

지하공간의 위험성평가 시스템에 관한 조사 연구

박종근 · 노삼규*

백성대학 건설안전과 · *광운대학교 건축공학부

1. 서 론

최근 도시의 과밀화, 지가 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 있는 데다, 지하공간은 그 나름대로 점점 더 대규모화, 심층화 및 복합화 되고 있어, 잠재위험이 가중되고 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 위험 요인을 도출하여 안전대책의 평가요소 및 위험성평가 시스템을 제시하고자 한다.

2. 지하공간의 특성 및 재해현황

지하공간은 지상공간에 비해 폐쇄적 공간임으로 화재·폭발의 영향을 받기 쉽다. 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 등의 곤란성이 있는 것, ④ 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 간략화한 것이다. 화재·폭발이 226건(30.1%)으로 비율이 높고, 화재의 경우 용도에 따른 분류에 의하면 건축물지하, 지하가·지하통로 등의 순으로 발생하였다.

구분	화재· 폭발	자연 재해	교통 재해	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 메스컴 기록의 재해건수분포

표 1. 지하공간에서 재해건수

3. 지하공간의 위험성평가 시스템 구축

3.1 시스템의 레이아웃

본 연구는 지하가 화재의 위험성을 보다 효율적이고 신속하게 평가하기 위해 위험성 평가 시스템을 제시하였고, 그 레이아웃은 [그림 1]과 같다.

3.2 위험도 산정 및 위험성평가 시스템

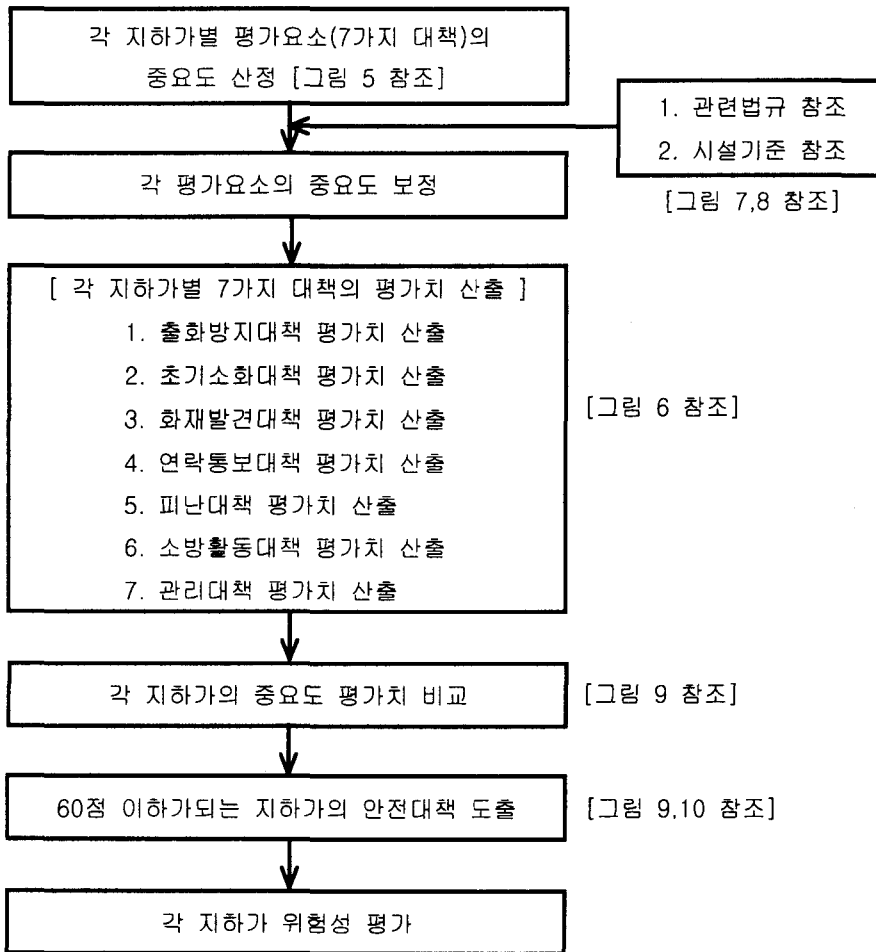
지하가 화재에 관한 안전대책을 출화방지대책·화재발견·연락통보대책·초기소화대책·연소확대방지대책·피난대책·소방활동대책·관리대책의 7가지로 분류하고, 각각의 대책에 대해 평가요소를 도출하였다. 그리고 각 대책의 평가요소 평가치의 중요도를 산정하고, 각 평가요소의 평가치 집계가 100이 되도록 평가하였다. 또한, 평가 레벨에 대해서는 만족·보통만족·불만족의 3단계로 분류하고, 각 평가요소의 평가레벨의 집계를 그 대책의 평가집계 점수로 산정하였다.

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 산정한 후, 각 점수의 편차를 다음과 같은 방법으로 보정하여 재산정하였다.

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

둘째, [그림 2]에서와 같이 중요도 산정(2.0, 1.5, 1.0)에 대한 평균치를 산출한다.

셋째, 각각 지하가의 중요도를 보정하기 위해서, [그림 2]에서 산출한 평균치 1.655 이상이 되는 지하가는 할인하고, 이하가 되는 지하가는 할증하기 위해서 [그림3]과 같이 산출한다.



[그림 1] 지하가 화재위험성평가 시스템의 Layout

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	
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					

[표 2] 평가요소의 중요도 산정

위의 세 가지 방법을 이용하여 각 지하가의 각 화재 안전대책에 대한 위험성평가 시스템을 전산화하여 제시하였다.[그림5]

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

[그림 2] 중요도 산정에 대한 평균치

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

지하가 화재에 관한 안전대책을 각 지하가 별로 중요도 보정 및 평균치를 산출한 모델은 [그림 5]와 같다. A지하가의 화재안전대책 평가 결과는 [그림 6]과 같다.

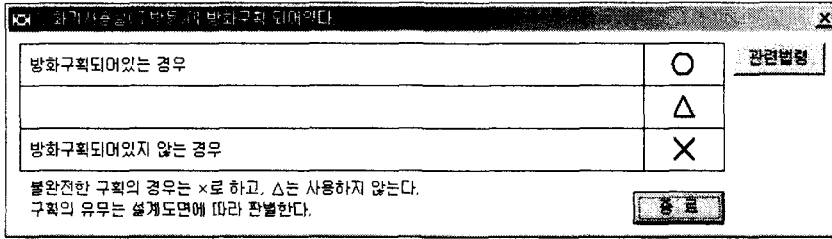
평가요소	지하가별 평가요소 중요도 산정						
	A 지하가	B 지하가	C 지하가	D 지하가	E 지하가	F 지하가	합
1. 출구 사용금지(양방향)의 발화구비 50% 50%	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	10.20
2. 출구 사용금지(양방향)의 발화구비 50% 50%	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	10.20
3. 출구 사용금지(양방향)의 발화구비 50% 50%	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	10.20
4. 출구 사용금지(양방향)의 발화구비 50% 50%	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	10.20
5. 가스 안전조치를 실시하는 발화구비 50%	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	10.20
6. 인명피해 최소화 기구를 사용하는 발화구비 50%	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	10.20
7. 출구 사용금지(양방향)의 발화구비 50%	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	10.20
8. 발화구비 사용금지(양방향)의 발화구비 50%	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	10.20
9. 발화구비 사용금지(양방향)의 발화구비 50%	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	10.20
10. 발화구비 사용금지(양방향)의 발화구비 50%	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	10.20
11. 인명피해 최소화 기구를 사용하는 발화구비 50%	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	10.20

[그림 5] 출화방지대책의 중요도 산정

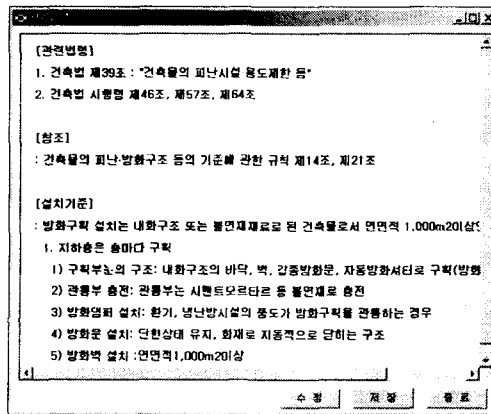
평가요소	중요도	중요도 보정	평가결과						합
			양	중	보	합	합	합	
1. 출구 사용금지(양방향)의 발화구비 50%	2.0	1.70	양	중	보	합	합	합	
2. 출구 사용금지(양방향)의 발화구비 50%	2.0	1.70	양	중	보	합	합	합	
3. 출구 사용금지(양방향)의 발화구비 50%	2.0	1.70	양	중	보	합	합	합	
4. 출구 사용금지(양방향)의 발화구비 50%	2.0	1.70	양	중	보	합	합	합	
5. 가스 안전조치를 실시하는 발화구비 50%	2.0	1.70	양	중	보	합	합	합	
6. 인명피해 최소화 기구를 사용하는 발화구비 50%	2.0	1.70	양	중	보	합	합	합	
7. 출구 사용금지(양방향)의 발화구비 50%	2.0	1.70	양	중	보	합	합	합	
8. 발화구비 사용금지(양방향)의 발화구비 50%	2.0	1.70	양	중	보	합	합	합	
9. 발화구비 사용금지(양방향)의 발화구비 50%	2.0	1.70	양	중	보	합	합	합	
10. 발화구비 사용금지(양방향)의 발화구비 50%	2.0	1.70	양	중	보	합	합	합	
11. 인명피해 최소화 기구를 사용하는 발화구비 50%	2.0	1.70	양	중	보	합	합	합	

[그림 6] A 지하가 출화방지대책 평가표

위험성 평가표[그림 6]에서 각 평가요소의 평가레벨 산정시 참조 버튼을 클릭하면, 그 평가요소를 만족시켜야할 관련 법령 및 시설기준을 검색할 수 있다[그림 7], [그림 8].



[그림 7] 화기사용실 방화구획의 참조 1



[그림 8] 참조 1의 관련 법령

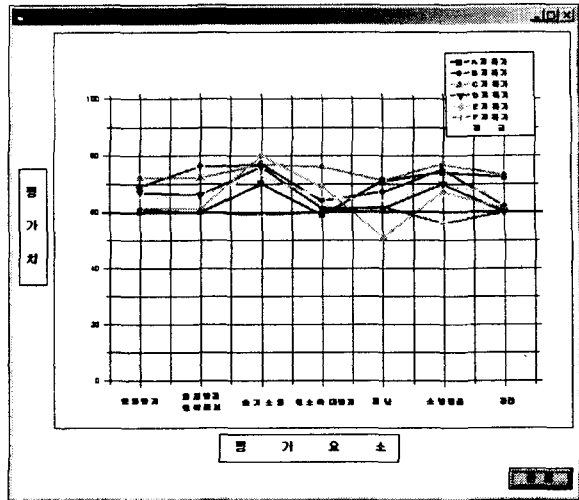
3.3 지하가 화재 위험성평가 결과

위험성평가 시스템 평가표 [그림 6]에 의하여 A 지하가의 나머지 6개 안전대책을 평가하고, 앞의 창들을 이용하여 지하가 B·C·D·E·F지하가의 위험성 평가를 수행한 결과는 [그림 9]와 같다.

평가요소	지하가별 평가요소 중요도 산정						평균
	A 지하가	B 지하가	C 지하가	D 지하가	E 지하가	F 지하가	
1. 화재방지대책	160	169	172	167	161	161	165
2. 화재발원/연역통로대책	160	176	172	166	161	160	166
3. 초기소화대책	170	177	178	176	180	159	173
4. 연소확대방지대책	159	164	176	161	169	160	165
5. 피난대책	171	167	171	161	161	162	164
6. 소방활동대책	174	175	177	170	167	166	170
7. 관리대책	172	162	173	167	167	160	165

[그림 9] 지하가의 중요도 산정 평가치

서울소재 6개소의 지하가에 대해 화재 위험성평가 요소로서 도출한 7가지 대책을 본 논문에서 구축한 지하가의 화재 위험성평가 시스템을 이용하여 평가한 결과는 [그림 10]과 같다. 6개소 지하가가 대부분 기준치(60점)를 만족하고 있어 화재에 관한 안전성이 확보되어 있다고 볼 수 있으나, A 지하가는 연소확대방지대책, E 지하가는 피난대책, F 지하가는 초기소화대책과 소방활동대책이 기준치 이하로 평가되었다.



[그림 10] 지하가의 화재위험성평가 결과

4. 결론

본 논문의 평가시스템을 이용하면, 지하가의 정량적 위험성평가 수행이 가능하다. 또한 국내의 지하가에 적용·분석하면 현 지하가의 문제점 도출 및 안전대책을 강구할 수 있고, 상호 지하가와와의 위험도 비교·분석도 수행할 수 있어, 지하가의 안전관리 및 방재 계획 수립시 다양한 지표로 활용할 수 있을 것이다.

앞으로 지하가의 화재 뿐만 아니라 폭발, 지하 주차장의 화재, 지하 플랜트, 침수 피해 등 지하공간에서 발생할 수 있는 사고 유형별로 위험성 평가 및 중요도를 산정할 수 있는 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

- 1) 박종근, 노삼규, 지하공간의 위험성평가 수법에 관한 연구, 한국·소방학회, Vol.15 No.4, 2001
- 2) 노삼규, Risk Assessment를 이용한 토지 이용 안전화 계획, 한국산업안전학회지, 1998, 12
- 3) 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」、1991, p28-34
- 4) 社団法人日本 損害保険協會, 「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 安全性評価研究 =」, 平成5年 3月
- 5) 地下空間利用研究, 「地下都市」清文社, 1989.8. p172-197
- 6) 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」, 平成10年 p221-222
- 7) (社)日本都市計画学会, 「安全と再生の都市づくり」, 学芸出版社, 1999.2, p121-147