

C-3

지하공간의 위험성 평가수법에 관한 연구 - 지하가 화재·폭발 방재 대책 중심으로-

박종근, 노삼규*

벽성대학 건설안전과, *광운대학교 건축공학부

A Study on the Risk Assessment Technique of the Underground Space

Park Jong-keun and Roh Sam-kew*

Dept. of Construction Safety Management, Byuksung College

*Dept. of Architecture Engineering, Kwangwoon University

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

도시의 구조는 산업이 발전하면서 새로운 기능과 활동에 알맞은 공간과 시설을 필요로 하게 한다. 그러나 도시가 과밀화되고, 지가가 상승하며, 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. 더구나 지하공간은 개발에 앞서 위험성평가가 구체적 원칙으로 선행되지 않고, 지상공간과의 관계나 도시계획과의 관계 등 여러 가지 측면과 상호 연관이 되지 못한 채 개별적으로 이루어지고 있기 때문에 위험요소가 상존하고 있다. 지하공간은 그 나름대로 점점더 대규모화, 심층화 및 복합화 되고 있어, 잠재위험이 가중되고 있다. 그럼에도 불구하고 지하공간의 이용은 더욱 활성화 될 것으로 예상되며, 따라서 지하공간의 안전성과 쾌적성 확보를 위해서는 계획, 설계, 시공, 운용·관리 각 단계에서 안전성 확보가 요구된다.

따라서 본 연구에서는 지하공간 중 지하가의 사고·사례와 문헌연구 및 실태를 조사, 검토하고, 운영·관리 단계에서 위험 요인을 도출하여 화재·폭발 안전대책의 평가요소 및 위험성 평가수법을 제시하고자 한다. 또한 지하가의 대규모화, 복합화, 심층화에 따른 화재·폭발 위험성의 안전대책 항목의 중요도를 검토하여 방재대책 수립시 우선 순위를 제시하고자 한다.

1.2 연구 내용 및 방법

본 연구는 지하공간 중에서 지하가의 화재·폭발에 대한 위험성평가 요소와 위험성 평가수법 및 안전대책 중요도를 제시하기 위하여 일본손해보험협회의 지하공간 안전성 평가수법을 분석하였다. 그 수법에서 분류한 화재 7가지 대책과 폭발 3가지 대책으로 분류하고, 평가 산출식을 응용하여 연구를 수행하였다.

첫째, 화재·폭발에 대한 위험성 평가를 수행하기 위하여 각 대책에 대한 평가요소는 문헌에서 지하가의 문제점, 지하가에 대한 6개소 실태조사, 방화관리자 인터뷰, 소방법 및 건축법을 통하여 도출하고, 평가표를 수립하여 평가하였다.

둘째, 대규모화, 복잡화, 심층화의 각 15개의 특성항목으로 분류하고, 향후 그 특성항목이 실현되면 화재에 대한 7가지 대책 중에서 어느 것이 중요하게 되는가를 소방공무원 116명을 대상으로 앙케이트 조사·분석하여 안전대책 중요도를 제시하였다.

2. 지하공간의 특성 및 재해현황

지하공간은 지상공간에 비해 폐쇄적 공간임으로 화재·폭발의 영향을 받기 쉽다. 화재가 발생하면 연기의 제어, 피난, 소화활동 등이 곤란하고, 자기의 위치와 방향을 알 수 없는 등의 특수성과 방재상의 문제점이 있다.

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

표 1. 지하공간에서 재해건수분포

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

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

3. 지하공간 위험성 평가수법

3.1 지하가의 화재·폭발 위험성 평가

지하가 화재에 관한 안전대책을 출화방지대책·화재발견·연락통보대책·초기소화대책·연소확대방지대책·피난대책·소방활동대책·관리대책, 폭발은 누출방지대책, 가스 누출화재경보설비, 긴급가스차단장치 대책으로 분류하고, 각각의 대책에 대해 평가요소를 도출하여, 정량적 평가를 수행할 수 있는 수법을 제시하였다. 각 대책의 평가요소 평가치의 중요도를 산정고, 각 평가요소의 평가치 집계가 100이 되도록 평가하였다. 또한, 평가 레벨에 대해서는 만족·보통만족·불만족의 3단계로 분류하고, 각 평가요소의 평가레벨의 집계를 그 대책의 평가집계 점수로 산정하였다.

3.1.1 위험성 평가표

지하가 화재에 관한 위험성 평가표는 7가지 대책 각각의 평가요소에 대하여 방화관리자 인터뷰로서 중요도를 수행한 후 평가치를 기준으로 지하가의 위험도를 산정 하였다. 지하가의 화재 위험도 산정시에 각 평가요소의 하한치를 1.0으로 하고, 상한치를 2.0으로 해서 각 평가요소의 중요도(2.0, 1.5, 1.0)를 산정한다. 이때, 중요도 산정시 각 점수의 편차를 보정하기 위해서, 다음과 같은 방법으로 실태조사 결과를 보정하고 각 평가요소의 중요도를 산정한다.

첫째, [표 2]에서와 같이 각 평가요소의 중요도를 평가한 수치를 2.0, 1.5, 1.0로 분류한다.

둘째, [그림 1]에서와 같이 중요도 산정(2.0, 1.5, 1.0)에 대한 평균치를 산출한다.

셋째, 각각 지하가의 중요도를 보정하기 위해서, [그림 1]에서 산출한 평균치 1.655 이상이 되는 지하가는 할인하고, 이하가 되는 지하가는 할증하기 위해서 [그림 2]와 같이 산출한다.

표 2. 평가요소의 중요도 산정

출화방지대책

평가요소	평가요소의 중요도 산정				계
	A	B	..	Q	
1.	2.0	2.0	..	2.0	
2.	1.5	2.0	..	2.0	
· ·	·	·	..	·	
11.	1.5	2.0	..	1.5	계
a = 2.0	8	6	..	5	103
b = 1.5	3	0	..	4	59
c = 1.0	1	6	..	3	40
				계	202
평가요소 11항목×양케이트 수행자수 = 204 두명의 무응답 때문에 204개-2개 = 202개					

$103 \div 202 = 0.51$
$59 \div 202 = 0.29$
$40 \div 202 = 0.20$
$0.51 \times 2.0 + 0.29 \times 1.5 + 0.2 \times 1.0 = 1.655$ 따른 각사람의 점수를 1.655로 한다.

그림 1. 중요도 산정에 대한 평균치

위의 세 가지 방법을 이용하여 각 지하가의 각 화재 안전대책에 대한 위험성을 평가한다. [표 3]은 화재에 관한 안전대책 7가지 중에서 출화방지대책의 평가치 산출표이다. [표 3]과 같이 7가지 각각의 안전대책에 대해 위험성 평가를 수행하여 지하가의 위험도를 산정한다.

$$A \text{ 지하가} = [8\text{개} \times 2.0(\text{중요도}) + 3\text{개} \times 1.5(\text{중요도}) + 1\text{개} \times 1.0(\text{중요도})] \div 11(\text{평가요소}) = 1.95$$

즉, A지하가 할인율 :
 $1.655 \div 1.95 = 0.849$

따라서, A지하가의
 2.0(중요도)의 보정치는 $2.0 \times 0.849 = 1.70$
 1.5(중요도)의 보정치는 $1.5 \times 0.849 = 1.27$
 1.0(중요도)의 보정치는 $1.0 \times 0.849 = 0.85$

그림 2. 각 지하가의 중요도 보정

표 3. A 지하가의 출화방지대책의 평가치 산출표

평가요소	①중요도 산정전체 평균치	실시 추정	평가레벨			평가치
			만족 ①×5.0	보통만족 (0.33)	불충분	
1 화기사용실(주방 등)이 방화구획되어 있다.	2.0	○	10	-	요검토	
2 화기사용실(흡연실 등)이 방화구획되어 있다.	2.0	×	10	3	0	
3 화기사용실(주방)이 집중 배치되어있지 않다.	1.3	×	7	2	0	
4 화기사용실(주방, 흡연실 등)에는 가연물(쓰레기통 등)을 놓지 않는다.	1.3	△	7	2	0	
5 가스 인입개소에는 차단판을 설치한다.	1.9	○	9	-	요검토	
6 주방용 후드에서 기름을 사용하는 가시(可視)에는 덕트 소화설비를 설치한다.	1.6	○	8	2	0	
7 화기사용장소에는 소화기를 설치한다.	1.6	○	8	-	0	
8 불연화 내장재가 사용되어있다.	1.8	○	9	3	0	
9 방염 물품이 사용되어 있다.	1.6	○	8	-	0	
10 위험물(석유, LPG 등)을 가지고 들어오지 않는다.	1.7	×	9	-	0	
11 이벤트 등에서 나화(裸火)의 사용제한을 행하고 있다.	1.6	△	8	3	0	
합계(계수:100÷20.0=5.0)	20					71

위의 세 가지 방법을 이용하여 각 지하가의 각 화재 안전대책에 대한 위험성을 평가한다. [표 3]에는 화재에 관한 안전대책 7가지 중에서 출화방지대책의 평가치 산출표이다. [표 3]과 같이 7가지 각각의 안전대책과 폭발 3가지 안전대책에 대해 위험성 평가를 수행하여 지하가의 위험도를 산정한다.

표 4. 심층화·대규모화·복합화의 특성항목

심층화	1. 지하 층수의 증가	지하가가 지하 3층보다 낮게 생긴다.
	2. 지하가 층수의 증가	지하가가 2층 이상에 걸쳐서 생긴다.
	3. 지하가 심도의 증가	지하가가 GL-10m 보다 깊은 곳에 생긴다.
대규모화	1. 바닥면적의 증가	지하가 바닥면적이 30,000m ² 이상이 된다.
	2. 연면적의 증가	지하가의 연면적이 60,000m ² 이상이 된다.
	3. 피난로의 복잡화	지하가의 피난경로가 복잡하게 된다.
	4. 吹拔 규모의 증가	지하가에 3층 이상에 미치는 吹拔공간이 생긴다.
	5. 吹拔수의 증가	지하계에 吹拔 공간이 2곳이 생긴다.
	6. 점포수의 증가	지하가의 점포수가 200개 이상이 된다.
	7. 이용자수의 증가	지하가의 이용자수가 하루 50,000명 이상이 된다.
복합화	1. 마무리 재료의 비불연화	지하가의 벽, 천정에 목재 내장재를 사용한다.
	2. 점포 용도 종류의 증가	지하가에 음식, 물건판매, 유희장등 3종류 이상의 용도로 이용된다.
	3. 사용시간대의 증가	지하가가 24시간 개방된다.
	4. 주변설비와의 연결 증가	지하가와 인접건물과의 연결이, 3곳 이상이 생긴다.
	5. 이용자 속성의 다양화	지하가를 이용하는 재해약자(노인, 신체장애자 등)의 인구수가 증가한다.

吹拔 : 지하가를 1층과 2층으로 할 때 일부구간을 open하여 짓는 양식

3.2 대규모화, 복합화, 심층화에 따른 중요도 산정

지하가가 현재보다 대규모화, 복합화, 심층화하면 화재에 대한 위험 또한 보다 다양화되고 상승하게 될 것이다. 향후의 대규모화, 복합화, 심층화시에 화재의 7가지 대책의 중요도 평가를 수행하기 위하여, 지하가의 대규모화, 복합화, 심층화에 대해 15개의 구체적인 특성 항목으로 분류하였고, 그 내용은 [표 4]와 같다.

따라서, 향후 지하가가 대규모화·복합화·심층화 되어 갈 때 지하가의 특성에 따라서 한층 더 검토를 요하는 중요대책을 도출함으로써 향후 방재계획 및 방재대책의 입안(立案)상 유익한 자료로 이용할 수 있을 것이다.

4. 위험성 평가수법 활용 분석·결과

본 장에서는 앞서 서술한 지하가의 화재·폭발 위험성 평가 수법을 국내 지하가에 적용함으로써 그 효용성을 검증하고, 국내의 지하가가 향후 심층화·복합화·대규모화 되어 갈대 보다 중시해야할 중요대책을 도출하고자 한다.

4.1 지하가 화재 및 폭발 안전대책에 관한 위험성 평가수법 활용 분석·결과

본 연구에서는 서울 소재의 6곳의 지하가에 대해 화재 및 폭발 위험성 평가 요소로서 도출한 10가지 대책을 조사·분석한 결과는 [그림 3]과 [그림 4]와 같다.

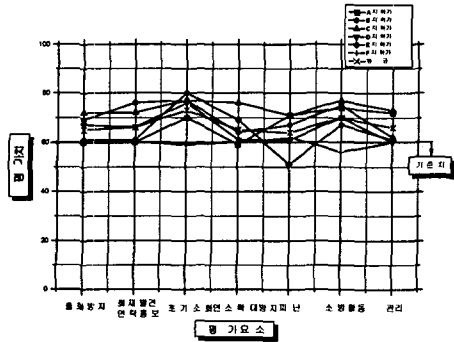


그림 3. 지하가 화재 안전성 평가요소 실태조사 결과

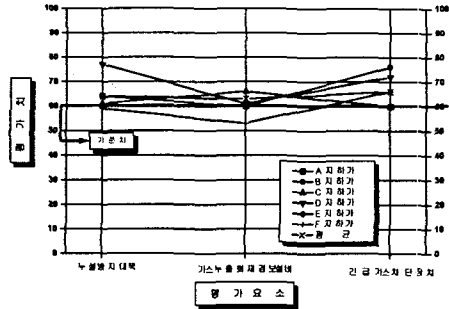


그림 4. 지하가 폭발 안전성 평가요소 실태조사 결과

6곳 지하가가 대부분 기준치(60점)를 만족하고 있어 화재에 관한 안전성이 확보되어 있다고 볼 수 있으나, A 지하가는 연소확대방지대책, E 지하가는 피난대책, F지하가는 초기소화대책과 소방활동대책이 기준치 이하이다. 또한, 폭발 안전성 평가결과 F지하가만이 누출방지대책, 가스누출화재경보설비에 관한 대책이 기준치 이하이고, 6곳 지하가에서 공통적으로 가스누출화재경보설비에 관한 대책이 미비하다고 평가되었다. 따라서, 기준치 미만의 대책에 대해 안전조치가 강구되어야 할 것이다.

4.2 지하가의 심층화, 복합화, 대규모에 대한 중요도

지하가의 심층화, 복합화, 대규모화에 따른 15개 항목의 화재 위험성 평가 요소를 근무 경력이 2~15년의 소방공무원 116명을 대상으로 실시한 앙케이트 결과를 정리하면 다음과 같다. 지하가의 심층화, 복합화, 대규모화의 각각에 대한 중요도 평가 결과는 [표 5]와 같다.

지하가의 심층화, 복합화, 대규모화의 세부 특성 항목별 앙케이트 결과는 [그림 5]에서 [그림 7]과 같다.

표 5. 지하가의 중요도 평가 결과

지하가 경력	심층화		복합화		대규모화	
	매우 중요	중 요	매우 중요	중 요	매우 중요	중 요
1년~15년	①	② ③	①	② ④ ⑤ ⑥	①	④

<<참조>> 위의 번호는 다음과 같다.

- ① = 피난대책 ② = 초기소화대책
- ③ = 소방활동대책 ④ = 연소확대방지대책
- ⑤ = 관리대책 ⑥ = 출화방지대책

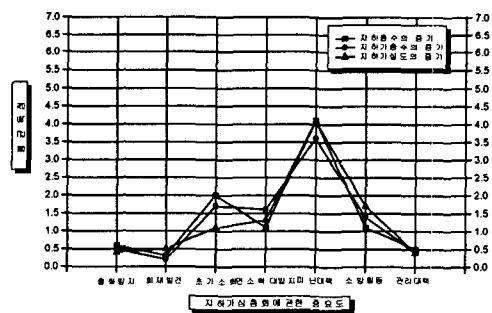


그림 5. 지하가의 심층화

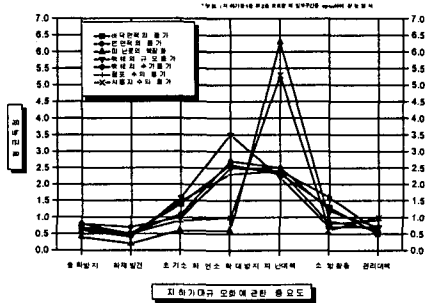


그림 6. 지하가의 대규모화

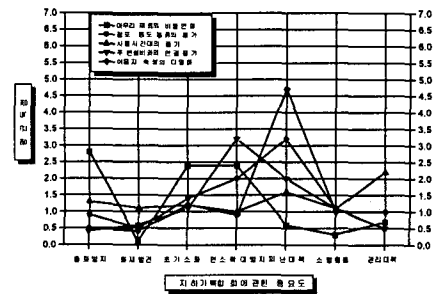


그림 7. 지하가의 복합화

표 6. 개별특성 항목별 결과

특성항목	경력	1~15년	
		매우 중요	중요
1. 지하층수의 증가		⑤	③
2. 지하가 층수의 증가			⑤
3. 지하가 심도의 증가		⑤	⑥
4. 바닥 면적의 증가			④⑤
5. 연면적의 증가			④⑤
6. 마무리재료의 비불연화			①③④
7. 피난로의 복잡화	⑤		
8. 吹拔 규모의 증가			④⑤
9. 吹拔 수의 증가			④⑤
10. 집포수의 증가			④⑤
11. 집포용도 종류의 증가			④⑤
12. 사용시간대의 증가			④⑤⑦
13. 주변설비와의 연결증가			④⑤
14. 사용자수의 증가	⑤		
15. 이용자 속성의 다양화	⑤		

- ① = 출화방지대책 ② = 화재발견통보대책
 ③ = 초기소화대책 ④ = 연소확대방지대책
 ⑤ = 피난대책 ⑥ = 소방활동대책
 ⑦ = 관리대책

5. 결론

지하가의 화재·폭

발 안전대책에 관한 위험성 평가요소 도출, 위험성평가 수법 제시 및 대규모화, 심층화, 복합화에 따른 중요도 연구결과는 다음과 같다.

첫째, 6곳의 지하가의 정량적 평가 결과 대부분 기준치를 만족하였으나, A지하가는 연소확대방지대책, E지하가는 피난대책, F지하가는 초기소화, 소방활동대책이 기준치 이

지하가의 심층화, 복합화, 대규모화의 세부 특성 항목별 앙케이트 결과 중에서 “매우중요(평균득점이 4점 이상)”, “중요(평균 득점이 2~4점)” 등의 중요도 분류 결과는 [표 6]과 같다.

종합적인 분석 결과에 의하면, 지하가의 심층화, 복합화, 대규모화에 따른 화재 위험성 평가 대책 중에서 피난 대책이 매우 중요, 그 다음으로 연소확대방지 대책, 초기소화대책, 관리대책, 출화방지 대책, 소방활동대책 순으로 중요시 된다고 평가되었다. 따라서, 7가지 화재 위험성 평가 요소 중 중요도가 높은 대책에 중점을 두고 향후 지하가 방재대책을 수립하여야 할 것이다.

하로 평가되었다. 또한, 폭발 안전성 평가결과 F지하가만이 누출방지대책, 가스누출화재경보설비에 관한 대책이 기준치 이하이고, 6곳 지하가에서 공통적으로 가스누설화재경보설비에 관한 대책이 미비하다고 평가되었다. 따라서, 기준치 미만의 대책에 대해 안전조치가 강구되어야 할 것이다.

둘째, 지하가의 대규모화, 심층화, 복합화에 대한 특성항목을 분류하여 중요도 평가결과 피난대책이 매우 중요하고, 연소확대, 출화방지, 소방활동대책 등의 순으로 평가되었다. 향후 지하가의 계획·설계단계에서 중요도가 높은 대책을 중심으로 방재대책이 수립되어야 할 것이다.

따라서, 본 논문의 평가 방법 및 중요도 산정 기법을 이용하면, 지하가의 정량적 위험성 평가 수행이 가능하다. 또한 국내의 지하가에 적용·분석하면 현 지하가의 문제점 도출 및 안전대책을 강구 할 수 있고, 상호 지하가와의 위험도 비교·분석도 수행할 수 있어, 지하가의 안전관리 및 방재 계획 수립시 다양한 지표로 활용할 수 있을 것이다. 앞으로 지하가의 화재·폭발뿐만 아니라 지하 주차장의 화재, 지하 플랜트, 침수 피해 등 지하공간에서 발생할 수 있는 사고 유형별로 위험성 평가 및 중요도를 산정 할 수 있는 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 노삼규, Risk Assessment를 이용한 토지 이용 안전화 계획, 한국산업안전학회지, (1998. 12)
2. 노삼규 외 1, 도시지역 위해공장의 중대사고 위험성 평가, 대한국토·도시계획학회, (1993. 2)
3. 노삼규, 사회적 위험성 평가를 이용한 안전 완충지대 계획, 대한국토·도시계획학회, (1993. 2)
4. 심우갑외, 지하공간건축, 시공문화사, (1997)
5. 松尾 稔, 都市の地下空間, 鹿島出版会, pp. 63-88, (1998. 8)
6. 社団法人日本トンネル技術協会, 「都市トンネル工事に係る安全評価に関する研究報告書」, 平成6年3月.
7. 社団法人日本 損害保険協会, 「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 安全性評価研究 =」, 平成5年 3月
8. 社団法人日本 損害保険協会, 「地下空間の 安全性評価に関する研究報告書 (地下空間의 安全性評価研究)」, 平成3年11月.
9. 東京消防庁, 火災予防審議会, 「地下街に関する実態研究報告書」, (1979. 1)
10. 地下空間利用研究, 「地下都市」, 清文社, pp. 172-197, (1989. 8)
11. 地下空間都市計劃研究会, 「地下空間의 計劃と整備」, pp. 130-136, (1994. 5)
12. 国土庁大深度地下利用研究会, 「大深度 地下利用の課題と展望」, ぎょうせい、平成10年 pp. 221-222.
13. (社)日本都市計画学会, 「安全と再生の都市츠쿠리」, 学芸出版社, pp. 121-147, (1999. 2)
14. 五団体合同安全公害対策本部 地下埋設物対策部会, 「平成5年中における建設工事に半う 地下埋設物事故の発生状況」, 平成6年4月.