

지하상가의 초기 소화 대책에 의한 화재 리스크 저감 효과 분석에 관한 연구

김종석, 전규엽, 홍원화*

경북대학교 건축학부 대학원, 경북대학교 건축학부 부교수*

A Study on Reducing Effect of Fire Risk by Early Fire Prevention in the Underground Shopping Mall

Kim Jong-Seok, Jeon Gyu-Youp, Hong Won-Hwa*

Kyoungpook National UNI. Department of Architecture

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 도시의 구조는 산업의 발전과 경제 성장에 따라서 새로운 기능과 활동에 알맞은 공간과 시설을 필요로 하게 되었다. 도시기반시설을 포함한 공공시설 확충에 대한 수요가 늘어나면서, 이러한 도시 문제를 해결하고자 도시공간의 고도화, 입체화를 추구하여 왔다. 그러나 도시의 과밀화, 지가의 상승, 평면적 토지 공간이 부족하게 됨에 따라 도시기능의 일부를 지하공간으로 흡수하고자 하는 노력이 발생하게 되었고, 이에 대한 사회의 관심이 높아지고 있다. 국내에서도 급속한 도시화에 따라 도시공간의 효율적인 이용이 요구되면서 지하공간의 활용이 증가되는 추세이다.

지하공간이 점점 대규모화, 심층화 및 복합화가 이루어지고, 이용이 더욱 활성화됨에 따라 지하공간의 잠재위험은 한층 커지고 있다. 이러한 상황에서 국내·외에서 지하철 공사현장 가스폭발, 지하공동구 화재, 지하철 화재, 지하상가 화재·폭발 등 지하공간에서의 사고가 반복하여 발생하고 있다.

이러한 점에서 지하의 잠재된 화재 리스크를 평가하는 것은 건축물을 화재로부터 피해를 최소화하고, 화재로 인한 재산손실을 최소화 한다는 측면에서 매우 중요한 요소이다. 따라서 본 연구에서는 지하공간 화재로 인한 소실 리스크의 실용적인 산정 방법을 활용한 화재 리스크 평가 방법을 제안하고자 한다.

본 논문은 건설교통부가 출연하고 한국건설교통부기술평가원에서 위탁시행 한 2004년도 건설핵심기술연구개발사업(R01-2004-000-11690-0)의 지원으로 이루어졌습니다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 지하공간에서 지하상가로 연구의 범위를 한정하여 진행한다. 본 연구의 대상을 지하상가로 한정된 것은 지하상가가 현재 국내에 개발된 대표적인 다중이용 지하생활공간이기 때문이며, 향후에도 개발의 수요가 지속적으로 증가할 것으로 판단되기 때문이다.

본 연구에서의 화재 리스크 평가 방법을 소실면적의 기대치를 통해 평가하였으며, 소실면적의 기대치는 화재사상을 확률적으로 나타내고 몬테카를로 계산법(Monte Carlo method)을 적용시켜 계산하였다. 화재사상을 표현하기 위하여 대구지하철화재사고를 실제로 겪은 소방관을 대상으로 계층적 의사결정기법(AHP, Analytical Hierarchy Process)을 적용한 설문조사를 실시하여 화재 방지 대책의 중요도를 조사하였다. 설문조사한 화재 방지 대책의 중요도를 바탕으로 화재 리스크 평가를 위한 변수 설정 및 시나리오를 작성하여 실제 대구시 D지하상가에 적용하여 소실면적 기대치를 산출하고 화재 방지 대책에 따른 화재 리스크 저감효과를 분석하였다.

2. 화재 방지 대책 및 화재 리스크 평가 기법

2.1 지하공간의 정의 및 특성

지하란 지표면 아래의 땅으로 “지표면 아래 수직 또는 수평으로 만들어진 공간”⁴⁾으로 정의할 수 있다. 이는 인간사용을 전제로 한다면 “경제적 이용이 가능한 범위 내에서 지표면하부에 수직 또는 수평으로 자연적으로 형성되었거나 또는 인위적으로 흙이나 암석을 굴착하여 조성한 일정규모의 공간자원”으로 규정가능하다.

2.2 화재 방지 대책 중요도 조사

화재 방지 대책 항목은 국내·외 방재 안전 관련 법규 및 code, 위험성 평가 자료를 토대로 평가 항목과 평가 기준 등을 제시하였으며 6개의 대분류와 각각의 소분류는 표 1과 같다.

표 1. 지하상가의 화재 방지 대책 항목

대분류	소분류	세부 항목
발화방지 대책	가연물 관리	화기관리, 흡연관리, 가스시설관리, 일반가연물관리
	내화 구조	내장재의 불연화 여부, 부위별 소요내화시간, 내장·방염재료의 성능
	방화 구획	수직관통부, 면적별, 층별, 용도별 방화구획, 방화문과 방화셔터의 적절성
초기 소화 대책	초기 소화 설비	소화기, 소화전의 설치 위치 및 상태, 스프링클러
본격소화활동 대책	연소 확대 제어	방염 물품, 출화층 및 상하층의 연소방지, 방화문
	소방활동용이성	소방대 진입부분의 장애물 설치 여부, 소방설비의 설치 위치

4) 법 제2조 4항

		및 상태
연기제어 대책	배연 설비	블록단위의 배연화, 기계배연, 자연배연, 제연경계벽의 설치와 정상작동 여부
피난안전성 대책	피난 시설	피난공간, 수평피난시설, 수직피난시설의 적절성
	피난 설비	조명설비, 유도설비의 상태
	피난 용이성	피난경로의 안전확보, 피난시간
안전 및 유지 관리 대책	방화 관리	소방지식 및 방재훈련, 일반적인 관리, 조직체계, 소방계획
	발견·통보관리	방재센터에서 화재발생 및 진행상황 파악기능, 무선통신보조설비, 감시체제
	소방 시설 관리	소방설비의 정기적인 점검, 비상조명, 예비전력

화재 방지 대책의 중요도 및 우선순위 선정을 위해서 대구지하철 화재사고를 실제로 겪은 소방관에게 설문조사를 실시하였다. 평가항목의 중요도를 객관적으로 제시하기 위하여, 소방관련 전문인을 대상으로 계층적 의사결정기법(AHP 기법)을 적용한 설문조사를 하였다.

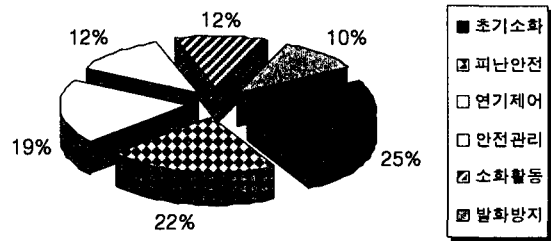


그림 1. 화재 방지 대책의 중요도 설문 조사 결과

대구지하철화재사고에 투입된 소방관을 위주로 총 134개의 설문지를 회수하였다. 그 중에서 객관성 확보를 위하여 비일관성 비율이 10%이상 되는 것은 제외하였다.

그림 1에서 화재 방지 대책 중 초기 소화 대책이 25%로써 화재 방지에 가장 효과가 있음을 알 수 있다. 따라서 초기 소화 방재 대책에 따른 화재 리스크 저감효과를 분석하였다.

2.3 화재 리스크 평가 기법

소실 면적 기대치를 통하여 화재 리스크를 평가한다. 즉 소실 면적이 증대되면 화재 리스크가 큰 것으로 한다.

실제 지하상가의 실의 수를 고려하면 전체 시나리오에 대한 발생확률과 소실 면적을 산정하는 것은 실용적이지 않다. 따라서 유효 시나리오만을 선택했을 때 계열 해석에 의한 산정 방법과 몬테카를로법에 따르는 산정 방법 중 하나를 택해야 한다. 그러나 시계열 해석에서는 유효한 시나리오수가 너무 증대되는 경향이 있으므로 몬테카를로법에 따라 소실면적 기대치를 산정하도록 한다.

3. 화재 리스크 평가 방법 및 시나리오 작성

3.1 화재 리스크 평가 방법

화재 리스크 평가 방법을 확률론적 입장에서 화재에 의한 소실 리스크로 나타내며 소실 리스크는 소실 면적 기대치로 취급한다. 소실 면적 기대치는 식(1)에서 나타내듯이 각 시나리오(k)별 발생확률(P), 몬테카를로법을 이용한 시나리오 화재 진압 성공확률(M)과 소실하는 부분의 바닥면적(C)의 곱으로 계산한다. 소실면적은 동심원상으로 화재가 진전한다고 가정하여 식(2)로 나타낸다.

$$R_k = P_k \times M_k \times C_k \tag{1}$$

R : 소실면적 기대치(m²)

P : 시나리오(k)의 발생확률

M : 몬테카를로법을 이용한 시나리오(k)의 성공확률

C : 시나리오(k)의 소실면적(m²)

$$C_k = \pi \times (V \times T_k)^2 \tag{2}$$

V : 연소 확대 속도

T_k : 시나리오(k)에서 화재 진압이 성공할 때까지 걸리는 시간

3.2 초기 소화 대책 별 시나리오 작성

화재 방지 대책에 대한 AHP기법을 이용한 설문 조사 결과, 초기 소화 대책이 지하상가의 방재대책으로 가장 중요하다는 것으로 나타났다. 초기 소화 대책 별 화재 리스크의 저감 효과를 정량적으로 표현하고, 분석하기 위한 3개의 가상 시나리오는 표 2와 같다.

표 2. 초기 소화 대책 별 시나리오

시나리오	시나리오 상황
시나리오 1	소화기로 소화 활동을 한 경우
시나리오 2	스프링클러 설비로 소화 활동을 한 경우
시나리오 3	옥내소화전으로 소화 활동을 한 경우

3.3 시나리오 별 소실면 기대치 산출 방법

시나리오에서 소화가 성공할 확률은 몬테카를로법을 이용한다. 즉 지하상가의 소화 성공 상황을 모의 실험하기 위해 난수 생성기를 이용하는 것으로 아주 많은 횟수의 반복을 통하여 그 결과를 저장하고 기록하는 방법이다. 따라서 0에서 1까지의 확률적으로 등분포하는 난수를 컴퓨터상에서 많은 횟수로 발생시켜 확률 누적함수 대응을 통해 화재 상황에서의 진압 성공률을 사실과 가깝게 재현한다.

소실면적을 계산하기 위해서 시나리오에서 화재가 진행한 거리 R은 각 시나리오 단계에서 화재 진압이 성공할 때까지의 시간 T[sec]와 연소 확대 속도 V[kW]의 곱으로 구한다. 단 연소 확대 속도는 식(3)으로 정한다.

$$V = 0.005 [m/sec] \cdot 2) \cdot 5) \tag{3}$$

화재 리스크 평가 요소로 소실면 기대치를 사용하는데 있어서 시나리오의 발생확률을 위하여 지하상가에 설치되어 있는 초기 소화 설비의 확률을 설정하였다. 평가에 사용한 확률 데이터는 국내 확률 데이터가 미비하여 일본의 동경소방관청 관내에서 10년간 발생한 건물화재를 대상으로 분석한 결과를 근거로 하였으며 그 내용은 표 3과 같다.⁶⁾

표 3. 초기 소화 설비 확률³⁾

설비 명칭	이용할 확률	작동 확률	성공 확률
소화기	0.932	0.997	0.780
스프링클러	-	0.972	-
옥내소화전	0.822	0.971	0.631
비상전원	-	0.998	-

시나리오에서 화재 진압이 성공할 때까지 걸린 시간은 각 시나리오 상황에 맞게 각 설비의 작동 시간, 사용에 걸리는 시간, 수동일 경우 현장 도착에 걸리는 시간, 또는 각 시나리오의 한계 조건 등을 고려하여 정하며 소화 활동 시 완전히 화재 진압이 성공하는 것으로 가정한다. 이상과 같은 내용은 표 4와 같다.

표 4. 시나리오의 발생 확률과 화재 진압 시간

시나리오	시나리오의 발생 확률	화재 진압이 성공할 때까지 걸린 시간
시나리오1	$P_1 = P_{사용} \times P_{작동} \times P_{성공}$	$T_1 = T_{현장도착시간} + T_{소화기 사용 시간}$
시나리오2	$P_2 = P_{전원} \times P_{작동}$	$T_2 : \text{온도가 } 81^\circ\text{C} \text{까지 되는 시간}$
시나리오3	$P_3 = P_{전원} \times P_{사용} \times P_{작동} \times P_{성공}$	$T_3 = T_{현장도착시간} + T_{옥내소화전 사용 시간}$

4. 초기 소화 대책별 화재 리스크 저감 효과

4.1 화재 리스크 평가를 위한 모델 설정 및 개요

화재 리스크 평가를 위하여 대구시 D지하상가를 모델로 하여 그림 2와 같이 설정하였으며 그 개요는 표 5와 같다. 단 출화점은 지하상가의 중앙 지점의 상가 내로 한다.

2) 지하공간의 위험관리정보시스템 개발에 관한 연구, 박사학위청구논문, 2002년

3) 건축물의 방재 특성에 따른 화재 안전성 종합 평가, 동경 소방청 화재 예방 심의회, 평성 13년 3월

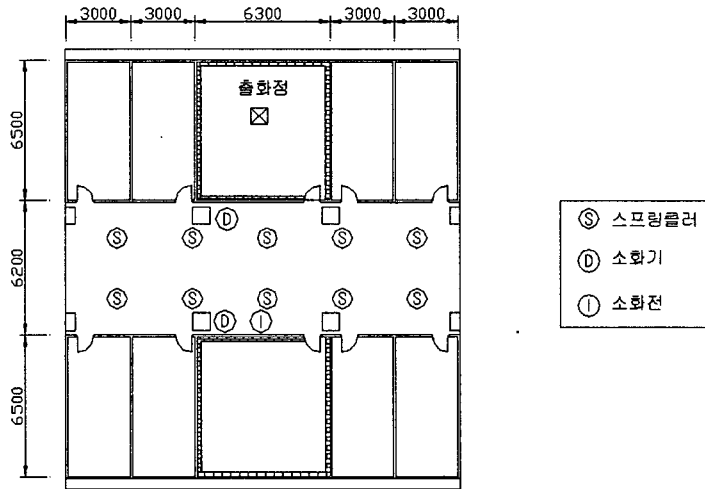


그림2. 지하상가 모델 평면도 및 초기 소화 설비 위치

표 5. 지하상가 모델의 개요

실수	면적 [m ²]	구조	관리자(3명)에서 출화점까지 거리	출화점에서 소화기까지 거리	출화점에서 옥내소화전까지 거리
10실	347	RC조	45.5 m	8.7 m	10.7 m

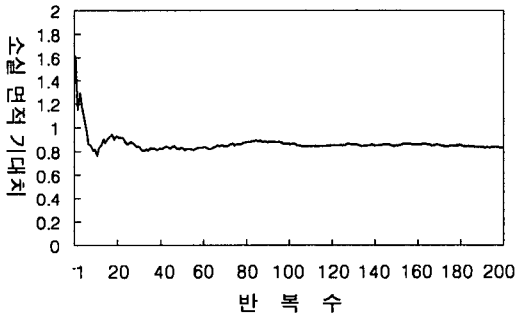


그림 3. 시나리오1의 소실 면적 기대치 [m²]

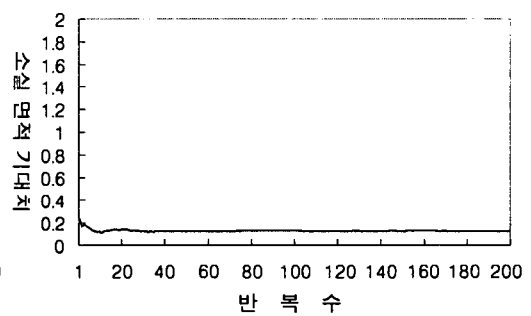


그림 4. 시나리오2의 소실 면적 기대치 [m²]

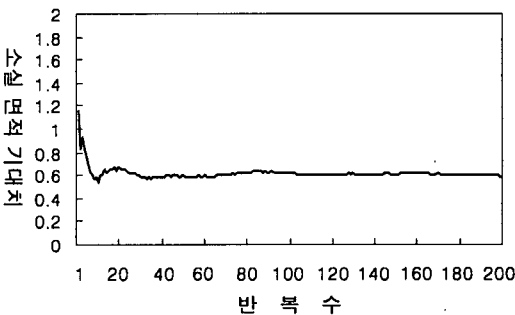


그림 5. 시나리오3의 소실 면적 기대치 [m²]

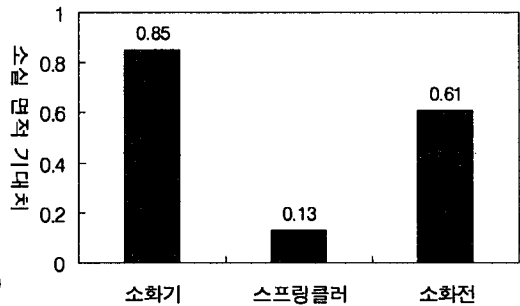


그림 6. 초기 소화 설비별 소실면적 기대치 비교

4.2 초기 소화 대책별 소실면적 기대치

몬테카를로법을 이용하여 반복수를 1000회로 하여 초기 소화 대책 별 소실면적 기대치를 계산한 결과는 그림 3 ~ 5과 같다. 그림에서 알 수 있듯이 몬테카를로법에서 반복수가 40회 정도부터는 일정한 소실 면적 기대치로 수렴하는 경향이 보인다. 그림 6에서 알 수 있듯이 스프링클러 설비가 초기 소화에 성공했을 경우에 소실 면적 기대치가 가장 작으며 소화기로 성공했을 시 여러 가지 인적 요인에 의하여 소실 면적 기대치가 가장 큰 것으로 나왔다.

5. 결 론

화재 위험도 평가의 일환으로써 몬테카를로 계산법을 이용한 확률 계산으로 초기 소화 대책별 화재 리스크 저감 효과에 대하여 정량적으로 나타내었다. 그 결과로써 소화기는 소실 면적 기대치가 0.85m^2 로 가장 높은 것에 비해 스프링클러는 소실 면적 기대치가 0.13m^2 로 가장 낮았다. 따라서 초기 소화 대책에서 소화기, 스프링클러, 소화전으로 소화 활동을 했을 때 스프링클러 설비가 초기 소화의 성공률을 높여 화재 리스크 저감에 유효한 것으로 나타났다. 이러한 사실들로 인하여 초기 소화 설비의 효과를 정량적으로 평가하는 것이 가능하며 모든 구간에 출화점을 두고 계산했을 시 방재 설비가 취약한 부분이 나 화재 리스크가 큰 부분을 예측하는 것이 가능하다.

향후에 화재 리스크를 초기 소화 대책에 그치지 않고 모든 화재 방지 대책을 고려하여 화재 리스크 평가 틀을 발전시켜 나갈 것이다. 또한 좀 더 사실적인 근거를 위하여 화재 성장시뮬레이션(FDS)을 이용하여 여러 가지 변수들을 고려할 것이다.

참고문헌

1. 박종근, '지하공간의 위험관리정보시스템 개발에 관한 연구', 박사학위 청구논문, 2002
2. 建築物の防災特性に応じた火災安全性の総合評価, 東京消防廳火災予防審議會, 2001.3
3. 吉野 茂, '火災リスク評価手法に関する研究 -焼損面積期待値の算定方法-', 日本建築學會大會學術講演梗概集, 2003.9
4. 研究部研究, '建物の火災危険度評価手法の開発-シミュレーションによる工場の火災リスクの定量化-'