

화재하중밀도를 고려한 건축물의 내화설계법에 관한 연구 A Study on the Fire Resistance Design of Buildings Considering the Fire Load Energy Density

이평강[†] · 이용재* · 최인창** · 김희서***

Pyeong-Gang Lee[†] · Yong-Jae Lee* · In-Chang Choi** · Hway-Suh Kim***

단국대학교 건축공학과, *경민대학 소방학과, **충청대학 건축학부,
***단국대학교 건축공학과 교수
(2003. 2. 6. 접수/2003. 5. 30. 채택)

요 약

본 연구의 목적은 성능위주의 화재안전설계법에 따른 구획실 용도별 요구내화시간산정을 실시함으로써 현행 내화성능기준의 문제점도출 및 개선방향을 제시하는 것이다. 내화성능기준에 대한 검토를 위해 본 연구에서는 현재 국내의 시방규정에 의해 결정된 요구내화시간과 등가시간공식에 의해 산정된 화재노출상용시간과 비교하였고, 화재노출상용시간을 산정하기 위해 화재하중밀도, 환기계수, 구조재료의 열적특성 그리고 구획실 형상치수 등을 조사하였다.

ABSTRACT

The main purpose of this study is to raise the point at issue and to propose reform direction about the current performance criteria of fire resistance through the examination of the fire resistance required for each use of compartment by using performance-based fire safety design method. To examine the performance criteria of fire resistance, this study compared the equivalent time of fire exposure which was calculated by using time-equivalent formulae with the required fire resistance time determined by existing prescriptive code, and surveyed factors such as the fire load energy density, ventilation factor, fire compartment materials and fire compartment geometry in order to calculate the equivalent time of fire exposure.

Keywords : Performance-based fire safety design, The performance criteria of fire resistance, The Equivalent time of fire exposure, Field survey, Fire load energy density

1. 서 론

1.1 연구의 목적

최근 많은 국가에서는 성능규정을 채택하여 안전성에 대해 증명할 수만 있다면 설계자들이 원하는 화재 안전전략을 사용하는 것을 허락하고 있다. 최근 화재공학의 발전에 의해 적용이 가능해진 성능위주의 화재안전설계법(performance-based fire safety design)은 새로운 건축재료의 도입과 공간구성을 위한 설계유연성을 제공할 뿐만 아니라, 건축비용절감 및 화재위험에 대해 더욱 구체적이고 적극적으로 대처하는 것을

가능하게 만들었다.¹⁾

따라서 본 연구는 성능규정적용의 흐름을 반영하고 새로운 화재안전설계방법에 따른 구획화재에 대한 정량적 분석의 필요성에 따라, 성능위주의 화재안전설계법에 의한 구획실 용도별 요구내화시간을 산정하여 현행 내화성능기준과 비교함으로써 국내 기준의 적정성 및 개선방향을 제시하는데 연구의 목적이 있다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 요구내화시간산정을 위해 구획실의 용도에 따른 화재하중밀도와 환기계수에 대한 실측조사를 실시하였다. 그리고 조사된 구획실의 데이터를 바탕으로 성능위주의 화재안전설계법에서 적용하고 있는

[†] E-mail: lpg01@freechal.com

화재노출상용시간(equivalent time of fire exposure)을 산정한 뒤에 현행 시방규정(prescriptive code)의 국내 건축법에서 적용하고 있는 내화성능기준과 비교하였다. 여기서 화재노출상용시간이란 구획실내에서 실제 화재와 같은 동일한 열적 영향을 가진다고 가정되는 표준화재 시간온도곡선(standard fire time-temperature curve) ISO834에 노출된 시간을 뜻한다.

2. 성능설계법에 따른 구획실 용도별 내화시간 산정

2.1 구획실 용도별 내화시간산정

구획실의 요구내화시간은 화재하중밀도와 환기계수에 따라 각각 많은 영향을 받으며 내화설계시 반드시 고려되어야만 한다. 그러나 현행 국내 내화설계법은 화재하중밀도나 환기계수 등을 고려할 수 없으며, 획일적인 요구내화시간 선정으로 인하여 비경제적인 내화설계가 될 요인을 가지고 있다.²⁾ 화재노출상용시간은 구획실에서 발생이 예상되는 실제화재(real fire)의 가혹도와 표준화재실험(standard test fire)의 가혹도를 서로 관련시키기 위한 개념으로, 설계자가 실제화재에 노출될 가능성이 있는 온도곡선을 가지고 표준화재실험을 통해 내화성능이 평가된 부재를 사용하기를 원할 때 적용되는 방법이다. 성능규정을 채택한 많은 국가에서는 시방규정에 의해 획일적으로 결정되는 요구내화시간(t_{code}) 대신 등가시간공식을 통해 산정된 화재노출상용시간(t_e)을 사용하는 것을 인정하고 있으며,³⁾ 이러한 설계방법은 기존의 시방규정의 내화설계방법과 실제화재에 대한 해석적 내화설계방법을 절충한 방법이라고 할 수 있다.

본 연구에서는 각각의 구획실에 대한 화재노출상용시간을 산정하기 위하여 CIB, Law, 그리고 Eurocode에서 제안한 산정식을 사용하였다. 그리고 화재노출상용시간 산정에 사용된 화재하중밀도, 환기계수, 구획실형상, 그리고 구조재료 등의 데이터를 얻기 위해 실측조사를 실시하였다.

2.1.1 등가시간 공식

(1) CIB제안식

가장 광범위하게 사용되는 등가시간공식은 구획실의 환기계수와 화재하중밀도에 기초해서 Pettersson에 의해 유도된 것으로, CIB(International Council for Research and Innovation in Building and Construction) W14에 의해 제안되었다.⁴⁾ ISO834시험에 노출된 화재노출상용시간 t_e (minute)는 다음 식 (1)을 통해 산정된다.

$$t_e = k_c w q_{f,k} \tag{1}$$

여기서 $q_{f,k}$ 는 바닥면적당 화재하중밀도(MJ/m²)
 k_c 는 구획실 마감재에 대한 차이를 고려한 매개변수(min m^{2.25}/MJ)
 w 는 환기계수(m^{-0.25})이고 다음 식에 의해 구해진다.

$$w = \frac{A_f}{\sqrt{A_v A_t} \sqrt{H_v}} \tag{2}$$

여기서 A_f 는 구획실의 바닥면적(m²)
 A_v 는 벽에 있는 개구부의 전체 면적(m²)
 A_t 는 구획실의 내부 표면적(m²)
 H_v 는 창문의 높이(m)이다.

(2) Law제안식

CIB제안식과 유사하며 축소모델의 구획실 그리고 실제 크기의 구획실에 대한 실험을 기초로 하여 Margaret Law가 개발하였다.⁵⁾

$$t_e = \frac{A_f q_{f,k}}{\Delta H_C \sqrt{A_v (A_t - A_v)}} \tag{3}$$

여기서 ΔH_C 는 연료의 연소열(MJ/kg)
 CIB제안식과 Law제안식은 단지 벽에 수직창을 가진 구획실에 대해서만 유효하며, 지붕에 개구부를 가진 실에서는 사용될 수 없는 단점을 가지고 있다.

(3) Eurocode제안식

prEN 1991-1-2에서 제안한 t_e (minute)는 다음 식에 의해 산정된다.⁶⁾

$$t_e = (k_b w q_{f,d}) k_c \tag{4}$$

여기서 k_b 는 주변 구조체의 열적특성에 따른 매개변수(min m²/MJ)
 k_c 는 구조 단면재료에 따른 다음에 정의된 수정계수(주의 CIB제안식의 k_c 와는 다르다.)로 철근콘크리트와 내화피복철골에서는 $k_c=1.0$, 무 내화피복철골은 $k_c=13.7$ 이다.
 $q_{f,d}$ 는 설계화재하중밀도(MJ/m²)이다.

Eurocode에서 사용된 환기계수 $w(-)$ 는 지붕의 수평창을 포함하기 위해 CIB제안식에서 사용된 환기계수를 변경하였고, 식은 다음과 같다.

$$w = \left(\frac{6.0}{H_r} \right)^{0.3} \left(0.62 + \frac{90(0.4 - \alpha_v)^4}{1 + b_v \alpha_h} \right) > 0.5 \tag{5}$$

여기서

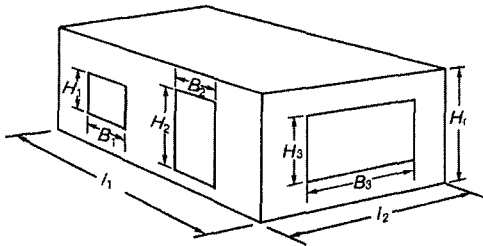


Fig. 1. 많은 개구부를 가진 구획실에 대한 개구계수의 계산.

$\alpha_v = A_v/A_t$ 는 구획실 외부에 접한 수직창의 면적비로서, $0.025 \leq \alpha_v \leq 0.25$ 의 범위로 한정한다.

$\alpha_h = A_h/A_t$ 는 구획실의 지붕에 있는 수평창의 면적비

$$b_v = 12.5(1 + 10\alpha_v - \alpha_v^2) \geq 10.0$$

H_v 는 화재실의 높이(m)

또한 환기계수 w 는 지붕에 개구부가 없는 작은 화재실($A_t \leq 100 \text{ m}^2$)일 경우에 다음 식을 사용하도록 하고 있다.

$$w = F_v^{-0.5} A_t/A_t \quad (6)$$

여기서

개구계수 $F_v = A_v \sqrt{H_v}/A_t$, $0.02 \leq F_v \leq 0.20$ 인 범위여야만 한다.

Fig. 1을 참고하면, 가중치를 둔 개구부의 평균 높이 H_v , 모든 창 전체면적 A_v , 그리고 구획실의 내부표면적 A_t 는 다음 식들을 이용하여 계산할 수 있다.

$$A_v = A_1 + A_2 + \dots = B_1H_1 + B_2H_2 \quad (7)$$

$$H_v = (A_1H_1 + A_2H_2 + \dots)/A_v \quad (8)$$

$$A_t = 2(l_1l_2 + l_1H_t + l_2H_t) \quad (9)$$

여기서

B_i 그리고 H_i 는 창문의 폭과 높이이고 l_1 그리고 l_2 는 바닥의 폭과 깊이이고, H_t 는 실의 높이이다

CIB제안식에 대한 Eurocode제안식의 중요한 차이점은 환기계수가 창문의 높이 H_v 에 의존하지는 않고 화재실의 높이 H_t 에 의존한다는 것이다. 따라서 두 공식은 동일한 형상의 실에 대하여 서로 다른 결과를 제시할 수 있다.

본 연구에서는 각각의 구획실에서 3가지 제안식을 모두 사용하여 화재노출상응시간을 산정한 뒤 결과 분석단계에서는 평균값을 사용하였다.

2.2 구획실 용도별 실측조사 및 화재노출상응시간 산정결과

본 연구는 실제 사용되고 있는 구획실의 화재노출상

응시간을 산정하기 위하여 9개의 용도군의 29개 건물을 대상으로 40개의 구획실에 대해 화재하중밀도 그리고 환기계수에 대한 조사를 실시하였다. 총 바닥면적은 $4,576 \text{ m}^2$ 이며, 조사수행기간은 2002년 5월부터 동년 9월까지로 장소선정은 서울지역을 범위로 무작위로 선정하였다. 화재하중밀도에 대한 조사방법은 목록표 기술(inventory technique)과 중량측정을 병행하여 실시하였으며, 고정화재하중과 이동화재하중으로 각각 구별되어 조사하였다. 그리고 각 구획실의 환기계수 산정은 현장 조사시 병행하여 실시하였다.^{7,8)}

화재하중 산정방법은 다음 공식을 사용하였다.

$$Q_{f,k} = \sum M_{k,i} H_{u,i} \Psi_i \quad [MJ] \quad (10)$$

여기서,

$M_{k,i}$ 는 가연성물질의 양(kg)

$H_{u,i}$ 는 순수연소열(MJ/kg)

Ψ_i 는 보호된 화재하중에 대한 감소율

그리고 화재하중밀도는 다음과 같이 계산되어진다.

$$q_{f,k} = Q_{f,k}/A \quad [MJ/m^2] \quad (11)$$

여기서,

A 는 화재구획실의 면적(m^2)으로 바닥면적(A_f) 또는 내부표면적(A_i)이 쓰일 수 있으며, 이에 따라 계산된 각각의 화재하중밀도는 $q_{f,k}$ 또는 $q_{t,k}$ 로 나타낸다.

현행 건축법 시행령에서는 수백 종의 건축물의 세부 용도를 총 21개 군으로 분류하고 있으며 이의 분류방법에 따라 산정된 화재노출상응시간은 다음 Table 1과 같다. 각각 해당 용도군의 실에 대한 조사결과로 고정, 이동 그리고 전체 화재하중밀도와 개구계수 그리고 3가지 제안식을 통해 계산된 화재노출상응시간을 나타냈다.

3. 조사결과 분석

3.1 용도분류 방법과 화재노출상응시간과의 관계

본 연구에서는 내화성능기준에서의 용도분류체계에 대한 문제점을 파악하기 위하여 분류작업을 2가지로 실시하여 분석하였다. 하나는 현행 행정상의 용도분류체계를 따랐으며, 다른 하나는 행정상의 용도적용이 다르더라도 실제 실의 이용목적에 따라 분류하였다. 각각의 분류방법에 대한 결과는 Table 2, Table 3, Fig. 2, Fig. 3과 같다. 현행 건축법 시행령 제3조의4(용도별 건축물의 종류)에 따르면 동일한 이용 목적을 가지고 있더라도 바닥면적에 따라 서로 다른 용도군에 포함시키도록 하고 있다. 예를 들면 금융업소, 사무소, 부동

Table 1. 구획실 용도별 조사 결과

용도 구분	No	구획실의 용도	화재하중밀도 $q_{f,k}$ (MJ/m ²)			개구계수 F_v (m ^{0.5})	화재노출상응시간 t_e (min)		
			고정	이동	전체		CIB	Law	Eurocode
공동주택	1	거실	147	380	527	0.10	30	32	35
	2	거실	118	403	521	0.07	37	40	44
	3	침실	134	418	553	0.12	28	31	33
교육연구 및 복지시설	4	교실	279	205	485	0.14	27	29	25
	5	교실	58	420	477	0.18	26	29	24
	6	학원	122	221	343	0.02	44	49	41
	7	열람실	88	231	319	0.08	28	32	34
	8	강의실	97	169	266	0.07	22	24	15
	9	강의실	94	115	209	0.10	12	14	12
	10	열람실	88	240	328	0.08	29	33	35
	11	서적판매점	4	3060	3064	0.32	103	132	123
	12	개가열람실	88	1881	1969	0.10	165	179	155
단독주택	13	거실	100	300	400	0.10	21	23	25
	14	침실	113	938	1051	0.14	44	47	52
	15	거실	200	400	600	0.10	28	30	33
	16	침실	120	300	420	0.08	23	24	27
	17	거실	116	342	457	0.09	27	29	33
	18	침실	146	207	352	0.04	30	31	36
	19	침실	183	374	557	0.07	31	32	37
문화 및 집회시설	21	극장	29	164	193	0.02	26	28	25
	22	극장	30	149	180	0.02	26	28	25
	23	극장	28	170	199	0.03	26	28	24
숙박시설	24	호텔	130	280	411	0.06	29	33	35
	25	여관	149	121	269	0.07	16	16	19
	26	여관	164	142	307	0.09	15	15	18
	27	여관	119	130	249	0.08	14	15	17
업무시설	28	사무실	90	227	317	0.01	69	64	65
	29	사무실	28	500	528	0.03	85	78	80
	30	회의실	171	159	330	0.09	22	22	21
의료시설	31	4인실	127	122	249	0.11	12	13	8
	32	3인실	88	118	206	0.06	15	15	10
	33	6인실	88	120	208	0.06	18	19	13
제1종 근린 생활시설	34	서적판매점	44	2975	3019	0.04	413	486	493
	35	휴게음식점	78	260	338	0.27	11	14	13
	36	의류판매점	99	342	441	0.09	26	31	31
	37	의류판매점	135	498	633	0.21	19	23	22
제2종 근린 생활시설	38	사무실	88	411	499	0.10	36	37	25
	39	일반음식점	230	400	630	0.09	43	46	51
	40	일반음식점	44	342	386	0.36	13	17	9

Table 2. 건축법 시행령에 따른 용도구분 적용시 조사결과

용도구분	개수	바닥면적 (m ²)	화재하중밀도 (MJ/m ²)	개구계수 (m ^{0.5})	화재노출 상응시간(분)		
					평균	표준편차	변동계수(%)
공동주택	3	77	534	0.10	34	5	15
교육연구및복지시설	9	1763	829	0.12	53	53	99
단독주택	8	138	572	0.09	34	10	29
문화 및 집회시설	3	821	190	0.02	26	0	1
숙박시설	4	66	309	0.08	20	8	41
업무시설	3	619	392	0.05	56	31	55
의료시설	3	99	221	0.08	14	3	20
제1종근린생활시설	4	733	1108	0.15	132	221	168
제2종근린생활시설	3	259	505	0.18	31	17	55
평균			518	0.10	44	39	54

Table 3. 실의 용도에 따른 용도구분 적용시 조사결과

용도구분	개수	바닥면적 (m ²)	화재하중밀도 (MJ/m ²)	개구계수 (m ^{0.5})	화재노출상응시간(분)		
					평균	표준편차	변동계수(%)
교실	5	304	356	0.10	26	12	45
극장	3	821	190	0.02	26	0	1
도서관	3	1397	872	0.09	77	78	102
물품판매업(기타)	2	53	537	0.15	25	6	22
물품판매업(서적, 가구)	2	675	3041	0.18	292	244	84
병원	3	99	221	0.08	14	3	20
업무	4	707	419	0.06	50	28	56
음식점	3	238	451	0.24	24	19	80
주거	11	215	561	0.09	34	8	25
호텔	4	66	309	0.08	20	8	41
평균			696	0.11	59	41	47

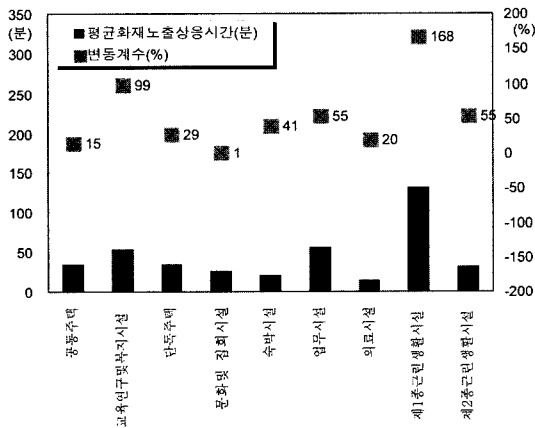


Fig. 2. 건축법시행령에 따른 용도구분 적용시 화재노출상응시간과 변동계수.

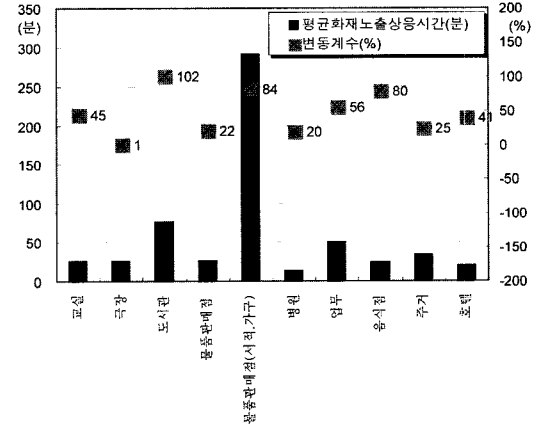


Fig. 3. 실의 용도에 따른 용도구분 적용시 화재노출상응시간과 변동계수.

산중개업소, 결혼상담소 등 소개업소, 출판사 기타 이와 유사한 것으로서 동일한 건축물 안에서 당해 용도에 쓰이는 바닥면적의 합계가 500 m²미만인 것은 제2종 근린생활시설에 포함되며 금융업소·사무소·신문사·오피스텔(업무와 주거를 함께 할 수 있는 건축물로서 건설교통부장관이 고시하는 것을 말한다) 기타 이와 유사한 것으로서 제2종 근린생활시설에 해당하지 아니하는 것은 업무시설에 포함된다.

현행 건축법에 따른 용도구분에 따라서 평균화재노출상용시간을 분석한 결과, 각 용도별 변동계수((표준편차÷평균)×100)의 전체 조사 대상실에 대한 평균값이 54%에 이른 반면에 실의 용도에 따른 재분류작업을 한 경우에는 변동계수의 평균값이 47%로 감소되었다. 이는 행정상의 용도구분보다 실의 실제 이용 상태가 서로 유사한 화재노출상용시간을 반영하고 있다는 것을 나타낸다고 할 수 있다. 용도를 재분류하였을 경우 가장 두드러지게 변동계수의 변화를 보이는 용도군은 교육연구 및 복지시설과 제1종 근린생활시설로 나타났다. 이는 화재하중이 낮은 교실과 높은 도서관이 행정구분상 동일한 교육연구 및 복지시설에 속하였기 때문인 것으로 사료된다. 그리고 제1종 근린생활 시설 역시 높은 화재하중밀도를 가지고 있는 서적 및 가구 매장이 같은 용도군에 속하였기 때문으로 사료된다.

따라서 화재안전설계시, 특히 내화설계를 위해서는 현행 행정적 용도구분 이외에 더욱 세분화된 내화성능 기준을 위한 실제적인 용도구분이 필요하다는 것을 알 수 있다.

3.2 현행 내화성능기준에 따른 요구내화시간과 성능설계법에 따른 화재노출상용시간과의 비교분석

현행 지방규정에서의 내화성능기준에 따라 적용되고 있는 구획실의 요구내화시간을 성능위주의 화재안전설계개념에서 산정한 요구내화시간과 각각 비교해본 결과는 다음의 Fig. 4와 같다. 대부분의 구획실에서 필요로 하는 내화시간은 현행법규에서 제시하는 것처럼 확실적인 것이 아니라 각각의 구획실에 따라 매우 다양하게 나타나고 있다. 그리고 성능위주의 화재안전설계에서 요구하는 시간보다 국내 법규에서는 더 많은 내화시간을 요구하고 있음을 알 수 있다. 이는 성능설계법의 관점에서 판단한다면 지나치게 높은 안전성을 요구하는 것이라고 할 수 있다. 만약 동일한 건축물에 대해 성능규정의 화재안전설계법을 적용한다면 충분히 안전성을 확보하면서 건축비용절감을 유도 할 수 있을 것이다.

교육연구 및 복지시설 중 서적판매점(No.11), 교육 및 복지시설 중 개가열람실(No.12), 1종 근린생활시설 중 서적판매점(No.34)의 3개 구획실에서는 내화성능기준에서 요구하는 시간을 초과하여 요구내화시간이 산정되고 있어 오히려 법적 요구내화시간이 적게 책정되어 있음을 알 수 있다. 이는 곧 성능위주의 관점에서 파악한다면 화재발생시 건물의 구조적 안전성에 문제가 발생할 수 있다는 것을 의미한다.

현행 내화성능기준은 일반시설, 주거시설 그리고 산업시설의 3개의 시설군으로 분류하여 용도규모인 층수(최고높이)에 따라 부재별로 내화성능기준을 제시하고

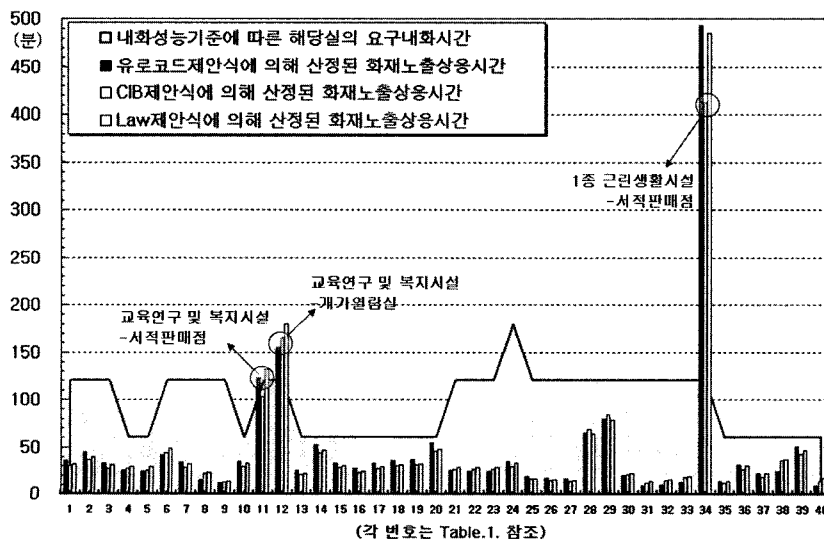


Fig. 4. 내화성능기준에 따른 요구내화시간과 성능설계법에 의해 산정된 화재노출상용시간.

있다. 그러나 성능위주의 관점에서 요구내화시간을 산정한 결과 일반시설과 주거시설의 용도구분은 효과적이지 못한 것으로 나타났으며, 유사한 화재하중밀도를 보유한 그룹에 따라 좀더 세분화된 용도구분이 필요할 것으로 사료된다. 또한 현행 내화성능기준은 지나치게 안전위주로 설정되어 있어 비경제적인 요소로 작용하고 있는 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 29개의 건물을 대상으로 40개의 실에 대해 선진국에서 적용하고 있는 성능위주의 화재안전설계법에 의한 화재노출상용시간을 산정하여 현행 내화성능기준에 따른 요구내화시간과 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 내화성능기준(건설교통부 고시 2000-93호)에서의 용도분류체계에 대한 문제점을 파악하기 위하여 분류작업을 2가지로 실시하여 분석한 결과 일반시설과 주거시설 그리고 산업시설의 3가지로 나눈 현행 용도상의 분류방식보다 실제 실의 이용 목적에 따라 세분화하여 분류하는 것이 더 효과적인 것으로 나타났다.

2) 현행 내화성능기준은 지나치게 안전측으로(성능위주의 화재안전설계법에서 요구하는 시간의 약 3.8 배)설정되어 있는 것으로 나타났다. 그러나 일부 교육연구 및 복지시설 중 도서관 그리고 1종 근린생활시설 중 서적판매점은 오히려 법적 요구 시간보다 더 많은 내화성능이 요구되고 있는 것으로 나타났다.

이상의 결론은 조사된 건물에 대한 한정된 결과일 수도 있으며, 용도별 내화성능기준에 실제로 적용하기 위해서는 좀더 많은 조사가 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2001년 “충청대학교 교내학술연구비”의

지원으로 이루어진 것입니다.

참고문헌

1. 김원국, “성능위주의 소방설계-이론·사례”, 최신방재기술, pp4(2002).
2. 이세현 외 2인, “건축물 화재안전시스템 구축-건축물 내화설계 데이터베이스 구축”, 한국건설기술연구원, 12, pp18(2001).
3. Buchanan, A. H. “Structural Design for Fire Safety”, John Wiley & Sons, pp94(2001).
4. Pettersson, O. “The Connection between a Real Fire Exposure and the Heating Conditions According to Standard Fire-resistance Tests-with Special Application to Steel Structure”, Document CECM 3-73/73. European Commission for Constructional Steelwork(1973).
5. Law, M. “A Relationship between Fire Grading and Building Design and Contents”, Fire Research Note No.877. Fire and Materials, 23, pp.209-216 (1971).
7. Draft prEN1991-1-2 Eurocode1: Actions on structures - Part 1-2 : General Actions - Actions on Structures Exposed to Fire, Amended FINAL DRAFT (Stage 34), CEN/TC250/SC1. pp.53 (2001).
8. 이평강, 최인창, 김희서, “건축물 화재안전을 위한 용도별 화재하중 적용에 관한 연구-국내 화재하중평가를 위한 현장조사결과를 중심으로”, 대한건축학회논문집, 제 19권, 제1호, pp.259-266(2003. 01).
9. 이평강, 최인창, 김희서 외 2인, “건축물 화재안전을 위한 용도별 화재하중 적용에 관한 연구-설계대상공간에 있어서 화재하중에 대한 국내·외 사례를 중심으로”, 대한건축학회, 춘계학술발표대회논문집, 제22권, 제1호, pp. 513-516(2002. 4).