

국내 PBD 기반 설계를 위한 강구조 구조내화설계 구축방향에 관한 연구(II)

권영진 · 김동은
호서대학교 소방방재학과

A Research Direction of Structural Fire Resistance Design of Steel Structures for Recommendation of PBD in Korea

Kwon, Young Jin · Kim, Dong Eun

Hoseo University Fire and Disaster Protection Engineering

ABSTRACT

최근 초고층구조물 및 대공간구조물등에 대한 소방법의 성능설계등이 법제화되어 시행될 예정으로 있으나 화재성상예측등에 대한 기초적인 연구등이 매우 부족한 실정이며 이에따라 성능설계를 실시하기 위한 기반여건이 매우 취약한 조건이다. 특히 강구조건축물의 경우 초고층구조물의 전형적인 구조형식으로서 성능설계에 대한 연구기반이 조속히 필요한 실정이다. 따라서 본고는 전보에 이어 화재하중등과 밀접한 관련이 있는 가연물조사등과 더불어 이에 대한 이웃 일본건축학회의 강구조건축에 대한 성능적 내화설계방법론중 하중편을 조사하여 향후 국내의 화재하중선정을 위한 기초자료로 사용될수 있도록 하였다.

1. 서 론

건축구조물에 있어 내화설계법이란 건축물의 연소 확대 및 붕괴를 방지함으로써 피난 안전을 확보함과 더불어 물적인 손실을 최소화시키는 것을 목적으로 하고 있다. 이러한 내화설계법에 의한 구조물의 내화안전성을 달성하기 위해서는 화재성상을 고려하여야 하며, 이러한 화재성상에 따른 건축구조부재에 화재안전성능 즉, 차열성, 차염성, 구조안전성 등을 구비시키기 위한 설계 수법이다. 현재 우리나라의 내화설계는 건축법에 의해 요구되는 내화시간과 표준내화시험에 의한 성능평가에 따라 행해진다. 예를 들면 건축물의 층수별 부위별로 요구되는 내화성능이 표준화재곡선에 의하여 30분으로부터 3시간까지의 내화시간으로 규정되어 있고, 이와 같은 내화성능이 요구되는 건축물의 기둥, 보 등은 표준내화시험에 따라 소정의 내화시간을 확보하는 성능을 갖고 있는 것이 확인된 구조여야만 한다. 이와 같은 요구내화시간과 표준내화시험에 따른 내화설계법은 설계자에게는 아주 알기 쉬운 이점을 갖고 있는 한편, 다음과 같은 문제점이 지적되고 있다.

첫째로, 안전율이 집약되어 있는 것으로 판단되는 편행기준의 내화시간은 개별의 건축물이 실화재성상과의 대응이 어려울 뿐만 아니라 가연물이 매우 작은 경우 등의 건축물의 타입에는 설계화재성상으로서 적당하지 않으며, 둘째로 표준내화시험에 따른 부재 허용온도 등에 따른 내화성능 평가는 확실적이고 작용하중, 구조형상 및 가열부위 등에 영향을 받는 구조부재의 내화성능을 적절하게 평가하기 어려운 상황에 처하게 됨으로 이와 같은

문제점을 개선하기 위하여 개별의 건축물에 요구되는 내화성능의 목표수준을 명료하게 하고 실화재의 성장예측 및 화재 하에서의 부재의 열적, 역학적 성장예측에 따라 그 내화성능을 해석적으로 평가하면서 내화성능의 소요의 목표수준을 달성하도록 구조부재의 내화시방을 결정하는 수법이 필요하다.

이러한 설계기술을 성능기반 설계라 하며, 선진 외국의 경우 성능기반 화재안전설계가 정착되고 있으며, 우리나라의 경우에도 소방법의 경우 화재 안전설계 분야에 대하여 소방시설들에 대한 성능설계가 2009년부터 시행될 예정에 있다.

반면, 건축법의 경우에는 화재안전설계분야가 아직도 기존의 사양설계에 머물고 있으며, 이에 따라 건축법과 소방법과의 설계방법에서도 상당한 괴리가 예상된다.

본 연구는 건축구조분야 중 강구조분야에 있어서 성능적 구조내화안전설계를 위하여 일본 건축학회에서 2008년 3월에 개정된 강구조 내화설계지침 내용을 소개하고자한 것으로 전보에 이어 화재하중을 중심으로 고찰한 것이다.

2. 성능적 내화설계를 위한 하중

2.1 화재의 종류

화재시에는 구조체의 상시작용하는 통상적인 의미인 하중과 더불어 화재에 의한 영향이 부가된다. 화재성장 그 자체는 단편적으로 제공되어지는 것은 아니고, 화재성장예측에 따른다. 따라서 내화설계에 사용되는 설계는 화재성상에 산정에 사용되는 화재하중과 부재 골조시스템 등의 붕괴온도에 선정에 사용되는 작용하중으로 나눌 수 있다.

2.2 화재하중

화재성장 예측에 사용하는 화재하중은 다음과 같이 선정한다. 첫째로는 플래쉬오버현상을 따라 성기화재로 전이되는 공간의 화재성상을 예측하기 위해서는 공간내의 총 가연물량을 산정하여 적절하게 화재하중을 산정한다. 둘째로는 가연물이 대 공간등에서 플래쉬오버가 발생하지 않는 것이 확실한 공간의 화재성장 예측시에는 공간내의 가연물의 편차를 고려하여 연소에 기여하는 가연물을 적절하게 선정한다.

이와 같이 화재성상을 예측하는 경우에는 설계 대상인 공간의 화재하중(적재물 및 내장재료 등의 가연성 물품의 총 발열량)을 적절히 설정하여야 한다.

1) 공간내의 총 가연물량

플래쉬 오버가 발생하는 것이 예상되는 공간에서는 실내 가연물의 발열량을 산정하고, 가연물은 건축물의 벽, 천정, 바닥, 칸막이, 마감재, 가연성 내장재, 가구 등의 고정가연물과 건축물 완성을 위해 설치되는 가구, 서류, 의류 등의 적재가연물로 구분된다.

$$W = W_{load} + W_{fix}$$

여기서, W : 실의 가연물의 총 발열량 (MJ)
 W_{load} : 실의 적재가연물의 총발열량 (MJ)
 W_{fix} : 실의 고정가연물의 총발열량 (MJ)

적재가연물에 대하여서는 건축물의 용도, 규모를 토대로 설정한다. 고정가연물은 건축물의 설계도서로부터 수량을 체크하는 것을 원칙으로 한다.

② 실의 적재가연물의 총 발열량

화재하중이란 실내의 가연물 중 연소에 관하는 것에 총량이고 실내의 가연물이 완전연소 후 발생하는 열량의 합계이다.

$$W_{load} = w_f \cdot A_f$$

여기서, w_f : 실의 적재가연물의 총 발열량밀도 (MJ/m³)

A_f : 실의 바닥면적 (m²)

적재가연물 발열량의 밀도에 관하여서는 기존의 조사 결과가 공간의 용도별로 정리되어 있고, 설계시 활용할 수 있다. 기존의 조사 결과를 표1에 나타낸다. 설계에 사용되는 화재하중밀도는 평균치가 아니라, 편차를 고려한 값을 사용되는 것을 추천된다. 예를 들면, 평균치의 표준편차의 두배정도의 값을 고려하여 표2와 같은 값을 추천할 수 있다.

또한, 건물의 실태 조사에 따라 발열량 밀도를 설정하는 경우에는 가연물의 종류별로 중량을 집계하여 재료 종별과 수납형태에 따른 단위중량당 발열량을 계산하여 구한다.

표 1. 적재물의 발열량 밀도의 설계표준치

실 종류	발열량밀도 w_f (MJ/m ³)	
주택의 거실	720	
주택이외의 건축물의 침실 또는 병실	240	
사무실 및 기타 사무실과 비슷한 용도	560	
회의실 및 기타 회의실과 비슷한 용도	160	
교실	400	
체육관의 아레나 및 기타 용도가 비슷한 것	80	
박물관 또는 미술관의 전시실 및 기타 용도가 비슷한 것	240	
백화점 매장 또는 물품판매업을 하는 점포 및 기타 용도가 비슷한 것	가구 또는 서적의 매장과 기타 용도가 비슷한 것	960
	기타의 부분	480
음식점류	간이한 식당	240
	기타의 음식실	480
극장, 영화관, 연회장, 관람장, 공회당, 집회실, 기타 용도가 비슷한 것	객석부분(고정석의 경우)	400
	객석부분(기타의 경우)	480
	무대 부분	240
자동차 차고 또는 자동차 수리 공장	차고 또는 기타 이것과 유사한 것	240
	차로 또는 기타 이것과 유사한 것	32
복도 계단 기타의 통로	32	
현관홀, 로비 기타 용도가 비슷한 것	극장, 영화관, 공연장, 관람장, 공회당, 또는 집회장, 기타 이것과 유사한 용도 또는 백화점과 물품판매업을 하는 점포와 기타 이것들과 유사한 용도로 사용되는 건축물의 부속된 것	160
	기타의 것	80
승강기, 기타 설비의 기계실	160	
옥상 광장 또는 발코니	80	
창고 기타 물품보관에 사용되는 실	2000	

표 2. 적재가연물 밀도에 관한 조사결과

건물용도	실용도	단위바닥면적근처의 적재가연물량(MJ/m ²)			조사 횟수	
		범위	평균값	표준편차	조사실시수	조사실수
사무소	사무계사무실	178.2~338.4	252.0	117.0	7	8
		(178.2)~(624.6)	(307.8)	(136.8)	(8)	(10)
	기술계사무실	113.4~597.2	459.3	128.5	5	16
		306.0~541.8	401.4	84.6	5	6
		550.0~1126.4	882.6	198.5	5	11
	행정사무실	264.0~334.0	299.0	35.2	2	2
		703.8~909.0	815.4	82.8	1	5
	설계실	590.4~734.4	657.0	73.8	4	5
	협의실	43.2~259.2	126.0	73.8	6	13
	회의실	134.1~735.4	366.6	323.0	1	3
		110.0~120.0	115.0	4.8	2	2
	휴게실	55.0~547.3	249.3	196.9	5	6
	사원식당	48.0~58.0	53.0	4.8	2	2
	자료실	817.2~2478.6	1495.8	538.2	7	10
도서실	2512.0~3616.0	3064.0	552.0	2	2	
창고	2278.8~4213.8	3333.6	979.2	2	3	
로비	75.6~343.8	194.4	113.4	4	4	
출입구	0.8~62.4	37.2	25.1	5	5	
복도	0.2~92.3	37.9	33.4	4	14	
계단		141.1		1	1	
학교	보통교실	109.8~552.6	289.8	104.4		104
	이과교실	151.2~540.0	316.8	95.4		36
	이과준비실	205.2~1051.2	586.8	172.8		29
	가정과교실	160.2~406.8	306.0	77.4		25
	가정과준비실	156.6~1108.8	477.0	239.4		16
	도서실	221.4~1310.4	646.2	297.0		21
	관람실	89.8~358.9	214.8	135.6	1	3
	현관홀		27.5		1	1
주택	개별주택	158.4~649.8	343.8	95.4		162
		~	352.8	131.4		755
	임대주택	176.4~1598.4	518.4	203.4		139
	분양주택	154.8~1155.6	608.4	185.4		121
	사택	156.6~1456.2	669.6	207.0		238
단독주택	124.2~667.8	360.0	117.0	38		
호텔	객실	142.2~239.4	189.0	27.0	2	15
	연회실	52.2~122.4	79.2	27.0	1	6
	로비		50.4		1	1
체육관	구기장		3.6		1	1
	유도장		86.4		1	1
	기구실	234.0~761.4	482.4	264.6	1	3
	탈의실	32.4~45.0	39.6		1	2
	현관홀					
클럽실	108.0~163.8	127.8	25.2	1	4	
극장	대도구제작실		784.8		1	1
	대도구창고	1024.2~73.1	1170.0		1	2
	나락		183.6		1	1
	무대		77.4		1	2
무대측	369.0~370.8					
창고	중이창고	15202.8~22698.0	19105.2	2566.8	1	6
백화점	매장	162.0~554.4	343.8	153.0	1	6
우편국	집배실	24.0~400.0				

2) 고정가연물

내장재료등의 고정가연물에 관하여는 설계도서를 참조하여 가연물의 총중량을 산정하고 표3과 같은 단위 발열량을 곱하여 화재하중으로 한다. 이 표에 해당하지 않는 재료 및 재질을 특정하여 발열량을 구하는 경우에는 별도로 따른다.

$$W_{fix} = \sum_i \Delta H_i \cdot G_i$$

여기서, $\Delta H/G$: 재료의 단위중량당 연소발열량(MJ/kg)
 G : 재료의 중량 (kg)

$$W_{fix} = \sum_i \Delta H_{m,i} d_{m,i} A_{m,i}$$

여기서, H_m : 내장용 건축재료의 설치면적 1m²당 두께 1mm당 발열량(MJ/m²·mm)
 d_m : 내장용 건축재료의 두께 (mm)
 A_m : 내장용 건축재료의 설치면적 (m²)

단, 내장용 건축재료에 한하여는 방화재료의 구분에 따라 두께 1mm당 발열량이 정해지고, 표4의 값을 사용할 수 있다.

표 3. 각종 재료의 단위중량당 발열량(재질별 평균치)

재료명	단위중량당 발열량 $\Delta H(MJ/kg)$	표면적 1m ² 당의 발열 속도 $q_o(KW/m^2)$
셀로로스계의 재료	17.5	
목재	18.3	122
연질 플라스틱	36.1	413
경질 플라스틱	27.7	697
布地	19.6	160
액체연료	36.5	1111
고체연료	30.7	
기타 가연재료	곡물	17.0
	보리	15.0
	음식물 쓰레기	14.5
	유지	40.0
	버터	38.5
	피혁	20.0

표 4. 내장용 건축재료의 발열량

방화재료의 구분	설치면적 1m ² 당 두께 1mm당의 발열량 $\Delta H_m(MJ/(m^2 \cdot mm))$	표면적 1m ² 당의 발열 속도 $q_o(KW/m^2)$
불연재료	0.8	13
준불연재료	1.6	26
난연재료	3.2	52
목재 기타 재료	8.0	130

2) 성기 화재발전하지 않는 것이 명확한 공간의 화재성장 예측을 위한 화재하중

통행용으로만 사용되는 아트리움 등에서 공간에 크기에 대하여 가연물이 적고 화재가 발생하여도 플래시오버 현상을 일으키지 않는 것이 명확한 경우에는 연소가 부분적으로 더욱더 발전되지 않고 그 상태로 유지되는 것을 알 수 있다. 이와 같은 경우에는 공간에 존재하는 가연물의 치수, 종류, 형태, 위치등을 적절하게 고려하여 화원을 설정한다. 가연물에는 동시에 연소하는 것이 예상되는 가연물의 집합이고, 국소화재 설정의 베이스로 된다. 그러나, 기존의 가연물조사 결과는 매우 적고, 국소화재를 일으키는 가연물의 조사방법을 일반적인 지침으로서 제공하는 것은 곤란하다. 따라서, 공간 기능간의 관계를 고려하여야 한다.

① 플랫폼

철도역의 플랫폼에서는 공간형상과 기능이 심플하므로, 가연물 배치에도 일정한 룰이 있다. 그림은 플랫폼의 사례 중 정형적인 배치형태를 나타낸 것이다. 벽에 따라 벤치와 쓰레기통이 배치된 패턴이 정형적이고 어느 정도의 규모에 대한 자판 등에 로커등 승객의 이용 향상을 위한 물품이 설치된다.

② 학교의 출입문

학교 등의 교육시설의 출입문에는 입관자가 각종 정보를 제시하는 게시판 자료배치용의 테이블등이 설치되어 있다. 어느 정도의 규모가 되면, 일시적인 작업책상 등의 가구 및 휴식용의 벤치가 배치되는 곳이 많다. 이러한 물품은 중요한 일상동선을 저해하지 않도록 벽부분 혹은 각진 부분에 배치시킨다.

③ 호텔의 출입문

호텔의 출입문 로비는 화원설정의 근거로 되는 자료가 얻기 어려운 것이 일반적이다. 그러나, 호텔의 선전용 팸플릿등의 게시된 사진 등으로부터 설치되는 가연물의 경향을 추측할 수 있다. 휴식용 의자 및 쇼파 및 TV는 대부분의 경우에 설치되는 것으로 간주하고, 어메니티를 위한 식재가 설치되는 빈도도 높다. 또한 홍보용 사진 등으로서 등장 빈도는 낮으나, 쓰레기통, 간판, 손님들로부터 맡겨진 물품도 보편적으로 존재하고 있는 것으로 판단된다.

국소화재의 화원설정에 대하여는 상기 예와 같은 조사에 따라 방법 및 이벤트 공간이라고 하면, 공간이용계획의 일부로서 가연물의 설정을 적절하게 행할 필요가 있다. 내화설정 검정법에서는 3MW화원으로 설정하고 있으나 이것은 대형 쇼파의 연소에 거의 임박하다. 설계대상 공간에 무엇보다도 큰 가연물이 산정되는 경우에는 국소화재의 산정을 정확하게 행할 필요가 있다.

2.3. 작용하중

화재시에 구조체에 작용하는 하중은 아래와 같이 적정하게 산정하여야 한다.

- 1) 내화설계에 사용하는 작용하중은 원칙적으로 고정하중(G), 적재하중(P) 및 적설하중(S)의 합계로 한다. 단, 화재시의 상기 이외의 하중이 작용하는 것이 예상되는 경우에는 상기의 조합에 별도의 하중을 가산하여야 한다.
- 2) 고정하중(G), 적재하중(P) 및 적설하중(S)의 산정은 원칙적으로 건축물 하중지침 동해설에 정하는 것에 행한다. 또한, 화재시에 상기이외의 하중작용이 예상되는 경우에는 그러한 하중을 실상에 따라 선정하여야 한다.

3. 결론

국내 PBD 기반 구조내화설계시의 강구조 내화설계 구축을 위하여 일본 건축학회의 강구조내화설계지침을 조사한 결과 성능기반 구조내화설계의 주요핵심이 되는 사안중 화재하중산정이라는 측면에서 매우 상세한 화재하중이 조사결과에 따라 용도별로 구축되어 있으며 향후 국내의 경우에도 이에 대한 가연물조사를 통한 화재하중산정을 위한 각고의 노력이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 日本建築學會, “剛構造耐火設計指針”, 2008.03.15
2. 社団法人國土開發技術研究センター, 日本建築センター“建築物の總合防火設計法第4卷 耐火設計法”, 1988.04.10
3. 권영진의2인, 국내 PBD 기반 설계를 위한 강구조구조내화설계 구축방향에 관한 연구(I), 2008년 한국 화재소방학회 추계학술대회