자료포락분석 기반의 고령자를 위한 지하철 역사 수직이동시설의 개선방안 분석

Analysis of Improvement Measures of Vertical Moving Facilities at Subway Stations for Elderly Users based on a Data Envelopment Analysis

이 은 학* · 고 승 영** · 김 동 규***

* 주저자 : 서울대학교 건설환경공학부 석박사통합과정
** 공저자 : 서울대학교 건설환경공학부, 건설환경종합연구소 교수
*** 교신저자 : 서울대학교 건설환경공학부 조교수

Eun Hak Lee* · Seoung-Young Kho** · Dong-Kyu Kim***

* Dept. of Civil and Environmental Eng., Seoul National University
** Dept. of Civil and Environmental Eng., Institute of Construction and Environmental Eng., Seoul National University
*** Dept. of Civil and Environmental Eng., Seoul National University

† Corresponding author : Dong-Kyu Kim, dongkyukim@snu.ac.kr

Vol.16 No.5(2017)
October, 2017
pp.60~71

ISSN 1738-0774(Print)
ISSN 2384-1729(On-line)
https://doi.org/10.12815/kits.2017.16.5.60

Received 28 September 2017
Revised 18 October 2017
Accepted 19 October 2017

ⓒ 2017. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

요 약

본 연구는 고령자를 위한 지하철 역사의 수직이동시설을 평가하고 개선방안을 분석하는 것을 목적으로 한다. 서울시의 통행량이 많은 31개의 지하철 역사를 평가하기 위해 자료포락분석(DEA)을 이용한다. DEA의 투입변수는 스마트카드 자료를 이용하여 수집한 고령자 통행수 및 통행비율을 포함하며, 산출변수는 엘리베이터 설치 대수와 100계단 당 에스컬레이터 설치 대수로 구성된다. 분석 결과, 31개 지하철 역사의 평균 지수는 0.62로 산출되었으며, 잠실역, 가산디지털단지역, 건대입구역, 동묘역이 가장 우수한 것으로 나타났다. 이 4개의 역사는 지수가 낮은 다른 역사들을 위한 참조 그룹으로 설정된다. 참조그룹과의 비교를 통해 각 역사의 수직이동시설을 제고하기 위한 방안들이 제안된다.

핵심어 : 고령자, 지하철 역사, 수직이동시설, 개선방안, 자료포락분석(DEA)

ABSTRACT

The purpose of this study is to evaluate vertical moving facilities at subway stations for the elderly users and to analyze their improvement measures. To evaluate vertical moving facilities of the top 31 subway stations with the most trips in Seoul, a data envelopment analysis (DEA) is employed. The input variables for the DEA include the number and percentage of elderly users, which are calculated using smart card data. the output variables consist of the number of elevators and escalators per 100 steps. The results show that the average score of 31 subway stations is 0.62 and four stations, i.e., Jamsil, Gasan Complex, Konkuk University, and Dongmyo, have the highest score. These four subway stations are set as benchmarking groups for the other stations with the lower score. Based on the comparison with the benchmarking groups, the improvement measures for vertical moving facilities of each station are suggested and discussed.

Key words : Elderly User, Subway Station, Vertical Moving Facility, Improvement Measure, Data Envelopment Analysis (DEA)

Ⅰ. 서 론

우리나라의 2017년 6월 노인인구는 약 710만명으로 총 인구에 대비 차지하는 비율이 13.8%에 이르고 있으며, 연말에는 14%를 넘어 고령사회로 진입할 예정이다. 고령화 현상은 점차 빠르게 진행되어 2025년에는 고령자 비율이 20%를 넘을 것으로 예측되어 초고령사회에 진입을 앞두고 있다. 사회적인 고령화 추세에 따라 고령자의 대중교통 이용자 수도 점차 증가할 것으로 전망된다. 2013년 한국보건사회연구원에 따르면, 고령자의 약 70%가 대중교통을 이용하는 것으로 조사되어 고령자의 통행에 있어서 대중교통의 역할이 중요한 것으로 나타났다. 향후 고령자의 대중교통 이용자 수의 증가할 것으로 예상되면서, 대중교통 이동편의에 대한 욕구도 더욱 커질 것으로 전망된다. 반면, 지하철을 이용하기 위해서는 지하로 이동해야하는 수직 이동이 불가피하기 때문에 상대적으로 신체가 쇠약한 고령자에게는 이동편의 측면에서 불리한 특징이 있다.

2005년부터 시행된 “교통약자의 이동편의증진법”에서는 고령자를 위한 시설제공 측면에서 지하철역의 에스컬레이터 및 엘리베이터 등 수직이동시설의 설치 기준을 제시하고 있다. 해당 법령은 모든 지하철 역사에 대하여 수직이동시설의 설치를 의무화하여 고령자를 포함한 교통약자의 이동편의를 증진하고 있다. 반면, 수직이동시설의 설치 기준은 지하철역의 연면적, 층수 등 공간적인 범위만을 규정하고 있으며, 서울시에서 제시하는 승강편의시설 설치기준 역시 블록 당 개소 수, 높이와 이용인구에 따른 설치 우선순위만 제시하고 있어 이상적인 설계 기준을 설정하여 분석하는 데에는 한계가 있다. 나아가 실제 이용하는 사람들의 수요를 고려하지 못함에 따라 이동편의 증진에 한계가 있다. 고령자 통행수가 많은 역사 공간이 좁게 설계되어 있다면, 이용자 대비 수직이동시설이 부족하여 이동편의를 보장받지 못하는 문제가 나타날 수 있다. 지하철역 어디에서나 이동 편의가 보장되기 위해서는 역사별 고령자 통행량 및 비율 등 고령자 이용현황에 기초한 정량적인 분석이 필요하다.

본 연구는 고령자를 위한 지하철 역사의 수직이동시설을 평가하고 개선방안을 분석하는 것을 목적으로 한다. 서울시 통행량이 많은 31개의 지하철 역사를 평가하기 위하여 자료포락분석(data envelopment analysis: DEA)을 이용한다. DEA의 투입변수는 스마트카드 자료를 이용하여 수집한 고령자 통행 수 및 통행비율을 포함하며, 산출변수는 엘리베이터 설치 대수와 100계단 당 에스컬레이터 설치 대수로 구성된다.

다음 절에서는 본 연구와 관련을 맺고 있는 기존 연구 사례들을 검토한다. 이후 본 연구에서 활용할 DEA 모형에 대한 기본 개념 및 구조를 간략히 기술한다. 이어서 본 연구에서 활용한 데이터 및 모형 구조에 대해 설명한 후, 분석 결과를 제시한다. 마지막으로 본 연구의 결과를 요약하고 향후 연구과제를 정리한다.

Ⅱ. 기존연구 고찰

고령자의 기준은 연구의 목적, 분석 자료의 특성에 따라서 상이하게 정의된다. 분야에 따라서는 신체 및 사회성을 기준으로 분류하는 등 고령자의 기준이 다양하게 정의된다. 일반적으로 고령자의 기준은 법령에서 제시하는 연령에 따라 구분된다. 통계청의 인구총조사, 사회조사, 그리고 지방지표 등에서는 60세 이상을 고령자로 구분하고 있는 반면, 경제협력개발기구(OECD)에서는 65세 이상 인구비율을 기준으로 고령화사회(Aging society), 고령사회(Aged Society), 초고령사회(Super Aged Society)로 분류하고 있다. 교통과 관련된 법률에서는 통상 만 65세를 기준으로 고령자를 분류하고 있으며, 교통약자 이동편의증진법에서도 만 65세 이상을 고령자 분류 기준으로 정의하고 있다.

고령자와 관련된 연구는 고령화 사회로 진입하는 1990년대 후반부터 시작되어 이동특성, 운전특성, 보행

편의와 교통안전 측면에서 진행되고 있다(Cho et al., 2008; Nam and Lim, 2007). 과거의 고령자 관련 연구들은 직접설문 또는 가구통행실태조사 등의 샘플자료를 활용한 분석이 주로 이루어졌다(Cho and Yun, 2002). 2004년부터는 서울시에서 자동요금징수시스템을 도입하면서 대중교통 분야의 전수데이터 기반 고령자 분석이 가능해졌다. 스마트카드 기반의 자동요금징수 시스템에서는 카드 사용 이용자를 일반, 고령, 청소년, 장애인, 국가유공자 등으로 구분하여 기록하고 있으며, 이에 고령자의 통행특성 및 이동행태와 관련된 연구들이 진행되어 왔다(Lee, 2009). 통행특성과 관련해서는 통행시간, 빈도, 거리와 관련된 요소들이 검토되었으며(Yun and Ahn, 2003; Ma and Yun, 2009), 고령자와 비고령자의 차이를 정량적 분석하여 통행특성을 설명하였다(Seo et al., 2006). 또한 고령자의 인구학적 통계, 사회경제적 특성, 토지이용유형을 고려한 연구들도 진행되었다(Choo et al., 2013).

지하철 역사의 이동편의 시설에는 에스컬레이터, 엘리베이터, 휠체어리프트, 무빙워크 등 여러 종류가 있다. 이동편의시설은 교통약자의 이동편의를 제고하기 위한 시설물로 설치되었으나, 이용자 및 설치 현황에서는 충분히 편의를 제공하지 못하고 있다. 특히 지하철역의 대표적인 수직이동시설인 엘리베이터와 에스컬레이터는 이용자의 통행에 가장 큰 영향을 미칠 수 있는 시설이다. 관련 선행연구에서는 수직이동시설이 효과적으로 이동편의를 제공할 수 있도록 역사별 설치 우선순위와 공간적 배치에 관한 연구를 진행하였다(Jung et al., 2005).

앞선 선행연구들을 검토하여 본 연구에서는 고령자를 고려한 지하철 역사의 수직이동시설 평가를 수행하였다. 고령자 연령 기준은 본 연구와 관련되어 있는 국토교통부의 교통약자 이동편의증진법과 스마트카드 자료에 기록되는 연령을 고려하여 만 65세 이상을 기준으로 분석하였다. 수직이동시설은 엘리베이터와 에스컬레이터로 설정하였다.

Ⅲ. 지하철 역사의 수직이동시설 평가 방법론

DEA는 변수간 상대적 효율성을 비교하는 분석기법으로 투입과 산출이 다수일 때, 이를 단일한 값으로 계산하여 상대적 효율성을 산출하는 방법론이다(Chames et al., 1978). 여기서 상대적 효율성이란 투입물 대비 산출물의 크기를 나타내며, 연구 목적에 따라 효율성의 지수는 효율성, 형평성, 환경성, 지속가능성 등 다양하게 정의되고 분석에 적용되었다(Barnum et al., 2008; Dash and Balachandra, 2016; Hahn et al., 2011; Hahn et al., 2017). 상대적 효율성을 측정하기 위한 대상으로 의사결정 단위(Decision Making Unit: DMU)를 설정하며, 개별 DMU 중 가장 효율성이 높은 DMU를 기준으로 효율성을 평가한다.

DEA모형에는 여러 종류의 모형이 개발되었는데, 크게는 불변규모수익(CRS: Constant Returns to Scale)의 모형과 가변규모수익(VRS: Variable Returns to Scale)모형으로 구분할 수 있다. 가장 기본적인 모형은 불변규모수익을 가정하는 CCR모형으로 역사별 효율성을 측정할 수 있는 장점이 있다. 규모수익을 가정한 이후에는 투입요소와 산출요소에 따라 투입지향 모형과 산출지향 모형으로 구분할 수 있다. 산출지향 모형은 투입요소의 수준을 유지하면서 산출을 극대화하는 효율성 측정 방법으로 산출에 초점을 맞추고 있으며, 투입지향모형은 반대로 산출요소의 수준을 유지하면서 투입을 최소화하여 효율성을 측정한다. 본 연구에서는 역사별 수직이동시설 평가를 위하여 기술효율성과 수직이동시설(산출물)의 개선 방향을 알기위하여 고령이용자(투입물)를 고정하는 산출지향 CCR 모델을 사용하였다.

투입지향 CCR모형을 수식으로 설명하면 다음과 같다. j개의 DMU가 존재할 때, DMU_j는 m개의 투입물 x_m^j와 n개의 산출물 y_n^j을 상대적으로 비교하는 선형계획법을 통하여 계산할 수 있다.

$$\theta^i = Min \sum_{m=1}^{M} v_m x_m^i \quad (1)$$

subject to.

$$\sum_{n=1}^{N} u_n y_n^j = 1$$

$$\sum_{n=1}^{N} u_n y_n^j \le \sum_{m=1}^{M} v_m x_m^j$$

$$u_n \ge 0$$

$$v_m \ge 0$$

여기서,

θ^i: 지하철 역사 i 의 효율성 추정치

x_m^j: 지하철 역사 j의 m번째 투입물(1: 엘리베이터 수, 2: 계단 100개 당 에스컬레이터 수)

y_n^j: 지하철 역사 j의 n번째 산출물(1: 고령자 통행수, 2: 고령자 통행비율)

j: 관측되는 지하철 역사의 수($j=1,2,..,31$)

u_n: n번째 *output* 변수의 가중치

v_m: m번째 *input* 변수의 가중치

N: *output* 변수의 개수($N=2$)

M: *input* 변수의 개수($M=8$)

식 (1)에서 계산되는 θ^*값은 0과 1사이로 분석되며, 추정치가 1로 나타날 때, 해당 DMU의 효율성은 100%로 해석된다. 추정치를 통해 투입변수와 산출변수별 가중치 u_n과 v_m를 얻을 수 있으며 이는 각각 변수에 대하여 다른 역사에 비해 투입물의 상대적 영향을 의미한다. 이 때 가중치의 결과해석이 중요한데, 가중치를 통해 단순 분석으로 도출될 수 없는 벤치마킹해야할 DMU를 결정하며, 이를 통해 개선이 필요한 역사들이 따라야할 참조집합(benchmarking group)을 설정할 수 있다. 또한, 개선이 필요한 역사에 대한 참조집합이 식별되면, 개선을 위하여 필요한 투입물 또는 산출물의 값을 계산할 수 있다.

Ⅳ. 변수 설정 및 자료 구축

서울시의 스마트카드 데이터는 일평균 1,500만 건의 개별통행 자료가 저장되며, 각 개별통행 자료는 38개의 항목으로 구분되어 세부 정보를 제공하고 있다. 서울시의 대중교통 체계는 요금자동징수(AFC)시스템을 도입한 이후로 100% 스마트카드 체계로 운영되고 있으며, 실제 스마트카드 이용률은 99%에 달해, 환승통행의 전수에 가까운 정보를 제공하고 있다. 현재 대중교통 시스템은 통합거리비례요금제로 운영되고 있기 때문에 이용자는 요금을 할인 받기 위해서 승하차시 단말기에 카드를 반드시 접촉해야 한다. 이러한 운영 시스템은 스마트카드 자료의 오류 또는 결측을 예방하고 정확한 요금 징수에 핵심 요소가 되고 있다.

고령자를 고려한 수직이동시설의 평가를 위해서는 고령자 통행 현황에 대한 자료 수집이 필요하다. 해당 역사의 고령자 정보를 분석하기 위하여 스마트카드 데이터를 활용하였다. 본 연구에서는 38개의 항목 중 가상카드번호, 차량ID, 승차시간, 하차시간, 승차정류장ID, 하차정류장ID, 이용자 구분코드, 수단코드 등 9개의 항목을 사용하였다. 데이터는 역사별로 고령자 통행량과 고령자 통행비율의 정보로 재가공하였다. 스마트카

드 데이터의 38개 항목은 <Table 1>과 같으며, 사용 항목에 대해서는 음영으로 표시하였다.

〈Table 1〉 Structure of Smart Card Data

No.	Data Information	No.	Data Information	No.	Data Information	No.	Data Information
1	Card ID	11	Mode Code	21	Transaction ID	31	Vehicle ID
2	Line Name	12	Company Code	22	Company Name	32	Boarding Time
3	Vehicle Number	13	Starting Time	23	Ending Time	33	Alight Stop ID
4	Boarding Stop ID	14	Boarding Location	24	Alight Time	34	User Group
5	Alighting Location	15	Number of Transfer	25	User Division	35	Boarding Violation
6	User Count	16	Boarding Fare	26	Alighting Fare	36	Zone Code
7	Violation Alighting	17	Distance	27	Total Riding Time	37	Other User Code
8	General User Code	18	Student User Code	28	Child User Code	38	Boarding time
9	Time	19	Date	29	Boarding Date		
10	Alighting Date	20	Alighting Time	30	Line ID		

〈Table 2〉 Dataset for the Analysis

DMU	Output		Input	
	E/V	100 stairs per E/S	Elderly trips	Elderly ratio
Gangnam	4	1.57	13,125	5.54
Jamsil	7	2.66	14,451	8.63
Silim	3	1	15,645	10.66
Guro Complex	3	1.8	9,930	7.32
Hongik Univ.	2	2.18	8,795	6.56
Sindorim	3	1.14	12,780	9.8
Seolleung	2	0.37	14,784	9.6
Yeoksam	4	2.46	10,649	9.36
Seoul	5	1.09	22,842	11.5
Samsung	4	0.59	9,188	6.49
Seoul Nat'l Univ.	2	1.25	14,103	12.56
Euljiro 1(il)-ga	4	0.89	8,315	7.65
Sinchon	3	1.34	10,460	9.84
Suyu	3	1.37	16,469	17.39
Yangjae	4	1.26	12,922	10.5
Gasan Complex	4	2.14	7,047	5.3
Sadang	4	2.45	16,367	9.97
Jonggak	3	1.93	9,810	11.12
Express Terminal	4	3.06	17,117	12.02
Univ. of Education	4	0.28	15,474	12.56
Gangbyeon	2	0	8,689	9.57
Konkuk University	1	2.99	9,525	7.86
Myeong-dong	0	0.71	4,905	6.66
Yeonsinnae	2	1.47	7,684	10.82
Hyehwa	4	1.75	8,568	9.77
Chungmuro	3	0.8	9,126	11.34
Gwanghwamun	1	0.83	5,560	7.37
Apgujeong	3	1.33	10,015	12.21
Dongmyo	7	2.01	10,768	29.67
Nambu Terminal	3	0.41	7,685	10.82
Nowon	4	1.69	13,888	14.44

분석의 대상은 스마트카드 자료를 이용하여 통행량 기준 상위 31개 역사로 설정하였다. 분석대상 31개의 역사를 통행한 개별 스마트카드 데이터로 전체 통행수를 파악하였으며, 이용자구분코드 항목을 이용하여 고령자 통행수 정보를 추출하였다. 고령자 통행비율은 전체 통행수 대비 고령자 통행수의 비율로 계산하였다. 고령자 통행수와 비율을 동시에 고려하여 고령 이용자의 역사별 이용 특성을 파악하였다.

본 연구는 수직이동시설의 설치 효과를 분석하고 개선방안을 모색하는 것에 초점을 맞추고 있으므로, 산출물은 세부적인 행태 변수 대신 수직이동시설의 설치 여부를 변수로 제한하였다. 승강편의시설에 관한 설치 기준에 따르면 블록 당 에스컬레이터 설치 개소에 대한 기준이 제시되어 있으며, 분석 결과 이는 큰 차이가 없는 것으로 검토되었다. 깊이 6m 이상의 계단의 경우 블록 당 1개소를 설치하도록 되어 있으나 계단 수에 대한 세부적인 고려가 설계 기준 상으로는 제시되어 있지 않아, 본 연구에서 산출물은 수직이동시설 중 엘리베이터 설치 대수와 계단 100개 당 에스컬레이터 설치 대수로 설정하였다. 분석에 활용된 데이터의 정보는 <Table 2>와 같다.

Ⅴ. DEA 분석 결과

역사별 상대적 효율성지수를 분석하기 위해 산출지향 CCR모형을 활용하였다. 31개 역사의 투입변수에서 평균 고령자 통행 수는 11,506통행, 통행비율은 10.48%이며, 산출변수의 수직이동시설에서 엘리베이터는 평균 3.29대, 계단 100개 당 에스컬레이터 대수는 1.45대로 분석되었다. 평균 효율성지수는 0.62로 추정되었으며 추정된 지수와 변수들의 기초통계량은 <Table 3>과 같다.

〈Table 3〉 Estimated Scores and Statistics

	Score	E/V	100 stairs per E/S	Elderly Trips	Elderly Ratio (%)
Minimum	0.26	0.00	0.00	4,905	5.30
Maximum	1.00	7.00	3.06	22,842	29.67
Mean	0.62	3.29	1.45	11,506	10.48
Standard Deviation	0.22	1.49	0.79	3,942	4.43

추정결과에 의하면 31개의 분석 역사 중 잠실역, 가산디지털단지역, 건대입구역, 동묘앞역 등 4개의 역사가 지수값 1.0을 가지며, 나머지 27개의 역사는 개선이 필요한 것으로 분석되었다. 평균 지수인 0.62보다 낮은 역사는 총 17로 나타났다. 31개 역사의 평가 결과는 <Table 4>와 같으며, 음영처리된 역사가 지수값 1.0을 가지는 역사를 의미한다.

〈Table 4〉 Score Results of Vertical Moving Facilities for Elderly User

DMU	Score	DMU	Score	DMU	Score
Gangnam	0.90	Euljiro 1(il)-ga	0.84	Myeong-dong	0.46
Jamsil	1.00	Sinchon	0.50	Yeonsinnae	0.62
Silim	0.36	Suyu	0.31	Hyehwa	0.80
Guro Complex	0.61	Yangjae	0.54	Chungmuro	0.56
Hongik Univ.	0.82	Gasan Complex	1.00	Gwanghwamun	0.48

DMU	Score	DMU	Score	DMU	Score
Sindorim	0.41	Sadang	0.61	Apgujeong	0.51
Seolleung	0.26	Jonggak	0.64	Dongmyo	1.00
Yeoksam	0.76	Express Terminal	0.63	Nambu Terminal	0.66
Seoul	0.54	Univ. of Education	0.45	Nowon	0.50
Samsung	0.80	Gangbyeon	0.40		
Seoul Nat'l Univ.	0.29	Konkuk University	1.00		

효율성 지수가 1.0으로 가장 우수한 4개의 지하철 역사들은 나머지 역사들의 참조집합이 될 수 있다. 참조집합은 수직이동시설의 개선방안을 제시할 수 있기 때문에 DEA 모형에서 중요한 의미를 갖는다. 수직이동시설이 우수한 것으로 평가된 지하철 역사들은 다른 역사들의 참조횟수를 기반으로 벤치마크 사례로 활용될 수 있다. 참조집합의 설정은 변수들의 가중치에 의하여 람다(λ)값으로 계산되며, 람다값은 우수한 역사가 그렇지 않은 역사들에 미치는 영향력을 나타낸다. 참조집합에 대한 31개 역사별 람다값은 <Table 5>와 같다.

〈Table 5〉 Results of Lamda(λ) Value of Benchmarking Groups

DMU	Score	Jamsil	Gasan Complex	Konkuk University	Dongmyo
Gangnam	0.90	0.59	0.09	0.00	0.00
Jamsil	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
Silim	0.36	0.49	1.21	0.00	0.00
Guro Complex	0.61	0.00	1.38	0.00	0.00
Hongik Univ.	0.82	0.00	1.24	0.00	0.00
Sindorim	0.41	0.00	1.80	0.00	0.01
Seolleung	0.26	0.68	0.71	0.00	0.00
Yeoksam	0.76	0.00	1.28	0.17	0.00
Seoul	0.54	1.33	0.00	0.00	0.00
Samsung	0.80	0.19	0.92	0.00	0.00
Seoul Nat'l Univ.	0.29	0.00	1.66	0.25	0.00
Euljiro 1(il)-ga	0.84	0.00	1.08	0.00	0.06
Sinchon	0.50	0.00	1.34	0.00	0.09
Suyu	0.31	0.00	1.98	0.00	0.23
Yangjae	0.54	0.00	1.78	0.00	0.04
Gasan Complex	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00
Sadang	0.61	0.00	1.88	0.00	0.00
Jonggak	0.64	0.00	1.11	0.21	0.00
Express Terminal	0.63	0.00	2.27	0.00	0.00
Univ. of Education	0.45	0.00	2.13	0.00	0.04
Gangbyeon	0.40	0.00	1.02	0.00	0.14
Konkuk University	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00
Myeong-dong	0.46	0.00	0.00	0.51	0.00
Yeonsinnae	0.62	0.00	0.74	0.26	0.00
Hyehwa	0.80	0.00	0.98	0.00	0.15
Chungmuro	0.56	0.00	0.98	0.00	0.21
Gwanghwamun	0.48	0.00	0.45	0.25	0.00
Apgujeong	0.51	0.00	1.09	0.00	0.22
Dongmyo	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
Nambu Terminal	0.66	0.00	0.73	0.00	0.23
Nowon	0.50	0.00	1.69	0.00	0.19

참조집합에 속한 역사들은 다른 역사들의 프론티어를 구성한다. 개선이 필요한 역사들은 프론티어를 구성하는 참조역사들 중 영향력이 0보다 큰, 즉 람다값이 0보다 큰 역사를 벤치마킹하게 된다. 참조집합 분석결과, 지수값이 1인 역사들은 참조집합이 자기 자신으로 구성되었으며, 개선이 필요한 역사에 대해서는 참조역사가 1개 이상으로 분석되었다. 참조역사 중 참조횟수가 가장 높은 역사는 가산디지털단지역으로 25회의 참조횟수를 기록하여 가장 신뢰성이 높은 역사로 나타났다. 예를 들어, 강남역의 지수는 0.9로 참조그룹 잠실역과 가산디지털단지역에 비하여 약 10% 효율성이 떨어지며, 이를 개선하기 위하여 잠실역과 가산디지털단지역을 벤치마킹할 수 있다. 역사별 참조역사는 <Table 6>과 같다.

〈Table 6〉 Benchmarking Groups for DMUs

DMU	Benchmarking Group	DMU	Benchmarking Group	DMU	Benchmarking Group
Gangnam	Jamsil, Gasan Complex	Euljiro 1(il)-ga	Gasan Complex, Dongmyo	Myeong-dong	Konkuk University
Jamsil	Jamsil	Sinchon	Gasan Complex, Dongmyo	Yeonsinnae	Gasan Complex, Konkuk University
Silim	Jamsil, Gasan Complex	Suyu	Gasan Complex, Dongmyo	Hyehwa	Gasan Complex, Dongmyo
Guro Complex	Gasan Complex	Yangjae	Gasan Complex, Dongmyo	Chungmuro	Gasan Complex, Dongmyo
Hongik Univ.	Gasan Complex	Gasan Complex	Gasan Complex	Gwanghwamun	Gasan Complex, Konkuk University.
Sindorim	Gasan Complex, Dongmyo	Sadang	Gasan Complex	Apgujeong	Gasan Complex, Dongmyo
Seolleung	Jamsil, Gasan Complex	Jonggak	Gasan Complex, Konkuk University	Dongmyo	Dongmyo
Yeoksam	Gasan Complex, Konkuk University	Express Terminal	Gasan Complex	Nambu Terminal	Gasan Complex, Dongmyo
Seoul	Jamsil	Univ. of Education	Gasan Complex, Dongmyo	Nowon	Gasan Complex, Dongmyo
Samsung	Jamsil, Gasan Complex	Gangbyeon	Gasan Complex, Dongmyo		
Seoul Nat'l Univ.	Gasan Complex, Konkuk University	Konkuk University	Konkuk University		

상대적 효율성을 추정하는 목적은 분석 대상의 투입과 산출별로 어느 요소가 얼마나 과대 투입 또는 과소 산출되고 있는지를 파악하여 31개 역사의 개선방안 수립 등에 필요한 의사결정 자료를 제공하는 데 있다. 비효율성의 정도를 나타내는 여유분(Slack) 값은 각각의 투입과 산출의 잠재 가능치로 최적의 효율치와 비교하여 과다 투입 또는 부족한 산출의 양을 보여준다. <Table 7>은 개선이 필요한 역사들의 변수별 여유분 값을 나타낸다.

수직이동시설 별 개선 방향을 알아보기 위해 참조집합에 속한 역사들과 효율성 지수가 0.4 이하인 역사를 대상으로 검토를 수행하였다. 우수한 역사는 그렇지 않은 역사의 참조그룹의 역할을 수행하기 때문에, 해당 역사들의 결과를 이해할 필요가 있다. 4개의 역사 모두 우수한 것으로 평가되었지만, 투입과 산출 변수들의 값에 따라 해석을 다르게 할 수 있다. 동묘역은 고령자 통행 비율이 약 30%에 이르러 분석 역사들 중에 고령자의 이용율이 가장 높은 역사이다. 이는 더 많은 수직이동시설을 설치해야하기 때문에 불리한 조건이 될 수 있는 반면, 동묘역의 고령자 통행수는 평균이하의 수치를 기록하여 추정에 유리한 조건이 된다. 산출변수

에서는 엘리베이터 설치 대수가 7대로 다른 역사들 대비 가장 많기 때문에 추정에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 가산디지털단지역과 잠실역은 고령자 수와 비율 대비 시설의 설치 대수가 많기 때문에 우수한 것으로 분석되었다. 건대입구역의 경우에는 엘리베이터가 1대 밖에 설치되지 않음에도, 계단 100개당 에스컬레이터 설치대수가 가장 많고, 투입변수들의 수치가 작은 것들이 반영된 결과로 보인다. 즉, 건대입구역의 결과는 엘리베이터보다 계단 100개 당 에스컬레이터 수가 더 큰 영향을 미치는 것으로 해석된다. 참조집합 역사에 대한 분석내용은 <Table 8>과 같다.

〈Table 7〉 Slacks value of Variables

DMU	Output		Input	
	E/V	100 stairs per E/S	Elderly Trips	Elderly Ratio (%)
Gangnam	0	0	4,013	0
Jamsil	0	0	0	0
Silim	0	-1	0	0
Guro Complex	-1	0	197	0
Hongik Univ.	-3	0	73	0
Sindorim	0	-1	0	0
Seolleung	0	-2	0	0
Yeoksam	0	0	0	1
Seoul	0	-2	3,585	0
Samsung	0	-2	0	0
Seoul Nat'l Univ.	0	0	0	2
Euljiro 1(il)-ga	0	-1	0	0
Sinchon	0	0	0	0
Suyu	0	0	0	0
Yangjae	0	-2	0	0
Gasan Complex	0	0	0	0
Sadang	-1	0	3,111	0
Jonggak	0	0	0	4
Express Terminal	-3	0	1,135	0
Univ. of Education	0	-4	0	0
Gangbyeon	0	-2	0	0
Konkuk University	0	0	0	0
Myeong-dong	-1	0	0	3
Yeonsinnae	0	0	0	5
Hyehwa	0	-1	0	0
Chungmuro	0	-1	0	0
Gwanghwamun	0	0	0	3
Apgujeong	0	0	0	0
Dongmyo	0	0	0	0
Nambu Terminal	0	-1	0	0
Nowon	0	-1	0	0

〈Table 8〉 Slacks value of Variables

No.	DMU	Score	Output				Input				Benchmarking Group
			E/V		100 stairs per E/S		Elderly trips		Elderly ratio		
			Raw	Slacks	Raw	Slacks	Raw	Slacks	Raw	Slacks	
1	Dongmyo	1.00	7	0	2.01	0	10,768	0	29.67	0	1
2	Gasan Complex	1.00	4	0	2.14	0	7,047	0	5.3	0	2
3	Jamsil	1.00	7	0	2.66	0	14,451	0	8.63	0	3
4	Konkuk University	1.00	1	0	2.99	0	9,525	0	7.86	0	4

효율성 지수가 낮은 역사 4개에 대한 분석 결과는 <Table 9>와 같다. 선릉역은 지수가 0.26으로, 가장 지수가 낮은 것으로 분석되었다. 이를 개선하기 위해서는 계단 100개 당 에스컬레이터 대수를 2대 더 확보하여 2.37 수준으로 개선할 필요가 있다. 신림역의 지수는 0.36으로 선릉역과 마찬가지로 계단 100개 당 에스컬레이터 대수를 확보해야하는 것으로 나타났다. 또한 신림역의 경우 계단 100개 당 에스컬레이터 1개를 추가적으로 설치하여 총 2대를 확보해야하는 것으로 분석되었다.

수유역과 서울대입구역의 경우에는 고령자 비율이 상대적으로 높은 것으로 분석되었다. 두 역사의 개선방향이 산출지향 모형임에도 불구하고 투입량의 감소가 필요한 것으로 분석된 이유는 참조역사를 기준으로 개선 방향이 제시되기 때문이다. 수유역과 서울대입구역은 공통적으로 투입변수 중 고령자 통행비율에 대한 가중치가 미치는 영향이 다른 역사와 상대적으로 큰 것으로 분석되었다. 따라서 참조그룹에 대비하여 수직이동시설 규모가 적절한 것으로 평가되었다 할지라도, 고령자 통행비율이 높은 만큼 수직이동시설을 추가로 투입하여 산출량을 증가시킴으로써 투입량이 적정규모에 도달할 수 있도록 조정하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

〈Table 9〉 Slacks value of Variables

No.	DMU	Score	Output				Input				Benchmarking Group
			E/V		100 stairs per E/S		Elderly trips		Elderly ratio		
			Raw	Slacks	Raw	Slacks	Raw	Slacks	Raw	Slacks	
28	Silim	0.36	3	0	1	1	15,645	0	10.66	0	2, 3
29	Suyu	0.31	3	0	1	0	16,469	0	17.39	0.5	1, 2
30	Seoul Nat'l Univ.	0.29	2	0	1	0	14,103	0	12.56	1.97	2, 4
31	Seolleung	0.26	2	0	0	2	14,784	0	9.60	0	2, 3

Ⅵ. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 스마트카드 데이터를 이용하여 역사별 고령자를 고려한 수직이동시설을 평가하고 개선방향을 제시하고자 하였다. 이를 위해 서울시 주요 31개 역사를 대상으로 고령 통행현황 대비 수직이동시설의 설치현황을 DEA 모델을 이용하여 분석하였다. 또한, 개선이 필요한 역사들을 대상으로 참조집합을 설정하여 수직이동시설의 개선 방안을 제시하였다.

분석 결과, 평균 점수는 0.62로 분석되었으며, 동묘역, 가산디지털단지역, 잠실역, 건대입구역이 가장 우수한 것으로 분석되었다. 해당 역사들은 나머지 역사들의 벤치마킹 대상인 참조그룹으로 설정되었으며, 참조횟수가 가장 높은 역사는 가산디지털단지역으로 신뢰도가 가장 높은 것으로 나타났다. 개선이 필요한 역사들에 대해서는 각각 참조집합을 설정하여 수직이동시설 개선 방안을 검토하였다. 지수가 가장 낮은 선릉역은 계단 100개 당 에스컬레이터 대수를 2대 더 확보하여 2.37 수준으로 개선할 필요가 있는 것으로 분석되었다.

본 연구는 고령자를 고려하여 지하철 역사의 수직이동시설을 정량적으로 분석하고 개선방안을 제시하였다는 점에 있어 향후 고령자의 이동편의 증진에 기여할 수 있기를 기대한다. 반면, 본 연구에서는 분석범위를 주요 지하철 역사에 한정 짓는 한계를 지니고 있다. 주요 역사에 대한 검토도 중요하지만, 고령자 통행이 많은 역사들을 대상으로 분석할 필요도 있다. 또한 사회경제지표, 토지이용계획, 일반이용자들과의 비교 분석을 통해 서비스의 형평성 관점에서 분석을 수행하는 것도 중요한 향후 연구과제가 될 수 있을 것이다. 나

아가 구체적인 실행계획을 수립하기 위해서는 한정된 재원의 규모나 재원 투자의 효율성 등도 함께 고려해야 할 필요가 있을 것으로 사료된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was financially supported by the Seoul R&D Program(PS160010) through the Research and Development for Regional Industry.

REFERENCES

Barnum D. T., Tadon S. and McNeil S.(2008), "Comparing the Performance of Bus Routes after Adjusting for the Environment Using Data Envelopment Analysis," *Journal of Transportation Engineering,* vol. 134, pp.77-85.

Charnes A., Cooper W. W. and Rhodes E.(1979), "Measuring the Efficiency of Decision-making Units," *European Journal of Operational Research,* vol. 3, no. 1, p.339.

Cho N. G. and Yun D. S.(2002), "Mode Choice Factors of the Elderly," *The Korea Spatial Planning Review*, vol. 33, pp.129-144.

Choo S. H., Lee H. S. and Shin H. J.(2013), "Analyzing Changes in Travel Behavior of the Elderly Using Travel Diary Survey Data in Seoul Metropolitan Area," *The Korea Spatial Planning Review,* vol. 76, pp.31-45.

Dash N. and Balachandra P.(2016), "Benchmarking Urban Sustainable Efficiency: A Case of Indian Cities," *Transportation Research Procedia*, vol. 14, pp.1809-1818.

Hahn J.-S., Kho S.-Y., Choi K. and Kim D.-K.(2017), "Sustainability Evaluation of Rapid Routes for Buses with a Network DEA Model," *International Journal of Sustainable Transportation*, vol. 11, no. 9, pp.659-669.

Hahn J.-S., Kim H.-R. and Kho S.-Y.(2011), "Equity Analysis of Feeder Bus Routes in Seoul Using Data Envelopment Analysis Model," *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 29, no. 2, pp.15-24.

Jo H. Y., Oh Y. T. and Lee S. S.(2008), "Investigation of the Driving Characteristics of Elderly Drivers," *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 7, no. 6, pp.121-132.

Jung H. Y., Lee H. W. and Kim J. G.(2005), "A Study on the Ranking Decision for Construction of Up and Down Convenient Facility in Subway Stations," *Journal of the Korean Society of Civil Engineer*, vol. 25, no. 3, pp.423-423.

Lee S. H.(2009), "A Study on the Transportation Policy for the Mobility Handicapped Using Satisfaction Level," *The Seoul Institute*, vol. 10, no. 1, pp.197-208.

Ma K. R. and Yoon Y. H.(2009), "A Study on the Changes in Travel Mode Choice of the Elderly," *Seoul Studies*, vol. 10, no. 4, pp.159-171.

Nam D. H. and Lim K. S.(2007), "System Requirements and Use Case for Mobility Impared People," *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 6, no. 1, pp.58-71.

Seo S. E., Chung J. H. and Kim S. G.(2006), "Analysis of the Elderly Travel Characteristics and Travel Behavior with Daily Activity Schedules (the Case of Seoul, Korea)," *Korean Society of Transportation*, vol. 24, no. 5, pp.89-108.

Yun D. S. and Ahn Y. H.(2003), "Analysis of the Elderly's Travel Characteristics and Travel Behavior," *The Journal of Korea Planners Association*, vol. 38, no. 7, pp.91-107.