

火災時 地下空間의 避難施設計劃에 관한 研究

A Study on the Planning of Escape Facilities of Underground Space at Fire

- 地下街를 中心으로 -

- a case study at Underground Shopping Street -

李 原 碩*
Lee, Won - Seok
李 環 會**
Lee, Kyung - Hoi

Abstract

Recently, the expansion of underground shopping street has a tendency to make a large maze in urban underground space. As the passers-by in underground streets have little information about these spaces, there can be a great danger at fire.

From this point of view, this study aims at offering the basic data which needs to make a reasonable planning of escape facilities of underground shopping street.

Therefore, safe performance evaluation program is developed for evaluating inhabitants' safety at each model. This program is composed of systematic equations which generalize each phenomenon at fire.

1. 序論

최근 대도시 지역에서는 한정된 도시공간 속에서 복잡하고 다양한 각종 도시생활을 지상공간만

으로는 수용하기 어려워짐에 따라 지하공간의 확대 현상이 현저히 늘어나고 있다. 특히 이들 지하공간은 단순히 보행통로 기능에서 벗어나 고층빌딩, 백화점, 상가, 교통수단 등과의 횡적, 종적 연결로 지하에 거대한 미로형 공간을 형성하는 경향을 나타내고 있다. 이러한 지하공간은 처음부터 전체의 안전성을 검토한 후 설계, 시공되는 것이

* 정희원, (주)기린산업 개발실
** 정희원, 연세대학교 교수, Ph.D.

아니라 필요에 따라 무게획적으로 팽창되고 그 이용자가 사무소나 주거건축에서와는 달리 불특정 다수인으로 공간에 대한 정보가 부족하기 때문에 화재시 큰 위험이 예상된다.

그러나 화재가 아무리 복잡한 현상이라 하더라도 그것을 구성하는 개개의 현상을 정형화 할 수 있다면 화재전체의 거동은 그것을 플르모써 추적할 수 있다.

본 연구는 화재의 진화과정을 지배하는 현상에 대해 일반화된 수학적 모델을 체계적으로 조직화하여 개발한 성능평가 프로그램을 적용, 화염과 연기가 유해한 수준에 이르기 전에 재실자가 안전하게 대피할 수 있기 위한 합리적인 지하가의 피난시설계획을 수립하는데 필요한 기초적 자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

본 연구에서는 지하도로, 지하주차장, 지하보도, 지하가, 지하철, 지하역, 지하광장, 지하방재센터 등의 지하공간 중에서 지하가를 중심대상으로 하였으며, 지하가의 피난시설 중에서도 복도의 폭과 길이, 천정고의 크기를 주된 평가요소로 선정하였다. 그리고 지하가의 성능평가를 위한 기초자료와 사례 분석은 서울시의 지하가를 그 대상으로 하였다.

본 연구의 연구 흐름도는 다음과 같다.

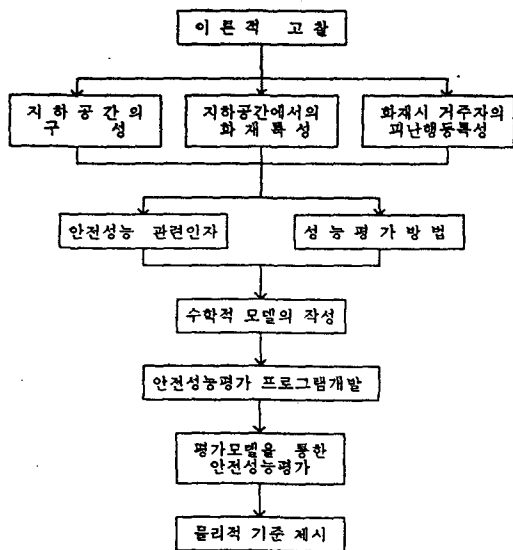


그림 1. 연구의 흐름도

2. 地下空間에서의 火災特性

2-1. 地下空間의 構成

본 연구에서 주연구대상으로 삼고 있는 지하가란 일반적으로 “지하의 공작물 안에 설치되어 있는 점포, 사무실 기타 이와 유사한 시설로서 연속하여 지하도에 면하여 설치된 것과 당해 지하도를 합한 것”을 말한다. 그러나 최근 지하교통망의 급격한 발달로 인한 지하공간의 확대현상으로 보아 지하가의 정의를 한마디로 설명한다는 것은 다소 무리일 것이다.

지하공간에서의 화재시 관련되는 법적기준으로는 현행 건축법규에 지하층의 설치 및 구조(건축법 제22조의 3, 건축법시행령 제47조-제48조), 복도, 직통계단, 피난계단, 특별피난계단 등의 피난시설(건축법 제23조, 건축법시행령 제36조-제41조), 건축물의 구조, 방화설비, 방화구획, 내장제한 등의 내화구조, 방화구조(건축법 시행령 제26조-제30조, 제34조) 등에 대한 규정이 있다. 또한, 소방법규에 지하가의 의제(소방법시행령 제16조), 지하가로서 소방시설을 설치해야 할 소방대상물(소방법시행령 제21조) 등에 대한 규정이 있다.

지하가에 관련된 피난시설계획에서 특히 복도와 계단의 기본계획 방침을 살펴보면 다음과 같다.

1) 피난복도

- 바닥면적 100㎡ 이상의 거실은 서로 다른 2방향으로 된 피난계단으로 통하는 피난복도를 둔다.

- 피난복도의 폭은 지하가를 관람집회시설 기타 이와 유사한 용도의 건축물에 포함시켰을 때 다음의 <표1>과 같다.

- 지하실, 무창층에 면한 피난복도에는 필요한 배연설비를 둔다.

- 피난복도에는 비상전원에 의한 조명을 한다.

- 피난복도에는 피난방향 및 계단위치를 나타내는 표시를 한다.

- 피난복도에 설치하는 문은 가능한 폭 0.8-1.2m 정도로 하고, 높이는 1.8-2.0m 정도로 함을 원칙으로 한다.

- 피난바닥의 유효넓이는 피난인원 1인에 대하여 0.3㎡ 이상으로 한다.

2) 피난계단

표1. 복도의 유효폭에 대한 규정

구 분	양측에 거실이 있는 복도	기 타 의 복도
국민학교, 중·고등학교의 학생용 복도	2.4m 이상	1.8m 이상
의류시설의 환자용 복도 공중구급대의 응급복도 기차와 전차용로서 거실의 바닥면적 합계가 200㎡ 이상인 용의 복도	1.5m 이상	1.2m 이상
관할집의 시설의 관할적 또는 집회실에 속하는 복도 (2층 관할적 또는 집회실 바닥면적의 합계율로 한다.)	S < 500㎡	1.5m 이상
	500㎡ ≤ S < 1,000㎡	1.8m 이상
	1,000㎡ ≤ S	2.4m 이상
	공연장의 바닥면적 300㎡ 이상인 각종 관할적의 외측에는 그 양측 및 후방에 모두 복도를 설치해야 한다.	

- 2 이상의 직통계단을 둔다.

- 거실의 바닥면적의 합계가 100㎡ 이상인 지하층의 계단 및 계단참의 폭은 1.2m 이상, 단높이는 20cm 이하, 단너비는 24cm 이상으로 한다.

- 계단로는 계단폭 이상으로 하나 직선계단의 계단로는 1.2m 까지로 할 수 있다. 계단참은 높이 3m 이내마다 설치한다.

- 계단 입구까지의 거리는 난연재료의 경우 20m, 준불연재료나 불연재료의 경우 30m 이하가 되도록 한다.

2-2. 地下空間의 火災特性

지하공간이 화재시 위험한 이유에 대해서는 여러가지 요인이 지적되고 있지만 대표적인 몇가지를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 지하공간은 지하에 있다. 당연하지만 이것이 소화활동에는 결정적으로 불리한 원인이다. 일반적인 건물화재의 경우는 화재 층의 아래에 거점을 두고 소화활동을 취하지만 지하공간 화재의 경우에는 바로 아래층에 주차장 등이 있는 경우라도 소방대의 고립이란 면에서 상당한 위험을 감수해야 한다. 또한 지하공간과 지상공간과의 연락이 곤란한 점도 소화활동과 정보수집활동에 불리한 조건이 된다.

둘째, 지하공간은 창이 없는 폐쇄공간이다. 지하공간은 화재시 산소공급량이 충분하지 않아 급격한 연소가 이루어지지 않는 반면 불완전연소를 일으켜 연기와 CO의 발생량이 많아진다. 특히 발생한 연기는 지하공간내에 축만하여 쉽게 배출할 수 없는 문제점이 발생한다. 또한 화재에 대한 결정적인 정보를 제공하는 창의 부재로 인해 화재시 정세를 파악하기 어려우며, 재실자가 폐쇄공간에

있다는 점을 강하게 의식하여 작은 화재에 대하여도 출구에 급격한 혼란을 가중시킴으로서 다수의 압사자가 발생할 가능성이 높다.

셋째, 지하공간은 화재하중이 크고 불특정 다수의 이용자가 많은 공간이다. 지하공간에 위치한 점포의 대부분은 음식점이나 화재하중의 큰 의료점점 등이다. 또한 지하공간의 이용자는 일반적으로 공간에 대한 인지율이 매우 낮고 능동적인 사람과 수동적인 사람이 혼재되어 상호 연대의식이 거의 없는 특징을 지니고 있다. 이것은 방화의 관점에서 보면 조직적으로는 최악의 조건인 것이다.

넷째, 지하공간, 특히 지하가는 지상도로와 접촉한 건물에 따라 무질서하고 부정형으로 증식하는 공간이다. 이같은 공간은 방향감각이 없어 피난에 지장이 있고 지상으로 통하는 계단과 건물내부로 통하는 계단의 구별이 확실치 않으므로 피난상 매우 큰 문제가 된다. 또한 지하공간이 증식하여 다른 지하공간과 연결되면 화재시 전공간이 연기로 충만하는 일체공간이 되어 피해가 광범위하게 될 가능성이 높아지나 관리는 여전히 여러 지하공간이 별개로 행해지므로 방화관리상 많은 문제가 생기게 된다.

3. 地下空間의 避難計劃

3-1. 避難計劃의 原理

재실자는 생명의 위험을 받기 이전에 안전구역으로 피난을 완료해야 한다. 일반적으로 피난계산의 방법은 군중유통이론에 의하는 것이 기본이 되고 있다. 재실자의 유적임을 입자의 흐름으로 잡고, 그 개수, 속도, 유동개수, 피난시설의 용량등에서 소요시간을 계산에 의하여 구하는 것으로 조건에 따라 간단한 도표를 병용함으로써 용이하게 해석할 수도 있다. 본 연구에서는 화재와 피난형태를 지배하는 방정식을 파악하여 이를 체계적으로 실제공간에 적용하고자 한다.

3-2. 避難所要時間의 限界

화재 현장에서 피난시간을 측정하는 것은 사람이 내연한계에 도달할 때 까지의 시간을 말하는

것으로, 미국이나 영국의 현행 피난관계 법규에 의하면 건물의 구조 및 용도에 관계없이 피난시간은 2.5분으로 되어 있으나 지상건물과 지하공간과는 상당한 차이가 있을 것이다.

일본 소방학회에서 실시한 지하가 화재시 연기의 확산과 내연한계에 이르는 실험에서 확인된 바에 의하면 지하실 화재시 내연한계에 달하는 피난시간은 1.5분으로 화재가 발생되면 지하가 어느 부분에서건 1.5분 이내에 지상의 안전한 곳으로 피난해야 한다는 것이다.

3-3. 安全性能評價 프로그램의 概要

인간의 행동을 모델화하는 경우 크게 직접적으로 시뮬레이션을 실행하기 위하여 구성되는 행동 모델과 비록 직접적으로 전제로 하지는 않지만 하나의 행동특성을 체계적으로 정리하여 어떤 공간상의 행동특성을 설명하고 일반화시키기 위한 모델을 구성하는 경우가 있다. 양자 모두 출발점은 공간과 인간과의 관계에서 나타난 대응관계나 문제점에 초점을 두게 된다.

지하가의 안전대피에 영향을 미치는 요소로는 크게 1) 지하가의 평면계획, 2) 지하가의 피난인원, 3) 재실자의 피난경로, 4) 재실자의 피난속도, 5) 연기와 가스, 6) 거실에서의 피난소요시간, 7) 복

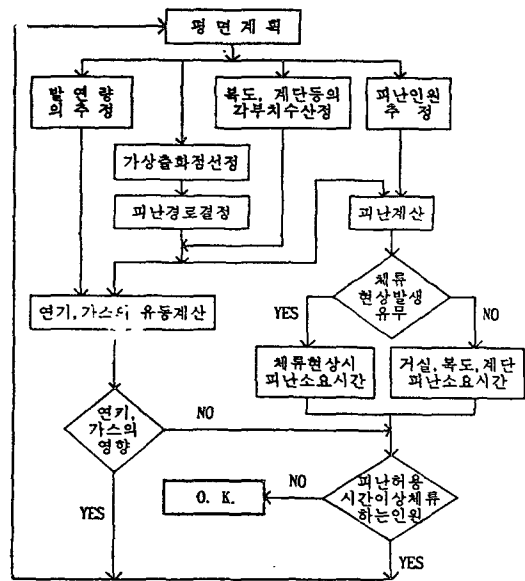


그림2 안전성능평가 프로그램의 흐름도

도에서의 피난소요시간, 8) 계단에서의 피난소요시간, 9) 피난소요시간의 한계 등을 들 수 있다. 연구에서는 위의 영향요소들 중 1), 5), 6), 7), 항목들을 주요변수로 하고, 나머지 항목들은 일적인 값으로 고정시켰다.

지하가의 안전대피를 고려한 성능평가를 위한 연구에서는 화재-건물-재실자간의 상호관성과 인간행동에 대한 제이론을 바탕으로 안전성평가 프로그램을 작성하였으며 본 연구의 안전성평가 프로그램의 흐름도는 그림2와 같다.

4. 都心地 地下街의 安全性能評價

4-1. 評價모델의 概要

안전성능 평가모델은 설정한 단위점포 기본 구조모듈(module)에 대하여 복도의 폭과 길이, 천고, 재실자의 최초위치 등의 변수에 따라 세분 모두 20가지가 선정되었다. 지하층으로서 거실 바닥면적의 합계가 300㎡ 이상일 경우 지상으로부터는 직통계단을 2개소 이상(서로간의 거리 1m 이상) 설치하여야 하나 본 연구에서는 모든 재실자가 가까운 피난계단으로 이동한다는 가정하에 한쪽 방향이 막힌 통로로 설정하였으며, 위의 변수들을 적용하여 평가모델의 안전성능을 산정하였다. 평가모델에 적용한 공통된 기준은 다음과 같다.

1) 단위점포의 크기와 기본 구조모듈

기존 지하상가의 단위점포의 크기는 최소 2.6㎡에서 최대 486.1㎡ 까지 여러 종류가 있으나 최근의 지하상가는 18~20㎡를 주로 사용하고 있다. 그러므로 단위점포의 크기를 20㎡ 정도로 정한다. 단위점포의 크기와 구조모듈이 밀접한 관계가 있으므로 단위점포의 크기에서 기본 구조모듈을 추하여 4.2m × 0.8m로 정하면 단위점포의 크기는 5.0m × 4.0m로서 20.0㎡가 된다.

2) 단위점포의 개구부 크기

각 단위점포는 출입문을 제외하고 편의상 개구부가 없는 것으로 가정하였으며, 출입문의 크기는 높이 1.9m, 폭 1.0m로 하였다. 이 출입문을 제외한 모든 벽면은 방화구조로 이루어져 화재실의 연기와 화염의 영향이 차단되는 것으로 한다.

3) 평가모델내의 재실자수 및 이동경로

서울시내 6개소를 실제 관찰한 결과, 바닥면적 10㎡ 당 2~3인이었다. 그러므로 본 연구에서는 3인/10㎡를 재실자수로 하였다. 평가모델내의 모든 재실자는 일정한 그리드 간격으로 구획된 평면의 X, Y직교좌표 시스템을 따라서 피난시간이 최단인 되는 경로를 택하여 이동하는 것으로 하였다. 이는 장애물을 고려하여 최악의 조건으로 가정하는 것이다.

4) 계단의 단높이, 단너비 및 계단참

서울시내 지하가 15곳의 단높이와 단너비를 실측한 결과 단높이는 평균 15.6cm, 단너비는 평균 33.5cm, 계단폭은 299.7cm, 계단로는 평균 138.2cm 이었다. 그러므로 지하가의 다른 변수에 관계없이 본 연구에서는 단높이는 16.0cm, 단너비는 33.0cm, 계단폭은 300.0cm로 하였으며, 계단참은 높이 2.08cm의 위치에 300cm, 높이 4.32m의 위치에 150cm의 2곳에 있는 것으로 하였다.

이상의 기준들을 적용하여 설정한 평가모델의 일례는 다음과 같다.

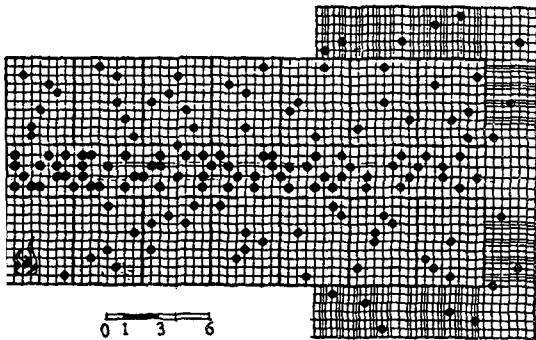


그림3. 평가모델의 일례(폭3.0m, 길이28m)

4-2. 評價內容과 方法

본 연구에서는 재실자에 대한 연기, 가스의 영향과 피난복도의 폭과 길이를 주된 평가요소로 선정, 다음과 같은 방법으로 평가모델의 안전성을 평가하였다.

1) 연기, 가스의 영향

각 단위점포의 출입문 폭을 0.1m에서 1.0m까지 .1m씩 증가시켜 화재실에서의 발연량이 재실자에게 미치는 영향을 살펴 본다. 즉 0.1m 단위로

개구부 폭을 변화시켰을때 복도에 흘러나온 연기가 복도의 폭과 천정고의 크기에 따라 재실자에게 영향을 미치는지의 여부를 판별한다. 본 연구에서는 천정면을 따라 이동하는 연기층이 바닥에서 1.5m 이하로 내려왔을 때 재실자에게 영향을 미치는 것으로 하였다.

2) 복도의 폭과 길이

재실자의 피난에 직접적인 영향을 미치는 건물 변수로서의 복도의 폭과 길이를 각각 2.4m와 30m를 기준으로 그 크기를 변화시켜 이에 따른 재실자의 피난소요시간을 산정한다. 또한 체류시간을 고려하여 산정한 각 재실자의 피난소요시간을 일정시간대로 구분하여 각 시간대에서의 재실자의 이동패턴을 알아보고 이를 근거로 하여 산정된 평가모델의 안전성을 평가한다.

4-3. 地下街의 安全性能評價

1) 연기의 영향

현행 법규에 규정된 복도의 폭과 천정고의 최소치인 2.4m와 2.1m를 기준으로 하여 화재실에서 발생한 연기가 재실자에게 영향을 미치는지의 여부를 분석하였다. 복도의 폭과 천정고의 변화에 따른 연기의 영향을 분석한 결과 개구부의 높이

표2. 복도폭과 천정고에 따른 연기의 영향

개구부폭 B(m)	복도의폭 B'(m)	천정고 H(m)	개구부폭 B(m)	복도의폭 B'(m)	천정고 H(m)
0.4	2.4~2.6	2.1~2.2	0.8	4.2~4.7	2.1~2.3
	2.7~3.1	2.1		4.8~5.3	2.1~2.2
0.5	2.4~2.6	2.1~2.4	0.9	2.4	2.1~3.2
	2.7~2.9	2.1~2.3		2.5~2.6	2.1~3.1
	3.0~3.3	2.1~2.2		2.7~2.8	2.1~3.0
	3.4~3.9	2.1		2.9~3.0	2.1~2.9
0.6	2.4~2.5	2.1~2.6	1.0	3.1~3.2	2.1~2.8
	2.6~2.8	2.1~2.5		3.3~3.5	2.1~2.7
	2.9~3.1	2.1~2.4		3.6~3.8	2.1~2.6
	3.2~3.5	2.1~2.3		3.9~4.2	2.1~2.5
	3.6~4.0	2.1~2.2		4.3~4.7	2.1~2.4
	4.1~4.7	2.1		4.8~5.3	2.1~2.3
0.7	2.4~2.5	2.1~2.8	1.0	5.4~6.0	2.1~2.2
	2.6~2.7	2.1~2.7		6.1~7.0	2.1
	2.8~3.0	2.1~2.6		2.4	2.1~3.4
	3.1~3.3	2.1~2.5		2.5~2.6	2.1~3.3
	3.4~3.6	2.1~2.4		2.7	2.1~3.2
	3.7~4.1	2.1~2.3		2.8~2.9	2.1~3.1
0.8	4.2~4.7	2.1~2.2	1.0	3.0~3.1	2.1~3.0
	4.8~5.5	2.1		3.2~3.3	2.1~2.9
	2.4~2.5	2.1~3.0		3.4~3.6	2.1~2.8
	2.6	2.1~2.9		3.7~3.9	2.1~2.7
	2.7~2.9	2.1~2.8		4.0~4.2	2.1~2.6
	3.0~3.1	2.1~2.7		4.3~4.7	2.1~2.5
	3.2~3.4	2.1~2.6		4.8~5.2	2.1~2.4
	3.5~3.7	2.1~2.5		5.3~5.8	2.1~2.3
3.8~4.1	2.1~2.4	5.9~6.7	2.1~2.2		
			6.8~7.8	2.1	

1.9m일때 폭이 0.4m 이상일 경우에만 연기의 영향이 있는 것으로 나타났다.

또한, 서울시내 지하가 15곳의 평균 복도 폭과 천정고는 각각 3.7m와 2.7m이었으므로 화재발생실의 개구부 면적이 1.9m×1.0m일때 이들 지하가는 연기의 영향으로 인해 재실자의 피난활동이 불가능해짐을 알 수 있다. 더우기 대부분의 지하점포가 출입문 이외에 화재에 취약한 유리진열장을 갖추고 있으므로 화재발생시 이들이 개구부로 전환될 경우 연기의 영향은 보다 심각해질 것이다. 화재시 연기가 재실자의 피난활동에 미치는 영향을 고려하여 피난복도의 폭과 천정고에 대한 획일적 규정은 재고되어야 한다.

2) 복도의 폭

거실에서 계단의 입구까지의 최대보행거리를 30m로 고정시키고 복도의 폭을 0.6m씩 증가시키면서 평가모델내의 재실자의 피난시간을 추적한 결과는 다음과 같다.

표3. 복도폭에 따른 피난소요시간

복도의 폭(m)	2.4	3.0	3.6	4.2	
복도의 길이(m)	30				
평가모델면적(m ²)	470.68	487.48	504.28	521.08	
거주자수(인)	142	147	152	157	
피난소요시간(초)	100.9	93.9	92.9	87.9	
시간별 잔류인원 (인)	60초후	99	102	102	105
	70초후	69	63	63	57
	80초후	39	24	21	16
	85초후	24	14	11	6
	90초후	14	4	3	0

위의 결과에 의하면 지하공간의 화재시 피난소요시간의 한계인 90초 이내에 모든 재실자가 안전구역으로 대피할 수 있는 복도의 폭은 4.2m 이상임을 알 수 있다. 거실의 크기, 지하가내의 재실자수, 재실자의 최초위치 등의 변수를 무시하고 일률적으로 규정한 최소치인 2.4m의 경우 화재시 전체재실자의 약 10a 생명의 위협을 받게 되는 것이다.

3) 복도의 길이

복도의 폭에 따라 평가모델내의 모든 재실자가

안전하게 대피할 수 있는 복도의 길이는 복도폭이 4.2m일때 32m이하, 3.6m일때 29m이하, 3.0m일때 28m이하, 2.4m일때 23m이하이다. 즉, 거실에서 계단입구까지의 최대보행거리는 공간에 사용된 재료의 종류 뿐만 아니라 복도의 폭, 재실자 등의 영향도 고려하여야 함을 알 수 있다.

표4. 복도의 길이에 따른 피난소요시간

복도의 폭(m)	복도의 길이(m)	평가모델의 면적(m ²)	거주자 수(인)	피난소요 시간(초)	시간별 잔류인원(인)				
					60	70	80	85	90
4.2	28	518.08	156	86.4	94	48	12	2	0
	29	518.08	156	87.4	98	51	11	3	0
	30	521.08	157	87.9	105	57	16	6	0
	31	527.08	159	88.9	109	61	19	8	0
	32	533.08	160	89.9	113	66	22	10	0
3.6	28	501.28	151	86.9	90	48	12	3	0
	29	501.28	151	89.4	96	56	17	7	0
3.0	28	484.48	146	89.4	90	50	18	8	0
2.4	23	418.08	126	89.0	78	48	20	10	0

5. 結論

본 연구에서는 화재-건물-재실자간 상호 관련성과 인간행동에 대한 제이론을 바탕으로 개개의 현상에 대해 일반화된 수학적 모델을 체계적으로 조직화하여 실제공간에 적용 가능한 성능평가 프로그램을 개발하였다. 그리고, 이 성능평가 프로그램을 이용하여 지하가의 피난시설 중 복도의 폭과 길이, 천정고의 크기에 따른 평가모델의 안전성능을 평가하였다.

본 연구의 결과에서 나타난 바와 같이 기존의 지하가의 피난시설에 대한 일률적인 규정은 많은 문제점을 지니고 있으므로 이에 대한 보다 근본적인 재검토가 요망된다.

본 연구와 관련하여 앞으로 더욱 연구되어야 할 과제는 다음과 같다.

첫째, 연구대상을 몇가지 변인에 따라 선정할 일정규모의 평가모델에 대하여 한정하였으므로 다양한 형태의 지하가 평면에 대해보다 많은 변인을 고려한 연구가 필요하다.

둘째, 화재시 재실자의 안전에 대해 가장 중요한 변인인 연기가 재실자의 피난행동에 미치는 영향의 시간적 해석에 대한 연구가 필요하다.

參 考 文 獻

1. 이경희(1986), 건축환경계획, 문우당.
2. 이규상(1985), 컴퓨터 시뮬레이션, 창학사.
3. 임승빈(1986), 환경심리·행태론, 보성문화사.
4. 허동국 역(1981), 건축심리, 기문당.
5. Building Reserch Establishment Digests(1983), Volume 3-Building Performance, HMSO Publications.
6. Dutton, J.M., and Starbuck, W.H.(1971), Computer Simulation of Human Behavior, John Wiley & Sons, Inc.
7. Egan, M.D.(1978), Concepts in Building Firesafety, John Wiley & Sons, Inc.
8. Lathrop, J.K.(1985), Life Safety Code Handbook, NFPA.
9. Newell, A. and Simon, H.A.(1972), Human Problem Solving, Prentice-Hall, Inc.