

지하공간에 대한 제연설비 성능기준의 적정성 고찰(I)

안 찬 솔[†], 김 흥 열, 유 용 호, 전 규 엽^{*}

한국건설기술연구원 화재및설비연구센터, 경북대학교 건축학부^{*}

A Study on Appropriateness of Performance Criteria of Smoke Control System for Underground Spaces (I)

Chan-sol Ahn[†], Heung-youl Kim, Yong-ho Yoo, Gyu-yeop Jeon^{*}

ABSTRACT: This study is intended to evaluate the characteristics of smoke spreading and the appropriateness of evacuation time extended by operation of smoke control system during fire within the underground space of the building structured in compliance with the smoke control system performance criteria from the local fire safety standard, which has been currently applied to the buildings in Korea. Using the heat release per unit weight of the combustibles, a numerical analysis both in case of smoke control system in operation and the system not in operation was carried out at the several different shopping malls. From the viewpoint of securing the evacuation time, the results were compared in an attempt to assess the appropriateness of the fire safety criteria.

Key words: Underground market(지하상가), Smoke control(제연), Evacuation(피난)

1. 서 론

지하건축물은 지상구조물과 달리 밀폐성이 높아 외부공기와 내부공기의 교류가 원활하지 못한 특징이 있으므로 지하건축물에서 화재가 발생하였을 경우 현재의 화재안전기준이 재실자의 안전한 피난시간을 확보하는데 충분한 성능을 제시하고 있는지 그 적정성을 검토해 보아야 할 필요가 있다.

본 연구를 위한 선행연구로 현장조사를 통하여 각 지하상가들의 전체 구조 및 입주한 점포들의 위치, 업종, 면적, 천정 높이를 조사하였고 지하상가 내부를 구성하는 고정가연물 및 유동가연물의 종류를 조사하였다. 지하상가 전체의 발열량을 산출하기 위해 사무용품, 진열장, 내부 장식품과 같은 고정가연물과 판매상품인 유동가연물의

종류, 수량, 중량, 원자재 종류를 조사하였다. 그리고 원자재의 단위중량당 발열량을 이용하여 현장조사에서 수집된 각 상가별 총발열량을 추정하였다. 이렇게 추정된 가연물의 고유 발열량을 검증하기 위하여 임의의 점포를 모델링 하였고 이를 실험로 구현하여 실험화재실험과 수치해석을 하여 그 결과를 점포의 발열량 추정값과 비교하였다.

화재안전기준에 의한 제연설비 성능기준의 적정성을 검토하기 16개의 지하상가를 대상으로, 화재가 발생하였을 때 제연설비가 작동 할 경우와 작동하지 않을 경우에 대하여 각각 수치해석하였다. 그리고 이와 같이 분석된 두 가지 경우에 대하여 재실자의 안전한 피난시간을 확보하는 관점에서 비교하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 지하상가 선정과 가연물 조사

[†] E-mail : chansole@kict.re.kr

모집단을 구성하기 위하여 1차 선별과정에서 서울, 경기, 인천, 대구, 광주, 부산의 6개 대도시 지역을 대상으로 현재 운영중인 60여 개의 지하상가를 조사하여 형태별로 분류하였고 2차 선별 과정에서는 이들을 직선형과 광장형 상가로 구분하여 대표성이 큰 상가 16개를 최종적으로 선정하였다. 현장조사를 통하여 16개의 지하상가를 조사하였는데, 상주하고 있는 점포는 총 2,740개 점이고 32종의 업종으로 구분되며 이들을 이번 연구의 모집단으로 선정하였다.

업종별로 1~3개 상점을 선출하여 총 70개의 표본을 확보한 후 이들 점포를 대상으로 점포내의 가연물을 조사하였고 그 결과 총 953 가지의 가연물을 조사하였다.

2.2 원자재의 중량당 발열량 측정 (kJ/kg)

원자재의 발열량을 측정하기 위해 현장조사를 통해 조사된 953 가지의 가연물을 주 원자재 별로 재 분류하여 49종의 원자재를 결정하였는데, 원자재 별로 목재류 8종, 종이류 3종, 섬유류 9종, 합성수지류 12종, 무기질류 13종, 복합재료 4종으로 구분한 다음, 실험방법 ISO 5660-1에 의하여 원자재의 단위중량당 발열량을 측정하였다.

2.3 가연물의 총발열량 추정 (kJ)

현장조사를 통하여 조사된 가연물에 대한 각각의 고유 발열량을 추정하기 위하여 원자재 발열량 측정값을 이용하였다. 가연물의 주 원자재에 해당하는 발열량에 총 중량을 곱해주어 해당가연물의 고유 발열량을 추정하였다.

2.4 단위상가 모델 설정

실물화재실험과 수치해석을 위하여 임의의 의류 점포를 그림1과 같이 모델링 하였다. 가로, 세로, 높이는 각각 3.0×3.0×2.4 m로서 벽체는 내화 석고보드로 하였고 점포의 전면은 완전 개방된 형상이다. 온도측정을 위해 왼쪽 벽면 내부에 6개와 천정면 내부에 10개, 공간 내부에 3개의 온도측정용 K-type 열전대를 설치하였다. 최초의 발화는 바닥의 두 부분에서 시작되었는데, 하나는 오른쪽 내부 모서리 부분에 설정하였고, 나머

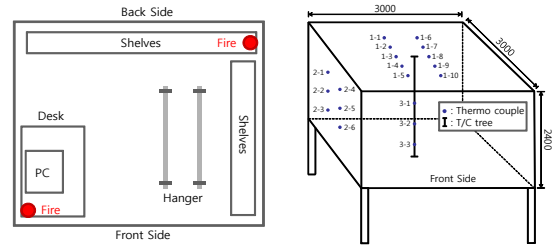


Fig. 1 단위상가 모델링 (옷가게)

지 하나는 대각선 맞은편에 설치하였으며 점화를 위하여 약 100ml의 헵탄을 탈지면에 묻혀서 화원으로 이용하였다.

공간 내부에 고정가연물로 나무재질의 대형 상품진열대 2개와 철재 옷걸이 2개, 나무재질의 책상과 플라스틱재질의 컴퓨터 1대를 설정하였고 유동가연물로 각종 의류를 선반과 옷걸이 및 벽에 진열해 놓았으며 가연물의 추정 발열량에 의해 점포의 총 발열량은 약 2,500 GJ을 설정하였다.

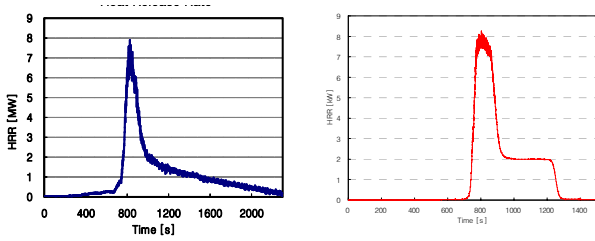
2.5 실물화재실험

화재실험은 약 40분간 진행되었고 발화 후 서서히 성장하던 화재는 약 7분이 경과하게 되면 플래쉬오버 상태에 이르게 되었다. 이후 8~11분 사이에 화재는 최고조에 이르게 되어 시간당 열방출율이 약 8 MW까지 상승하였다가 이후 쇠퇴기에 이르게 된다. 점포의 총 발열량은 2,330 MJ로 측정되었고 시간당 열방출율의 최대값은 7,896 kW를 나타내었으며 이때 천정면, 내부측면, 내부 공간의 온도는 모두 1000℃를 약간 넘는 것으로 측정되었다.

2.6 수치해석

수치해석은 FDS(Fire Dynamics Simulator)를 사용하여 비정상과정으로 계산되었으며 총 1600초의 해석을 수행하였다. 해석결과 약 800초를 기준으로 700~900초 사이에서 7.5~8 MW로 구간 중 최고의 시간당 열방출율이 발생한 후 900~1300초에서 평균 2MW의 균일한 열방출율을 유지하였다. 총 열방출량의 경우 1300초에 이르러 2,300 MJ까지 증가하였다.

천장면과 측면, 실내 온도의 경우 실물화재실험과 유사하게 1,000℃를 상회하는 온도가 형성되



a. 실물화재실험 b. 수치해석

Fig. 2 시간당 열방출을 비교

었다.

단일상가의 실물화재실험과 비교하여 보았을 때 총 열방출량, 시간당 열방출율과 각 위치에서의 온도 상승 경향은 정량적으로 잘 일치하고 있음을 보이고 있으며, 실험 전에 추정된 가연물의 총 발열량 값과 비교하여도 8% 정도의 오차만 보이고 있음을 확인할 수 있다

2.7 업종별 화재하중 추정 (kW/m²)

모집단의 점포를 32개 업종으로 분류하고 업종 내에서 무작위로 1~3개의 점포를 선택하여 총 70개의 표본점포를 선정하였고, 각 점포에서 조사된 고정가연물과 유동가연물을 기준으로 각 업종별 평균발열량과 평균화재하중을 추정하였다.

2.8 제연설비 성능기준

국내 화재안전기준에는 지하건축물에 대한 제연설비 성능기준이 별도로 제시되어있지 않으므로 일반 건축물의 제연설비 성능기준에 따라 배출 성능과 공기유입 성능을 결정하였다. 공기유입 방식은 자연유입 방식을 선택하였고 지하상가 공간을 소방법에 의한 제연설비기준에 따라 제연구역을 나누어 이것에 맞는 배출 성능을 산출하였다.

2.9 피난시간 산출

16개 지하상가에 대한 피난시간을 산출하기 위하여 피난해석 범용 프로그램인 Simulex를 사용하여 계산하였다. NFPA 101에 따른 수용인원 계수 2.8(m²/인)를 환산하여, 0.35(인/m²)를 재실자 밀도로 설정하였고 피난개시시간은 1997년 영국 표준연구소에서 발표한 DD240에 따라 계산하였다.

Table 1 지하상가별 제연용량 및 발열량

지하상가 번호	상가 면적 (m ²)	제연 구역수	배출 성능 (m ³ /hr)	상가총 발열량 (x10 ⁶ kJ)
1	977	1	50,000	903.61
2	2,310	4	160,000	628.60
3	2,975	3	130,000	2,096.77
4	3,141	2	100,000	1,554.10
5	3,676	3	150,000	1,774.98
6	4,242	3	150,000	1,353.78
7	4,566	6	280,000	1,713.88
8	4,704	5	230,000	2,177.31
9	7,080	5	230,000	4,316.65
10	7,151	6	295,000	6,206.83
11	7,640	7	345,000	7,751.77
12	8,315	6	300,000	2,352.32
13	8,830	6	300,000	3,021.31
14	11,512	6	350,000	2,633.69
15	12,234	13	510,000	6,585.25
16	13,402	10	500,000	13,346.14

2.10 지하상가 수치해석

16개의 지하상가를 수치해석 하기 위해 각 지하상가의 형태를 실제 크기로 모델링하였고 상가 내부에 실제와 같은 수, 같은 면적의 점포를 구성하였다. 또한 각 점포에는 해당업종의 평균화재하중값에 근거한 가연물을 입력하였고 지하상가 통로의 천장면에는 제연설비의 배출구를 구성하였다. 지하상가의 중앙 부분에 화원을 두어 화염과 연소가스가 각 방향으로 퍼지게 하였고 화원으로부터 모든 출구까지 최단 거리를 결정하여 피난경로를 설정하였다. 피난경로를 따라 지상으로부터 1.6m 높이에 1m 간격으로 연소가스 감지 센서를 설정하여 화원으로부터 피난경로를 따라 연소가스가 확산되는 시간을 감지하도록 하였다. 수치해석은 제연설비를 가동하지 않는 경우와 제연설비를 가동한 경우에 대하여 해석하였고 rectangle multi-block의 격자를 구성하였으며 multi - processor를 이용한 병렬연산을 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

모든 지하상가에서 동일하게 제연설비를 가동함으로써 시간당 열방출율이 크게 증가하는 경향을 보이고 있다. 이것은 연소가스를 강제배출함으로써 신선한 외부공기의 유입이 많아지고 이로

인해 연소현상이 활성화 되어 나타난 결과로 추정할 수 있다.

연소가스의 확산속도 변화를 관찰하였을 때 지하상가의 규모와 피난거리에 따른 규칙적인 특징은 보이지 않으나, 3개 지하상가의 경우 제연설비가 가동되어도 모든 피난구간에서 연기의 확산속도가 재실자의 피난속도를 증가하여 매우 위험한 상황임을 예측할 수 있었으며, 4개의 지하상가에서도 일부구간 위험구역이 발생하는 것을 예측할 수 있었다.

4. 결론

지하건축물에서 화재가 발생하였을 때 화재안전기준에 의한 제연설비가 가동한 경우와 가동하지 않은 경우에 대하여 분석하였으며 그 결과를 재실자의 피난안전 관점에서 비교하였다.

결과를 통해서 알 수 있듯이 지하건축물의 공간적 특성과 공간 내에 적재되어 있는 가연물의 화재하중을 고려하지 않고 일괄적인 기준을 적용한 결과 몇 개의 지하상가에 대해서는 제연설비가 가동에 의한 연소가스의 확산지연 효과가 크지 않음을 확인하였다. 이것은 현재의 사양적인 화재안전기준에 의해 관리되고 있는 지하건축물에서 화재가 발생하였을 때 재실자에게 적절한 피난시간을 확보해 주지 못할 가능성이 있음을 의미한다. 따라서 지하건축물에서 화재가 발생하였을 경우 재실자의 안전한 피난시간을 확보하기

Table 2 피난시간과 연기확산시간 비교

지하상가 번호	연기확산시간(s/m)		피난시간 (s/m)
	비제연	제연	
1	14.2	14.3	10.8
2	10.8	11.4	4.3
3	3.8	5.5	3.3
4	3.6	4.4	6.5
5	3.3	5.5	5.3
6	4.1	4.0	5.1
7	2.9	3.9	2.4
8	5.5	7.5	3.2
9	3.1	3.2	3.6
10	3.8	7.4	2.9
11	3.5	5.1	3.4
12	3.0	3.8	3.1
13	3.1	4.6	3.4
14	4.6	4.6	3.1
15	2.1	2.5	2.1
16	3.9	5.6	3.4

위해서 지하건축물의 설계단계에서 부터 구조적인 특징과 공간에 적재되어 있는 가연물의 화재하중 및 연소특성을 고려하여 제연설비의 적정용량을 산정하고 이를 설계에 다시 반영하는 방식인 성능설계법을 통해서 결정하는 것이 바람직할 것으로 판단한다.

후 기

본 연구는 국토해양부의 2003 건설핵심기술연구개발사업인 “지하공간 환경개선 및 방재기술 연구개발-지하생활공간 방재기술 개발(과제번호: C03-02)” 연구사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고 문헌

1. Chae H.S., Suk C.M., Kim I.S., Lee J.H., Kim W.J., 2007, Prediction of the Fire Behavior According to the Fire Load in an underground Life Space, KIESE, Vol.21, No.1, pp51.
2. Cooper L.Y., 1984, Smoke Movement in Rooms of Fire Involvement and Adjacent Spaces, Fire Safety Journal, Vol. 7, No. 11, pp.33.
3. Hwang E.K., Kim D.H., Cho J.H., Hwang K.S., 2007, A Suggestions for Building Regulation through the Analysis of Problems among the Building Evacuation Laws, KIESE, Vol.21, No.4, pp105.
4. Kwark J.H., 2006, Standardization of the Performance Test Procedure for Smoke Control System, KIESE, Vol.20, No.3, pp21.
5. Lee E.P., 2006, Analysis in the Actual Conditions of Death due to Fires based on Annual Report on the cause of Death Statistics in Korea, KIESE, Vol.20, No.1, pp83.
6. McCaffery B.J., Quintiere J.C., Harkleroad, 1981, Estimating Room Temperatures and the Likelihood of Flashover Using Fire Test Data Correlations, Fire Technology, Vol.17, No.2, pp.98.