많으나, 국내 내화성능기준은 이를 고려하지 않고 있다. 이에 본 연구는 슬래브실험체를 제작하여 표준가열곡선(ISO834)과 지하대공간의 화재하중을 고려한 화재조건으로 내화실험과 수치해석을 실시하였으며, 그 결과 모든 실험체에서 0.96~1.03로 10%내의 오차범위에 있는 것을 확인 할 수 있었다.

1. 서 론

최근 국내 건축구조물은 인구의 밀집화, 대형화로 인해 초고층화, 지하심층화 되어가고 있다. 이러한 지하대공간에서 화재발생시 일반건축물화재의 연료지배형 화재가 아닌 개인자와 가연물밀도에 영향을 미치는 환기지배형 화재로 변화하여 밀폐·폐쇄공간의 위험성을 지니고 있다.

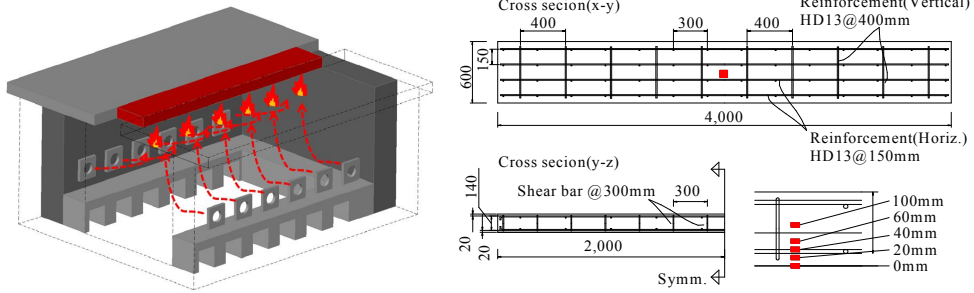
특히 지하대공간 화재는 주차장내 차량 및 대형서점 등 높은 발열량과 고밀도의 화재하중¹⁾을 지니며, 일반 건축물의 화재성상과 다르기 때문에 구조물의 피해가 심각할 것으로 예상된다. 이러한 지하대공간 건축구조물에 대한 내화구조 성능 기준 『건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙 제3조 제8호 별표1 2010.4.7.신설』에 따라 시행되고 있으나, 용도별, 가연물의 화재하중에 따른 구조물의 내화성능확보가 필요하다고 사료된다.

따라서 본 연구는 슬래브 실험체를 제작하여 기존 내화성능시험에 이용되는 표준가열곡선(ISO834)과 지하대공간의 차량에 대한 화재하중을 고려한²⁾ 내화 가열실험을 실시하였으며, 비정상 유한요소 온도분포 수치해석기법의 적합성을 검증하여 건축구조물의 내화성능 안전성검토를 위한 기초자료로 제시하고자 한다.

Table 1. List of Specimens

S/A (%)	unit. kg/m ³						Specimen	fck(MPa)/ fy(MPa)	Specimens Size(mm)	Heating Rate	W/B (%)
	W	B	OPC	FA	A	S					
47.5	166	414	331	83	4.97	902	RC-F1	30/410	600*180 *4,000(H)	1hr* I	4.9
							RC-F2			2hr* II	
							RC-F3			2hr* I	

* S: Sand, G: Gravel, FA: Fly ash, A: Admixtures * I ($T_{\infty} = 510t^{1/6} + 20$), * II ($T_{\infty} = 345\log(8t + 1) + 20$)



a) 실험체 가열 방법(수평가열로)

b) 열전대 위치 및 실험체 제작도

Fig 1. A heating experiment and point of detailed Thermocouple

2. 실험개요

2.1 실험계획 및 방법

실험개요를 다음 Table 1에 나타내었으며, 600×180×4000mm의 슬래브형태로 설계강도 30MPa과 기중양생의 조건으로 동일한 실험체 3개를 제작하여 Fig 1의 a)와 같이 1면 화재가열 실험을 계획하였다. 또한 변수는 내부의 온도변화를 파악하기 위하여 Fig 1의 b)와 같이 열전대를 설치하였으며, 내화성능의 검토를 위하여 표준가열곡선 ISO834 2시간(* I)과 지하공간의 화재하중을 고려한(*II) 2가지의 형태로 변수를 고려하였다.

2.1 실험 결과

다음 Fig 2와 같이 가열 실험 후 실험체의 가열면과 최대 폭렬범위를 나타내었다. 또한 RC-F1, RC-F2, RC-F3 각 실험체의 최대 폭렬 깊이는 18.5mm, 17mm, 19mm로 나타났으며, 철근위치(20mm)에서의 최대온도는 555.9℃, 730.5℃, 785.2℃로 측정되었다.

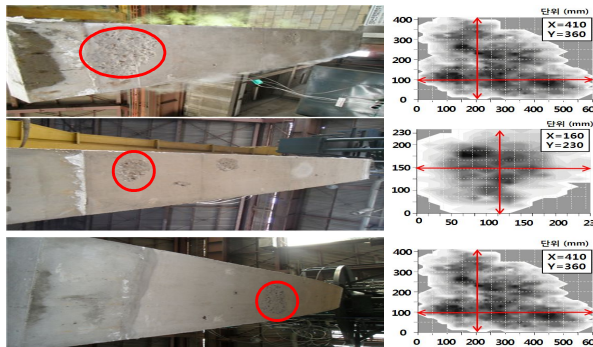


Fig 2. The shape of Spalling and Range

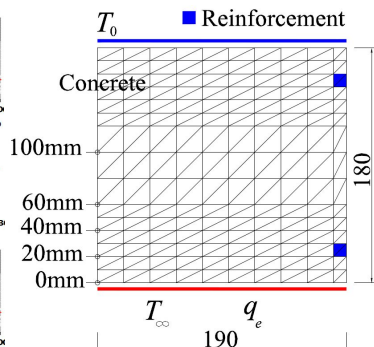


Fig 3. Analysis model for specimens

3. 수치해석

3.1 모델링 개요

비정상 유한요소 해석 기법을 위해 일본 교토대학의 原田³⁾의 열전도모델을 사용하였으며, 다음 Fig 3에 모델링에 대한 개요를 나타내었다. 또한 실험체의 대칭성을 고려하여 190x180mm를 대상으로 3절점 삼각형 요소를 이용하였으며, 요소분할은 20x20mm를 기준으로 경계부분에 급격한 온도구배를 고려하여 1/2로 분할하였다.

3.2 해석 대상조건

내화 시험시 경계조건 q_c 에 대하여 가열로의 크기 $4 \times 3 \times 1.6\text{m}$, 체적 $V=19.2\text{m}^3$, 표면적 $A=46.4\text{m}^2$, 평균 복사 길이 $\bar{L}=3.6(V/A)=1.49\text{m}$ 이고, 사용연료는 경유($k=0.43\text{m}^{-1}$)이므로 식 (1)과 같으며,

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

다음으로 q_h 에 대해서는, 강제대류, 가열면에 열 유속이 평행하게 작용하는 난류, 유속 $u_\infty = 8\text{m/s}$ 로 가정하면, 다음 식(2)와 같이 대류계수의 화제는 강제 대류 열전달이고, 난류이므로 평균 너셀트 수 N_u 를 이용하였으며, 이에 $3 \times 10^5 < Re_x < 3 \times 10^6$, $13.4 < h < 33.3$ 범위에 존재한다. 그러므로 평균값 $h=23$ 을 이용하였다. 그러므로 경계조건은 식 (3)과 같다.

$$N_u = 0.037Pr^{1/3}Re_x^{4/5} \quad (\text{난류}) \quad (2)$$

$$q_e = (23 + \alpha_R)(T_\infty - T_0), \quad \alpha_R = 0.4731(5.6667 \times 10^{-8})(T_\infty^2 + T_0^2)(T_\infty + T_0) \quad (3)$$

재료의 열적 특성값은, 콘크리트($\lambda_C, \rho_C C_C(t)$)와 철근($\lambda_S, \rho_S C_S$)에 대한 온도·시간의존 열적특성1)을 온도함수로 치환하여 이를 고려하였다. 즉 다음 식(4)과 같다.

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

$$\lambda_S = 40$$

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

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

3.2 해석결과

실험결과와 해석결과를 다음 Table 2와 Fig 4에 나타내었다. 해석결과와 비율(Exp/Ana)은 RC-F1의 30분(=0.84)를 제외한 모든 실험체에서 0.96~1.03의 차이가 있었으며 10%의 오차 범위안에 있었다. 특히, ISO 834 2시간 내화실험 후 실험체 내부의 20mm(철근위치)에서 최고온도는 730.5℃로 측정되었으며, 내화성능규준(547℃)에 만족하지 못하였다. 또한 가열면에서 측정위치가 깊어질수록 해석결과와 오차는 점점 커지는 경향을 보였으며, 가열면으로부터 100mm 부분의 가열시간별 해석결과와 비(Exp/Ana)는 최대 2.33으로 나타났다.

Table 2. Verifications; Internal temperature distribution of Specimens

Specimen	Ambient Temp.	Temperature distribution												
		mm	30min			60min			90min			120min		
			Exp.	Ana.	Exp/Ana.	Exp.	Ana.	Exp/Ana.	Exp.	Ana.	Exp/Ana.	Exp.	Ana.	Exp/Ana.
RC-F1	II 60min	0	757.5	787.6	0.96	953.5	956.1	1.00						
		20	313.3	373.0	0.84	555.9	579.3	0.96						
		40	162.8	132.9	1.22	341.7	324.7	1.05						
		60	102.6	59.9	1.71	144.7	150.0	0.96						
		100	25.6	24.5	1.05	70.6	48.9	1.44						
RC-F2	I 120min	0	674.3	685.4	0.98	867.0	861.2	1.01	941.9	945.5	1.00	1011.4	1000.9	1.01
		20	320.1	310.3	1.03	532.3	519.3	1.03	648.6	632.8	1.03	730.5	713.4	1.02
		40	146.7	110.7	1.33	303.6	288.6	1.05	411.8	406.0	1.01	491.9	490.6	1.00
		60	97.2	52.4	1.85	131.6	129.9	1.01	207.5	243.2	0.85	273.1	324.2	0.84
		100	32.9	23.5	1.40	93.4	46.3	2.02	96.7	75.9	1.27	109.0	114.7	0.95
RC-F3	II 120min	0	785.4	787.6	1.00	964.4	956.1	1.01	1056.8	1046.5	1.01	1091.4	1110.3	0.98
		20	377.1	373.0	1.01	578.2	579.3	1.00	704.7	703.2	1.00	785.2	793.7	0.99
		40	161.1	132.9	1.21	317.6	324.7	0.98	429.3	451.5	0.95	515.0	544.6	0.95
		60	125.9	59.9	2.10	176.8	150.0	1.18	260.1	270.6	0.96	338.4	361.5	0.94
		100	57.0	24.5	2.33	100.7	48.9	2.06	119.3	77.1	1.55	140.1	124.5	1.13

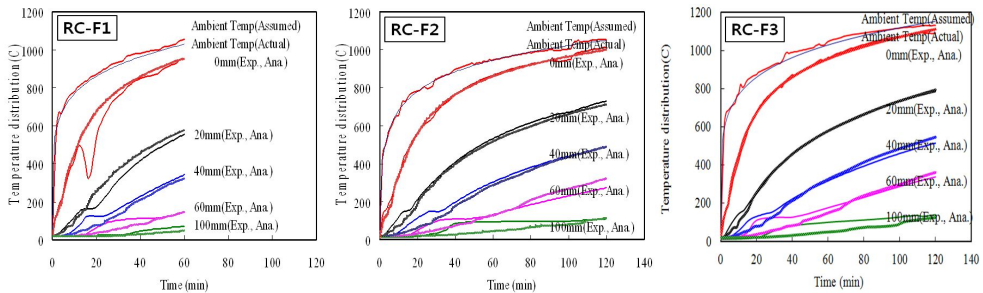


Fig 4. Verifications ; Internal temperature distribution of Specimens

4. 결 론

슬래브 내화가열실험을 통한 열전도해석에 관한 연구를 실시한 결과,

1) 철근위치(20mm)의 해석결과 RC-F1, RC-F2, RC-F3 실험체의 최고온도는 각각 579.3℃, 713.4℃, 793.7℃가 예측되었다. 또한 실험결과와 해석결과의 오차는 평균 1.39로 나타났다.

2) 실험결과와 해석결과의 최고온도를 비교한 결과, RC-F1, RC-F2, RC-F3 실험체에서 953.5℃, 1011.4℃, 1091.4℃가 측정되었다. 해석결과 956.1℃, 1000.9℃, 1110.3℃가 예측되었으며, 실험결과에 대한 해석 비율은 RC-F1 30min(0.84)를 제외한 모든 실험체에서 0.96~1.03로 오차는 10%내에 있었다.

3) 향후, 지하공간 주요가연물의 화재하중을 산출하여 화재가력곡선을 제안하고, 이를 통한 수치해석으로 건축구조물의 안전성 확보가 필요하다고 사료된다

감사의 글

본 연구는 2011년 건설교통기술연구개발사업 11첨단도시CO1지원에 의하여 수행하였으며, 관계자께 감사드립니다.

참고문헌

1. 南東君, “建築物における収納可燃物特性とその火災拡大性状への影響に関する研究” 2007年博士学位論文
2. 유용호, 권오상, 김홍렬, “소형승용차의 화재진과 특성에 관한 실험적 연구” 2010년 춘계 한국화재소방학회
3. 原田和典, “2次元有限要素法による熱伝導解析プログラム”, 京都大学博士論文, 1989