

성능 위주 설계를 위한 화재저항에 관한 연구

정수영 · 김태현*

서울대학교 전기컴퓨터공학부, *명지전문대학 전기과

A Study on the Fire Resistance in Building Construction for Performance Based Design

Jung, Soo Young · Kim, Tae Hyun*

Department of Electrical and Computer Engineering, Seoul Nat'l Univ.

*Department of Electrical Engineering, Myongji College

요 약

최근에 초고층 빌딩의 수요 증가에 따른 성능위주설계에 대한 관심이 고조되고 있다. 이에 건축 공사에 있어서 가장 중요한 요소인 화재 저항에 대해서 외국 사례 및 적용 방법에 대한 개념을 이해함으로써 보다 효과적인 건축물 시공에 도움이 되고자 한다.

1. 서 론

최근에 초고층 건축물의 증가로 인한 화재 시 대형 인명 피해로 직결된다. 이에 안전 피난의 중요성의 대두로 소방 분야의 선진 기술인 성능 위주 설계(performance based design)에 대한 국내의 관심이 높아지고 있다[1-3]. 그러나 국내에는 아직 데이터베이스 부재 및 소방 엔지니어의 공학적인 교육의 미흡으로 실제 성능 위주 피난 설계에 많은 어려움이 있다. 본 논문에서는 NFPA 및 SFPE에서 언급하고 있는 화재 저항에 대해서 살펴보고 이를 반영한 국내 건축물 설계 기술 개발 및 소방 성능 위주 설계 이해에 도움이 되고자 한다.

2. 연구 범위

초고층 건물의 소방 설계에서 크게 active system과 passive system 으로 나눌 수 있다.

Active system 으로는 대표적인 예로 스프링클러설비 등 수계 소화 설계와 special hazard system을 위한 가스계 소화 설비 등을 들 수 있다.

Passive system 에는 대표적으로 인명 안전(life safety) 관점의 피난 설계 와 이번 논문에서 언급하는 화재 저항(fire resistance) 관점에서의 건축구조(building construction)로 나눌 수

있다.

소방 공학 관점에서 대표적인 건축 구조(building construction) 참고 문헌으로는 아래와 같다.

- (1) NFPA 발행, FPH(Fire Protection Handbook, NFPA) 의 Section 18 및 section 19
- (2) SFPE 발행, HFPE(Handbook of Fire Protection Engineering) 의 Ch. 4-8 및 Ch. 4-8
- (3) NFPA 251
- (4) ASCE 발행, Standard Calculation Methods for Structural Fire Protection

FPH 19.1 에서는 construction type을 Type x (a b c)와 같이 표기하고 있다.

여기서, x 는 construction type에 따라 I, II, III, IV, V 로 나눈다.

I 는 "fire resistive(내화성)", II 는 "noncombustible(불연성)", III 는 "ordinary", IV 는 "heavy timber or mill", V 는 "frame"을 나타낸다.

또한, (a b c)에서 a는 외벽(exterior wall)의 화재 저항, b는 기둥과 빔(columns and beams)의 화재 저항, c는 바닥과 천장(floor 와 roof) 의 화재 저항을 말한다.

예를 들어, Type II(111) 이라면, 불에 타지 않는 성능을 가진 불연성(noncombustible) 건축물로서 외벽들의 화재저항은 1시간, 기둥 및 빔의 화재저항은 1시간, 바닥과 지붕의 화재저항은 1시간임을 말한다.

단, 예외적으로 Type II(222)는 외벽, 기둥(빔) 및 바닥(지붕) 중 1시간 화재저항은 가지는 요소를 가질 수 있다.

다음으로, 실제 화재 저항을 계산하는 방법을 살펴 보도록 하자.

보이드(void)을 가진 화재 저항의 등가 두께 T_e 는 다음 식과 같이 표현된다.

$$T_e = \frac{V}{LH} \text{ (in.)} \quad (1)$$

여기서, V는 net volume (= gross - voids) (in.³)이고, L은 블록(block)의 공칭 길이 (in.), H는 블록(block)의 공칭 높이 (in.)을 말한다.

그렇다면, 두께에 대한 화재 저항 관계식에 대한 데이터 베이스에 대해서 궁금할 것이다. 이는 ASCE 발행된 Standard Calculation Methods for Structural Fire Protection에서 상세히 엿볼 수 있다. 이 책은 크게 Concrete, Timber, Masonry, Steel 에 대한 각각의 화재 저항 데이터 베이스를 언급하고 있다.

예를 들어, 석회질 자갈 (calcareous gravel) 로 만들어진 콘크리트 블록(concrete block) 이

$15\frac{5}{8}(\text{in.}) \times 7\frac{5}{8}(\text{in.}) \times 7\frac{5}{8}(\text{in.})$ 으로 측정되었다. 보이드(voids) 체적은 346 in^3 이다. 화재 저항을 구하면, 공칭 $15'' \times 8'' \times 8''$ 이고, $V = 8 \times 8 \times 16 - 346 = 678 \text{ in}^3$ 이다. 따라서,

$$T_e = \frac{V}{LH} = \frac{678}{(16)(8)} = 5.3(\text{in.})$$

아래 ASCE 발행된 Standard Calculation Methods for Structural Fire Protection에서 언급된 Table 4-1를 참고하면[4], 화재저항이 3시간임을 알 수 있다. 즉, 3시간동안 방화구획으로서의 성능을 유지하거나 또는 하중 지지력의 손실없이 화재에 견딜 수 있음을 알 수 있다.

TABLE 4-1. Fire Resistance Rating of Masonry

| Aggregate Type in the Concrete Masonry Unit ⁽³⁾ | Minimum Required Equivalent Thickness of the Masonry, in. ^(1,2) | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|-----|------|-----|------|-----|--------|----|------|----|--------|----|--------|----|
| | Fire Resistance Rating Period | | | | | | | | | | | | | |
| | 4 hr | | 3 hr | | 2 hr | | 1.5 hr | | 1 hr | | 3/4 hr | | 1/2 hr | |
| | in. | mm | in. | mm | in. | mm | in. | mm | in. | mm | in. | mm | in. | mm |
| Calcareous or siliceous gravel | 6.2 | 157 | 5.3 | 135 | 4.2 | 107 | 3.6 | 91 | 2.8 | 71 | 2.4 | 61 | 2.0 | 51 |
| Limestone, cinders, or slag | 5.9 | 150 | 5.0 | 127 | 4.0 | 102 | 3.4 | 86 | 2.7 | 69 | 2.3 | 58 | 1.9 | 48 |
| Expanded clay, shale, or slate | 5.1 | 130 | 4.4 | 112 | 3.6 | 91 | 3.3 | 84 | 2.6 | 66 | 2.2 | 56 | 1.8 | 46 |
| Expanded slag or pumice | 4.7 | 119 | 4.0 | 102 | 3.2 | 81 | 2.7 | 69 | 2.1 | 53 | 1.9 | 48 | 1.5 | 38 |
| Clay Masonry Unit | | | | | | | | | | | | | | |
| Brick of clay or shale, unfilled | 5.0 | 127 | 4.3 | 109 | 3.4 | 86 | 2.85 | 72 | 2.3 | 58 | 2.0 | 51 | 1.7 | 43 |
| Brick of clay or shale, grouted or filled with perlite, vermiculite, or expanded shale aggregate | 6.6 | 168 | 5.5 | 140 | 4.4 | 112 | 3.7 | 94 | 3.0 | 76 | 2.65 | 67 | 2.3 | 58 |

¹ Fire resistance rating between the hour fire resistance ratings listed shall be determined by linear interpolation based on the equivalent thickness value of the masonry.

² Where combustible members are framed in the wall, the thickness of solid material between the end of each member and the opposite face of the wall, or between members set in from opposite sides, shall not be less than 95% of the thickness shown in the table.

³ Minimum required equivalent thickness corresponding to the hour fire resistance rating for units made with a combination of aggregates shall be determined by linear interpolation based on the percent by volume of each aggregate used in the manufacture.

Steel 에 대한 화재 저항의 개념에서는 UL 표기법 및 W/D 비가 중요하다. 여기서, W 는 Weight(lb./ft of length)을 말하고, D는 heated perimeter(in.)을 말한다.

| Letter | Type of Assembly | Number | Method of Protection |
|--------|-----------------------------|---------|--|
| A-M | Floor ceiling | 000-699 | Membrane protection (e.g. gypsum wallboard) |
| N, O | Beam-only in floor ceilings | | |
| P-R | Roof ceiling | 700-899 | Spray-applied materials (e.g. gypsum wallboard) |
| S, T | Beam only in roof ceilings | | |
| U-W | Walls | 900-999 | Unprotected |
| X-Z | Columns | | |

표 1. UL 기준 설계를 위한 화재저항 표기법

표1은 UL 기준 화재 저항 설계 문자 및 숫자의 의미를 표로 정리해 보았다.

예를 들어, fire resistance design “X517” W10×49 column 은 표1을 읽어보면, 석고판 (gypsum wallboard)로 보호된 철골 기둥(steel column) 구조임을 나타낸다. 여기서, W는 wide flange (또는 H-shped) 임을 말하며, 10은 깊이(in.) 이고, 49는 무게 (lbs/ft)를 말한다.

그리고, 철골(steel)의 화재저항에서 중요한 의미인 W/D가 증가할수록 화재 저항은 크고, W/D가 감소할수록 화재 저항을 감소함을 나타낸다. 즉, 철골 재료의 화재저항을 상대적으로 비교하기 위해서 꼭 필요한 인자이다. 아래 그림은 철골에서 실제 heated perimeter (D) 를 구하는 수식을 도시한 그림이다[4].

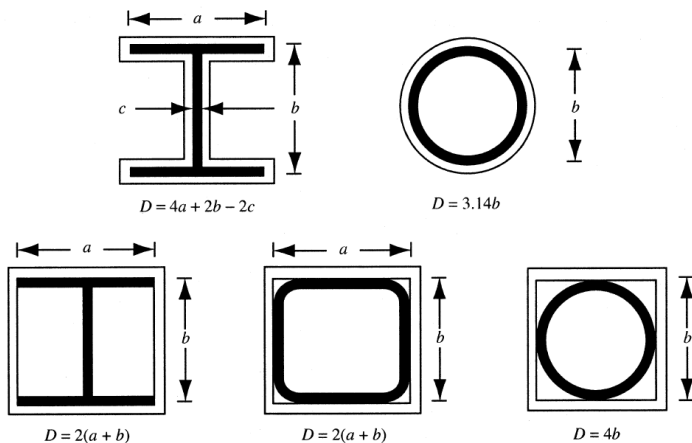


FIGURE 5-1. Determination of the Heated Perimeter (D) of Steel Columns

3. 결 론

건축물의 성능위주설계에 있어서 아직까지는 국내 실정에 맞는 데이터베이스 부재로 화재 저항에 대한 수식적 계산 및 기준이 명확히 제시되지 못하고 있다. 이 논문에서는 외국에서 사용되고 있는 화재 저항의 기본적인 계산법 및 표기를 이해함으로써 화재 저항을 통한 건축물 소방 설계의 국내 기준 확립에 안목을 기르는데 목적을 두었다.

감사의 글

본 연구는 2011년 일등고시학원 내 카페(<http://cafe.daum.net/fppe2>) 연구비 지원 사업으로서, 한국소방 성능위주설계 원천기술 개발의 일환으로 이루어진 것으로 본 연구를 가능케 한 학원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 이종영, 백옥선, “성능위주소방설계의 범적문제 및 개선 방안,” 한국화재소방학회 논문지, vol.24, no.1, pp. 54~63, 2010년 2월.
2. 박동하, “성능위주소설계를 위한 화재감지기배치의 공학적 연구,” 한국화재소방학회 논문지, vol. 24, no. 1, pp. 15~23, 2010년 2월.
3. 박창복외 6인, “A 호텔 & 카지노 아트리움의 화재 및 피난 시뮬레이션을 통한 성능위주소설계 사례 연구,” 한국화재소방학회 논문지, vol. 23, no. 2, pp. 13~19, 2009년 4월.
4. ASCE/SEI/SFPE29-05, “Standard Calculation Methods for Structural Fire Protection”, 2007