

수치해석을 통한 지하공간의 제연설비 성능기준 검토

안찬솔 · 채한식 · 김흥열

한국건설기술연구원

A Study on the Performance Criteria of Smoke Control System for Underground Spaces Through Numerical Analysis

Ahn, Chan Sol, Chae, Han Sic, Kim Hyeung Youl

Korea Institute of Construction Technology

요 약

본 연구에서는 국내 화재 안전 기준 중 제연설비의 성능기준에 의해 지하 공간 건축물이 준공된 후 임의의 지점에서 화재가 발생했을 경우를 모델링하여 연기 확산 현상을 분석하고 제연 설비의 작동에 의한 재실자의 피난시간 연장과의 적정성을 검토하는 것이 목적이다. 본 연구의 선행연구에서는 가연물의 종류와 발열량을 추정하였으며 추정 값의 검토를 위하여 임의의 단일지하상가를 모델링하여 검증하였다 그리고 지하상가의 제연설비가 작동될 경우와 작동되지 않을 경우에 대한 수치해석 결과를 비교하였으며 재실자의 피난시간을 확보하는 관점에서 화재 안전 기준에 대한 적정성을 검토하였다

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 in Korea. As a preceding review of this study, the combustibles was categorized and identified their heat release rates. For validate the estimated values, modeling a single underground shop was carried out. And a numerical analysis both in case of smoke control system in operation and the system not in operation was carried out of underground space. From the viewpoint of securing the evacuation time, the results were compared in an attempt to assess the appropriateness of the fire safety criteria.

1. 서 론

최근 도심 지역은 비약적인 발달로 복잡·고도화 등 다양하게 변화하고 있으며 지가 상승과 더불어 점차 공동화 과밀화 되어 가고 있다. 이로 인해 국내에서는 지하공간을 이용하는 사례가 증가하는 추세에 있으며 그 용도 또한 매우 다양해지고 있다. 그러나 현재 소방 설비, 제연 설비 등과 관련된 현행 법규의 경직성으로 화재 등의 재난 발생에 대하여 효과적인 대처가 불확실한 실정이다. 또한 화재안전기준 중 제연 설비의 성능기준은 지하구조물에 대하여 별도의 규정을 두지 않고 있으며 지상 건축물과 동일한 규정을 적용하고 있는 상황이다. 지하공간은 지상공간과 달리 밀폐성이 높아 외부공기와 내부공기의 교류가 원활하지 못한 특징이 있으므로 화재안전기준에 대하여 충분한 성능을 제시하고 있는지 그 적정성을 검토해 보아야 할 필요가 있다. 선행 연구로 지하상가의 가연물 현장 조사를 통한 가연물의 종류를 분류하였고 각 가연물의 발열량과 화재하중을 산출하였으며¹⁾, 이를 바탕으로 단일 옷가게에 대한 실물화재실험을 수행하였다²⁾

본 연구에서는 국내지하상가에서 적용되고 있는 화재안전기준 중 제연설비 성능기준의 적정성을 검토하기 위하여 단일 옷가게에 대한 시뮬레이션 모델을 설정하였고, 시뮬레이션의 신뢰성을 확보한 후, 현재 화재안전기준에 의하여 운영되고 있는 16개의 실제규모 지하상가를 대상으로 시뮬레이션 분석을 하였다. 화재는 지하상가의 중앙에서 발생한 것으로 설정하였고 화재가 확대되면서 화재가 발생한 지점으로부터 재실자가 탈출하는 출구까지 연기가 확산되는 현상을 가정하였다. 화재가 발생하였을 때 제연설비가 작동 할 경우와 작동하지 않을 경우에 대하여 각각 수치해석 하였으며 두 가지 경우에 대하여 재실자의 안전한 피난시간을 확보하는 관점에서 비교하였다.

2. 본 론

2.1 모델링 검증

본 연구에서의 단일상가 수치해석 모델은 실물화재실험과 동일한 크기인³⁾ 가로 3m, 너비 3m, 높이 2.4m에 100×100×100의 격자로 구성하였다. 원자재 발열량⁴⁾을 참고하여 상가의 형태를 구성하는 벽면과 진열대, 탁자, 컴퓨터 및 상품인 의류에 물리적 속성을 입력한 가연물을 모델 하였고 발화점은 실물 화재실험에서와 동일한 두 군데의 장소에 지정하였다. 온도측정을 위한 위치설정은 천장에 10개, 왼쪽 측벽에는 6개, 상가의 내부에 3개를 지정하였다. 그림1은 수치해석을 위한 모델의 최종 모습과 분석 후 후처리에 의한 가시화 장면이다.

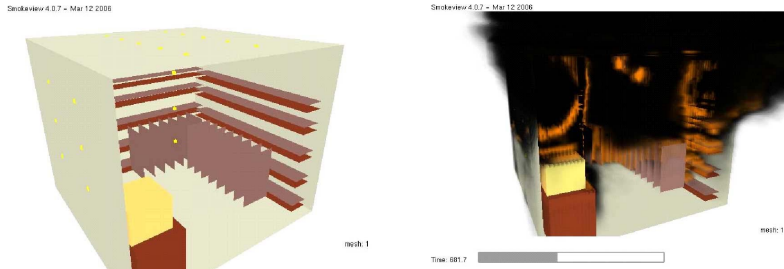
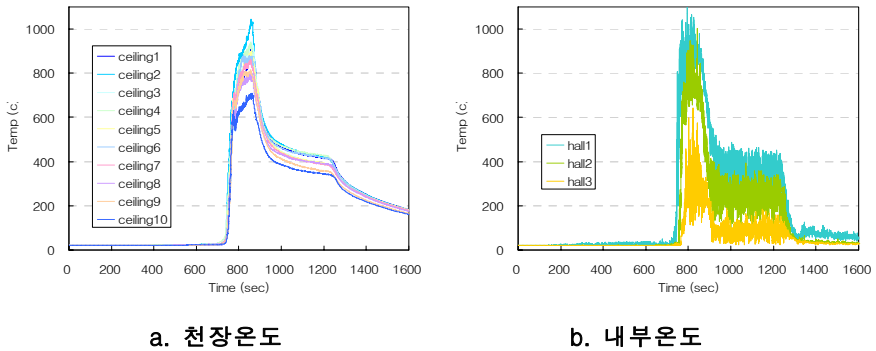


그림 2. 수치해석 모델 및 연소해석

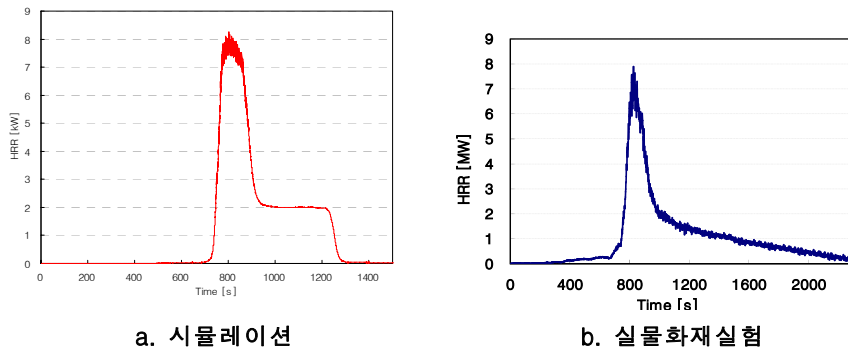
수치연산은 비정상과정으로 계산되었으며 총 1600초 분량의 시뮬레이션시간에 해당하는 해석을 수행하였다. 해석결과 약 800초를 기준으로 700~900초 사이에서 7.5~8MW의 구간 중 최고의 시간당 열방출을 나타내었다가 이후 900~1300초에서 평균 2MW의 균일한 열방출율을 유지하였다.(그림3. a)



a. 천장온도

b. 내부온도

그림 2. 단일상가 시뮬레이션 온도분포



a. 시뮬레이션

b. 실험

그림 3. 시간당 열 방출율

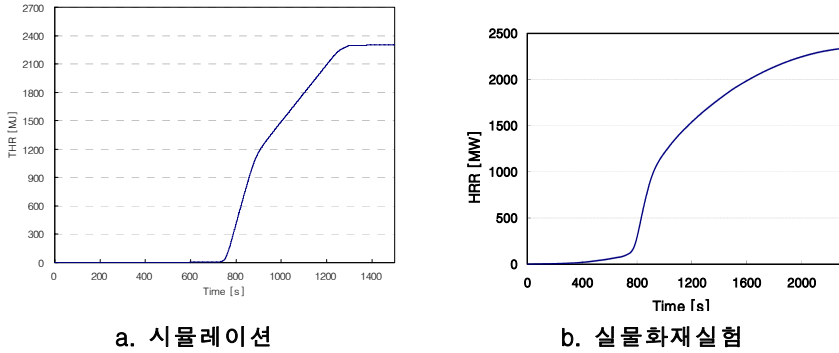


그림 4. 총 열 방출량

천장면의 경우 실내 화염이 상승하면서 가장 집중적으로 가열시키는 부분이 되므로 전체 온도측정 지점 중 비교적 높은 온도상승을 보여주고 있다. 대부분 700~800℃까지 상승함을 볼 수 있으며, 약 1,100℃까지 상승하고 있음을 볼 수 있다. 왼쪽 측벽과 실내 온도는 400~1,000℃ 까지 폭넓게 온도가 분포함을 나타내고 있다.(그림 2) 실물화재실험과 시뮬레이션의 결과를 가연물 DB에 의한 총 발열량 2,500 MJ과 비교하였을 때 8% 정도의 오차만 보이고 있음을 확인하였고 연구 결과를 통해 시뮬레이션의 화재 modeling이 신뢰할 수 있음을 알 수 있다.

2.2. 제연설비 성능기준

국내 화재안전기준에 의한 지하구조물의 제연설비 성능기준은 별도로 제시되어있지 않으므로 일반적인 제연설비의 성능기준에 따라 배출성능과 공기유입성능을 결정하였다. 공기유입방식은 강제유입방식과 자연유입방식 중 택일하여 시설하도록 되어있으므로 일반적으로 채택하고 있는 자연유입방식을 선택하였고 배출성능에 대해서는 강제배출방식을 의무적으로 시설하도록 되어있으므로 지하상가 공간을 여러 개의 제연구역으로 나누고 이것에 맞는 배출 성능을 산출하였다.

표 1은 모집단인 16개의 지하상가에 국내 화재안전기준을 적용하여 제연구역을 나누고 각 제연구역의 조건에 맞추어 배출성능을 산출한 것을 보여준다

표 1. 지하상가의 배출성능 및 수치해석

지하상가 번호	상가면적 (m ²)	점포 수	제연구역 수	배출성능 (m ³ /hr)	총 발열량 (x106kJ)	수치해석 격자수
지하상가 1	977.2	32	1	50,000	903.61	347,760
지하상가 2	2,310.7	100	4	160,000	628.60	771,722
지하상가 3	2,975.4	97	3	130,000	2,096.77	996,604
지하상가 4	3,141.9	64	2	100,000	1,554.10	1,119,552
지하상가 5	3,676.3	82	3	150,000	1,774.98	1,213,632

지하상가 6	4,242.7	59	3	150,000	1,353.78	2,225,664
지하상가 7	4,566.8	105	6	280,000	1,713.88	1,549,464
지하상가 8	4,704.2	113	5	230,000	2,177.31	1,713,908
지하상가 9	7,080.3	230	5	230,000	4,316.65	2,455,600
지하상가 10	7,151.3	218	6	295,000	6,206.83	1,532,720
지하상가 11	7,640.1	286	7	345,000	7,751.77	3,007,648
지하상가 12	8,315.2	162	6	300,000	2,352.32	2,387,308
지하상가 13	8,830.7	224	6	300,000	3,021.31	3,248,546
지하상가 14	11,512.4	192	6	350,000	2,633.69	3,843,434
지하상가 15	12,234.5	481	13	510,000	6,585.25	6,095,096
지하상가 16	13,402.4	295	10	500,000	13,346.14	4,958,450

2.3. 지하상가 수치해석

모집단으로 선정된 16개의 지하상가를 수치해석 하기 위해 각 지하상가의 형태를 실제 크기로 모델링하였고 상가 내부에 실제와 같은 수, 같은 면적의 점포를 구성하였다. 각 점포에는 해당업종의 화재하중 값에 근거한 가연물을 입력하였고 지하상가 통로의 천장 면에는 제연설비의 배출구를 구성하였다. 지하상가의 중앙 부분에 화원을 두어 화염과 연소가스가 모든 방향으로 퍼지게 하였고 화원으로부터 각 출구까지 최단 거리를 결정하여 피난경로를 설정하였다. 피난경로를 따라 1m 간격으로 연소가스 감지센서를 설정하여 화원으로부터 피난경로를 따라 연소가스가 확산되는 시간을 구하였고, 지면으로부터 1.6m 높이에 위치시켜서 천장 면으로부터 차 내려오는 연소가스로 인해 피난경로가 폐쇄되는 시간을 측정하였다.

각 지하상가 모델링에 사용된 격자수는 표1의 내용과 같으며 격자는 rectangle multi-block으로 구성하였고 multi-processor를 이용하여 병렬 연산하였다. 또한 두 가지 경우에 대한 수치해석이 수행되었는데, 첫 번째는 제연설비를 가동하지 않는 경우로 오직 출입구만을 통해 공기의 자연유입과 연소가스의 자연배출이 이루어지도록 하였고 두 번째는 제연설비를 가동한 경우로 출입구로 외부공기의 자연유입과 연소가스의 자연배출이 이루어지는 동시에 화재안전기준에 의해 천장면의 배출구로 연소가스가 강제배출 되도록 하였다,



그림 6. 지하상가의 실제크기 모델링



그림 7. 연소가스 배출구와 감지센서

두 경우에 대한 시간당 열방출율의 변화를 관찰하였을 때 16개의 모든 지하상가에서 동일하게 제연설비를 가동함으로써 크게 증가하는 경향을 보이고 있다. 그림 7은 16개 지하상가를 12번 지하상가의 시간당 열방출율의 변화를 예로 보이고 있으며 이것은 연소가스의 강제배출로 인해 신선한 외부공기의 유입이 많아졌고 이 때문에 연소현상이 활성화되어 나타난 결과로 추정할 수 있다. 그림8은 연소가스의 확산속도 변화를 보인 것이다. 화원에서 가까운 곳일수록 두 경우간의 차이가 없으며 화원으로부터 멀어질수록 차이가 많아지는 경향을 보이고 있다. 이것은 화원에 가까워질수록 제연설비의 효과가 감소하고 있음을 의미한다. 연소가스의 확산속도 변화를 관찰하였을 때 16개 지하상가에서 공통적으로 관찰되는 뚜렷한 특징은 보이지 않으나, 표2와 같이 5가지 경우로 구분하였을 때 그룹별로 공통된 경향을 관찰할 수 있었다. Group 1은 제연설비의 작동에 대한 효과가 없는 곳으로서 재실자의 안전한 피난시간이 전혀 확보되지 못하는 경우이다. Group2,3은 제연설비의 성능기준이 어느 정도 유효하게 적용되고 있는 경우이지만, 화원과 가까운 지역에서는 제연설비의 작동효과가 보이지 않으므로 이곳 역시 재실자의 안전한 피난시간을 충분히 확보하고 있지 못한 경우이다. 따라서 Group1,2,3에 해당되는 지하상가는 성능설계법에 의해 효과적인 제연설비의 재설계가 필요한 곳이라 할 수 있다 Group5는 현재 제연설비의 성능기준이 유효한 경우로서 재실자에게 비교적 적당한 피난시간을 확보해 주므로 새로운 성능설계법이 필요하지 않은 경우이다.

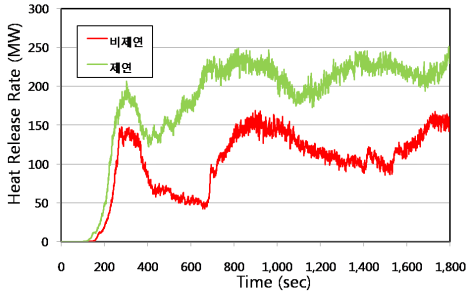


그림 7. 시간당 열방출율 변화

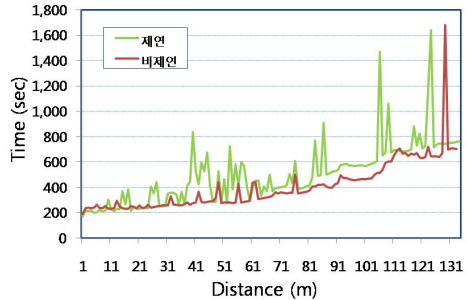


그림 8. 연소가스 감지시간 변화

표 2. 제연설비의 작동결과

구분	연소가스 확산 지연효과	지하상가 번호	지하상가 수
Group 1	없음	1, 2, 6, 15	4
Group 2	0초 이상 ~ 100초 미만	3, 4, 5, 7, 9, 12, 14	7
Group 3	100초 이상 ~ 200초 미만	11, 13, 16	3
Group 4	200초 이상 ~ 300초 미만		0
Group 5	300초 이상	8, 10	2

3. 결 론

본 연구에서는 지하건축물에서 화재 시 화재안전기준에 의한 제연설비가 가동한 경우와 가동하지 않은 경우에 대하여 수치해석을 수행하였으며 재실자의 피난안전 관점에서 비교한 결과는 다음과 같다.

지하건축물의 공간적 특성과 공간 내에 적재되어 있는 가연물의 화재하중을 고려하지 않고 일괄적인 기준을 적용한 결과 몇 개의 지하상가에 대해서는 제연설비 가동에 의한 연소가스의 확산지연 효과가 크지 않음을 확인하였다 이것은 현재의 사양적인 화재안전 기준에 의해 관리되고 있는 지하건축물에서 화재가 발생하였을 때 재실 자에게 적절한 피난시간을 확보해 주지 못할 가능성이 있음을 의미한다. 따라서 지하건축물에서 화재가 발생하였을 경우 재실자의 안전한 피난시간을 확보하기 위해서는 지하건축물의 설계단계에서 구조적인 특징과 공간에 적재되어 있는 가연물의 화재하중 및 연소특성을 고려하여 제연설비의 적정 용량을 산정하고 이를 설계에 다시 반영하는 방식인 성능 설계법을 통해서 결정하는 것이 바람직할 것으로 판단한다.

감사의 글

이 연구는 건설교통기술평가원이 지원하는 정부R&D 연구과제인 ‘지하공간 환경개선 및 방재기술개발’ 과제에 의해 수행된 연구의 결과임을 밝힙니다.

참고문헌

1. 채한식, 김홍열, 안찬술, “지하생활공간의 화재하중 설정 및 연구”, 대한건축학회 추계 학술발표대회, 제27권 제1호, 2007.10
2. 유용호, 김홍열, 신현준, 류상훈, “실물화재실험을 위한 라지콘칼로리미터의 개발” 한국 화재소방학회 춘계학술발표대회, pp18~23, 2007.04
3. B.J. McCaffery, J.C Quintiere, Harkleroad, "Estimating Room Temperatures and the Likelihood of Flashover Using Fire Test Data Correlations", Fire Technology, Vol. 17, No.2, pp.98,1981.
4. NIST, FDS(Fire Dynamics Simulator) User's Guide, 2005
5. NIST, User's Guide for Smokeview, 2004.
6. SFPE, SFPE Handbook of Fire Protection, 3rd Edition, 2002.