

지하공간의 위험관리정보시스템에 관한 연구
- 화재확산평가시스템 중심으로 -

A Study on the Risk Management Information System
of the Underground Space
- Focused on Fire Growth Risk Assessment System -

박종근[†] · 노삼규*

Jong-Keun Park[†] · Sam-Kew Roh*

벽성대학 건설안전과, *광운대학교 건축공학부
(2002. 10. 28. 접수/2002. 11. 22. 채택)

요 약

최근 국내·외에서 지하철 공사현장 가스폭발, 지하 공동구 화재, 지하가 화재·폭발 등 지하공간에서의 사고가 다수 발생하고 있다. 이러한 사고는 재산의 손실 뿐 아니라 전력, 통신망 마비로 도시 기능을 무력화시키고, 인명 피해의 대형화를 동반함으로써 도시민의 안전을 위협하고 있다. 본 연구에서는 지하공간이 잠재적으로 갖고 있는 연소확대 위험성을 확률을 이용하여 평균 연소손실면적 예측치를 산출하고, 화재시 화재확산 경로 및 피해 크기를 산출하여 각 방재 대책의 효과를 상대적으로 비교 평가할 수 있는 시스템을 개발하고자 한다.

ABSTRACT

A large number of accidents at an underground place have been happening, including the gas explosion under construction of subway, the fires of underground utility and underground shopping malls, and other explosion, at home and abroad recently. These accidents make the function of a city ineffective due to the paralyses of electricity and communications net as well as the loss of property, and cause people to feel unsecured with accompaniment of a heavy toll of lives. This research will show evaluation methods of a numerical value of expected average loss space of combustion with the use of probability in order to present potential risk of combustion growth that underground space might cause, and how designer decides a system that enables us to compare and evaluate relatively the effectiveness of measures for preventing burning by calculating the expansion route and the damage size of burning in case of fire.

Keywords : fire risk assessment system, underground space, risk assessment, fire growth

1. 서 론

도시의 구조는 산업의 발전과 경제 성장에 따라서 새로운 기능과 활동에 알맞는 공간과 시설을 필요로 하게 되었다. 그러나 도시의 과밀화, 지가의 상승, 평면적 토지 공간이 부족하게 됨에 따라 도시기능의 일부를 지하공간으로 흡수하고자 하는 노력이 발생하게 되었고, 이에 대한 사회의 관심이 높아지고 있어 지하공간의 활용이 증가되는 추세이다.

국내·외에서 지하철 공사현장 가스폭발, 지하 공동구 화재, 지하가 화재·폭발 등 지하공간에서의 사고가 다수 발생하고 있다. 이러한 사고는 재산의 손실 뿐 아니라 전력, 통신망 마비로 도시 기능을 무력화시키고, 인명 피해의 대형화를 동반함으로써 도시민의 안전을 위협하고 있다. 지하공간에 있어서 사고는 지하가, 지하통로 및 건축물 지하 등이 30%를 차지하고, 사고 형태는 화재·폭발이 36%를 차지하고 있다.

현재까지의 지하공간 개발은 지상공간과의 관계나 도시계획과의 관계 등 여러 가지 측면에서 상호 연관이 되지 못한 채 개별적으로 이루어지고 있어 잠재위

[†]E-mail: jkpark@mail.byuksung.ac.kr

험이 산재되어 있다. 그럼에도 불구하고 지하공간의 이용은 더욱 활성화 될 것으로 예상되며, 지하공간의 안전성과 쾌적성 확보를 위해서는 계획, 설계, 시공, 운용·관리 각 단계에서 안전성 확보가 요구된다.

따라서 본 연구에서는 지하공간 중 지하가의 사고·사례와 실태를 조사, 검토하고, 운용·관리 단계에서 화재위험 요인을 도출하여 화재발생시 시간에 따른 화재확산 경로 및 피해크기를 산출하여 위험성을 평가할 수 있는 시스템을 개발하고자 한다.

2. 지하공간의 특성 및 재해 현황

지하공간은 지상공간에 비해 폐쇄적 공간임으로 화재·폭발의 영향을 받기 쉬워 대형 재해를 초래할 수 있다. 지하공간의 특성으로 주된 것은 ① 피난에 있어서 외부공간을 활용한 최종피난 수단이 없는 것, ② 밀폐된 공간인 것, ③ 피난방향이 상 방향이 되기 때문에 피난·소방활동 등이 곤란성이 있는 것, ④ 자기의 위치와 방향을 알 수 없는 등의 특수성과 방재상의 문제점이 있다.

Table 1은 사고의 기인장소의 용도와 사고의 종류에 따라서 과거 20년간 지하공간에서 발생했던 사고의 건수를 신문등의 기사로부터 표를 간략화한 것이다. 화재·폭발이 226건(30.1%)으로 비율이 높고, 화재의 경우 용도에 따른 분류에 의하면 건축물지하, 지하가·지하통로 등의 순으로 발생하였다.

3. 화재 확산 평가시스템 구축

본 연구에서는 지하공간이 잠재적으로 갖고 있는 연

소확대 위험성을 확률을 이용하여 평균 연소손실면적 예측치를 산출하고, 화재시 화재확산 경로 및 피해 크기를 산출하여 각 방재 대책의 효과를 상대적으로 비교 평가할 수 있는 시스템을 구축하고자 한다.

3.1 화재 확산 평가의 요소

평가요소는 과거의 화재사례로부터 화재 확산의 진행에 큰 영향이 있는 요소를 추출하여 이용하였다. 즉 환경적요소, 공간적요소, 설비적요소, 인적요소로 분류하여 과거의 화재사례 분석결과에서 지하공간의 연소확대 위험성을 평가하는데 필요한 요소를 다음과 같이 설정하였다.

- ① 환경적 요소 : 내장재, 화재하중 및 화재성장 파라미터, 출화면적
- ② 공간적 요소 : 구획의 내화특성, 방화문이 폐쇄상황
- ③ 설비적 요소 : 소방용설비 등의 설치 상황, 유지관리 상황, 건축설비
- ④ 인적 요소 : 방재의식, 초기대응행동실시 상황, 초기대응자수, 초기대응능력

3.1.1 환경적 요소

- (1) 출화실 면적 등
- (2) 내장재

출화실의 내장재 차이는 성기화재로 되는 연기층의 온도에 영향을 미치는데, 내장재가 불연·준불연재일 경우 이때 연기층(煙層)의 온도는, 일반적으로 600°C 정도로 알려져 있다. 또, 내장재가 가연재의 경우에 연기층(煙層)의 온도는, 불연재와 준불연재의 경우 보다 낮은 300°C정도라고 생각할 수 있다. 따라서, 여기에서는 내장재의 차이를 불연·준불연재료와 가연재료의 2가지 파라미터로 고려한다.

Table 1. 지하공간에서 재해건수 분포

구분	화재·폭발	자연재해	교통재해	산소결핍/누전	범죄	공사에 의한 사고	기타	계
지하가·지하통로	55	4	0	0	1	1	6	67 (10.1%)
지하주차장	6	3	2	4	1	1	1	18 (2.9%)
건축물지하	81	3	1	15	3	9	5	117 (18.7%)
지하역사	21	2	0	0	6	0	6	35 (5.6%)
지하철, 통로터널	23	12	14	3	2	26	25	105 (16.8%)
라이프라인	16	15	5	70	4	57	40	207 (33.1%)
계	226	42	22	122	17	101	96	627
%	36.1	6.7	3.5	19.5	2.7	16.1	15.3	100

출전: (사)일본손해보험협회, 1991. 10 「지하공간에있어서 사고·재해사례집」의 1971년 이후 메스컴기록의 재해건수분포.

(3) 화재하중 및 화재성장 파라미터

Table 2. 파라미터의 설정(내화환경)

파라미터	화재 하중 등급			비고
	A(高)	B(標準)	C(低)	
출화실용도		일반사무실		고정
출화위치		실 중앙		고정
내장재	불연 · 준불연			
화재성장 파라미터	일반 사무실	0.07	0.05	0.03
	초고층 사무실	0.02	0.0125	0.009

출전: 건축물 방화특성에 따른 방화 안전성 평가, 동경소방청 화재예방 심의회, 평성11년 3월.

Table 3. 파라미터의 설정(구획의 내화 성능)

(단위 : 시간)

용도	구성부재	벽							보·기둥	바닥	지붕	
		외벽			내벽							
		용도규모층수/최고높이(m)	내력벽	비내력		내력벽	비내력					
					연소 우려가 있는 부분		연소 우려가 없는 부분		칸막이벽	샤프트실구획		
일반 시설	업무시설, 판매 및 영업시설, 공공용시설 중 군사시설·방송국·발전소·전신전화국·촬영소 기타 이와 유사한 것, 통신용 시설, 관광유해시설, 운동시설, 문화 및 집회시설, 제1종 및 제2종 근린생활 시설, 위락시설, 묘지관련시설중 화장장, 교육연구 및 복지시설, 자동차관련시설(정비공장제외)	12/50	초과	3	1	0.5	3	2	2	3	2	1
			이하	2	1	0.5	2	1.5	1.5	2	2	0.5
		4/20 이하		1	1	0.5	1	1	1	1	1	0.5
주거 시설	단독주택중 다중주택·다가구주택·공관, 동주택, 숙박시설, 의료시설	12/50	초과	2	1	0.5	2	2	2	3	2	1
			이하	2	1	0.5	2	1	1	2	2	0.5
		4/20 이하		1	1	0.5	1	1	1	1	1	0.5
산업 시설	공장, 창고시설, 분뇨 및 쓰레기처리시설, 자동차 관련 시설중 정비공장, 위험물 저장 및 처리시설	12/50	초과	2	1.5	0.5	2	1.5	1.5	3	2	1
			이하	2	1	0.5	2	1	1	2	2	0.5
		4/20 이하		1	1	0.5	1	1	1	1	1	0.5

출전: 내화구조의 인정 및 관리기준(건설교통부고시 제2000-93호, 2000. 4. 20).

3.1.2 공간적 요소

점포 사이의 칸막이와 각 방화 구획을 연소확대 역제의 중요 요인으로 고려하였다. 구획의 내화성능은 국내 건축법의 내화구조의 인정 및 관리기준에서 정한 내화시간을 고려하였다(Table 3).

3.1.3 설비적 요소

(1) 방재설비 등의 작동 확률

화재의 연소확대 역제의 평가 요소로 당해 건축물에 설치되어 있는 방화설비(소방용 설비 및 건축설비)의

확률을 설정하였다. 평가에 활용한 확률 데이터는 국내 확률 데이터를 적용하려고 하였으나 데이터 정리 및 분류가 미비하여, 일본의 동경소방관청 관내에서 10년간 발생한 건물화재를 대상으로 분석한 결과를 근거로 하였으며, 그 내용은 Table 4와 같다.

(2) 방화문 폐쇄 확률

방화문이 화재시에 폐쇄되지 않는 이유는 폐쇄기구로서의 신뢰성 문제 및 평상시의 사용상태에 기인하는 두 가지 문제로 생각할 수 있다. 이러한 문제에 관해

Table 4. 파라미터의 설정(방화 설비등)

설비분류	설비 명칭	이용할 확률	작동확률	성공확률
경보설	자동화재탐지설비	-	0.945	-
소화설비	스프링클러설비	-	0.972	-
	옥내소화전설비	0.822	0.971	0.631
	소화기	0.932	0.996	0.780
건축설비	배연설비	0.877	0.974	-
	공조설비	0.808	0.974	-
전원설비	비상전원		0.998	

※출전: 동경 소방청 예방부 조사과 편.

Table 5. 방화문의 폐쇄확률 설정치

개폐상태	방화문 종류	설정치
상시(常待) 폐쇄식(자동폐쇄)	방화문	0.97
상시(常待) 폐쇄식(수동폐쇄)	방화문	0.986
수시(隨時) 폐쇄식 (연기감지기 연동) (열감지기 연동) (온도 휴즈 연동)	방화문	0.91
	방화셔터	0.91

※출전: 동경 소방청 예방부 조사과 편.

서는 기존의 조사데이터를 근거로 Table 5와 같이 설정하였다.

3.1.4 인적 요소

지하공간의 관리특성으로서는 초기대응자수(방재센터 요원, 경비원 및 근무자), 습득정도 및 방재설비 등의 유지관리도를 평가요소로 한다.

3.2 화재 확산 모델

화재 확산 모델을 환경적/공간적/설비적/인적 요소를

고려하여 총 I~VI 단계로 분류하였고 그 내용은 다음과 같다.

- (1) 화재 확산 I : 소화기 또는 스프링클러설비로 소화가 가능한 화재 단계
- (2) 화재 확산 II : 옥내소화전설비, 배연설비의 초기 대응행동이 가능한 화재 단계
- (3) 화재 확산 III : 출화실 문 폐쇄, 공조정지에 따른 공기의 유입방지가 가능한 화재 단계
- (4) 화재 확산 IV : 성기화재가 되어, 출화실의 구획 내화시간에 따라서 화재가 출화실내에 머무르는 단계
- (5) 화재 확산 V : 출화실을 벗어나서, 동일 방화구획 내 인접공간에 화재가 확대되는 단계
- (6) 화재 확산 VI : 방화구획을 벗어나서, 다른 방화구획으로 화재가 확대되는 단계

단, 화재의 초기단계(출화실로부터 인접실까지 확대)는 스프링클러 설비의 작동과 자체 소화활동에 의한 초기대응과 관련해서 다음과 같이 세분화하였다.

Table 6. 익숙한 정도에 따른 대응행동의 지연시간

방재센터 요원	경비원	종업원
대응행동시간 : 기준치	기준치 + 지연시간 40초	기준치 + 지연시간 90초

Table 7. 사람수의 차이에 따른 행동수 및 대응행동에 걸리는 지연시간

4명	3명	2명
대응행동수 : 기준치	기준치 + 지연시간 40초 기준치 + 지연시간 90초	
대응행동시간 : 기준치	한사람이 담당하는 대응행동수가 증가함과 동시에 대응행동에 걸리는 지연시간(40초)을 설정	

Table 8. 유지관리도의 차이에 따른 방화설비의 작동확률

좋음	표준	나쁨
작동확률 : 기준치	기준치 × 0.95	기준치 × 0.90

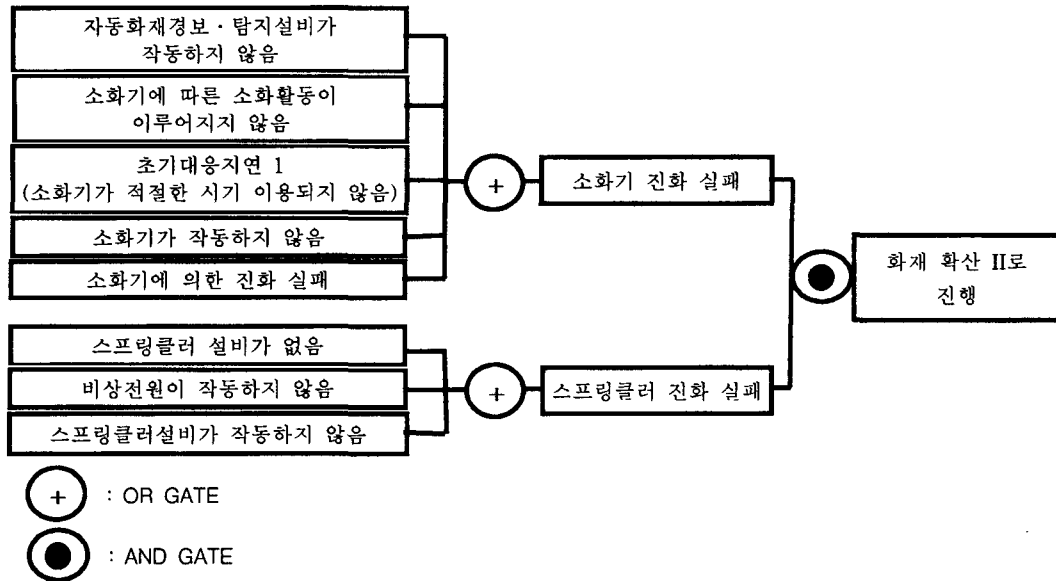


Fig. 1. 화재 확산 I에서 화재 확산 II의 진행 Flow-chart.

※스프링클러설비가 없는 경우에는 작동하지 않음 확률을 100%로 설정하고, 이후의 설비에 관해서도 동일하게 처리한다.

- 소화기에 의한 초기소화가 가능한 범위
- 연기층의 하강에 따른 영향을 받지 않고 자체소방대에 의해 초기소화행동이 가능한 범위
- 출화실이 성기화재가 될 때까지의 범위(출화실의 온도상승으로 판단한다)
- 출화실이 성기화재가 되고 나서 인접실로 연소가 확대될 때까지의 범위

3.2.1 화재 확산 I

“화재 확산 I”은 소화기 또는 스프링클러설비로 소화가 가능한 화재 단계이고, 화재 확산 조건과 확률은 다음과 같다.

(1) 화재 확산 I 진전 조건

다음 조건이 성립될 때 화재확산 화재 I에서 확산 II로 확산하는 것으로 한다.

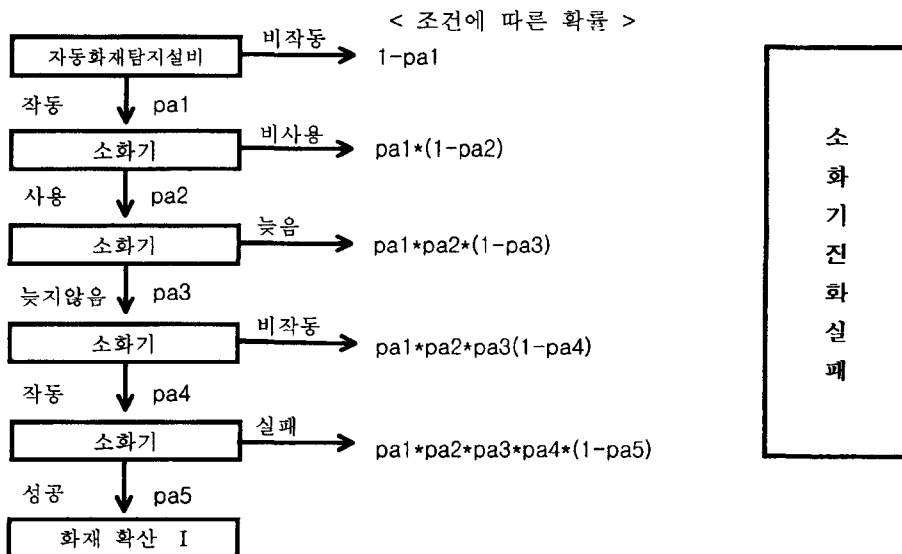


Fig. 2. 화재 확산 I의 소화기 관련 확률설정 Flow-chart.

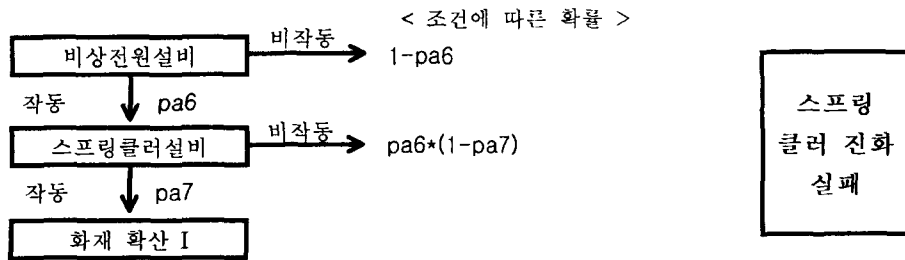


Fig. 3. 화재 확산 I의 스프링클러설비 관련 확률설정 Flow-chart.

(2) 화재 확산 I 진전 확률

앞에서 기술한 화재확산 진전 조건의 각 항목에 대해서, 과거의 화재 사례로부터 「작동·비작동」, 「사용·비사용」, 「늦음·늦지 않음」 등의 발생 확률을 산출하고 화재 확산 진전 확률을 산출한다.

화재 확산 I의 초과 확률은 Fig. 2와 Fig. 3에 나타나 있는 확률을 이용해서 다음 식으로 산출할 수 있다.

$$P_{Ph1} = [(1 - Pa1) + Pa1 \cdot (1 - Pa2) + Pa1 \cdot Pa2 \cdot (1 - Pa3) + Pa1 \cdot Pa2 \cdot Pa3 \cdot (1 - Pa4) + Pa1 \cdot Pa2 \cdot Pa3 \cdot Pa4 \cdot (1 - Pa5)] \times [(1 - Pa6) + Pa6(1 - Pa7)] \quad (1)$$

여기서, 초기대응지연 I(소화기가 적절한 시기에 이용되지 않음)이 발생할 확률은 다음 식과 같다.

$$1 - Pa3 = P(t_{ACT1} > T_{Ph1}) \quad (2)$$

초기대응지연 I이 발생할 확률은 식 (2)에 근거해서, 그 화재 확산에서 필요한 대응 행동의 개시 시간(t_{ACT1})의 누적 확률 밀도 분포와 그 화재 확산 한계 시간과의 관계는 Fig. 4에서 산출할 수 있다(이하, 각 초기대응행동에 대해서도 같음).

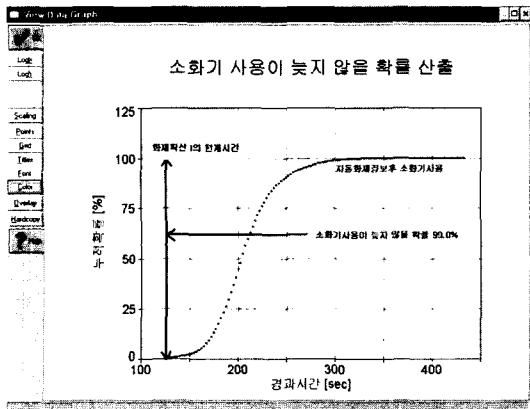


Fig. 4. 소화기 사용 행동이 늦지 않을 확률 산출 방법.

한국화재·소방학회, 제16권 제4호, 2002년

단,

$$t_{ACT1} = t_1 + t_2 + t_3^* \quad (3)$$

$$T_{Ph1} = t_{Ph1} + T \quad (4)$$

여기서

t_{ACT1} : 초기대응행동 I(소화기에 의한 대응행동)의 소요 시간(sec)

T_{ph1} : 화재 확산 I의 한계시간(sec)

t_1 : 자동화재경보기 작동 후 현장도착에 걸리는 시간(sec)

t_2 : 현장 도착 후, 출화실 확인에 걸리는 시간(sec)

t_3^* : 출화실을 확인 후, 소화기 사용에 걸리는 시간 (확률적인 분포로 부여한다)

$P(X)$: 조건식 X가 발생할 확률을 산출하는 계수

t_{ph1} : 화재개시 시점에서 화재 확산 I의 한계까지의 시간(sec)

T : 자동화재경보기의 경보 시간(sec)

① 현장도착시간의 설정(출화층)

자동화재경보기 작동 후, 초기소화활동종사자가 현장 도착에 걸리는 시간은 자동화재경보기의 수신기가 설치되어있는 장소로부터의 이동 거리를 고려해 다음 식으로 설정한다.

$$t_1 = \frac{D_0}{v_{arrive}} \quad (5)$$

여기서,

t_1 : 자동화재경보기 작동후, 현장도착에 걸리는 시간(sec)

D_0 : 도착까지의 이동 거리(m)

v_{arrive} : 도착까지의 보행 속도(m/sec)

식 (5)는 계단을 이용해서 도착할 경우의 시간이고, 비상용 엘리베이터를 이용해서 도착할 경우에는 별도 도착시간 산출식을 이용할 필요가 있다.

② 출화지점 확인 시간의 설정
출화구역에 도착후, 출화실을 확인하는 데에 걸리는 시간을 고려해 다음 식으로 설정한다.

$$t_2 = L/v_{search} + a \cdot n_{room} \quad (6)$$

여기서,

- t_2 : 현장도착후, 출화실의 확인에 걸리는 시간(sec)
- L : 경계구역내의 복도 길이(m)
- v_{search} : 확인시의 보행 속도(m/sec)
- a : 실내를 확인하는 시간(sec)
- n_{room} : 경계구역내의 점포수

(3) 화재 확산 I의 한계 시간

본 연구에서는 과거의 화재시에 소화기의 성공 사례에서 소화기 사용시의 발열 속도를 고려해 1900 kW의 1/2인 950 kW로 설정하였고, 여기서 1/2란 안전율을 2 배로 설정한 것이다. 또한, 소화기 사용 장소에서 연기층 강하에 따라 소화기의 사용이 불가능하게 되는 시간이 발열속도보다 산출한 한계시간이 빠른 경우에는 연기층의 강하시간을 한계시간으로 하고, 다음과 같이 설정하였다.

$$T1 = \text{Min}\{\text{발열속도가 950 kW가 되는 시간, 연기층 강하예측식에 의한 한계시간}\} \quad (7)$$

(4) 화재 확산 I의 연소손실면적 산출 방법

화재 확산 I은 출화실내의 화재초기단계에서의 연소 손실면적이다. 여기에서는 동심원상태의 연소확대 모

델을 생각하고, 다음 식에 따라 연소손실면적을 산출한다.

$$A_{Ph1} = \pi[(T_{Ph1} - T_{detect})v_1]^2 \quad (8)$$

여기서

- A_{Ph1} : 화재 확산 I의 연소손실면적
- T_{Ph1} : 화재 확산 I의 한계시간(sec)
- T_{detect} : 자동화재경보기의 작동시간(sec)
- v_1 : 출화에서 소방대방수개시까지의 연소확대속도(m/sec)

3.2.2 화재 확산 II~VI

화재 확산 II~VI의 진행 모델은 앞절 내용과 같고 각 화재 상태(Phase)의 한계시간 산출식을 정리하면 다음과 같다.

4. 지하공간의 위험성평가정보시스템 구축

본 장에서는 3장에서 기술한 화재 확산 평가시스템 내용을 기초로 해서 지하공간 위험성평가정보시스템을 구축하고, 실제 국내 지하상가를 선정하여 사례연구를 수행하였다. 사례연구를 수행한 지하상가의 배치도는 Fig. 5와 같다. 본 평가시스템은 크게 “화재예방평가시스템”, “화재확산평가시스템”, “비상대응평가시스템”, “피난평가시스템”의 4가지의 서브시스템으로 구성되어 있으며, “화재예방평가시스템”은 본 학회지에 게재한 바 있고 본 논문에서는 “화재확산평가시스템”에 관하여 설명하고자 한다.

Table 9. 화재상태(Phase)의 한계시간 산출식

화재 상태	산출식	관련 파라미터
상태(Phase) 1	Min(발열속도가 950 kW에 도달하는 시간, 연기층이 높이 H^* 까지 강하하는 시간)	$\alpha, H_{room}, A_{room}$
상태(Phase) 2	연기층이 높이 H^* 까지 강하하는 시간 H^* 는 다음과 같이 정한다. $H^* = 1.6 + 0.1 H_{room}$ 연기층 강하예측식은 다음식을 이용한다. $t_s = \left\{ \frac{5 \rho A_{room}}{2 k \alpha^{1/3}} \left(\frac{1}{(H^*)^{2/3}} - \frac{1}{H_{room}^{2/3}} \right) \right\}^{\frac{5}{3}}$	$\alpha, H_{room}, A_{room}$
상태(Phase) 3	연기층 온도가 600°C가 되는 시간(내장불연의 경우) 연기층 온도가 300°C가 되는 시간(내장가연의 경우) 연기층온도예측식은 다음 식을 이용한다. $T_{hl} = 0.0236 \Phi^{2/3} (h_k A_T \sqrt{H})^{-1/3} T_{\infty} + T_0$	
상태 4~6	구획 구성재의 내화시간	개구의 유무

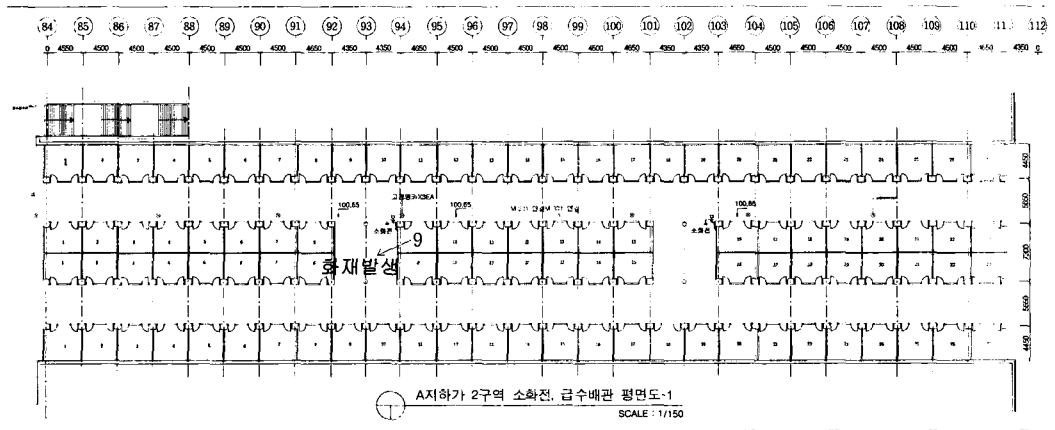


Fig. 5. A 지하가 배치도.

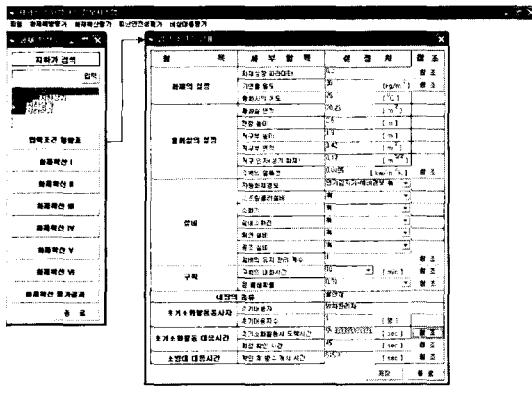


Fig. 6. 입력조건 일람표.

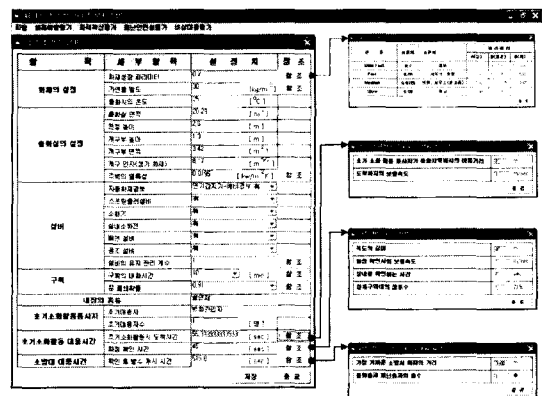


Fig. 7. 입력조건 세부사항.

4.1 입력조건 일람표

입력조건 일람표는 본 시스템을 이용하기 위해 필요한 지하가의 데이터를 입력하는 창이다. 본 시스템은 지하공간의 내부공간 구성의 차이를 고려하고 설비의 작동확률 및 자체소방활동의 효과등 불특정한 요인을 확률론적인 방법론을 적용함에 따라 지하가의 잠재적인 화재 확산 위험성을 정량적으로 평가할 수 있다. 본 평가시스템으로부터 산출되는 화재확산 초과확률과 평균연소손실면적을 이용하여 지하가의 방재대책의 차이에 따른 연소 확대를 제어할 수 있는 대책을 도출할 수 있다.

본 시스템을 이용하기 위해서는 먼저 지하가 검색창에 새로운 지하가를 입력하여 화재확산 평가를 수행하거나 기존에 평가한 지하가를 검색하여 화재 확산 평가 결과를 검토할 수 있다. Fig. 6은 서울시 소재의 A 지하가의 일반적인 사항을 입력한 결과이다.

입력조건 일람표의 설정치는 본 시스템에서 제안하는 데이터를 기본적으로 이용할 수 있고 사용자가 보다 정확한 확률데이터를 입력할 수도 있다. Fig. 7과 같이 “화재 성장파라미터”, “가연물 밀도”, “주벽의 열 특성”, “문폐쇄확률”, “초기소화활동시간”, “화점확인시간”, “화점 확인후 소방대 방수개시시간”은 “참조” 버튼을 클릭하여 본 시스템에서 제안하는 데이터를 이용 또는 산출할 수 있다.

4.2 화재 확산 I 초과 확률/한계시간/연소손실면적 산출

“입력조건 일람표”에 기본적인 데이터를 입력하고 “화재 확산 I”의 버튼을 클릭하면 Fig. 8과 같이 “화재 확산 I”창이 활성화 된다.

화재 확산 I의 산출방법은 다음과 같다. 첫째, “화재 확산 I의 한계시간”을 산출한다. 앞서 기

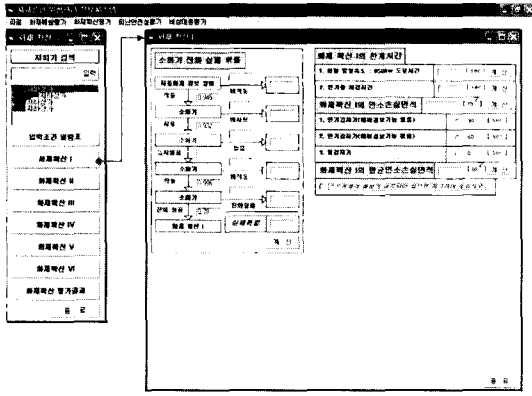


Fig. 8. 화재 확산 I의 초기화면.

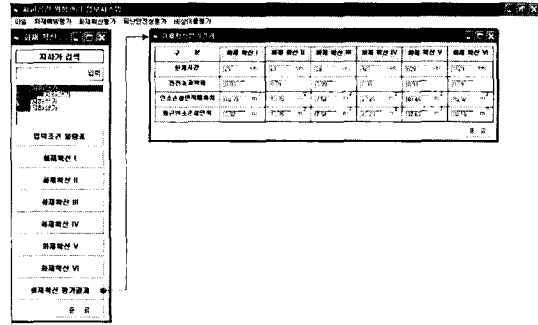


Fig. 11. A지하상가의 화재 확산 평가 결과.

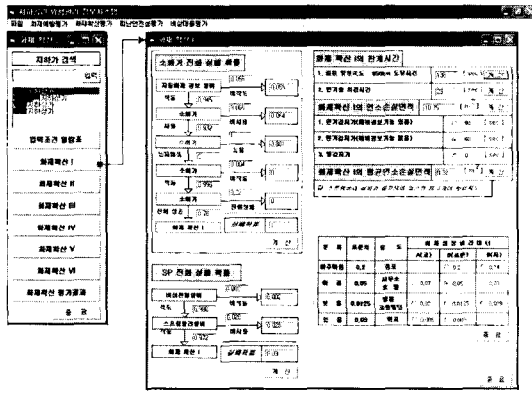


Fig. 9. 화재 확산 I의 한계 시간 및 확률산정.

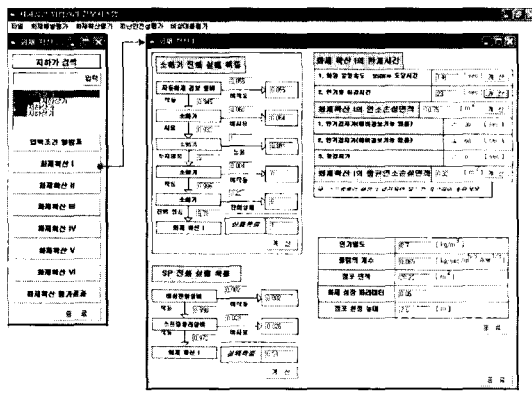


Fig. 10. 연기층 하강시간.

술한 화재 확산 I의 한계 시간은 “화원의 발열속도가 950kW에 도달하는 시간(Fig. 9)”과 “연기층 하강시간(Fig. 10)”의 2가지 한계시간을 산출하고 최소값을 “화

재 확산 I”의 한계 시간으로 설정한다(식 (7) 참조).

둘째, “화재 확산 I의 연소손실면적”을 산출한다. 화재 확산 I의 연소손실면적은 자동화재 경보기의 작동 시간과 출화에서 소방대방수개시까지의 연소확대속도를 이용하여 산출된다(식 (8) 참조).

셋째, “화재 확산 I의 초과 확률(Fig. 9)”을 산출한다. 만약, 스프링클러가 설치되어있지 않다면 소화기 진화 실패 확률만을 산출하고, 스프링클러설비의 진화 실패 확률은 1로 설정한다(식 (1)~(4) 참조)

넷째, 화재 확산 I의 초과 확률과 연소손실면적의 곱으로 “화재 확산 I의 평균연소손실면적(Fig. 9)”을 산출한다.

다섯째, 화재 확산 I의 초과확률을 낮추고 연소손실면적을 감소시키기 위해서는 “자동화재경보설비”, “소화기”, “비상전원설비”, “스프링클러설비”, “연기감지기” 등의 작동 신뢰성 향상 여부에 따라 상이한 결과 값을 산출할 수 있다. 따라서, 각각의 설비들이 화재 확산에 어느 정도의 영향을 미치는 가를 정량적으로 산출하여 화재 확산 제어 효과를 산출할 수 있다.

여섯째, 화재 확산 I·II·III·IV·V·VI의 초과확률 및 연소손실면적을 산출하고 평균연소손실면적을 산출함으로써, 소화기 또는 스프링클러설비로 소화가 가능한 단계·옥내소화전설비/배연설비의 초기대응행동이 가능한 단계·출화실 문 폐쇄·공조정지에 따른 공기 유입방지가 가능한 단계·성기화재가 되어 출화실의 구획 내화시간에 따라서 화재가 출화실 내에 머무르는 단계·출화실을 벗어나서 동일 방화구획내 인접공간에 화재가 확대되는 단계·방화구획을 벗어나서 다른 방화구획으로 화재가 확대되는 단계의 한계 시간 및 연소 손실 면적을 산출할 수 있다(Fig. 11).

일곱 번째, 평가 결과 소화기 초기대응 한계시간은

23초, 옥내소화전설비 및 배연설비 초기대응 한계시간은 23초, 출화실 문폐쇄 및 공조정지에 따른 공기 유입방지 한계시간은 29초, 성기화재가 되어 출화실 구획 내화시간에 따라 출화실에 화재가 머무르는 한계시간은 329초, 출화실을 벗어나 동일방화구획내의 인접 공간에 화재 확대 한계시간은 629초, 방화구획을 벗어나 다른 방화구획으로 화재가 확대되는 한계시간은 1,829초로 산출되었다. 따라서, 각 단계별 한계시간을 초과하지 않는 범위내에서 각 소방대응 조치가 이루어지도록 설비 투자 또는 설계 변경이 이루어져야 할 것이다.

5. 결 론

본 평가시스템이 갖는 특징을 명확하게 함과 동시에 본 평가 방법에 설정되어 있는 데이터의 특성을 파악하는 것을 목적으로 국내 지하가를 선정하여 사례연구를 수행하였다. 본 시스템에서 산출된 화재 확산 초과 확률과 평균연소손실면적예측치를 산정하기 위해 고려하고 있는 방재대책의 작동신뢰성과 유지관리의 신뢰성, 또는 초기 소화활동에 관한 습득정도 등의 파라미터가 변화했을 경우 어떻게 화재확산에 영향을 미치는지 감도분석을 수행할 수 있고 방화대책별 효과에 관해서도 검토할 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 본 평가시스템으로부터 산출되는 화재확산 초과확률과 평균연소손실면적을 이용하여 지하가의 방재대책의 차이에 따른 연소확대를 제어할 수 있는 대책을 도출할 수 있다. 앞으로 더 연구되어야 할 사항으로는 본 시스템에서 산출된 평가 결과를 GIS와 연계하여 실시간으로 화재 확산 경로 및 연소 면적을 공간정보로 표현함으로써 소화 활동등의 비상조치 및 피난 경로등의 피난 대책등을 수립하는데 기초데이터를 제공할 수 있는 종합

적인 평가시스템에 관한 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2002년도 광운대학교 교내 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

참고문헌

1. 박종근, 노삼규, 지하공간의 위험성평가 수법에 관한 연구, 한국화재·소방학회, 제15권, 제4호(2001).
2. 박종근, 노삼규, 서영민, 지하공간의 위험성평가 시스템에 관한 연구, 한국화재·소방학회, 제16권, 제2호(2002).
3. 심우갑 외, 지하공간건축, 시공문화사(1997).
4. 日本火災學會誌 “火災”, Vol. 41, No. 5 「都市の地下空間における施設の防火安全対策の在り方について」, pp.28-34(1991).
5. 社団法人日本損害保險協會, 「地下空間の安全・防災対策に関する調査・研究報告書 = 地下空間の安全性評價研究 =」 (平成5年 3月).
6. 社団法人日本損害保險協會, 「地下空間の安全性評價に関する研究報告書 (地下空間の安全性評價研究)」 (平成3年11月).
7. 東京消防廳, 火災予防審議會, 「地下街に関する實態研究報告書」 (1979. 1).
8. 地下空間利用研究, 「地下都市」 清文社, pp172-197 (1989. 8).
9. 地下空都市計劃研究會, 「地下空間の計劃と整備」, pp.130-136(1994. 5).
10. 國土廳大深度地下利用研究會, 「大深度地下利用の課題と展望」, ぎょうせい, pp221-222(平成10年).
11. (社)日本都市計化學會, 「安全と再生の都市づくり」, 學芸出版社, pp.121-147(1999. 2).