건축물의 피난 계산

본 연구 논문은 한국화재보험협회가 실시하고 있는 방재전문인 연구 논문이다. 방재전문인 제도는 업종별 · 원인별 · 설비별 등으로 19개 전문 분야를 선정하고 이를 세분화시켜 분야별 최고 전문가를 양성하는데 목적을 두고있다. 교육 기간은 2년으로서 현지 위탁 교육, 연수 교육, 연구 교육, 연구 보고서 작성, 논문 작성 등의 과정을 거치며, 본 교육을 이수한 직원은 본 협회가 전문인 자격을 부여하는 제도로서 업종별 전문 점검 능력을 향상시키게 된다.

본지에서는 이번 호부터 방재전문인들의 연구 논문을 요약 소개한다.

1. 머리말

고층 건물 화재시 사망자 발생 상황을 보면 화열에 의한 사망자는 소수에 불과하고 대부분은 연기 및 유독 가스의 흡입에 의한 질식사이다. 고층 건물 화재시 발생하는 연기는 굴뚝 효과에 의해 급속히 상층으로 확산되며, 공기의 유동에 따라 틈만 있으면 어디든지 스며든다.

따라서 건물내에 설치하는 피난 수단은 어떤 구조로 해야 할 것인가 또는, 기 설치된 피난 수단이 신속히 피난하기에 적절한가 하는 것은 실제 화재가 발생한 상황을 예상하여 계산적으로 판단해 볼 수 있겠다.

본고에서는 기 발표된(일본 건축 센터)피난 계산식을 기초로 하여 논하기로 한다.

2. 피난 계산에 의한 평가 사항

일반적으로 행하여지고 있는 피난 계산은 화재가 발생했을 때 출화실, 비출화실의 사람들이 그 층에서 전원 피난 완료하기 까지 (계단실로 피난할 때까지, 혹은 피난층은 외부로 나갈 때까지)의 여러 상황에서 시간이나 체류 현황을 예측토록 하는 것이다.

(1) 거실 피난 — 화재가 발생한 경우에 그 실의 인원이 실외로 나갈 때까지의 시간을 체크한다.

(2) 복도 피난 — 복도 등의 제1차 안전 구획에 있어서 화재실, 비화재실에서의 피난자 전원이 제2차 안전 구획이나 최종 피난 지점 (피난 계단이나 외부)으로 피난할 때까지의 시간을 체크한다.

여러가지 경로가 있는 경우는 각각의 경로마다 계산을 하여 안전을 확인한다.

(3) 층 피난 — 화재 발생층의 인원이 최종 피난 지점으로 피난할 때까지의 시간을 체크한다. 또한 필요에 따라서는 위와 같이 각층의 피난뿐만 아니라 전관의 피난을 계산해서 안전을 평가하는 경우도 있다.

3. 피난 계산의 기본

피난 계산은 다음과 같은 가정 아래에서 진행한다.

(1) 피난 대상자는 피난 직전 실내에 균등하게 분포하고 있다.

(2) 피난은 일제히 개시한다.

(3) 피난자는 정해진 피난 경로를 통하여 피난한다.

(4) 보행 속도는 일정하고 추월과 역으로 돌아가는 것은 없다.

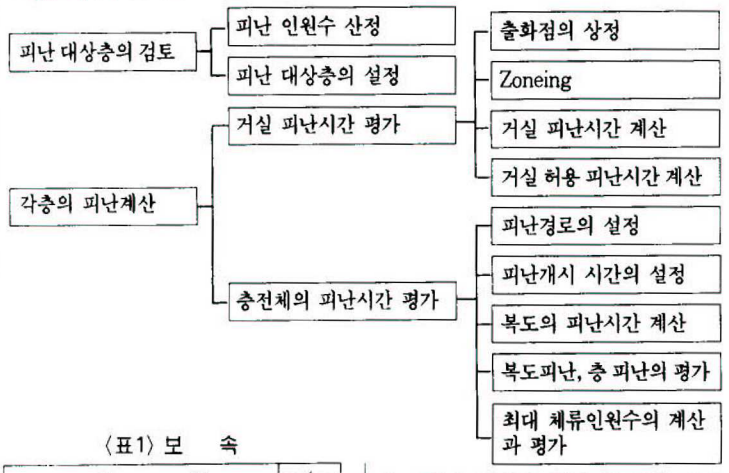
(5) 군집류는 출입구 등의 폭에 의하여 규제된다.

(6) 출입구가 복수일 경우에는 특별한 유도가 없으면 가장 가까운 출입구로부터 대피한다.

피난 계산의 기초는 일본의 도가와 박사가 제창한 보행 속도와 출구 등 일정한 폭을 갖는 통로의 유동계수이다.

보행 속도에 대해서는 동 박사의 조사 등에 의한 값이 있으나 (〈표1〉참고), 현재 행해지고 있

〈피난 계산의 순서〉



〈표1〉 보 속

종 류	m/sec
느린 사람	1.0
빠른 사람	2.0
표준보속	1.3
무릎과 손으로 기다	0.4
발과 손으로 기다	0.5
종종 걸음	3.0
달리다 (프로야구)	5.0
막 달리다 (프로야구)	8.0
세계기록 (육 상)	10.0
세계기록 (수 영)	1.7
무릎까지의 수중 (탁 수)	0.7
허리까지의 수중 (탁 수)	0.3
어둠속 (현장 숙지)	0.7
어둠속 (현장 미지)	0.3
군중보속	1.0

는 피난 계산은 다음의 값을 표준치로 이용하고 있다. 여기에 나타나고 있지 않는 용도의 경우는 이들의 값을 참고로 해서 적당한 값을 정하여 사용하는 것으로 한다.

1.3M/sec… 사무소, 학교 등의 거실
1.0M/sec… 관매장, 점포, 호텔, 집회실 등 불특정 다수인의 거실, 일반 용도의 복도
0.5M/sec… 병원의 실내 및 복도, 고밀도의 집회실 등

유동계수란 임의의 출입구 등을 예상했을 때 단위 폭당(1m) 1초에 몇명이 통과할 수 있는가 하는 수이며, 일반적인 계산으로는 1.5라는 값이 쓰여지고 있다.

예컨대 N(인)의 사람이 B(m)의 출구를 통과하기 위한 소요시간 t(sec)는 아래 식으로 나타낼 수 있다.

$$t = \frac{N}{1.5 \times B}$$

또 계단의 보행을 계산할 필요가 있는 경우의 보행 속도는 계단 1단에 대해 0.5초, 혹은 수평 방향 거리 0.5m/sec의 값이, 또 계단의 단에 들어가는 부분의 유동계수로서는 1.3이라는 값을 쓰는 것이 권장되고 있다.

여기서의 설명은 가장 기본적인 것으로 생각해주기 바란다.

4. 거실 피난

① 피난 개시 시간(To)

출화하고 부터 피난 행동이 개시될 때까지의 시간을 말한다.

$aTo = 2\sqrt{A_1}$ (출화실)

$bTo = 4\sqrt{A_1}$ (비출화실)

A_1:출화실 바닥면적(m^2)

(면적이 적어 aTo가 30초 미만이 되는 경우에는 aTo를 30초로 한다.)

② 거실 피난 시간 계산(rT1)

$T_1 = \max(t_{11}, t_{12})$

$T_{11} = \frac{Ni}{1.5 \times Bi} \times$ 출입구 유동계산 : 1.5(人/m.sec)

$t_{12i} = \frac{Lxi + Lyi}{V}$

t_{11i}:Zone i의 피난자의 출구 통과시간

t_{12i}:Zone i의 출구에 최종 도달자가 도착한 시간 (Sec)

Ni:Zone i의 피난인수 (人)

Bi:Zone i의 출입구 유효폭 (m)

Lxi+Lyi:Zone i에 있어서 가장 먼곳까지의 직각 보행거리 (m)

(1) 인구 밀도

우선 그 실에 몇 명의 사람이

있는가를 가정해야 한다. 이 숫자는 실태가 확실히 되어 있다면 그 최대치를 사용하면 되지만 실제로는 사무실 등 여러 가지로 사용되는 편이므로 그 표준치가 〈표2〉와 같이 표시되어 있다. 사람수는 실의 면적에 이 값을 곱해서 산출한다.

(2) **출화점의 예상과 Zoning, 출구로부터의 피난 시간**

실내에서 가장 불리하다고 생각되는 장소에서 출화했다고 예상한다. 일반적으로는 200m² 를 초과하는 실에서는 하나의 출구 앞을 출화점으로 하여 그 출구를 사용불능으로 하는 방법을 취한다. 이 때 피난자는 나머지 출구로부터 피난하게 되지만 평면형이 단순해서 출구가 비교적 균형있게 배치된 경우에는 각 출구에 균등하게 사람이 분산하고, 계산도 전체 출구폭과 전체 인원에 대해 계산하는 것이 바람직하다.

〈표2〉피난 계산용 인구 산정 밀도

건물용도	대상부분	인구밀도 (인/m)	비고
백화점 또는 상업 빌딩	매장	0.5	에스컬레이터 부분, 통로를 포함한 매장의 유효 부분 전체에 대한 밀도.
	연속식 점포 형태의 부분		
	음식점	0.7	주방은 호텔에 준한다.
	매장	0.5	
	통로	0.25	
	집회장 등	1.5	
사무소 빌딩	일반사무실		
	높이 60m 초과하는 사무소 빌딩	0.125	60m 이하 부분에 대해서도 이 값으로 한다.
	높이 60m 이하의 자사 빌딩	0.16	
	임대 빌딩	0.25	
	회의실		
	400m² 이상	1.5	고정석이 없는 경우의 값. 고정석이 있는 경우에는 좌석수에 의한다.
	400m² 미만	0.6	실태 또는 가정해도 된다.
	식당·음식점	0.7	
호텔·여관	객실	—	수용가능 인원수에 의한다.
	레스토랑	0.5	
	주방	—	실태 또는 가정에 의한다.
	연회장	1.0	
극장·영화관 공회당 등	객석	1.5	좌석수에 입석수(2인/m²)를 더한 수라도 된다.
	악실·사무실 등	—	실태 또는 가정에 의한다.
병원	병실	—	침대에 의한다.
	외래부문	0.2	의사·직원을 포함한 것으로 한다.
	사무실	—	사무소 빌딩에 준하든가 또는 실태에 의한다.
공동주택	주거	—	침실수에 1을 더한 수라도 된다 (예 3LDK에 4인)
학교·대학 등	교실	—	좌석수에 의한다.
	연구실	—	일반사무실에 준한다.
	실험실	—	실태 또는 가정에 의한다.

(3) **보행 시간과의 관계**

상기에서 나타낸 피난 시간은 각 출구에 사람이 많이 모여, 경우에 따라서는 밀치락 달치락하면서 최초의 사람이 통과하고 나서 최후의 사람이 통과할 때까지의 시간으로 생각할 수 있다. 그러나 예컨대 실이 대단히 큰 경우 출구에서 떨어진 곳에 있는 사람이 출구에 도달할 때까지의 시간이 크면 오히려 이 시간이 피난 시간으로 될 가능성이 크게 된다. 그러한 의미로 각 실마다 가장 먼곳에 있는 사람이 출구까지 도달하는 시간을 계산하고, 우선 문의 통과 시간과 비교, 그 큰쪽의 값을 취하여 그 실의 피난 시간으로 하는 것으로 되어 있다.

(4) **거실 허용 피난 시간 (rT_1)**

그런데 이상과 같이 산출된 피난 시간을 어떻게 평가하는가 하는 문제인데 여기서 허용 피난 시간으로 설정되어 있는 기준치와 비교하여 그보다 피난 시간이 적으면 OK라고 평가를 내리게 된다.

거실의 허용 피난 시간(rT_1)은 아래와 같이 정하고 있다. rT_1 의 단위는 초(sec)이다.

- 일반실
  …… $rT_1=2\sqrt{A}$
  A : 거실 바닥면적(m²)
- 천정고가 6m를 초과하는 실
  …… $rT_1=3\sqrt{A}$
- 면적이 200m² 미만의 실
  …… 30초

5. 복도 피난

(1) **복도 피난의 계산**

복도 피난 시간(T_2)는 거실에

서 최초의 사람이 나왔을 때를 기점으로 최후에 그 복도로부터 사람이 모두 계단실이나 전실 등 다음 안전 구획으로 피난 완료할 때까지의 시간이다.

이를 위해서는 복도에서 계단실 등 다음 안전 구획에 이르는 경로마다 어느 정도의 사람수를 부담하고, 어느 정도의 시간이 걸리는가를 산정하게 된다.

(2) **피난 개시 시간 (aTo)**

여기서는 우선 화재실과 비화재실의 피난 개시 시간차를 설정하기 위해서 거실의 피난 개시 시간을 예상한다. 이는 출화실의 면적을 A(m^2)로 했을 때 출화실은 $2\sqrt{A}$(초), 비출화실에는 2배를 취하는 것으로 하고 있다.

큰 실일수록 늦게되는 것은 그만큼 화재를 인식해서 피난 행동으로 옮길 때까지 시간이 걸린다고 하는 생각에 의한다. 본래는 그 층의 전실에서 출화의 가능성이 있으므로 갖가지 케이스를 예상하여 계산을 하는 것이 원칙이지만 실제로는 가장 출화의 확률이 높다고 생각되는 실, 또는 피난 시간을 산출하는데 가장 위험하다고 여겨지는 실을 출화실로 예상한다.

(3) **복도의 피난 계산**

복도의 피난 시간(rT_2)

$$T_2 = t_{21} + \max(t_{22}\ t_{23})$$

$$t_{21} = \frac{L}{V}$$

$$t_{22} = \frac{N_2}{1.5 \times B_2}$$

t_{21}: 복도 보행시간 (Sec) (피난개시부터 계단실에 유입이 개시 되기까지)

t_{22}: 계단 입구 통과시간 (Sec)

L : 복도 최단 보행거리 (m)

V : 보행속도(m/sec)

N_2 : 해당 계단을 이용한 피난 인원수

B_2 : 해당 계단실의 문폭 (m)

복도 도중에 계단전실 등의 출입문이 있으면

$$t_{23} = \frac{L}{V} + \frac{N_2}{1.5 \times B_3}$$

B_3 : 전실문의 유효폭

t_{23} : 계단전실 도착시간 (Sec) (선두 피난자가 계단실에 도착하는 시간으로부터 최종 피난자가 도착하기까지)

(4) **복도의 허용 피난시간(xT_2)**

복도 허용 피난 시간 (rT_2)는 $4\sqrt{A_{1+2}}$(초)라고 정해져 있다. 이 'A_{1+2}'란 '출화실 (A_1)의 면적'과 출화실 이외의 실과 복도 또는 제1차 안전구획 면적의 합계(A_2)의 합이다. 이것도 A_{1+2}가 클수록 연기가 넓게 번져 강하가 늦어 진다는 예상에 기초하고 있다. 따라서 이 A_2 중에서 비교적 개방적인 화장실이라든가 탕비실의 면적을 더해도 되지만 평소 문이 정확히 닫혀있는 창고나 구획이 되어있는 수직 개구부(Duct Space, 승강기 Shaft, 계단 등)는 포함되지 않는다. 예를 들면 호텔의 연회장 등이 있는 층에서 퍼블릭(Public)부분과 서비스 부분과 방화구획 되어 있고 각각의 블록에서 피난이 완결 되도록 하는 계획은 각각의 블록마다 피난을 검토하고 A_{1+2}도 퍼블릭(Public)부분에 대해서는 서비스 부분의 면적을 포함하지 않고 생각하는 것이 원칙일 것이다.

6. 층 피난

층 피난 시간 (T_f)은 화재가 발생했을 때부터 그 층의 사람이 전원 피난하여 마칠 때까지의 시간으로서 복도 피난 시간에 화재실의 피난 개시 시간을 더한 것이다. 또 층 허용 피난 시간은

층 허용 피난 시간

($_sT_f = 8\sqrt{A_{1+2}}$(초)

로 정해져 있다. 이 A_{1+2}에 대하여 복도 피난의 경우와 같은 개념이다.

7. 체류의 확인

최후로 복도나 전실의 체류 확인을 행한다. 만약 복도의 체류 인원수가 많아서 복도 전체가 가득하게 사람으로 메워져 버린 상태가 되면 혼란이 일어날 가능성도 있으며 또, 거실에서 계산한대로 원만하게 사람이 나갈 수 없게 되고 경우에 따라서는 피난 시간이 허용 시간을 상회하여 OK가 되지 않는 경우도 나올 수 있기 때문이다. 이 체류의 확인은 피난 시간의 경과를 횡축으로 하고 수직축에 사람수를 취하여 각각의 시간에 복도나 전실에 어느 정도의 사람이 있게 될까를 보면 된다.

이상에서 피난 계산의 기본적 고찰을 나타냈는데 전술한 것과 같이 건물의 평면이 복잡하다면 계산도 또 여러 가지 수법이나 테크닉을 응용하지 않으면 안된다.

〈편집자註 : 이하 구체적인 적용 예가 있으나 지면상 생략하며, 본 논문에 대해 보다 상세한 내용을 원하시는 분께서는 본 협회 위험관리부로 문의하시기 바랍니다.〉