

대형매장의 성능기준 피난설계

김운형, 김종훈, 조춘식*, 서희원*, 이기섭*

경민대학 소방안전관리과, *삼신설계(주)

The Performance-Based Evacuation Design for Wholesale stores

Woon Hyung Kim, Jong Hoon Kim, Chun Sik Cho*, Hee Won Seo*, and Ki Seob Lee*

*Kyung Min College, Sahn-shin Engineers Inc.

1. 서론

최근 국내에서 가장 빠르게 증가되고 있는 할인매장이나 유통센터와 같은 대형화된 물류 매장은 화재는 직접적인 피해가 클 뿐만 아니라, 이후 영업중단, 기업 이미지손실, 고객들의 안전성 의심에 의한 영업실적 감소, 화재보험료 증가 등 직간접적 손실도 가져온다. 그러므로 대상 건물의 화재위험성을 평가하고 여기서 발견된 문제점을 토대로 이에 대한 방어대책을 구상하고 방재설비를 최적화, 고 효율화하는 것은 기업의 리스크를 감소시키는데 중요한 요소라 할 수 있다. 본 연구는 ○○ 유통센터를 대상으로 하여 방재설비 최적화를 위해 대형매장의 방재 특성을 분석을 하고, 화재 안전성 평가를 수행하였다.

2. 대형매장의 문제점

2.1 대형매장의 화재위험성

대형매장은 넓은 공간에 다량의 가연물이 집중 수용되고, 큰 면적의 실로 구성되어 있어 화재시 전파속도가 빠르고, 고객판촉을 위한 간이식화기의 사용이 많으며, Back Space, 창고부분, 매장 내에 박스 등이 어지럽게 놓여 있어 발화의 위험이 크다.

2.2 대형매장의 피난 상 문제점

대형매장은 직원의 구성이 비정규직의 비중이 높아 화재 시 대피유도 및 진압인원이 부족하고, 고객구성상 여자와 어린이가 많고 건물내부 지리에 익숙하지 못한 사람이 대부분이며, 통로를 점유하는 시식코너, 판촉 홍보대 및 진열대 증설로 피난에 장애요소가 생기며, 계산대의 증설로 피난에 지장이 되는 경우가 대부분이다. 또한 대부분 지하에 매장이 있고 상부에 주차장을 두어 화재시 인원 배출 및 연기배출 등에서 매우 불리하다.

3. 피난 시뮬레이션

3.1 건물 개요

- 판매시설 : 24,747.57m²
- 규모 : 지하 1층, 지상 4층
- 주용도 : 직판매장 및 집배송장

3.2 피난 시나리오

피난 시뮬레이션은 Simulex V. 11.을 사용하였으며, 화재 발생시 건물의 피난은 다음 시나리오와 같이 이뤄진다고 가정하였다. 또한 장애물로 쇼핑용 카트가 고려되었다.

- (1) case 1 : 방화셔터 작동하지 않을 경우 직판매장 및 FOOD COURT의 피난
- (2) case 2 : 방화셔터가 작동할 경우 화재 발생 방화구획의 피난
- (3) case 3 : FOOD COURT에 NPFA 101 기준인 0.65m²/인의 거주밀도를 적용하였을 경우의 피난

3.3 Input data

(1) 거주밀도

- 매장 고객 : 2,805명,
- 직원 : 1,446명 (전체 : 4,226명)

(2) 재실인원 특성 및 구성

- 1) 고객 : 남자 20%, 여자 30%, 아동 20%, 평균 30% (12세 ~ 55세)
- 2) 직원 : 남자 40%, 여자 30%, 평균 30% (20세 ~ 55세)
- 3) 보행속도 : default

3.4 시뮬레이션 결과

- (1) Case 1 : 표 3-1
- (2) Case 2 : 표 3-1
- (3) Case 3 : 표 3-1

표 3-1. 각 부분의 피난시간

구 분	피난 시간		특기사항
	시뮬레이션	안전율 고려	
중2층 FOOD COURT	4분 07초	6분 11초	매장고객 및 직원 대상
1층 직판매장	3분 10초	4분 45초	지상층으로 대피 매장고객 및 직원 대상
*1층과 중2층의 동시 피난 완료	4분 07초	6분 11초	중2층 인원 최종 피난시간
1층 직판매장 방화구획	1분 32초	2분 18초	매장고객 및 직원 대상 방화셔터 비상문 이용
중2층 FOOD COURT	5분 38초	8분 27초	매장고객 및 직원 대상 NPFA 101기준 0.65m ² /인

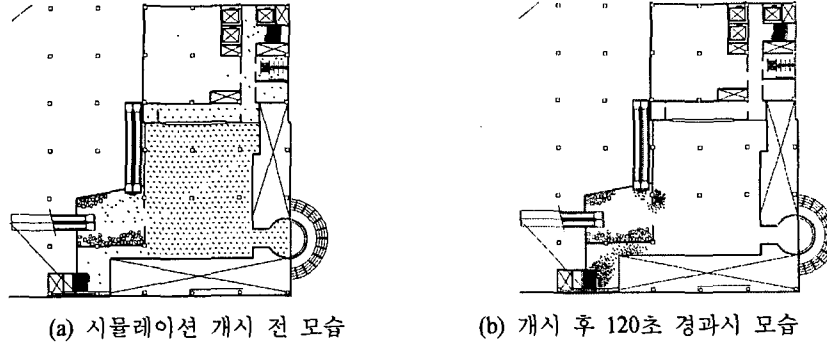


그림 3-1. 중2층 FOOD COURT의 피난 시뮬레이션

4. 화재 시뮬레이션

CFD 모델을 적용한 매장의 화재 시뮬레이션 주요 내용은 다음과 같다.

4.1 화재 시나리오 및 설정

(1) 화재 크기

판매장에서 화재크기는 식(1)에서 3,035kW이다.

$$\dot{Q}_{\max} = 0.08r(T_c - T_0 + dT)(H + Z_0)^{3/2} \quad (1)$$

r : 반경(Plume에서 최단거리 헤드), 2.3 m
 T_c : 헤드작동온도, 345K
 T₀ : 주위온도, 293K
 dT : 작동위한 ΔT, 293K

(2) 최소 피난시간 (RSET) 계산

연기층이 바닥에서 2.4m 위치까지 하강하는 시간은 다음과 같이 계산된다.

$$t_A = \left(\frac{n+3}{2} \frac{1/(Z_1 + Z_0)^{2/3} - 1/(H + Z_0)^{2/3}}{K \dot{Q}_0^{1/3}/A} \right)^{3/(n+3)} \quad (2)$$

$$K = 0.21 \left(\frac{\rho_a^2 g}{C_p T_a} \right)^{1/3} \cdot \frac{1}{\rho_s} \quad (3)$$

t : 연기층의 하강시간 (Z₁ → Z₂)
 ρ_a : 공기밀도 = 1.2 kg/m³
 ρ_s : 연기밀도 = 1.0 kg/m³
 C_p : 비열(공기) = 1.0 kJ/kg·K
 g : 중력가속도 = 9.81 m/s²
 A : 바닥면적 = m²
 H : 천장고 = 3.0 m
 T_a : 대기온도 = 293 K (20℃)
 T_s : 연기온도 = 353 K (60℃)
 Z₀ : 가상화원에서의 높이 (Z₀=0.5D-0.33L)

여기서 Steady Fire($\dot{Q} = \dot{Q}_0$)를 적용한다.

$$t_A = C \cdot \left\{ (3/2K) / \dot{Q}^{1/3} \right\} A \quad (4)$$

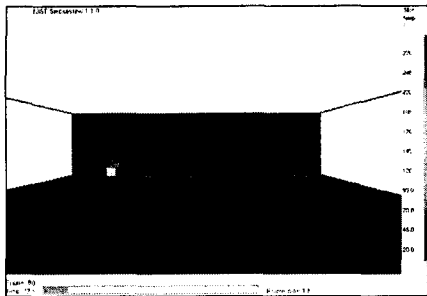
$$\dot{C} = 1 / (Z_2 + Z_0)^{2/3} - 1 / (Z_1 + Z_0)^{2/3} \quad (Z_1 = 7.2 \text{ m}, Z_2 = 2.4 \text{ m}) \quad (5)$$

4.3 시뮬레이션 결과

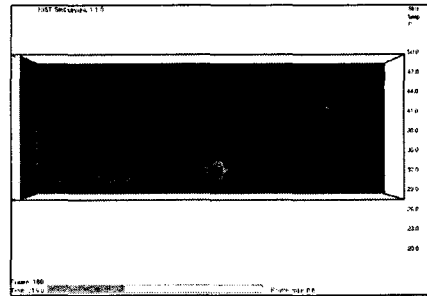
(1) 방화셔타가 작동할 경우

표 4-1. 시간에 따른 온도분포 특성

시간(Sec)	온도 분포 특성
60	· 천장 최고 온도 : 150℃(화재발생지역 상부) · 재실공간내로 영향 없음
180	· 천장 최고 온도 : 300℃(화재발생지역 상부) · 일부 천장면 온도는 60℃ · 재실공간내로 영향 없음
300	· 천장 전체에 걸쳐 100℃ 이상의 온도분포 · 재실공간에 온도전파(30℃)
420	· 천장에서 3m 아래까지 50℃ 이상의 온도분포 · 재실공간에서 30℃ 이상의 온도분포
480	· 2~6m 구간에서 40~60℃의 온도분포 · 재실공간내 온도 40℃까지 상승



(a) 발화점의 Y-Z단면 (60초)



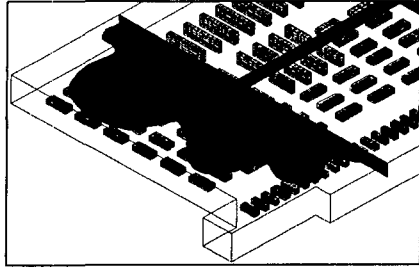
(b) X-Y단면(바닥에서 2.4m, 180초)

그림 4-1. 온도 분포

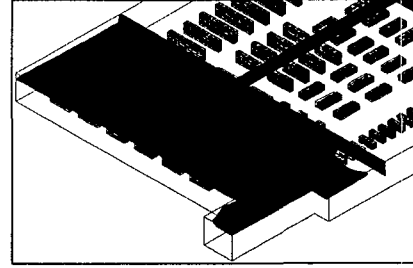
(2) 방화셔타가 작동하지 않을 경우

표 4-2. 시간에 따른 온도분포 특성

시간(Sec)	온도 분포 특성
60	· 천장 최고 온도 : 100℃(화재발생지역 상부) · 재실공간내로 영향 없음
180	· 천장 최고 온도 : 300℃(화재발생지역 상부) · 일부 천장면 온도는 60℃ · 재실공간내로 영향 없음
300	· 재실공간에서 온도상승(30℃) · 방화벽을 넘어 인접존의 천장에서 온도상승
420	· 인접존의 상부온도 40℃ 이상 · 재실공간내 온도 40℃까지 상승
540	· 인접존의 상부온도 45℃ 이상 · Food Court 존까지 온도 전파



(a) 180초 3D



(b) 240초 3D

그림 4-2. 시간별 연기 분포 상황

5. 결과

피난 및 연기모델링을 적용한 화재 시나리오에 따른 매장의 피난 안전성능은 확보 할 수 있는 것으로 나타났다. 국내 기준에는 없는 피난배치 계획상 최대보행거리, 공용피난 통로 길이(Common path of travel), 막다른 통로 길이(Dead end Length), 건물 각 부분에 2개 이상의 피난 로 확보조건 등도 확보되었다.

최적의 피난설계를 위하여 향후 성능기준 피난설계규정의 도입이 필요하다고 판단된다.

참고문헌

1. 김운형, 윤명오, 피난모델의 검토 - SIMULEX, 한국화재소방학회 추계학술발표회, (1999. 11)
2. 김운형, 윤명오, E. R. Galea, EXODUS 피난모델의 검토, 한국화재소방학회 춘계 학술 발표회, (2000. 4)
3. 김운형, 이용재, 윤명오, W. E. Koffel, 미국의 피난규정, 한국화재소방학회 추계학술 논문 발표회, (2000. 11)