

도심지하공간의 화재 안전계획에 관한 연구 (I)

서동구* · 황현배** · 권영진*

호서대학교 소방방재학과* · 교통안전공단**

A Study on the fire Safety Plan in downtown underground Space (I)

Seo, Dong Goo* · Hwang, Hyun Bea** · Kwon, Young Jin*
Fire & Disaster Protection Engineering of Hoseo Univ.*
Korea Transportation Safety Authority**

ABSTRACT

In Korea, the Seoul subway line 1 was opened in 1974 and the subway service is being operated in Seoul, Pusan, Daegu, Daejeon, and Incheon. The subway station is related to a underground shopping mall that was developed as complex spaces. According to the time of people's stay at the underground space, the necessity about the safety countermeasure of the underground space has been enlarged. Therefore the result of this study is to propose guidelines for improving the evacuation safety performance in underground subway stations.

1. 연구배경 및 목적

최근 도시가 발달하고 도시공간이 인간과 시설물 등으로 밀집되고 부족하게 됨에 따라 점차 지하공간의 활용에 대한 필요성이 대두되고 있는 것이 현대사회의 실정이다. 하지만 이러한 지하공간이 심층화가 되어가면서 화재 시 인명의 피난안전이 확보되지 못하고 있다. 특히 2003년에 대구의 지하철참사와 더불어 지하공간에서의 피난용량의 확보는 중요한 과제로 인식되어지고 있다. 국내의 지하공간은 지하철, 쇼핑 공간, 공동주택, 주차장, 공동구 등 많은 용도로 사용되어지고, 이에 따른 인간의 이용도가 높아지고 있다.

특히 지하철역사 중 서울지하철의 경우 하루평균 670여만명이 이용하고 있으며 연간 24억 명이 이용하고 있어 상당히 높은 유동점유율이 나타나고 있다. 지하철역사 중 환승역사의 경우에는 시간당 유동인구는 급증하여 화재 시 이러한 유동인구를 수용할 수 있는 피난용량의 확보가 될 수 있을 지는 모호한 상황이다. 또한 지하가와 (초)고층건축물이 연계된 곳에서의 피난용량 확보가 시급할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 도심지하공간 중 지하철 역사의 인원현황 및 역사구조를 분석하

여 도심지하공간의 성능적인 피난용량 확보를 위한 기초적인 자료를 제시하는데 목적이 있다.

2. 국내 지하철역사의 현황 및 위험성

2.1 국내 지하철역사의 현황

국내의 지하철은 1974년 8월 서울지하철 1호선 개통을 시작으로 현재 수도권 12개, 부산 3개, 대구 2개, 광주 1개, 대전 1개로 총 19개의 노선을 이루고 있다. 이 중 수도권에서는 연간 24억 명이 지하철을 이용하고 있어 인간의 지하철에 대한 활용도는 점차 높아지고 있는 것이 자명한 사실이다. 또한 표 1에 나타난바와 같이 서울지역의 지하철 구간의 심도는 1기(1~4호선)의 경우 13.7m, 제 2기(5~8호선)의 경우 22.6m로 점차 대심도화 되었음을 알 수 있다. 특히 2기 지하철 노선의 평균심도(22.6m)를 상회하는 역사는 총 57역으로 제 2기 전체 역사 147개의 약 39%에 이르고 있다.¹⁾

표 1. 서울지역 지하철역사의 심도현황(1~8호선)¹⁾

노선 비교	1기 지하철				2기 지하철			
	1호선	2호선	3호선	4호선	5호선	6호선	7호선	8호선
10m미만	1	5						
10~15m 미만	8	26	15	14	7	2	1	3
15~20m 미만	-	4	9	3	10	12	9	9
20~30m 미만	-	2	5	3	23	18	26	4
30~40m 미만	-	-	-	1	10	5	2	-
40~50m 미만	-	-	-	-	1	1	1	-
50~60m 미만	-	-	-	-	-	-	-	1
역사갯수	9	47	31	26	51	38	41	17

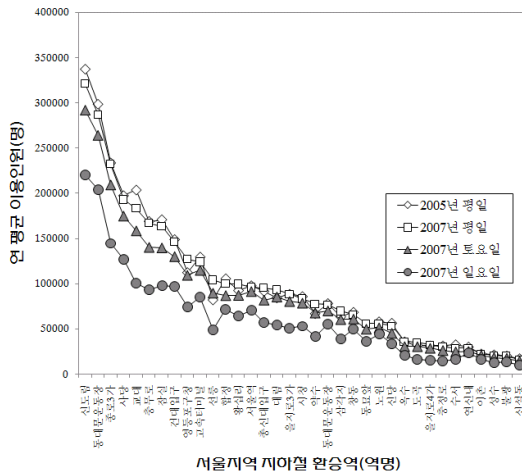


그림 1. 서울지역 지하철 환승역의 일일 평균 이용인원

또한 2007년도 연간 일일 평균 이용인원을 살펴보면 그림 1과 같이 주말보다 평일의 인원이 약 3만 명의 차이를 보였다. 이는 수도권 지역이외에서도 유사한 결과이며, 지하철의 이용 빈도는 출퇴근시간이 많은 평일의 아침의 분포가 높은 것으로 사료된다. 서울지역의 가장 많은 유동인구를 보이는 곳은 신도림역으로 연간 일일평균 337,675명의 인구의 유동이 있으며, 두 번째로는 동대문운동장역으로 298,918명, 세 번째로는 종로 3가역 233,921명 순으로 환승역 유동인구의 분포를 볼 수 있다. 2005년과 2007년의 평일의 유동인구를 비교하면, 근소한 차이를 보여 이용 빈도의 차이는 크게 나타나지 않고 꾸준히 많은 유동이 있는 것으로 판단된다.

2.2 지하철역사의 위험성

표 2. 수도권 및 그이외의 역에서의 피난탈출시간 조사

* 서울(46개역)					*서울(46개역)				
호선	역명	피난거리 (m)	대합실까지 탈출시간(4분)	안전구역까지 탈출시간(6분)	호선	역명	피난거리 (m)	대합실까지 탈출시간(4분)	안전구역까지 탈출시간(6분)
2 (5역)	을지로3가	170.6	2.33	7.76	7 (21역)	어린이대공원	136.9	4.46	6.21
	서울대입구	89.1	4.58	6.31		독성유원지	110.4	4.16	5.16
	봉천	96.7	5.53	6.97		강남구청	138.4	4.1	6.64
	신림	102.5	4.21	5.89		확동	16.7	4.02	6.3
	신도림	138.6	3.49	6.6		논현	139.5	4.32	6.37
3 (2역)	종로3가	115	4.53	6.93		반포	140.5	4.66	6.25
	교대	131.7	2.52	7.01		내방	145.1	4.17	6.34
4 (1역)	남태령	145.5	2.72	6.41		송실대입구	192.5	4.7	7.24
5 (12역)	신정	149.9	4.47	7.15		잠수배기	163.7	4.52	6.78
	목동	115.9	4.16	5.11		신대방삼거리	137.8	4.03	6.88
	양평	196.5	5.66	6.91	신풍	123.1	4.17	5.19	
	영등포시장	171.5	4.44	7.64	남구로	167.2	6.31	7.96	
	여의나루	217	4.2	6.11	가산디지털단지	160.3	4.46	6.1	
	애오개	156.5	5.1	6.21	철산	120.3	4.07	5.34	
	충정로	189.5	4.14	5.6	8 (1역)	산성	188.5	5.48	7.74
	청구	177.9	4.07	4.89	부산(4개역)				
	신금호	164.6	4.87	7.06	호선 3 (4역)	역명	피난거리 (m)	대합실까지 탈출시간(4분)	안전구역까지 탈출시간(6분)
	행당	156.2	5.05	7.26		망미	85	3.7	6.3
마장	145.6	4.07	5.77	배산		261	3.7	7.7	
아차산	151.4	4.13	7.07	물만골		240	3.6	6.2	
연신내	254.7	4.41	5.77	만덕		124	3.1	8.2	
6 (4역)	마포구청	167.5	4.4	5.96	인천(5개역)				
	망원	134.5	4.78	5.45	호선 (5역)	역명	피난거리 (m)	대합실까지 탈출시간(4분)	안전구역까지 탈출시간(6분)
	버티고개	183.4	4.38	6.18		경인교대	199	2	6.2
공릉	171.9	5.74	6.6	부평		277	2	11.9	
중화	183.9	4.25	6	동수		204	3	7.7	
상봉	125.2	4.4	6.02	부평삼거리		214	2.1	7	
면목	158.2	5.04	6.16	간석오거리		229	2.5	6.4	
7 (21역)	사기정	212.2	5.44	6.45	광주(1개역)				
	용마산	196.9	5.38	6.28	호선 (1역)	역명	피난거리 (m)	대합실까지 탈출시간(4분)	안전구역까지 탈출시간(6분)
	종곡	125.3	4.42	6.82	문화전당	217	3.7	6.8	

표 2는 국토해양부 지침에 따라 2008년 10월 전국 지하철역의 피난시간을 측정한 결과 56개역에서 피난시간의 기준치를 넘어섰다고 보도되었다. 이는 「도시철도 정거장 및 환승·편의시설 보완 설계 지침」에서 제시하는 대피시간의 기준으로 승객이 4분 내에 승강장에서 벗어나고, 6분 이내에 연기나 유독가스로부터 안전한 외부 출입구를 벗어나도록 하는 것에 대한 지침에 의하여 평가되었다.

서울지역의 지하철 노선별로 피난시준시간 6분을 초과하고 있는 역을 살펴보면, 지하철 2호선의 경우 4개역, 3호선은 2개역, 지하철 4호선은 남태령역 등이다. 지하철 5호선의 경우 13개역, 6호선은 6개역, 7호선은 21개역, 8호선의 경우 산성역 등이다. 또한 부산과 인천, 광주의 지하철은 안전구역까지 피난시간이 초과하는 역이 많았다. 이러한 화재 재난시에 나타날 수 있는 인간의 피난시간은 피난용량에 따라 많은 차이를 보일 것으로 판단되며, 피난용량을 확보하기 위해서는 지하공간의 이용인원의 수의 확보가 필요하다고 사료된다.

3. 국내 지하철 재실자인수 및 구조형태의 분석

3.1 국내 지하철 재실자인수

「도시철도 정거장 및 환승·편의시설 보완 설계 지침」에서 정거장 내 열차화재 시 대피인원을 산정하는 방법은 기다리는 승객에 한 대의 열차가 연착될 경우의 열차의 승객수를 더한 것으로 다음 식 1로 산정한다.

$$\text{대피인원} = \text{피크시의 승강장 대기인원} + \text{열차수용인원} \times 2 \quad (\text{식 1})$$

여기서, 피크시의 승강장 대기인원은 철두 1시간 대기인원의 30%를 철두 15분 대기인원으로 하여 분당인원을 산정한다. 열차 수용인원은 재차 인원으로 하되 열차수용인원×2항이 만차인원을 초과 시에는 만차인원을 적용한다.

또한 다른 승강장의 대피용량은 일반 승하차인원으로 다음 식으로 산정한다.

$$\text{대피인원} = \text{피크시의 승강장 대기인원} + \text{피크시의 승강장 하차인원} \quad (\text{식 2})$$

두 개나 그 이상의 탈출경로가 한 곳으로 모이는 곳에서는 해당 통행량을 모두 더해야 한다. 이를 통하여 대피시간을 산정하게 되며 대기시간과 이동시간의 합으로 산정하며 대피요소별로 대피인원과 대피수용량에 따라 대기시간 및 이동시간을 구한다.

3.2 지하철의 구조형태

지하철역사의 승강장형태는 도식형 승강장, 상대식 승강장, 1선식, 2선식, 3선식, 4선식으로 나눌 수 있다. 승강장의 형태에 따라 피난경로가 달라지며, 이를 수용할 수 있는 피난용량의 확보방안이 다르게 나타날 수 있다. 또한 화재 시 피난시간에 많은 영향을 끼칠 것으로 판단되며, 특히 2003년 발생한 대구 중앙로역 화재의 승강장의 형태는 이 중 상대식 승강장의 형태를 갖추고 있다. 대구 지하철 화재와 같이 상대식 승강장의 형태 등은 전동차와의 화재전과가 용이한 형태를 갖추고 있다. (그림 2)

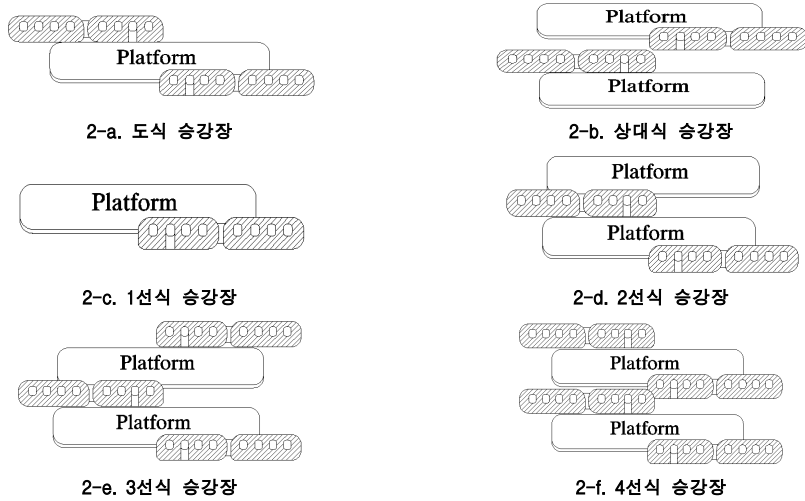


그림 2. 지하철역사 승강장의 형태

승강장의 형태에 따라 피난계단의 계단의 설치가 되는데, 전동차에 타는 곳과 내리는 곳 부분에 대부분 2개 이상의 피난 로가 확보가 되게 된다. 하지만 화재의 형태 및 재실자의 인원수에 따라 피난용량 확보가 불가피 하게 될 것이며, 노약자와 장애인 등과 같은 화재 및 재해시의 재해약자에 있어서는 각 피난 로의 위치에 따라 피난시간이 많은 차이를 보일 것으로 사료된다.

4. 국내 지하철의 재실자 유동 현황 조사

전술한 도심지하공간의 화재 시 성능적 피난용량 확보를 위하여 지하공간에 존재하는 재실자의 유동현황을 조사할 필요가 있다. 특히 피크시간대의 유동인구의 조사가 필요하며, 이를 통한 최대인수의 피난용량을 확보하는데에 조사 목적이 있다.

4.1 서울 지하철 재실자의 유동조사

(1) 조사개요

표 3. 재실자의 유동조사 개요

구분	내용				
조사일시	2007.11.03(토) ~ 11.5(월) 3일간, 05:30 ~ 익일 01:00 전일				
조사대상	혼잡도 예상 117개역				
	1호선	2호선	3호선	4호선	합계
	10개역	50개역	31개역	26개역	117개역

조사일시는 평일과 주말의 분포를 살펴보기 위하여 주말을 포함한 일시이며, 혼잡도가 예상되는 노선 중 1호선~4호선에 분포하는 역을 조사되었다. 조사는 역별, 시간대별, 방향별 통과차량 및 재차인원을 평일, 주말로 구분하고, 이와 동일한 방법으로 환승역에서의

환승인원 또한 조사하였다.

(2) 조사방법

지하철 운영기관(서울메트로, 도시철도공사, 한국철도공사, 인천지하철)의 데이터를 기초로 역별, 시간대별 지하철 이용인원을 교통량조사 프로그램으로 분석한 데이터를 기준으로 각 역별 인원을 파악하는 것으로 하였다. 혼잡도의 기준은 전동차안의 인원의 탑승률에 따라서 재차인원을 열차의정원으로 나누어 혼잡도(%)를 산출한다. 식 3,4은 혼잡도를 산출하는 수식이며, 그림 3은 승강장의 혼잡도의 관한 일례이다.

$$\text{혼잡도} = \text{재차인원} / \text{열차정원} \quad (\text{식 } 3)$$

$$\text{재차인원} = \text{전역재차인원} + (\text{당역승차인원} - \text{당역하차인원}) \quad (\text{식 } 4)$$

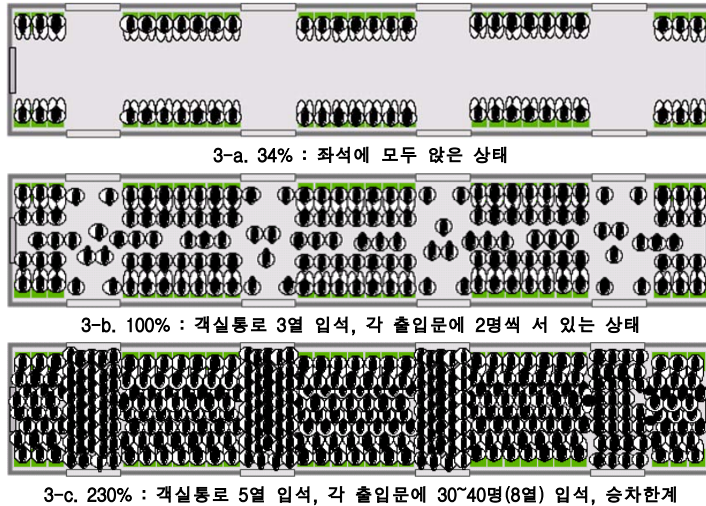


그림 3. 혼잡도측정 기준

(3) 조사결과

표 4. 출근시간 때의 재차인원 및 혼잡도

노선별	구 간	최고혼잡시간대	통과차량	재차인원	혼잡도
1호선	동 모 → 동 대 문	08:20~08:50	90	18,600	129%
2호선	사 당 → 방 배	08:20~08:50	110	38,930	221%
3호선	독 립 문 → 경 북 공	08:00~08:30	100	21,999	137%
4호선	한 성 대 → 길 음	08:00~08:30	90	27,171	189%
평 균					171%

전동차별 혼잡도 조사결과를 표 6과 같이 출근시간대 최고 혼잡한 시간은 08:00~08:50까지의 범위이며, 재차인원은 혼잡도 100%일 때, 160명(10량 기준)으로 환산한다. 조사 결과 사당역에서 방배역방향의 2호선 전동차 혼잡도가 221%로 가장 높았으며, 1호선이 129%로 낮은 혼잡도를 보였다. 또한 그림 4와 같이 각 연도별로 지하철의 호선을 비교하였다. 여기서 2005년도의 혼잡도와 2007년의 혼잡도를 비교하면, 1호선은 6%, 2호선 4%, 3호선 5%, 4호선은 7%씩 감소되었다. 하지만 지하철 이용 빈도가 감소되는 것은 아니며,

이는 각 역별로 차이가 있고, 증감의 차이는 근소한 차이로 평균적인 인원의 분포가 되는 것으로 사료된다.

또한 지하철 이용승객의 통행패턴은 외곽에서 도심으로 집중되고, 통행량은 일부 구간 및 시간대에 집중되고 있다고 판단된다. 지하철 이용승객의 42%가 07:00~09:00, 그리고 18:00~21:00로 출퇴근 시간에 집중되는 것으로 보이며, 2호선은 업무시설이 밀집된 강남구간으로 이동하기 위하여 신도림역부터 사당역까지 혼잡도가 계속 높아지다가 강남역을 지나면서 점차 낮아지며, 3,4호선의 경우도 도심방향구간이 최대 혼잡을 이루고 있다. 화재위험성의 측면에서 살펴본다면 평일 출퇴근 시간에 가장 많은 유동인구가 급증되어 피크치를 나타낼 것으로 보이며, 외곽에서 도심으로 들어가고 도심지에 도착하였을 시각이 가장 화재위험성이 크게 나타날 것으로 판단된다.

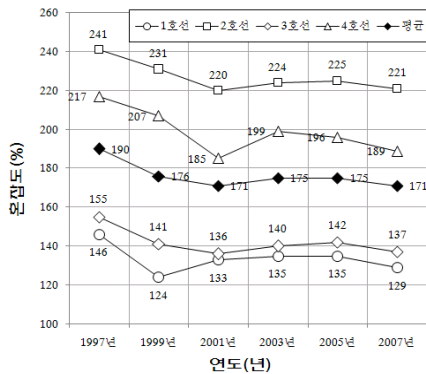


그림 4. 서울 지하철 각 연도별 혼잡도 변화의 추이

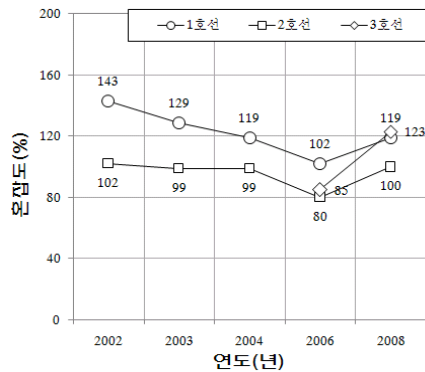


그림 5. 부산 지하철 각 연도별 혼잡도 변화 추이

4.2 부산 지하철의 재실자 유동조사

(1) 조사개요

조사일시는 2008.05.03(토) ~ 05.09(금) 7일간이며, 요일별, 시간대별, 행선지별로 차내의 혼잡도를 조사하였다. 요일은 평일, 토요일, 일요일을 구분하여 조사되었으며 영업시간 전체에 대하여 1시간 간격으로 조사되었다. 또한 호선별 상·하행선으로 구분조사 되었다. 여기서의 조사방법은 서울 지하철 조사방법과 동일한 방법으로 수행된 결과이다.

(2) 조사결과

부산 지하철 재실자의 유동은 서울 지하철과 마찬가지로 출퇴근시간에 가장 많은 혼잡도를 보였다. 부산 지하철 3호선이 123%로 가장 높은 혼잡도를 보였으며, 1호선, 2호선 순으로 나타났다. 혼잡도 100%이상의 결과에서는 승객이 손잡이를 모두 잡은 상태(빈공간 조금 있음), 119%이상에서는 일부승객이 손잡이를 못 잡은 상태(빈공간이 거의 없는 상태)로 도심지의 역에서 하차하였을 때 역내에 균집을 형성한 재실자의 형태가 될 것으로 사료된다. 또한 연도별 조사에 있어서 증감은 2006년에 비해 1호선은 17%, 2호선 20%, 3호선 38%로 증가하는 추세이며, 서울 지하철과 마찬가지로 증감의 차이는 근소한 차이이며, 피난안전성 측면에서 피난용량을 위한 방안으로 밀도 별 규정이 필요하다고 사료된다.

5. 결론 및 향후계획

도심지하공간 중 지하철 공간의 성능적인 피난용량의 확보를 위한 조사를 한 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- 1) 현대의 지하철은 그의 심도가 높아지고, 형태가 더욱 복잡해지고 있어 피난용량의 확보는 어려워지고 있다. 또한 재해약자의 경우 피난안전을 확보하기에는 현재의 피난로의 위치는 모호한 상황이다. 또한 환승역의 유동인구가 동 시각에 급속도로 증가하는 형태의 모습은 피난용량 확보가 어려운 것으로 판단된다.
- 2) 서울지하철과 부산지하철의 유동인구수 조사한 결과 유동인구가 집중되는 시각은 출퇴근시간은 07:00~09:00, 18:00~21:00로 나타났다. 또한 연도별 혼잡도를 비교한 결과 연도별의 증감의 정도는 그 차이가 근소한 차이를 보이며, 평균 혼잡도의 범위는 90%~200% 정도로 조사되었다.
- 3) 향후 도심지하공간에서의 실측조사가 필요하며, 군집보행시의 피난 속도 측정 및 피난로의 판단 등 재실자의 심리적인 특성의 연구가 계속되어야 할 것으로 판단된다. 또한 심도가 깊은 지하공간의 에스컬레이터의 활용과 재실자의 인수에 따른 피난로의 폭측, 유출계수의 검토가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구를 수행할 수 있게 협조해주신 전국 도시철도공사 관계자에게 감사를 드립니다.

6. 참고문헌

- 1) 박재성, 지하철 역사의 피난안전성능 확보를 위한 설계기준에 관한 연구, 2003, 대한건축학회 논문집, pp91-100
- 2) 長谷見 雄二, 都心地下空間のセキュリティ・ハザード・マップ, 2008
- 3) 서울메트로, 2007년 지하철 교통량조사, 2008
- 4) 경영본부, 2008년도 전동차 혼잡도 조사결과(보고), 2008
- 5) 국토해양부, 도시철도 정거장 및 환승·편의시설 보완설계지침, 2002
- 6) 서울메트로, 2007년 환승인원현황 보고, 2008