

지하철 역사 내 경로 선택에 관한 연구 : 보행거리를 중심으로*

Analysis of Route Choice Behavior in Subway Station : Focusing on Walking Distance

정래혁 Jung Raehyuck**, 정진혁 Chung Jinhyuk***, 유소영 You Soyoung****

Abstract

According to Seoul statistics annual report 2014, Seoul Subway line 1 through 9, transported 2.6 billion passengers and were responsible for 40% of overall transportation in Seoul. As passengers increase there is an increase in congestions in subway stations. The facilities are expanded upon experiences, and they have a low efficiency. Therefore, this study is focused on conducting a research analysis on passenger path finding as a part of an analysis on path and movement characteristics of passengers in subway stations. First, passengers at Sadang station were traced, and using the K-Path Algorithm, the available paths (alternative paths) were found. Using that in combination with some research data, an analysis on the shortest path was carried out to determine the path finding model. This study examines passenger characteristic through an actual research. It is expected to provide basic data when one is planning countermeasures to destress subway station congestions.

Keywords: Route Choice, Pedestrian, Tracing Survey, Logit Model, Subway Station, K-Path Algorithm

I. 서론

서울특별시 통계연보에 따르면 2014년 서울특별시 지하철(이하 '서울 지하철') 1~9호선의 수송 인원을 합하면 약 26억 명이며 서울특별시 전체 수송 분담률은 약 40%를 차지하고 있다. 이러한 상황에서 서울특별시는 지하철을 더욱 활성화하기 위하여 여러 정책을 제시하고 있다. 그중 2015년 6월에 고시한

'서울특별시 10개년 도시철도망 구축계획(변경)'을 보면 동북선, 난곡선 등 총 89.17km의 철도망을 계획하고 있고, 신림선의 경우 연말에 착공할 계획이다. 이처럼 서울 지하철은 서울시민의 가장 중요한 이동 수단이며, 앞으로 계획 중인 도시철도망이 완성되면 서울 지하철의 수송량 및 수송 분담률이 더욱 증가할 것으로 예상된다.

서울 지하철의 수송량 및 분담률의 증가에 따라

* 본 논문은 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원에 의해 수행되었음(15RTRP-B067918-03).

** 연세대학교 도시공학과 석사과정(제1저자) | M.S. Candidate, Dept. of Urban Planning and Engineering, Yonsei Univ. | Primary Author | jrh1110@nate.com

*** 연세대학교 도시공학과 교수(교신저자) | Prof., Dept. of Urban Planning and Engineering, Yonsei Univ. | Corresponding Author | jinchung@yonsei.ac.kr

**** 한국철도연구원 선임연구원 | Senior Researcher, Korea Railroad Research Institute | syyou@krri.re.kr

대중교통의 이용률이 증가하고 있지만, 한편으로 지하철의 혼잡 역시 증가하고 있다. 지하철 열차 1m²당 승객 세 명이 적정 인원이라고 하면 지하철 1량 기준으로는 약 160명이 되는데 이때의 혼잡도를 100%로 보고 있다. 이러한 기준으로 침두시에 혼잡한 열차 구간은 염창~신목동 구간, 낙성대~사당 구간, 서초~교대 구간 등이며 이들 구간은 200%가 넘는 혼잡도를 보이고 있다. 침두시에는 차량 내 혼잡뿐만 아니라 지하철 역사 내 혼잡 또한 심각한 수준이다. 특히 환승역의 경우 기종점이 같은 이용자들이 짧은 시간 동안 같은 경로를 이용하기 때문에 역사 내 심각한 혼잡이 발생하며, 이러한 지하철 역사 내 혼잡은 지하철 이용객의 만족도 저하와 더불어 안전 문제를 야기한다.

서울특별시에서는 지하철 혼잡을 해결하기 위해 혼잡 지하철 역사의 구조개선 사업, 이용자 관점의 역사 이용불편 조사, 9호선 대체 급행버스 도입 등 여러 가지 노력을 기울이고 있다. 하지만 역사 이용자들의 이동 특성 및 동선에 관한 이해도가 낮고 대다수가 경험에 의한 설비를 확충하고 있어 그 효과가 떨어지고 있는 실정이다. 이에 본 논문에서는 역사 이용자들의 이동 특성 및 동선에 관한 분석의 일환으로 지하철 역사 내 이용자들의 경로 선택에 초점을 맞추어 연구를 진행하고자 한다.

본 논문의 목적은 선행연구 고찰을 통한 기존 보행경로 선택 특성과 실제 조사를 통한 역사 내 보행경로 선택 특성을 파악하여 서로 비교해보고, 역사 내 기종점이 정해져 있을 때 보행경로 선택 특성을 서로 비교하여 역사 내 보행경로 선택에 영향을 미치는 요인을 파악 및 분석하는 것을 목적으로 한다.

본 논문은 조사 대상으로 사당역을 선정하여 보행 추적 조사를 실시하고, 조사자료를 분석하여 역사 내 보행경로 선택 행태를 파악한 뒤 확률효용모형(random utility model)을 적용하여 보행경로 선택

에 영향을 미치는 요인들의 영향력을 분석하는 방식으로 진행한다.

II. 선행연구 검토

현재 대다수의 차량경로 선택 연구에서는 네트워크의 혼잡(bureau of public roads function)과 경로 선택의 원리(user equilibrium)를 이용한 통행 배정을 하고 있다. 하지만 보행경로 선택에서는 이와는 다른 방법으로 진행되고 있다.

많은 보행경로 선택 연구에서는 오랫동안 이동거리가 가장 중요한 요소로 인식되어 왔다. Verlander and Heydecker(1997)는 영국 노샘프턴(Northampton)에서 조사를 하였고, Seneviratne and Morrall(1985)의 연구에서는 캐나다의 캘거리(Calgary)에서 설문조사를 하여 보행자들의 경로 선택행위를 분석하였고, Borgers and Timmermans(1986)의 연구는 네덜란드 마스트라히트(Maastricht)의 상업지역에서 보행경로 선택을 분석하였으며, Bovy and Stern(1990)은 예루살렘에서 보행경로 선택행위를 조사하였다. 위의 네 가지 연구 모두 보행경로 선택 시 이동거리가 가장 중요한 단일 요인으로 분석되었다.

보행경로 선택 시 보행거리뿐만 아니라 다른 요인들 역시 보행경로 선택의 영향을 미치고 있었다. Agrawal, Schlossberg and Irvin(2008)은 보행거리 외에도 안전한 경로를 선택한다고 분석하였다. Muraleetharan and Hagiwara(2007)는 보행경로 선택 시 보도와 횡단보도의 서비스 수준(Level of Service: LOS) 영향에 대해 분석하였다. Peponis and Zimring(1990)은 복합 건축 환경에서는 국부적인 요인보다는 전체 동선에 대한 요인이 중요하다고 하였다. Li and Tsukaguchi(2005)는 학교 주변에서 보행자 경로 선택에 대하여 연구하였다. 이 연구에서 보행자 경로 선택은 네트워크 토폴로지와 연관이 깊다고 밝

했다. Marchand(1974)는 파리의 주요 교차로에서 방향을 전환하는 사람들을 대상으로 관찰조사와 설문조사를 실시하였는데, 그 결과 보행자 경로 선택 시 방향 전환의 관점에서 가장 단순한 경로가 선택된다고 밝혔다. Kurose, Borgers and Timmermans(2001)는 상업지역에서는 흥밋거리가 많은 거리를 보행자가 선택한다고 하였으며 Hoogendoorn and Bovy(2004)는 네덜란드 암스테르담에서의 조사를 통해 보행경로는 목적지 및 활동 스케줄과 통합적으로 연계하여 선택된다고 밝혔다. Wang, Li, Wang and Namgung(2012)은 보행경로와 보행환경에 대해 연구하였다.

국내 연구를 찾아보면 고준호, 김태형(2013)은 강남역 주변 보행밀집지역에서 실시한 설문조사를 통해 최단경로 선택 행위에 대해 분석하였다. 서한림, 최이명, 박소현(2011)은 GPS 등을 이용하여 복촌의 근린에서 보행경로 특성을 분석하여 토지 이용이나 시설과 같은 목적지와의 연계성 등이 보행경로에 영향을 준다고 분석하였다. 안은희, 강석진, 이경훈(2004)은 코엑스몰에서 스페이스 신택스(Space Syntax) 기법을 통해 상점의 배치가 보행자의 흐름에 영향을 준다고 분석하였다. 이인성, 김현옥(1998)은 보행환경에서 경로에 대한 익숙도가 가장 큰 영향을 미치고 횡단보도, 가로시설들이 영향을 준다고 밝혔다. 최윤경, 권영환(2003)은 인사동, 명동, 압구정동을 대상으로 도시의 특정 지역이 가지는 공간구조의 특징과 상점의 분포가 보행자들의 움직임에 미치는 영향에 대해 분석하였고 판매시설의 위치와 입지, 보행량 등이 보행자의 움직임에 영향을 준다고 밝혔다. 정래혁, 정진혁(2015)은 지하철 역사 내 경로 선택을 이용자 시작 위치에 따른 특성과 '경로 특성-이용자 특성'으로 구분하여 각 특성의 영향력을 분석하였다.

보행경로 선택에 관한 연구는 이동거리와 이동거

리 이외의 요소로 구분되어 많은 연구들이 진행되어 왔다. 거의 모든 연구에서 이동거리가 중요한 요소로 인식되어져 왔다. 이에 본 논문에서는 역사 내 경로 선택에서 이동거리가 미치는 영향에 대해 알아보고 역사 내 경로 선택은 어떠한 특징을 가지고 있는지 알아보려고 한다.

III. 보행행태 조사자료 분석

1. 보행행태 조사

보행행태 조사 대상지로 강남권의 대표적인 혼잡 환승역사인 사당역을 선정하였다. 사당역의 구조를 살펴보면 지하철 2호선과 4호선의 환승역으로 '4'형태의 정거장 구조를 가지고 있다. 승강장 형태를 보면 2호선 승강장은 내선방향, 외선방향 정거장이 나누어져 있는 상대식 구조이고, 4호선 승강장은 상행방향, 하행방향 정거장을 같이 사용하는 섬식 구조다. 사당역의 출입구는 총 14개이고 개찰구는 7개 지점에서 운영되고 있다.

보행행태 조사는 2015년 8월 18~20일(화, 수, 목 3일간) 사이에 진행하였고, 사당역을 이용하는 통행자를 대상으로(단, 출입구에서 출입구로 이동하는 통과 통행은 제외) 추적조사 및 설문조사를 실시하였다. 추적조사는 조사원들이 출입구와 승강장에서 임의의 통행자를 선택하여 오전첨두(07:30~09:30), 비첨두(13:00~15:00), 오후첨두(18:00~20:00) 세 가지 시간대별로 대상을 추적하여 통행자가 이용한 경로와 통행시간을 기록하였다. 추적 종료 후 추적 대상자에게 직접 보행행태(경로 선택요인, 탑승 위치 선택요인)에 관한 간단한 설문조사를 실시하였다.

2. 보행행태 조사 결과

보행행태 조사 결과 387개의 샘플을 구득하였다. 387개의 샘플 중 일반인의 샘플은 316개이고 노약자, 임산부, 무거운 짐소유, 미취학 아동과 같은 이동 제약자의 샘플은 71개로 나타났다(〈표 1〉 참조).

기초 통계 분석 후 여러 선행연구에서 주요 변수로 사용한 이동거리를 중심으로 조사자료를 분석하였다. 분석 결과 역사통행자는 최소 44.5m부터 최대 438.2m의 거리를 역사 내에서 이동했음을 알 수 있었다. 이동거리가 75~100m 사이인 통행자가 79명으로 전체 통행자 중 20.4%의 비율을 차지했다. 또한 90% 이상의 통행자는 역사 내 이동거리가 250m 이하로 나타났다.

지하철 역사통행은 출입구에서 승강장으로 이동하거나, 승강장에서 출입구로 이동하거나, 승강장에

서 다른 승강장으로 이동하게 된다. 이러한 특성상 역사 내에 통행자들의 기종점은 승강장과 출입구로 한정적일 수밖에 없다. 이에 조사 결과를 승강장과 출입구를 기종점으로 하는 각 기종점별로 이용객수 및 선택 경로수를 분석해보았다. 이때 기종점별 샘플수 증가와 분석의 용이성을 위해 기종점을 새로 설정하였다(〈표 2〉 참조).

기존의 기종점 17개(출입구 14개, 승강장 3개)를 7개로 줄여서 분석을 하였다. 〈그림 1〉과 같이 승강장은 각각 하나의 기종점으로 설정하였고 기종점 1번과 같이 출입구의 경우 가까이 있는 출입구들끼리 출입구군으로 묶어 하나의 기종점으로 다시 설정하였다.

새로운 기종점을 중심으로 기종점별 샘플수를 분석한 결과, 기종점 6번에서 기종점 7번으로, 즉 2호선 낙성대역 방면 승강장에서 4호선 승강장으로 이동하는 샘플수가 39개로 가장 많았고, 기종점 2번에서 기종점 7번으로, 즉 3번 혹은 4번 출구에서 4호선 승강장으로 이동하는 경우 샘플수가 세 개로 가장 적었다.

기종점별 이용경로수를 보면 기종점별 이용경로수가 1~5개 사이의 값을 갖는 것을 알 수 있었다. 약 90%의 기종점별 이용경로수가 한 개 혹은 두 개로 나타났으며, 이용경로수가 네 개 혹은 다섯 개인 경우는 각각 한 가지 경우밖에 없었다. 또한 기종점 4번

표 1 _ 조사 결과 기초 통계

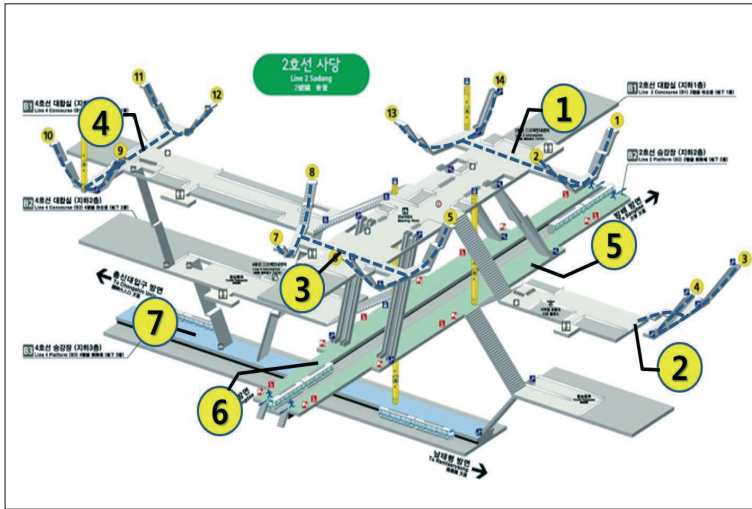
(단위: 개, %)

구분	설명	샘플수	비율
이용자 구분	일반인	316	82
	이동 제약자	71	18
조사시간	오전첨두	114	29
	비첨두	141	36
	오후첨두	132	34
환승	환승통행	144	37
	비환승통행	243	63
성별	남자	225	58
	여자	162	42
연령대	20대 이하	99	26
	30대	109	28
	40대	60	16
	50대	55	14
	60대 이상	64	17
전체		387	100

표 2 _ 분석을 위한 사당역 기종점 재분류

기종점	설명
1	1번, 2번, 13번, 14번 출입구
2	3번, 4번 출입구
3	5번, 6번, 7번, 8번 출입구
4	9번, 10번, 11번, 12번 출입구
5	2호선 방배역 방면 승강장
6	2호선 낙성대역 방면 승강장
7	4호선 승강장

그림 1_ 분석을 위한 사당역 기종점 재분류



않음을 알 수 있었다. 이에 이
용 가능한 경로 중 실제로 통
행자들이 어떠한 경로를 선택
하는지 알아보기 위해 대안경
로를 탐색하였다.

대안경로 탐색을 위해서 일
반적인 교통 네트워크 경로 탐
색 K-Path 알고리즘을 사용하
였다. K-Path 알고리즘은 주어
진 네트워크에서 K개의 최단
경로를 구하는 알고리즘으로
Bellman(1957)의 최적 조건
을 따르는 최단경로 탐색 알

에서 기종점 7번으로 가는 경우는 총 19개의 샘플이
존재하였지만 19명 모두 동일한 한 개의 경로를 선택
한다는 사실을 알 수 있었다(표 3) 참조).

IV. 대안경로 분석

1. K-Path 알고리즘

조사자료 분석 결과, 실제 지하철 역사 내 통행자들
이 이용하는 경로가 존재하는 경로수보다 다양하지

고리즘을 확장시킨 개념이다. 현재 K-Path 알고리
즘은 여러 방법이 사용되고 있으며, 본 논문에서는
대표적인 최단경로 알고리즘인 Dijkstra 알고리즘을
확장시킨 Chong, Maddila and Morely(1995)의 알고
리즘을 기본으로 하여 지하철 역사 내 대안경로를 탐
색하였다.

대안경로 탐색을 위하여 사당역 CAD도면 자료를
통해 네트워크를 구축하였고, 네트워크 구축 시 시
각장애인을 위한 점자블록을 중심으로 노드-링크를
만들었다.

표 3_ 기종점별 샘플수 및 이용경로수

(단위: 개)

기점 \ 종점	1	2	3	4	5	6	7	합계
1	-	-	-	-	11/1	22/2	9/2	42/5
2	-	-	-	-	10/2	7/2	3/1	20/5
3	-	-	-	-	18/1	10/1	11/4	39/6
4	-	-	-	-	14/2	8/3	19/1	41/6
5	9/3	4/2	14/2	7/3	-	-	34/1	68/11
6	8/2	5/2	15/2	7/2	-	-	39/2	74/10
7	4/1	12/3	10/5	6/1	33/1	38/2	-	103/13
합계	21/6	21/7	39/9	20/6	86/7	85/10	115/11	387/56

주: 샘플수/이용경로수.

2. 역사 내 통행 및 경로 정의

K-Path 알고리즘을 통해 주어진 네트워크에서 경로를 탐색할 경우 제약 조건을 제시하지 않으면 무한 개의 경로가 탐색된다. 따라서 제약 조건을 달아 합리적인 경로를 선별하기 위하여 역사 내 통행 및 경로에 대한 연구 정의를 실시하였다.

본 논문에서는 역사 내 통행을 출입구와 객차를 기중점으로 하는 통행으로 정의하였으며, 보행 통행 목적의 통일성을 유지하기 위해 출입구에서 다른 출입구로 가는 통과 통행은 제외하였다. 따라서 역사 내 통행은 출입구를 기점으로 객차를 종점으로 하거나, 객차를 기점으로 출입구를 종점으로 하거나, 객차를 기점으로 하고 다른 객차를 종점으로 하는 총 세 가지 통행으로 구분할 수 있다.

출입구를 기점으로 하고 객차를 종점으로 하는, 즉 출입구로 들어와 객차에 탑승하기 전까지의 통행을 유입통행으로 정의하였다. 유입통행을 구간별로 살펴보면 첫 번째 출입구에서 개찰구 구간, 두 번째 개찰구에서 승강장 구간, 세 번째 승강장에서 객차 구간으로 이루어져 있다. 요금징수를 위하여 반드시 개찰구를 한 번만 통과해야 한다는 특징이 있다.

유입통행과 반대로 객차를 기점으로 하고 출입구를 종점으로 하는, 즉 객차에서 나와 출입구로 나가기 전까지의 통행을 유출통행으로 정의하였다. 유출통행을 구간별로 살펴보면 첫 번째 객차에서 개찰구 구간, 두 번째 승강장에서 개찰구 구간, 세 번째 개찰구에서 출입구 구간으로 이루어져 있다. 유입통행과 마찬가지로 요금징수를 위하여 반드시 개찰구를 한 번만 통과해야 한다는 특징이 있다.

마지막으로 객차를 기점으로 하고 다른 객차를 종점으로 하는, 즉 객차에서 나와서 다른 객차 탑승 전까지의 통행을 환승통행으로 정의하였다. 환승통행을 구간별로 살펴보면 첫 번째 객차에서 승강

장 구간, 두 번째 승강장에서 승강장 구간, 세 번째 승강장에서 객차 구간으로 이루어져 있다. 앞서 유입통행, 유출통행과는 반대로 환승통행은 개찰구를 지나지 않는 특징을 가지고 있다. 지하철에 따라 환승 시 개찰구를 통과하는 곳도 있지만 조사 대상지인 사당역의 경우 환승 시 개찰구를 통과하지 않으므로 본 논문에서는 개찰구를 통과하지 않는 것으로 환승통행을 정의하였다.

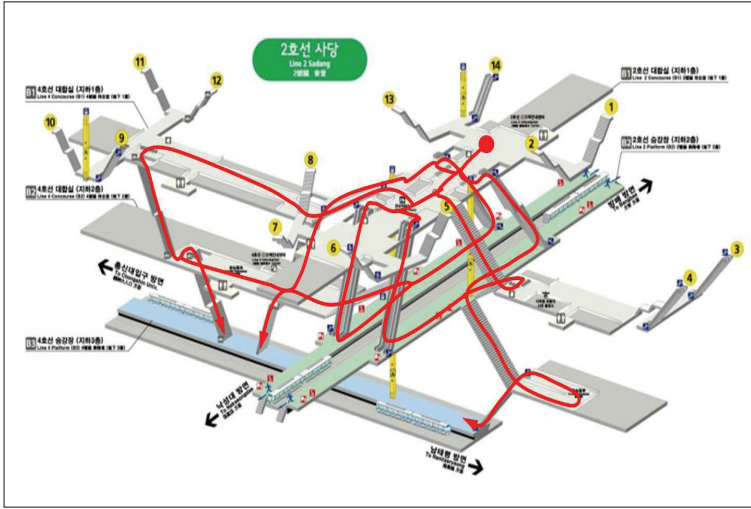
이렇게 역사 내 통행에 대해서 정의한 뒤 역사 내 경로를 정의하였다. 본 논문에서 역사 내 경로는 역사 내 통행 시 이동하는 동선을 역사 내 경로로 정의하였다. 역사 내 경로는 역사 내 통행의 특성을 그대로 반영해야 하기 때문에 출입구에서 다른 출입구로 이동하는 동선은 역사 내 경로에 포함되지 않는다. 또한 유입통행과 유출통행 경로는 반드시 개찰구를 반드시 한 번만 지나야만 하며 환승통행의 경로는 개찰구를 통과할 수 없다.

그 외에도 알고리즘을 통한 경로 탐색 시 같은 지점을 반복적으로 순환하는 루프 경로를 삭제하기 위해 같은 노드를 두 번 이상 지날 수 없게 하였다. 또한 엘리베이터는 교통약자들을 위한 특수한 시설물로 보고 일반인들은 엘리베이터를 이용하지 않는 것으로 가정하여 엘리베이터를 이용하는 경로는 알고리즘을 통한 경로 탐색 시 제외하였다.

승강장을 경로로 사용할 수 있지만 시작점부터 끝점까지 승강장을 이용하는 경로는 제외하기 위하여 승강장 양 끝점을 함께 지나는 경로는 삭제하였다.

마지막으로 서로 다른 층을 내려갔다 다시 올라오거나 혹은 서로 다른 층을 올라갔다 다시 내려오는 경로는 보행자의 행태와 맞지 않는다고 생각하여 삭제하였다. 즉 보행자 경로는 지하 1층에서 지하 2층으로 내려갔다 다시 지하 1층으로 올라오는 행태를 취하지 않고, 내려가는 상황에서는 계속 내려가

그림 2_ 경로 탐색 예시: 1번 기종점~7번 기종점



많은 경우는 기종점 7번(4호선 승강장)을 기점 혹은 종점으로 하는 경우로 이용 가능한 경로가 12가지 존재하였다. 대안경로가 가장 적은 경우는 환승통행의 경로인 기종점 5번(2호선 방배역 방면 승강장)을 기점으로 하고 기종점 7번(4호선 승강장)을 종점으로 하는 경우로 이 경우에는 단일 경로로 추정되었다. 경로 탐색 결과 유입통행과 유출통행에 비해 환승통행의 경우가

고, 올라오는 상황에서는 계속 올라가는 것으로 생각하여 알고리즘을 통한 경로 탐색 시 보행자 행태를 적용하였다(〈그림 2〉 참조).

3. 대안경로 탐색 결과

K-Path 알고리즘을 통해 앞서 언급한 경로의 조건에 부합하는 기종점별 경로 탐색 결과 대안경로가 가장

이용 가능한 경로수가 적음을 알 수 있었다.

보행행태 조사를 통해 나온 기종점별 실제 이용 경로수와 K-Path 알고리즘을 통해 분석된 기종점별 이용 가능 경로수를 비교해보면 〈표 4〉와 같다. 전체 158개의 경로 중 56개의 경로만이 이용되고 있었다. 환승통행 경로의 경우 실제 이용경로수와 알고리즘 탐색을 통해 나온 이용 가능 경로수가 일치하였으나 나머지 유입통행과 유출통행의 경우 실제 이용경

표 4_ 기종점별 이용경로수 및 이용 가능 경로수

(단위: 개)

기점 \ 종점	1	2	3	4	5	6	7	합계
1	-	-	-	-	1/4	2/3	2/12	5/19
2	-	-	-	-	2/4	2/3	1/12	5/19
3	-	-	-	-	1/4	1/3	4/12	6/19
4	-	-	-	-	2/4	3/3	1/12	6/19
5	3/4	2/4	2/4	3/4	-	-	1/1	11/17
6	2/3	2/3	2/3	2/3	-	-	2/2	10/14
7	1/12	3/12	5/12	1/12	1/1	2/2	-	13/51
합계	6/19	7/19	9/19	6/19	7/17	10/14	11/51	56/158

주: 실제 이용경로수(조사자료) / 이용 가능 경로수(K-Path 알고리즘).

표 5_ 선택 경로와 미선택 경로의 비교

구분	실제 이용경로 (조사자료)	이용하지 않는 경로	전체 경로
개수(개)	56	102	158
평균 경로거리(m)	157.45	295.97	246.87

로수와 이용 가능 경로수의 차이가 존재하였다. 특히, 기종점 2번을 기점으로 하고 기종점 7번을 종점으로 하는 경우는 이용 가능한 경로가 12개임에도 불구하고 모든 이용자들이 하나의 경로를 이용하는 현상을 보였다.

V. 이용경로 거리 임계값 분석

1. 이용자 선택 경로와 미선택 경로 분석

본 분석을 통해 실제 이용자들이 이용한 경로수와 경로 탐색 알고리즘을 통해 도출된 이용 가능 경로수 사이에는 큰 차이가 있음을 알 수 있었다. 이에 보행자 경로 선택 시 가장 중요한 이동 거리를 중심으로 이용자들이 선택하는 경로와 선택하지 않은 경로의 특징을 살펴보았다(표 5) 참조).

조사자료에서 이용자들이 선택한 경로의 평균 경로거리와 K-Path 알고리즘에서 도출한 이용 가능한 경로 중 이용자들이 선택하지 않은 경로의 평균 경로거리를 비교해보면 선택 경로는 157.45m, 미선택 경로는 295.97m로 분석되었다. 전체 경로의 평균 경로거리가 246.87m인 것에 비해 평균 선택 경로거리는 약 90m 정도 짧게 나오고 평균 미선택 경로거리는 약 45m 정도 길게 나왔음을 알 수 있었다. 선택 경로들과 미선택 경로들의 거리 차이는 이용 가능 경로를 경로거리 기준으로 오름

차순 정렬을 한 뒤 선택 경로와 미선택 경로를 구분지어 나타낸 <그림 3>을 보면 더 분명하게 알 수 있다. 100m를 기준으로 경로거리가 100m를 넘어가게 되면 대부분 미선택 경로가 차지하고 있고, 경로거리가 100m를 넘지 않으면 대부분 선택 경로가 차지한다. 이러한 분석을 통해 이용자들은 짧은 거리의 경로를 선호함을 알 수 있었다.

이번에는 이용자 선택 경로와 미선택 경로를 기종점별로 분석해보았다. <표 6>과 같이 기종점 세트별로 번호를 매긴 뒤 기종점별로 이용 가능 경로 중 조사자료에서 이용자가 선택한 경로와 선택하지 않는 경로를 나누어서 분석해 보았다. 기종점별 분석 결과 역시 선택 경로가 미선택 경로에 비하여 거리가 짧음을 알 수 있었다. 또한 28개의 기종점 세트 중 27개의 기종점 세트가 최단거리 경로를 이용하였다. 기종점별로 두 가지 이상의 경로가 선택된 경우에는 최단경

그림 3_ 이용 가능 경로거리(오름차순 정리)

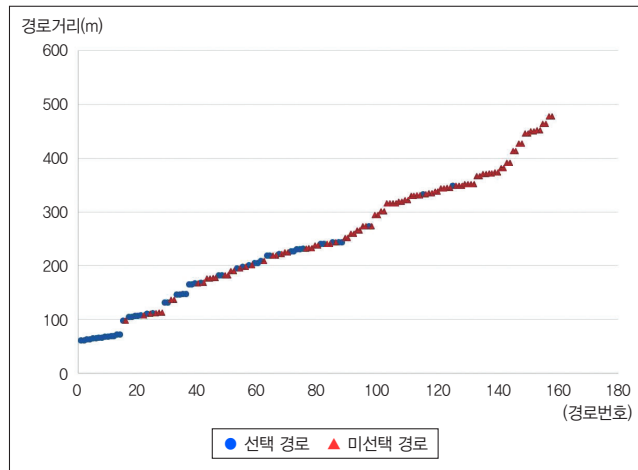
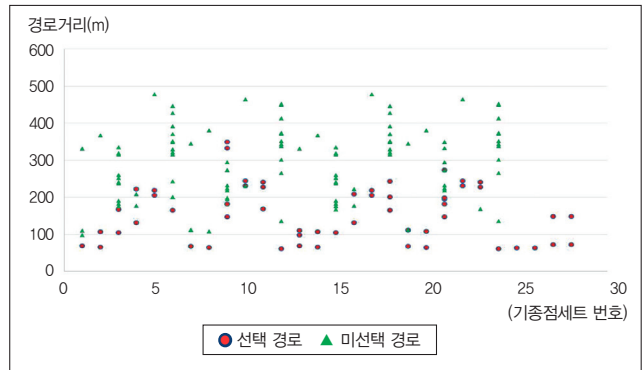


표 6_ 기종점별 세트 번호

기점 \ 종점	1	2	3	4	5	6	7
1	-	-	-	-	1	2	3
2	-	-	-	-	4	5	6
3	-	-	-	-	7	8	9
4	-	-	-	-	10	11	12
5	12	13	14	15	-	-	24
6	16	17	18	19	-	-	26
7	20	21	22	23	25	27	-

로뿐만 아니라 두 번째 최단경로 역시 모두 이용하고 있었다. <그림 3>의 선택 경로거리 분석과 <그림 4>의 기종점별 선택 경로 분석을 통해 역사 내 이용자들의 경로 선택 시 가장 중요한 요인 중 하나가 경로거리이며 이용자들이 대안경로 중 최단 경로를 선택하는 경향이 있음을 알 수 있었다.

그림 4_ 기종점별 선택 경로와 미선택 경로 비교



2. 최단경로 선택 분석

앞서 선택 경로 분석을 통해 이용자들이 최단경로를 선택하는 경향을 보이는 것을 알 수 있었다. 이에 조사자료를 바탕으로 이용자들의 최단경로를 중심으로 이용자 선택 행위에 대하여 분석을 실시하였다. 분석에 앞서 기종점별로 선택할 수 있는 경로가 한 개 뿐인 경우에는 모든 이용자가 최단경로를 선택하기 때문에 이때 최단경로의 선택 확률이 과대 추정될 수 있다. 따라서 기종점별로 선택할 수 있는 경로가 두 가지 이상인 경로에 한에서만 분석을 하였다.

기종점 5번(2호선 방배역 방면 승강장)을 기점으로 하고 기종점 7번을 종점으로 하거나, 반대로 기종점 7번(4호선 승강장)을 기점으로 하고 기종점 5번을

종점으로 하는 기종점 세트 번호 24번과 25번은 선택 가능 경로가 <그림 5>와 같이 한 가지뿐이므로 최단 경로 선택 분석에서 제외하였다.

사당역은 혼잡 완화의 방안으로 환승통로 길이를 가변적으로 조절한다. 유동량이 많은 첨두시(07:30~09:00, 18:00~19:30)에는 환승통로 길이를 길게 하여 혼잡을 낮추고 유동량이 적은 비첨두시에는 환승통로 길이를 줄이는 방식으로 운영되고 있다.

이러한 운영방식으로 첨두시(07:30~09:00, 18:00~19:30)와 비첨두시에 이용할 수 있는 경로가 달라진다.

특히 기종점 6번(2호선 낙성대역 방면 승강장)을 기점으로 하고 기종점 7번(4호선 승강장)을 종점으

그림 5_ 기종점 세트 24번과 25번의 선택 가능 경로

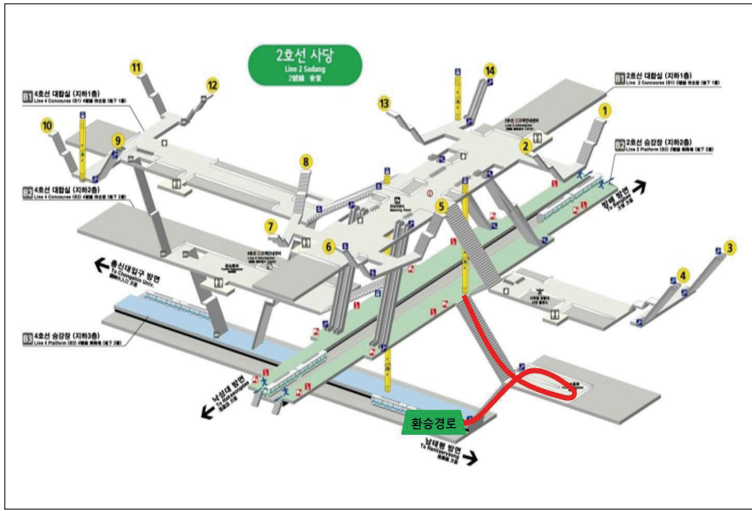
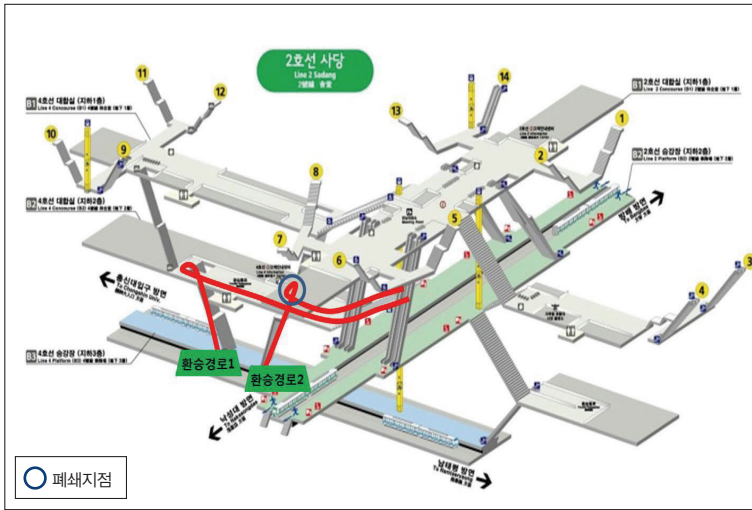


그림 6_ 기종점 세트 26번과 27번의 선택 가능 경로



로 하거나, 반대로 기종점 7번을 기점으로 하고 기종점 6번을 종점으로 하는 기종점 세트번호 26번과 27번은 첨두시 통행의 유무에 따라 선택할 수 있는 경로가 한 가지 혹은 두 가지가 된다.

비첨두시에는 <그림 6>에 나타나는 환승경로 1과 환승경로 2 모두를 사용할 수 있다. 하지만 첨두시 (07:30~09:00, 18:00~19:30)의 경우 통로를 폐쇄하기 때문에 환승경로 2는 사용할 수 없고 환승경로

1이 유일한 환승경로가 된다.

선택 가능한 경로가 단일 경로인 경우 분석에서 제외시켜야 하기 때문에 첨두시 (07:30~09:00, 18:00~19:30) 기종점 세트 26번과 27번을 이용한 이용자도 최단경로 선택 분석에서 제외시켰다. 따라서 기존 387개의 샘플 중 선택 가능 경로가 두 가지 이상인 276개의 샘플을 가지고 최단 경로 선택 분석을 하였다.

276개의 이용자의 선택 경로거리는 평균 121.1m이고, 276명 중 200명이 최단경로를 선택하였으며 그 비율은 약 72.5%로 분석되었다.

이때 기종점을 확장하여 경로거리에 승강장 이동거리를 포함시키게 되면 최단경로 선택 비율이 달라짐을 알 수 있었다.

기존 기종점은 유입통행의 경우 목적지로 하는 승강장에 도착하게 되면, 즉 승강장에 도착하는 순간까지를 경

로로 보았고 유출통행의 경우는 승강장에서 나가는 순간부터 경로로 보았다. 따라서 객차 승하차 위치에서 승강장 입·출입까지 승강장에서 이동하는 거리는 경로에 포함시키지 않았다.

한편, <그림 7>과 같이 객차의 탑승 위치까지 기종점을 확장하여 승강장 이동거리를 경로거리에 포함시키고 최단경로를 선택 분석한 뒤 기종점 확장 전과 비교해보았다.

그림 7_기종점 확장 및 승강장 이동거리

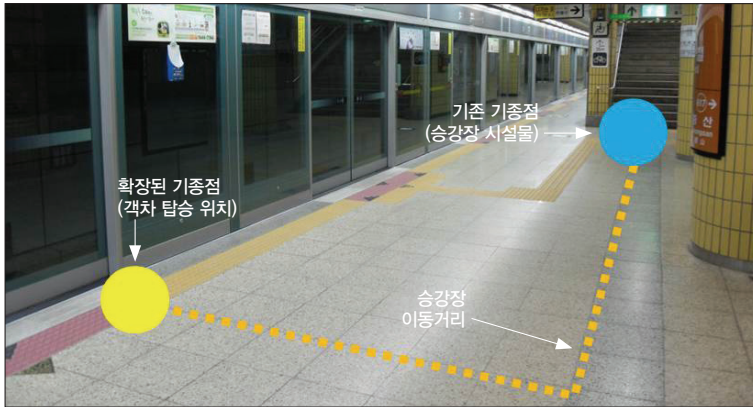
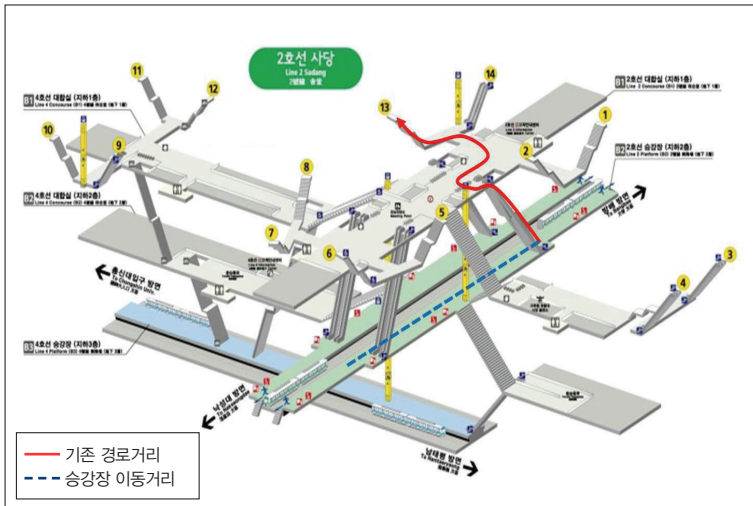


표 7_기종점 확장 전후 비교

구분	기종점 확장 전	기종점 확장 후
샘플수(개)	276	276
선택 경로거리 평균(m)	121.1	147.2
선택 경로거리 분산(m)	67.9	73.1
최단경로 선택 샘플수(개)	200	224
최단경로 선택 비율(%)	72.50	82.10

그림 8_기종점 확장 및 승강장 이동거리(경로 예시 1)



〈표 7〉에서 기종점을 확장하게 되면 승강장 이동거리가 추가적으로 포함되기 때문에 선택 경로거리

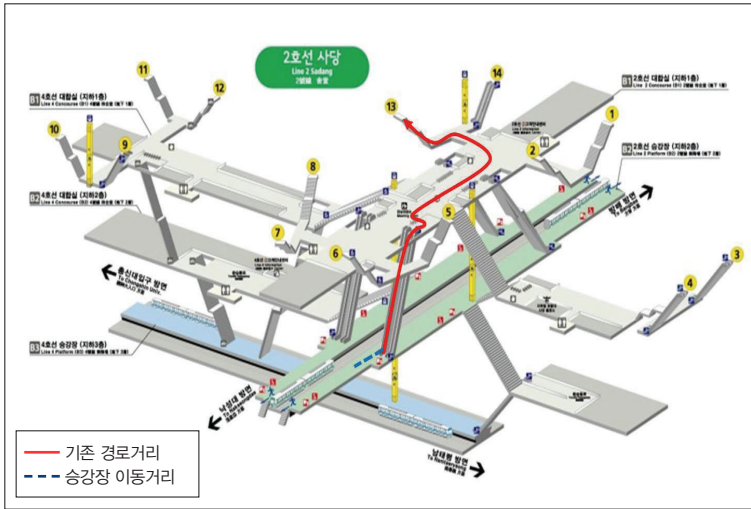
후로 최단경로 선택이 54.5%에서 75.8%로 변하는 큰 차이를 보였다. 이는 사람들이 최단거리로 가려

의 평균값이 약 25m 정도 증가하였다. 기종점 확장 후 최단경로 선택 샘플수가 기존 200개에서 224개로 증가하였고, 이에 따라 최단경로 선택 비율이 72.5%에서 82.1%로 증가하였다.

기종점 확장 시 최단경로 변화 예시를 보면, 〈그림 8〉의 경우 기존 경로거리가 81.6m이고 승강장 이동거리가 115m이며, 총 이동거리는 196.6m다. 〈그림 9〉의 경우 기존 경로거리는 120.2m이고 승강장 이동거리가 15m이며 총 이동거리는 135.2m다. 기종점 확장 전의 경우 즉, 기존 경로거리만을 비교하였을 때 〈그림 8〉의 경로는 81.6m, 〈그림 9〉의 경로는 120.2m이기 때문에 최단경로는 〈그림 8〉의 경로가 된다. 하지만 기종점을 확장하여 승강장 이동거리를 포함하게 되면 〈그림 8〉의 이동거리는 196.6m이고 〈그림 9〉의 이동거리는 135.2m이므로 최단경로는 〈그림 9〉가 된다.

통행 유형별 기종점 확장 전후 최단경로 선택을 분석한 〈표 8〉과 〈표 9〉를 보면 유출 통행의 경우 기종점 확장 전

그림 9_ 기종점 확장 및 승강장 이동거리(경로 예시 2)



고 한다고 가정을 할 때 승강장 이동거리는 유출통행의 경우 경로 선택에 중요한 요소이기 때문에 기종점 확장 전후로 최단경로 선택 비율의 차이가 난 것으로 보인다. 통행 유형별로는 유입통행이 최단거리 선택 확률이 가장 높았고 유출통행이 최단거리 선택

비율이 가장 낮은 것으로 나타났다. 사람들이 최단거리로 가려고 한다고 가정할 때 지하층에서 시작하는 유출통행의 경우 지상 층에서 시작하는 유입통행의 경우보다 이용자들이 방향이나 거리에 대한 인지력이 떨어지기 때문에 최단거리 선택 비율이 낮은 것으로 판단된다.

마지막으로 이용자 선택 경로와 최단경로의 거리 차이를 분석해 보았다. <표 10>에

표 8_ 통행 유형별 최단경로 선택(기종점 확장 전)

구분	유입통행	유출통행	환승	전체
샘플수(개)	140	99	37	276
평균(m)	118.8	136.8	87.8	121.1
분산(m)	70.9	69	31.6	67.9
최단거리 선택 샘플수(개)	117	54	29	200
최단거리 선택 비율(%)	83.60	54.50	78.40	72.50

표 9_ 통행 유형별 최단경로 선택(기종점 확장 후)

구분	유입통행	유출통행	환승	전체
샘플수(개)	140	99	37	276
평균(m)	142.7	157.3	136.7	147.2
분산(m)	77.4	74.1	47.2	73.0
최단거리 선택 샘플수(개)	120	75	29	224
최단거리 선택 비율(%)	85.7	75.8	78.4	81.2

표 10_ 이용자별 선택 경로와 최단경로 거리 차이(기종점 확장 후)

계급(m)	빈도수(명)	비율(%)	누적빈도수(명)	누적 비율(%)
0	224	81,2	224	81,2
0~25	17	6,2	241	87,3
25~50	18	6,5	259	93,8
50~75	8	2,9	267	96,7
75~100	2	0,7	269	97,5
100~125	0	0	269	97,5
125~150	3	1,1	272	98,6
150~175	3	1,1	275	99,6
175~200	0	0	275	99,6
200~225	1	0,4	276	100

최단경로를 이용하지 않는 사람들은 대부분 역사 이용 빈도가 낮았는데, 이들은 역사 구조를 잘 모르는 사람과 화장실 및 편의시설 이용자들로 나타났다.

선택 경로와 최단경로의 거리 차이를 분석한 결과 역사 이용자들은 최단경로를 선택하지 않더라도 대부분 최단경로와 거리 차이가 작은 경로를 선택함을 알 수 있었다. 즉, 역사 내 이용자들이 선택하는 경로는 최단경로와 어느 정도 이상 거리 차이가 나게 되면 해당 경로를 선택하지 않음을 알 수 있었다. 이에 최단경로와 거리 차이가 어느 정도 이상이 되면 선택하지 않는지 확률효용모형을 통해 임계값 분석을 실시하였다.

3. 확률효용모형을 이용한 임계값 추정

확률효용모형은 효용이 확률함수임을 가정하며, 의사결정 주체는 가장 높은 효용을 가진 대안을 선택한다고 가정한다. 확률효용이론에 의하면 일반적으로 선택 대안들의 실제적인 총효용은 분석자에게 확실하게 알려지지 않는다. 이러한 관점에서 어떤 대안의 총 효용은 결정적 효용과 확률적 효용의 두 가지 요소로 구분된다. 여기서 결정적 효용은 관측 가능한

효용의 요소를 말하며, 확률적 효용은 관측할 수 없는 효용의 요소를 말한다(윤대식, 윤성순 2004, 296).

$$U_{in} = V_{in} + \epsilon_{in} \quad \langle \text{식 1} \rangle$$

U_{in} : 개인 n 을 위한 대안 i 의 총효용

V_{in} : 개인 n 을 위한 대안 i 의 결정적 효용요소

ϵ_{in} : 개인 n 을 위한 대안 i 의 확률적 효용요소

본 논문에서는 확률적 효용을 Gumbel 분포로 가정하는 로짓모형을 사용하였다. 통행거리를 단일 변수로 하는 효용함수식을 만들고 이상치와 결측값을 제외한 데이터를 가지고 파라미터 값을 추정하였다. 그 후 Gumbel 분포의 누적확률분포 함수에서 90%, 95%, 99%에 해당하는 거리를 추정하는 방식으로 선택 경로의 최단경로와의 거리 차이 임계값을 추정하였다(그림 10) 참조).

$$\text{효용함수식: } U = \beta_1 * \text{Length} \quad \langle \text{식 2} \rangle$$

임계값 추정 결과 기종점 확장 전에는 90%의 확률로 최단경로와 74.66m 이상 차이가 나게 되면 해

그림 10_ Gumbel 분포의 누적확률함수

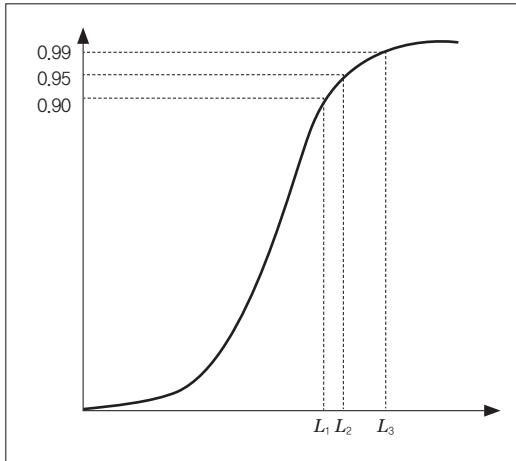


표 11_ 선택 경로와 최단경로 차이 임계값 추정 결과

구분	기종점 확장 전	기종점 확장 후
99%(L_3)	156.14m	120.64m
95%(L_2)	100.05m	77.3m
90%(L_1)	74.66m	57.69m
β_1	-0.0294	-0.0381
ρ^2	0.5	0.73

당 경로를 이용하지 않고, 95%의 확률로 100.05m 이상 차이가 나게 되면 해당 경로를 이용하지 않으며, 99%의 확률로 156.14m 이상 차이가 나게 되면 해

당 경로를 이용하지 않는다는 결과를 얻을 수 있었다 (<표 11> 참조).

기종점 확장 후에는 90%의 확률로 최단경로와 57.69m 이상 차이가 나게 되면 해당 경로를 이용하지 않고, 95%의 확률로 77.3m 이상 차이가 나게 되면 해당 경로를 이용하지 않으며, 99%의 확률로 120.64m 이상 차이가 나게 되면 해당 경로를 이용하지 않는 결과를 얻을 수 있었다.

VI. 거리 기반 경로 선택 로짓모형 추정

1. 최단경로 거리 차이 임계값을 적용한 대안경로 설정

K-Path 알고리즘을 통해 추정한 대안경로군 중에서 이용자 선택 경로와 최단경로 거리차이 임계값을 적용하여 대안 경로를 다시 설정하였다. 각 기종점별 대안 경로에서 최단경로와 100.5m(기종점 확장 전 95% 임계값) 이상 차이가 나는 경로를 대안경로군에서 제외시켰다. 적용 결과 158개의 경로 중 약 50%인 84개의 경로만이 유의한 경로로 판별되었다.

확률적 선택모형을 통해 통행 배분을 할 경우 모든 대안경로에 통행량이 배분된다. 따라서 실제로는

표 12_ 임계값 적용 전·후 대안경로수

기점 \ 종점	종점							합계
	1	2	3	4	5	6	7	
1	-	-	-	-	3/4	2/3	5/12	10/19
2	-	-	-	-	4/4	2/3	3/12	9/19
3	-	-	-	-	3/4	2/3	7/12	12/19
4	-	-	-	-	3/4	3/3	2/12	8/19
5	3/4	4/4	3/4	3/4	-	-	1/1	14/17
6	2/3	2/3	2/3	3/3	-	-	2/2	11/14
7	5/12	3/12	7/12	2/12	1/1	2/2	-	20/51
합계	10/19	9/19	12/19	8/19	14/17	11/14	20/51	84/158

주: 임계값 적용 후 대안 경로수 / 임계값 적용 전 대안경로수.

사람들이 선택하지 않는 경로를 대안경로에 포함하여 분석을 하게 되면 선택하지 않는 경로에도 통행량이 배분이 되어 모델의 예측력이 떨어지게 된다. 그렇기 때문에 본 논문에서는 대안경로와 최단경로의 임계값을 적용하여 대안경로를 재설정하고 선택 가능성이 거의 없는 경로는 대안경로에서 제외시켰다 (<표 12> 참조).

2. 변수 설정

종속변수는 기종점이 같은 경로 중 이용자들이 선택한 경로이고 총 10가지의 독립변수를 유입통행, 유출통행, 환승통행에 따라 구분하여 모형을 구축하였다.

유입통행 시에만 적용되는 변수는 $Factor_{1in} \sim$

$Factor_{4in}$ 까지 총 네 가지로

이루어져 있다. $Factor_{1in}$ 은

유입통행 시 출입구에서 개찰구까지의 이동거리로 <그림 11>과 같다. $Factor_{2in}$ 은 유

입통행 시 이동경로 중에 환승통로의 이용 유무를 나타

내는 더미변수다. $Factor_{3in}$ 은 유입통행 시 탑승 위치 선택요인 1을 선택한 사람들이

승강장 시설물에서 객차까지 이동거리를 나타내는 변수다. 탑승 위치 선택요인은 <그림 12>와 같이 지하철 탑승 위치

를 선택할 때 하차역에서 출

구로 가기 위해 가장 가까운

위치를 고려하여 탑승 위치를

선택하는 사람이다. 객차에서

승강장 시설물까지의 이동거리는 승강장 이동거리를 의미

하며 <그림 13>과 같다. $Factor_{4in}$ 은 유입통행 시 탑승 위치 선택요인 1을 선택하지 않은 사람들이 승강장 시설물에서 객차까지 이동거리를 나타낸다. 탑승 위치 선택요인 1을 선택하지 않는 사람들은 <그림 12>에서 선택요인 2, 선택요인 3, 선택요인 4, 선택요인 5를 선택한 사람들이다.

유출통행 시에만 적용되는 변수는 $Factor_{5out} \sim$

$Factor_{8out}$ 총 네 가지로 이루어져 있다. $Factor_{5out}$ 은 유출통행 시 객차에서 승강장까지의 이동거리이고, $Factor_{6out}$ 은 유출통행 시 이동경로 중에 환승통로의 이용 유무를 나타내는 더미변수다. $Factor_{7out}$ 은 유출통행 시 탑승 위치 선택요인 1을 선택한 사람들이 승강장 시설물에서 객차까지 이동한 거리를 나타내는 변수이며, $Factor_{8out}$ 은 유출통행 시 탑승 위

그림 11_ 출입구에서 개찰구까지의 이동거리

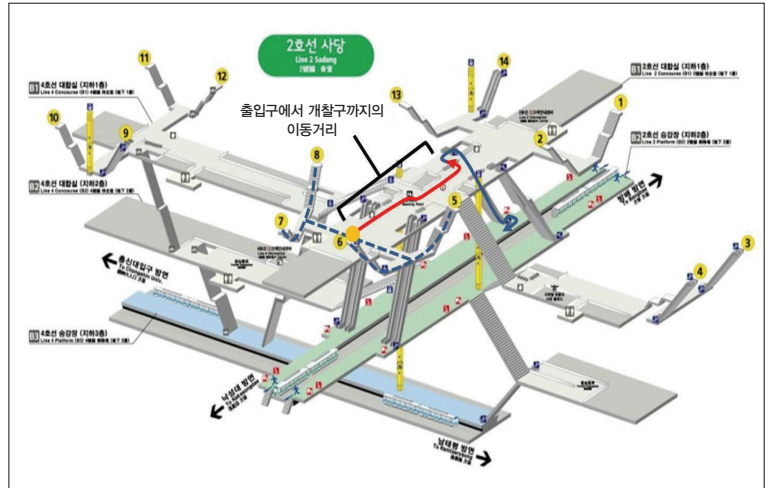


그림 12_ 탑승 위치 선택요인 1

Q3. 귀하께서 지하철 탑승 위치를 선정하는 요인 중에서 중요한 순서대로 모두 고르시오.

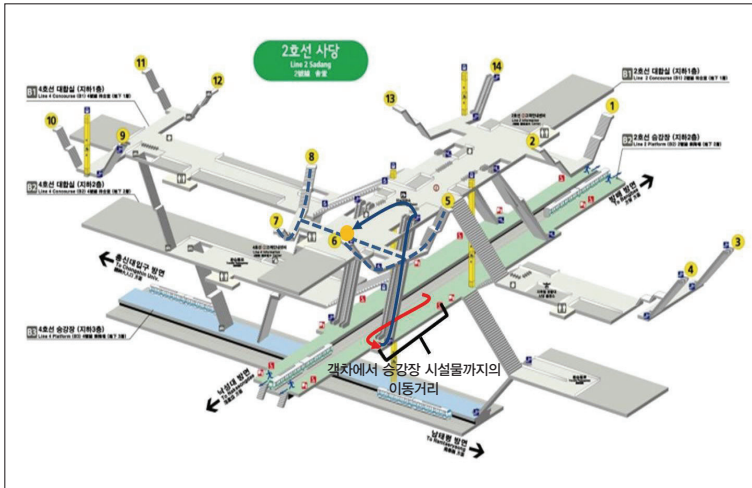


<탑승 위치 예시>

- ① 하차역에서 출구로 가기 위해 가장 가까운 위치(혹은 빠른 환승 위치)
- ② 승차역에서 승강장 계단(에스컬레이터)으로부터 가까운 위치
- ③ 대기 인원이 적은 위치
- ④ 탑승 시 혼잡이 적을 것 같은 객차 위치
- ⑤ 고려 안 함

순서 : 1. 2. 3. 4. 5.

그림 13_ 객차에서 승강장 시설물까지의 이동거리



치 선택요인 1을 선택하지 않은 사람들이 승강장 시설물에서 객차까지 이동한 거리를 나타낸다.

환승통행 시에만 적용되는 변수는 $Factor_{9tran}$ 으로 승강장에서 승강장으로 이동하는 거리를 의미한다.

$Factor_{10in, out}$ 은 유출, 유입통행 시 모두 적용되는 변수로 침두시 이동경로 중에 환승통로 이용 유무를 나타내는 더미변수다. 10가지 변수를 정리하면 <표 13>과 같다.

3. 모형 추정 결과

로짓모형을 이용하여 경로 선택 시 각 변수들의 영향력을 파라미터 값을 통해 추정해 보았다. 효용함수식은 <식 3>과 같다.

$$\begin{aligned}
 U = & \beta_1 * Factor_{in} + \beta_2 * Factor_{in} + \beta_3 * Factor_{in} \\
 & + \beta_4 * Factor_{in} + \beta_5 * Factor_{out} + \beta_6 * Factor_{out} \\
 & + \beta_7 * Factor_{out} + \beta_8 * Factor_{out} + \beta_9 * Factor_{tran} \\
 & + \beta_{10} * Factor_{in, out} \quad \langle \text{식 3} \rangle
 \end{aligned}$$

모형 추정 결과 <표 14>와 같이 모든 파라미터들이 유의한 변수로 추정되었다.

결과를 보게 되면 유입통행 시 출입구에서 객차까지 거리가 멀수록 해당 경로를 선택할 확률이 줄어들고 환승통로 링크를 사용하지 않는 경로를 선호하였다. 탑승 위치 선택요인 1(하차역에서 출구로 가기 위해 가장 가까운 위치를 고려하여 탑승 위치 선택)을 선택한 사람들이

그렇지 않은 사람들보다 승강장에서 이동거리에 대한 저항도가 더 낮음을 알 수 있었다.

이는 선택요인 1을 선택한 사람들이 특정 탑승 위치의 선호도가 높으므로 승강장 도착 후에 특정 선택요인 1(하차역에서 출구로 가기 위해 가장 가까운 위치를 고려하여 탑승 위치 선택)을 선택한 사람들이 그렇지 않은 사람들보다 승강장에서 이동거리에 대한 저항도가 더 낮을 것을 알 수 있었다. 하지만 그 차이가 유입통행보다 작았다. 단위를 생각해 보면 유출통행 시 객차에서 승강장까지 이동거리가 유출통행 시 경로 선택에 가장 큰 영향을 줄 것으로 판단된다.

유출통행 시에는 객차에서 승강장까지의 이동거리, 즉 승강장 이동거리가 멀수록 해당 경로를 선택할 확률이 줄어들고 환승통로 링크를 사용하지 않는 경로를 선호하였다. 유입통행과 마찬가지로 탑승 위치 선택요인 1(하차역에서 출구로 가기 위해 가장 가까운 위치를 고려하여 탑승 위치 선택)을 선택한 사람들이 그렇지 않은 사람들보다 승강장에서 이동거리에 대한 저항도가 더 낮을 것을 알 수 있었다. 하지만 그 차이가 유입통행보다 작았다. 단위를 생각해 보면 유출통행 시 객차에서 승강장까지 이동거리가 유출통행 시 경로 선택에 가장 큰 영향을 줄 것으로 판단된다.

또한 환승통행 시에는 승강장에서 승강장까지

표 13_ 변수 설명

구분	변수명	변수 설명
유입통행	<i>Factor1_{in}</i>	유입통행 시 출입구에서 개찰구까지의 이동거리
	<i>Factor2_{in}</i>	유입통행 시 경로상 환승통로 링크 이용 유무
	<i>Factor3_{in}</i>	유입통행 시 탑승 위치 선택요인 1을 선택한 사람들이 승강장 시설물에서 객차까지 이동한 거리
	<i>Factor4_{in}</i>	유입통행 시 탑승 위치 선택요인 1을 선택하지 않은 사람들이 승강장 시설물에서 객차까지 이동한 거리
유출통행	<i>Factor5_{out}</i>	유출통행 시 객차에서 승강장까지의 이동거리
	<i>Factor6_{out}</i>	유출통행 시 환승통로 이용 유무
	<i>Factor7_{out}</i>	유출통행 시 탑승 위치 선택요인 1을 선택한 사람들이 승강장 시설물에서 객차까지 이동한 거리
	<i>Factor8_{out}</i>	유출통행 시 탑승 위치 선택요인 1을 선택하지 않은 사람들이 승강장 시설물에서 객차까지 이동한 거리
환승통행	<i>Factor9_{tran}</i>	환승통행 시 승강장에서 승강장까지의 이동거리
유입, 유출통행	<i>Factor10_{in, out}</i>	첨두시 경로상 승강장과 환승통로 링크를 이용하지 않는 경로 유무

표 14_ 모형 추정 결과

Parameter	변수 설명	Coefficient	P-Value
β_1	유입통행 시 출입구에서 개찰구까지의 이동거리	-0,0289***	0,000
β_2	유입통행 시 경로상 환승통로 링크 이용 유무	-3,2720***	0,000
β_3	유입통행 시 탑승 위치 선택요인 1을 선택한 사람들이 승강장 시설물에서 객차까지 이동한 거리	-0,0202**	0,029
β_4	유입통행 시 탑승 위치 선택요인 1을 선택하지 않은 사람들이 승강장 시설물에서 객차까지 이동한 거리	-0,0476***	0,001
β_5	유출통행 시 객차에서 승강장까지의 이동거리	-0,0352***	0,000
β_6	유출통행 시 환승통로 이용 유무	-0,9164*	0,087
β_7	유출통행 시 탑승 위치 선택요인 1을 선택한 사람들이 승강장 시설물에서 객차까지 이동한 거리	-0,0165**	0,042
β_8	유출통행 시 탑승 위치 선택요인 1을 선택하지 않은 사람들이 승강장 시설물에서 객차까지 이동한 거리	-0,0176**	0,016
β_9	환승통행 시 승강장에서 승강장까지의 이동거리	-0,0170***	0,001
β_{10}	첨두 시 경로상 승강장과 환승통로 링크를 이용하지 않는 경로 유무	2,3102**	0,034

주: 1) $\rho^2 = 0.403$.

2) *, **, ***는 각각 10%, 5%, 1% 수준에서 유의함.

의 이동거리가 짧을수록 해당 경로를 선호하는 것으로 나타났다. 마지막으로 유입유출 통행 모두 경로 상 환승통로 링크를 이용하지 않는 경로를 선호함을 알 수 있었다. 환승통행 역시 환승통행 거리가 환승 통행 시 경로 선택에 가장 큰 영향을 줄 것으로 판단 된다.

VII. 결론

본 논문은 지하철 역사 이용자들의 보행행태 분석 연구의 일환으로 보행자 경로 선택에 관한 분석을 실시 하였다. 해당역을 대상으로 이용자 추적조사를 실시 하고 K-Path 알고리즘을 활용하여 이용 가능 경로(대안경로)를 탐색한 뒤 조사자료 분석을 통해 최단경로와 이용경로에 대한 분석을 실시하였으며 마지막으로 경로 선택 모델을 추정하였다.

분석에 앞서 역사 내 통행과 경로에 대한 연구 정의를 한 뒤 K-Path 알고리즘과 여섯 가지 경로 탐색 제약 조건을 통해 해당역사 내 이용 가능 경로를 탐색하였다. K-Path 알고리즘을 통해 탐색한 이용 가능 경로와 해당역 추적 조사 자료의 실제 이용객 선택 경로를 비교한 결과 이용자의 선택 경로는 이용 가능 경로 중 소수만을 이용하고 있었다. 이러한 현상의 원인을 찾고자 이용자 선택 경로에 대한 분석을 실시하였다. 선택 경로 분석 결과 선택 경로들은 대부분 거리가 짧은 경로들이 선택되었다. 특히 기종점 확장 시에는 81.2%의 이용자들이 기종점별 최단경로를 이용하였다. 흥미로운 결과는 최단경로를 사용하지 않은 사람들 대다수가 최단경로와 75m 이내의 경로를 사용하였다는 것이다. 선택 경로가 최단경로와 거리 차이 75m 이내에 몰려 있는 것을 파악한 뒤 최단경로와 대안경로의 거리 차이가 이용자 선택에 어떠한 영향을 주는 지 알아보기 위해 확률효용모형을 이용하여 최단거리와 대안경로 거리 차이의 임계값 분석을 실시하였다.

분석 결과, 기종점 확장 후 95%의 확률로 77.3m 이상 차이가 나게 되면 해당 경로를 선택하지 않은 것으로 파악되었다. K-Path 알고리즘을 통해 탐색한 대안경로에서 최단거리와 대안경로의 거리 차이 임계값을 적용하여 대안경로를 다시 탐색하였고 이를 바탕으로 경로 선택 로짓모형을 추정하였다.

지하철 역사 내 경로 선택 문제는 다른 선행연구와 마찬가지로 이동거리에 가장 큰 영향을 받았다. 다른 지역의 보행경로 선택 문제를 보면 상업시설에서는 판매시설의 위치와 입지(최윤경, 권영환 2003), 또 다른 상업시설 경로 선택(Kurose, Borgers and Timmermans 2001)에서는 흥밋거리가 많은 경로, 주거지에서는 익숙도, 조명(이인성, 김현옥 1998) 등 경로 선택에 영향을 주는 요소들이 있었지만 지하철 역사 내 경로 선택은 다른 요소의 영향력은 미미하고 이동거리가 가장 중요한 단일 요소로 생각되며 최단경로 선택 비율이 굉장히 높았다.

본 논문에서는 역사 내 경로 선택 문제는 출입구에서 승강장까지의 거리와 같이 특정 구간 거리에 대한 가중치가 다르며 객차 위치 선택요인과 같은 역사 이용자의 특성에 따라서도 특정 구간의 거리에 대한 가중치가 다르게 나타난다는 시사점을 도출하였다.

역사 이용자들은 최단거리를 선택하는 비율이 높으므로 통행거리를 줄이면서 이용자 동선을 유도하는 것이 가장 효과적일 것으로 판단된다. 통행거리를 줄이는 방법으로는 시설 개량 및 역사 구조 개선이 있으며 이러한 방법이 역사 내 동선 유도를 통한 역사 내 혼잡을 줄이는 방안이 될 것으로 판단된다.

향후 로짓모형뿐만 아니라 다양한 관점에서도 역사 내 보행선택 행위에 대한 분석을 수행하여 보행통행의 복잡한 설명 구조를 해석할 필요가 있을 것으로 판단된다. 또한 해당역 이외의 다양한 특성을 지닌 주요 환승 역사에서도 본 논문에서 수행되었던 상세한 경로 중심의 조사가 이루어져 역사의 구조 특성에 따

른 변수를 고려하면 좀 더 정확한 모델을 추정할 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌 •••••

고준호, 김태형. 2013. 보행 경로 선택 행태 분석: 최단경로 선택 요인에 대한 해석을 중심으로. 서울도시연구 14권, 4호: 57-169.

서한림, 최이명, 박소현. 2011. 근린에서 이루어지는 주민 보행량 및 경로에 관한 실증연구: GPS를 활용한 서울 북촌의 30대, 40대 주부들의 실제 보행데이터를 기반으로. 대한건축학회 논문집 계획계 27권, 9호: 271-281.

안은희, 강석진, 이경훈. 2004. 대규모 지하 상업공간에서의 보행자의 움직임과 경로 선택 특성에 관한 연구. 대한건축학회 논문집 계획계 20권, 9호: 21-28.

윤대식, 윤성순. 2004. 도시모형론. 서울: 홍문사.

이인성, 김현옥. 1998. 도시주거지 보행 경로 선택행태에 관한 연구: GIS를 이용한 보행환경 만족도의 분석. 국토계획 33권, 5호: 117-127.

정래혁, 정진혁. 2015. 지하철 역사 내 혼잡관리를 위한 통행행태 분석: 경로 선택모델을 중심으로. 서울도시연구 16권, 2호: 203-214.

최윤경, 권영환. 2003. 도시 공간구조의 보행자 움직임에 관한 연구. 대한건축학회 논문집 계획계 19권, 1호: 89-96.

Agrawal, A. W., Schlossberg, M. and Irvin, K. 2008. How far, by which route and why? A spatial analysis of pedestrian preference. *Journal of Urban Design* 13, no.1: 81-98.

Bellman, R. E. 1957. *Dynamic Programming*. Princeton: Princeton University Press.

Borgers, A. and Timmermans, H. 1986. A model of pedestrian route choice and demand of retail facilities within inner-city shopping areas. *Geographical Analysis* 18, no.2: 115-128.

Bovy, P. H. L. and Stern, E. 1990. *Route Choice: Wayfinding in Transport Networks. Studies in Operational Regional Science*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Chong, E., Maddila, S. R. and Morley, S. T. 1995. On finding single-source single-destination k shortest paths. *Journal of Computing and Information* 1, no.2: 40-47.

Hoogendoorn, S. P. and Bovy, P. H. L. 2004. Pedestrian route-choice and activity scheduling theory and models.

Transportation Research Part B: Methodological 38, no.2: 169-190.

Kurose, S., Borgers, A. and Timmermans, H. 2001. Classifying pedestrian shopping behaviour according to implied heuristic choice rules. *Environment and Planning B: Planning and Design* 28: 405-418.

Li, Yan and Tsukaguchi, H. 2005. Relationships between network topology and pedestrian route choice behavior. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* 6: 241-248.

Marchand, B. 1974. Pedestrian traffic planning and the perception of the urban environment: A French example. *Environment and Planning* 6, no.5: 491-507.

Muraleetharan, T. and Hagiwara, T. 2007. Overall level of service of urban walking environment and its influence on pedestrian route choice behavior. *Transportation Research Record* 2002: 7-17.

Peponis, J. and Zimring, C. 1990. Finding the building in wayfinding. *Environment & Behavior* 25, no.5: 555-590.

Seneviratne, P. N. and Morrall, J. F. 1985. Analysis of the factors affecting the choice of route of pedestrians. *Transportation Planning and Technology* 10: 147-159.

Verlander, N. and Heydecker, B. 1997. Pedestrian route choice: An empirical study. *Proceedings of the PTRC European Transport Forum*: 39-50.

Wang, W., Li, P., Wang, W. and Namgung, M. 2012. Exploring determinants of pedestrians' satisfaction with sidewalk environments: Case study in Korea. *Journal of Urban Planning and Development* 138, no.2: 166-172.

서울메트로. www.seoulmetro.co.kr.

서울통계. <http://stat.seoul.go.kr>.

- 논문 접수일: 2015. 10. 6
- 심사 시작일: 2015. 10. 26
- 심사 완료일: 2016. 2. 23

요약

주제어: 경로 선택, 보행자, 추적조사, 로짓모형, 지하철 역사, K-Path 알고리즘

서울특별시 통계연보에 따르면 2014년 서울특별시 지하철은 1~9호선의 수송인원을 합하면 약 26억 명이며 서울특별시 전체 수송 부담률이 약 40%에 이르고 있다. 지하철 이용객이 증가하면서 이에 따른 역사 내 혼잡이 심각하며, 이를 해결하기 위해 많은 방안들을 모색하고 있으나 이용자들의 이동 특성 및 동선에 관한 이해가 낮고 경험에 의한 설비를 확충하고 있어 그 실효성이 저조하다. 이에 본 논문에서는 역사 이용자들의 이동 특성 및 동선에 관한 분석의 일환으로 지하철 역사 내 이용자 경로 선택에 초점을 맞추

어 연구를 진행하였다.

우선 사당역을 대상으로 이용자 추적조사를 실시하고 K-Path Algorithm을 통해 이용 가능 경로(대안 경로)를 탐색한 뒤 조사자료를 통해 최단경로와 이용 경로에 대한 분석을 실시하였으며 마지막으로 경로 선택 모델을 추정하였다.

본 논문은 실제 조사를 통해 지하철 이용자들의 행태를 파악하였다. 이를 바탕으로 역사 내 혼잡 완화를 위한 방안들 모색할 때 의사결정을 할 수 있는 기초 자료로 제공될 수 있을 것이라 기대한다.
